

Open Access

Berl Münch Tierärztl Wochenschr 123,
177–185 (2010)
DOI 10.2376/0005-9366-123-177

© 2010 Schlütersche
Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
ISSN 0005-9366

Korrespondenzadresse:
pees@uni-leipzig.de

Eingegangen: 25.11.2009
Angenommen: 11.02.2010

Online first: 20.04.2010
[http://vetline.de/zeitschriften/bmtw/
open_access.htm](http://vetline.de/zeitschriften/bmtw/open_access.htm)

Zusammenfassung

Summary

U.S. Copyright Clearance Center
Code Statement:
0005-9366/2010/12305-177 \$ 15.00/0

Klinik für Vögel und Reptilien der Universität Leipzig¹
Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig²

Vergleichende röntgenologische Darstellung des Respirationstraktes von Schlangen mittels konventioneller hochauflösender Film-Folien-Kombination und einem digitalen Detektorsystem

Comparative radiography of the respiratory tract of snakes using conventional high-resolution film-screen-system and a digital detector system

Michael Pees¹, Monika Bochmann¹, Maria-Elisabeth Krautwald-Junghanns¹, Volker Schmidt¹, Eberhard Ludewig²

Zur röntgenologischen Darstellung des Respirationstraktes bei Schlangen wurde eine konventionelle hochauflösende Film-Folien-Kombination (Film Kodak MIN-R S, Verstärkerfolie Kodak MIN-R 2000) mit einem digitalen Detektorsystem (Varian PaxScan 4030E) verglichen, wobei die Digitalaufnahme bei gleicher und bei halbiertes Dosis erstellt wurde. Die Untersuchung wurde bei 20 Tigerpythons (*Python molurus*) in jeweils dorsoventraler und laterolateraler Projektion durchgeführt. Es wurden zu den anatomischen Regionen Lunge, Trachea und Wirbelsäule je vier Kriterien (drei Merkmale, eine Gesamtbewertung) definiert und in einem Punktesystem in einer halbverblindeten Studie von fünf Tierärzten bewertet. Der Vergleich der Bewertungen zwischen den Techniken erfolgte mittels Visual-Grading-Analyse. Zur Lunge wurden zwei von drei Merkmalen sowie die Gesamtbeurteilung in den digitalen Belichtungen signifikant besser bewertet. Die Trachea wurde in der Gesamtwertung sowie einem Merkmal in der konventionellen Belichtung signifikant besser beurteilt. Für die Wirbelsäule ergab sich in der Gesamtwertung eine signifikant bessere Beurteilung der digitalen Aufnahme bei voller Dosis, sowohl die konventionelle als auch die digitale Belichtung bei reduzierter Dosis wurden in je einem Merkmal signifikant schlechter bewertet. Die Studie zeigt die Vorteile der digitalen Radiografie für die Beurteilung des bei Schlangen eher kontrastarmen Respirationstraktes. Grenzen ergeben sich bei der Darstellung sehr kleiner Strukturen. Eine Dosisreduktion im Vergleich zur konventionellen hochauflösenden Film-Folien-Kombination ist für die Darstellung des Respirationstraktes grundsätzlich möglich.

Schlüsselwörter: Reptil, Atmungstrakt, Bildqualität, Röntgen

A conventional high-resolution screen-film-system (film Kodak MIN-R S, screen Kodak MIN-R 2000) was compared to a digital detector system (Varian PaxScan 4030E) for the evaluation of the respiratory tract in snakes. Digital radiographs were taken with the same dose as well as with half the dose used for the conventional radiographs. A total of 20 Burmese pythons (*Python molurus*) were examined in dorsoventral and lateral projection. Four criteria (three features, one overall assessment) were defined for each of the anatomical structures lung, trachea and spinal column and assessed by five veterinarians in a semi-blinded study using a score system. Comparison of the ratings between the techniques used was done using a visual grading analysis. For the lung, two of the three features as well as the overall assessment were rated significantly superior using the digital system. The trachea was rated significantly superior using the conventional system for the overall assessment as well as for one feature. For the spinal column, the overall assessment was significantly superior using the digital system with the full dose. Conventional radiography as well as digital radiography using half the dose was rated significantly inferior for one feature each. The study demonstrates the advantage of the digital technique for the assessment

of the relatively low-contrast respiratory tract. A limiting factor is the demonstration of particularly small structures. Generally, a dose reduction (compared to a conventional high-resolution film-screen-system) is possible for the evaluation of the respiratory system.

Keywords: reptile, respiratory system, imaging quality, x-ray

Einleitung

Die röntgenologische Untersuchung zählt bei Reptilien zu den am längsten etablierten und am häufigsten eingesetzten bildgebenden Verfahren, sie liefert bedeutende diagnostische Informationen bei der Untersuchung sowohl des Skelettsystems wie auch der Weichteilstrukturen (Silverman, 2006; Pees, 2009). Einschränkungen bestehen bei der Kontrastierung zwischen den Weichteilen und der Größe der zu untersuchenden Tiere. Dazu stellen die anatomischen bzw. physiologischen Charakteristika der Reptilien – wie beispielsweise der fehlende alveolare Aufbau der Lunge – entsprechende Anforderungen an die Interpretation (Silverman, 2006). Gerade für den Respirationstrakt ergibt sich aber die Notwendigkeit einer möglichst sicheren Diagnostik, da infektiöse Lungenveränderungen bei Riesenschlangen (Boiden) eine bedeutende Rolle spielen (Murray, 2006; Pees et al., 2007a).

Insgesamt besteht ein Mangel an publizierten Informationen zur Anwendung und Interpretation der verfügbaren bildgebenden Techniken bei Reptilien (Silverman, 2006). Bei Schlangen ist zumindest der Einsatz verschiedener nicht-invasiver bildgebender Verfahren zur Darstellung des Respirationstraktes beschrieben. Neuere Studien heben dabei den Wert der Computertomografie und auch der Magnetresonanztomografie hervor (Pees et al., 2006; Pees et al., 2007b). Allerdings sind beide Verfahren aufgrund der hohen Kosten und der begrenzten Verfügbarkeit derzeit nicht als Routineuntersuchung etabliert. Auch die röntgenologische Untersuchung wird zur Darstellung des Atmungstraktes bei Schlangen empfohlen, um Art und Ausmaß von Veränderungen zu beurteilen (Schumacher, 1997; Murray, 2006). Im Vergleich zu der CT- und der MRT-Technik wird allerdings zumindest die konventionelle Röntgentechnik zur Darstellung pathologischer Veränderungen als weniger sensitiv beschrieben (Pees et al., 2006).

Die röntgenologische Darstellung des Respirationstraktes erfolgt bei Schlangen im laterolateralen und dorsoventralen Strahlengang in gestreckter Lage, um eine diagnostisch auswertbare Projektion der Organe zu erreichen. Die normale Lungenstruktur stellt sich radiografisch als zartes retikuläres, um einen zentralen Luftraum angeordnetes Muster mit feiner Septierung dar. Dieses Muster verliert nach kaudal an Dicke und Struktur, bis die Lunge in den Luftsack übergeht (Murray, 2006; Pees, 2009). Von manchen Autoren wird zur röntgenologischen Abbildung der Lunge eine Druckinflation mittels Trachealtubus befürwortet, da hierdurch die Lunge ausgedehnt wird und die Röntgendichte sinkt (Silverman, 2006). Neben anderen hochauflösenden Film-Folienkombinationen wird das Mammografiesystem aufgrund seiner ausgezeichneten Detailauflösung für den Einsatz bei Reptilien unter 1 kg empfohlen, wenngleich hier entsprechend längere Belichtungszeiten erforderlich sind (Silverman, 2006; Pees 2009). Zum Einsatz digitaler Röntgensysteme bei Schlangen gibt es nach Kenntnisstand der Autoren derzeit noch keine Publikationen.

Digitale Abbildungssysteme bieten neue Möglichkeiten der Nachbetrachtung wie auch der Dosisanpassung, ihre Bedeutung für die Kleintiermedizin ist bei Hunden und Katzen bereits gut dokumentiert (Koert, 2004; Ludewig et al., 2007; Meyer-Lindenberg et al., 2008). Gerade aufgrund der Problematik geringer einzelner Absorptionsdifferenzen von Strukturen bei Schlangen, welche teilweise durch den Aufbau der Haut (Schuppen) und teilweise durch die Anordnung der Organe bedingt ist, ergeben sich Einschränkungen in der Darstellbarkeit mit konventionellen Film-Folien-Systemen (Silverman, 2006). Hier ist die Evaluierung der Vor- und Nachteile eines digitalen Abbildungssystems insbesondere hinsichtlich der Darstellung von Weichteilgewebe interessant. Es war deshalb das Ziel dieser Studie, anhand vergleichender Aufnahmeserien des unteren Respirationstraktes vom jeweils selben Tier zu prüfen, ob und inwieweit in der Bewertung definierter anatomischer Bildmerkmale zwischen einem digitalen System und einem konventionellen hochauflösenden Film-Folien-System Unterschiede bestehen. Des Weiteren sollte untersucht werden, inwieweit eine Reduktion der Aufnahmedosis durch Halbierung des mAs-Produktes beim Digitalsystem die Bildqualität beeinflusst.

Material und Methode

Tiere und Durchführung

Es wurden 20 Tigerpythons (*Python molurus*) aus standardisierten Haltungsbedingungen in die Studie einbezogen. Alle Tiere wurden zu Beginn einer klinischen Untersuchung unterzogen und für unauffällig befunden. Die Körpermasse (KM) lag zwischen 239 g und 847 g (Mittelwert 461 g), die Kopf-Kloaken-Länge betrug 67 cm bis 115 cm (Mittelwert 90 cm), das Geschlechterverhältnis war mit zehn weiblichen und männlichen Tieren ausgeglichen.

Die Tiere wurden für die Untersuchung mittels Isofluran (1,52,5 % über Atemmaske, IsoFlo®, Albrecht GmbH, Aulendorf, D) anästhesiert und in laterolateraler sowie dorsoventraler Position gestreckt unmittelbar auf der Röntgenkassette bzw. der Detektorplatte gelagert. Der Aufnahmeausschnitt wurde auf die Region der Lunge eingestellt. Hierzu wurde die Position des Herzens anhand des sichtbaren Herzspitzenstoßes adspektorisch bestimmt und das Fenster wurde von einem Bereich 3 cm kranial des Herzens 24 cm (konventionelle hochauflösende Film-Folien-Kombination) bzw. 30 cm (Detektor) nach kaudal begrenzt. Da das kraniale Lungenende bei Schlangen unmittelbar kaudal des Herzens liegt, wurde so sichergestellt, dass bei den in die Untersuchung einbezogenen Tiergrößen alle definierten anatomischen Regionen abgebildet wurden.

Die Aufnahmen wurden mit dem Röntgengerät Gierth HF 200 (Gierth, Riesa, D) bei einer Spannung von 42 kV (unter 700 g KM) bzw. 44 kV (über 700 g KM) angefertigt. Es wurde bei jedem Tier unmittelbar nacheinander drei Vergleichsaufnahmen (Belichtung A, B, C) in jeweils dorsoventraler und laterolateraler Projektion durchgeführt,

TABELLE 1: Röntgengerät und Aufnahmeparameter zur Anfertigung der Vergleichsaufnahmen

Belichtung	Röntgengerät	Aufnahmesystem	Belichtungsparameter
A („konventionell“)	Gierth HF 200, Stehnodenröhre, Fokusgröße 1,2 x 1,2 mm, maximale Leistung: 200 kV, 40 mA,	Film-Folien-Kombination Kodak MIN-R S (18 x 24 cm), Empfindlichkeit S = 19, Grenzauflösung > 10 Linienpaare/mm, Verstärkerfolie MIN-R 2000	42/44 kV, 2,4 mAs, 0,06 s
B („digital voll“)	Film-Fokus-Abstand 80 cm	Varian PaxScan 4030E, amorphes Silizium, aktive Aufnahme-fläche 29,1 x 40,5 cm, Pixellänge 127 µm, Grenzauflösung 3,94 Linienpaare/mm, Digitalisierungstiefe 14 Bit, Detective Quantum Efficacy > 30 %, Fill Factor 57 %	42/44 kV, 1,2 mAs, 0,03 s
C („digital halb“)			

wobei die erste Aufnahme (A) auf einer konventionellen hochauflösenden Film-Folien-Kombination (Kodak MIN-R S, Verstärkerfolie MIN-R 2000; Kodak, Stuttgart, D) erfolgte. Die zweite (B) und dritte (C, bei halbiertes Dosis) Aufnahme erfolgte auf dem digitalen Detektorsystem Varian Paxscan 4030E in Kombination mit der Software MyANISCAN.com (BTE, Willich, D). Die qualitativen Eigenschaften des Detektors sind durch die Pixellänge, den Quantenwirkungsgrad (Detective quantum efficiency, DQE) und den Fill factor als Maß für den prozentualen Anteil des elektronischen Schaltelements an der Pixelfläche charakterisiert. Details zu Röntgengerät und Aufnahmeparametern sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Zur Verarbeitung der digitalen Daten wurde eine auf die Untersuchung von Reptilien hin optimierte Bildverarbeitung eingesetzt. Diese wurde im Rahmen der Voruntersuchungen entwickelt, da die implementierten Algorithmen für die Signalverarbeitung von Kleintieraufnahmen bei Reptilien nicht zu optimalen Bildergebnissen führen. Die verwendeten Algorithmen fokussierten auf kleine Objekte in kontrastarmer Umgebung. Im Bereich der Feinstrukturen wurden hierzu die Grundinformationen unberührt gelassen und nur eine geringgradige isotrope Rauschunterdrückung durchgeführt. Im Bereich der Knochenstrukturen wurde die Signalintensität angehoben. Zusätzlich wurde die Kontrastverstärkung in allen Bereichen angehoben.

Die Untersuchungen wurden gemäß § 8a Tierschutzgesetz beim zuständigen Regierungspräsidium als Tierversuch angezeigt (AZ-Nr. 24-9168.21 A 12/09).

Beurteilung

Die Beurteilung erfolgte teilverblindet, da der Unterschied zwischen der digitalen Technik und dem konventionellen Film ersichtlich war, aber alle Aufnahmen randomisiert und ohne Zusammenhang zueinander beurteilt wurden. Dem Untersucher war es somit nicht möglich, Aufnahmen desselben Tieres oder die unterschiedlichen Belichtungsparameter zuzuordnen. Die beschriebenen Bildmerkmale wurden von fünf klinisch tätigen und radiologisch erfah-

renen Tierärzten (mindestens zwei Jahre Tätigkeit in der Klinik für Vögel und Reptilien, dabei regelmäßige Beurteilung von Röntgenaufnahmen) getrennt und unabhängig voneinander mittels einer Visual Grading Analyse (VGA; Männson, 2000) beurteilt. Im Vorfeld erfolgte eine detaillierte Einweisung in das Beurteilungssystem, der Beurteilung war eine Trainingsperiode, welche nicht in die Wertung einfluss, vorausgeschaltet. Zur Beurteilung der konventionellen Aufnahme stand ein Röntgenbildbe-trachter (Planilux DE, Warstein, D, 80 x 43 cm, vierseitig einblendbare Jalousien, max. Helligkeit 3600 cd/qm), eine Irisleuchte (Planilux 70, Warstein, D, 5–70 mm Irisblende, max. Helligkeit 25 000 cd/qm) und eine Lupe (4-fache Vergrößerung) zur Verfügung. Die Beurteilung der digitalen Aufnahmen erfolgte an einem Monitor für die medi-zinische Diagnostik (EIZO MX240W, Avnet Technology, Nettetal, D, Diagonale 24,1 Zoll, Auflösung 1920 Punkte x 1200 Zeilen, Punktabstand 0,27 x 0,27 mm, maximale Helligkeit 320 cd/qm, maximaler Kontrast 850 : 1) mit der Software GOP-View XR2-T (ContextVision, Stockholm, SE), welche die Anwendung der zur Nachbearbeitung gebräuchlichen Hilfsmittel (Helligkeit, Kontrastierung, Vergrößerung, Orientierungsanpassung) erlaubte.

Als Kriterien wurden insgesamt drei anatomische Regi-onen (die Lunge, die Trachea [Abb. 1] und als Vergleich für die Darstellung knöcherner Strukturen die Wirbelsäule) mit jeweils drei zu bewertenden Merkmalen und einer Gesamtbeurteilung festgelegt. Bei den Merkmalen han-delte es sich um drei definierte Kriterien, deren geforderte Darstellbarkeit in Tabelle 2 beschrieben ist. Dazu wurde der subjektive Gesamteindruck der Region in Kombination mit der diagnostischen Interpretierbarkeit der befundeten Merkmale beurteilt (Gesamtbeurteilung). Der subjektive Gesamteindruck wurde anhand der Grauwertwiedergabe (Bildumfang), der Bildschärfe (Übergänge zwischen den unterschiedlichen Dichten) und dem Bildrauschen (sub- jektiv empfundene, durch Störsignale verursachte Kör-nigkeit) beurteilt (Koert, 2004). Bei digitalen Systemen führt die Reduktion der Dosis zur Abnahme des Signal- Rausch-Verhältnisses. Die Zunahme des Rauschanteils

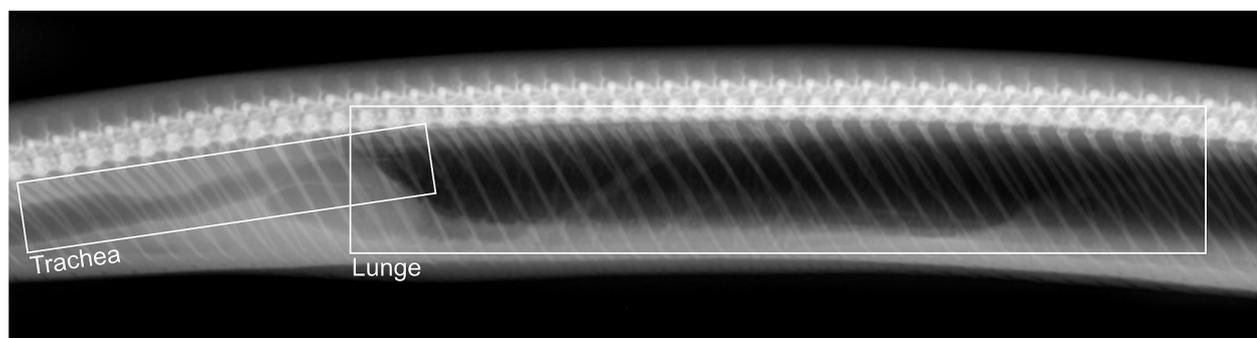


ABBILDUNG 1: Laterolaterale Projektion, Darstellung der anatomischen Regionen 1 (Trachea) und 2 (Lunge). Innerhalb dieser Regionen wurden je drei Einzelkriterien und ein Gesamtkriterium definiert.

TABELLE 2: Definierung der Merkmale zu den einzelnen anatomischen Regionen

	Merkmals	Definition
Region: Lunge (laterolaterale Projektion)		
1	Abgrenzbarkeit der Lunge zu Leber und Herz	Kontrastierung und Nachvollziehbarkeit des Verlaufes der Leber- und Herzgrenzen in Nachbarschaft zum Lungengewebe
2	Darstellbarkeit des Lungenparenchyms	Darstellung des dorsalen und ventralen respiratorischen Austauschgewebes in charakteristischer feingranulierter Struktur, Darstellung des zentralen Luftraumes
3	Abgrenzbarkeit der Gefäße im Lungenfeld	Kontrastierung und Nachvollziehbarkeit des Verlaufes einzelner intrapulmonaler Blutgefäße sowie der das Lungenfeld von kranioventral nach kaudodorsal kreuzenden Aorta sinistra
Region: Trachea (laterolaterale Projektion)		
1	Abgrenzbarkeit der Trachea zum umliegenden Gewebe	Abgrenzung der Trachea zum Weichteilgewebe, Nachvollziehbarkeit des Verlaufes
2	Darstellbarkeit der Knorpelspangen	Kontrastierung und Abgrenzung der trachealen Knorpelspangen
3	Übergang der Trachea in die Lunge	Darstellung des Übergangs, Abgrenzung der Trachea gegen Lungengewebe
Region: Wirbelsäule (dorsoventrale Projektion)		
1	Darstellbarkeit der Wirbelkörper	Darstellung der Wirbelkörpergrenzen und -struktur, Kontrastierung gegen umgebendes Weichteilgewebe
2	Darstellbarkeit der Rippen	Darstellung der Rippenkortikalis und Abgrenzung zu Knochenmark und umgebendem Weichteilgewebe
3	Darstellbarkeit der Wirbel-Rippen-Gelenke	Darstellung des Verlaufes der Gelenksflächen und Abgrenzung/Kontrastierung zum Gelenkspalt

kann zum Verlust an Detailinformationen führen (Busch et al., 2003; Seibert, 2004). Alle Kriterien wurden in einem Notensystem in drei bzw. fünf Stufen in Modifikation nach Körner et al. (2005) beurteilt (Tab. 3).

Auswertung

Zur Auswertung standen insgesamt 2700 Einzelbeurteilungen von Merkmalen sowie 900 Gesamtbeurteilungen zu den anatomischen Regionen. Hieraus wurden für jedes Kriterium in jeder Belichtung (A, B, C) als deskriptive Kennzahlen der Mittelwert sowie das 95%ige Konfidenzintervall berechnet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Sigma-Plot 11.0 (Systat Software Inc., San José, USA). Zum Vergleich der drei Belichtungsgruppen wurde eine Visual Gratings Characteristics (VGC)-Analyse durchgeführt (Båth und Männson, 2007). Dieses Verfahren basiert auf der Beurteilung der Kriterien im Rahmen einer Visual Grading Analysis (VGA-) Studie (Männson, 2000), bei der die Qualität der Abbildung der zu beurteilenden Kriterien mittels

einer mehrstufigen Rangskala ohne Bezug zu einer Referenzaufnahme erfolgt. Zu den sich aus der Gesamtheit der Bewertungen ergebenden Häufigkeitstabellen der jeweils zu vergleichenden Aufnahmegruppen wird das Verhältnis zwischen den Gruppen mit VGC-Punkten beschrieben,

TABELLE 3: Bewertungsstufen zur Beurteilung der Merkmale und zur Gesamtbeurteilung (mod. nach Körner et al., 2005)

Scoring	Beurteilungskriterium
Merkmale der anatomischen Regionen	
2	Merkmals deutlich erkennbar und in seiner radiologischen Anatomie vollständig beurteilbar
1	Merkmals erkennbar, in seiner radiologischen Anatomie eingeschränkt beurteilbar
0	Merkmals nicht erkennbar und/oder in seiner radiologischen Anatomie nicht beurteilbar
Gesamtbeurteilung (Gesamteindruck siehe Text)	
4	optimaler Gesamteindruck, alle Merkmale erkennbar, keine Einschränkungen für die Interpretation
3	guter Gesamteindruck, alle Merkmale erkennbar, geringfügige Einschränkungen für die Interpretation
2	ausreichender Gesamteindruck, alle Merkmale erkennbar, Einschränkungen ungünstig für die Interpretation
1	eingeschränkter Gesamteindruck, Detailabbildung begrenzt bei bestimmten Merkmalen, Interpretation nur eingeschränkt möglich
0	nicht verwertbarer Gesamteindruck, Detailabbildung nicht ausreichend, keine Interpretation möglich, Aufnahme muss aus diagnostischer Sicht wiederholt werden

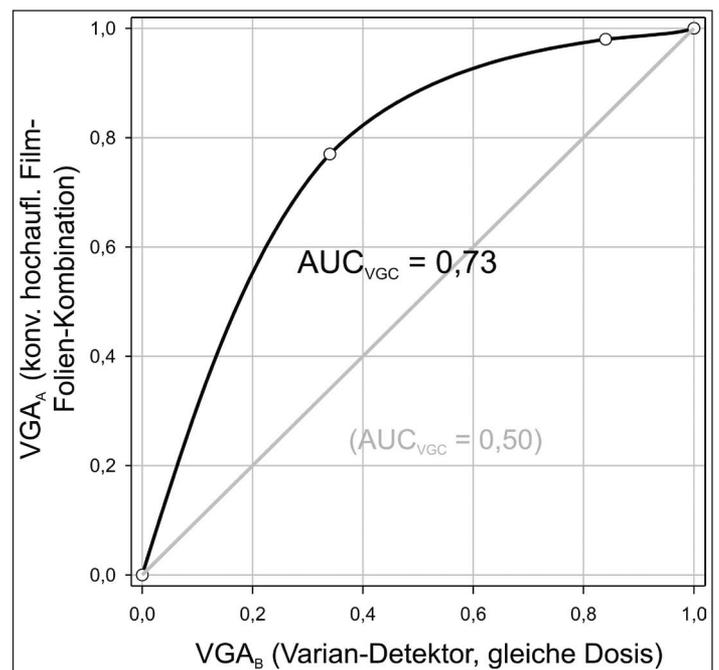


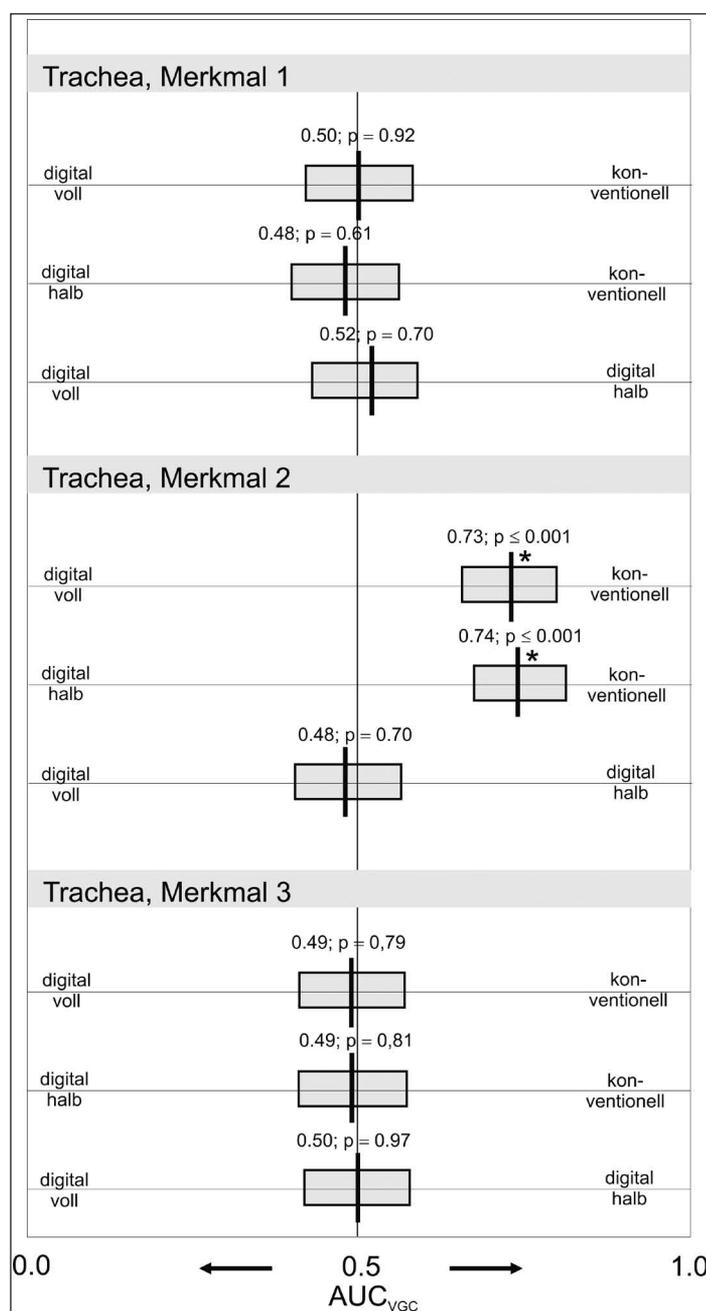
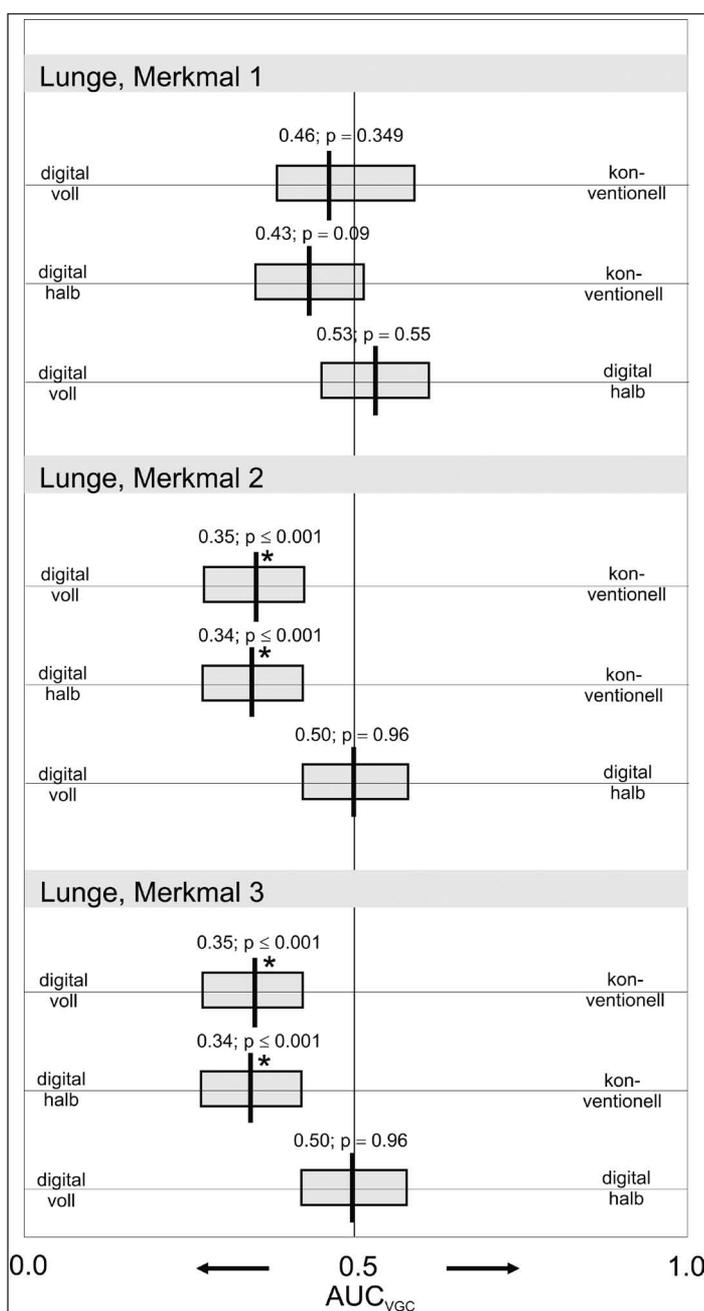
ABBILDUNG 2: Darstellung einer exemplarischen Visual-Grating-Characteristics (VGC)-Kurve, hier aus dem Vergleich des Merkmals 2 der Region Trachea, Aufnahmegruppe A gegen B. Eine absolut gleiche Bewertung des Kriteriums würde in einer Diagonalen und einem -Wert von 0,5 resultieren (hier grau eingezeichnet). Je mehr ein System überlegene Abbildungseigenschaften zeigt, desto mehr verschiebt sich die resultierende Linie hin zur entsprechenden Achse, was entsprechend abhängig von der Größe des Unterschiedes in einem Richtung 0,0 bzw. 1,0 verschobenen AUCVGC-Wert resultiert. Diese Verschiebung ist in den Abbildungen 3–6 wiedergegeben (AUC = Area Under the Curve, VGA = Visual Grading Analysis).

welche gegeneinander im Koordinatensystem aufgetragen eine Kurve ergeben. Die „Fläche unter der Kurve“ (AUCVGC) ist dann ein geeignetes relatives Maß für den Vergleich der Bildqualität für das jeweilige Kriterium (Ludewig et al., 2009). Verläuft die Kurve diagonal, ergibt sich ein AUCVGC-Wert von 0,5 und die Bewertung ist absolut ausgeglichen. Entsprechend weicht der AUCVGC-Wert in Richtung 0,0 bzw. 1,0 ab, je nachdem und in welchem Maße eine Belichtung besser bewertet wurde (Abb. 2). Die Berechnung der VGC-Kurven erfolgte unter Zuhilfenahme der methodisch identischen ROC-Analyse (Ludewig et al., 2009). Dazu wurden die Konfidenzintervalle und die Signifikanz des Unterschiedes der AUCVGC-Werte berechnet. Die Einheitlichkeit und Gleichsinnigkeit (inwieweit eine schlechtere Bewertung eines Kriteriums bei einem

Untersucher auch eine schlechtere Bewertung bei einem anderen Untersucher bedeutet) der Beurteilung wurde zwischen den einzelnen Untersuchern mittels Spearman-scher Rangkorrelation für alle Bewertungskriterien geprüft. Als Signifikanzstufe wurde für alle Berechnungen $p \leq 0,05$ angenommen.

Ergebnisse

Die Häufigkeitsverteilung (häufigste Wertung hervorgehoben) sowie die statistischen Maßzahlen der Beurteilungen für jedes Kriterium in jeder Belichtung sind in den Tabellen 4 und 5 wiedergegeben. Die sich aus der VGC-Analyse ergebenden AUCVGC-Werte sind zusam-



ABBILDUNGEN 3–6: Ergebnisse des Vergleichs der einzelnen Kriterien zwischen den Belichtungen. Dargestellt sind die Flächen unter den Visual-Grading-Characteristics (VGC)-Kurven (AUCVGC, Abb. 2) im Mittelwert (Strich, Zahlenangabe) mit zugehörigem 95%igen Konfidenzintervall (Balken). Mittelwerte bei 0,5 (Linie) bedeuten Bewertungsgleichheit. Verschiebungen zeigen eine ent-

men mit den zugehörigen Konfidenzintervallen in den Abbildungen 3–6 grafisch dargestellt. Hinsichtlich der Bewertung der einzelnen Merkmale unabhängig von der Belichtung bestand zwischen den einzelnen Untersuchern in 38 % der Fälle eine signifikante Korrelation. Bei der Gesamtbeurteilung der anatomischen Regionen bestand bei 60 % eine signifikante Korrelation.

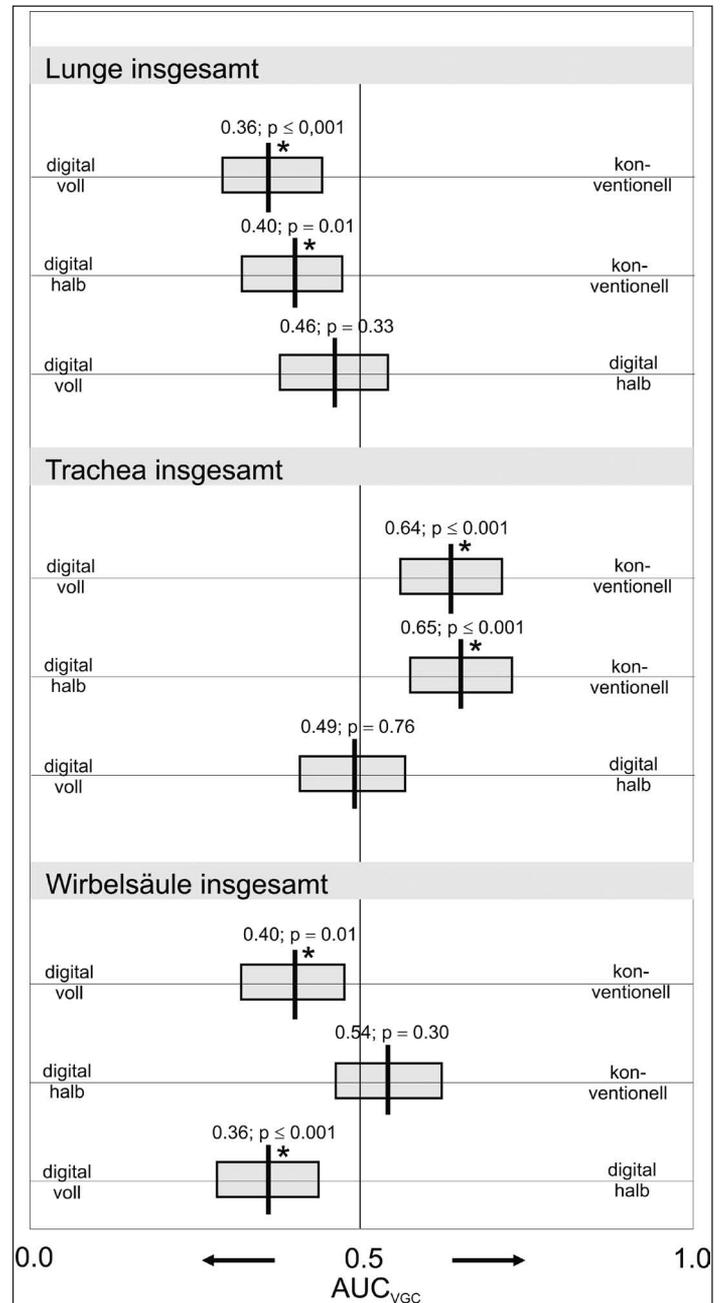
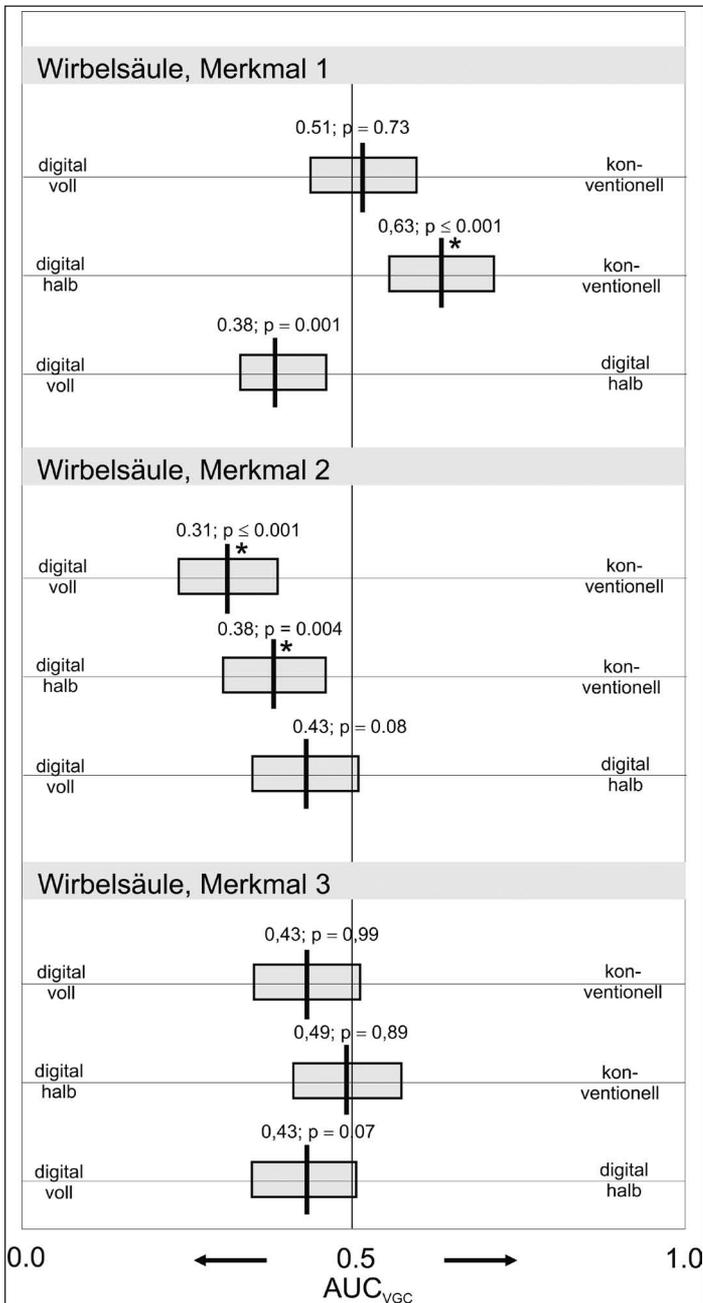
Lunge (Abb. 3 und 6)

Bis auf die Beurteilung des Lungenparenchyms in der konventionellen Belichtung (Merkmal 2, Gruppe A) wurden die definierten Kriterien in allen Belichtungsgruppen überwiegend als vollständig auswertbar (2 von 2 möglichen Punkten: 2/2, Tab. 4) eingestuft. Alle drei Merkmale wurden im Mittel in beiden digitalen Aufnahmen im Vergleich zur konventionellen Belichtung besser bewer-

tet. Für Merkmal 2 und 3 war dieser Unterschied in der VGC-Analyse (AUCVGC-Wert) signifikant. Auch in der Gesamtbewertung wurde eine signifikant bessere Beurteilung in beiden digitalen Belichtungen im Vergleich zur konventionellen Technik festgestellt. Eine Halbierung der Dosierung der digitalen Aufnahme führte bei keinem der Merkmale und auch nicht in der Gesamtbeurteilung zu einer signifikanten Veränderung der Bewertung.

Trachea (Abb. 4 und 6)

Während Merkmal 1 und 3 in allen Belichtungen überwiegend als voll auswertbar (2/2) eingestuft wurden, wurde Merkmal 2 in der konventionellen Belichtung überwiegend als eingeschränkt (1/2) und in den digitalen Belichtungen mehrheitlich als nicht auswertbar (0/2) beurteilt. Für Merkmal 2 wurde in der VGC-Analyse eine signifi-



sprechend bessere Bewertung des Systems, zu dem sich der Mittelwert bewegt. Die p-Werte der Signifikanzprüfung sind angegeben, signifikante Unterschiede mit einem Sternchen (*) markiert (AUC = Area Under the Curve).

kant bessere Bewertung der konventionellen Aufnahme ermittelt. Auch in der Gesamtbewertung wurde die konventionelle Belichtung als signifikant aussagekräftiger im Vergleich zu beiden digitalen Aufnahmen eingestuft.

Wirbelsäule (Abb. 5 und 6)

Nur die digitale Belichtung bei voller Dosis wurde bei allen drei Merkmalen überwiegend als voll auswertbar (2/2) eingestuft. Die konventionelle Belichtung wurde bei Merkmal 2, die digitale Belichtung bei Merkmal 1 und 3 dagegen vorwiegend als nur eingeschränkt auswertbar (1/2) beurteilt. Die VGC-Analyse ergab für die Darstellung der Wirbelkörper (Merkmal 1) einen signifikanten Vorteil der Belichtungen bei voller Dosis (sowohl konventionell als auch digital) im Vergleich zur digitalen Belichtung bei halbiertes Dosis. Merkmal 2 wurde dagegen bei beiden digitalen Belichtungen signifikant besser beurteilt als in der konventionellen Belichtung. In der Gesamtbewertung wurde die digitale Belichtung bei voller Dosis signifikant besser beurteilt als beide anderen Belichtungsgruppen.

Diskussion

Der begonnene und sich in der Zukunft sicher verstärkt fortsetzende Umstieg der Tierarztpraxen von konventionellen Belichtungstechniken zur digitalen Radiografie wird die Verwendung von Film-Folien-Kombinationen für die Aufnahmen bei Reptilien zunehmend einschränken. Dementsprechend sind Informationen über die Möglichkeiten und Grenzen der digitalen Aufzeichnungssysteme für diese Tierklasse wie auch für andere „Exoten“ (Heim-säuger, Vögel) dringend erforderlich. Die hier vorgestellte Studie hat anhand von Tigerpythons den für diese Spezies wie auch andere Boiden klinisch sehr bedeutungsvollen

Respirationstrakt sowie einen Bereich des Skelettsystems hinsichtlich der Qualität jeweils eines konventionellen und eines digitalen Aufnahmesystems untersucht.

Merkmalsdefinition und Einfluss der Beurteiler

Bedingung für eine effiziente Unterscheidung der Abbil-dungsqualität zwischen zwei Systemen ist, dass anatomi-sche Kriterien ausgewählt werden, welche reproduzier-bar und im Rahmen der röntgenologischen Beurteilung diagnostisch relevant sind. Des Weiteren ist es nötig, die Kriterien so zu definieren, dass eine Abstufung in der Bewertung zu erwarten ist, ohnehin stets eindeutig erkennbare Merkmale würden einen Vergleich sinnlos machen (Månsson, 2000). Die hier untersuchten Krite-rien nutzten in der Gesamtheit das verwendete Bewer-tungsspektrum und ermöglichten damit die Evaluierung der Systeme insbesondere hinsichtlich der im Vergleich kritischen Parameter. So wurde für die Ortsauflösung die Feinstruktur der Trachea (Merkmal 2) und der Kno-chendetails (Wirbelsäule, Merkmal 2 und 3) herangezogen. Die Objektdurchdringung wurde an der Darstellung der Wirbelkörper und Gelenke (Wirbelsäule Merkmal 1 und 3) beurteilt, und die Objektkontrastierung anhand der Darstellung und Abgrenzung verschiedener benach-barter Strukturen gegeneinander (alle Merkmale).

Eine dritte wichtige Voraussetzung eines verlässlichen Vergleichs zweier Systeme ist der Einsatz einer aus-reichenden Anzahl von Bewertern, da in der subjek-tiven Beurteilung und Interpretation die Hauptursache für die statistische Variation der Bewertungsergebnisse liegt (Robinson, 1997; Månsson, 2000). Voraussetzungen zur Reduktion dieser Fehlerquelle sind auch eine aus-reichende Einarbeitung sowie eine Standardisierung der Bewertungskriterien und der Bewertungsdurchführung (Robinson, 1997). Diese Maßnahmen wurden im Rahmen

dieser Studie entsprechend umgesetzt, zusätz-lich wurde an den Anfang der zu bewertenden Aufnahmen eine den Untersuchern nicht bekannte Trainingsperiode gestellt, um mög-liche Einarbeitungsprobleme bei der Arbeit mit dem Bewertungssystem auszuschließen. Der Vergleich zwischen den Beurteilern zeigte dennoch nur bei ca. 40 bzw. 60 % der Kriteriumsbeurteilungen signifikante Korre-lationen zwischen den Bewertern. Dies ist sicher durch die geringe Anzahl der Bewer-tungsstufen (drei bzw. fünf) und die damit eingeschränkten Möglichkeiten einer feineren Differenzierung bedingt. Es zeigt aber ebenso, dass individuelle Faktoren und Erfahrungen bei der Bewertung von Röntgenaufnahmen stets eine entscheidende Rolle spielen.

Einfluss des Abbildungssystems (Vergleich Belichtung A zu B)

Die Fähigkeit des menschlichen Auges, ein Objekt zu identifizieren, hängt sowohl von der Auflösung des Objektes (der Ortsauflö-sung des Abbildungssystems) als auch von der Kontrastierung ab. Dementsprechend müs-sen beide Faktoren bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Während konventionelle feinezeichnende Film-Folien-Kombinationen über eine deutlich höhere örtliche Auflösung verfügen, sind digitale Auf-zeichnungssysteme in der Lage, sehr geringe

TABELLE 4: Zusammengefasste Daten aller Untersucher zu den Merk-malsbewertungen (System/Dosis: A = konventionell 100 % Dosis, B = digi-tal 100 % Dosis, C = digital 50 % Dosis)

	Merkmal	Belichtung	Häufigkeit der Bewertungen			durchschnittl. Bewertung	
			2	1	0	Mittelwert	95%iges Konf.int.
Lunge	1	A	66	34	0	1,66	1,57–1,75
		B	74	25	1	1,73	1,64–1,82
		C	80	20	0	1,80	1,72–1,88
	2	A	24	61	15	1,09	0,97–1,21
		B	53	39	8	1,45	1,32–1,58
		C	50	47	3	1,47	1,36–1,58
	3	A	57	32	11	1,46	1,33–1,59
		B	75	22	3	1,72	1,62–1,82
		C	71	28	1	1,70	1,61–1,79
Trachea	1	A	78	19	3	1,75	1,65–1,85
		B	80	12	8	1,72	1,60–1,84
		C	83	11	6	1,77	1,66–1,88
	2	A	16	50	34	0,82	0,69–0,95
		B	2	21	77	0,25	0,16–0,34
		C	1	19	80	0,21	0,13–0,29
	3	A	64	33	3	1,61	1,50–1,72
		B	67	28	5	1,62	1,51–1,73
		C	66	31	3	1,63	1,52–1,74
Wirbelsäule	1	A	68	28	4	1,64	1,53–1,75
		B	65	31	4	1,61	1,50–1,72
		C	40	57	3	1,37	1,26–1,48
	2	A	44	52	4	1,40	1,29–1,51
		B	81	19	0	1,81	1,73–1,89
		C	67	32	1	1,66	1,56–1,76
	3	A	42	32	26	1,16	1,00–1,32
		B	48	42	10	1,38	1,25–1,51
		C	34	52	14	1,20	1,07–1,33

Schwächungsunterschiede von Körperstrukturen zu differenzieren. Im Vergleich wurden zum Teil die erwarteten Stärken und Schwächen der beiden Systeme deutlich. So erlaubte die Aufnahme auf konventioneller hochauflösender Film-Folien-Kombination eine bessere Darstellung sehr kleiner Strukturen wie der einzelnen Knorpelspannen der Trachea. Diese Strukturen hatten bei den hier untersuchten Schlangen teilweise eine Dicke von weniger als 0,5 mm. Hierbei gelangt die Ortsauflösung von etwa 4 Linienpaaren/mm bei der verwendeten Digitaltechnik an physikalische Grenzen in der Darstellung. Durch die Darstellung am Monitor wird die Auflösung zusätzlich eingeschränkt (ZVEI, 2004). Entsprechend wurde diese Region auch nach konventioneller Belichtung signifikant besser in der Gesamtbewertung beurteilt. Im Gegensatz dazu wurde das zweite auf die Ortsauflösung fokussierende Kriterium, die Beurteilung der Rippen, besser in den digitalen Aufnahmen bewertet. Hier wurde vermutlich infolge der besseren Kontrastierung eine eindeutige Darstellung ermöglicht. Insgesamt erwies sich der verwendete Flachdetektor bei der Bewertung von Strukturen, die geringe Absorptionsunterschiede aufweisen (z. B. des Lungenparenchyms und der Lungengefäße) als überlegen. Hier konnte der erheblich breitere Grauwertumfang im digitalen System insbesondere auch mit den Möglichkeiten der Nachbetrachtung und der Verwendung einer optimierten Signalverarbeitung das Befundungsergebnis verbessern. Da gerade die Kontrastierung des respiratorischen Gewebes in der Schlangenlunge eine große Bedeutung bei der Beurteilung aus klinischer Sicht spielt (Murray, 2006), ist dies eindeutig als Vorteil in der Diagnostik zu werten. Bislang liegen keine Erfahrungen zum Einsatz bei Schlangen mit respiratorischen Erkrankungen vor, hier besteht noch der Bedarf vergleichender Studien. Zur Darstellung pathologischer Strukturen im Bereich des Brustkorbes dokumentierte aber bereits eine Studie beim Menschen, welche CT-Diagnosen als Vergleichsstandard verwendete, die Überlegenheit von Flachdetektoren im Vergleich zur konventionellen Röntgentechnik (Garner et al., 2000). Schließlich zeigen die in der vorliegenden Studie festgestellten Vorteile des digitalen Systems für die Beurteilung knöcherner Strukturen darüber hinaus das weitere Potential des verwendeten Abbildungssystems in der Diagnostik auf.

Einfluss der Dosisreduktion bei der digitalen Abbildung (Vergleich Belichtung B zu C)

Untersucht wurde die Auswirkung der Halbierung des mAs-Produktes auf die Bildqualität. Die Vergleiche dienten dazu, herauszufinden, ob es möglich ist, eine derartige Dosisreduktion ohne substanziellen Verlust an Bildinformation umzusetzen. Der weite Dynamikbereich digitaler Aufzeichnungssysteme erlaubt generell eine Dosisreduktion. Allerdings nimmt dabei das Quantenrauschen zu. Geringere Aufnahmedosen hätten den Vorteil, dass durch kürzere Belichtungszeiten Bewegungsunschärfen reduziert würden und die Strahlenexposition gesenkt werden könnte (Uffmann und Schaefer-Prokop, 2009). Untersuchungen zum Einfluss der Dosis auf die Qualität der Wiedergabe von Bildstrukturen wurden bei Tieren an Schweinen (Seifert et al., 1996), Hunden (Koert, 2004) und Katzen (Ludewig et al., 2009) durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass digitale Systeme prinzipiell eine

TABELLE 5: Zusammengefasste Daten aller Untersucher zu den Gesamtbewertungen (Belichtung: A = konventionell 100 % Dosis, B = digital 100 % Dosis, C = digital 50 % Dosis)

	Belichtung	Häufigkeit der Bewertungen					Durchschnittliche Bewertung	
		4	3	2	1	0	Mittelwert	95%iges Konf.int.
Lunge	A	18	47	28	7	0	2,76	2,60–2,92
	B	40	42	12	4	2	3,14	2,96–3,32
	C	31	49	16	4	0	3,07	2,91–3,23
Trachea	A	12	47	23	15	3	2,50	2,31–2,69
	B	5	33	25	28	9	1,97	1,76–2,18
	C	1	38	19	36	6	1,92	1,72–2,12
Wirbelsäule	A	10	48	33	9	0	2,59	2,43–2,75
	B	24	45	30	1	0	2,92	2,77–3,07
	C	10	38	42	10	0	2,48	2,32–2,64

Dosisreduktion ermöglichen, ohne dass dabei relevante Bildinformationen verloren gehen. Da Schlangen für die röntgenologische Untersuchung in der Regel durch eine Person manuell fixiert werden, stellt eine Dosisreduktion auch für den Tierarzt einen Beitrag zur Reduktion der Strahlenexposition dar. Für die Anwendung bei anderen „Exoten“ wie Vögeln ist die Reduktion der Belichtungszeit allerdings auch eine diagnostisch relevante Frage, da hier durch die Atemfrequenz der Tiere verursachte Bewegungsunschärfen zu Problemen führen. Nach Halbierung der Dosis wurde in dieser Studie bei den auf die Darstellung von Weichgewebe mit dem Schwerpunkt der Kontrastierung fokussierenden Merkmalen für die anatomische Region „Lunge“ wie auch „Trachea“ für kein Kriterium eine Qualitätsminderung festgestellt. Bemerkenswert ist, dass auch im Vergleich zur konventionellen Technik alle Merkmale, welche bei voller Dosis signifikant besser bewertet wurden, bei Halbierung der Dosis weiter eine Signifikanz zeigten. Hieraus kann schlussgefolgert werden, dass eine Halbierung der Strahlendosis durch Reduktion des mAs-Produktes ohne eine nachteilige Auswirkung auf die Qualität der Darstellung und damit die Eignung der Aufnahmen für die Befundung ist. Die für die Region „Wirbelsäule“ für ein Merkmal (Darstellung der Wirbelkörper) gefundene schlechtere Bewertung der Aufnahme mit halbiertem Dosis im Vergleich zu beiden Belichtungen mit voller Dosis zeigt dagegen die Grenze in der Möglichkeit der Reduktion der Strahlendosis auf, da die Darstellung röntgendichterer Objekte wie knöcherner Strukturen eingeschränkt wird.

Flachdetektoren sind im Vergleich zu herkömmlichen Speicherfoliensystemen durch einen höheren Quantenwirkungsgrad (detective quantum efficacy, DQE) gekennzeichnet, wodurch die Strahlendosis potentiell stärker ohne Informationsverlust gesenkt werden kann. Für die Diagnostik von Veränderungen in der Lunge des Menschen wurde dieser Vorteil nachgewiesen, allerdings waren die Dosisreduktion gerade für die Detektion kleiner Veränderungen kritisch (Uffmann et al., 2005). Das hier verwendete digitale System weist einen Quantenwirkungsgrad von > 30 % auf und liegt damit in einem dem verwendeten konventionellen Film-Folien-System ähnlichen Bereich (Busch, 1999). Es ist daher vorstellbar, dass bei Detektoren mit höherem Wirkungsgrad ein weiteres Einsparpotential möglich ist.

Abschließend ist zu bemerken, dass in der hier vorliegenden Studie definierte anatomische Merkmale beurteilt wurden. Inwieweit die Diagnostik pathologischer Veränderungen eine entsprechende Dosisanpassung erlaubt, sollte durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der Nutzung eines digitalen Radiografiesystems im Vergleich zu hochauflösenden Film-Folien-Kombinationen mit der Einschränkung der geringeren Detaildarstellung Vorteile bei der Darstellung des Respirationstraktes ergeben. Eine Halbierung der Dosis ist im Vergleich zur Ablichtung auf einer konventionellen hochauflösenden Film-Folien-Kombination ohne Verschlechterung der Bildqualität möglich. Für die Darstellung des Skelettsystems kann diese Reduktion nicht empfohlen werden.

Danksagung

Diese Studie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt (DFG PE 877/2-1).

Es bestehen keine geschützten, finanziellen, beruflichen oder anderen persönlichen Interessen an einem Produkt, Service und/oder einer Firma, welche die in diesem Manuskript dargestellten Inhalte oder Meinungen beeinflussen könnten.

Literatur

- Bäth M, Männson LG (2007):** Visual grading characteristics (VGC) analysis: a non-parametric rank-invariant statistical method for image quality analysis. Br J Radiol 80: 169–176.
- Busch HP (1999):** Digitale Projektionsradiographie – Technische Grundlagen, Abbildungseigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten. Radiologe 39: 710–724.
- Busch HP, Busch S, Decker C, Schilz C (2003):** Bildqualität und Dosis in der Digitalen Projektionsradiographie. Rofo 175: 32–37.
- Garmer M, Hennigs SP, Jäger HJ, Schrick F, van de Loo T, Jacobs A, Hanusch A, Christmann A, Mathias K (2000):** Digital Radiography versus conventional radiography in chest imaging: Diagnostic performance of a large-area silicon flat-panel detector in a clinical CT-controlled study. Am J Roentgenol 174: 75–80.
- 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. Leipzig, veterinärmed. Fak., Diss.
- Körner M, Wirth S, Treitl M, Reiser M, Pfeifer KJ (2005):** Initial clinical results with a new Needle screen storage phosphor system in chest radiograms. Rofo 177: 1491–1496.
- Ludewig E, Hirsch W, Bosch B, Gäbler K, Sorge I, Succow D, Werrmann A, Gosch D (2009):** Untersuchungen zur Qualität von Thoraxaufnahmen bei Katzen mit einem auf einer Nadelstruktur basierenden Speicherfoliensystem – Modelluntersuchungen zur Bewertung der Bildqualität bei Neugeborenen. Rofo, <http://www.thieme-connect.de/ejournals/pdf/roefo/doi/10.1055/s-0028-1109661.pdf> (im Druck).
- Ludewig E, Werrmann A, Kamm KF, Oechtering G (2007):** Digitale Projektionsradiographie – eine Übersicht zu Begriffen und Prinzipien. Prakt Tierarzt 88: 593–603.
- Männson LG (2000):** Methods for the evaluation of image quality. Radiat Prot Dosimetry 90: 89–99.
- Meyer-Lindenberg A, Ebermeier C, Wolvekamp P, Tellhelm B, Meutstege FJ, Lang J, Hartung K, Fehr M, Nolte I (2008):** Vergleichende Untersuchungen von sechs verschiedenen Körperregionen des Hundes mit der analogen und digitalen Radiographie. Berl Munch Tierarztl Wochenschr 121: 216–227.
- Murray MJ (2006):** Pneumonia and lower respiratory tract disease. In: Mader DR (Hrsg.). Reptile medicine and surgery, 2. Auflage. Saunders Elsevier, St. Louis, 865–877.
- Pees M (2009):** Röntgenuntersuchung. In: Krautwald-Junghanns M-E, Pees M, Reese S, Tully T (Hrsg.): Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren. Schlütersche, Hannover, 310–333.
- Pees M, Schmidt V, Krautwald-Junghanns M-E (2007a):** Häufige respiratorische Erkrankungen bei Schlangen und Schildkröten. Tierarztl Prax 35(K): 222–229.
- Pees M, Kiefer I, Ludewig E, Schumacher J, Krautwald-Junghanns M-E, Oechtering G (2007b):** Computed tomography of the lungs of Indian pythons (*Python molurus*). AJVR 68: 428–434.
- Pees M, Kiefer I, Ludewig E, Westphal S, Schmidt V, Krautwald-Junghanns M-E, Oechtering G (2006):** Vergleichender Einsatz moderner bildgebender Verfahren zur Diagnostik von Pneumonien bei drei Tigerpythons (*Python molurus*). Tierarztl Prax 34(K):275–282.
- Robinson PJA (1997):** Radiology's achilles' heel: error and variation in the interpretation of the röntgen image. Br J Radiol 70: 1085–1098.
- Schumacher J (1997):** Respiratory Diseases of Reptiles. Sem Avian Exot Pet Med 6: 209–215.
- Seibert JA (2004):** Tradeoffs between image quality and dose. Pediatr Radiol 34: S183–S195.
- Seifert H, Schneider G, Kubale R, Blaß G, Kramann G, Leetz HK (1996):** Die Strahlenexposition bei der Abdomen-Übersichtsaufnahme mit digitaler Lumineszenzradiographie und konventionellem Film-Folien-System – eine tierexperimentelle Untersuchung. Rofo 165: 386–391.
- Silverman S (2006):** Diagnostic Imaging. In: Mader DR (Hrsg.). Reptile medicine and surgery, 2. Auflage. Saunders Elsevier, St. Louis, 471–489.
- Uffmann M, Prokop M, Eisenhuber E, Fuchsjäger M, Weber M, Schaefer-Prokop C (2005):** Computed radiography and direct radiography. Influence of acquisition dose on the detection of simulated lung lesions. Invest Radiol 40: 249–256.
- Uffmann M, Schaefer-Prokop C (2009):** Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose. Eur J Radiol, doi: 10.1016/j.ejrad.2009.05.060 (in press).
- ZVEI (2004):** Qualitätssicherung an Bildwiedergabegeräten. Ein Kompendium zur Information über Grundlagen, Technik und Durchführung. ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., Frankfurt.

Korrespondenzadresse:

Dr. Michael Pees
Klinik für Vögel und Reptilien
Universität Leipzig
An den Tierkliniken 17
04103 Leipzig
pees@uni-leipzig.de