

Aus der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie  
des Fachbereiches Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Ermittlung der Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals bei  
routinemäßigen Röntgenuntersuchungen in der Pferdepraxis  
mit Hilfe elektronischer Personendosimeter**

INAUGURAL – DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades einer  
DOKTORIN DER VETERINÄRMEDIZIN  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Meral Kristina Steinberg, geb. Aksu  
Tierärztin aus Oberhausen

Berlin 2008

Journal- Nr.: 3184

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.- Prof. Dr. L. Brunnberg  
Erster Gutachter: Univ.- Prof. Dr. K. Hartung  
Zweiter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. A. Grabner  
Dritter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. L. Brunnberg

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*  
horses, diagnostic techniques, radiography, x-radiation, radiation,  
exposure, personnel, dosimetry (MeSH)

Tag der Promotion: 15.04.2008

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN-10: 3-86664-393-4  
ISBN-13: 978-3-86664-393-2

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2008  
D188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten

© mbv 2008

nordendstr. 75 - 13156 berlin – 030-45494866  
verlag@menschundbuch.de – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

Meinen Eltern gewidmet



# Inhalt

---

Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Strahlenphysikalische Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Dosimetrie und Strahlenexposition .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Dosisbegriff .....	4
2.2.2 Physikalische Dosisgrößen .....	4
2.2.2.1 Ionendosis .....	4
2.2.2.2 Energiedosis .....	5
2.2.3 Dosismessgrößen im Strahlenschutz .....	5
2.2.3.1 Äquivalentdosis .....	5
2.2.3.2 Ortsdosis .....	5
2.2.3.3 Personendosis .....	6
2.2.4 Körperdosismessgrößen im Strahlenschutz .....	6
2.2.4.1 Organdosen .....	6
2.2.4.2 Effektive Dosis .....	7
2.2.5 Methoden zur Personendosimetrie .....	8
2.2.5.1 Filmdosimeter .....	8
2.2.5.2 Thermolumineszenzdosimeter (TLD) .....	9
2.2.5.3 Ionisationskammer .....	10
2.2.5.4 Elektronisches Personendosimeter (EPD) .....	11
2.2.6 Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition .....	12
2.2.7 Biologische Strahlenfolgen .....	13
2.2.7.1 Stochastische und deterministische Strahlenwirkungen .....	13
2.2.7.2 Spezielle Organtoxizität .....	15
<b>2.3 Gesetzliche Grundlagen .....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Röntgenverordnung .....	16
<b>2.4 Praktischer Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Strahlendosismessungen in der Veterinärmedizin .....</b>	<b>21</b>
<b>3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Material .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 Dosimetrierte Personen .....	29
3.1.2 Dosismessungen .....	29
3.1.2.1 Dosismessungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin .....	29
3.1.2.2 Dosismessungen beim NGT-1 .....	30

# Inhalt

---

3.1.2.3	Dosismessungen beim NGT-2 .....	30
3.1.2.4	Dosismessungen beim NGT-3 .....	30
3.1.2.5	Dosismessungen bei Röntgenuntersuchungen am Tierkörperphantom.....	30
3.1.3	Dosimetrieverfahren.....	31
3.1.3.1	ComDos EDM-III als APD-light System (Fa. DOSILAB).....	31
3.1.3.2	EPD Mk 2 (Fa. THERMO ELECTRON).....	33
3.1.3.3	X-Ray-Gamma-Dosimeter RGD 27091 (Fa. STEP) .....	36
3.1.3.4	TLD Bauart XD-700 (LPS, Berlin).....	37
3.1.4	Röntgentechnik und Strahlenschutzmaßnahmen .....	38
3.1.4.1	Röntgentechnik in der Klinik für Pferde der FU Berlin .....	38
3.1.4.2	Röntgentechnik des NGT-1 .....	39
3.1.4.3	Röntgentechnik des NGT-2 .....	40
3.1.4.4	Röntgentechnik des NGT-3 .....	41
3.1.4.5	Röntgentechnik bei den Messungen am Tierkörperphantom .....	41
<b>3.2</b>	<b>Methode.....</b>	<b>42</b>
3.2.1	Trageorte der Dosimeter .....	42
3.2.2	Standardisierung und Kategorisierung der Röntgenuntersuchungen.....	44
3.2.2.1	Röntgenuntersuchungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin .....	47
3.2.2.2	Röntgenuntersuchungen beim NGT-1 .....	49
3.2.2.3	Röntgenuntersuchungen beim NGT-2.....	49
3.2.2.4	Röntgenuntersuchungen beim NGT-3.....	52
3.2.2.5	Röntgenuntersuchungen bei den Messungen am Tierkörperphantom.....	53
3.2.3	Datenerfassung.....	54
3.2.4	Datenverarbeitung.....	55
3.2.5	Datenspeicherung .....	57
3.2.6	Statistische Auswertung.....	57
3.2.7	Vergleichsmessung aller verwendeten Messsysteme.....	58
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Ergebnisse der Vergleichsmessung aller verwendeten Messsysteme .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Verteilung der Gewichtsklassen .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3</b>	<b>Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>Ergebnisse der Dosismessungen.....</b>	<b>65</b>
4.4.1	Dosiswerte der Klinik für Pferde der FU Berlin .....	65
4.4.2	Dosiswerte des NGT-1 .....	67
4.4.3	Dosiswerte des NGT-2.....	68
4.4.4	Dosiswerte des NGT-3.....	69
<b>4.5</b>	<b>Spezielle Auswertung der Dosismessungen .....</b>	<b>71</b>
4.5.1	Dosiswerte für alle Messorte.....	71
4.5.2	Explorative Analyse der Dosiswerte für alle Messorte .....	73

# Inhalt

---

4.5.3	Röntgenuntersuchungen im Rahmen einer Kaufuntersuchung.....	85
<b>4.6</b>	<b>Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom .....</b>	<b>86</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>88</b>
<b>5.1</b>	<b>Auswahl und Eignung des Dosimetrieverfahrens .....</b>	<b>88</b>
<b>5.2</b>	<b>Auswahl und Eignung der Messgröße und der Trageorte .....</b>	<b>91</b>
<b>5.3</b>	<b>Methode der Dosismessungen .....</b>	<b>94</b>
<b>5.4</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse der dosimetrischen Untersuchungen.....</b>	<b>95</b>
5.4.1	Bewertung der Dosiswerte bei konventioneller und digitaler Entwicklung.....	96
5.4.2	Bewertung des Einflusses der Gewichtsklasse auf die ermittelte Dosis.....	97
5.4.3	Interpretation und Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen.....	98
5.4.4	Ermittelte Dosiswerte im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes .....	105
<b>5.5</b>	<b>Schlussbetrachtung und Ausblick.....</b>	<b>108</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>113</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>115</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>117</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>132</b>
<b>9.1</b>	<b>Dosiswerte der Klinik für Pferde der FU Berlin.....</b>	<b>132</b>
<b>9.2</b>	<b>Dosiswerte des NGT-1 .....</b>	<b>144</b>
<b>9.3</b>	<b>Dosiswerte des NGT-2 .....</b>	<b>149</b>
<b>9.4</b>	<b>Dosiswerte des NGT-3 .....</b>	<b>161</b>
<b>9.5</b>	<b>Dosiswerte für alle Messorte.....</b>	<b>169</b>
<b>9.6</b>	<b>Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom .....</b>	<b>183</b>
	Danksagung.....	187
	Selbstständigkeitserklärung .....	188

**Abkürzungsverzeichnis**

A	Ampere
Abb.	Abbildung
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
Am	Amaritium
AtG	Atomgesetz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
C	Halswirbelkörper
C	Coulomb
Cs	Caesium
D	Energiedosis
DIN	Deutsches Institut für Normung eV.
DLR	Digitale Lumineszenzradiographie
DNS	Desoxyribonukleinsäure
EPD	Elektronisches Personendosimeter
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
eV	Elektronenvolt
FFS	Film-Folien-System
FFA	Focus-Film-Abstand
Gy	Gray
H	Äquivalentdosis
HWS	Halswirbelsäule
Hz	Hertz
ICR	International Congress of Radiology
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEC	International Electrotechnical Commission
J	Ionendosis
J	Joule
K	Kalium
Kas.-halter	Kassettenhalter
keV	Kiloelektronenvolt
kV	Kilovolt
KW	Kilowatt
L	Lendenwirbel



## Abkürzungen

---

lat.	lateral
LPS	Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung
mAs	Milliamperesekundenprodukt
max.	Maximum
med.	medial
MeV	Megaelektronenvolt
MHz	Megahertz
min.	Minimum
N	Anzahl
NGT	Niedergelassener Tierarzt
NW	Nachweisgrenze
n. u.	nicht untersucht
Pb	Blei
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
R	Röntgen
RBW	Relative Biologische Wirksamkeit
rd	Rad, radiation absorbed dose
Ref.	Referenzquelle
Rem	Rem, Röntgen equivalent man
Rn	Radon
RöV	Röntgenverordnung; Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen
Sr	Strontium
SSK	Strahlenschutzkommission
SSQ	Streustrahlenquelle
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung; Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen
Sv	Sievert
Tab.	Tabelle
<i>Th</i>	Brustwirbel
TKP	Tierkörperphantom
TLD	Thermolumineszenzdosimeter
V	Volt

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 2. 1: Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  zur Berechnung der Effektiven Dosis (nach RöV 2003)..... 7

Tab. 2. 2: Jährliche Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A und der Bevölkerung 1973 und 2003..... 19

Tab. 3. 1: Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der Klinik für Pferde der FU Berlin..... 47

Tab. 3. 2: Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der Klinik für Pferde der FU Berlin..... 48

Tab. 3. 3: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-1..... 49

Tab. 3. 4: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-2..... 50

Tab. 3. 5: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-2..... 51

Tab. 3. 6: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-3..... 52

Tab. 3. 7: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-3..... 53

Tab. 3. 8: Röntgenuntersuchungen bei den Messungen am Tierkörperphantom..... 54

Tab. 3. 9: Einteilung der Pferderassen in Gewichtsklassen..... 55

Tab. 4. 1: Dosiswerte der verschiedenen Messsysteme bei der Vergleichsmessung in [ $\mu$ Sv]. ..... 60

Tab. 5. 1: Schutzwirkung von Bleischutzbekleidung (Informationsbroschüre Fa. MAVIG, Berlin). ..... 92

Tab. 9. 1: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1. .... 132

Tab. 9. 2: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2. .... 133

Tab. 9. 3: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3. .... 134

Tab. 9. 4: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1. .... 135

Tab. 9. 5: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2. .... 136

Tab. 9. 6: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3. .... 137

Tab. 9. 7: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1..... 138

Tab. 9. 8: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2..... 139

Tab. 9. 9: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3..... 140

Tab. 9. 10: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1..... 141

Tab. 9. 11: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2..... 142

Tab. 9. 12: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3..... 143

Tab. 9. 13: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-1..... 144

Tab. 9. 14: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-1..... 145

Tab. 9. 15: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-1. .... 146

Tab. 9. 16: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-1. .... 147

Tab. 9. 17: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-1. .... 148

Tab. 9. 18: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 1. .... 149

Tab. 9. 19: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 2. .... 150

Tab. 9. 20: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 3. .... 151

Tab. 9. 21: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 1. .... 152

Tab. 9. 22: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 2. .... 153

Tab. 9. 23: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 3. .... 154

## Tabellen

---

Tab. 9. 24: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-2.....	155
Tab. 9. 25: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-2, Teil 1.....	156
Tab. 9. 26: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-2, Teil 2.....	157
Tab. 9. 27: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 1.....	158
Tab. 9. 28: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 2.....	159
Tab. 9. 29: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 3.....	160
Tab. 9. 30: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-3, Teil 1.....	161
Tab. 9. 31: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-3, Teil 2.....	162
Tab. 9. 32: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-3.....	163
Tab. 9. 33: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-3.....	164
Tab. 9. 34: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-3, Teil 1.....	165
Tab. 9. 35: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-3, Teil 2.....	166
Tab. 9. 36: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-3, Teil 1.....	167
Tab. 9. 37: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-3, Teil 2.....	168
Tab. 9. 38: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 1.....	169
Tab. 9. 39: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 2.....	170
Tab. 9. 40: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 3.....	171
Tab. 9. 41: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 1.....	172
Tab. 9. 42: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 2.....	173
Tab. 9. 43: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 3.....	174
Tab. 9. 44: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen für alle Messorte, Teil 1.....	175
Tab. 9. 45: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen für alle Messorte, Teil 2.....	176
Tab. 9. 46: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 1.....	177
Tab. 9. 47: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 2.....	178
Tab. 9. 48: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 3.....	179
Tab. 9. 49: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 1.....	180
Tab. 9. 50: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 2.....	181
Tab. 9. 51: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 3.....	182
Tab. 9. 52: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Zehe 90°“ am TKP.....	183
Tab. 9. 53: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Zehe 0°“ am TKP.....	183
Tab. 9. 54: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Strahlbein n. Oxspring“ am TKP.....	184
Tab. 9. 55: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Hufbein 0°“ am TKP.....	184
Tab. 9. 56: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Tarsus 90°“ am TKP.....	184
Tab. 9. 57: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Knie 90°“ am TKP.....	185
Tab. 9. 58: Dosiswerte am Pfleger, „Kopf 90°, Nasennebenhöhlen“ am TKP.....	185
Tab. 9. 59: Dosiswerte am Pfleger, „Kopf 90°, Zähne“ am TKP.....	185
Tab. 9. 60: Dosiswerte am Pfleger, „Thorax 90°“ am TKP.....	186

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 2. 1: Füllhalterdosimeter..... 11

Abb. 3. 1: Elektronisches Personendosimetersystem (Fa. DOSILAB)..... 31

Abb. 3. 2: Elektronisches Personendosimeter (Fa. THERMO ELECTRON) ..... 33

Abb. 3. 3: EPD MK 2 mit Infrarotstelle ..... 35

Abb. 3. 4: Ionisationskammer (Fa. STEP) ..... 36

Abb. 3. 5: Mechanische Kassettenhalter in der Klinik für Pferde der FU Berlin. .... 38

Abb. 3. 6: Trageorte der Dosimeter. .... 42

Abb. 3. 7: Dosimeter am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen..... 43

Abb. 3. 8: Trageorte der Dosimeter an der Schaufensterpuppe bei den Messungen am TKP. .... 43

Abb. 3. 9: Richtungsbezeichnungen und Ebenen des Tierkörpers nach NICKEL et al. (1992). .... 44

Abb. 3. 10: Röntgenuntersuchung des Beckens des Pferdes nach STASHAK (1989)..... 45

Abb. 3. 11: Röntgenuntersuchung der Zehe des Pferdes nach SCHEBITZ u. WILKENS (1986)..... 46

Abb. 3. 12: Whisker-Boxplot ..... 57

Abb. 3. 13: Skizze zum Versuchsaufbau der Vergleichsmessung ..... 58

Abb. 4. 1: Verlaufsdiagramm der Dosiswerte aller Messsysteme bei der Vergleichsmessung..... 61

Abb. 4. 2: Prozentuale Verteilung der Gewichtsklassen der geröntgten Pferde aller Kliniken/Praxen..... 62

Abb. 4. 3: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >10) in der Klinik für Pferde, FU Berlin. .... 63

Abb. 4. 4: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >3) beim NGT-1. .... 63

Abb. 4. 5: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >15) beim NGT-2. .... 64

Abb. 4. 6: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >5) beim NGT-3. .... 64

Abb. 4. 7: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Zehe 90°“ ..... 73

Abb. 4. 8: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Strahlbein nach Oxspring“ ..... 74

Abb. 4. 9: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Tarsus 45°“ ..... 75

Abb. 4. 10: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Knie 90°“ ..... 76

Abb. 4. 11: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „HWS 90° (C 5-7)“ ..... 77

Abb. 4. 12: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Rücken 90° (Th 13-18)“ ..... 78

Abb. 4. 13: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Thorax 90°“ ..... 79

Abb. 4. 14: Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  am mechanischen Kassettenhalter ..... 81

Abb. 4. 15: Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  an den Händen des Kassettenhalters ..... 83

Abb. 4. 16: Vergleichende Darstellung aller Röntgenaufnahmen und im Rahmen einer Kaufuntersuchung für alle Kliniken/Praxen. .... 85

Abb. 4. 17: Vergleichende Darstellung aller Röntgenaufnahmen und im Rahmen einer Kaufuntersuchung für jede Klinik/Praxis. .... 86

# 1 Einleitung

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) im Jahre 1895 in Würzburg war für die damalige Medizin revolutionierend und ist es bis heute geblieben. Die von ihm als „X-Strahlen“ bezeichneten Strahlen ließen am 22.11.1895 die ersten Röntgenbilder der Geschichte entstehen. Röntgen fotografierte das Handskelett seiner Frau mit über 20-minütiger Durchleuchtungszeit.

Nahezu weltweit hatten Ärzte bereits 1896 die möglichen medizinischen Anwendungen der neuen Strahlen klar erkannt und begannen sie trotz aller damals unzulänglichen technischen Mittel in ihre tägliche Praxis einzubeziehen. Zunächst waren bei der praktischen Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin lange Belichtungszeiten (mehrere Minuten) notwendig. In den darauf folgenden Jahren wurde immer mehr über Strahlenschäden mit Todesfällen bei Probanden und Forschern berichtet.

Als man von dem anfänglich naiven Umgang mit den Röntgenstrahlen zu einer differenzierteren Sicht der Vor- und Nachteile dieses bildgebenden und therapeutischen Verfahrens kam, wurde die Reduktion der Strahlenbelastung sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin zu einem viel diskutierten Thema.

Die Grundlage aller Überlegungen zum angewandten Strahlenschutz ist die Erkenntnis, dass auch sehr kleine Dosen zur Induktion von Strahlenschäden führen können. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten stochastischer Strahlenwirkungen zu.

Die Änderungen durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2002) und der Röntgenverordnung (RöV 2003) insbesondere in Bezug auf die Grenzwertreduzierung der beruflichen Strahlenbelastung und die Bestimmung neuer Gewebewichtungsfaktoren für die Berechnung der Effektiven Dosis zeigen die Aktualität des Themas bis heute.

Das Ziel der eigenen Untersuchung ist, die Strahlenexposition bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim veterinärmedizinischen Personal mit Hilfe elektronischer Personendosimeter zu bestimmen.

Zusätzlich soll für den praktizierenden Tierarzt soweit als möglich eine Job-Exposure-Matrix zur Abschätzung der Exposition ionisierender Strahlung für jede einzelne Röntgenuntersuchung des Pferdes mit einer Verhaltensempfehlung im Umgang mit Röntgenstrahlen erarbeitet werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Strahlenphysikalische Grundlagen

Die **Röntgenstrahlung** ist eine ionisierende Strahlung, die Wechselwirkungen mit Materie eingehen kann. Sie entsteht immer, wenn beschleunigte Elektronen auf Materie treffen. Bei der Herstellung der Röntgenstrahlung können zwei Prozesse unterschieden werden: Bei der **charakteristischen Strahlung** wird durch einen Elektronenstoß in einer kernnahen Elektronenbahn eine Fehlstelle erzeugt, welche aus einem höheren Orbital aufgefüllt wird. Die dabei gewonnene Energie wird in Form eines Strahlungsquants mit einem Linienspektrum abgegeben. Hingegen wird bei der **Bremsstrahlung** das Elektron vom Atomkern angezogen und durchläuft eine gekrümmte Bahn. Die hierbei freigesetzte Energie wird in Form von Photonenstrahlung abgegeben. Da Form und Lage der Bahnen nicht festgelegt sind, ergibt sich ein kontinuierliches Spektrum (KIEFER u. KIEFER 2003).

Röntgenstrahlen können mit Hilfe von **Röntgenröhren** erzeugt werden. In einer Röntgenröhre entsteht vorwiegend **Röntgenbremsstrahlung**. Die Wechselwirkung von Photonen mit Materie findet über elementare Wechselwirkungsprozesse statt. Zu diesen Prozessen gehören die **klassische Streuung** (kohärente Streuung, Rayleigh-Streuung, Thomson-Streuung), der **Photoeffekt**, der **Comptoneffekt** (inkohärente Streuung), die **Paarbildung** und die **Kernphotoreaktion** (KRIEGER 2004). Wobei die Paarbildung und die Kernphotoreaktion aufgrund der benötigten hohen Quantenenergie in der Röntgendiagnostik ohne Bedeutung sind (LOEWENHARDT u. MÜLLER 1997).

Bei der klassischen Streuung wird ein Photon in seiner Richtung abgelenkt ohne Energie zu verlieren, d. h. es findet keine Energieübertragung statt. Die gestreuten Photonen werden in einer festen Phasenbeziehung zum einfallenden Photon und bevorzugt in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung emittiert. Klassische Streuung schwächt das Strahlenbündel durch Aufstreuung, nicht aber durch Energieumwandlung oder Energieabsorption. Sie ist deshalb für Materialien mit niedrigen Ordnungszahlen wie menschliches Gewebe oder Wasser nur für Photonenenergie unterhalb von etwa 20 keV von Bedeutung (KRIEGER 2004).

Der Photoeffekt führt zu **Absorption** der Röntgenstrahlen. Das eintreffende Quant überträgt seine Energie auf ein Hüllenelektron, der Restimpuls wird von dem Atom übernommen. Es wird ein Elektron freigesetzt, dessen kinetische Energie gleich der Quantenenergie vermindert um die Ablösearbeit ist (KIEFER u. KIEFER 2003). Die Schutzwirkung von Blei, Wolfram oder Uran als Materialien für den Strahlenschutz bei diagnostischen Röntgenstrahlen (niedrige Photonenenergie) beruht überwiegend auf dem Photoeffekt (KRIEGER 2004). Der Hauptwechselwirkungsmechanismus von Röntgenstrahlung mit menschlichem Weichteilgewebe ist der Comptoneffekt.

Unter Comptoneffekt versteht man die unelastische Streuung von Photonen an äußeren „ungebundenen“ Hüllenelektronen. Dabei wird Energie vom Photon auf das Elektron übertragen. Das Elektron wird seitlich oder in Vorwärtsrichtung gestreut. Der dadurch entstehende Sekundärelektronenfluss ist umso stärker nach vorne ausgerichtet, je höher die Photonenenergie ist. Je höher die Photonenenergie und der Photonenstreuwinkel sind, umso größer ist auch der relative Energieübertrag auf die Rückstoßelektronen. Das Photon selbst wird zwar nicht absorbiert, verliert aber einen Teil seiner Energie. Die Photonen werden bei der Wechselwirkung ebenfalls aus ihrer Richtung gelenkt. Dabei ist sogar Streuung in Rückwärtsrichtung möglich. Die höchsten Rückstreubeiträge treten bei niedrigen Photonenergien auf. Die Winkelverteilung der gestreuten Photonen ähnelt bei kleinen Energien bis etwa 100 keV einem Schmetterlingsflügel (KRIEGER 2004). Bei höheren Primärphotonenergien sind die Streuphotonenverteilungen mehr nach vorne ausgerichtet und haben eine keulenartige Form (KRIEGER 2004).

Aus dem Comptoneffekt resultiert die besondere Bedeutung des Strahlenschutzes in der diagnostischen Radiologie außerhalb des Nutzstrahlenbündels von Röntgenstrahlern, sprich der **Streustrahlung**. Die Streustrahlung, die von dem zu untersuchenden Objekt ausgeht, nimmt mit zunehmender Objektgröße zu und kann sogar den Anteil des bildwirksamen Strahlenanteils deutlich überschreiten. Durch die Einblendung des Nutzstrahlbündels auf die unbedingt benötigte Feldgröße, kann das für die Streustrahlung verantwortliche Körpervolumen verringert werden (ANGERSTEIN et al. 1982; LAUBENBERGER u. LAUBENBERGER 1999).

## 2.2 Dosimetrie und Strahlenexposition

Mit dem Begriff Dosimetrie bezeichnet man die Messung der in Strahlungsfeldern vorhandenen oder in Materie absorbierten Energie ionisierender Strahlung mit Hilfe von Dosimetern (WIESNER u. RIBBECK 2000). Die Strahlenexposition ist die Dosis an Strahlen, die ein Mensch oder Tier durch die natürliche und künstliche Strahlenbelastung erhält.

### 2.2.1 Dosisbegriff

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt in ihren Publikationen die von der Internationalen Kommission für Strahleneinheiten und Messungen (ICRU) eingeführten Messgrößen für den Strahlenschutz. Die Empfehlungen der ICRP sind in die europäische Richtlinie 96/29/EURATOM (Rat der Europäischen Gemeinschaft) eingeflossen, im deutschen Normwerk verankert und in der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20.07.2001 (BGBl. I 2001, S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002 (BGBl. I 2002, S. 1869) und in der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I 1987, S. 114), in der Fassung der Bekanntmachung vom 30.04.2003 (BGBl. I S. 604) gesetzlich verbindlich eingeführt.

Die Dosisbegriffe im Strahlenschutz dienen dazu, die Strahlenexposition in Zahlen zu fassen, um sie überwachen und begrenzen zu können.

Die absorbierte **Dosis** ist ein Maß für die Strahlungswirkung. Die Dosis gibt die Strahlungsenergie an, die durch Absorption an eine bestimmte Materiemenge übertragen wird.

Die **Dosisleistung** hingegen ist ein Maß für die pro Zeiteinheit applizierte Dosis einer Strahlung. Die Dosisleistung kann man auf alle Dosisarten anwenden. Dabei variiert die Einheit je nach Dosisart (WIESNER u. RIBBECK 2000).

### 2.2.2 Physikalische Dosisgrößen

#### 2.2.2.1 Ionendosis

Die **Ionendosis  $J$**  wird oft auch als Expositionsdosis bezeichnet. Sie stellt die Summe der von ionisierender Strahlung durch Ladungsträger in Luft erzeugten Ladung dar. Das bedeutet, dass die Anzahl der Ionisationen, die von einer bestimmten Strahlung in einem definierten Luftvolumen ausgelöst werden, gemessen werden. Sie lässt sich messtechnisch gut erfassen. Deshalb nutzt man diese Messgröße, um die schwieriger messbare Energiedosis in Luft berechnen zu können (WIESNER u. RIBBECK 2000). Die SI-Einheit der Ionendosis ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg).



Die **Ionendosisleistung** ist der Differentialquotient der Dosis nach der Zeit. Die SI-Einheit ist  $A/kg = C/(s \times kg)$ .

### 2.2.2.2 Energiedosis

Von einer auf ein Objekt treffenden Strahlung übt nur der absorbierte Energieanteil eine Wirkung aus (GROTHUS-DRAPER'sches Gesetz). Strahlung, die Materie ohne Absorption durchdringt, bleibt wirkungslos. Demzufolge wurde die **Energiedosis  $D$**  definiert als der von einer ionisierenden Strahlung pro Masseneinheit absorbierte Energiebetrag. Bei gleicher Strahlungsintensität ist die Energiedosis in jeder Materie unterschiedlich. Bei der Energiedosisangabe muss deshalb gleichzeitig das Absorbermaterial genannt werden. Die SI-Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy). Dabei gilt  $1Gy = 1 J/kg$  (TEMPEL u. ZALLINGER 1998).

Die **Energiedosisleistung** ist der Differentialquotient der Dosis nach der Zeit. Die SI-Einheit ist Watt/kg.

### 2.2.3 Dosismessgrößen im Strahlenschutz

Die Dosismessgrößen sind operative Dosisgrößen, die für Messungen in der Orts- und Personendosimetrie geeignet sind. Die Einheit der Dosismessgrößen ist das Sievert ( $1 Sv = 1 J/kg$ )

#### 2.2.3.1 Äquivalentdosis

Die **Äquivalentdosis  $H$**  ( $H$  vom engl. Wort **hazard**: Gefährdung, Risiko) ist das Produkt aus der Weichteilgewebe-Energiedosis  $D$  und dem Qualitätsfaktor  $Q$  (ein Wichtungsfaktor für die Strahlungsqualität) an einem bestimmten Punkt im Gewebe. Sie stellt eine Anpassung der Energiedosis an das tatsächliche Strahlenrisiko dar (TEMPEL u. ZALLINGER 1998). Für Röntgen- und Gammastrahlung gilt definitionsgemäß  $Q = 1$  (KRIEGER 2004).

#### 2.2.3.2 Ortsdosis

Unter der **Ortsdosis** versteht man die Äquivalentdosis in Weichteilgewebe gemessen an einem bestimmten Ort (RöV § 2 2003). Sie dient zur Abschätzung der Effektiven Dosis einer Person, wenn diese sich am Ort der Ortsdosis aufhalten würde. Diese Abschätzung soll die tatsächliche Effektive Dosis einer exponierten Person eher über- als unterschätzen, da die Orientierung dieser Person zum Strahlenfeld im Allgemeinen bei der Ortsdosismessung nicht bekannt ist (KRIEGER 2004). Mit Hilfe von Ortsdosismessungen werden die Strahlenschutzbereiche (Kontroll-, Sperr- und Überwachungsbereich) festgelegt.

### 2.2.3.3 Personendosis

Die **Personendosen**  $H_p$  sind die Äquivalentdosen im Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche (RöV § 2 2003). Als Personendosis wird bei durchdringender Strahlung die Äquivalentdosis in zehn Millimeter Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeter  $H_p(10)$  verwendet. Sie dient zur Abschätzung der Effektiven Dosis und der Organdosen. Bei Strahlung geringer Eindringtiefe ist die offizielle Personendosisgröße die Äquivalentdosis in der Tiefe von 0,07 Millimeter im Körper  $H_p(0,07)$  an der Tragestelle des Personendosimeters. Diese Größe dient der Abschätzung der Hautdosis auf der Trageseite des Dosimeters.

Anders als die Ortsdosis sind Personendosen im tatsächlichen Strahlenfeld definiert und werden am Körper der exponierten Person gemessen. Personendosen sind wegen der individuellen Einflüsse des Körpers auf Absorption und Streuung auch bei gleichem Strahlenfeld von Person zu Person verschieden und variieren zusätzlich mit dem Trageort des Dosimeters (KRIEGER 2004).

### 2.2.4 Körperdosismessgrößen im Strahlenschutz

Die Körperdosismessgrößen werden zur Risikoabschätzung und für die Festlegung von Personendosisgrenzwerten verwendet. Die Körperdosis ist ein Sammelbegriff für die beiden Dosisgrößen **Organdosis**  $H_T$  und **Effektive Dosis**  $E$ . Seit 2002 beziehen sich alle gesetzlichen Personendosisgrenzwerte auf diese Körperdosismessgrößen. Sie sind anders als die Dosismessgrößen nicht unmittelbar messtechnisch erfassbar, weil sie über die Organe gemittelt sind oder wie die Effektive Dosis als risikogewichtete Größe zur Abschätzung des Strahlenrisikos dienen sollen (KRIEGER 2004).

#### 2.2.4.1 Organdosen

Die **Organdosis**  $H_T$  ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor  $W_R$ . Für Röntgen- und Elektronenstrahlung hat der Strahlungs-Wichtungsfaktor den Wert 1 (RöV § 2 2003). Eine besondere Organdosis ist die „deterministische“ lokale Hautdosis  $H_{Haut}$  in 0,07 mm Tiefe, die über eine Fläche von  $1 \text{ cm}^2$  gemittelte, strahlengewichtete Hautdosis berechnet wird. Eine ähnliche Größe ist die „deterministische“ Augenlinsendosis  $H_{Auge}$ , die in 3 mm Tiefe, der mittleren Dicke der strahlenunempfindlichen Hornhaut, bestimmt wird.

### 2.2.4.2 Effektive Dosis

Die **Effektive Dosis E** ist die Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage 3 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I 1987, S. 114), in der Fassung der Bekanntmachung vom 30.04.2003 (BGBl. I S. 604) angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere Strahlenexposition. Sie ersetzt die frühere Größe „Effektive Äquivalentdosis“. Die Effektive Dosis ist wie die Organdosen nicht unmittelbar messbar, sondern muss aus den verschiedenen Organdosen berechnet werden. Sie ist eine auf den ganzen Körper oder einzelne Bereiche des Körpers bezogene Größe und soll ein Maß für das mit einer Strahlenexposition verbundene stochastische Risiko sein. Die Effektive Dosis ist definiert als Summe der mit den zugehörigen Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  multiplizierten Organdosen  $H_T$  in 12 relevanten Organen und Geweben und einem Rest von weiteren Geweben (KRIEGER 2004). Die Gewebefaktoren  $w_T$  (Tab. 2.1) sind von der ICRP (ICRP Publikation 60) aus epidemiologischen Untersuchungen abgeleitet und für Frauen und Männer sowie alle Altersgruppen gemittelt.

**Tab. 2. 1: Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  zur Berechnung der Effektiven Dosis (nach RöV 2003).**

Gewebe oder Organe	Gewebewichtungsfaktoren $w_T$
Keimdrüsen	0,20
Knochenmark (rot)	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
Andere Organe oder Gewebe <sup>1</sup>	0,05

<sup>1</sup> Für Berechnungszwecke setzen sich andere Organe oder Gewebe wie folgt zusammen: Nebennieren, Gehirn, Dünndarm, Niere, Muskel, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymusdrüse und Gebärmutter.

## **2.2.5 Methoden zur Personendosimetrie**

Die Aufgabe der Dosimetrie ist die quantitative Erfassung der für die strahlenbiologische Wirkung relevanten physikalischen Größen der ionisierenden Strahlung. Bei der Dosimetrie macht man sich zu Nutze, dass Strahlung bei Durchtritt durch Materie mit dieser Wechselwirkungen eingeht, die mit entsprechender Technik gemessen werden kann. Zur Abschätzung des Strahlenrisikos ist der Strahlenanteil, der vom Körper bzw. Gewebe absorbiert wird, von besonderem Interesse. Eine Dosismessung im Gewebe ist aber kaum möglich. Deshalb muss man sich auf Vergleichsmessungen in einem anderen, definierten Medium beziehen. Grundsätzlich kommen hier Gase, Flüssigkeiten und Festkörper zum Einsatz. Die jeweiligen Eigenschaften des Dosimeters bestimmen dessen Anwendungsgebiete. Die Anforderungen an Dosimeter für Photonenstrahlung sind in Deutschland gesetzlich festgelegt und finden sich in den von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig herausgegebenen PTB-Anforderungen an Dosimeter für die Zulassung zur Eichung. Im Rahmen der personendosimetrischen Überwachung in der Röntgendiagnostik werden vor allem Film-, Thermolumineszenz- und Ionisationsdosimetrie eingesetzt. Weitere Personendosimetrie kann durch elektronische Personendosimeter erfolgen.

### **2.2.5.1 Filmdosimeter**

Das Filmdosimeter ist ein Festkörperdosimeter, bei dem photographische Emulsionen als Strahlungsdetektor dienen. Es ist ein amtliches Dosimeter zur Überwachung von Personen im Kontrollbereich gemäß § 35 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGB1. I 1987, S. 114), in der Fassung der Bekanntmachung vom 30.04.2003 (BGB1. I S. 604). Das Dosimeter besteht aus einer dünnen, lichtdichten Kunststoffkassette, in der sich zwei Filmabschnitte und einige Metallfilter befinden. In der strahlenempfindlichen Emulsionsschicht sind Silberbromidkristalle (0,2 bis 2 µm Durchmesser), die fein verteilt in einem Bindemittel (Gelatine, Kunststoffe) eingebettet und auf einer Trägerschicht fixiert sind, enthalten. Sie können durch Strahlung ionisiert werden. Dadurch kommt es zu Veränderungen am Molekül. Die Schwärzung ist von der Energie und der Menge der einfallenden Quanten abhängig. Um die Energie der einfallenden Quanten bestimmen zu können, sind Teile des Films mit verschiedenen Metallfiltern abgedeckt, wodurch einzelne Felder entstehen. Je größer die Energie der Quanten ist, desto mehr Felder des Films werden getrübt.

Die an der Vorder- und Rückseite versetzt angeordneten Bleifilter ermöglichen es festzustellen, aus welcher Richtung die Strahlung gekommen ist. Mit einem Densitometer kann nach Exposition die Transparenz gemessen und daraus die Dosis errechnet werden. Der Dosisbereich liegt bei 0,1 mSv bis 1 Sv.

Die Filmdosimeter sind für Röntgenstrahlen und Gammastrahlen zwischen 20 keV und 3 MeV und einer Strahleneinfallrichtung von 0° bis 45° empfindlich. Die Vorteile des günstigen Messbereichs, die kleine Detektorgröße und die niedrigen Kosten stehen dem Nachteil der relativ großen Messfehlerbreite (-30 % bis +50 %) gegenüber (HANFT u. SEYDLER 1993).

### 2.2.5.2 Thermolumineszenzdosimeter (TLD)

Das Thermolumineszenzdosimeter ist ebenfalls ein Festkörperdosimeter. Als Thermolumineszenz (TL) wird die Eigenschaft kristalliner Stoffe bezeichnet, die in Folge einer vorangegangenen Anregung bei Erwärmung (= Erhitzen auf ca. 200°C) Licht emittieren. Die Anregung kann durch ionisierende Strahlung, Licht, mechanische Arbeit, chemische Unterstützung oder durch Wärme erfolgen. Bezogen auf den Einsatz in der Radiologie ist die emittierte Lichtintensität proportional zur empfangenen Strahlungsdosis. Die Messung kann in diesem Fall nur einmal abgefragt werden. Das Gerät ist nach einem Ausheizen auf ca. 400°C wieder verwendbar. Es kommen verschiedene kristalline Stoffe wie Kalziumsulfat, Kalziumfluorid, natürlicher Flussspat, Berylliumoxid oder Lithiumfluorid zum Einsatz (FRITZ-NIGGLI 1991). Die Lichtemission wird photoelektrisch registriert und zur Dosismessung verwendet. Ermittelt wird die Personentiefendosis  $H_x$ . Nach erfolgter Energiekorrektur auf die Strahlenqualität kann die Dosis als  $H_p(10)$  bzw.  $H_p(0,07)$  ausgegeben werden. Die verschiedenen Thermolumineszenzmaterialien haben eine sehr unterschiedliche Nachweisgrenze (von  $10^{-5}$  Sv bis  $10^4$  Sv). Ein messbarer Energiebereich für LiF, Mg, Ti TLD 100 wird von 10 keV bis 30 MeV angegeben (HANFT u. SEYDLER 1993). Die TLD's weisen eine hohe Messgenauigkeit auf. Sie haben eine sehr kleine Detektorgröße und sind unabhängig von einer elektrischen Versorgung (KRIEGER 2001).

Das **Fingerringdosimeter** basiert ebenfalls auf dem Thermolumineszenzverfahren. Es dient zur Ermittlung der Teilkörperdosen an den Händen der mit Röntgenstrahlen arbeitenden Personen. Fingerringdosimeter können bei der zuständigen Behörde zur Überwachung der Teilkörperdosis an den Händen für radiologisch tätige Personen beantragt werden. HARTUNG u. TELLHELM (2000) empfehlen, eine Dosismessung an den Händen in der tierärztlichen Praxis möglichst immer durchzuführen, da durch die notwendigen Haltemaßnahmen die Hände des Personals belastet werden können.

### 2.2.5.3 Ionisationskammer

Die Ionisationskammer ist ein Gasdosimeter, mit dem man die Photonendosis und Photonendosisleistung messen kann. Sie besteht aus einer Kammer, die mit Gas (in der Regel Luft, da für Elektrizität normalerweise ein Nichtleiter) gefüllt ist. Diese Luft befindet sich zwischen zwei sich gegenüberliegenden Elektroden. Zwischen den Elektroden wird ein elektrisches Feld angelegt. Gelangt Strahlung in das Innere, werden Ionen erzeugt und die Luft zwischen den Elektroden wird elektrisch leitend. Daraufhin kommt es zu einem Stromfluss (Ladungsträger bewegen sich entsprechend ihrer Polarität entweder zur Anode oder zur Kathode). Der Ionisationsstrom erzeugt eine Ladungsverminderung, die am Elektrometer abgelesen werden kann. Durch Parallelschaltung eines Kondensators zur Spannungsversorgung kann die Dosis gemessen werden. Wird anstelle der Kondensatorschaltung eine Widerstandschialtung eingesetzt, wird die Dosisleistung gemessen. Eine häufige Form der Ionisationskammer ist ein elektrisch geladener Plattenkondensator, welcher aus zwei parallel angeordneten metallischen Platten besteht, die an einer Gleichspannungsquelle angeschlossen sind. Die Ionisationskammer eignet sich zur Messung der Ionendosis bzw. Ionendosisleistung. Der Messbereich der Ionisationskammer wird durch ihr Volumen bestimmt. Aufgrund der direkten Proportionalität zwischen Volumen und Empfindlichkeit, muss für eine niedrige Nachweisgrenze das Kammervolumen entsprechend groß sein. Der Messbereich ist dadurch vom jeweiligen Gerät abhängig. In der Regel reicht er von 0  $\mu\text{Sv}$  bis 2000  $\text{mSv/h}$ . Im Weichstrahlgebiet sind Messungen im Bereich von 6 keV bis 100 keV, im Gebiet der harten Röntgen- und Gammastrahlung Messungen im Bereich von 20 keV bis 7,5 MeV möglich. Die Vorteile bestehen in einer hohen Messgenauigkeit, einer geringen Energieabhängigkeit, einer einfachen und schnellen Auswertung und in einer unbegrenzten Wiederverwendbarkeit. Als nachteilig anzusehen ist das große Detektorvolumen, hohe Anschaffungs- und Wartungskosten, die mechanische Anfälligkeit und die hohe Richtungsabhängigkeit (HANFT u. SEYDLER 1993).

**Füllhalter- oder Stabdosisimeter** sind Personendosisimeter mit einer Kondensator-Ionisationskammer und einem Ladungsmessgerät, die jederzeit ablesbar sind. Gemessen wird die individuelle Strahlenbelastung zwischen 0  $\mu\text{Sv}$  und 2  $\text{mSv}$  (WIESNER u. RIBBECK 2000). Ein auf einem Rahmen aufgesetzter, verformbarer Quarzfaden und ein umhüllender Zylinder bilden die zwei Elektroden. Der Quarzfaden wird mit ca. 150 Volt aufgeladen. Die durch eine Bestrahlung hervorgerufene Ladungsänderung bewirkt einen Ausschlag des Quarzfadens. Die Dosis kann über ein Okularsystem an einer Skala abgelesen werden (LAUBENBERGER u. LAUBENBERGER 1999). Diese Dosisimeter können einen Messfehler bis zu 40 % aufweisen.

Sie neigen zur Entladung ohne jegliche Strahlenwirkung. Messwertangaben zu der Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$  oder zu der Oberflächen-Personendosis  $H_p(007)$  sind nicht möglich.

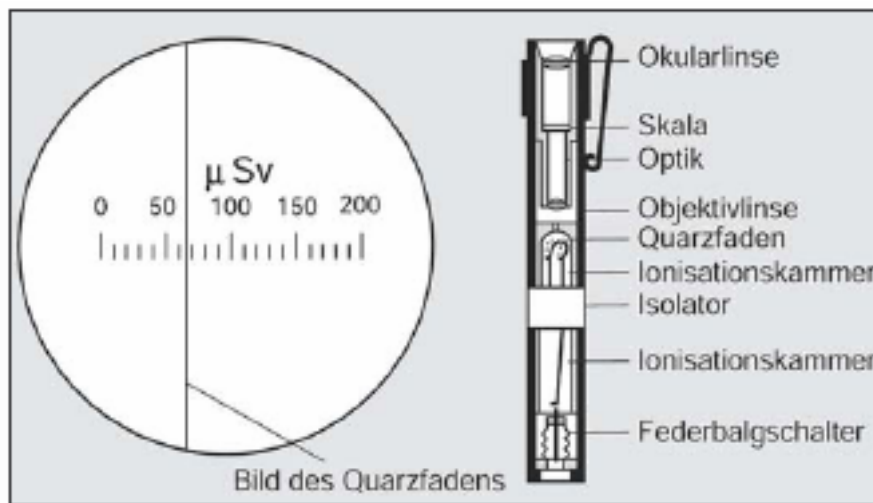


Abb. 2. 1: Füllhalterdosimeter

#### 2.2.5.4 Elektronisches Personendosimeter (EPD)

Hierbei handelt es sich um ein Strahlenmessgerät, das Beta- und Gammastrahlung (bzw. Photonenstrahlung) misst und nachweist. Es ist ein eichfähiges Personendosimeter, das für die betriebliche Dosimetrie nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung geeignet, aber **kein** amtliches Dosimeter zur Überwachung von Personen im Kontrollbereich gemäß § 35 der RöV (2003) ist.

Als Detektoren zur Messung der Strahlung werden in der Regel Siliziumdetektoren eingesetzt. In seltenen Fällen kommen auch Ionisationskammern zum Einsatz. Durch Strahlung werden Ladungen induziert (Elektronen-Loch-Paare), welche als elektrischer Strom gemessen werden können und dann ein Maß für die Dosisleistung darstellen. Das Addieren dieser Dosisleistungswerte über die Zeit ergibt dann einen Messwert für die Dosis. Die Ausgangssignale jeder Detektorkette werden zur Berechnung und zur Anzeige der Tiefen- und Oberflächenpersonendosis sowie der Dosisleistung verarbeitet. Die Information wird auf einer LCD-Anzeige angezeigt. Die Personendosimeter sind mit entsprechender Software konfiguriert. Die gemessenen Daten werden im Gerät gespeichert. Sie können je nach Gerätetyp mit Hilfsmitteln (z.B. Infrarotschnittstelle) ausgelesen und die Daten abgespeichert bzw. archiviert werden. Der Mess- und Energiebereich und die Auflösung der Speicherzeiten der elektronischen Personendosimeter sind ebenfalls vom Gerätetyp abhängig. Die Dosisanzeige und Dosisleistung werden in der Regel von 0  $\mu\text{Sv}$  bis zu einigen  $\text{mSv}$ . Die Dosisleistungsanzeige kann von 0  $\mu\text{Sv/h}$  bis zu 4  $\mu\text{Sv/h}$  reichen. Das ist vom jeweiligen Gerätetyp abhängig.

## 2.2.6 Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition

Die Strahlenexposition des Menschen besteht aus zwei Anteilen, der **natürlichen** und der **zivilisatorisch** erzeugten bzw. zivilisatorisch veränderten natürlichen Komponente. Die durchschnittliche natürliche Strahlenexposition der Weltbevölkerung beträgt 2,4 mSv/a (HABERMEHL 1996; JUNG 1995; KRIEGER 2004; SAUER 1995) mit einer typischen individuellen Streubreite zwischen und 1 und 10 mSv/a. Der Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition von etwa 50 % (1,2 mSv/a) entstammt der Inkorporation des radioaktiven Radonnuklides  $^{222}\text{Rn}$  (HABERMEHL 1996). Die kosmische und die terrestrische Strahlenexposition tragen zu etwa gleichen Teilen bei (je ca. 0,4 mSv/a). Einen merklichen Beitrag leistet auch das  $^{40}\text{K}$ , das auch natürlich in Nahrungsmitteln vorkommt (KRIEGER 2004).

Von der natürlichen Exposition zu unterscheiden sind individuelle Expositionen z. B. durch berufliche Strahlenexposition. Den Hauptbeitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition liefern die radiologischen Anwendungen in der Medizin mit einem weltweiten Jahresmittelwert von 0,35 mSv/a. In westlichen Industrienationen beläuft sich der medizinische Dosisbeitrag mittlerweile auf über 2 mSv/a mit zunehmender Tendenz. Daneben gibt es noch eine Reihe kleinerer Dosisbeiträge aus der Kernenergiegewinnung, Kernunfällen und oberirdischen Atomwaffenversuchen (KRIEGER 2004).

Die natürliche Strahlenbelastung wird seit den Anfängen des Strahlenschutzes zum Vergleich herangezogen, um die Gefährlichkeit künstlicher Radioaktivität zu bewerten. Die Kenntnisse über das Strahlenkrebsrisiko beim Menschen stammen aus langjährigen Beobachtungen großer Patientengruppen nach medizinischer Strahlenanwendung und insbesondere der Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki. Ionisierende Strahlen in Dosen, vergleichbar denen durch natürliche Radioaktivität, können Krebs und Leukämie hervorrufen (JUNG 1995).

In Deutschland werden beruflich strahlenexponierte Personen von sechs Personendosismessstellen und 30 Inkorporationsstellen dosimetrisch überwacht. Die entsprechenden Dosisfeststellungen werden im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz personenbezogen zusammengeführt. Mit Hilfe des Strahlenschutzregisters kann die Einhaltung von Dosisgrenzwerten bei beruflicher Strahlenexposition überwacht werden.

FRASCH et al. (2006) geben im Bericht des Strahlenschutzregisters an, dass 2004 die Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen ca. 314.000 betrug mit einem Jahresmittelwert für diese exponierten Personen von 0,81 mSv (entsprechen 4 % des Grenzwerts der Jahresdosis von 20 mSv). Rückgängig war der Anteil an exponierten Personen mit Jahresdosiswerten über 20 mSv. Die Anzahl sank auf mehr als die Hälfte der Personen (FRASCH et al. 2006).



## 2.2.7 Biologische Strahlenfolgen

Der Ausgangspunkt aller biologischen Strahlenschäden ist eine Veränderung der DNS-Moleküle im Zellkern. Ein großer Anteil der durch eine Bestrahlung erzeugten Veränderungen an der DNS kann von den Zellen repariert werden. Diejenigen Schäden, die nicht oder falsch repariert werden, können zweierlei Folgen für die Zelle haben. Zum einen kann die betroffene Zelle ihre Fähigkeit zur Zellteilung verlieren, so dass sie anschließend zugrunde geht. Zum anderen kann eine Zelle trotz Veränderung ihrer Erbinformation sich weiter teilen und damit die veränderten Eigenschaften auf ihre Nachkommen übertragen. Man spricht dann von einer Transformation oder Mutation der betreffenden Zelle (JUNG 1995).

### 2.2.7.1 Stochastische und deterministische Strahlenwirkungen

Sowohl der Zelltod als auch die Mutation ziehen für den Menschen völlig unterschiedliche Arten von Strahlenrisiken nach sich. Die Zellabtötung führt zu den **deterministischen Strahlenschäden** (ICRP). Das Absterben von Zellen ist ein natürlicher Prozess. Der Organismus reguliert ein Fließgleichgewicht von Zellerneuerung und Zelltod in praktisch allen Geweben. Eine strahleninduzierte Erhöhung der Zellsterberate führt daher nur dann zu einem Schaden in dem bestrahlten Gewebe, wenn die Anzahl der durch Strahlung abgetöteten Zellen relativ groß ist, das heißt wenn eine Schwellendosis überschritten wird (JUNG 1995). Die Dosischwelle hängt dabei von der Gewebeart, der Dosisleistung, der Strahlungsart, der biologischen Wirksamkeit dieser Strahlung und einer Reihe weiterer Parameter wie z. B. dem Zeitmuster der Exposition ab (FRITZ-NIGGLI 1991). Unterhalb der Dosischwellen sind deterministische Schäden nicht feststellbar. Oberhalb der Schwellendosis nimmt die Schwere des Strahlenschadens mit steigender Dosis zu. Die deterministischen Strahlenwirkungen können zu vorübergehenden oder zu andauernden Veränderungen von Gewebestrukturen und ihrer Funktion führen. Die Wirkungen können prompt einsetzen oder erst nach einer Latenzzeit von vielen Jahren bis Jahrzehnten manifest werden. Alle Wirkungen können zur langfristigen Beeinträchtigung der Lebensqualität sowie in schweren Fällen zum Tod des Individuums führen (KRIEGER 2004).

Einige Beispiele für deterministische Strahlenschäden sind die akuten Schäden, wie das Erythem und die akute Strahlenkrankheit, die nicht kanzerösen Spätschäden, wie fibrotische Gewebeveränderungen, Trübung der Augenlinse (Katarakt), vorübergehende oder dauernde Sterilität sowie die meisten teratogenen Schäden nach Bestrahlung in utero (JUNG 1995).

**Stochastische Strahlenschäden** gehen auf nicht zellletale Schädigungen des Erbgutes einzelner Zellen zurück. Diese Veränderungen am Erbgut können zum Ausgangspunkt einer malignen Entartung bei Körperzellen oder zu einer Mutation in der Keimbahn werden.

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten mutagener Ereignisse unterliegt den Regeln der Statistik, so dass auch bei sehr kleinen Dosen eine endliche, wenn auch geringe Wahrscheinlichkeit für einen Strahlenschaden besteht bzw. unterstellt wird. Es wird deshalb angenommen, dass für stochastische Schäden keine Schwellendosis existiert, unterhalb derer stochastische Wirkungen ausbleiben (KRIEGER 2004).

Stochastische Prozesse geschehen nach dem Zufallsprinzip. Entweder tritt ein Ereignis ein oder nicht. Dosisabhängig ist die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens, nicht der Schweregrad. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von stochastischen Prozessen zu (SAUER 1996; TEMPEL u. ZALLINGER 1998). Eine Erhöhung der Dosis führt nicht zu dramatischeren Mutationen oder bösartigeren Tumoren, sondern diese Veränderungen treten mit größerer Häufigkeit auf.

Die gesundheitlichen Risiken in der Röntgendiagnostik beruhen (außer bei unbeabsichtigten Überexpositionen) ausschließlich auf den stochastischen Strahlenschäden (JUNG 1995).

Stochastische Schäden können Krebserkrankungen, vererbare genetische Defekte oder Schäden an der Leibesfrucht sein. Zur Abschätzung der stochastischen Risiken dienen vor allem die Daten der überlebenden Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki. Die Wahrscheinlichkeiten für diese Risiken werden durch Risikokoeffizienten ausgedrückt, die üblicherweise pro Einheit der Effektiven Dosis angegeben werden.

Das Risiko für die Induktion einer letalen Krebserkrankung durch Strahlenexposition mit niedriger Dosisleistung (z.B. Röntgendiagnostik) beträgt im Mittel für alle Krebsarten 5 % pro Sv. Bei hoher Dosisleistung ist es wegen des linear-quadratischen Dosiswirkungsverlaufes etwa doppelt so hoch. Es beträgt also ca. 10 % pro Sv. Das strahleninduzierte Krebsmorbiditätsrisiko liegt bei niedriger Dosisleistung bei 6 % pro Sv (KRIEGER 2004; SAUER 1996).

Durch ionisierende Strahlung ausgelöste hereditäre, also vererbare Schäden sind beim Menschen nicht bewiesen. Sie werden aus Extrapolationen aus Tiermodellen jedoch erwartet und ihre Existenz deshalb aus Sicherheitsgründen und wegen der eventuell langwierigen Folgen für das menschliche Erbgut unterstellt.

Die Wahrscheinlichkeit für schwere genetische Schäden beim Menschen wird zu 1 % pro Sv angenommen, von denen je 0,15 % pro Sv in Form dominanter Schäden in der ersten und der zweiten Folgegeneration auftreten.

### 2.2.7.2 Spezielle Organtoxizität

Auf ionisierende Strahlen reagieren die verschiedenen Gewebe unterschiedlich stark. Man spricht von **spezieller Organtoxizität** bzw. **Organsensibilität**. Selbst innerhalb desselben Organs laufen unterschiedliche Prozesse in den Geweben ab. BERGONIE und TRIBONDEAU stellten bereits 1906 das Gesetz auf, dass die Strahlenempfindlichkeit einer Zelle direkt proportional zu ihrer Teilungsrate und umgekehrt proportional zu ihrer funktionellen und morphologischen Differenzierung ist. Am meisten gefährdet sind somit Gewebe, deren Stammzellen und reife Endzellen strahlenempfindlich sind (wie das lymphatische System). An zweiter Stelle stehen Organe mit sensiblen Stammzellen und relativ unempfindlichen Endzellen, wie die Hoden und das Knochenmark. Die Zellsysteme mit kurzlebigen Endzellen (z. B. Dünndarmepithel, Knochenmark) brechen ebenfalls rasch nach Strahlenexposition zusammen. Gefährdet sind Systeme, die sich nicht mehr erneuern können, wie die Oozyten im reifen Ovar (SAUER 1996).

Die ICRP (ICRP Publikation 60) versucht durch die von ihnen festgelegten Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  zur Ermittlung der Effektiven Dosis  $E$  der Organdosen, die spezielle Organsensibilität zu berücksichtigen.

Bis heute war man der Auffassung, dass die Strahlensensibilität der einzelnen Abschnitte des Nervensystems recht unterschiedlich ist. Von der ICRP ist das Gehirn mit dem Gewebewichtungsfaktor  $w_T$  0,05 für andere Gewebe und Organe zusammengefasst und damit als ein nicht besonders empfindliches Organ gegenüber ionisierenden Strahlen eingestuft. SAUER (1996) stuft das Nervensystem gegenüber ionisierenden Strahlen ebenfalls als ein spät reagierendes Gewebe mit guter Erholungsfähigkeit ein. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse bei der Untersuchung der Aufräumarbeiter und Katastrophenhelfer von Tschernobyl zeigen, dass die geistige Gesundheit der Bevölkerung ein bedeutendes Problem darstellen kann.

Organische Gehirnschäden, Schizophrenie und neuropsychiatrische Störungen sind vermehrt bei diesen Opfern festgestellt worden (DERSEE 2005). Diese Veränderungen betreffen bevorzugt die linke Hirnhälfte. Die Empfindlichkeit des Nervengewebes gegenüber ionisierenden Strahlen, besonders im Bezug auf Spätschäden, ist somit nicht vollständig geklärt.

## 2.3 Gesetzliche Grundlagen

Die EURATOM erlässt regelmäßig Grundnormen, die nach dem neusten Stand von Wissenschaft und Technik, Mindestvoraussetzungen für den Strahlenschutz formulieren. Die Staaten der Europäischen Gemeinschaft müssen diese Normen in der Regel innerhalb von zwei Jahren in nationales Recht umsetzen.

Dabei stützt sich die EURATOM auf die Empfehlungen der ICRP, die selbst keine gesetzgebende Vollmachten ausübt (HARTUNG 2002). Die ICRP ist ein Gremium, in dem die Vertreter der nationalen radiologischen Gesellschaften neutrale Empfehlungen für die Strahlenschutzgebung erarbeiten, welche auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen (LAUBENBERGER u. LAUBENBERGER 1999). Die ICRU hingegen legt z. B. die Dosisseinheiten der Strahlen fest.

Das nationale Gesetz für die Bundesrepublik Deutschland stellt das Atomgesetz (AtG) dar, welches nach EURATOM geschaffen wurde und unter anderem den Umgang mit ionisierenden Strahlen regelt. Es ist für die praktische Anwendung nicht geeignet und stellt eine Rahmenrechtsverordnung dar. Für die praktische Anwendung der Strahlenschutzmaßnahmen werden Rechtsverordnungen, wie die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und die Röntgenverordnung erlassen (HARTUNG 2002).

Die Röntgenverordnung enthält für den Bereich der Röntgeneinrichtungen und Störstrahler (= Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden) die wesentlichen Schutzbestimmungen. Sie steht damit gleichrangig neben der Strahlenschutzverordnung, die gleichartige Schutzbestimmungen für den Bereich der radioaktiven Stoffe und der ionisierenden Strahlen enthält.

### **2.3.1 Röntgenverordnung**

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen 1895 war zunächst der Umgang mit Röntengeräten gesetzlich nicht geregelt. Man bemerkte jedoch relativ schnell, dass diese Strahlen in lebendem Gewebe biologische Wirkungen hervorriefen und einige Zeit später Radiologen an den Folgen ihrer beruflichen Strahlenbelastung starben. Es kam häufig zu Tumorerkrankungen und zu Erkrankungen des blutbildenden Systems (Leukämie, Anämien). Die ersten Berichte und Warnungen über die biologischen Auswirkungen im Umgang mit ionisierenden Strahlen erschienen erst in den 20iger Jahren (HARTUNG u. TELLHELM 2000).

Fast achtzig Jahre nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen trat in der Bundesrepublik Deutschland am 01.09.1973 die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (RöV) in Kraft, die den Strahlenschutz im Tätigkeitsbereich aller Personen, die mit Röntgenstrahlen arbeiten, regeln sollte. Diese Verordnung wurde am 08.01.1987 novelliert und trat anschließend am 01.01.1988 in Kraft. Im Laufe der Jahre (18.05.1989, 03.04.1990, 19.12.1990, 02.08.1994) kam es immer wieder zu Änderungen der Verordnung. Es wurden besonders Änderungen in den höchstzulässigen Dosen (Grenzwerte), an den Gewebewichtungsfaktoren  $w_T$  und in der Fachkunde des Betreibers vorgenommen.

Am 01.07.2002 ist die Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung sowie anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002 in Kraft getreten und als Neufassung vom 30.04.2003 veröffentlicht worden. Mit dieser Änderung, an der seit Jahren gearbeitet wurde, werden Richtlinien von EURATOM aus den Jahren 1996 (96/29) und 1997 (97/43) in das deutsche Recht umgesetzt. Diese Richtlinien basieren auf langjährigen Analysen umfangreicher Daten zur Wirkung kleiner Strahlendosen. Im Ergebnis wird festgestellt, dass es notwendig ist, die Risiken für stochastische Strahlenwirkungen (z.B. kanzerogene Strahlenfolgen) höher zu bewerten (LUDEWIG 2002).

Die **Neufassung der Röntgenverordnung vom 30.04.2003** bringt einige wesentliche Veränderungen mit sich, die hier zusammengefasst dargestellt werden.

Die Verordnung gilt für Röntgeneinrichtungen, bei denen die Energie zur Beschleunigung der Elektronen zwischen 5 keV und 1 MeV (1973 zwischen 5 keV und 3 MeV) liegt. Die Paragraphen §§ 2 a-c wurden neu eingeführt. Hier hebt die Verordnung hervor, dass jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten ist.

Eine Röntgenuntersuchung von Tieren in Anwesenheit von Menschen (Tierhalter, Personal, etc.) ist nur gerechtfertigt, wenn aufgrund der Anamnese, Klinik und Befunde anderer Untersuchungen und nur durch die Anwendung ionisierender Strahlung Krankheitserscheinungen oder Verdachtsmomente mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erfasst oder geklärt werden können. Die Indikation der Untersuchung muss also nachvollziehbar sein. Die Röntgenuntersuchung muss so durchgeführt werden, dass durch die Nutzung geeigneter technischer Voraussetzungen und einer adäquaten Einstelltechnik eine optimale Bildqualität erzielt wird. Aufnahmen, die aus technischen Gründen nicht für die Bildanalyse verwendbar sind, stellen demnach eine nicht gerechtfertigte Strahlenexposition für den Menschen dar (LUDEWIG 2002).

Jede tierärztliche Praxis, die ein Röntgengerät betreibt, muss nachweisen, dass genügend Personal vorhanden ist, welches über die entsprechende **Fachkunde** verfügt. Der Praxisinhaber als Strahlenschutzverantwortlicher oder die von ihm bestellten Strahlenschutzbeauftragten müssen über eine entsprechende Qualifikation verfügen. Tierärzte oder Tierärzthelferinnen dürfen die Röntgenuntersuchung technisch durchführen, wenn sie unter unmittelbarer Aufsicht einer fachkundigen Person stehen und sie zudem über **Fachkenntnisse im Strahlenschutz** verfügen. Die Fachkunde wird erworben durch die Approbation, die Sachkunde (Nachweis praktischer Erfahrung) und durch die Teilnahme an einem anerkannten Strahlenschutzgrundkurs. Die Fachkunde gilt dann jeweils für die Dauer von fünf Jahren. Sie muss durch die erfolgreiche Teilnahme an einem Wiederholungskurs aktualisiert werden (§ 18 a).

Es galten Übergangsvorschriften für den erneuten Nachweis der Fachkunde (§ 45) von zwei Jahren (bis 01.07.2004) für diejenigen, die vor 1973 die Fachkunde erworben haben, von drei Jahren (bis 01.07.2005) für diejenigen, die von 1973 bis 1987 die Fachkunde erworben haben und von fünf Jahren (bis zum 01.07.2007) für diejenigen, die nach 1987 die Fachkunde erworben haben (LUDEWIG 2002).

Die Voraussetzung für die Zulassung eines Röntgengerätes für den anzeigepflichtigen Betrieb sind der Nachweis der Fachkunde des Strahlenschutzverantwortlichen bzw. Strahlenschutzbeauftragten, ein Sachverständigengutachten und die Bauartzulassung bzw. die Zulassung des Gerätes nach Medizinproduktegesetz. Das Sachverständigengutachten muss mindestens alle fünf Jahre erneuert werden (§ 18).

Strahlenschutzbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Jahr eine definierte Dosis erhalten können. Je nach Höhe der möglichen Strahlenexposition wird zwischen Überwachungs- und Kontrollbereichen unterschieden (§ 19). Weit reichende Auflagen der Verordnung beziehen sich auf den Kontrollbereich, der ein dosisdefinierter Bereich ist. Der Grenzwert für den Kontrollbereich wurde 2002 von >15 mSv/Jahr auf >6 mSv/Jahr deutlich reduziert. Die Personen, die im Kontrollbereich tätig werden dürfen, sind genau definiert (§ 22). Neben beruflich strahlenexponierten Personen darf der Tierhalter im Kontrollbereich tätig werden, wenn er unter Aufsicht einer fachkundigen Person steht. Nach wie vor ist Jugendlichen unter 18 Jahren der Zutritt zum Kontrollbereich zu Ausbildungszwecken gestattet. Die Einschränkung, dass Jugendliche unter 18 Jahren generell nicht im Kontrollbereich tätig werden dürfen, wird in der Neufassung der RöV (2003) nicht berücksichtigt.

Das bisherige absolute Zutrittsverbot für Schwangere zu Kontrollbereichen ist unter gewissen Auflagen aufgehoben. Der fachkundige Strahlenschutzverantwortliche (-beauftragte) muss dies ausdrücklich gestatten und durch geeignete Überwachungsmaßnahmen sicherstellen, dass der besondere Dosisgrenzwert eingehalten und dies dokumentiert wird. Schwangeren Frauen darf der Zutritt zu Kontrollbereichen als Tierhalterin nicht gestattet werden.

Dem Schutz von Personen im Kontrollbereich dienen das Tragen von Schutzkleidung, bauliche und technische Einrichtungen sowie entsprechende betriebliche Regelungen zu Arbeitsabläufen (§ 20). Der Tierhalter muss vor der Untersuchung über mögliche Gefahren aufgeklärt werden. Über diese Unterrichtung ist ein Protokoll anzufertigen, das vom Tierhalter unterschrieben werden muss (§ 36). Der Röntgenraum ist als ein allseitig umschlossener Raum definiert. Abweichend davon darf eine Röntgeneinrichtung zur Untersuchung außerhalb des Röntgenraumes betrieben werden, „wenn der Zustand (...) des zu untersuchenden Tieres oder dessen Größe dies zwingend erfordert“ (§ 20).

Der Röntgenraum kann außerhalb der Zeit, in der Röntgenuntersuchungen durchgeführt werden, anderweitig (z. B. als Behandlungsraum) genutzt werden.

Beruflich strahlenexponierte Personen werden in die Kategorie A und B unterteilt. Bei beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A kann die jährliche Effektive Ganzkörperdosis über 6 mSv liegen. Die Organdosis an der Augenlinse kann 45 mSv, an Haut, Händen, Unterarmen, Füßen oder Knöcheln 500 mSv betragen.

Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B sind Personen, bei denen im Kalenderjahr die Effektive Ganzkörperdosis über 1 mSv liegen kann oder höhere Organdosen als 15 mSv an der Augenlinse oder als 50 mSv an Haut, Händen, Unterarmen, Füßen und Knöcheln ermittelt werden können, ohne in die Kategorie A zu fallen. Die Grenzwerte (Tab. 2.2) der beruflichen Strahlenbelastung sind deutlich reduziert worden (§§ 31, 31 a, 31 b) im Vergleich zu der Röntgenverordnung von 1973.

**Tab. 2. 2: Jährliche Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A und der Bevölkerung 1973 und 2003.**

	Beruflich strahlenexponierte Personen Kat. A RÖV 1973 [mSv/a]	Beruflich strahlenexponierte Personen Kat. A RÖV 2003 [mSv/a]	Bevölkerung, Personen < 18 Jahren RÖV 2003 [mSv/a]
Effektive Dosis (Ganzkörper)	50	20	1
Augenlinse	150	150	15
Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	500	500	50 (nur für die Haut)
Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark	50	50	Keine Angabe
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300	300	Keine Angabe
Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre	150	150	Keine Angabe
Berufslebensdosis	Keine Angabe	400	Keine Angabe

Die Verordnung macht eine Einschränkung für gebärfähige Frauen. Die über einen Monat kumulierte Dosis der Gebärmutter darf den Grenzwert von 2 mSv nicht überschreiten. Für ein ungeborenes Kind, das auf Grund der Beschäftigung der Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, darf die Äquivalentdosis vom Zeitpunkt der Mitteilung der Schwangerschaft bis zu deren Ende den Grenzwert von 1 mSv nicht überschreiten.

Dabei gilt als Äquivalentdosis des ungeborenen Kindes die Organdosis der Gebärmutter der schwangeren Frau (§ 31a (4)). Um die Einhaltung der Grenzwerte sicherzustellen, ist prinzipiell bei allen Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, die Körperdosis zu ermitteln. Für die Durchführung ist der Strahlenschutzverantwortliche oder sein Beauftragter zuständig. Bei beruflich strahlenexponierten Personen erfolgt die Messung mit einem amtlichen Dosimeter (zur Zeit das Filmdosimeter), das unter der Schutzkleidung am Rumpf getragen wird.

Weitere Dosimeter können von der Aufsicht vorgeschrieben werden (z. B. Fingerringdosimeter). Die Auslesung der Dosimeter durch eine amtliche Messstelle erfolgt in der Regel monatlich. Die Dosen der Tierhalter müssen ermittelt werden. Das Ergebnis der Dosisermittlung beim Tierhalter ist zu protokollieren (§ 35).

Nach § 36 muss eine Unterweisung beruflich strahlenexponierter Personen über Arbeitsmethoden, mögliche Gefährdungen, Sicherheits- und Schutzmaßnahmen, wesentliche Inhalte der RöV und über Regelungen, die die Anzeige bzw. Genehmigung betreffen, vor dem erstmaligen Zutritt zum Kontrollbereich durchgeführt werden. Sie muss mindestens einmal pro Jahr wiederholt werden. Auszubildende und Studenten werden beruflich strahlenexponierten Personen gleichgestellt. Diese Belehrung ist auch durchzuführen, wenn außerhalb des Röntgenraumes Untersuchungen durchgeführt werden. Über die Unterweisung sind Aufzeichnungen anzufertigen, die von den belehrten Personen unterschrieben werden müssen. Diese Aufzeichnungen sind fünf Jahre lang aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen. Der § 37 schreibt vor, dass beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A vor Aufnahme der Tätigkeit und danach einmal jährlich von einem ermächtigten Arzt im Sinne der arbeitsmedizinischen Vorsorge untersucht werden müssen. Eine Beschäftigung bzw. Weiterbeschäftigung bedarf der Feststellung, dass hierfür keine gesundheitlichen Bedenken bestehen. Für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B kann die Behörde nach § 37 Maßnahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge anordnen (LUDEWIG 2002).

## **2.4 Praktischer Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik**

Unter Strahlenschutz versteht man alle Maßnahmen, welche die Strahlenbelastung für beruflich strahlenexponierte Personen bzw. für die Gesamtbevölkerung herabsetzen können (WIESNER u. RIBBECK 2000). Die Grundlage aller Strahlenschutzüberlegungen sollte die Erkenntnis sein, dass keine noch so geringe Dosis ohne biologische Wirkung bleibt (HARTUNG u. TELLHELM 2000).

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen 1895 begannen Mitte der 20iger Jahre die internationalen Bestrebungen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes (HOLTHUSEN 1960), die sich bis heute fortgesetzt haben.



Die Änderungen in der Röntgenverordnung in der Neufassung vom 30.04.2003 vor allen Dingen im Bezug auf die Grenzwertreduzierung der beruflichen Strahlenbelastung und das hervorheben der drei Grundpfeiler „Rechtfertigung“, „Begrenzung“ und „Minimierung“ bei der Strahlenanwendung durch den Einschub der § 2 a-c, sind ein aktueller Beitrag zur Verbesserung des Strahlenschutzes auch im Bereich der veterinärmedizinischen Radiologie. Die ICRP empfiehlt nach dem ALARA-Prinzip (**as low as reasonably achievable**) auch unterhalb der zulässigen Grenzwerte die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Das Tragen der erforderlichen Schutzkleidung im angemessenen Rahmen, die Verwendung einer Sedation bei nicht kooperativen Patienten, der Einsatz von mechanischen Kassettenhaltern, die Einblendung des Zentralstrahls auf das zu untersuchende Objekt/Organ, die Einhaltung des Abstandes vom Direktstrahl zum Patienten, die Auswahl von Verstärkerfolien und die Wahl von korrekten Belichtungszeiten werden als Grundsätze des praktischen Strahlenschutzes in der Literatur beschrieben.

Das bei doppeltem Abstand von der Strahlenquelle die Intensität nur noch ein Viertel beträgt (KRIEGER 2004) nach dem Abstandsquadratgesetz (Intensität der Dosis nimmt umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes ab), ist bei jeder Strahlenexposition zu berücksichtigen.

HARTUNG (2001) zitiert VEALL (Radiobiologe, 1919-1991), der schon vor vielen Jahren formulierte, dass im Strahlenschutz ein Gramm Gehirn mehr wiegt als eine Tonne Abschirmblei. Dadurch, dass eine Exposition mit Röntgenstrahlen mit unseren Sinnesorganen nicht bzw. sichtbare Schäden zeitlich erst später wahrzunehmen sind, kommt es auch bei veterinärmedizinischem Personal zu einem sorglosen Umgang mit Röntgengeräten (HARTUNG 1992).

Aus diesem Grund waren und sind Mediziner, Wissenschaftler und Forscher über die Jahre national und international an Strahlendosismessungen in der Veterinärmedizin sehr interessiert, um die tatsächliche Strahlenbelastung des veterinärmedizinischen Personals bei Röntgenuntersuchungen zu erfassen.

## **2.5 Strahlendosismessungen in der Veterinärmedizin**

Die ersten Veröffentlichungen zu Dosismessungen in Tierarztpraxen kamen von ABRAHAMS et al. (1957) und SULLIVAN et al. (1957). ABRAHAMS et al. (1957) schätzten bei ihrer Untersuchung von Tierärzten aus New York mittels Ionisationskammer die wöchentliche Exposition auf mindestens 100 mR (= 1 mSv) bei 10,5 % der Probanden. SULLIVAN et al. (1957) führten ihre Dosismessung mittels Filmplakette durch. Sie gaben eine Dosis von mehr als 500 mR (= 5 mSv) pro Monat bei 16,1 % der untersuchten Tierärzte an.

TRAINOR et al. (1960) schätzten mittels Filmplaketten in 12 australischen veterinärmedizinischen Röntgenbetrieben die Strahlenexposition. Sie stellten fest, dass bei durchschnittlich zwanzig Aufnahmen pro Woche in einigen Fällen das Personal von dem doppelten der zulässigen Dosis getroffen wurde. Als Grund nannten sie die manuelle Fixierung der Patienten ohne entsprechende Schutzkleidung bzw. das Röntgen ohne jegliche Schutzkleidung.

1961 führte MEHRKENS mit einem Radiameter eine Strahlenschutzmessung am Pferd durch. Die Messwerte wurden als Dosisleistung in Röntgen pro Stunde dargestellt.

So hatte man erstmalig die Möglichkeit durch Umrechnungen die Strahlenbelastung für eine einzelne Exposition anzugeben. MEHRKENS (1961) gab an, dass bei einer Kopfaufnahme des Pferdes in zwei Metern Abstand vom Objekt auf der der Röhre zugekehrten Seite mit Dosen von 0,07 Röntgen pro Stunde (= 0,7 mSv/h) zu rechnen ist. Bei einer Thoraxaufnahme des Pferdes wurde eine Dosis von 0,15 Röntgen pro Stunde (= 1,5 mSv/h) bei gleicher Position gemessen.

Bei der Röntgenuntersuchung der Pferdeextremität sowohl im Primär- als auch im Streustrahlenbereich führten TAVERNOR u. VAUGHAN (1962) Dosismessungen mittels Filmplaketten durch. Die Beschreibung der Röntgenuntersuchung ähnelt der heute nahezu standardisierten Strahlbeinaufnahme nach Oxspring. Pro Aufnahme ermittelten sie im Primärstrahl Dosiswerte bis zu 260 mR (= 2,6 mSv) und im Streustrahlenbereich 0,2 - 3,5 mR (= 2  $\mu$ Sv – 35  $\mu$ Sv).

HARTUNG et al. (1968) bezeichneten die Angabe Röntgen pro Stunde in der Studie von MEHRKENS (1961) als unpraktisch. Der interessierte Praktiker könnte erst durch umständliches Rechnen die Belastung durch eine einzelne oder eine Reihe von Aufnahmen feststellen. Außerdem kritisierten sie bei MEHRKENS (1961) Studie, dass wichtige Details der Aufnahmetechnik unbeschrieben blieben (z. B. Kassettengröße, Raster) und sich die gemessenen Werte schlecht auf die eigenen Röntgenuntersuchungen übertragen ließen. Deshalb führten HARTUNG et al. (1968) eine Studie zur Bestimmung der Streustrahlendosen bei Röntgenuntersuchungen des Pferdes mit Hilfe eines Universaldosimeters mit Kondensatorkammer der Firma PHILLIPS durch. Gemessen wurden stets vor der Schutzkleidung die Ganz- und Teilkörperdosen am „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ am Kopf des Pferdes bei fünf häufig durchgeführten Röntgenuntersuchungen (Hufbein, Fesselgelenk, Sprunggelenk, Knie, Oberkiefer) des Pferdes. Die Ganzkörperdosis des „Schützen“ lag bei den fünf Aufnahmetechniken zwischen 0,1 und 0,5 mR (= 1  $\mu$ Sv – 5  $\mu$ Sv) pro Röntgenbild. Die Ganzkörperdosis des „Kassettenhalters“ lag zwischen 0,25 und 3,4 mR (= 2,5  $\mu$ Sv – 34  $\mu$ Sv), die Dosis an der Hand zwischen 0,6 und 9,2 mR (= 6  $\mu$ Sv – 92  $\mu$ Sv) und die Dosis am Fuß zwischen 0,35 und 0,9 mR (= 3,5  $\mu$ Sv – 9  $\mu$ Sv) pro Röntgenbild.

Die Einzeldosiswerte der Hand von 3,55 mR (= 35,5  $\mu$ Sv) und 9,2 mR (= 92  $\mu$ Sv) wurden bei Fixierung der Kassette hinter dem Objekt ohne die Verwendung eines mechanischen Kassettenhalters bei einer latero-lateralen Oberkiefer- bzw. Knieröntgenaufnahme erhalten. Die Ganzkörperdosis des „Pfleger“ betrug bei den fünf Aufnahmetechniken 0,05 (= 0,5  $\mu$ Sv) bis 0,45 mR (= 4,5  $\mu$ Sv) und die Dosis an der Hand zwischen 0,1 bis 1,9 mR (= 1  $\mu$ Sv – 19  $\mu$ Sv) pro Röntgenbild. Sie stellten fest, dass der „Kassettenhalter“ der größten Strahlenbelastung ausgesetzt ist und die Ganzkörperdosen des „Schützen“ und des „Pfleger“ ähnlich sind.

Eine weitere Studie folgte von HARTUNG 1970, wobei er Dosismessungen mittels Filmplaketten in zehn Kleintierpraxen in Berlin durchführte. Er stellte erhebliche Dosisüberschreitungen fest. Die Untersuchung mittels der Durchleuchtung überwog in sechs Tierarztpraxen.

Ebenfalls 1970 ermittelte O'RIORDAN einen Dosiswert mittels Filmplaketten von 35 mrd (= 0,35 mSv) unter Verwendung von 65 kV und 8 mAs im Primärstrahlenbereich im Abstand von einem Meter von der Röntgenröhre. Bei gleicher Belichtungseinstellung sowie Verwendung eines Wasserphantoms zur Erzeugung von Streustrahlung im vertikalen Strahlengang, erhielt O'RIORDAN (1970) auf dem Röntgentisch eine Dosis von etwa 1 mrd (= 10  $\mu$ Sv).

ROTHE (1977) untersuchte 1976 die Strahlenexposition an verschiedenen Punkten der Körperoberfläche der Haltepersonen am Pferd mit Hilfe von Thermolumineszenzdetektoren. Seine Messungen erfolgten über den Zeitraum von 2 Monaten, in denen die Personendosis beim Halten von 319 Großtieren gemessen wurde. Die errechnete mittlere Dosis betrug für die Gonaden 0,35 +/- 0,36 mR/Patient (= 3,5 +/- 3,6  $\mu$ Sv/Patient), für die Augen 0,85 +/- 0,46 mR/Patient (= 8,5 +/- 4,6  $\mu$ Sv/Patient) und für den Rücken 0,73 +/- 0,19 mR/Patient (= 7,3 +/- 1,9  $\mu$ Sv/Patient). Die Messungen an den Händen führte er unter den Bleihandschuhen durch. Es wurde keine Handdosis über der unteren Nachweisgrenze gemessen. Die Messungen wurden von allen Standorten (Kassette, Kopf, Auslöser) zusammengefasst angegeben.

Nach TEMPEL (1983) wurde bei Röntgenaufnahmen unter praxisüblichen Bedingungen am Objekt im Nutzstrahlenbündel bzw. außerhalb des ungeschwächten Primärstrahlenbündels im Untersuchungsbereich Dosen von 2 bis 3 mSv bzw. 0,02 bis 0,05 mSv/Aufnahme gemessen. Bei manueller Fixierung der Kassette sind außerhalb der Bleihandschuhe im Abstand von 50 bis 100 cm von der Strahlenquelle Dosen von 1  $\mu$ Sv bis 0,4 mSv und unter ungünstigen Voraussetzungen solche bis zu 2 mSv ermittelt worden. Innerhalb der Bleihandschuhe traten Dosen bis zu 14  $\mu$ Sv pro Aufnahme auf.

HORVAT (1986) ermittelte im Rahmen seiner Dissertationsarbeit einzelne Dosismesswerte bei Röntgenaufnahmen des Pferdes mit Hilfe einer Ionisationskammer mit Gasverstärkung.

Für verschiedene Röntgenuntersuchungen gab sie die technischen Daten und die Dosiswerte für bestimmte Trageorte an. Den höchsten Wert von 4,2 mR (= 42  $\mu$ Sv) ermittelte sie bei der Aufnahme eines Pferdebeckens am Haltepunkt der Hinterextremität am Oberarm des Pflegers. HORVAT (1986) kam zu dem Schluss, dass die Streustrahlung, die vom Patient ausgeht, bei vertikalem Einfall des Nutzstrahlenbündels in horizontaler Richtung am geringsten ist, mit steigendem Winkel zunimmt und in vertikaler Richtung am größten ist.

ACKERMANN et al. (1988) bestimmten die Strahlenexposition am Hals der an der Röntgenuntersuchung des Pferdes beteiligten Personen unter Verwendung von Füllhalterdosimetern. Die durchschnittliche Dosisbelastung pro Röntgenuntersuchung betrug 0 bis 6 mrd (= 60  $\mu$ Sv).

Bei einer Untersuchung von 118 Tiermedizinerinnen aus Nordamerika führten MORITZ et al. 1989 eine Strahlendosismessung mittels Filmdosimeter durch. Bei 17 % der untersuchten Personen überstieg die Strahlendosis 0,15 mSv pro Monat. Die Messungen wurden auf Hüfthöhe unter der Bleischürze, sofern eine getragen wurde, durchgeführt. Die höchste Ganzkörperdosis betrug 0,442 mSv pro Vierteljahr.

In einer Studie bei verschiedenen Aufnahmen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes von HARTUNG u. MÜNZER (1991) wurden an der ungeschützten Hand des „Kassettenhalters“, die sich zeitweilig im Primärstrahlenbereich befand, Dosiswerte zwischen 1,8 und 2,6 mSv pro Exposition ermittelt. Bei diesen Expositionen wäre nach der Röntgenverordnung von 1987 die höchst zugelassene Dosis von 500 mSv pro Jahr, d. h. etwa 40 mSv pro Monat, bei beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A, für die Hände schon nach etwa 20 Aufnahmen pro Monat erreicht.

GSTETTNER (1995) ermittelte 1991 bis 1993 in ihrer Dissertationsarbeit die Strahlenexposition der bei Röntgenuntersuchungen von Pferden anwesenden Personen. Sie verzichtete bei ihren Messungen auf die Erfassung der Strahlenexposition des „Schützen“, in der Annahme, dass die Exposition hinter dem Röntgengerät in 70 cm vom Objekt zu vernachlässigen sei. Als Dosimetrieverfahren wählte sie Filmplaketen- und Fingerringdosimeter. GSTETTNER (1995) befestigte die Dosimeter am „Kassettenhalter“ und am „Pfleger“ an der Stirn, an der Brust unter der Bleischürze, an beiden Händen, an den Schultern, an den Armen sowie an den Füßen. Bei 1137 überwachten Personen ergab sich eine mittlere Dosis von 0,0485 mSv pro Person und Jahr. Sie stellte zu keinem Zeitpunkt Dosisüberschreitungen fest und meinte, dass bei strahlenschutzgerechter Arbeitsweise keine deterministischen Schäden zu erwarten seien und die stochastischen Wirkungen sich auf sehr niedrigem Niveau belaufen würden.

1999 führte VÖSTER Dosismessungen unter praxisüblichen Bedingungen und unter Einhaltung strahlenschutztechnischer Vorgaben mit Hilfe einer Ionisationskammer, individuell für jede Routineröntgenaufnahme durch. Sie ermittelte ungefähr 1500 Dosiswerte.

Situationsabhängig wurden zehn Messwerte der Strahlenbelastung pro Messort (Gonaden, Schilddrüse, Hand und/oder Fuß) und pro Aufnahmeeinstellung an allen beteiligten Personen bestimmt. Die Messorte wurden anhand für die Strahlenexposition repräsentativer Stellen der Körperoberfläche gewählt. Die Messungen wurden vor dem Bleischutz durchgeführt. Besondere Aufmerksamkeit galt der Strahlenbelastung bei Röntgenaufnahmen mit Durchstrahlung großer Volumina wie Kopf, Hals, Wirbelsäule, Schulter, Ellbogen, Thorax, Abdomen, Becken und Knie. VÖSTER (1999) folgerte aus ihren Untersuchungen, dass vom durchstrahlten Volumen die Streustrahlung nach allen Seiten und mit einem kegelförmigen Maximum in Richtung Röntgenröhre reflektiert wurde. Die Divergenz des Streustrahlenkegels breitete sich mit zunehmendem Abstand von der Streustrahlenquelle aus. Die diesem reflektierten Streustrahlenkegel nahe stehenden Personen waren der größten Strahlenbelastung ausgesetzt. Befand sich um das durchstrahlte Volumen herum Masse, so wurde die darin entstehende Streustrahlung zu einem großen Teil vom umgebenden Gewebe absorbiert. Nur die entstehende Streustrahlung an der Oberfläche dieses Volumenelements wurde mit einem kegelförmigen Maximum in Richtung der Röntgenröhre reflektiert (VÖSTER 1999).

NÖLKER u. UELTSCHI (2001) bestimmten die Strahlenexposition des Untersuchungspersonals bei veterinärmedizinischen Röntgenuntersuchungen unter Einsatz des C-Bogen-Bildverstärkers mittels eines transportablen Ionisationskammer-Dosimeters. Die Untersuchungen wurden an drei Gewichtgruppen von euthanasierten Hunden (3 kg, 10 kg, 30 kg) im Thorax-, Abdominal- und am Extremitätenbereich durchgeführt. Die dabei entstandene Streustrahlenexposition wurde am untersuchenden Tierarzt an der Hand, am Hals, Genitalbereich ungeschützt und Genitalbereich hinter einer Bleischürze (0,35 mmPb) gemessen. Anschließend wurde in mehreren Tierarztpraxen und Tierkliniken die tatsächliche Durchleuchtungszeit bei C-Bogen Röntgenuntersuchungen bestimmt. NÖLKER u. UELTSCHI (2001) gaben an, dass für die Hand, strahlenschutzgerechtes Verhalten vorausgesetzt, ab einer Durchleuchtungszeit von etwa 16 h pro Monat mit einer Überschreitung des gesetzlichen Höchstwertes von 500 mSv/Jahr zu rechnen war. Für den Hals/Augenbereich war der Grenzwert von 150 mSv bereits schon nach 8 h pro Monat erreicht. Der mittels einer 0,35 mmPb Bleischürze geschützte Genitalbereich war nicht in Gefahr einer Grenzwertüberschreitung. Eine Grenzwertüberschreitung (50 mSv/Jahr) beim vorschriftswidrigen Röntgen ohne Bleischürze wäre im Gonadenbereich ab 4 h/Monat erreicht. NÖLKER u. UELTSCHI (2001) sind der Auffassung, dass die sehr stark streuenden Untersuchungszeiten eine Verallgemeinerung im Sinne eines Anhaltswertes, z. B. wie viele Abdominaldurchleuchtungen pro Monat zulässig sind, nicht zuließen.

Im Rahmen einer Dissertationsarbeit ermittelte KOERT 2004 die mögliche Dosisreduktion durch Einsatz von Speicherfolien der digitalen Lumineszenzradiographie im Vergleich zu den konventionellen Film-Folien-Systemen für ausgewählte veterinärradiologische Anwendungen. Die Ortsdosis im Röntgenraum wurde mit einer Ionisationskammer gemessen, um mit Hilfe der Daten Aussagen zur möglichen Dosiseinsparung für das Untersuchungspersonal zu formulieren. Als Streukörper wurden ein Phantom sowie verschieden große Hunde und Katzen eingesetzt. Die Strahlenmessung erfolgte an definierten Punkten im Raum. Aufgrund der Proportionalität zwischen dem verwendeten mAs-Produkt und der gemessenen Dosis konnte die Ortsdosis unter Ausnutzung des Dosiseinsparpotentials rechnerisch ermittelt werden. Laut KOERT (2004) konnte durch Einsatz der DLR bei Röntgenuntersuchungen an Hunden das erforderliche mAs-Produkt von 4 auf 3,2 gesenkt werden, was ein Dosiseinsparpotential von 20 % ergab. Bei den Röntgenuntersuchungen der Katzen konnte das erforderliche mAs-Produkt von 8 auf 2,5 reduziert werden mit einem Dosiseinsparpotential von 68,75 %. Die gemessene Ortsdosis veränderte sich entsprechend dem Dosiseinsparpotential um 20 bzw. 68,75 %. Die Dosiswerte wurden mit zunehmendem Abstand zum Nutzstrahlenbündel geringer. In Höhe des Streukörpers folgte die Dosisabnahme dem Abstandsquadratgesetz. Die Ortsdosis unterhalb der Ebene des Röntgentisches war im Vergleich zu den anderen Messhöhen niedriger. Es kam teilweise zu einer Absorption der Streustrahlung durch den Röntgentisch. In Kopfhöhe wurden vergleichsweise höhere Werte gemessen. Wenn sich zwischen Nutzstrahlenbündel und Messort unbestrahlte Körperteile befanden, war die Dosis in Längsrichtung des Tisches geringer (KOERT 2004).

2006 machten STEYN u. UHRIG (2006) eine Untersuchung zur Rolle der Bleischürzen zur Reduktion der Strahlenbelastung während der Durchführung von Knochenszintigraphien beim Pferd. Sie gaben an, dass die Strahlenbelastung des Personals bei jeder Entfernung und an jeder Lokalisation signifikant durch das Tragen von Bleischürzen verringert wurde. Die Strahlenbelastung lag sofort nach der Injektion von  $^{99m}\text{Tc}$  ohne Bleischürze zwischen 93 und 187 mSv/h auf der Hautoberfläche, zwischen 39 und 59 mSv/h bei 30 cm Entfernung und zwischen 19 und 23 mSv/h bei 100 cm Entfernung von der Hautoberfläche. Durch die Benutzung einer Bleischürze reduzierten sich diese Werte auf 17–32 mSv/h (Hautoberfläche), 10-13 mSv/h (30 cm Entfernung) und 5-7 mSv/h (100 cm Entfernung). Ähnliche Ergebnisse wurden 2 bis 4 Stunden nach Injektion gemessen. Personen, die sich direkt nach der Injektion 50 cm vom Pferd entfernt befanden, wurden mit 50 mSv/h belastet. STEYN u. UHRIG (2006) sind der Auffassung, dass wenn eine Person 50 Wochen im Jahr jede Woche zwei Stunden dieser Strahlenbelastung ausgesetzt würde, läge die jährliche Strahlendosis bei 5 mSv.

In Kliniken, wo jede Woche an 10 oder mehr Pferden eine Szintigraphie durchgeführt würde, läge die Belastung eher bei 50 mSv, weshalb das Tragen von Bleischürzen bei Szintigraphien Pflicht sein müsste.

NIEHAUS et al. (2006) führten eine Studie zur Bestimmung der Strahlenexposition des Tierhalters bei Röntgenuntersuchungen von Hunden und Katzen durch. Die Strahlenexposition des Tierhalters wurde in Relation zur Tierart, Körpergröße und Indikation gesetzt. Die Dosismessungen fanden bei den routinemäßigen digitalen Lumineszenzradiographien der Klinik für Kleintiere an der tierärztlichen Hochschule Hannover statt. NIEHAUS et al. (2006) verwendeten bei Ihren Messungen Thermolumineszenzdosimeter (TLD-100H), die auf Höhe der Augenlinse, Schilddrüse, Brust, Gonaden, Füße und an beiden Händen vor der Bleischürze positioniert wurden. Jeweils ein Dosimeter wurde auf Höhe der Brust und auf Höhe der Gonaden unter der Bleischürze platziert. Die TLD's wurden mit einem Harshaw/Thermo 5500 TLD nach jeder Röntgenuntersuchung ausgelesen. Die genauen Daten bezüglich der Röntgenröhreneinstellung (kV, mAs), der gewählten Kassettengröße und das Gewicht des Patienten wurden notiert. Die Autoren gaben Äquivalentdosen von 0 bis 52  $\mu$ Sv pro Röntgenaufnahme für den Tierhalter an, wobei die gemessenen Dosiswerte unter der Bleischürze unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Nachweisbare Äquivalentdosen wurden an der Augenlinse und Schilddrüse sowie an den Händen gemessen. Die höchsten Äquivalentdosen in der Regel an den Händen der Tierhalter konnten bei den Röntgenuntersuchungen des Thorax, Abdomen, Hüfte und der Schulter bestimmt werden. Die höchste Äquivalentdosis von 52  $\mu$ Sv an der rechten Hand eines Tierhalters wurde bei der Thoraxuntersuchung eines Hundes (30-40 kg) gemessen. Bei den Röntgenuntersuchungen der Extremitäten von Hund und Katze (Körpergewicht <10 kg) betrug die Strahlenexposition an allen Trageorten nie mehr als 5  $\mu$ Sv. Äquivalentdosen über 10  $\mu$ Sv traten an den Händen der Tierhalter während den Untersuchungen von Thorax und Schulter der kleinen Hunde auf. Da die Tierhalter außerhalb der Gruppe der strahlenexponierten Personen stehen und somit nicht der behördlichen Überwachung durch Dosimeter verpflichtet sind, empfehlen die Autoren, hier besonders auf eine korrekte Aufklärung und Unterweisung durch das anwesende qualifizierte Personal zu achten.

2005 bestimmten MARTSCHEI et al. (2005) in einer Studie die Strahlenexposition des Personals bei Röntgenuntersuchungen des Pferdes. Für ihre Messungen verwendeten sie Thermolumineszenzdosimeter (TLD-100H), die nach jeder Exposition mit einem Harshaw/Thermo 5500 TLD ausgelesen werden konnten. Die Messungen wurden bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen der Klinik für Pferde an der Tierärztlichen Hochschule Hannover durchgeführt. Die Röntgenbilder wurden digital entwickelt.

Die Dosimeter wurden an sieben verschiedenen Stellen am Körper der Probanden vor und hinter dem Bleischutz (Bleischürze und Bleihandschuhe mit 0,5 mmPb) positioniert. Gemessen wurde nur bei bestimmten Röntgenuntersuchungen des Pferdes (Thorax, Kopf, Tarsus, Zehe). Die Autoren unterschieden bei den Probanden zwischen dem geschulten Personal und den Laien (z. T. Besitzer der Tiere). Es wurden genaue Angaben über die verwendeten technischen Daten (kV, mAs, Kassettengröße) gemacht. Die durchschnittliche Äquivalentdosis betrug 0 bis 26  $\mu\text{Sv}$  pro Röntgenaufnahme. Die höchste Dosis wurde bei der Röntgenuntersuchung des Pferdekopfes verzeichnet.

Zusammengefasst konnten die Autoren feststellen, dass die gemessenen Dosen bei dem ungeschulten Hilfspersonal (Laien) deutlich höher lagen, als bei dem professionellen Personal. Die Strahlenexposition bei den Röntgenuntersuchungen der Zehe und des Tarsus betrug weniger als 1  $\mu\text{Sv}$ . Bei den Projektionen mit höherer kV-Zahl waren die Strahlenexpositionen deutlich höher als bei den Aufnahmen der distalen Gliedmaße. Bei der Untersuchung des Pferdekopfes traten Äquivalentdosen beim „Kassettenhalter“ von 179  $\mu\text{Sv}$  an der Augenlinse, 578  $\mu\text{Sv}$  am Oberarm und 2,6  $\mu\text{Sv}$  an der Hand mit Bleihandschuhen auf. Bei dem Halter des Pferdes wurden Äquivalentdosen von 16  $\mu\text{Sv}$  (Augenlinse), 19  $\mu\text{Sv}$  (Oberarm) und 61  $\mu\text{Sv}$  (Hand ohne Bleihandschuhe) gemessen. Die Äquivalentdosen für die Thoraxaufnahmen für den „Kassettenhalter“ betrugen 3,3  $\mu\text{Sv}$  für die Augenlinse, 2,9  $\mu\text{Sv}$  am Oberarm und 3,0  $\mu\text{Sv}$  an der Hand. Für den Halter des Pferdes traten Äquivalentdosen bei den Thoraxaufnahmen von 7,8  $\mu\text{Sv}$  (Augenlinse), 10,6  $\mu\text{Sv}$  (Oberarm) und 10,5  $\mu\text{Sv}$  (Hand) auf. Unter der Bleischürze wurden Äquivalentdosen auf Höhe der Brust von 0,4  $\mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Gonaden von 0,1  $\mu\text{Sv}$  gemessen. Aufgrund ihrer Untersuchung halten MARTSCHEI et al. (2005) das Tragen von einer Bleischutzbrille als empfehlenswert, um die Strahlenexposition am Auge bzw. an der Linse zu minimieren.



## 3 Eigene Untersuchungen

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Dosimetrierte Personen

Sowohl in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin als auch bei drei niedergelassenen Tierärzten, die im folgenden mit NGT-1, NGT-2 und NGT-3 abgekürzt werden, wurden bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes die Strahlenexposition des Personals mit Hilfe elektronischer Personendosimeter ermittelt. Es wurde die Strahlenexposition des „**Schützen**“, d. h. die Person (Tierarzt, Tierarztshelfer/in oder technisches Personal), die für die Ausrichtung und Auslösung der Röntgenröhre verantwortlich ist, bestimmt. Dosimetriert wurde der „**Kassettenhalter**“, der für die Ausrichtung der Kasette zur Röntgenröhre mittels manueller Fixierung oder durch zu Hilfenahme eines mechanischen Kassettenhalters zuständig ist. Ebenso wurde die Person, die am Kopf des Pferdes steht und das Pferd bei der Röntgenuntersuchung festhält, mit einem Dosimeter überwacht. In der Regel handelte es sich um einen angestellten „**Pfleger**“ oder technisches Personal bzw. Tierarztshelfer/in. In seltenen Fällen wurde das Pferd bei niedergelassenen Tierärzten von dem Besitzer selbst festgehalten. In diesen Fällen wurden die Besitzer ebenfalls dosimetriert. Für die Messungen am Tierkörperphantom stand eine Schaufensterpuppe zur Verfügung, die die Person des „Kassettenhalters“ und des „Pflegers“ nachstellte.

#### 3.1.2 Dosismessungen

##### 3.1.2.1 Dosismessungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin

Die Messung der Körperdosen des an der Röntgendiagnostik beteiligten Personals in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin wurden 8 Monate während des Klinikalltags und den dabei anfallenden Röntgenuntersuchungen des Pferdes durchgeführt. Es wurden alle anfallenden Röntgenuntersuchungen an Pferden unterschiedlicher Rassen, Geschlecht, Alter und Größe mit in die Dosismessungen einbezogen. Bei 42 unterschiedlichen Röntgenuntersuchungen und 594 Röntgenaufnahmen konnte die Strahlenexposition des anwesenden Personals untersucht und bei der Auswertung 6974 Dosismesswerte berücksichtigt werden.

### **3.1.2.2 Dosismessungen beim NGT-1**

In einem Zeitraum von vier Wochen wurden beim NGT-1 Dosismessungen an den Personen durchgeführt, die bei der Erstellung der Röntgenbilder anwesend waren. Es gab bei der Erhebung der Dosismesswerte keine Ausschlusskriterien. Bei 19 verschiedenen Röntgenuntersuchungen mit 276 Röntgenaufnahmen wurde die Strahlenexposition des Personals mittels 2874 berücksichtigter Dosismesswerte bestimmt.

### **3.1.2.3 Dosismessungen beim NGT-2**

Beim NGT-2 wurden drei Wochen Körperdosismessungen an den bei der routinemäßigen Anfertigung der Röntgenaufnahmen des Pferdes beteiligten Personen durchgeführt. Bei der Messung der Körperdosen gab es ebenso keine Ausschlusskriterien. Bei 41 Röntgenuntersuchungen und 1330 Röntgenaufnahmen wurden bei dem Personal 14835 Dosiswerte erfasst.

### **3.1.2.4 Dosismessungen beim NGT-3**

Drei Wochen wurden bei dem NGT-3 Dosismessungen an den bei der Erstellung von Röntgenaufnahmen des Pferdes anwesenden Personen durchgeführt. Auf Ausschlusskriterien bezüglich der Röntgenuntersuchungen und der Pferde wurde verzichtet. Bei 35 unterschiedlichen Röntgenuntersuchungen und 229 Röntgenaufnahmen konnten 2871 Dosismessungen bei dem Personal ermittelt werden.

### **3.1.2.5 Dosismessungen bei Röntgenuntersuchungen am Tierkörperphantom**

In der Klinik für Pferde der FU Berlin wurden repräsentativ an einer Schaufensterpuppe Dosismessungen bei Röntgenuntersuchungen am Tierkörperphantom (TKP) durchgeführt. Es wurden Röntgenaufnahmen der Gliedmaßen und des Kopfes angefertigt und die entstandene Streustrahlung exemplarisch an einer Schaufensterpuppe ermittelt. Die Tierkörperpräparate stammten von Pferden, die in der Klinik für Pferde der FU Berlin entweder aus zwingendem Grund euthanasiert oder als Frischpräparate von einem Schlachthof zur Verfügung gestellt wurden. Für weitere Dosismessungen bei ausgewählten Röntgenuntersuchungen stand ein 500 kg schwerer Traber der Klinik für Pferde der FU Berlin zur Verfügung. Für die Ermittlung dieser Dosiswerte stand ebenfalls die Schaufensterpuppe zur Verfügung.

### 3.1.3 Dosimetrieverfahren

In dieser Studie kamen folgende Dosimeter zum Einsatz:

#### 3.1.3.1 ComDos EDM-III als APD-light System (Fa. DOSILAB)

Das ComDos EDM-III als APD-light System der Fa. DOSILAB (vorm. COMET; Köniz, Schweiz) ist ein elektronisches Personendosimeter mit zwei integrierten Siliziumdetektoren zur Messung der ionisierenden Strahlung. In Abhängigkeit von der Art (Gamma- oder Betastrahlung), der Energie und der Intensität der einfallenden Strahlung liefert jeder der Detektoren unterschiedliche Signale. Die Ausgangssignale jedes Detektors werden zur Berechnung und Anzeige von der Tiefen- und Oberflächen-Personendosis sowie der Dosisleistung im Dosimeter ausgewertet. Das Dosimeter EDM-III hat eine Abmessung von 59 mm x 99 mm x 16 mm mit einem Gewicht von 100 g und ist nach Bedarf mit einem Trageklipp zu kombinieren. Es besteht die Möglichkeit das Gerät individuell an der Kleidung zu befestigen. Beim Anbringen des Dosimeters muss darauf geachtet werden, dass die gelbe Vorderseite mit den integrierten Siliziumdetektoren immer zur Streustrahlenquelle gerichtet getragen wird.



**Abb. 3. 1: Elektronisches Personendosimetersystem (Fa. DOSILAB)**

Das elektronische Personendosimeter ist für Photonenstrahlung (Gamma- und Röntgenstrahlung) im Bereich von 20 keV bis zu 1,5 MeV und für Beta-Strahlung im Bereich von 60 keV bis 6 MeV nach Standard der IEC-61526 (2005-02) mit einer Strahleneinfallrichtung von 0° bis +/- 60° empfindlich. Für die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 10 mm (Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$ ) ist ein Messbereich von 1  $\mu$ Sv bis 1 Sv angegeben. Die Dosisanzeige und –speicherung beträgt 1  $\mu$ Sv bis 10 Sv und die Auflösung der Dosisanzeige erfolgt mit 1  $\mu$ Sv. Die Dosisleistungsanzeige reicht von 1  $\mu$ Sv/h bis 1 Sv/h mit einer Auflösung von 1  $\mu$ Sv/h. Der Messfehler des Gerätes wird vom Hersteller bis 1 Sv/h mit  $\pm 10$  % angegeben. Die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 0,07 mm (Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$ ) wird angezeigt, aber ist wie die Dosisleistungsanzeige und die gespeicherten Messwerte nicht Bestandteil einer Eichung.

Das EPM-III berechnet sowohl die akkumulierte Dosis als auch die Dosisleistung für  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$ . Das EDM III erfüllt die Norm für direkt ablesbare Personendosimeter IEC-61526 vollständig. Dies wurde vom Paul Scherer Institut (PSI, Schweiz) nachgewiesen und bescheinigt. Die optimale Arbeitstemperatur liegt bei 5°C bis 40°C. Das EPD ist mit einer Alarmfunktion, die nach Wunsch konfiguriert werden kann, ausgestattet. Im Display sind alternierend die Personen-Tiefendosis, Personen-Oberflächendosis, Personen-Tiefendosisleistung, Personen-Oberflächendosisleistung, die zugeordnete Personenidentitätsnummer und ein Alarmhinweis ablesbar. Es wird mit einer aufladbaren Batterie betrieben. Aufgeladen werden können acht Dosimeter in einem Ladegerät (rack-charger). Das Ladegerät wird mit einem Netzstecker an den üblichen Hausstrom angeschlossen. Die Ladekapazität reicht für 16 Stunden und ist bereits nach fünf Stunden Aufladezeit vollständig erreicht. Sie kann in dem Display des EDM-III abgelesen werden (Kontrolllampe). Das Gerätesystem ist mit einer Software (ComDos) zu koppeln. Die Software ist anwendbar für Windows 2000 Professional und Windows XP Professional. Die Verbindung zwischen dem Ladegerät (Dosimeter) und einem Computer erfolgt mittels USB Adapter. Das Öffnen des Softwareprogramms ist mit einem Passwort geschützt. Das Dosimetriesystem verfügt über ein automatisiertes Datenübernahmesystem in eine SQL-basierte Datenbank mittels IrDA-Interface. Zur Identifizierung der übernommenen Daten werden die editierfähigen persönlichen Angaben des Trägers verwendet. Unter dem „User-Profil“ können Angaben zum Träger/Trageort, dessen bevorzugten Dosimetereinstellungen und seinen entsprechenden Alarmkategorien und Benutzerrechten gemacht werden. Diese können einem beliebigen Dosimeter zugeordnet werden. Eine zusätzliche Funktion besteht darin, dass Informationen des „User-Profiles“ auf elektronische Speichermedien wie I-Buttons übertragen werden können, die an entsprechenden Docking-Stationen ein schnelles Zuweisen eines Dosimeters zum Träger ermöglichen. Nach erfolgter Messung ist das Dosimeter in einen beliebigen freien Steckplatz der Ladestation zu setzen.

Der Datentransfer erfolgt automatisch. Die übertragenen Daten werden der zuvor gewählten „Person“ in der SQL-Datenbank angefügt. Alle editierten „Personen“ der Datenbank werden in einem „Root“-Verzeichnis geführt, welches das Anlegen von Organisationen, Departments oder auch Personen zum unterscheiden von verschiedenen Messaufgaben ermöglicht. Die Dosimeter sind in der Lage 50 Expositionen mit einer Integrationszeit von 60 sec. einzeln aufgeschlüsselt zu speichern. Danach beginnt eine Aufsummierung der Expositionen. Die gemessenen Daten sind schreibgeschützt und nicht veränderbar. Sie sind jederzeit wieder aufrufbar und können nicht gelöscht werden. Ein Entfernen von Personen aus den Unterordnern ist möglich, nicht aber ein vollständiges Löschen aus der Datenbank.

Für eine weitere Verarbeitung können die erfassten Werte in andere Programme (z. B. Excel) exportiert werden. Eine vollständige Auslesung und erneute Einsatzbereitschaft wird im PC-Fenster farblich dargestellt. Die elektronischen Personendosimeter der Fa. DOISLAB kamen bei den Messungen an der FU Berlin, bei den niedergelassenen Tierärzten und bei den Messungen am Tierkörperphantom zum Einsatz. Entsprechend dem Untersuchungsziel dieser Studie wurde allen Trägern, Trageorten und damit jedem Dosimeter die gleichen Dosimeter-Profile zugeordnet. Wesentlichster Parameter des Profils war die Aktivierung eines Datenaufzeichnungsmodus für Dosisbeträge oberhalb von  $1 \mu\text{Sv}$ . Weitere Funktionen wie ein Dosis-/Dosisleistungsalarm wurden deaktiviert.

### 3.1.3.2 EPD Mk 2 (Fa. THERMO ELECTRON)

Das EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen) misst und weist Beta- und Gammastrahlung nach. Es enthält drei Siliziumdioden-Detektoren. In Abhängigkeit von der Art (Gamma- oder Betastrahlung), Energie und Intensität der einfallenden Strahlung liefert jeder der Detektoren unterschiedliche Signale. Die Ausgangssignale jedes Detektors werden zur Berechnung und Anzeige von der Tiefen- und Oberflächen-Personendosis ( $H_p(10)$  bzw.  $H_p(0,07)$ ) sowie der Dosisleistung im Dosimeter ausgewertet. Die Energieversorgung erfolgt über eine Batterie. Das EPD wiegt 95 g und hat eine Abmessung von 86 mm x 62 mm x 18,5 mm.

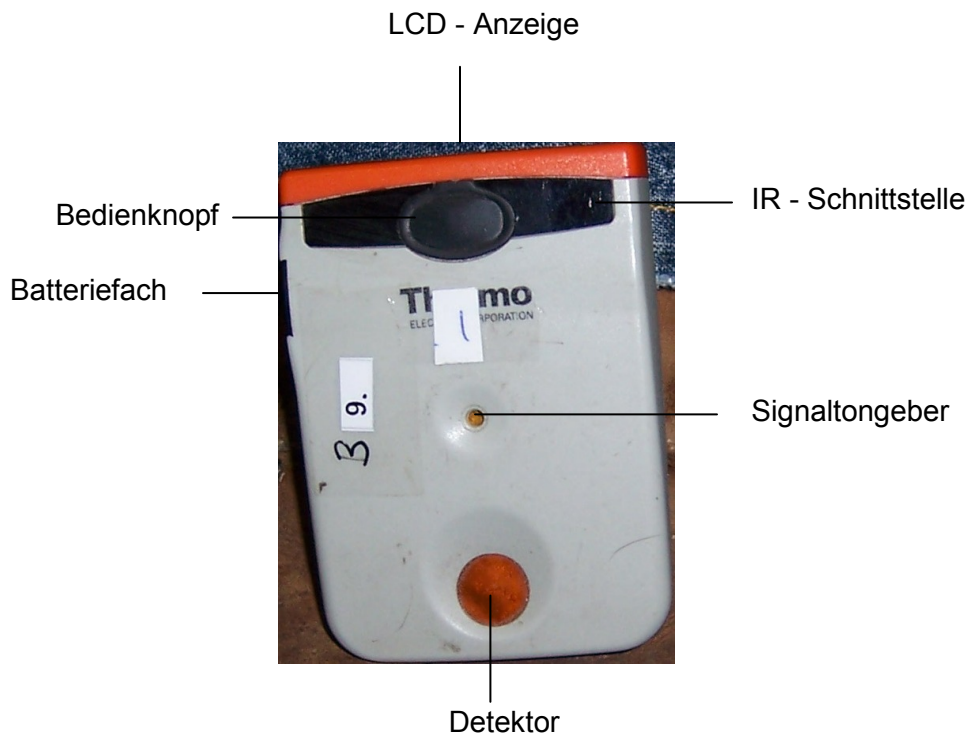


Abb. 3. 2: Elektronisches Personendosimeter (Fa. THERMO ELECTRON)

Es ist staubdicht und spritzwassergeschützt. Das Gerät übersteht kurzzeitiges Eintauchen in Wasser. Für ein längeres Eintauchen unter Druck ist es aber nicht ausgelegt. Die Fehler des Messbereichs, der Strahleneinfallrichtung und der Genauigkeit werden vom Hersteller bei Normalbedingungen von 20°C wie folgt angegeben:

**Energiebereich**

- Photonen $H_p(10)$	$\pm 50\%$ 15 keV bis 17 keV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )
	$\pm 20\%$ 17 keV bis 1,5 MeV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )
	$\pm 30\%$ 1,5 MeV bis 6 MeV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )
	$\pm 50\%$ 6 MeV bis 10 MeV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )
- Photonen $H_p(0,07)$	$\pm 30\%$ 20 keV bis 6 MeV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )
	$\pm 50\%$ 6 MeV bis 10 MeV (Ref. $^{137}\text{Cs}$ )

**Winkelbereich**

- $H_p(10)$ $^{137}\text{Cs}$	$\pm 20\%$ bis zu $\pm 75^\circ$
- $H_p(10)$ $^{241}\text{Am}$	$\pm 50\%$ bis zu $\pm 75^\circ$
- $H_p(0,07)$ $^{90}\text{Sr}$	$\pm 30\%$ bis zu $\pm 55^\circ$

**Genauigkeit**

- $H_p(10)$ $^{137}\text{Cs}$	$\pm 10\%$
- $H_p(0,07)$ $^{90}\text{Sr}$	$\pm 20\%$

Für den optimalen Betrieb des Gerätes ist eine Umgebungstemperatur von -10°C bis +40°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 10 % bis 90 % einzuhalten. Bei einem freien Fall aus 1,50 m Höhe auf Beton ist das EPD stabil. In Abhängigkeit von den Kundenanforderungen ist das Dosimeter mit einer Tragevorrichtung ausgestattet, welche aus einer Riemenhalterung und einem Federklipp besteht. Eine Befestigung des Gerätes an Kleidungsstücken wird damit ermöglicht. Die von den drei Silizium-Detektoren gemessenen Strahlungswerte werden zu Äquivalentdosen (gem. ICRU Dokument 47) kombiniert. Für die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 10 mm (Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$ ) wird ein Messbereich von 10  $\mu\text{Sv}$  bis 10 Sv angegeben (Bestandteil der Eichung). Die Dosisanzeige und -speicherung mit automatischem Messbereichswechsel beträgt 0  $\mu\text{Sv}$  bis > 16 Sv. Die Auflösung der Dosisanzeige erfolgt von 1  $\mu\text{Sv}$  bis zu 10 mSv. Die Dosisleistungsanzeige mit automatischem Messbereichswechsel beträgt 0  $\mu\text{Sv/h}$  bis > 4 Sv/h mit einer Auflösung von 1  $\mu\text{Sv/h}$ . Der Messfehler der **Dosisleistungslinearität** wird vom Hersteller bei Normalbedingungen von 20°C wie folgt angegeben:

- $H_p(10)$ $^{137}\text{Cs}$	$\pm 10\%$ < 0,5 Sv/h
	$\pm 20\%$ < 0,5 Sv/h bis 1 Sv/h
	$\pm 30\%$ 1 Sv/h bis 2 Sv/h
	$\pm 50\%$ 2 Sv/h bis 4 Sv/h

Die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 0,07 mm (Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$ ) wird angezeigt. Sie ist wie die Dosisleistungsanzeige und die gespeicherten Messwerte nicht Bestandteil einer Eichung.

Das EPD berechnet sowohl die akkumulierte Dosis als auch die akkumulierte Dosisleistung für  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$ . Die Daten werden in einem internen Speicher (EEPROM) im EPD gespeichert. Ein Bedienknopf am Gehäuse des EPD's erlaubt dem Benutzer, diese Daten aus dem Speicher abzurufen, eine Reihe von Anzeigen auszuwählen, Alarme zu bestätigen und andere Bedienfunktionen auszuüben. Die Daten werden für den Benutzer auf einer LCD-Anzeige auf der Oberseite des EPD angezeigt. Um den Datenverlust durch eventuellen Batterieausfall oder andere Fehler zu minimieren, werden die Daten alle 15 Minuten in einem Sicherheitsspeicher im EPD gespeichert. Die Daten können mit dem von THERMO ELECTRON bereitgestellten Programm EasyEPD2 mittels Infrarot-Datenübertragung gelesen, Messparameter zum Gerät geschrieben und die Daten für weitere Analysen exportiert werden.



**Abb. 3. 3: EPD MK 2 mit Infrarotstelle**

Die Dosis wird getrennt in drei Speichern akkumuliert: Dosis-, Gesamtdosis- und ADS (Amtliche Dosisauswertungsstelle)-Dosisspeicher. Die Verwendung von mehreren Speichern erlaubt es, die Dosis über unterschiedliche Zeiträume aufzunehmen. Der ADS-Dosisspeicher ist ein passwortgeschützter Speicher für Anwendungen in der amtlichen Dosimetrie. Die Speicherkapazität gestattet Aufzeichnungen von über 500 Werten mit einer Integrationszeit von 10 sec. Akustische Alarme können ausgelöst werden, wenn entweder die akkumulierte Dosis oder die Dosisleistung programmierte Alarmschwellen überschreiten. Die elektronischen Personendosimeter der Firma THERMO ELECTRON wurden bei den Messungen bei dem NGT-2 verwendet.



### 3.1.3.3 X-Ray-Gamma-Dosimeter RGD 27091 (Fa. STEP)

Das X-Ray-Gamma-Dosimeter RGD 27091 (Serien Nr. 9448006) der Fa. STEP (Pockau) ist eine offene Ionisationskammer mit einem Volumen von ca. 600 ccm und einer luftäquivalenten Wandflächenmasse von 35 mg/cm. Sie stellt ein tragbares und batteriebetriebenes Strahlungsmessgerät zur Messung der Photonen-Äquivalentdosis und der Photonen-Äquivalentdosisleistung dar.



**Abb. 3. 4: Ionisationskammer (Fa. STEP)**

Es lassen sich Messungen im Weichstrahlbereich (6 keV bis 100 keV) durch den Einsatz einer Wandverstärkungskappe und im Gebiet der Röntgen- und Gammastrahlung (20 keV bis 7,5 MeV) ohne die Wandverstärkungskappe in den Einheiten Sv bzw. Sv/h durchführen. Es sind drei Feinmessbereiche einstellbar (20, 200, 2000  $\mu$ Sv). Der Eichfehler beträgt max.  $\pm$  20% in allen Messbereichen unter Referenzbedingungen. Der Zusatzfehler liegt bei  $\pm$  10% durch die Energieabhängigkeit im Bereich von 15 keV bis 2 MeV. Die Richtungsabhängigkeit der Anzeige im Winkelbereich von  $\pm$  45° zur Sondenachse beträgt  $\pm$  5% und im Winkelbereich von  $\pm$  90° zur Sondenachse  $\pm$  10%.

Um gegebenenfalls Luftdruck- und Temperaturschwankungen zu eliminieren, ist das Dosimeter vor jeder Messreihe zu kalibrieren. Zur Kompensation der Offsetspannung des Verstärkers wird vor jeder Messreihe der Nullpunkt kontrolliert und korrigiert. Das Ablesen der Messwerte erfolgt nach jeder Exposition und wird entsprechend notiert.

Innerhalb der Studie wurde das X-Ray-Gamma-Dosimeter 27091 vor den Messungen durch die Fa. STEP einer Kalibrierung unterzogen. Die Ionisationskammer kam zur Messung der Strahlenexposition bei der Messreihe am Tierkörperphantom an der FU Berlin zum Einsatz.



#### 3.1.3.4 TLD Bauart XD-700 (LPS, Berlin)

Das TLD XD-700 der amtlichen Personendosismessstelle LPS (Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung, Berlin) mit der Messstellen-Bezeichnung LPS-TLD-TD 03 ist ein Thermolumineszenzdetektor für die Teilkörperdosimetrie der Hände, Fingerkuppen, Arme und Beine. Es wird eingesetzt zur Messung von Photonenstrahlung (Röntgen- und Gammastrahlung). Das Dosimeter ist eine quadratische TLD-Tablette aus Lithiumfluorid (LiF) mit einer Abmessung von 3,175 mm x 3,175 mm und einer Dicke von 0,381 mm. Die Messgröße ist die Photonenäquivalentdosis  $H_x$ . Nach erfolgter Energiekorrektur auf die Strahlenqualität und der Berücksichtigung der apparativen Filterung der Röntgeneinrichtung wird das Ergebnis durch die Messstelle als  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$  ausgegeben.

Der Gebrauchsbereich der Photonenenergie liegt bei 15 keV bis 3000 keV. Der Regeleinsatzbereich der TLD's liegt zwischen 0,1 mSv und 10.000 mSv. Über die genaue Strahleneinfallrichtung macht der Hersteller keine Angabe, aber am Trageort muss die TLD-Tablette in Richtung der Strahlenquelle getragen werden. Ein Messwertverlust entsteht durch Temperaturen  $>80^\circ\text{C}$ .

Ausgelesen werden können die Dosimeter mit einer automatischen Auswerteeinrichtung (TLD-Reader Modell: HARSHAW 6600 CD). Unter Laborbedingungen ist die Dosimetersonde bis zu 500-mal wieder verwendbar. Im realen Einzelfall beträgt die Wiederverwendbarkeit ca. 50-mal, wenn keine Einzelexposition von mehr als 75 mSv aufgetreten ist. Die Dosimetersonden dürfen jedoch nicht beschädigt oder verschmutzt sein. Ein wiederholtes Auslesen des Messwertes ist nicht möglich.

Die TLD XD-700 kamen bei den Messungen am Tierkörperphantom an der FU Berlin zum Einsatz. Sie wurden von der LPS (Berlin) in einem Sonderdosimetrieprogramm ausgelesen. Durch eine entsprechende Untergrundreduktion der durchgeführten Sonderdosimetrie konnte die Nachweisgrenze der TLD's in den Bereich von 20 bis 50  $\mu\text{Sv}$  abgesenkt werden.

### 3.1.4 Röntgentechnik und Strahlenschutzmaßnahmen

#### 3.1.4.1 Röntgentechnik in der Klinik für Pferde der FU Berlin

Die Röntgenuntersuchungen fanden in der Röntgenabteilung der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin statt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem fest installierten Röntgengerät der Fa. PHILIPS (Hamburg), Typ Super 100 CP erstellt. Das Gerät verfügt über eine 100 kW-Drehanodenröhre mit einer Röhrenspannung von 40 bis 150 keV und einem Röhrenstrom von 500 mA. Die Gesamtfilterung entspricht einer 2,5 mm Aluminium-Schicht. Je nach Größe des zu untersuchenden Objektes und Röntgenuntersuchung wurden Kassettenformate von 18 cm x 24 cm, 24 cm x 30 cm, 30 cm x 40 cm oder 40 cm x 40 cm gewählt. Es wurden Film-Folienkombinationen aus Seltenen Erden des Trimax-Systems mit unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren (T2, T6, T16) in Kombination mit grünempfindlichen Filmen der Fa. RETINA (Fototechnische Werke GmbH, Berlin Köpenick) Typ XOD benutzt. Dabei gehört die Trimax T2 Verstärkungsfolie zu dem feinzeichnenden Folientyp mit einer Systemempfindlichkeit von 100. Die Trimax T6 Verstärkungsfolie hingegen gehört zu dem universellen Folientyp mit einer Systemempfindlichkeit von 300. Die Trimax T16 Verstärkungsfolie ist eine hochverstärkende Folie mit einer Systemempfindlichkeit von 800. Es kamen drei verschiedene Rastertypen zum Einsatz:

- R 1 (XH 2754/03, F100, L 656, Ratio 10, 44/cm)
- R 2 (9860 836 90 101 AH 42, N 36 r 12 f 100)
- R 3 (Beweglich, XH 2662/12 F150, FFD 68, Ratio 7-60/1-24, E 4452)

Der Focus-Film-Abstand betrug 80 cm bis 100 cm. Verschiedene mechanische Kassettenhalter kamen zur Anwendung. Dabei handelte es sich um gebogene Vierkantleichtmetallstäbe, an die ein in der Höhe verstellbarer Metallrahmen befestigt war und in den die Kassette eingelegt wurde.

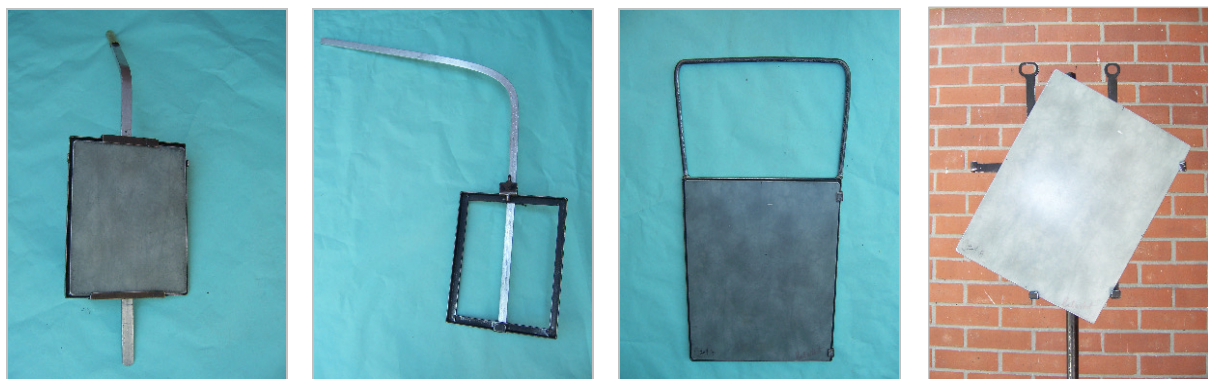


Abb. 3. 5: Mechanische Kassettenhalter in der Klinik für Pferde der FU Berlin.

Als Strahlenschutzmittel standen dem Personal ausreichend Bleischürzen mit einem Bleigleichwert von 0,25 bis 0,35 mm, Bleihandschuhe mit 0,25 mm und Schilddrüsenschutz mit einem Bleigleichwert von 0,5 mm der Fa. MAVIG (Berlin) zur Verfügung.

### **3.1.4.2 Röntgentechnik des NGT-1**

Die Röntgenuntersuchungen fanden im Röntgenraum des NGT-1 und bei Außenpraxisterminen im Stall der Pferde bzw. auf der Stallgasse statt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem transportablen Röntgengerät HF 80/15 Ultraleicht (Serien Nr. 25854, Baujahr: August 2002) der Fa. GIERTH International GmbH (Riesa) erstellt. Es ist ein Monoblockgerät mit Hochfrequenztechnik. Die Röntgenröhre ist vom Typ Superior SXR-80-14/1,0, die eine Röhrenspannung von 50 bis 80 kV (2-kV Stufen) und einen Röhrenstrom von 15 mA ermöglicht. Die Zeitwahl erfolgt digital und kann von 0,01 bis 2 Sekunden gewählt werden. Die Gesamtfilterung entspricht einer 2,7 mm Aluminium-Schicht. Der Brennfleck der Festanodenröhre beträgt 1 mm im Quadrat. Eine Netzanpassung erfolgt vollautomatisch und das HF 80/15 ist an jeder Schukosteckdose zu betreiben (Netz: 230 V; 50/60 Hz; 16 A). Die Möglichkeit einer Aufhängung des Gerätes an einem Stativ war nicht gegeben. Für alle Aufnahmen wurde das Röntgengerät mit den Händen des Schützen gehalten und positioniert. Die Röntgenaufnahmen wurden mittels der digitalen Speicherfolienradiographie angefertigt. Es kamen Speicherfolien des Typs ADCC MD plate, MD 30 Code 15 der Fa. AGFA (Köln) zum Einsatz, die mit einem ADC SOLO Auslesegerät der Fa. AGFA (Köln) verarbeitet wurden. Je nach Größe des zu untersuchenden Objektes und der Art der Röntgenuntersuchung wurden Kassettenformate von 18 cm x 24 cm, 24 cm x 30 cm, oder 35 cm x 43 cm gewählt. Der Focus-Film-Abstand variierte zwischen 60 cm bis 80 cm. Verschiedene mechanische Kassettenhalter standen für die Erstellung der Röntgenaufnahmen zur Verfügung. Dabei handelte es sich um gebogene Vierkantleichtmetallstäbe, an die ein in der Höhe verstellbarer Rahmen angeschraubt war und in den die Kassette eingelegt wurde. Dem Personal standen Bleischürzen (0,25 bis 0,35 mm Bleigleichwert), Bleihandschuhe und ein Schilddrüsenschutz zur Verfügung.

### 3.1.4.3 Röntgentechnik des NGT-2

Die Röntgenuntersuchungen fanden im Röntgenraum des NGT-2 und in den Stallungen der Tierklinik statt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem transportablen Röntgengerät (Mobil) PXP-40HF (Serien Nr. PT 400301008) der Fa. POSKOM erstellt. Es ist ein Gerät mit Hochfrequenztechnik. Die Röntgenröhre verfügt über eine Röhrenspannung von 40 bis 100 kV und einem Röhrenstrom von 20 bis 35 mA. Nach Herstellerangabe reicht die mAs Strecke von 0,4 bis 100 mAs. Die Gesamtfilterung entspricht einer 2,5 mm Aluminium-Schicht. Der Brennfleck der Festanodenröhre beträgt 1,2 mm im Quadrat. Eine Netzanpassung erfolgt vollautomatisch und das Gerät ist über jede Schukosteckdose zu betreiben (Netz: 220-240 V; 50/60 Hz; 16 A). Die Möglichkeit einer Aufhängung des Gerätes an einem Stativ war bei dem NGT-2 nicht gegeben. Für die Aufnahmen wurde dieses Röntgengerät von dem Schützen mit den Händen gehalten. Bei Röntgenuntersuchungen im Röntgenraum wurde das fest installierte Röntgengerät (Stationär), bestehend aus dem Röntgenstrahler mit einer Anodenröhre R302 F/A (Serien Nr. 067/4660) der Fa. RALCO und dem TITANOS 40s Generator, eingesetzt. Die maximale Leistung der Röhre beträgt 150 kV und 500 mA. Die Gesamtfilterung entspricht einer 2 mm Aluminium-Schicht. Der Brennfleck der Anodenröhre beträgt 1,2 mm im Quadrat.

Die Röntgenaufnahmen wurden mittels der digitalen Speicherfolienradiographie angefertigt. Es kamen Speicherfolien des Typs ADCC MD plate, MD 30 Code 15 der Fa. AGFA (Köln) zum Einsatz, die mit einem ADC COMPACT Auslesegerät der Fa. AGFA (Köln) verarbeitet wurden. Je nach Größe des zu untersuchenden Objektes und der Röntgenuntersuchung wurden Kassettenformate von 24 x 30 cm<sup>2</sup> oder 35 x 43 cm<sup>2</sup> gewählt. Der Focus-Film-Abstand variierte zwischen 60 cm bis 80 cm. Es kamen zwei Raster (R) unterschiedlicher Größe zum Einsatz. Verschiedene mechanische Kassettenhalter standen für die Erstellung der Röntgenaufnahmen zur Verfügung, die von den Angestellten des NGT-2 entwickelt worden sind. Als Strahlenschutzmittel standen dem Personal Bleischürzen (0,25 bis 0,35 mm Pb), Bleihandschuhe und ein Schilddrüsenschutz zur Verfügung.

#### **3.1.4.4 Röntgentechnik des NGT-3**

Die Röntgenuntersuchungen fanden im Röntgenraum des NGT-3 statt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem fest installierten Röntgensystem mit Drehanodenröhre angefertigt.

Aufgrund fehlender Beschriftung des sehr alten Gerätes konnte die Herstellerfirma nicht ermittelt werden. Die maximale Leistung der Röhre beträgt 150 kV und 500 mA. Die Gesamtfilterung entspricht einer 2,5 mm Aluminium-Schicht. Der verwendete Brennfleck der Röntgenröhre beträgt 1,2 mm im Quadrat.

Die Röntgenaufnahmen wurden mittels der digitalen Speicherfolienradiographie angefertigt. Es kamen Speicherfolien des Typs ADCC MD plate, MD 30 Code 15 der Fa. AGFA (Köln) zum Einsatz, die mit einem ADC SOLO Auslesegerät der Fa. AGFA (Köln) verarbeitet wurden. Je nach Größe des zu untersuchenden Objektes und Röntgenuntersuchung wurden Kassettenformate von 24 cm x 30 cm oder 35 cm x 43 cm gewählt. Der Focus-Film-Abstand variierte zwischen 80 cm bis 100 cm. Es kamen zwei Standraster (R 1) unterschiedlicher Größe und ein bewegliches Raster (R 2) zum Einsatz. Verschiedene mechanische Kassettenhalter standen für die Erstellung der Röntgenaufnahmen zur Verfügung, die von den Angestellten des NGT-3 entwickelt worden sind. Als Strahlenschutzmittel standen dem Personal Bleischürzen (0,25 bis 0,35 mmPb), Bleihandschuhe und Schilddrüsenschutz zur Verfügung.

#### **3.1.4.5 Röntgentechnik bei den Messungen am Tierkörperphantom**

Die Dosismessungen an der Schaufensterpuppe bei den Röntgenuntersuchungen am Tierkörperphantom fanden in der Röntgenabteilung der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin statt. Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem Röntgengerät der Fa. PHILIPS (Hamburg) Typ Super 100 CP der radiologischen Abteilung erstellt. Die technischen Daten und die Beschreibung der Röntgentechnik sind dem Kapitel 3.1.4.1 zu entnehmen.

## 3.2 Methode

### 3.2.1 Trageorte der Dosimeter

Die Dosimeter wurden in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei den niedergelassenen Tierärzten (NGT) am Körper bzw. an der Kleidung der dosimetrierten Personen angebracht. Um die Geräte vor einem unerwünschten Verlust zu schützen, wurden sie zusätzlich in Kombination mit dem Trageklipp der Dosimeter und Klebeband bzw. Gummibändern am Trageort befestigt. Die ausgewählten Strahlungsmessgeräte wurden für jede Röntgenaufnahme eines Pferdes beim „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ vor dem Bleischutz auf Höhe der Schilddrüse, der Gonaden und der Füße fixiert. Bei der Fixierung wurde darauf geachtet, dass das Personal in seiner Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt wurde. Unterhalb des Bleischutzes wurden die Dosimeter beim „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ auf Höhe der Gonaden positioniert.



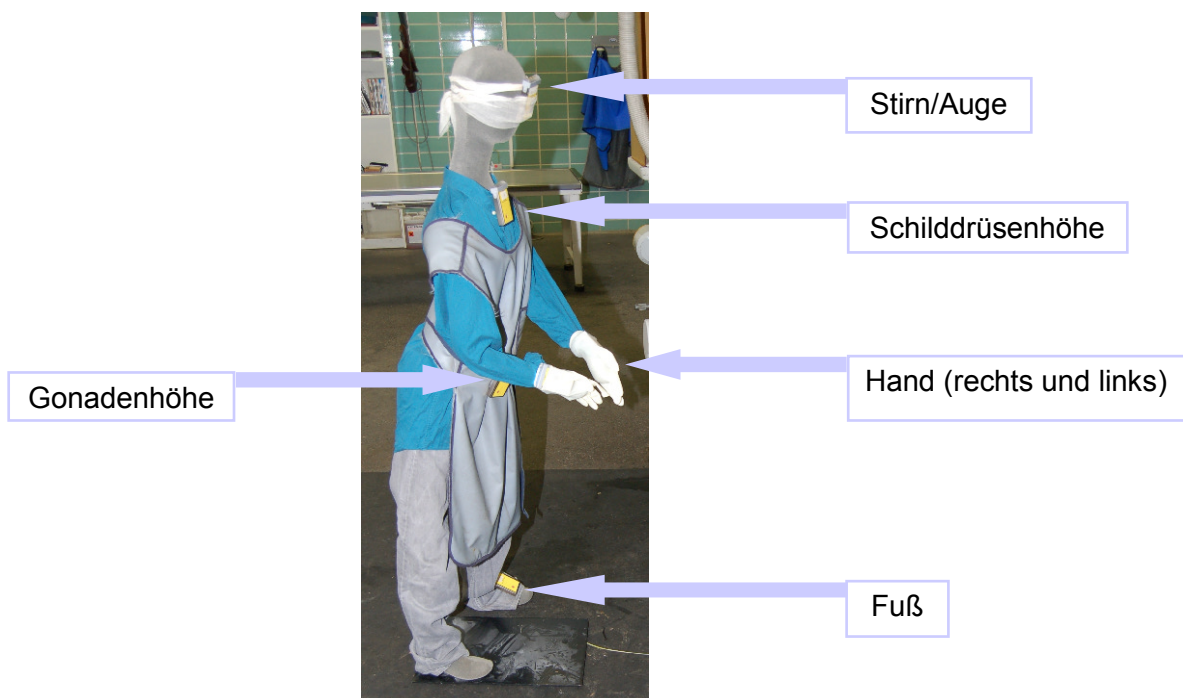
Abb. 3. 6: Trageorte der Dosimeter.

Da eine Fixierung der Geräte an der Hand zur Bestimmung der Handdosen im Verlauf einer röntgenologischen Untersuchung die Bewegungsfreiheit des Personals stark einschränkt, wurden die Dosimeter alternativ am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen angebracht.



**Abb. 3. 7: Dosimeter am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen.**

Bei den Messungen an der Schaufensterpuppe bei den Röntgenuntersuchungen am TKP wurden die Dosimeter ebenfalls auf Höhe der Schilddrüse, der Gonaden und an den Füßen vor dem Bleischutz befestigt. Zusätzlich wurden Dosimeter auf Höhe der Stirn bzw. der Augen und der linken und rechten Hand eingesetzt. Messungen unter dem Bleischutz wurden nicht durchgeführt.



**Abb. 3. 8: Trageorte der Dosimeter an der Schaufensterpuppe bei den Messungen am TKP.**



### 3.2.2 Standardisierung und Kategorisierung der Röntgenuntersuchungen

Vor Beginn der Dosismessungen wurden die Röntgenuntersuchungen des Pferdes anhand deutscher und englischer Literatur sowie einer Analyse der Röntgenuntersuchungen im Jahr 2005 in der Klinik für Pferde der FU Berlin standardisiert und kategorisiert. Die Kategorisierung der Röntgenuntersuchungen war die Grundlage für den Entwurf der Datenmasken. Im Rahmen der Kategorisierung der Röntgenuntersuchungen wurden die geometrische Anordnung und die Abstände zum untersuchenden Objekt der bei der Erstellung des Röntgenbildes beteiligten Personen erfasst. Für die Beschreibungen der angewandten Röntgenuntersuchungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei den niedergelassenen Tierärzten (NGT) wurde eine einheitliche Nomenklatur verwendet. ZELLER et al. (1975) sind der Auffassung, dass bei den Angaben über den Strahlengang sowohl die Eintritts- als auch die Austrittsseite des Zentralstrahles in der Reihenfolge des Strahlendurchtritts angegeben werden sollte. Die Autoren schreiben, dass es für die weitergehende Richtungsbestimmung empfehlenswert sei, eine Gradeinteilung vorzunehmen. An den Extremitäten beginnt die Gradeinteilung mit anterior nach posterior als  $0^\circ$  (bzw.  $360^\circ$ ) über latero-medial als  $90^\circ$ , von posterior nach anterior als  $180^\circ$  und medio-lateral als  $270^\circ$ . Nach ZELLER et al. würde jede Abweichung von den vier Grundrichtungen ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ) durch die Gradangabe bestimmt. Die Gradeinteilung bei Aufnahmen am Kopf, Hals und Rumpf beginnt bei der dorso-ventralen Richtung als  $0^\circ$  (bzw.  $360^\circ$ ) und geht im Uhrzeigersinn weiter um die Körperachse („dextro-sinister“ =  $90^\circ$ , „ventro-dorsal“ =  $180^\circ$ , „sinistro-dexter“ =  $270^\circ$ ). Die Gradeinteilungen sollten in Klammern an die Bezeichnung des Strahlenganges hinzugefügt werden.

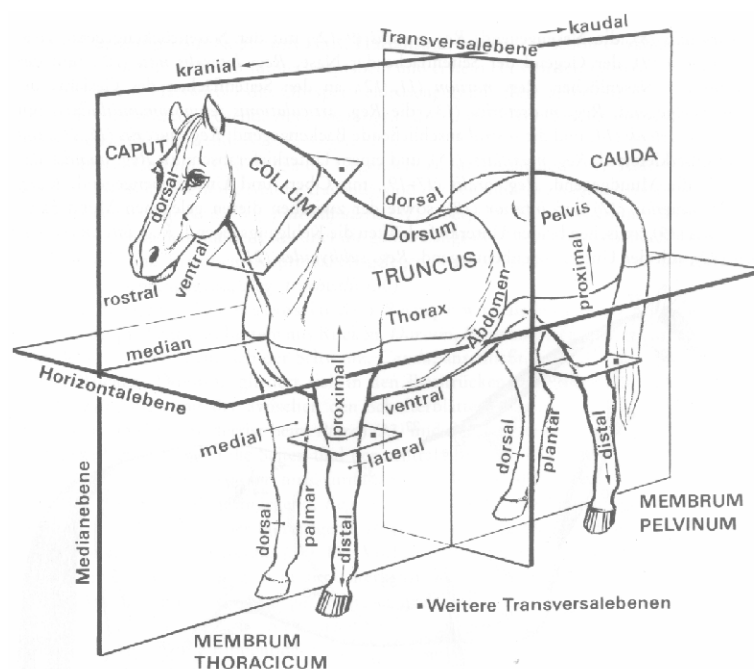
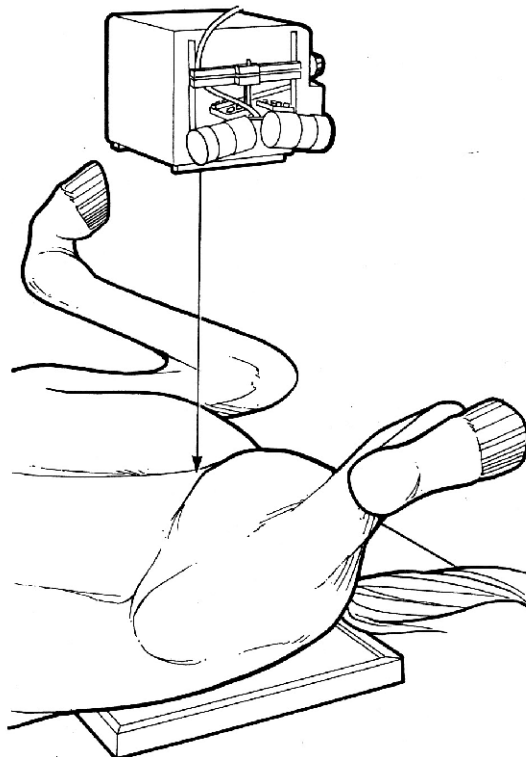


Abb. 3. 9: Richtungsbezeichnungen und Ebenen des Tierkörpers nach NICKEL et al. (1992).



Bei der Erfassung der Röntgenuntersuchungen in dieser Studie wurde das zu untersuchende Organ mit der deutschen, gebräuchlichen Bezeichnung und der Strahlengang mit der Gradangabe nach ZELLER et al. (1975) benannt. Die Aufnahmen an den distalen Gliedmaßen mit der Gradangabe  $45^\circ$  und  $315^\circ$  (bzw.  $115^\circ$ ) wurden in „schräg“ zusammengefasst. Die tangential Röntgenuntersuchung des Strahlbeins wurde einheitlich als „Strahlbein nach Morgan“ benannt. Die tangentialen Aufnahmen des Vorderfußwurzel-, Sprung- und Kniegelenkes tragen zu der Bezeichnung des Organs den Zusatz aus dem englischen Sprachgebrauch „Skyline“.

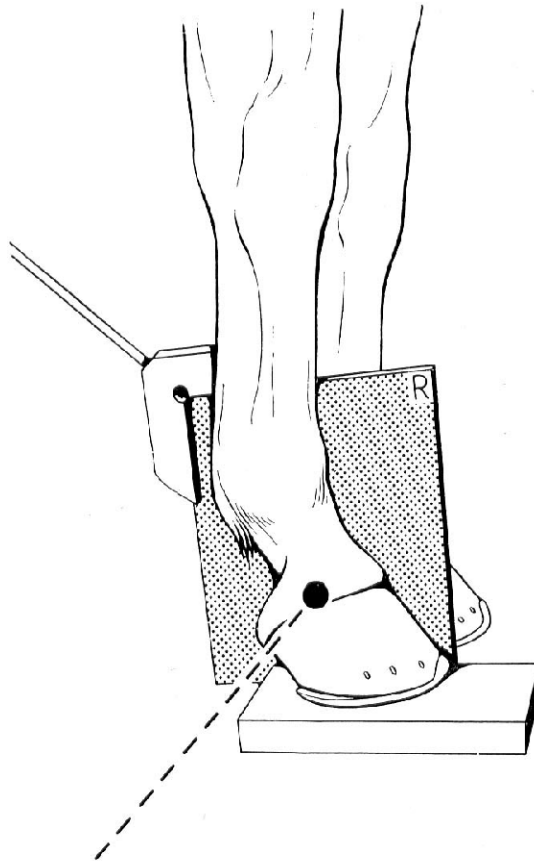
Die Durchführung der Röntgenuntersuchungen des Pferdes erfolgte sowohl in der Klinik für Pferde der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten nahezu identisch mit zwei Ausnahmen. Beim NGT-2 wurde die Röntgenuntersuchung des Beckens routinemäßig im Stehen durchgeführt. Nach STASHAK (1989) wird die Röntgenuntersuchung des Beckens unter Allgemeinanästhesie durchgeführt. Das Pferd liegt auf dem Rücken und die zu untersuchende Hüfte liegt auf der Kassette. Der Zentralstrahl wird etwas kaudal vom Schambeinkamm, eine handbreit neben der Medianen im rechten Winkel zur Kassette gerichtet.



**Abb. 3. 10: Röntgenuntersuchung des Beckens des Pferdes nach STASHAK (1989).**

Beim NGT-2 wurde die fest installierte Röntgenröhre am stehenden Pferd zwischen den Hinterbeinen auf das Becken zentriert. Die Röntgenkassette wurde der Kruppenmuskulatur von oben aufgelegt. In der Regel wurden die Pferde für diese Röntgenuntersuchung sediert.

Nach SCHEBITZ u. WILKENS (1986) wird für die lateromediale (90°) Röntgenaufnahme der Zehe die Gliedmaße des Pferdes an die Kante eines ca. 5 cm starken Holzklotzes gestellt. Für die Zehenübersichtsaufnahme wird der Zentralstrahl auf die Mitte der Gliedmaßenaußenseite in Höhe des Krongelenkes im rechten Winkel auf die Kassette gerichtet.



**Abb. 3. 11: Röntgenuntersuchung der Zehe des Pferdes nach SCHEBITZ u. WILKENS (1986).**

Beim NGT-3 wurde routinemäßig für die Zehenübersichtsaufnahme und gelegentlich für Fesselgelenksaufnahmen die Gliedmaße des Pferdes ähnlich der Röntgenuntersuchung des Strahlbeins nach Oxspring auf einen Oxspringklotz gestellt.

### 3.2.2.1 Röntgenuntersuchungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin

In der Klinik für Pferde an der FU Berlin konnten bei folgenden Röntgenuntersuchungen und technischen Aufnahmeparametern (Tab. 3.1 - 3.2) Dosismessungen mit den ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) durchgeführt werden:

**Tab. 3. 1: Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der Klinik für Pferde der FU Berlin.**

Röntgenuntersuchung	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Verstärkerfolie, Größe [cm x cm], Raster)	Feldgröße [cm x cm]
Zehe (90°)	85	50-55	12-14	13-16	T2, 24 x 30	22 x 28
Zehe (0°)	18	57-66	22	22-23	T2, 24 x 30	20 x 28
Zehe schräg	5	52	14	16	T2, 24 x 30	23 x 28
Strahlbein n. Oxspring	50	60-66	63-71	63-71	T2, 18 x 24, R 1	15 x 20
Strahlbein n. Morgan	3	63	20	20	T2, 18 x 24	15 x 20
Hufbein (90°)	10	48-60	10-18	12-18	T2, 18 x 24	17 x 22
Hufbein (0°)	19	50-55	10-20	12-22	T2, 18 x 24	16 x 20
Hufbein schräg	7	50-60	10-32	12-32	T2, 18 x 24	17 x 23
Fesselgelenk (90°)	25	52-60	14-18	15-19	T2, 18 x 24	17 x 23
Fesselgelenk (0°)	9	52-60	14-22	15-23	T2, 18 x 24	17 x 23
Fesselgelenk schräg	12	52-55	14	12-16	T2, 18 x 24	17 x 23
Gleichbein	6	52	10-14	12-16	T2, 24 x 30	22 x 28
Griffelbein	29	50-60	10-22	12-22	T2, 24 x 30	22 x 28
Carpus (90°)	17	42-57	12-18	14-19	T2, 24 x 30	22 x 28
Carpus (0°)	16	52-60	14-25	16-25	T2, 24 x 30	20 x 28
Carpus schräg	8	52-57	14-18	16-19	T2, 24 x 30	23 x 28
Ellbogen (90°)	5	50-57	20-28	22-29	T16, 30 x 40	29 x 39
Ellbogen (0°)	2	73-77	18-40	18-40	T16, 30 x 40	28 x 38
Schulter (90°)	12	90-96	45-71	48-80	T16, 40 x 40, R 2 o. R 3	39 x 39
Tarsus (90°)	41	70-77	5-6,3	5-6,3	T2, 18 x 24	17 x 23
Tarsus (0°)	28	66-77	4,5-6,3	4,5-6,3	T6, 18 x 24	17 x 23
Tarsus (45°)	27	70-77	5-6,3	5-6,3	T2, 18 x 24	17 x 23
Tarsus (115°)	8	70-73	5-6,3	5-6,3	T2, 18 x 24	17 x 23
Knie (90°)	18	60-70	5-6,3	5-6,3	T16, 30 x 40	28 x 38
Knie (0°)	16	66-77	25-45	25-45	T16, 24 x 30	22 x 28
Patella Skyline	2	60	20	20	T2, 24 x 30	22 x 28

Tab. 3. 2: Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der Klinik für Pferde der FU Berlin.

Röntgenuntersuchung	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Verstärkerfolie, Größe [cm x cm], Raster)	Feldgröße [cm x cm]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	14	48-60	14-25	16-27	T16, 30 x 40	28 x 39
Kopf (90°) (Zähne)	8	55-70	16-36	16-36	T16, 30 x 40	28 x 39
Kopf (0°)	2	66-70	32-40	32-40	T16, 40 x 40	39 x 39
Kehlkopf (90°)	2	48-50	9-12	11-15	T16, 30 x 40	28 x 39
Luftsack (90°)	1	52	16	19	T6, 40 x 40	39 x 39
Oesophagus (90°)	1	55	20	22	T16, 40 x 40	39 x 39
Nackenband (90°)	6	52-63	14-25	16-26	T16, 30 x 40	28 x 39
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	4	77-85	36-56	36-56	T16, 40 x 40, R 3	39 x 39
HWS (90°) (C 3-4)	6	73-96	45-90	45-102	T16, 40 x 40, R 3	39 x 39
HWS (90°) (C 5-7)	8	85-102	71-112	75-114	T16, 40 x 40, R 3	39 x 39
Rücken (90°) (Th 1-12)	5	55-66	16-22	17-18	T16, 30 x 40	28 x 35
Rücken (90°) (Th 13-18)	6	66-70	18-32	18-36	T16, 30 x 40	28 x 35
Rücken (90°) (L 1-7)	5	77-81	22-50	22-50	T16, 30 x 40	28 x 35
Thorax (90°)	42	77-109	40-100	40-133	T16, 40 x 40, R 3	39 x 39
Abdomen (90°)	4	70-96	50-100	50-115	T16, 40 x 40, R 3	39 x 39
Becken ventro-dorsal	2	70-81	22-32	22-32	T16, 40 x 40, R 2	39 x 39

### 3.2.2.2 Röntgenuntersuchungen beim NGT-1

Beim NGT-1 wurden bei folgenden Röntgenuntersuchungen und technischen Aufnahmeparametern (Tab. 3.3) Dosismessungen mit den ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) durchgeführt:

**Tab. 3. 3: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-1.**

Röntgenuntersuchung	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Belichtungs-kategorie, Größe [cm x cm])	Feldgröße [cm x cm]
Zehe (90°)	89	76	1,2	80	200, 24 x 30	24 x 30
Zehe (0°)	12	76	1,2	80	200, 24 x 30	24 x 30
Strahlbein n. Oxspring	36	78-80	4,2	280	100, 18 x 24	17 x 23
Strahlbein n. Morgan	13	60	4,5	300	100, 18 x 24	17 x 23
Fesselgelenk (90°)	2	76	1,2	80	200, 24 x 30	23 x 29
Fesselgelenk schräg	1	76	1,2	80	200, 24 x 30	23 x 29
Gleichbein	29	66	1,2	80	200, 24 x 30	23 x 29
Griffelbein	2	66	1,2	80	200, 24 x 30	23 x 29
Carpus (0°)	7	70	1,2	80	200, 24 x 30	20 x 30
Tarsus (90°)	28	74	1,2	80	200, 24 x 30	24 x 30
Tarsus (0°)	9	74	1,8	120	200, 24 x 30	24 x 30
Tarsus (45°)	16	74	1,2	80	200, 24 x 30	24 x 30
Tarsus (115°)	3	74	1,8	120	200, 24 x 30	24 x 30
Knie (90°)	12	70	3	200	200, 35 x 43	34 x 42
Knie (0°)	2	80	5,7	380	200, 35 x 43	34 x 42
Nackenband (90°)	5	70	3	200	200, 35 x 43	34 x 42
Rücken (90°) (Th 1-12)	3	60	4,2	280	200, 35 x 43	34 x 42
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	70	4,8	320	400, 35 x 43	34 x 42
Rücken (90°) (L 1-7)	2	80	5,7	380	400, 35 x 43	34 x 42

### 3.2.2.3 Röntgenuntersuchungen beim NGT-2

Beim NGT-2 konnten bei folgenden Röntgenuntersuchungen und Aufnahmeparametern (Tab. 3.4 – 3.5) Dosismessungen mit den ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) und den EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen) durchgeführt werden:

Tab. 3. 4: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-2.

Röntgenuntersuchung	Röntgengerät	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Belichtungsklasse, Größe [cm x cm], Raster)	Feldgröße [cm x cm]
Zehe (90°)	Stationär	293	70-80	10-20	20-40	200, 24 x 30	22 x 28
Zehe (0°)	Stationär	39	70-80	10	20	200, 24 x 30	20 x 28
	Mobil	3	85	2,5	91		
Strahlbein n. Oxspring	Stationär	161	70-75	10	20	200, 24 x 30	15 x 15
Strahlbein n. Morgan	Stationär	2	75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
	Mobil	15	85	2,5	91		
Hufbein (90°)	Stationär	6	75	10	20	200, 24 x 30	20 x 20
Hufbein schräg	Stationär	13	75	10	20	200, 24 x 30	20 x 20
Fesselgelenk (90°)	Stationär	10	75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Fesselgelenk (0°)	Stationär	13	70-80	10	20	200, 24 x30	20 x 28
Fesselgelenk schräg	Stationär	13	75	10	20	200, 24 x30	22 x 28
Gleichbein	Stationär	67	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Griffelbein	Stationär	14	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Carpus (90°)	Stationär	15	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Carpus (0°)	Stationär	18	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Carpus schräg	Stationär	2	75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Carpus Skyline	Stationär	4	75	10	20	200, 24 x 30	20 x 28
	Mobil	3	80-85	2-2,5	73-91		
Ellbogen (90°)	Stationär	8	80	10-24	20-48	400, 24 x 30	22 x 28
Ellbogen (0°)	Stationär	7	80-85	10-25	20-50	400, 24 x 30	22 x 28
Schulter (90°)	Stationär	6	80-85	20-25	40-50	400, 24 x 30, (R)	22 x 28
Schulter (0°)	Stationär	7	80-90	20-30	40-60	400, 24 x 30	23 x 28
Tarsus (90°)	Stationär	4	75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Tarsus (0°)	Stationär	19	75-80	10-15	20-30	200, 24 x 30	22 x 28
Tarsus (45°)	Stationär	117	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Tarsus (115°)	Stationär	109	70-75	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Knie (90°)	Stationär	125	70-80	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Knie (0°)	Stationär	18	80-90	10-30	20-60	400, 24 x 30	22 x 28
Patella Skyline	Mobil	1	85	2,5	91	200, 24 x 30	22 x 28

## Eigene Untersuchungen

**Tab. 3. 5: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-2.**

<b>Röntgen- untersuchung</b>	<b>Röntgen- gerät</b>	<b>Anzahl (N)</b>	<b>kV</b>	<b>mAs</b>	<b>ms</b>	<b>Kassette</b> (Belichtungsklasse, Größe [cm x cm], Raster)	<b>Feld- größe</b> [cm x cm]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	Stationär	2	80	10	20	200, 24 x 30	23 x 29
Kopf (90°) (Zähne)	Stationär	5	76-85	10-15	20-30	200, 35 x 43	34 x 42
	Mobil	5	70-85	2-7	4-255		
Kopf (0°)	Stationär	1	80	16	32	200, 24 x 30	23 x 29
Kiefergelenk (90°)	Stationär	2	80	10	20	200, 24 x 30	22 x 28
Nackenband (90°)	Stationär	9	80	10-15	20-30	400, 35 x 43	34 x 42
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	Stationär	16	80-90	10-20	20-40	400, 35 x 43, (R)	34 x 42
HWS (90°) (C 3-4)	Stationär	18	80-90	10-20	20-40	400, 35 x 43, (R)	34 x 42
HWS (90°) (C 5-7)	Stationär	23	80-90	10-30	20-60	400, 35 x 43, (R)	34 x 42
Rücken (90°) (Th 1-12)	Stationär	55	70-85	8-30	16-60	400, 35 x 43,	34 x 42
Rücken (90°) (Th 13-18)	Stationär	56	80-90	12-70	24-140	400, 35 x 43	34 x 42
Rücken (90°) (L 1-7)	Stationär	1	70	10	20	400, 35 x 43	34 x 42
Rücken (20°)	Stationär	4	85-90	30-40	60-80	400, 35 x 43	34 x 42
Thorax (90°)	Stationär	13	80-85	20-30	40-60	400, 35 x 43, (R)	34 x 42
Hüfthöcker	Stationär	1	80	20	40	400, 24 x 30	23 x 29
Becken (ventro-dorsal im Stehen)	Stationär	5	98-100	80-100	160-200	400, 35 x 43	34 x 42

### 3.2.2.4 Röntgenuntersuchungen beim NGT-3

Beim NGT-3 wurden bei folgenden Röntgenuntersuchungen und Aufnahmeparametern (Tab. 3.6 – 3.7) Dosismessungen mit den ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) durchgeführt:

**Tab. 3. 6: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-3.**

<b>Röntgen- untersuchung</b>	<b>Anzahl (N)</b>	<b>kV</b>	<b>mAs</b>	<b>ms</b>	<b>Kassette</b> (Größe [cm x cm], Raster, Blende)	<b>Feld- größe</b> [cm x cm]
Zehe (90°)	44	70-74	6-8	60-80	24 x 30	22 x 28
Zehe (0°)	5	70-74	8-10	80	24 x 30	22 x 28
Zehe schräg	2	70	6	60	24 x 30	23 x 28
Strahlbein n. Oxspring	20	72	40	80	24 x 30, R 1	20 x 20
Strahlbein n. Morgan	1	70	8	80	23 x 30	20 x 20
Hufbein (90°)	1	68	4	40	24 x 30	20 x 20
Hufbein (0°)	5	68-70	4-10	40-100	24 x 30	20 x 20
Hufbein schräg	15	68-70	4-12	40-120	24 x 30	20 x 20
Fesselgelenk (90°)	9	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Fesselgelenk (0°)	4	70	10-12	100-120	24 x 30	20 x 28
Fesselgelenk schräg	9	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Gleichbein	2	70	6	6	24 x 30	22 x 28
Griffelbein	6	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Carpus (90°)	5	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Carpus (0°)	5	70	8	80	24 x 30	22 x 28
Carpus schräg	1	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Ellbogen (90°)	1	72	12	120	35 x 43, R 1 o. R 2	34 x 42
Schulter (90°)	7	80	250-375	500-750	35 x 43, R 1 o. R 2	34 x 42
Tarsus (90°)	2	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Tarsus (0°)	4	70	10-12	100-120	24 x 30	22 x 28
Tarsus (45°)	18	70	6	60	24 x 30	22 x 28
Tarsus (115°)	18	70	5-6	50-60	24 x 30	22 x 28
Knie (90°)	4	70	12	120	35 x 43	34 x 42
Knie (0°)	2	70-74	15-20	50-100	24 x 30	23 x 29



Tab. 3. 7: Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim NGT-3.

Röntgenuntersuchung	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Verstärkerfolie, Größe [cm x cm], Raster)	Feldgröße [cm x cm]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	60	30	60	35 x 43	34 x 42
Kopf (90°) (Zähne)	5	62-70	30-36	60-120	35 x 43	34 x 42
Nackenband (90°)	1	64	75	150	35 x 43, R 1 o. R 2, Blende	34 x 42
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	2	62-72	75-100	150-200	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
HWS (90°) (C 3-4)	2	62-72	75-100	150-200	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
HWS (90°) (C 5-7)	5	72-80	100-250	200-500	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
Rücken (90°) (Th 1-12)	6	70-76	150-250	300-500	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
Rücken (90°) (Th 13-18)	6	70-80	200-375	400-750	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
Rücken (90°) (L 1-7)	4	74-80	200-375	400-375	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42
Thorax (90°)	10	110-130	12-36	40-120	35 x 43, R 2, Blende	34 x 42

### 3.2.2.5 Röntgenuntersuchungen bei den Messungen am Tierkörperphantom

Eine Messreihe an einer Schaufensterpuppe bei Röntgenuntersuchungen am Tierkörperphantom wurde zur Erfassung von Daten von Trageorten, die im Verlauf des Klinikalltages nicht berücksichtigt werden konnten (Stirn, Hände), durchgeführt. Es konnten Untersuchungsmethoden erfasst werden, für die nach der Auswertung der Kategorisierung und Standardisierung der Röntgenuntersuchungen eine hohe Dosis allein aufgrund der Geometrie des Pflegers zur Streustrahlenquelle (z.B. geringer Handabstand, gr. Streustrahlvolumen) angenommen wurde. Als Dosimeter kamen das ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz), das Röntgen-Gamma-Dosimeter RGD 27091 der Fa. STEP (Pockau) und die TLD XD-700 (LPS, Berlin) zum Einsatz.

Es bestand die Möglichkeit die unterschiedlichen Messverfahren miteinander und die Messergebnisse mit den ermittelten Dosiswerten in der Klinik für Pferde der FU Berlin und der niedergelassenen Tierärzte zu vergleichen.

Bei folgenden Röntgenuntersuchungen (Tab. 3.8) wurden Dosismessungen vorgenommen:

**Tab. 3. 8: Röntgenuntersuchungen bei den Messungen am Tierkörperphantom.**

Röntgenuntersuchung	Anzahl (N)	kV	mAs	ms	Kassette (Verstärkerfolie, Größe [cm x cm], Raster)	Feldgröße [cm x cm]
Zehe (90°)	20	52	14	16	T2, 24 x 30	23 x 29
Zehe (0°)	15	57	22	23	T2, 24 x 30	20 x 28
Strahlbein n. Oxspring	11	63	63	63	T2, 18 x 24, R 1	15 x 20
Hufbein (0°)	12	52	12	14	T2, 18 x 24	17 x 24
Tarsus (90°)	15	70	6,3	6,3	T2, 18 x 24	17 x 24
Knie (90°)	15	73	6,3	6,3	T16, 30 x 40	28 x 38
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	12	55	14	16	T16, 30 x 40	28 x 38
Kopf (90°) (Zähne)	10	66	32	32	T16, 30 x 40	28 x 38
Thorax (90°)	15	85	45	45	T16, 40 x 40, R 3	38 x 38

Für jede Röntgenuntersuchung wurden die Abstände der Dosimeter in [cm] zur Streustrahlenquelle protokolliert.

### 3.2.3 Datenerfassung

Bei jeder Röntgenaufnahme wurden alle aufnahmetechnischen Daten wie die verwendete Röntgenröhre mit den Einstellungen der Belichtungswerte (kV, mAs, ms), Feld- und Kassettengröße, Film-Folienkombination, Rasteranwendung, Ort der Messung, verwendeten Hilfsmittel und Strahlenschutzmittel, eingesetzter Dosimetertyp und Besonderheiten in einem Datenerfassungsbogen protokolliert. Zu jeder Aufnahme wurden zusätzlich die Zeit der Auslösung, die Zuordnung der Dosimeter zu den anwesenden Personen und der Trageorte und die Patientenummer des Pferdes notiert. Es wurden alle anfallenden Röntgenuntersuchungen von Pferden unterschiedlicher Rasse, Geschlecht, Alter und Größe mit in die Dosismessungen einbezogen. Die verschiedenen Pferderassen wurden in Gewichtsklassen (Tab. 3.9) zusammengefasst.

Tab. 3. 9: Einteilung der Pferderassen in Gewichtsklassen.

Gewichtsklassen	Pferderassen
> 600 kg	Friese, Kaltblut, Kaltblut-Mix
500 kg bis 600 kg	Appaloosa, Brandenburger, Dänisches Warmblut, Edles Warmblut, Hannoveraner, Holsteiner, Mix, Oldenburger, Polnisches Warmblut, Russisches Warmblut, Sachsen-Anhaltiner, Thüringer, Tinka, Traber, Warmblut, Westfale, Würtemberger, Zangersheide
450 kg bis 500 kg	schwerer Haflinger, Painthorse, Quarterhorse, Vollblut, zierliches Warmblut,
350 kg bis 450 kg	Araber, Haflinger, Kleinpferd,
200 kg bis 350 kg	Jährling, Pony
100 kg bis 200 kg	Absetzer, Fohlen, Shettlandpony
< 100 kg	Kleine Fohlen, Minishettlandpony

### 3.2.4 Datenverarbeitung

Bei dem verwendeten Dosimetriesystem ComDos EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) erfolgte eine Datenübertragung über das automatisierte Datenübernahmesystem in die SQL-basierte Datenbank mittels IrDA-Interface. Von dort aus konnten die Daten in ein Excel Format exportiert werden. Die Daten wurden anschließend zusammen mit den handschriftlichen Protokollen in eine einheitliche Datenmaske in Microsoft Excel übertragen. Als Ergebnis wurden  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für alle Messorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für die Dosiswerte an den Händen des Kassettenhalters bzw. am mechanischen Kassettenhalter übertragen. Es erfolgte ein sorgfältiger Abgleich der Zeitbasis der manuellen Aufzeichnungen zur Messung mit den übertragenen Messdaten. Im Fall eines Dosisbetrages von mindestens  $1 \mu\text{Sv}$  durch eine Exposition fand sich ein Eintrag für den gleichen Zeitpunkt. Für keine bzw. Einträge einer Dosis  $< 1 \mu\text{Sv}$  wurde der Hinweis „unterhalb der Nachweisgrenze ( $< \text{NW}$ )“ hinzugefügt. Innerhalb der Datenmaske erfolgte eine automatisierte Qualitätskontrolle in Bezug auf mögliche Überschreitungen des Regeleinsatzbereiches der Geräte. Bei Erreichen einer Dosisleistung, berechnet aus Belichtungszeit (ms) und registrierter Dosis  $[\mu\text{Sv}]$  von  $1 \text{ Sv/h}$  erfolgte die Ausgabe der Warnstufe „Gelb“. Oberhalb von  $4 \text{ Sv/h}$  erfolgte die Ausgabe Warnstufe „Rot“, da seitens des Herstellers der EPD keine weiteren Angaben über die Entwicklung des Messfehlers oberhalb dieser Dosisleistung gemacht wurden. Oberhalb von  $10 \text{ Sv/h}$  müssen elektronische Personendosimeter nach der DIN IEC 61526 keinerlei Dosisbestimmung mehr gewährleisten. Gelb oder rot markierte Dosiswerte sind im Ergebnisteil gesondert berücksichtigt worden.

Bei der Verwendung der EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen) wurden die Messdaten mit dem von THERMO ELECTRON bereitgestellten Programm EasyEPD2 mittels Infrarot-Datenübertragung gelesen, Messparameter zum Gerät geschrieben und die Daten für weitere Analysen exportiert. Als Ergebnis wurden  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für alle Messorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für die Dosiswerte an den Händen des Kassettenhalters bzw. am mechanischen Kassettenhalter in die Datenmasken übertragen. Die weitere Verarbeitung der Messdaten erfolgte wie bei dem Dosimetriesystem APD-light der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz).

Bei dem Einsatz der Ionisationskammer RGD 27091 der Fa. STEP (Pockau) wurden die Daten nach jeder Röntgenaufnahme abgelesen und das Ergebnis handschriftlich protokolliert. Die Ionisationskammer wurde zur Bestimmung der Ortsdosis  $H_x$  eingesetzt.

In Anlage VI, Teil A (zu §§ 3, 47, 49, 55, 95, 117; Dosimetrische Größen, Gewebe- u. Strahlungs-Wichtungsfaktoren) der Strahlenschutzverordnung vom 20.07.2001 wird als Messgröße für die äußere Strahlung die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  für die durchdringende Strahlung vorgeschrieben. Da im Strahlungsfeld der Streustrahlung der Messungen im Rahmen dieser Arbeit Photonenenergien zwischen 40 keV und 200 keV den überwiegenden Dosisanteil liefern bzw. die Röntgenstrahlungsfelder durch Erzeugerspannungen zwischen 50 kV und 400 kV generiert werden und keine Kenntnisse über die spektrale Verteilung der Strahlung vorliegt, wurde der nach der Empfehlung des Arbeitsausschusses „Dosimetrie im Normenausschuss Radiologie (NAR)“ genannte Umrechnungsfaktor 1,3 von  $H_x$  zu  $H^*(10)$  gewählt. Dabei ist  $H^*(10)$  nicht gleichzusetzen mit  $H_p(10)$ . Die Einstrahlung im Streustrahlenfeld erfolgt gerichtet. Die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  gilt als Schätzwert für die effektive Dosis einer Person an einem Punkt im Strahlungsfeld. Die Ergebnisse  $H^*(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  wurden anschließend manuell in eine Datenmaske für die Tierkörperphantommessungen eingegeben.

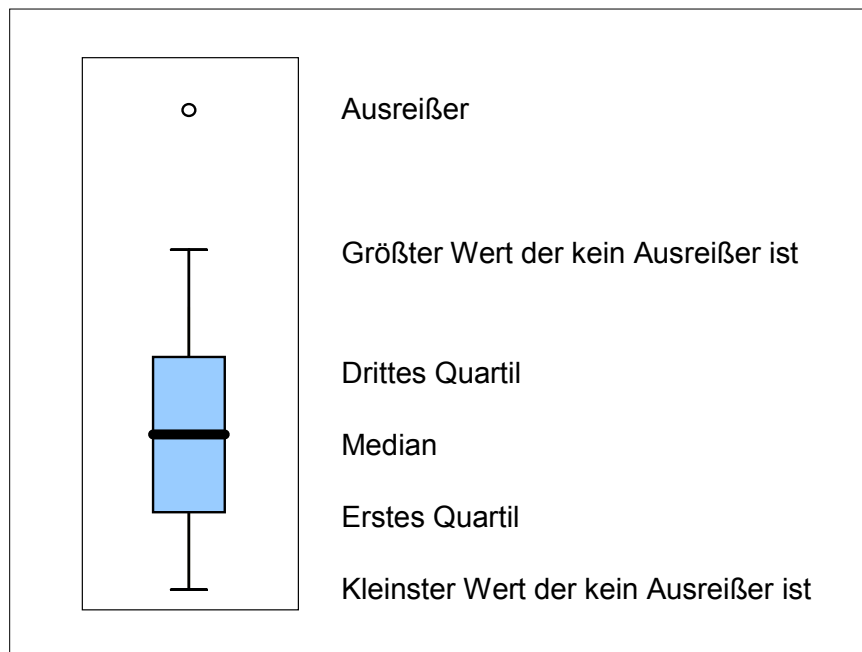
Die TLD XD-700 kamen bei den Messungen am Tierkörperphantom zum Einsatz. Sie wurden von der Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS, Berlin) eigens zu diesem Zweck in einem Sonderdosimetrieprogramm ausgelesen. Nach erfolgter Energiekorrektur auf die Qualität der Strahlung wurde die Personentiefendosis  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  bzw. die Oberflächendosis  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  ermittelt. Die Messdaten  $H_p(10)$  bzw.  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  wurden von der LPS zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

### 3.2.5 Datenspeicherung

Die erfassten Daten wurden auf dem mobilen Messrechner der FU Berlin gespeichert und wöchentlich auf einem Speichermedium (CD) und auf dem universitätsinternen Rechner gesichert. Die Sicherung der Daten umfasste sowohl die Rohdaten der Geräte als auch die aufbereiteten Daten wie ausgefüllte Datenmasken.

### 3.2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der gesammelten Daten durch eine deskriptive Statistik erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS (Version 12.0 für Windows). Alle Diagramme (Balken-, Verlaufsdiagramme) und Tabellen wurden entweder mit den Computerprogrammen Microsoft Word (Version 2003) bzw. Excel (Version 2003) oder ebenfalls mit dem Computerprogramm SPSS erstellt. Zur weiteren graphischen Darstellung der Ergebnisse wurden mit SPSS Box-Plots erstellt.



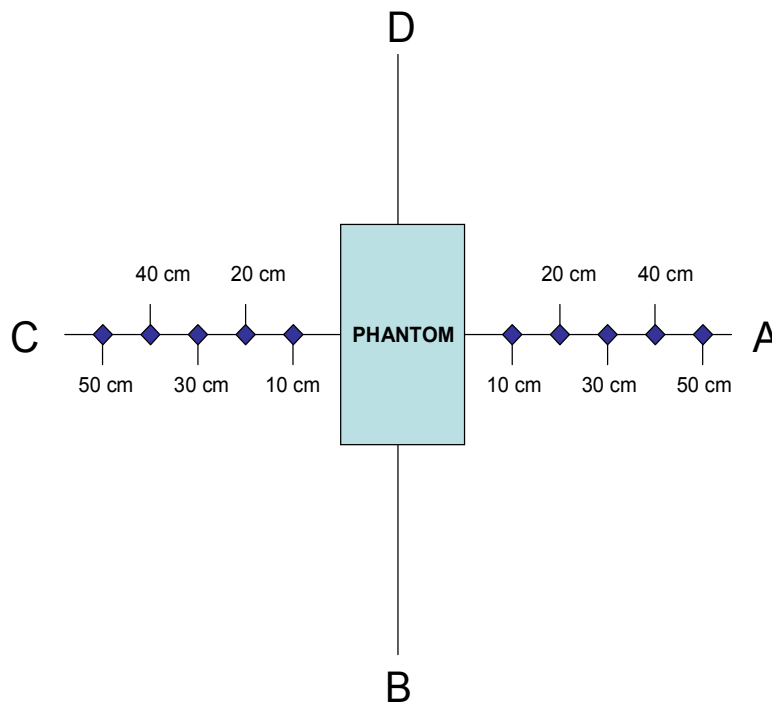
**Abb. 3. 12: Whisker-Boxplot**

Innerhalb der Box befinden sich 50 % der Werte. Die Whisker (→ „Schnurrhaare“) erstrecken sich zwischen dem größten und kleinsten Wert, welche nicht als Ausreißer eingestuft sind. In der Box ist der Median eingezeichnet. Ausreißer werden mit einem Kreis gekennzeichnet. Als Ausreißer werden nach der Definition des Computerprogramm SPSS die Werte bezeichnet, die mehr als 1,5 Kastenlängen außerhalb der Box, d. h. von den mittleren 50 % der Werte entfernt, liegen.

### 3.2.7 Vergleichsmessung aller verwendeten Messsysteme

Um das Verhalten der Messsysteme bei möglichen Überschreitungen des Regeleinsatzbereiches der elektronischen Personendosimeter zuverlässig bewerten zu können (s. Kapitel 3.2.4) wurde in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin eine Vergleichsmessung bezüglich der Übereinstimmung der Dosiswerte aller bei diesem Projekt verwendeten Dosimetriesysteme durchgeführt.

Zu Versuchsbeginn wurde auf dem Fußboden des Röntgenraums ein Mittelpunkt gewählt, an dem ein Phantom aufgestellt wurde. Als Phantom diente ein quaderförmiger fünf Liter Plastikkanister (24 cm x 17 cm x 14 cm) vollständig mit Wasser gefüllt. Von dem Mittelpunkt ausgehend wurde ein Koordinatensystem aufgetragen. Die Achsen wurden mit A bis D bezeichnet. Auf den Achsen wurden ausgehend vom Mittelpunkt jeweils die Punkte 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm und 50 cm markiert.



**Abb. 3. 13: Skizze zum Versuchsaufbau der Vergleichsmessung.**

Als Röhreneinstellung bei vertikalem Strahlengang wurde 66 kV, 45 mAs und 45 ms gewählt. Der Abstand von der Röhre zum Phantom betrug 100 cm. Das Phantom wurde bei der Messung mit der Längsachse flach (Höhe: 17 cm, Breite: 24 cm, Tiefe: 14 cm) genau im Mittelpunkt der gewählten Achsen positioniert.

Der Zentralstrahl wurde exakt auf den Mittelpunkt des Phantoms mit einer Feldgröße von 13,5 cm x 13,5 cm gerichtet.

Im Anschluss daran wurden jeweils ein EPD EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) und ein EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen) auf die „10 cm“ Markierung der Achsen A und C, mit dem Detektor zur Streustrahlenquelle gerichtet, gestellt. Auf der zur Streustrahlenquelle gerichteten Seite der EPD auf Höhe des Detektors wurde jeweils ein TLD XD-700 der amtlichen Personendosismessstelle LPS (Berlin) mit der Messstellen-Bezeichnung LPS-TLD-TD 03 (s. Kapitel 3.1.3.4) mit rückseitigem Klebeband angebracht. Um an allen Messpunkten einen signifikanten Dosisbeitrag für die TLD's oberhalb der Nachweisgrenze zu gewährleisten, wurden die Geräte mehrfach exponiert. Es wurde zehn Mal hintereinander im Abstand von zwei Minuten ausgelöst. Anschließend wurden die Messgeräte nacheinander auf die weiteren Messpunkte (20 cm, 30 cm, 40 cm) gesetzt und ebenfalls zehnmal hintereinander im Abstand von zwei Minuten ausgelöst. An dem Messpunkt „50 cm“ wurde zwanzigmal hintereinander im Abstand von zwei Minuten ausgelöst. Mit Ausnahme des Messpunktes „10 cm“ wurde an allen Punkten zusätzlich die Ortsdosis  $H_x$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] mit dem X-Ray-Gamma-Dosimeter RGD 27091 der Fa. STEP (Pockau) erfasst.

Die Messdaten der EPD wurden mit dem Computer bzw. der entsprechenden Software (s. Kapitel 3.2.4) ausgelesen und im Anschluss daran ausgewertet. Als Ergebnis wurde  $H_p(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] für alle Messorte angegeben.

Die TLD's wurden von der Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS, Berlin) eigens zu diesem Zweck in einem Sonderdosimetrieprogramm ausgelesen (s. Kapitel 3.2.4). Die Messdaten  $H_p(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] wurden von der LPS zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

Bei dem Einsatz der Ionisationskammer RGD 27091 (Fa. STEP, Pockau) wurden die Daten nach jedem Auslösen der Röntgenröhre abgelesen und das Ergebnis handschriftlich protokolliert. Die Ergebnisse  $H_x$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] wurden anschließend ebenfalls elektronisch verfügbar gemacht und in die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  gemäß StrlSchV (2001) umgerechnet (s. Kapitel 3.2.4).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Vergleichsmessung aller verwendeten Messsysteme

Die Ergebnisse der Vergleichsmessung bezüglich der Übereinstimmung der Dosiswerte aller bei diesem Projekt verwendeten Dosimetriesysteme an den Messpunkten der Achse A sind in der folgenden Tabelle (Tab. 4. 1) dargestellt:

**Tab. 4. 1: Dosiswerte der verschiedenen Messsysteme bei der Vergleichsmessung in [ $\mu\text{Sv}$ ].**

Abstand [cm]	TLD Achse A $H_p(10)$ in [ $\mu\text{Sv}$ ]	Berechnete Dosisleistung [Sv/h] bezogen a. d. TLD	EDM-III Achse A $H_p(10)$ in [ $\mu\text{Sv}$ ]	Mk 2 Achse A $H_p(10)$ in [ $\mu\text{Sv}$ ]	RGD Achse A $H^*(10)$ in [ $\mu\text{Sv}$ ]
10	58	4,64	62,3	21,7	n. u.
20	15	1,2	21,4	11,7	27,69
30	10	0,8	10,6	7,7	11,96
40	6	0,48	5,5	4,3	7,02
50	3	0,24	3,55	3,3	4,42

Bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse entsteht ein Verlaufdiagramm. Dem Diagramm (Abb. 4. 2) ist anschaulich zu entnehmen, dass eine gute Übereinstimmung der Dosiswerte aller Messgeräte im Abstand von 30 cm bis zu 50 cm von der Streustrahlenquelle besteht. Das entspricht Dosiswerten in [ $\mu\text{Sv}$ ] als Resultat einer Dosisleistung von  $< 0,8$  Sv/h (bezogen auf die Dosiswerte der TLD's). Bei einem Abstand von 20 cm zur Streustrahlenquelle (Dosiswerte in [ $\mu\text{Sv}$ ] der TLD's mit einer Dosisleistung von 1,2 Sv/h) kommt es bereits zu einer Divergenz der Dosiswerte. Die Mk 2 zeigen eine deutlich geringere Streustrahlendosis als die restlichen Messgeräte an. Bei einem Abstand von 10 cm von der Streustrahlenquelle wird dieses Ergebnis noch deutlicher. Bei Dosiswerten in [ $\mu\text{Sv}$ ] mit einem Dosisleistungsbereich von 4,64 Sv/h (bezogen auf die Dosiswerte der TLD's) zeigen die TLD's mit den EDM-III eine gute Übereinstimmung. Die Dosiswerte der Mk 2 weichen deutlich von den Dosiswerten der beiden anderen Messsysteme ab. Die baulichen Abmessungen der abgesetzten Ionisationskammer lassen eine Messung im Nahbereich der Streustrahlenquellen nicht zu. Deshalb liegen an dem Messpunkt „10 cm“ keine Ergebnisse für die Ionisationskammer vor.



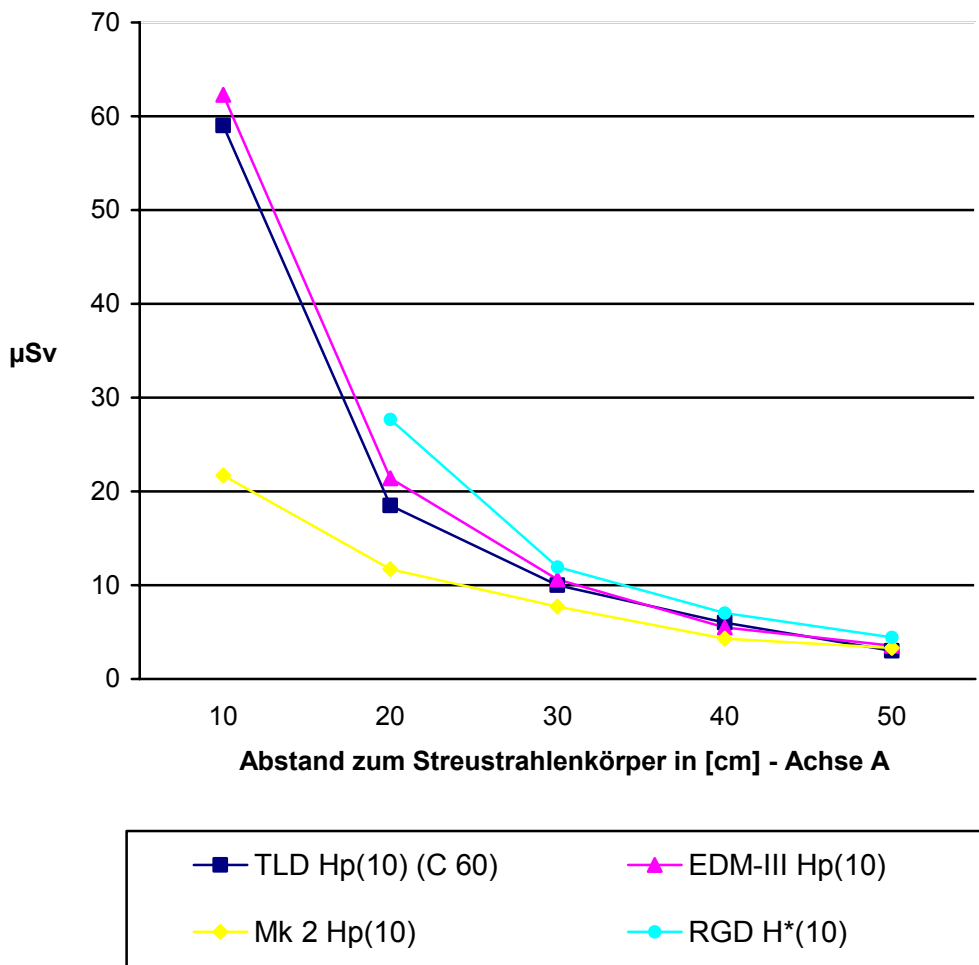


Abb. 4. 1: Verlaufsdigramm der Dosiswerte aller Messsysteme bei der Vergleichsmessung.

## 4.2 Verteilung der Gewichtsklassen

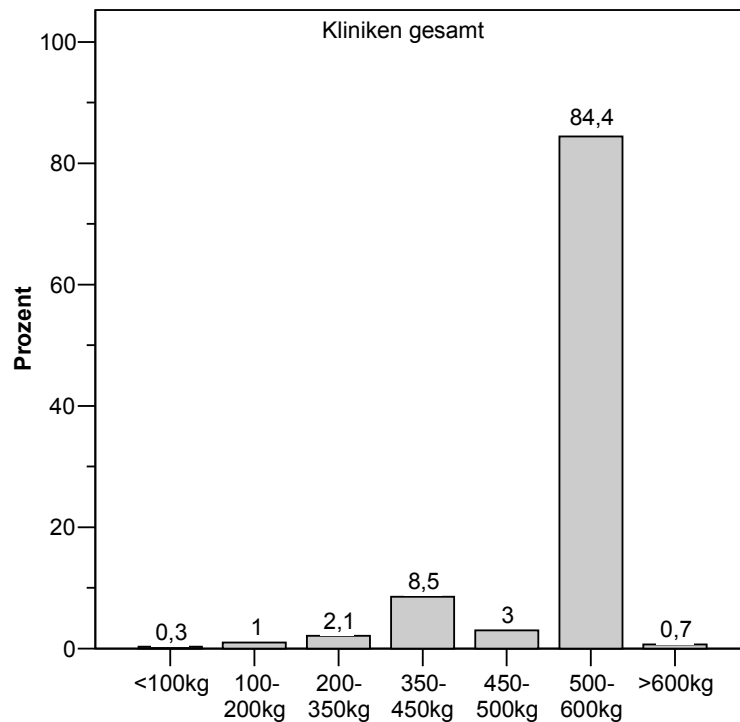
Die Verteilung der Gewichtsklassen bei den geröntgten Pferden können folgendermaßen beschrieben werden:

In der **Klinik für Pferde** der FU Berlin wogen 79,6 % der Pferde bei allen Röntgenuntersuchungen zwischen 500 und 600 kg. 8,6 % der Pferde hatten ein Gewicht von 350 bis 450 kg. 200 bis 350 kg wogen 3,9 % der Pferde, 450 bis 500 kg 2,9 %, 100 bis 200 kg 2,2%, über 600 kg 1,7 % und 1,2 % der Pferde wogen unter 100 kg.

Beim **NGT-1** hatten 76,8 % der Pferde bei allen Röntgenuntersuchungen ein Gewicht von 500 bis 600 kg. 22,5 % der Pferde wogen zwischen 350 und 450 kg und 0,7 % der Pferde hatten ein Gewicht zwischen 200 und 350 kg.

89,2 % der Pferde bei allen Röntgenuntersuchungen des **NGT-2** wogen zwischen 500 und 600 kg. Die weiteren Gewichtsklassen der geröntgten Pferde des NGT-2 lagen jeweils unter 5 %. Beim **NGT-3** hatten 77,7 % der Pferde bei allen Röntgenuntersuchungen ein Gewicht von 500 bis 600 kg. 18,3 % der Pferde wogen 350 bis 450 kg, 3,5 % der Pferde 350 bis 450 kg und 0,4 % der Pferde wogen über 600 kg.

Zusammengefasst kann die prozentuale Gewichtsklassenverteilung der geröntgten Pferde aller Kliniken bzw. Praxen dem Diagramm (Abb. 4. 3) entnommen werden:



**Abb. 4. 2: Prozentuale Verteilung der Gewichtsklassen der geröntgten Pferde aller Kliniken/Praxen.**

84,4 % der Pferde aller Kliniken und Praxen wogen bei der Auswertung der Gewichtsklasse bei den Röntgenuntersuchungen zwischen 500 und 600 kg. Ein Gewicht von 350 bis 450 kg hatten 8,5 % der Pferde, 450 bis 500 kg wogen 3 % der Pferde, 200 bis 350 kg 2,1 %, 100 bis 200 kg 1 %, über 600 kg 0,7 % und ein Gewicht unter 100 kg hatten 0,3 % der Pferde.

Da bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse keine Korrelation zwischen der Gewichtsklasse und den Dosiswerten festgestellt werden konnte und 84,4 % der Pferde aller Kliniken und Praxen bei den Röntgenuntersuchungen zwischen 500 und 600 kg wogen, wurde bei der Präsentation der Ergebnisse der Dosiswerte auf die Darstellung der Gewichtsklasse der untersuchten Pferde verzichtet.

### 4.3 Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen

Die Auswertung der Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen ergab, dass die Aufnahmen „Zehe 90°“ und „Strahlbein nach Oxspring“ die am häufigsten durchgeführten Röntgenuntersuchungen waren. Die weitere Verteilung der Röntgenaufnahmen waren Klinik bzw. Praxis spezifisch und sind den folgenden Graphiken (Abb. 4. 4 - 4. 7) zu entnehmen:

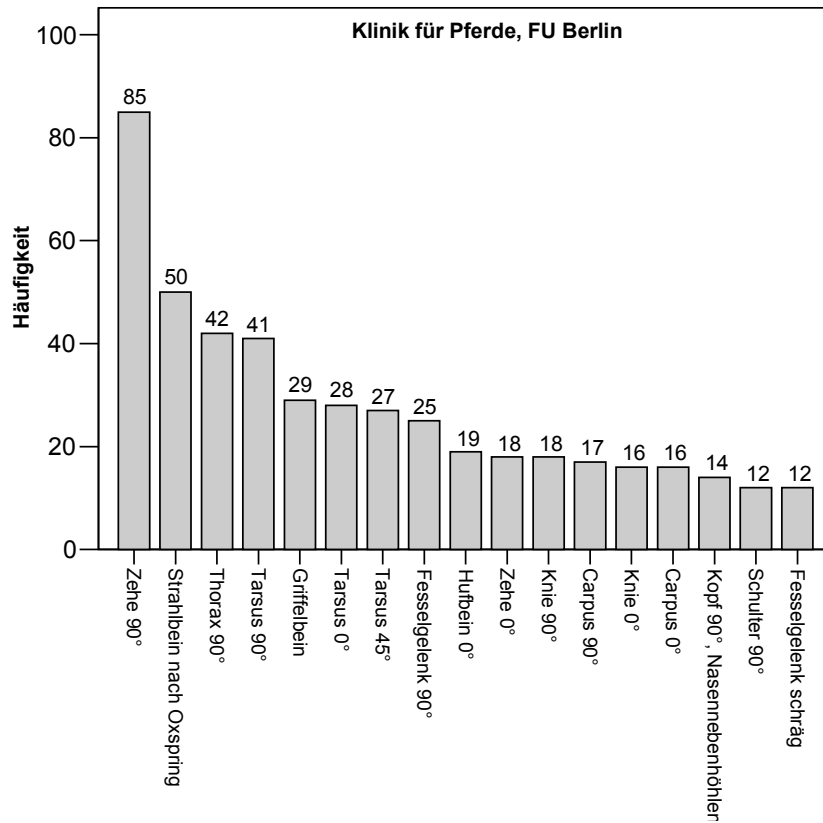


Abb. 4. 3: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >10) in der Klinik für Pferde, FU Berlin.

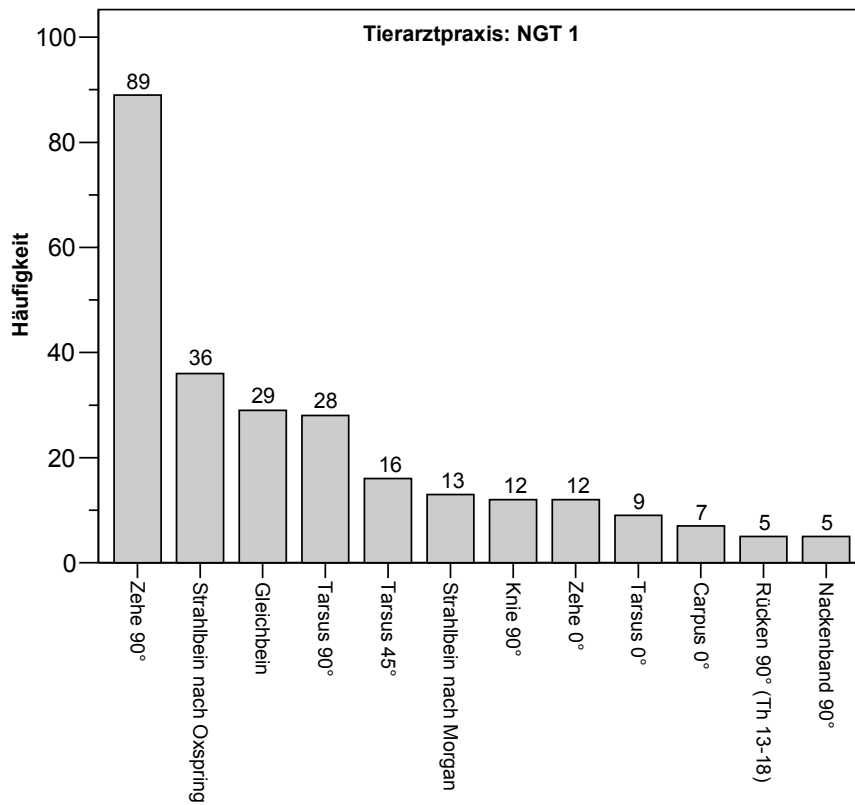


Abb. 4. 4: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >3) beim NGT-1.

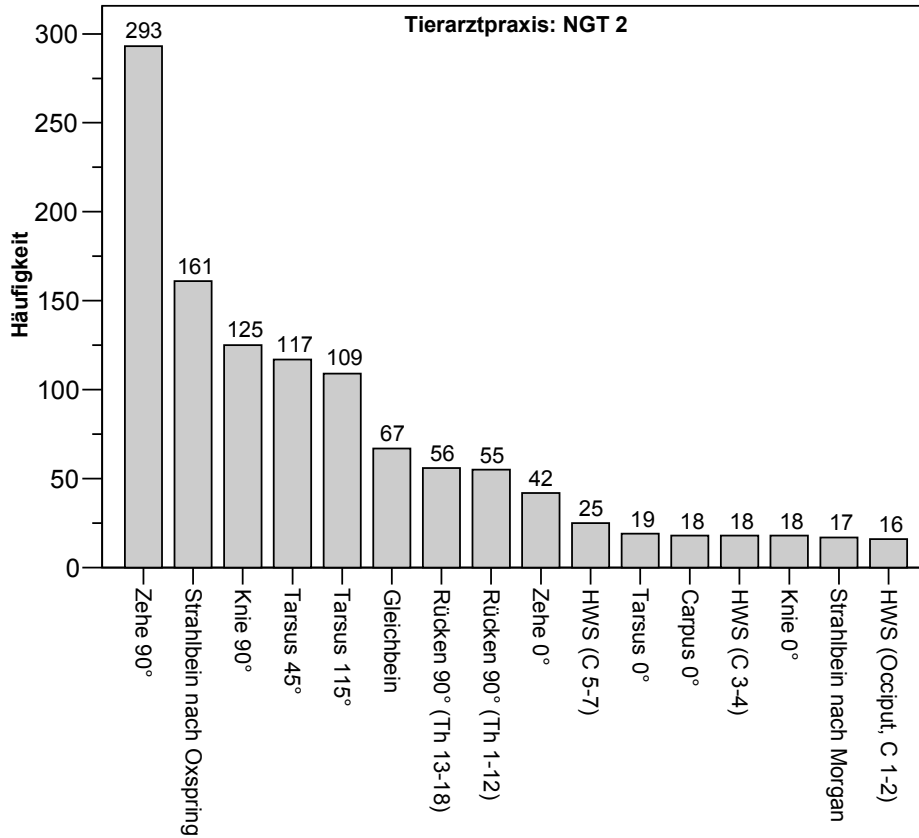


Abb. 4. 5: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >15) beim NGT-2.

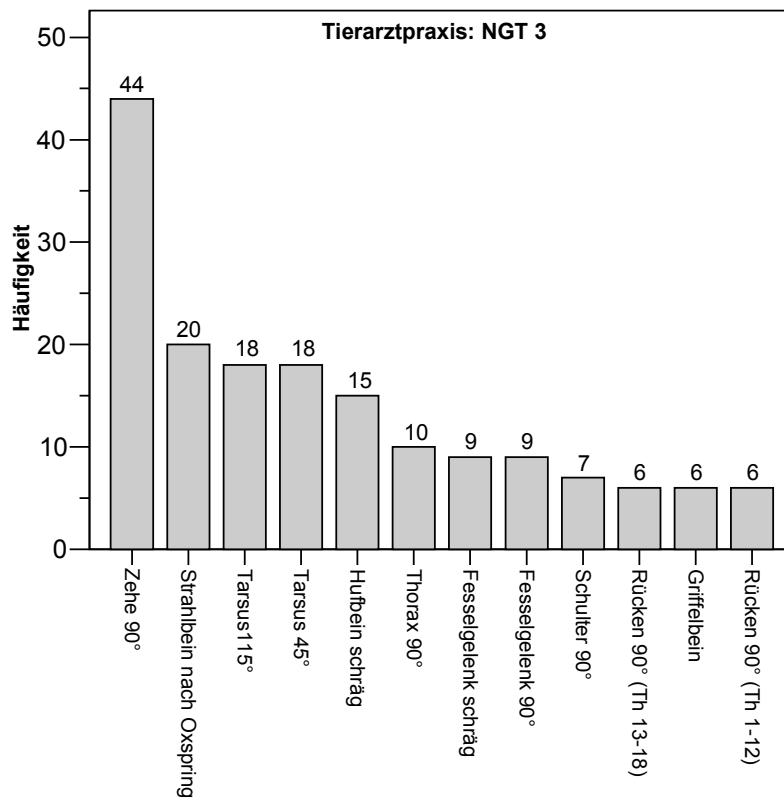


Abb. 4. 6: Häufigkeitsverteilung der Röntgenaufnahmen (N >5) beim NGT-3.

## 4.4 Ergebnisse der Dosismessungen

Die Personenäquivalentdosen  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für alle Trageorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für die Dosiswerte an den Händen des „Kassettenhalters“ bzw. am mechanischen Kassettenhalter sind im Anhang den Tabellen 9.1 - 9.51 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Dosismessungen sind für jede Klinik/Praxis, Person und die durchgeführte Röntgenuntersuchung aufgeführt.

Aus den einzelnen Dosiswerten wurde der Medianwert (Zentralwert,  $x$ ) gebildet. Der Median ist gleich dem 2. Quartil oder dem 50. Zentil und gibt die zentrale Tendenz der Verteilung an (WIESNER u. RIBBECK 2000). Er halbiert bei aufsteigender Sortierung der Messwerte die Messreihe. Bei gerader Anzahl von Messwerten ist der Wert zwischen den beiden mittleren Werten der Median. Bei ungerader Anzahl von Messwerten ist der mittlere Wert der Median. Der Median ist gegenüber Ausreißern unempfindlicher als der Mittelwert

Zusätzlich wird die Anzahl der Dosismessungen und der kleinste (Minimum) bzw. der größte (Maximum) Dosiswert für die jeweilige Röntgenuntersuchung, Person und Trageort des Dosimeters angegeben.

Durch die vorliegenden Ergebnisse der Vergleichsmessung, wurden die Messdaten bei dem Einsatz der EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen) sowohl mit einer registrierten Dosis in  $[\mu\text{Sv}] > 1 \text{ Sv/h}$  (Warnstufe „Gelb“) als auch mit einer registrierten Dosis in  $[\mu\text{Sv}] > 4 \text{ Sv/h}$  (Warnstufe „Rot“) bei der Auswertung ausgeschlossen. Aufgrund der guten Übereinstimmung der Dosiswerte der TLD's XD-700 (LPS, Berlin) und der EPD EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) bis zu dem Dosisleistungsbereich der TLD's von  $4,64 \text{ Sv/h}$ , wurde bei dem Einsatz der EDM-III bei der Auswertung der Messdaten nur auf die Werte mit einer registrierten Dosis  $[\mu\text{Sv}] > 4 \text{ Sv/h}$  (Warnstufe „Rot“) verzichtet.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist eine Zusammenfassung bzw. Unterteilung der dosimetrierten Röntgenuntersuchungen in Aufnahmen der distalen bzw. proximalen Gliedmaßen, Kopf und Körperstamm des Pferdes sinnvoll. Röntgenaufnahmen die nur einmal in dem Untersuchungszeitraum dosimetriert werden konnten, bleiben bei der Schlussbetrachtung des Median- und Maximalwertes unberücksichtigt.

### 4.4.1 Dosiswerte der Klinik für Pferde der FU Berlin

Die in der Klinik für Pferde der FU Berlin ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.1 – 9.12 im Anhang hervor. Die wichtigsten Ergebnisse der Dosismessungen werden zusammengefasst im folgenden Abschnitt beschrieben:

Die ermittelten Dosiswerte liegen für alle Röntgenaufnahmen an den Gonaden unter der Bleischürze der beteiligten Personen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Schützen**“ in der Klinik für Pferde der FU Berlin an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für alle Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< NW$  und  $1 \mu Sv$ . Der größte Dosiswert beträgt  $6 \mu Sv$  an den Füßen des „Schützen“ für die Röntgenaufnahme „Tarsus  $45^\circ$ “. Für die übrigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes konnten höhere Medianwerte (bis  $14 \mu Sv$ ) und Maxima (bis  $49 \mu Sv$ ) bestimmt werden. Der größte Median am „Schützen“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter  $90^\circ$ “ auf  $13 \mu Sv$  (Trageort Gonaden) und für die Untersuchung „Kopf  $0^\circ$ “ auf  $24 \mu Sv$  (Trageort Gonaden). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter  $90^\circ$ “  $49 \mu Sv$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm des Pferdes für „Thorax  $90^\circ$ “  $35 \mu Sv$  (Trageort Gonaden).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Kassettenhalter**“ in der Klinik für Pferde der FU Berlin an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< NW$  und  $5 \mu Sv$ .  $5 \mu Sv$  wurde als größter Median für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Kassettenhalters“ erfasst. Der größte Dosiswert von  $31 \mu Sv$  wurde an den distalen Gliedmaßen ebenfalls für „Strahlbein nach Oxspring“ (Trageort Füße) bestimmt. Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, Kopf und Körperstamm konnten Medianwerte bis  $7 \mu Sv$  und Maxima bis  $15 \mu Sv$  ermittelt werden. Der größte Median für den „Kassettenhalter“ beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter  $90^\circ$ “  $7 \mu Sv$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“  $3 \mu Sv$  (Trageort Gonaden). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Ellbogen  $90^\circ$ “  $15 \mu Sv$  (Trageort Füße) und am Körperstamm für „Becken ventro-dorsal“  $5 \mu Sv$  (Trageort Gonaden).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am **mechanischen Kassettenhalter** in der Klinik für Pferde der FU Berlin liegt für die Röntgenuntersuchungen an den Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $1 \mu Sv$  und  $13 \mu Sv$  („Schulter  $90^\circ$ “). Der größte Dosiswert von  $50 \mu Sv$  wurde am mechanischen Kassettenhalter für die Aufnahmen der Gliedmaßen („Knie  $0^\circ$ “) bestimmt. Der Median am mechanischen Kassettenhalter liegt für die Röntgenuntersuchungen am Kopf und Körperstamm zwischen  $< NW$  und  $34 \mu Sv$  („Becken ventro-dorsal“). Der größte Dosiswert von  $52 \mu Sv$  wurde am mechanischen Kassettenhalter für die Röntgenuntersuchung „Becken ventro-dorsal“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Pfleger**“ in der Klinik für Pferde der FU Berlin an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< NW$  und  $2 \mu Sv$ . Der größte Dosiswert von  $8 \mu Sv$  wurde für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen für „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Pfleger“ bestimmt.

Der größte Median für den „Pfleger“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 18,5  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchung „HWS 90° (C 5-7)“ auf 17,5  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 47  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für „HWS 90° (C 5-7)“ 49  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden).

#### 4.4.2 Dosiswerte des NGT-1

Die beim NGT-1 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.13 – 9.17 im Anhang hervor. Die wichtigsten Ergebnisse der Dosismessungen werden zusammengefasst im folgenden Abschnitt beschrieben:

Die ermittelten Dosiswerte liegen für alle Röntgenuntersuchungen an den Gonaden unter der Bleischürze der beteiligten Personen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Schützen**“ beim NGT-1 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 2  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert beträgt 16  $\mu\text{Sv}$  an den Füßen des „Schützen“ für die Röntgenaufnahme „Strahlbein nach Oxspring“. Der größte Median für den „Schützen“ an der Schilddrüse beläuft sich für die Röntgenuntersuchung am Körperstamm „Rücken 90° (L 1-7)“ auf 7,5  $\mu\text{Sv}$  und für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen „Knie 0°“ bzw. „Knie 90°“ auf 2,5  $\mu\text{Sv}$ . Der höchste Dosiswert beträgt für die Untersuchung „Nackenband 90°“ 17  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse) und für „Knie 90°“ 45  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Kassettenhalter**“ beim NGT-1 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für alle dosimetrierten Röntgenuntersuchungen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 3,5  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Median von 3,5  $\mu\text{Sv}$  wurde bei der Untersuchung „Knie 90°“ an den Gonaden ermittelt. Der höchste Dosiswert von 39  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenaufnahme „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Kassettenhalters“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am **mechanischen Kassettenhalter** und an den **Bleihandschuhen** des „Kassettenhalters“ beim NGT-1 liegt für die Röntgenuntersuchungen an den Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 12  $\mu\text{Sv}$  („Tarsus 90°“). Der größte Dosiswert von 63  $\mu\text{Sv}$  wurde am mechanischen Kassettenhalter für die Aufnahmen an den distalen Gliedmaßen „Tarsus 90°“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Pfleger**“ beim NGT-1 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes unterhalb der Nachweisgrenze.

Der größte Dosiswert von 8  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Pfleger“ bestimmt. Der größte Median für den „Pfleger“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Knie 0°“ auf 1,5  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Die ermittelten Dosiswerte für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen und am Körperstamm des Pferdes liegen zwischen  $< \text{NW}$  und 2  $\mu\text{Sv}$ .

#### 4.4.3 Dosiswerte des NGT-2

Die beim NGT-2 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.18 – 9.29 hervor. Die wichtigsten Ergebnisse der Dosismessungen werden zusammengefasst im folgenden Abschnitt beschrieben:

Die ermittelten Dosiswerte liegen für alle Röntgenuntersuchungen an den Gonaden unter der Bleischürze der beteiligten Personen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Schützen**“ beim NGT-2 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 1,5  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert beträgt 6  $\mu\text{Sv}$  an der Schilddrüse des Schützen für die Röntgenaufnahme „Tarsus 115°“. Für die übrigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes konnten höhere Medianwerte (bis 28  $\mu\text{Sv}$ ) und Maxima (bis 52  $\mu\text{Sv}$ ) bestimmt werden. Der größte Median für den „Schützen“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter 90°“, „Schulter 0°“ und „Knie 0°“ auf 5  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße) und am Körperstamm des Pferdes für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 28  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für „Ellbogen 0°“ 19  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm des Pferdes für „Becken ventro-dorsal“ 52  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Kassettenhalter**“ beim NGT-2 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 3  $\mu\text{Sv}$ . 3  $\mu\text{Sv}$  wurde als größter Median für die Untersuchung „Hufbein 90°“ an den Füßen des „Kassettenhalters“ erfasst. Der größte Dosiswert von 7  $\mu\text{Sv}$  wurde an den distalen Gliedmaßen für „Strahlbein nach Oxspring“ (Trageort Füße) und „Carpus 0°“ (Trageort Schilddrüse) bestimmt. Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, Kopf und Körperstamm konnten Medianwerte bis 24  $\mu\text{Sv}$  und Maxima bis 47  $\mu\text{Sv}$  ermittelt werden. Der größte Median am „Kassettenhalter“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 10  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 24  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden).



Der größte Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 0°“ 47  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für „Rücken 90° (Th 13-18)“ 42  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am **mechanischen Kassettenhalter** und an den **Bleihandschuhen** des „Kassettenhalters“ beim NGT-2 liegt für die Röntgenuntersuchungen an den Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 50  $\mu\text{Sv}$  („Schulter 0°“). Der größte Dosiswert von 54  $\mu\text{Sv}$  wurde am mechanischen Kassettenhalter für die Aufnahmen der Gliedmaßen „Schulter 0°“ bestimmt. Der Median am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen liegt für die Röntgenuntersuchungen am Kopf und Körperstamm zwischen  $< \text{NW}$  und 10,5  $\mu\text{Sv}$  („Becken ventro-dorsal“). Der größte Dosiswert von 48  $\mu\text{Sv}$  wurde an der rechten Hand des „Kassettenhalters“ für die Röntgenuntersuchung „Rücken 90° (Th 13-18)“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Pfleger**“ beim NGT-2 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 1  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert von 7  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen für „Strahlbein nach Oxspring“ und „Strahlbein nach Morgan“ an der Schilddrüse des „Pfleger“ bestimmt. Der größte Median für den „Pfleger“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 6,5  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 10  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 11  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm für „HWS 90° (C 5-7)“ 24  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

#### 4.4.4 Dosiswerte des NGT-3

Die beim NGT-3 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9. 30 – 9. 37 hervor. Die wichtigsten Ergebnisse der Dosismessungen werden zusammengefasst im folgenden Abschnitt beschrieben:

Die ermittelten Dosiswerte liegen für alle Röntgenuntersuchungen an den Gonaden unter der Bleischürze der beteiligten Personen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Schützen**“ beim NGT-3 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 3  $\mu\text{Sv}$ . Der Median von 3  $\mu\text{Sv}$  konnte für die Röntgenuntersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ bestimmt werden. Der größte Dosiswert für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes beträgt 31  $\mu\text{Sv}$  an den Füßen des „Schützen“ für die Untersuchung „Tarsus 45°“.

Für die übrigen Röntgenuntersuchungen konnten höhere Medianwerte (bis 95  $\mu\text{Sv}$ ) und Maxima (bis 491  $\mu\text{Sv}$ ) bestimmt werden. Der größte Median für den „Schützen“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter 90°“ auf 80  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse) und am Körperstamm des Pferdes für die Untersuchung „Rücken 90° (L 1-7)“ auf 95  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter 90°“ 491  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm des Pferdes für „Rücken 90° (Th 1-12)“ 144  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Kassettenhalter**“ beim NGT-3 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen < NW und 21,5  $\mu\text{Sv}$ . 21,5  $\mu\text{Sv}$  wurde als größter Median für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Kassettenhalters“ erfasst. Der größte Dosiswert von 86  $\mu\text{Sv}$  wurde an den distalen Gliedmaßen ebenfalls für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ (Trageort Füße) bestimmt. Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen und Kopf des Pferdes konnten Medianwerte bis 155  $\mu\text{Sv}$  und Maxima bis 216  $\mu\text{Sv}$  ermittelt werden. Der größte Median für den „Kassettenhalter“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 155  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 216  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am **mechanischen Kassettenhalter** und an den **Bleihandschuhen** des „Kassettenhalters“ beim NGT-3 liegt für die Röntgenuntersuchungen an den Gliedmaßen des Pferdes zwischen < NW und 12,5  $\mu\text{Sv}$  („Tarsus 0°“). Der größte Dosiswert von 73  $\mu\text{Sv}$  wurde an der linken Hand des „Kassettenhalters“ für die Aufnahmen an den Gliedmaßen „Strahlbein nach Oxspring“ bestimmt. Der Median am mechanischen Kassettenhalter liegt für die Röntgenuntersuchungen am Kopf und Körperstamm zwischen 1  $\mu\text{Sv}$  und 11  $\mu\text{Sv}$  („Kopf 90°, Nasennebenhöhlen“). Der größte Dosiswert von 24  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenuntersuchung „Kopf 90°, Zähne“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für den „**Pfleger**“ beim NGT-3 an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen < NW und 3,5  $\mu\text{Sv}$ . 3,5  $\mu\text{Sv}$  wurde als größter Median für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Pflegers“ erfasst. Der größte Dosiswert von 5  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an der Schilddrüse und den Füßen des „Pflegers“ bestimmt.

Der größte Median für den „Pfleger“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 72  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchungen „HWS 90° (C 3-4)“ und „HWS 90° (C 5-7)“ auf 11  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden bzw. Schilddrüse). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 128  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für „HWS 90° (C 5-7)“ 29  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

## 4.5 Spezielle Auswertung der Dosismessungen

### 4.5.1 Dosiswerte für alle Messorte

In den Tabellen (Tab. 9.38 – Tab. 9.51) im Anhang sind die Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] für alle Trageorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] für die Dosiswerte an den Händen des „Kassettenhalters“ bzw. am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde der FU Berlin und der niedergelassenen Tierärzten zusammengefasst. Angegeben wird dabei die Anzahl der durchgeführten Messungen, der Median und das Minimum bzw. Maximum der Dosiswerte.

Die wichtigsten Ergebnisse der Dosismessungen für **alle Messorte** werden zusammengefasst im folgenden Abschnitt beschrieben:

Die ermittelten Dosiswerte liegen für alle Röntgenuntersuchungen an den Gonaden unter der Bleischürze der beteiligten Personen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für die „**Schützen**“ für alle Messorte an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes unter 2  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert von 31  $\mu\text{Sv}$  konnte an den Füßen der „Schützen“ für die Röntgenaufnahme „Tarsus 45°“ ermittelt werden. Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, Kopf und Körperstamm wurden für die „Schützen“ Medianwerte bis 25  $\mu\text{Sv}$  und Maxima bis 491  $\mu\text{Sv}$  bestimmt. Der größte Median für die Schützen beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter 90°“ auf 9  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm des Pferdes für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 25  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für „Schulter 90°“ 491  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm des Pferdes für „Rücken 90° (Th 13-18)“ 324  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden).

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für die „**Kassettenhalter**“ für alle Messorte an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes zwischen < NW und 2  $\mu\text{Sv}$ . 2  $\mu\text{Sv}$  wurde als größter Median für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen der „Kassettenhalter“ erfasst.

Der größte Dosiswert von 86  $\mu\text{Sv}$  wurde an den distalen Gliedmaßen ebenfalls für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ (Trageort Füße) bestimmt. Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, Kopf und Körperstamm konnten Medianwerte bis 82  $\mu\text{Sv}$  und Maxima bis 216  $\mu\text{Sv}$  ermittelt werden. Der größte Median für die „Kassettenhalter“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 82  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 14  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Der höchste Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 216  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchung „Rücken 90° (Th 13-18)“ 42  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Schilddrüse).

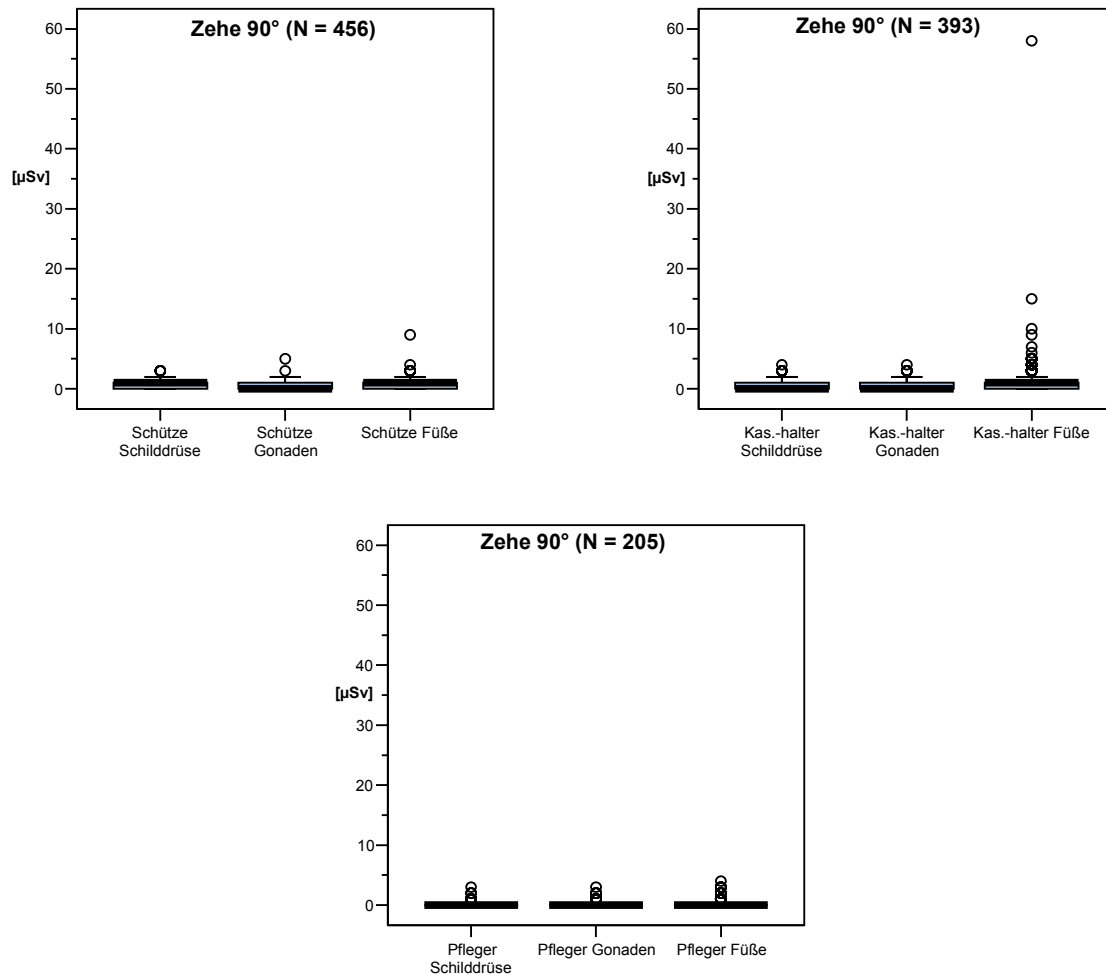
Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  an den **mechanischen Kassettenhaltern** und an den **Bleihandschuhen** der „Kassettenhalter“ für alle Messorte liegt für die Röntgenuntersuchungen der Gliedmaßen des Pferdes zwischen  $< \text{NW}$  und 50  $\mu\text{Sv}$  („Schulter 0°“). Der größte Dosiswert von 73  $\mu\text{Sv}$  wurde am mechanischen Kassettenhalter für die Aufnahmen an den Gliedmaßen „Strahlbein nach Oxspring“ bestimmt. Der Median am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen liegt für die Röntgenuntersuchungen am Kopf und Körperstamm zwischen  $< \text{NW}$  und 10,5  $\mu\text{Sv}$  („Becken ventro-dorsal“). Der größte Dosiswert von 23  $\mu\text{Sv}$  wurde am rechten Bleihandschuh für die Röntgenuntersuchung „Rücken 90° (Th 13-18)“ bestimmt.

Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  liegt für die „**Pfleger**“ für alle Messorte an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes unterhalb von 2  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert von 8  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen für „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen der „Pfleger“ bestimmt. Der größte Median für die „Pfleger“ beläuft sich an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ auf 23  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Untersuchung „Becken ventro-dorsal“ auf 10  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Füße). Der größte Dosiswert beträgt an den proximalen Gliedmaßen für die Untersuchung „Schulter 90°“ 128  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden) und am Körperstamm für die Röntgenaufnahme „HWS 90° (C 5-7)“ 49  $\mu\text{Sv}$  (Trageort Gonaden).

#### 4.5.2 Explorative Analyse der Dosiswerte für alle Messorte

In den Abbildungen 4. 7 bis 4. 13 sind für ausgewählte Röntgenaufnahmen die Personenäquivalentdosen  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  an den Trageorten Schilddrüse, Gonaden und Füße für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ dargestellt. Exemplarisch wurden die am häufigsten durchgeführten Röntgenaufnahmen für alle Kliniken bzw. Praxen und einige Röntgenaufnahmen am Körperstamm des Pferdes zusammengefasst.

Für die Untersuchung „Zehe 90°“ ergibt sich die folgende Graphik (Abb. 4. 7):

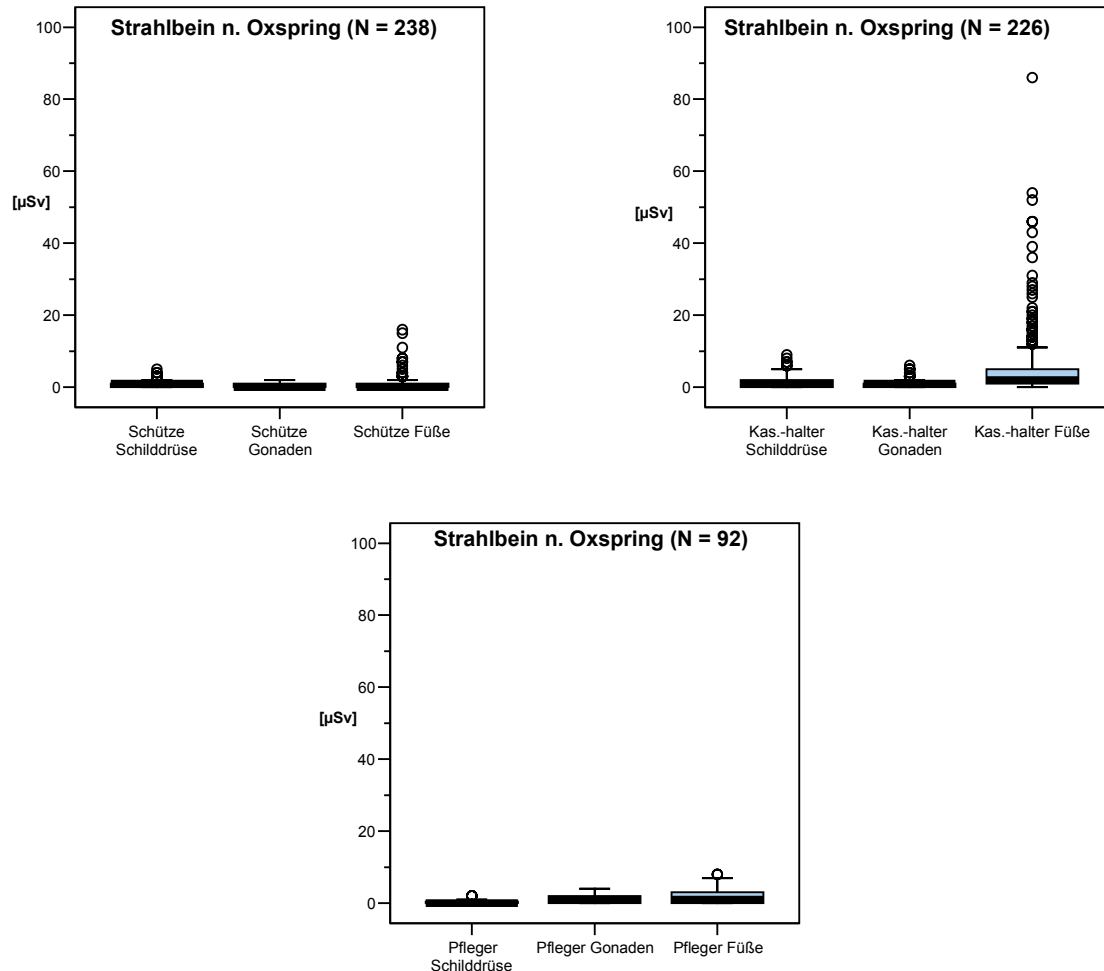


**Abb. 4. 7: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in  $[\mu\text{Sv}]$  für „Zehe 90°“.**

Bei der Untersuchung „Zehe 90°“ beträgt der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für die Trageorte Schilddrüse und Füße am „Schützen“ 1  $\mu\text{Sv}$ , der Median an den Gonaden liegt unterhalb der Nachweisgrenze. An allen drei Trageorten beträgt der größte Wert 2  $\mu\text{Sv}$ . Als Ausreißer sind an der Schilddrüse des „Schützen“ 3  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 3  $\mu\text{Sv}$  und 5  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 3  $\mu\text{Sv}$ , 4  $\mu\text{Sv}$  und 9  $\mu\text{Sv}$  angegeben. Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für den „Kassettenhalter“ liegt unterhalb der Nachweisgrenze. Die Ausreißer für die Trageorte Schilddrüse und Gonaden liegen zwischen 3  $\mu\text{Sv}$  und 4  $\mu\text{Sv}$ . Der maximale Ausreißer an den Füßen beträgt 58  $\mu\text{Sv}$ .

Der Median für den „Pfleger“ liegt für alle Trageorte unter der Nachweisgrenze. Die Ausreißer an allen drei Trageorten liegen bei 1  $\mu\text{Sv}$ , 2  $\mu\text{Sv}$  und 3  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen des „Pfleger“ zusätzlich bei 4  $\mu\text{Sv}$ .

Die Personenäquivalentdosen  $H_p(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] sind für die Röntgenuntersuchung „**Strahlbein nach Oxspring**“ in der Abbildung 4. 8 dargestellt:

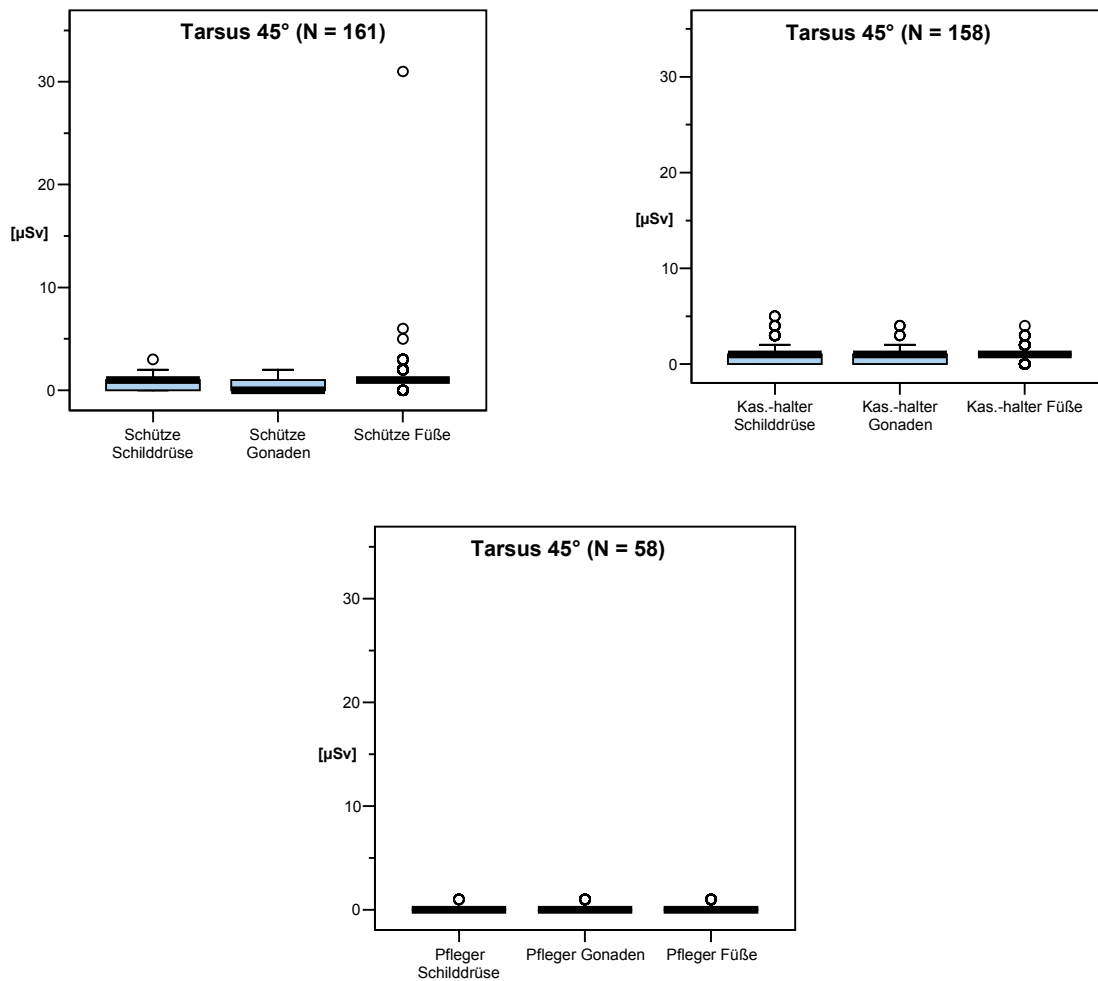


**Abb. 4. 8: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „Strahlbein nach Oxspring“.**

Für die Trageorte „Schütze“ Gonaden und „Schütze“ Füße liegt der Median unterhalb der Nachweisgrenze. Der Median für „Schütze“ Schilddrüse beträgt 1  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert für alle Trageorte am „Schützen“ beläuft sich auf 2  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer am „Schützen“ auf Höhe der Schilddrüse liegen bei 3  $\mu\text{Sv}$ , 4  $\mu\text{Sv}$  und 5  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer auf Höhe der Füße belaufen sich zwischen 3  $\mu\text{Sv}$  und 16  $\mu\text{Sv}$ . Der Median der Personenäquivalentdosis am „Kassettenhalter“ beträgt am Trageort Schilddrüse 1  $\mu\text{Sv}$ , an den Füßen 2  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden liegt er unterhalb der Nachweisgrenze. Der größte Wert am „Kassettenhalter“ Schilddrüse beträgt 5  $\mu\text{Sv}$  und die Ausreißer liegen zwischen 6 und 10  $\mu\text{Sv}$ . Für den Trageort Füße am „Kassettenhalter“ beträgt der größte Wert 10  $\mu\text{Sv}$  und die Ausreißer belaufen sich zwischen 10  $\mu\text{Sv}$  und 86  $\mu\text{Sv}$ .

Für den „Pfleger“ wurde auf Höhe der Schilddrüse ein Median unterhalb der Nachweisgrenze und auf Höhe der Gonaden und Füße eine Personenäquivalentdosis von 1  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der größte Wert am „Pfleger“ auf Höhe der Schilddrüse beträgt 1  $\mu\text{Sv}$ , auf Höhe der Gonaden 4  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 7  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer am „Pfleger“ Schilddrüse und „Pfleger“ Füße belaufen sich auf 2  $\mu\text{Sv}$  bzw. 8  $\mu\text{Sv}$ .

Die Personenäquivalentdosen in [ $\mu\text{Sv}$ ] für die Untersuchung „Tarsus 45°“ sind in den anschließenden Boxplots (Abb. 4. 9) dargestellt:

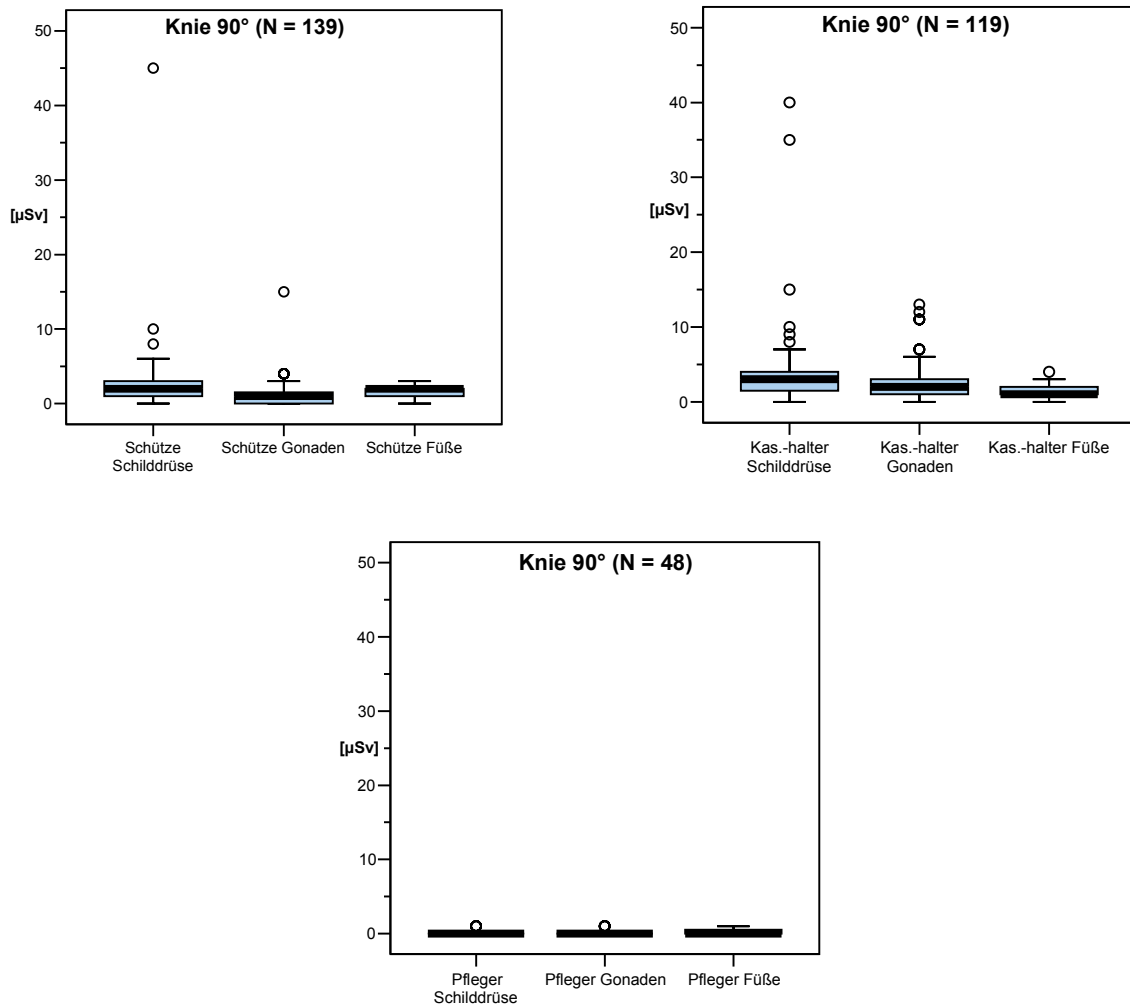


**Abb. 4. 9: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „Tarsus 45°“.**

Für die Röntgenuntersuchung „Tarsus 45°“ des Pferdes liegt der Median der Personenäquivalentdosis an den Gonaden des „Schützen“ und an allen Trageorten am „Pfleger“ unterhalb der Nachweisgrenze. Der Median für die Schilddrüse und die Füße am „Schützen“ und für alle Trageorte am „Kassettenhalter“ beträgt 1  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert an der Schilddrüse und an den Gonaden sowohl am „Schützen“ als auch am „Kassettenhalter“ beläuft sich auf 2  $\mu\text{Sv}$ . Der Ausreißer an der Schilddrüse am „Schützen“ liegt bei 3  $\mu\text{Sv}$ . An den Füßen des „Schützen“ belaufen sich die Ausreißer auf 2  $\mu\text{Sv}$  bis 31  $\mu\text{Sv}$ .

Die Ausreißer an Schilddrüse und Gonaden des „Kassettenhalters“ betragen 3  $\mu\text{Sv}$  und 4  $\mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Schilddrüse zusätzlich 5  $\mu\text{Sv}$ . An den Füßen des „Kassettenhalters“ liegen die Ausreißer bei 2  $\mu\text{Sv}$ , 3  $\mu\text{Sv}$ , 4  $\mu\text{Sv}$  und unterhalb der Nachweisgrenze. 1  $\mu\text{Sv}$  betragen die Ausreißer an allen Trageorten des „Pfleger“.

In der folgenden Graphik (Abb. 4. 10) sind die Personenäquivalentdosen in [ $\mu\text{Sv}$ ] des „Schützen“, „Kassettenhalters“ und „Pfleger“ für die Untersuchung „Knie 90°“ des Pferdes dargestellt:



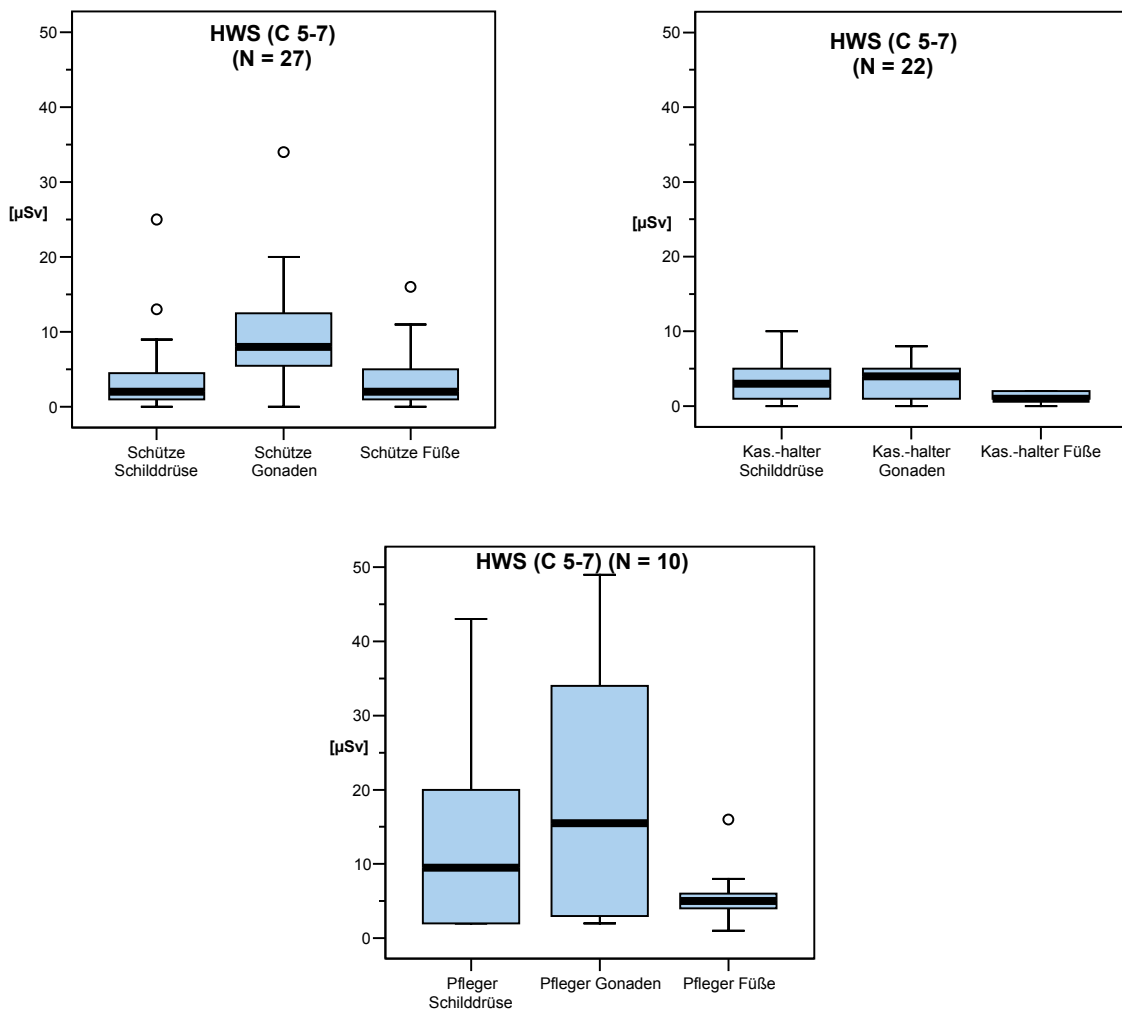
**Abb. 4. 10: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „Knie 90°“.**

Für die Röntgenuntersuchung „Knie 90°“ beträgt der Median der Personenäquivalentdosis am „Schützen“ für die Schilddrüse 2  $\mu\text{Sv}$  und sowohl für die Gonaden als auch für die Füße 1  $\mu\text{Sv}$ . Für den „Schützen“ an der Schilddrüse beläuft sich der größte Wert auf 6  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden bzw. Füßen 3  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer liegen für den „Schützen“ an der Schilddrüse bei 8  $\mu\text{Sv}$ , 10  $\mu\text{Sv}$  und 45  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden bei 4  $\mu\text{Sv}$  und 15  $\mu\text{Sv}$ . Der Median der Personenäquivalentdosis am „Kassettenhalter“ beträgt an der Schilddrüse 3  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 2  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 1  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten Werte liegen an allen drei Trageorten unterhalb der Nachweisgrenze.



Die größten Werte am „Kassettenhalter“ auf Höhe der Schilddrüse belaufen sich auf 7  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 6  $\mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Füße auf 3  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer an der Schilddrüse des „Kassettenhalters“ betragen 8  $\mu\text{Sv}$  bis 40  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 7  $\mu\text{Sv}$  bis 14  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 4  $\mu\text{Sv}$ . An allen drei Trageorten des „Pflegers“ liegt der Median der Personenäquivalentdosis unterhalb der Nachweisgrenze. Die Ausreißer an der Schilddrüse bzw. an den Gonaden des „Pflegers“ und der größte Wert an den Füßen des „Pflegers“ betragen 1  $\mu\text{Sv}$ .

Die Personenäquivalentdosen in [ $\mu\text{Sv}$ ] für die Untersuchung der „Halswirbelsäule 90° (C 5-7)“ sind der Abbildung 4. 11 zu entnehmen:



**Abb. 4. 11: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „HWS 90° (C 5-7)“.**

Der Median der Personenäquivalentdosen am „Schützen“ für die Röntgenuntersuchung „HWS 90° (C 5-7)“ sowohl an der Schilddrüse als auch an den Füßen beträgt 2  $\mu\text{Sv}$ . Der Median auf Höhe der Gonaden beläuft sich auf 8  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten, messbaren Dosiswerte liegen für alle Trageorte unterhalb der Nachweisgrenze. Der größte Wert an der Schilddrüse liegt bei 9  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden bei 20  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen bei 11  $\mu\text{Sv}$ .

Die Ausreißer am „Schützen“ an der Schilddrüse belaufen sich auf 14  $\mu\text{Sv}$  und 25  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 34  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen auf 16  $\mu\text{Sv}$ . Der Median der Personenäquivalentdosen am „Kassettenhalter“ beträgt an der Schilddrüse 3  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 4  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 1  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten, messbaren Dosiswerte liegen für alle Trageorte am „Kassettenhalter“ unterhalb der Nachweisgrenze. Der größte Wert am „Kassettenhalter“ an der Schilddrüse beläuft sich auf 10  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden auf 8  $\mu\text{Sv}$ . Am „Pfleger“ beträgt der Median an der Schilddrüse 10  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 15  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 5  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert an den Gonaden des „Pfleger“ liegt bei 2 und an den Füßen bei 1  $\mu\text{Sv}$ . Am „Pfleger“ an der Schilddrüse beläuft sich der größte Wert auf 43  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 49  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen auf 8  $\mu\text{Sv}$ . Der Ausreißer auf Höhe der Füße des „Pfleger“ beträgt 16  $\mu\text{Sv}$ .

Die Personenäquivalentdosen in [ $\mu\text{Sv}$ ] für die Röntgenuntersuchung „Rücken 90° (Th 13-18)“ sind in der Graphik Abb. 4.12 dargestellt:

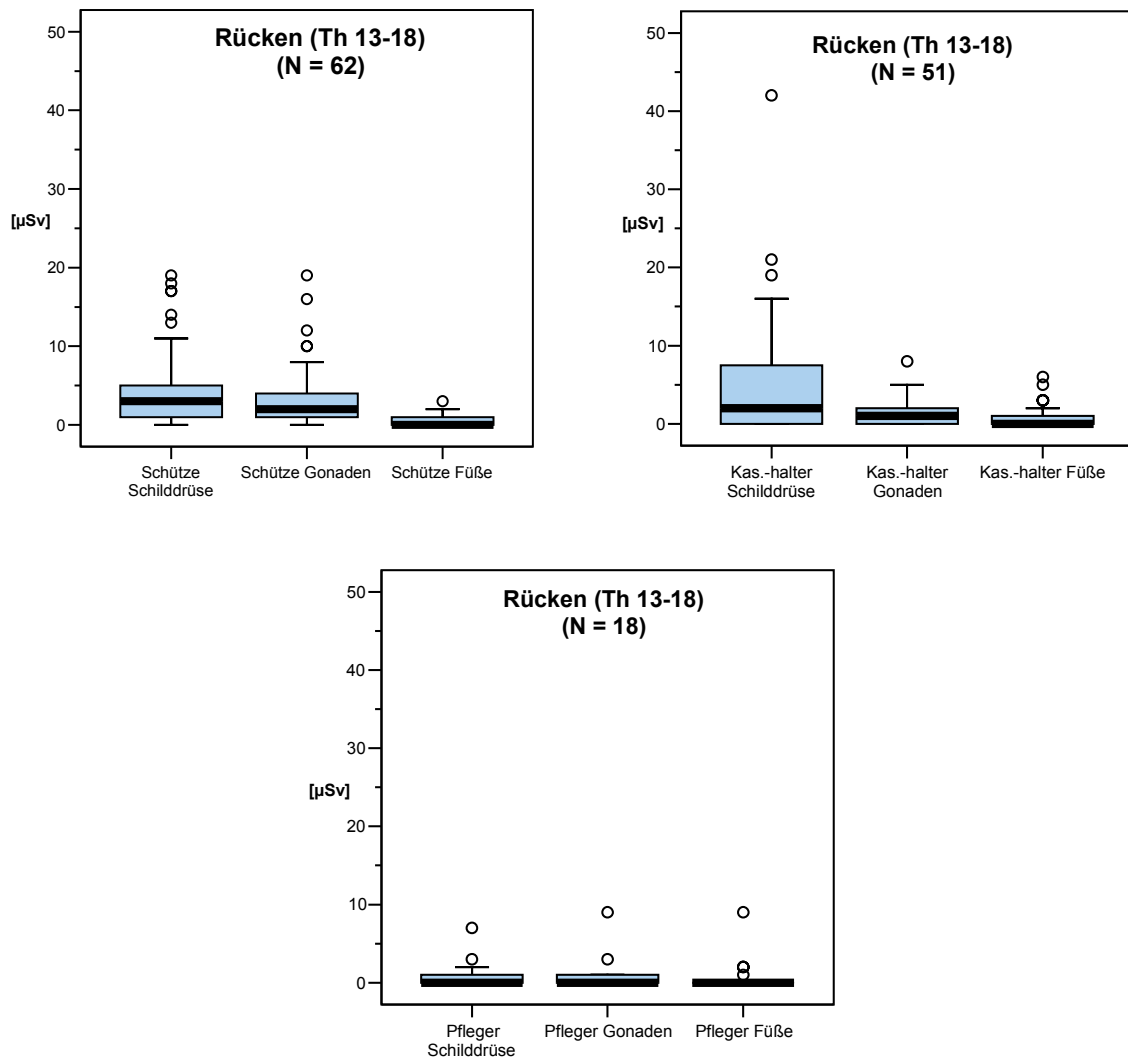
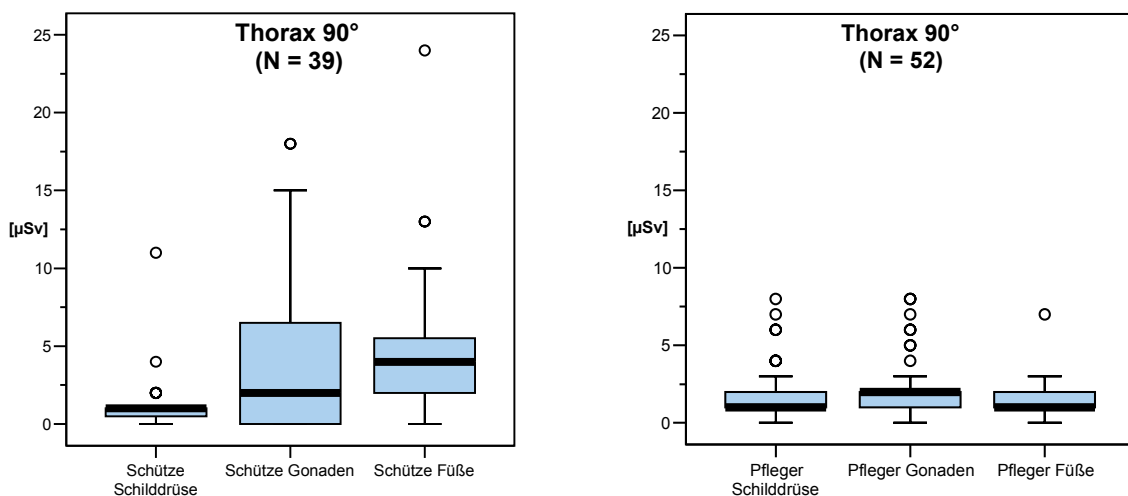


Abb. 4. 12: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „Rücken 90° (Th 13-18)“.

Für die Röntgenaufnahme „Rücken 90° (Th 13-18)“ liegt der Median sowohl an den Füßen des „Schützen“ und „Kassettenhalters“ als auch an allen Trageorten des „Pfleger“ unterhalb der Nachweisgrenze. Der Median am „Schützen“ an der Schilddrüse beträgt 3  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden 2  $\mu\text{Sv}$ .

Der größte Wert an der Schilddrüse am „Schützen“ beläuft sich auf 11  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 8  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen auf 4  $\mu\text{Sv}$ . An der Schilddrüse liegen die Ausreißer bei 13  $\mu\text{Sv}$ , 14  $\mu\text{Sv}$ , 17  $\mu\text{Sv}$ , 18  $\mu\text{Sv}$  und 19  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden bei 9  $\mu\text{Sv}$ , 12  $\mu\text{Sv}$ , 16  $\mu\text{Sv}$  und 19  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen bei 3  $\mu\text{Sv}$ . Am „Kassettenhalter“ beträgt der Median auf Höhe der Schilddrüse 2  $\mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Gonaden 1  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert an der Schilddrüse beläuft sich auf 16  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 5  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen auf 2  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer am „Kassettenhalter“ an der Schilddrüse liegen bei 19  $\mu\text{Sv}$ , 21  $\mu\text{Sv}$  und 42  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden bei 8  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen bei 3  $\mu\text{Sv}$ , 5  $\mu\text{Sv}$  und 6  $\mu\text{Sv}$ . Am „Pfleger“ an der Schilddrüse wurde 2  $\mu\text{Sv}$  als größter Wert ermittelt. Die Ausreißer am „Pfleger“ an der Schilddrüse betragen 3  $\mu\text{Sv}$  und 7  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden 3  $\mu\text{Sv}$  und 9  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 1  $\mu\text{Sv}$ , 2  $\mu\text{Sv}$  und 9  $\mu\text{Sv}$ .

Die Personenäquivalentdosen in [ $\mu\text{Sv}$ ] für die Untersuchung „Thorax 90°“ ergeben folgende Graphik (Abb. 4. 13):



**Abb. 4. 13: Personenäquivalentdosen ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu\text{Sv}$ ] für „Thorax 90°“.**

Aufgrund der sehr geringen Anzahl der Personenäquivalentdosen am „Kassettenhalter“ wurde bei dieser Untersuchung auf eine graphische Darstellung dieser Werte verzichtet. Der Median der Personenäquivalentdosen am „Schützen“ beträgt an der Schilddrüse 1  $\mu\text{Sv}$  und an den Gonaden 3  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten Werte am „Schützen“ und „Pfleger“ liegen unterhalb der Nachweisgrenze. An den Gonaden wurde der größte Wert von 15  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen von 10  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer am „Schützen“ belaufen sich an der Schilddrüse auf 2  $\mu\text{Sv}$ , 4  $\mu\text{Sv}$  und 11  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden auf 16  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen auf 13  $\mu\text{Sv}$  und 24  $\mu\text{Sv}$ .

Am „Pfleger“ liegt der Median der Personenäquivalentdosen an der Schilddrüse und an den Füßen bei 1  $\mu\text{Sv}$  und den Gonaden bei 2  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert an allen drei Trageorten des „Pfleger“ beläuft sich auf 3  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer betragen an der Schilddrüse und den Gonaden 4  $\mu\text{Sv}$  bis 8  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen 7  $\mu\text{Sv}$ .

Anhand der explorativen Auswertung für diese Röntgenuntersuchungen besteht die Möglichkeit die Dosiswerte zwischen den beteiligten Personen und den Trageorten zu vergleichen. Welche der beteiligten Personen für die jeweilige Röntgenuntersuchung der höchsten Strahlenexposition ausgesetzt ist, hängt von der geometrischen Anordnung der Person zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl und der Röntgenaufnahme ab. Das gilt auch für die Trageorte an den Personen. Während für die Untersuchungen „Zehe 90°“, „Strahlbein nach Oxspring“ und „Tarsus 45°“ die Strahlenexposition am „Schützen“ und „Kassettenhalter“ an der Schilddrüse und an den Gonaden unter 10  $\mu\text{Sv}$  beträgt, liegen die erfassten Dosiswerte für diese Aufnahmen und Trageorte am „Pfleger“ unter 5  $\mu\text{Sv}$ . An den Füßen sind die ermittelten Dosiswerte für diese Röntgenaufnahmen insbesondere für den „Kassettenhalter“ deutlich höher. Die höchste Strahlenexposition von 86  $\mu\text{Sv}$  wurde bei der Aufnahme „Strahlbein nach Oxspring“ an den Füßen des „Kassettenhalters“ erfasst. Für die Röntgenaufnahmen „Knie 90°“, „HWS 90° (C 5-7)“, „Rücken 90° (Th 13-18)“ und „Thorax 90°“ beläuft sich die Strahlenexposition am „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ an den Füßen auf unter 24  $\mu\text{Sv}$ . An der Schilddrüse und den Gonaden sind die ermittelten Dosiswerte für diese Röntgenaufnahmen höher. Die höchste Strahlenexposition von 49  $\mu\text{Sv}$  wurde bei der Aufnahme „HWS 90° (C 5-7)“ an den Gonaden des „Pfleger“ erfasst.

In der anschließenden Graphik (Abb. 4. 14) sind die Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  am **mechanischen Kassettenhalter** für ausgewählte Röntgenuntersuchungen (N >10) dargestellt:

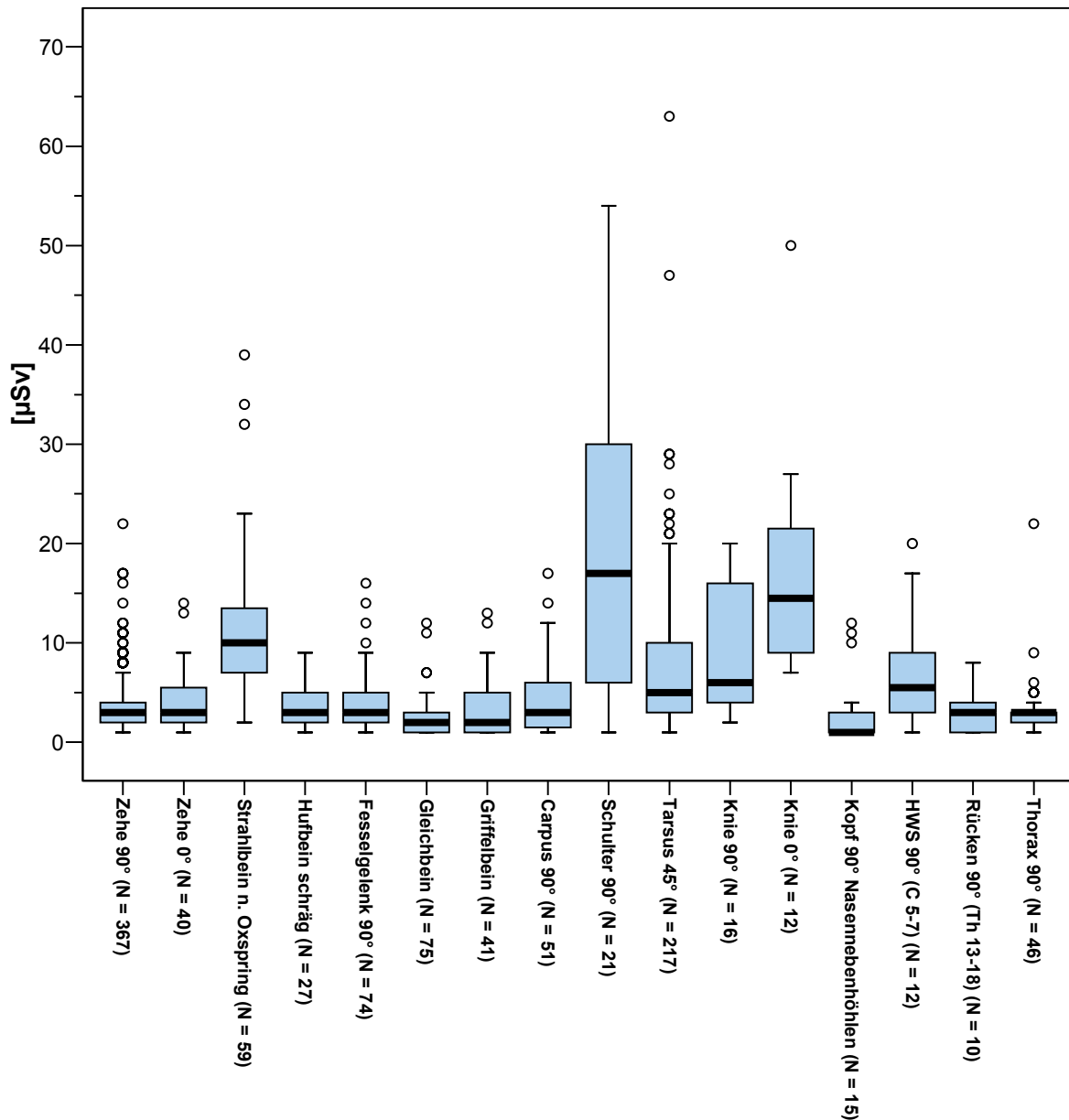


Abb. 4. 14: Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  am mechanischen Kassettenhalter.

Für die Untersuchung „**Zehne 90°**“ beträgt der Median am mechanischen Kassettenhalter 3  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert beläuft sich auf unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 7  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer liegen zwischen 8  $\mu\text{Sv}$  und 22  $\mu\text{Sv}$ .

Der Median für „**Zehne 0°**“ liegt bei 3  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 9  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer betragen 13 und 14  $\mu\text{Sv}$ .

Bei der Untersuchung „**Strahlbein nach Oxspring**“ wurde am mechanischen Kassettenhalter ein Median von 11  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der kleinste Wert liegt bei 2  $\mu\text{Sv}$  und der größte Wert bei 23  $\mu\text{Sv}$ . Als Ausreißer wurden 32  $\mu\text{Sv}$ , 34  $\mu\text{Sv}$  und 39  $\mu\text{Sv}$  bestimmt.

Der Median für „**Hufbein 0°**“ beträgt 3  $\mu\text{Sv}$ . Als kleinster Wert wurde 1  $\mu\text{Sv}$  und als größter Wert 7  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der Ausreißer der Personenäquivalentdosis am mechanischen Kassettenhalter für die Röntgenuntersuchung „Hufbein 0°“ liegt bei 9  $\mu\text{Sv}$ .

Für die Röntgenuntersuchung „**Fesselgelenk 90°**“ liegt der Median bei 2,5  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 9  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer betragen 10  $\mu\text{Sv}$ , 12  $\mu\text{Sv}$  und 16  $\mu\text{Sv}$ .

Bei der Untersuchung „**Gleichbein**“ beträgt der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am mechanischen Kassettenhalter 1  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 5  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer belaufen sich auf 7  $\mu\text{Sv}$ , 11  $\mu\text{Sv}$  und 12  $\mu\text{Sv}$ .

Ein Median von 2  $\mu\text{Sv}$  wurde für die Röntgenuntersuchung „**Griffelbein**“ ermittelt. Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze und der größte Wert bei 9  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer betragen 12  $\mu\text{Sv}$  und 13  $\mu\text{Sv}$ .

Bei der Untersuchung „**Carpus 0°**“ wurde am mechanischen Kassettenhalter ein Median von 2  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze und der größte Wert bei 4  $\mu\text{Sv}$ . Als Ausreißer wurde 8  $\mu\text{Sv}$  bestimmt.

Für die Untersuchung „**Schulter 90°**“ beträgt der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am mechanischen Kassettenhalter 8,5  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 33  $\mu\text{Sv}$  ermittelt.

Ein Median von 4  $\mu\text{Sv}$  wurde für „**Tarsus 45°**“ ermittelt. Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze und der größte Wert bei 16  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer belaufen sich zwischen 17  $\mu\text{Sv}$  und 47  $\mu\text{Sv}$ .

Bei der Untersuchung „**Knie 90°**“ wurde am mechanischen Kassettenhalter ein Median von 3,5  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der größte Wert liegt bei 20  $\mu\text{Sv}$ .

Für „**Knie 0°**“ beträgt der Median 14  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert liegt unter der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde 26  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Als Ausreißer wurde 50  $\mu\text{Sv}$  bestimmt.

Der Median für „**Kopf 90° (Nasennebenhöhlen)**“ liegt bei 1  $\mu\text{Sv}$ . Als größter Wert wurde 4  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer betragen 9  $\mu\text{Sv}$ , 10  $\mu\text{Sv}$  und 11  $\mu\text{Sv}$ .

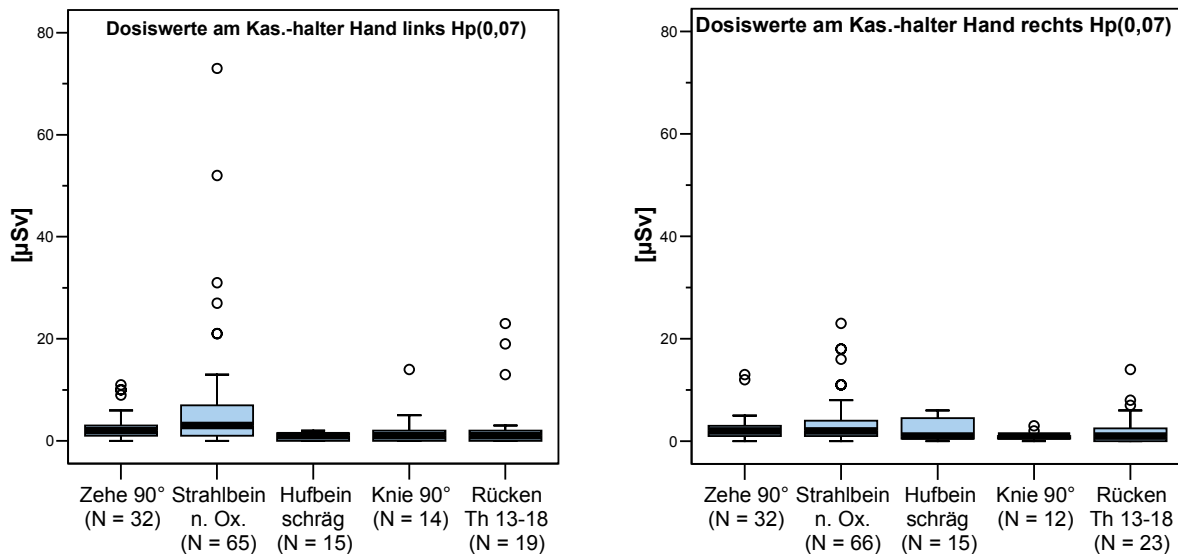
Bei der Untersuchung „**HWS 90° (C 5-7)**“ wurde am mechanischen Kassettenhalter ein Median von 5,5  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Der kleinste Wert liegt bei 1  $\mu\text{Sv}$  und der größte Wert bei 16  $\mu\text{Sv}$ . Als Ausreißer wurde 20  $\mu\text{Sv}$  bestimmt.

Für „**Thorax 90°**“ liegt der Median bei 3  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert beträgt 1  $\mu\text{Sv}$  und der größte Wert 4  $\mu\text{Sv}$ . Die Ausreißer belaufen sich auf 5  $\mu\text{Sv}$ , 6  $\mu\text{Sv}$ , 9  $\mu\text{Sv}$  und 22  $\mu\text{Sv}$ .

Anhand der Darstellung können die Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Röntgenuntersuchungen anschaulich miteinander verglichen werden. Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  am mechanischen Kassettenhalter ist für die Untersuchungen „Strahlbein nach Oxspring“ (11  $\mu\text{Sv}$ ) und „Knie 0°“ (14  $\mu\text{Sv}$ ) am größten.

Für die restlichen Röntgenuntersuchungen liegt er unter 9  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Dosiswert von 33  $\mu\text{Sv}$ , der kein Ausreißer ist wurde am mechanischen Kassettenhalter bei der Aufnahme „Schulter 90°“ ermittelt. Der höchste Ausreißer von 50  $\mu\text{Sv}$  wurde bei der Röntgenuntersuchung „Knie 0°“ erfasst.

Die Abbildung 4. 15 zeigt die Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] an den **Händen** bzw. an den **Bleihandschuhen des Kassettenhalters** für ausgewählte Röntgenuntersuchungen ( $N > 10$ ):



**Abb. 4. 15: Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] an den Händen des Kassettenhalters.**

Für die „**Zehe 90°**“ liegt der Median der Personenäquivalentdosis an der linken und rechten Hand bei 2  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert beträgt für die linke Hand 6  $\mu\text{Sv}$  und für die rechte Hand 5  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten Werte an beiden Händen liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Ausreißer belaufen sich an der linken Hand auf 9  $\mu\text{Sv}$  bis 11  $\mu\text{Sv}$  und an der rechten Hand auf 12  $\mu\text{Sv}$  und 13  $\mu\text{Sv}$ .

Der Median für die Untersuchung „**Strahlbein nach Oxspring**“ beträgt an der linken Hand 3  $\mu\text{Sv}$  und an der rechten Hand 2  $\mu\text{Sv}$ . Die kleinsten Werte an beiden Händen liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Als größter Wert wurde links 12  $\mu\text{Sv}$  und rechts 8  $\mu\text{Sv}$  ermittelt. Die Ausreißer belaufen sich an der linken Hand zwischen 21  $\mu\text{Sv}$  und 73  $\mu\text{Sv}$  und an der rechten Hand zwischen 11  $\mu\text{Sv}$  und 23  $\mu\text{Sv}$ .

Bei der Untersuchung „**Hufbein schräg**“ beträgt der Median an der linken und rechten Hand 1  $\mu\text{Sv}$ . Der größte Wert an der linken Hand liegt bei 6  $\mu\text{Sv}$  und rechts bei 2  $\mu\text{Sv}$ .

Für die Röntgenuntersuchung „**Knie 90°**“ beläuft sich der Median an der linken und rechten Hand auf 1  $\mu\text{Sv}$ . Der kleinste Wert an der linken Hand liegt unterhalb der Nachweisgrenze. Der größte Wert an der linken Hand beträgt 5  $\mu\text{Sv}$ . An der linken Hand wurde ein Ausreißer von 14  $\mu\text{Sv}$  und an der rechten Hand wurden Ausreißer von 2  $\mu\text{Sv}$  und 3  $\mu\text{Sv}$  ermittelt.

Der Median für die Untersuchung „**Rücken 90°** (Th 13-18)“ beträgt sowohl an der linken als auch an der rechten Hand 1  $\mu\text{Sv}$ . 3  $\mu\text{Sv}$  an der linken Hand und 7  $\mu\text{Sv}$  an der rechten Hand wurden als größter Wert ermittelt. Die Ausreißer liegen an der linken Hand bei 12  $\mu\text{Sv}$ , 19  $\mu\text{Sv}$  und 23  $\mu\text{Sv}$  und an der rechten Hand bei 6  $\mu\text{Sv}$ , 8  $\mu\text{Sv}$  und 14  $\mu\text{Sv}$ .

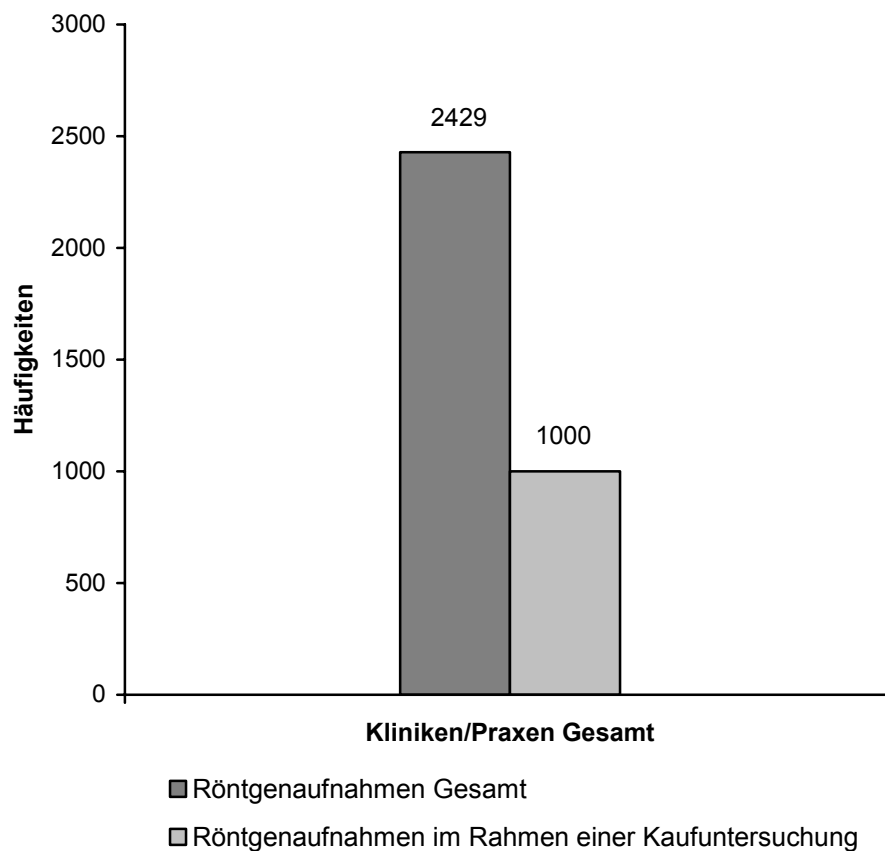
Die Darstellung der Personenäquivalentdosen  $H_p(0,07)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] an den Händen bzw. an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ bietet die Möglichkeit für ausgewählte Röntgenaufnahmen die Dosiswerte an den Händen und am mechanischen Kassettenhalter miteinander zu vergleichen. Die erfassten Dosiswerte an der rechten und linken Hand sind annähernd gleich. Der Median, größter Dosiswert und Ausreißer sind an den Händen für die Röntgenaufnahme „Strahlbein nach Oxspring“ am höchsten. Bei dieser Untersuchung beträgt der Median am mechanischen Kassettenhalter 11  $\mu\text{Sv}$ , der größte Wert 23  $\mu\text{Sv}$  und die Ausreißer 32  $\mu\text{Sv}$ , 34  $\mu\text{Sv}$  und 39  $\mu\text{Sv}$ . Während für die Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ an den Händen ein niedrigerer Median (2  $\mu\text{Sv}$  und 3  $\mu\text{Sv}$ ) als am mechanischen Kassettenhalter bestimmt werden konnte, wurde an der linken Hand ein größerer Dosiswert (73  $\mu\text{Sv}$ ) erfasst.



### 4.5.3 Röntgenuntersuchungen im Rahmen einer Kaufuntersuchung

Die Kaufuntersuchung des Pferdes ist definiert als eine tierärztliche Untersuchung, von deren Ergebnis der Käufer den Erwerb eines Tieres abhängig macht (WIESNER u. RIBBECK 2000). Zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung handelt es sich in der Regel um klinisch unauffällige Tiere.

Von 2429 untersuchten Röntgenaufnahmen in der Klinik für Pferde der FU Berlin und in diese Untersuchung einbezogenen niedergelassenen Tierärzte wurden 1000 (= 41,2%) Röntgenaufnahmen im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes durchgeführt (s. Abb. 4. 16)



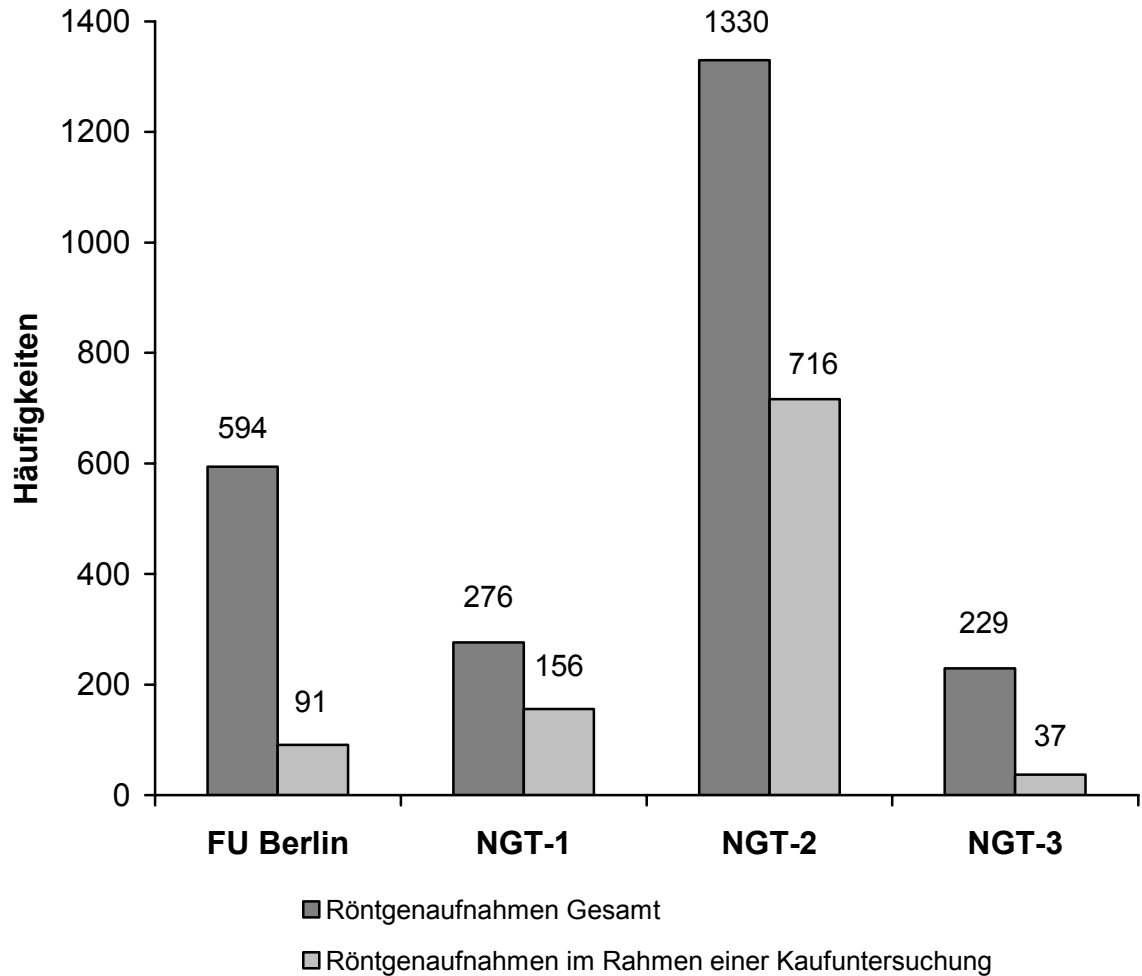
**Abb. 4. 16: Vergleichende Darstellung aller Röntgenaufnahmen und im Rahmen einer Kaufuntersuchung für alle Kliniken/Praxen.**

In der **Klinik für Pferde** der FU Berlin wurden 594 Röntgenaufnahmen untersucht. Davon wurden 91 (= 15,3 %) Aufnahmen im Rahmen einer Kaufuntersuchung durchgeführt. Je Pferd wurden im Durchschnitt 15 Röntgenbilder angefertigt.

Beim **NGT-1** wurden 276 Röntgenaufnahmen untersucht. 156 (= 56,5 %) Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes angefertigt. Das waren im Durchschnitt je Pferd 16 Röntgenbilder.

Von 1330 untersuchten Röntgenaufnahmen wurden beim **NGT-2** 716 (= 53,8 %) Röntgenbilder im Rahmen der Kaufuntersuchung durchgeführt.

17 Röntgenaufnahmen wurden je Pferd im Durchschnitt angefertigt. Beim **NGT-3** wurden von 229 untersuchten Röntgenaufnahmen 37 (= 16,2 %) im Rahmen der Kaufuntersuchung durchgeführt, d. h. pro Pferd im Durchschnitt 9 Röntgenbilder. Diese Ergebnisse sind der Abbildung 4. 18 zu entnehmen.



**Abb. 4. 17: Vergleichende Darstellung aller Röntgenaufnahmen und im Rahmen einer Kaufuntersuchung für jede Klinik/Praxis.**

#### 4.6 Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom

Die Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom sind im Anhang den Tabellen 9. 52 - 9.60 zu entnehmen. Da es sich bei den Ergebnissen um stetige Folgen von Messwerten handelt und keine Extremwerte bestimmt worden sind, wurden für die Dosiswerte der EPD EDM-III und TLD's der arithmetische Mittelwert gebildet. Der Mittelwert wird aus der Summe aller Einzelwerte dividiert durch ihre Anzahl bestimmt.

Die Ergebnisse der Tierkörperphantommessungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Dosiswerten, die in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei den niedergelassenen Tierärzten ermittelt wurden. Die Dosiswerte der EDM-III (Fa. DOSILAB, Köniz, Schweiz) sind mit denen der TLD's XD-700 (LPS, Berlin) und der Ionisationskammer RGD 27091 (Fa. STEP, Pockau) vergleichbar. Die erfassten Dosiswerte bei den Messungen am TKP an allen Trageorten des „Kassettenhalters“ für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes unter Verwendung eines mechanischen Kassettenhalters liegen unter 1  $\mu\text{Sv}$ . Für die Röntgenaufnahme „Knie 90°“ sind die Dosiswerte an der Schilddrüse (7,6  $\mu\text{Sv}$ ) des „Kassettenhalters“ am höchsten. An der Stirn beträgt die Dosis 5,47  $\mu\text{Sv}$  und für die Trageorte Gonaden und Füße liegt die Exposition bei 1  $\mu\text{Sv}$ . In einem Abstand von 30 cm von der Streustrahlenquelle ist an den Händen ohne Bleihandschuhe unter Verwendung eines mechanischen Kassettenhalters mit einer Dosis von 15,5  $\mu\text{Sv}$  (Mittelwert aus Dosiswert EDM-III und TLD) zu rechnen. Bei einem Abstand von 45 cm von der Streustrahlenquelle wird die Dosis (4,5  $\mu\text{Sv}$  (Mittelwert aus Dosiswert EDM-III und TLD)) um mehr als die Hälfte reduziert.

Die erfassten Dosiswerte für „Kopf 90°, Zähne“ sind an allen Trageorten des „Pfleger“ von den untersuchten Röntgenuntersuchungen am höchsten. Bei gleicher Versuchsanordnung und unterschiedlichen Einstellungsparametern der Röntgenröhre liegen die Dosiswerte an allen Trageorten des „Pfleger“ für „Kopf 90°, Zähne“ (66 kV, 32 mAs, 32 ms, T16, 30 x 40 cm) mehr als fünfmal so hoch wie für „Kopf 90°, Nasennebenhöhlen“ (55 kV, 14 mAs, 16 ms, T16, 30 x 40 cm). Die Dosiswerte für „Kopf 90°, Zähne“ für den „Pfleger“, die Hände ausgenommen, liegen unter 8  $\mu\text{Sv}$ . Daran kann gezeigt werden, dass eine Erhöhung von 10 kV und einer Verdopplung des mAs-Produktes bzw. der Belichtungszeit eine mindestens fünfmal so hohe Strahlenbelastung des Personals bewirken kann. Deutlicher wird das durch die erfassten Dosen für diese Untersuchungen an den Händen des „Pfleger“. Während die Dosis in einem Abstand von 30 cm zur Streustrahlenquelle an den Händen ohne Bleihandschuhe für „Kopf 90°, Nasennebenhöhlen“ 5  $\mu\text{Sv}$  beträgt, kann für „Kopf 90°, Zähne“ eine Dosis (Mittelwert aus Dosiswert EDM-III und TLD) von 30  $\mu\text{Sv}$  erwartet werden. Eine Vergrößerung des Abstandes um 10 cm zur Streustrahlenquelle bedeutet in diesem Fall ebenfalls eine Reduzierung der Dosis um mindestens die Hälfte (5  $\mu\text{Sv}$  zu 2,5  $\mu\text{Sv}$ , 30  $\mu\text{Sv}$  zu 10  $\mu\text{Sv}$ ). Dosismessungen an den Händen des „Pfleger“ konnten in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei den niedergelassenen Tierärzten im Praxisalltag nicht durchgeführt werden.

## 5 Diskussion

### 5.1 Auswahl und Eignung des Dosimetrieverfahrens

Das Ziel der Untersuchung war es, in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei niedergelassenen Tierärzten die Strahlenexposition bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes bei dem veterinärmedizinischen Personal mit Hilfe von elektronischen Personendosimetern zu bestimmen.

Hierfür kamen das **ComDos EDM-III als APD-light System der Fa. DOSILAB (vorm. COMET; Köniz, Schweiz)** und das **EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen)** zum Einsatz. Beide Systeme sind elektronische Personendosimeter mit integrierten Siliziumdetektoren zur Messung ionisierender Strahlung. In Abhängigkeit von der Art (Gamma- oder Betastrahlung), Energie und Intensität der einfallenden Strahlung liefert jeder der Detektoren unterschiedliche Signale. Die Ausgangssignale jedes Detektors werden zur Berechnung und Anzeige von der Tiefen- und Oberflächen-Personendosis sowie der Dosisleistung im Dosimeter ausgewertet. Beide elektronischen Personendosimetertypen haben ähnliche Abmessungen bzw. Gewicht und sind mit einem Trageklipp individuell an der Kleidung zu befestigen.

Das **ComDos EDM-III** ist nach Standard der IEC-61526 (2005-02) in einem Energiebereich von 20 keV bis 6 MeV mit einer Strahleneinfallrichtung von 0° bis +/- 60° und einem Messbereich von 1 µSv bis 10 Sv einsetzbar. Es ist mit einer aufladbaren Batterie (16 h Akkukapazität) betrieben und kann in dem dafür vorgesehenen „rack-charger“ aufgeladen werden. Das Gerätesystem ist mit einer Software (ComDos) gekoppelt und verfügt über ein automatisiertes Datenübernahmesystem in eine SQL-basierte Datenbank mittels IrDA-Interface. Die Dosimeter sind in der Lage, 50 Expositionen mit einer *Integrationszeit* von 60 sec. einzeln aufgeschlüsselt zu speichern. Danach beginnt eine Aufsummierung der Expositionen. Für eine weitere Verarbeitung können die erfassten Werte in andere Programme (z. B. Excel) exportiert werden.

Das **EPD Mk 2** hat nach PTB Bauartzulassung einen Einsatzbereich von 15 keV bis 10 MeV mit einem Messbereich von 1 µSv bis 16 Sv. Die Daten werden in einem internen Speicher (EEPROM) im EPD gespeichert. Die Energieversorgung der Dosimeter erfolgt über eine Batterie (Energiedauer bis 3 Monate). Die Daten können mit dem von THERMO ELECTRON bereitgestellten Programm EasyEPD2 mittels Infrarot-Datenübertragung gelesen, Messparameter zum Gerät geschrieben und die Daten für weitere Analysen exportiert werden. Die Speicherkapazität gestattet Aufzeichnungen von über 500 Werten mit einer *Integrationszeit* von 10 sec. Die *geringere Integrationszeit* gegenüber den EDM-III ist ein deutlicher Vorteil.

Auch Expositionen in rascher Folge können einzeln betrachtet und ausgewertet werden. Beide Systeme gelangen bei der Ermittlung der Dosis im hohen Dosisleistungsbereich ( $> 1\text{Sv/h}$ ) an ihre Nachweisgrenze. Die Untersuchung des Verhaltens der Messsysteme bei möglichen Überschreitungen des Regeleinsatzbereiches der EPD's (s. Kapitel 4.1) ergibt, dass eine gute Übereinstimmung der Dosiswerte der EDM-III mit den TLD's in einem Dosisleistungsbereich von  $> 4\text{ Sv/h}$  (bezogen auf die Dosiswerte der TLD's) besteht. Diese Fähigkeit der EDM-III ist gegenüber der Mk 2 ein großer Vorteil.

Die bisherigen Untersuchungen zur Ermittlung der Strahlenexposition bei veterinärmedizinischem Personal erfolgten mit Filmdosimetern (SULLIVAN et al. 1957; TRAINOR et al. 1960; TAVERNOR u. VAUGHAN 1962; HARTUNG 1970; MORITZ et al. 1989; O'RIORDAN 1970; GSTETTNER 1995; STEYN u. UHRIG 2006), mit Ionisationskammern (ABRAHAMS et al. 1957; HARTUNG et al. 1968; HORVAT 1986; HARTUNG u. MÜNZER 1991; VÖSTER 1999; NÖLKER u. UELTSCHI 2001; KOERT 2004) bzw. Füllhalterdosimetern (ACKERMANN et al. 1988) und TLD's (ROTHE 1977; GSTETTNER 1995; MARTSCHEI 2005; NIEHAUS 2006; SEIFERT et al. 2007).

Der erhebliche Vorteil des Einsatzes von EPD's bei der Ermittlung der Strahlenexposition bei dem veterinärmedizinischen Personal gegenüber den oben genannten Dosimetrieverfahren besteht in der Möglichkeit, die Messdaten in elektronischer Form zu erfassen und weiter zu verarbeiten. Bei dem APD light System der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) sind die gemessenen Daten schreibgeschützt und nicht veränderbar. Sie sind jederzeit wieder aufrufbar und können nicht gelöscht werden. Ein Entfernen von einzelnen Personendaten aus den Unterordnern ist möglich, nicht aber ein vollständiges Löschen aus der Datenbank. Die Daten bleiben unverändert auf den Tag, Minute, Sekunde, Trageort und die Person jederzeit verfügbar. Außerdem kann die ermittelte Dosis unmittelbar vom Gerät abgelesen und der jeweiligen Röntgenuntersuchung zugeordnet werden. Ebenso könnten Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresdosen erfasst werden.

Die EPD's haben gegenüber den amtlichen Filmdosimetern eine niedrigere Dosisnachweisgrenze. Auch die Messfehlerbreite ist kleiner. Während der Dosisbereich bei den Filmdosimetern erst bei  $0,1\text{ mSv}$  beginnt, ist ein Dosisnachweis bei den EPD's schon ab  $1\text{ }\mu\text{Sv}$  möglich. Die Messfehlerbreite bei den Filmdosimetern beläuft sich zwischen  $-30\%$  und  $+50\%$ . Die Hersteller geben für die EDM-III einen Messfehler von  $\pm 10\%$  und für die EPD Mk 2 von  $\pm 20\%$  für den Energiebereich zwischen  $17\text{ keV}$  und  $1,5\text{ MeV}$  an. Die Auswertung der ermittelten Dosis erfolgt bei den Filmdosimetern nach RÖV (2003) durch eine amtliche Behörde und kann erst nach einer gewissen Expositionszeit erfolgen. Die Vorteile des Filmdosimeters liegen auf der anderen Seite in der kleinen Detektorgröße und den niedrigen Anschaffungskosten.

Der Nachteil einer Ionisationskammer bei der Ermittlung der Strahlenexposition des Personals ist, dass die erhobenen Daten nach jeder Röntgenaufnahme abgelesen und die Ergebnisse handschriftlich protokolliert werden müssen sowie erst anschließend in eine elektronische Form übergeführt werden können. Außerdem ist die Ionisationskammer ein Messgerät zur Ermittlung der Photonen-Äquivalentdosis bzw. Photonen-Äquivalentdosisleistung und wird zur Bestimmung der Ortsdosis  $H_x$  eingesetzt. In Anlage VI, Teil A der StrlSchV (2001) wird als Messgröße für die äußere Strahlung die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  für die durchdringende Strahlung vorgeschrieben. Nach Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Dosimetrie im Normenausschuss Radiologie (NAR)“ kann  $H_x$  zu  $H^*(10)$  durch Multiplikationsfaktoren umgerechnet werden. Dabei ist aber definitionsgemäß  $H^*(10)$  nicht gleichzusetzen mit  $H_p(10)$ . Die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  gilt jedoch als Schätzwert für die effektive Dosis einer Person an einem Punkt im Strahlungsfeld (KRIEGER 2004). Die Ionisationskammern haben eine sehr hohe Messgenauigkeit. Der Einsatz bei dosimetrischen Untersuchungen wird jedoch durch ihr großes Detektorvolumen limitiert. Hinzu kommen die hohen Anschaffungs- und Wartungskosten und die mechanische Anfälligkeit. Der Einsatz von Füllhalter- oder Stabdosisimetern zur Ermittlung der Strahlungsexposition des veterinärmedizinischen Personals ist kritisch zu bewerten. Diese Dosimeter können einen Messfehler bis zu 40 % aufweisen. Außerdem neigen sie zur Entladung ohne jegliche Strahleneinwirkung. Messwertangaben zu  $H_p(10)$  oder  $H_p(0,07)$  sind nicht möglich.

TLD's haben eine hohe Messgenauigkeit, sehr kleine Detektorgröße und sind im Gegensatz zu EPD's unabhängig von einer elektrischen Versorgung. TLD's weisen bei Expositionen mit kurzer Belichtungszeit bzw. mit hohen Dosisleistungen ( $>1$  Sv/h) keine Einschränkungen auf. Die Nachweisgrenze von TLD's ist jedoch von dem jeweiligen Typ abhängig (bei den TLD XD-700 beginnt die Nachweisgrenze bei 0,1 mSv). Unter Umständen muss bei der Ermittlung von niedrigen Expositionen eine Bestimmung der Dosis unter Mehrfachexpositionen erfolgen. Die TLD's können mit Hilfe einer automatischen Auswerteeinrichtung (TLD-Reader) ausgelesen werden oder wie bei dieser Studie durch ein Sonderdosimetrieverfahren einer amtlichen Behörde (z. B. LPS Berlin) ausgewertet werden. Die Messgröße von TLD's ist die Photonenäquivalentdosis  $H_x$ . Nach erfolgter Energiekorrektur auf die Strahlenqualität und der Berücksichtigung der apparativen Filterung der Röntgeneinrichtung kann das Ergebnis als  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$  ausgegeben werden.

## 5.2 Auswahl und Eignung der Messgröße und der Trageorte

In der Strahlenschutzgesetzgebung der Bundesrepublik Deutschland wurden bis 2001 je nach Art des Strahlenfeldes unterschiedliche Dosismessgrößen verwendet. Als ein Beispiel ist zu erwähnen, dass für die Photonenstrahlung die offizielle Messgröße für Orts- und Personendosis die Photonen-Äquivalentdosis war. Die Definitionen und Kalibrierverfahren der Dosismessgrößen waren für die Ausschüsse des DIN unbefriedigend. Angestrebt wurde eine Angleichung bzw. Modifikation der bisherigen nationalen Dosisgrößen an die internationalen Gepflogenheiten und Sprachregelungen. Aus diesem Grund wurde ein Regelwerk erarbeitet, in dem Dosisbegriffe, Dosisgrößen sowie Mess- und Kalibrierverfahren an die internationalen Vorgaben angepasst wurden. Es wurden zwei Kategorien von Dosisgrößen mit der Einheit Sievert [Sv] geschaffen. Zum einen die Kategorie der Dosismessgrößen, die für Messungen der Orts- und Personendosimetrie geeignet ist und zum anderen die Kategorie der Körperdosisgrößen (Organdosen  $H_T$ , Effektive Dosis  $E$ ), die Dosisangaben beinhalten, welche im Zusammenhang mit den Risiken einer Strahlenexposition des Menschen stehen. Nach der RÖV (2003), StrlSchV (2001), ICRP und DIN sollen in Zukunft nur noch die neuen Dosisgrößen und ihre zeitbezogenen Ableitungen verwendet werden (KRIEGER 2004).

Entsprechend den Anforderungen der RÖV (2003) wurde in dieser Studie bei den Messungen mit den elektronischen Personendosimetern die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 10 mm (Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$ ) bzw. für die Handdosen zusätzlich die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 0,07 mm (Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$ ) erfasst. Bei den Messergebnissen der TLD's erfolgte eine Energiekorrektur auf die Qualität der Strahlung. Anschließend wurde ebenfalls in [ $\mu$ Sv] die Personentiefendosis  $H_p(10)$  bzw. die Oberflächendosis  $H_p(0,07)$  ermittelt und angegeben.

Die mit der Ionisationskammer erfasste Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  wurde in die von der StrlSchV (2001) geforderten Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  umgerechnet. Da im Strahlungsfeld der Streustrahlung Messungen im Rahmen dieser Arbeit Photonenenergien zwischen 40 keV und 200 keV den überwiegenden Dosisanteil lieferten und keine Kenntnisse über die spektrale Verteilung der Strahlung vorlagen, wurde der nach der Empfehlung des NAR genannte Umrechnungsfaktor 1,3 von  $H_x$  zu  $H^*(10)$  gewählt.  $H^*(10)$  gilt als Schätzwert für die effektive Dosis einer Person an einem Punkt im Strahlungsfeld. In den vorherigen Studien (ABRAHAMS et al. 1957; HARTUNG et al. 1968; HORVAT 1986; HARTUNG u. MÜNZER 1991; VÖSTER 1999; NÖLKER u. UELTSCHI 2001; KOERT 2004) beim Einsatz von Ionisationskammern zur Ermittlung der Strahlenexposition beim veterinärmedizinischen Personal wurden bisher nur die Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  angegeben.

Definitionsgemäß sind Personendosen Äquivalentdosen in Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche (KRIEGER 2004). Es wird dabei in  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$  unterschieden, wobei  $H_p(10)$  zur Abschätzung der Effektiven Dosis und der Organdosen und  $H_p(0,07)$  zu der Abschätzung der Hautdosis auf der Tragestelle des Personendosimeters dient. Anders als die Ortsdosisgrößen sind Personendosen im tatsächlichen Strahlenfeld definiert und werden am Körper der exponierten Person gemessen.

Auf die Verwendung einer Bleischürze bei der Durchführung von Röntgenuntersuchungen ist nach RöV (2003) nicht zu verzichten. In dieser Studie lagen unterhalb der Bleischürze die erfassten Dosiswerte unter der Nachweisgrenze. Um dennoch einen Anhaltspunkt für die zu erwartende Dosis an definierten Trageorten zu erhalten, wurden in dieser Untersuchung bei den Messungen die elektronischen Personendosimeter auf Höhe der Schilddrüse und Gonaden auf der Bleischürze getragen. Die Fa. MAVIG (Berlin) gibt in einer Informationsbroschüre folgende Angaben zur Schutzwirkung von Bleischutzbekleidung an:

**Tab. 5. 1: Schutzwirkung von Bleischutzbekleidung (Informationsbroschüre Fa. MAVIG, Berlin).**

Bleigleichwert (mmPb)	Röhrenspannung (kV)				
	50	75	100	150	200
	Durchgelassene Strahlung (%)				
0,13	2	10	25	40	55
0,25	0,35	3	10	20	30
0,35	0,05	1,5	5,5	11	22
0,4	0,03	1	4,5	8	17
0,5	0,01	0,7	3	5,5	12,5
1	-	0,05	0,5	1	2,5

Danach kann in dieser Studie angenommen werden, dass es beim Tragen einer Bleischürze mit einem Bleigleichwert von 0,25 bis 0,35 (mmPb) und bei einer Röhrenspannung zwischen 75 und 100 kV zu einer durchgelassenen Strahlung von 1,5 bis 10 % gekommen ist.

Da eine Befestigung der Geräte an den Händen des „Kassettenhalters“ zur Bestimmung der Handdosen im Verlauf einer röntgenologischen Untersuchung zur Einschränkung der Bewegungsfreiheit des Personals geführt hätte, wurden die Dosimeter alternativ am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen angebracht. Hierbei ist anzumerken, dass die Ausrichtung der EPD's nicht optimal zur Streustrahlenquelle erfolgen konnte.

Im Rahmen der Vergleichsmessung wurden die Dosimeter nicht an Personen oder am Phantom (Rückstreuquelle) angebracht, sondern lediglich an definierten Punkten auf den Boden gestellt.



Nach einer persönlichen Mitteilung der GRS (2007) wurde eine Studie von der SSK diesbezüglich durchgeführt. In einer Versuchsreihe wurden die Dosiswerte von EPD's mit und ohne Rückstreukörper verglichen. Der Unterschied bei den Dosismesswerten lag unter 2 %. Aus diesem Grund wurde keine Korrektur an den erfassten Messdaten vorgenommen.

Es bleibt zu erwähnen, dass Personendosen wegen der individuellen Einflüsse des Körpers auf Absorption und Streuung auch bei gleichem Strahlenfeld von Person zu Person verschieden sind und mit dem Trageort des Dosimeters variieren können.

Die ermittelten Personendosen  $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$  können in der Schlussbetrachtung nicht direkt mit Körperdosisgrößen (Organdosen  $H_T$ , Effektive Dosen E) gleichgesetzt werden. Da in lebenden Personen keine Messgeräte platziert werden können und zur Berechnung der Körperdosen die über ein Organ gemittelte Energiedosis verwendet wird, können die Organdosis  $H_T$  und die Effektive Dosis E ausschließlich rechnerisch bestimmt werden. Von ALBERTS et al. (1994) und ALBERTS u. SCHNEPEL (2006) werden Berechnungen für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition angegeben. Sie führen an, dass  $H_p(0,07)$  gleichzusetzen ist mit der Organdosis Haut. Die Überführung von ermittelten  $H_p(10)$  Werten in die entsprechenden Organdosen  $H_T$  (bzw. in die Effektive Dosis E) sollte mittels Multiplikationsfaktoren erfolgen. Die von ihnen bestimmten Faktoren gehen bei den Tragorten Schilddrüse, Gonaden und Füße gegen eins, so dass bei dieser Untersuchung die ermittelten Personendosen mit der Organdosis  $H_T$  gleichzusetzen sind.

Das Ziel der Untersuchung war es, die elektronischen Personendosimeter bei allen an der Röntgenuntersuchung beteiligten Personen an definierten Trageorten zu testen. Es standen 12 EDM-III der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz) für die Messungen zur Verfügung. Die Auswahl der Trageorte an den Personen wurde durch die Anzahl der vorhandenen Dosimeter bestimmt. Bei der Auswahl der Trageorte musste darauf geachtet werden, dass das Personal in seiner Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt wurde. In Anlehnung an die jährlichen Organdosisgrenzwerte der RöV (2003) für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A wurden vergleichbare Trageorte (Schilddrüse, Gonaden, Hände, Füße) ausgewählt. Sowohl der „Schütze“ als auch der „Kassettenhalter“ müssen oftmals für die Erstellung von Röntgenaufnahmen in gebückter Stellung arbeiten. Die Dosimeter auf Höhe der Gonaden sind in diesen Fällen nicht optimal zur Streustrahlenquelle ausgerichtet und der Detektorenbereich wird von Schutzkleidung verdeckt. Es muss angenommen werden, dass die tatsächliche Dosis höher liegt als die vom Dosimeter angezeigte.

### 5.3 Methode der Dosismessungen

Für den praktizierenden Tierarzt sollte eine Job-Exposure-Matrix zur Abschätzung der Exposition an ionisierender Strahlung für die Röntgenuntersuchungen des Pferdes entstehen. Dafür wurden Dosismessungen für jede Routineröntgenaufnahme des Pferdes durchgeführt. Die Messungen wurden in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei ausgewählten niedergelassenen Tierärzten durchgeführt.

VÖSTER (1999) führte in ihrer Arbeit die Dosismessungen ausschließlich in der Klinik für Pferde der FU Berlin durch. Sie gibt in ihrer Diskussion zu bedenken, dass dort die Röntgenuntersuchungen von fachkundigen Personen durchgeführt wurden, die sehr auf die Anwendung aller möglichen Strahlenschutzvorrichtungen bedacht sind und über sehr gute technische Voraussetzungen verfügen. Sie vermutet, dass die Strahlenbelastung bei der routinemäßigen Röntgendiagnostik des Pferdes in der ambulanten Praxis deutlich höher liegen könnte, als in ihrer Untersuchung angegeben. Um für den praktizierenden Tierarzt repräsentative Ergebnisse darstellen zu können, wurden deshalb die Messungen zusätzlich bei niedergelassenen Tierärzten durchgeführt.

Die Messungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin fanden in einem Zeitraum von 8 Monaten und bei den niedergelassenen Tierärzten im Durchschnitt von jeweils 4 Wochen statt. Weder der Alltag der Klinik für Pferde der FU Berlin noch der Praxisalltag der niedergelassenen Tierärzte sollte durch die Dosismessungen beeinflusst bzw. im Ablauf gestört werden. Es gab keine Ausschlusskriterien. Analog zu den Studien von VÖSTER (1999), MARTSCHEI et al. (2005), NIEHAUS (2006) und SEIFERT et al. (2007) wurden alle anfallenden Röntgenaufnahmen mit Pferden unterschiedlicher Rassen, Geschlecht, Alter und Größe mit in die Dosismessungen einbezogen. Auf die Häufigkeiten der einzelnen Röntgenaufnahmen konnte kein Einfluss genommen werden. MARTSCHEI et al. (2005) und NIEHAUS (2006) unterschieden in ihrer Studie zwei Personengruppen. Die erste Gruppe umfasste die ungeschulten Tierbetreuungspersonen und die zweite setzte sich aus dem geschulten, radiologisch tätigen Personal zusammen. In dieser Arbeit wurde eine derartige Unterscheidung nicht vorgenommen. Nur in seltenen Fällen wurden bei den niedergelassenen Tierärzten die Pferde für die Röntgenaufnahmen von den Besitzern („ungeschultes Tierbetreuungspersonal“) selbst festgehalten. Ansonsten wurde für die Durchführung der Röntgenaufnahmen nur „Fachpersonal“ eingesetzt. Somit handelte es sich nach Definition der RöV (2003) um „beruflich strahlenexponierte Personen“.

Die Messreihen am TKP dienten zur Erfassung der Daten von Trageorten, die im Verlauf des Klinikalltages nur unter erschwerten Bedingungen erfasst bzw. gar nicht berücksichtigt werden konnten (Stirn, Hände). Durch den Einsatz der verschiedenen Dosimeter bei den Messungen am TKP bestand die Möglichkeit, die Messverfahren miteinander zu vergleichen.

Weiterhin konnten die Ergebnisse der Messungen in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei den niedergelassenen Tierärzten mit denen am TKP verglichen werden.

## **5.4 Bewertung der Ergebnisse der dosimetrischen Untersuchungen**

Um die in dieser Arbeit ermittelten Dosiswerte bewerten zu können, müssen einige Messvoraussetzungen näher betrachtet werden. Die Strahlenexposition wurde bei allen routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes beim veterinärmedizinischen Personal mit Hilfe von elektronischen Personendosimetern (ComDos EDM-III als APD-light System der Fa. DOSILAB (Köniz, Schweiz); EPD Mk 2 der Fa. THERMO ELECTRON (Erlangen)) bestimmt. Bei den Messungen am Tierkörperphantom und bei einer Vergleichsmessung bezüglich der Übereinstimmung der Dosiswerte aller bei diesem Projekt verwendeten Dosimetriesysteme kamen zusätzlich als Dosimetrieverfahren TLD's (TLD XD-700 (LPS, Berlin) und eine Ionisationskammer (RGD 27091 der Fa. STEP (Pockau)) zum Einsatz. Für die EPD's und TLD's wurden in  $[\mu\text{Sv}] H_p(10)$  für alle Messorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  für die Dosiswerte an den Händen des „Kassettenhalters“ bzw. am mechanischen Kassettenhalter erfasst. Mit der Ionisationskammer wurde  $H_x$  bestimmt, die nach StrlSchV (2001) und NAR in  $H^*(10)$  mit dem Multiplikationsfaktor 1,3 umgerechnet wurde.

Die Ergebnisse der Dosiswerte wurden für die jeweilige Röntgenaufnahme, Person und Trageort als Median (bzw. Mittelwert bei den Messungen TKP) und Minimum bzw. Maximum in  $[\mu\text{Sv}]$  angegeben. Für Dosen  $< 1 \mu\text{Sv}$  wurde als Ergebnis der Eintrag „unterhalb der Nachweisgrenze ( $< \text{NW}$ )“ festgehalten.

Wie schon erwähnt, konnte auf das Tragen einer Bleischürze nach RöV (2003) bei den Messungen nicht verzichtet werden. Unterhalb der Bleischürze auf Höhe der Gonaden lagen die erfassten Dosiswerte unter der Nachweisgrenze. Um dennoch einen Anhaltspunkt für die zu erwartende Dosis an den definierten Trageorten zu haben, wurden bei den Messungen die elektronischen Personendosimeter auf Höhe der Schilddrüse und Gonaden auf der Bleischürze getragen. Da die Bewegungsfreiheit der Personen bei der Durchführung der Röntgenuntersuchungen nicht behindert werden durfte, wurden die EPD's für die Erfassung der Handdosen des „Kassettenhalters“ ebenfalls auf den Bleihandschuhen befestigt.

Auf das Messergebnis schlagen sich verschiedene Einflussfaktoren nieder, die bei der Bewertung der Ergebnisse zu bedenken sind. Einerseits wurde das Messergebnis durch die Messungenauigkeit (s. Kapitel 3.1.3) des verwendeten Dosimetrieverfahrens beeinflusst. Der Messfehler des ausgewählten Dosimetrieverfahrens setzt sich aus der Energie-, Dosisleistungs- und der Winkelabhängigkeit zusammen. Für die Winkelabhängigkeit gilt je niedriger die Photonenenergie, desto höher der Winkeleinfluss.

Hinzu kommt die unbekannte spektrale Zusammensetzung und Raumerfüllung des Streustrahlenfeldes. Andererseits wurde das Ergebnis durch den Abstand des Strahlungsmessgeräts zur Streustrahlenquelle, das unterschiedliche Verhalten und die Größe bzw. die Individualität der das Gerät tragenden Person und durch die Größe und Individualität der Streustrahlenquelle selbst bestimmt. Bei einem Vergleich der Ergebnisse der Klinik für Pferde der FU Berlin und der niedergelassenen Tierärzte muss bedacht werden, dass bei der Erstellung der Röntgenaufnahmen verschiedenste Techniken (Röntgenröhre, Filter, Belichtungseinstellungen (KV, mAs, ms) und Entwicklungen (konventionell, digital)) verwendet wurden.

#### **5.4.1 Bewertung der Dosiswerte bei konventioneller und digitaler Entwicklung**

In dem Untersuchungszeitraum der Klinik für Pferde der FU Berlin wurden die Röntgenbilder mittels konventionellen Film-Folien-System und bei den niedergelassenen Tierärzten mittels digitaler Speicherfolienradiographie erstellt. Über die Vorteile des Einsatzes der digitalen Speicherfolienradiographie gegenüber dem konventionellen Film-Folien-System wird gegenwärtig in der Veterinärmedizin diskutiert.

Als großer Vorteil wird z. B. von der Fa. VetRay GmbH (Pfaffenhofen) (Persönliche Mitteilung PFEIFFER 2006) angegeben, dass es bei dem Einsatz von Speicherfoliensystemen zu einer Reduktion der Strahlendosis um ca. 30 % im Verhältnis zu den Verstärkerfolien (200) der herkömmlichen Radiographie kommt. Eine weitere Reduktion der Strahlenbelastung für das Röntgenpersonal ergibt sich allein durch die bessere Beurteilbarkeit der Bilder und der Bildbearbeitung in der Software. So können auf normal belichteten Bildern sowohl Skelettstrukturen als auch Weichteile durch entsprechende Filterungen in der Software digital sichtbar gemacht werden. Auf Rasteraufnahmen kann wegen der höheren Bildschärfe weitestgehend verzichtet werden. Sollten diese jedoch unumgänglich sein, so benötigen diese Rasterbilder nur eine Dosiserhöhung von ca. 30 %, da über die Steuerung der Reader diese Bilder mit höheren PM-Gain (PM-Gain = Voltarische Ansteuerung der Photomultiplier/Amplifyer) gelesen werden können und somit dunkler bzw. kontrastreicher erscheinen (Persönliche Mitteilung PFEIFFER 2006).

Sowohl in der Humanmedizin als auch in der Veterinärmedizin sind Studien zur Reduktion der Strahlendosis durch den Einsatz der digitalen Speicherfolienradiographie durchgeführt worden.

KOERT (2004) ermittelte in ihrer Untersuchung eine mögliche Dosisreduktion durch den Einsatz der Speicherfolien im Vergleich zu den konventionellen Film-Folien-Systemen für ausgewählte veterinärradiologische Anwendungen beim Kleintier. Sie konnte für einige Röntgenuntersuchungen durch die Verringerung des mAs-Produktes eine Erhöhung des Dosisersparpotentials erzielen.

HEYNE et al. (1999) geben an, dass es nur statistisch zu einer Dosisreduktion beim dem Einsatz von digitaler Speicherfolienradiographie aufgrund einer verminderten Anzahl an Fehlaufnahmen kommt.

Beim Einsatz von digitaler Speicherfolienradiographie der niedergelassen Tierärzte im Vergleich zu dem konventionellen Film-Folien-System der Klinik für Pferde der FU Berlin ist keine signifikante Reduzierung der Strahlenexposition des Personals zu erkennen. Trotz digitaler Entwicklung sind bei den niedergelassen Tierärzte die erfassten Maximalwerte für den Großteil der Röntgenuntersuchungen sehr viel höher als in der Klinik für Pferde der FU Berlin. Bei dem NGT-3 liegen für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes sowohl der Median als auch das Maximum für alle dosimetrierten Personen und Trageorte deutlich höher als in der Klinik für Pferde der FU Berlin. Nach Angabe des Personals wird weiterhin an den Belichtungsparametern konventioneller Aufnahmen festgehalten.

Bei einem Vergleich der verwendeten Einstellungsparameter (kV, mAs, ms) fällt auf, dass bei nahezu allen Röntgenaufnahmen der Klinik für Pferde der FU Berlin geringere kV Einstellungen und kürzere Belichtungszeiten verwendet wurden, als bei den niedergelassenen Tierärzten. Geringere mAs-Produkte als in der Klinik für Pferde der FU Berlin wurden beim NGT-1, NGT-3 und beim Einsatz der mobilen Röhre beim NGT-2 verwendet. Trotz digitaler Speicherfolienradiographie wurden beim NGT-2 und NGT-3 für ausgewählte Röntgenaufnahmen verschiedene Rastertypen verwendet. Das es bei der Verwendung von Rastern bloß zu einer Dosiserhöhung von ca. 30 % kommt, ist aus den Ergebnissen nicht zu folgern.

#### **5.4.2 Bewertung des Einflusses der Gewichtsklasse auf die ermittelte Dosis**

In den Arbeiten von KOERT (2004), NIEHAUS (2006) und SEIFERT et al. (2007) wurde die Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals bei der Radiographie des Kleintieres bestimmt. Hierfür teilten sie die zu untersuchenden Patienten in Gewichtsklassen ein. Sie konnten eine positive Korrelation zwischen der Gewichtsklasse und der ermittelten Dosis feststellen. Je schwerer das zu untersuchende Tier war, desto höhere Einstellungsparameter der Röntgenröhre (kV, mAs, ms) wurden verwendet und umso größere Expositionen für das Personal wurden ermittelt. Deshalb wurden auch in dieser Studie verschiedenen Pferderassen ebenfalls in Gewichtsklassen zusammengefasst. Die prozentuale Gewichtsklassenverteilung der geröntgten Pferde aller Kliniken bzw. Praxen ergab, dass 84,4 % der Pferde zwischen 500 und 600 kg wogen. Ein Gewicht von 350 bis 450 kg hatten 8,5 % der Pferde, 450 bis 500 kg wogen 3 % der Pferde, 200 bis 350 kg 2,1 %, 100 bis 200 kg 1 %, über 600 kg 0,7 % und ein Gewicht unter 100 kg hatten 0,3 % der Pferde.

Anders als bei den Kleintieren ergab die statistische Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit keine Korrelation zwischen der Gewichtsklasse und den Dosiswerten. Die Auswertung der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Röntgenuntersuchungen ergab, dass sowohl in der Klinik für Pferde an der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten die Untersuchungen der distalen Gliedmaßen (einschließlich Vorderfußwurzel- und Sprunggelenk nach NICKEL et al. (1992)) die am häufigsten durchgeführten Röntgenuntersuchungen des Pferdes darstellen. Diese Erkenntnis stimmt mit den Ergebnissen der Arbeiten von HOHLBACH (1989) und VÖSTER (1999) überein. Fasst man beide Ergebnisse zusammen, dann ist festzuhalten, dass für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen die Gewichtsunterschiede der Pferde für die Ermittlung der Exposition des Personals keine Rolle spielen.

Die Anzahl der anderen Gewichtsklassen und Röntgenuntersuchungen sind zu klein, so dass eine signifikante Aussage über eine Korrelation zwischen Gewicht und erfasster Dosis nicht gemacht werden kann.

#### **5.4.3 Interpretation und Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen**

Anhand der Ergebnisse in dieser Studie ist eine Job-Exposure-Matrix zur Abschätzung der Exposition an ionisierender Strahlung für jede einzelne Röntgenaufnahme des Pferdes entstanden. Praktizierende Tierärzte und das technische Personal haben die Möglichkeit, für die von ihnen durchgeführten Röntgenuntersuchungen die zu erwartende Strahlenexposition der beteiligten Person an definierten Trageorten mittels der erhobenen Daten abzuschätzen. Vergleichbare Ergebnisse konnten durch die Messungen am Tierkörperphantom erzielt werden. Die Ergebnisse der EPD EDM-III (Fa. DOSILAB, Köniz, Schweiz) ergaben eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten der TLD XD-700 (LPS, Berlin), so dass von einer guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in dieser Studie ausgegangen werden kann.

Zusammengefasst liegt die Strahlenexposition des Personals auf der Höhe der Gonaden unter der Bleischürze sowohl in der Klinik für Pferde der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten für alle Röntgenaufnahmen unterhalb der Nachweisgrenze. Der Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen des Pferdes liegt für alle Messorte, Personen und Trageorte zwischen  $< NW$  und  $2 \mu Sv$ . Die ermittelten Maxima belaufen sich für diese Röntgenaufnahmen an den Füßen der beteiligten Personen auf höhere Werte als der bestimmte Median. Die Füße der Personen sind der Streustrahlenquelle bzw. dem Primärstrahl am nächsten und damit potentiell der höchsten Strahlenexposition ausgesetzt. Veränderungen am Abstand zur Streustrahlenquelle und Primärstrahl machen sich besonders deutlich bemerkbar.

Als Beispiel ist zu nennen, das der Median an den Füßen des „Kassettenhalters“ für alle Messorte bei der Röntgenaufnahme „Strahlbein nach Oxspring“ 2  $\mu\text{Sv}$  beträgt.

Das erfasste Maximum liegt bei 86  $\mu\text{Sv}$ . Mit der Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  für alle Messorte am mechanischen Kassettenhalter bzw. an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ für diese Röntgenuntersuchungen verhält es sich sehr ähnlich. Während der ermittelte Median für die Untersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ im Durchschnitt nicht mehr als 10  $\mu\text{Sv}$  pro Aufnahme beträgt, liegt der bestimmte Maximalwert am linken Bleihandschuh des „Kassettenhalters“ für „Strahlbein nach Oxspring“ bei 73  $\mu\text{Sv}$ . Da die Füße aller beteiligten Personen und die Hände des „Kassettenhalters“ für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes der höchsten Strahlenexposition ausgesetzt sind, ist konsequent auf den größtmöglichen Abstand dieser zur Streustrahlenquelle und zum Primärstrahl zu achten. Rechnet man die maximal ermittelten Dosiswerte der strahlenexponierten Personen für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes bezogen auf ein Jahr aus, ist eine Überschreitung der jährlichen Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A laut RöV (2003) für die Hände und Füße nicht zu befürchten. Geht man z. B. bei der Untersuchung „Strahlbein nach Oxspring“ für die zu erwartende Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  pro Fuß am „Kassettenhalter“ im Durchschnitt von 50  $\mu\text{Sv}$  und 10 Aufnahmen pro Tag aus, ist bei 52 Kalenderwochen pro Jahr und fünf Arbeitstagen pro Woche mit einer Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  von 125 mSv pro Jahr zu rechnen. Wird nach ALBERTS et al. (1994) und ALBERTS u. SCHNEPEL (2006) ein Multiplikationsfaktor von eins für die Umrechnung der ermittelten Personendosis in die Organdosis  $H_T$  vorausgesetzt, wird der von der RöV (2003) vorgeschriebene jährliche Dosisgrenzwert beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A mit 500 mSv pro Jahr für die Hände und Füße weit unterschritten. Mit gesundheitlichen Schäden ist zwar unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte pro Jahr nicht zu rechnen, dennoch gilt, dass keine Dosis ohne biologische Wirkung bleibt. Potentiell kann eine stochastische Strahlenwirkung im menschlichen Organismus hervorgerufen werden. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten stochastischer Strahlenschäden zu.

Für die Röntgenuntersuchungen an den proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes sind die ermittelten Dosiswerte für alle Messorte, Personen und Trageorte sehr unterschiedlich. Für die Durchstrahlung dieser Körperregionen werden im Gegensatz zu den Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen höhere Einstellungsparameter (kV, mAs, ms) am Röntgengerät benötigt. Zusammengefasst liegt der Median der Personenäquivalentdosis für diese Röntgenuntersuchungen für alle Messorte, Personen und Trageorte höher als bei den Untersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes.

Tendenziell sind hier die Körperteile, die der Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl am nächsten sind, der höchsten Strahlenexposition ausgesetzt. Die ermittelten Maximalwerte sind für diese Regionen am größten. Es ist besonders auf den größtmöglichen Abstand zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl aller der Strahlenexposition ausgesetzten Personen zu achten. Bei diesen Regionen sind vorwiegend die Trageorte der Dosimeter an der Schilddrüse und an den Gonaden von Interesse.

Die jährlichen Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A laut RöV (2003) liegen für die Schilddrüse bei 300 mSv pro Jahr und für die Gonaden bei 50 mSv pro Jahr. Die deutlich niedrigeren Dosisgrenzwerte insbesondere der Gonaden lassen vermuten, dass eine Überschreitung dieser durch Röntgenuntersuchungen mit Durchstrahlung großer Volumina für die genannten Körperregionen des Personals erfolgen könnte. Bei der Untersuchung der „HWS 90° (C 5-7)“ des Pferdes wurde in dieser Studie für alle Messorte ein Maximalwert der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  von 49  $\mu$ Sv auf Höhe der Gonaden am „Pfleger“ ermittelt. Geht man z. B. bei dieser Untersuchung für die zu erwartende Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  an den Gonaden des „Pflegers“ im Durchschnitt von 45  $\mu$ Sv und 1 Aufnahme pro Tag aus, ist bei 52 Kalenderwochen pro Jahr und fünf Arbeitstagen pro Woche mit einer Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  von ungefähr 11 mSv pro Jahr zu rechnen. Wird ebenfalls nach ALBERTS et al. (1994) und ALBERTS u. SCHNEPEL (2006) ein Multiplikationsfaktor von eins für die Umrechnung der ermittelten Personendosis in die Organdosis  $H_T$  vorausgesetzt, wird der von der RöV (2003) vorgeschriebene jährliche Dosisgrenzwert beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A mit 50 mSv pro Jahr für die Gonaden unterschritten.

Zusammengefasst ist bei den Untersuchungen der proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes die zu erwartende Strahlenexposition aller Personen insbesondere auf Höhe der Schilddrüse und Gonaden höher als bei den Untersuchungen der distalen Gliedmaßen. Zu bemerken ist, dass einerseits die Inzidenz dieser Untersuchungen in den Tierarztpraxen deutlich geringer ist und andererseits die Dosismessungen bei dieser Arbeit auf Höhe der genannten Körperregionen auf der Bleischürze stattgefunden haben. Aus diesen Gründen und unter der Voraussetzung, dass ausreichende und intakte Schutzkleidung bei der Durchführung von den Röntgenaufnahmen getragen wird, ist ein Überschreiten der von der RöV (2003) vorgeschriebenen jährlichen Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A nicht zu erwarten. Auch hier ist mit gesundheitlichen Schäden unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte pro Jahr nicht zu rechnen. Ebenfalls gilt, dass keine Dosis ohne biologische Wirkung bleibt. Potentiell kann eine stochastische Strahlenwirkung im menschlichen Organismus hervorgerufen werden. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten stochastischer Strahlenschäden zu.



Mit der zu erwartenden Personenäquivalentdosis  $H_p(0,07)$  an den Händen des „Kassettenhalters“ verhält es sich bei diesen Röntgenuntersuchungen ähnlich wie bei denen der distalen Gliedmaßen des Pferdes.

Geht man im Durchschnitt von dem ermittelten Maximalwert von 50  $\mu\text{Sv}$  an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ bzw. an dem mechanischen Kassettenhalter aus, ist mit einem Überschreiten des von der RöV (2003) vorgeschriebenen jährlichen Dosisgrenzwerts beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A mit 500 mSv pro Jahr für die Hände nicht zu rechnen.

Anhand der explorativen Auswertung der Messergebnisse für alle Messorte besteht die Möglichkeit, für ausgewählte Röntgenuntersuchungen die Dosiswerte zwischen den beteiligten Personen und den Trageorten der Dosimeter zu vergleichen.

Die Dosiswerte der Personen für die einzelnen Untersuchungen variieren mit der geometrischen Anordnung des Personals zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl. Je größer der Abstand der Person von der Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl steht, desto kleiner ist die zu erwartende Strahlenexposition. Je größer das zu durchstrahlende Volumen, desto höher ist die Streustrahlung für das beteiligte Personal. Wobei die entstehende Streustrahlung bei der Durchstrahlung größerer Volumina zu einem gewissen Teil vom umgebenden Gewebe absorbiert wird. Durch die Wechselwirkungen mit der durchstrahlten Masse verliert die Streustrahlung an Durchdringungskraft, so dass sie das umgebende Gewebe kaum noch verlässt. Deshalb kann die ermittelte Dosis am „Kassettenhalter“, der sich meist kaudal der geröntgten Region befindet, geringer sein als erwartet. Der „Schütze“ steht für den Großteil der Röntgenuntersuchungen des Pferdes neben der Röntgenröhre und ist somit dem reflektierenden Streustrahlbündel am nächsten. In diesen Fällen ist häufig die Strahlenexposition des „Schützen“ am größten. Der Abstand des „Pfleger“ zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl ist für den Großteil der Röntgenuntersuchungen sehr groß ( $>1$  m). Die Strahlenexposition liegt für diese Röntgenaufnahmen unterhalb der Nachweisgrenze. Bei objektnahen Aufenthaltsorten wie z. B. für die Untersuchung an der Halswirbelsäule des Pferdes ist dagegen mit einer größeren Strahlenexposition als beim „Schützen“ zu rechnen. Während der Median der Personenäquivalentdosis für alle Messorte in dieser Studie am „Schützen“ für „HWS 90° (C 5-7)“ sowohl an der Schilddrüse als auch an den Füßen 2  $\mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Gonaden 8  $\mu\text{Sv}$  betragen, lag der ermittelte Median am „Pfleger“ an der Schilddrüse bei 10  $\mu\text{Sv}$ , an den Gonaden bei 15  $\mu\text{Sv}$  und an den Füßen bei 5  $\mu\text{Sv}$ . Für den Trageort an einer Person, der sich am nächsten zur Streustrahlenquelle befindet, ist die ermittelte Dosis am höchsten.

Ein Vergleich der in dieser Studie erfassten Dosiswerte mit denen aus anderen Untersuchungen ist nur bedingt möglich.

Die Ermittlung der Personendosis ( $H_p(10)$  und  $H_p(0,07)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ]) und der Ortsdosis ( $H^*(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ]) erfolgte mit elektronischen Personendosimetern. In den vorausgegangenen Untersuchungen wurden andere Dosimetrieverfahren bzw. Messgrößen verwendet und die methodischen Ansätze sind unterschiedlich. Dennoch können die erfassten Dosiswerte in den vorangegangenen Untersuchungen als richtunggebende Anhaltspunkte gewertet werden.

Bei den Untersuchungen von MEHRKENS (1961), TAVERNOR u. VAUGHAN (1962) und HORVAT (1986) handelt es sich um die Erfassung von Einzelwerten. Die Aussagekraft der Einzelwerte scheint für einen Vergleich mit den Dosiswerten dieser Studie kaum verlässlich. ACKERMANN et al. (1988) bemängelt schon 1988, dass in vorangegangenen Studien zur Bestimmung der Strahlenexposition des Personals die ermittelten Belastungen durch Streustrahlung häufig nicht einer bestimmten anatomischen Region oder dem Aufenthaltsort des Personals zugeordnet wurden. Aus diesem Grund ist ein Vergleich der ermittelten Dosiswerte aus den Studien mit denen aus dieser Untersuchung kaum möglich.

ACKERMANN et al. (1988) verwendete Füllhalterdosimeter als Dosimetrieverfahren zur Bestimmung der Strahlungsexposition bei allen an der Röntgenuntersuchung des Pferdes beteiligten Personen. Wie in Kapitel 5.1 beschrieben können Füllhalterdosimeter einen Messfehler bis zu 40 % aufweisen. Sie neigen zur Entladung ohne jegliche Strahleneinwirkung und die Messwertangaben zu  $H_p(10)$  oder  $H_p(0,07)$  sind nicht möglich. Ein direkter Vergleich der erfassten Messwerte von ACKERMANN et al. (1988) mit den ermittelten Daten aus dieser Untersuchung scheint deshalb nicht sinnvoll.

ROTHER (1977) führte seine Messungen an den Händen unter den Bleihandschuhen durch. Es wurde keine Handdosis über der unteren Nachweisgrenze gemessen. Diese Aussage deckt sich mit dem Ergebnis dieser Studie, dass zusammengefasst die Strahlenexposition des Personals auf der Höhe der Gonaden unter der Bleischürze sowohl in der Klinik für Pferde der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten für alle Röntgenaufnahmen unterhalb der Nachweisgrenze lag.

MORITZ et al. (1989) und GSTETTNER (1995) bestimmten die Exposition des Personals durch ionisierende Strahlung mit Hilfe von Filmdosimetern. Die Filmdosimeter haben ihre große Schwäche in der hohen Dosisnachweisgrenze und der großen Messfehlerbreite. GSTETTNER (1995) verzichtete bei ihren Messungen auf die Erfassung der Strahlenexposition des „Schützen“ in der Annahme, dass die Exposition hinter dem Röntgengerät in 70 cm Abstand vom Objekt zu vernachlässigen sei. Die Annahme von GSTETTNER (1995) kann durch die zahlreichen erfassten Dosiswerte für den „Schützen“ sowohl in der Klinik für Pferde der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten widerlegt werden.

Die Strahlenexposition der einzelnen Personen hängt von der geometrischen Anordnung zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl ab. Anhand der explorativen Analyse der Dosiswerte konnte gezeigt werden, dass die Strahlenexposition z. B. an den Gonaden des „Schützen“ für die Untersuchung „Thorax 90°“ höher ist als am „Pfleger“.

TEMPEL u. ZALLINGER (1998) geben in einem Übersichtsreferat anhand der Publikationen von ACKERMANN et al. (1988), GSTETTNER (1995), HARTUNG (1974, 1980, 1984), HARTUNG u. MÜNZER (1991), HORVAT (1986), MORITZ et al. (1989), ROTHE (1977), TRAINOR et al. (1960), WOOD et al. (1986) und WRIGHLEY et al. (1983) die Größenordnungen der Strahlenexposition des Personals in der tierärztlichen Praxis an. Die Autoren geben die zu erwartende Strahlenexposition auf Höhe der unterschiedlichen Körperregionen des Personals in  $\mu\text{Sv}$  pro Untersuchung an. Es werden keine Angaben zu den unterschiedlichen verwendeten Dosimetrieverfahren der einzelnen Studien und zu der Art der Röntgenuntersuchungen gemacht. TEMPEL u. ZALLINGER (1998) bestätigen das Ergebnis, dass in der veterinärmedizinischen Radiologie die Hand der zweifellos am stärksten exponierte Körperteil ist.

Da KOERT (2004), NIEHAUS (2006) und SEIFERT et al. (2007) ihre Untersuchungen zur Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals anhand von Röntgenuntersuchungen am Kleintier durchführten, ist ein Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit denen aus dieser Studie nicht angebracht.

Einen ähnlichen Versuchsaufbau wie in dieser Studie hatten VÖSTER (1999) und MARTSCHEI (2005) bei ihren Dosismessungen. Als Dosimetrieverfahren verwendete VÖSTER (1999) eine Ionisationskammer (RGD 27091, Fa. STEP (Pockau)) und MARTSCHEI (2005) Thermolumineszenzdosimeter (TLD-100H).

Mit der Ionisationskammer erfasste VÖSTER (1999) die Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  und mit den TLD's bestimmten MARTSCHEI et al. (2005) die Äquivalentdosis  $H$ . In der Untersuchung von MARTSCHEI et al. (2005) betrug die Strahlenexposition bei den Röntgenuntersuchungen der Zehe und des Sprunggelenkes weniger als  $1 \mu\text{Sv}$ . Bei den Projektionen mit höheren kV-Werten waren die Strahlenexpositionen deutlich höher als bei den Aufnahmen der distalen Gliedmaßen. Unter der Bleischürze wurden Äquivalentdosen auf Höhe der Brust von  $0,4 \mu\text{Sv}$  und auf Höhe der Gonaden von  $0,1 \mu\text{Sv}$  gemessen. Diese Ergebnisse entsprechen den ermittelten Dosiswerten dieser Studie. Die Vermutung von VÖSTER (1999), dass die Strahlenexposition des Personals bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der ambulanten Praxis deutlich höher liegen können als in der Klinik für Pferde der FU Berlin, konnte nur teilweise bei diesen Untersuchungen belegt werden. Bei allen drei niedergelassenen Tierärzten wurden deutlich mehr Röntgenuntersuchungen am Tag durchgeführt, als in der Klinik für Pferde der FU Berlin. Beim NGT-2 wurden bis zu 200 Röntgenaufnahmen am Tag angefertigt.

Bei gleichem Personal bedeutet das für jede beteiligte Person an allen Trageorten in der Summe eine höhere Strahlenexposition. Beim NGT-1 wurden hauptsächlich Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen durchgeführt, so dass der in der Summe betrachtete Median der Strahlenexposition des Personals mit den ermittelten Dosiswerten des dosimetrierten Personals der Klinik für Pferde an der FU Berlin zu vergleichen ist. Der NGT-2 sticht durch seine hohe Anzahl an Röntgenaufnahmen pro Tag hervor. Der Anteil der Röntgenaufnahmen der proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes war deutlich höher als bei den beiden anderen niedergelassenen Tierärzten. Der ermittelte Median für die Person und Trageort ist für die einzelne Röntgenaufnahme mit dem der Klinik für Pferde der FU Berlin annähernd identisch. Auffällig ist, dass bei dem NGT-3 für die Röntgenaufnahmen der proximalen Gliedmaße, am Kopf und Körperstamm des Pferdes sowohl der Median als auch das Maximum für alle dosimetrierten Personen und Trageorte sehr viel höher liegen, als in der Klinik für Pferde der FU Berlin und den anderen niedergelassenen Tierärzten. Der NGT-3 verwendet für diese Röntgenaufnahmen sehr viel höhere Belichtungszeiten und mAs-Produkte, als die Klinik für Pferde der FU Berlin und die beiden anderen NGT. Die ermittelten Maximalwerte für alle Personen und Trageorte bei den niedergelassenen Tierärzten liegen geringfügig über denen der Klinik für Pferde der FU Berlin. Dieses Ergebnis ist auf ein vernachlässigtes Einblenden des Primärstrahls auf das zu untersuchende Objekt (meistens aus zeitlichen Gründen) und auf einen geringeren Abstand des Personals zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl zurückzuführen.

Abweichend von der Empfehlung von SCHEBITZ u. WILKENS (1986) für die Durchführung einer Zehenübersichtsaufnahme des Pferdes wurde bei dem NGT-3 routinemäßig für diese Röntgenaufnahme und gelegentlich für die Fesselgelenksaufnahmen die Gliedmaße des Pferdes ähnlich der Röntgenaufnahme des „Strahlbeins nach Oxspring“ auf einen Oxspringklotz gestellt. Die besondere Aufnahmetechnik erfordert für den „Kassettenhalter“ ein näheres Arbeiten am Primärstrahl. Sowohl der Median als auch die Maxima sind für alle Trageorte am „Kassettenhalter“ höher als in der Klinik für Pferde der FU Berlin und den beiden anderen NGT. Der Maximalwert an den Füßen des „Kassettenhalters“ z. B. für „Zehe 90°“ beträgt bei dem NGT-3 58  $\mu\text{Sv}$ , in der Klinik für Pferde der FU Berlin 1  $\mu\text{Sv}$ , beim NGT-1 5  $\mu\text{Sv}$  und beim NGT-2 7  $\mu\text{Sv}$ .

Die Röntgenuntersuchung vom Becken des Pferdes wird im Allgemeinen sehr selten durchgeführt. Nach STASHAK (1989) wird die Röntgenuntersuchung des Beckens unter Allgemeinanästhesie angefertigt. Durch die Verwendung einer Allgemeinanästhesie kann das anwesende Personal mindestens um zwei Personen reduziert und der Abstand des anwesenden Personals zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl erheblich vergrößert werden. Beim NGT-2 wurde auf die Allgemeinanästhesie verzichtet.

Die fest installierte Röntgenröhre wurde am stehenden (meist sedierten) Pferd zwischen den Hinterbeinen in ventro-dorsaler Strahlenrichtung auf das Becken zentriert. Die Röntgenkassette wurde der Kruppenmuskulatur von oben aufgelegt. Hierfür sind mindestens drei Personen der Strahlenexposition ausgesetzt. Für die Anfertigung der Röntgenaufnahme werden hohe kV (98-100) und lange Belichtungszeiten benötigt. In dem untersuchten Zeitraum wurde beim NGT-2 die Röntgenaufnahme „Becken ventro-dorsal im Stehen“ fünfmal durchgeführt. Bei den NGT-1 und NGT-3 wurden im untersuchten Zeitraum keine Röntgenaufnahmen des Beckens angefertigt. In der Klinik für Pferde der FU Berlin wurde diese Untersuchung zweimal in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Beim NGT-2 beträgt der ermittelte Median der Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  in [ $\mu\text{Sv}$ ] am „Schützen“ an der Schilddrüse 8  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 23  $\mu\text{Sv}$ ), an den Gonaden 3  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 35  $\mu\text{Sv}$ ) und an den Füßen 28  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 52  $\mu\text{Sv}$ ). Am „Kassettenhalter“ beläuft sich der Median an der Schilddrüse auf 10  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 12  $\mu\text{Sv}$ ), an den Gonaden auf 24  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 31  $\mu\text{Sv}$ ) und an den Füßen auf 16  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 36  $\mu\text{Sv}$ ). Am „Pfleger“ liegt der Median an der Schilddrüse unter der Nachweisgrenze (Maximum 1  $\mu\text{Sv}$ ), an den Gonaden bei 2  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 10  $\mu\text{Sv}$ ) und an den Füßen bei 10  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 16  $\mu\text{Sv}$ ).

In Anbetracht dessen sollte für die Untersuchung des Beckens im Stehen das Risiko der Allgemeinanästhesie des Pferdes gegenüber dem Risiko der Strahlenexposition des dafür anwesenden Personals abgewogen werden.

#### **5.4.4 Ermittelte Dosiswerte im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes**

Die Neufassung der Röntgenverordnung vom 30.04.2003 brachte einige Veränderungen mit sich. Es wurden die Paragraphen §§ 2 a-c eingeführt, in denen die Verordnung gezielt auf die Problematik der Indikationsstellung und auf die korrekte Durchführung von Röntgenuntersuchungen hinweist. Die RöV (2003) schreibt vor, dass jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten ist. Eine Röntgenaufnahme von Tieren in Anwesenheit von Menschen (Tierhalter, Personal, etc.) ist nur gerechtfertigt, wenn aufgrund der Anamnese, Klinik und Befunde anderer Untersuchungen und nur durch die Anwendung ionisierender Strahlung Krankheitserscheinungen oder Verdachtsmomente mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erfasst oder geklärt werden können. Der Nutzen der Röntgenaufnahme muss nachvollziehbar sein.

Die Röntgenaufnahme muss so durchgeführt werden, dass durch die Nutzung geeigneter technischer Voraussetzungen und einer adäquaten Einstelltechnik eine optimale Bildqualität erzielt wird.

Die Kaufuntersuchung des Pferdes wird in diesem Zusammenhang in der Literatur kontrovers diskutiert.

In der Regel handelt es sich zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung um klinisch „unauffällige“ Tiere. Die Indikation und Anzahl der Röntgenaufnahmen und der damit verbundenen „unnötigen“ Strahlenexposition des Personals wird zur Diskussion gestellt.

In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass von insgesamt 2429 Röntgenaufnahmen 1000 (= 41,2%) im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes durchgeführt wurden. Dabei wurden in der Klinik für Pferde der FU Berlin 15,3 %, beim NGT-1 56,5 %, beim NGT-2 53,8 % und beim NGT-3 16,2 % der Aufnahmen im Rahmen einer Kaufuntersuchung durchgeführt. Die durchschnittliche Anzahl der Röntgenbilder je Pferd lag zwischen 9 und 17 Aufnahmen.

Nach STADTBÄUMER (2001) gibt es über den Umfang der zu erstellenden Röntgenbilder im Rahmen der Kaufuntersuchung des Pferdes weder einen internationalen noch europäischen vorgeschriebenen Standard. In der Literatur schwanken die Empfehlungen zwischen 8 und 50 Aufnahmen pro Pferd. In Deutschland werden in der Regel 10 bis 14 Aufnahmen empfohlen. Als „Minimalstandard“ nennt der Autor „Zehe 90°“ an allen vier Gliedmaßen, „Strahlbein nach Oxspring“ an den Vordergliedmaßen und die Sprunggelenke in 2 bis 3 Ebenen. Das entspricht maximal 12 Aufnahmen je Pferd. Im Rahmen der Kaufuntersuchung werden Übersichtsaufnahmen angefertigt. Spezialprojektionen einzelner Gelenke oder Detailaufnahmen von bestimmten Strukturen sind nur in Verdachtsfällen anzufertigen (STADTBÄUMER 2001).

Geht man in dieser Studie von dem Minimalstandard d. h. 12 Röntgenaufnahmen pro Pferd aus, ist die zu erwartende Strahlenexposition des Personals unabhängig von der verwendeten Röntgentechnik am „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ als sehr gering zu bewerten. Es handelt sich hauptsächlich um Aufnahmen der distalen Gliedmaßen des Pferdes. Höhere Dosismesswerte können an den Händen und Füßen des „Kassettenhalters“ und an den Füßen des „Schützen“ erwartet werden. Für alle Messorte der oben genannten Röntgenaufnahmen liegt der Median der Personendosis  $H_p(10)$  an allen Trageorten der beteiligten Personen zwischen  $< NW$  und  $2 \mu Sv$ . Das ermittelte Maximum an den Füßen des „Kassettenhalters“ beträgt für „Zehe 90°“  $58 \mu Sv$ , für „Strahlbein nach Oxspring“  $86 \mu Sv$  und an den Füßen des „Schützen“ für „Tarsus 45°“  $31 \mu Sv$ . Die Maximalwerte an den restlichen Trageorten und Personen liegen unter  $10 \mu Sv$  für jede der genannten Röntgenaufnahmen. Der Median der Personendosis  $H_p(0,07)$  in  $[\mu Sv]$  an den Händen des „Kassettenhalters“ (gemessenen an den Bleihandschuhen bzw. an dem mechanischen Kassettenhalter) beträgt für „Zehe 90°“  $2 \mu Sv$  (ermitteltes Maximum  $22 \mu Sv$ ), für „Strahlbein nach Oxspring“  $11 \mu Sv$  (ermitteltes Maximum  $73 \mu Sv$ ) und für „Tarsus“  $6 \mu Sv$  (ermitteltes Maximum  $63 \mu Sv$ ).

Voraussetzung für eine geringe Strahlenbelastung des Personals bei diesen Röntgenuntersuchungen ist ein Verhalten nach Empfehlung der Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und zur Röntgenverordnung (RöV) vom 01.02.2005 und RöV (2003). Es beinhaltet das Tragen von Schutzkleidung incl. Bleihandschuhe bzw. den Einsatz mechanischer Kassettenhalter und die Verwendung von optimalen Einstellungsparametern (kV, mAs, ms) der Röntgenröhre.

In erster Linie können höhere Dosiswerte durch ein vernachlässigtes Einblenden des Primärstrahls auf das zu untersuchende Objekt durch den Schützen, zu geringe Abstände der Personen (insbesondere vom Kassettenhalter und Schützen) vom Primärstrahl und dem zu untersuchenden Patienten und durch ein Hineingreifen des Kassettenhalters in den Primärstrahl entstehen. Oft wird bei der Aufnahme „Strahlbein nach Oxspring“ die Röntgenkassette von dem „Kassettenhalter“ mit dem Fuß fixiert, wodurch sich die höheren Dosiswerte erklären lassen.

Führt man einen erweiterten Standard durch, zu denen nicht selten Röntgenaufnahmen am Knie, Rücken und der Halswirbelsäule des Pferdes zählen, ist die zu erwartende Strahlenexposition des Personals entsprechend höher. Es werden größere Körpervolumina durchstrahlt. Folglich werden höhere Einstellungsparameter (kV, mAs, ms) der Röntgenröhre benötigt. Mit erhöhten Dosiswerten kann insbesondere am Körperstamm aller Personen gerechnet werden. In dieser Studie sind z. B. für alle Messorte an der Schilddrüse für „Knie 90°“ am „Kassettenhalter“ als Maximalwert der Personendosis  $H_p(10)$  40  $\mu\text{Sv}$  und für „Knie 0°“ 22  $\mu\text{Sv}$  ermittelt worden. Die Maximalwerte auf Höhe der Gonaden liegen geringfügig darunter. Der Median der Personendosis  $H_p(10)$  für alle Trageorte am Kassettenhalter für beide Röntgenaufnahmen liegt unter 5  $\mu\text{Sv}$ . Am „Schützen“ wurde auf Höhe der Schilddrüse für „Knie 90°“ ein Maximalwert von 45  $\mu\text{Sv}$  erfasst. Die Medianwerte sind für alle Trageorte am „Schützen“ für die beiden Röntgenaufnahmen eher mit denen an der distalen Gliedmaße zu vergleichen. Für alle Messorte beträgt der erfasste Median der Personendosis  $H_p(0,07)$  am mechanischen Kassettenhalter für „Knie 90°“ 5  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 21  $\mu\text{Sv}$ ) und für „Knie 0°“ 12,5  $\mu\text{Sv}$  (Maximum 50  $\mu\text{Sv}$ ). Für beide Röntgenaufnahmen sind die Dosiswerte am „Pfleger“ für alle Trageorte als sehr gering zu erwarten. Bei den Röntgenaufnahmen an der Halswirbelsäule und dem Rücken des Pferdes ist mit einer anderen Verteilung der Dosiswerte zu rechnen. Höhere Expositionen sind auf Höhe der Schilddrüse und Gonaden in erster Linie am „Schützen“ und „Pfleger“ zu erwarten. Bei beiden Aufnahmetechniken besteht die Möglichkeit, die Person des „Kassettenhalters“ durch ein mechanisches Kassettenhalterstativ zu ersetzen. Zu betonen ist, dass der „Pfleger“ für die Untersuchungen an der Halswirbelsäule einer höheren Strahlenexposition ausgesetzt ist. Bei Röntgenaufnahmen im Rahmen einer Kaufuntersuchung bei den niedergelassenen Tierärzten wurden die Pferde in einigen Fällen von den Besitzern selbst fixiert.

Für diese Untersuchungen muss den Besitzern in jedem Fall ausreichende Schutzkleidung (Schilddrüsenschutz) zur Verfügung gestellt werden.

Es kann also zusammengefasst mit einer höheren Strahlenexposition des Personals bei der Durchführung von Röntgenaufnahmen im Rahmen einer Kaufuntersuchung des Pferdes gerechnet werden, je mehr Aufnahmen über den „Minimalstandard“ hinaus von den proximalen Gliedmaßen bzw. vom Körperstamm gefordert sind. Der Informationsgehalt der Aufnahmen sollte gegenüber der Strahlenexposition des Personals gerechtfertigt sein. Diesen Sachverhalt den Besitzern/Käufern vor Augen zu führen, ist die Aufgabe der verantwortlichen Tierärzte. Der persönliche Nutzen aus finanzieller Sicht des Tierarztes sollte nicht der Grund für einen erweiterten Standard der Röntgenuntersuchungen im Rahmen der Kaufuntersuchung des Pferdes sein.

## **5.5 Schlussbetrachtung und Ausblick**

Anhand der vorliegenden Arbeit lässt sich feststellen, dass die Strahlenbelastung am Körperstamm des Personals bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes sowohl an der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten als gering (Median bis 5  $\mu\text{Sv}$ ) einzustufen ist. Das gilt vor allem für die Röntgenuntersuchungen an den distalen Gliedmaßen (einschließlich der Vorderfußwurzel- und Sprunggelenke nach NICKEL et al. (1992)). Die ermittelten Maximalwerte sind für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes an den Füßen aller der Strahlenexposition ausgesetzten Personen am größten. Die höchste Strahlenexposition wurde bei diesen Röntgenaufnahmen an den Füßen (86  $\mu\text{Sv}$ ) des Kassettenhalters erfasst. Zu diesen Ergebnissen kamen bereits VÖSTER (1999) und MARTSCHEI (2005) in ihren Studien. In Deutschland zählen diese Untersuchungen nach HOHLBACH (1998) und VÖSTER (1999) zu den am häufigsten durchgeführten Röntgenuntersuchungen in der Pferdepraxis.

Kommt es bei den Röntgenuntersuchungen zur Durchstrahlung größerer Volumina (Schulter, HWS, Rücken, Thorax, Becken, etc.), sind höhere Dosiswerte zu erwarten. Die Dosiswerte der Personen für diese Untersuchungen variieren mit der geometrischen Anordnung des Personals zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl. An den Personen und Trageorten, die der Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl für die einzelne Röntgenaufnahme am nächsten sind, konnten die höchsten Strahlenexpositionen für diese Aufnahmen bestimmt werden. Das entspricht bei diesen Untersuchungen in den überwiegenden Fällen den Trageorten Schilddrüse und Gonaden an den Personen „Schütze“ und „Pfleger“. Bei der Durchstrahlung größerer Volumina, wird die entstehende Streustrahlung zu einem gewissen Teil vom umgebenden Gewebe absorbiert. Deshalb kann die ermittelte Dosis für diese Untersuchungen am „Kassettenhalter“, der sich meist kaudal der geröntgten Region befindet, geringer sein als angenommen.



An den Händen des „Kassettenhalters“ sind durch das Arbeiten nahe am Primärstrahl sowohl für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen als auch für die Untersuchungen der proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes die höchsten Dosiswerte zu erwarten.

Voraussetzung für niedrige Strahlenexpositionen des veterinärmedizinischen Personals ist der Umgang mit ionisierenden Strahlen nach Empfehlungen der Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und zur Röntgenverordnung (RöV) vom 01.02.2005 und der RöV (2003). Bei Vernachlässigung der Strahlenschutzmaßnahmen sind deutlich höhere Strahlenbelastungen zu befürchten. Zur Überwachung der Strahlenexposition muss für jede der an den Röntgenuntersuchungen beteiligten Personen ein amtliches Dosimeter zur Verfügung stehen.

Die jährlichen Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A (RöV 2003) wurden bei der Ermittlung der Dosiswerte in dieser Studie nicht überschritten. Dennoch sollte die Erkenntnis von HARTUNG u. TELLHELM (2000), dass keine noch so geringe Dosis ohne biologische Wirkung bleibt, die Grundlage aller Strahlenschutzüberlegungen sein.

Die RöV (2003) schreibt in § 2 vor, dass jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten und jede unnötige Strahlenexposition zu vermeiden ist. In den Empfehlungen der ICRP heißt es: „as low as reasonably achievable“ – „so gering wie mit vernünftigen Mitteln erreichbar“.

Durch die Verbesserungen im Bereich des Strahlenschutzes und insbesondere im Umgang mit Röntgenstrahlen in den letzten Jahren wurden deterministische Strahlenschäden deutlich seltener festgestellt. Im Zentrum aller Strahlenschutzüberlegungen im Zusammenhang mit ionisierenden Strahlen steht immer noch das Risiko an stochastischen Strahlenschäden, die auf nicht zellletale Schädigungen des Erbgutes einzelner Zellen zurückgehen, zu erkranken. JUNG (1995) ist der Meinung, dass die gesundheitlichen Risiken der Röntgendiagnostik (außer bei unbeabsichtigten Überexpositionen) ausschließlich auf den stochastischen Strahlenschäden beruhen. Stochastische Prozesse geschehen nach dem Zufallsprinzip. Entweder tritt ein Ereignis ein oder nicht. Dosisabhängig ist die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und nicht der Schweregrad. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von stochastischen Prozessen zu (SAUER 1996; TEMPEL u. ZALLINGER 1998). Eine Erhöhung der Dosis führt nicht zu dramatischeren Mutationen oder bösartigeren Tumoren, sondern diese Veränderungen treten mit größerer Häufigkeit auf. Die Folgen von stochastischen Schäden können Krebserkrankungen, vererbte genetische Defekte oder Schäden an der Leibesfrucht sein. Die Wahrscheinlichkeiten für diese Risiken werden durch Risikoeffizienten ausgedrückt, die üblicherweise pro Einheit der Effektiven Dosis angegeben werden.

Das Risiko für die Induktion einer letalen Krebserkrankung durch Strahlenexposition mit niedriger Dosisleistung (z.B. Röntgendiagnostik) beträgt im Mittel für alle Krebsarten 5 % pro Sv. Bei hoher Dosisleistung ist es wegen des linear-quadratischen Dosiswirkungsverlaufes etwa doppelt so hoch (ca. 10 % pro Sv). KRIEGER (2004) und SAUER (1996) geben das strahleninduzierte Krebsmorbidityrisiko bei niedriger Dosisleistung mit 6 % pro Sv an. Das Risiko durch ionisierende Strahlen einen stochastischen Strahlenschaden im Organismus hervorrufen zu können, sollte der Anlass für die strenge Einhaltung der Grundsätze des praktischen Strahlenschutzes sein. Bei der Durchführung von Röntgenaufnahmen auf das Tragen von ausreichender Schutzkleidung zu verzichten, ist nach den heutigen Erkenntnissen vollkommen indiskutabel und ungesetzlich. Dies beinhaltet auch das Tragen von brüchiger und nicht intakter Schutzkleidung. Eine unsachgemäße Behandlung der Schutzkleidung kann durch Knicken der Schutzkleidung zum Bruch des Bleigummis und damit zu Strahlenlecks führen, durch die die Strahlung ungehindert auf den Körper treffen kann.

Anhand dieser Studie konnte gezeigt werden, dass eine Strahlenexposition bei der Erzeugung von Röntgenbildern beim veterinärmedizinischen Personal erfolgt und diese, auch wenn sie noch so klein erscheint, potentiell eine stochastische Strahlenwirkung im menschlichen Organismus hervorrufen kann. Im Interesse aller beteiligten Personen sollte sein, sich ionisierender Strahlung so wenig wie möglich auszusetzen bzw. sich vor deren Wirkung mit entsprechenden Hilfsmitteln zu schützen.

Bei Röntgenaufnahmen mit Durchdringung großer Volumina (Schulter, HWS, Rücken, Brustkorb, Becken, etc.) sollte zusätzliche Schutzkleidung zur Bleischürze (Schilddrüsenschutz) getragen werden. Der Einsatz von Bleihandschuhen und mechanischen Kassettenhaltern muss konsequent bei jeder Röntgenaufnahme eingehalten werden. Von dem durchführenden Personal der Röntgenaufnahmen (technisches Personal, Tierärzthelferinnen) wird entgegnet, dass bei der Verwendung eines mechanischen Kassettenhalters mehr Zeit durch das Wechseln der Kassette benötigt wird, als ihnen durch den beauftragten Tierarzt zur Verfügung steht. Dem Bruchteil von Sekunden, die es länger dauert einen mechanischen Kassettenhalter zu verwenden, sollte das Risiko sich einer höheren Strahlenexposition auszusetzen ohne die Verwendung eines mechanischen Kassettenhalters, gegenübergestellt werden. Durch den Einsatz eines mechanischen Kassettenhalters kann der Abstand zur Streustrahlenquelle vergrößert und ein Hineingreifen des „Kassettenhalters“ in den Primärstrahl vermieden werden. Nach Aussagen von geübten Personen im Umgang mit mechanischen Kassettenhaltern wird die Qualität der Bilder als besser beurteilt. Es kommt zu weniger Verwacklungen und die Kassette kann leichter und exakter zum Röntgenstrahl ausgerichtet werden.

Außerdem kann ihrer Ansicht nach bei routinemäßigen Einsatz und ausreichender Übung im Umgang mit einem mechanischen Kassettenhalter genauso schnell gearbeitet werden wie ohne. Im Sinne des Arbeitsschutzes kann durch den größeren Abstand vom „Kassettenhalter“ zur Streustrahlenquelle auch die Verletzungsgefahr dieser Person durch das Pferd verringert werden.

Vor der Durchführung jeder Röntgenaufnahme sollte die Indikation (nach RöV 2003) der Aufnahme geklärt sein. SCHLEITER (1959) forderte schon 1959 für jede Röntgenaufnahme eine Indikation. Ansonsten laufe man Gefahr, dass Personal einer unnötigen Strahlenexposition auszusetzen und Fehldiagnosen zu stellen. Eine Röntgenuntersuchung sollte eine sorgfältig durchgeführte klinische Untersuchung nicht ersetzen. Die Röntgenaufnahme muss so durchgeführt werden, dass durch die Nutzung geeigneter technischer Voraussetzungen und einer adäquaten Einstelltechnik eine optimale Bildqualität erzielt wird. Nach HARTUNG u. TELLHELM (2000) sollte die Belichtungszeit für die Anfertigung einer Röntgenaufnahme so kurz wie möglich gewählt werden. Sie empfehlen bei konventioneller Entwicklung den Einsatz von hochverstärkenden Folien und das Strahlenfeld so klein wie möglich einzublenden. Bei kleinerem Strahlenfeld werden viele Photonen vor Austritt der Röntgenröhre von Blenden absorbiert und das Personal ist weniger Streustrahlung ausgesetzt. Die Gefahr des „Kassettenhalters“, mit den Händen in den Primärstrahl zu geraten, wird erheblich reduziert. In dieser Studie konnte beobachtet werden, dass nicht selten der Primärstrahl unnötigerweise auf das verwendete Kassettenformat und darüber hinaus anstatt auf die Objektgröße eingebildet wurde.

Der Einsatz von elektronischen Personendosimetern kann zur Bestimmung der Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen in der Pferdepraxis positiv beurteilt werden. Entsprechend den Anforderungen der RöV (2003), ICRP und DIN können mit den elektronischen Personendosimetern die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 10 mm (Tiefen-Personendosis  $H_p(10)$ ) bzw. die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 0,07 mm (Oberflächen-Personendosis  $H_p(0,07)$ ) erfasst werden. Die Dosimeter können am Körperstamm der Personen ohne Einschränkung ihrer Bewegungsfreiheit befestigt werden. Die ermittelten Dosiswerte können sofort abgelesen und einer Röntgenuntersuchung zugeordnet werden. Ebenso können Tages-, Wochen- und Monatsdosen abgelesen werden. Für einen bedenkenlosen Einsatz der EPD's zur Ermittlung der Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals muss eine vollständige Funktionsfähigkeit der Geräte im möglichen Dosisleistungsbereich der Röntgendiagnostik vom Hersteller gewährleistet sein.

Die EPD's zeichnen sich gegenüber z. B. den amtlichen Dosimetern (Filmplakette) und Füllhalterdosimetern zur Überwachung der Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals durch hohe Anschaffungs- und Wartungskosten und einem großen technischen Aufwand aus. Die Bedienung der elektronischen Personendosimeter einschließlich der dazugehörigen Software ist leicht. Die Ergebnisse der EPD's sind mit denen von TLD's vergleichbar.

Anhand dieser Studie ist für den praktischen Tierarzt eine repräsentative Job-Exposure-Matrix zur Abschätzung der Exposition an ionisierender Strahlung für jede einzelne Röntgenaufnahme des Pferdes mit einer Verhaltensempfehlung im Umgang mit Röntgenstrahlen entstanden. Bei Einhaltung des Standards im Umgang mit Röntgenstrahlen nach RöV (2003) und nach Empfehlung der Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und zur Röntgenverordnung (RöV) vom 01.02.2005 ist davon auszugehen, dass das veterinärmedizinische Personal die für die heutige Praxis notwendige Röntgendiagnostik uneingeschränkt anwenden kann, ohne eine Gefährdung der Gesundheit befürchten zu müssen. Voraussetzung ist allerdings, dass die notwendigen und vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen beachtet und eingehalten werden.

## 6 Zusammenfassung

Kurze Zeit nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen 1895 wurden über die negativen Auswirkungen von Röntgenstrahlen auf den lebenden Organismus in Form von Strahlenschäden mit Todesfällen berichtet. Die Reduktion der Strahlenbelastung sowohl in der Human- als auch Veterinärmedizin wurden seit dem viel diskutiert. Die Aktualität des Themas setzt sich bis heute fort.

Das Ziel der Untersuchung war es, in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin und bei niedergelassenen Tierärzten, die Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals mit Hilfe von elektronischen Personendosimetern bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes zu bestimmen. Für den praktizierenden Tierarzt sollte eine repräsentative Job-Exposure-Matrix zur Abschätzung der Exposition an ionisierender Strahlung für jede einzelne Röntgenuntersuchung des Pferdes mit einer Verhaltensempfehlung im Umgang mit Röntgenstrahlen entstehen.

Mit elektronischen Personendosimetern wurde bei 2429 Röntgenuntersuchungen die Strahlenexposition des Personals mittels 27554 Dosiswerten erhoben. Dosimetriert wurden alle die der Strahlenexposition ausgesetzten Personen („Schütze“, „Kassettenhalter“, „Pfleger“) bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen des Pferdes in der Klinik für Pferde der FU Berlin und bei drei niedergelassenen Tierärzten. Bestimmt wurde die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 10 mm ( $H_p(10)$ ) in [ $\mu$ Sv] für die Trageorte Schilddrüse und Gonaden vor der Bleischürze, Gonaden hinter der Bleischürze und die Füße. Die Personen-Äquivalentdosis in einer Gewebetiefe von 0,07 mm ( $H_p(0,07)$ ) in [ $\mu$ Sv] wurde an den Händen des „Kassettenhalters“ bzw. alternativ am mechanischen Kassettenhalter und an den Bleihandschuhen ermittelt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass die Strahlenbelastung des Personals am Körperstamm für die Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes sowohl in der Klinik für Pferde der FU Berlin als auch bei den niedergelassenen Tierärzten gering ist. Die höchsten Dosiswerte für diese Röntgenuntersuchungen sind an den Füßen aller der Strahlenexposition ausgesetzten Personen zu erwarten. Die höchste Strahlenexposition (86  $\mu$ Sv) wurde bei den Röntgenuntersuchungen der distalen Gliedmaßen des Pferdes an den Füßen des „Kassettenhalters“ erfasst.

Kommt es bei den Röntgenuntersuchungen zur Durchstrahlung größerer Volumina (Schulter, HWS, Rücken, Thorax, Becken, etc.) sind höhere Dosiswerte bei allen Personen anzunehmen. Die Dosiswerte der Personen für diese Untersuchungen variieren mit der geometrischen Anordnung des Personals zur Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl.

Bei den Personen und Trageorten, die der Streustrahlenquelle und dem Primärstrahl für die einzelne Röntgenaufnahme am nächsten sind, konnten für diese Aufnahmen die höchsten Strahlenexpositionen bestimmt werden. Das entspricht in den überwiegenden Fällen den Trageorten Schilddrüse und Gonaden bei den Personen „Schütze“ und „Pfleger“. Bei der Durchstrahlung größerer Volumina wird die entstehende Streustrahlung zu einem gewissen Teil vom umgebenden Gewebe absorbiert. Deshalb kann die ermittelte Dosis für den „Kassettenhalter“, der sich meist kaudal der geröntgten Region befindet, geringer sein als angenommen. An den Händen des „Kassettenhalters“ sind durch ein Arbeiten nahe am Primärstrahl sowohl für die Röntgenaufnahmen an den distalen Gliedmaßen als auch für die Aufnahmen der proximalen Gliedmaßen, am Kopf und Körperstamm des Pferdes die höchsten Dosiswerte zu erwarten.

Eine Überschreitung der jährlichen Dosisgrenzwerte beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A (RöV 2003) ist nicht zu befürchten. Voraussetzung für niedrige Dosiswerte ist ein Umgang mit ionisierenden Strahlen nach den Empfehlungen der RöV (2003) und der Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" (2005).

Anhand der Studie konnte gezeigt werden, dass bei der Erzeugung von Röntgenbildern eine Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals erfolgt. Diese kann, auch wenn sie noch so klein erscheint, potentiell eine stochastische Strahlenwirkung im menschlichen Organismus hervorrufen. Mit steigender Dosis nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten stochastischer Strahlenschäden zu. Bei Einhaltung des Standards im Umgang mit Röntgenstrahlen nach RöV (2003) und nach Empfehlung der Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" (2005) ist davon auszugehen, dass das veterinärmedizinische Personal die für die heutige Praxis notwendige Röntgendiagnostik uneingeschränkt anwenden kann, ohne eine Gefährdung der Gesundheit befürchten zu müssen. Voraussetzung ist allerdings, dass die notwendigen und vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen eingehalten werden.

Der Einsatz von EPD's kann zur Erfassung der Strahlenexposition bei routinemäßigen Röntgenuntersuchungen in der Pferdepraxis positiv beurteilt werden. Die Dosimeter können am Körperstamm der Personen ohne eine Einschränkung ihrer Bewegungsfreiheit befestigt werden. Die ermittelten Dosiswerte sind sofort abzulesen und können einer Röntgenuntersuchung zugeordnet werden. Das Ablesen von Tages-, Wochen- und Monatsdosen ist möglich. Die Messdaten liegen in elektronischer Form vor, sind schreibgeschützt und nicht veränderbar. Die Ergebnisse der EPD's sind mit denen von TLD's vergleichbar.

## 7 Summary

### **“Measurement of the exposure to ionizing radiation of veterinary staff during routine x-ray examinations in equine practice by use of electronic personal dosimeters”**

Shortly after the discovery of x-rays by Wilhelm Conrad Röntgen in 1895 first reports of detrimental side effects, i.e. death, on living organisms were reported. Ever since the reduction of the exposure to ionizing radiation has been a topic of discussion in human as well as in veterinary medicine. It is still an up to date topic.

The aim of the research is to clarify the exposure to ionizing radiation in veterinary staff during routine x-ray examinations of horses at the “Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin” and at other equine practices. The radiation exposure was measured by using electronic personal dosimeters (EPD). The goal was to create a representative job-exposure-matrix for equine practitioners for each type of x-ray examination, as well as a guideline for working with x-rays.

Electronic personal dosimeters were used in 2429 x-ray examinations to determinate the exposure of the staff in 27554 single dosage readings. Dosage readings were taken on all persons who were exposed to radiation (“x-ray shooter”, “cassette holder”, “groom”) at the “Klinik für Pferde der FU Berlin” and at three other equine hospitals. The personal-equivalent-dose [ $\mu\text{Sv}$ ] was measured in 10 mm (Hp(10)) tissue depth. Dosimeters were attached over the thyroid gland, gonads (before the lead apron), gonads (behind the lead apron) and the feet. The personal-equivalent-dose [ $\mu\text{Sv}$ ] in a tissue depth of 0,07 mm (Hp(0,07)) was measured on the hands of the cassette holder or on mechanical cassette holders and on the lead gloves.

Results show that the exposure to radiation at the torso of staff of the “Klinik für Pferde der FU Berlin” as well as the other clinics while x-raying the equine distal limb is low (median lies below 2  $\mu\text{Sv}$ ). Highest doses are expected at the feet of all exposed persons. An exposure of 86  $\mu\text{Sv}$  was detected at the feet of the “cassette holder” during x-ray examinations of the equine distal limb.

Higher dosage-counts on all persons are expected while x-raying larger volumina such as shoulder, neck, back, thorax and pelvis. The doses varied with the geometric arrangement of the persons to the primary x-ray field and the source of scatter radiation. Dosimeters placed by the thyroid gland and the gonads on the “groom” and the “x-ray shooter” showed that the persons nearest to the different radiation sources had the highest exposure to radiation during examination.

While taking radiographs of larger volumina, the scatter radiation is partially absorbed by surrounding tissue so that the “cassette holder”, who mostly stands caudally of the x-rayed region, is lower than assumed. The hands of the “cassette holder” are close to the primary x-ray field during x-ray examinations of the equine distal limb, head, and torso, so that the highest dosage readings should be expected here.

Exceeding the annual dosage-borderlines through persons professionally exposed to radiation (category A (RöV 2003)) is unlikely. For low-dose measurement results the careful handling of ionizing radiation according to the “Strahlenschutz in der Tierheilkunde” guidelines (2005) is required.

This study is able to show that veterinary staff is exposed to radiation during x-ray examinations. This exposure, even if very low, can lead to stochastic health effects of radiation in the human body. Rising dosages make stochastic health effects of radiation more likely. Applying the standards of precaution while dealing with radiation according to the RöV (2005) and the “Strahlenschutz in der Tierheilkunde” guideline (2005) no negative effects on health should occur in veterinary practice.

The evaluation of using EPD’s to measure radiation exposure in equine practice is positive. EPD’s can be worn at the torso without hindering movement. Dose readings can be viewed immediately and linked to a certain x-ray examination. Daily, weekly and monthly dosage readings are possible. The results are in an electronic, non-changeable form. Results are comparable to those of TLD’s.



## 8 Literaturverzeichnis

Abrahams, A.; Harris, S. J.; Paul, I.; Paul, G. W. (1957):

Radiological hazards due to exposure to low-energy radiation in veterinarians: an environmental study.

Veterinary Medicine 52. S. 235-240.

Ackermann, N.; Spencer, C. P.; Hager, D. A.; Poulos, P. W. (1988):

Radiation exposure during equine radiography.

Vet. Radiology 29(5). S. 198-201.

Albers-Schönberg, H. (1898):

Mit Röntgenstrahlen behandelte und geheilte Fälle von Lupus.

Münch. Med. Wschr. 8. S. 249.

Albers-Schönberg, H. (1903):

Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Organismus der Tiere.

Münch. Med. Wschr. 50. S. 1859-1860.

Albers-Schönberg, H. (1904):

Azoospermie infolge Einwirkung von Röntgenstrahlen.

Zschr. Veterinärk. 16. S. 455.

Alberts, W. G.; Ambrosi, G.; Böhm, J.; Dietze, G., et al. (1994):

PTB Bericht DOS-23: "Neue Dosis-Messgrößen im Strahlenschutz".

Braunschweig. - ISBN: 3-89429-507-4.

Alberts, W. G.; Schnepel, G. H. (2006):

SSK Band 43: "Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition"; 2., überarbeitete Auflage.

Bonn, Braunschweig: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. - ISBN: 3-87344-129-2.

Angerstein, W. (1967):

Zur Frage der Verminderung der Lebenserwartung nach ionisierender Bestrahlung.

Dtsch. Gesundheitswesen, Sonderdruck 42(2). S. 1987-1992.

Angerstein, W.; Gursky, S.; Hegewald, H. (1982):

Grundlagen der Strahlenphysik und der radiologischen Technik in der Medizin, 3. Auflage.

Leipzig: Thieme.

Bayer. Landesamt für Umweltschutz (1980):

Strahlenunfälle bei älteren Röntgengeräten.

Dtsch. Tierärzteblatt 4. S. 288.

Below (1898):

Eine Dermatitis durch Röntgenstrahlen.

Münch. Med. Wschr. 8. S. 263-264.

Berge, E. (1927):

Über neue Leistungen in der Röntgendiagnostik am lebenden Pferd.

Dtsch. Tierärztl. Wschr. 35. S. 687-692.

- Blendl, C. (2005):  
Das digitale Röntgenbild in der Veterinärmedizin.  
pferde spiegel 1. S. 12-24.
- Bohnsack, O. (2005):  
Reduktion der Strahlenexposition bei CT-Fluoroskopie-gesteuerten Interventionen:  
Möglichkeiten und Grenzen einer segmentalen Röhrenabschaltung.  
Dissertation med., Ludwig-Maximilians-Universität zu München. 79 S.
- Bolz, W. (1960):  
Über die Apparatur und Aufnahmetechnik bei Röntgenuntersuchungen in der tierärztlichen  
Praxis.  
Tierärztl. Umschau 35(15). S. 88-93.
- Brunken, G.; De Besi, N.; Königsmann-Brunken, D. (2006):  
Radiologische Untersuchungen an den Dornfortsätzen der Rückenwirbel.  
Praktischer Tierarzt 87(8). S. 617-621.
- Butler, J. A.; Christopher, M. C. (1993):  
Clinical radiology of the horse.  
London: Blackwell Scientific Publication Oxford.
- Coulson, A. (1990):  
Radiation protection regulations.  
The Vet. Rec. 126. S. 629-630.
- David, A. (1968):  
Verlauf und Prognose beruflicher hämatologischer Strahlenschäden.  
Int. Archiv für Gewerbepathologie und -hygiene 24. S. 271-286.
- Davies, J. V. (1990):  
Improve your image - 3 Practical Safety.  
Equine vet. Educ. 2(3). S. 151-154.
- Debicki, J. J. (1925):  
Bemerkungen zum gegenwärtigen Stand der Röntgenologie in der Tierheilkunde.  
Fortschr. Röntgenstr. 33. S. 258-261.
- Dersee, T. (2005):  
Tschernobyl-Folgen: Krebs, Leukämien und Geisteskrankheiten finden russische,  
weißrussische und ukrainische Forscher jetzt vermehrt bei ihren Mitbürgern.  
Strahlentelex mit ElektrosmogReport 19(454-455). S. 1-4.
- Dorfmueller, C. (2005):  
Von C. W. Röntgen bis zu den Dr-Systemen der Gegenwart.  
pferde spiegel 1. S. 3-10.
- Douglas, S. W. (1977):  
Grundlagen der Röntgenologie in der Veterinärmedizin.  
Berlin, Hamburg: Parey.
- Drexler, G.; Panzer, W. (1990):  
Occupational exposure in X-ray diagnosis.  
Radiat. Prot. Dosim. 32(3). S. 163-170.

Drexler, G.; Panzer, W.; Stieve, F.-E.; Widenmann, L., et al. (1993):  
Die Bestimmung von Organdosen in der Röntgendiagnostik.  
Berlin: H. Hoffmann GmbH.

Ebermaier, C.; Meyer-Lindenberg, A.; Nolte, I. (1998):  
Digitale und analoge Röntgentechnik am Beispiel der Thoraxdiagnostik.  
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 111. S. 104-110.

Eder, H.; Kiefer, J.; Luggen-Hölscher, J.; Rase, S. (1986):  
Grundzüge der Strahlenkunde für Naturwissenschaftler und Veterinärmediziner.  
Berlin, Hamburg: Parey.

Eksell, P.; Uhlhorn, H.; Carlsten, J. (1999):  
Evaluation of different projections for radiographic detection of tarsal degenerative joint disease in Icelandic horse.  
Vet. Radiology & Ultrasound 3. S. 228-232.

Frasch, G.; Fritsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R., et al. (2006):  
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2004; Bericht des Strahlenschutzregisters.  
Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW/Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

Freund, L. (1897):  
Ein mit Röntgen-Strahlen behandelter Fall von Naevus pigmentosus piliferus.  
Wien. med. Wschr. 10. S. 428-434.

Fritz-Niggli, H. (1991):  
Strahlengefährdung / Strahlenschutz - Ein Leitfaden für die Praxis, 3. Auflage.  
Bern, Stuttgart: Verlag Hans Huber.

Fuchs, M.; Modler, H.; Schmid, A.; Dumont, C., et al. (1999):  
Messung der intraoperativen Strahlenexposition des Unfallchirurgen - Messung an Auge, Schilddrüse und Hand mit hochempfindlichen Thermolumineszenzdetektoren.  
Unfallchirurg. 102. S. 371-376.

Georgi, R.; Koert, A. (2005):  
Qualität von digitalen Röntgenbildern.  
pferde spiegel 1. S. 38-40.

Geyer, P. S. (2003):  
Strahlenschutz und Strahlenschäden beim Umgang mit Röntgenstrahlen in der Veterinär-röntgenologie. Eine Untersuchung der deutsch- und englischsprachigen Literatur unter der Berücksichtigung der aktuellen Röntgenverordnung.  
Dissertation med. vet., Freie Universität Berlin. 113 S.

Gstettner, C. I. (1995):  
Erhebung über die Strahlenexposition bei der Röntgenuntersuchung von Pferden.  
Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität zu München. 64 S.

Habermehl, A. (1996):  
Strahlenexposition der Weltbevölkerung.  
Dtsch. Tierärzteblatt 93(40). S. 2556-2559.

Hanft, A.; Seydler, B. (1993):

Strahlendosisermittlung am Röntgendiagnostikgerät "Diagnost 66" in Verbindung mit DSI (Philips Medizin Systeme) bei Dickdarm-, Magen- Ösophagusuntersuchungen.  
Dissertation med., Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden. 120 S.

Hartung, K. (1958):

Zur Frage der Strahlenbelastung und des Strahlenschutzes in der pädiatrischen Röntgendiagnostik.  
Med Klin (München) 53(28). S. 1209-1216.

Hartung, K. (1959):

Strahlenbelastung und Strahlenschutz in der pädiatrischen Röntgendiagnostik.  
Monatsschr. Kinderheilkd. 107(3). S. 195-197.

Hartung, K. (1966):

Zum Problem der Kassettenhalterungen in der Veterinär-Röntgenologie. Über die Anwendung eines neuen fahrbaren Kassettenstativs.  
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 79(8). S. 143-144.

Hartung, K. (1970):

Strahlenschutzmessungen in Berliner Kleintierpraxen.  
Tierärztl. Umschau 6. S. 183-189.

Hartung, K. (1973):

Experimentelle Untersuchungen zum Auftreten von Strahlenschäden bei Hunden und Pferden nach der Röntgentherapie.  
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 86(11). S. 201-205.

Hartung, K. (1974):

Strahlenschutz bei der tierärztlichen Anwendung von Röntgenstrahlen.  
Dtsch. Tierärzteblatt 22. S. 35-36.

Hartung, K. (1980):

Röntgentherapie entzündlicher Erkrankungen beim Hund.  
Tierärztl. Prax. 8(3). S. 363-366.

Hartung, K. (1980):

Strahlenschutzuntersuchungen in Berliner Kleintierpraxen - Ergebnisse nach Inkrafttreten der Röntgenverordnung vom 1. März 1973.  
Sitzung Berl. Tierärztl. Ges. 14.5.1980.

Hartung, K. (1984):

Röntgenaufnahme oder Röntgendurchleuchtung. Eine Betrachtung nicht nur zum Strahlenschutz.  
Tierärztl. Prax. 12(3). S. 281-288.

Hartung, K. (1987):

Zur seitenrichtigen Darstellung von Röntgenaufnahmen.  
Tierärztl. Prax. 15(2). S. 221-223.

Hartung, K. (1992):

Zur Strahlenbelastung der Hände und Füße bei der Röntgenuntersuchung von Kleintieren.  
Tierärztl. Prax. 20(2). S. 187-193.

Hartung, K. (1993):

Zur Strahlenbelastung des Personals bei Röntgenuntersuchungen in der tierärztlichen Praxis.

Sitzungsbericht Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 7. S. 249.

Hartung, K. (2002):

Was bringt die neue Röntgenverordnung für den Tierarzt?

Vortrag Röntgentagung Freudenstadt.

Hartung, K.; Blaurock, H.-M. (1969):

Versuche zur Bestimmung der optimalen Strahlenqualität für Bestrahlungen an Großtierextremitäten.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 82(5). S. 86-88.

Hartung, K.; Clauss, W. (1967):

Ein Beitrag zum Strahlenschutz in der Kleintierpraxis. Strahlenschutzmessungen.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 80(21). S. 405-408.

Hartung, K.; Clauss, W. (1967):

Erste Erfahrungen mit der Röntgen-Bestrahlung chronischer Gelenkentzündungen beim Hund.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 80(15). S. 295-297.

Hartung, K.; Clauss, W.; Keller, H. (1968):

Zum Strahlenschutz bei Röntgenaufnahmen in der Pferdepraxis (Personendosismessungen).

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 81(3). S. 41-43.

Hartung, K.; Keller, H. (1970):

Untersuchungen über die strahlenabsorbierende Wirkung äußerlich anzuwendender Medikamente bei Röntgenaufnahmen.

Schweiz. Arch. Tierheilkd. 112(9). S. 480-486.

Hartung, K.; Münzer, B. (1981):

Strahlenschutz in der Kleintierpraxis.

Tierärztl. Prax. 9(4). S. 511-516.

Hartung, K.; Münzer, B. (1984):

Möglichkeiten der Reduzierung der Strahlenbelastung bei der Röntgenuntersuchung von Kleintieren.

Tierärztl. Prax. 12(4). S. 505-510.

Hartung, K.; Münzer, B. (1991):

Zur Abschätzung der beruflichen Strahlenbelastung bei Röntgenuntersuchungen vom Pferd.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 104. S. 347-351.

Hartung, K.; Tellhelm, B. (2000):

Der Weg zum guten Röntgenbild.

Stuttgart: Enke.

Hartung, K.; Vöster, I. (2001):

Strahlenschutz bei Röntgenuntersuchungen von Pferden.

BPT Jubiläums Kongress, Vortragszusammenfassungen. S. 223-226.

Hertsch, B. (2004):

Die Einflüsse klinischer und röntgenologischer Befunde auf die Gesamtbeurteilung bei der Kaufuntersuchung.

Praktischer Tierarzt 85(6). S. 410-416.

Heyne, J. P.; Merbol, H.; Sehner, J.; Neumann, R., et al. (2000):

Reduktion der Strahlendosis mittels Speicherfolienradiographie am Handphantom.

Fortschr. Röntgenstr. 172. S. 386-390.

Heyne, J. P.; Merbold, H.; Sehner, J.; Neumann, R., et al. (2000):

Reduktion der Strahlendosis mittels Speicherfolienradiographie im Vergleich zum konventionellen Film-Folien-System mit Rasterkassette am Schädelphantom.

Fortschr. Röntgenstr. 171. S. 54-59.

Heyne, J. P.; Sehner, J.; Neumann, R.; Werner, B., et al. (2002):

Reduktion der Strahlenexposition mittels Speicherfolienradiographie an Becken und Lendenwirbelsäule.

Fortschr. Röntgenstr. 174. S. 104-111.

Hofmann-Parisot, M. (1993):

Veterinär-röntgenologie in Deutschland, Schweiz und Österreich: Eine vergleichende Problemanalyse.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 106. S. 160-165.

Hofmann-Parisot, M.; v. Baeckmann, P. (1995):

Das optimale Röntgenbild - ein Kunstwerk? Zur Partnerschaft Medizin und Medizinische Physik am Beispiel der Qualitätskontrolle und -sicherung in der Röntgendiagnostik.

Wien. Tierärztl. Mschr. 82. S. 322-327.

Hohlbach, A. (1998):

Untersuchung zur Röntgenologie in deutschen Tierarztpraxen.

Dissertation med. vet., Freie Universität Berlin. 96 S.

Holthusen, H. (1960):

Entwicklung der Grundprinzipien des Strahlenschutzes und ihre Bedeutung für die kommende 1. Strahlenschutzverordnung.

Dtsch. Med. Wschr. 85(14). S. 537-541.

Horvat, C. (1986):

Beitrag zur Qualitätskontrolle in der Veterinär-röntgenologie: Der Einsatz von Röntgengeräten in veterinärmedizinischen Praxen sowie Messungen zur Strahlenbelastung bei Aufnahmen.

Dissertation med. vet., Veterinärmedizinische Universität Wien. 109 S.

Jung, H. (1995):

Strahlenrisiko.

Fortschr. Röntgenstr. 162(2). S. 91-98.

Kiefer, J.; Kiefer, I. (2003):

Allgemeine Radiologie - Strahlenanwendung, Strahlenwirkung, Strahlenschutz.

Berlin, Wien: Parey.

Kirchmeyer, K. (1998):

Strahlenbelastung des Patienten in der Direktradiographie im Vergleich zur konventionellen und ultrafast Computertomographie.

Dissertation med., Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf. 40 S.

- Kleemann, P. (1997):  
Messung der Hautoberflächendosis mit der Ionisationskammer und der Thermolumineszenzdosimetrie in verschiedenen Programmen des Orthophos Plus (Siemens AG Bensheim).  
Dissertation med., Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität in Dresden. 96 S.
- Klüpfel, H.-U. (1982):  
Berufserkrankungen durch Einwirkungen ionisierender Strahlen. Eine Analyse der gegenwärtig entschädigten Fälle in der Bundesrepublik Deutschland.  
Dissertation med., Ulm. 107 S.
- Koert, A. (2004):  
Dosimetrische Untersuchungen an dem digitalen Röntgendiagnostiksystem "PHILIPS bucky Diagnost PCR AC-500". Ein Beitrag zur Bewertung der Strahlenbelastung des Untersuchungspersonals bei der Untersuchung von Kleintieren.  
Dissertation med. vet., Universität Leipzig. 140 S.
- Krebs, M. (2005):  
Digitale Röntgentechnik in der ambulanten Pferdepraxis.  
pferde spiegel 1. S. 29-31.
- Kreling, K. (2005):  
Digitale Diagnostika - teure Spielzeuge oder sinnvolle Investitionen?  
pferde spiegel 1. S. 26-28.
- Krieger, H. (2001):  
Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Band 2, Strahlungsquellen, Detektoren und klinische Dosimetrie, 3. Auflage.  
Stuttgart, Leipzig: Teubner.
- Krieger, H. (2002):  
Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Band 1, Grundlagen, 5. Auflage.  
Stuttgart, Leipzig: Teubner.
- Krieger, H. (2004):  
Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes.  
Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Teubner.
- Laubenberger, T.; Laubenberger, J. (1999):  
Technik der medizinischen Radiologie - Diagnostik, Strahlentherapie, Strahlenschutz für Ärzte, Medizinstudenten und MTRA, 7. Auflage.  
Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Lauk, H.-D. (2002):  
Kaufuntersuchung- die ständige Herausforderung. Brauchen wir einen erweiterten Standard?  
Pferdeheilkunde 18(3). S. 212-216.
- Lee, R. (1978):  
Radiation protection in veterinary practice.  
The Vet. Rec. 103. S. 97-100.
- Lissner, J.; Fink, U. (1992):  
Radiologie I.  
Stuttgart: Enke.

Loewenhardt, B.; Müller, E. (1997):

Bildgebende Diagnostik - Technik, Anatomie, Pathologie.  
Darmstadt: Minerva-Verlag.

Ludewig, E. v. (2002):

Änderung der Röntgenverordnung - Erläuterungen der neuen Bestimmungen zum Röntgen in der Tiermedizin.

Dtsch. Tierärzteblatt 9. S. 924-928.

Ludewig, E. v.; Heidrich, H.-U.; Hartung, K. (2007):

Aktualisierung der Fachkunde gemäß Röntgenverordnung.

Deutsches Tierärzteblatt 55(5). S. 572-573.

Ludwig, K.; Ahlers, K.; Sandmann, C.; Gosheger, G., et al. (2003):

Dosisreduktion bei Röntgenaufnahmen des kindlichen Beckenskelettes zur Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie unter Verwendung eines digitalen Flachdetektors.

Fortschr. Röntgenstr. 175. S. 112-117.

Lüpke, M.; Ohnesorge, B.; Seifert, H. (2004):

Berechnung der Abschirmung einer neuen Eingangstür zum Röntgenraum nach der neuen DIN 6812.

Praktischer Tierarzt 85(11). S. 820-822.

Mack, R.; Mikhail, B.; Mikhail, M. (2002):

Wörterbuch der Veterinärmedizin und Biowissenschaften Deutsch-Englisch-Französisch, 3. Auflage.

Berlin: Parey.

Martschei, C.; Lüpke, M.; Stadler, P.; Seifert, H. (2005):

Radiation exposure of assistants in equine radiography.

Biomedizinische Technik 50(1). S. 672-673.

Mattoon, J. S.; Smith, C. (2004):

Breakthroughs in radiography: computed radiography.

Comp. Cont. Educ. Pract. Vet. 26. S. 58-66.

Mayrhofer, W.; Stanek, C.; Lutz, H.; Heidbrink, U. (2006):

Wertigkeit klinischer, radiologischer und computertomographischer Befunde bei der Diagnostik von Karpalgelenkserkrankungen beim Pferd.

Pferdeheilkunde 22(6). S. 773-784.

Mehrkens, L. (1961):

Die Strahlenbelastung bei Röntgendiagnostik und Röntgentherapie in der Veterinärmedizin.

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 74(15). S. 286-290.

Merz, A. (2005):

Digitales Röntgen mit einem Speicherfoliensystem: Erfahrungsbericht über die Neueinführung der digitalen Röntgenentwicklung.

pferde spiegel 1. S. 41-43.

Moritz, S. A.; Hueston, W. D.; Wilkins, J. R. (1989):

Patterns of ionizing radiation exposure among women veterinarians.

JAVMA 195(6). S. 737-739.



Moritz, S. A.; Wilkins, J. R.; Hueston, W. D. (1989):  
Evaluation of radiation safety in 29 central Ohio veterinary practices.  
Am. J. Publ. Hlth. 79(7). S. 895-896.

Münzer, B. (1982):  
Röntgendiagnostik in der Pferdepraxis.  
Stuttgart: Enke.

Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E. (1992):  
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I.  
Berlin, Hamburg: Parey.

Niehaus, H. (2006):  
Untersuchung zur Strahlenexposition von Tierbetreuungsperson und Haltepersonal bei der  
Radiographie von Hund und Katze.  
Dissertation med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover. 156 S.

Niehaus, H.; Lüpke, M.; Meyer-Lindenberg, A.; Seifert, H. (2005):  
Pet Owner Radiation Exposure During Most Common X-ray Diagnostic Examinations Of Dog  
And Cat.  
Biomedizinische Technik 50(1). S. 670-671.

Nölker, A.; Ueltschi, G. (2001):  
Die Strahlenexposition des Untersuchungspersonals bei der veterinärmedizinischen  
Röntgenuntersuchung unter Einsatz des C-Bogen-Bildverstärkers.  
Tierärztl. Umschau 56. S. 519-527.

O'Riordan, M. C. (1968):  
Occupational Exposure to X-rays in Veterinary Practices.  
The Vet. Rec. 82. S. 22-23.

O'Riordan, M. C. (1970):  
Examination of a veterinary practice for radiation hazards.  
J. small Anim. Pract. 11. S. 515-522.

O'Riordan, M. C. (1970):  
X-Ray Hazards in Practices.  
The Vet. Rec. 87. S. 640-643.

Orsini, J. A.; Baird, D. K.; Ruggles, A. J. (2004):  
Strahlentherapie eines rezidivierenden ossifizierenden Fibroms in den Nasennebenhöhlen  
bei einem Pferd.  
Pferdeheilkunde 20(5). S. 484-485.

Peinsipp, N.; Roos, G.; Weimer, G. (2003):  
Röntgenverordnung - RöV Verordnung über den Schutz vor Schäden durch  
Röntgenstrahlen in der Neufassung vom 30. April 2003, 5., neu bearbeitete Auflage.  
Heidelberg: Forkel.

Pera, N. (1914):  
Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Trächtigkeit.  
Berl. tierärztl. Wschr. 30(81). S. 556.

- Pfeffer, W.; Kaulard, J. (1999):  
Konzept zum Einsatz Elektronischer Personendosimeter (EPD) als amtliche Elektronische Personendosimeter (AEPD).  
Köln: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH.
- Psychrembel, W.; Zink, C.; Dornblüth, O. (1986):  
Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, 255. Auflage.  
Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Rothe, W. (1977):  
Strahlenexposition von Haltepersonen bei der veterinärmedizinischen Röntgendiagnostik.  
Monatsh. Veterinärmed. 32. S. 107-109.
- Ruohoniemi, M.; Kaikkonen, R.; Raekallio, M.; Luukkanen, L. (2001):  
Röntgenologische Überwachung der konservativen Therapie von Sandanschoppungen im großen Kolon beim Pferd.  
Pferdeheilkunde 17(3). S. 253-254.
- Rüther, W.; Kowács, G.; Jacobi, K. W.; Graul, E. H., et al. (1968):  
Strahlenschädigung und Strahlenschutz am Auge, 3. Mitteilung.  
Wehrmedizin 5/6. S. 72-76.
- Sauer, R. (1996):  
Radiologie.  
München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Schaefer-Prokop, C. M. (1997):  
Digitale Radiographie des Thorax - Ein Systemvergleich unter Berücksichtigung des Dosisbedarfs und der diagnostischen Leistungsfähigkeit im Vergleich zur konventionellen Folien-Film-Radiographie.  
Habilitation med., Medizinische Hochschule Hannover. 142 S.
- Schebitz, H.; Wilkens, H. (1986):  
Atlas der Röntgenanatomie des Pferdes; Atlas of Radiographic Anatomy of the horse; 4., durchgesehene Auflage.  
Stuttgart: Parey.
- Schleiter, H. (1959):  
Strahlenschutzprobleme in der Röntgendiagnostik der Großtierklinik.  
Mh. Vet. Med. 14, Sonderheft 1. S. 46-51.
- Schmid, C. (2002):  
Ermittlung von Dosiswerten in der Diagnostischen Radiologie zur Festlegung von nationalen Referenzdosiswerten nach der Patientenrichtlinie der EU 97/43/EURATOM.  
Dissertation med., Ludwig-Maximilians-Universität zu München. 110 S.
- Schmid, S.; Erbe, W. (1977):  
Berufliche Strahlenexposition des Assistenzpersonals im Chirurgischen OP.  
Röntgenpraxis 50. S. 238-241.
- Schmidhuber, H. (2005):  
Dosisermittlung und Beurteilung der Bildqualität beim Einsatz des ISO-C-3D am Hüftgelenk und an der Lendenwirbelsäule im Vergleich zur Spiral-CT.  
Dissertation med., Ludwig-Maximilians-Universität zu München. 67 S.

- Seifert, H.; Kubale, R.; Blaß, G.; Kunz, G., et al. (1995):  
Die Strahlenexposition des Patienten am Beispiel der lateralen Schädelaufnahme bei der digitalen Lumineszenzradiographie im Vergleich zum Film-Folien-System.  
Röntgenpraxis 48. S. 298-303.
- Seifert, H.; Lüpke, M.; Kramer, S.; Gassner, A. (2006):  
Ist es notwendig, die Personendosis der Tier-Betreuungspersonen bei jeder Röntgenuntersuchung von Hund und Katze zu messen?  
Praktischer Tierarzt 87(6). S. 440-443.
- Seifert, H.; Lüpke, M.; Niehaus, H.; Meyer-Lindenberg, A. (2007):  
Die Strahlenexposition der Tierbetreuungsperson bei radiographischen Standardverfahren an Hund und Katze.  
Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 120(5/6). S. 251-259.
- Seifert, H.; Schneider, G.; Kubale, R.; Blaß, G., et al. (1996):  
Die Strahlenexposition bei der Abdomen-Übersichtsaufnahme mit digitaler Lumineszenzradiographie und konventionellem Film-Folien-System - eine tierexperimentelle Untersuchung.  
Fortschr. Röntgenstr. 165(4). S. 386-391.
- Stadler, P. (2005):  
Röntgenbefundung bei Ankaufsuntersuchungen - Anspruch und Wirklichkeit.  
pferde spiegel 1. S. 51-53.
- Stadtbäumer, G. (2001):  
Einsatz bildgebener Verfahren im Rahmen der Kaufuntersuchung beim Pferd.  
BPT Jubiläums Kongress, Vortragszusammenfassungen. S. 241-243.
- Stashak, T. S. (1989):  
Adam's Lahmheit bei Pferden, 4. Auflage.  
Hannover: Verlag M. & H. Schaper.
- Stetter, U. (1995):  
Die Anfänge der Radiologie in der Tiermedizin.  
Dissertation med. vet., Freie Universität Berlin. 108 S.
- Steyn, P. F.; Uhrig, J. (2006):  
Zur Rolle der Bleischürzen zur Reduktion der Strahlenbelastung während der Durchführung von Knochenszintigraphien beim Pferd.  
Pferdeheilkunde 22(4). S. 472.
- Sullivan, R. J.; Keene, B. E.; Sachs, M.; Sussmann, O. (1957):  
A survey of x-radiation exposure in the practice of veterinary medicine.  
Pbl. Hlth. Rep. 72. S. 883-887.
- Tavernor, W. D.; Vaughan, L. C. (1962):  
Radiography of horse and cattle.  
Brit. vet. J. 118. S. 359-385.
- Tempel, K. (1983):  
Radiologie für Veterinärmediziner.  
Stuttgart: Enke.

- Tempel, K.; Zallinger, C. v. (1998):  
Bewertung der beruflichen Strahlenexposition in der tierärztlichen Röntgendiagnostik (Übersichtsreferat).  
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 111. S. 281-284.
- Thomas, H. L.; Trout, D. R.; Dobson, H.; McFadden, R. C. (1999):  
Radiation exposure to personnel during examination of limbs of horses with portable hand-held fluoroscopic unit.  
JAVMA 215(3). S. 372-379.
- Trainor, D. C.; Foskett, W. E.; Larsen, L. F. (1960):  
Radiological Hazards In Veterinary Practise.  
Aust. Vet. J. 36. S. 8-13.
- Ueltschi, G. (2000):  
Röntgenbildbeurteilung des Strahlbeins im Rahmen einer Kaufuntersuchung.  
BPT Kongress, Vortragszusammenfassungen. S. 209-213.
- Ueltschi, G. (2001):  
Radiographie des Fesselgelenks.  
Pferdeheilkunde 17(4). S. 386.
- Ueltschi, G. (2001):  
Radiographische Untersuchung der Halswirbelsäule.  
Pferdeheilkunde 17(4). S. 396-397.
- Ueltschi, G. (2002):  
Zur Röntgendiagnostik des Sprunggelenks.  
Pferdeheilkunde 18(3). S. 251-254.
- Ueltschi, G. (2002):  
Zur Röntgendiagnostik des Strahlbeins.  
Pferdeheilkunde 18(3). S. 217-224.
- Unwin, D. D. (1970):  
Radiation protection in a veterinary practice.  
J. small Anim. Pract. 11. S. 523-532.
- Volkmer, M. (2005):  
Radioaktivität und Strahlenschutz.  
Köln: Ubia Druck.
- Vöster, I. (1999):  
Ermittlung der Strahlenexposition des veterinärmedizinischen Personals in der Röntgendiagnostik des Pferdes. Messung und Interpretation der Strahlendosis sowie Verhaltensempfehlungen.  
Dissertation med. vet., Freie Universität Berlin. 134 S.
- Wachsmann, F. (1977):  
Ergebnisse der Ortsdosismessungen mit Filmdosimetern.  
Radiologe 17. S. 413-417.
- Weaver, M. P.; Rudolf, H. (1994):  
Techniken zum strahlenschutzgerechten Röntgen von Kleintieren.  
Tierärztl. Prax. 22. S. 73-76.

Weiser (1923):

Tierärztliche Röntgenkunde.

Stuttgart: Enke.

Wenger, H. (1909):

Kurzzeitige Röntgenaufnahmen bei kleinen Haustieren.

Berl. Tierärztl. Wschr. 25(3). S. 41-46.

Widmer, W. R.; Shaw, S. M.; Thrall, D. E. (1996):

Effects of low-level exposure to ionizing radiation: current concepts and concerns for veterinary workers.

Vet. Radiol. Ultrasound 37. S. 227-239.

Wiesner, E.; Ribbeck, R. (2000):

Lexikon der Veterinärmedizin.

Stuttgart: Enke.

Williams, F. L. (1957):

Cassette Holder for Large Animal Radiography.

JAVMA 130. S. 28-32.

Wood, A. K. W.; Robotham, F. P. J.; Reynolds, K. M.; Leith, I. S., et al. (1974):

Radiation protection in equine radiography.

Aust. Vet. J. 50. S. 373-379.

Wrigley, R. H.; Borak, T. B. (1983):

The effect of kVp on the dose equivalent received from scattered radiation by radiography personnel.

Vet. Radiol. 24(4). S. 181-185.

Yoxall, A. T. (1977):

Radiological Protection in Equine Radiography und Radiotherapy.

Equine vet. J. 9(4). S. 167-171.

Zeller, R.; Hertsch, B.; Wilkens, H.; Neurand, K., et al. (1975):

Die Bezeichnung der Aufnahmerichtungen bei der Röntgenuntersuchung in der Veterinärmedizin.

Dtsch. Tierärztl. Wschr. 82(1). S. 22-24.

Richtlinien, Verordnungen und Gesetze:

Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V): Health Effects to Exposure of Low Levels of Ionizing Radiation.

United States National Academy of Sciences, National Research Council. Washington: National Academy Press, 1990.

Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 28.02./01.03.2002: Anforderungen an Personendosimeter.

Forschungszentrum Karlsruhe; Die Messstelle informiert: Die neuen Personen- und Ortsdosismessgrößen - Konzept und Auswirkungen vom 22.04.2005. S. 1-17.

International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU): Quantities and Units in Radiation Protection.

ICRU Report 51, Bethesda, 1993.

International Commission on radiological Protection (ICRP): 1990 Recommendations of the International Commission on Radiation Protection.

ICRP Publication No. 60. Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3. Oxford, Pergamon Press, 1991.

International Commission on Radiological Protection (ICRP): Radiological Protection and Safety in Medicine.

ICRP Publication No. 73. Annals of the ICRP Vol. 26, No. 2. Oxford, Pergamon Press, 1996.

Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP): Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission 1990.

ICRP- Veröffentlichung 60, deutsche Ausgabe. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1993.

Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP): Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin. Veröffentlichung der Internationalen Strahlenschutzkommission 73 von 1996, deutsche Ausgabe.

BfS-Schriften 19/99. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 1999.

Richtlinie 89/618/EURATOM des Rates vom 27. November 1989 über die Unterrichtung der Bevölkerung über die bei einer radiologischen Notstandssituation geltenden Verhaltensmaßregeln und zu ergreifenden Gesundheitsschutzmaßnahmen (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 357 vom 07.12.1989 S. 0031-0034).

Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13.05.1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen Gefahren durch ionisierende Strahlungen.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Nr. L 159 vom 29.06.1996, S. 1.

Richtlinie 97/43/EURATOM des Rates vom 30.06.1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Nr. L 180 S. 22-27.

Richtlinie "Strahlenschutz in der Medizin" zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 24.06.2002.

GMBI 2003 Nr. 11-13 S. 227.

Richtlinie "Strahlenschutz in der Tierheilkunde" zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und zur Röntgenverordnung (RöV) vom 01.02.2005.  
GMBI 2005

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 1: Ermittlung der Körperdosis bei äußerer Strahlenexposition (§§ 40, 41, StrlSchV; § 35 RöV) vom 08.12.2003.  
GMBI. Nr.22 vom 19.03.2004.

Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung und zur Röntgenverordnung für die arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte vom 27.02.2004.  
GMBI 2004 Nr. 19 S. 360.

Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung und zur Röntgenverordnung für die arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte vom 27.02.2004.  
GMBI 2004 Nr. 19 S. 350.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR):  
Sources and Effects of Ionizing Radiation.  
1993 Report on the General Assembly. New York: United Nations, 1993.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR):  
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation.  
1988 Report on the General Assembly. New York: United Nations, 1988.

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20.07.2001 (BGB1. I 2001, S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18.06.2002 (BGB1. I 2002, S. 1869).

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGB1. I 1987, S. 114), in der Fassung der Bekanntmachung vom 30.04.2003 (BGB1. I S. 604).

## 9 Anhang

### 9.1 Dosiswerte der Klinik für Pferde der FU Berlin

Die in der Klinik für Pferde der FU Berlin ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.1 – 9.12 hervor.

**Tab. 9. 1: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1.**

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	81	< NW	81	< NW	64	< NW	77	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-4
Zehe (0°)	18	< NW	18	< NW	13	< NW	18	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-3
Zehe schräg	5	< NW	5	< NW	n. u.	n. u.	5	< NW
		< NW-1		< NW		n. u.		< NW
Strahlbein n. Oxspring	46	1	46	< NW	30	< NW	42	1
		< NW-4		< NW-3		< NW		< NW-5
Strahlbein n. Morgan	3	< NW	3	< NW	n. u.	n. u.	3	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW
Hufbein (90°)	8	< NW	8	< NW	4	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW
Hufbein (0°)	17	< NW	17	< NW	12	< NW	17	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Hufbein schräg	5	< NW	5	< NW	5	< NW	5	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW-1
Fesselgelenk (90°)	23	< NW	23	< NW	17	< NW	22	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Fesselgelenk (0°)	9	< NW	9	< NW	6	< NW	8	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Fesselgelenk schräg	12	< NW	12	< NW	8	< NW	12	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Gleichbein	6	< NW	6	< NW	3	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW
Griffelbein	27	< NW	27	< NW	26	< NW	27	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (90°)	13	< NW	13	< NW	13	< NW	13	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (0°)	18	< NW	18	< NW	13	< NW	18	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-3
Carpus schräg	6	< NW	6	< NW	6	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW-1



Tab. 9. 2: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Ellbogen (90°)	4	1	4	< NW	4	< NW	4	< NW
		< NW-2		< NW		< NW		
Ellbogen (0°)	1	8	1	6	1	< NW	1	3
		8		6		< NW		3
Schulter (90°)	9	2	9	13	5	< NW	9	9
		< NW-49		< NW-41		< NW		< NW-17
Tarsus (90°)	41	< NW	41	< NW	36	< NW	38	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (0°)	28	< NW	28	< NW	23	< NW	26	< NW
		< NW-5		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (45°)	27	< NW	27	< NW	22	< NW	24	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-6
Tarsus (115°)	8	1	8	< NW	8	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-3
Knie (90°)	15	< NW	15	< NW-1	15	< NW	15	1
		< NW-3		< NW-1		< NW		< NW-3
Knie (0°)	15	< NW	15	1	15	< NW	15	1
		< NW-1		< NW-3		< NW		< NW-2

Tab. 9. 3: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	13	< NW	13	1	13	< NW	13	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-2
Kopf (90°) (Zähne)	7	1	7	1	5	< NW	7	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-3
Kopf (0°)	2	3,5	2	24	2	< NW	2	< NW
		2-5		1-3		< NW		< NW-1
Kehlkopf (90°)	2	1	2	2	2	< NW	2	1
		1		2		< NW		1
Luftsack (90°)	1	< NW	1	1	1	< NW	1	< NW
		< NW		1		< NW		< NW
Oesophagus (90°)	1	1	1	1	1	< NW	1	1
		1		1		< NW		1
Nackenband (90°)	6	1	6	< NW	4	< NW	6	< NW
		< NW-3		< NW-1		< NW		< NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	4	6,5	4	5,5	4	< NW	4	2,5
		< NW-12		3-9		< NW		1-3
HWS (90°) (C 3-4)	6	2,5	6	9	6	< NW	6	4
		1-4		5-18		< NW		3-11
HWS (90°) (C 5-7)	8	1	8	14	8	< NW	8	8,5
		< NW-2		< NW-20		< NW		3-16
Rücken (90°) (Th 1-12)	5	1	5	< NW	4	< NW	5	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	1	5	< NW	3	< NW	5	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW
Rücken (90°) (L 1-7)	5	2	8	1	4	< NW	5	< NW
		1-3		< NW-2		< NW		< NW
Thorax (90°)	38	1	38	1,5	34	< NW	34	4
		< NW-24		< NW-35		< NW		< NW-24
Abdomen (90°)	4	2	4	2	4	< NW	4	14
		1-4		< NW-7		< NW		< NW-39
Becken ventro-dorsal	2	6,5	2	7,5	2	< NW	2	12,5
		1-12		4-11		< NW		2-23

Tab. 9. 4: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	85	< NW < NW-1	85	< NW < NW-2	64	< NW < NW	85	< NW < NW-1
Zehe (0°)	18	< NW < NW-2	18	< NW < NW-2	10	< NW < NW	18	< NW < NW-2
Zehe schräg	5	< NW < NW-1	5	< NW < NW-1	5	< NW < NW	5	< NW < NW-2
Strahlbein n. Oxspring	50	2 < NW-4	50	2 < NW-5	38	< NW < NW	49	5 < NW-31
Strahlbein n. Morgan	3	1 < NW-1	3	< NW < NW-1	3	< NW < NW	3	1 < NW-1
Hufbein (90°)	10	< NW < NW-1	10	< NW < NW-1	10	< NW < NW	10	1 < NW-2
Hufbein (0°)	19	< NW < NW-1	19	< NW < NW-1	17	< NW < NW	19	1 < NW-5
Hufbein schräg	7	1 < NW-2	7	1 < NW-1	5	< NW < NW	5	< NW < NW-2
Fesselgelenk (90°)	25	< NW < NW-3	25	< NW < NW-1	23	< NW < NW	25	< NW < NW-1
Fesselgelenk (0°)	9	< NW < NW-1	9	1 < NW-1	8	< NW < NW	9	1 < NW-2
Fesselgelenk schräg	12	< NW < NW-1	12	< NW < NW-1	10	< NW < NW	12	1 < NW-2
Gleichbein	6	< NW < NW-1	6	< NW < NW	6	< NW < NW	6	1 < NW-1
Griffelbein	29	< NW < NW-2	29	< NW < NW-1	14	< NW < NW	29	< NW < NW-2
Carpus (90°)	16	< NW < NW-1	16	1 < NW-2	8	< NW < NW	16	1 < NW-3
Carpus (0°)	16	< NW < NW-1	16	< NW < NW-2	7	< NW < NW	16	1 < NW-1
Carpus schräg	8	< NW < NW-1	8	1 < NW-1	4	< NW < NW	8	1 < NW-2
Ellbogen (90°)	4	2 2-3	4	1,5 < NW-7	3	< NW < NW	4	1 < NW-15
Ellbogen (0°)	2	3,5 < NW-8	2	6,5 < NW-14	1	< NW < NW	2	< NW < NW-1
Schulter (90°)	2	7 7	2	6,5 6-7	2	< NW < NW	2	3,5 3-4

Tab. 9. 5: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	41	< NW	41	1	37	< NW	41	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-2
Tarsus (0°)	28	< NW	28	1	25	< NW	28	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-2
Tarsus (45°)	27	< NW	27	1	26	< NW	27	1
		< NW-2		< NW-2		< NW		< NW-2
Tarsus (115°)	8	< NW	8	< NW	6	< NW	8	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Knie (90°)	16	2	16	1	13	< NW	16	1
		< NW-3		< NW-3		< NW		< NW-1
Knie (0°)	16	2	16	3	14	< NW	16	1
		< NW-9		< NW-9		< NW		< NW-2
Patella Skyline	2	2,5	2	1,5	2	< NW	2	1
		2-3		1-2		< NW		1

Tab. 9. 6: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	2	< NW	2	< NW	1	< NW	2	< NW
		< NW		< NW		< NW		
Kopf (90°) (Zähne)	3	< NW	3	< NW	2	< NW	3	< NW
		< NW		< NW		< NW		
Kopf (0°)	2	< NW	2	1	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW-2		< NW-3		n. u.		< NW-1
Kehlkopf (90°)	2	2	2	1	2	< NW	2	< NW
		2		1		< NW		< NW
Nackenband (90°)	4	< NW	4	< NW	3	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	1	< NW	1	1	1	< NW	1	< NW
		< NW		1		< NW		< NW
HWS (90°) (C 2-3)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	1	5
		< NW		< NW		< NW		5
Rücken (90°) (Th 1-12)	2	< NW	2	< NW	1	< NW	3	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Rücken (90°) (Th 13-18)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	4	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Rücken (90°) (L 1-7)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	4	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Thorax (90°)	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW
Abdomen (90°)	1	< NW	1	1	1	< NW	1	< NW
		< NW		1		< NW		< NW
Becken ventro-dorsal	2	< NW	2	3	2	< NW	2	1,5
		< NW		1-5		< NW		1-2

**Tab. 9. 7: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1.**

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Zehe (90°)	73	3 1-17	77	2 1-11
Zehe (0°)	8	2 < NW-14	14	2 1-19
Zehe schräg	5	3 < NW-4	5	3 1-4
Strahlbein n. Oxspring	43	11 2-39	50	10,5 < NW-40
Strahlbein n. Morgan	3	3 2-4	3	2 2-5
Hufbein (90°)	8	2,5 1-6	10	2,5 1-6
Hufbein (0°)	12	3 1-9	19	2 < NW-10
Hufbein schräg	7	6 1-9	7	6 1-9
Fesselgelenk (90°)	21	2 < NW-16	23	2 1-15
Fesselgelenk (0°)	7	2 1-8	9	2 < NW-8
Fesselgelenk schräg	9	2 1-9	9	2 1-9
Gleichbein	6	2 1-7	6	2 1-6
Griffelbein	27	1 < NW-8	29	1 < NW-8
Carpus (90°)	12	2,5 1-7	17	2 < NW-6
Carpus (0°)	11	2 < NW-8	16	2 < NW-8
Carpus schräg	6	3,5 1-6	8	2 < NW-5
Ellbogen (90°)	5	5 3-17	5	5 3-18
Ellbogen (0°)	1	22 22	1	24 24
Schulter (90°)	12	13 1-33	12	13,5 1-33

**Tab. 9. 8: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2.**

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Tarsus (90°)	30	3	32	2
		< NW-6		< NW-6
Tarsus (0°)	21	2	23	2
		< NW-7		< NW-7
Tarsus (45°)	20	2	22	2
		< NW-7		< NW-7
Tarsus (115°)	2	3,5	4	2,5
		3-4		1-4
Knie (90°)	9	4	9	5
		2-13		1-12
Knie (0°)	12	14,5	14	14
		7-50		3-50
Patella Skyline	1	16	1	17
		16		17

**Tab. 9. 9: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3.**

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	13	1	14	1
		1-11		1-10
Kopf (90°) (Zähne)	4	3,5	8	4
		2-5		< NW-13
Kopf (0°)	1	11	2	13,5
		11		10-17
Kehlkopf (90°)	2	5,5	2	4,5
		5-6		4-5
Luftsack (90°)	n. u.	n. u.	1	1
		n. u.		1
Oesophagus (90°)	1	4	1	4
		4		4
Nackenband (90°)	3	2	6	2,5
		1-4		1-4
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	1	6	4	8,5
		6		7-16
HWS (90°) (C 3-4)	2	6,5	6	8,5
		6-7		6-16
HWS (90°) (C 5-7)	7	6	8	6
		3-20		3-20
Rücken (90°) (Th 1-12)	4	< NW	5	< NW
		< NW-2		< NW-2
Rücken (90°) (Th 13-18)	4	< NW	6	< NW
		< NW-3		< NW-3
Rücken (90°) (L 1-7)	2	< NW	5	< NW
		< NW		< NW-1
Thorax (90°)	32	3	42	3
		1-22		1-22
Abdomen (90°)	1	6	4	11
		6		6-15
Becken ventro-dorsal	2	34	n. u.	n. u.
		16-52		n. u.



Tab. 9. 10: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	85	< NW	85	< NW	43	< NW	85	< NW
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-3
Zehe (0°)	18	< NW	18	< NW	16	< NW	18	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Zehe schräg	5	< NW	5	< NW	5	< NW	5	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Strahlbein n. Oxspring	50	< NW	50	1	29	< NW	50	2
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-8
Strahlbein n. Morgan	3	< NW	3	< NW	3	< NW	3	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Hufbein (90°)	10	< NW	10	< NW	6	< NW	10	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Hufbein (0°)	19	< NW	19	< NW	10	< NW	19	< NW
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-1
Hufbein Schräg	7	< NW	7	1	3	< NW	7	< NW
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-2
Fesselgelenk (90°)	25	< NW	25	< NW	8	< NW	25	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-3
Fesselgelenk (0°)	9	< NW	9	< NW	4	< NW	9	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW-1
Fesselgelenk schräg	12	< NW	12	< NW	6	< NW	12	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Gleichbein	6	< NW	6	< NW	3	< NW	6	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Griffelbein	29	< NW	29	< NW	19	< NW	28	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (90°)	17	< NW	17	< NW	12	< NW	17	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (0°)	16	< NW	16	< NW	10	< NW	13	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-2
Carpus schräg	8	< NW	8	< NW	6	< NW	8	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW-1
Ellbogen (90°)	5	1	5	< NW	4	< NW	5	< NW
		< NW-8		< NW-2		< NW		< NW-1
Ellbogen (0°)	2	2	2	3	2	< NW	2	1
		1-3		< NW-7		< NW		1
Schulter (90°)	11	15	12	18,5	8	< NW	12	6,5
		4-55		< NW-47		< NW		1-37

Tab. 9. 11: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	40	< NW	40	< NW	11	< NW	40	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-4
Tarsus (0°)	28	< NW	28	< NW	10	< NW	28	< NW
		< NW-		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (45°)	27	< NW	27	< NW	9	< NW	27	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (115°)	8	< NW	8	< NW	4	< NW	8	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Knie (90°)	16	< NW	16	< NW	8	< NW	16	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Knie (0°)	15	< NW	15	< NW	3	< NW	15	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Patella Skyline	2	< NW	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW

Tab. 9. 12: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ der Klinik für Pferde FU Berlin, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	14	1	14	1	9	< NW	14	1
		1-2		< NW-3		< NW		< NW-2
Kopf (90°) (Zähne)	8	1	7	1	8	< NW	8	< NW
		< NW-4		< NW-3		< NW		< NW-2
Kopf (0°)	2	4,5	2	5	2	< NW	2	< NW
		3-6		3-7		< NW		< NW-1
Kehlkopf (90°)	2	1	2	1	n. u.	n. u.	2	< NW
		1		1		n. u.		< NW
Luftsack (90°)	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	1	1
		< NW		< NW		n. u.		1
Oesophagus (90°)	5	1	5	1	n. u.	n. u.	5	< NW
		1-2		1-2		n. u.		< NW-1
Nackenband (90°)	6	< NW	6	< NW	5	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	4	4	4	3	n. u.	n. u.	4	1
		1-5		< NW-8		n. u.		1-3
HWS (90°) (C 3-4)	6	5	6	8,5	n. u.	n. u.	6	2,5
		3-12		7-31		n. u.		2-8
HWS (90°) (C 5-7)	8	13,5	8	17,5	n. u.	n. u.	8	5
		2-43		2-49		n. u.		4-16
Rücken (90°) (Th 1-12)	5	< NW	5	< NW	4	< NW	5	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Rücken (90°) (Th 13-18)	6	< NW	6	< NW	4	< NW	6	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-2
Rücken (90°) (L 1-7)	5	< NW	5	< NW	4	< NW	5	< NW
		< NW-3		< NW-1		< NW		< NW
Thorax (90°)	42	1	42	2	33	< NW	42	1
		< NW-6		< NW-6		< NW		< NW-2
Abdomen (90°)	4	2	4	2	2	< NW	4	6
		< NW-3		2-4		< NW		4-12

## 9.2 Dosiswerte des NGT-1

Die beim NGT-1 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.13 – 9.17 hervor.

**Tab. 9. 13: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-1.**

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	89	1	83	< NW	5	< NW	88	1
		< NW-3		< NW-1		< NW		< NW-3
Zehe (0°)	12	1	9	< NW	3	< NW	12	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Strahlbein n. Oxspring	35	2	35	< NW	n. u.	n. u.	35	1
		< NW-5		< NW-2		n. u.		< NW-16
Strahlbein n. Morgan	13	1	13	1	n. u.	n. u.	13	1
		< NW-2		< NW-2		n. u.		< NW-6
Fesselgelenk (90°)	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.	2	2
		< NW-1		< NW		n. u.		1-3
Fesselgelenk schräg	1	< NW	1	1	n. u.	n. u.	1	< NW
		< NW		1		n. u.		< NW
Gleichbein	29	< NW	25	< NW	4	< NW	29	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Griffelbein	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW
Carpus (0°)	7	1	6	< NW	1	< NW	7	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (90°)	28	1	27	< NW	1	< NW	28	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-3
Tarsus (0°)	9	< NW	1	1	n. u.	n. u.	9	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW-2
Tarsus (45°)	16	1	15	< NW	1	< NW	16	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Tarsus (115°)	3	1	3	1	n. u.	n. u.	3	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW-1
Knie (90°)	12	2,5	10	2	2	< NW	12	1
		1-45		< NW-4		< NW		< NW-3
Knie (0°)	2	2,5	1	5	1	< NW	2	< NW
		2-3		5		< NW		< NW-2
Nackenband (90°)	5	5	5	2	n. u.	n. u.	5	< NW
		1-17		1-4		n. u.		< NW
Rücken (90°) (Th 1-12)	3	2	3	1	n. u.	n. u.	3	< NW
		< NW-12		< NW-3		n. u.		< NW-3
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	3	5	1	n. u.	n. u.	5	< NW
		1-5		< NW-2		n. u.		< NW
Rücken (90°) (L 1-7)	2	7,5	2	5	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW-16		4-6		n. u.		< NW

Tab. 9. 14: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	26	< NW < NW-1	26	< NW < NW-1	n. u.	n. u. n. u.	26	< NW < NW-5
Zehe (0°)	11	< NW < NW-1	8	< NW < NW	3	< NW < NW	11	< NW < NW-2
Strahlbein n. Oxspring	33	< NW < NW-4	35	1 < NW-2	n. u.	n. u. n. u.	34	8 < NW-39
Strahlbein n. Morgan	13	< NW < NW-2	13	1 < NW-2	n. u.	n. u. n. u.	13	1 < NW-5
Fesselgelenk (90°)	2	< NW < NW	2	1,5 1-2	n. u.	n. u. n. u.	2	1 1
Fesselgelenk schräg	1	< NW < NW	1	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.	1	1 1
Gleichbein	29	< NW < NW	25	< NW < NW-1	4	< NW < NW	29	< NW < NW-1
Griffelbein	2	< NW < NW	2	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.	2	< NW < NW
Carpus (0°)	7	< NW < NW	6	< NW < NW-1	1	< NW < NW	7	1 < NW-1
Tarsus (90°)	28	< NW < NW	27	< NW < NW-1	1	< NW < NW	28	< NW < NW-2
Tarsus (0°)	9	< NW < NW-1	9	< NW < NW-1	n. u.	n. u. n. u.	9	1 < NW-1
Tarsus (45°)	16	< NW < NW-1	15	< NW < NW-1	1	< NW < NW	16	< NW < NW-1
Tarsus (115°)	3	< NW < NW-1	3	1 < NW-1	n. u.	n. u. n. u.	3	< NW < NW-1
Knie (90°)	10	< NW < NW-18	8	3,5 < NW-12	2	< NW < NW	10	1 < NW-2
Knie (0°)	2	< NW < NW	1	2 2	1	< NW < NW	2	< NW < NW
Nackenband (90°)	5	< NW < NW	5	< NW < NW-1	n. u.	n. u. n. u.	5	< NW < NW
Rücken (90°) (Th 1-12)	3	< NW < NW	3	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.	3	< NW < NW
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	< NW < NW	5	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.	5	< NW < NW-3
Rücken (90°) (L 1-7)	2	< NW < NW	2	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.	2	< NW < NW

Tab. 9. 15: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-1.

Röntgen- untersuchung	Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (10)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.	1	3	1	2
		n. u.		n. u.		3		2
Zehe (0°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Strahlbein n. Oxspring	34	4	34	3	34	1,5	34	1
		< NW-27		< NW-26		< NW-18		< NW-17
Carpus (0°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW-1		< NW-1
Knie (90°)	10	1	10	1	8	1	8	1
		< NW-14		< NW-13		< NW-2		< NW-2
Knie (0°)	2	3	2	2,5	2	1,5	2	1,5
		< NW-7		< NW-6		< NW-4		< NW-4
Nackenband (90°)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	5	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Rücken (90°) (Th 1-12)	3	< NW	3	< NW	3	1	3	< NW
		< NW-2		< NW-2		< NW-1		< NW-1
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	5	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW-1		< NW-1
Rücken (90°) (L 1-7)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW		< NW		< NW-1		< NW-1

Tab. 9. 16: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-1.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Zehe (90°)	80	4	80	3,5
		< NW-16		< NW-16
Zehe (0°)	10	3,5	10	3,5
		2-9		2-8
Strahlbein n. Morgan	13	10	13	10
		4-23		4-22
Fesselgelenk (90°)	2	3,5	2	3,5
		3-4		3-4
Fesselgelenk schräg	1	4	1	4
		4		4
Gleichbein	27	1	27	< NW
		< NW-11		< NW-11
Griffelbein	2	< NW	2	< NW
		< NW		< NW
Carpus (0°)	5	1	5	1
		1-2		< NW-3
Tarsus (90°)	27	12	27	12
		< NW-28		< NW-27
Tarsus (0°)	8	3	8	3
		< NW-63		< NW-61
Tarsus (45°)	16	6,5	3	6
		3-29		2-28
Tarsus (115°)	3	2	3	2
		< NW-3		< NW-2

Tab. 9. 17: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	89	< NW	89	< NW	5	< NW	81	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-4
Zehe (0°)	10	< NW	10	< NW	1	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Strahlbein n. Oxspring	33	< NW	33	< NW	n. u.	n. u.	30	1
		< NW-1		< NW-2		n. u.		< NW-8
Strahlbein n. Morgan	9	< NW	9	< NW	n. u.	n. u.	6	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW-1
Fesselgelenk (90°)	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW		< NW-1		n. u.		< NW
Fesselgelenk schräg	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	1	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW
Gleichbein	26	< NW	26	< NW	n. u.	n. u.	26	< NW
		< NW-1		< NW		n. u.		< NW-1
Griffelbein	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	1	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW
Carpus (0°)	7	< NW	7	< NW	1	< NW	7	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW-1
Tarsus (90°)	28	< NW	28	< NW	1	< NW	23	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW
Tarsus (0°)	9	< NW	9	< NW	n. u.	n. u.	9	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW-1
Tarsus (45°)	16	< NW	16	< NW	1	< NW	16	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW-1
Tarsus (115°)	3	< NW	3	< NW	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW-1
Knie (90°)	12	< NW	12	< NW	2	< NW	12	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Knie (0°)	2	< NW	2	< NW	1	< NW	2	1,5
		< NW		< NW		< NW		1-2
Nackenband (90°)	5	1	5	< NW	n. u.	n. u.	5	< NW
		< NW-2		< NW-2		n. u.		< NW-1
Rücken (90°) (Th 1-12)	3	< NW	3	< NW	n. u.	n. u.	3	< NW
		< NW-1		< NW-1		n. u.		< NW
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	< NW	5	< NW	n. u.	n. u.	5	< NW
		< NW		< NW		n. u.		< NW
Rücken (90°) (L 1-7)	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.	2	< NW
		< NW		< NW-1		n. u.		< NW



### 9.3 Dosiswerte des NGT-2

Die beim NGT-2 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9.18 – 9.29 hervor.

Tab. 9.18: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	285	1	293	< NW	274	< NW	287	1
		< NW-3		< NW-5		< NW		< NW-4
Zehe (0°)	42	1	42	< NW	41	< NW	40	< NW
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-2
Strahlbein n. Oxspring	154	1	159	< NW	142	< NW	157	< NW
		< NW-2		< NW-2		< NW		< NW-3
Strahlbein n. Morgan	17	1	17	1	17	< NW	17	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-5
Hufbein (90°)	6	< NW	6	< NW	6	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Hufbein schräg	13	1	13	1	13	< NW	12	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Fesselgelenk (90°)	10	1	10	1	10	< NW	10	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Fesselgelenk (0°)	13	1	13	1	13	< NW	13	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Fesselgelenk schräg	13	1	13	< NW	13	< NW	13	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Gleichbein	67	< NW	66	< NW	63	< NW	63	< NW
		< NW-3		< NW-1		< NW		< NW-2
Griffelbein	14	< NW	14	< NW	11	< NW	13	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (90°)	14	1	15	1	13	< NW	14	1
		< NW-3		< NW-14		< NW		< NW-1
Carpus (0°)	17	1	18	< NW	15	< NW	18	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-2
Carpus schräg	2	1	2	1	2	< NW	2	< NW
		1		1		< NW		< NW-1
Carpus Skyline	7	< NW	7	< NW	7	< NW	7	< NW
		< NW		< NW-2		< NW		< NW-1
Ellbogen (90°)	8	2	8	2	8	< NW	8	2
		1-3		< NW-8		< NW		< NW-5
Ellbogen (0°)	7	2	7	1	7	< NW	7	3
		1-19		< NW-2		< NW		1-8
Schulter (90°)	5	2	5	3	6	< NW	6	5
		< NW-3		< NW-10		< NW		3-7
Schulter (0°)	7	1	5	1	4	< NW	7	5
		< NW-7		< NW-1		< NW		1-7

Tab. 9. 19: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	4	1,5	4	1	4	< NW	4	1
		< NW-4		< NW-2		< NW		1-4
Tarsus (0°)	19	1	19	< NW	18	< NW	19	1
		< NW-2		< NW-2		< NW		< NW-3
Tarsus (45°)	113	1	117	1	105	< NW	115	1
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-4
Tarsus (115°)	105	1	109	1	99	< NW	107	1
		< NW-6		< NW-3		< NW		< NW-4
Knie (90°)	114	2	124	1	110	< NW	123	2
		< NW-10		< NW-15		< NW		< NW-5
Knie (0°)	16	< NW	18	1	16	< NW	17	5
		< NW-10		< NW-12		< NW		2-8
Patella Skyline	1	3	1	8	1	< NW	1	1
		3		8		< NW		1

Tab. 9. 20: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-2, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	2	1	2	< NW	n. u.	n. u.	2	1,5
		< NW-2		< NW		n. u.		1-2
Kopf (90°) (Zähne)	10	< NW	10	1	9	< NW	9	1
		< NW-3		< NW-5		< NW		< NW-2
Kopf (0°)	1	1	1	< NW	n. u.	n. u.	1	< NW
		1		< NW		n. u.		< NW
Kiefergelenk (90°)	2	< NW	2	1,5	2	< NW	2	< NW
		< NW-1		1-2		< NW		< NW
Nackenband (90°)	9	2	9	2	9	< NW	9	1
		< NW-4		1-4		< NW		< NW-2
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	14	2,5	16	5	16	< NW	16	1
		< NW-6		1-8		< NW		< NW-2
HWS (90°) (C 3-4)	16	3,5	18	5,5	18	< NW	18	2
		< NW-10		2-9		< NW		< NW-3
HWS (90°) (C 5-7)	24	2	18	7	25	< NW	25	2
		< NW-13		< NW-16		< NW		< NW-4
Rücken (90°) (Th 1-12)	52	2	53	2	46	< NW	53	1
		< NW-25		< NW-15		< NW		< NW-5
Rücken (90°) (Th 13-18)	52	3	54	2,5	48	< NW	54	< NW
		< NW-19		< NW-19		< NW		< NW-3
Rücken (90°) (L 1-7)	1	< NW	n. u.	n. u.	1	< NW	1	< NW
		< NW		n. u.		< NW		< NW
Rücken (20°)	4	3	4	1	4	< NW	4	3
		1-10		1-7		< NW		2-3
Thorax (90°)	11	1	9	9	13	< NW	11	2
		< NW-11		< NW-11		< NW		< NW-4
Hüfthöcker	1	11	1	3	1	< NW	1	< NW
		11		3		< NW		< NW
Becken ventro-dorsal	5	8	5	3	3	< NW	5	28
		3-23		1-35		< NW		13-52

Tab. 9. 21: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	266	1	277	1	258	< NW	255	1
		< NW-2		< NW-3		< NW		< NW-5
Zehe (0°)	36	1	37	< NW	35	< NW	36	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-4
Strahlbein n. Oxspring	140	1	152	< NW	135	< NW	133	1
		< NW-3		< NW-5		< NW		< NW-7
Strahlbein n. Morgan	17	< NW	17	1	17	< NW	17	< NW
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-2
Hufbein (90°)	6	1	6	1	6	< NW	5	3
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-6
Hufbein schräg	10	1	10	< NW	10	< NW	10	1
		1		< NW-1		< NW		< NW-2
Fesselgelenk (90°)	10	< NW	10	< NW	10	< NW	9	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-2
Fesselgelenk (0°)	13	1	13	1	13	< NW	13	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-4
Fesselgelenk schräg	8	1	8	< NW	8	< NW	8	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Gleichbein	58	< NW	62	< NW	58	< NW	56	1
		< NW-1		< NW-4		< NW		< NW-5
Griffelbein	12	< NW	14	< NW	12	< NW	14	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Carpus (90°)	12	1	13	1	11	< NW	11	1
		< NW-3		< NW-1		< NW		1-3
Carpus (0°)	16	1	17	1	14	< NW	13	1
		< NW-7		< NW-2		< NW		< NW-3
Carpus schräg	2	1	2	< NW	2	< NW	2	1,5
		1		< NW		< NW		1-2
Carpus Skyline	7	1	7	< NW	7	< NW	7	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Ellbogen (90°)	7	2	7	2	7	< NW	7	2
		< NW-6		1-6		< NW		< NW-3
Ellbogen (0°)	4	4,5	5	7	5	< NW	5	4
		4-10		2-9		< NW		1-6
Schulter (90°)	4	8,5	2	10	6	< NW	6	3,5
		6-11		9-11		< NW		2-6
Schulter (0°)	n. u.	n. u.	3	6	4	< NW	7	7
		n. u.		5-47		< NW		4-7

Tab. 9. 22: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	4	2,5	4	1	4	< NW	4	1
		1-5		1-2		< NW		< NW-1
Tarsus (0°)	18	1	19	1	18	< NW	16	< NW
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-3
Tarsus (45°)	108	1	115	1	104	< NW	106	1
		< NW-5		< NW-4		< NW		< NW-4
Tarsus (115°)	102	1	108	1	98	< NW	99	1
		< NW-4		< NW-5		< NW		< NW-3
Knie (90°)	101	3	119	2	109	< NW	115	1
		< NW-15		< NW-20		< NW		< NW-4
Knie (0°)	15	2	17	2	16	< NW	16	1,5
		< NW-11		< NW-8		< NW		< NW-5
Patella Skyline	1	2	1	2	1	< NW	1	2
		2		2		< NW		2

Tab. 9. 23: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-2, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	n. u.	n. u.	2	10	n. u.	n. u.	2	1
		n. u.		6-14		n. u.		1
Kopf (90°) (Zähne)	10	1,5	10	< NW	9	< NW	7	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-1
Kopf (0°)	n. u.	n. u.	1	< NW	n. u.	n. u.	1	1
		n. u.		< NW		n. u.		1
Kiefergelenk (90°)	2	1	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		1		< NW-1		< NW		< NW
Nackenband (90°)	9	1	9	1	9	< NW	8	< NW
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	15	1	15	2	15	< NW	14	1
		< NW-7		< NW-5		< NW		< NW-2
HWS (90°) (C 3-4)	17	1	17	3	17	< NW	17	1
		< NW-5		< NW-6		< NW		< NW-2
HWS (90°) (C 5-7)	23	3	22	4	23	< NW	23	1
		< NW-10		< NW-8		< NW		< NW-3
Rücken (90°) (Th 1-12)	49	3	55	1	47	< NW	50	< NW
		< NW-33		< NW-15		< NW		< NW-5
Rücken (90°) (Th 13-18)	48	4,5	55	1	48	< NW	50	< NW
		< NW-42		< NW-10		< NW		< NW-6
Rücken (90°) (L 1-7)	1	2	1	< NW	1	< NW	1	1
		2		< NW		< NW		1
Rücken (20°)	4	< NW	4	1	4	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Thorax (90°)	13	< NW	13	< NW	13	< NW	11	< NW
		< NW-1		< NW		< NW		< NW-1
Hüfthöcker	1	5	1	12	1	< NW	1	2
		5		12		< NW		2
Becken ventro-dorsal	3	10	5	24	3	< NW	5	16
		3-12		5-31		< NW		9-36

Tab. 9. 24: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-2.

Röntgen- untersuchung	Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (10)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	1	2 2	1	2 2	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Strahlbein n. Oxspring	11	1 < NW-2	11	1 < NW-2	12	< NW < NW-2	12	< NW < NW-3
Carpus Skyline	2	< NW < NW	2	1 1	2	1 1	2	1 1
Ellbogen (90°)	1	2 2	1	4 4	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Ellbogen (0°)	1	5 5	1	4 4	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	1 1	2	1 1	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Kopf (90°) (Zähne)	6	2 < NW-5	6	2 < NW-4	5	< NW < NW-2	5	< NW < NW-9
Kopf (0°)	1	1 1	1	1 1	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Nackenband (90°)	6	1 < NW-4	6	< NW < NW-3	1	1 1	1	1 1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	9	2 < NW-7	9	1 < NW-5	1	2 2	1	2 2
HWS (90°) (C 3-4)	7	1 < NW-7	7	2 < NW-5	2	2,5 2-3	1	2 2
HWS (90°) (C 5-7)	9	2 1-7	9	2 1-16	2	4,5 2-7	4	5 1-7
Rücken (90°) (Th 1-12)	16	1,5 < NW-7	16	1 < NW-26	24	2 < NW-8	22	2 < NW-10
Rücken (90°) (Th 13-18)	14	1 < NW-23	14	1 < NW-48	18	1 < NW-48	18	1,5 < NW-13
Rücken (90°) (L 1-7)	1	1 1	1	1 1	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Thorax (90°)	7	< NW < NW-2	7	< NW < NW-1	4	< NW < NW-3	4	< NW < NW-3
Becken ventro-dorsal	2	1 1	2	1 1	2	3 2-4	2	3,5 3-4

Tab. 9. 25: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-2, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter H <sub>p</sub> (0,07)		am mechanischen Kassettenhalter H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	213	3 < NW-22	237	3 < NW-22
Zehe (0°)	20	3 < NW-8	23	3 < NW-8
Fesselgelenk (90°)	8	2 < NW-4	9	2 < NW-5
Fesselgelenk (0°)	9	3 < NW-5	9	2 < NW-4
Fesselgelenk schräg	4	4,5 2-5	6	4 3-5
Gleichbein	53	2 < NW-7	56	2 1-7
Griffelbein	10	5 2-13	10	4 2-13
Carpus (90°)	5	5 < NW-14	4	7 1-14
Carpus (0°)	5	1 1-3	8	2 1-5
Carpus schräg	n. u.	n. u. n. u.	1	5 5
Carpus Skyline	2	9,5 9-10	2	6 5-7
Ellbogen (90°)	1	5 5	1	2 2
Ellbogen (0°)	2	8,5 4-13	1	10 10
Schulter (90°)	1	< NW < NW	n. u.	n. u. n. u.
Schulter (0°)	2	50 46-54	2	50 46-54
Tarsus (90°)	2	6,5 4-9	2	6 3-9
Tarsus (0°)	3	5 < NW-12	4	4 < NW-12
Tarsus (45°)	39	3 < NW-21	38	4 < NW-22
Tarsus (115°)	34	3 < NW-21	34	3,5 < NW-21
Knie (90°)	17	< NW < NW-20	7	16 3-21



Tab. 9. 26: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-2, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Knie (0°)	1	< NW	1	12
		< NW		12
Patella Skyline	n. u.	n. u.	1	25
		n. u.		25
Rücken (90°) (Th 1-12)	1	1	1	1
		1		1
Rücken (20°)	4	5	4	5
		4-8		3-11
Thorax (90°)	6	2	6	2,5
		2-6		2-7
Becken ventro-dorsal	2	10,5	2	9,5
		10-11		9-10

Tab. 9. 27: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	288	< NW	290	< NW	237	< NW	26	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Zehe (0°)	42	< NW	42	< NW	36	< NW	4	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-1
Strahlbein n. Oxspring	150	< NW	151	< NW	127	< NW	9	< NW
		< NW-7		< NW-2		< NW		< NW-1
Strahlbein n. Morgan	17	< NW	16	< NW	13	< NW	1	< NW
		< NW-7		< NW-1		< NW		< NW
Hufbein (90°)	3	< NW	3	< NW	3	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW-1		< NW		n. u.
Hufbein Schräg	13	1	13	< NW	9	< NW	4	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-2
Fesselgelenk (90°)	10	< NW	8	< NW	9	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW-1		< NW		n. u.
Fesselgelenk (0°)	13	< NW	13	< NW	9	< NW	4	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Fesselgelenk schräg	13	< NW	13	< NW	13	< NW	13	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Gleichbein	67	< NW	67	< NW	51	< NW	10	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-1
Griffelbein	14	< NW	13	< NW	10	< NW	1	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Carpus (90°)	11	< NW	12	< NW	7	< NW	3	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (0°)	16	< NW	18	< NW	12	< NW	1	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Carpus schräg	2	< NW	2	1	n. u.	n. u.	2	1
		< NW		1		n. u.		1
Carpus Skyline	7	< NW	7	< NW	5	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Ellbogen (90°)	8	3	7	1	8	< NW	n. u.	n. u.
		< NW-10		< NW-3		< NW		n. u.
Ellbogen (0°)	7	1	7	4	7	< NW	n. u.	n. u.
		1-4		< NW-5		< NW		n. u.
Schulter (90°)	4	6,5	3	5	6	< NW	n. u.	n. u.
		4-11		< NW-8		< NW		n. u.
Schulter (0°)	6	2	6	2	4	< NW	n. u.	n. u.
		< NW-10		< NW-6		< NW		n. u.

Tab. 9. 28: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	4	< NW	4	< NW	2	< NW	1	< NW
		< NW				< NW		
Tarsus (0°)	19	< NW	19	< NW	12	< NW	5	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Tarsus (45°)	113	< NW	114	< NW	93	< NW	7	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Tarsus (115°)	105	< NW	106	< NW	89	< NW	6	< NW
		< NW-2				< NW-1		
Knie (90°)	125	< NW	124	< NW	89	< NW	18	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Knie (0°)	18	< NW	17	< NW	10	< NW	5	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Patella Skyline	1	1	1	1	n. u.	n. u.	1	1
		1				1		

Tab. 9. 29: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-2, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	2	1,5	2	< NW	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		< NW-4		< NW-1		n. u.		n. u.
Kopf (90°) (Zähne)	9	< NW	8	< NW	5	< NW	2	< NW
		< NW-2		< NW-3		< NW		< NW
Kopf (0°)	1	4	1	< NW	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		4		< NW		n. u.		n. u.
Kiefergelenk (90°)	2	3	2	2	n. u.	n. u.	2	< NW
		2-4		2		n. u.		< NW
Nackenband (90°)	9	1	9	< NW	7	< NW	1	< NW
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	16	2	16	1	14	< NW	1	1
		< NW-14		< NW-12		< NW		1
HWS (90°) (C 3-4)	18	3	18	1	15	< NW	2	1
		< NW-15		< NW-11		< NW		< NW-2
HWS (90°) (C 5-7)	25	3	25	3	21	< NW	2	1
		< NW-24		< NW-15		< NW		1
Rücken (90°) (Th 1-12)	53	< NW	54	< NW	39	< NW	5	< NW
		< NW-7		< NW-10		< NW		< NW
Rücken (90°) (Th 13-18)	55	< NW	56	< NW	42	< NW	5	< NW
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-1
Rücken (90°) (L 1-7)	1	3	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.
		3		< NW		< NW		n. u.
Rücken (20°)	4	2	4	1	n. u.	n. u.	4	< NW
		1-3		1		n. u.		< NW-1
Thorax (90°)	13	1	13	1	9	< NW	4	< NW
		< NW-6		< NW-4		< NW		< NW-1
Hüfthöcker	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		n. u.		n. u.
Becken ventro-dorsal	4	< NW	5	2	2	< NW	3	10
		< NW-1		< NW-10		< NW		< NW-16

## 9.4 Dosiswerte des NGT-3

Die beim NGT-3 ermittelten Dosiswerte für den „Schützen“, „Kassettenhalter“ und „Pfleger“ gehen unter Berücksichtigung ihrer exponierten Organe (Schilddrüse, Gonaden, Hände und Füße) in Relation radiologisch untersuchter Körperteile des Pferdes aus den Tabellen 9. 30 – 9. 37 hervor.

**Tab. 9. 30: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-3, Teil 1.**

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	44	< NW	44	< NW	44	< NW	17	1
		< NW-2		< NW-2		< NW		< NW-9
Zehe (0°)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Zehe schräg	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.
Strahlbein n. Oxspring	20	< NW	20	< NW	20	< NW	9	3
		< NW-5		< NW-4		< NW		< NW-11
Strahlbein n. Morgan	1	< NW	1	1	1	< NW	1	< NW
		< NW		1		< NW		< NW
Hufbein (90°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	1	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Hufbein (0°)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	5	1
		< NW		< NW		< NW		< NW-1
Hufbein schräg	15	< NW	15	< NW	15	< NW	8	< NW
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-3
Fesselgelenk (90°)	9	< NW	9	< NW	9	< NW	6	1,5
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-6
Fesselgelenk (0°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	1	1
		< NW-1		< NW		< NW		1
Fesselgelenk schräg	9	< NW	9	< NW	9	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Gleichbein	2	< NW	2	< NW	2	< NW	1	1
		< NW		< NW		< NW		1
Griffelbein	6	1	6	1	6	< NW	n. u.	n. u.
		< NW-2		1-3		< NW		n. u.
Carpus (90°)	5	1	5	1	5	< NW	1	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		1
Carpus (0°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.
Carpus schräg	1	< NW	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.

Tab. 9. 31: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ des NGT-3, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Ellbogen (90°)	1	10	1	50	1	< NW	n. u.	n. u.
		10		50		< NW		n. u.
Schulter (90°)	7	80	6	71	7	< NW	n. u.	n. u.
		14-196		4-491		< NW		n. u.
Tarsus (90°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW-1		< NW		n. u.
Tarsus (0°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	1	4
		< NW		< NW-1		< NW		4
Tarsus (45°)	18	< NW	18	< NW	18	< NW	11	1
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-31
Tarsus (115°)	18	< NW	18	< NW	18	< NW	11	2
		< NW-2		< NW-2		< NW		1-8
Knie (90°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	3	2
		< NW-6		< NW-5		< NW		2-3
Knie (0°)	2	1	2	12,5	2	< NW	n. u.	n. u.
		1		12-13		< NW		n. u.
Ellbogen (90°)	1	10	1	50	1	< NW	n. u.	n. u.
		10		50		< NW		n. u.
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	8,5	2	5,5	2	< NW	n. u.	n. u.
		8-9		5-6		< NW		n. u.
Kopf (90°) (Zähne)	5	8	5	6	5	< NW	n. u.	n. u.
		6-31		5-13		< NW		n. u.
Nackenband (90°)	1	3	1	4	1	< NW	1	1
		3		4		< NW		1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	2	5	2	7	2	< NW	1	3
		3-7		5-9		< NW		3
HWS (90°) (C 3-4)	2	8,5	2	12	2	< NW	1	4
		6-11		12		< NW		4
HWS (90°) (C 5-7)	5	9	5	34	5	< NW	1	8
		5-25		7-60		< NW		8
Rücken (90°) (Th 1-12)	6	12	6	24,5	6	< NW	2	1
		9-52		8-52		< NW		1
Rücken (90°) (Th 13-18)	6	19	6	48	6	< NW	2	1,5
		11-60		12-324		< NW		1-2
Rücken (90°) (L 1-7)	4	18	4	95	4	< NW	1	2
		14-144		10-104		< NW		2
Thorax (90°)	10	3,5	10	26	10	< NW	n. u.	n. u.
		1-22		8-93		< NW		n. u.

Anhang

Tab. 9. 32: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ des NGT-3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	44	1	44	1	44	< NW	38	2
		< NW-4		< NW-4		< NW		< NW-58
Zehe (0°)	5	< NW	5	1	5	< NW	3	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		1-2
Zehe schräg	2	3,5	2	3	2	< NW	2	6
		3-4		2-4		< NW		5-7
Strahlbein n. Oxspring	20	4	20	2	20	< NW	18	21,5
		1-9		< NW-6		< NW		5-86
Hufbein (90°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	1	3
		< NW		< NW		< NW		3
Hufbein (0°)	5	1	5	1	5	< NW	5	4
		< NW-2		< NW-1		< NW		1-12
Hufbein schräg	15	1	15	1	15	< NW	15	4
		< NW-5		< NW-4		< NW		1-7
Fesselgelenk (90°)	9	1	9	1	9	< NW	9	< NW
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-4
Fesselgelenk (0°)	4	1	4	< NW	4	< NW	3	3
		< NW-2		< NW-1		< NW		< NW-3
Fesselgelenk schräg	9	1	9	1	9	< NW	9	1
		< NW-1		< NW-3		< NW		< NW-3
Gleichbein	2	< NW	2	< NW	2	< NW	1	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		1
Griffelbein	6	< NW	6	1	6	< NW	4	3
		< NW-1		1-3		< NW		1-4
Carpus (90°)	5	1	5	4	5	< NW	5	1
		< NW-2		1-6		< NW		1-4
Carpus (0°)	1	1	1	1	1	< NW	n. u.	n. u.
		1		1		< NW		n. u.
Carpus schräg	1	1	1	1	1	< NW	n. u.	n. u.
		1		1		< NW		n. u.
Ellbogen (90°)	1	12	1	13	1	< NW	1	8
		12		13		< NW		8
Schulter (90°)	5	153	5	155	5	< NW	5	50
		107-176		82-216		< NW		45-66
Tarsus (90°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (0°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	3	1
		< NW-1		< NW-3		< NW		< NW-1
Tarsus (45°)	18	1	18	1	18	< NW	17	1
		< NW-2		< NW-3		< NW		< NW-3
Tarsus (115°)	18	1	18	1	18	< NW	17	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		< NW-8
Knie (90°)	4	21	4	9	4	< NW	4	< NW
		1-40		7-13		< NW		< NW-3
Knie (0°)	2	21	2	23	2	< NW	2	3
		20-22		20-26		< NW		3
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	3	2	1,5	2	< NW	2	< NW
		3		1-2		< NW		< NW
Kopf (90°) (Zähne)	3	3	3	2	3	< NW	n. u.	n. u.
		2-4		2		< NW		n. u.

Tab. 9. 33: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen des „Kassettenhalters“ des NGT-3.

Röntgen- untersuchung	Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand links H <sub>p</sub> (10)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (0,07)		Kassettenhalter Hand rechts H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	31	2	31	2	31	2	31	2
		< NW-11		< NW-11		< NW-13		< NW-13
Zehe Schräg	2	2	2	1	2	2,5	2	2,5
		2		1		2-3		2-3
Strahlbein n. Oxspring	20	7,5	19	5	20	4	20	3,5
		< NW-73		< NW-50		< NW-23		< NW-24
Hufbein (90°)	1	1	1	1	1	< NW	1	< NW
		1		1		< NW		< NW
Hufbein (0°)	5	1	5	1	5	1	5	1
		< NW-4		< NW-3		< NW-1		< NW-2
Hufbein Schräg	15	1	15	1	15	1	15	1
		< NW-2		< NW-2		< NW-6		< NW-5
Fesselgelenk (90°)	2	3,5	2	3,5	2	< NW	2	< NW
		3-4		3-4		< NW-1		< NW
Fesselgelenk (0°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	1	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Fesselgelenk schräg	2	3	2	3	2	< NW	2	< NW
		< NW-7		< NW-7		< NW		< NW
Ellbogen (90°)	1	5	1	5	1	4	1	4
		5		5		4		4
Knie (90°)	4	1	4	1	4	1	4	1
		< NW-2		< NW-2		< NW-3		< NW-3
Knie (0°)	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5
		2-3		2-3		2-3		2-3



Tab. 9. 34: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-3, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Zehe (90°)	12	2	12	2,5
		1-17		1-16
Zehe (0°)	5	6	5	5
		1-13		1-13
Fesselgelenk (90°)	7	5	7	4
		2-9		1-8
Fesselgelenk (0°)	3	6	3	6
		2-14		1-14
Fesselgelenk schräg	7	4	7	4
		2-7		1-6
Gleichbein	1	12	1	11
		12		11
Griffelbein	6	5	6	4
		2-8		3-8
Carpus (90°)	5	6	5	5
		2-17		1-18
Carpus (0°)	1	8	1	7
		8		7
Carpus schräg	1	6	1	6
		6		6
Schulter (90°)	7	8	7	8
		4-32		4-31
Tarsus (90°)	2	7	2	7
		7		7
Tarsus (0°)	4	12,5	4	11,5
		10-29		11-29
Tarsus (45°)	18	7,5	18	7
		5-47		4-46
Tarsus (115°)	18	7	18	7
		2-19		2-19

Tab. 9. 35: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter des NGT-3, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	11	2	10
		10-12		9-11
Kopf (90°) (Zähne)	5	10	5	10
		2-24		2-25
Nackenband (90°)	1	2	1	2
		2		2
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	2	2,5	2	2,5
		2-3		2-3
HWS (90°) (C 3-4)	2	3	2	2,5
		2-4		2-3
HWS (90°) (C 5-7)	5	3	5	3
		1-7		2-6
Rücken (90°) (Th 1-12)	6	2	6	2
		1-2		1-2
Rücken (90°) (Th 13-18)	5	1	5	2
		1-3		1-3
Rücken (90°) (L 1-7)	3	2	3	2
		1-3		1-3
Thorax (90°)	8	2	8	2
		2-5		2-5

Tab. 9. 36: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-3, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	43	< NW	43	1	43	< NW	13	1
		< NW-2		< NW-3		< NW		1-3
Zehe (0°)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	1	1
		< NW		< NW-1		< NW		1
Zehe schräg	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW-1		< NW		n. u.
Strahlbein n. Oxspring	20	2	20	3	20	< NW	4	3,5
		< NW-4		< NW-5		< NW		1-5
Strahlbein n. Morgan	1	< NW	1	1	1	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		1		< NW		n. u.
Hufbein (90°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	1	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Hufbein (0°)	5	< NW	5	1	5	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW
Hufbein schräg	13	< NW	13	< NW	13	< NW	6	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Fesselgelenk (90°)	9	< NW	9	< NW	9	< NW	1	1
		< NW-1		< NW-1		< NW		1
Fesselgelenk (0°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	1	1
		< NW		< NW-1		< NW		1
Fesselgelenk schräg	9	< NW	9	< NW	9	< NW	2	1
		< NW-1		< NW-2		< NW		1
Gleichbein	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.
Griffelbein	6	< NW	6	< NW	6	< NW	4	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW		< NW-1
Carpus (90°)	5	< NW	5	< NW	5	< NW	2	1
		< NW		< NW-1		< NW		1
Carpus (0°)	1	< NW	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.
Carpus schräg	1	< NW	1	1	1	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		1		< NW		n. u.
Ellbogen (90°)	1	3	1	7	1	< NW	n. u.	n. u.
		3		7		< NW		n. u.
Schulter (90°)	7	28	7	72	7	< NW	4	40
		14-110		8-128		< NW		19-71
Tarsus (90°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW-1		< NW		< NW		n. u.
Tarsus (0°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	1	< NW
		< NW		< NW		< NW		< NW
Tarsus (45°)	17	< NW	17	< NW	17	< NW	8	< NW
		< NW		< NW-1		< NW		< NW-1
Tarsus (115°)	18	< NW	18	< NW	18	< NW	9	< NW
		< NW		< NW-2		< NW		< NW-1
Knie (90°)	4	< NW	4	< NW	4	< NW	2	1
		< NW		< NW		< NW		1
Knie (0°)	2	< NW	2	< NW	2	< NW	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		< NW		n. u.

Tab. 9. 37: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ des NGT-3, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	8	2	4,5	2	< NW	2	1
		5-11		3-6		< NW		1
Kopf (90°) (Zähne)	5	5	5	3	5	< NW	n. u.	n. u.
		1-6		2-3		< NW		n. u.
Nackenband (90°)	1	8	1	3	1	< NW	n. u.	n. u.
		8		3		< NW		n. u.
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	2	9,5	2	2,5	2	< NW	n. u.	n. u.
		9-10		2-3		< NW		n. u.
HWS (90°) (C 3-4)	2	11	2	6,5	2	< NW	n. u.	n. u.
		11		5-8		< NW		n. u.
HWS (90°) (C 5-7)	5	8	5	11	5	< NW	n. u.	n. u.
		3-29		11-26		< NW		n. u.
Rücken (90°) (Th 1-12)	6	1	6	1,5	6	< NW	1	4
		1-3		1-5		< NW		4
Rücken (90°) (Th 13-18)	6	2	6	2,5	6	< NW	2	5,5
		1-7		1-9		< NW		2-9
Rücken (90°) (L 1-7)	4	3	4	3,5	4	< NW	4	4,5
		1-5		1-8		< NW		2-7
Thorax (90°)	10	2,5	10	2	10	< NW	6	2,5
		1-8		2-8		< NW		2-7

## 9.5 Dosiswerte für alle Messorte

In den folgenden Tabellen (Tab. 9.38 – Tab. 9.51) sind die Personenäquivalentdosis  $H_p(10)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für alle Trageorte und zusätzlich  $H_p(0,07)$  in  $[\mu\text{Sv}]$  für die Dosiswerte an den Händen des „Kassettenhalters“ bzw. am mechanischen Kassettenhalter in der Klinik für Pferde der FU Berlin und der niedergelassenen Tierärzten zusammengefasst. Angegeben wird dabei die Anzahl der durchgeführten Messungen, der Median und das Minimum bzw. Maximum der Dosiswerte.

**Tab. 9. 38: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 1.**

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse $H_p(10)$		Gonaden $H_p(10)$		Gonaden unter der Bleischürze $H_p(10)$		Füße $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median $[\mu\text{Sv}]$	Anzahl (N)	Median $[\mu\text{Sv}]$	Anzahl (N)	Median $[\mu\text{Sv}]$	Anzahl (N)	Median $[\mu\text{Sv}]$
		(min.-max.) $[\mu\text{Sv}]$		(min.-max.) $[\mu\text{Sv}]$		(min.-max.) $[\mu\text{Sv}]$		(min.-max.) $[\mu\text{Sv}]$
Zehe (90°)	499	1 < NW-3	501	< NW < NW-5	387	< NW < NW	469	1 < NW-9
Zehe (0°)	77	1 < NW-2	74	< NW < NW-2	62	< NW < NW	74	< NW < NW-3
Zehe schräg	7	1 < NW-1	7	< NW < NW	2	< NW < NW	5	< NW < NW
Strahlbein n. Oxspring	255	1 < NW-5	260	< NW < NW-4	192	< NW < NW	243	< NW < NW-16
Strahlbein n. Morgan	34	1 < NW-2	34	1 < NW-2	18	< NW < NW	34	1 < NW-6
Hufbein (90°)	15	< NW < NW-1	15	< NW < NW-1	11	< NW < NW	11	< NW < NW-1
Hufbein (0°)	22	1 < NW-1	22	1 < NW-1	17	< NW < NW	22	< NW < NW-2
Hufbein schräg	33	1 < NW-3	33	1 < NW-2	33	< NW < NW	25	< NW < NW-3
Fesselgelenk (90°)	44	< NW < NW-1	44	1 < NW-1	36	< NW < NW	40	1 < NW-6
Fesselgelenk (0°)	26	< NW < NW-1	26	1 < NW-1	23	< NW < NW	22	< NW < NW-2
Fesselgelenk schräg	35	< NW < NW-1	35	< NW < NW-1	30	< NW < NW	28	< NW < NW-2
Gleichbein	104	< NW < NW-3	99	< NW < NW-1	72	< NW < NW	99	< NW < NW-2
Griffelbein	49	< NW < NW-2	49	< NW < NW-3	43	< NW < NW	42	< NW < NW-1
Carpus (90°)	32	< NW < NW-3	33	< NW < NW-14	31	< NW < NW	28	< NW < NW-1
Carpus (0°)	37	1 < NW-2	37	< NW < NW-1	29	< NW < NW	37	1 < NW-2
Carpus schräg	9	< NW < NW-1	9	< NW < NW-1	9	< NW < NW	8	< NW < NW-1
Carpus Skyline	7	< NW < NW	7	< NW < NW-2	7	< NW < NW	7	< NW < NW-1

Tab. 9. 39: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Ellbogen (90°)	13	2	13	< NW	13	< NW	12	2
		< NW-10		< NW-50		< NW		< NW-5
Ellbogen (0°)	8	2,5	8	1	8	< NW	8	3
		1-19		< NW-6		< NW		1-8
Schulter (90°)	21	6	20	9	18	< NW	15	7
		< NW-196		< NW-491		< NW		< NW-17
Schulter (0°)	7	1	5	1	4	< NW	7	5
		< NW-7		< NW-1		< NW		1-7
Tarsus (90°)	75	1	74	< NW	43	< NW	70	1
		< NW-4		< NW-2		< NW		< NW-4
Tarsus (0°)	60	< NW	60	< NW	45	< NW	55	1
		< NW-5		< NW-2		< NW		< NW-4
Tarsus (45°)	174	1	177	< NW	146	< NW	166	1
		< NW-3		< NW-2		< NW		< NW-31
Tarsus (115°)	134	1	138	1	125	< NW	127	1
		< NW-6		< NW-3		< NW		< NW-8
Knie (90°)	145	2	153	1	131	< NW	127	1
		< NW-45		< NW-15		< NW		< NW-8
Knie (0°)	35	< NW	36	1	34	< NW	34	2
		< NW-10		< NW-13		< NW		< NW-8
Patella Skyline	1	3	1	8	1	< NW	1	1
		3		8		< NW		1

Tab. 9. 40: Ermittelte Dosiswerte für den „Schützen“ für alle Messorte, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	17	1	17	< NW	15	< NW	15	1
		< NW-9		< NW-6		< NW		< NW-2
Kopf (90°) (Zähne)	22	1	22	1	19	< NW	16	1
		< NW-31		< NW-13		< NW		< NW-3
Kopf (0°)	3	2	3	1	2	< NW	3	1
		1-5		< NW-3		< NW		< NW-1
Kiefergelenk (90°)	2	< NW	2	1,5	2	< NW	2	< NW
		< NW-1		1-2		< NW		< NW
Kehlkopf (90°)	2	1	2	2	2	< NW	2	1
		1		2		< NW		1
Luftsack (90°)	1	< NW	1	1	1	< NW	1	< NW
		< NW		1		< NW		< NW
Oesophagus (90°)	1	1	1	1	1	< NW	1	1
		1		1		< NW		1
Nackenband (90°)	21	2	21	2	14	< NW	21	< NW
		< NW-17		< NW-4		< NW		< NW-2
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	20	3	22	5	22	< NW	21	1
		< NW-12		1-9		< NW		< NW-3
HWS (90°) (C 3-4)	24	3,5	24	6,5	26	< NW	25	2
		< NW-11		2-18		< NW		< NW-11
HWS (90°) (C 5-7)	37	2	31	8	38	< NW	34	2
		< NW-25		< NW-60		< NW		< NW-16
Rücken (90°) (Th 1-12)	66	2	67	2	56	< NW	63	1
		< NW-52		< NW-52		< NW		< NW-5
Rücken (90°) (Th 13-18)	68	3	70	2	57	< NW	66	< NW
		< NW-60		< NW-324		< NW		< NW-3
Rücken (90°) (L 1-7)	12	3	11	4	9	< NW	9	< NW
		< NW-60		< NW-104		< NW		< NW-2
Rücken (20°)	4	3	4	1	4	< NW	4	3
		1-10		1-7		< NW		2-3
Thorax (90°)	59	1	57	3	57	< NW	45	3
		< NW-24		< NW-93		< NW		< NW-24
Abdomen (90°)	4	2,25	4	2	4	< NW	4	14
		1-4		< NW-7		< NW		< NW-39
Hüftböcker	1	11	1	3	1	< NW	1	< NW
		11		3		< NW		< NW
Becken ventro-dorsal	7	8	7	4	5	< NW	7	25
		1-23		1-35		< NW		2-52

Anhang

Tab. 9. 41: *Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 1.*

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	421	< NW < NW-4	432	1 < NW-4	366	< NW < NW	404	1 < NW-58
Zehe (0°)	70	< NW < NW-2	68	< NW < NW-2	53	< NW < NW	68	1 < NW-4
Zehe schräg	7	< NW < NW-4	7	< NW < NW-4	7	< NW < NW	7	1 < NW-7
Strahlbein n. Oxspring	243	1 < NW-9	257	< NW < NW-6	193	< NW < NW	234	2 < NW-86
Strahlbein n. Morgan	33	< NW < NW-2	33	1 < NW-2	20	< NW < NW	33	1 < NW-6
Hufbein (90°)	17	< NW < NW-1	17	1 < NW-2	17	< NW < NW	16	1 < NW-6
Hufbein (0°)	24	< NW < NW-2	24	< NW < NW-1	22	< NW < NW	24	1 < NW-12
Hufbein schräg	32	1 < NW-5	32	< NW < NW-4	30	< NW < NW	30	2 < NW-7
Fesselgelenk (90°)	46	< NW < NW-3	46	< NW < NW-2	42	< NW < NW	45	1 < NW-4
Fesselgelenk (0°)	26	< NW < NW-2	26	1 < NW-1	25	< NW < NW	25	1 < NW-4
Fesselgelenk schräg	30	1 < NW-1	30	< NW < NW-3	27	< NW < NW	30	1 < NW-3
Gleichbein	95	< NW < NW-1	95	< NW < NW-4	70	< NW < NW	92	< NW < NW-5
Griffelbein	49	< NW < NW-2	51	< NW < NW-3	32	< NW < NW	49	< NW < NW-4
Carpus (90°)	33	1 < NW-3	34	1 < NW-6	24	< NW < NW	32	1 < NW-4
Carpus (0°)	40	< NW < NW-7	40	< NW < NW-2	23	< NW < NW	36	1 < NW-3
Carpus schräg	11	< NW < NW-1	11	< NW < NW-1	7	< NW < NW	10	1 < NW-2
Carpus Skyline	7	< NW < NW-1	7	< NW < NW-1	7	< NW < NW	7	< NW < NW-1
Ellbogen (90°)	12	2 < NW-12	12	2 < NW-13	11	< NW < NW	12	2 < NW-15
Ellbogen (0°)	6	4,5 < NW-10	7	7 < NW-14	6	< NW < NW	7	2 < NW-6
Schulter (90°)	11	11 6-176	9	82 6-216	13	< NW < NW	13	5 2-66
Schulter (0°)	n. u.	n. u. n. u.	3	6 5-47	4	< NW < NW	7	7 4-7



Tab. 9. 42: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	75	< NW	74	1	44	< NW	75	1
		< NW-5		< NW-2		< NW		< NW-2
Tarsus (0°)	59	< NW	60	1	47	< NW	56	1
		< NW-3		< NW-3		< NW		< NW-3
Tarsus (45°)	169	1	175	1	149	< NW	166	1
		< NW-5		< NW-4		< NW		< NW-4
Tarsus (115°)	131	1	137	1	122	< NW	127	1
		< NW-4		< NW-5		< NW		< NW-8
Knie (90°)	131	3	147	2	128	< NW	145	1
		< NW-40		< NW-20		< NW		< NW-4
Knie (0°)	35	2	36	3	33	< NW	36	1
		< NW-22		< NW-26		< NW		< NW-5
Patella Skyline	3	2	3	2	3	< NW	3	1
		2-3		1-2		< NW		1-2

Tab. 9. 43: Ermittelte Dosiswerte für den „Kassettenhalter“ für alle Messorte, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	4	1,5 < NW-3	6	1,5 < NW-14	3	< NW < NW	6	< NW < NW-1
Kopf (90°) (Zähne)	16	1,5 < NW-4	16	< NW < NW-2	14	< NW < NW	10	1 < NW-1
Kopf (0°)	2	1 < NW-2	3	< NW < NW-3	n. u.	n. u. n. u.	3	1 < NW-1
Kiefergelenk (90°)	2	1 1	2	< NW < NW-1	2	< NW < NW	2	< NW < NW
Kehlkopf (90°)	2	2 2	2	1 1	2	< NW < NW	2	< NW < NW
Nackenband (90°)	18	1 < NW-3	18	< NW < NW-2	12	< NW < NW	17	< NW < NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	16	1 < NW-7	16	1,5 < NW-5	16	< NW < NW	15	1 < NW-2
HWS (90°) (C 3-4)	18	1 < NW-5	18	3 < NW-6	18	< NW < NW	18	1 < NW-5
HWS (90°) (C 5-7)	23	3 < NW-10	22	4 < NW-8	23	< NW < NW	23	1 < NW-3
Rücken (90°) (Th 1-12)	54	2 < NW-33	60	1 < NW-15	48	< NW < NW	56	< NW < NW-5
Rücken (90°) (Th 13-18)	55	2 < NW-42	62	1 < NW-10	50	< NW < NW	59	< NW < NW-6
Rücken (90°) (L 1-7)	4	< NW < NW-2	4	< NW < NW	2	< NW < NW	7	< NW < NW-1
Rücken (20°)	4	< NW < NW-1	4	1 < NW-1	4	< NW < NW	4	< NW < NW-2
Thorax (90°)	15	< NW < NW-1	15	< NW < NW-1	13	< NW < NW	13	< NW < NW-1
Abdomen (90°)	1	< NW < NW	1	1 1	1	< NW < NW	1	2 2
Hüftböcker	1	5 5	1	12 12	1	< NW < NW	1	2 2
Becken ventro-dorsal	5	3 < NW-12	7	15 1-31	5	< NW < NW	7	14 1-36

Tab. 9. 44: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen für alle Messorte, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Kassettenhalter Hand links $H_p(0,07)$		Kassettenhalter Hand links $H_p(10)$		Kassettenhalter Hand rechts $H_p(0,07)$		Kassettenhalter Hand rechts $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Zehe (90°)	32	2 < NW-11	32	2 < NW-11	32	2 < NW-13	32	2 < NW-13
Zehe (0°)	2	< NW < NW	2	< NW < NW	2	< NW < NW	2	< NW < NW
Zehe schräg	2	2 2	2	1 1	2	2,5 2-3	2	2,5 2-3
Strahlbein n. Oxspring	65	3 < NW-73	64	3 < NW-50	66	2 < NW-23	66	1 < NW-24
Hufbein (90°)	1	1 1	1	1 1	1	< NW < NW	1	< NW < NW
Hufbein (0°)	5	1 < NW-4	5	1 < NW-3	5	1 < NW-1	5	1 < NW-2
Hufbein schräg	15	1 < NW-2	15	1 < NW-2	15	1 < NW-6	15	1 < NW-5
Fesselgelenk (90°)	2	3,5 3-4	2	3,5 3-4	2	< NW < NW-1	2	< NW < NW
Fesselgelenk (0°)	1	< NW < NW	1	< NW < NW	1	< NW < NW	1	< NW < NW
Fesselgelenk schräg	2	3,5 < NW-7	2	3,5 < NW-7	2	< NW < NW	2	< NW < NW
Carpus (0°)	2	< NW < NW-1	2	< NW < NW-1	2	< NW < NW-1	2	< NW < NW-1
Carpus Skyline	2	< NW < NW	2	1 1	2	1 1	2	1 1
Ellbogen (90°)	2	3,5 2-5	2	4,5 4-5	1	4 4	1	4 4
Ellbogen (0°)	1	5 5	1	5 5	n. u.	n. u. n. u.	n. u.	n. u. n. u.
Knie (90°)	14	1 < NW-14	14	1 < NW-13	12	1 < NW-3	12	1 < NW-3
Knie (0°)	4	2,5 < NW-7	4	2,5 < NW-6	4	2,5 < NW-4	4	2,5 < NW-4

Tab. 9. 45: Ermittelte Dosiswerte an den Bleihandschuhen für alle Messorte, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Kassettenhalter Hand links $H_p(0,07)$		Kassettenhalter Hand links $H_p(10)$		Kassettenhalter Hand rechts $H_p(0,07)$		Kassettenhalter Hand rechts $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Kopf (90°) (Nasennebenhöhlen)	2	1	2	1	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		1		1		n. u.		n. u.
Kopf (90°) (Zähne)	6	2	6	2	5	< NW	5	< NW
		< NW-5		< NW-4		< NW-2		< NW-9
Kopf (0°)	1	1	1	1	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		1		1		n. u.		n. u.
Nackenband (90°)	11	1	11	< NW	6	< NW	6	< NW
		< NW-4		< NW-3		< NW-1		< NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	9	2	9	1	1	2	1	2
		< NW-7		< NW-5		2		2
HWS (90°) (C 3-4)	7	1	7	2	2	2,5	1	2
		< NW-7		< NW-5		2-3		2
HWS (90°) (C 5-7)	9	2	9	2	2	4,5	4	5
		1-7		1-16		2-7		1-7
Rücken (90°) (Th 1-12)	19	1	19	1	27	2	25	2
		< NW-7		< NW-26		< NW-8		< NW-10
Rücken (90°) (Th 13-18)	19	1	19	1	23	1	23	1
		< NW-23		< NW-48		< NW-14		< NW-13
Rücken (90°) (L 1-7)	3	< NW	3	< NW	2	< NW	2	< NW
		< NW-1		< NW-1		< NW-1		< NW-1
Thorax (90°)	7	< NW	7	< NW	4	1	4	1
		< NW-2		< NW-1		< NW-3		< NW-3
Becken ventro-dorsal	2	1	2	1	2	1	2	3
		1		1		1		2-4

Tab. 9. 46: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter H <sub>p</sub> (0,07)		am mechanischen Kassettenhalter H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	378	3	406	3
		< NW-22		< NW-22
Zehe (0°)	43	3	52	3
		< NW-14		< NW-19
Zehe schräg	5	3	5	3
		< NW-4		1-4
Strahlbein n. Oxspring	43	11	50	10,5
		2-39		< NW-40
Strahlbein n. Morgan	16	10	16	9,5
		2-23		2-22
Hufbein (90°)	8	2,5	10	2,5
		1-6		1-6
Hufbein (0°)	12	3	19	2
		1-9		< NW-10
Hufbein schräg	7	6	7	6
		1-9		1-9
Fesselgelenk (90°)	38	2,5	41	2
		< NW-16		< NW-15
Fesselgelenk (0°)	19	2	21	2
		< NW-14		< NW-14
Fesselgelenk schräg	21	3	23	3
		1-9		1-9
Gleichbein	87	1	90	2
		< NW-12		< NW-11
Griffelbein	45	2	47	1
		< NW-13		< NW-13
Carpus (90°)	22	3,5	26	2
		< NW-17		< NW-18
Carpus (0°)	22	2	30	2
		< NW-8		< NW-8
Carpus schräg	7	4	10	3,5
		1-6		< NW-6
Carpus Skyline	2	9,5	2	6
		9-10		5-7
Ellbogen (90°)	6	5	6	4,5
		3-17		2-18
Ellbogen (0°)	3	13	2	17
		4-22		10-24
Schulter (90°)	20	8,5	19	9
		< NW-33		1-33
Schulter (0°)	2	50	2	50
		46-54		46-54

Tab. 9. 47: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu\text{Sv}$ ]	Anzahl (N)	Median [ $\mu\text{Sv}$ ]
		(min.-max.) [ $\mu\text{Sv}$ ]		(min.-max.) [ $\mu\text{Sv}$ ]
Tarsus (90°)	62	6	65	5
		< NW-28		< NW-27
Tarsus (0°)	36	3,5	39	3
		< NW-63		< NW-61
Tarsus (45°)	93	4	94	4
		< NW-47		< NW-46
Tarsus (115°)	57	4	59	4
		< NW-21		< NW-21
Knie (90°)	26	3,5	17	5
		< NW-20		1-21
Knie (0°)	13	14	16	12,5
		< NW-50		3-50
Patella Skyline	1	16	2	21
		16		17-25

Tab. 9. 48: Ermittelte Dosiswerte am mechanischen Kassettenhalter für alle Messorte, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	am mechanischen Kassettenhalter $H_p(0,07)$		am mechanischen Kassettenhalter $H_p(10)$	
	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]	Anzahl (N)	Median [ $\mu$ Sv]
		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]		(min.-max.) [ $\mu$ Sv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	15	1	16	1
		1-12		1-11
Kopf (90°) (Zähne)	9	5	13	6
		2-24		< NW-25
Kopf (0°)	1	11	2	13,5
		11		10-17
Luftsack (90°)	n. u.	n. u.	1	1
		n. u.		1
Oesophagus (90°)	1	4	1	4
		4		4
Nackenband (90°)	4	2	7	2
		1-4		1-4
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	3	3	6	7,5
		2-6		2-16
HWS (90°) (C 3-4)	4	5	8	6,5
		2-7		2-16
HWS (90°) (C 5-7)	12	5,5	13	6
		1-20		2-20
Rücken (90°) (Th 1-12)	11	2	12	1,5
		< NW-2		< NW-2
Rücken (90°) (Th 13-18)	9	1	11	1
		< NW-3		< NW-3
Rücken (90°) (L 1-7)	5	1	8	1
		< NW-3		< NW-3
Rücken (20°)	4	5	4	5
		4-8		3-11
Thorax (90°)	46	3	56	3
		1-22		1-22
Abdomen (90°)	1	6	4	11
		6		6-15
Becken ventro-dorsal	2	10,5	4	13
		10-11		9-52

Tab. 9. 49: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 1.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Zehe (90°)	505	< NW	507	< NW	328	< NW	205	< NW
		< NW-3				< NW-3		
Zehe (0°)	75	< NW	75	< NW	58	< NW	27	< NW
		< NW-1				< NW-2		
Zehe schräg	7	< NW	7	< NW	7	< NW	5	< NW
		< NW				< NW-1		
Strahlbein n. Oxspring	253	< NW	254	1	176	< NW	93	1
		< NW-7				< NW-5		
Strahlbein n. Morgan	30	< NW	29	< NW	17	< NW	10	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Hufbein (90°)	14	< NW	14	< NW	10	< NW	11	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Hufbein (0°)	24	< NW	24	< NW	15	< NW	21	< NW
		< NW-1				< NW-2		
Hufbein schräg	33	< NW	33	< NW	25	< NW	17	< NW
		< NW-1				< NW-2		
Fesselgelenk (90°)	46	< NW	44	< NW	26	< NW	28	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Fesselgelenk (0°)	26	< NW	26	< NW	17	< NW	14	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Fesselgelenk schräg	35	< NW	35	< NW	28	< NW	15	< NW
		< NW-1				< NW-2		
Gleichbein	101	< NW	101	< NW	60	< NW	42	< NW
		< NW-1				< NW-2		
Griffelbein	50	< NW	49	< NW	35	< NW	34	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Carpus (90°)	33	< NW	34	< NW	24	< NW	22	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Carpus (0°)	40	< NW	42	< NW	24	< NW	21	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Carpus schräg	11	< NW	11	< NW	7	< NW	10	< NW
		< NW				< NW-1		
Carpus Skyline	7	< NW	7	< NW	5	< NW	2	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Ellbogen (90°)	14	1,5	13	1	13	< NW	5	< NW
		< NW-10				< NW-7		
Ellbogen (0°)	9	1	9	4	9	< NW	2	1
		1-4				< NW-7		
Schulter (90°)	22	15,5	22	23	21	< NW	16	13,5
		4-110				< NW-128		
Schulter (0°)	6	2	6	2	4	< NW	n. u.	n. u.
		< NW-10				< NW-6		



Tab. 9. 50: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 2.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Tarsus (90°)	74	< NW	74	< NW	16	< NW	64	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Tarsus (0°)	60	< NW	60	< NW	26	< NW	43	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Tarsus (45°)	173	< NW	174	< NW	120	< NW	58	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Tarsus (115°)	134	< NW	135	< NW	111	< NW	25	< NW
		< NW-2				< NW-2		
Knie (90°)	157	< NW	156	< NW	103	< NW	48	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Knie (0°)	37	< NW	36	< NW	16	< NW	22	< NW
		< NW-1				< NW-1		
Patella Skyline	3	< NW	3	< NW	2	< NW	3	< NW
		< NW-1				< NW-1		

Tab. 9. 51: Ermittelte Dosiswerte für den „Pfleger“ für alle Messorte, Teil 3.

Röntgen- untersuchung	Schilddrüse H <sub>p</sub> (10)		Gonaden H <sub>p</sub> (10)		Gonaden unter der Bleischürze H <sub>p</sub> (10)		Füße H <sub>p</sub> (10)	
	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]	Anzahl (N)	Median [μSv]
		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]		(min.-max.) [μSv]
Kopf (90°) (Nasenneben- höhlen)	18	1	18	1	11	< NW	16	1
		< NW-11		< NW-6		< NW		< NW-2
Kopf (90°) (Zähne)	22	1	20	1	18	< NW	10	< NW
		< NW-6		< NW-3		< NW		< NW-2
Kopf (0°)	3	4	3	3	2	< NW	2	< NW
		3-6		< NW-7		< NW		< NW-1
Kiefergelenk (90°)	2	3	2	2	n. u.	n. u.	2	< NW
		2-4		2		n. u.		< NW
Kehlkopf (90°)	2	1	2	2	n. u.	n. u.	2	< NW
		1		2		n. u.		< NW
Luftsack (90°)	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	1	1
		< NW		< NW		n. u.		1
Oesophagus (90°)	1	2	1	2	n. u.	n. u.	1	1
		2		2		n. u.		1
Nackenband (90°)	21	1	21	< NW	13	< NW	12	< NW
		< NW-8		< NW-3		< NW		< NW-1
HWS (90°) (Occiput, C 1-2)	22	2,5	22	1	16	< NW	5	1
		< NW-14		< NW-12		< NW		< NW-3
HWS (90°) (C 3-4)	26	4	26	2	17	< NW	8	2
		< NW-15		< NW-31		< NW		< NW-8
HWS (90°) (C 5-7)	38	4	38	4,5	26	< NW	10	5
		< NW-43		< NW-49		< NW		1-16
Rücken (90°) (Th 1-12)	67	2	68	< NW	49	< NW	14	< NW
		< NW-7		< NW-10		< NW		< NW-4
Rücken (90°) (Th 13-18)	72	< NW	73	< NW	52	< NW	18	< NW
		< NW-7		< NW-9		< NW		< NW-9
Rücken (90°) (L 1-7)	12	< NW	12	< NW	9	< NW	9	< NW
		< NW-5		< NW-8		< NW		< NW-7
Rücken (20°)	4	2	4	1	n. u.	n. u.	4	< NW
		1-3		1		n. u.		< NW-1
Thorax (90°)	65	1	65	2	52	< NW	52	1
		< NW-8		< NW-8		< NW		< NW-7
Abdomen (90°)	4	2	4	2	2	< NW	4	6
		< NW-3		2-4		< NW		4-12
Hüftböcker	1	< NW	1	< NW	n. u.	n. u.	n. u.	n. u.
		< NW		< NW		n. u.		n. u.
Becken ventro-dorsal	4	< NW	5	2	2	< NW	3	10
		< NW-1		< NW-10		< NW		< NW-16

## 9.6 Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom

Die Ergebnisse der Dosismessungen am Tierkörperphantom sind den Tabellen 9. 52 - 9.60 zu entnehmen. Da es sich bei den Ergebnissen um stetige Folgen von Messwerten handelt und keine Extremwerte bestimmt worden sind, wurden für die Dosiswerte der EPD EDM-III und TLD's der arithmetische Mittelwert gebildet. Der Mittelwert wird aus der Summe aller Einzelwerte dividiert durch ihre Anzahl bestimmt.

**Tab. 9. 52: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Zehe 90°“ am TKP.**

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	120	0,1	0,15	n. u.	n. u.	n. u.
Schilddrüse	115	0,15	0,15	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	90	0,2	0,2	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	70	0,3	0,35	n. u.	n. u.	n. u.
Hand rechts	70	0,25	0,25	n. u.	n. u.	0,36
Füße	70	0,3	0,35	n. u.	n. u.	0,77

**Tab. 9. 53: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Zehe 0°“ am TKP.**

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	120	0,2	0,27	n. u.	n. u.	n. u.
Schilddrüse	115	0,27	0,33	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	90	0,4	0,47	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	70	0,13	0,13	n. u.	n. u.	n. u.
Hand rechts	70	0,55	0,64	< 0,95	< 1,0	n. u.
Füße	60	0,67	0,67	1,15	1,2	n. u.

Tab. 9. 54: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Strahlbein n. Oxspring“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	155	0,55	0,64	n. u.	n. u.	n. u.
Schilddrüse	80	0,82	0,91	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	70	1,72	1,91	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	40	2,27	2,45	2,52	2,64	5,6
Hand rechts	55	< NW	< NW	n. u.	n. u.	1,69
Füße	40	1,73	1,91	1,82	1,91	n. u.

Tab. 9. 55: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Hufbein 0°“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	155	< 0,1	< 0,1	n. u.	n. u.	n. u.
Schilddrüse	80	< 0,1	< 0,1	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	70	0,17	0,17	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	40	0,25	0,17	< 1,19	< 1,25	0,78
Hand rechts	55	< NW	< NW	n. u.	n. u.	n. u.
Füße	40	0,25	0,17	< 1,19	< 1,25	n. u.

Tab. 9. 56: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Tarsus 90°“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	105	0,33	0,33	< 0,95	< 1,0	n. u.
Schilddrüse	95	0,40	0,47	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	70	0,67	0,73	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	55	0,13	0,20	< 0,95	< 1,0	n. u.
Hand rechts	65	0,20	0,27	< 0,95	< 1,0	n. u.
Füße	95	0,60	0,60	n. u.	n. u.	n. u.

Tab. 9. 57: Dosiswerte am Kassettenhalter, „Knie 90°“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	65	5,47	5,27	3,18	3,33	n. u.
Schilddrüse	60	7,6	7,13	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	70	1,07	1,13	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	30	16,33	16,33	14,45	15,13	n. u.
Hand rechts	45	2,33	2,33	6,3	6,6	n. u.
Füße	125	0,73	0,73	n. u.	n. u.	n. u.

Tab. 9. 58: Dosiswerte am Pfleger, „Kopf 90°, Nasennebenhöhlen“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	70	0,75	0,83	n. u.	n. u.	n. u.
Schilddrüse	65	1,33	1,50	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	55	1,33	1,42	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	60	5,08	5,08	4,54	4,75	4,16
Hand rechts	70	2,33	2,5	2,39	2,5	n. u.
Füße	90	0,17	0,17	n. u.	n. u.	n. u.

Tab. 9. 59: Dosiswerte am Pfleger, „Kopf 90°, Zähne“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	70	3,8	3,9	n. u.	n. u.	3,0
Schilddrüse	65	5,5	5,6	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	55	7,2	7,4	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	60	36,3	33,9	22,62	23,7	21,97
Hand rechts	70	10,4	10,3	9,45	9,9	n. u.
Füße	90	1,8	2,0	n. u.	n. u.	n. u.

Tab. 9. 60: Dosiswerte am Pfleger, „Thorax 90°“ am TKP.

Trageort	Abstand zur SSQ [cm]	EDM-III		TLD		RGD H*(10) [μSv]
		H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	H <sub>p</sub> (10) [μSv]	H <sub>p</sub> (0,07) [μSv]	
Stirn	140	1	1,07	1,08	0,73	n. u.
Schilddrüse	135	1	1,33	n. u.	n. u.	n. u.
Gonaden	145	0,67	0,73	n. u.	n. u.	n. u.
Hand links	120	1,2	1,27	< 1,0	< 0,95	1,82
Hand rechts	115	2,33	2,47	2,36	2,47	n. u.
Füße	210	1,4	1,53	n. u.	n. u.	n. u.

## **Danksagung**

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Univ.- Prof. Dr. K. Hartung für die Überlassung des interessanten Themas und die jederzeit gewährte Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Frau Dr. B. Münzer möchte ich als Initiatorin dieses Projektes und für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Messungen herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Radiologischen Abteilung der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Klinische Radiologie der Freien Universität Berlin, insbesondere Herrn Obst und allen Pferdepflegern für die geduldige und aufmunternde Unterstützung bei der Durchführung der Dosismessungen.

Ich danke allen Mitarbeitern der niedergelassenen Tierarztpraxen und Tierkliniken für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Dosismessungen. Ohne ihre Zustimmung und Mitarbeit wäre die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Herrn S. Feige, Herrn Dr. E. Mergel und Herrn Dr. J. Kaulard von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH möchte ich ebenfalls ganz besonders danken. Zum einen für die finanzielle Unterstützung, einschließlich der Anschaffung der Messgeräte und der computertechnischen Ausrüstung, und zum anderen für die gute Zusammenarbeit, die fundierte fachliche Beratung und die konstruktiven Kritiken.

Danken möchte ich auch Frau G. Arndt und Frau A. Lüdecke vom Institut für Biometrie am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin für die geduldige und sachkundige Beratung in Fragen der Datenanalyse und der statistischen Auswertung.

Herzlich gedankt sei Frau G. Hafemeister mit deren Hilfe jede Literatur aufzufinden war.

Meinen Eltern danke ich für Ihre Geduld, ihr Vertrauen und die finanzielle Unterstützung meines Studiums und dieser Arbeit.

Ebenso danke ich meinem Ehemann und meinen engsten Freunden, die mich während dieser Zeit unterstützt haben und jederzeit für mich da waren.

### **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Cloppenburg, 20.11.2007

Meral Steinberg