

Aus dem Institut für Klinische Radiologie der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor

Prof. Dr. med. Dr. h.c. Maximilian Reiser, FACR, FRCR

Ein am Schweinemodell  
optimierter Algorithmus  
zur bildgebenden Detektion  
inkorporierter Päckchen  
von Drogenkurierern (Bodypackern)

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von  
Edvard Ziegeler  
aus Göttingen  
2014

Mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter

Priv.Doz. Dr.med. Dr.rer.biol.hum. Dipl.inform.univ. Stefan Wirth

Mitberichterstatter

Priv.Doz. Dr.med. Oliver Peschel

Priv.Doz. Dr.med. Christian P. Schneider

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter

Dr. med. Michael Scherr

Dekan

Prof.Dr.med. Dr.h.c. Maximilian F. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung

20.03.2014

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	06
1.1	Das Phänomen Bodypacking: Definition und Abgrenzung	06
1.2	Bodypacking als Herausforderung für die Radiologie	08
1.3	Methoden zur Fremdkörperdetektion: Konventionelles Röntgen und CT	10
1.4	Auswertung von Topogrammen	11
1.5	Fragestellung	12
2	Material und Methoden	13
2.1	Tiermodell	13
2.2	Drogengebinde (Inhalt und Herstellung)	14
2.2.1	Übersicht der verwendeten Drogen: Kokain	14
2.2.2	Übersicht der verwendeten Drogen: Heroin	15
2.2.3	Übersicht der verwendeten Drogen: Haschisch	16
2.2.4	Herstellung der Drogenpäckchen	17
2.3	Ablauf der Experimente	19
2.4	Bilderzeugung	19
2.4.1	Konventionelles Röntgen	19
2.4.2	Topogramme	19
2.4.3	CT-Serien	20
2.5	Bildauswertung	21
2.5.1	CT-Fenstereinstellungen	22
2.5.2	Abgrenzbarkeit der Drogengebinde	22
2.6	Dosisabschätzung und -vergleich	24
2.7	Statistik	27

3	Ergebnisse	28
3.1	Bildauswertung Röntgen und Topogramme	28
3.1.1	Durchschnittliche Abgrenzbarkeit in allen Topogrammen besser bewertet als im konventionellen Röntgen	29
3.1.2	Gemeinsame Auswertung beider Topogrammebenen führt zu ausreichender Abgrenzbarkeit in Topogrammen mit 80 mA	30
3.1.3	Höhere Röhrenspannungen bei der Topogrammakquisition führen zu besseren Abgrenzbarkeitswerten	31
3.1.4	Mechanisch komprimierte Heroinprobe in Topogrammen und Röntgen eindeutig abgrenzbar	31
3.1.5	Bei allen übrigen Proben Topogramme konventionellem Röntgen überlegen	32
3.1.6	Kokainprobe abgrenzbar in Topogrammen, jedoch nicht mit Röntgen	33
3.2	Bildauswertung CT-Serien	34
3.2.1	Abgrenzbarkeit mit dosisreduzierten CT-Protokollen im Vergleich zu Standarddosis-CT	35
3.2.2	Abgrenzbarkeit bezogen auf CT-Fenstereinstellungen	36
3.3	Dosisabschätzung und -vergleich	37
3.3.1	Konventionelles Röntgen	37
3.3.2	Topogramme	38
3.3.3	CT-Serien	40
3.4	Statistische Analyse	41

4	Diskussion	42
4.1	Topogramme im Vergleich zu Röntgen	42
4.1.1	Deutlich niedrigere Dosis für Topogramme als für Röntgenaufnahmen	42
4.1.2	Bessere Abgrenzbarkeit mit Topogrammen als mit Röntgenaufnahmen	42
4.2	CT-Serien im Vergleich	45
4.2.1	Abgrenzung der Päckchen war mit dosisreduzierten CT-Protokollen mit signifikant niedrigeren Dosen als mit Standard-CT möglich	46
4.2.2	Computertomographie ist Goldstandard der Abgrenzbarkeit	47
4.2.3	Anpassung der Fensterung ist entscheidend für Abgrenzbarkeit	48
4.3	CT-Serien und Topogramme im Vergleich	49
4.4	CT-Serien und Röntgenbilder im Vergleich	50
4.5	Schlussfolgerungen	51
4.5.1	Ergebnisse legen nahe, dass dosisreduzierte CT das konventionelle Röntgen bei asymptomatischen Verdächtigen ersetzen könnte	51
4.5.2	Vorgeschaltete Topogramm-Auswertung könnte Dosisersparung ermöglichen	52
4.6	Einschränkungen	53
4.7	Anregungen für die praktische Anwendung	54
5	Zusammenfassung	56
6	Verzeichnis der Tabellen	58
7	Verzeichnis der Abbildungen	59
8	Literaturverzeichnis	62
9	Eidesstattliche Versicherung	68
10	Danksagung	69

## 1 Einleitung

### 1.1 Das Phänomen Bodypacking: Definition und Abgrenzung

Der 2004 erschienene Kinofilm „Maria voll der Gnade“ (Originaltitel „Maria Full of Grace – Maria, llena eres de gracia“) schildert eindringlich und umfassend das Phänomen des Bodypacking: Eine junge Frau wird in Kolumbien angeworben, um Kokain in die USA zu schmuggeln [26]. Mit der in Aussicht gestellten Bezahlung erhofft sie sich ein besseres Leben für sich und ihre Familie. Sie schluckt 50 Kokainpäckchen, die vor ihren Augen mit einer einfachen Maschine im Hinterzimmer einer Apotheke in Bogotá hergestellt werden. Sie erhält Medikamente, die ihre Darmtätigkeit vermindern sollen und reist dann mit mehreren „Kolleginnen“ per Flugzeug nach New York. Am dortigen Flughafen fällt sie bei einer einfachen Befragung auf und entgeht einer radiologischen Untersuchung nur dadurch, dass sie schwanger ist. Sie wird daher auf freien Fuß gesetzt, umgehend von Mitgliedern der Schmugglerbande in Empfang genommen und scheidet die Päckchen über mehrere Tage hinweg in einem Hotelzimmer aus. Sie muss erleben, wie eine Mitreisende, bei der anscheinend ein Päckchen undicht geworden ist, verstirbt. Letztlich kehrt sie desillusioniert in ihre Heimat zurück, eine Überlebende des weltweiten Geschäftes mit illegalen Drogen.

So wie die Protagonistin des Films sind jährlich tausende Menschen weltweit als sogenannte Bodypacker unterwegs und riskieren ihr Leben, ihre Gesundheit und ihre Freiheit um illegale Drogen über intensiv überwachte internationale Grenzen, insbesondere Flughäfen, zu transportieren [9,45]. Bodypacking lässt sich von Bodystuffing abgrenzen, bei dem Drogen verschluckt werden, um kurzfristig der Entdeckung z. B. bei einer Polizeikontrolle zu entgehen [1, 10, 32, 45]. In solchen Situationen werden kleinere Drogenmengen z. T. auch mit Verpackung verschluckt, dies wird in dieser Arbeit nicht als Bodypacking verstanden. Es sind Bodypacker beschrieben, die über 110 Päckchen verschluckt hatten [25].

Ein typisches Päckchen enthält zehn bis zwanzig Gramm des jeweiligen Gemisches aus Droge und Streckmitteln, ist traubenförmig mit circa 4 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser und hat eine Hülle aus Kunststoff und/oder Latex, meist in mehreren Schichten [11,17,18,45]. Hier müssen die Verpacker einen Kompromiss eingehen: Zusätzliche Schichten verringern das Risiko von Undichtigkeiten und Aufplatzen, die bei den Bodypackern zu teilweise tödlichen Vergiftungen – und damit auch ihrer Entdeckung – führen. Gleichzeitig erleichtern dickere Verpackungen das Auffinden der Päckchen mit bildgebenden Verfahren.

Als teuerste Drogen stehen Kokain und Heroin beim Bodypacking mit Abstand im Vordergrund. Platzt ein Päckchen mit mehr als zehn Gramm Kokain im Körper eines Bodypackers, so bedeutet dies eine unmittelbare Lebensgefahr, die nur durch eine sofortige Not-Laparotomie abzuwenden ist [2,31,41].

Im Gegensatz dazu kann die Ruptur eines Heroinpäckchens aufgrund wirksamer Antagonisten zumindest teilweise auch konservativ intensivmedizinisch therapiert werden [10]. Wird ein Patient mit Verdacht auf Intoxikation durch Bodypacking aufgenommen, ist somit unverzüglich Notfalldiagnostik und -therapie geboten. Die Computertomographie von Abdomen und Becken ist dabei das bildgebende Verfahren der Wahl um schnell Aussagen zu Vorhandensein und Lokalisation von Päckchen, sowie zu einer eventuell bereits vorliegenden Lokalreaktion zu erhalten [18,49]. Auch weitere mögliche Komplikationen des Bodypackings wie ein (Sub-)ileus oder eine Darmperforation können auf diese Weise diagnostiziert werden. In der lebensbedrohlichen Situation erscheint die hierzu nötige Strahlendosis unbedingt gerechtfertigt.



Abbildung 01:  
Beschaffenheit eines  
maschinell erzeugten  
Bodypacks

Reproduced with permission  
from N Engl J Med. 2003  
Dec 25; 349 (26): 2519–26,  
Copyright Massachusetts  
Medical Society.

## 1.2 Bodypacking als

### Herausforderung für die Radiologie

Bodypacker können dem Radiologen demnach in der klinischen Praxis als Notfallpatienten begegnen [17, 18, 37]. In diesem Fall gilt in Deutschland für den Radiologen wie für alle anderen behandelnden Ärzte die Schweigepflicht, mit der Konsequenz, dass sich der Arzt strafbar macht, wenn er die Strafverfolgungsbehörden informiert. Als Ausnahme gilt hier eine akute Gefährdungssituation, z. B. wenn damit gerechnet werden muss, dass Dritte versuchen könnten, sich der Drogenpäckchen oder gar des Patienten zu bemächtigen und so auch Personal oder andere Patienten gefährdet erscheinen. Ist dies nicht der Fall, sind sichergestellte Drogen sachgerecht zu entsorgen (z. B. über die Hausapotheke oder eine toxikologische Abteilung) und der Patient nach den Regeln der ärztlichen Kunst zu versorgen. Insbesondere gilt es, wann immer möglich, das Einverständnis des Patienten zu Untersuchungen und Maßnahmen einzuholen und dementsprechend auch auf gebotene Maßnahmen zu verzichten, wenn der Patient diese ablehnt.

Ganz anders ist die Situation, die den Hintergrund der vorliegenden Arbeit darstellt: Wird eine Person von Zoll oder Polizei des Bodypackings verdächtigt, so müssen die Behörden diesen Verdacht erhärten, um den Verdächtigen festhalten zu können. Hierzu bedienen sie sich regelmäßig Ärzten als Sachverständigen [34]. Nach § 75 der Strafprozessordnung (StPO) sind Ärzte zur Tätigkeit als Sachverständige in der Regel verpflichtet. Die Bestellung als Sachverständige kann gegenüber dem Arzt nicht nur durch Richter und Staatsanwälte, sondern auch durch Hilfspersonen wie Ermittlungsbeamte erfolgen und bedarf nicht der Einwilligung des Verdächtigen [15]. Die besondere Herausforderung für den in einer solchen Situation als Sachverständigen bestellten Radiologen liegt dabei darin, dass die meisten Radiologen nur sehr selten mit Bodypackern konfrontiert werden und daher meistens nicht

über Routine in der Bearbeitung einer solchen Fragestellung verfügen [18,37,38].

Für die Durchführung einer Untersuchung in einer solchen Situation gilt dabei nach §81 a Absatz 1 StPO:

„Eine körperliche Untersuchung des Beschuldigten darf zur Feststellung von Tatsachen angeordnet werden, die für das Verfahren von Bedeutung sind. Zu diesem Zweck sind Entnahmen von Blutproben und andere körperliche Eingriffe, die von einem Arzt nach den Regeln der ärztlichen Kunst zu Untersuchungszwecken vorgenommen werden, ohne Einwilligung des Beschuldigten zulässig, wenn kein Nachteil für seine Gesundheit zu befürchten ist.“ [3].

In dieser Situation stellen sich für den Radiologen vor allem zwei Fragen: Erstens, welche bildgebende Modalität sich zur Detektion von Bodypacks am besten eignet und zweitens, ob diese Modalität im Sinne des §81 a StPO zulässig, d. h. in diesem Falle verhältnismäßig bezüglich eines möglichen zu befürchtenden Nachteiles für die Gesundheit des Verdächtigen ist. Bei radiologischen Untersuchungen wird es in diesem Fall um mögliche Schäden durch Röntgenstrahlung gehen, also konkret um stochastische Schäden, die proportional zur applizierten Dosis zu erwarten sind [4,39]. Demgemäß sollte sich der Radiologe in dieser Situation – ein Verdächtiger ohne klinische Symptome, der ohne seine Einwilligung und ohne medizinische Indikation untersucht werden soll – unbedingt bemühen, die Strahlendosis so gering wie möglich zu halten [27,34]. Hierzu sind vor allem zwei Ansätze von Bedeutung. Zum Einen sollte die jeweilige Untersuchung mit geringstmöglicher Dosis einhergehen. Zum Anderen sollte sie aber so aussagekräftige Ergebnisse liefern, dass weitere Untersuchungen zur Absicherung unterbleiben können.

Die Detektion erfolgt durch die Abgrenzung der Bodypacks von physiologischen Strukturen, also von Weichteilen und insbesondere von Darminhalt [18,45,49].

Dies ist oft nicht trivial, da die Röntgendichte der Substanzen häufig Darminhalt oder Weichteilen ähnelt [18,47].

Hinweise geben dann insbesondere die Grenzflächen der Packs mit typischen Zeichen der Verpackung wie dem „Zwiebelzeichen“ oder dem „Zeichen des doppelten Kondoms.“ Dieses entsteht durch Luft, sofern zwei Verpackungslagen verwendet wurden. Auch die spezifische Form der Packs – insbesondere, wenn diese maschinell hergestellt wurden – kann helfen, Packs zu identifizieren [18].

### 1.3 Methoden zur Fremdkörperdetektion:

#### Konventionelles Röntgen und CT

Die beiden Modalitäten, die in dieser Arbeit betrachtet werden – das konventionelle Röntgen und die Computertomographie –, verwenden beide Röntgenstrahlen zur Bilderzeugung. Das Röntgenbild stellt derzeit (noch) den Standard der Bildgebung beim asymptomatischen Bodypacker dar. Es ist universell verfügbar, preiswert und schnell durchführbar. Bedenklich ist, dass auf diese Weise bis zu 50 % der Bodypacks unentdeckt bleiben können [10,14,45]. Diese diagnostische Unsicherheit ist auch den Strafverfolgungsbehörden bekannt, so dass sich diese unter Umständen nicht mit einem unauffälligen Röntgenbild des Abdomens eines Verdächtigen zufrieden geben, sondern weitere, sensitivere Diagnostik fordern könnten. Für die CT sind Sensitivitäten bezüglich Bodypacks von 100 % beschrieben [14,18,49]. Hier ist die Schichtbildung der Projektionsradiographie überlegen, sie wird daher vielfach als Folgeuntersuchung empfohlen. Allerdings sind die Strahlendosen der beim Bodypacker benötigten CT von Abdomen und Becken nicht unerheblich [4,39].



Abbildung 02:  
Double-condom sign  
(Zeichen des doppelten  
Kondoms)

Reproduced with permission  
from N Engl J Med. 2003  
Dec 25; 349 (26): 2519–26,  
Copyright Massachusetts  
Medical Society.

In letzter Zeit sind daher von mehreren Autoren Ansätze zur Dosisreduzierung beschrieben worden [27,34]. Beispielsweise war es möglich Packs mit einem Drittel der Standarddosis einer Abdomen-CT (2,23 mSv) zu detektieren [34]. Das ist aber dennoch ein Wert, der jedoch weiterhin die Dosis eines typischen Röntgenbildes um das etwa 2,2fache übersteigt.

#### 1.4 Auswertung von Topogrammen

Eine Zwischenstellung zwischen Röntgen und Computertomographie nehmen CT-Topogramme ein, also Planungsbilder, auch Scout Views oder Scanogramme genannt. Es handelt sie hierbei um projektionsradiographische Aufnahmen, die jedoch mit der CT-Scannertechnik erzeugt werden. Vor jeder CT-Serie werden Topogramme in zwei Ebenen erstellt, mit in  $0^\circ$  beziehungsweise in  $90^\circ$  feststehender Röntgenröhre fährt die Gantry dabei je einmal so über die zu untersuchende Körperregion, dass diese sicher erfasst ist.

Die aus den gewonnenen Daten errechneten Topogramme liegen auf modernen Systemen in Echtzeit vor und werden – im Routinebetrieb durch medizinisch-technische Röntgenassistenten (MTRA) – zur Planung der CT-Schichten, also der eigentlichen CT-Untersuchung verwendet. Eine diagnostische Bildauswertung findet oft nicht statt. Es gibt jedoch auch Ansätze, die Topogramme zu diagnostischen Zwecken zu verwenden. Eine Idee ist, statt konventioneller Röntgenbilder Topogramme anzufertigen, da die diagnostische Aussagekraft je nach Fragestellung ausreichen kann – die Dosis aber geringer als mit der Radiographie ist [13,22]. Andererseits wird versucht, Strahlendosis einzusparen, indem die eigentlichen CT-Serien gar nicht erst durchgeführt werden, sofern die benötigte Information mit ausreichender Qualität bereits aus den Topogrammen gewonnen werden kann – so beispielsweise

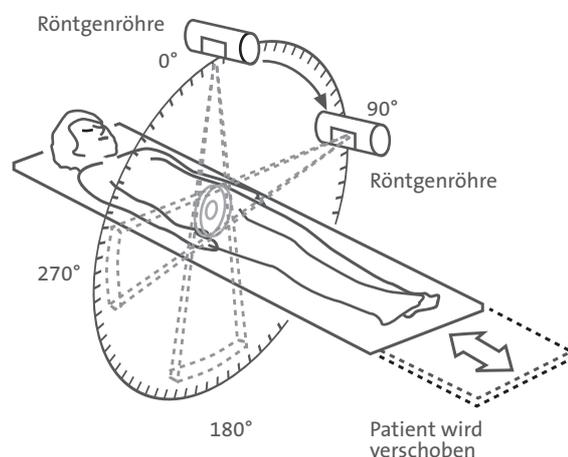


Abbildung 03:  
Röhrenpositionen bei der  
Topogramm-Akquisition

in einer Studie zur Beurteilung von HWS-Traumata niedriger Intensität [44]. Analog gibt es Vorschläge, Topogramme als Alternative zu konventionellen Röntgenbildern anzufertigen und so Dosis einzusparen, konkret bei der Suche nach Nierensteinen [21].

### 1.5 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, an einem Schweinemodell eine Bodypacker-Situation zu simulieren, mittels konventioneller Radiographie, CT-Topogramm, Standard-CT sowie in mehreren Stufen dosisreduzierter CT zu untersuchen, hinsichtlich der Aussagekraft der Verfahren zu bewerten und in Zusammenschau mit den jeweils abgeschätzten Dosiswerten eine entsprechende Handlungsempfehlung für die Anwendung am Menschen abzuleiten.

## 2 Material und Methoden

Die Herausforderung im Bereich der radiologischen Bodypacking-Forschung liegt zum einen in den bereits erwähnten niedrigen Fallzahlen, zum anderen darin, dass die besondere Situation der asymptomatischen Bodypacker als Verdächtige und die Sachverständigentätigkeit der Ärzte nur sehr eingeschränkt Raum lassen, das Einverständnis des Untersuchten für Forschungszwecke einzuholen.

Schließlich ist keine standardisierte Wiederholbarkeit von Versuchen am lebenden Menschen möglich, da ein solches Vorgehen wegen der Strahlenbelastung ethisch bedenklich wäre. Aus diesem Grund wurde für die im Folgenden beschriebenen Experimente ein Tiermodell (Kadaver) gewählt.

### 2.1 Tiermodell

Die hier beschriebenen Versuche wurden mit einem frisch geschlachteten Schwein durchgeführt, das für die Versuche vom örtlichen Schlachthof erworben wurde. Das Tier war am Morgen des Experimentes zur Produktion von Fleisch- und Wurstwaren geschlachtet worden, somit entfiel die Notwendigkeit einer Anzeige bzw. Genehmigung gemäß Tierschutzgesetz. Das Tier wurde unmittelbar nach der Schlachtung dem Produktionsprozess entzogen, so dass das Abdomen unangetastet blieb. Das Tier wurde umgehend in das radiologische Institut verbracht, wo die Experimente binnen fünf Stunden durchgeführt werden konnten. Das Schwein eignete sich aus unserer Sicht insbesondere wegen seines Gewichtes (121,5 kg) und seiner Größe als annäherungsweise Modell für den menschlichen Körper. Die Durchmesser im Bereich des Beckens betragen 33 cm im sagittalen Strahlengang und 32 cm im Strahlengang in der Frontalebene. Von Vorteil war besonders die gegebene Reproduzierbarkeit. Die Päckchen wurden nacheinander manuell circa acht Zentimeter tief im Rektum des Tieres platziert.

## 2.2 Drogengebinde (Inhalt und Herstellung)

Bei unserem Experiment erfuhren wir die freundliche Unterstützung durch die Abteilung Chemie des Bayerischen Landeskriminalamtes, die uns verschiedene Drogen zur Untersuchung zur Verfügung stellte. Die verschiedenen im Weiteren beschriebenen Drogenproben entstammten allesamt Material, das im Zuge von Ermittlungsmaßnahmen sichergestellt worden war. Das heißt konkret entweder aus Bodypacks stammte, die im Körper von Verdächtigen gewesen waren, beziehungsweise zur Ingestion vorbereitet worden waren. Es war so möglich, verschiedene Drogenarten im gleichen Versuchsaufbau nacheinander zu untersuchen. Umfassend ausgewertet wurden dabei drei Kokainproben, zwei Heroinproben, davon eine in drei unterschiedlichen Kompressionsformen, eine Probe bestehend aus Koffein und Paracetamol, sowie eine Haschischprobe. Koffein und Paracetamol wurden berücksichtigt, weil sie typische Streckmittel für Heroin sind. Die in der Übersichtsaufnahme ebenfalls enthaltenen Päckchen mit Wasser und weitere Heroinproben konnten aufgrund zeitlicher Begrenzungen (Verfügbarkeit des CT in der Notfalldiagnostik) und hygienischen Bedenken (Verderblichkeit des Schlachttieres) nicht sämtlichen Untersuchungsdurchläufen unterzogen werden und werden deshalb in der Auswertung nicht berücksichtigt.

### 2.2.1 Übersicht der verwendeten Drogen: Kokain

Beim Kokainhydrochlorid handelt es sich um die gebräuchlichste Darreichungsform von Kokain. In der chemischen Zustandsform als Hydrochlorid kann das Kokain nasal aufgenommen werden („Schnupfen“). Diese stellt wohl die typische Form des Konsums in Deutschland dar.

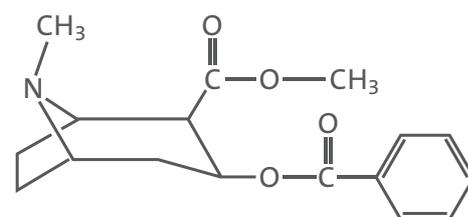


Abbildung 04:  
Strukturformel Kokain,  
Summenformel:  
 $C_{17}H_{21}NO_4$

Molekulargewicht:  
303.4 g/mol

Liegt das Kokain hingegen als freie Base vor, wird dieses typischerweise verdampft, beziehungsweise verbrannt und inhaliert, diese Konsumform ist in Europa weniger verbreitet als beispielsweise in den Vereinigten Staaten. Beim Kokain handelt es sich um einen Extrakt aus den Blättern des in Südamerika verbreiteten Koka-Strauches. Als weißes Pulver geschnupft wirkt Kokain in erster Linie lokal anästhetisch sowie zentral vegetativ und psychomotorisch anregend, antriebssteigernd und zum Teil stimmungsaufhellend bis euphorisierend. Die Wirkung hält circa 30 Minuten an. Das Abhängigkeitspotential des Kokains wird als sehr hoch eingeschätzt. Kokain gehört wie Heroin zu den im Anhang des Betäubungsmittelgesetzes (BtmG) aufgeführten Substanzen und wird derzeit in Deutschland nur noch in Ausnahmefällen als Medikament eingesetzt (kokainhaltige Augentropfen als Sonderzubereitung). Im neunzehnten und zwanzigsten Jahrhundert wurde Kokain als Lokalanästhetikum verwendet, seit längerem stehen für diese Anwendung jedoch nicht-zentral wirksame Substanzen wie Lidocain zur Verfügung [7,9].

## 2.2.2 Übersicht der verwendeten Drogen:

### Heroin

Heroin, chemisch Diamorphin, ist ein halbsynthetisches Derivat des Morphins, welches wiederum aus Opium, dem eingedickten Saft des Schlafmohns, gewonnen wird – es zählt somit zu den Opiaten.

Heroin, das ursprünglich von der Firma Bayer als weniger suchterzeugende Alternative zum Morphin entwickelt und als Antitussivum vermarktet wurde, erwies sich insbesondere bei intravenöser Injektion als stark euphorisierend und sedierend – sowie als außerordentlich stark suchterzeugend.



Abbildung 05:  
Kokainhydrochlorid  
Quelle: Wikipedia,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kokain>,  
abgerufen 10.09.2013

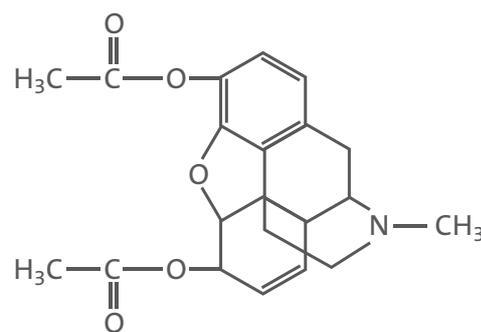


Abbildung 06:  
Strukturformel Heroin  
(Diacetylmorphin).  
Summenformel:  
 $C_{21}H_{23}NO_5$

Molekulargewicht:  
369.4 g/mol,

Im Gegensatz zum Kokain, das in der Regel als Hydrochlorid in Verkehr gebracht wird, liegt Heroin bei uns meist als sogenannte „freie Base“ vor. In dieser Form kann es geraucht und somit inhaliert werden, es ist jedoch nicht wasserlöslich. Zur intravenösen Injektion wird die freie Base daher mit schwachen Säuren, wie Ascorbinsäure oder Zitronensäure versetzt. Heroin wird derzeit in Deutschland im Betäubungsmittelverkehr ausschließlich in der Substitution Opiatabhängiger eingesetzt. In Großbritannien wird Diacetylmorphin gelegentlich auch bei Tumorschmerzen verwendet [6,9,48].

### 2.2.3 Übersicht der verwendeten Drogen:

#### Haschisch

Das Harz der Cannabis-Pflanze spielt in unserer Untersuchung eine untergeordnete Rolle. Es handelt sich um eine zäh-klebrige Substanz, die neben dem Hauptwirkstoff, dem Tetrahydrocannabinol (THC), eine Vielzahl weiterer Stoffe enthält, da es nicht chemisch aufbereitet wird. Haschisch wirkt milde sedierend, appetitsteigernd und teilweise psychotrop. Mit seinem deutlich geringeren Schwarzmarktpreis wird der Haschischschmuggel nicht primär von Bodypackern abgewickelt. Auch ist Haschisch insofern weniger relevant, als dass Cannabisprodukte in verschiedenen europäischen Ländern in Verkehr gebracht werden dürfen (Schweiz, Niederlande) und allein deshalb das Potenzial für den internationalen Schmuggel geringer ist [5].



Abbildung 07:  
Heroinfläschchen von Bayer,  
aus [48]  
Quelle: Wikipedia,  
[http://de.wikipedia.org/  
wiki/Heroin](http://de.wikipedia.org/wiki/Heroin),  
abgerufen am 10.04.2013

#### 2.2.4 Herstellung der Drogenpäckchen

Im Labor des Landeskriminalamtes wurden die verschiedenen Drogenproben unter Aufsicht von Mitarbeitern der Abteilung Chemie in eiförmige Kunststoffbehälter gefüllt, mit vier Zentimeter Länge und circa drei Zentimeter Durchmesser. Es handelte sich dabei um die bekannten Überraschung-Ei-Behälter, die wegen ihrer einfach zu standardisierenden Form gewählt wurden.

Die in Pulverform vorliegenden Drogen wurden lose in die Behälter eingefüllt, beziehungsweise manuell komprimiert, so dass in beiden Fällen ein möglichst geringer Luftgehalt in den Behältern erreicht wurde. Die eine Heroinprobe lag zudem in mechanisch komprimierter Form vor, von der mehrere Brocken in einen Behälter eingefüllt wurden. Die Behälter wurden mit Klebeband verschlossen. Vor der Platzierung im Rektum des Schweines wurden die Behälter zusätzlich mit einer Latexhülle überzogen, wie sie zur Umhüllung der Schallköpfe bei der transvaginalen bzw. -rektalen Sonographie verwendet werden. Dies hatte einerseits den Zweck, eine weitere Verpackungsschicht zu simulieren, andererseits auch ganz praktisch die Entfernung der Behälter nach dem jeweiligen Untersuchungsgang zu vereinfachen. Die Behälter waren somit in Form, Größe und Verpackung an echte Bodypacks angelehnt, ihr Inhalt entstammte echten Bodypacks. Somit konnte jeder der im Folgenden beschriebenen Untersuchungsdurchgänge mit mehreren Drogenarten, beim Heroin zudem in verschiedenen Kompressionsformen durchgeführt werden. Es lagen jeweils standardisierte Verpackungen und weitgehend standardisierte Positionen im Rektum des Tieres vor. Tabelle 01 zeigt die ausgewerteten Drogenproben im Überblick.



Abbildung 08:  
Abfüllen der Drogenpäckchen: Heroin



Abbildung 09:  
Abfüllen der Drogenpäckchen: Kokain

Tabelle 01:

## Charakteristika der Drogenproben

Proben-Nr.	Gewicht (g)	Hauptbestandteil	Kompression	Nebenbestandteile
1	17,23	Kokainhydrochlorid 87 %	Dicht (a)	Keine (c)
2	24,03	Kokainhydrochlorid 40 %	Dicht	Mannit, Diltiazem, Levamisol
3	23,69	Kokainhydrochlorid 24 %	Dicht	Mannit, Phenacetin, Procain
4	13,54	Heroin (freie Base) 38 %	„Stein“ (b)	Koffein, Paracetamol
5	23,98	Heroin (freie Base) 38 %	Dicht	Koffein, Paracetamol
6	19,49	Heroin (freie Base) 38 %	Locker	Koffein, Paracetamol
7	21,83	Heroin (freie base) 20 %	Dicht	Koffein, Paracetamol
8	24,48	Koffein, Paracetamol	Dicht	Keine
9	27,41	Haschisch	Fest	Keine

(a) Manuell komprimiert

(b) Mechanisch komprimiert

(c) Diese Kokainprobe war nicht feststellbar gestreckt worden und enthielt 87% Kokainhydrochlorid

### 2.3 Ablauf der Experimente

Zunächst wurden sämtliche Drogenpäckchen in eine Schaumstoffplatte platziert, die mit passgenauen Aussparungen versehen worden war. Diese Matrix zeigt eine In-Vitro-Übersicht der verschiedenen Drogenarten in den bildgebenden Verfahren. Dann wurde jeweils ein Drogenpäckchen ins Rektum des Schweines eingeführt, nachdem es wie oben beschrieben mit der zusätzlichen Latexhülle überzogen worden war. Hier wurden jeweils drei mal Topogramme in zwei Ebenen sowie vier CT-Serien erzeugt, die im Folgenden im Detail erläutert werden.



Abbildung 10:  
Positionierung der  
Drogenpäckchen auf der  
Röntgenkassette senkrecht  
zum Strahlengang

### 2.4 Bilderzeugung

Im Folgenden werden die drei Modalitäten Konventionelles Röntgen, die Topogramme und die CT-Serien separat bezüglich der Bildakquisition beschrieben.

#### 2.4.1 Konventionelles Röntgen

Das System besteht aus einer Röntgenröhre (Siemens OPTI HC-10, Siemens, München), einem Kollimator (Ralco S.r.l., Biassono, Italien), einem 35x45 Zentimeter Plattenspeichersystem (AGFA CR MD 4.0 General) und einem Digitalisierer (AGFA ADC2). Beide AGFA-Komponenten wurden hergestellt von AGFA Healthcare, Morsel, Belgien. Jeweils ein Bild wurde mit 77kV Röhrenspannung aufgenommen, der Röhrenstrom sowie die Belichtungsdauer wurden dabei vom System automatisch reguliert.

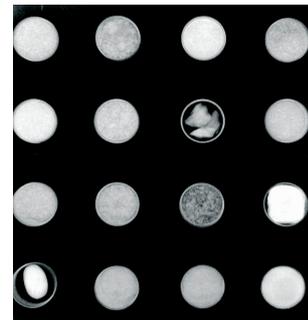


Abbildung 11:  
Drogenpäckchen in der  
Übersicht, Röntgenaufnahme

#### 2.4.2 Topogramme

Zur Erzeugung der Topogramme wurde das Modell mit jedem Drogenpäckchen auf der Untersuchungsliege des Computertomographen platziert (64-Zeilen Multidetektor-Gerät CT750HD, GE Healthcare, Waukesha, Milwaukee). Es wurden die vom Hersteller empfohlenen Parameter für die Topogrammerzeugung verwendet.

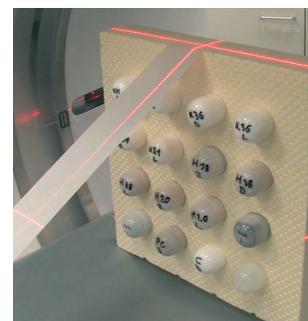


Abbildung 12:  
Platzierung der  
Drogenpäckchen im  
Computertomographen

Tabelle 02:

Parameter für die sechs Topogramme pro Probe

Tischvorschub	100 mm/s
Röhrenspannung	120 kVp
Röhrenstrom: 3 Akquisitionen	80, 150 und 200 mA
Kollimation	5 mm
Röhrenpositionen: 2 Akquisitionen	0° (anterior), 90° (lateral)

Unter Berücksichtigung des hohen Gewichtes und der kompakten Anatomie des Schweines im Untersuchungsbereich von Abdomen und Becken wurden als Röhrenströme 80 mA, 150 mA und 200 mA gewählt. Somit wurden von jedem der untersuchten Drogenpakete jeweils sechs Topogramme erzeugt, davon drei im lateralen und drei im anterior-posterioren Strahlengang (Tabelle 02)

#### 2.4.3 CT-Serien

Es wurden vier CT-Serien pro Probe erzeugt, hierbei wurden die Standardeinstellungen, die im täglichen Betrieb verwendet werden, übernommen.

Tabelle 03:

Grundeinstellungen der CT-Akquisition

Modus	Spiral-CT
Rotationsdauer	0,5 s
Totale Kollimation	40 mm
Zeilenanzahl	64
Schichtdicke	0,625 mm
Schichtabstand	0,625 mm
Pitch	0,984:1
Scanlänge	42,75 cm
Röhrenspannung	120 kVp
Röhrenstrom: 4 Akquisitionen	moduliert 80–600 und jeweils fixed 80, 30 und 10 mA

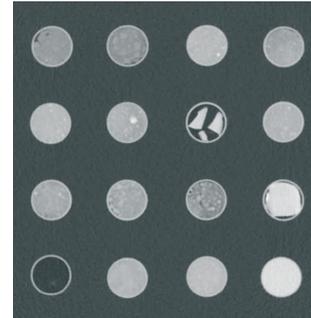


Abbildung 13:  
Drogenpäckchen in der  
Übersicht, Dosisreduzierte CT



Abbildung 14:  
Nach dem Einführen eines  
Drogenpäckchens ins Rektum  
des Tieres. Zu sehen ist die  
Latexhülle.



Abbildung 15:  
Das Schwein vor der  
Durchführung einer  
Computertomographie

Ein Standard-Weichteilkernel wurde für die Bildrekonstruktion verwendet. Bei der Bildrekonstruktion wurde eine Schichtdicke von fünf Millimeter für axiale und drei Millimeter für sagittale Reformationen gewählt. Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR™) wurde bei 50 % eingestellt. Als Abdomen-CT mit normaler Dosis wurde mit diesen Einstellungen eine automatische Röhrenstrom-Modulation von 80 bis 600mA mit einem Noise Index (NI) von 43 verwendet. Wenngleich dies keine exakte Definition ist, stellt der NI die erlaubte Standardabweichung in einem Wasserphantom dar und ist damit ein Maß für das Bildrauschen in Prozent. Als Protokolle mit reduzierter Dosis wurden dieselben Einstellungen, jedoch mit festen Röhrenströmen von 80mA, 30mA beziehungsweise 10mA verwendet, unter Bezugnahme auf ein im Hause verwendetes Protokoll zur Nierensteindetektion mit Dosisreduzierung bei dem eine automatische Röhrenstrom-Modulation von 10 bis 80mA im klinischen Alltag verwendet wird. Somit entstanden wie beschrieben jeweils vier CT-Serien pro Drogenpäckchen mit axialen und sagittalen Reformationen mit 85 (axialen) beziehungsweise jeweils 142 (sagittalen) Schichten (Tabelle 03).

## 2.5 Bildauswertung

Die Bildauswertung wurde von zwei Radiologen (SW, MS) durchgeführt, welche jeweils über weit mehr als fünf Jahre CT-Erfahrung verfügen, die gegenüber der verwendeten Dosisstufe verblindet waren und die jeweilige Aufnahme unabhängig voneinander bewerteten. Die Bewertung wurde an einer Standard-PACS (Picture Archiving and Communication System)-Workstation unter konstanten und für die Befundung erlaubten Bedingungen durchgeführt (Syngo Studio V36, Siemens Healthcare, Erlangen). Die Bilder wurden in zufälliger Reihenfolge vorgelegt, die Topogramme wurden zuvor im Kontrast so eingestellt, dass

eine augenscheinliche Ähnlichkeit mit den konventionellen Röntgenbildern gegeben war (200 HU Fenstermitte, 600 HU Fensterbreite).

### 2.5.1 CT-Fenstereinstellungen

Für die CT-Serien wurde jede Bewertung in drei verschiedenen Fenstereinstellungen durchgeführt. Zunächst in einem Standard-Weichteilfenster, dann in einem Standard-Lungenfenster und zusätzlich in variablen Fensterungen, wie sie durch die Radiologen individuell eingestellt werden konnten.

Tabelle 04:

Standard-Fenstereinstellungen

	Fenstermitte (HU)	Fensterbreite (HU)
Weichteilfenster	50	350
Lungenfenster	-500	1500

Hierzu wurden die Radiologen aufgefordert, Fensterbreite und -mitte so einzustellen, dass das subjektiv wichtigste Element zur Abgrenzung des Bodypacks jeweils am besten dargestellt war.

### 2.5.2 Abgrenzbarkeit der Drogengebinde

Zur Quantifizierung der Auswertung wurde, in Anlehnung an verschiedene Veröffentlichungen, ein multifaktorieller Abgrenzbarkeits-Score entwickelt. Dieser basiert auf drei Hauptcharakteristika der Bodypacks, nämlich Inhalt, Verpackung und Form. Bezüglich des Inhaltes war die Entscheidungsvorgabe, in welchem Ausmaß es die jeweilige Modalität beziehungsweise die gewählten Parameter dem Betrachter ermöglichten, den Inhalt des Päckchens als unterschiedlich zu Darminhalt beziehungsweise umgebenden Weichteilen des Schweines abzugrenzen. Bezüglich Verpackung waren die Radiologen aufgefordert, nach typischen, in anderen Studien ausführlich beschriebenen Grenzflächen zwischen Inhalt und Verpackung

beziehungswise zwischen Verpackung und umgebendem Weichteilgewebe oder Stuhl zu beurteilen [18,49]. Bezüglich der Form als Abgrenzungskriterium wurde die Frage gestellt, inwiefern es die charakteristische ovale Form des Drogenpäckchens dem Auswerter ermöglichte, die Päckchen insbesondere von ebenfalls tubulär imponierenden Darmschlingen abzugrenzen. Für jedes dieser Charakteristika wurden von den Auswertern null bis drei Punkte vergeben, die folgende Tabelle zeigt die Zuordnung:

Tabelle 05:

## Bewertungskriterien

Punktwert	Verpackung   Form   Inhalt
0	Definitiv nicht sichtbar
1	Vermutlich nicht sichtbar
2	Vermutlich sichtbar
3	Definitiv sichtbar

Um eine Vergleichbarkeit zwischen CT-Serien und projektionsradiographischen Aufnahmen zu erreichen, wurde den Betrachtern jeweils nur eine Schicht jeder Serie (die Schicht mit dem größten Querschnitt des Päckchens) präsentiert. Die so von jedem Auswerter pro Bild gewonnenen drei Einzelpunktwerte wurden ohne Gewichtung zu einem Summenscore zusammengefasst, mit Ausprägungen von Null bis Neun. Als Cut-off wurde ein Summenscore von größer/gleich Sechs gewählt, da dieser erreicht wurde, wenn ein einzelnes Kriterium mit „Definitiv sichtbar“ beziehungsweise alle drei Charakteristika jeweils als „Vermutlich sichtbar“ bewertet wurden. Es wurden dann Mittelwerte der Abgrenzungs-Scores gebildet, und zwar für konventionelle Röntgenbilder, für Topogramme mit den verschiedenen Röhrenströmen jeweils im sagittalen und lateralen Strahlengang sowie in Kombination beider Ebenen. Bei den CT-Serien wurden die Bewertungen für die verschiedenen Fensterungen separat durchgeführt, das heißt für Weichteilfensterung, Lungenfensterung und variable Fensterung. Zusätzlich wurde bei jeder CT-Serie auch eine Gesamtabgrenzbarkeit bei Auswertung von allen drei Fensterungen errechnet.

## 2.6 Dosisabschätzung und -vergleich

Für konventionelle Röntgenbilder, Topogramme und CT-Serien wurde jeweils die effektive Dosis abgeschätzt. Da sich die effektive Dosis als Summendosis aus verschiedenen Organdosen der untersuchten Körperregion errechnet, ist die Berechnung dieser Dosis bei bildgebenden Verfahren mit großer Unsicherheit behaftet. In Veröffentlichungen wird von Unsicherheitsfaktoren größer 50 % berichtet [23].

Dosisbestimmungen werden mit Phantomen durchgeführt, in die physikalische Messzellen eingebaut sind. Die Messungen sind sehr aufwändig und teuer. Im Alltag wird daher regelmäßig auf Dosisabschätzungen zurückgegriffen [12, 23]. Eine solche Abschätzung der effektiven Dosis basiert auf standardisierten, für jeden CT-Typen spezifisch durchgeführten Phantomuntersuchungen und wird für die jeweils durchgeführte Untersuchung von der Steuereinheit des Tomographen berechnet und angezeigt beziehungsweise mit der Untersuchung gespeichert. Die Ausgabe erfolgt als Computed Tomography Dose Index (CTDI). Der CTDI wird mit der Scanlänge in Zentimetern multipliziert, um das Dosis-Längen-Produkt (DLP) zu errechnen.

Bei konventionellen Röntgenbildern kann die applizierte physikalische Dosis gemessen werden, hierfür werden Ionisationskammern verwendet, im konkreten Fall eine fest installierte Ionisationskammer (KermaX-plus DDP von iba Dosimetry, Schwarzenbruck). Die Ausgabe des Messwertes erfolgt als Dosis-Flächen-Produkt (Dose Area Product; DAP). Dosis-Flächen-Produkte und CTDI beziehungsweise Dosis-Längen-Produkte sind nicht direkt vergleichbar, weshalb auf die effektive Dosis zur Herstellung einer Vergleichbarkeit zurückgegriffen wurde.

Die effektive Dosis kann aus beiden Maßzahlen (DLP für CT beziehungsweise DAP für Röntgenbilder) berechnet werden, hierzu liegen in der Literatur sogenannte Konversionsfaktoren vor [12, 24].

Für die konventionellen Übersichtsaufnahmen des Schweins

wurde der Konversionsfaktor  $k_{\text{DAP}[\text{Abdomen}]}$  von  $0,21 \text{ mSv}/(\text{Gy} \cdot \text{cm}^2)$  verwendet [24]. Somit ergab sich für die Berechnung der effektiven Dosis der Röntgenbilder folgende Formel:

Formel 01:

Abschätzung der Effektiven Dosis der Röntgenbilder mit Konversionsfaktor

$$E_{\text{R}}[\text{mSv}] = \text{DAP}[\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2] \cdot k_{\text{DAP}}[\text{mSv}/\text{Gy} \cdot \text{cm}^2] \cdot 10^{-2}$$

Für die CT-Serien wurde die durchgeführte Aufnahme als 50 % Abdomen und 50 % Becken definiert, bei der gewählten Scanlänge von 42,75 cm entspricht dies der Größe von Phantomen, die menschliche Erwachsene abbilden. Aus den oben genannten Konversionsfaktoren für DLP-Werte wurde dann ein mittlerer Faktor von  $0,017 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$  gewählt [8, 12]. Somit ergibt sich die Formel:

Formel 02:

Abschätzung der Effektiven Dosis der CT-Serien mit Konversionsfaktor

$$E_{\text{CT}}[\text{mSv}] = \text{DLP}_{\text{CT}}[\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}] \cdot k_{\text{DLP}}[\text{mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})]$$

Die Effektive Dosis der Topogramme wurde nach einem von der International Electrotechnical Commission (IEC) vorgeschlagenen Verfahren abgeschätzt [20]. Hierbei werden  $\text{CTDI}_{\text{w}}$  und Totale Kollimation als Parameter verwendet. Für eine Topogramm, das mit kontinuierlicher Tischbewegung und kontinuierlicher Dosis akquiriert wird, gibt die folgende Gleichung den abgeschätzten  $\text{CTDI}_{\text{vol}}$  an:

Formel 03:

CTDI für Topogramme (1), aus [20]

$$\text{CTDI}_{\text{vol}[\text{Topo}]} = \frac{\text{CTDI}_{\text{w}}}{\text{Strom-Zeit-Produkt}} \cdot \text{Röhrenstrom}_{\text{Topo}} \cdot \frac{\text{Totale Kollimation}_{\text{Topo}}}{\text{Tischvorschub}_{\text{Topo}}}$$

Für diese Gleichung wird das Verhältnis ( $CTDI_w$ /Strom-Zeit-Produkt) unabhängig vom Topogramm ermittelt. Hierzu werden die gleichen Einstellungen an Röhrenspannung und Totaler Kollimation (totale Kollimation =  $N \cdot T$ , also Anzahl der Schichten ( $N$ ) \* Schichtdicke ( $T$ )) wie beim Topogramm verwendet. Röhrenstrom $_{Topo}$  und Tischvorschub $_{Topo}$  sind die Werte, die bei der Akquisition des Topogramms eingestellt werden.

Für einen einzelnen axialen Scan entspricht  $CTDI_{vol}$  dem  $CTDI_w$ . Entsprechend wurden einzelne axiale Scans von einer Sekunde mit einer totalen Kollimation von fünf Millimetern und einer Röhrenspannung von 120 kVp – den Parametern, wie sie bei der Topogrammakquisition verwendet werden – an der CT-Konsole gewählt, der Röhrenstrom auf 80 mA, 150 mA beziehungsweise 200 mA eingestellt und dann die jeweils angezeigten  $CTDI_{vol}$  abgelesen. Diese wurden dann in der folgenden gekürzten Gleichung verwendet:

Formel 04:

CTDI für Topogramme (2)

$$CTDI_{vol[Topo]} [mGy] = \frac{CTDI_{vol} [mGy]}{1s} \cdot \frac{\text{Totale Kollimation}_{Topo} [mm]}{\text{Tischvorschub}_{Topo} [mm/s]}$$

Der CT-Scanner, der im vorliegenden Experiment verwendet wurde, ist für die Topogrammakquisition auf 100 mm/s Tischvorschub und eine Totale Kollimation von 5 mm eingestellt. Dementsprechend wurde  $CTDI_{vol[Topo]}$  abgeschätzt als:

Formel 05:

CTDI für Topogramme (3)

$$CTDI_{vol[Topo]} [mGy] = CTDI_{vol} [mGy] \cdot \frac{5 \text{ mm}}{1 [s] \cdot 100 \text{ mm/s}}$$

$$CTDI_{vol[Topo]} [mGy] = CTDI_{vol} [mGy] \cdot 0,05$$

Das Dosis-Längen-Produkt des Topogramms wurde daher berechnet als:

Formel 06:

Dosis-Längen-Produkt für Topogramme

$$DLP_{\text{Topo}} [\text{mGy} \cdot \text{cm}] = \text{CTDI}_{\text{vol}[\text{Topo}]} [\text{mGy}] \cdot L_{\text{Topo}} [\text{cm}]$$

Zur Abschätzung der Effektiven Dosen wurden die DLP der Topogramme dann mit dem Konversionsfaktor  $E_{\text{DLP}[\text{Abdomen}]} = 0,015 \text{ mSv} (\text{mGy} \cdot \text{cm})$  multipliziert [8, 12]:

Formel 07:

Effektive Dosis für Topogramme

$$E_{\text{Topo}} [\text{mSv}] = DLP_{\text{Topo}} [\text{mGy} \cdot \text{cm}] \cdot E_{\text{DLP}[\text{Abdomen}]} [\text{mSv} / \text{mGy} \cdot \text{cm}]$$

## 2.7 Statistik

Die statistische Analyse wurde mit dem IBM Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS) 18.0 (IBM Corp., Armonk, New York) durchgeführt. Verwendet wurden dabei Wilcoxon's Test für verbundene Stichproben zur Berechnung von Signifikanzen, hierbei wurden p-Werte kleiner 0,05 als signifikant angenommen. Zusätzlich wurden der Intra Class Correlation Coefficient (ICC3,1) zur Beurteilung der Übereinstimmung zwischen den Auswertern und Cronbachs Alpha zur Überprüfung der Reliabilität herangezogen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Bildauswertung Röntgen und Topogramme

Die folgende Tabelle zeigt die gemittelten Abgrenzbarkeits-Summenscores für jede Drogenprobe im konventionellen Röntgen und den Topogrammen in der Übersicht. Die farbig unterlegten Felder heben dabei diejenigen Untersuchungen hervor, bei denen ein zufriedenstellender Abgrenzbarkeits-Score erreicht wurde.

Tabelle 06:

Abgrenzbarkeits-Scores für konventionelles Röntgen und Topogramme

Proben- nummer	Röntgen	Topogramm 80 mA			Topogramm 150 mA			Topogramm 200 mA		
		AP	lateral	Kombin.	AP	lateral	Kombin.	AP	lateral	Kombiniert
Mittelwerte	3.1±2.5	5.6±1.9	5.3±2.0	6.2±1.4	5.7±2.0	5.6±2.0	6.4±1.4	6.2±1.5	5.7±1.9	6.6±1.3
1	4.5 (6/3)	7.0 (8/6)	7.5 (8/7)	7.5 (8/7)	7.0 (8/6)	7.5 (8/7)	7.5 (8/7)	7.0 (8/6)	7.5 (8/7)	7.5 (8/7)
2	0.0 (0/0)	3.0 (4/2)	4.5 (5/4)	5.0 (6/4)	1.5 (2/1)	5.0 (6/4)	5.0 (6/4)	4.5 (5/4)	5.0 (6/4)	5.0 (6/4)
3	0.0 (0/0)	4.5 (4/5)	3.5 (4/3)	5.0 (5/5)	4.5 (4/5)	3.5 (4/3)	5.0 (5/5)	5.0 (5/5)	4.0 (4/4)	5.5 (6/5)
4	8.0 (8/8)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)	9.0 (9/9)
5	3.5 (4/3)	6.0 (6/6)	3.5 (4/3)	6.0 (6/6)	7.0 (7/7)	3.5 (4/3)	7.0 (7/7)	7.0 (7/7)	3.5 (4/3)	7.0 (7/7)
6	3.5 (3/4)	4.0 (4/4)	6.0 (5/7)	6.0 (5/7)	5.5 (6/5)	6.5 (6/7)	7.0 (7/7)	5.0 (5/5)	6.5 (6/7)	7.0 (7/7)
7	3.0 (3/3)	5.0 (4/6)	4.0 (4/4)	5.5 (5/6)	6.0 (6/6)	5.0 (6/4)	6.0 (6/6)	6.5 (7/6)	6.0 (7/5)	6.5 (7/6)
8	1.5 (1/2)	5.0 (5/5)	3.5 (3/4)	5.5 (6/5)	4.5 (4/5)	3.5 (3/4)	5.0 (5/5)	5.0 (5/5)	3.5 (3/4)	5.5 (6/5)
9	4.0 (5/3)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)	6.5 (7/6)

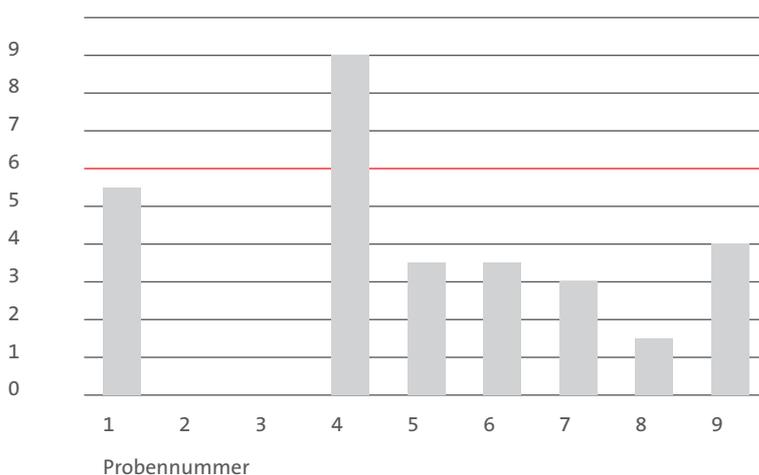
(Jeweils mit den Einzelbewertungen der beiden Auswerter (SW/MS) und Mittelwert)

### 3.1.1 Durchschnittliche Abgrenzbarkeit in allen Topogrammen besser bewertet als im konventionellen Röntgen

Konventionelle Röntgenbilder wurden mit einem durchschnittlichen Abgrenzbarkeits-Score von  $3,1 \pm 2,5$  bewertet, das heißt, sie lagen weit unter dem Cut-off von 6,0 für eine ausreichende Abgrenzbarkeit.

Abbildung 16:

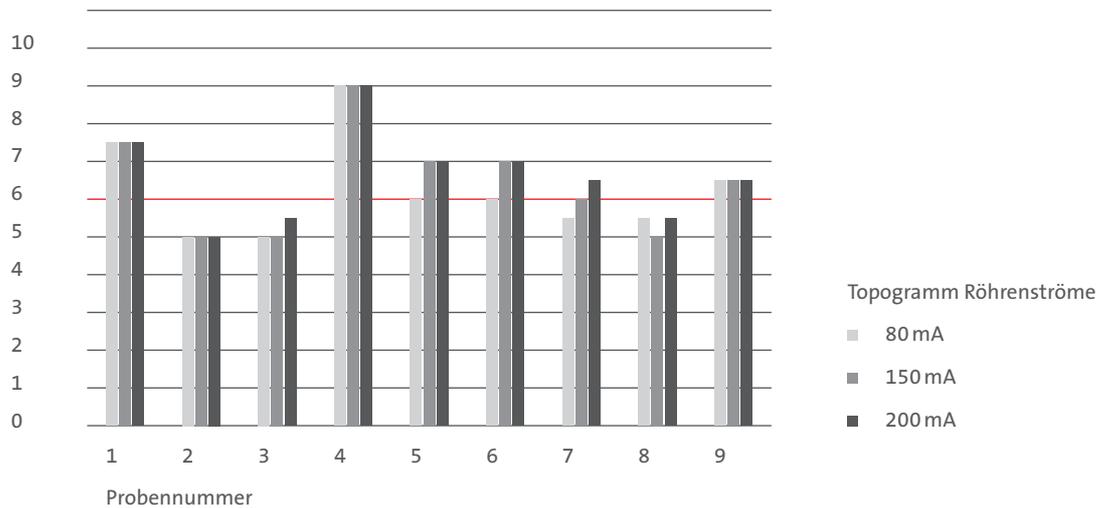
Abgrenzbarkeits-Scores Röntgen



Die Topogramme, die mit den niedrigsten Abgrenzbarkeits-Scores bewertet wurden – es handelt sich hierbei um die lateralen Topogramme beim niedrigsten Röhrenstrom von 80 mA, – wurden im Mittel mit  $5,3 \pm 2,0$  deutlich höher bewertet, auch wenn diese durchschnittliche Bewertung ebenfalls unter der Grenze für eine ausreichende Abgrenzbarkeit lag. Der höchste durchschnittliche Abgrenzbarkeits-Score von  $6,7 \pm 1,3$  wurde bei der kombinierten Auswertung von antero-posteriorem und lateralem Topogramm bei 200 mA erreicht. Sämtliche mittlere Topogramm-Abgrenzbarkeits-Scores waren signifikant höher als beim konventionellen Röntgen mit jeweils  $p < 0,01$ .

Abbildung 17:

Abgrenzbarkeits-Scores Topogramme



### 3.1.2 Gemeinsame Auswertung beider Topogrammebenen führt zu ausreichender Abgrenzbarkeit in Topogrammen mit 80 mA

Beim niedrigsten Röhrenstrom von 80 mA wurde das antero-posteriore Topogramm alleine mit dem nicht ausreichenden Score von  $5,6 \pm 1,9$  bewertet, das laterale Topogramm alleine mit  $5,3 \pm 1,0$ , also ebenfalls nicht ausreichend. In der Kombination von antero-posteriorem und lateralem Topogramm ergab sich jedoch eine Gesamtbewertung von  $6,2 \pm 1,4$  die damit als ausreichend bewertet werden konnte. Der Abgrenzbarkeits-Score für die kombinierte Auswertung war signifikant höher als die Einzel-Scores, mit  $p$  jeweils  $< 0,05$ .

### 3.1.3 Höhere Röhrenspannungen bei der Topogrammakquisition führen zu besseren Abgrenzbarkeitswerten

Dieser kombinierte durchschnittliche Score von  $6,2 \pm 1,4$  für Topogramme mit dem niedrigsten Röhrenstrom von 80 mA war auch höher als der mittlere Abgrenzbarkeits-Score für eine einzelne Ebene mit einem höheren Röhrenstrom, nämlich  $5,7 \pm 2,1$  für antero-posteriore Topogramme mit 150 mA, und entsprach dem Score von  $6,2 \pm 1,4$  für antero-posteriore Topogramme bei 200 mA. Die mittleren Abgrenzbarkeits-Scores für die kombinierte Bewertung von antero-posterioren und lateralen Topogrammen bei höheren Röhrenströmen wurden jeweils besser bewertet mit  $6,4 \pm 1,4$  bei 150 mA beziehungsweise  $6,7 \pm 1,3$  bei 200 mA. Von diesen Unterschieden war nur der Unterschied zwischen der kombinierten Auswertung bei 200 mA gegenüber der bei 80 mA signifikant mit  $p < 0,05$ .

### 3.1.4 Mechanisch komprimierte Heroinprobe in Topogrammen und Röntgen eindeutig abgrenzbar

Eine Drogenprobe mit 13,54 Gramm Heroin, mit einem Anteil von 38% freier Heroinbase gemischt mit Koffein und Paracetamol, lag auch in mechanisch komprimierter Form als Brocken in einer standardisierten Verpackung vor und war von viel Luft umgeben. Dieses Bodypack konnte sowohl mit konventionellem Röntgen als auch mit Topogrammen klar abgegrenzt werden. Bei dieser Probe wurde das konventionelle Röntgenbild mit 8,0 (8/8) und beide Einzelebenen der Topogramme bereits bei niedrigstem Röhrenstrom mit jeweils 9,0 (9/9) bewertet, also mit dem höchstmöglichen Abgrenzbarkeits-Score.

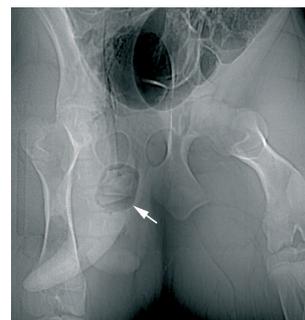


Abbildung 18:  
Röntgenbild vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin  
Abgrenzbarkeits-Score 8,0 (8/8)

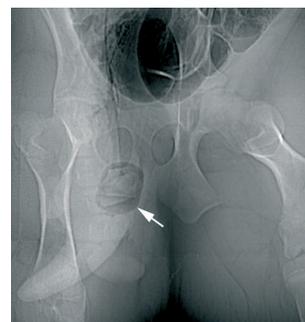


Abbildung 19:  
Topogramm (antero-posterior) vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin  
Abgrenzbarkeits-Score 9,0 (9/9)



Abbildung 20:  
Topogramm (lateral) vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin  
Abgrenzbarkeits-Score 9,0 (9/9)

### 3.1.5 Bei allen übrigen Proben Topogramme konventionellem Röntgen überlegen

Abgesehen von der oben beschriebenen Drogenprobe, bestanden die anderen Heroin- und Kokainpäckchen aus pulverisiertem Inhalt und wurden entweder manuell komprimiert oder locker in die Behälter eingefüllt, so dass diese möglichst wenig Luft enthielten. Entsprechend waren die Bewertungen der Abgrenzbarkeit deutlich niedriger in beiden Modalitäten. Trotzdem waren die Topogrammbewertungen für alle übrigen Proben höher als die für die Röntgenbilder. Die Abbildung veranschaulicht dies anhand einer Probe desselben Heroins mit 38 % freier Heroinbase gemischt mit Koffein und Paracetamol, jedoch pulverisiert und manuell komprimiert.

In den Radiographien wurde die Abgrenzbarkeit mit 3,5 (3/4) bewertet. Im antero-posterioren Topogramm wurde die Abgrenzbarkeit mit 6,0 (6/6) bewertet, im lateralen Topogramm mit 3,5 (4/3).

Die kombinierte Auswertung von anteroposteriorem und lateralem Topogramm bei einem Röhrenstrom von 80mA ergab einen ausreichenden Abgrenzungs-Score bei fünf von neun Proben, bei 150 und 200mA jeweils bei sechs von neun Proben. Im Gegensatz dazu wurde beim konventionellen Röntgen nur bei einer von neun untersuchten Proben ein ausreichender Abgrenzungs-Score erreicht. Im vorliegenden Experiment lag die Sensitivität der Bodypack-Abgrenzbarkeit dementsprechend bei 11 % für das konventionelle Röntgen, bei 56 % für die Topogramme bei 80mA sowie bei 67 % für Topogramme bei 200mA. Spezifität sowie positive und negative prädiktive Werte konnten aufgrund des Untersuchungsaufbaus nicht berechnet werden.



Abbildung 21:  
Röntgenbild mit  
Drogenpäckchen mit manuell  
komprimiertem Heroin, luftarm  
verpackt, Abgrenzbarkeits-Score  
3,5 (4/3)

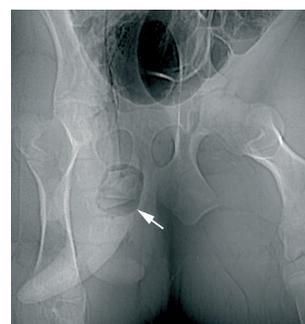


Abbildung 22:  
Topogramm (antero-posterior)  
mit Drogenpäckchen mit  
manuell komprimiertem  
Heroin, luftarm verpackt,  
Abgrenzbarkeits-Score 6,0 (6/6)



Abbildung 23:  
Topogramm (lateral) mit  
Drogenpäckchen mit manuell  
komprimiertem Heroin, luftarm  
verpackt, Abgrenzbarkeits-Score  
3,5 (4/3)

### 3.1.6 Kokainprobe abgrenzbar in Topogrammen, jedoch nicht mit Röntgen

Zwei Kokainproben wurden im konventionellen Röntgen mit Null bewertet, in der kombinierten Auswertung der Topogramme bei niedrigstem Röhrenstrom jedoch mit 5,0 (6/4 bzw. 5/5). Die Abbildungen zeigen wieder zunächst das Röntgenbild, hier für das Päckchen mit 24,03 Gramm Kokain mit einem Gehalt von 40% Kokainhydrochlorid gemischt mit Mannit, Diltiazem und Levamisol.

Die zweite Abbildung zeigt dieselbe Probe im antero-posterioren Topogramm, bewertet mit 3,0 (4/2), die dritte Abbildung zeigt die Probe im lateralen Topogramm bewertet mit 4,5 (5/4).



Abbildung 24:  
Ausschnitt aus Röntgenbild mit  
Drogenpäckchen mit manuell  
komprimiertem Kokain,  
luftarm verpackt,  
Abgrenzbarkeits-Score 0,0 (0/0)

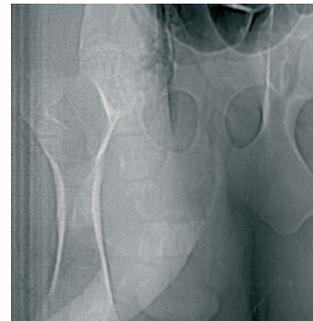


Abbildung 25:  
Ausschnitt aus antero-  
posteriorem Topogramm mit  
Drogenpäckchen mit manuell  
komprimiertem Kokain,  
luftarm verpackt,  
Abgrenzbarkeits-Score 3,0 (4/2)



Abbildung 26:  
Ausschnitt aus lateralem  
Topogramm mit  
Drogenpäckchen mit manuell  
komprimiertem Kokain,  
luftarm verpackt,  
Abgrenzbarkeits-Score 4,5 (5/4)

### 3.2 Bildauswertung CT-Serien

Die folgende Tabelle zeigt das Standard-Abdomenprotokoll sowie die drei dosisreduzierten Protokolle jeweils mit den gemittelten Abgrenzbarkeits-Scores für die kombinierte Auswertung in allen drei Fensterungen und für die einzelnen Fensterungen (Weichteil-Fensterung, Lungen-Fensterung und variable Fensterung) wie im Methodenteil beschrieben. Im Folgenden werden einige der Ergebnisse herausgegriffen.

Tabelle 07:

Mittlere Abgrenzbarkeits-Scores für die CT-Protokolle (Standard und dosisreduziert) aufgegliedert nach dem bei der Auswertung verwendeten Betrachtungs-CT-Wert-Fenster

Protokoll	Abgrenzbarkeits-Scores			
	Alle Fensterungen kombiniert	Weichteil-Fensterung	Lungen-Fensterung	Variable Fensterung
Standard	8.8±0.5	5.2±1.4	8.5±0.8	8.7±0.7
Dosis-reduziert mit 80mA	8.2±0.7*	4.1±1.1	7.8±0.9	7.8±0.9
Dosis-reduziert mit 30mA	6.8±1.3**	3.1±1.0+	6.4±1.3++	6.3±1.2+++
Dosis-reduziert mit 10mA	4.6±1.9**	1.7±0.7	4.0±2.0	3.7±2.0

P-Wert der Differenz zum Standardprotokoll

\*:  $p < 0.01$

\*\* :  $p < 0.001$

+:  $p < 0.001$  zu allen anderen Fensterungen

++:  $p < 0.05$  zur kombinierten Auswertung der Fensterungen

+++ :  $p$  nicht signifikant zu Lungenfensterung

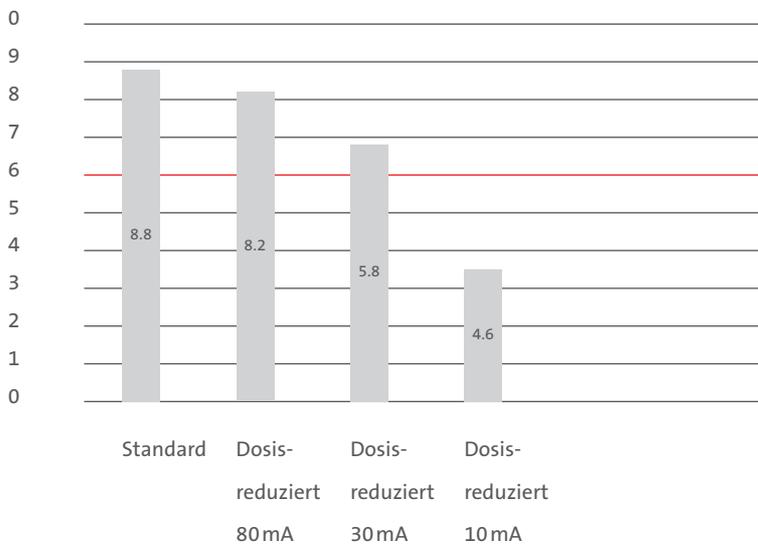
### 3.2.1 Abgrenzbarkeit mit dosisreduzierten

#### CT-Protokollen im Vergleich zu Standarddosis-CT

Das Standard-Abdomen-Protokoll erreichte die mit Abstand beste mittlere Bewertung bezüglich der Abgrenzbarkeit mit  $8,8 \pm 0,5$ , das heißt, die Abgrenzbarkeit der drei Hauptcharakteristika der Bodypacks (Form, Inhalt, Verpackung) war praktisch durchgängig gegeben mit der Bewertung „Definitiv sichtbar“.

Abbildung 27:

Abgrenzbarkeits-Scores CT-Serien



Das dosisreduzierte Protokoll mit dem höchsten Röhrenstrom von 80mA wurde im Mittel mit signifikant niedrigeren Scores bewertet ( $8,2 \pm 0,7$ ). Der Unterschied zum Standard-Protokoll war signifikant mit  $p < 0,01$ .

Dosisreduzierte Serien mit mittlerem Röhrenstrom von 30mA übertrafen immer noch den Cut-off von 6,0 mit einer Bewertung von  $6,8 \pm 1,3$  als mittlerem Abgrenzbarkeits-Score, während das Protokoll mit dem niedrigsten Röhrenstrom von 10mA deutlich darunter lag, mit einem mittleren Wert von  $4,6 \pm 1,9$ .

Die Unterschiede in der Bewertung zum Standardprotokoll waren jeweils hoch signifikant mit  $p < 0,001$ . Die obigen Abbildungen veranschaulichen die Abnahme der Abgrenzbarkeit mit abnehmender Dosis. Dargestellt ist jeweils das gleiche Drogenpäckchen, zunächst

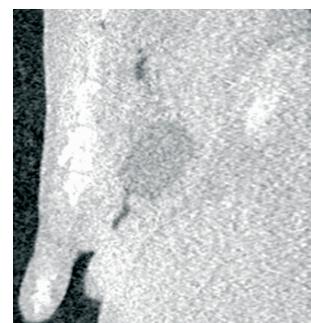
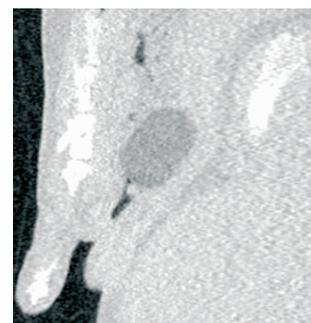
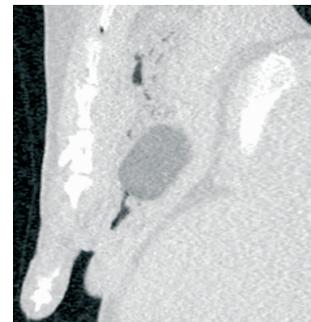
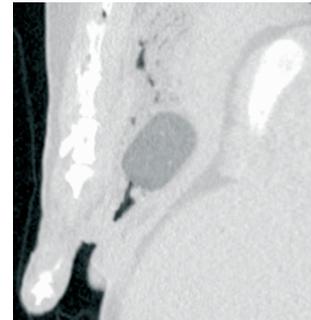


Abbildung 28:  
Vergleich der CT-Protokolle:  
Becken des Schweines mit  
einem Päckchen mit Heroin  
(38%, Probe 5) in  
Lungenfensterung.  
a: CT in Standard-Dosis  
b: Dosisreduziertes CT  
mit 80mA  
c: Dosisreduziertes CT  
mit 30mA  
d: Dosisreduziertes CT  
mit 10mA

im Standard-Abdomen-Protokoll und dann in abnehmenden Röhrenströmen mit 80 mA, 30 mA und 10 mA. Dargestellt ist wiederum die Heroin-Probe mit 38 % freier Heroinbase sowie Koffein und Paracetamol.

### 3.2.2 Abgrenzbarkeit bezogen auf CT-Fenstereinstellungen

Betrachtet man nur die Auswertung sämtlicher Protokolle im Weichteilfenster, ist festzustellen, dass nirgends der Abgrenzbarkeits-Score über 6,0 erreicht werden konnte, also bei keinem Protokoll die Abgrenzbarkeit im Mittel als ausreichend bewertet wurde. Das Standard-Protokoll wurde in der Weichteil-Fensterung mit  $5,2 \pm 1,4$  bewertet. Die dosisreduzierten Protokolle erreichten Bewertungen von  $4,1 \pm 1,0$  bei 80 mA bis hin zu  $1,7 \pm 0,7$  bei 10 mA Röhrenstrom. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft viermal dasselbe Drogenpäckchen in den unterschiedlichen Protokollen mit absteigender Dosis in Weichteil-Fensterung.

Bei dem dosisreduzierten Protokoll mit 30 mA, das in der kombinierten Auswertung in allen drei Fensterungen den ausreichenden mittleren Score von  $6,8 \pm 1,3$  erreichte, ergab sich für die Bewertung nur im Weichteil-Fenster ein Wert von lediglich  $3,1 \pm 1,0$ . Der Unterschied war hoch signifikant mit  $p < 0,001$ . Die Bewertung unterschied sich nicht signifikant von der für konventionelles Röntgen ( $p = 0,984$ ). Wiederum für dosisreduzierte Serien bei 30 mA wurde die kombinierte Auswertung aller drei Fensterungen auch signifikant besser bewertet als die Bewertung nur im Lungen-Fenster, in der Lungen-Fensterung ergab sich ein Score von  $6,4 \pm 1,3$ , der Unterschied war signifikant mit  $p < 0,05$ . Bei diesem Röhrenstrom beziehungsweise Dosisniveau war die Bewertung allein im Lungenfenster auch höher als die Bewertung in der variablen Fenstereinstellung, allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant mit  $p = 0,589$ .

Die folgende Abbildung illustriert den Unterschied der Abgrenzbarkeit für ein Päckchen am Beispiel einer Kokainprobe mit 87 % Kokainhydrochlorid für die drei Fensterungen.

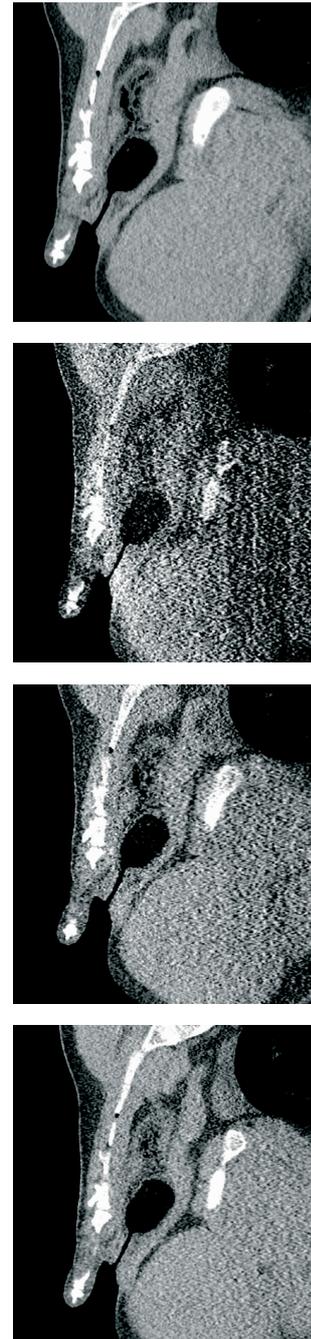


Abbildung 29:  
Becken des Schweines mit einem Päckchen mit Kokain mit 24 % Kokainhydrochlorid (Probe 3) in Weichteilfensterung

- a: Standard-Dosis-CT, Abgrenzbarkeits-Score 5,5
- b: Dosisreduziertes CT mit 80 mA, Abgrenzbarkeits-Score 4,5
- c: Dosisreduziertes CT mit 30 mA, Abgrenzbarkeits-Score 3,0
- d: Dosisreduziertes CT mit 10 mA, Abgrenzbarkeits-Score 2,0

Zur Vervollständigung der Ergebnisse seien hier auch die individuell gewählten Fensterungen für die jeweiligen Proben zusammengestellt:

Tabelle 08:

Variable CT-Fenstereinstellungen

Proben- nummer	Fensterung SW		Fensterung MS	
	Fenster- mitte (HU)	Fenster- breite (HU)	Fenster- mitte (HU)	Fenster- breite (HU)
1	-206	1660	-253	1710
2	-90	1336	-130	1476
3	-113	1420	-117	1294
4	-31	790	-363	2696
5	-58	1374	-127	1254
6	-178	1518	-295	1780
7	-197	1100	-252	1350
8	-101	1026	-258	1680
9	-232	3372	-21	3294

### 3.3 Dosisabschätzung und -vergleich

#### 3.3.1 Konventionelles Röntgen

Die mit den Röntgenbildern verbundene Effektive Dosis wurde wie folgt abgeschätzt, hier beispielhaft für das Röntgenbild mit der manuell komprimierten Kokainprobe (Probe 1):

Formel 08:

Abuschätzung der mittleren Effektiven Dosis des Röntgenbildes Probe 1

$$\begin{aligned}
 E_R [\text{mSv}] &= \text{DAP} [\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2] \cdot k_{\text{DAP}} [\text{mSv} / \text{Gy} \cdot \text{cm}^2] \cdot 10^{-2} \\
 E_{R\text{Probel}} &= 1382,0 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,21 \text{mSv} / \text{Gy} \cdot \text{cm}^2 \cdot 10^{-2} \\
 &= 2,9022 \text{mSv}
 \end{aligned}$$

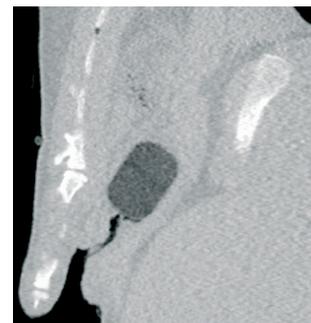
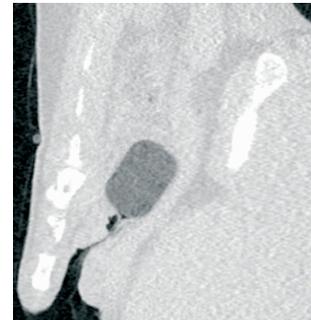


Abbildung 30:  
Dosisreduziertes CT mit 30 mA.  
Becken des Schweines mit  
einem Päckchen mit Kokain mit  
87% Kokainhydrochlorid  
a: Weichteilfensterung  
b: Lungenfensterung  
c: Variable Fensterung

Die Tabelle zeigt die gemessenen Parameter der Röntgenbilder und die berechneten Effektiven Dosen im Überblick:

Tabelle 09:

Strom-Zeit-Produkte, Dosis-Flächen-Produkte sowie abgeschätzte Effektive Dosen der Röntgenaufnahmen

Proben- nummer [mAs]	Strom- Zeit- Produkt	Dosis-Flächen- Produkt [ $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ ]	Effektive Dosis [mSv]
1	126	1382,0	2,90
2	125	1332,7	2,80
3	98,9	1051,3	2,21
4	111	1225,3	2,57
5	100	1075,0	2,26
6	88	934,2	1,96
7	104	1133,8	2,38
8	105	1126,3	2,37
9	113	1197,0	2,51
Mittelwerte	107,9 $\pm$ 12,3	1161 $\pm$ 140	2,44 $\pm$ 0,29

Der Mittelwert des Dosis-Flächen-Produkts lag demnach bei  $1161 \pm 140 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ , die mittlere Effektive Dosis für ein Röntgenbild in einer Ebene wurde mit  $2,44 \pm 0,29 \text{ mSv}$  abgeschätzt.

### 3.3.2 Topogramme

Zur Abschätzung der Topogramm-Dosen wurden wie oben beschrieben  $\text{CTDI}_{\text{vol}}$ -Werte für einzelne axiale Scans mit einer Sekunde Dauer und fünf Millimeter totaler Kollimation abgelesen. Als Scanlänge wurden einheitlich 50 cm angenommen. Beispielhaft ergab sich für ein Topogramm bei 80 mA Röhrenstrom daraus ein  $\text{CTDI}_{\text{vol}[\text{Topo } 80\text{mA}]}$  von 9,63 mGy, aus dem wie folgt die Effektive Dosis abgeschätzt wurde:

Formel 9:

Berechnung der Effektiven Topogrammdosis bei 80 mA Röhrenstrom

$$\begin{aligned}
 \text{CTDI}_{\text{vol}[\text{Topo } 80 \text{ mA}]} [\text{mGy}] &= \text{CTDI}_{\text{vol}} [\text{mGy}] \cdot 0,05 \\
 &= 9,63 \text{ mGy} \cdot 0,05 \\
 &= 0,4815 \text{ mGy} \\
 \text{DLP}_{\text{Topo } 80 \text{ mA}} [\text{mGy} \cdot \text{cm}] &= \text{CTDI}_{\text{vol}[\text{Topo } 80 \text{ mA}]} [\text{mGy}] \cdot L_{\text{Topo}} [\text{cm}] \\
 &= 0,4815 \text{ mGy} \cdot 50 \text{ cm} \\
 &= 24,075 \text{ mGy} \cdot \text{cm} \\
 E_{\text{Topo } 80 \text{ mA}} [\text{mSv}] &= \text{DLP}_{\text{Topo } 80 \text{ mA}} [\text{mGy} \cdot \text{cm}] \cdot E_{\text{DLP} [\text{Abdomen}]} [\text{mSv} / \text{mGy} \cdot \text{cm}] \\
 &= 24,075 \text{ mGy} \cdot \text{cm} \cdot 0,015 \text{ mSv} / \text{mGy} \cdot \text{cm} \\
 &= 0,3611 \text{ mSv}
 \end{aligned}$$

Die folgende Tabelle zeigt diese Werte im Überblick:

Tabelle 10:

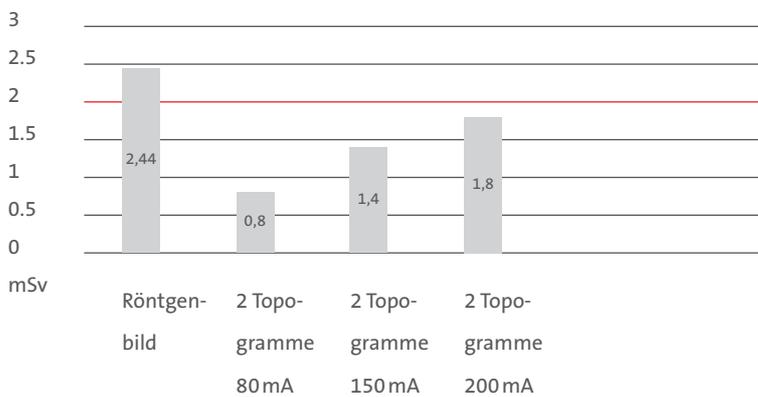
Berechnung der Effektiven Dosen der Topogramme

Röhrenstrom [mA] [mGy]	Abgelesener CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	CTDI <sub>vol</sub> [Topo] [mGy]	DLP <sub>Sv</sub> [mGy.cm]	Effektive Dosis [mSv]
80 mA	9.63	0.48	24.08	0.36
150 mA	18.05	0.90	45.13	0.68
200 mA	24.07	1.20	60.18	0.90

Somit wurden die Effektiven Dosen der Topogramme in einer Ebene mit 0,4 mSv bei 80 mA, 0,7 mSv bei 150 mA und 0,9 mSv bei 200 mA abgeschätzt. Verdoppelt für zwei Ebenen ergeben sich 1,8 mSv für 200 mA, 1,4 mSv für 150 mA und 0,8 mSv für 80 mA. Damit ergab sich eine deutlich niedrigere Dosis für Topogramme in zwei Ebenen gegenüber einer Ebene im konventionellen Röntgen, genauer gesagt, für zwei Topogramme mit 200 mA unter dem niedrigsten Einzelwert für eine Röntgenaufnahme, für zwei Topogramme mit 80 mA bei einem Drittel des Mittelwertes für eine Radiographie. Das Diagramm veranschaulicht dieses Verhältnis.

Abbildung 31:

Dosisabschätzungen für Topogramme in zwei Ebenen im Vergleich mit Radiographien



### 3.3.3 CT-Serien

CT-Dose Index (CTDI) und Scanlänge sowie das Dosis-Längen-Produkt (DLP) als Funktion dieser beiden Parameter blieben in den Untersuchungsdurchläufen konstant, die Scanlänge lag bei durchgängig 42,75 Zentimetern. CTDI und DLP wurden daher für jedes Protokoll einmal ermittelt, von 12,72 mGy und 626,13 mGy\*cm für ein Standard-Abdomen-Protokoll bis zu 0,41 mGy und 19,31 mGy\*cm für das am stärksten dosisreduzierte Protokoll mit 10 mA Röhrenstrom. Beispielhaft für 30 mA wurde dann die Effektive Dosis berechnet:

Formel 10:

Berechnung der Effektiven Dosis einer CT-Serie (30 mA)

$$\begin{aligned}
 E_{CT\ 30\text{mA}}[\text{mSv}] &= \text{DLP}_{CT\ 30\text{mA}}[\text{mGy} \cdot \text{cm}] \cdot k_{DLP}[\text{mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})] \\
 &= 57,92 \text{ mGy} \cdot \text{cm} \cdot 0,017 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm}) \\
 &= 0,9846 \text{ mSv}
 \end{aligned}$$

Für das Standard-Abdomen-Protokoll ergab sich so eine abgeschätzte Effektive Dosis von 10,6 mSv, für die dosisreduzierten Protokolle von 2,6 mSv für den höchsten Röhrenstrom von 80 mA bis zu 0,3 mSv für den niedrigsten Röhrenstrom von 10 mA. Die folgende Tabelle zeigt die Werte im Überblick.

Tabelle 11:

Berechnung der Effektiven Dosen der CT-Serien

Protokoll	Dosisabschätzung		
	CTDI [mGy]	DLP [mGy*cm]	Effektive Dosis [mSv]
Standard	12.72	626.13	10.6
Dosisreduziert mit 80mA	3.26	154.45	2.6
Dosisreduziert mit 30mA	1.22	57.92	1.0
Dosisreduziert mit 10mA	0.41	19.31	0.3

### 3.4 Statistische Analyse

Die Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern wurde separat für die Bewertung von Röntgenbildern und Topogrammen, sowie für die Bewertung der CT-Serien berechnet. In beiden Fällen war die Übereinstimmung hoch mit Werten von 0,89 (Röntgen/Topogramme) beziehungsweise 0,92 (CT-Serien). Die ebenfalls berechnete Reliabilität war in beiden Fällen ausgezeichnet mit Werten für Cronbachs Alpha von 0,94 (Röntgen/Topogramme) und 0,96 (CT-Serien).

## 4 Diskussion

Entsprechend der Darstellung der Ergebnisse wird auch hier zunächst das konventionelle Röntgen im Vergleich zu den Topogrammen betrachtet. Es folgt die Diskussion bezüglich der CT-Serien.

### 4.1 Topogramme im Vergleich zu Röntgen

#### 4.1.1 Deutlich niedrigere Dosis für Topogramme als für Röntgenaufnahmen

Strahlendosen von CT-Topogrammen werden in der Literatur kontrovers diskutiert [30,33]. Solche Dosen werden als „zu vernachlässigen“ bewertet, in anderen Studien jedoch mit Werten von bis zum viereinhalbfachen eines konventionellen Röntgenbildes [30].

Die vorliegende Abschätzung der Strahlendosen fiel zugunsten der Topogramme aus, es wurden effektive Dosen für Topogramme in zwei Ebenen von circa einem Drittel der Dosis einer einzelnen konventionellen Röntgenaufnahme berechnet. Das heißt, dass in unserem Experiment Topogramme nicht nur eine bessere Abgrenzbarkeit lieferten, sondern auch eine deutlich niedrigere Strahlendosis mit sich brachten.

#### 4.1.2 Bessere Abgrenzbarkeit mit Topogrammen als mit Röntgenaufnahmen

Im hier dargestellten experimentellen Ansatz ergab sich eine Sensitivität des konventionellen Röntgens bezüglich der Abgrenzbarkeit der Drogenpäckchen von lediglich 11 Prozent. In anderen vorliegenden Studien wird wiederholt berichtet, dass in einer großen Anzahl von Fällen Bodypacks nicht entdeckt wurden. In einer Übersichtsarbeit wurde die Sensitivität beim menschlichen Bodypacker für konventionelles Röntgen aus verschiedenen Untersuchungen mit 47 bis 95 Prozent angegeben [10]. Die Tatsache, dass die Sensitivität, die in unserem Experiment ermittelt wurde, deutlich niedriger als diese Literaturwerte ausfiel, kann zumindest teilweise auf den Aufbau des

Experiments zurückgeführt werden, insbesondere da hier die Sensitivität bezüglich der Abgrenzbarkeit als Surrogatparameter berechnet wurde und nicht eine Sensitivität bezüglich der Detektion von Bodypacks, wie dies in Studien geschah, die sich auf Beobachtungen bei menschlichen Bodypackern stützen. Bezüglich der Detektion von Nierensteinen zeigen Studien, die die Verwendung von Topogrammen untersuchen, eine höhere Sensitivität für das Röntgen als für Topogramme [13,21]. In unserem Experiment ist das Verhältnis von vergleichsweise hoher Sensitivität der Topogramme und vergleichsweise niedriger Sensitivität der Röntgenbilder teilweise zurückzuführen auf die Parameter der Topogramme und die Qualität der Detektoren. Beim Vergleich mit den Ergebnissen der Nierenstein-Untersuchungen erscheint jedoch wichtiger, das Nierensteine oft klein und meistens hyperdens imponieren, während Bodypacks eher vergleichsweise groß und hypodens erscheinen, was allein bereits eine Erklärung für die unterschiedlichen Sensitivitäten bei verschiedenen Anwendungen sein könnte.

Die Sensitivität bezüglich der Abgrenzbarkeit bei Topogrammen war bis zu 67 Prozent in unserem Experiment, dies ist niedriger als die Sensitivitäten, die für CT-Serien bei menschlichen Bodypackern berichtet werden [34,49]. Daher ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass die Rechtfertigung für die Auswertung der Topogramme nicht sein soll, bei asymptomatischen Bodypackern gänzlich auf die Computertomographie zu verzichten. Vielmehr könnte versucht werden, unnötige CT-Untersuchungen in solchen Fällen zu vermeiden, in denen die entscheidende Information bereits aus den vor der CT-Serie durchgeführten Topogrammen gewonnen werden kann. Hinzu kommt ein möglicher logistischer Vorteil, da die eigentlichen CT-Serien unmittelbar im Anschluss an ein negatives Topogramm durchgeführt werden kann, wenn weiterhin ein hoher Verdacht auf Bodypacking besteht. In

Kombination mit der Tatsache, dass hinsichtlich der untersuchten Fragestellung Topogramme sensitiver als normale Röntgenbilder waren, könnte dies rechtfertigen, nicht in erster Linie konventionelle Röntgenbilder von asymptomatischen Bodypackern anzufertigen. Entgegen der bisherigen Praxis deuten logistische und diagnostische Aspekte sowie eine mögliche Dosisersparung darauf hin, dass die Auswertung von Topogrammen ein sinnvoller erster Schritt in der radiologischen Begutachtung asymptomatischer Bodypacker sein sollte. Alle Topogramme zeigten signifikant bessere Abgrenzbarkeitsbewertungen als die Röntgenbilder. Die kombinierte Auswertung von antero-posterioren und lateralen Topogrammen ergab gleiche oder bessere Abgrenzbarkeits-Scores als einzelne Ebenen mit höheren Röhrenströmen. Dies kann so interpretiert werden, dass die üblichen Topogramme in zwei Ebenen einen effizienteren Ansatz bezüglich der benötigten Dosis sind, als ein Versuch, mit höheren Röhrenströmen – und damit Strahlendosen – den diagnostischen Gehalt eines Topogramms zu erhöhen.

Konventionelles Röntgen führte in unserem Experiment zu durchgängig nicht ausreichenden Ergebnissen, nur in einem Fall konnte eine suffiziente Einzelbewertung erreicht werden. Die in diesem Fall als ausreichend bewertete Abgrenzbarkeit – es handelte sich um die Stücke des mechanisch komprimierten Heroins – kann zum größten Teil darauf zurückgeführt werden, dass diese Probe aus einer Anzahl von Heroin-Brocken bestand, die von viel Luft umgeben waren. Diese Luft erleichterte die Erkennbarkeit von allen drei Charakteristika von Bodypacks (Inhalt, Verpackung und Form), so wie dies in anderen Studien beschrieben ist [27,49]. Gerade solche hilfreichen Luftein-schlüsse werden Radiologen, die sich mit Bodypackern auseinandersetzen haben, weniger und weniger erwarten können, da diese Erkenntnis auch den Herstellern der Bodypacks nicht verborgen geblieben sein dürfte und davon

ausgegangen werden kann, dass ein wachsender Anteil der Packs maschinell erzeugt werden wird. Versucht man den Unterschied zwischen den beiden Modalitäten zu erklären, so ist wahrscheinlich auch der weiche Röntgenstrahl von 77kV, der beim Röntgen verwendet wurde, für einen Teil des Unterschieds im Erscheinungsbild der Aufnahmen im Vergleich zu den Topogrammen, die bei 120kVp erstellt wurden, verantwortlich. Zudem muss in Betracht gezogen werden, dass das Experiment eine Situation mit hohem Bildrauschen erzeugte. Das Drogenpäckchen war in der Hüftregion des Tiermodells platziert, in der kräftige Knochen und Weichteilstrukturen eine große Menge von Bildrauschen verursachten. Der hocheffektive beziehungsweise hochsensitive Detektor des CT-Gerätes, das im vorliegenden Experiment verwendet wurde, ist dieser speziellen Herausforderung möglicherweise besser gewachsen als das Plattenspeichersystem mit anschließender Digitalisierung beim konventionellen Röntgengerät. Der lineare Scanprozess mit dem hochkollimierten Strahl, der bei der Topogrammakquisition verwendet wurde – im Gegensatz zur punktförmigen Quelle beim konventionellen Röntgen, – könnte ein weiterer Faktor sein, der zu diesem Ergebnis beitrug. Außerdem könnten Kantenverstärkung und weitere Bildrekonstruktionsalgorithmen, die bei der Berechnung der Topogramme verwendet werden, zur besseren Abgrenzbarkeit in den Topogrammen beigetragen haben.

#### 4.2 CT-Serien im Vergleich

Im Folgenden werden noch einmal die CT-Serien, also das Standard-Abdomenprotokoll und die drei dosisreduzierten Protokolle betrachtet.

#### 4.2.1 Abgrenzung der Päckchen war mit dosisreduzierten CT-Protokollen mit signifikant niedrigeren Dosen als mit Standard-CT möglich

Eine ausreichende Abgrenzbarkeit der Bodypacks war mit den dosisreduzierten Protokollen mit 30 mA beziehungsweise 80 mA gegeben. Im Gegensatz dazu war das dosisreduzierte Protokoll mit 10 mA Röhrenstrom für diesen Zweck nicht geeignet. Dosisreduzierte CT-Serien mit 80 mA ermöglichten eine ausgezeichnete Abgrenzung der Bodypacks mit einem Abgrenzbarkeits-Score von  $8,2 \pm 0,7$  gegenüber  $8,8 \pm 0,5$  für das Protokoll mit Standarddosis. Der Unterschied war signifikant mit  $p < 0,01$ . Somit lag der Abgrenzbarkeits-Score der Serien mit 80 mA mehr als drei Standardabweichungen über der Suffizienzgrenze und sollte damit eine Sicherheit für mehr als 99,9 % der Fälle bieten. Die hierfür benötigte Dosis von 2,6 mSv (CTDI<sub>vol</sub> 3,6 mGy) liegt dabei im Bereich anderer in der Literatur beschriebener Anwendungen dosisreduzierter CT [16,27,28,43]. So sind zum Beispiel dosisreduzierte Protokolle mit effektiven Dosen von 2,4 mSv (DLP 177 mGy\*cm) für normalgewichtige Patienten mit Harnsteinen beschrieben [43]. In einer anderen Studie wurden Dosen von 2,1 mSv (CTDI<sub>vol</sub> 5,5 mGy, Scanlänge 40 cm) für Frauen und 1,6 mSv (Scanlänge 35 cm) für Männer mit Nierenkoliken berichtet [36]. Dosisreduzierte CT-Serien mit 30 mA Röhrenstrom wurden bezüglich der Abgrenzbarkeit deutlich schlechter bewertet. Dennoch konnten auch hier ausreichende mittlere Abgrenzbarkeits-Scores erreicht werden ( $6,8 \pm 1,3$ ). Hierbei lag die abgeschätzte Effektive Dosis bei 1,0 mSv (CTDI<sub>vol</sub> 1,22 mGy) bei einer Scanlänge von 42,75 cm. In einer anderen Bodypacker-Studie mit einem Tiermodell und einem älteren CT-Gerät wurde ebenfalls eine Dosis von 1,0 mSv (CTDI<sub>vol</sub> 1,1 mGy, Scanlänge 35 cm) benötigt um eine Anzahl von Kokainpäckchen abzugrenzen, die chirurgisch im Darm eines deutlich kleineren Schweine-

modells mit 21,5 Kilogramm Körpergewicht platziert worden waren [27]. Da wir eine neuere Generation von Computertomographen mit verbesserten Detektoren und neuen Rekonstruktionsalgorithmen wie adaptiver statistischer iterativer Rekonstruktion (ASIR)[29] verwendeten, war es möglich, eine ausreichende Abgrenzbarkeit mit einer vergleichbaren Dosis in einem sehr viel größeren und schwereren Tiermodell zu erreichen, welches den menschlichen Körper besser nachbildet. Dieses schwerere Tiermodell wurde gewählt, um die schwierigen Bedingungen bei der Suche nach Bodypacks nachzuahmen, die in der klinischen Praxis auftreten. Die hiermit gefundenen Dosisgrenzen umfassen damit mit hoher Wahrscheinlichkeit Menschen bis 121,5 kg, was bei einem Durchschnittsgewicht von rund 72,2 kg in Europa (Stand 2006) den größten Teil der Bevölkerung umfasst [40].

#### 4.2.2 Computertomographie ist Goldstandard der Abgrenzbarkeit

Unsere Ergebnisse bestätigen, dass Bodypacks mit illegalen Drogen mit der abdominalen Computertomographie mit Standard-Protokollen ausgezeichnet abgegrenzt werden können [42, 49]. Ein solches Standard-Protokoll war in unserem Experiment mit einer effektiven Dosis von 10,6 mSv (CTDI<sub>vol</sub> 12,72 mGy) verbunden. Diese Strahlendosis liegt im Bereich dessen, was in der diagnostischen Praxis für abdominelle CT-Serien typischerweise verwendet wird [27]. In einer Übersichtsarbeit wurde ein durchschnittlicher Wert von 8 mSv für abdominelle CT-Serien berichtet, mit einem Spektrum von 3,5 bis 25 mSv je nach spezifischer Anwendung [28]. Andernorts wird für ein Abdomen-CT von einem Durchschnittswert von 27,4 mSv, mit einem Spektrum von 8 bis 60 mSv ausgegangen [23]. Für Patienten mit Verdacht auf Bodypacking, also Personen, die sich mit Symptomen einer Intoxikation oder eines Ileus vorstellen, bleibt ein solches Standard-Protokoll

unbestritten das sinnvolle klinische Vorgehen, mit dem sowohl die Detektion der Bodypacks als auch die Beurteilung der klinischen Situation sicher durchgeführt werden kann. In einem solchen Fall ist die rechtfertigende Indikation für die Applikation einer nicht unerheblichen Strahlendosis eindeutig gegeben.

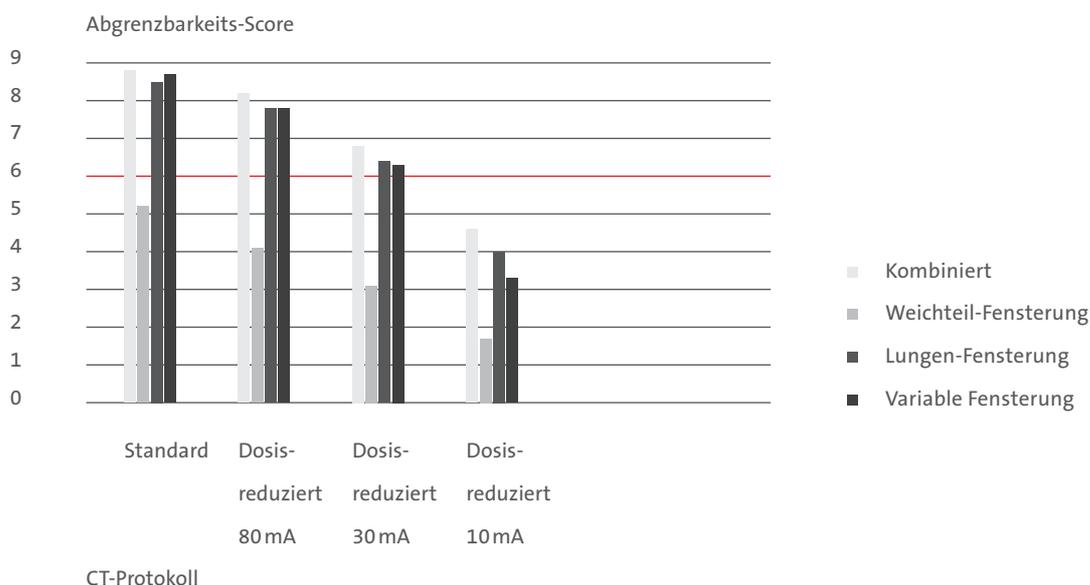
#### 4.2.3 Anpassung der Fensterung ist entscheidend für Abgrenzbarkeit

Die Auswertung der erstellten CT-Serien nur in der Weichteilfensterung – also in der Fensterung, in der solche Serien routinemäßig betrachtet werden – erbrachte selbst beim Standard-Abdomenprotokoll keine ausreichende Abgrenzbarkeit der Drogenpäckchen. Die dosisreduzierten Protokolle schnitten bei dieser Betrachtungsweise noch deutlich schlechter ab. Beispielhaft sei noch einmal das dosisreduzierte CT-Protokoll mit 30 mA Röhrenstrom genannt, das in der Weichteil-Fensterung nicht besser bewertet wurde als das konventionellen Röntgenbild. Dies unterstreicht die Bedeutung der CT-Fenstereinstellungen bei der Suche nach Bodypacks im menschlichen Körper. Die Anpassung der CT-Fensterung bei der Untersuchung von Bodypackern ist in mehreren Studien beschrieben worden [10,38,49]. Andere Autoren haben hierbei empfohlen, je nach vermuteter Droge beziehungsweise erwarteter Verpackung spezifische Fensterungen zu verwenden [49]. Im vorliegenden Experiment wurde hingegen der Ansatz gewählt, eine weitere Standard-Fenstereinstellung, wie sie an den Betrachtungsplätzen in der Regel vorhanden ist – in diesem Falle die Standard-Einstellung für die Lungendiagnostik – zu verwenden und als Drittes eine individuell vom Betrachter gewählte Fensterung zu untersuchen. Hierbei verbesserte die Auswertung in der Lungenfensterung die Abgrenzbarkeit ganz erheblich und ermöglichte in weiten Teilen überhaupt erst eine ausreichende Abgrenzbarkeit.

Die Grafik illustriert diesen Zusammenhang

Abbildung 32:

Abgrenzbarkeit im CT in Abhängigkeit von der Fensterung



Obwohl die individuell eingestellten, variablen Fensterungen, die von den beiden Auswertern verwendet wurden, der Bewertung in den Lungenfensterungen nicht signifikant überlegen waren, konnte die kombinierte Auswertung in allen drei Fensterungen (berechnet durch die Verwendung des jeweils besten Punktwertes für jede Bewertungskategorien – Verpackung, Form und Inhalt) einen geringen signifikanten Zuwachs an Abgrenzbarkeit erzielen.

#### 4.3 CT-Serien und Topogramme im Vergleich

Bis hierher sind in Auswertung und Diskussion der Versuche zwei in sich getrennte Vergleiche, einerseits zwischen Topogrammen und Röntgenbildern und andererseits bei der CT zwischen Normaldosisserien und solchen mit reduzierter Dosis durchgeführt worden. An dieser Stelle soll daher auch kurz der Vergleich zwischen CT-Serien und Topogrammen angestellt werden.

Dosisreduzierte CT-Protokolle mit 80mA und auch mit

30mA Röhrenstrom waren sämtlichen Topogrammen bezüglich der Abgrenzbarkeit überlegen. Beispielhaft sei hier der mittlere Abgrenzbarkeits-Score von  $6,8 \pm 1,3$  des dosisreduzierten Protokolls mit 30mA gegenüber dem Wert von  $6,2 \pm 1,4$  für Topogramme in zwei Ebenen bei 80mA genannt. Dieser Unterschied erscheint auf den ersten Blick nicht sehr ausgeprägt, es ist jedoch zu beachten, dass von den CT-Serien zur Ermittlung der Abgrenzbarkeits-Scores nur jeweils eine einzelne Schicht betrachtet wurde.

In der axialen Reformation hätten dem Auswerter jedoch 85 Schichten, beziehungsweise in der sagittalen Reformation sogar 142 Schichten zur Verfügung gestanden. Dies legt nahe, dass ein Untersuchungsaufbau, bei dem nicht die Abgrenzbarkeit eines einzelnen Packs sondern die Detektion einer Vielzahl von Packs in einem Körper untersucht würde, hier zu sehr viel größeren Unterschieden bezüglich der Detektion führen würde. Dies wäre umso mehr der Fall, wenn die Fragestellung nicht ausschließlich auf das absolute Vorhandensein von Drogenpäckchen im Sinne einer Ja-Nein-Entscheidung abzielte, sondern Informationen über die Anzahl beziehungsweise Lokalisation der Drogenpäckchen gefordert wären.

Beim Dosisvergleich zwischen Topogrammen und CT-Serien ist festzustellen, dass die Topogramme, die in zwei Ebenen eine ausreichende Abgrenzbarkeit lieferten (mit 80mA Röhrenstrom) in unserem Experiment mit einer Dosis von 0,8mSv assoziiert waren, also deutlich weniger als ein Zehntel des Standarddosis-CT-Protokolls. Betrachtet man diese Dosis jedoch im Vergleich zu den dosisreduzierten CT-Serien, so springt ins Auge, dass dieser Abstand deutlich geringer ausfällt. Dieses Verhältnis legt nahe, dass bei der Verwendung von dosisreduzierten CT-Protokollen dringend auch ein dosisreduziertes Topogramm geboten ist.

#### 4.4 CT-Serien und Röntgenbilder im Vergleich

Noch kurz sei auf den drastischen Qualitätsunterschied bezüglich der Abgrenzbarkeit zwischen Röntgenbildern und CT-Serien eingegangen. Hier zeigte sich das Röntgen durchweg abgeschlagen mit  $3,1 \pm 2,5$  als mittlerem Abgrenzbarkeits-Score, gegenüber  $6,8 \pm 1,3$  beim dosisreduzierten CT-Protokoll mit 30 mA beziehungsweise  $8,8 \pm 0,5$  beim Standard-Abdomenprotokoll. Hierbei gelten im Übrigen dieselben, bereits im Bezug zu Topogrammen und CT-Serien geäußerten, Erwägungen bezüglich des Unterschiedes bei einem möglichen Detektionsexperiment, bei dem die Schichtbildgebung der Projektionsdarstellung noch weit stärker überlegen sein dürfte.

Bemerkenswert ist dabei, dass die Dosis der untersuchten Schichtbildgebung mit 80 mA und ausgezeichneter Abgrenzbarkeit mit 2,1 mSv als niedriger abgeschätzt wurde als die eines einzelnen Röntgenbildes in unserem Experiment. Bei immer noch ausreichender Abgrenzbarkeit in den CT-Serien mit 30 mA Röhrenstrom lag die abgeschätzte Effektive Dosis bei 1,0 mSv. Dies liegt im Bereich einer typischen Röntgenaufnahme eines menschlichen Abdomens [23].

#### 4.5 Schlussfolgerungen

##### 4.5.1 Ergebnisse legen nahe, dass dosisreduzierte CT das konventionelle Röntgen bei asymptomatischen Verdächtigen ersetzen könnte

Die drastisch bessere Abgrenzbarkeit in den dosisreduzierten CT-Protokollen gegenüber den Röntgenbildern bei niedrigeren Effektiven Dosen für die Schichtbildgebung geben Anlass zu der Erwägung, beim asymptomatischen Bodypacker nicht routinemäßig zunächst ein Röntgenbild des Abdomens anfertigen zu lassen, sondern die dosisreduzierte CT als Erstdiagnostik einzusetzen.

Die Verwendung von dosisreduzierten CT-Protokollen anstelle von konventionellem Röntgen ist von verschiedenen

Autoren bereits vorgeschlagen worden, zum Beispiel in Fällen von Nierenkoliken und abdominellen Schmerzen im rechten unteren Quadranten [35,46]. Abhängig von länderspezifischen Regelungen [15,18,34] ist eine typische derzeitige Vorgehensweise bezüglich asymptomatischer Bodypacking-Verdächtiger, zunächst ein konventionelles Röntgenbild durchzuführen und die CT-Untersuchung nur in solchen Fällen in Erwägung zu ziehen, wenn im Röntgenbild keine Päckchen dargestellt werden können und gleichzeitig ein sehr dringender Verdacht besteht, dass der Verdächtige Päckchen in sich trägt [18]. Unsere Ergebnisse unterstützen den Vorschlag, dass dosisreduzierte CT-Protokolle das konventionelle Röntgen als Modalität der ersten Wahl bei asymptomatischen Verdächtigen ablösen könnten [27,34]. Hier ist allerdings eine Evaluation der im jeweiligen Institut verwendeten Parameter notwendig, sowohl bezüglich der Röntgenbilder (zum Beispiel bezüglich des Dosisersparpotentials volldigitaler Röntgensysteme) als auch bezüglich der Erprobung eines geeigneten dosisreduzierten CT-Protokolls.

#### 4.5.2 Vorgeschaltete Topogramm-Auswertung könnte Dosisersparung ermöglichen

Der Vergleich zwischen Röntgenbildern und Topogrammen legt nahe, dass durch die Verwendung von Topogrammen anstelle von Röntgenbildern zur ersten bildgebenden Untersuchung von asymptomatischen Bodypackern mehr positive Befunde generiert werden könnten, als dies bisher mit Röntgenbildern möglich ist.

Die Gegenüberstellung der Dosisabschätzungen und der Abgrenzbarkeits-Scores lässt diesen Schluss zu. Vergegenwärtigt man sich jedoch, dass es sich bei den Topogrammen auch immer nur um zwei projektionsradiographische Aufnahmen – im Gegensatz zur vollen Schichtbildgebung der CT – handelt, erscheint es nicht sinnvoll, beispielsweise über die Verwendung höherer

Röhrenströme und damit Strahlendosen bei der Topogrammakquisition zu versuchen, die Aussagekraft der Topogramme zu erhöhen. Vielmehr sollte es darum gehen, die in den – in jedem Falle zur CT-Planung notwendigen – Topogrammen möglicherweise enthaltene Information nicht ungenutzt zu lassen. In diesem Sinne ist davon auszugehen, dass bei der typischen Fragestellung, ob sich überhaupt Bodypacks im Körper des Verdächtigen befinden, die Topogramme eine sinnvolle Ergänzung der Bemühungen zur Dosisreduktion in diesen Fällen sein können. Ihre Betrachtung vor der Durchführung der eigentlichen CT-Serie könnte dazu beitragen, die insgesamt für die Untersuchungen von Bodypacking-Verdächtigen im Institut verwendete Strahlendosis zu verringern. Die dosisreduzierte CT-Untersuchung könnte in einem solchen Fall eines positiven Befundes bei der Betrachtung der Topogramme dann für eine Ausscheidungskontrolle nach mehreren Tagen aufgespart werden.

#### 4.6 Einschränkungen

Wie bei jedem Tiermodell müssen anatomische Unterschiede im Vergleich zum menschlichen Körper beachtet werden. Außerdem ist zu beachten, dass die hier dargestellten Verhältnisse zunächst auf ein einzelnes CT-Gerät bezogen sind und mit anderen Geräten wiederholt werden sollten, die eventuell hersteller- oder gerätespezifisch andere Techniken zur Topogramm-Erzeugung verwenden. Zusätzlich waren in unserem Modell keine Artefakte abgebildet, wie sie durch Patienten- oder Darmbewegungen erzeugt werden und bei tatsächlichen Bodypacker-Untersuchungen regelmäßig zu erwarten sind. Außerdem war es nicht möglich, die Betrachter bezüglich des Vorhandenseins und der Position des Drogenpäckchens zu verblinden, da jede einzelne Untersuchung mit nur einem Päckchen im Rektum des Tieres durchgeführt wurde. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde der oben

genannte multifaktorielle Abgrenzbarkeits-Score entwickelt, der Verpackung, Inhalt und Form als typische Charakteristika der Bodypacks umfasste. In verschiedenen anderen Studien ist beschrieben, wie diese Charakteristika zur Detektion von Bodypacks geeignet sind [18,49]. Es erscheint berechtigt, anzunehmen, dass die Abgrenzbarkeit der Päckchen nicht künstlich durch die gewählte Verpackungsart erhöht wurde. Mit der oben beschriebenen Ausnahme enthielten die verwendeten Päckchen sehr wenig oder gar keine Luft, was sie in ihrem Erscheinungsbild mechanisch hergestellten Bodypacks ähnlich machte. Es kann daher angenommen werden, dass unsere Packs eher schwieriger zu detektieren gewesen wären als Teile der real verwendeten Bodypacks. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die äußere Hülle unserer Verpackungen, die aus einer Schicht Kunststoff und einer Schicht Latex bestand, eher weniger leicht abgrenzbar war als zum Teil in der Literatur beschriebene Bodypacks mit ihren teils kunstvollen, vielschichtigen Verpackungen [45].

#### 4.7 Anregungen für die praktische Anwendung

Es bleibt abzuwarten, ob weitere Studien, insbesondere solche mit echten Bodypackern – so schwierig diese auch durchzuführen sind, – die angenommene Überlegenheit von CT-Topogrammen gegenüber konventionellen Röntgenbildern bestätigen können. In jedem Falle erscheint es sinnvoll und gerechtfertigt, zukünftig die bei abdominellen Röntgenbildern verwendete Effektive Dosis abzuschätzen und zu den im Hause verwendeten dosisreduzierten Protokollen, wie sie zum Beispiel zur Nierensteindetektion eingesetzt werden, in Beziehung zu setzen. Wird beim asymptomatischen Bodypacker eine Computertomographie durchgeführt, so scheint es aufgrund der hier vorgestellten Ergebnisse sowie der Ergebnisse weiterer Studien [34] geboten, in diesem Fall auf ein dosisreduziertes Protokoll zurückzugreifen und nicht routinemäßig ein Standard-Abdomen-Protokoll zu verwenden.

In jedem Fall sollte eine durchgeführte CT-Untersuchung in der Lungenfensterung betrachtet werden und nicht ausschließlich in der Weichteil-Fensterung. Die Betrachtung in Weichteil-Fensterung und gegebenenfalls in zusätzlichen, variablen Fenstereinstellungen sollte helfen, die Treffsicherheit weiter zu erhöhen und kann eventuell auch Hinweise auf klinisch noch inapparente Gefährdungen des Patienten zum Beispiel durch einen Ileus geben.

Wird eine CT-Untersuchung beim asymptomatischen Bodypacker durchgeführt, so kann empfohlen werden, die beiden zur Planung erzeugten Topogramme auszuwerten, bevor die eigentlichen CT-Serien angefertigt werden, auch wenn dies bei den meist üblichen Untersuchungsabläufen einen eventuell höheren Abstimmungsbedarf mit dem Assistenzpersonal bedeuten könnte. Da die Untersuchung von Bodypacking-Verdächtigen aber im klinischen Alltag nur selten vorkommt, ist dieser Abstimmungsbedarf in den meisten Fällen sowieso gegeben.

Abschließend muss dringend empfohlen werden, dass dosisreduzierte CT-Untersuchungen, wie sie in der Klinik verwendet werden, auch mit dosisreduzierten Topogrammen durchgeführt werden, da die hier beschriebenen Untersuchungsergebnisse nahelegen, dass die Dosen bei Topogrammakquisition nicht zu vernachlässigen sind.

## 5 Zusammenfassung

„Bodypacker“ sind Menschen, die Päckchen mit illegalen Drogen inkorporieren, um diese für den Eigengebrauch oder für einen weiteren Handel über Grenzen zu transportieren. Ärzte können einerseits involviert sein, falls die Drogen in die Blutbahn der Träger gelangen und diese so zu Patienten werden. In aller Regel handelt es sich dann um ein akutes Abdomen, meist noch mit ausgeprägten systemischen Nebenwirkungen der Drogen. Die Versorgung erfolgt über standardisierte Behandlungspfade. Andererseits können Ärzte und insbesondere Radiologen von Strafverfolgungsbehörden auch als Sachverständige bestellt werden, um asymptomatische Personen, bei denen Drogenpäckchen im Magen-Darm-Trakt vermutet werden – auch gegen deren Willen – zu untersuchen. Bislang werden meist konventionelle Röntgenbilder des Abdomens angefertigt, obwohl bekannt ist, dass diese nur eine begrenzte Sensitivität aufweisen. Es ist auch nicht unüblich bei einem negativen Röntgenbefund zusätzlich eine Computertomographie (CT) des Abdomens durchzuführen. Hierzu wird zunächst mit stehender Röhre ein CT-Topogramm mit einem der Radiographie ähnlichen Projektionsbild erzeugt, auf dem dann die eigentliche überlagerungsfreie CT-Schnittbild-Untersuchung mit rotierender Röhre geplant wird. Die CT bietet bei der Suche nach Bodypacks eine sehr hohe Treffsicherheit, ist aber auch mit vergleichsweise höheren Strahlendosen verbunden. Dies ist vor allem auch im Hinblick darauf zu bewerten, dass es sich bei den untersuchten Menschen in aller Regel eben nicht um Patienten handelt. Es stellt sich daher die Frage, welches bildgebende Verfahren bei Bodypackern eine sehr hohe Aussagekraft mit einer möglichst geringen Dosis kombiniert.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es an einem Schweinmodell eine Bodypacker-Situation zu simulieren, mittels konventioneller Radiographie, CT-Topogramm, Standard-CT sowie in mehreren Stufen dosisreduzierter CT zu untersuchen, hinsichtlich der Aussagekraft der Verfahren zu bewerten und in Zusammenschau mit den jeweils abgeschätzten Dosiswerten eine entsprechende Handlungsempfehlung für die Anwendung am Menschen abzuleiten.

Als Modell wurde ein frisch geschlachtetes, sonst intaktes Schwein mit 121,5 kg gewählt. Dieses hohe Gewicht sollte mit sicherstellen, dass gefundene Dosisgrenzen bei einer späteren Anwendung am Menschen einen Sicherheits-spielraum belassen. Vom Landeskriminalamt wurden Päckchen unterschiedlicher Reinheit mit Heroin-, Kokain- und Haschisch-Proben zur Verfügung gestellt. Diese wurden in einer Kinderüberraschungshülle uniform verpackt, jeweils einzeln in dem Modell rektal positioniert und mit konventioneller Radiographie, CT-Topogramm sowie mehreren CT-Scans variierender Dosis untersucht. Die Bilder wurden von

zwei Radiologen hinsichtlich der Abgrenzbarkeit von Verpackung, Form und Inhalt bewertet (Score jeweils 0 bis 3). Diese Werte wurden aufsummiert und ab Werten von mindestens sechs als suffizient für die Päckchendetektion definiert. Um die Verfahren hinsichtlich der Dosis vergleichen zu können, wurden jeweils die effektiven Dosen mittels Konversionsfaktoren abgeschätzt.

Zur Abgrenzung von Päckchen mit illegalen Drogen waren CT-Topogramme (kombinierte Auswertung Topogramme antero-posterior und lateral bei 80 mA  $6.2 \pm 1.4$ ; Dosis 0,8 mSv) durchweg besser geeignet als konventionelle Röntgenbilder ( $3.1 \pm 2.5$ ,  $p < 0.001$ , Dosis  $2.4 \pm 0.3$  mSv). Die Standard-CT und auch die dosisreduzierte CT mit 80 und mit 30 mA erlaubten eine signifikant bessere Abgrenzung von Bodypacks als konventionelles Röntgen, wohingegen die CT mit 10 mA insuffizient war (CT Standard  $8.8 \pm 0.5$ ; CT 80 mA  $8.2 \pm 0.7$ ; CT 30 mA =  $6.8 \pm 1.3$ , CT 10 mA  $4.6 \pm 1.9$ , p-Wert aller CTs jeweils kleiner 0,01). Allerdings war hierbei entscheidend, dass die CT-Aufnahmen nicht nur in der üblichen Weichteil- sondern auch in einer Lungen-Fensterung betrachtet wurden. Im Detail erlaubten sogar dosisreduzierte CT-Serien mit 30 mA Röhrenstrom noch eine ausreichende Abgrenzbarkeit von Drogenpäckchen, wodurch sich im Vergleich mit einer Standard-CT eine Dosisreduktion von 90 % ergab (10,6 versus 1,0 mSv). Damit war die Dosis sogar geringer als diejenige einer Radiographie in einer Ebene ( $2,44 \pm 0,29$  mSv).

Für symptomatische Bodypacker ergibt sich insgesamt keine Konsequenz, da diese einschließlich der Bildgebung wie andere Patienten gemäß entsprechenden Behandlungspfaden versorgt werden. Die Ergebnisse ermutigen allerdings dazu, die konventionelle Radiographie bei asymptomatischen Bodypackern kritisch zu überdenken. Stattdessen erscheint es empfehlenswert, zunächst ein CT-Planungstopogramm anzufertigen und auszuwerten. Ist hierbei keine sichere Päckchendetektion gegeben, so genügt es für den eigentlichen CT-Scan, ein sogar unterhalb der Dosis einer Radiographie reduziertes CT-Protokoll einzusetzen, sofern bei der Befundung verschiedene Fenster verwendet werden. Nicht zuletzt erscheint dieses Vorgehen auch logistisch attraktiv.

## 6 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 01:	
Charakteristika der Drogenproben	18
Tabelle 02:	
Parameter für die Topogramm-Akquisition	20
Tabelle 03:	
Grundeinstellungen der CT-Akquisition	20
Tabelle 04:	
Standard-Fenstereinstellungen	22
Tabelle 05:	
Bewertungskriterien	23
Tabelle 06:	
Abgrenzbarkeits-Scores für konventionelles Röntgen und Topogramme	28
Tabelle 07:	
Mittlere Abgrenzbarkeits-Scores für die CT-Protokolle	34
Tabelle 08:	
Variable CT-Fenstereinstellungen	37
Tabelle 09:	
Strom-Zeit-Produkte, Dosis-Flächen-Produkte sowie abgeschätzte Effektive Dosen der Röntgenaufnahmen	38
Tabelle 10:	
Berechnung der Effektiven Dosen der Topogramme	39
Tabelle 11:	
Berechnung der Effektiven Dosen der CT-Serien	41

## 7 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	
Beschaffenheit eines maschinell erzeugten Bodypacks	07
Abbildung 2:	
Double-condom sign (Zeichen des doppelten Kondoms)	10
Abbildung 3:	
Röhrenpositionen bei der Topogramm-Akquisition	11
Abbildung 4:	
Strukturformel Kokain	14
Abbildung 5:	
Kokainhydrochlorid	15
Abbildung 6:	
Strukturformel Heroin (Diacetylmorphin)	15
Abbildung 7:	
Heroinfläschchen von Bayer	16
Abbildung 8:	
Abfüllen der Drogenpäckchen: Heroin	17
Abbildung 9:	
Abfüllen der Drogenpäckchen: Kokain	17
Abbildung 10:	
Positionierung der Drogenpäckchen auf der Röntgenkassette senkrecht zum Strahlengang	19
Abbildung 11:	
Drogenpäckchen in der Übersicht, Röntgenaufnahme	19
Abbildung 12:	
Platzierung der Drogenpäckchen im Computertomographen	19
Abbildung 13:	
Drogenpäckchen in der Übersicht, Dosisreduzierte CT	20
Abbildung 14:	
Nach dem Einführen eines Drogenpäckchens ins Rektum des Tieres	20
Abbildung 15:	
Das Schwein vor der Durchführung einer Computertomographie	20

Abbildung 16:	
Abgrenzbarkeits-Scores Röntgen	29
Abbildung 17:	
Abgrenzbarkeits-Scores Topogramme	30
Abbildung 18:	
Röntgenbild vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin	31
Abbildung 19:	
Topogramm (antero-posterior) vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin	31
Abbildung 20:	
Topogramm (lateral) vom Becken des Tieres mit einem Drogenpäckchen mit mechanisch komprimiertem Heroin	31
Abbildung 21:	
Röntgenbild mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Heroin	32
Abbildung 22:	
Topogramm (antero-posterior) mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Heroin	32
Abbildung 23:	
Topogramm (lateral) mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Heroin	32
Abbildung 24:	
Ausschnitt aus Röntgenbild mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Kokain	33
Abbildung 25:	
Ausschnitt aus antero-posteriorem Topogramm mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Kokain	33
Abbildung 26:	
Ausschnitt aus lateralem Topogramm mit Drogenpäckchen mit manuell komprimiertem Kokain	33
Abbildung 27:	
Abgrenzbarkeits-Scores CT-Serien	3

Abbildung 28:	
Vergleich der CT-Protokolle in Lungenfensterung (a: CT in Standard-Dosis; b: Dosisreduziertes CT mit 80 mA; c: Dosisreduziertes CT mit 30 mA; d: Dosisreduziertes CT mit 10 mA)	35
Abbildung 29:	
Becken des Schweines mit einem Päckchen mit Kokain in Weichteilfensterung (a: Standard-Dosis-CT; b: Dosisreduziertes CT mit 80 mA; c: Dosisreduziertes CT mit 30 mA; d: Dosisreduziertes CT mit 10 mA)	36
Abbildung 30:	
Dosisreduziertes CT mit 30 mA. Becken des Schweines mit einem Päckchen mit Kokain (a: Weichteilfensterung; b: Lungenfensterung; c: Variable Fensterung)	37
Abbildung 31:	
Dosisabschätzungen für Topogramme in zwei Ebenen im Vergleich mit Radiographien	40
Abbildung 32:	
Abgrenzbarkeit im CT in Abhängigkeit von der Fensterung	49

## 8 Literaturverzeichnis

- 1 Aksnes TA, Jacobsen D (2004)  
[*Smuggling of illegal drugs by body stuffers*].  
Tidsskr Nor Laegeforen 124: 1772–1773
- 2 Aldrighetti L, Paganelli M, Giacomelli M et al. (1996)  
*Conservative management of cocaine-packet ingestion:  
experience in Milan, the main Italian smuggling center of  
South American cocaine*. Panminerva Med 38: 111–116
- 3 § 81a StPO In: Gesetze im Netz, Bundesministerin der  
Justiz, Berlin [http://www.gesetze-im-internet.de/  
stpo/\\_81a.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stpo/_81a.html), abgerufen 10.04.2013
- 4 IRC (2007) *The 2007 Recommendations of the  
International Commission on Radiological Protection*.  
ICRP publication 103. Ann ICRP 37: 1–332
- 5 *Drogenprofile: Cannabis*.  
In: Drogenprofile. Europäische Beobachtungsstelle für  
Drogen und Drogensucht Lissabon,  
[http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-  
profiles/cannabis/de](http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-profiles/cannabis/de), abgerufen 10.06.2013
- 6 *Drogenprofile: Heroin*.  
In: Drogenprofile. Europäische Beobachtungsstelle für  
Drogen und Drogensucht Lissabon,  
[http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-  
profiles/heroin/de](http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-profiles/heroin/de), abgerufen 10.06.2013
- 7 *Drogenprofile: Kokain und Crack*.  
In: Drogenprofile. Europäische Beobachtungsstelle für  
Drogen und Drogensucht Lissabon,  
[http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-  
profiles/cocaine/de](http://www.emcdda.europa.eu/publications/drug-profiles/cocaine/de), abgerufen 10.06.2013
- 8 *European guidelines on quality criteria for computed  
tomography (2000)*. Office for Official Publications of the  
European Communities, 1999, Luxembourg
- 9 *World Drug Report 2010*  
(United Nations Publication). In: United Nations Office on  
Drugs and Crime (UNODC),  
[http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR\\_2010/World  
\\_Drug\\_Report\\_2010\\_lo-res.pdf](http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2010/World_Drug_Report_2010_lo-res.pdf), abgerufen 01.02.2012

- 10 Booker RJ, Smith JE, Rodger MP (2009)  
*Packers, pushers and stuffers – managing patients with concealed drugs in UK emergency departments: a clinical and medicolegal review.* Emerg Med J 26: 316–320
- 11 Bulstrode N, Banks F, Shrotria S (2002)  
*The outcome of drug smuggling by “body packers” – the British experience.* Ann R Coll Surg Engl 84: 35–38
- 12 Deak PD, Smal Y, Kalender WA (2010)  
*Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product.* Radiology 257: 158–166
- 13 Ege G, Akman H, Kuzucu K et al. (2004)  
*Can computed tomography scout radiography replace plain film in the evaluation of patients with acute urinary tract colic?*  
Acta radiologica 45: 469–473
- 14 Flach PM, Ross SG, Ampanozi G et al. (2012)  
*“Drug mules” as a radiological challenge: sensitivity and specificity in identifying internal cocaine in body packers, body pushers and body stuffers by computed tomography, plain radiography and Lodox.*  
European Journal of Radiology 81: 2518–2526
- 15 Grimm JM, Wirth S, Reiser MF et al. (2012)  
*[Letter to the editor on the article by Pache G et al. Low-dose computed tomography for the detection of cocaine body packs: clinical evaluation and legal issues.]*  
RoeFo: 2012; 184: 122–129. Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen und der Nuklearmedizin 184: 470;
- 16 Haller O, Karlsson L, Nyman R (2010)  
*Can low-dose abdominal CT replace abdominal plain film in evaluation of acute abdominal pain?*  
Ups J Med Sci 115: 113–120
- 17 Hassanian-Moghaddam H, Abolmasoumi Z (2007)  
*Consequence of body packing of illicit drugs.*  
Arch Iran Med 10: 20–23

- 18 Hergan K, Kofler K, Oser W (2004)  
*Drug smuggling by body packing:  
what radiologists should know about it.*  
Eur Radiol 14: 736–742
- 19 Hofer M (2010) *CT-Kursbuch.*  
Didamed Verlag GmbH, Düsseldorf
- 20 IEC (2009) International Standard IEC 60601-2-44  
(2009-02): *Medical electrical equipment, Part 2–44:  
Particular requirements for the basic safety and essential  
performance of X-ray equipment.*  
International Electrical Commission, Geneva, Switzerland
- 21 Johnston R, Lin A, Du J et al. (2009)  
*Comparison of kidney-ureter-bladder abdominal  
radiography and computed tomography scout films for  
identifying renal calculi.*  
BJU Int 104: 670–673
- 22 Kjellberg M, Al-Amiry B, Englund E et al. (2012)  
*Measurement of leg length discrepancy after total hip  
arthroplasty. The reliability of a plain radiographic method  
compared to CT-scanogram.* Skeletal radiology. 41: 187–191
- 23 Krieger H (2009)  
*Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes.*  
Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- 24 Le Heron JC (1992)  
*Estimation of effective dose to the patient during medical  
x-ray examinations from measurements of the dose-area  
product.* Phys Med Biol 37: 2117–2126
- 25 Littek S (2011)  
*Zoll verhindert Schmuggel von 117 Bodypacks mit Kokain.*  
In: Zoll.de – Pressemitteilungen. Hauptzollamt Kiel,  
[http://www.zoll.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/Ra  
uschgift/2011/z50\\_pm\\_bodypacks1.html?nn=301432](http://www.zoll.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/Rauschgift/2011/z50_pm_bodypacks1.html?nn=301432),  
abgerufen 27.06.2013

- 26 Marston J (Regie) (2004)  
*Maria voll der Gnade*, Originaltitel: *Maria Full of Grace*;  
*Maria, llena eres de gracia*.  
 HBO-Films, Kolumbien/USA  
 im Verleih der Universum GmbH
- 27 Maurer MH, Niehues SM, Schnapauff D et al. (2010)  
*Low-dose computed tomography to  
 detect body-packing in an animal model*.  
 Eur J Radiol 2011 May; 78(2): 302–306
- 28 Mettler FA, Jr., Huda W, Yoshizumi TT et al. (2008)  
*Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine:  
 a catalog*. Radiology 248: 254–263
- 29 Mueck FG, Michael L, Deak Z et al. (2013)  
*Upgrade to Iterative Image Reconstruction (IR) in  
 MDCT Imaging: A Clinical Study for Detailed Parameter  
 Optimization Beyond Vendor Recommendations Using the  
 Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Environment  
 (ASIR) Part 2: The Chest*.  
 RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen  
 und der Nuklearmedizin 185: 644–654
- 30 Nauer CB, Kellner-Weldon F,  
 Von Allmen G et al. (2009)  
*Effective doses from scan projection radiographs of the head:  
 impact of different scanning practices and comparison with  
 conventional radiography*.  
 AJNR. American journal of neuroradiology 30: 155–159
- 31 Nichols GR, 2nd, Davis GJ (1992)  
*Body packing with a twist. Death of a salesman*.  
 Am J Forensic Med Pathol 13: 142–145
- 32 Norfolk GA (2007) *The fatal case of a cocaine body-  
 stuffer and a literature review – towards evidence based  
 management*. J Forensic Leg Med 14: 49–52
- 33 O’Daniel JC, Stevens DM, Cody DD (2005)  
*Reducing radiation exposure from survey CT scans*.  
 AJR. American journal of roentgenology 185: 509–515

- 34 Pache G, Einhaus D, Bulla S et al. (2012)  
*[Low-dose computed tomography for the detection of cocaine body packs: clinical evaluation and legal issues].*  
RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen und der Nuklearmedizin 184: 122–129
- 35 Poletti PA, Anderegg E, Rutschmann O et al. (2009)  
*[Indications for low-dose CT in the emergency setting].*  
Rev Med Suisse 5: 1590–1594
- 36 Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT et al. (2007)  
*Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic.*  
AJR Am J Roentgenol 188: 927–933
- 37 Schaper A, Hofmann R, Ebbecke M et al. (2003)  
*[Cocaine-body-packing. Infrequent indication for laparotomy].* Chirurg 74: 626–631
- 38 Sengupta A, Page P (2008)  
*Window manipulation in diagnosis of body packing using computed tomography.*  
Emerg Radiol 15: 203–205
- 39 Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R et al. (2009)  
*Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer.*  
Arch Intern Med 169: 2078–2086
- 40 TNS Opinion & Social (2006)  
*Eurobarometer Spezial Gesundheit und Ernährung.*  
[http://ec.europa.eu/health/ph\\_publication/eb\\_food\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_publication/eb_food_de.pdf),  
abgerufen am 15.09.2013
- 41 Stichenwirth M, Stelwag-Carion C,  
Klupp N et al. (2000)  
*Suicide of a body packer.*  
Forensic Sci Int 108: 61–66
- 42 Taheri MS, Hassanian-Moghaddam H,  
Birang S et al. (2008)  
*Swallowed opium packets: CT diagnosis.*  
Abdom Imaging 33: 262–266

- 43 Tartari S, Rizzati R, Righi R et al. (2010)  
*Low-dose unenhanced CT protocols according to individual body size for evaluating suspected renal colic: cumulative radiation exposures.*  
Radiol Med 115: 105–114
- 44 Theocharopoulos N, Chatzakis G, Karantanas A et al. (2010)  
*CT evaluation of the low severity cervical spine trauma: when is the scout view enough?*  
Eur J Radiol 75: 82–86
- 45 Traub SJ, Hoffman RS, Nelson LS (2003)  
*Body packing – the internal concealment of illicit drugs.*  
N Engl J Med 349: 2519–2526
- 46 Udayasankar UK, Li J, Baumgarten DA et al. (2009)  
*Acute abdominal pain: value of non-contrast enhanced ultra-low-dose multi-detector row CT as a substitute for abdominal radiographs.*  
Emerg Radiol 16: 61–70
- 47 Wackerle B, Rupp N, Von Clarmann M et al. (1986)  
*[Detection of narcotic-containing packages in “body-packers” using imaging procedures. Studies in vitro and in vivo].*  
Roefo 145: 274–277
- 48 *Wikipedia Heroin.*  
In: Wikimedia Foundation,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Heroin>,  
abgerufen am 10.04.2013
- 49 Yang RM, Li L, Feng J et al. (2009)  
*Heroin body packing: clearly discerning drug packets using CT.*  
Southern medical journal 102: 470–475

## 10 Eidesstattliche Versicherung

Ziegeler, Edvard

Ich erkläre hiermit an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Ein am Schweinmodell optimierter Algorithmus  
zur bildgebenden Detektion inkorporierter Päckchen  
von Drogenkurieren (Bodypackern)

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner  
weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus  
dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind,  
als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter  
Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte  
Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei  
einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen  
Grades eingereicht wurde.

München, den 25.04.2014

Unterschrift Doktorand \_\_\_\_\_

## 11 Danksagung

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Dr. Stefan Wirth und meinen Betreuern Dr. Michael Scherr und Dr. Jochen Grimm sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes am Campus Innenstadt, die mit ihrem großen Engagement diese Arbeit möglich gemacht und begleitet haben.

Ebenso danke ich Herrn Dipl.-Des. Sören Fuglsang für die Unterstützung bei der visuellen Gestaltung der Arbeit.

Meiner Frau danke ich für Alles!