

Aus der Klinischen Radiologie
am Fachbereich Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Strahlenschutz und Strahlenschäden beim Umgang mit
Röntgenstrahlen in der Veterinärröntgenologie**
*Eine Untersuchung der deutsch- und englischsprachigen
Literatur unter Berücksichtigung der aktuellen
Röntgenverordnung*

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Petra Sonja Geyer
Tierärztin aus Säckingen

Berlin 2003
Journal Nr. 2704

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. med. vet. L. Brunnberg
Erster Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. med. vet. K. Hartung
Zweiter Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. med. vet. L. Brunnberg
Dritter Prüfer	Univ.-Prof. Dr. med. vet. H. Keller

Tag der Promotion: 25.04.2003

Meiner lieben Familie

INHALT	SEITE
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	
1. EINLEITUNG	1
2. Erste Erkenntnisse über biologische Strahlenwirkungen von 1896-1920	
2.1. Die Anfänge der Strahlentherapie beim Menschen	3
2.2. Die Anfänge der Strahlentherapie beim Tier.....	6
2.3. Erste Strahlenschäden, die am Menschen festgestellt wurden.....	7
2.4. Erste Strahlenschäden, die am Tier festgestellt wurden.....	12
3. Frühe Beobachtungen zu Strahlenschäden in der Medizin (1896-1945)	
3.1. Strahlenschäden, die bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Tier entstanden sind.....	16
3.2. Erste Strahlenschäden beim medizinischen und veterinärmedizinischen Personal.....	16
4. Frühe Empfehlungen zum Strahlenschutz (von 1896-1945)	
4.1. Die ersten Empfehlungen des Strahlenschutzes in der Humanmedizin.....	21
4.2. Die ersten Empfehlungen zum Strahlenschutz in der Veterinärmedizin.....	24
4.2.1. Strahlenschutz durch Weiterentwicklung der Röntgenausrüstung.....	24
4.2.1.1. Raumgestaltung.....	24
4.2.1.2. Röntgenapparate.....	26
4.2.1.3. Durchleuchtungsgeräte.....	30
4.2.1.4. Hilfsmittel in der Veterinärstrahlenkunde.....	30
4.2.2. Direkter Strahlenschutz durch Schutzvorrichtungen.....	32
4.2.2.1. Schutzkleidung.....	32
4.2.2.2. Messgeräte.....	33
4.2.3. Warnungen und Anwendungshinweise für den Umgang mit Röntgenstrahlen.....	33
5. Beobachtungen zu Strahlenschäden beim Röntgenpersonal in der Veterinärmedizin (1945-2001)	
5.1. Untersuchungen zu chronischen Strahlenschäden in der Veterinär- und Humanmedizin.....	35
5.2. Tierärzte, die an ihrem chronischen Strahlenschaden verstarben.....	38
6. Hinweise zum Strahlenschutz in aktuellen veterinärmedizinischen Lehrbüchern	
6.1. Veterinärmedizinische Lehrbücher der Röntgendiagnostik mit wenig Hinweisen zum Strahlenschutz.....	40
6.2. Strahlenschutz in den Grundlehrbüchern der unterschiedlichen Tierarten.....	41
6.2.1. Strahlenschutz in Grundlehrbüchern der Pferdekrankheiten.....	41
6.2.2. Strahlenschutz in Grundlehrbüchern der Katzenkrankheiten.....	41
6.2.3. Strahlenschutz in Grundlehrbüchern der Hundekrankheiten.....	41
6.2.4. Strahlenschutz in Grundlehrbüchern der allgemeinen Chirurgie.....	41

Inhalt

6.3. Strahlenschutz in Grundlehrbüchern der Röntgendiagnostik.....	42
6.3.1. Praktischer und technischer Strahlenschutz.....	42
6.3.2. Gesetzliche Grundlagen in den oben genannten veterinärmedizinischen Lehrbüchern.....	44
6.3.3. Strahlenschutzregeln bei der Durchleuchtung.....	44
7. Empfehlungen zum Strahlenschutz in der Veterinärmedizin (1945-2001)	
7.1. Dosismessungen und Dosimetrie bei Röntgenaufnahmen und Durchleuchtungen in Tierarztpraxen.....	47
7.2. Strahlenschutz in der Bundesrepublik Deutschland.....	50
7.2.1. Probleme und Lösungsvorschläge zum Strahlenschutz.....	51
7.2.1.1. Probleme bei der Röntgenuntersuchung von Tieren.....	51
7.2.1.1.1. Auftretende Probleme bei der Röntgenuntersuchung von Pferden und Großtieren.....	51
7.2.1.1.2. Auftretende Probleme bei der Röntgenuntersuchung von Heim- und Kleintieren.....	52
7.2.1.2. Maßnahmen und Lösungsvorschläge der oben genannten Probleme.....	52
7.2.1.2.1. Hilfsgeräte und mechanische Fixierungsvorrichtungen.....	52
7.2.1.2.2. Strahlenschutztechnische Arbeitsweise des Röntgenpersonals.....	54
7.2.1.3. Entwicklung der Röntgentechnik.....	65
7.2.1.3.1. Röntgenapparate und Durchleuchtungsgeräte.....	65
7.2.1.3.2. Nutzung von Tubussen, Blenden und Rastern.....	66
7.2.1.4. Personenschutz.....	68
7.2.3.5. chemischer Strahlenschutz.....	69
7.3. Strahlenschutz in Groß Britannien und den Vereinigten Staaten von Amerika.....	70
8. Die Entwicklung der deutschen Strahlenschutzgesetzgebung und deren Einfluß auf die tierärztliche Arbeit	
8.1. Allgemeine Erläuterungen zur Gesetzgebung.....	72
8.2. Zielsetzung der Gesetze und Verordnungen.....	72
8.2.1. EURATOM.....	72
8.2.2. Atomgesetz (AtG) = Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie.....	73
8.2.3. Röntgenverordnung (RöVO) = Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen.....	73
8.3. Kurzer geschichtlicher Abriss der Strahlenschutzgesetzgebung.....	73
8.4. Die Entwicklung der Röntgenverordnung.....	76
9. ZUSAMMENFASSUNG.....	84
10. SUMMARY.....	86
11. LITERATUR.....	88
12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	107
13. ANHANG	
Danksagung	
Lebenslauf	

Abkürzungen

Abkürzungen

AtG	Atomgesetz = Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie
ASAO	Arbeitsschutzanordnung aus der ehemaligen DDR
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
Gy	Gray - SI-Einheit der Energiedosis
HED	Haut Erythem Dosis = erste empirisch-biologisch definierte Dosisseinheit
ICR	International Congress of Radiology
ICRP	International Commission On Radiological Protection
ICRU	International Commission On Radiological Units
Kassettenhalter	Assistent, der die Röntgenkassette hinter dem zu durchstrahlenden Objekt hält
kV	Kilovolt. Angabe der Röhrenspannung
mA	Milliampere. Angabe der Stromstärke
Oxspringaufnahme	Spezialaufnahme des Strahlbeines nach der Aufnahmetechnik von Oxspring (1935)
Personendosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition als repräsentativ angesehenen Stelle der Körperoberfläche
R	Röntgen = alte Einheit der Ionendosis
Rad	Rad = Radiation absorbed dose Bis 31.12.1985 Einheit der Energiedosis
rem	Rem = alte Einheit der Äquivalentdosis
RöVO	Röntgenverordnung Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen
Schütze	Assistent an der Röntgenröhre, der das Nutzstrahlbündel auf das Objekt bzw. die Röntgenkassette ausrichtet.
StrlSchVO	Strahlenschutzverordnung Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen
Sv	Sievert = aktuelle SI-Einheit der Äquivalentdosis

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Prof. Wilhelm Conrad Röntgen (LOSSAU 1995 (119), S. 20).....	3
Abb. 2: Fünf Jahre altes Mädchen mit einem angeborenen Naeveus papillosus piliferus nach der Bestrahlung. (FREUND 1897 (73)).....	4
Abb. 3: Zustand der Patientin 60 Jahre nach der Röntgenbestrahlung. (FUCHS und HOFBAUER 1962 (145), S. 62).....	4
Abb. 4: Zeitlicher Verlauf einer schweren akuten Strahlenschädigung Bild 1 am 18. Tag nach der Bestrahlung, Bild 2 am 20. Tag nach der Bestrahlung Bild 3 am 27. Tag nach der Bestrahlung, Bild 4 am 70. Tag nach der Bestrahlung (RAJEWSKY 1957 (166), S. 9).....	8
Abb. 5: Strahlendermatitis einer Hand mit Hautablösung (Gilchrist, 1897). (EISENBERG 1992 (35), S. 158)	9
Abb. 6: Photo einer Strahlendermatitis von 1912. (EISENBERG 1992 (35), S. 159).....	9
Abb. 7: Krebsgeschwüre einer Hand die sich aus intensiven Röntgenverbrennungen ergeben haben. (LOSSAU 1995 (119), S. 101)	10
Abb. 8: Kaninchen Nr. 16 und 14a. Beide Kaninchen stammen vom gleichen Wurf und waren zu Beginn gleich groß. Dem Tier Nr. 16 wurde im Alter von 30 Stunden die rechte Körperhälfte 20 Minuten lang bestrahlt. Es zeigte sich eine Hemi-atrophia totalis bei der sich ein Größenunterschied der Extremitäten bis zu 20% zeigte. Die rechte Niere war zusätzlich bedeutend kleiner. (FÖSTERLING 1907 (40), S. 127).....	13
Abb. 9: Ziege mit deutlicher Deformierung der linken Kopfhälfte. Sie wurde ein Jahr zuvor, im Alter von 12 Tagen, an der linken Kopf- und Halsseite 30 Minuten lang bestrahlt. (FÖRSTERING 1909 (192), S. 69)	13
Abb. 10: Beide Hunde wurden im Alter von zwei Stunden 15 Minuten lang bestrahlt. Das linke, normal gewachsene Tier wurde an der hinteren Körperhälfte bestrahlt, während das rechte, zwergwüchsige Tier besonders mit der vorderen Körperhälfte den Röntgenstrahlen ausgesetzt wurde. (KRUKENBERG 1909 (190), S. 71).....	13
Abb. 11: In diesen Gedenkstein, im Garten des Hamburger St.-Georg-Krankenhauses, sind die Namen von 160 Röntgenärzten und -schwestern gemeißelt, die als Pionier im Umgang mit den neuen Strahlen, an den Folgen von Röntgenverbrennungen verstorben sind. (EISENBERG 1992 (35), S.173).....	17
Abb. 12: Prof. Dr. Alois Pommer (SCHREIBER 1958 (80), S. 1)	19
Abb. 13: Demonstration einer Schutzmütze, Bartschutz, Handschuhe, Schutzschürzen und Plattenschutz. (LEVY-DORN 1905 (117), S.150).....	22
Abb. 14: Schutzwand mit Beobachtungsfenster aus Schwermetallsalz zwischen Gummi, Leder o.a.. LEVY-DORN 1905 (117), S. 151).....	22

Abbildungsverzeichnis

Abb. 15: Experimenteller Aufbau zur Erzeugung von Röntgenstrahlen. Mit Versuchsanordnungen dieser Art hatten vor Röntgen bereits eine Reihe von Wissenschaftlern experimentiert. Doch Röntgen war der erste, der das Auftreten einer neuen Strahlung bemerkte. (LOSSAU 1995 (119), S. 11).....	27
Abb. 16: Coolidge Röhre (LOSSAU 1995 (119) S. 110)	28
Abb. 17: Röntgenblende aus biegsamen Material. Die Blende enthält eine Öffnung, welche ihrem Durchmesser nach variiert werden kann. (LEVY-DORN 1905 (117), S.149).....	29
Abb. 18: Keilförmiger Bock für Hufbeinaufnahmen. (BERGE 1927 (96), S. 691).....	31
Abb. 19: Kassettenstativ (BERGE 1927 (96), S. 691)	31
Abb. 20: Röntgenstativ für die Veterinärmedizin (HENKELS 1925 (71), S. 515)	32
Abb. 21: Die Verwendung des Stativs mit großer Kassettenplatte bei Sprunggelenkaufnahmen. (BERGE 1927 (96), S. 692)	32
Abb. 22: Messgerät zum Nachweis von Röntgenstrahlen aus den 50er Jahren. Erst der verlässliche Nachweis der Strahlen ermöglicht effiziente Strahlenschutzmaßnahmen (LOSSAU 1995 (119), S. 95)	33
Abb. 23: Eines der ersten Strahlenmessgeräte: Das 1915 von Fürstenau entwickelte Dosimeter registrierte die Änderung der Leitfähigkeit des Halbleiters Selen bei einer Bestrahlung mit Röntgenlicht (LOSSAU 1915 (119), S. 95).....	33
Abb. 24: Durchschnittliche Lebenserwartung der Radiologen in den USA. Vergleich mit der übrigen männlichen weißen Bevölkerung (nach Wachs-mann und Warren, Handbuch der medizinischen Radiologie Bd 1/1). (HARTUNG 200 (67), S. 120).....	35
Abb. 25: Röntgenaufnahmen mit ungeschützten Händen des Untersuchers. (HARTUNG 1992 (55), S. 188).....	40
Abb. 26: Messung der Streustrahlung von der Anoden- und Kathodenseite der Röntgenröhre im Abstand von einem halben und einem Meter in R pro Stunde bei 60 kV und 90 kV. (RYAN 1981 (172), S. 4).....	43
Abb. 27: Messung der Streustrahlung, einen halben Meter und einen Meter vom Wasserphantom, im 45 Gradwinkel zum Tisch entfernt. (RYAN 1981 (172), S.4)	43
Abb. 28: Mobiles Bleischild mit Bleiglasfenster das individuell zwischen die Strahlenquelle und den Assistenten plaziert werden kann. (MORGAN et al. 1982 (136), S. 136).....	45
Abb. 29: Schematische Darstellung eines Fluoroskopes, bei dem die Röntgenröhre unter dem Untersuchungstisch positioniert ist. (MORGAN et al. 1982 (136), S. 136).....	45
Abb. 30: Handfluoroskop, dass in den Primärstrahl gehalten wurde. (MORGAN et al. 1982 (136), S. 139).....	45
Abb. 31: Der Untersucher hält vor der Untersuchung des Patienten seine eigene Hand zwischen die Röhre und den Fluoroskopschirm, 1896. (EISENBERG 1992 (35), S. 165).....	45

Abbildungsverzeichnis

Abb. 32: Personendosimeter, Stabdosimeter (Plakette geschlossen und Aufgeklappt, dadurch sind die einzelnen Filter sichtbar. Dazwischen liegt ein Meßfilm), Fingerdosimeter. (MÜNZER 1982 (66), S. 32)	47
Abb. 33: Kassettenhalter. (MORGAN 1993 (137), S. 88).....	53
Abb. 34: Kassettenhalterung für die Pferdepraxis. Die Kassette wird nicht mit der Hand gehalten, der Untersucher steht weit vom streuenden Objekt (Pferdebein) entfernt. (HARTUNG et al. 2000 (67), S. 132)	53
Abb. 35: Fixierung der Katze in Rückenlage. (SCHNITZLEIN 1959 (188), S. 892)	53
Abb. 36: Fixierung der Katze in Seitenlage. (SCHNITZLEIN 1959 (188), S.893).....	53
Abb. 37: Fixierungsmaterial für Kleintiere. (MORGAN et. al. 1982 (136), S. 134)	54
Abb. 38: Schaumstoffkeile zur Positionierung von Kleintieren. (MORGAN 1993 (137), S. 86).....	54
Abb. 39: Haltung des Affens (Schimpanse) bei einer Röntgenaufnahme des Thorax. (HENSCHHEL 1960 (76), S. 123)	55
Abb. 40: Filmkassette unter dem Klinikmantel. (HENSCHHEL 1960 (76), S.123).....	55
Abb. 41: Röntgenuntersuchung des Carpus (Tangentialaufnahme) ohne Schutzkleidung (nachgestellt nach einer Abbildung in einer Fachzeitschrift). (HARTUNG et al. 1991 (66), S. 348)	56
Abb. 42: Ein mobiles Schutzschild mit Öffnungen für die Arme. Es werden der Körper, das Gesicht, die Schilddrüsenregion und die Unterarme geschützt. (RYAN 1982 (172), S. 13).....	56
Abb. 43: Wirkung der Schutzhandschuhe: a. Hand mit aufgeschnittenem Handschuh auf der Röntgenkassette. b. Röntgenaufnahme zu a. Dort wo zwei Schichten Blei den Film verdecken, vollständig unbelichteter Film. Wo nur eine Bleischicht über dem Film liegt, deutliche Abbildung der Finger. (HARTUNG 2000 (67), S. 127).....	57
Abb. 44: Genähter Handschuh - jedes Nahtloch ist ein Strahlenleck. (HARTUNG 2000 (67), S. 128)	57
Abb. 45: Röntgenaufnahme eines defekten Bleihandschuhs. (MORGAN 1993 (137), S. 91).....	57
Abb. 46: Halterung für Schutzkleidung, die gewährleistet, dass die Handschuhe trocknen und die Schürze nicht geknickt wird. (MORGAN et al.1982 (136), S. 90).....	58
Abb. 47: Schematische Darstellung des Abstandquadratgesetzes. Bei Verdoppelung des Abstandes liegt nur noch $\frac{1}{4}$ der Strahlendosis bei gleicher Feldgröße vor, bei Verdreifachung des Abstandes nur noch $\frac{1}{9}$ der Strahlendosis. (MÜNZER 1982 (141), S. 33)	58

Abbildungsverzeichnis

Abb. 48: Reduzierung der Strahlenbelastung des Untersuchers durch unterschiedliche Stellung am Tisch: A. In der Praxis häufig genutzte Methode. Der Untersucher befindet sich sehr nahe am Primärstrahl B. Der Untersucher steht direkt an der Längsseite des Tisches. Diese Methode sollte vermieden werden, da die Sekundärstrahlung von vorne und von der Seite auf den Untersucher trifft. C. Wenn zwei Personen das Tier fixieren, beugen sie sich häufig nach vorne, da dies die bequemste Stellung ist D. Untersucher stehen an den Enden des Tisches - deutlich geringere Strahlenbelastung. (RYAN 1982 (172), S. 6).....	59
Abb. 49: Vergrößerung des Primärstrahlenbündels auf dem Fußboden unter dem Röntgenschirm. (HARTUNG 1992 (55), S. 192).....	60
Abb. 50: Röntgenaufnahme der Klaue im Stall nach der Ringmethode bei gleichzeitiger Halterung der Röntgenkugel am Gurt. (BOLZ 1960 (14), S. 91).....	60
Abb. 51: Röntgenaufnahme im Stall mit einem Gurtstativ. (BOLZ 1960 (14), S. 90).....	60
Abb. 52: Der Lichtvisiertubus. (BOLZ 1960 (14), S. 90).....	66
Abb. 53: Test zur Überprüfung der Genauigkeit der Lichtvisierblenden: a. Röntgenkassette mit acht Münzen zur Kennzeichnung des Lichtfeldes b. Röntgenaufnahme zu a. In diesem Fall liegt das Lichtfeld zum Primärstrahl verschoben. (HARTUNG 2000 (67), S. 125).....	67
Abb. 54: Wirkung der Verkleinerung des Primärstrahlenfeldes auf die Streustrahlenbelastung des Untersuchers: a. Abdomenaufnahme eines Teckels zur Darstellung von Harnblase und Prostata; Filmformat 30x40 cm, schwarze Rahmen geben Format 24x30 cm und 18x24 cm an. b. Reduzierung der Streustrahlung bei Einblendung wie in a eingezeichnet. Belastung bei Format 30x40 cm als 100 % angegeben, Belastung bei anderen Einblendungen. (HARTUNG 2000 (67), S. 135).....	68

Danksagung

Herrn Professor Dr. K. Hartung danke ich sehr herzlich für die Überlassung dieses interessanten Themas, für seine Unterstützung bei der Literaturrecherche und das unkomplizierte, angenehme und kreative Arbeitsklima, in der diese Arbeit entstehen konnte.

Meinem Ehemann sowie meiner Familie danke ich für die Unterstützung, die sie mir stetig zukommen lassen haben. Susanne Albiez und Annelore Wills danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und Michael Kunert für die geduldige, stetige und sachkundige Beratung in computertechnischen Fragen.

LEBENS LAUF

Person

Name: *Petra Sonja Geyer*
Geburtsdatum: *13.11.1974 in Säckingen*
Wohnort: *Alte Winnender Steige 21, 71334 Waiblingen*
Tel./Fax.: 07151-273680
Eltern: *Armin Geyer und Ottilie Geyer, geb. Köperl*
Geschwister: *Thomas Geyer und Alexandra Geyer*
Familienstand: *verheiratet*
Staatsangehörigkeit: *deutsch*

Schulbildung

1982 - 1985: *Hans-Thoma-Grundschule Laufenburg*
1985 - 1991: *Hans-Thoma-Realschule Laufenburg*
1991 - 1994: *Justus von Liebig Gymnasium(EG) in Waldshut*

Abschluß

**Mittlere Reife
Abitur**

Hochschulen

11/94 - 03/95: *Chemiestudium an der LMU München*
04/95 - 09/00: *Studium der Veterinärmedizin an der FU Berlin*
14.11.2000:

Abschluß

**Tierärztin
Approbation**

Praktika

23.08.98-24.10.98: *Praktikum im Korean Equine Center in Ansung, Südkorea*
23.08.99-03.10.99: *Praktikum im Schlachthof Basel, Schweiz*
18.10.99-28.11.99: *Praktikum in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie
der Freien Universität Berlin*
29.11.99-13.01.00: *Praktikum in der Tierarztpraxis Dr. W. Abel in Bad Säckingen*

Berufliche Tätigkeit

Seit 01.März 2001 *amtliche Tierärztin* im Veterinäramt Göppingen

Petra Geyer
Alte Winnender Steige 21

71334 Waiblingen, den 02.02.2003

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Petra Geyer, die vorliegende Arbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln und Angaben aus der Literatur angefertigt zu haben. Eine ähnliche Dissertation ist meines Wissens nirgendwo erschienen oder abgelehnt worden.

Petra Geyer