

Kontrolle der Bildgüte bei Röntgenuntersuchungen der distalen Pferdeextremität mittels eines Testphantoms

Margarete Hofmann-Parisot und W. Schramel

Institut für Medizinische Physik
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Vorstand: O. Univ.-Prof. Dr. Gertrud Keck

Einleitung: Die Röntgenuntersuchung der Pferdeextremität – diagnostische Möglichkeiten

Vor nahezu 100 Jahren, 1896, wurde dem tierärztlichen Stand die Entdeckung der Röntgenstrahlung durch W. C. Röntgen bekanntgegeben. R. Eberlein in Deutschland fertigte das erste tierärztliche Röntgenbild eines Pferdefußes an (Weiser, 1923).

Durch die unaufhaltsame Entwicklung auf dem Gebiet bildgebender Verfahren ist es heute möglich, durch Sonographie Struktur und Beschaffenheit der oberflächlichen und tiefen Beugesehne, des Unterstützungsbandes der tiefen Beugesehne, des M. interosseus und des Lig. palmare darzustellen (Rapp, 1988). Trotzdem hat die klassische Methode der Röntgenbildherstellung in der Lahmheitsdiagnostik beim Pferd ihren sicheren Platz (Huskamp und Bekker, 1980). Die Röntgenuntersuchungen finden allerdings in der Praxis oft bei sehr einfachen Bedingungen statt, der Strahlenschutz wird vernachlässigt. Die Einhaltung der grundlegendsten Schutzmaßnahmen (Schutzkleidung, i.e. Bleischürzen, Handschuhe; Einblendung des Nutzstrahlenbündels, Reduktion der Streustrahlung usw.) ist zwingend erforderlich (Hartung et al., 1968; Hartung und Münzer, 1991). Vor jeder Röntgenuntersuchung müssen Schmutz und sonstige Ablagerungen von der zu untersuchenden Gliedmaße entfernt werden. Jede strahlenabsorbierende Substanz, wie z. B. metallhaltige Pasten, Einreibungen, Wundschorf, verhornte Narben usw., kann störende Schatten und Artefakte bedingen, Verbandsmaterialien sind ebenfalls zu entfernen (Johnson und Ackerman, 1975; Adams, 1980). Die Bewegung des Patienten läßt sich durch Sedation und mit zahlenmäßig adäquatem, gut instruiertem Hilfspersonal ausschalten. Die Notwendigkeit einer Sedierung kann entfallen, wenn die Tiere vom Hufbeschlager her mit der Manipulation an der Extremität vertraut sind (Ueltschi, 1982). Wintzer (1977) empfiehlt zur röntgenologischen Darstellung der Zehenknochen (Huf-, Kron-, Strahl- und

Zusammenfassung

Die klassische Röntgenuntersuchung hat in der Pferdeorthopädie ihren sicheren Platz. Das erstellte Röntgenbild kann jedoch nur dann ein echtes Hilfsmittel darstellen, wenn bestimmte Gütekriterien erfüllt werden. Ein in Österreich entwickeltes und patentiertes Testphantom (AT 394 654 B) gestattet auf einfache Weise, den Gesamtprozeß der Bilderzeugung zu kontrollieren. Dieses Testphantom (Grundmodell) besteht aus röntgenologisch Hartgewebe ähnlichem Kunststoff, Grundmaße 240 mm × 30 mm, ist gestaltet in Form eines Treppenkeils mit einer definierten Stufenzahl (Stufe 1 (Höhe: 1,30 mm) bis Stufe 16 (Höhe: 20,25 mm)) und weist zusätzlich auf der Unterseite Bohrungen auf (Durchmesser 0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 0,9 mm und 1,1 mm; Tiefe 1 mm). Durch eine Art „Kalibrierung“ (Vermessung eines anatomischen Präparats) wird eine bestimmte Zahl von Stufen als diagnoserelevant bestimmt. Bei gleichzeitiger Darstellung mit der zu untersuchenden Körperregion sind auf diesen Stufen Schwärzungen, Schwärzungsumfang und Schwärzungsdifferenzen (= Kontrast) densitometrisch meßbar; die Korrelation von Kontrast und Detailerkennbarkeit ermöglicht, durch Eintragung der Detailerkennbarkeit in eine Graphik (Nomogramm) die Bildgüte zu beurteilen – ohne Meßaufwand und ohne zusätzliche Meßgeräte.

Bis dato genügte für den Einsatz beim Kleintier das ursprüngliche Grundmodell („Keil 1“). Für den Einsatz beim Pferd war eine bauliche Umgestaltung (Fortsetzung des Grundmodells als „Keil 2“, Ausgestaltung der Beschichtung mit weichgewebeäquivalentem Material) und eine entsprechende Kalibrierung mit Erstellung des Nomogramms zur Beurteilung der Bildgüte erforderlich. Dies wurde in der gegenständlichen Arbeit durchgeführt. Mit dem letztlich erstellten Nomogramm ist die Beurteilung der Bildgüte bei Röntgenuntersuchungen der Pferdeextremität möglich. Das beschriebene Testphantom ist insbesondere zur periodischen Kontrolle des gesamten Abbildungssystems empfohlen; die Erstellung von Belichtungstabellen (in Abhängigkeit vom verwendeten photographischen Material) wird möglich, bei standardisierter Belichtung ergibt sich die Kontrolle der Bildausarbeitung (Zustand des Entwicklers usw.). Die Klassifizierung des erstellten Röntgenbildes als „zu hell“ bzw. „zu dunkel“ weist auf entsprechende Fehler hin.

A testphantom for quality insurance in radiographic diagnosis of lameness in horses

In 1986 W. C. Röntgen discovered X-rays, in the same year the first X-ray picture of a horse's leg was made. Although rapid development in diagnostic imaging, the classical radiograph still has his certain place in the diagnosis of lameness in horses. To guarantee the optimal radiographic quality, a testphantom has been developed and is now patented in Austria. It consists of tissue – similar material, is built as a stepwedge and additionally equipped with a contrast/detail-visibility test. Before use, the testphantom is calibrated; being small-sized it can be represented on the radiograph together with the object. Following important parameters can be checked: 1) the different radiographic densities; 2) the latitude; 3) the radiographic contrast; 4) the radiographic detail visibility in the diagnostic relevant parts. The estimation of image quality is simply done without measurement, just with a schedule or a graphic (nomogram). Till now, this phantom was only „calibrated“ for use in small animals. In this publication, the adaption for using it in radiological diagnosis of lameness in horses is described. The testphantom allows the classification of the X-ray picture as whether „good“ or as „to bright, to dark“, caused by under- or overexposure or false darkroom-processing.

Fesselbein) und der durch diese Knochen gebildeten Gelenke (Huf-, Kron-, Fesselgelenk) das Standardverfahren mit Projektionsrichtungen aus zwei Ebenen (dorso-palmar, <-plantar); latero-medial). Für die aus diesen Projektionsein-

richtungen gewonnenen Röntgenbilder sollte sich der Untersucher die normalanatomische Struktur einprägen, insbesondere den genauen Verlauf der Begrenzungslinien der einzelnen Knochen und der Gelenkspalten. Nur unter dieser Bedingung sind auch pathologische Veränderungen erkennbar. Ist mit den Standard-Projektionsrichtungen keine Fraktur oder Fissur nachweisbar, müssen zusätzliche Röntgenbilder in anderen Projektionsebenen (tangential, i. B. bei Strahlbeinuntersuchungen) angefertigt werden (Hartung, 1979; Keller, 1972; Ueltschi, 1983). Für die röntgenologische Darstellung des Strahlbeins empfiehlt sich nach gründlicher Reinigung der Hufsohle (eventuell ausschneiden) die Ausfüllung der Strahlfurchen mit einer der Strahlendichte des Hufhorns entsprechenden Paste, z. B. Schmierseife (Wintzer, 1970; Hertsch und Zeller 1977; Geres und Köppl, 1983).

Die korrekte Lagerung der Pferdeextremität ist stets zu beachten. Unsachgemäße Lagerung kann ein asymmetrisches Erscheinungsbild – z. B. des Gelenkspaltes – zur Folge haben und damit zu einer falschen Diagnose von primären oder sekundären Gelenkerkrankungen führen, Veränderungen im Gelenkbereich können unerkant bleiben. Die Oberfläche der Zehenknochen ist nicht allseitig glatt, sondern weist zahlreiche Erhebungen und Vertiefungen, Höcker, Leisten und Gruben als Ansatzstelle für Bänder und Gelenkkapseln auf. Während das Fessel- und Kronbein eine solide Substantia compacta besitzen, ist die Substantia compacta am Hufbein in gleicher Qualität und Quantität nur im Gebiet der Hufbeinkappe vorhanden. Die übrigen Gebiete der Hufbeinwand sind von Gefäßlöchern und Kanälen durchzogen, so daß diese Oberfläche einem radiär verlaufenden lamellären Bau ähnelt. Alle diese anatomischen Gegebenheiten stellen sich auch im Röntgenbild dar. Die an den Phalangen vorhandenen physiologischen Wachstumszonen, die sogenannten Epiphysenfugen eines jungen Pferdes, sind, ehe sie geschlossen sind, röntgenologisch nachweisbar und im Erscheinungsbild einem Gelenkspalt ähnlich.

Röntgenologisch nachweisbare pathologische Veränderungen sind u. a. Zusammenhangstrennungen des Knochens, d. h. Fissuren und Frakturen. Bei Fissuren kann die Rißlinie nur dann dargestellt werden, wenn der Zentralstrahl genau in den Verlauf der Fissurebene fällt. Frakturen sind im Röntgenbild immer dann deutlich erkennbar, wenn die Fragmente auseinanderklaffen, wobei die Lücke durch kalkloses Weichgewebe, Blut und Wundsekret ausgefüllt ist. Die Feststellung eines Kallus ist für die Beurteilung der Krankheitsdauer, des weiteren Verlaufs und für die Behandlung wichtig. Auf harten, kontraststarken Röntgenbildern ist jedoch kein frischer periostaler Kallus erkennbar; auf weichen, kontrastschwächeren Röntgenbildern kann man dieses Kallusgewebe schon ab der 3. Woche in Form von wolkigen Kalkablagerungen erkennen (Keller, 1972). Durch die Röntgenuntersuchung soll aber nicht nur das Vorhandensein einer Zusammenhangstrennung im Knochen nachgewiesen oder ausgeschlossen werden, sondern es muß auch eine Reihe anderer Fragen beantwortet werden; z. B. betreffend die Anzahl der Fragmente und den

Grad der Dislokation; die Beschaffenheit des Knochens und das Alter der Veränderungen usw. (Hartung, 1979).

Weitere röntgenologisch nachweisbare pathologische Veränderungen sind: entzündlich bedingte, akute oder chronische Krankheitserscheinungen mit Knochenzubildung durch Reaktion des Periosts oder als Umbauherde in den einzelnen Knochenschichten auftretend; Folgen eines degenerativen Krankheitsgeschehens, besonders in den Gelenkspalten und in unmittelbarer Nachbarschaft der Gelenkflächen; Veränderungen der Gesamtstruktur (Stoffwechselerkrankungen) des Knochens (Wintzer, 1977). Die Wahrnehmbarkeit röntgenologisch nachweisbarer Veränderungen am Strahlbein ist nach Ueltschi, (1983) nur bei entsprechender Bildgüte möglich. Der dokumentative Nachweis einer Hufknorpelverknöcherung im Röntgenbild ist bekannt. Die Röntgenuntersuchung des Hufes ist indiziert bei Verletzungen der Hornkapsel mit Fremdkörpern wie Nageltritte und Nagelstiche (Ueltschi, 1991). Zu klären ist hierbei, ob tiefere Strukturen wie die Bursa podotrochlearis oder das Hufgelenk eröffnet wurden. Der Stichkanal kann durch Einlegen einer Sonde oder mit Kontrastmittel dargestellt werden. Die Darstellung von Fremdkörpern aus Holz ist nicht mit Sicherheit möglich. Infektionen im Huf können nur unter bestimmten Bedingungen röntgenologisch nachgewiesen werden; ein Hufabszeß ohne Einschmelzung von Knochen ergibt keinen Röntgenbefund. Liegen somit unklare, mit anderen Methoden nicht nachweisbare Lahmheiten vor, ist die szintigraphische Untersuchung des Hufes indiziert. Hier wird der Knochenstoffwechsel durch Inkorporation von Gammastrahlen emittierenden Verbindungen markiert und mit externen Detektoren aufgezeichnet. Als Tracer werden organische Phosphatverbindungen, radioaktiv markiert mit Tc-99m, benutzt. Die Verteilung wird sofort nach der Injektion sowie 2 bis 3 Stunden später mit der Gamma-Kamera und einem nuklearmedizinischen Rechner erfaßt (Ueltschi, 1987). Die Poolphase zeigt die frühe Verteilung des Radiopharmakons. Die Verbindung befindet sich zu diesem Zeitpunkt teils im Gefäßsystem, teils im extrazellulären Raum und ist im Zielgewebe, im Knochen, noch nicht metabolisiert worden. Zustände mit starker Hyperämie führen zu einer abnormen Verteilung im Poolbild. In der Spätphase wird die eigentliche Knochenaktivität dargestellt. Beide Phasen erlauben, verschiedene Erkrankungen zu differenzieren: Frakturen, pedal osteitis (= die unregelmäßige, zackige Ausbildung des Hufbeinrandes), Infektionen, Entzündungen wie Pododermatitis bewirken eine Anreicherung der knochengängigen Substanz ebenso wie andere Affektionen: Podotrochlose, subchondrale Knochenzysten und Insertionstendopathien.

Problemstellung

Die Röntgendiagnostik kann als echtes Hilfsmittel nur dann sinnvoll in den Untersuchungsgang eingebaut werden, wenn das erstellte Röntgenbild bestimmte Gütekriterien erfüllt. Unabhängig davon, ob die Röntgenuntersuchung in der Außenpraxis oder in einem Röntgeninstitut

angefertigt wird, bleiben die Forderungen immer gleich: optimaler Kontrast, optimale Schärfe und optimale Detailerkennbarkeit (Ueltschi, 1982). Die Arbeitsweise des Untersuchers, das Abbildungssystem (Kassette, Filmfoliensystem, Dunkelraum, Bildausarbeitung usw.) und das strahlenerzeugende System bestimmen die Güte des Röntgenbildes.

Ein Beitrag zur bisher vernachlässigten Sicherung der Bildgüte (Hofmann-Parisot, 1993) in der Veterinärmedizin war die Entwicklung eines Testphantoms (Patentschrift AT 395 654 B); es simuliert aufgrund seiner baulichen Gestaltung (Treppe mit definierter Stufenzahl und Kontrast-/Detailtest) und aufgrund der Beschaffenheit (aus röntgenologisch gewebeähnlichem Material) die zu untersuchende Körperregion; bei gleichzeitiger Darstellung mit dem Objekt ermöglicht es eine Kontrolle des gesamten bilderzeugenden Systems samt seiner Anwendung durch Erfassung der bildbestimmenden Parameter (Schwärzungen, Schwärzungsumfang und -differenzen < Kontrast >, Detailerkennbarkeit). Die Korrelation von Kontrast und Detailerkennbarkeit ermöglicht die Beurteilung der Bildgüte ohne Meßaufwand und ohne zusätzliche Meßgeräte, lediglich durch Eintragung der Detailerkennbarkeit in eine Graphik (Nomogramm).

Bis dato war das Testphantom für den Einsatz beim Kleintier konzipiert, für den Einsatz bei Röntgenuntersuchungen des Pferdes sind eine bauliche Umgestaltung und eine „Kalibrierung“ mit Erstellung des entsprechenden Nomogramms erforderlich.

Material und Methodik

Grundlagen: Methoden der Beurteilung der Bildgüte

Zur Beurteilung der Bildgüte stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (Frommhold et al., 1979): Bei der subjektiven Methodik werden die unter verschiedenen Bedingungen oder nach verschiedenen Verfahren hergestellten Röntgenbilder visuell miteinander verglichen und in bezug auf ihre Bildgüte in eine Reihe geordnet. Da zur Bewertung kein allgemeingültiges Kriterium existiert, wird in der Regel als Kriterium der diagnostische Wert genommen: die Frequenz der Erkennbarkeit anatomischer oder pathologischer Veränderungen des Objektes auf den Vergleichsbildern. Bei dieser Methode sind sowohl die Betrachtungsbedingungen (Schaukastenleuchtdichte, Blendung usw.) als auch die Eigenschaften (Aufmerksamkeit, Sorgfalt, Erfahrung) und visuellen Fähigkeiten des Betrachters wesentlich

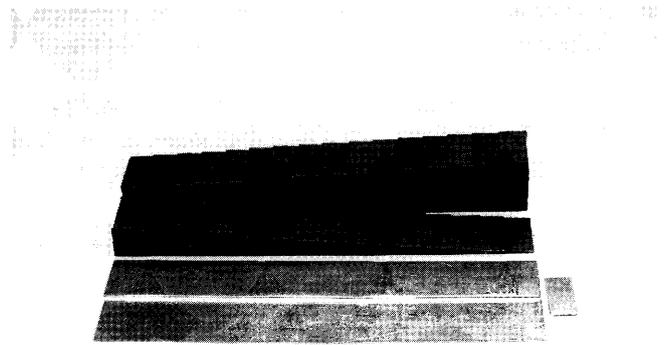


Abb. 1: Testphantom: 2 Treppenkeile, „Keil 1“ mit den Stufen 1–16 (Höhe 1,30 mm bis 20,25 mm), „Keil 2“ mit den Stufen 17–32 (Höhe 20,40 mm bis 40,00 mm), ebenso sind die verwendbaren Metallplatten sichtbar.

mitentscheidend, daher können zuverlässige und reproduzierbare Aussagen nur auf statistischem Wege gewonnen werden.

Die objektive Methodik hat insbesondere für die Bewertung von bilderzeugenden Systemen mit mehreren Übertragungsstufen und für die passende Wahl der Eigenschaften der einzelnen Glieder des Systems Bedeutung. Hier werden exakt definierte Parameter (z.B. mittlere o.D. (= Schwärzung), Schwärzungsdifferenzen, -umfang) gemessen. Dadurch erhält man genaue und jederzeit reproduzierbare Ergebnisse. Die Beurteilung durch den Betrachter wird völlig ausgeschaltet.

Bei der (halbsubjektiven)/halbobjektiven Methodik werden zur Bewertung des Bildes physikalisch exakt definierte Testobjekte (z.B. Kontrast-/Detailtest) verwendet. Die davon hergestellten Röntgenbilder werden visuell geprüft, die Erkennbarkeit der verschiedenen Details wird beurteilt. Auf diese Weise erhält man eine – allerdings vom gewählten Testobjekt abhängige – Meßzahl für die Detaildarstellbarkeit bzw. -erkennbarkeit.

Die DIN-Norm 6868/Teil 1 gibt für die Humanmedizin verschiedene Prüfmethode (Konstanz-, Zustands-, Abnahmeprüfung) vor, sie prüfen das gesamte bilderzeugende System mit seinen Komponenten, dem strahlenerzeugenden System (Röntgeneinrichtung) und dem mehrstufigen Abbildungssystem (z.B. Kassette, Film, Folie, Bildverarbeitung, Dunkelraum usw.). Damit kann geprüft werden, ob

Tab. 1: Röntengerät ELINAX, Einpulsgenerator, Belichtungsdaten

		Röhrenstrom 20 mA					
		0,08 s 1,6 mAs	0,10 s 2,0 mAs	0,12 s 2,4 mAs	0,14 s 2,8 mAs	0,16 s 3,2 mAs	0,18 s 3,6 mAs
Röhrenspannung (kV)	86		2, 13	4, 15	6, 17	8, 19	10, 21
	92	1, 12	3, 14	5, 16	7, 18	9, 20	11, 22

1–11: Bilder der Serie I; 12–22 = Bilder der Serie II.
Sämtliche Bilder wurden in der Dunkelkammer, manuell, lege artis ausgearbeitet.

die Ausrüstung den Anforderungen an maximale Bildqualität entspricht und gleichzeitig die Strahlenexposition des Patienten minimiert wird. Die Anwendung der Norm trägt zum fehlerfreien und rationellen Betrieb einer radiologischen Abteilung bei. Der Durchführung der einzelnen Prüfungen muß eine Kontrolle der Bildverarbeitung nach DIN-Norm 6868/Teil 2 und 3 zugrunde liegen.

Das Testphantom (Grundmodell) gemäß Patentschrift AT 394 654 B

Das vom Institut für Medizinische Physik entwickelte Testphantom (Parisot, 1988, 1989 und 1992) vermag bestimmte Skelettregionen zu simulieren; es besteht aus radiologisch gewebeähnlichem Material (Kunststoff (PVC)) und ist als Treppenkeil aufgebaut, zusammengesetzt aus 16 Platten (1 mm dünn, $\pm 0,3$ mm). Die Grundplatte besitzt die Maße 240×30 mm und enthält linear angeordnete, sich in einem Abstand von 15 mm jeweils wiederholende, durchgehende Bohrungen, Durchmesser (\varnothing) 0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 0,9 mm und 1,1 mm (Tiefe 1 mm). Auf diese Grundplatte sind 15 gleich breite, jedoch um je 15 mm kürzere Plättchen gelegt. Damit ergeben sich 16 Stufen mit einem Flächenmaß von je 15×30 mm (Höhe 1,00 mm (= Stufe 1) bis 20,00 mm (= Stufe 16)), sie entsprechen unterschiedlich dünnen Hartgewebebezirken von etwa 1,00 mm bis etwa 20,00 mm. Eine zusätzliche Beschichtung mit weichgewebeäquivalentem Material kann erfolgen.

Diese Treppe wird simultan mit der zu untersuchenden Körperregion am Röntgenbild dargestellt und gestattet nach entsprechender Kalibrierung die sofortige Beurteilung der Bildgüte. „Kalibrierung“ ist eine Vermessung zwischen dem jeweiligen Objekt und der Treppe, ein entsprechender

Stufenbereich bzw. eine entsprechende Zahl von Stufen wird als diagnoserelevanter Abschnitt festgelegt. Das optimale Röntgenbild wird durch die bildbestimmenden Parameter definiert: Alle im diagnoserelevanten Abschnitt gemessenen Schwärzungen (opt. Dichte, o. D.) müssen im diagnostisch nutzbaren Bereich $0,26 \leq \text{o. D.} \leq 2,00 (\pm 20 \text{ Prozent})$ liegen; ein Abweichen der o. D. im diagnoserelevanten Abschnitt um mehr als ± 20 Prozent reduziert die diagnostische Treffsicherheit (Stender, 1985; Stieve, 1986). Schwärzungen $> 2,00$ sind bei den üblicherweise verwendeten Schaukästen nicht mehr differenzierbar (Frommhold, et al., 1979). Füllen die Schwärzungen den diagnostisch nutzbaren Bereich aus, so ist damit ein Schwärzungsumfang von $\Delta \text{o. D. } 1,80$ gegeben. Die größte Zahl an gleichzeitig in einem Röntgenbild erfassbaren Schwärzungsdifferenzen sind 30 Kontraststufen, wobei der kleinste noch optimal wahrnehmbare Kontrastunterschied o. D. 0,06 beträgt. Diese densitometrisch erfassbaren Werte korrelieren mit der Detailerkennbarkeit; somit läßt sich von der Detailerkennbarkeit auf die Güte des Bildes schließen. Beurteilungskriterium ist, bis zu welcher Stufennummer (= obere Grenze der Erkennbarkeit) die Abbildung der Bohrlöcher sichtbar ist. Zur Auswertung der Bildgüte dient eine Graphik (Nomogramm). Die Detailerkennbarkeit in einem bestimmten Normbereich läßt das Bild als „gut“ klassifizieren. Bilder, densitometrisch knapp unter oder über den für ein gutes Röntgenbild gültigen Werten, können aufgrund der Detailerkennbarkeit gerade noch in den Normbereich fallen. Die Bewertung dieser Bilder als Grenzfälle mit gerade noch „gut“ ist akzeptabel. Sollte nur eine oder keine der beiden Bohrungen davon in den Normbereich fallen, ist das Bild zu verwerfen, es sollte nicht befundet werden. Damit wird – ohne zusätzliche Meßgeräte und Meßaufwand – die Bildgüte beurteilt (Parisot, 1988, 1989 und 1992).

Ergebnisse der Densitometrie

Tab. 2a

	Testphantom: Stufenkeil mit Metallplatte		
	1	Stufe 22	25
Bild 1	1,33	0,25	0,23
Bild 2	1,50	0,26	0,25
Bild 3	1,54	0,29	0,26
Bild 4	1,62	0,28	0,26
Bild 5	1,75	0,30	0,28
Bild 6	1,90	0,34	0,31
Bild 7	1,98	0,35	0,31
Bild 8	2,00	0,36	0,32
Bild 9	2,05	0,37	0,33
Bild 10	2,11	0,44	0,36
Bild 11	2,21	0,42	0,34

Tab. 2b:

	Testphantom: Stufenkeil mit Metallplatte*		
	1	Stufe 22	25
Bild 12	1,35	0,42	0,34
Bild 13	1,45	0,39	0,34
Bild 14	1,57	0,50	0,40
Bild 15	1,63	0,50	0,40
Bild 16	1,78	0,56	0,45
Bild 17	1,92	0,60	0,46
Bild 18	1,95	0,69	0,55
Bild 19	2,00	0,70	0,52
Bild 20	2,04	0,75	0,59
Bild 21	2,06	0,77	0,62
Bild 22	2,20	0,97	0,77

* Stufe 1 mit, Stufe 2–32 ohne Metallplatte.

Die angegebenen Zahlen sind die auf den einzelnen Stufen vom Densitometer angezeigten Meßwerte für die optische Dichte.

Tab. 3a: Vergleich der Beurteilungsmöglichkeiten/Röntgenbilder Serie I

Bildnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
subjektiv: -/schlecht +/gut		-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
TESTPHANTOM	objektiv/Densitometrie Stufe 1	1,33	1,50	1,54	1,62	1,75	1,90	1,98	2,00	2,05	2,11	2,21
	objektiv/Densitometrie Stufe 22	0,25	0,26	0,29	0,28	0,30	0,34	0,35	0,36	0,37	0,44	0,42
	objektiv/Densitometrie Stufe 25	0,23	0,25	0,26	0,26	0,28	0,31	0,31	0,32	0,33	0,36	0,34
	Bohrung 0,5 mm *) sichtbar bis Stufe:	10	12	13	12	14	16	16	14	18	19	17
	Bohrung 0,7 mm *) sichtbar bis Stufe:	14	16	16	16	16	17	18	18	21	21	22

*) die (halbsubjektive)/halbobjektive Beurteilung der Detailerkennbarkeit beruht auf den Angaben einer Testperson.

□ die eingerahmten Felder zeigen die in den einzelnen Beurteilungsverfahren als gut bewerteten Bilder.

Adaptierung des Testphantoms für die Beurteilung, der Güte eines Röntgenbildes der Pferdezehe

Um eine Pferdeextremität durch das beschriebene Testphantom simulieren zu können, waren entsprechende Veränderungen erforderlich. Für den ursprünglichen Treppenkeil, in weiterer Folge als „1. Keil“ bezeichnet, wurde – den anatomischen Verhältnissen angepaßt – eine Fortsetzung (aus gleichem Material) geplant: bestehend aus einem Block, Maße 240 × 30 × 19,5 mm und 16 Platten mit der Dicke 1 ± 0,3 mm. Die Grundplatte liegt unter dem Block, besitzt die Maße 240 × 30 mm und enthält linear angeordnete, durchgehende, sich in einem Abstand von 15 mm jeweils wiederholende Bohrungen (∅ 0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 0,9 mm und 1,1 mm (Tiefe 1 mm)). Über die Grundplatte und den Block wurden die restlichen 15 gleich breiten, jedoch um jeweils 15 mm kürzeren Platten gelegt. Das Ergebnis war ein Treppenkeil mit 16 Stufen und dem Flächenmaß von je 15 × 30 mm; die Dicken der Stufen sind:

1. (= 17.) Stufe: 20,24 mm

2. (= 18.) Stufe: 21,65 mm

3. (= 19.) Stufe: 22,75 mm

4. (= 20.) Stufe: 24,00 mm

5. (= 21.) Stufe: 25,25 mm

6. (= 22.) Stufe: 26,55 mm

7. (= 23.) Stufe: 27,90 mm

8. (= 24.) Stufe: 29,20 mm

9. (= 25.) Stufe: 30,55 mm

10. (= 26.) Stufe: 31,90 mm

11. (= 27.) Stufe: 33,25 mm

12. (= 28.) Stufe: 34,60 mm

13. (= 29.) Stufe: 35,95 mm

14. (= 30.) Stufe: 37,30 mm

15. (= 31.) Stufe: 38,65 mm

16. (= 32.) Stufe: 40,00 mm

Bei diesem „2. Keil“ wurde die Stufe 1 als Stufe 17 bezeichnet und in weiterer Folge Stufe 2 als Stufe 18 usw.; Stufe 16 wird zu Stufe 32. Die einzelnen Stufen entsprechen Hartgewebsbezirken mit einer Dicke von etwa 20,00 mm bis 40,00 mm.

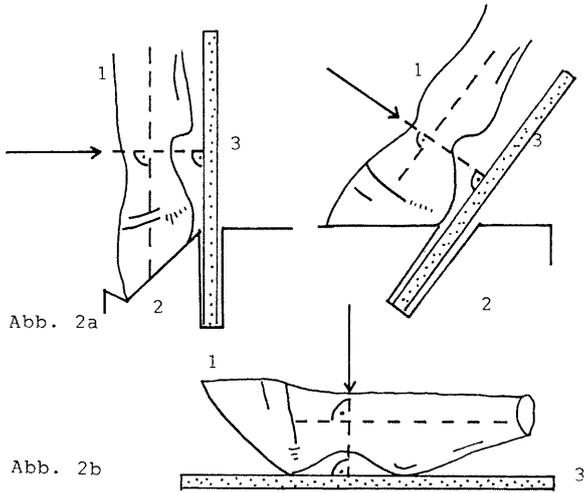
Zur Simulation der radiologisch nicht differenzierbaren Strukturen des Weichgewebes wurde eine 1-mm-

Tab. 3b: Vergleich der Beurteilungsmöglichkeiten/Röntgenbilder Serie II

Bildnummer		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
subjektiv: -/schlecht +/gut		-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
TESTPHANTOM	objektiv/Densitometrie Stufe 1	1,35	1,45	1,57	1,63	1,78	1,92	1,95	2,00	2,04	2,06	2,20
	objektiv/Densitometrie Stufe 22	0,42	0,39	0,50	0,50	0,56	0,60	0,69	0,70	0,75	0,77	0,97
	objektiv/Densitometrie Stufe 25	0,34	0,34	0,40	0,40	0,45	0,46	0,55	0,52	0,59	0,62	0,77
	Bohrung 0,5 mm *) sichtbar bis Stufe:	17	20	22	23	23	24	24	25	25	26	28
	Bohrung 0,7 mm *) sichtbar bis Stufe:	21	22	25	25	26	26	26	28	28	27	29

*) die (halbsubjektive)/halbobjektive Beurteilung der Detailerkennbarkeit beruht auf den Angaben einer Testperson.

□ die eingerahmten Felder zeigen die in den einzelnen Beurteilungsverfahren als gut bewerteten Bilder.



- 1 ... Pferdeextremität
- 2 ... Holzblock
- 3 ... Kassette mit Film/ Folie

Abb. 2 a: Positionierung der Pferdezehe für die Röntgenuntersuchung in der Praxis. Der Zentralstrahl bildet mit der Achse des Fußes einen rechten Winkel, der Fuß ist gestreckt auf einen Holzblock gestellt.

Abb. 2 b: Platzierung des anatomischen Präparates „Pferdezehe“ auf eine horizontal liegende Röntgenkassette; die geforderte Projektionsrichtung wurde beibehalten.

Weißblechplatte gewählt (= zeigt annähernd gleiche Absorptions- und Streuungseigenschaften und damit gleiche o. D. am Röntgenbild wie etwa 50 mm durchstrahltes Weichgewebe). Um das Testphantom letztlich für den praxisgerechten Einsatz möglichst einfach und unkompliziert gestalten zu können, wurden 2 Möglichkeiten in Erwägung gezogen: entweder eine gänzliche Unterschichtung der beiden Keile durch je eine Weißblechplatte (Maße 240 × 30 × 1 mm) oder eine Überschichtung der Stufe 1 (Stufe 2–32 nicht) mit einem Metallplättchen (Maße 15 × 30 × 1 mm). Ein Zusammenkleben von Treppenkeil und Metallplatte/-plättchen wurde vermieden, da Luft einschließen im Klebematerial und/oder verklebte Bohrlöcher befürchtet wurden (Abb. 1).

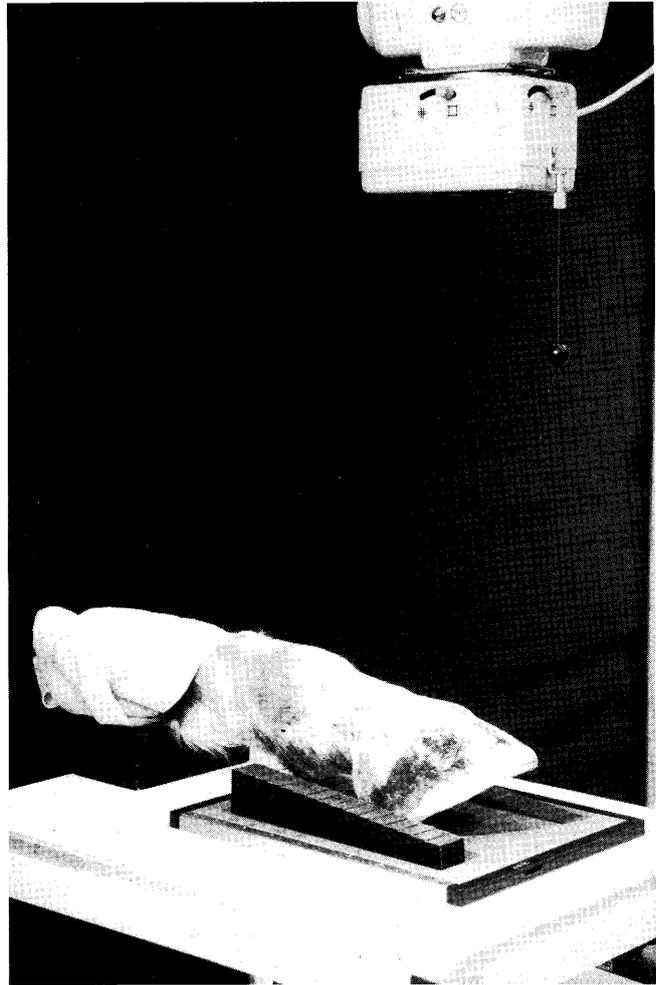


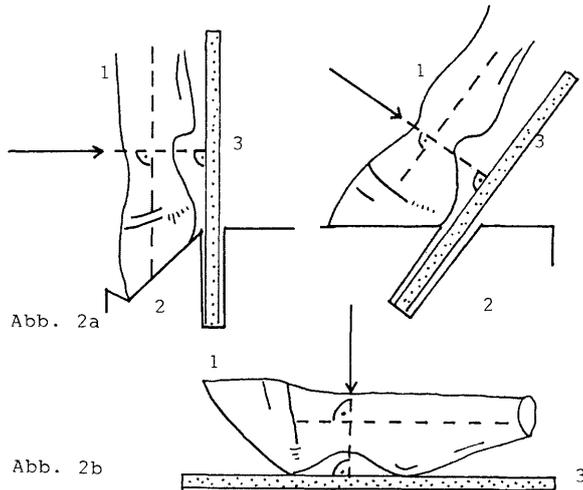
Abb. 2 c: Das neben der Pferdezehe plazierte Testphantom.

Das Objekt Pferdezehe – der Bezug zwischen Testphantom und Pferdezehe

Für die folgenden Versuche wurde als Objekt (der Haltbarkeit wegen) die tiefgefrorene Zehe eines verendeten mittelgewichtigen Warmblutpferdes gewählt. Die Schichtdicke der im dorso-palmaren Strahlengang durchstrahlten Gewebe wurde durch Vermessung am Röntgenbild ermit-

Tab. 4: Beurteilung der Röntgenbildgüte mittels des Testphantoms: mögliche Fehlerquellen bei der Röntgenuntersuchung

Testphantom	Fehlerquelle	Behebung
Nomogramm zeigt an: Bild „zu hell“	Unterbelichtung: Belichtungsdaten zu niedrig, Focus/Film-Abstand zu groß; Unterentwicklung: zu kurz oder zu kalt entwickelt; Entwicklerlösung falsch angesetzt (Konzentration zu niedrig) Entwickler alt, zeigt Verlust an Reaktivität (Braunfärbung!)	kV, mA, s bzw. mAs-Produkt steigern, Focus/Film-Abstand korrigieren Entwicklung: Zeit- und Temperaturkontrolle! (Richtwerte beachten!) Entwicklerlösung richtig ansetzen – gemäß der Gebrauchsempfehlung der Herstellerfirmen Entwickler erneuern! Wechsel!
Nomogramm zeigt an: Bild „zu dunkel“	Überbelichtung: Belichtungsdaten zu hoch, Focus/Film-Abstand zu klein; Überentwicklung: zu lang oder zu warm entwickelt; Entwicklerlösung falsch angesetzt (Konzentration zu hoch)	kV, mA, s bzw. mAs-Produkt senken Focus/Film-Abstand korrigieren Entwicklung: Zeit- und Temperaturkontrolle! (Richtwerte beachten!) Entwicklerlösung richtig ansetzen – gemäß der Gebrauchsempfehlung der Herstellerfirmen



- 1 ... Pferdeextremität
- 2 ... Holzblock
- 3 ... Kassette mit Film/ Folie

Abb. 2 a: Positionierung der Pferdezehe für die Röntgenuntersuchung in der Praxis. Der Zentralstrahl bildet mit der Achse des Fußes einen rechten Winkel, der Fuß ist gestreckt auf einen Holzblock gestellt.

Abb. 2 b: Platzierung des anatomischen Präparates „Pferdezehe“ auf eine horizontal liegende Röntgenkassette; die geforderte Projektionsrichtung wurde beibehalten.

Weißblechplatte gewählt (= zeigt annähernd gleiche Absorptions- und Streuungseigenschaften und damit gleiche o. D. am Röntgenbild wie etwa 50 mm durchstrahltes Weichgewebe). Um das Testphantom letztlich für den praxisgerechten Einsatz möglichst einfach und unkompliziert gestalten zu können, wurden 2 Möglichkeiten in Erwägung gezogen: entweder eine gänzliche Unterschichtung der beiden Keile durch je eine Weißblechplatte (Maße 240 × 30 × 1 mm) oder eine Überschichtung der Stufe 1 (Stufe 2–32 nicht) mit einem Metallplättchen (Maße 15 × 30 × 1 mm). Ein Zusammenkleben von Treppenkeil und Metallplatte/-plättchen wurde vermieden, da Luft einschließen im Klebematerial und/oder verklebte Bohrlöcher befürchtet wurden (Abb. 1).

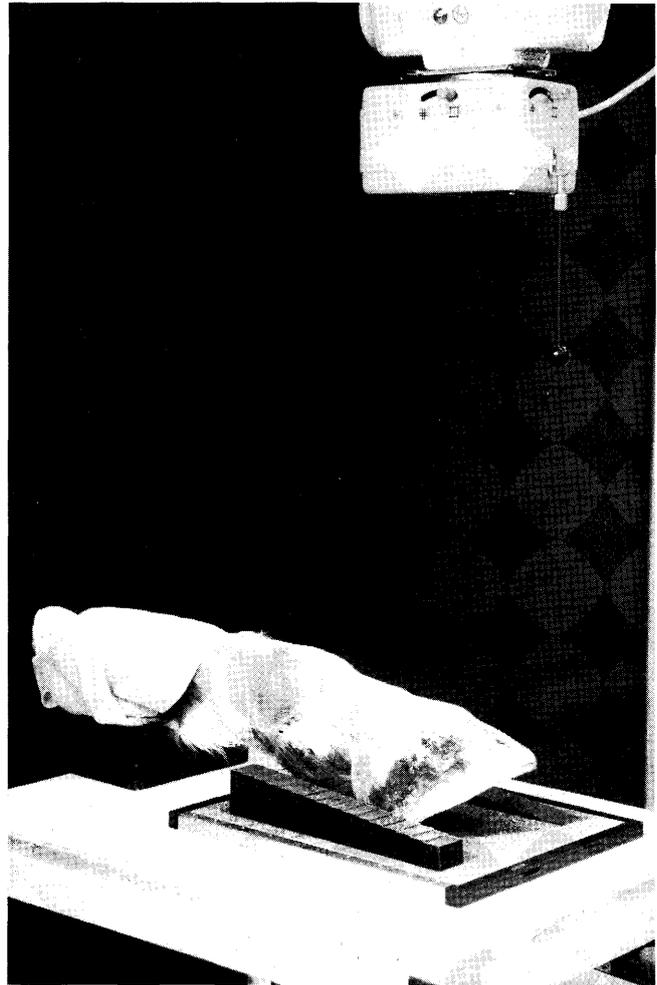


Abb. 2 c: Das neben der Pferdezehe plazierte Testphantom.

Das Objekt Pferdezehe – der Bezug zwischen Testphantom und Pferdezehe

Für die folgenden Versuche wurde als Objekt (der Haltbarkeit wegen) die tiefgefrorene Zehe eines verendeten mittelgewichtigen Warmblutpferdes gewählt. Die Schichtdicke der im dorso-palmaren Strahlengang durchstrahlten Gewebe wurde durch Vermessung am Röntgenbild ermit-

Tab. 4: Beurteilung der Röntgenbildgüte mittels des Testphantoms: mögliche Fehlerquellen bei der Röntgenuntersuchung

Testphantom	Fehlerquelle	Behebung
Nomogramm zeigt an: Bild „zu hell“	Unterbelichtung: Belichtungsdaten zu nieder, Focus/Film-Abstand zu groß; Unterentwicklung: zu kurz oder zu kalt entwickelt; Entwicklerlösung falsch angesetzt (Konzentration zu nieder) Entwickler alt, zeigt Verlust an Reaktivität (Braunfärbung!)	kV, mA, s bzw. mAs-Produkt steigern, Focus/Film-Abstand korrigieren Entwicklung: Zeit- und Temperaturkontrolle! (Richtwerte beachten!) Entwicklerlösung richtig ansetzen – gemäß der Gebrauchsempfehlung der Herstellerfirmen Entwickler erneuern! Wechsel!
Nomogramm zeigt an: Bild „zu dunkel“	Überbelichtung: Belichtungsdaten zu hoch, Focus/Film-Abstand zu klein; Überentwicklung: zu lang oder zu warm entwickelt; Entwicklerlösung falsch angesetzt (Konzentration zu hoch)	kV, mA, s bzw. mAs-Produkt senken Focus/Film-Abstand korrigieren Entwicklung: Zeit- und Temperaturkontrolle! (Richtwerte beachten!) Entwicklerlösung richtig ansetzen – gemäß der Gebrauchsempfehlung der Herstellerfirmen

telt (Maßstab 1 : 1, latero-lateraler Strahlengang; 15 Meßstellen/Hartgewebe; 5 Meßstellen/Weichgewebe). Die Vermessung von Hufbein, Kronbein samt Strahlbein und Fesselbein erfolgte entsprechend dem Strahlengang distal bzw. in der Mitte bzw. proximal. Die dünnste Hartgewebsschicht wurde mit 1 mm festgesetzt; aus der Summe der Meßwerte wurde die durchschnittliche Dicke ermittelt. Aus den Durchschnittswerten für Hufbein und Kronbein samt Strahlbein resultiert die durchschnittliche Dicke des innerhalb des Hornschuhs eingeschlossenen Hartgewebes: 26,72 mm; der Durchschnittswert für das Fesselbein ergibt die durchschnittliche Dicke des Hartgewebes außerhalb davon: 31,00 mm. Die Vermessung der Weichgewebsschicht ergab distal etwa 55 mm; proximal etwa 40 mm. Das Objekt „Pferdezehe“ wird in seiner Gesamtheit durch das Testphantom simuliert. Den Vermessungen des Hartgewebes zufolge ist der Abschnitt von der 1. Stufe (~1 mm) bis zur 22. Stufe (26,55 mm) bzw. bis zur 25. Stufe (30,55 mm) diagnoserelevant. Der Weichgewebean-

teil wird in etwa durch die Weißblechplatte (1 mm) simuliert.

Kalibrierung des Testphantoms durch Erstellung von Röntgenbildern

Das Objekt „Pferdezehe“ und das Testphantom wurden gemeinsam am Röntgenbild dargestellt. Der geforderten Projektionsrichtung zufolge (= in der Praxis: Der Zentralstrahl bildet mit der Achse der Zehe einen rechten Winkel, der Fuß ist gestreckt auf einen Holzblock gestellt, Abb. 2a) wurde das Objekt entsprechend auf eine horizontal liegende Röntgenkassette plaziert (Abb. 2b), links und rechts neben dem Objekt jeweils die beiden Teile des Testphantoms (Abb. 2c). Es wurden Röntgenbilder in 2 Serien erzeugt; bei Serie I waren Treppenkeil 1 (Stufe 1–16) und Treppenkeil 2 (Stufe 17–32) jeweils mit einer Metallplatte (15 × 240 × 1 mm) gänzlich unterschichtet, bei Serie II nur auf Stufe 1 mit einem Metallplättchen (15 × 30 × 1 mm) überschichtet. Stufe 2–32 blieben unbeschichtet. Alle weiteren Bedingungen waren gleich: Als Röntgenbild diente ein Einpulsgenerator, stationärer Apparat der Firma Elin, Typ Elinax (Röhrenspannung 38–90 kV; Röhrenstrom 20 mA; mechanische Zeitschaltuhr, Kurzzeitbereich 0–1,4s/Langzeitbereich 0–7s); als photographisches Material: Standard-/Röntgenfilm und -(=Regular-)folie; die Belichtungsdaten sind in Tabelle 1 angegeben. Der Fokus-Film-Abstand betrug 70 cm, Strahlengang: dorso-palmar, Strahlenfeld mittels Lichtvisier und Blenden auf das gerade erforderliche Maß begrenzt. Zur Ausarbeitung der Bilder wurden für den manuellen Gebrauch geeignete Produkte verwendet (Adefo, Bäderansatz, Temperatur, Entwicklungs- und Fixierzeit gemäß den Empfehlungen des Herstellers).

Die Auswertung der Bilder erfolgte am Schaukasten (Vaudaux, 220 V; 50 Hz ~; 6 Leuchtstoffröhren mit je 15 Watt; Betrachtungsfläche 43 × 70 cm; mit „Jalousien“). Beurteilt und erfaßt wurden:

1. subjektiv: die Abbildung der Pferdeextremität;
2. objektiv mit Hilfe des abgebildeten Testphantoms die densitometrisch erfassbaren bildbestimmenden Parameter: Schwärzungen, Schwärzungsdifferenzen (Kontrast) und Schwärzungsumfang;
3. halbsubjektiv/halboobjektiv mit Hilfe des abgebildeten Testphantoms: Die Detailerkennbarkeit mit anschließender statistischer Auswertung.

Ergebnisse

Subjektive Beurteilung der Röntgenbilder (Serie I und II) aufgrund der abgebildeten Pferdeextremität

Aus jeder Serie (Serie I und II) wurden 11 zueinander analoge (= mit gleichen Daten angefertigte) Bilder ausgewählt. Diese Bilder wurden von einem fachkundigen Betrachter (Klinik für Veterinär-röntgenologie, VMU Wien) durch Beteiligung der abgebildeten Pferdezehe nach den subjektiv empfundenen Kriterien „zu hell“, „gut“, „zu dunkel“ gereiht und als „Bilder 1–11“ (= aus Serie I) bzw. „Bilder 12–22“ (= aus Serie II) fortlaufend numeriert (Tab. 1). Das Ergebnis klassifizierte: Bild 1–3 bzw. Bild 12–14 als „zu

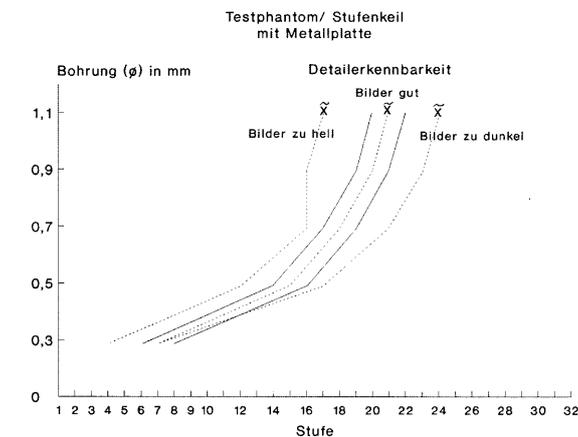


Abb. 3a

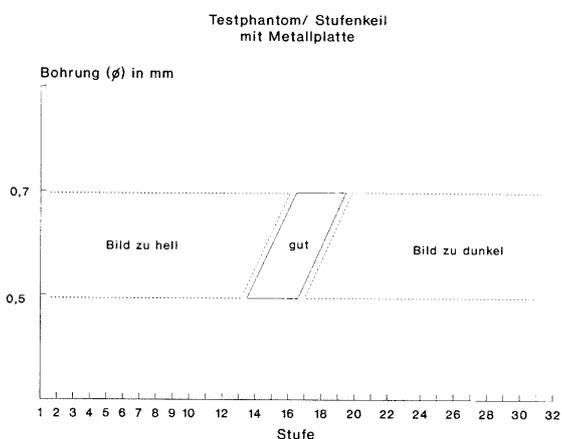


Abb. 4a

Abb. 3a und Abb. 4a: Röntgenbilder/Serie I: Abb. 3a stellt das Ergebnis der statistischen Auswertung der Detailerkennbarkeit dar. Der Medianwert \bar{x} gibt die mittlere Lage der Verteilung für „zu helle/gute/zu dunkle“ Bilder an. Als Normbereich für „gute“ Bilder wurde $\bar{x} \pm 1$ festgelegt. Daraus ergibt sich das in Abb. 4a gezeigte Nomogramm: Für die Bohrungen \varnothing 0,5 mm und 0,7 mm wird eingetragen, bis zu welcher Stufe eine Erkennbarkeit besteht. Dieses Nomogramm basiert auf der Verwendung des Stufenkeils mit Metallplatte.

hell“, Bild 4–8 bzw. 15–19 als „gut“, Bild 9–11 bzw. 20–22 als „zu dunkel“.

Objektive Beurteilung der Röntgenbilder / Serie I und II aufgrund des abgebildeten Testphantoms: durch Densitometrie

An den Bildern 1–11 (Serie I) und 12–22 (Serie II) folgte die objektive densitometrische Vermessung der abgebildeten Treppenkeile im diagnoserelevanten Stufenabschnitt. Für die Röntgenbilder/Serie I ergaben sich die Meßwerte aus Tabelle 2a. Im Bild 1–3 wird der optimal nutzbare Schwärzungsumfang nicht erfaßt. Die niedrigste Stufe (Stufe 1) zeigt als stärkste Schwärzung eine optische Dichte (o.D.) unter 1,60; im Bereich der höheren Stufen liegen die Schwärzungen nicht mehr im diagnostisch nutzbaren Bereich, so auf Stufe 22 und 25. Stufe 25 zeigt als schwächste Schwärzung bereits eine o.D. unter 0,26. Damit wird zum Bildaufbau teilweise auch die untere Krümmung der Schwärzungskurve des photographischen Materials benutzt. In diesem Bereich ist aber die Schwärzungsdifferenz (o.D., Kontrast) zu klein, um wahrgenommen werden zu können. Ergebnis: „zu hell“.

In Bild 4–8 zeigt die niedrigste Stufe (Stufe 1) mit der stärksten Schwärzung eine o.D. von etwa 1,60–2,00, damit tolerable Schwankungen um –20 Prozent vom Grenzwert (= o.D. 2,00). Die höchste der relevanten Stufen, Stufe 25, mit der schwächsten Schwärzung zeigt eine o.D. von 0,26–0,32, damit tolerable Schwankungen um +20 Prozent vom Grenzwert (= o.D. 0,26). Alle o.D. Werte der Stufen 1–25 sind im diagnostisch nutzbaren Bereich. Der erzielte Schwärzungsumfang Δ o.D. $\sim 1,80$ ist ausreichend, da das Auge nur 30 Kontraststufen mit einer Differenz von Δ o.D. 0,06 gleichzeitig wahrnehmen kann. Ergebnis: „gut“.

In Bild 9–11 wird der optimal nutzbare Schwärzungsumfang nicht erfaßt. Die höchsten Stufen (Stufe 22 und 25) zeigen als schwächste Schwärzung eine optische Dichte (o.D.) über 0,32; im Bereich der niedrigeren Stufen liegen die Schwärzungen nicht mehr im diagnostisch nutzbaren Bereich, so auf Stufe 1. Stufe 1 zeigt als stärkste Schwärzung bereits eine optische Dichte (o.D.) über 2,00. Damit wird zum Bildaufbau teilweise auch die obere Krümmung der Schwärzungskurve des photographischen Materials benutzt. In diesem Bereich ist aber eine Differenzierung der Schwärzung (Kontrastwahrnehmung) bei den herkömmlichen Schaukästen kaum möglich. Ergebnis: „zu dunkel“.

Für die Röntgenbilder/Serie II ergaben sich die Meßwerte aus Tabelle 2b. Der Vergleich der Meßwerte gestattet hier folgende Bewertung: In den Bildern 1–11 und 12–22 zeigt die Stufe 1 annähernd gleiche Densitometriewerte. Sonst sind in den Bildern 1–11 die Stufen 22/26 heller, in den Bildern 12–22 dunkler – wäre hier ebenfalls eine Beschichtung mit einer Metallplatte, wären die Meßwerte gleich und eine Auswertung der bildbestimmenden Parameter ergäbe:

(analog zu Bild 1–3): Bild 12–14 als „zu hell“;

(analog zu Bild 4–8): Bild 15–19 als „gut“;

(analog zu Bild 9–11): Bild 20–22 als „zu dunkel“.

Testphantom/ Stufenkeil
(Stufe 1 mit, Stufe 2–32
ohne Metallplatte)

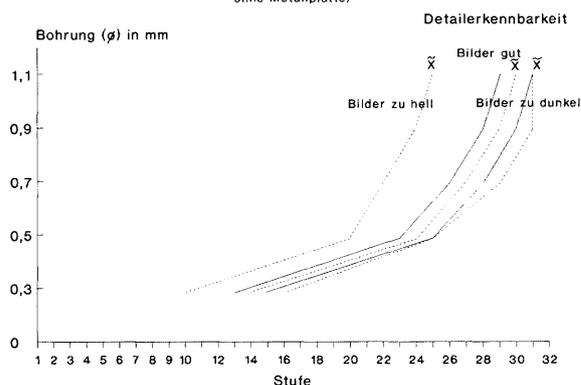


Abb. 3b

Testphantom/ Stufenkeil
(Stufe 1 mit, Stufe 2–32
ohne Metallplatte)

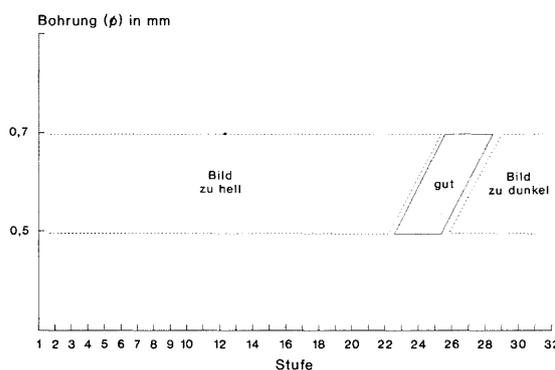


Abb. 4b

Abb. 3 b und Abb. 4 b: Röntgenbilder/Serie II: Abb. 3 b stellt das Ergebnis der statistischen Auswertung der Detailerkennbarkeit dar. Der Medianwert \bar{x} gibt die mittlere Lage der Verteilung für „zu helle/gute/zu dunkle“ Bilder an. Als Normbereich für „gute“ Bilder wurde $\bar{x} \pm 1$ festgelegt. Daraus ergibt sich das in Abb. 4 b gezeigte Nomogramm: Für die Bohrungen \varnothing 0,5 mm und 0,7 mm wird eingetragen, bis zu welcher Stufe eine Erkennbarkeit besteht. Dieses Nomogramm basiert auf der Verwendung des Stufenkeils, Stufe 1 mit, Stufe 2–32 ohne Metallplatte.

Halbsubjektive/halbobjektive Beurteilung der Röntgenbilder/Serie I und II aufgrund des abgebildeten Testphantoms:

Beurteilung der Detailerkennbarkeit

Die Bilder der Serie I (Bild 1–11) und der Serie II (Bild 12–22), jeweils gegliedert in die Gruppen „zu hell“, „gut“, „zu dunkel“, wurden hinsichtlich der Detailerkennbarkeit, d. h. bis zu welcher Stufe die Bohrungen \varnothing 0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 0,9 mm und 1,1 mm erkennbar waren, beurteilt. Diese halbsubjektive/halbobjektive Beurteilung erfolgte durch 25 Testpersonen.

In der folgenden statistischen Auswertung wurden für jede Serie (I/II) die 3 Gruppen (= „zu hell“, „gut“, „zu dunkel“) bezüglich der Variablen x (obere Grenze der Erkennbarkeit/für jedes Detail) verglichen. Der Medianwert \bar{x} ist bei ordinalen Merkmalen die geeignete Maßzahl für die „mittlere Lage“ der Verteilung.

Abb. 3 a (für Serie I) und Abb. 4 a (für Serie II) zeigen die mittlere Lage der Verteilung innerhalb der Gruppen „zu

hell“, „gut“, „zu dunkel“ an. Zum Vergleich der Wahrscheinlichkeitsverteilung wurde der h-Test (Kruskal-Wallis) herangezogen: In Serie I und II besteht für alle 5 Details ein signifikanter Unterschied zwischen den 3 Gruppen (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha=1$ Prozent). In Anlehnung an die Kalibrierung des Testphantoms nach Parisot (1988, 1989 und 1992) wurde ein Nomogramm erstellt. Abb. 3b zeigt das aus der Auswertung der Bilder/Serie I erstellte Nomogramm, Abb. 4b das aus der Auswertung der Bilder/Serie II erstellte Nomogramm. Da sich wie bei den bereits erfolgten Kalibrierungen (Kleintier, distale Extremität, Flfr.; Parisot, 1988, 1989 und 1992) die Bohrung \varnothing 0,3 mm vom Kontrastverhalten atypisch verhält und 0,9 mm und 1,1 mm keine zusätzliche Information bringen, wird als Normbereich die Erkennbarkeit von \varnothing 0,5 mm und 0,7 mm bis zu einer bestimmten Stufenzahl festgesetzt. Diese Bohrungen zeigten innerhalb der Gruppe II („gute Bilder“) die kleinste Streuung. Der Normbereich für die Gruppe „gut“ entspricht dem Medianwert \bar{x} (± 1). Die Erkennbarkeit der Bohrungen \varnothing 0,5 mm und 0,7 mm bis in den Normbereich (Abb. 3b und 4b) läßt das Bild mit hoher Wahrscheinlichkeit als akzeptabel klassifizieren. Nach Erstellung dieser Nomogramme wurde eine Testperson gebeten, die Detailerkennbarkeit für die Serie I/Bilder 1–11 bzw. Serie II/Bilder 12–22 in das jeweilige Nomogramm einzutragen. Von den subjektiv und objektiv durch Densitometrie als „gut“ bewerteten Bildern der Serie I (Bild 4–8) und Serie II (Bild 15–19) fiel aufgrund der Detailerkennbarkeit Bild 4 nicht in den Normbereich, die Bilder 5–8 wurden als gut bewertet, ebenso die Bilder 15–19 und auch Bild 20.

Diskussion

Vergleicht man die Beurteilungsmöglichkeiten – subjektive Methodik, objektive und (halbsubjektive)/halbobjektive Methodik –, so erhält man folgendes Ergebnis:

Die subjektive Beurteilung der Bilder/Serie I und die objektive densitometrische Vermessung bringen stets das gleiche Ergebnis: in Serie I werden Bild 1–3 als zu hell, Bild 4–8 als gut und Bild 9–11 als zu dunkel bewertet.

Nach Erstellung der Nomogramme klassifiziert die halbsubjektive/halbobjektive Beurteilung der Detailerkennbarkeit, angegeben von 1 Testperson, Bild 4 allerdings nicht als gut, die angegebene Detailerkennbarkeit fällt nur zum Teil in den Normbereich. Die Bilder 5–8 werden mittels Nomogramm als gut klassifiziert (Tab. 3a).

Die subjektive Beurteilung der Bilder/Serie II und die objektive densitometrische Vermessung bringen stets das gleiche Ergebnis: in Serie II werden Bild 12–14 als zu hell, Bild 15–19 als gut und Bild 20–22 als zu dunkel bewertet.

Nach Erstellung der Nomogramme klassifiziert die halbsubjektive/halbobjektive Beurteilung der Detailerkennbarkeit, angegeben von 1 Testperson, Bild 15–19 als gut, Bild 20 ebenfalls als gut, die für dieses Bild angegebene Detailerkennbarkeit fällt gänzlich in den Normbereich (Tab. 3b). Damit zeigt sich, daß sog. „Grenzfälle“, i. e. Bilder mit Densitometrie-Meßwerten knapp innerhalb oder außer-

halb des für ein gutes Röntgenbild gültigen Bereichs aufgrund der gegebenen Detailerkennbarkeit, entweder gerade noch in den Normbereich fallen können oder eben nicht mehr. Als „Grenzfälle“ ist die Bewertung dieser Bilder – je nach Ergebnis – als „gut“, „zu hell“ oder als „zu dunkel“ durchaus vertretbar.

Zusammenfassend ergibt sich für den Einsatz des Testphantoms bei der röntgenologischen Untersuchung der Pferdezehe eine einfache bauliche Konstruktion, aufgrund der beschriebenen Ergebnisse kann die zu diesem Zweck ursprünglich geplante bauliche Veränderung (Fortsetzung des Grundmodells; Ausbau zu einem zweiteiligen, mit Metallplatten beschichteten Treppenkeil) vereinfacht werden: Der 1. Keil mit den Stufen 1–16 kann weggelassen werden, der 2. mit den Stufen 17 (20,40 mm) bis 32 (40,00 mm) wird benötigt. Die Grundmaße des Keils können auf 240 mm \times 15 mm reduziert werden; die Bohrungen mit dem \varnothing 0,3 mm, 0,9 mm und 1,1 mm können entfallen, nur 0,5 mm und 0,7 mm sind entscheidend. Auf die Beschichtung mit einer Metallplatte kann ohne Informationsverlust verzichtet werden. Mit dem erstellten Nomogramm ist die Beurteilung der Bildgüte möglich, die Klassifizierung des erstellten Röntgenbildes als „zu hell“ bzw. „zu dunkel“ weist auf falsche Belichtung und/oder Fehler bei der Dunkelkammerarbeit hin (Tab. 4).

Das beschriebene Testphantom ist besonders zur periodischen Kontrolle des gesamten Abbildungssystems empfohlen; die Erstellung von Belichtungstabellen (in Abhängigkeit vom verwendeten photographischen Material) wird möglich, bei standardisierter Belichtung ergibt sich die Kontrolle der Bildausarbeitung (Zustand des Entwicklers etc.). Für jede Röntgenuntersuchung (in der Human- oder in der Veterinärmedizin) darf nicht vergessen werden: Die Bildqualität bestimmt die Quantität an Wiederholungsuntersuchungen, die Möglichkeit der fehlerfreien Diagnosestellung und der erfolgreichen Therapie sowie die Strahlenbelastung von Patient und Personal (Angerstein, 1984).

Literatur

- Adams, O. R. (1980): Lahmheit bei Pferden; Verlag M & H Schaper, Hannover.
- Angerstein, W. (1984): Über einige Probleme der Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle in der Röntgendiagnostik; in Schmidt, Th. (Hrsg.): Medizinische Physik, 1986, 225–232.
- DIN-Norm 6868 (1985): Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben; Teil 1–13.
- Frommhold, W., Gajewski, H., und Schoen, H. D. (1979): Medizinische Röntgentechnik; Bd. 1: Physikalische und technische Grundlagen; G. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Geres, V., und Köppl, E. (1983): Ein Beitrag zur röntgenologischen Darstellung des Strahlbeines. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 96, 226–228.
- Hartung, K., Clauss, W., und Keller, H. (1968): Zum Strahlenschutz bei Röntgenaufnahmen in der Pferdepraxis (Personendosismessungen). Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 81, 41–60.
- Hartung, K. (1979): Das Röntgenbild der Fissur und Fissurheilung beim Pferd. Praktischer Tierarzt 9, 736–742.

- Hartung K., und Münzer, B. (1991): Zur Abschätzung der beruflichen Strahlenbelastung bei Röntgenuntersuchungen vom Pferd. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 104, 347–351.
- Hertsch, B., und Zeller, R. (1977): Röntgenologische Veränderungen am Strahlbein und ihre Beurteilung. Praktischer Tierarzt 58 (Sondernummer), 14–19.
- Hofmann-Parisot, Margarete (1993): Veterinär-röntgenologie in Deutschland, Schweiz und Österreich – eine vergleichende Problemanalyse. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. In Druck.
- Hofmann-Parisot, Margarete (1993): Veterinär-röntgenologie – die Bildgüte in Abhängigkeit vom Alterungsprozeß des Entwicklers. Kleintierpraxis, 38/1/21–24.
- Huskamp, B., und Becker, M. (1980): Diagnose und Prognose der röntgenologischen Veränderungen an den Strahlbeinen der Vordergliedmaßen der Pferde unter besonderer Berücksichtigung der Ankaufsuntersuchung. Praktischer Tierarzt 10, 858–860.
- Johnson, J. H., und Ackerman, N. (1975): Radiography of the equine foot. The Equine Practitioner, 495–498.
- Keller, H. (1972): Der Wert der Röntgendiagnostik im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes. Praktischer Tierarzt 13, 492–494.
- Körber, H.-D. (1991): Röntgenologische Untersuchung der Hufknorpelverknöcherung des Pferdes und ihre klinische Beurteilung. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 104, 334–340.
- Morgan, J. P., und Silverman, S. (1982): Techniques of veterinary radiography; 4. Aufl., Iowa State University Press.
- Parisot, Margarete (1988): Ein Beitrag zur Qualitätskontrolle in der Veterinär-röntgenologie – Entwicklung eines gewebeäquivalenten Testphantoms zur Kontrolle der Bildgüte. Wien: Diss. Vet. med. Univ.
- Parisot, Margarete (1989): Ein einfaches Testphantom in Gestalt einer Treppe zur laufenden Kontrolle der Bildgüte in der Veterinär-röntgenologie. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 102, 117–123.
- Parisot, Margarete (1992): Testphantom zur laufenden Kontrolle der Bildgüte. Patentschrift AT 394 654 B.
- Rapp, H.-J. (1988): Die Ultraschalldarstellung der Anatomie der palmaren Weichteilgewebe (Sehnen) am Metacarpus beim Pferd. Praktische Tierarzt 2, 42–58.
- Stender, H. St. (1985): Übersicht der Einflußgrößen auf die Qualität des Röntgenbildes; in Stender, H. St., und Stieve, F. E. (Hrsg.): Qualitätskontrolle in der Röntgendiagnostik; G. Thieme Verlag, Stuttgart, 180–186.
- Stieve, F. E. (1986): Qualitätssicherung in der Radiologie – Entwicklung, Erfordernis und Folgerungen. In Holeczke, F., Seyss, R., Börner, W., und Messerschmidt, O. (Hrsg.): Qualitätskontrolle in der Radiologie und Nuklearmedizin unter dem Aspekt des Strahlenschutzes; G. Thieme Vlg., Stuttgart, 1–22.
- Ueltschi, G. (1982): Radiologische Möglichkeiten in der Außenpraxis. Praktischer Tierarzt 63 (Sondernummer), 58–61.
- Ueltschi, G. (1983): Podotrochlose-Wert und Häufigkeit röntgenologisch nachweisbarer Veränderungen am Strahlbein. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 96, 308–310.
- Ueltschi, G. (1987): Die Skelettszintigraphie beim Pferd, Teil 1: Einführung. Pferdeheilkunde 3, 99–104.
- Ueltschi, G. (1991): Die Untersuchung des Hufes aus radiologischer und szintigraphischer Sicht. Praktischer Tierarzt 72 (Sondernummer), 85–87.
- Weiser, M. (1923): Tierärztliche Röntgenkunde; Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Wintzer, H.-J. (1970): Zur Bewertung des Röntgenbildes vom Strahlbein des Pferdes in der Lahmheitsdiagnostik. Schweiz. Arch. Tierhk. 112, 471–479.
- Wintzer, H.-J. (1977): Röntgenologisch feststellbare Veränderungen an der Zehe des Pferdes und ihre klinische Beurteilung. Praktischer Tierarzt 58 (Sondernummer), 19–23.

Margarete Hofmann-Parisot
Wolfgang Schramel
Institut für Medizinische Physik
Veterinärmedizinische Universität
Linke Bahngasse 11
A-1030 Wien

Buchbesprechung

Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung

Herausgegeben von Prof. Dr. H. Meyer, Prof. Dr. K. Bronsch, Prof. Dr. J. Leibetseder, unter Mitarbeit von Prof. Dr. W. Drochner, Prof. Dr. J. Kamphues, Dr. K. Männer, Prof. Dr. K. Rohr, Prof. Dr. D. Schneider.

1993, 8., überarbeitete Auflage, 255 Seiten, zahlreiche Tabellen und Übersichten, kartoniert. **28,75 DM**

Die Tierernährung muß mit vielen Zahlen arbeiten. Das Studium der Tierernährung bedeutet jedoch nicht Auswendiglernen von Zahlen, sondern Verständnisgewinnen für die Ableitung und Anwendung dieser Daten. In diesem Buch werden außer allgemeinen und speziellen Angaben über die Futtermittel, den Nährstoffbedarf und die Rationsgestaltung bei Haustieren stichwortartig auch Themen aufgeführt, die besonders den Veterinärmediziner betreffen: Beurteilung der Futtermittel, Einfluß der Ernährung auf Krankheitsentstehung, Fertilität und Lebensmittelqualität, Diätetik bei kranken Tieren. Im zweiten Teil des Buches wird auf die Besonderheiten der Ernährung bei verschiedenen Tierarten eingegangen: Rinder, Schafe, Wildwiederkäuer, Pferde, Schweine, Hunde und Katzen, Versuchs- und Heimtiere, Nutzgeflügel, Tauben, Stubenvögel, Schildkröten, Nutzfische und Zierfische.

Insgesamt besticht das Buch durch die Fülle an Informationen und die große Übersichtlichkeit der Darstellung. Der Text ist kurz und prägnant gehalten, soweit möglich wurden Zahlen und Daten in Tabellen zusammengefaßt. Die rechten Seiten sind frei für eigene Anmerkungen. Ein praktisches Handbuch mit besonderem Wert für die Tiermedizin und Tierzucht.