

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Jens Ricke

**Computertomographie (CT) bei zu Transportzwecken
inkorporierten Drogen (Bodypacking):
Eine experimentelle ex-vivo Studie zur Unterscheidung von
unterschiedlich stark komprimierten und mit Streckmitteln
versetzten Kokain- und Heroinproben anhand der
CT-Dichte**

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

vorgelegt von
Kati Zöfelt
aus Telgte
2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:

Prof. Dr. Dr. med. Stefan Wirth

Mitberichterstatter:

PD Dr. Christian Schneider

Prof. Dr. Andreas Lienemann

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:

Dr. med. Michael Scherr

Dekan:

Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung:

11.04.2019

1. EINLEITUNG	1
1.1. Allgemeine Information zum Bodypacking	1
1.2. Bedeutung von Bodypacking in der Medizin	4
1.2.1. Beschreibung und Wirkung von Kokain, Heroin und Streckmitteln	5
1.3. Diagnostikverfahren zur Detektion der Drogen beim Bodypacker	9
1.3.1. Diagnostik durch Sonografie	10
1.3.2. Diagnostik durch Magnetresonanztomographie (MRT)	11
1.3.3. Diagnostik durch konventionelles Röntgen	12
1.3.4. Diagnostik durch CT	13
1.4. Unterscheidung von Kokain und Heroin durch CT anhand ihrer Dichte	16
1.5. Fragestellung und Zielsetzung	16
2. MATERIAL UND METHODEN	18
2.1. Untersuchung der Drogenproben ohne standardisierte Kompression	19
2.1.1. Herstellung der Drogenproben	19
2.1.2. Ablauf der Untersuchung	21
2.2. Untersuchung der Drogenproben unter standardisierter Kompression	23
2.2.1. Herstellung der Drogenproben	23
2.2.2. Ablauf der Untersuchung	29
2.3. Reale Drogenpäckchen	35
2.4. Untersuchung der Streckmittel	40
2.5. Scanparameter	41
2.6. Bildauswertung	41
2.6.1. Dichtemessungen der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression	43
2.6.2. Dichtemessungen der Drogenproben innerhalb der Hochdruck- Spritzen unter standardisierter Kompression	44
2.6.3. Abschätzung der mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodystuffers	44
2.6.4. Dichtemessungen in den realen Bodypacker Drogenpäckchen	45

2.6.5. Abschätzung der mutmaßlich angewendeten Druckkraft bei der Herstellung der realen Drogenpäckchen durch Steigungskurven, lineare und logarithmische Extrapolation	45
2.6.6. Dichtemessungen der Streckmittel und der reinen Drogenproben	45
2.6.7. Dichtemessungen aller Untersuchungen im Vergleich	46
3. ERGEBNISSE	47
3.1. Dichtewerte der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression	47
3.2. Dichtewerte der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression im Messaufbau	50
3.2.1. Vergleich der Mittelwerte der Dichtewerte der unterschiedlichen Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression	53
3.2.2. Dichteverhalten der Drogenproben im Vergleich der standardisierten Kompressionsstufen 10 und „Post“	54
3.2.3. Berechnung der angewandten Druckkraft eines Drogenpäckchens eines Bodystuffers	55
3.3. Dichtewerte der Kokain- und Heroinproben als reales Drogenpäckchen	57
3.3.1 Abschätzung der angewandten Druckkraft auf reale Drogenpäckchen eines Bodypackers anhand linearer Extrapolation	58
3.3.2 Abschätzung der angewandten Druckkraft auf reale Drogenpäckchen eines Bodypackers anhand logarithmischer Extrapolation	60
3.3.3 Berechnete Druckkraft auf das Drogenpäckchen K37	61
3.4. Dichtewerte der Streckmittel und der reinen Drogenproben	61
3.5. Vergleich der Mittelwerte aller Dichtemessungen der Kokain- und Heroinproben aller Untersuchungen in der CT	63
4. DISKUSSION	64
4.1. Dichtewerte von Kokain und Heroin in der CT verglichen mit der Literatur	64

4.2. Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression	67
4.3. Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression	68
4.3.1. Einfluss der Kompression auf die Dichtewerte von Kokain und Heroin	69
4.3.2. Rückschluss der mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodystuffers	70
4.3.3. Rückschluss auf die mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodypackers	71
4.4. Einfluss der Drogenprobeneigenschaften auf die Dichtewerte	71
4.4.1. Einfluss der Drogenkonzentration und der Streckmittel auf die Dichtewerte	72
4.4.2. Einfluss des Drogenprobenzustandes im feuchten und im trockenen Zustand auf die Dichtewerte	74
4.5. Schlussfolgerung und praktische Anwendung	75
4.6. Limitationen	78
5. ZUSAMMENFASSUNG	80
6. ABKÜRZUNGEN	82
7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	83
8. TABELLENVERZEICHNIS	87
9. LITERATURVERZEICHNIS	88
10. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	97
11. DANKSAGUNG	98

1. EINLEITUNG

1.1. Allgemeine Information zum Bodypacking

Der illegale Drogenhandel hat sich zu einem globalen Geschäft entwickelt. Es werden jährlich mehrere Milliarden Euro durch den Drogenschmuggel umgesetzt. Die Vereinigten Staaten von Amerika (USA) und Europa zählen zu den Hauptzielen für die Drogensorten Kokain und Heroin. Zu den Produktionsorten für Heroin zählen vor allem Süd- und Zentralasien und dort wiederum speziell Afghanistan mit über 2/3 Anteil der weltweiten illegalen Opiumproduktion. Im Gegensatz hierzu wird Kokain hauptsächlich in Südamerika hergestellt. Die Produktion beider Drogensorten hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Schätzungen nach zu urteilen wurden in 2015 weltweit 1.125 Tonnen Kokain und in 2016 weltweit 6.380 Tonnen Opium produziert. Im Jahre 2015 haben ca. 5% aller Erwachsenen der weltweiten Bevölkerung illegale Drogen konsumiert [1].

Mit Bodypacking wird das Schmuggeln von Drogen innerhalb des menschlichen Körpers für den Eigengebrauch oder für einen weiteren Handel über Grenzen bezeichnet [2-4]. Damit ist Bodypacking der Überbegriff eines Mitführens von Drogen im Rektum, im Gastrointestinaltrakt, in der Vagina oder im Mund. Im Detail bezeichnet Bodypacking aber auch das geplante Verschlucken von Päckchen für den Transport, und Bodypushing eine Einführung in das Rektum oder in die Vagina zu diesem Zweck [5-7]. Bodystuffer grenzen sich davon ab, weil es sich hierbei typischerweise um Drogenkonsumenten oder kleinere Dealer handelt, die eine Körperdurchsuchung durch die Polizei oder den Zoll befürchten und deshalb spontan, also ungeplant, illegale Drogen verschlucken [7, 8]. Gängige Synonyme sind jeweils „internal carriers“ („Interne Träger“), „couriers“ („Kuriere“) oder „mules“ („Maultiere“) [4]. Häufig verwendete Drogen sind in diesem Zusammenhang Heroin [9-11], Kokain [3, 12-14] und Cannabis (als Marihuana [15] beziehungsweise Haschisch [16, 17]). Vermutlich werden synthetische Drogen [18] wie Ecstasy (3,4-Methylenedioxymethamphetamine) [19], Lysergsäurediethylamid (LSD) oder Halluzinogenen, wie z.B. Meskalin, in Bodypackern deshalb seltener gefunden, weil der finanzielle Nutzen im Vergleich zu den oben genannten Drogen viel geringer ist [5]. Das gefürchtete gesundheitliche Risiko besteht vor allem im sogenannten „Bodypacker-Syndrom“, eine Bezeichnung für Intoxikationserscheinungen, die auftreten können bei defekten, gerissenen oder undichten Drogenverpackungen.

Intoxikationen können Vergiftungserscheinungen verursachen und bis zum Tode führen. Der Begriff des Bodypacker-Syndroms wurde erstmals 1981 von Wetli et al. verwendet. Hier berichtete die Gruppe anhand verschiedener Fälle von Bodypackern über das tödliche Risiko durch das Mitführen von Drogen innerhalb des Körpers [20, 21].

Für den Transport werden die Drogen gepresst und in kleine spezielle Päckchen verpackt, um möglichst einen sicheren und unbeschadeten Transport zu gewährleisten. Die Größe der Päckchen variiert und hängt davon ab, ob sie maschinell oder manuell hergestellt werden. In aller Regel sind dabei maschinell erzeugte Päckchen stärker und konstanter gepresst. Oral aufgenommene Päckchen haben oft eine kleine, kugelige Form, wohingegen rektal oder vaginal eingeführte Päckchen meistens größer und eher oval geformt sind. Hierbei sind eine Länge von 4-8 cm und ein Durchmesser von 2 cm üblich [5, 22]. Manuell hergestellte Drogenpäckchen unterscheiden sich bezüglich ihrer Form wesentlich stärker und sind meistens grösser als maschinell produzierte Päckchen [7]. Es gibt verschiedene Arten von Verpackungen, die sich aus kombinierten Lagen von Kondom-beziehungsweise Latexhüllen, Pasten, Aluminiumfolie, Paraffin oder Fiberglasschichten zusammensetzen [6]. Bei den Verpackungsmaterialien und bei der Größe der Päckchen wird darauf geachtet, dass sie möglichst problemlos in das Rektum oder über den Ösophagus (Speiseröhre) einzuführen und leicht wieder auszuscheiden sind. Außerdem wird die Dicke der Verpackung berücksichtigt. Eine höhere Anzahl an Schichten minimiert das Risiko einer Undichtigkeit oder gar eines Aufplatzens. Allerdings sind dickere Verpackungen aufgrund der zwischen den einzelnen Lagen eingeschlossenen Luft durch bildgebende Verfahren leichter aufzuspüren [5, 23, 24]. Im Laufe der letzten Jahre wurden besonders maschinelle Verpackungsmethoden enorm weiterentwickelt, was die Detektion für Polizei und Medizin außerordentlich erschwert hat [25, 26].

Durch den Transport von Drogen innerhalb des Körpers ist es möglich, große Mengen über die Grenzen zu schmuggeln [4]. Die Einfuhr der Drogen erfolgt meistens über große Flughäfen und Hafenanlagen großer Städte, an denen Beamte mittlerweile speziell darauf trainiert sind Bodypacker zu erkennen [5]. Unterschiedliche Merkmale zeichnen einen Bodypacker aus, sodass man von einem typischen Bodypacker-Profil sprechen kann. Man vermutet, dass der Anteil der Bodypacker an der Gesamtzahl der Drogenkuriere 80% beträgt [5, 27]. Zollbeamten

achten auf typische Merkmale, bevor die Reisenden das Land betreten die in der Veröffentlichung von Hergan et al. beschrieben wird: Bodypacker, die für eine Drogenorganisation schmuggeln, tragen meistens am Oberkörper qualitativ hochwertige Kleidung im Gegensatz zu der Hose und den Schuhen. Schmuggler mit Drogenabusus bevorzugen langärmelige Kleidung um die vorhandenen Einstichstellen zu verdecken. Zusätzlich tragen sie Sonnenbrillen, um ihre roten Augen und kleinen Pupillen zu verbergen. Normalerweise reisen sie als Touristen ein, haben aber keine bestimmte Zieladresse. Sie führen häufig viel Bargeld mit sich und bezahlen ihr Flugticket auch in der Regel mit Bargeld. Bodypacker haben in ihrem Gepäckstück häufig auffällige Utensilien: Kondome, Latex-Handschuhe, Vaseline, Kokosnussöl zum Schlucken der Drogenpäckchen, Toilettenpapier, Deodorants gegen schlechten Geruch bei Übelkeit oder Flatulenz (Blähungen), Spasmolytika (krampflösende Arzneistoffe) gegen Peristaltik (wellenförmiges Zusammenziehen) des Darms und Kohletabletten, falls Drogenpäckchen rupturieren. Nicht selten treten Bodypacker apathisch oder im Gegenteil nervös auf [5].

Seit den siebziger Jahren ist diese Methode des Drogentransportes bekannt. 1973 wurde der erste Fall eines Haschisch-Bodypackers von Deitel et al. beschrieben. Das mit Haschisch gefüllte und verschluckte Kondom verursachte bei dem Bodypacker einen Dünndarmverschluss und musste nach 13 Tagen durch eine Enterotomie (chirurgische Eröffnung des Dünndarms) entfernt werden [16]. 1975 veröffentlichte Mebane et al. den ersten ähnlichen Fall eines Kokain-Bodypackers [28].

Mittlerweile hat sich das Bodypacking weltweit zum Transport oben erwähnter Drogen verbreitet und hat im Laufe der letzten Jahre besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika und Europa kontinuierlich wachsend zugenommen [4, 29, 30]. Lutz et al. berichteten 1992 von 8 Fällen im Zeitraum von 1980 bis 1990 in Deutschland [27]. Dagegen veröffentlichten Schaper et al., dass im Zeitraum von 1985 bis 2001 bereits allein am Frankfurter Flughafen 280 Bodypusher und 2280 Bodypacker mit Kokain detektiert wurden, von diesen waren 63 (2,2%) wegen Kokainintoxikation infolge einer Beschädigung der Drogenpäckchen symptomatisch geworden. Von den symptomatischen Bodypackern benötigten 20 (32%) eine notfallmäßige Laparotomie (Öffnung der Bauchhöhle) mit Entfernung der Drogenpäckchen und alle 20 überlebten. 43 (68%) Bodypacker verstarben, bevor sie chirurgisch therapiert werden konnten [31].

1983 wurden erste Bodypacking-Notfälle in Deutschland am Frankfurter Flughafen beschrieben [32]. Neben Frankfurt am Main hat in Deutschland ab den achtziger Jahren Hamburg als Transportweg an Bedeutung gewonnen [33, 34]. Dabei wird der Weg über Zürich, Amsterdam oder Brüssel genutzt [34]. In der Anfangsphase überwiegend auf junge afrikanische und amerikanische Männer beschränkt, werden in der Folge Frauen [3], Schwangere [35] und Kinder [36, 37] zum Bodypacking eingesetzt. Der erste Bericht von Kinder-Bodypacking wurde im Jahre 2005 von Beno et al. veröffentlicht [37].

1.2. Bedeutung von Bodypacking in der Medizin

Aus medizinischer Sicht ist es höchst risikoreich, Drogen inkorporiert mit sich zu führen [25]. Typischerweise treten Radiologen in zwei Situationen mit den Bodypackern in Kontakt: zum einen, wenn diese symptomatisch werden, beispielsweise mit Bauchschmerzen bei Darmverschluss bis hin zu lebensbedrohlichen Intoxikationszeichen als Notfallpatienten. Zum zweiten, wenn sie als Sachverständige fungieren, z.B. bei einem asymptomatischen Verdächtigen, bei welchem Fremdkörper nachgewiesen werden sollen um ihn strafrechtlich verfolgen zu können [5, 24]. In der Notfallsituation ist der Radiologe ebenso wie weiteres ärztliches Personal dazu verpflichtet, den Bodypacker nach den Regeln der ärztlichen Kunst zu behandeln. Zusätzlich sind Ärzte in der Regel zur Tätigkeit als Sachverständige nach §75 der Strafprozessordnung (StPO) verpflichtet [23, 38]. Grundsätzlich ist es ratsam - wenn möglich - nach ausführlicher Anamnese und klinischer Untersuchung beim verdächtigen Bodypacker eine schriftliche Einverständniserklärung für diejenigen bildgebenden Diagnostikmethoden einzuholen, welche Röntgenstrahlung verwenden [23]. In der Praxis ist dies durch die hohe Strafandrohung ebenso wie die Eigen- oder Fremdanamnese des verdächtigen Bodypackers meist schwer erhältlich [22]. Sollte ein Verdächtiger nicht einverstanden sein, kann die Durchführung der radiologischen Bilddiagnostik auf richterliche Anordnung hin erfolgen [21]. Die Bestellung als Sachverständiger kann gegenüber dem Arzt nicht nur durch Richter und Staatsanwälte, sondern auch durch Hilfspersonen wie Ermittlungsbeamte erfolgen. Die körperliche Untersuchung bedarf nicht zwingend der Einwilligung des Verdächtigen [23, 39]. Für eine solche Untersuchung gilt § 81a Absatz 1 der 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.“ [23, 40]. Der Radiologe kann sich also bei Indikationsstellung einer radiologischen Untersuchung auf die Gesetzesgrundlage von §81a berufen, wobei die Rechtslage weiterhin wegen der Strahlendosis, die ja per Definition die körperliche Unversehrtheit gefährden kann, umstritten bleibt.

Bei einem „Bodypacking-Syndrom“ kann es ursächlich durch eine Ruptur der Päckchen innerhalb des Körpers zu einer lebensgefährlichen Intoxikation durch den jeweiligen Stoff kommen [20, 41]. Die Anzahl und die Größe der Päckchen variieren, jedoch kann oft bereits die Menge eines einzelnen Päckchens eine tödliche Dosis darstellen [3, 42]. Bodypacker transportieren nicht selten 1 Kilogramm Kokain, aufgeteilt in kleine Päckchen zu 3-12 g, in einer Anzahl von 50-100 Päckchen, wobei die tödliche Dosis von Kokain bei 1-3 g liegt [29]. Vor Reiseantritt nehmen Bodypacker in der Regel Diphenoxylate (Opiat Agonist) oder Atropine (Tropan Alkaloid) ein, um die Darmmotilität zu reduzieren und damit die Wahrscheinlichkeit eines vorzeitigen Durchgangs der Drogenpakete zu verringern. Nach erfolgreicher Zollpassage werden häufig Laxantien (Abführmittel) eingenommen, um das Ausscheiden der Drogen zu beschleunigen [4, 25, 43, 44]. Die medikamentöse Regulierung des Darms und eine ungünstige Verteilung der Drogenpäckchen können ausgeprägte gastrointestinale Beschwerden verursachen bis hin zu lebensbedrohlichen Darmobstruktionen (Darmverschlüssen) und Darmperforationen (Darmdurchbrüchen). Bisherige Studien zeigen, dass maximal 5% der Bodypacker, die einem Krankenhaus vorgestellt werden, einen chirurgischen Eingriff bei gastrointestinaler Obstruktion (75%) oder Symptomen einer Intoxikation (25%) benötigen. Ohne Intervention läge die Mortalität dieser Gruppe bei 56% [45].

1.2.1. Beschreibung und Wirkung von Kokain, Heroin und Streckmitteln

Kokain

Kokain ist eine den heutigen Lokalanästhetika ähnliche Substanz, die aus den Blättern des Kokastrauches gewonnen wird und eine gute analgetische (schmerzlindernde) Wirkung besitzt [46]. Es wird meist zu weißem Pulver verarbeitet und als Rauschdroge typischerweise über die Nase geschnupft, in Kombination mit Heroin gespritzt oder mit Natron aufgekocht und in Zigaretten oder inhaliert („Crack“)

[5]. Beispiele für typische Synonyme für Kokain aus der Szene sind „Koks“, „Line“ oder „Snow“ [46]. Chemisch gehört Kokain zu den Tropan-Alkaloiden und bildet zusammen mit Salzsäure das Salz Kokainhydrochlorid [47]. Kokain liegt in der Regel als Kokainhydrochlorid und nicht als freie Base vor [5]. Es ist die gebräuchlichste Form von Kokain für die nasale Anwendung. Kokainhydrochlorid ist gut wasserlöslich und daher nicht nur zum Schnupfen, sondern auch für die orale Aufnahme oder auch zur Injektion geeignet. Zur Inhalation wird meist Kokainbase oder Crack hergestellt, da diese Stoffe bei relativ geringen Temperaturen verdampfen und somit die Wirkung bereits innerhalb von 10 Sekunden eintritt. Kokain wirkt durch die Hemmung der Noradrenalinaufnahme im präsynaptischen Spalt als potentes Sympathomimetikum. Zum Erreichen der gewünschten psychomimetischen Wirkung bedarf es einer Dosissteigerung, welches mit zahlreichen Nebenwirkungen einhergeht [47]. Kokain verursacht sympathomimetische und natriumkanalblockierende Effekte wie gesteigerte körperliche Leistungsfähigkeit, herabgesetztes Schlafbedürfnis, Selbstüberschätzung, Euphorie, verringertes Schmerzempfinden, fehlendes Hunger- und Durstgefühl, zudem eine Mydriasis (Weitstellung der Pupillen) und Halluzinationen. Des Weiteren hat es kardiale Auswirkungen, wie z.B. die Erhöhung der Herzfrequenz mit erhöhten Blutdruckkrisen, Herzrhythmusstörungen, EKG-Veränderungen sowie arteriellen Spasmen mit möglichen neuronalen und pektanginösen Beschwerden [46, 48, 49]. Da es kein spezifisches Antidot (Gegengift) gibt, erfolgt die Therapie rein symptomatisch unter anderem mit Benzodiazepinen und Neuroleptika. Bei Bodypackern mit Zeichen von Kokainintoxikation hilft neben symptomatischen Maßnahmen oft nur eine Laparotomie (operative Eröffnung der Bauchhöhle) zur Entfernung verbliebener Drogenpäckchen [46, 50].

Neben dem gängigen soliden Kokainpulver ist Ende 2011 das Kokainliquid als neue Schmuggelware beobachtet worden [51-53]. Das Kokainliquid hat im Vergleich zu dem Kokainpulver in verpackter Form eine andere Dichte und eine viel flexiblere Form, weshalb sich solche Päckchen der Anatomie des Körpers besser anpassen und so indirekt die Detektierbarkeit bei einer Kontrolle erschweren können [52, 54].

Heroin

Heroin ist ein hoch analgetisches, halbsynthetisches Morphinderivat, chemisch Diacetylmorphin, welches aus Opium, dem Saft des Schlafmohns, gewonnen wird. Es wurde erstmalig 1889 als Morphinersatzpräparat durch die Bayer-Werke mit

einem geringeren Abhängigkeitspotential synthetisiert, wobei das Abhängigkeitspotenzial im Allgemeinen noch sehr hoch ist [23]. In der Drogenszene hat Heroin viele Synonyme, beispielsweise „Horse“, „Aetsch“ oder „Poison“ [46]. Heroin wird für den Konsum zur Heroinbase aufbereitet. Früher war Heroin auch als Hydrochlorid erhältlich, wird aber heute fast nur als „freie Base“ verkauft. Heroinbase ist schlecht wasserlöslich und braucht einen Hilfsstoff wie Ascorbinsäure, um sie mit Wasser in Lösung zu bringen. Die Säure bewirkt beim Aufkochen die für die intravenöse Injektion notwendige Bildung eines wasserlöslichen Heroinsalzes [55]. Heroin wird über alle gängigen Applikationswege insgesamt schnell resorbiert und entfaltet seine Wirkung zeitnah innerhalb weniger Minuten. Es wirkt als Agonist an den zentralen Opiatrezeptoren μ , κ und δ . Durch seine sehr hohe Lipidlöslichkeit erfolgt die Überwindung der Blut-Hirn-Schranke innerhalb von Sekunden (20 s), und ca. 2/3 des Heroins werden im Vergleich zum intravenös applizierten Morphin (5%) im zentralen Nervensystem absorbiert und erklärt den von den Konsumenten erwünschten „Kick“, aber auch die Toxizität. Heroin hat im Vergleich zu Morphin eine 7-fach höhere Toxizität [46, 56]. Es wirkt parasymphatisch begleitet von möglicherweise lebensbedrohlichen typischen Symptomen wie Kreislaufinstabilität, Atemdepression, Miosis (Verengung der Pupillen), Hypotonie, Hypothermie und fehlende Darmbewegung bis hin zum Darmverschluss. Die Therapie einer Heroinintoxikation besteht symptomatisch aus Atemwegssicherung und Beatmung, gegebenenfalls auch aus kreislaufunterstützender Medikation mit intensivmedizinischer Überwachung. Im Gegensatz zur Kokainintoxikation ist bei einer Intoxikation mit Heroin neben der rein symptomatischen Therapie eine Behandlung mit dem Antidot Naloxon möglich. Naloxon ist ein reiner Opiatantagonist und hemmt kompetitiv (konkurrierend) an den drei Opiatrezeptoren μ , κ und δ und kann die Wirkung teilweise oder ganz aufheben. Es ist deshalb ein wichtiges Antidot im klinischen Alltag [46].

Streckmittel

Diese haben in der Regel eine ähnliche Konsistenz und ein vergleichbares Aussehen wie die Originaldroge und werden dazu verwendet, die Drogenmenge zu vergrößern, also zu „strecken“. Außerdem kann ein Streckmittel die Wirkung „des Stoffes“ beeinflussen. Die Wechselwirkungen der Streckmittel können zu Halluzinationen, sogenannten „Kicks“ führen, welche die Konsumenten als positiv empfinden und diese so zu treuen Kunden für den Händler machen. Zudem können sie die

Symptome einer Intoxikation maskieren. Es werden beispielsweise folgende Streckmittel verwendet: Stärke, Zucker (Laktose, Mannit), Levamisol, Diltiazem, Phenacetin, Procain, Lidocain, Hydroxyzin (H1-Antagonist, angstlösender Arzneistoff), Stychnin, (giftiges Alkaloid), Gips, Paracetamol und Koffein. Durch Beimischung dieser Substanzen zum sogenannten „Straßenstoff“ wird der Schwellenwert der toxischen Dosis der Droge kaum kalkulierbar. Zumal können die enthemmenden Effekte anderer Substanzen einen risikofreudigen Umgang mit der Hauptdroge begünstigen [23, 46]. Folgende Streckmittel sind für die Untersuchungen in dieser Arbeit relevant und werden näher erläutert:

- Mannit ist ein Hexitose (C₆H₁₄O₆). Es findet Anwendung beispielsweise als Diabetikerzucker, Abführmittel, Diuretikum und in der Technik [57].
- Diltiazem ist ein Benzothiazepin-Derivat, ein Calciumantagonist welcher als Antiarrhythmikum bei hoher Herzfrequenz, Herzrhythmusstörungen, Hypertonie und als Prophylaxe bei Angina-pectoris medikamentös eingesetzt wird [57].
- Levamisol wurde ursprünglich als Parasitenmittel in der Veterinärmedizin entwickelt. Es wird heute in der Krebs- und Aids-Therapie angewendet [57].
- Phenacetin ist chemisch ein p-Äthoxyacetanilid und wurde ursprünglich zur Schmerzbehandlung und Fiebersenkung verwendet. Es ist aufgrund von starken Nebenwirkungen, insbesondere wegen der einer Nierenschädigung, nicht mehr zulässig [57].
- Procain wird in der Leitungs- und Infiltrationsanästhesie angewendet und dient auch als Salzbildner in Penicillin Depotpräparaten [57].
- Paracetamol ist chemisch ein 4-Hydroxyacetanilid und wird als schmerzstillendes und fiebersenkendes Arzneimittel eingesetzt. Es hemmt die zentrale Prostaglandinsynthese und wirkt bei hoher Dosierung leberschädigend [57].
- Koffein ist ein Alkaloid aus der Stoffgruppe der Xanthine und gehört zu den psychoaktiven Drogen aus der Gruppe der Stimulantien [58]. Es hemmt kompetitiv die Adenosinrezeptoren. Es hat hauptsächlich anregende Wirkung auf das Zentralnervensystem, die Psyche, den Antrieb und die Konzentration. Eine erhöhte Zufuhr kann zu Leberzirrhose, Herzrhythmusstörungen und Sinustachykardien (erhöhte Herzfrequenz) führen [58].

1.3. Diagnostikverfahren zur Detektion der Drogen beim Bodypacker

Trotz der hohen gesundheitlichen Risiken hat das Bodypacking in den letzten 40 Jahren immer mehr zugenommen [29, 30]. Bereits am Flughafen werden Drogenscreeningtests durch Zollbeamte bei verdächtigen Bodypackern durchgeführt. Als Screening-Methode dient beispielsweise ein Oberflächenwischschnelltest zum Nachweis von Cannabis bzw. Opiaten und Kokain im Schweiß, Speichel oder auf Hautpartikeln. Dabei wird der sogenannte „Wischer“ auf die Oberfläche (Haut/Schleimhäute) „gewischt“ und ohne aufwendige Laboranalyse auf Drogen untersucht [21]. Fällt ein Schnelltest positiv aus, folgt eine Urinkontrolle. Bei ebenfalls positivem Ergebnis wird der mutmaßliche Bodypacker unter polizeilicher Kontrolle ins Krankenhaus gebracht. In der Klinik ist es wichtig, eine systematische, schnelle Diagnostik und ggf. adäquate Therapie bei dem Betroffenen durchzuführen, um einerseits den Nachweis eines Rauschgiftschmuggels zu erbringen und um andererseits ein mögliches Platzen von Drogenbehältnissen innerhalb des Körpers frühzeitig zu vermeiden, sodass ein mögliches Body-Packer-Syndrom verhindert werden kann. Dabei steht die bildgebende radiologische Diagnostik im Vordergrund. Bei einem positiven Nachweis von Drogenpäckchen in einer röntgenologischen Untersuchung werden stabile Bodypacker stationär aufgenommen; eine ausführliche Anamnese mit einer umfangreichen Symptomabfrage sowie eine körperliche Untersuchung sind erforderlich. Dabei ist eine sowohl vaginale als auch eine rektale Abtastung wichtig [21]. Außerdem sollten sowohl das Blut auf gängige illegale Drogen wie auch das Blutbild, die Nierenfunktion, Elektrolyt- und Leberwerte untersucht werden, um mögliche Organschäden einschätzen zu können. Ein Elektrokardiogramm sollte zusätzlich Aufschluss über mögliche kardiale Rhythmusstörungen oder Ischämien (Minderdurchblutungen) geben. Die weitere Vorgehensweise bei asymptotischen Bodypackern ist die Gabe von Abführmitteln, um eine rektale Ausscheidung der Drogenpäckchen zu beschleunigen [21, 59].

Sowohl aus medizinischer als auch aus forensischer Sicht ist es entscheidend, inkorporierte Drogenpäckchen zuverlässig erkennen und lokalisieren zu können. Bei instabilen Bodypackern sind sofortige medizinische Eingriffe häufig lebensrettend und bewahren so den Bodypacker vor tödlichen Konsequenzen durch Vergiftungen oder eine Darmperforation [5, 31, 60]. Bis heute gibt es noch keine Methode, die den Inhalt von inkorporierten Drogenpäckchen in einem menschlichen Körper klar identifiziert. Bisher wird bei Vergiftungserscheinungen des Bodypackers neben

symptomatischen Maßnahmen eine Not-Laparotomie durchgeführt, unabhängig davon, um welche Droge es sich im Körper des Patienten handelt [22, 25, 29, 60, 61]. Man hat herausgefunden, dass eine Laparotomie eines Bodypackers risikoreicher ist als eine Laparotomie aus anderen Gründen [4, 60]. Am ehesten wegen vieler darmeröffnender chirurgischer Einschnitte, die bei einer häufig großen Anzahl an Drogenpäckchen im Körper des Bodypackers notwendig sind, um diese entfernen zu können. Daher sind Laparotomien bei Bodypackern möglichst zu vermeiden. Bei Heroinintoxikation könnte es reichen, das Antidot Naloxon unter intensivmedizinischer Betreuung zu verabreichen. Das Wissen um die tatsächliche Drogensubstanz könnte einige Bodypacker vor operativen Eingriffen, die nicht selten mit schweren Komplikationen einhergehen, bewahren [31, 42, 60, 62]. Da Bodypacker meist keine Auskunft über die Drogen in ihrem Körper geben, [4, 63, 64] ist es sowohl aus juristischen, als auch aus medizinischen Gründen von großer Bedeutung, die Drogenpäckchen bei dem verdächtigen Patienten schnell aufzuspüren und zu lokalisieren. Zusätzlich wäre eine objektive Methode zur Identifizierung der Drogensorte für die weitere Vorgehensweise, Therapie und Prognose des Bodypackers hilfreich.

Üblich ist die Durchführung einer konventionellen Röntgenaufnahme oder - in jüngerer Zeit - einer Computertomographie (CT) zum Nachweis der Drogenpäckchen. Aufgrund des Dosisaspekts galt die CT lange nicht als das diagnostische Verfahren der Wahl [5, 65]. Strahlendosisreduzierte Untersuchungen in der CT sind in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses gerückt [23, 24, 62, 66-68].

Da die radiologische Diagnostik bezüglich Detektion beim Bodypacking im Vordergrund steht, werden in den folgenden Abschnitten die möglichen bildgebenden Verfahren vorgestellt und Erfahrungswerte mit Vor- und Nachteilen in Bezug auf die Diagnostik bei Bodypackern aus der Literatur präsentiert. Folgende bildgebende Diagnostikmethoden stehen zur Auswahl: Sonografie, MRT, konventionelles Röntgen und die CT.

1.3.1. Diagnostik durch Sonografie

Die Sonografie ist ein Schnittbildverfahren ohne Strahlenbelastung zur Untersuchung von organischem Gewebe im menschlichen Körper. Sie basiert auf der Aussendung von Ultraschallwellen und dem Empfang der im Gewebe reflektierten Schallwellen

(Echos) [69]. Eine Detektion der Drogenpäckchen durch Sonografie wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Meijer et al. bezeichnen 2003 die Sonografie als ein probates Verfahren zur Drogendetektion, nachdem sie in einer Studie bei 50 bekannten Bodypackern mittels Sonografie 97,6% Drogen nachweisen konnten [70]. Die Aussagekraft dieser Studie bezüglich der Sonografie als Detektionsmittel scheint eingeschränkt, da das Vorhandensein der Fremdkörper bereits bekannt war. Ohne dieses Vorwissen scheint die Sonografie keine befriedigenden Ergebnisse zu erzielen, meinen Greller et al. [71]. Der Vorteil der Sonografie besteht in der fehlenden Strahlenbelastung, außerdem ist sie kostengünstig und schnell verfügbar. Zur präzisen Drogendiagnostik/-detektion ist die Sonografie jedoch nicht ausreichend, da die Drogenpäckchen nur als echogene Struktur mit einem Schallschatten dargestellt werden können, schlecht von Kotballen oder Luft zu differenzieren sind, und die Ergebnisfindung grundsätzlich von der Erfahrung des Untersuchers abhängt [69, 70, 72]. Mit ihr kann man Drogenpäckchen aufspüren, aber sie ergibt letztendlich zu ungenaue Aussagen über die Anzahl der Päckchen [73]. Die Sonografie kann allenfalls vereinzelt als Screeningmethode an Flughäfen dienen aber auch zum schnellen Ausschluss von freier Flüssigkeit oder eines Darmverschlusses des Bodypackers in der Klinik [70, 71].

1.3.2. Diagnostik durch Magnetresonanztomographie (MRT)

Die MRT ist ein Verfahren zur Erzeugung von Schnittbildern zur Beurteilung von Organen ohne Verwendung von Röntgenstrahlung. Sie basiert auf starken Magnetfeldern sowie magnetischen Wechselfeldern im Radiofrequenzbereich, mit denen Atomkerne (meist Wasserstoffkerne/Protonen) im Körper resonant angeregt, ihre Signale erfasst und zu Bildern mit Helligkeitskontrasten rekonstruiert werden. Es ist das Verfahren mit dem höchsten Weichteilkontrast und ist eine gute Methode zur Beurteilung des Zentralen Nervensystems, des Knochenmarks, des Bewegungsapparates, für den Einsatz in der Tumor- und Entzündungsdiagnostik und der Bauchorgane. [69].

Wackerle et al. untersuchten in ihrer Veröffentlichung 1986 die MRT als Detektionsmöglichkeit beim Bodypacking und fanden heraus, dass eine Unterscheidung der Drogenpäckchen vom Darminhalt in der MRT möglich sei, jedoch keine Unterscheidung der Drogensorten Haschisch, Kokain und Heroin. Hergan et al. sind in ihrer Veröffentlichung 2004 ebenfalls der Meinung, dass das MRT nur eine sehr begrenzte Möglichkeit zur Drogendetektion bei Bodypackern

bietet [5, 22]. M. Bulakci et al. berichteten 2012, dass sie in ihren MRT-basierten Untersuchungen Drogenpäckchen mit solidem Drogenpulver von Kokainliquid unterscheiden konnten. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung sind sie der Meinung, dass man die MRT als schnelle Diagnostikmethode zum Aufspüren von Drogenpäckchen beim Bodypacker weiterhin beachten sollte [51]. Im Hinblick auf das Aufspüren der neuen Drogenform Kokainliquid könnte die MRT interessant sein. Insgesamt gibt es zu wenig Studien, welche die diagnostische Genauigkeit der MRT bei Bodypackern geprüft haben [51]. Aufgrund dessen ist die MRT aktuell nicht die Diagnostikmethode der Wahl zum Aufspüren von Drogenpäckchen bei Bodypackern.

1.3.3. Diagnostik durch konventionelles Röntgen

Das konventionelle Röntgen ist ein bildgebendes Verfahren zur Darstellung von unterschiedlichem Gewebe und Organen des menschlichen Körpers mithilfe von Röntgenstrahlen, die den Körper durchdringen und zu einer Belichtung des dahinterliegenden Röntgenfilmes führen. Die Röntgenstrahlen werden abhängig von der Dichte, Dicke und Ordnungszahl des durchstrahlten Gewebes geschwächt, sodass man ein Bild als Abbildung des Körperinneren erhält. Das Verfahren gehört zu der Basisdiagnostik bei Erkrankungen der Atemwege, des Herz-Kreislauf-Systems und des Abdomens. Mit dem konventionellen Röntgen gelingt im Abdomen der Nachweis von freier Luft, Konkrementen, pathologischer Darmgasverteilung (Darmverschluss) und röntgendichter Fremdkörper. Oft aber werden weiterführende Untersuchungen notwendig (z.B. CT, MRT) [69].

In Bezug auf das Bodypacking gilt die konventionelle Röntgen-Abdomen Aufnahme als Standard, um versteckte Drogenpäckchen gastrointestinal bei asymptomatischen Bodypackern aufzuspüren [74]. Die Fremdkörper können sichtbar gemacht und lokalisiert werden, und das Röntgenbild kann direkt Aufschluss über die Anzahl der geschluckten Päckchen geben. Das konventionelle Röntgen ist universell verfügbar, preiswert, schnell und leicht durchführbar. Die Strahlenbelastung für den Patienten ist im Vergleich zu einer Standard-CT gering. Nach der aktualisierten Veröffentlichung des Bundesamt für Strahlenschutz (22. Juni 2016) beträgt die Strahlendosis einer Röntgenaufnahme des Abdomens bei einem Erwachsenen ein Dosis-Flächenprodukt von 230 Centigray/cm² [75]. Die effektive Strahlendosis einer abdominalen Röntgenaufnahme beträgt zwischen 0,3-0,7 Millisievert (mSv) [76]. Bei Betrachtung der im Gastrointestinaltrakt intraluminalen Päckchen auf den Röntgenbildern werden in der Literatur verschiedene radiologische Zeichen

unterschieden und bei der Interpretation von Drogenpäckchen zur Hilfe genommen. Mehrere länglich und gleichmäßig geformte Pakete werden als „tic tac sign“ [74] beschrieben. Das „rossette-sign“ [73, 74, 77] ist charakteristisch für erkennbare Luft am Ende eines Kondoms, und das „double condom sign“ [72, 74] zeigt mehrere luftgefüllte Ringe zwischen den verschiedenen Latexschichten. Das „parallelism-sign“ [74] wird sichtbar, wenn sich die relativ starren Drogenpakete parallel zueinander im Darmlumen ausrichten. Insbesondere spielen die Dichte des Verpackungsmaterials und der Droge beim Röntgenerscheinungsbild eine wichtige Rolle. Laut Wackerle et al. 1986 zeigte sich im Röntgenbild Haschisch dichter als Wasser. Kokain war weniger dicht als Wasser und Heroin wies die geringste Dichte auf [22]. Die Detektionswahrscheinlichkeit eines Drogenpäckchens im konventionellen Röntgen wurde in der Vergangenheit von einigen Autoren als hoch eingestuft [5, 22, 78, 79]. Bei der Sensitivität der Detektion gibt es in der Literatur jedoch unterschiedliche Angaben. Traub et. al. schreiben von einer variierenden Sensitivität von 80% bis 95% [4], Marc et al. und Beck et al. erwähnen 60% bis 90% [44, 80]. In Veröffentlichungen von 2012/13 fanden sich Angaben zur Sensitivität zwischen 45% bis 58% [8, 54, 81]. Im Vergleich zu der Sonografie und der MRT gilt das konventionelle Röntgen zwar als eine präzisere Untersuchungsmethode [71], es gilt heutzutage aber nicht mehr als das am meisten spezifische und höchst sensitive bildgebende Verfahren. Ein großer Nachteil ist, dass die Identifizierung der Fremdkörper durch Radiologen im konventionellen Röntgen stark von der Form, der Größe, der Anzahl und der Position der Drogenpäckchen im Körper des Verdächtigen abhängt. Stuhl-, Gas- und Fettüberlagerungen im Darm erschweren zusätzlich die Sichtbarkeit des Fremdkörpers. Es ist schwierig, den physiologischen Darminhalt von den Drogenpaketen zu unterscheiden [80, 82]. Für eine genaue Detektion der Drogenpäckchen ist deshalb die Bildgebung durch konventionelles Röntgen nicht ausreichend [83].

1.3.4. Diagnostik durch CT

Die CT ist ein röntgendiagnostisches, computergestütztes bildgebendes Verfahren. Die durch die Körperschicht durchdringenden, unterschiedlich abgeschwächten Röntgenstrahlen werden von Detektoren als Signal empfangen und bereiten diese für den Rekonstruktionsrechner auf. In der Bildrekonstruktion werden die CT-Rohdaten in CT-Werte, sogenannten Hounsfield Einheiten (HE) umgerechnet und in Graustufen in überlagerungsfreien Schichtbildern als Querschnittsbilder dargestellt

[84]. Die HE errechnet sich aus dem linearen Schwächungskoeffizient μ und ist ein Maß für die Dichte. Diese ist ein relativer Schwächungskoeffizient. Bezugsgröße ist Wasser (0 HE), $HE = \frac{1000 \times \mu(\text{Objekt}) - \mu(\text{Wasser})}{\mu(\text{Wasser})}$. Wählt man als zweiten Fixpunkt Luft (-1000 HE), lassen sich die relativen Schwächungskoeffizienten der Gewebe auf einer Dichteskala der Hounsfield Skala anordnen: z.B. Lunge = -500 HE, Fett = -100-0 HE, Wasser = 0 HE, Leber (nativ) = 40-60 HE, frische Blutung = 70-90 HE, Kompakta (Knochen) = >1000 HE [69]. Um dem Betrachter die gesamte Bildinformation zugänglich zu machen, wird im Bild durch verschiedene Fensterungen (z.B. Lungen-, Knochen- oder Weichteilfenster) jeweils ein Teil der Hounsfield Skala eingeblendet, das die zu beurteilenden Bildinhalte darstellt. Die CT kann im Vergleich zur normalen Röntgendiagnostik innere Organe überlagerungsfrei darstellen und damit besser beurteilen. Sie ist die radiologische Diagnostik der Wahl bei Schlaganfall und Schädel-Hirn-Trauma, bei der Darstellung von Lunge und Mediastinum und bei knöchernen Strukturen. Weichteile sind in der Regel in der MRT besser als in der CT zu beurteilen. Mit der heutigen Multidetektor- oder Spiral-CT lassen sich Ganzkörperuntersuchungen mit dreidimensionalen Rekonstruktionen wie auch die CT-Angiografie (Gefäßdarstellung) schnell und in hoher Qualität durchführen [69].

In Bezug auf das Bodypacking werden in der Literatur bei der Detektion der Bodypacks sehr hohe CT Sensitivitäten, teilweise bis zu 100%, beschrieben [2, 4, 5, 8, 82, 85]. Yang et al. untersuchten in ihrer Studie im Zeitraum von fast drei Jahren 158 verdächtige Bodypacker sowohl in der CT als auch im konventionellen Röntgen. In der CT wurden alle 124 Bodypacker mit Heroin detektiert. Im konventionellen Röntgen wurden dagegen in zwei 2 Fällen Drogenpakete nicht erkannt. Zusätzlich erkannten sie in den CT Scans wertvolle Bildeigenschaften zum Nachweis von Heroinpäckchen. Typisch war eine einheitliche Form der Päckchen, deren unterschiedliche Dichte, intraluminale runde Fremdkörperverschattungen entlang des Darmtraktes, das sogenannte „onion-sign“ (Zwiebelzeichen, mehrschichtige kreisrunde Bereiche) sowie das „air-ring sign“ (Luftringzeichen, 1-2 mm breite Ringe mit einer Dichte wie Luft). Yang et al. bezeichneten die CT als die Bildgebung der Wahl im Falle eines verdächtigen Bodypackers [82]. Die Verwendung von oralem Kontrastmittel zum Aufspüren von Bodypacks kann in bestimmten Fällen von Nutzen sein, wird aber in der Literatur umstritten diskutiert. In einer Studie von Shahnazi et al. wurden native und kontrastmittelgesteuerte CT-Aufnahmen in Bezug auf das

Aufspüren von Drogenpäckchen bei Bodypackern miteinander verglichen und die native CT eindeutig als die bessere Diagnostikmethode - besonders bei Bodypushern und -stuffern - bezeichnet [86].

In der Literatur wird für die Identifizierung der Drogenpakete innerhalb des Körpers dazu geraten, die CT-Fenstereinstellung bei der Bildbetrachtung zu verändern, da vor allem die kleinen, teilweise isodensen (gleiche Dichte wie das Nachbargewebe) oder sogar hypodensen (verminderte Dichte im Vergleich zum Nachbargewebe) Drogenpacks der Bodystuffer in den Darmschleifen ähnlich aussehen können wie Kot oder wie unverdaute Nahrung im Magen. Daher ist es wichtig, Bilder bei der Befundung nicht nur unter Verwendung einer Standardfensterung (Abdomenfenster), sondern auch mit einem alternativen, frei eingestellten geeigneten Fenster oder direkt im Lungenfenster zu betrachten [87-89]. Verglichen mit dem konventionellen Röntgen hat eine CT des Abdomens eine wesentlich höhere Strahlendosis. Laut dem Bundesamt für Strahlenschutz (22. Juni 2016) erzeugt eine Aufnahme des Abdomens mit Becken in der CT einen gewichteten CT Dosisindex (CTDI) vol¹⁰ von 15 Milligray (mGy) und ein Dosis-Längen-Produkt (DLP¹⁰) von 700 mGy x cm und damit eine effektive Dosis von 11,9 mSv. [75]. Durch den immer häufigeren Einsatz von dosisreduzierenden Techniken in der Bilddatengewinnung und -aufbereitung - insbesondere mit der dosisreduzierten sogenannten IdCT (Low-Dose CT, Niedrigdosis-CT) - wird die Strahlendosis in der CT reduziert. Sie liefern trotzdem eine hervorragende Bildqualität und gefährden dabei die Gesundheit des Patienten nur in geringerem Maße. Im Jahre 2010 untersuchten Maurer et al. die Dosisintensivität von IdCT-Aufnahmen im Vergleich mit der im konventionellen Röntgenverfahren anhand von Kokainpäckchen in einem Schweinemodell. Die effektive, niedrigste Dosis der verwendeten IdCT lag bei 1,0 mSv. Das entsprach ungefähr einer Dosis von zwei konventionellen Röntgenaufnahmen (ca.1,2 mSv). In der Studie bezeichnen Mauer et al. eine IdCT als das beste diagnostische bildgebende Verfahren für Bodypacker [65]. Aus unserer Arbeitsgruppe verglichen Ziegeler et al. die Abgrenzbarkeit von Drogenpäckchen innerhalb eines Schweinemodells in der CT, verglichen mit dem konventionellen Röntgen in Bezug auf ihre Dosis. Alle CT-Bilder zeigten eine bessere Abgrenzbarkeit der Drogenpäckchen als die Bilder im konventionellen Röntgen bei geringer Strahlendosierung [23, 24]. In einer weiteren Studie aus unserer Arbeitsgruppe untersuchten Scherr et al. die Detektion von Drogenpäckchen durch die IdCT-Bilder innerhalb eines Schweinemodells. Sie bestätigten die Aussage, dass die IdCT sehr

gute Ergebnisse erzielt mit einer Strahlendosis vergleichbar dem konventionellen Röntgen [68]. Zusammenfassend wird die Qualität der Diagnostik durch die CT erhöht [24, 90, 91]. Ein symptomatischer Bodypacker aber sollte durch eine Standard-Dosis-CT wie üblich bei abdominellen Auffälligkeiten untersucht werden um keine Begleitpathologien zu übersehen. Von Vorteil wäre bei asymptomatischen Patienten eine zukünftige Untersuchung mit einer IdCT, bei der sich die Strahlendosis des konventionellen Röntgen annähert. Insgesamt ist die CT aktuell die sensitivste Diagnostikmethode um inkorporierte Drogenpäckchen aufzuspüren [5, 8, 22].

1.4. Unterscheidung von Kokain und Heroin durch CT anhand ihrer Dichte

In der Literatur gab es bisher einige Ansätze, eine Differenzierung der Drogen anhand ihrer CT-Dichtewerte durchzuführen. Wackerle et al. veröffentlichten als erste 1986 eine Studie in der sie angeben, Kokain von Heroin in der CT anhand von Dichtewerten (Hounsfield Einheiten, HE) unterscheiden zu können [22]. Bei diesem Ansatz wurden die Abhängigkeit der Dichtewerte von einer unterschiedlichen Konzentration der Droge, die Zusammensetzung der Drogensorte mit möglichen Streckmitteln und die Herstellungsmethode nicht berücksichtigt und scheinen damit fraglich [5, 39, 64]. Besonders die Kompression als physikalische Eigenschaft des untersuchten Materials hat einen hohen Einfluss auf die CT-Dichte [92]. Insgesamt variieren die Angaben in der Literatur zu den bisher gemessenen Dichtewerten in der CT erheblich [22, 39, 65, 67, 82, 93]. In unsere Arbeitsgruppe haben Grimm et al. die Unterscheidbarkeit von Heroin und Kokain in der Dual-Energy CT anhand einer standardisierten Kompression bei 33,38 bar untersucht. Sie fanden heraus, dass eine eindeutige Unterscheidung von Heroin und Kokain anhand der Dichte in HE nicht eindeutig möglich war aufgrund des Einflusses der Konzentration und der Kompression [62].

1.5. Fragestellung und Zielsetzung

Aufgrund der unterschiedlichen Behandlungsoptionen wäre im Falle einer Vergiftung eines Bodypackers eine Identifizierung der am häufigsten geschmuggelten Drogensorten Heroin und Kokain in der CT im klinischen Alltag wichtig. In der Literatur wird die Möglichkeit der Differenzierung von Heroin und Kokain in der CT kontrovers diskutiert. Ziel dieser Arbeit war es, in einer experimentellen Studie zu

untersuchen, inwiefern sich die CT-Dichte sowie die Konzentration von Kokain und Heroin in Abhängigkeit von Kompression verändern und welchen Einfluss typische Streckmittel dabei ausüben.

2. MATERIAL UND METHODEN

Alle in den Untersuchungen verwendeten Drogenpräparate erhielten wir aus den sichergestellten Beständen des Landeskriminalamtes Bayerns. Mit Ausnahme von Referenzproben entstammte jede Drogenprobe ursprünglich realen Bodypacks verschiedener Bodypacker. Alle Proben wurden vorab von Mitarbeitern des Landeskriminalamtes auf ihre Konzentration und weitere Inhaltsstoffe überprüft. Die Drogen wurden unter Aufsicht von Kriminalbeamten präpariert und untersucht. Es gab unterschiedliche Hauptbestandteile der Drogensorten: Kokainhydrochlorid (Kokain-HCL), Kokain- und Heroinbase. Die Kokainproben hatten Konzentrationen von 21% bis 85% und die Heroinproben von 20% bis 38%. Der Rest zu 100% bestand bei den meisten Drogen aus unterschiedlichen Streckmitteln. Im Folgenden bezeichnet der Buchstabe die Droge und die daran angehängte Zahl deren Konzentration in Prozent. Bei zwei Kokain-Drogenproben (K78, K85) konnten neben dem Kokainhydrochlorid weder chemisch noch technisch keine analysierbaren Streckmittel nachgewiesen werden, sodass eine genaue restliche Drogenzusammensetzung unklar blieb (Tabelle 1 und 2). Als Streckmittel wurden in den Testreihen Mannit, Koffein und Paracetamol untersucht. Als Referenzwerte wurden hochprozentiges Heroin mit 99,44% Konzentration und Kokainbase mit 89,17% Konzentration (entspricht 99,87% Kokainhydrochlorid Konzentration) im lockereren Zustand gescannt. Die zwei hochkonzentrierten Proben waren Referenzproben des Landeskriminalamtes, welche ursprünglich nicht aus Bodypackern entstammten. Sie wurden zu Beginn der Studie einmalig in der CT als Vergleich mitgescannt, konnten uns für weitere Untersuchungen im Kompressionsversuch aber nicht zur Verfügung gestellt werden. In dieser Arbeit wurden die Drogensorten in unterschiedlichen Kompressionsformen untersucht:

1. Unter nicht standardisierter Kompression (locker pulverig, manuell gepresst, maschinell als Stein) innerhalb von Kunststoffbehältern
2. Unter standardisierter Kompression innerhalb von Hochdruck-Spritzen
3. In ihrer Ursprungsform als reale, ursprünglich gepresste Bodypacks

Einige der in dieser Arbeit verwendeten Drogenproben wurden innerhalb der Arbeitsgruppe auch für andere Untersuchungen genutzt und in den Veröffentlichungen von Ziegeler et al [23, 24], Scherr et al [68] und Grimm et al [62] sowie in der Dissertation (laufendes Promotionsverfahren) von Wudy [94] verwendet.

2.1. Untersuchung der Drogenproben ohne standardisierte Kompression

2.1.1. Herstellung der Drogenproben

Zur Vereinfachung wurden für die Drogenproben Abkürzungen verwendet. K bezeichnet Kokain und H Heroin mit der in der jeweiligen Probe vorliegenden Konzentration bzw. Reinheit der Droge in Prozent. K36 bedeutet z.B., dass es sich um eine Kokainprobe mit 36% Reinheit handelt. Der Rest zu 100% sind Streckmittel, welche sich teils unterscheiden und daher in Tabelle 1 und 2 ausführlicher angegeben sind. Bei Probe K78 konnte kein Streckmittel nachgewiesen werden, sodass eine genaue Zusammensetzung der Drogenprobe unklar blieb. Es wurden 3 Kokain- (K78, K36, K21) und 2 Heroinproben (H38, H20) untersucht (Tabelle 1). Die Drogenproben wurden in identische eiförmige Kunststoffbehälter von 4 cm Länge und 3 cm Durchmesser (Kinder Überraschungseier®, Ferrero, Italien, Abbildung 1 a-b) möglichst locker, bzw. mit manueller Kompression gefüllt und mit Klebeband verschlossen. Die Proben wurden dabei im lockeren Zustand (als „weitestgehend pulverförmig, locker (l)“ in Tabelle 1 und Abbildung 2 a bezeichnet) sowie nach kräftiger manueller Kompression (als „manuell dicht komprimiert, dicht (d)“ in Tabelle 1 und Abbildung 2 a bezeichnet) verpackt. Die genaue Stärke der Kompression war dabei unbekannt und nicht standardisiert. Zusätzlich wurde die Heroinprobe H38 im ursprünglich mechanisch komprimierten Zustand (als „mechanisch sehr dicht komprimiert, Stein (s)“ in Tabelle 1 und 2 a bezeichnet) mit unbekanntem Grad der Kompression untersucht. Die von uns gewählte Art der Verpackung in Größe und Form der Behälter entsprach in etwa den von Bodypackern transportierten Päckchen (Abbildung 1 a-b).

(a)



(b)



Abbildung 1: (a) und (b): Herstellung der Drogenproben im Landeskriminalamt Bayern, Befüllung der Kunststoffbehälter mit Heroin mit einer Konzentration von 38% (H38) [23].

Tabelle 1: Charakteristika und Zusammensetzung der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression.

Probenname	Hauptbestandteil	Zustand	Kompression	Streckmittel
K78 ⁴	Kokainhydrochlorid 78%	trocken	Locker ¹ / Dicht ²	Keine nachweisbar
K36 ⁴	Kokainhydrochlorid 36%	trocken	Locker ¹ / Dicht ²	Mannit, Diltiazem, Levamisol
K21 ⁴	Kokainhydrochlorid 21%	trocken	Locker ¹ / Dicht ²	Mannit, Phenacetin, Procain
H38 ⁴	Heroin (freie Base) 38%	trocken	Locker ¹ / Dicht ² / Stein ³	Koffein, Paracetamol
H20 ⁴	Heroin (freie Base) 20%	trocken	Locker ¹ / Dicht ²	Koffein, Paracetamol

¹ *Weitestgehend pulverförmig, locker (l)*

² *Manuell dicht komprimiert, dicht (d)*

³ *Mechanisch sehr dicht komprimiert, Stein (s)*

⁴ *Drogensorte auch innerhalb der Hochdruck-Spritzen im späteren systematischen Kompressionsversuch verwendet*

2.1.2. Ablauf der Untersuchung

Die präparierten Drogenpäckchen wurden in eine röntgentransparente Isolierschaumplatte mit vorgefertigten Aussparungen eingesetzt (Matrix) und in der CT gescannt. In dem Scan wurde im Rahmen anderer Untersuchungen neben Kokain- und Heroinproben auch eine Probe eines Haschischblocks mitgescannt, was für die hier vorgestellte Arbeit bedeutungslos ist (Abbildung 2 a-b).

(a)

K78d ²	K78l ¹	K36d ²	K36l ¹
K21d ²	K21l ¹	H38s ³	H38d ²
H38l ¹	H20d ²	H20l ¹	Haschisch

¹ *Weitestgehend pulverförmig, locker (l)*

² *Manuell dicht komprimiert, dicht (d)*

³ *Mechanisch sehr dicht komprimiert, Stein (s)*

(b)

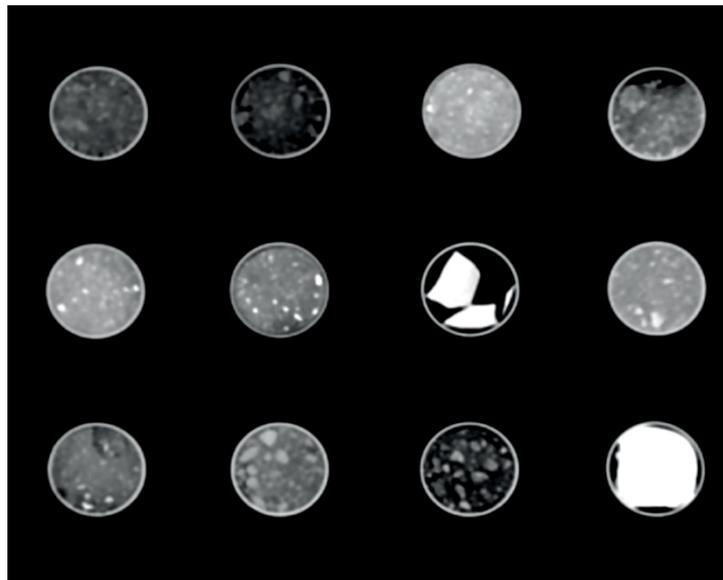


Abbildung 2: Anordnung der Drogenproben mit Heroin (H) und Kokain (K) in unterschiedlicher Konzentration im lockeren, dichten und mechanisch komprimierten Zustand sowie einer Haschischprobe innerhalb der Kunststoffbehälter in einer Isolierschaumplatte als Matrix; (a) in schematischer Darstellung (b) als Schichtbild eines CT Scans.

2.2. Untersuchung der Drogenproben unter standardisierter Kompression

2.2.1. Herstellung der Drogenproben

In diesem Versuch wurden neben den fünf bereits verwendeten Drogenproben (K78, K36, K21, H38, H20) zur weiteren experimentellen Untersuchung zusätzlich vier Kokainproben unter standardisierter Kompression in Hochdruck-Spritzen untersucht. Insgesamt wurden 8 Kokain- und 2 Heroinproben getestet. Wie bei der Drogenprobe K78 konnte bei der Drogenprobe K85 neben Kokainhydrochlorid keine Streckmittel nachgewiesen werden (Tabelle 2). Die Drogensorten K77 und K69 waren als Body-Packs direkt nach der Ausscheidung des Bodypackers im feuchten Zustand - mit (f) für feucht markiert - und in der CT gescannt worden. Für den Kompressionsversuch in den Hochdruck-Spritzen waren die Drogenproben K77 und K69 - wie alle anderen Drogenproben nach der Analyse - in einem trockenen pulverisierten Zustand vorliegend (Tabelle 2).

Tabelle 2: Charakteristika und Zusammensetzung der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression

Probenname	Hauptbestandteil	Zustand	Kompression	Streckmittel
K78 ¹	Kokainhydrochlorid 78%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Keine nachweisbar
K36 ¹	Kokainhydrochlorid 36%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Mannit, Diltiazem, Levamisol
K21 ¹	Kokainhydrochlorid 21%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Mannit, Phenacetin, Procain
K37 ²	Kokainhydrochlorid 37%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Lidocain, Levamisol, Phenacetin, Procain, Weinstein
K77 (f) ²	Kokainhydrochlorid 77%	Direkt nach Ausschei- dung des BP ⁴ feucht, später trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Levamisol
K77 ⁵	Kokainhydrochlorid 77%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Levamisol
K85 ²	Kokain-Base 85%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Keine nachweisbar
K69 (f) ²	Kokainhydrochlorid 69%	Direkt nach Ausschei- dung des BP ⁴ feucht, später trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Lidocain, Levamisol, Mehl, Natrium- hydrogencarbonat
H38 ¹	Heroin (freie Base) 38%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Koffein, Paracetamol
H20 ¹	Heroin (freie Base) 20%	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Koffein, Paracetamol
Mannit	Zuckeralkohol	trocken	Locker, 10 Druckstufen, „Post“ ³	Keine
Paracetamol	Acetylamino-phenol	trocken	Locker, „Post“ ³	Keine
Koffein	1,3,7 Trimethylxanthin	trocken	Locker „Post“ ³	Keine

¹ Droge auch innerhalb der Kunststoffbehälter verwendet

² Droge auch als reale Drogenpäckchen gescannt

³ Mechanisch komprimiert ohne Druck, Zustand wie bei einem Drogenpäckchen

⁴ Bodypacker

(f) Die Proben K77 und K69 waren als Bodypacks nach Ausscheidung des Bodypackers im feuchten Zustand, und mit einem (f) für feucht markiert. Für den Kompressionsversuch in den Hochdruck-Spritzen waren die Drogenproben trocken.

Die Drogenproben wurden im pulverisierten Zustand in standardisierte Polycarbonat-Hochdruck-Spritzen (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah) gefüllt (Abbildung 4, 5 a-b, 6). Die einzelnen Spritzen wurden vorab modifiziert, indem die ursprüngliche Handballenaufgabe entfernt und stattdessen mit einer Gewindebohrung im Stempelschaft versehen wurde. In den Stempelschaft wurde ein kurzer Nylon-Gewindestab geschraubt, um später mit 2 Nylonkontermuttern eine kraftschlüssige Verbindung zur Druckmesszelle zu ermöglichen (Abbildung 3, 4, 6). Damit das Drogenpulver während der Füllung nicht austreten konnte, wurde die Vorderseite der Spritze vorübergehend mit einem Spritzenverschluss (Combi Stopper Verschlusskone blau, Braun, Melsungen AG) verschlossen (Abbildung 5 a-b, 6). Die Höhe des Füllungsstandes war zum Zeitpunkt der Befüllung bei jeder Spritze gleich. Der Spritzenstempel wurde vorsichtig in den hinteren Teil der Spritze eingeführt, ohne Druck auf das Drogenmaterial auszuüben. Die Spritzen hatten einen Durchmesser (D) von 1,55 cm. Die kreisförmige innere Querschnittsfläche (A) wurde mit der Formel $A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$ berechnet und ergab 1,90 Quadratcentimeter (cm²). An die Vorderseite der Spritze wurde für die Versuche der Spritzenverschluss entfernt und zur Entlüftung/Überdruckabbau durch ein Bakterienfiltersystem (Bakterienfilter, PALL Corporation, Porengröße 2 µm) ersetzt, welches bei Infusionen im medizinischen Alltag zur bakteriendichten Belüftung verwendet wird, um auf diese Weise einen Drogenaustritt während des Versuches möglichst zu verhindern. Mit dem Bakterienfilter war die Konstruktion für Partikel von einer Größe über 2 µm undurchlässig (Abbildung 7).

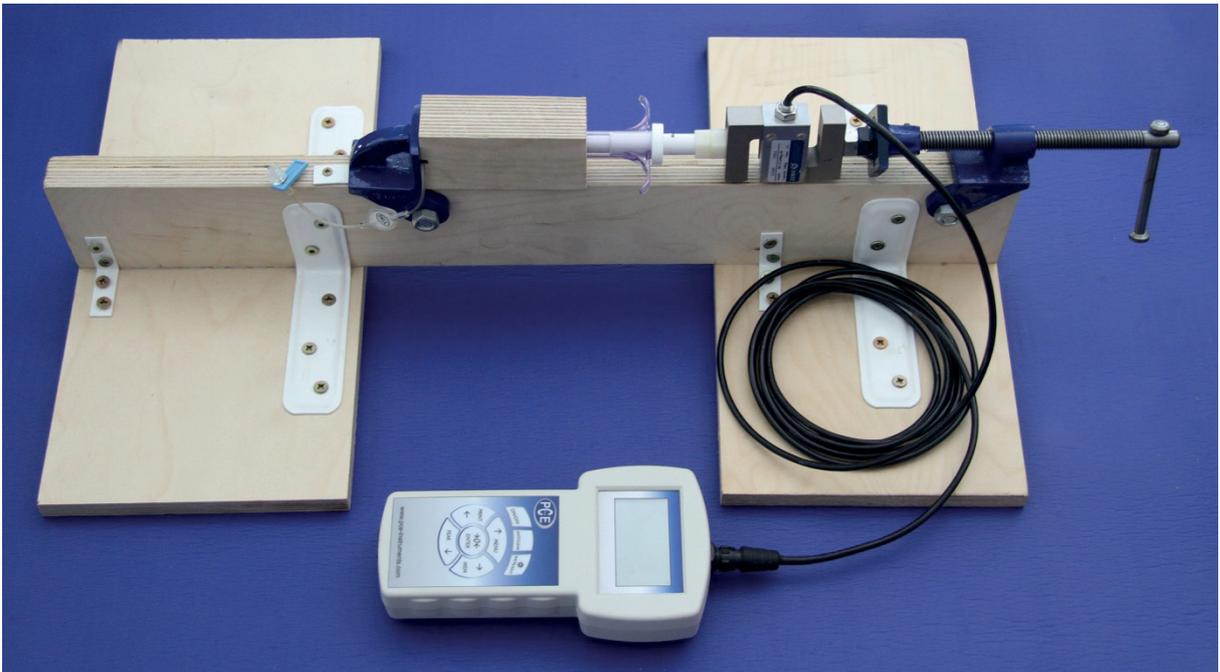


Abbildung 3: Birkensperrholz-Haltekonstruktion mit Metallspindel, eingespannter modifizierter Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) im röntgentransparenten Sperrholzblock sowie zwischengeschalteter Kraftmesszelle des elektronischen Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) für die standardisierten Druckmessungen.



Abbildung 4: Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA)



Abbildung 5: Füllung der Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) mit der Drogenprobe (a) Kokain mit 78% Konzentration (K78) und (b) Heroin mit 38% Konzentration (H38), an der Vorderseite der Spritze jeweils Verschluss mit einem Combi Stopper Verschlusskone in blauer Farbe (B. Braun Melsungen AG, Deutschland).



Abbildung 6: Gefüllte Polycarbonat-Hochdruck-Spritze mit Mannit (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) mit Spritzenverschluss (Combi Stopper Verschlusskone blau, B. Braun Melsungen AG, Deutschland).



Abbildung 7: Bakterienfiltersystem (Bakterienfilter, PALL Corporation, Porengröße 2 μm) zur Entlüftung/Überdruckabbau an der Vorderseite der Hochdruck-Spritze befestigt zur Verhinderung eines Drogenaustritts. Mit dem Bakterienfilter war die Konstruktion für Partikel der Drogenproben von einer Größe über 2 μm gegenüber der Raumluft nicht durchlässig.

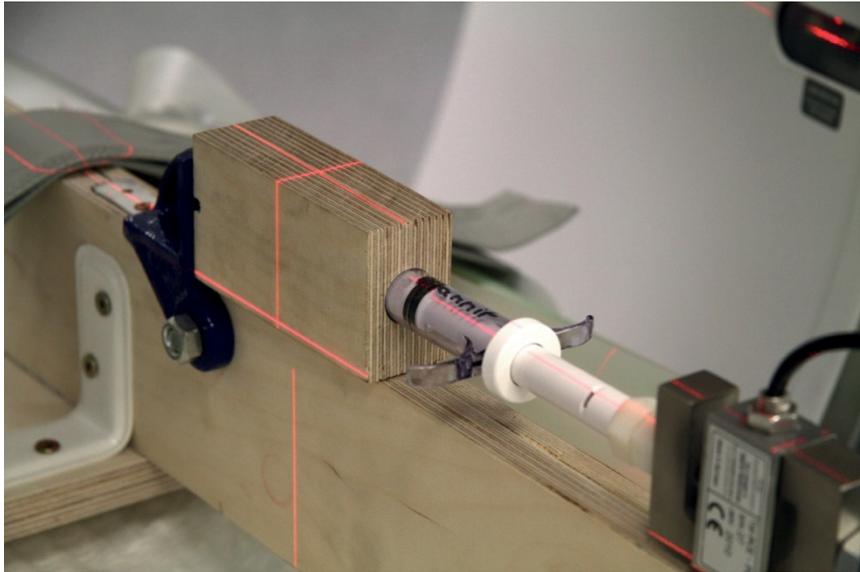


Abbildung 8: Elektronischer Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) zur Messung der eingesetzten Kompressionsdrücke mit einem Messbereich bis 1000 Newton.

2.2.2. Ablauf der Untersuchung

Um Störungsfaktoren wie Bildartefakte im CT auszuschließen, wurde für die Druckmessungen eine selbstentwickelte Halte-Konstruktion verwendet (Abbildung 3), mit der standardisierte Drücke auf die befestigte Spritze ausgeübt werden können. Die hochfeste Holzkonstruktion bestand aus schichtverleimtem Birkenperrholz und zusätzlichen Metallwinkeln außerhalb des CT-Scanbereiches. Die Spritzenaufnahme bzw. das Widerlager am Spritzenschaft war ebenfalls ein hochfester strahlentransparenter Holzblock aus Birkenperrholz mit passgenauer Zentralfräsung und Öffnung zur Schlauchausleitung des Partikel-/Bakterienfilters. Die Druckausübung erfolgte durch eine leichtgängige und damit gut dosierbare, händisch betriebene Stahlspindel. Die präparierten und befüllten Spritzen wurden nacheinander in die Haltekonstruktion eingeführt bzw. eingeschraubt und jeweils einzeln gescannt. Die durch die Spindel erzeugte Druckkraft wurde mit Hilfe eines elektronischen Präzisionskraftmessers (PCE-FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) (Abbildung 8, 9 a, 10) gemessen. Das entsprechend in der Typenbezeichnung verwendete 1k beschreibt den maximalen messbaren Druck von 1000 N (Newton). Dadurch war die technische Limitation der gesamten Messeinheit bei 1000 N. In Abbildung 9 b ist exemplarisch mit der Drogenprobe Mannit eine sagittale CT-Rekonstruktion der Bilddaten dargestellt und zeigt den Endzustand nach Kompression mit 1000 N mit tief eingedrungenem Spritzenstempel, hochkomprimierter Probe und die kraftschlüssige Positionierung des Spritzenschafts im Birkenholzblock bzw. den darunter verlaufenden Holzlängsträger ohne jegliche Artefakte im relevanten Bildbereich.

(a)



(b)

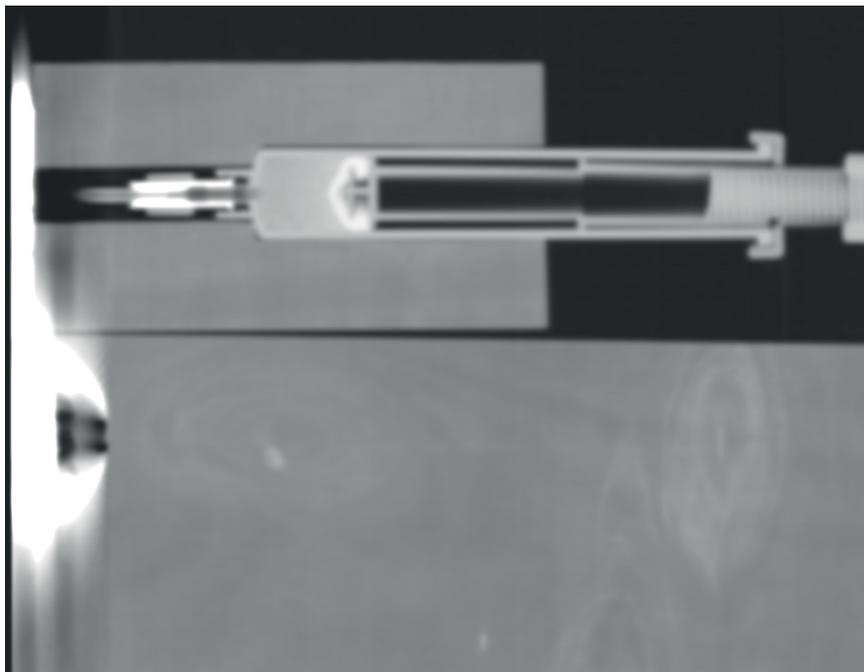


Abbildung 9: Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) gefüllt mit der Drogenprobe Mannit, eingespannt in der selbstgebauten Haltekonstruktion innerhalb des CT. (a) Noch ohne Druckausübung. In Scanebene liegt die röntgentransparente Spritze mit Drogenprobe im ebenfalls jeweils röntgentransparenten Birkenholzblockwiderlager (Laserkreuz) und Birkenholzlängsträger. (b) Sagittale CT-Rekonstruktion der Bilddaten nach Kompression mit 1000 Newton mit tief eingedrungenem Spritzenstempel, hochkomprimierter Probe und kraftschlüssiger Positionierung des Spritzenchaftes im Birkenholzblock. Auch der darunter verlaufende Holzlängsträger ist ohne jegliche Artefakte im relevanten Bildbereich dargestellt. Lediglich am linken Bildrand erzeugt das Metallspindellager Artefakte, die jedoch weit außerhalb des Messbereichs liegen.

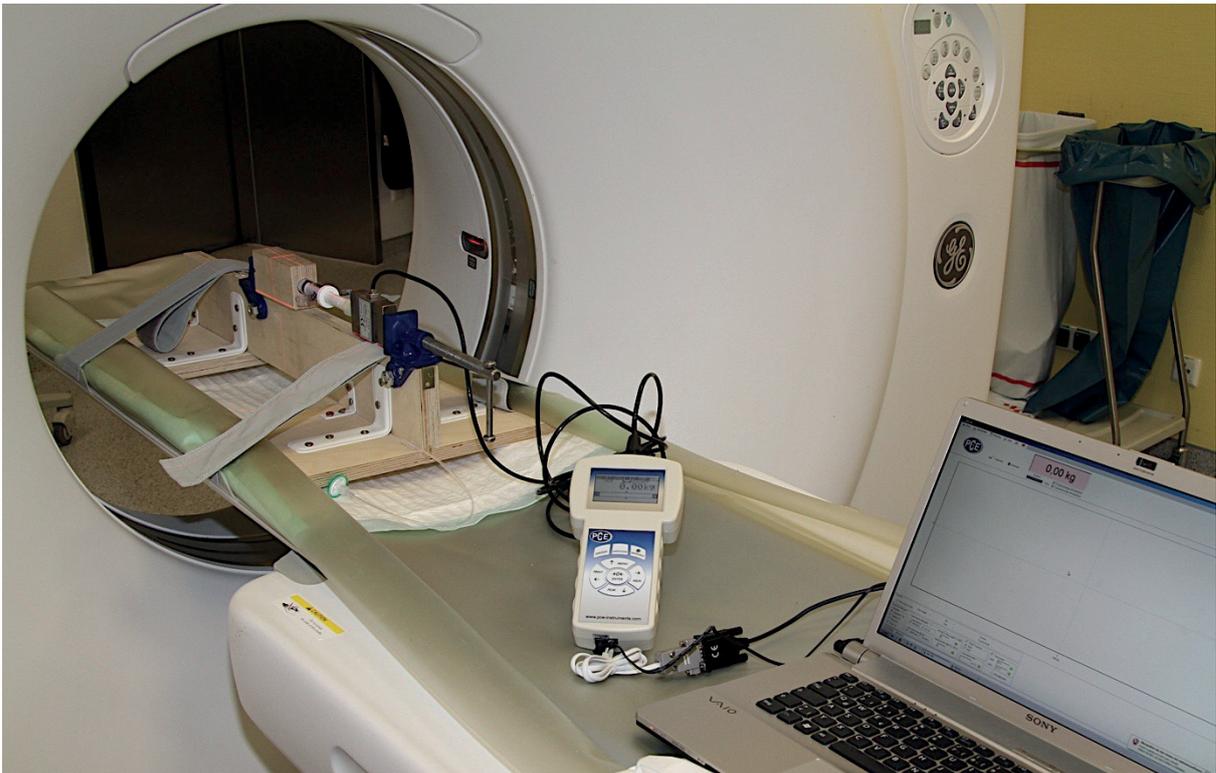


Abbildung 10: Haltekonstruktion mit eingespannter Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) an elektronischem Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) und Computer während der Untersuchung im CT.

Der Inhalt der Spritzen wurde konsekutiv in Schritten von je 100 N mit einer Kraft von 0 bis 1000 N komprimiert. Insgesamt gab es 11 verschiedene Druckeinstellungen (Tabelle 3). Nach jeder Druckeinstellung wurde über die gesamte Spritzenlänge gescannt. Die entstandenen Drücke (kPa), die auf die Probe einwirkten, wurden jeweils nach der mathematischen Formel $\text{Druck} = \text{Kraft}/\text{Fläche}$ berechnet.

Als Beispiel zur Berechnung bei 1000 N und einer Fläche von 1,9cm²:

$$\text{Druck 1 [kPa]} = \frac{\text{Kraft 0,1 [N]}}{\text{Fläche [cm}^2\text{]}}$$

$$\frac{10 \times 1000 \text{ N}}{1,9\text{cm}^2} = 5260 \text{ kPa} = 52,6 \text{ bar}$$

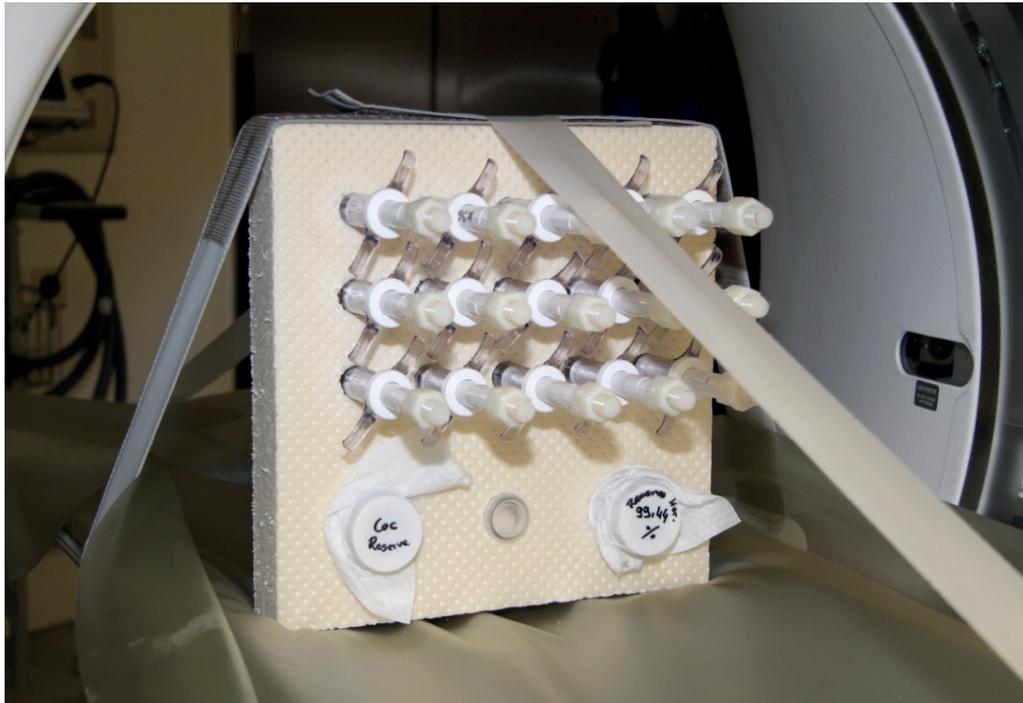
Der erzielte Druck von 52,6 bar lag damit bereits deutlich jenseits der üblicherweise per Hand in der Spritze erzielbaren Drücke bzw. deren Auslegung bis 20 bar im Rahmen von Balloninsufflationen bei Gefäßdilataionen (Gefäß Erweiterungen). Am Ende wurden die komprimierten Spritzen in eine Isolierschaumplatte mit vorgefertigten Aussparungen (Matrix) eingesetzt und ohne Druckausübung erneut in

der CT gescannt (Kompressionsstufe „Post“). In den Kompressionsstufen 0 und „Post“ wurde kein Druck auf die Drogenproben ausgeübt. Als Referenzwerte wurden hochprozentiges Kokain (89,17%) und reines Heroin (99,44%) sowie Luft und Wasser einmalig in der Isolierschaumplatte in Glasgefäßen mitgescannt (Abbildung 11 a-c). Es traten keine technischen Unzulänglichkeiten, Materialbruch oder ein Phasenübergang der Drogenproben nach flüssig oder gasförmig auf.

Tabelle 3: Auflistung der angewendeten Drücke der einzelnen Kompressionsstufen auf die Hochdruckspritze, bzw. der davon ableitbare direkte flächenbezogene Druck auf die verwendeten Drogenproben (Newton, kPa, bar). In Kompressionsstufe „Post“ wurden die mit Drogenproben gefüllten Hochdruckspritzen im bereits komprimierten Zustand (nach Kompressionsstufe 0-10) ohne Druckausübung in der CT gescannt.

Kompressionsstufe	Newton	kPa	bar
0	0	0	0
1	100	526	5,26
2	200	1050	10,5
3	300	1580	15,8
4	400	2110	21,1
5	500	2630	26,3
6	600	3160	31,6
7	700	3680	36,8
8	800	4210	42,1
9	900	4740	47,40
10	1000	5260	52,60
„Post“	0	0	0

(a)



(b)

K78	K36	K21	H38	H20
Paracetamol	Koffein	K37	K77f	K77
K85	K69f	Luft ¹	Mannit	Wasser ¹
Kokain-Referenz ¹		K37 real ²	Heroin-Referenz ¹	

¹ zur Referenz wurden Kokain (89,17%) und Heroin (99,44%) sowie Luft und Wasser mitgescannt

² Reales Drogenpäckchen K37 in Ursprungsform

(c)

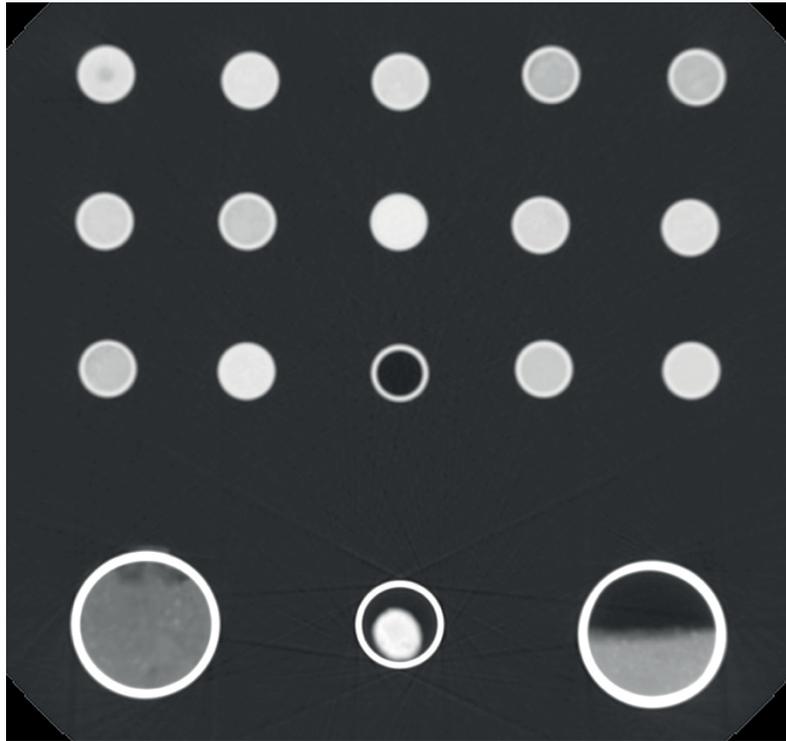


Abbildung 11: Darstellung der mit Heroin- (H) und Kokainproben (K), sowie Mannit als Streckmittel, Luft und Wasser gefüllten Hochdruck-Spritzen, sowie das Body-Pack K37 und den reinen Drogenproben Kokain und Heroin in der Isolierschaumplatte in der Matrix nach Kompression ohne Druckausübung (Matrix „Post“). (a) Foto innerhalb der CT (b) Schematische Darstellung und Anordnung der Drogenproben mit Konzentrationsangaben (c) Schichtbild des durchgeführten CT Scans.

2.3. Reale Drogenpäckchen

Fünf Drogenpäckchen K77f, K77, K85, K69f und K37 wurden in ihrer Ursprungsform als reale Bodypäckchen in der CT gescannt. Die vier Drogenproben K77f, K77, K85 und K69f stammten ursprünglich von einem jungen männlichen Bodypacker, der im Winter 2011 selbstständig aufgrund von Herzrasen und starken Bauchschmerzen in die Notaufnahme der Medizinischen Klinik in München kam. Anamnestisch gab der Patient an, zuvor 73 Päckchen mit illegalen Drogen verschluckt zu haben. Initial wurde zur Abklärung ein konventionelles Röntgen durchgeführt und ein konservatives Vorgehen angestrebt, sodass der Patient einen Teil der Drogenpäckchen unter ärztlicher Kontrolle rektal ausschied. Im Verlauf verschlechterte sich der Allgemeinzustand des Bodypackers, sodass eine Verlegung auf die Intensivstation erfolgte und zur Detektion der restlichen Drogenpäckchen eine abdominelle CT (Abbildung 12) als weitere Diagnostikmethode notwendig wurde. In der CT wurden 44 weitgehend stuhlisodense Drogenpäckchen innerhalb des Kolonrahmens und des Analkanals nachgewiesen. Innerhalb des Magens sowie des Dünndarms zeigten sich keine Drogenpäckchen. Auffallend waren deutliche Dichteunterschiede der einzelnen Päckchen. Differentialdiagnostisch interpretierte man dieses am wahrscheinlichsten durch unterschiedliche Verpackungsmaterialien und Drogenarten oder durch einen Verdünnungseffekt bei undichten Drogenpäckchen. Nach Ausschluss der Indikation zur operativen Intervention schied der Bodypacker die restlichen Drogenpäckchen rektal aus (Abbildung 13, 14). Die äußere Hülle aller Drogenpäckchen bestand aus Alufolie und Paraffin. Die Drogenpäckchen wurden sortiert und in ihrem Originalzustand in der CT gescannt (Abbildung 15, 16). Im Landeskriminalamt wurden die Päckchen geöffnet und nach ihren Bestandteilen untersucht. Die Anzahl der verschiedenartigen Drogenpäckchen variierte und die Analyse ergab vier verschiedene Drogensorten, die wie folgt beschrieben wurden (Tabelle 2):

- K77f = 53 Stück, cremefarbene, feuchte Substanz, Kokain HCL + Levamisol
- K77 = 10 Stück, cremefarbene, trockene Substanz, Kokain HCL + Levamisol
- K85 = 9 Stück, beige, trockene Substanz, Kokainbase
- K69f = 1 Stück, cremefarbene, feuchte Substanz, Kokain HCL + Lidocain + Levamisol + wenig Mehl + Natriumhydrochlorid

Die Probe K77f war mit K77 sowie K69f mit K69 identisch, sie unterschieden sich nur in ihrem feuchten, bzw. trockenen Zustand. Die Proben K77f und K69f waren als Originalpäckchen nach der Ausscheidung des Bodypackers im feuchten Zustand. Uns wurden zur weiteren Untersuchung die Drogenproben K77f und K69f nach der Analyse im getrockneten und pulverisierten Zustand erneut zur Verfügung gestellt. Die Probe K77 war bereits nach der Ausscheidung des Bodypackers als reales Drogenpäckchen im trockenen Zustand.

Das Drogenpäckchen K37 stammte aus laufenden Untersuchungen des Landeskriminalamtes. Es stammte ursprünglich ebenfalls von einem festgesetzten Bodypacker und wurde zu dem Zeitpunkt unserer Untersuchung durch die Kollegen des Landeskriminalamtes auf ihre Bestandteile analysiert.

Unter Aufsicht wurde uns jeweils ein Päckchen jeder Drogensorte vom Landeskriminalamt für den Kompressionsversuch zur Verfügung gestellt. Die Charakteristika der Drogensorten K77(f), K77, K85, K69 und K37 sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Für die Verwendung der nicht primär zum systematischen Erkenntnisgewinn erhobenen Patientendaten und des Bildmaterials bzw. der Aufarbeitung der Kasuistik unter Wahrung der Anonymität bestätigte die Ethikkommission am 30.10.2012 auf Anfrage vom 25.10.2012, dass eine Beratungsnotwendigkeit und damit ein förmliches Ethikvotum nicht notwendig sind.

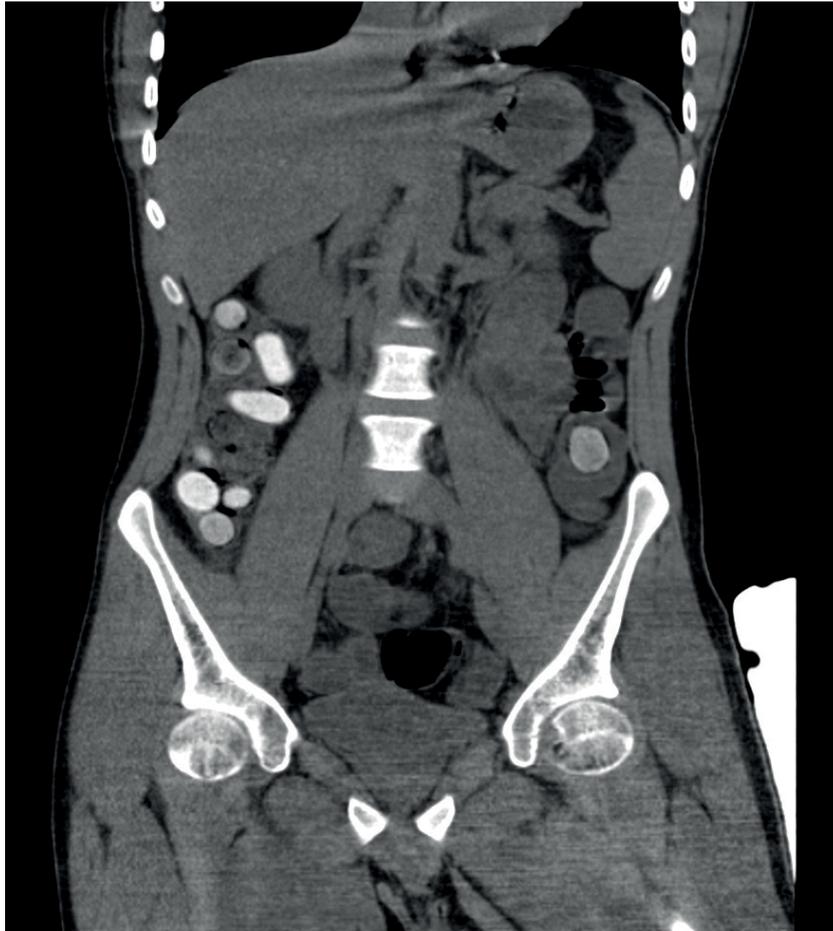


Abbildung 12: Koronare Rekonstruktion des CT-Scans der Drogenpäckchen innerhalb des Bodypackers; es fanden sich insgesamt 44 Drogenpäckchen mit Kokain mit unterschiedlicher Dichte innerhalb des Kolonrahmens.

(a)

(b)



Abbildung 13: Reale Drogenpäckchen nach Ausscheidung des Bodypackers vor der Säuberung in einer dafür vorgesehenen Plastiktüte. Alle Drogenpäckchen beinhalten die Drogensorte Kokainhydrochlorid mit einer Konzentration von 77% mit Levamisol im feuchten Zustand (K77f) (a) Plastiktüte von außen, sichtbar sind Drogenpäckchen Nr.1.1 und Nr. 1.2 (Abbildung 14) (b) Plastiktüte von innen mit Stuhlresten.

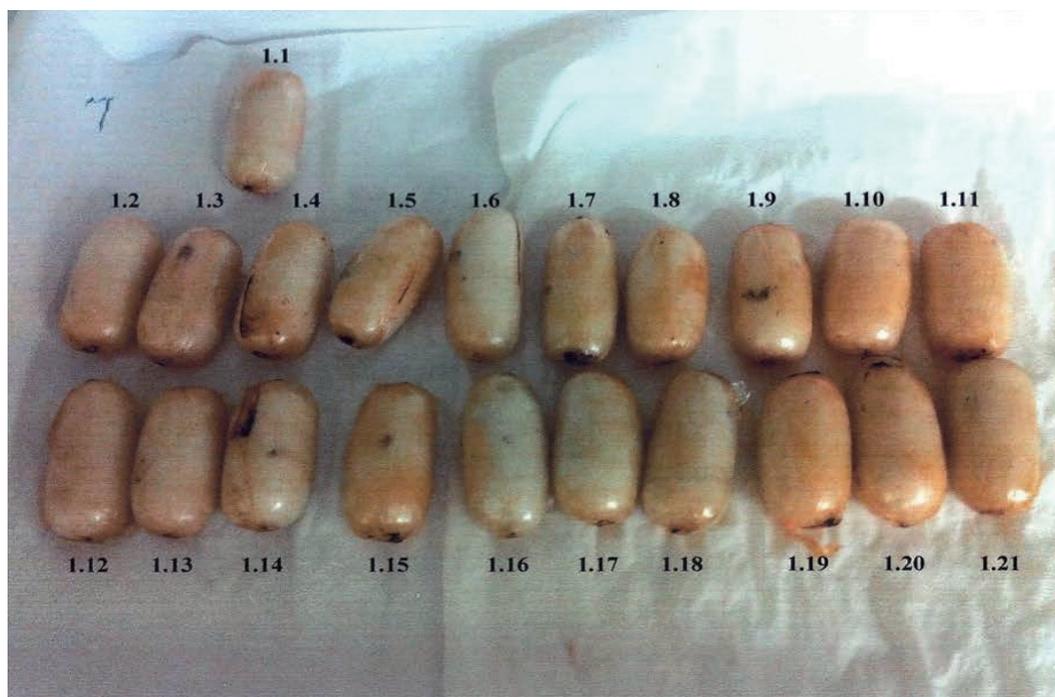
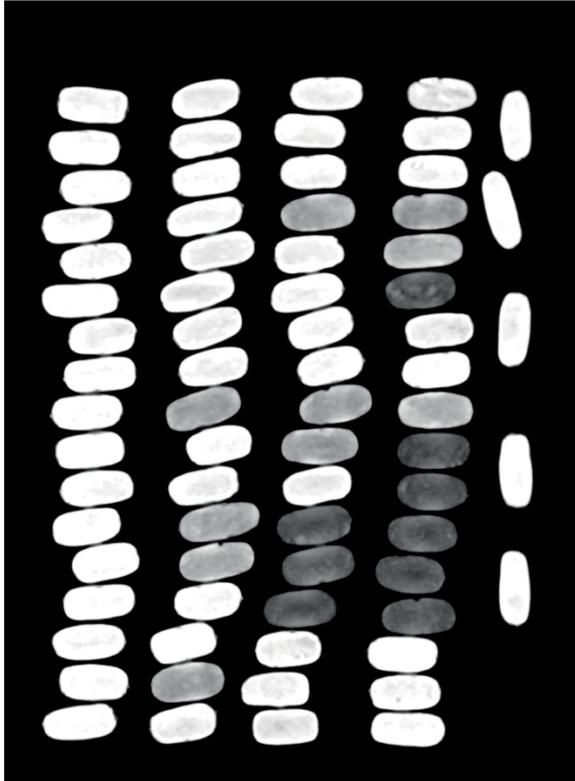


Abbildung 14: Aufreihung der realen Drogenpäckchen (Nr.1.1 - 1.21) des Bodypackers nach Ausscheidung und Säuberung. Sie beinhalten alle die Drogensorte Kokainhydrochlorid mit einer Konzentration von 77% mit Levamisol im feuchten Zustand (K77f).

(a)



(b)

K77f	K77f	K77f	K69	
K77f	K77f	K77f	K77f	K77f
K77f	K77f	K77f	K77f	
K77f	K77f	K77	K77	K77f
K77f	K77f	K77f	K77	
K77f	K77f	K77f	K85	
K77f	K77f	K77f	K77f	K77f
K77f	K77f	K77f	K77f	
K77f	K77	K77	K77	
K77f	K77f	K77	K85	
K77f	K77f	K77f	K85	K77f
K77f	K77	K85	K85	
K77f	K77	K85	K85	K77f
K77f	K77f	K85	K85	
K77f	K77f	K77f	K77f	
K77f	K77	K77f	K77f	
K77f	K77f	K77f	K77f	

Abbildung 15: Aufreihung aller 73 realen Kokainpäckchen in unterschiedlicher Konzentration nach Ausscheidung des Bodypackers und Säuberung; (a) im koronar rekonstruierten CT Scan mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (b) schematische Erläuterung der korrespondierenden Kokaingebinde mit unterschiedlicher farblicher Kennzeichnung, gelb: Kokain mit 77% im feuchten Zustand (K77f), grün: Kokain 77% im trockenen Zustand (K77), blau: Kokain mit 85% im trockenen Zustand (K85) und rot: Kokain mit 69% im trockenen Zustand (K69).

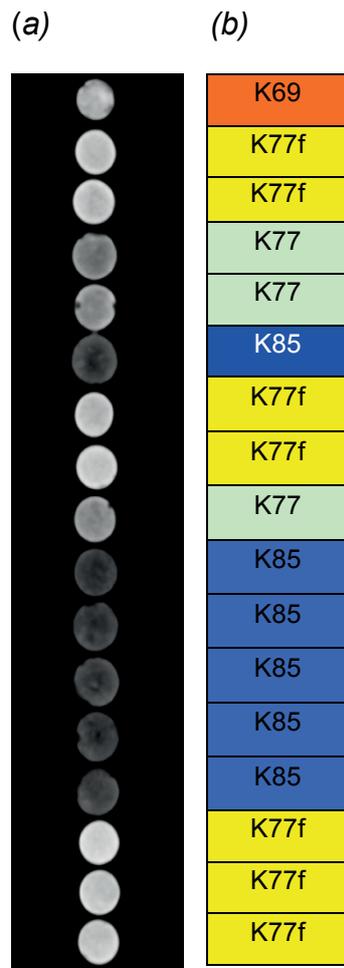


Abbildung 16: Aufreihung von 17 realen Kokainpäckchen in unterschiedlicher Konzentration nach Ausscheidung des Bodypackers und Säuberung (Spalte 4 in Abbildung 15) im Querschnitt; (a) Axiale Rekonstruktion des CT Scans und damit Querschnitt durch die realen Drogenpäckchen des Bodypackers mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (b) Schematische Erläuterung der korrespondierenden Kokaingebinde mit unterschiedlicher farblicher Kennzeichnung, gelb: Kokain mit 77% im feuchten Zustand (K77f), grün: Kokain 77% im trockenen Zustand (K77), blau: Kokain mit 85% im trockenen Zustand (K85) und rot: Kokain mit 69% im trockenen Zustand (K69).

2.4. Untersuchung der Streckmittel

Bei einem Bodypacker sind die illegalen Drogen in der Regel mit Streckmitteln versetzt. Zwar kann man davon ausgehen, dass die Konzentrationen der geschmuggelten Drogenware bei einem Bodypacker aufgrund des Marktwertes höher ist als beim Konsumenten, trotzdem haben die Streckmittel Einfluss auf das Kompressionsverhalten der Drogensorte beim Bodypacker und können die Dichtewerte verändern. Um diesen Einfluss zu untersuchen wurden neben den

Drogenproben auch drei typische Streckmittel Mannit, Koffein und Paracetamol im trockenen Zustand in unterschiedlichen Kompressionen untersucht.

2.5. Scanparameter

Alle CT-Scans wurden unter Verwendung eines 64-Zeilen-MDCT-Scanner (CT750HD Discovery, GE Healthcare, Waukesha, Milwaukee) in der Standard CT mit folgenden Scanparametern durchgeführt: Röhrenspannung 120kV, Röhrenstrom 600 mA, Rotationszeit 1s, Gesamtkollimation (Einblendung) 40 mm, Schichtdicke 0,625mm, Pitch (Verhältnis von Tischvorschub zu Strahlkollimierung) 0,984:1. Die Bildrohdaten wurden in einem Standard Weichteilkernel mit einer Schichtdicke von 2,5mm multiplanar in 3 Raumebenen rekonstruiert.

2.6. Bildauswertung

Die Bildauswertung wurde an einer Standard-PACS (Picture Archiving and Communication System) Arbeitsstation (Syngo Studio V36, Siemens Healthcare, Erlangen) unter konstanten und für die Befundung erlaubten Bedingungen durchgeführt. Sie erfolgte anhand von axialen und sagittalen CT-Rekonstruktionen im händisch angepassten Lungenfenster. Die Fensterbreite und Fenstermitte wurden so eingestellt, dass eine optimale Abgrenzbarkeit des Drogenmaterials zur Dichtemessung verfügbar war. Für die Dichtemessung der Drogenproben wurde jeweils eine möglichst große kreisförmige „Region of Interest“ (ROI) von max. 1,5 cm Durchmesser in das Lumen der Spritzen und von max. 2,9 cm Durchmesser in das Lumen der Kunststoffbehälter platziert. Jede Schicht wurde gemessen unter sorgfältiger Aussparung der Kunststoffbehälter-, Spritzen- bzw. der originalen Päckchenwand sowie von Luft, sodass die ROI-Größe variierte. Zusätzlich wurde bei der Dichtemessung mithilfe der ROI innerhalb der realen Drogenpäckchen ohne Lufteinschluss gemessen. Die axialen Schichten entlang der Längsachsen wurden mit einer Schichtdicke von 2,5 mm nacheinander gemessen und die Dichtewerte (HE-Werte), ihre Standardabweichung und ihre genaue ROI-Größe notiert. Es wurden die gemessenen Dichtewerte, die dazugehörigen Mittelwerte sowie Standardabweichung berechnet und miteinander verglichen.

(a)

(b)

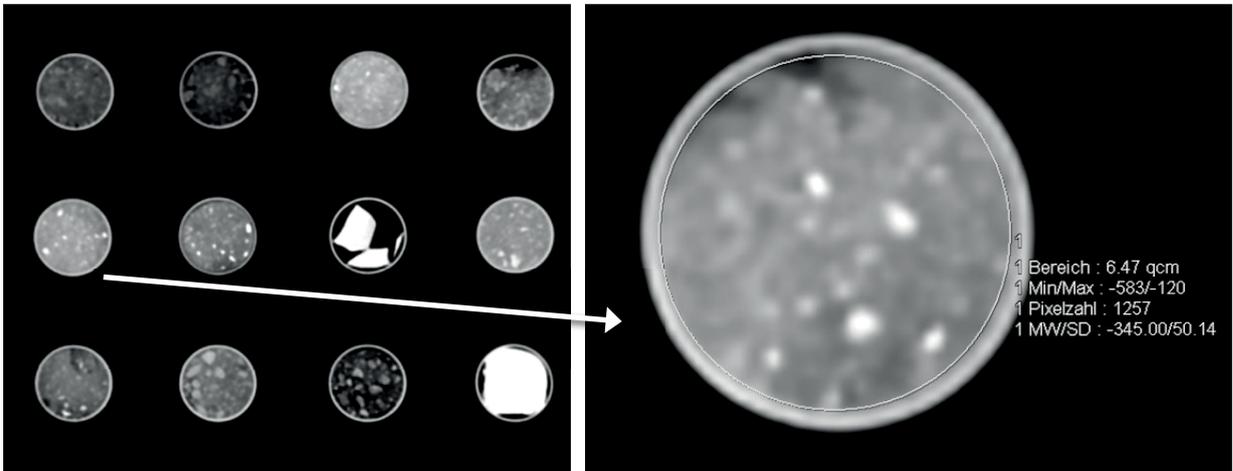


Abbildung 17: (a) Schichtbild eines CT Scans mit Anordnung der mit Heroin-, Kokain- und Haschisch gefüllten Kunststoffbehälter in einer Isolierschaumplatte als Matrix (identisch mit Abbildung 2 (b)) (b) Vergrößerte Darstellung des CT Scans (a) mit der Drogenprobe Kokain HCL 21% im lockeren Zustand (K21I) im Kunststoffbehälter bei der Dichtewertmessung mithilfe einer ROI, hier exemplarisch angezeigter Mittelwert von -345 HE in einer Fläche von 6,47 cm².

(a)

(b)

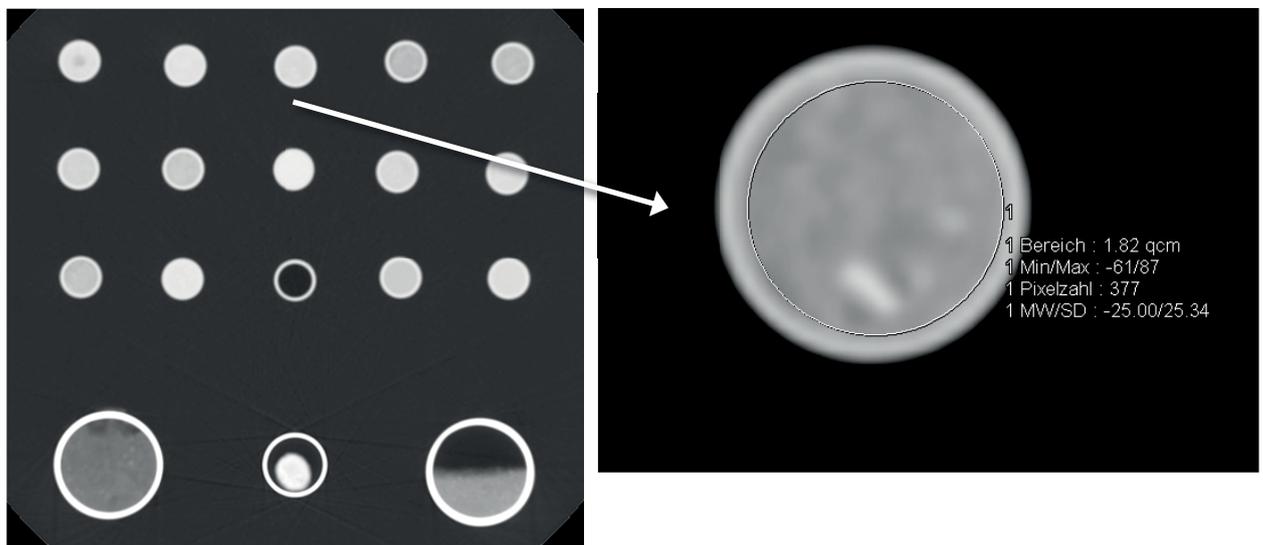


Abbildung 18: (a) Schichtbild eines CT- Scans der mit Heroin- und Kokainproben sowie Mannit als Streckmittel, Luft und Wasser gefüllten Hochdruck-Spritzen sowie das Bodypack K37 und den reinen Drogenproben Kokain und Heroin in der Isolierschaumplatte in der Matrix nach Kompression ohne Druckausübung (Matrix „Post“) (identisch mit Abbildung 11 (c)) (b) Vergrößerte Darstellung des CT Scans (a) mit der Drogenprobe Kokain HCL 21% (K21) innerhalb der Hochdruck-Spritze bei der Dichtewertmessung mithilfe einer ROI und dem Messergebnis -25 HE in einer Fläche von 1,82 cm².

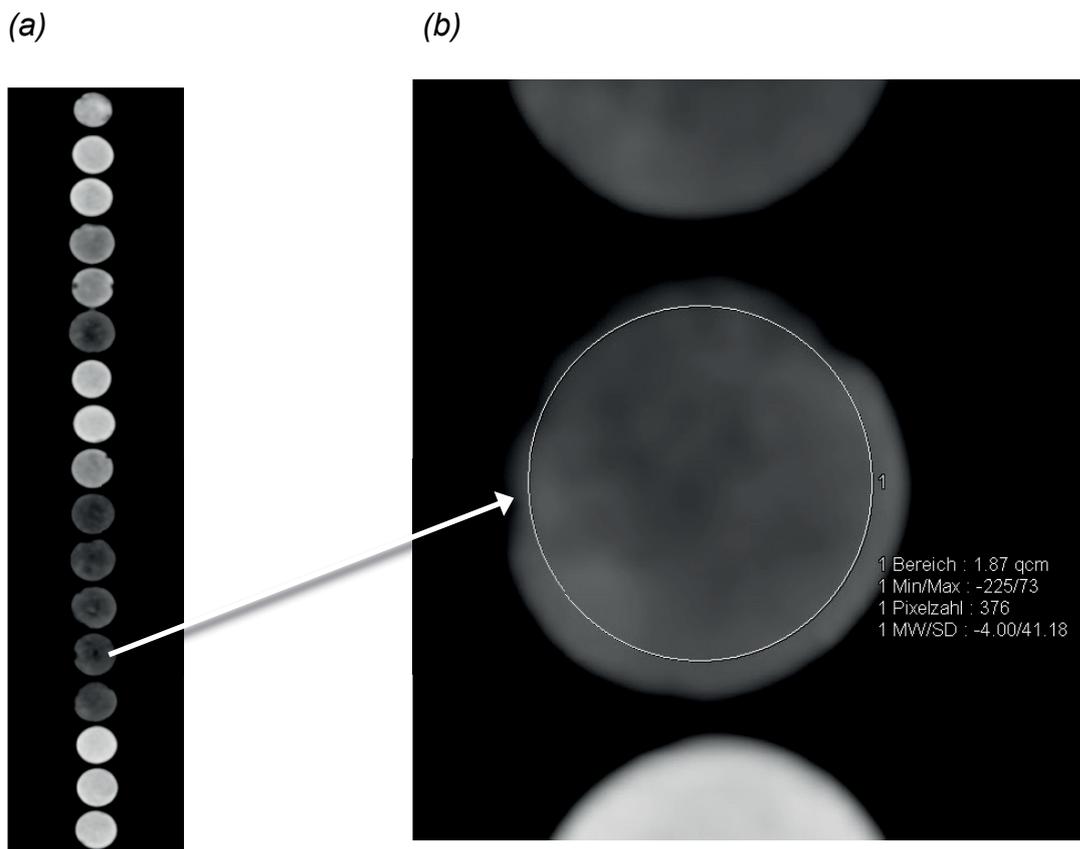


Abbildung 19: (a) Axiale Rekonstruktion des CT Scans von 17 originalen Kokainpäckchen und damit Querschnitt durch die realen Drogenpäckchen des Bodypackers mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (identisch mit Abbildung 16 (a)) (b) Vergrößerte Darstellung CT Scan (a); herausgegriffen die Drogenprobe Kokainbase 85% (K85) der realen Drogenpäckchen bei der Dichtewertmessung mithilfe einer ROI und dem Messergebnis -4 HE in einer Fläche von 1,87 cm².

2.6.1. Dichtemessungen der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression

Um das Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Kunststoffbehälter unter nicht standardisierter Kompression zu untersuchen, wurden Dichtemessungen der axialen Schichten über die Länge hinweg von vorne bis zum hinteren Teil der Kunststoffbehälter mithilfe von ROIs durchgeführt. Die erste Schicht wurde am vorderen Teil, die letzte Schicht am hinteren Teil der eiförmigen Behälter gemessen. Es folgte die Berechnung der Mittelwerte mit Minimum und Maximum der gemessenen Dichtewerte.

2.6.2. Dichtemessungen der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression

Um das Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Spritze unter standardisierten Kompressionen zu untersuchen, wurden von jeder Drogenprobe die Dichtewerte der axialen Schichten in jeder Kompressionsstufe (Tabelle 3) vom vorderen (Spritzenöffnung) bis zum hinteren Teil (Spritzenstempel) der Spritze mithilfe von ROIs gemessen. Die erste Schicht wurde am vorderen Teil, die letzte Schicht am hinteren Teil der Spritze wertmäßig erhoben.

Anhand der über die Mittelwerte der Dichtemessungen graphisch resultierenden Heroin und Kokainkurven wurden mithilfe eines Steigungsdreiecks der mittleren Hounsfield-Dichten bei Druckstufe und 0 (0 kPa) und 10 (5260 kPa) mit der Formel

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ die Steigung jeder Kokain- und Heroinprobe berechnet und miteinander verglichen.

Δy = Differenz der mittleren Hounsfield-Dichte bei Druckstufe 10 (5260 kPa) und Druckstufe 0 (0 kPa)

Δx = Differenz der Druckstufe 10 (5260 kPa) und Druckstufe 0 (0 kPa)

2.6.3. Abschätzung der mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodystuffers

Beim Bodystuffing werden die Drogen nicht maschinell, sondern manuell komprimiert. Der manuell erreichbare Druck ist im Vergleich zu dem maschinellen relativ klein und liegt vermutlich zwischen den ersten beiden Messpunkten der Kompressionsmessungen (Abbildung 24 a, 25 a-b). Vereinfachend wird angenommen, dass die Abhängigkeit der CT-Dichte vom Kompressionsdruck sich im Anfangsbereich linear zwischen den ersten beiden Messpunkten unserer Messreihen verhält. Die Steigung m der entsprechenden Geraden errechnet sich deshalb näherungsweise wie folgt:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

m = Steigung der Geraden

Δy = Differenz der Hounsfield-Dichte der Drogenproben innerhalb der Spritzen der Druckstufe 1 und 0

Δx = Differenz des Druckes in kPa der ersten Druckstufe (526 kPa) und dem Ausgangsdruck ohne Kompression (Stufe 0)

2.6.4. Dichtemessungen in den realen Bodypacker Drogenpäckchen

Es wurden die Dichtewerte der fünf gescannten realen Drogenpäckchen (K77f, K77, K85, K69, K37) mithilfe von ROIs der Längsachse entlang in den axialen Schichten gemessen. Bei der axialen Messung wurde von jeder Drogensorte ein Drogenpäckchen exemplarisch untersucht, die Dichtewerte pro Schicht gemessen und deren Mittelwerte gebildet.

2.6.5. Abschätzung der mutmaßlich angewendeten Druckkraft bei der Herstellung der realen Drogenpäckchen durch Steigungskurven, lineare und logarithmische Extrapolation

Da die Dichtewerte der realen Drogenpäckchen und damit die zur Herstellung eingesetzte Druckkraft mehrheitlich jenseits der im Experiment messbaren Werte lagen, waren ergänzende mathematische Abschätzungen nötig. Im Falle benötigter Werte zwischen Messpunkten wurde vereinfacht festgelegt, dass diese durch Interpolation auf einer Geraden zwischen den am nächsten benachbarten Messpunkten ermittelt wurden (siehe auch 2.6.3.). Sofern Extrapolationen benötigt wurden ergab sich das Problem eines dort unklaren Kurvenverlaufs. Aus diesem Grund wurden zwei Extrapolationsverfahren angewendet und verglichen.

Erstens erfolgte eine lineare Extrapolation anhand der letzten vier Messpunkte der jeweiligen Drogensorte. Die Gleichungsparameter für m und b der Steigungsgleichung mit der Formel $y = m \times x + b$ wurden für jede Drogensorte anhand der Methode der kleinsten Fehlerquadrate gewonnen.

Zweitens erfolgte eine logarithmische Extrapolation. Für die Logarithmusfunktion $y = m \times \ln(x) + b$ wurden die Gleichungsparameter m und b erneut über Methode der kleinsten Fehlerquadrate pro Probe gewonnen. Rückschluss auf den angewendeten Druck x für einen Dichtewert y erfolgte durch sukzessive Approximation.

2.6.6. Dichtemessungen der Streckmittel und der reinen Drogenproben

Mannit wurde im lockeren Zustand, in 10 Druckstufen sowie im komprimierten Zustand ohne Druck („Post“) mithilfe von ROIs innerhalb der Spritzen gemessen.

Koffein und Paracetamol wurden im manuell komprimierten Zustand im Kunststoffbehälter, im lockeren sowie im komprimierten Zustand („Post“) in den Hochdruck-Spritzen untersucht. Die reinen Drogenproben Heroin und Kokain wurden in ihrer locker pulverisierten Form nur in der „Post Matrix“ mitgescannt. Sowohl die Streckmittel als auch die reinen Drogenproben wurden mit Hilfe von ROIs in den axialen Schichten gemessen.

2.6.7. Dichtemessungen aller Untersuchungen im Vergleich

Die Mittelwerte der Dichtemessungen aller Untersuchungen wurden miteinander verglichen.

Es wurde eine deskriptive Interpretation der Ergebnisse durchgeführt.

3. ERGEBNISSE

3.1. Dichtewerte der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression

Die gemessenen Dichtewerte (HE) der axialen Schichten zeigten den Kompressionszustand der jeweiligen Drogenprobe innerhalb der Kunststoffbehälter über deren Länge hinweg. Die Dichtewerte wurden in Abhängigkeit ihrer Schichtnummer in zwei Abbildungen jeweils im lockeren (l), manuell (d) und als Stein (s) gepressten Kompressionszustand visualisiert (Abbildung 20, 21). In Abbildung 22 wurden alle Dichtewerte der Drogenproben erneut in den 3 Kompressionszuständen zum Vergleich dargestellt. In der Auswertung der Scans lagen alle gemessenen Dichtewerte sämtlicher Drogenproben im negativen Bereich. Insgesamt lagen die Dichtewerte für Kokainproben zwischen -679 HE (K78l) und -273 HE (K21d) und für Heroin zwischen -545 HE (H20l) und -52 HE (H38s) (Abbildung 20, 21, 22). Die im lockeren Zustand gemessenen Drogenproben K78l, K21l, K36l, H38l und H20l hatten Mittelwerte zwischen -588 HE (K78l) bis -397 HE (K21l). Insgesamt hatte die Kokainprobe K78l im lockeren Zustand mit -588 (-679 HE; -552 HE) die geringsten Dichtewerte, gefolgt von der gleichen Drogensorte im manuell komprimierten Zustand mit der Kokainprobe K78d mit -532 HE (-557 HE; -515 HE). Die als Stein komprimierte Heroinprobe H38s hatte mit dem Mittelwert -78 HE (-102 HE; -52 HE) die deutlich höchsten Dichtewerte. Es folgten die manuell komprimierten Drogenproben H38d mit -302 HE (-337 HE; -285 HE), K21d mit -304 HE (-372 HE; -273 HE), K36d ebenfalls mit -304 HE (-336 HE; -278 HE) und H20d mit -365 HE (-398 HE; -332 HE). Diese Drogenproben H38d, K21d, K36d und H20d lagen von den Dichtewerten am engsten zusammen. Aufgrund der kleinen Menge der mechanisch gepressten Heroinprobe H38s waren nur 25 Messschichten möglich, alle anderen lockeren und manuell komprimierten Drogenproben hatten eine Schichtanzahl von 33. Die Dichtewerte der Drogensorte zeigten innerhalb aller untersuchten Kunststoffbehälter - über die Länge von vorne nach hinten gemessen - konstante Werte mit nur leichter Streuung der Zahlenwerte. Im lockeren Zustand ohne Kompression gab es tendenziell eine stärkere Streuung der Zahlenwerte. Die Dichtewerte nahmen im hinteren Bereich der lockeren Proben K78l, K36l, K21l, und H38l leicht an Dichte zu. In der mechanisch gepressten Probe waren die Dichtewerte am Anfang und am Ende weniger dicht als in der Mitte des Päckchens.

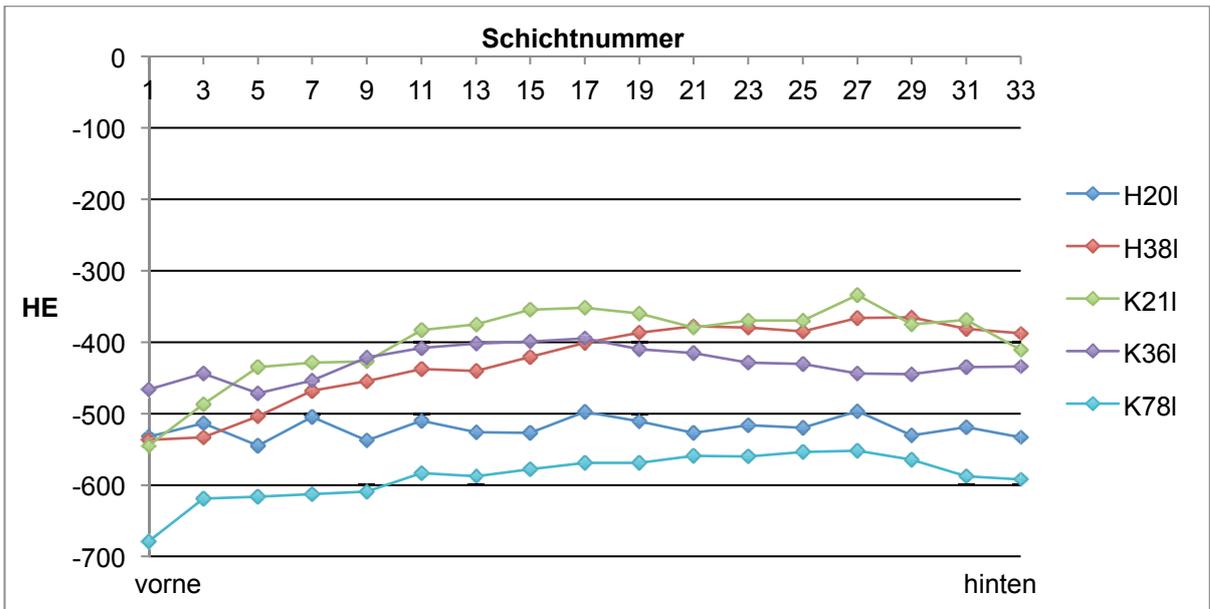


Abbildung 20: : Erfasste CT- Dichtewerte in Hounsfield Einheiten (HE) der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen in den axialen Schichten (Schichtnummer) innerhalb der Kunststoffbehälter im lockeren Zustand (l) über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg.

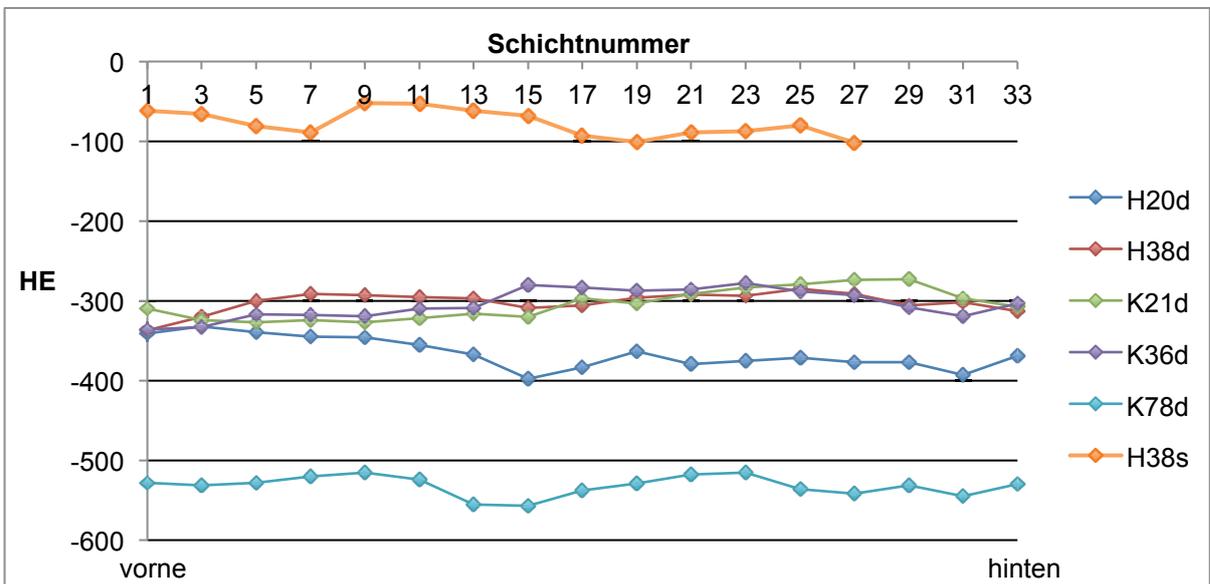


Abbildung 21: Erfasste CT- Dichtewerte in Hounsfield Einheiten (HE) der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen in den axialen Schichten (Schichtnummer) innerhalb der Kunststoffbehälter im manuell gepressten Zustand (d) und eine Heroinprobe als Stein gepresst (s) über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg.

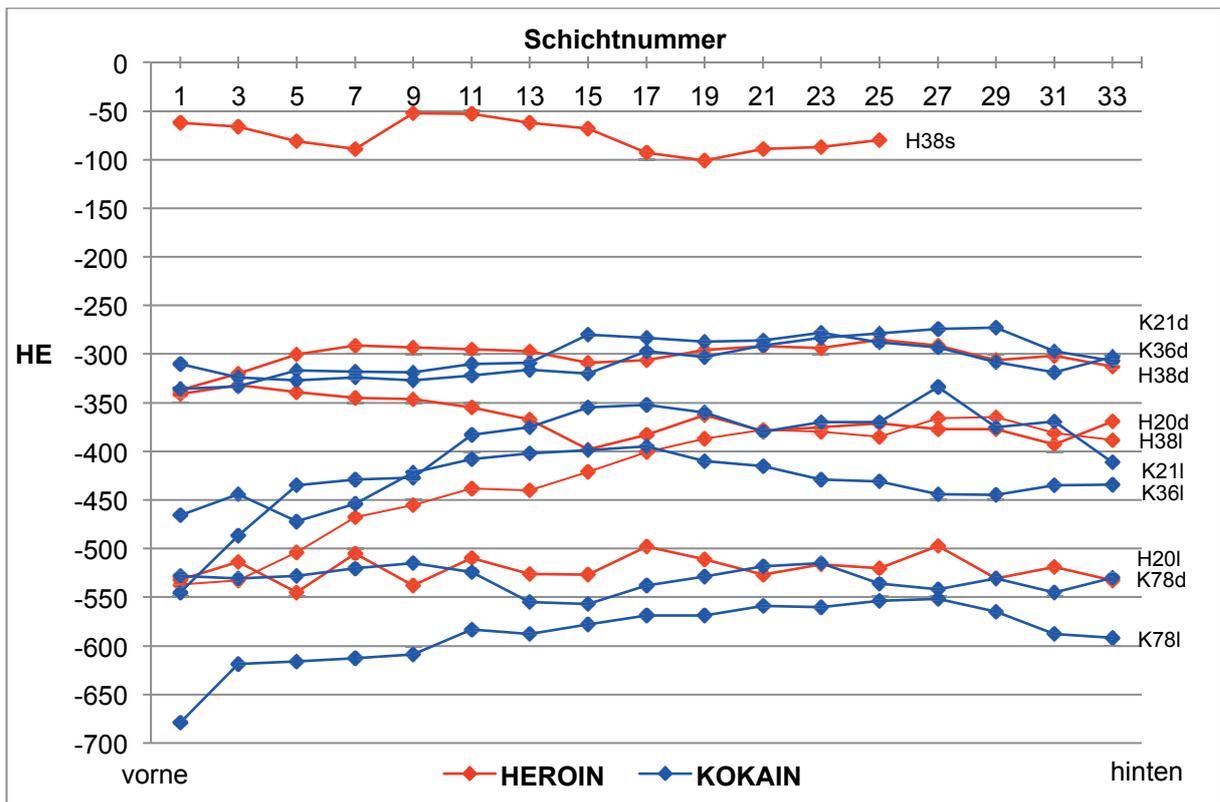


Abbildung 22: Erfasste CT-Dichtewerte in Hounsfield Einheiten der axialen Schichten der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen innerhalb der Kunststoffbehälter- über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg - im lockeren (l), im manuell gepressten Zustand (d), und eine Heroinprobe als Stein gepresst (H38s) im Vergleich - farblich nach Heroin (rot) und Kokain (blau) aufgeschlüsselt.

3.2. Dichtewerte der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression im Messaufbau

Durch die Messung der Dichtewerte der axialen Schichten der Kompressionsstufe erkennt man die Verteilung der Dichte entlang der Längsachse der Hochdruck-Spritze. Zum Vergleich wurden jeweils die axialen Dichtewerte pro Kompressionsstufe in Abhängigkeit ihrer longitudinalen Schichtposition in Abbildungen eingetragen und die Werte zur besseren Visualisierung miteinander verbunden (exemplarisch Abbildung 23 a-b).

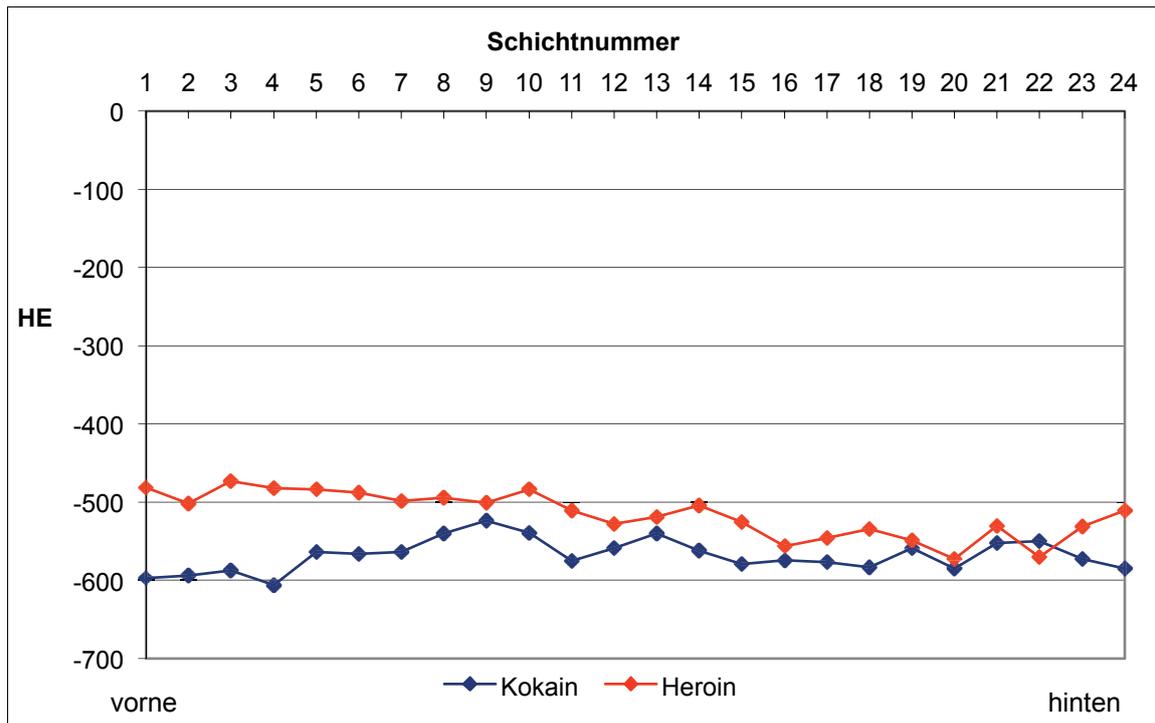
Insgesamt lagen die Dichtewerte für die Kokainproben aller Kompressionsstufen zwischen -606 HE (K78) und 222 HE (K37) und für die Heroinproben zwischen -593 HE (H38) und -162 HE (H38). Das Kokain HCL K78 hatte mit -606 HE im lockeren Zustand den niedrigsten gemessenen Dichtewert und den am stärksten negativen Mittelwert mit -568 HE (-606 HE; -524 HE) aller Drogenproben in dieser Untersuchung. Der niedrigste Wert einer Heroinprobe wurde im lockeren Zustand bei der Probe H38 mit -593 HE gemessen. Ohne Kompression hatte nach der Kokainprobe K78 die Heroinprobe H20 den niedrigsten Mittelwert mit -520 HE (-589 HE; -473 HE) gefolgt von der Kokainprobe K77 mit einem Mittelwert von -518 HE (-581 HE; -431 HE) und der Heroinprobe H38 mit -459 HE (-586 HE; -387 HE). Alle restlichen Kokainproben (K85, K77f, K36, K21, K69f, K37) hatten ohne Kompression höhere und bereits positivere Dichtewerte, auch höher als beide Heroinproben. K37 hatte im Vergleich zu allen anderen Proben mit dem Mittelwert -330 (383 HE; -300 HE) die höchsten Dichtewerte der Kompressionsstufe 0, den höchsten gemessenen Dichtewert bei 222 HE (Kompressionsstufe 9, 4740 kPa) sowie den höchsten Mittelwert von 156 HE (109 HE; 204 HE) von allen Drogenproben. Es folgte die Kokainprobe K69 mit dem Mittelwert 91 HE (50 HE; 147 HE). Bereits nach der ersten Kompressionsstufe (526 kPa) hatte die Kokainprobe K85 die niedrigsten Dichtewerte in allen folgenden Kompressionsstufen aller Kokainproben. In der Kompressionsstufe 10 (5260 kPa) hatte die Kokainprobe K85 mit einem Mittelwert von -144 HE (-177 HE; -96 HE) den stärksten negativen und damit niedrigsten Dichtewert der Kokainproben. Allerdings hatte die Probe K85 ab Kompressionsstufe 5 (2630 kPa) höhere HE Werte als beide Heroinproben. Die höchsten Dichtemittelwerte der Heroinproben lagen jeweils bei Kompressionsstufe 10 (5260 kPa) bei H20 mit -175 HE (-178 HE; -165 HE) gefolgt von H38 mit -186 HE (-199 HE; 162 HE).

Exemplarisch für das Dichteverhalten der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen wurden die Kompressionsstufen 0 (0 kPa = kein Druck) und 10 (5260 kPa= stärkste Druckstufe) von der Kokainprobe K78 und Heroinprobe H20 im Vergleich dargestellt (Abbildung 23 a-b). In der Kompressionsstufen 0, in der keinerlei Druck vom hinteren Teil der Spritze auf die pulverisierte Drogenprobe ausgeübt wurde, waren die Dichtewerte von allen Kokain- und Heroinproben am stärksten im negativen Bereich (Abbildung 23 a).

Prinzipiell zeigten die Dichtewerte aller Drogenproben von Kokain und Heroin innerhalb der Spritze im lockeren Zustand (Kompressionsstufe 0) eine konstante Gerade mit zufälligen Schwankungen. Bei der Kokainprobe K77f wich die Streuung der Dichtewerte um den konstanten Wert stärker ab als bei allen anderen Drogensorten (Abbildung 23 a).

Anders verhielten sich die Dichtewerte der Drogengebände, sobald Kompression auf die Spritzen von hinten durch den Stempel ausgeübt wurde (Kompressionsstufe 1-10, exemplarisch Abbildung 23 b mit Kompressionsstufe 10). Sowohl die Kokain- als auch die Heroinproben zeigten innerhalb der Spritze nach Kompression einen ansteigenden Verlauf der Dichtewerte, die vom vorderen Teil zum hinteren Teil der Spritze zunahmen. In diesem Bereich, in dem der Stempel direkt auf die Probe einwirkte, zeigten sich bei jeder Drogenprobe die höchsten Dichtewerte. Hierbei stiegen die Dichtewerte der Kokainproben bei allen Reinheitsgraden stärker an als die der Heroinproben. Die messbare Schichtanzahl von Kokain- und Heroinproben nahm druckabhängig ab, entsprechend der Volumenreduktion innerhalb der Spritze durch entwichene Luft. Dabei nahm die messbare Anzahl der Schichten und damit das Volumen aller Kokainproben im Vergleich zu denen der Heroinproben stärker ab (Abbildung 23 b).

(a)



(b)

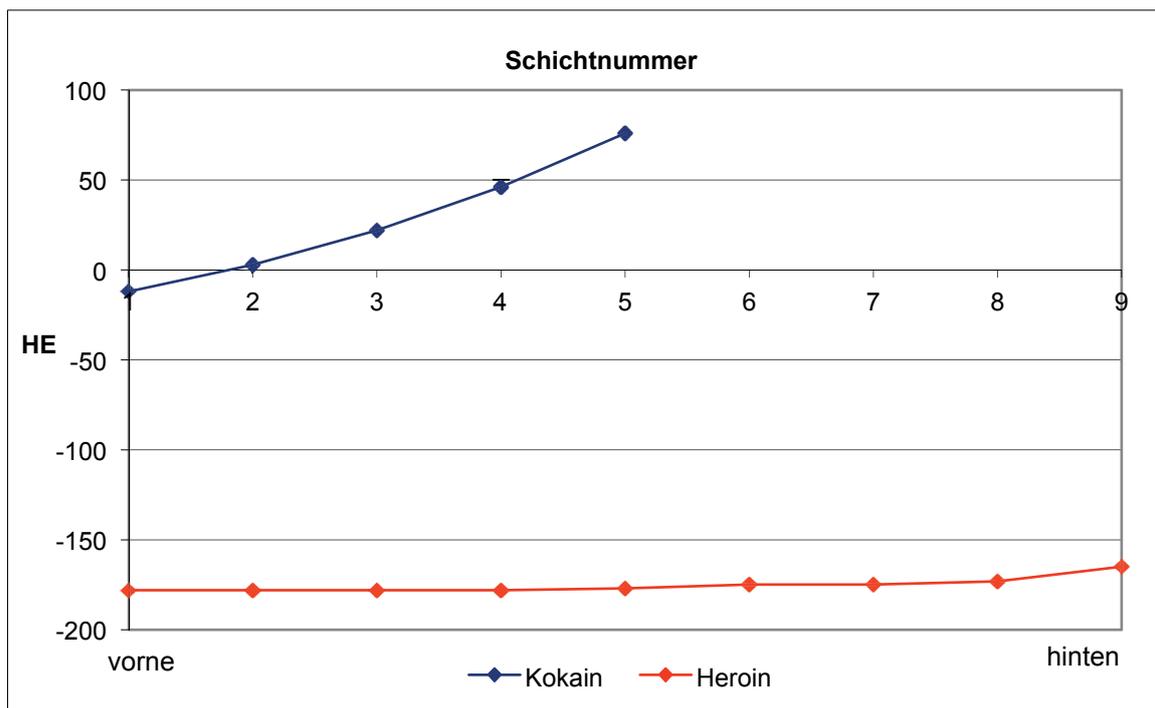


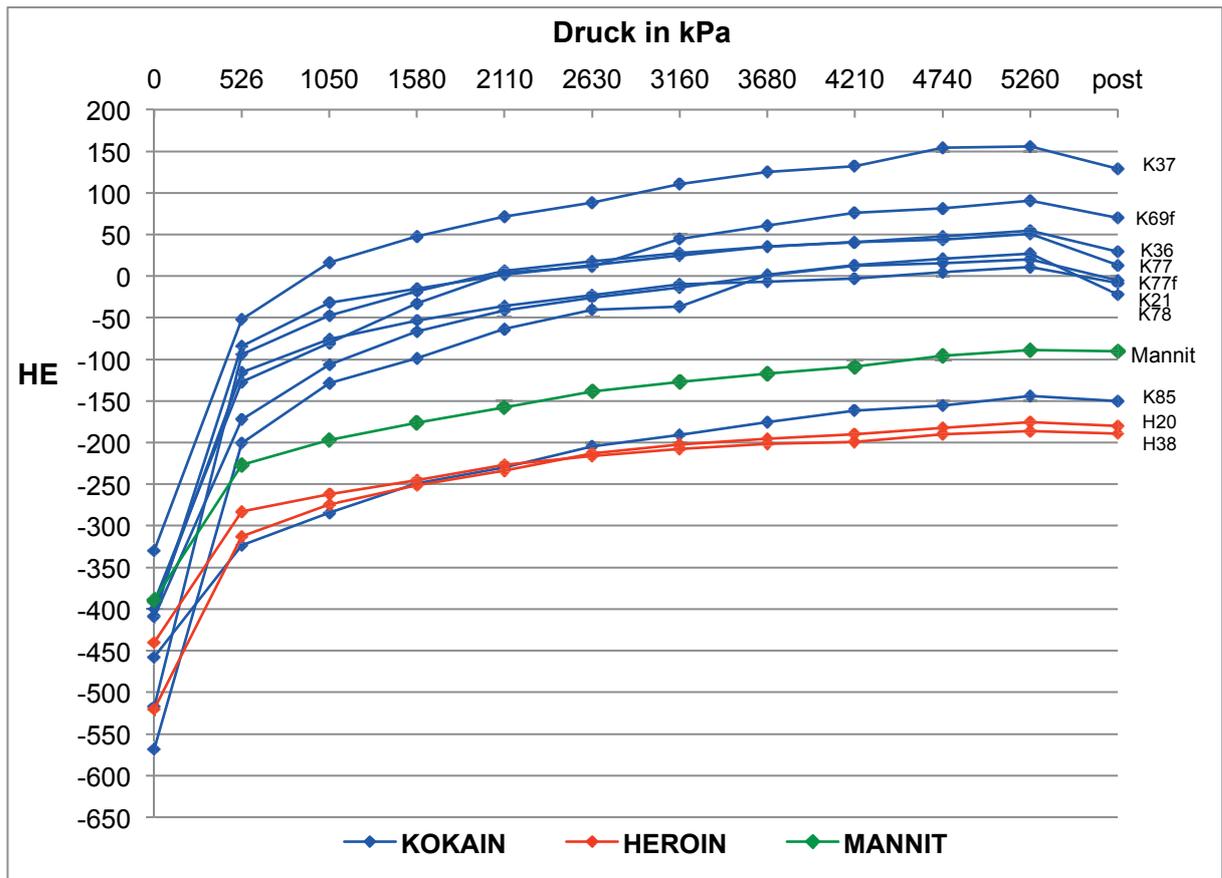
Abbildung 23: Erfasste CT-Dichtewerte in Hounsfield Einheiten der axialen Schichten von Heroin mit 20% (H20) und Kokain mit 78% (K78) Konzentration - über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg. (a) Vergleich der Dichtewerte der Kompressionsstufe 0 mit 24 messbaren Schichten (b) Vergleich der Dichtewerte der Kompressionsstufe 10 mit nur noch 5 bzw. 9 messbaren Schichten; die Anzahl der Schichten reduzierte sich bei steigender Kompression auf die Drogenprobe innerhalb der Spritze durch den Spritzenstempel bei konstanten Messabständen; die Probe wurde „kürzer“ - farblich nach Heroin (rot) und Kokain (blau) aufgeschlüsselt.

3.2.1. Vergleich der Mittelwerte der Dichtewerte der unterschiedlichen Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression

Es wurden die Mittelwerte der Dichtewerte aller Kokain- und Heroinproben innerhalb der Spritze pro Schicht berechnet und in Abhängigkeit der Kompressionsstufen 0 bis „Post“ dargestellt. Dabei entstand für jede Drogensorte eine Kurve, die in den ersten Kompressionsstufen stark anstieg und in den höheren Kompressionsstufen abflachte (Abbildung 24 a). Bei allen Gebinden der beiden Drogensorten stiegen die Dichtewerte in den Kompressionsstufen somit nicht gleichmäßig proportional zum Druck an, wobei die Kurven bei Kokain Verläufe im höheren Bereich zeigten und steiler anstiegen. Alle Kokainproben hatten bis auf Probe K85 bereits nach der ersten Kompressionsstufe höhere Dichtewerte als die Heroinproben. Die Kokainprobe K85 zeigte mit -458 HE (-510 HE; -386 HE) niedrigere Dichtemittelwerte in Kompressionsstufe 0 als beide Heroinproben, erreichte aber bereits nach Kompressionsstufe 2 dichtere Werte als H20 und nach Kompressionsstufe 3 dichtere Werte als die Heroinprobe H38. In der Kompressionsstufe 10 hatten alle Mittelwerte die höchsten Dichtewerte, fielen jedoch in der Kompressionsstufe „Post“ ohne die kontinuierliche Druckausübung durch den Stempel noch im komprimierten Zustand wieder ab (Abbildung 24 a). Zum Vergleich wurden die Mittelwerte des Streckmittels Mannit in die Abbildung 24 a-b mit eingetragen. Diese zeigten einen ähnlichen Kurvenverlauf wie die Drogenproben - mit Dichteverläufen zwischen K85 und K78.

Nach der Berechnung der Steigung (m) der mittleren Hounsfield-Dichte anhand der Kokain- und Heroinkurven jeder Drogensorte mithilfe der Formel $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ bei Druckstufe 0 und 10 (5260kPa) zeigte sich, dass die Kurven aller Kokainproben stärkere Steigungen aufwiesen als die der Heroinproben und sich diese nicht überschneiden (Abbildung 24 b).

(a)



(b)

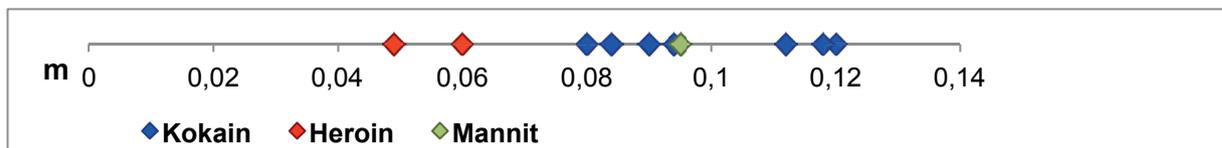


Abbildung 24: (a) Mittlere Hounsfield-Dichte (HE) der Kokain (K)- und Heroinproben (H) sowie von einem Streckmittel Mannit innerhalb der Spritzen im Vergleich pro standardisierter Druckstufe (Druck in kPa) in der CT und nach Druckentlastung mit Dichteabfall (Post) - farblich nach Heroin (rot), Kokain (blau) und Mannit (grün) aufgeschlüsselt (b) Vergleich der Steigung (m); berechnet anhand der Druckstufe 0 und 10 (5260kPa) und der mittleren Hounsfield-Dichte der Kokain- und Heroinkurven aus Abteilungsanteil a; die Kokainproben und das Streckmittel Mannit weisen stärkere Steigungen als die der Heroinproben auf.

3.2.2. Dichteverhalten der Drogenproben im Vergleich der standardisierten Kompressionsstufen 10 und „Post“

Bei der Kompressionsstufe „Post“ wurde kein aktiver Druck mehr von außen auf das Verpackungsmaterial ausgeübt, der Spritzenstempel nach vorausgegangener,

maximaler Kompression wieder entlastet. Dieser Zustand simulierte die Kompression wie bei einem realen Drogenpäckchen eines Bodypackers und wurde anhand der Mittelwerte mit der höchsten Kompressionsstufe 10 verglichen (Abbildung 24 a). Alle Drogenproben hatten die höchsten Dichtewerte bei Kompressionsstufe 10 und bei einem Kompressionsdruck von 5260 kPa. In Kompressionsstufe „Post“ sanken die Dichtewerte bei jeder Probe. Die Kokainproben zeigten - bis auf die Kokainprobe K85 - größere Dichteunterschiede als die Heroinproben. Die prozentuale Abnahme der Dichtewerte der Kokainproben bei Kompressionsstufe 10 zu „Post“ betragen zwischen 2% (K85) - 8% (K77). Die Heroinproben hatten im Vergleich dazu in den Kompressionsstufen 10 und „Post“ fast identische Dichtewerte mit minimalen Differenzen: für H20 3% und für H38 nur 1%. Das Streckmittel Mannit zeigte - ähnlich wie die Heroinprobe H38 in Kompressionsstufe 10 im Vergleich zu „Post“ - weniger als 1% (0,33%) Dichteunterschied.

3.2.3. Berechnung der angewandten Druckkraft eines Drogenpäckchens eines Bodystuffers

Tabelle 4: Ergebnis der Berechnung der mutmaßlichen ursprünglichen Druckkraft (kPa) zur Erzielung der Kompressionsdichte in Hounsfield Einheiten (HE) innerhalb der Kunststoffbehälter von Kokain (K)- und Heroinproben (H) in unterschiedlicher Reinheit anhand der Steigung der Kompressionsgeraden.

Drogensorten im Kunststoffbehälter	Kompressionsdichte (y) (HE)	Mutmaßliche Druckkraft (kPa)
K78	-532	52
K36	-304	171
K21	-304	178
H38	-302	462
H20	-365	394

In Abbildung 25 a-b wurden die manuell gepressten Drogenpäckchen anhand der ausgerechneten Druckkraft in die Grafik der Kompressionskurve mit eingefügt. Da die Druckwerte der manuell gedrückten Drogenpäckchen zwischen 52-462 kPa (Tabelle 4) und unterhalb der ersten Kompressionsstufe des Kompressionsversuchs lagen kann angenommen werden, dass dies einer üblichen angewandte Druckkraft bei der Erstellung eines Drogenpäckchen eines Bodystuffers entspricht.

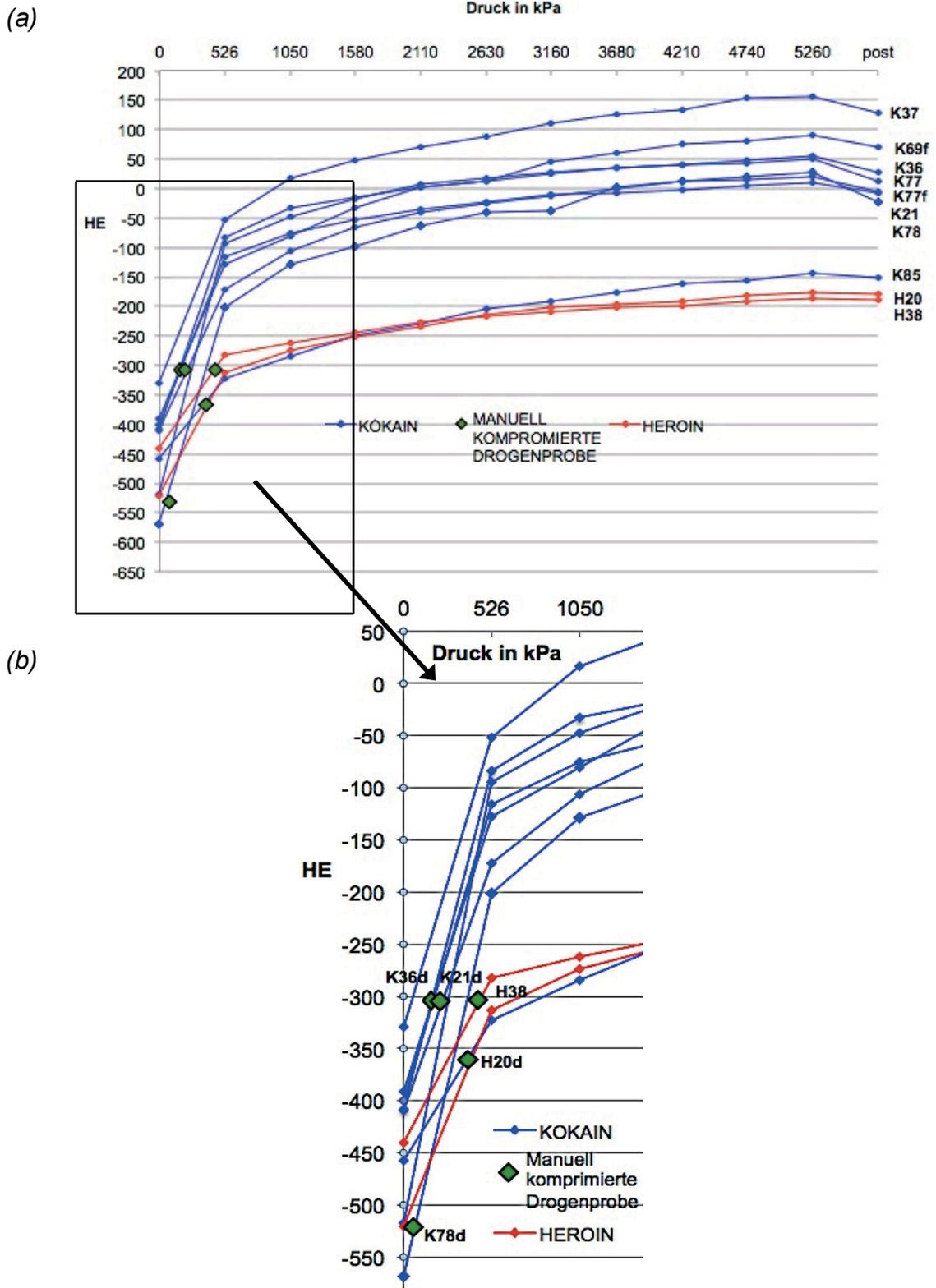


Abbildung 25: Darstellung der Hounsfield-Dichte (HE) der Drogengebinde innerhalb der Kunststoffbehälter mit manueller Kompression (grün) gemeinsam mit den mechanischen Kompressionskurven von Kokain (K, blau)- und Heroinproben (H, rot). Die Dichte der manuell komprimierten Proben lag jeweils zwischen dem ersten und zweiten Messpunkt der entsprechenden mechanischen Kompressionskurve. Entsprechend erfolgte die jeweilige Ermittlung des Druckes und Darstellung als grüne Punkte (a) Komplette Darstellung der Kurven (identisch mit Abbildung 24 a); (b) Vergrößerte Darstellung der niedrigen Kompressionsdrücke.

3.3. Dichtewerte der Kokain- und Heroinproben als reales Drogenpäckchen

Die realen Kokainpäckchen hatten Dichtewerte zwischen -31 HE und 321 HE (Abbildung 26). In der axialen Schichtmessung hatte das feuchte Kokainpäckchen K77f die dichtesten Werte mit einem Mittelwert von 257 HE (240 HE; 268 HE), gefolgt von der ebenfalls feuchten Drogensorte K69f mit 236 HE (221 HE; 248 HE). Die Dichtewerte dieser Drogenpäckchen zeigten kaum Streuung innerhalb der Päckchen. Sie hatten mit Abstand die dichtesten HE-Werte von allen realen Drogenpäckchen. Fast halb so dichte Werte zeigte die gleiche Drogensorte K77 im trockenem Zustand mit 130 HE (97 HE; 150 HE), welche ebenso keine deutliche Streuung der Dichtewerte innerhalb der Drogenpäckchen zeigte. Es folgte bezüglich der Dichte das Drogenpäckchen K37 mit einem Mittelwert von 90 HE (28 HE; 167 HE). Das Drogenpäckchen mit der Kokainbase K85 nahm die lockersten Dichtewerte an mit -10 (-31; 1) und hatte damit im Vergleich zu den anderen Drogenpäckchen als einziges Dichtewerte im negativen Bereich. Innerhalb des Päckchens der Drogensorte K85 waren die Dichtewerte leicht höher, mit einem Differenzmaximum von 32 HE bei Schichtnummer 4 verglichen mit Schichtnummer 9. Die Schichtanzahl leitet sich jeweils von der Größe des Drogenpäckchens ab. Je größer das Drogenpäckchen war, desto mehr Schichten konnten gemessen werden, sodass die Schichtanzahl variierte. Das Drogenpäckchen K37 stammte - nicht wie die anderen Päckchen - aus dem Bodypacker und wies innerhalb dieses Drogenpäckchens Unterschiede bzgl. Größe und Dichteverhalten auf: am Anfang und am Ende des Drogenpäckchens K37 waren die Dichtewerte deutlich höher als innerhalb des Päckchens mit einer größten Dichtedifferenz von 139 HE bei Schichtnummer 11 zu Schichtnummer 21. Das Päckchen war im Vergleich zu den anderen Drogengebinde grösser und es konnten deshalb mehr Schichten gemessen werden (Abbildung 26).

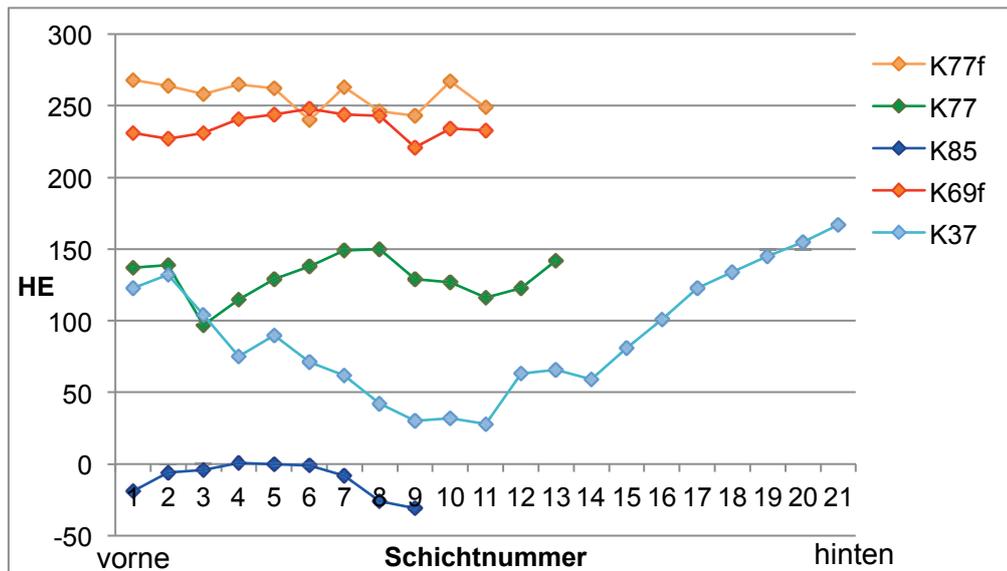


Abbildung 26: Vergleich der ermittelten CT-Dichtewerte in Hounsfield-Einheiten (HE) innerhalb der realen Bodypackchen mit Kokain (K)- und Heroinproben (H) in unterschiedlicher Reinheit im feuchten (f) und trockenen Zustand entlang deren Längsachsen von vorne nach hinten pro Schicht (Schichtnummer) gemessen - die Kokainpackchen variierten in ihrer Größe und damit auch in ihrer Schichtanzahl; K37 war das größte Päckchen mit 21 Schichten.

3.3.1 Abschätzung der angewandten Druckkraft auf reale Drogenpackchen eines Bodypackers anhand linearer Extrapolation

Tabelle 5: Lineare Extrapolation der mutmaßlichen Druckkraft (x) in kPa zur Erzielung der Kompressionsdichte (y) in Hounsfield-Einheiten (HE) für reale Kokain- und Heroinpackchen (H) anhand der Formel $y = m \times x + b$; die Gleichungsparameter m und b wurden über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate pro Probe ermittelt.

Drogensorten der realen Drogenpäckchen	Kompressionsdichte (y) (HE)	m	b	Mutmaßliche Druckkraft (x) (kPa)
K77	130	0,009	0,50	1312
K77f	257	0.012	-40,18	25335*
K37**	90			2679**
K69	236	0,018	-3,47	13251
K85	-10	0,019	-243,62	12353
H38	-78	0,012	-242,64	15291

* Druckkraft unrealistisch wegen Wassergehalt im Drogenpäckchen; zur graphischen Veranschaulichung berechnet

** Über Steigungsgleichung über Messwertreihe berechnet zur graphischen Darstellung

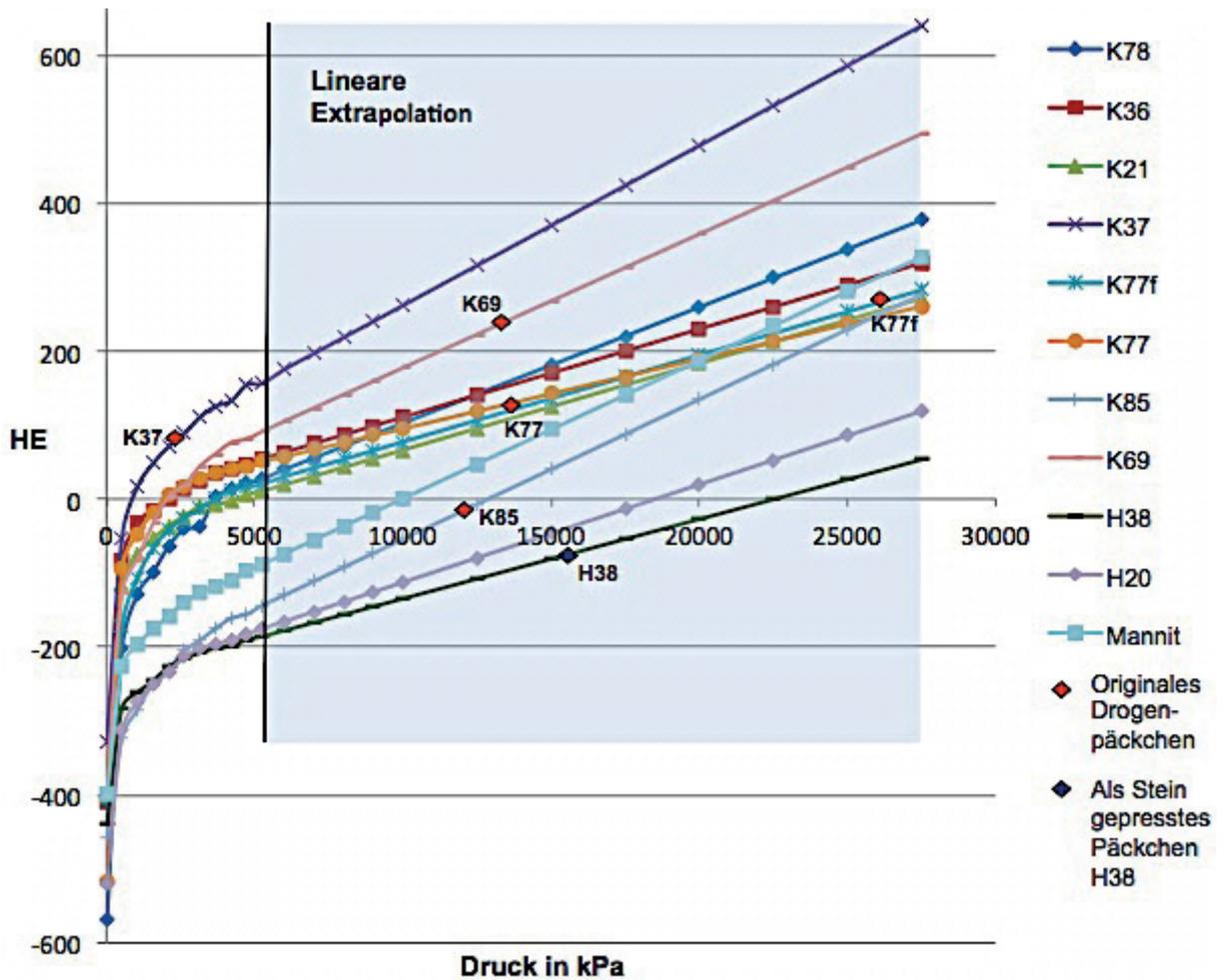


Abbildung 27: Lineare Extrapolation der Dichtewerte der Kokain (K)- und Heroinproben (H) über die Kompressionsstufen 7-10 des Kompressionsversuchs und Darstellung der Dichtewerte der realen Drogenpäckchen K77, K77f, K37, K85, K69 (jeweils rote Raute) und H38 (blaue Raute) mit Rückschlussmöglichkeit auf den angewandten Druck. Das messtechnisch verfälschte Drogenpäckchen K77f wurde belassen um den Feuchtigkeitseinfluss zu veranschaulichen.

3.3.2 Abschätzung der angewandten Druckkraft auf reale Drogenpäckchen eines Bodypackers anhand logarithmischer Extrapolation

Tabelle 6: Logarithmische Extrapolation der mutmaßlichen Druckkraft (x) in kPa zur Erzielung der Kompressionsdichte (y) in Hounsfield-Einheiten (HE) für reale Kokain (K)- und Heroinpäckchen (H) anhand der Formel $y = m \times \ln(x) + b$; die Gleichungsparameter m und b wurden über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate pro Probe ermittelt.

Drogensorten der realen Drogenpäckchen	Kompressionsdichte (y) (HE)	m	b	Mutmaßliche Druckkraft (x) x
K77	130	63,224	-483,36	16350
K77f	257	84,207	-689,82	>62500*
K37**	90			2679**
K69	236	99,856	-759,75	21420
K85	-10	80,416	-834,73	28450
H38	-78	43,649	-559,78	62100

* Extrapolierte Druckkraft unrealistisch wegen Wassergehalt im Drogenpäckchen; Rückschluss des Druckwertes x durch Approximation nicht möglich da theoretisch korrespondierender Druck jenseits der Extrapolation

** Über Steigungsgleichung über Messwertreihe berechnet, inkludiert zur Veranschaulichung

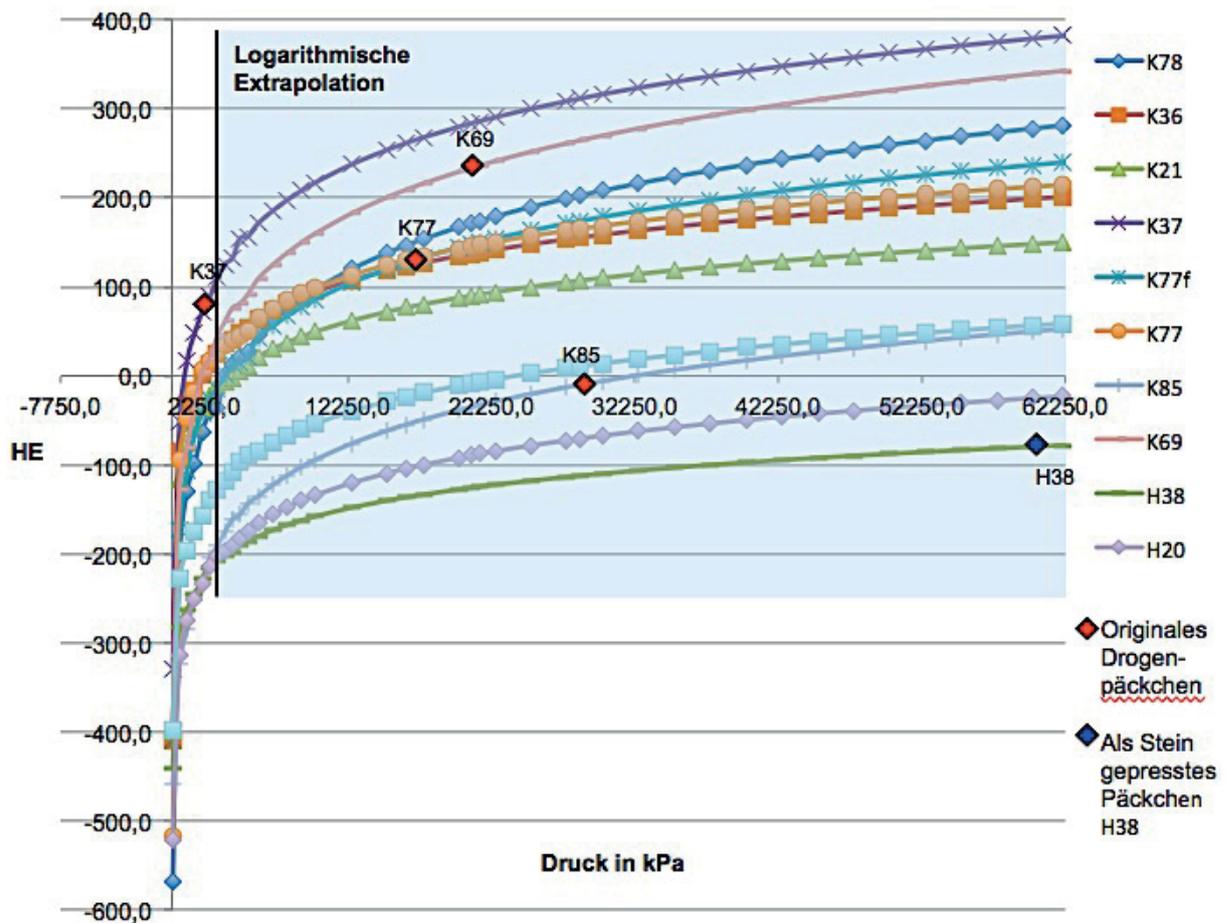


Abbildung 28: Logarithmische Extrapolation der Dichtewerte ab der Druckstufe 5260 kPa und Darstellung der Dichtewerte der erfassten realen Drogenpäckchen Kokain (K) und Heroin (H) mit unterschiedlicher Reinheit K77, K37, K85, K69 (rote Raute) und H38 (blaue Raute).

3.3.3 Berechnete Druckkraft auf das Drogenpäckchen K37

Das Drogenpäckchen K37 hatte einen Dichtemittelwert von 90 HE. Für diesen Dichtewert wurde über die Steigungsgleichung zwischen der 5. und 6. Kompressionsstufe ein Wert von 2679 kPa ermittelt.

3.4. Dichtewerte der Streckmittel und der reinen Drogenproben

Innerhalb der Spritze wurden Dichtewerte für die Probe Mannit unter ohne Kompression von -438 HE und händisch komprimiert von -46 HE gemessen. Entlang der standardisierten Kompressionsreihe erreichte der niedrigste Mittelwert -389 HE und der höchste Mittelwert -89 HE. Später ohne Druckausübung („Post“) hatte die Probe einen Mittelwert von -90 HE (-114 HE; 127 HE) (Abbildungen 24 a, 29).

Paracetamol zeigte Werte zwischen -510 HE (locker) bis -45 HE („Post“) mit einem niedrigsten Mittelwert von -462 HE und einem höchsten Mittelwert von -60 HE

(Abbildung 29). Nach manueller Kompression hatte die Probe mit Paracetamol einen Mittelwert von -285 HE (-316 HE; -264 HE). Nach starker Kompression ohne Druckausübung („Post“) hatte Paracetamol einen Mittelwert von -60 HE (-71 HE; -45 HE).

Die Probe mit Koffein hatte Dichtewerte zwischen -407 HE (locker) bis -117HE („Post“) (Abbildung 29). Nach manueller Kompression hatte die Koffeinprobe einen Mittelwert von -221 HE (-274 HE; -199 HE). In Kompressionsstufe „Post“ hatte die Koffeinprobe einen Mittelwert von -129 HE (- 143 HE; -117 HE).

Die reine locker pulverige Kokainprobe mit 89,17% Konzentration hatte Dichtewerte zwischen -717 HE bis -595 HE mit einem sehr niedrigen Mittelwert von -653 HE (Abbildung 29). Die reine locker pulverige Heroinprobe mit 99,44% Konzentration zeigte Dichtewerte zwischen -488 HE und -370 HE mit einem Mittelwert von -430 HE (Abbildung 29).

3.5. Vergleich der Mittelwerte aller Dichtemessungen der Kokain- und Heroinproben aller Untersuchungen in der CT

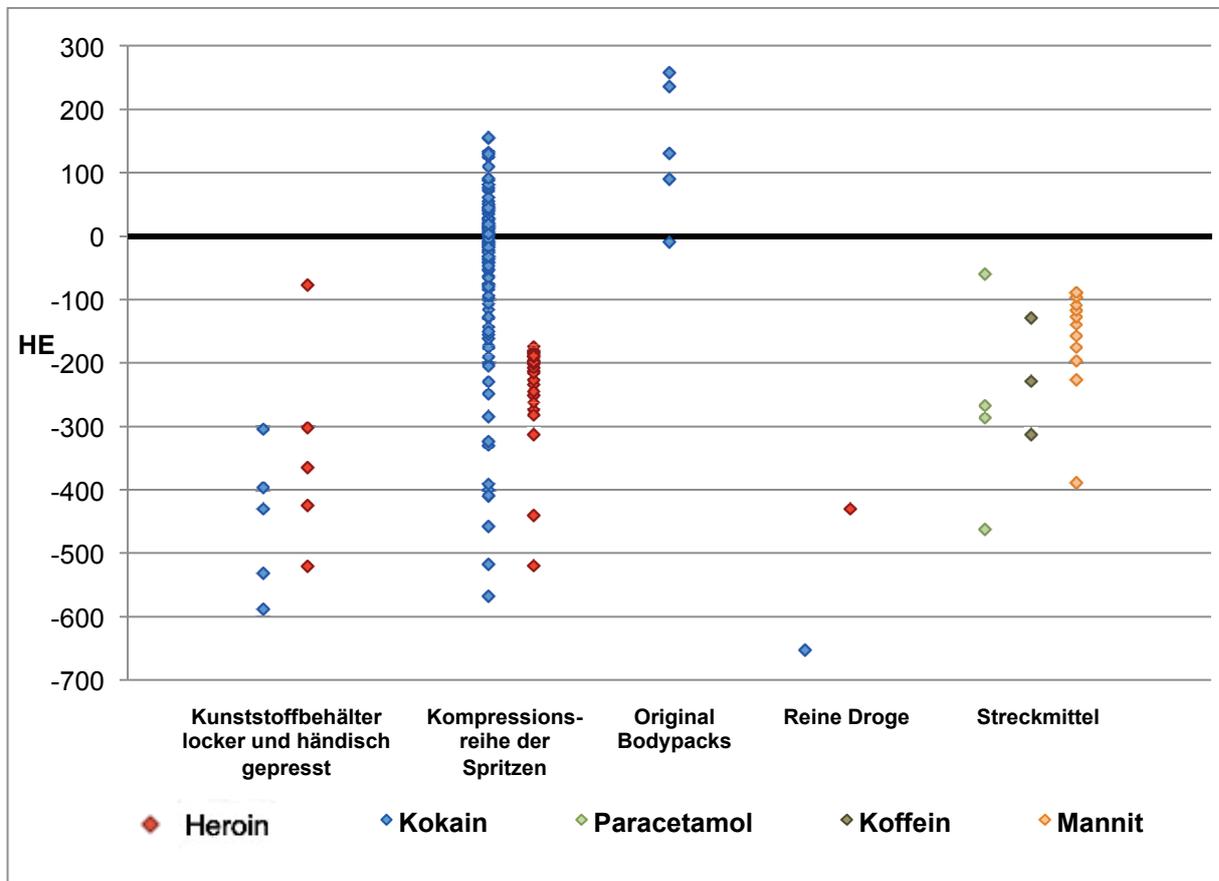


Abbildung 29: Vergleich der Streubreite der gemessenen Hounsfield-Dichtewerte verschiedener Proben: Drogenproben und Streckmitteln in lockerer Form und händisch komprimiert in den Kunststoffbehältern sowie in der standardisierten Kompressionsreihe und als reale Bodypacks in der CT- farblich abgegrenzt: Heroin (blau), Kokain (rot), Paracetamol (grün), Koffein (grau) und Mannit (orange).

4. DISKUSSION

4.1. Dichtewerte von Kokain und Heroin in der CT verglichen mit der Literatur

In der Literatur werden in der CT für Kokain Dichtewerte zwischen -219 HE und 285 HE und für Heroin Dichtewerte zwischen -520 HE und 960 HE berichtet [2, 22, 53, 54, 62, 65, 67, 82, 93, 95, 96] (Abbildung 30). In unseren Untersuchungen lagen die Dichtewerte insgesamt für Kokain zwischen -717 HE und 222 HE und für Heroin zwischen -593 HE und -52 HE. Unsere Messwerte deckten zum Teil die bereits in der Literatur berichteten CT-Dichtewerte ab. Die Spannbreite unserer gemessenen Dichtewerte (Kokain 939 HE, Heroin 645 HE) war im Vergleich zu der Spannbreite der bisher in der Literatur gemessenen Dichtewerte (Kokain 504 HE, Heroin 1480 HE) für Kokain höher und für Heroin niedriger. Ein wahrscheinlicher Grund für eine Streuung der Dichtewerte für Heroin und Kokain in unserer Arbeit ist die Untersuchung der Drogenproben in unterschiedlichen Zusammensetzungen (Konzentration, Streckmittel) und unter verschieden starken Kompressionen. In der Literatur hatten Wackerle et al 1986 in ihrer Studie mit -219 HE die bisher lockersten Dichtewerte von Kokainproben und mit -520 HE die der Heroinproben in der CT gemessen. Sie waren aufgrund der unterschiedlichen Dichtewerte der Meinung, dass Kokain dichtere Werte annimmt als Heroin und sich die Drogensorten in der CT anhand von HE-Werten unterscheiden lassen [22]. 2008 veröffentlichten Schmidt et al. eine Studie, in der sie die Detektierbarkeit von inkorporierten Kokainpäckchen in der CT untersuchten, welche mit 123 HE bis 226 HE deutlich positivere Dichtewerte in der CT zeigten als in der Untersuchung von Wackerle et al. [2]. Im Jahre 2009 untersuchten Yang et al. Heroinpäckchen von Bodypackern innerhalb der CT, welche Dichtewerte zwischen -40 HE und 100 HE zeigten - deutlich dichtere HE-Werte als die von Wackerle et al. [82]. In der Veröffentlichung von Israelit et al (2009) lagen die in einem Kokainpäckchen eines Bodypackers gemessenen Dichtewerte bei 200 HE [95]. Maurer et al. untersuchten 2011 die Dichtewerte von Kokainpäckchen innerhalb eines Schweinkadavers in der CT und berichteten von Dichtewerten zwischen -135 HE bis 247 HE [65]. Etwas positivere Dichtewerte in der CT zeigten die gemessenen Kokainpäckchen von Pache et al. in deren Studie 2012 mit 17 HE bis 154 HE [67]. Die „homogenen, leichten oder heterogenen“ Kokainpäckchen in der Untersuchung von Bulakci et al. 2013 hatten mit -50 HE bis 285 HE die bis dahin am positivsten gemessenen HE Werte in der CT für Kokain. Auffällig sind in der Studie auch die extrem dicht gemessenen Werte von „homogenen und hyperdensen“

Heroinpäckchen mit 700 HE und 960 HE [54]. Insgesamt wurden in der Untersuchung von Bulakci et al die bisher höchsten Dichtewerte der Heroinpäckchen gemessen. In der Untersuchung von Leschka et al. 2013 lagen Dichtewerte für Kokain in der CT annähernd im bereits gemessenen Dichtewertebereich zwischen -93 bis 54 HE. Die Dichtewerte für Heroin reichten mit -223 HE an die Dichtewerte von Wackerle et al. heran, nahmen aber auch höhere Dichtewerte bis zu -72 HE an [5, 93]. Die Untersuchung der Dichtewerte von Kokain und Heroin unter einstufiger standardisierter Kompression ist uns aus der Literatur bisher nur die Veröffentlichung aus unserer Arbeitsgruppe von Grimm et al. bekannt. Sie untersuchten in der Dual Energy CT Heroin- und Kokainproben mit unterschiedlichen Konzentrationen unter Einfluss einer standardisierten Kompression mit 1000 N sowie sechs Original-Bodypacks und verglichen diese miteinander [62]. Die gemessenen Dichtewerten lagen für Kokain zwischen -126 HE und 16 HE und für Heroin deutlich negativer: Dichtewerte zwischen -200 HE bis -159 HE. Es wurden neben den Dichtewerten auch die spektrale Kurve und der Dual-Energy-Index (DEI) ausgewertet. Aufgrund ihrer Ergebnisse sind sie der Meinung, dass die unterschiedlichen Konzentrationsgrade und die vielfältigen chemischen Zusammensetzungen der Drogensorten (Streckmittel) Einfluss haben auf die HE Werte, sodass die Interpretation von CT-Dichtewerten keine passende Methode sei, um die illegalen Drogen Heroin von Kokain unterscheiden zu können [62]. In den Untersuchungen von Aissa et al. wurden 2015 für Kokainpäckchen HE Werte von 150 HE bis 271 HE in der CT gemessen [53]. Platon et al. untersuchten in ihrer Studie inkorporierte Kokainpäckchen in der Dual Energy CT und gaben einen Dichtewert von 105 HE an. Sie meinen, dass sowohl die Dichtewerte (HE) als auch die effektive Atomzahl (Z_{eff}) innerhalb der Dual Energy CT verwendet werden können um Kokainpäckchen mit einem Konzentrationsgehalt von > 50% aufzuspüren [96].

Anhand unserer Ergebnisse und der Literatur fällt auf, dass die Dichtewerte von Kokain und Heroin sehr breit gestreut sind. Außerdem überschneiden sich die Dichtewerte von Kokain und Heroin in allen Untersuchungen, was eine klare Abgrenzung der beiden Drogensorten voneinander erschwert.

Ähnlich wie in der Literatur wiesen die Kokainproben in unserer Untersuchung unter Kompression höhere Dichtewerte auf als die der Heroinproben [5, 22, 62, 93] Eine Ausnahme stellen die Dichtewerte aus der Untersuchung von Bulakci et al., wo die

Dichtewerte von Heroin deutlich positiver ausfallen als alle bisher gemessenen HE-Werte [54].

Die Dichtewerte sind abhängig von der Kompression der Droge je nach Herstellungsprozess, ihrer chemischen Eigenschaft sowie vom Konzentrationsgrad und der Beimischung von Streckmitteln [5, 62, 65]. In der Literatur wurden - wie in der Untersuchung von Wackerle et. al. - diese Einflüsse nicht immer berücksichtigt [22].

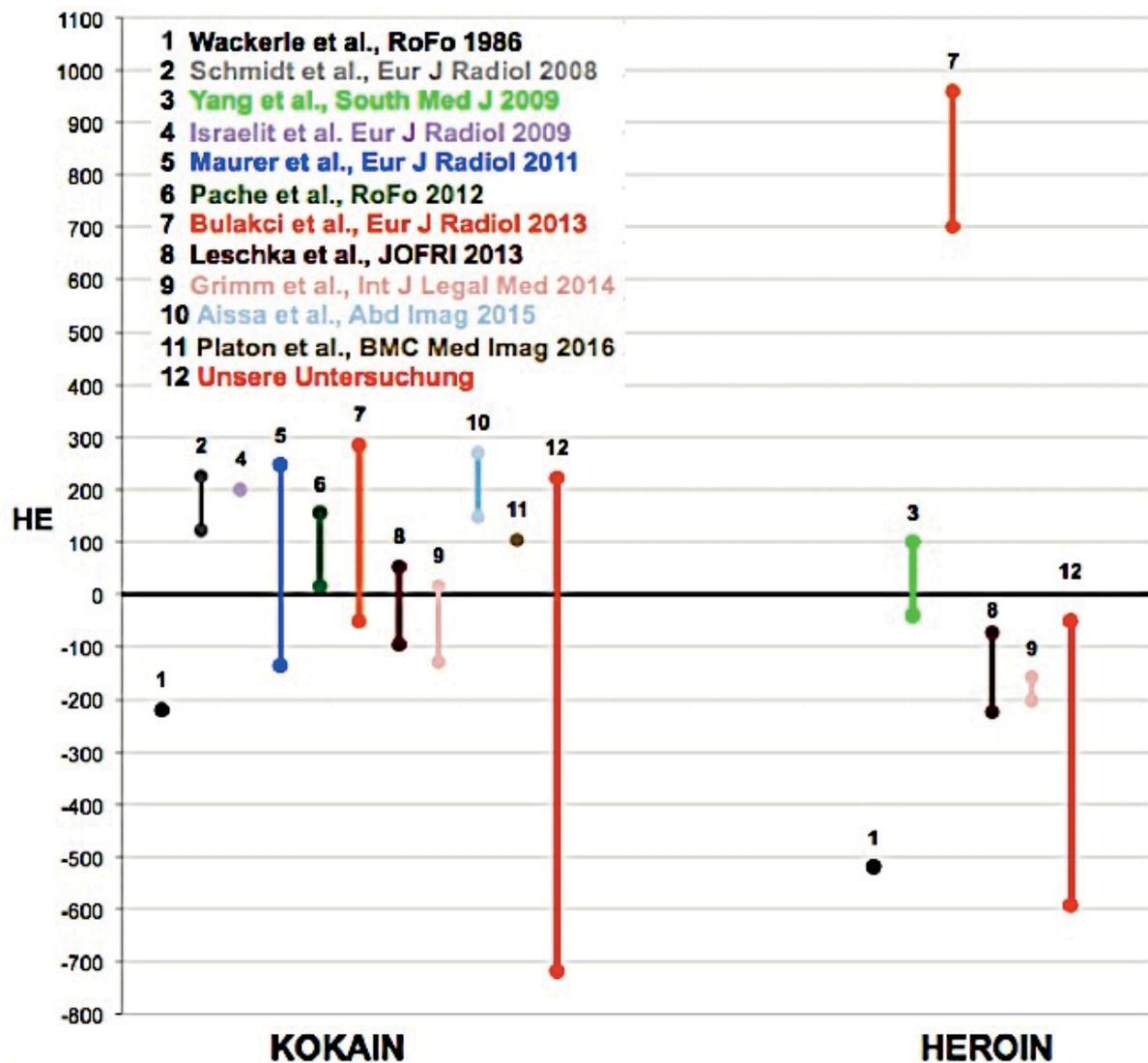


Abbildung 30: Berichtete Dichtewerte (HE) für Heroin und Kokain aus der Literatur bis heute unabhängig von Konzentration und Kompressionsgrad. Es wurde nur jeweils der kleinste und der größte gemessene Dichtewert berücksichtigt und in der Abbildung dargestellt.

4.2. Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression

Die Dichtewerte der Kokain- und Heroinproben innerhalb der Kunststoffbehälter überschneiden sich bei lockerer und manueller Kompression. Die Kokainproben hatten im Vergleich zu den Heroinproben im lockeren und manuell gedrückten Zustand ähnliche Dichtewerte. Auffällig war ein deutlicher Dichtewertesprung bei den lockeren Drogenproben im Vergleich zu den manuell komprimierten Drogenproben. Insgesamt lagen die Dichtewerte für Kokain zwischen -679 HE und -273 HE und für Heroin zwischen -545 HE und -285 HE. Eine eindeutige Zuordnung der Drogenproben zu Kokain oder Heroin anhand der gemessenen Dichtewerte war in

dem geringen Kompressionsbereich nicht möglich. Die einzige Drogenprobe, die in dieser Untersuchung mit Abstand die dichtesten Werte (-102 HE bis -52 HE) zeigte, war die zu Stein gepresste Heroinprobe. Die hohen Dichtewerte resultierten am wahrscheinlichsten aus einer hohen Kompression bei einer maschinellen Herstellung.

4.3. Dichteverhalten von Kokain und Heroin innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression

Wie auch in den bisherigen Untersuchungen in der Literatur überschritten sich auch in unserer Untersuchung unter standardisierter Kompression die Dichtewerte der Kokainproben (-606 HE bis 222 HE) mit denen der Heroinproben (-593 HE bis -175 HE). Allerdings war die Verteilung der Dichtewerte von Kokain mit einer Spannbreite von 828 HE deutlich grösser als die von Heroin mit 418 HE. Die Kokainproben hatten im lockeren Zustand teilweise niedrigere Dichtewerte als Heroin. Bei beiden Drogensorten stiegen die Dichtewerte abhängig vom Druck an, jedoch nicht proportional. Je höher der Druck, desto geringer war die Zunahme der Steigung, vergleichsweise einer logarithmischen Funktion. Dieses Dichteverhalten konnte man bei beiden Drogensorten und deren sämtlichen Gebinden beobachten. Im Vergleich zu den Heroinproben hatte die Kompressionskurve der Dichtewerte bei allen Kokainproben höhere Steigungen. Zusätzlich konnten innerhalb der Spritzen bei den Kokainproben - verglichen mit den Heroinproben - weniger axiale Schichten gemessen werden. Dies zeigt, dass die Kokainproben deutlich besser zu komprimieren, bzw. deren Volumen leichter zu reduzieren war. Die Kokainproben hatten nach Druckentlastung nach vorausgegangener Kompression („Post“) im Vergleich zu den Heroinproben einen höheren Dichtewerteabfall. Damit zeigt sich, dass Kokainproben trotz gleicher Kompression schneller und dichter zu komprimieren waren und auch wieder schneller an Dichte verloren, am ehesten durch eine bessere Wiederausdehnung und dadurch bedingte vermehrte Lufteinschlüsse. Ein Grund für die unterschiedlichen Kompressionseigenschaften der beiden Drogensorten Heroin und Kokain könnte eine unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit der Kristalle der Drogensorten sein. Aufgrund der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung und der zahlreichen Streckmittelzusätze der Kokain- und Heroinproben kann jedoch kein direkter

Rückschluss auf die Ursache der unterschiedlichen Komprimierbarkeit gemacht werden.

Im Kompressionsversuch zeigte sich bei allen Kompressionsstufen, dass beide Drogensorten stempelseitig dichtere HE Werte hatten als an der Spritzenspitze. Dort, wo der Druck über den Stempel ausgeübt wurde, war die Kompression stärker und dadurch der angrenzende Dichtewert am höchsten. Die Drogenproben in der Kompressionsstufe „Post“ nach Druckentlastung simulierten den Kompressionszustand der Droge in einem Drogenpäckchen eines Bodypackers: ursprünglich erfolgte - vergleichsweise einer maschinellen Herstellung - eine Kompression der Drogen, danach aber noch der Zusammenhalt und mögliche relative Druck durch die Umhüllung. Im Vergleich zur höchsten Kompressionsstufe sanken deshalb wie erwartet die Dichtewerte innerhalb der gesamten Spritze im Sinne einer Teilentfaltung leicht ab. Trotz fehlender Druckausübung blieben sowohl Kokain als auch Heroin dennoch stark komprimiert, im stempelnahen Anteil weiterhin mit höchsten Dichtewerten. Auch innerhalb der realen Bodypacks zeigten sich am vorderen und am hinteren Teil des Päckchens höhere Dichtewerte, welches für eine Pressung über die Länge hinweg bei der Herstellung spricht. Bezogen auf die Drogenpäckchen eines Bodypackers kann man daher - wie innerhalb der Spritzen - erwarten, dass die Drogen durch die initiale Herstellung und relativ erhaltene Kompression durch das Verpackungsmaterial am Rand dichter sind als im Zentrum des Päckchens. In der Literatur beobachteten Pache et al. auch, dass sich bei allen drei asservierten Drogenpäckchen mit Kokain ein Dichteunterschied zwischen Zentrum und Peripherie fand, wobei das Zentrum jeweils niedrigere Dichtewerte aufwies [67].

4.3.1. Einfluss der Kompression auf die Dichtewerte von Kokain und Heroin

Die identischen Drogensorten zeigten innerhalb der Kunststoffbehälter im lockeren, im manuell dicht gepressten, aber auch im maschinell gepressten (Stein) Zustand unter gleichen Bedingungen unterschiedliche Dichtewerte. Innerhalb der Spritzen veränderten sich die Dichtewerte derselben Drogensorten unter standardisierter Kompression in jeder Druckstufe deutlich. Die Kokainproben (K37, K77f, K77, K85, K69) als reale Bodypäckchen zeigten in den Dichtemessungen mit Abstand die dichtesten Werte. Aufgrund der gleichen chemischen Zusammensetzung der Drogenproben während der Druckmessungen bei den jeweiligen Untersuchungen, bei konstanter Feuchtigkeit, Temperatur und konstant festem Aggregatzustand kann

man die unterschiedlich gemessenen Dichtewerte nur auf die unterschiedlichen Kompressionsgrade zurückführen. Je höher der Druck, desto höher die Dichte und kleiner das Volumen - gemäß des physikalischen Gesetzes $\text{Dichte} = \text{Masse}/\text{Volumen}$ [62, 92].

Die Drogenprobe K37 erreichte unter standardisierter Kompression ab der Kompressionsstufe 5 (2630 kPa) als einzige Probe innerhalb der Messreihe ähnliche Dichtewerte wie als Ursprungsdrogenpäckchen. Das lässt darauf schließen, dass das Drogenpäckchen K37 mit einer ähnlichen Druckkraft bei der Herstellung mechanisch komprimiert wurde. Alle anderen Kokaingebinde hatten als reales Drogenpäckchen weit höhere Dichtewerte verglichen mit der standardisierten Kompression. Sie wurden daher ursprünglich mit weit mehr als 5260 kPa komprimiert bzw. mit einem entsprechend höheren Druck als 1000 Newton (ca. 100 kg) erstellt, wie die von uns genutzten Hochdruckspritzen. Man kann davon ausgehen, dass bei der Verwendung dieser hohen Drücke alle realen Drogenpäckchen mechanisch und mit größerem technischen Aufwand hergestellt wurden. Dies gilt auch für die Heroinprobe H38s (Stein) welche eine noch höhere Dichte als innerhalb der Spritze in der höchsten Kompressionsstufe im Kompressionsversuch aufwies, weshalb diese mit einem weitaus höheren Druck mechanisch gepresst worden sein muss. Wie in der Literatur bereits beschrieben, sind wir aufgrund unserer Ergebnisse ebenfalls der Meinung, dass die Dichtewerte von Kokain und Heroin stark von der Kompression und somit vom Herstellungsprozess abhängig sind [5, 39, 65, 93].

4.3.2. Rückschluss der mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodystuffers

Die manuell gepressten Kunststoffbehälter waren vergleichbar mit Drogenpäckchen eines Bodystuffers, der bei Gefahr der Entdeckung der Drogen durch die Polizei/Zoll diese manuell presst, um sie spontan zu verschlucken. Die gemessenen Dichtewerte der manuell gepressten Drogenproben, bezogen auf die gemessenen Dichtewerte im Kompressionsversuch, lagen im relativ lockeren Druckbereich zwischen Kompressionsstufe 0 und der ersten Kompressionsstufe (526 kPa) und somit unter ca. 10 kg Last auf den Spritzenstempel.

4.3.3. Rückschluss auf die mutmaßlich angewendeten Druckkraft auf ein Drogenpäckchen eines Bodypackers

Die realen Drogenpäckchen K77, K77f, K37, K85, K69 und der „Heroinstein“ H38 hatten stark positive Dichtewerte, die mit Ausnahme des Drogenpäckchens K37 nicht in dem von uns im Kompressionsversuch gemessenen Dichtewertebereich enthalten waren. Die Drogenprobe K77f aus dem feuchten Drogenpäckchen lässt keine genauen Rückschlüsse auf den angewendeten Verpackungsdruck zu, illustriert aber bei ansonsten gleicher chemischer Zusammensetzung und mutmaßlich ähnlichem Verpackungsdruck wie die Probe K77 den Einfluss eines erhöhten Feuchtigkeitsgehaltes mit dem resultierenden Erscheinungsbild einer nahezu doppelt so hohen Kompression.

Die initial plausiblen, per linearer Extrapolation gewonnen angewendeten Druckwerte für die realen Bodypacks lagen zwischen 12353 kPa und 13712 kPa, entsprechend einem Druck von 2350-2600 N bzw. einer Last von ca. 235-260 kg auf den Spritzenstempel und einem theoretischen Binnendruck in der Spritze von bis zu 137 bar. Unsere Messapparatur war allerdings auf bereits 1000 N limitiert, die Spritzen für die Anwendung bis 20 bar gedacht.

Für den Heroinblock H38 wurde ein Kompressionsdruck von 15291 kPa und somit ein Druck von 2900 N extrapoliert.

Bei genauer Betrachtung der Kompressionskurvenverläufe erscheinen sie jedoch nahezu logarithmisch, was eine falsche, weil zu niedrige Druckabschätzung über die lineare Extrapolation wahrscheinlich macht.

Die logarithmisch extrapolierten Druckwerte lagen für die Herstellung der Kokainbodypacks zwischen 3110 N und 5410 N und für den Heroinblock bei immensen 11810 N, also einer theoretischen benötigten Last von ca. 1,2 Tonnen auf den Spritzenstempel bzw. einem Spritzenbinnendruck von 631 bar. Insgesamt kann man aufgrund der Extrapolationsergebnisse und dem Vorliegen der Bodypacks nach bereits erfolgter Druckentlastung mit aller Vorsicht von einer hohen Spannweite der maschinellen Fertigungsdrücke und bis zu mehreren 1000 N ausgehen.

4.4. Einfluss der Drogenprobeneigenschaften auf die Dichtewerte

Das Problem der meisten bisher durchgeführten Dichtemessungen ist es, den Einfluss des Herstellungsprozesses von dem Einfluss der chemischen

Zusammensetzung der Drogensorte zu unterscheiden. Es wurden deshalb in unserem Kompressionsversuch standardisierte Druckstufen verwendet. Damit konnte man den Einfluss der Kompression durch den Herstellungsprozess (maschinell, manuell) auf die Dichtewerte ausschließen und selbst bestimmen. Es konnte bei der Beurteilung der Dichtewerte der Einfluss der Kompression durch den Herstellungsprozess auf die Dichtewerte (HE) ausgeschlossen werden. Die Kokain- und Heroinproben zeigten unterschiedliche Dichtewerte in jeder identischen Druckstufe innerhalb der Spritzen. Aufgrund der gleichen Druckausübung auf die Kokain- und Heroinproben konnte der Einfluss des Druckes kein Grund für die unterschiedlichen HE Werte darstellen. Die Dichteunterschiede lassen sich nur aufgrund der unterschiedlichen chemischen Eigenschaften und/ oder Streckmittelzugabe der jeweiligen Drogenprobe zurückführen.

In unserer Untersuchung war die Vielfalt der Drogensorten (Konzentration, Streckmittel, Eigenschaft) durch die Analyse des Landeskriminalamtes bekannt und wurde in der Interpretation der Dichtewerte berücksichtigt.

Aufgrund der Überschneidungen der HE Werte von Kokain und Heroin war eine klare Zuordnung der Drogenproben zu der jeweiligen Drogensorte Heroin oder Kokain anhand der gemessenen Dichtewerten nicht möglich.

4.4.1. Einfluss der Drogenkonzentration und der Streckmittel auf die Dichtewerte

Im Drogenhandel wird das Drogenmaterial in der Regel mit dem Ziel einer Profitsteigerung mit unterschiedlichen Streckmitteln verlängert. Man kann davon ausgehen, dass ein hoher Streckmittelanteil in einem Drogenpäckchen die Reinheit der Droge reduziert. Deshalb sind die gemessenen Eigenschaften entsprechend anteilig durch das Streckmittel beeinflusst. Es kann zu Veränderungen im CT-Scan und der Dichtewerte führen [62]. Die Drogenprobe mit der Konzentration (78%, K78) ohne Streckmittelzugabe hatte im lockeren und im manuell gepressten Zustand die geringsten Dichtewerte. Bei den Heroinproben hatte die Probe mit der höheren Konzentration (38%, H38) im lockeren Zustand ebenfalls minimal geringere Dichtewerte als die Heroinsorte mit dem niedrigeren Konzentrationsgrad. Ebenso zeigten sowohl die reine Kokainbase mit 89,17% Konzentration als auch K78 die lockersten Dichtewerte zwischen -717 HE bis -595 HE mit einem Mittelwert von -567 HE aller Kokainproben; auch die reine Heroinprobe mit 99,44% Konzentration hatte

ebenso hohe Dichtewerte zwischen -488 HE und -370 HE mit einem Mittelwert von -430 HE verglichen mit den anderen Heroinproben. Bei beiden Drogensorten hatten die Proben mit hohem Konzentrationsgehalt die geringsten Dichtewerte. Bezüglich der Drogensorte Kokain unterstützen wir damit die Beobachtungen der Veröffentlichung von Pache et al., dass die CT-Dichte von Kokain mit zunehmender Konzentration abnimmt (-200 HE). Sie beschreiben in ihrer Studie eine steigende Gesamtdichte bei prozentual abnehmendem Kokaingehalt [67]. In unserer Untersuchung hat die Kokainprobe K37 passend dazu mit kleinerem Konzentrationsgehalt von 37% - nach der ersten Kompressionsstufe innerhalb der Spritze - die höchsten Dichtewerte. Das könnte an dem niedrigen Konzentrationsgehalt vom Kokain K37 (37%) liegen, allerdings zeigten die anderen von uns untersuchten Kokainproben (K21, 21% und K36, 36%) mit niedrigerem Konzentrationsgehalt niedrigere HE Werte. Eine Erklärung für die hohen Dichtewerte könnten die zahlreichen Streckmittelzusätze der Drogenprobe (Lidocain, Levamisol, Phenacetin, Procain, Weinstein) sein, da die Kokainprobe K37 im Vergleich zu den anderen gemessenen Drogenproben diejenige Probe ist mit den meisten Streckmittelbeimischungen. Unter Berücksichtigung der Streckmittelzusätze und deren Konzentrationsgrad in der Droge fiel auf, dass die 37% Kokainprobe mit den meisten Streckmittelzusätzen sich im Vergleich zu den hoch konzentrierten Drogenproben mit keinem oder geringem Streckmittelzusatz besser komprimieren lies und die höchsten Dichtewerte zeigte - auch höhere Dichtewerte als beide Heroinproben.

Im Vergleich der Dichtewerte der Streckmittel miteinander lag Mannit im Kompressionsversuch zwischen den Dichtewerten unterhalb von Kokainhydrochlorid und oberhalb der Werte zwischen der Kokainbase und der Heroinproben. Im lockeren Zustand und nach manueller Kompression zeigte Paracetamol Dichtewerte ähnlich wie die Heroinprobe H38 ebenso im lockeren Zustand und nach manueller Kompression. Nach starker Kompression ohne Druckausübung hatte Paracetamol dreimal so hohe Dichtewerte wie die Probe H38 unter gleichen Kompressionsbedingungen und geringfügig dichtere Werte als Mannit. Paracetamol konnte dementsprechend stärker komprimiert werden als beide Heroinproben und konnte in der Kompressionsstufe „Post“ mit der Komprimierbarkeit mit der Kokainprobe K78 verglichen werden. Die Probe mit Koffein zeigte im lockeren Zustand Dichtewerte ähnlich wie die Kokainprobe K69 (mit vielen Streckmittelzusätzen) im lockeren Zustand. Nach manueller Kompression war die

Dichte der Streckmittelprobe Koffein höher als die der komprimierten Kokain- und Heroinproben. In Kompressionsstufe „Post“ hatte die Koffeinprobe dichtere Werte als beide Heroinproben und lag im Dichtewertebereich etwas höher als die Kokainbase K85. Insgesamt lagen die Dichtewerte der Streckmittel besonders nach Kompression eher im hohen Bereich. Daraus kann man schließen, dass bei hohem Streckmittelanteil der Droge die Konzentration reduziert ist und die Droge komprimierbarer ist.

4.4.2. Einfluss des Drogenprobenzustandes im feuchten und im trockenen Zustand auf die Dichtewerte

Von der Kokainprobe K77f wurden als reales Bodypäckchen kurz nach Ausscheidung aus dem Körper des Bodypackers die Dichtewerte im feuchten Zustand gemessen: sie wiesen hohe Dichtewerte von 257 HE auf. Die Dichtemessung der Drogensorte K77 als Drogenpäckchen im trockenen Zustand ergab geringere Dichte mit 130 HE. Nach Öffnung und Analyse der Drogenpäckchen im Landeskriminalamt war die Drogenprobe K77f während unserer Untersuchung innerhalb der Spritzen unter standardisierter Kompression im trockenen Zustand gemessen worden. Die Dichtewerte waren im Vergleich zu den Drogenpäckchen K77f und K77 weitaus geringer. Auch unter stärkster Kompression lag die Dichte bei 20 HE nicht annähernd in dem hohen positiven Dichtebereich wie innerhalb des Drogenpäckchens. Die Drogenprobe K77f hatte im trockenen Zustand innerhalb der Spritzen bei allen Kompressionsstufen stärker negative CT-Dichtewerte und damit viel geringere Dichtewerte als die Kokainprobe K77.

Aufgrund der gleichen chemischen Zusammensetzung (Konzentration, Streckmittel, Kokainhydrochlorid) kann angenommen werden, dass die dichteren Werte von K77f der originalen Drogenpäckchen nach der Ausscheidung des Bodypackers nur aus dem feuchten Zustand resultieren. Ebenso ist auffällig, dass die Kokainprobe K77f im trockenen Zustand stark an Dichte abnimmt und konstantere Dichtewerte annimmt.

In den CT-Scans erkennt man bei beiden feuchten Proben K77f und K69f als Bodypäckchen - verglichen mit den gleichen Drogensorten im trockenen Zustand (Spritze) - unterschiedliche Graustufen (feuchter Zustand hyperdenser als trockener). Im trockenen Zustand beim Kompressionsversuch sehen die beiden Drogenproben K77f und K77 bereits visuell fast identisch aus (Abbildung 11 c, 15, 16). Eine Erklärung dafür wäre, dass sich einerseits die Beschaffenheit der Drogensorte im

feuchten Zustand durch Verdrängung von Lufteinschlüssen durch das Wasser so verändert, dass die Kokainprobe eine höhere Dichte erreicht oder andererseits kristalline Strukturen sich besser aneinanderlagern und in der CT verglichen mit dem trockenen Zustand anders darstellen.

Man kann davon ausgehen, dass die Druckkraft, die bei der Herstellung auf die Probe K77f gewirkt hat, aufgrund des feuchten Zustandes der Probe falsch hoch berechnet wurde (in Tabelle 5 mit linearer Extrapolation 25335 kPa, bzw. über logarithmische Extrapolation in Tabelle 6 sogar jenseits der 62500 kPa). Eine genaue Begründung der unterschiedlichen Dichtewerte der Drogenproben und das veränderte Aussehen der Drogenproben K77 und K77f lässt sich allerdings nicht eruieren, da diese auch durch eine unterschiedliche Pressung bei der Herstellung resultieren könnte.

4.5. Schlussfolgerung und praktische Anwendung

In unseren Untersuchungen haben wir festgestellt, dass sich die Dichtewerte der Drogenproben abhängig vom Herstellungsprozess stark verändern. Außerdem konnte beobachtet werden, dass die Reinheit der Drogenproben Einfluss auf die Dichtewerte hat. In unseren Versuchen schlossen wir jeweils einer der oben genannten Einflüsse auf die Droge aus und beobachteten dennoch starke Veränderungen der Dichtewerte.

Wie in der Literatur beschrieben, wiesen in unseren Untersuchungen die Dichtewerte der Kokainprobe im hoch komprimierten Zustand höhere HE Werte als die Heroinproben auf. Aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs und durch die Überschneidung der Dichtewerte von Kokain und Heroin in unserer Untersuchung kann im klinischen Alltag anhand der Dichtewerte weiterhin nicht direkt auf die gesuchte Drogensorte Kokain oder Heroin geschlossen werden. Zusätzlich erschwert die nicht bekannte chemische Zusammensetzung der aufgespürten Drogensorte (Drogenkonzentration und Streckmittelzusätze) die Unterscheidung der illegalen Drogensorten. Bei unbekannter Drogensorte und unbekanntem Kompressionsgrad (Herstellung) kann bei Drogenpäckchen mit sehr hohen HE-Werten allerdings davon ausgegangen werden, dass diese maschinell hergestellt wurden und je nach Dichteverteilung innerhalb des Päckchens auf die Richtung des einwirkenden Pressdrucks während der Herstellung schließen. Genaue Aussagen für eine Unterscheidbarkeit der Drogen Kokain und Heroin im klinischen Alltag in der CT

können in diesem Fall nicht gemacht werden. Dennoch können die von uns beobachteten typischen Merkmale und Verhaltensmuster der Drogenproben wegweisend sein für eine Unterscheidung Kokain und Heroin bei Bodypackern. Für eine Unterscheidung der Drogensorten Kokain und Heroin können folgende Beobachtungen aus unseren Untersuchungen hilfreich sein:

- Kokainproben lassen sich von Heroinproben unter hoher Kompression besser anhand der Dichtewerte unterscheiden als im lockeren oder nur leicht komprimierten Zustand. Sind die Dichtewerte eines gemessenen Drogenpäckchens eines Bodypackers im stark gepressten Zustand sehr hoch, dann spricht es eher für Kokain.
- Kokain konnte effektiver komprimiert werden als Heroin
- Nach Kompressionsrückgang verlor Kokain schneller an Dichte
- Kokainbase war weniger dicht als Kokainhydrochlorid, aber dichter als Heroinbase
- Feuchtes Kokain führte bei gleicher Kompression zu höheren Dichtewerten als trockenes Kokain
- Je höher die Drogenkonzentration, desto niedriger war generell die Dichte
- Die Streckmittel hatten hohe Dichtewerte. Bei hohem Streckmittelanteil der Drogenprobe war die Drogenkonzentration selbsterklärend reduziert, die Drogenprobe dadurch aber effektiver komprimierbar
- Drogenpäckchen eines Bodypackers sind aufgrund des Herstellungsprozesses und des stabilisierenden Verpackungsmaterials im Zentrum weniger dicht als in der Peripherie
- Die Druckkraft, die auf ein manuell gepresstes Drogenpäckchen eines simulierten Budystuffers wirkte, lag in dem Bereich von 52 - 462 kPa
- Die Druckkraft, die auf ein maschinell hergestelltes Drogenpäckchen wirkte, lag in dem Bereich zwischen 2679 und einem durch Extrapolation abgeschätzten Maximalwert von 15291 kPa, entsprechend einer komprimierenden Last von ca. 290 kg.

Durch den Rückschluss auf die Druckkraft mithilfe unserer extrapolierten Kompressionskurve könnte es für die Drogenschmuggler bei der Herstellung der Bodypacks von Nutzen sein zu wissen, bei welcher Druckkraft welche Dichte in der CT erreicht wird, um möglichst eine Detektion der Bodypacks zu vermeiden. Eine ähnliche Dichte der Bodypacks wie z.B. Stuhl (Kotballen) könnte das Aufspüren

erschweren. Um die Gefahr eines solchen Missbrauchs zu reduzieren, sollte mit den Ergebnissen dieser Arbeit umsichtig umgegangen werden.

Weitere Ansätze zur Unterscheidbarkeit der Drogensorten Kokain und Heroin wurden bereits untersucht. Aus unserer Arbeitsgruppe beschreiben Grimm et al., dass im klinischen Alltag mithilfe von Dual Energy Scans die Steigungsunterschiede der produzierten spektralen Kurven und der Dual Energy Index (DEI) zur Unterscheidbarkeit von Kokain und Heroin unabhängig von der Kompression und Konzentration in vitro zu Nutzen machen könnte [62]. Laberke et al. stützen die Aussage dass für eine Unterscheidbarkeit von Heroin und Kokain in der CT der DEI angewendet werden kann [97]. Dieser Ansatz sollte aufgrund von Limitationen für die Anwendung im klinischen Alltag noch in weiteren Studien untersucht werden [62]. Aus unserer Arbeitsgruppe hat beispielsweise R. Wudy in ihrer bisher noch nicht veröffentlichten Dissertation (laufendes Promotionsverfahren) die Unterscheidbarkeit von Heroin und Kokain mithilfe von Spektralkurven und DEI untersucht [94].

Schlussfolgernd kann keine klare Abgrenzbarkeit von Kokain und Heroin gemacht werden, solange die Konzentration und der Kompressionsgrad der Drogenproben nicht identisch oder dem Untersucher bekannt sind. Ohne weitere Angaben können auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse unserer Arbeit Heroin und Kokain mit CT nicht sicher unterschieden werden. Andererseits zeigt die Arbeit, dass dies für den Fall bekannter Konzentration und/oder Kompression zumindest zu großen Teilen durchaus möglich erscheint. Im Rahmen einer zweiten noch nicht veröffentlichten Arbeit von R. Wudy (laufendes Promotionsverfahren) [94] zu diesem Thema wurde versucht die Substanzen mittels Dual Energy CT zu differenzieren.

Es bleibt abzuwarten, ob zukünftige Studien die bisher untersuchten Ansätze zur Unterscheidbarkeit von Kokain und Heroin stützen und weitere alternative Unterscheidungsmerkmale von Kokain und Heroin für die Anwendung im klinischen/forensischen Alltag entdeckt werden.

Sinnvoll als Gegenstand künftiger Forschungsprojekte erscheinen folgende Ansätze:

- Eine Kombination aus CT-Dichtemessung und Dual-Energy-CT-Spektralanalyse näher zu beleuchten.

- Eine Weiterentwicklung der Erkenntnisse über möglichst sensitiven, strahlenreduzierten und günstigen Diagnostikmethoden zur Identifikation von inkorporalen Drogen wie die der Low Dose CT.
- ähnliche Studien zur Dichtemessung an anderer Geräteausstattung und höheren Druckstufen durchzuführen.
- das Dichtewertespektrum weiterer Drogensorten auszubauen und in Kombination mit unseren Dichtewerten eine Art Maßstab oder Übersicht zusammenzufassen, um die Wahrscheinlichkeit der Drogensorte im klinischen Alltag besser einschätzen, ablesen und/oder berechnen zu können.
- weitere „neuere“ Drogensorten wie Crystal Meth (Methamphetamin) und nicht komprimierbare flüssige Drogengebinde sogenannte „liquid drugs“ zu untersuchen.

4.6. Limitationen

Es stand uns nur eine kleine Anzahl an Untersuchungsproben zur Verfügung, weshalb nur ein entsprechend begrenzter Stichprobenumfang gegeben war. Insbesondere konnten nur zwei Heroingebinde untersucht werden. Diese stammten ursprünglich von einem Bodypacker, konnten aber nicht - wie die Kokainpäckchen - auch als reales Bodypäckchen untersucht werden, da diese zu dem Zeitpunkt unserer Untersuchung durch das Landeskriminalamt bereits eröffnet und die Zusammensetzung der Droge analysiert war. Eine Beurteilung des Einflusses von Streckmitteln auf die Drogensorte war nur begrenzt möglich, da die Anzahl an Streckmitteln im Verhältnis zu der Anzahl an Drogenproben hoch war. Man kann davon ausgehen, dass die Konzentration der geschmuggelten Drogen eines Bodypackers relativ hoch ist und der Streckmittelanteil dementsprechend niedriger, damit sich der inkorporierte Transport finanziell lohnt. Deshalb ist der Einfluss der Streckmittel auf die Drogen bei einem Bodypacker eher niedriger, verglichen mit den angepassten Drogenkonzentrationen eines Verbrauchers [62]. Außerdem sollte beachtet werden, dass die Untersuchungen jeweils *in vitro* getätigt wurden. Es müssten weitere Untersuchungen anhand von Tiermodellen und/oder *in vivo* durchgeführt werden um weitere Aussagen für den klinischen und radiologisch-forensischen Alltag tätigen zu können. Weitere Limitationen sind die Begrenzung unserer Untersuchungen auf ein CT-Gerät eines Herstellers und das durch den technischen Aufbau gegebene Limit des höchstmöglichen Druckaufbaus, welcher

vermutlich unter den üblichen Möglichkeiten mechanischen Kompression beim Bodypacking liegt. Daher sollten ähnliche Studien an anderer Geräteausstattung und mit mindestens 10-fach höheren Druckstufen wiederholt werden, um unsere Abschätzungen mittels Interpolation zu überprüfen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Bodypacker sind meist junge Kuriere, die illegale Drogen (fast immer Kokain oder Heroin) inkorporieren, um diese über internationale Grenzen zu transportieren. Im Rahmen der strafrechtlichen Verfolgung kann ärztlichem Personal angeordnet werden, als Sachverständige zu fungieren. Falls es aufgrund defekter Verpackungen zu systemischen Intoxikationserscheinungen oder zum akuten Abdomen kommt, werden Bodypacker dadurch zu Patienten mit entsprechender Veränderung der ärztlichen Rolle. Neben Anamnese, körperlicher und laborgestützter Untersuchung, sind bildgebende Verfahren das wichtigste diagnostische Hilfsmittel. Hierbei besitzt die CT auch bei Verwendung strahlendosis-reduzierter Protokolle die höchste Genauigkeit. Wünschenswert wäre eine in vivo Bestimmung der Drogensorte, um weitere Schutzmaßnahmen vor einer eventuell notwendigen minimal-invasiven oder operativen Bergung treffen zu können. Sind medikamentöse Antagonisten verfügbar, könnten Intoxikationen teilweise sogar ganz konservativ behandelt werden, wie z.B. bei Heroin mit Naloxon. Entsprechend der Methode bietet sich der Versuch einer Differenzierung anhand der CT-Dichte an, wofür Werte bei geringer Drogenkompression zwar vorbeschrieben sind, aber der Einfluss von hoher Kompression und variablem Versatz der Drogen mit Streckmitteln bislang unklar ist.

Ziel dieser Arbeit war es in einer experimentellen Studie zu untersuchen, inwiefern sich die CT-Dichte und Konzentration von Kokain und Heroin in Abhängigkeit von Kompression verändern und welchen Einfluss typische Streckmittel dabei haben.

Material und Methoden: Alle Untersuchungen wurden mit Standard-CT unter behördlicher Aufsicht durchgeführt. Das Landeskriminalamt stellte Kokain- und Heroin- Proben mit unterschiedlicher Reinheit einerseits als analysierte Drogenpulver und andererseits als originäre Bodypacks zur Verfügung. Erstere waren in einem lockeren, in einem manuell komprimierten, sowie eine Probe in extrem kompakten Zustand. Zusätzlich wurde eine Auswahl davon in Hochdruck-Spritzen gefüllt und standardisiert mit 100 bis 1000 N komprimiert. Die verfügbaren originären Drogenpäckchen beinhalteten Kokain mit unbekannter Kompression und dienten für einen realistischen Vergleich und zur Abschätzung ihrer Kompressionsstärke. Die Auswertung erfolgte anhand gemittelter CT-Dichtewerte jeweils in Hounsfield-

Einheiten (HE), welche anhand einer jeweils möglichst großen, kreisförmigen „Region of Interest“ (ROI) innerhalb der Probe ermittelt wurde.

Ergebnisse: Bei gleicher Substanz oder Substanzmischung stieg die Dichte mit dem Druck entsprechend der Formel „Dichte = Masse/Volumen“ an. Bei maschinell hergestellten Drogenpäckchen war die ursprüngliche Kompression teilweise stärker als dies im durchgeführten Experiment möglich war, was in solchen Fällen eine Extrapolation erforderte. Die ermittelten Druckkräfte bei manueller Kompression betrugen 52 bis 462 kPa. Die am stärksten maschinell komprimierten Drogenproben wiesen einen per logarithmischer Extrapolation ermittelten Druck von 62100 kPa für einen Heroinziegel und von 16350 kPa für ein reales Kokain-Bodypack auf. Die Dichte schwankte zwischen niedriger bis hoher Kompression für Kokain zwischen - 717 HE bis +222 HE und für Heroin zwischen -593 HE bis -52 HE. Maschinell gefertigte Drogenpäckchen waren hierbei im Zentrum weniger dicht als in der Peripherie. Streckmittel senkten naturgemäß die Drogenkonzentration, erhöhten aber jeweils die gemessene Dichte. Kokain wies eine höhere Komprimierbarkeit auf als Heroin, verlor aber bei Kompressionsverlust schneller an Dichte, wobei feuchtes Kokain dichter als trockenes Kokain war.

Diskussion und Interpretation: Bei keiner oder geringer Kompression ergaben sich Werte, welche mit den Ergebnissen bisheriger Literatur übereinstimmten. Während insbesondere bei der Verwendung von Streckmitteln und einer starken Kompression eine hohe CT-Dichte für Kokain und eine niedrige Dichte für Heroin sprachen, bestanden solche Unterschiede bei geringer Kompression nicht. Wesentliche Limitationen waren die Beschränkung der Analyse auf die zur Verfügung gestellten Proben und die fehlende Möglichkeit so hohe Drücke zu erreichen, wie diese bei maschineller Fertigung vorkommen können.

Schlussfolgerung und Ausblick: Eine alleinige Analyse der CT-Dichte erlaubt zwar keine sichere Bestimmung der Drogensorte, kann aber für den häufigen Fall hoher maschineller Kompression wichtige Hinweise für eine Unterscheidung zwischen den am häufigsten transportierten Drogen Heroin und Kokain liefern. Vielversprechend erscheint der Ansatz einer Kombination aus CT-Dichtemessung und Dual-Energy-CT-Spektralanalyse im Zentrum der Packs; dies jedoch sollte Gegenstand künftiger Forschungsprojekte sein.

6. ABKÜRZUNGEN

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cGy	Zentigray
cm ²	Quadratzentimeter
CT	Computertomographie
CTDI	Computed Tomography Dose Index
DD	Differentialdiagnose
DEI	Dual-Energy-Index
DLP	Dosis-Längen-Produkt, applizierte Gesamtdosis einer CT Untersuchung
EEG	Elektroenzephalographie
EKG	Elektrokardiogramm
GE	General Electric
H	Heroin
HCL	Hydrochlorid
HE	Hounsfield Einheiten
HD	High Definition
K	Kokain
LSD	Lysergsäurediethylamid
mA	Milliampere
MDCT	Multi Detektor Computertomographie
mGy	Milligray
MRT	Magnetresonanztomographie
mSv	Millisievert
N	Newton
PACS	Picture Archiving and Communication System
ROI	Region of Interest
StPO	Strafprozessordnung
s	Sekunden
USA	United States of America
z.B.	Zum Beispiel

7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1: (a) und (b): Herstellung der Drogenproben im Landeskriminalamt Bayern, Befüllung der Kunststoffbehälter mit Heroin mit einer Konzentration von 38% (H38) [23]. 20
- Abbildung 2: Anordnung der Drogenproben mit Heroin (H) und Kokain (K) in unterschiedlicher Konzentration im lockeren, dichten und mechanisch komprimierten Zustand sowie einer Haschischprobe innerhalb der Kunststoffbehälter in einer Isolierschaumplatte als Matrix; (a) in schematischer Darstellung (b) als Schichtbild eines CT Scans. 22
- Abbildung 3: Birkenperrholz-Haltekonstruktion mit Metallspindel, eingespannter modifizierter Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) im röntgentransparenten Sperrholzblock sowie zwischengeschalteter Kraftmesszelle des elektronischen Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) für die standardisierten Druckmessungen. 26
- Abbildung 4: Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) 26
- Abbildung 5: Füllung der Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) mit der Drogenprobe (a) Kokain mit 78% Konzentration (K78) und (b) Heroin mit 38% Konzentration (H38), an der Vorderseite der Spritze jeweils Verschluss mit einem Combi Stopper - Verschluss in blauer Farbe (B. Braun Melsungen AG, Deutschland). 27
- Abbildung 6: Gefüllte Polycarbonat-Hochdruck-Spritze mit Mannit (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) mit Spritzenverschluss (Combi Stopper Verschlusskonen blau, B. Braun Melsungen AG, Deutschland). 27
- Abbildung 7: Bakterienfiltersystem (Bakterienfilter, PALL Corporation, Porengröße 2 μm) zur Entlüftung/Überdruckabbau an der Vorderseite der Hochdruck-Spritze befestigt zur Verhinderung eines Drogenaustritts. Mit dem Bakterienfilter war die Konstruktion für Partikel der Drogenproben von einer Größe über 2 μm gegenüber der Raumluft nicht durchlässig. 28
- Abbildung 8: Elektronischer Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) zur Messung der eingesetzten Kompressionsdrücke mit einem Messbereich bis 1000 Newton. 28
- Abbildung 9: Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) gefüllt mit der Drogenprobe Mannit, eingespannt in der selbstgebauten Haltekonstruktion innerhalb des CT. (a) Noch ohne Druckausübung. In Scanebene liegt die röntgentransparente Spritze mit Drogenprobe im ebenfalls jeweils röntgentransparenten Birkenholzblockwiderlager (Laserkreuz) und Birkenholzlängsträger. (b) Sagittale CT-Rekonstruktion der Bilddaten nach Kompression mit 1000 Newton mit tief eingedrungenem Spritzenstempel, hochkomprimierter Probe und kraftschlüssiger Positionierung des Spritzenschaftes im Birkenholzblock. Auch der darunter verlaufende Holzlängsträger ist ohne jegliche Artefakte im relevanten Bildbereich dargestellt. Lediglich am linken Bildrand erzeugt das Metallspindellager Artefakte, die jedoch weit außerhalb des Messbereichs liegen. 30

- Abbildung 10: Haltekonstruktion mit eingespannter Polycarbonat-Hochdruck-Spritze (CCSB911, Merit Medical, South Jordan, Utah, USA) angeschlossen an elektronischem Präzisionskraftmesser (PCE- FG 1k, PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland) und Computer während der Untersuchung im CT. 31
- Abbildung 11: Darstellung der mit Heroin- (H) und Kokainproben (K), sowie Mannit als Streckmittel, Luft und Wasser gefüllten Hochdruck-Spritzen, sowie das Body-Pack K37 und den reinen Drogenproben Kokain und Heroin in der Isolierschaumplatte in der Matrix nach Kompression ohne Druckausübung (Matrix „Post“). (a) Foto innerhalb der CT (b) Schematische Darstellung und Anordnung der Drogenproben mit Konzentrationsangaben (c) Schichtbild des durchgeführten CT Scans. 34
- Abbildung 12: Koronare Rekonstruktion des CT-Scans der Drogenpäckchen innerhalb des Bodypackers; es fanden sich insgesamt 44 Drogenpäckchen mit Kokain mit unterschiedlicher Dichte innerhalb des Kolonrahmens. 37
- Abbildung 13: Reale Drogenpäckchen nach Ausscheidung des Bodypackers vor der Säuberung in einer dafür vorgesehenen Plastiktüte. Alle Drogenpäckchen beinhalten die Drogensorte Kokainhydrochlorid mit einer Konzentration von 77% mit Levamisol im feuchten Zustand (K77f) (a) Plastiktüte von außen, sichtbar sind Drogenpäckchen Nr.1.1 und Nr. 1.2 (Abbildung 14) (b) Plastiktüte von innen mit Stuhlresten. 38
- Abbildung 14: Aufreihung der realen Drogenpäckchen (Nr.1.1 - 1.21) des Bodypackers nach Ausscheidung und Säuberung. Sie beinhalten alle die Drogensorte Kokainhydrochlorid mit einer Konzentration von 77% mit Levamisol im feuchten Zustand (K77f). 38
- Abbildung 15: Aufreihung aller 73 realen Kokainpäckchen in unterschiedlicher Konzentration nach Ausscheidung des Bodypackers und Säuberung; (a) im koronar rekonstruierten CT Scan mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (b) schematische Erläuterung der korrespondierenden Kokaingebinde mit unterschiedlicher farblicher Kennzeichnung, gelb: Kokain mit 77% im feuchten Zustand (K77f), grün: Kokain 77% im trockenen Zustand (K77), blau: Kokain mit 85% im trockenen Zustand (K85) und rot: Kokain mit 69% im trockenen Zustand (K69). 39
- Abbildung 16: Aufreihung von 17 realen Kokainpäckchen in unterschiedlicher Konzentration nach Ausscheidung des Bodypackers und Säuberung (Spalte 4 in Abbildung 15) im Querschnitt; (a) Axiale Rekonstruktion des CT Scans und damit Querschnitt durch die realen Drogenpäckchen des Bodypackers mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (b) Schematische Erläuterung der korrespondierenden Kokaingebinde mit unterschiedlicher farblicher Kennzeichnung, gelb: Kokain mit 77% im feuchten Zustand (K77f), grün: Kokain 77% im trockenen Zustand (K77), blau: Kokain mit 85% im trockenen Zustand (K85) und rot: Kokain mit 69% im trockenen Zustand (K69). 40
- Abbildung 17: (a) Schichtbild eines CT Scans mit Anordnung der mit Heroin-, Kokain- und Haschisch gefüllten Kunststoffbehälter in einer Isolierschaumplatte als Matrix (identisch mit Abbildung 2 (b)) (b) Vergrößerte Darstellung des CT Scans (a) mit der Drogenprobe Kokain HCL 21% im lockeren Zustand (K21l) im Kunststoffbehälter bei der

- Dichtewertmessung mithilfe einer ROI, hier exemplarisch angezeigter Mittelwert von -345 HE in einer Fläche von 6,47 cm². 42
- Abbildung 18: (a) Schichtbild eines CT- Scans der mit Heroin- und Kokainproben sowie Mannit als Streckmittel, Luft und Wasser gefüllten Hochdruck-Spritzen sowie das Bodypack K37 und den reinen Drogenproben Kokain und Heroin in der Isolierschaumplatte in der Matrix nach Kompression ohne Druckausübung (Matrix „Post“) (identisch mit Abbildung 11 (c)) (b) Vergrößerte Darstellung des CT Scans (a) mit der Drogenprobe Kokain HCL 21% (K21) innerhalb der Hochdruck-Spritze bei der Dichtewertmessung mithilfe einer ROI und dem Messergebnis -25 HE in einer Fläche von 1,82 cm². 42
- Abbildung 19: (a) Axiale Rekonstruktion des CT Scans von 17 originalen Kokainpäckchen und damit Querschnitt durch die realen Drogenpäckchen des Bodypackers mit unterschiedlichen Graustufen (Dichtedarstellung) der Drogensorten (identisch mit Abbildung 16 (a)) (b) Vergrößerte Darstellung CT Scan (a); herausgegriffen die Drogenprobe Kokainbase 85% (K85) der realen Drogenpäckchen bei der Dichtewertmessung mithilfe einer ROI und dem Messergebnis -4 HE in einer Fläche von 1,87 cm². 43
- Abbildung 20: : Erfasste CT- Dichtewerte in Hounsfield Einheiten (HE) der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen in den axialen Schichten (Schichtnummer) innerhalb der Kunststoffbehälter im lockeren Zustand (l) über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg. 48
- Abbildung 21: Erfasste CT- Dichtewerte in Hounsfield Einheiten (HE) der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen in den axialen Schichten (Schichtnummer) innerhalb der Kunststoffbehälter im manuell gepressten Zustand (d) und eine Heroinprobe als Stein gepresst (s) über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg. 48
- Abbildung 22: Erfasste CT-Dichtewerte in Hounsfield Einheiten der axialen Schichten der Heroin (H)- und Kokain (K)- Drogenproben in unterschiedlichen Konzentrationen innerhalb der Kunststoffbehälter- über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg - im lockeren (l), im manuell gepressten Zustand (d), und eine Heroinprobe als Stein gepresst (H38s) im Vergleich - farblich nach Heroin (rot) und Kokain (blau) aufgeschlüsselt. 49
- Abbildung 23: Erfasste CT-Dichtewerte in Hounsfield Einheiten der axialen Schichten von Heroin mit 20% (H20) und Kokain mit 78% (K78) Konzentration - über deren Gesamtlänge von vorne nach hinten hinweg. (a) Vergleich der Dichtewerte der Kompressionsstufe 0 mit 24 messbaren Schichten (b) Vergleich der Dichtewerte der Kompressionsstufe 10 mit nur noch 5 bzw. 9 messbaren Schichten; die Anzahl der Schichten reduzierte sich bei steigender Kompression auf die Drogenprobe innerhalb der Spritze durch den Spritzenstempel bei konstanten Messabständen; die Probe wurde „kürzer“ - farblich nach Heroin (rot) und Kokain (blau) aufgeschlüsselt. 52
- Abbildung 24: (a) Mittlere Hounsfield-Dichte (HE) der Kokain (K)- und Heroinproben (H) sowie von einem Streckmittel Mannit innerhalb der Spritzen im Vergleich pro standardisierter Druckstufe (Druck in kPa) in der CT und nach Druckentlastung mit Dichteabfall (Post) - farblich nach Heroin

- (rot), Kokain (blau) und Mannit (grün) aufgeschlüsselt (b) Vergleich der Steigung (m); berechnet anhand der Druckstufe 0 und 10 (5260kPa) und der mittleren Hounsfield-Dichte der Kokain- und Heroinkurven aus Abbildungsanteil a; die Kokainproben und das Streckmittel Mannit weisen stärkere Steigungen als die der Heroinproben auf. 54
- Abbildung 25: Darstellung der Hounsfield-Dichte (HE) der Drogengebinde innerhalb der Kunststoffbehälter mit manueller Kompression (grün) gemeinsam mit den mechanischen Kompressionskurven von Kokain (K, blau)- und Heroinproben (H, rot). Die Dichte der manuell komprimierten Proben lag jeweils zwischen dem ersten und zweiten Messpunkt der entsprechenden mechanischen Kompressionskurve. Entsprechend erfolgte die jeweilige Ermittlung des Druckes und Darstellung als grüne Punkte (a) Komplette Darstellung der Kurven (identisch mit Abbildung 24 a); (b) Vergrößerte Darstellung der niedrigen Kompressionsdrücke. 56
- Abbildung 26: Vergleich der ermittelten CT-Dichtewerte in Hounsfield-Einheiten (HE) innerhalb der realen Bodypäckchen mit Kokain (K)- und Heroinproben (H) in unterschiedlicher Reinheit im feuchten (f) und trockenen Zustand entlang deren Längsachsen von vorne nach hinten pro Schicht (Schichtnummer) gemessen - die Kokainpäckchen variierten in ihrer Größe und damit auch in ihrer Schichtanzahl; K37 war das größte Päckchen mit 21 Schichten. 58
- Abbildung 27: Lineare Extrapolation der Dichtewerte der Kokain (K)- und Heroinproben (H) über die Kompressionsstufen 7-10 des Kompressionsversuchs und Darstellung der Dichtewerte der realen Drogenpäckchen K77, K77f, K37, K85, K69 (jeweils rote Raute) und H38 (blaue Raute) mit Rückschlussmöglichkeit auf den angewandten Druck. Das messtechnisch verfälschte Drogenpäckchen K77f wurde belassen um den Feuchtigkeitseinfluss zu veranschaulichen. 59
- Abbildung 28: Logarithmische Extrapolation der Dichtewerte ab der Druckstufe 5260 kPa und Darstellung der Dichtewerte der erfassten realen Drogenpäckchen Kokain (K) und Heroin (H) mit unterschiedlicher Reinheit K77, K37, K85, K69 (rote Raute) und H38 (blaue Raute). 61
- Abbildung 29: Vergleich der Streubreite der gemessenen Hounsfield-Dichtewerte verschiedener Proben: Drogenproben und Streckmitteln in lockerer Form und händisch komprimiert in den Kunststoffbehältern sowie in der standardisierten Kompressionsreihe und als reale Bodypacks in der CT- farblich abgegrenzt: Heroin (blau), Kokain (rot), Paracetamol (grün), Koffein (grau) und Mannit (orange). 63
- Abbildung 30: Berichtete Dichtewerte (HE) für Heroin und Kokain aus der Literatur bis heute unabhängig von Konzentration und Kompressionsgrad. Es wurde nur jeweils der kleinste und der größte gemessene Dichtewert berücksichtigt und in der Abbildung dargestellt. 67

8. TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Charakteristika und Zusammensetzung der Drogenproben innerhalb der Kunststoffbehälter ohne standardisierte Kompression.</i>	21
<i>Tabelle 2: Charakteristika und Zusammensetzung der Drogenproben innerhalb der Hochdruck-Spritzen unter standardisierter Kompression</i>	24
<i>Tabelle 3: Auflistung der angewendeten Drücke der einzelnen Kompressionsstufen auf die Hochdruckspritze, bzw. der davon ableitbare direkte flächenbezogene Druck auf die verwendeten Drogenproben (Newton, kPa, bar). In Kompressionsstufe „Post“ wurden die mit Drogenproben gefüllten Hochdruckspritzen im bereits komprimierten Zustand (nach Kompressionsstufe 0-10) ohne Druckausübung in der CT gescannt.</i>	32
<i>Tabelle 4: Ergebnis der Berechnung der mutmaßlichen ursprünglichen Druckkraft (kPa) zur Erzielung der Kompressionsdichte in Hounsfield Einheiten (HE) innerhalb der Kunststoffbehälter von Kokain (K)- und Heroinproben (H) in unterschiedlicher Reinheit anhand der Steigung der Kompressionsgeraden.</i>	55
<i>Tabelle 5: Lineare Extrapolation der mutmaßlichen Druckkraft (x) in kPa zur Erzielung der Kompressionsdichte (y) in Hounsfield-Einheiten (HE) für reale Kokain- und Heroinpäckchen (H) anhand der Formel $y = m \times x + b$; die Gleichungsparameter m und b wurden über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate pro Probe ermittelt.</i>	58
<i>Tabelle 6: Logarithmische Extrapolation der mutmaßlichen Druckkraft (x) in kPa zur Erzielung der Kompressionsdichte (y) in Hounsfield-Einheiten (HE) für reale Kokain (K)- und Heroinpäckchen (H) anhand der Formel $y = m \times \ln(x) + b$; die Gleichungsparameter m und b wurden über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate pro Probe ermittelt.</i>	60

9. LITERATURVERZEICHNIS

1. World Drug Report 2017.
(United Nations Publication) In: United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC)
https://www.unodc.org/wdr2017/field/Booklet_2_HEALTH.pdf, abgerufen 03.01.2018
2. Schmidt S, Hugli O, Rizzo E, et al. (2008)
Detection of ingested cocaine-filled packets- Diagnostic value of unenhanced CT
Eur J Radiol, 67: 133-138
3. Cawich SO, Williams EW, Simpson LK, et al. (2008)
Treating cocaine body packers: the unspoken personal risks
J Forensic Leg Med, 15: 231-234
4. Traub SJ, Hoffman RS, Nelson LS (2003)
Body packing - the internal concealment of illicit drugs
N Engl J Med, 349: 2519-2526
5. Hergan K, Kofler K, Oser W (2004)
Drug smuggling by body packing: what radiologists should know about it
Eur Radiol, 14: 736-742
6. Gsell M, Perrig M, Eichelberger M, et al. (2010)
Body-Packer & Body-Stuffer - eine medizinische Herausforderung
Praxis, 99: 533-544
7. 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
8. 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
Eur J Radiol, 81: 2518-2526
9. Robins JB, Rae PW (1986)
Recovery of ingested heroin packets
Arch Emerg Med, 3: 125-127
10. Leo PJ, Sachter JJ, Melrose M (1995)
Heroin bodypacking
J Accid Emerg Med, 12: 43-48

11. Saha S (2009)
Body packing: a case of intestinal heroin transport
Mayo Clin Proc, 84: 1151
12. Beauverd Y, Poletti PA, Wolff H, et al. (2011)
A body-packer with a cocaine bag stuck in the stomach
World J Radiol, 3: 155-158
13. Koehler SA, Ladham S, Rozin L, et al. (2005)
The risk of body packing: a case of a fatal cocaine overdose
Forensic Sci Int, 151: 81-84
14. Moreira M, Buchanan J, Heard K (2011)
Validation of a 6-hour observation period for cocaine body stuffers
Am J Emerg Med, 29: 299-303
15. Dassel PM, Punjabi E (1979)
Ingested marihuana-filled balloons
Gastroenterology, 76: 166-169
16. Deitel M, Syed AK (1973)
Intestinal obstruction by an unusual foreign body
Can Med Assoc J, 109: 211-212
17. Soriano-Perez MJ, Serrano-Carrillo JL, Marin-Montin I, et al. (2009)
Hashish body packing: a case report
Case Report Med, 2009: 1-3
18. Watson CJE, Thomson HJ, Johnston PS (1991)
Body-packing with amphetamines - an indication for surgery
J R Soc Med, 84: 311-312
19. Krishnan A, Brown R (1999)
Plain abdominal radiography in the diagnosis of the "body packer"
J Accid Emerg Med, 16: 381
20. Wetli CV, Mittlemann RE (1981)
The "body packer syndrome" - toxicity following ingestion of illicit drugs packaged for transportation
J Forensic Sci, 26: 492-500
21. Laitenberger MC (2005)
Klinische und rechtsmedizinische Aspekte des intestinalen Rauschmitteltransportes in Hamburg 1989 bis 2004
Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf:
p. 70

22. Wackerle B, Rupp N, von Clarmann M, et al. (1986)
Nachweis von Rauschgiftpäckchen beim "Body-Packer" durch bildgebende Verfahren. Untersuchungen in vitro und in vivo.
Rofo, 145: 274-277

23. Ziegeler E (2014)
Ein am Schweinmodell optimierter Algorithmus zur bildgebenden Detektion inkorporierter Päckchen von Drogenkurieren (Bodypackern)
Institut für Klinische Radiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München:
p. 69

24. Ziegeler E, Grimm JM, Wirth S, et al. (2012)
Computed tomography scout views vs. conventional radiography in body-packers - delineation of body-packs and radiation dose in a porcine model
Eur J Radiol, 81: 3883-3889

25. Goertemoeller S, Behrman A (2006)
The Risky Business of Body Packers and Body Stuffers
J Emerg Nurs, 32: 541-544

26. Keyes DC (2004)
Body packers and stuffers.
Medical toxicology, ed. Dart, D. Vol. 3rd. 2004, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 59-61.

27. Lutz FU, Reuhl J (1992)
Body packing as a fatal risk--results of a questionnaire survey in Western Europe
Beitr Gerichtl Med, 50: 211-214

28. Mebane C, DeVito JJ (1975)
Cocain intoxication: a unique case
J Fla Med Assoc, 62: 19-20

29. De Bakker JK, Nanayakkara PW, Geeraedts LMGJ, et al. (2011)
Body packers: a plea for conservative treatment
Langenbecks Arch Surg, 397: 125-130

30. Silverberg D, Menes T, Kim U (2006)
Surgery for "body packers" - a 15-year experience
World J Surg, 30: 541-546

31. Schaper A, Hofmann R, Ebbecke M, et al. (2003)
Cocaine-body-packing. Infrequent indication for laparotomy
Chirurg, 74: 626-631

32. Gerchow J, Mebs D, Raudonat HW, et al. (1983)
Accidents to drug smugglers: the "body-packer" syndrome
Dtsch Med Wochenschr, 108: 1001-1002

33. Püschel K, Stein S, Stobbe S, et al. (2004)
Analysis of 683 drug packages seized from "body stuffers"
Forensic Sci Int, 140: 109-111
34. Heinemann A, Miyaishi S, Iwersen S, et al. (1998)
Body-packing as cause of unexpected sudden death
Forensic Sci Int, 92: 1-10
35. Cordero DR, Medina C, Helfgott A (2006)
Cocaine body packing in pregnancy
Ann Emerg Med, 48: 323-325
36. Traub SJ, Kohn GL, Hoffman RS, et al. (2003)
Pediatric "body packing"
Arch Pediatr Adolesc Med, 157: 174-177
37. Beno S, Calello D, Baluffi A, et al. (2005)
Pediatric body packing: drug smuggling reaches a new low
Pediatr Emerg Care, 21: 744-746
38. §75 StPO In: Gesetze im Netz, Bundesministerium der Justiz, Berlin
https://www.gesetze-im-internet.de/stpo/__75.html, abgerufen August 2017
39. 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, 184: 122-129
40. § 81a StPO In: Gesetze im Netz, Bundesministerium der Justiz, Berlin
https://www.gesetze-im-internet.de/stpo/__81a.html, abgerufen August 2016
41. Hassanian-Moghaddam H, Abolmasoumi Z (2007)
Consequence of body packing of illicit drugs
Arch Iran Med, 10: 20-23
42. 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
43. McCarron MM, Wood JD (1983)
The cocaine 'body packer' syndrome. Diagnosis and treatment
JAMA, 250: 1417-1420
44. Marc B, Baud FJ, Aelion MJ, et al. (1990)
The cocaine body-packer syndrome: evaluation of a method of contrast study of the bowel
J Forensic Sci, 35: 345-355

45. De Beer SA, Fa-Si-Oen PR (2009)
Diagnosis of Heroin Body Packing Using Computed Tomography
Southern Medical, 102: 450-451
46. Humpich M, Walcher F, Byhahn C (2010)
Präklinisches Management von Drogenintoxikationen
Notfall + Rettungsmedizin, 13: 803-814
47. Wikipedia, Kokain In: Wikipedia Foundation,
<http://de.m.wikipedia.org/wiki/Kokain>, abgerufen Juni 2015
48. Kerns II W, Garvey L, Owens J (1997)
Cocaine-induced wide complex dysrhythmia
J Emerg Med, 15: 321-329
49. Westover AN, McBride S, Haley RW (2007)
Stroke in Young Adults Who Abuse Amphetamines or Cocaine
Arch Gen Psychiatry, 64: 495-502
50. Das D, Ali. B (2003)
Conservative mangement of asymptomatic cocaine body packers
Emerg Med J, 20: 172-174
51. Bulakci M, Ozbakir B, Kiris A (2013)
Detection of body packing by magnetic resonance imaging: a new diagnostic tool?
Abdom Imaging, 38: 436-441
52. Burillo-Putze G, Becker LT, Rodriguez MG, et al. (2012)
Liquid cocaine body packers
Clin Toxicol (Phila), 50: 522-524
53. Aissa J, Rubbert C, Boos J, et al. (2015)
Low-tube voltage 100 kVp MDCT in screening of cocaine body packing: image quality and radiation dose compared to 120 kVp MDCT
Abdom Imaging, 40: 2152-2158
54. Bulakci M, Kalelioglu T, Bulakci BB, et al. (2013)
Comparison of diagnostic value of multidetector computed tomography and X-ray in the detection of body packing
Eur J Radiol, 82: 1248-1254
55. Wikipedia, Heroin In: Wikipedia Foundation ,
<http://de.m.wikipedia.org/wiki/Heroin>, abgerufen Juni 2015

56. Way EL, Kemp JW, Young JM, et al. (1959)
The pharmacologic effects of heroin in relationship to its rate of biotransformation
School of Pharmacy, and the Departments of Pharmacology, School of Medicine, University of California, San Francisco, University of Bern, Switzerland: 144-154
57. Geisler L, *Lexikon Medizin- Das Nachschlagewerk für Ärzte. Apotheker, Patienten*. Vol. 4. 2005, Köln: Naumann & Göbel Verlag.
58. Wikipedia, Koffein In: Wikipedia Foundation,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Coffein>, abgerufen Dezember 2017
59. Nanji AA, Filipenko JD (1984)
Asystole and ventricular fibrillation associated with cocaine intoxication
Chest, 85: 132-133
60. De Beer SA, Spiessens G, Mol W, et al. (2008)
Surgery for body packing in the Caribbean: a retrospective study of 70 patients
World J Surg, 32: 281-285
61. Mandava N, Chang RS, Wang JH, et al. (2011)
Establishment of a definitive protocol for the diagnosis and management of body packers (drug mules)
Emerg Med J, 28: 98-101
62. Grimm JM, Wudy R, Ziegeler E, et al. (2014)
Differentiation of heroin and cocaine using dual-energy CT - an experimental study
Int J Legal Med: doi: 10.1007/s00414-00014-00980-00416
63. Stewart A, Heaton ND, Hogbin B (1990)
Body packing - a case report and review of the literature
Postgrad Med J, 66: 659-661
64. Raben AMTJ, Phoa SSKS, Busch ORC, et al. (2005)
Case report of a smuggler's dinner: carrots and asparagus, or bolitas?
Med Sci Monit, 11: CS79-81
65. Maurer MH, Niehues SM, Schnapauff D, et al. (2011)
Low-dose computed tomography to detect body-packing in an animal model
Eur J Radiol, 78: 302-306
66. Einstein AJ (2009)
Medical imaging: The Radiation Issue
Nat Rev Cardiol., 6: 436–438

67. 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, 184: 122-129
68. Scherr MK, Peschel O, Grimm JM, et al. (2014)
Low-dose CT in body-packers: delineation of body packs and radiation dose in a porcine model
Forensic Sci Med Pathol, 10: 170-178
69. Reiser M, Kuhn F-P, Debus J (2011)
Radiologie
Georg Thieme Verlag, Duale Reihe, 3: p. 728
70. Meijer R, Bots ML (2003)
Detection of intestinal drug containers by ultrasound scanning: an airport screening tool?
Eur Radiol, 13: 1312-1315
71. Greller HA, McDonagh J, Hoffman RS, et al. (2005)
Use of ultrasound in the detection of intestinal drug smuggling
Eur Radiol, 15: 193
72. Ichikawa K, Tajima N, Tajima H, et al. (1997)
Diagnostic imaging of "body packers"
Nihon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi, 57: 89-93
73. Hierholzer J, Cordes M, Tantow H, et al. (1995)
Drug smuggling by ingested cocaine-filled packages: conventional x-ray and ultrasound
Abdom Imaging, 20: 333-338
74. Niewiarowski S, Gogbashian A, Afaq A, et al. (2010)
Abdominal X-ray signs of intra-intestinal drug smuggling
J Forensic Leg Med, 17: 198-202
75. BfS (2016) In: Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen, Bundesamt für Strahlenschutz, https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-roentgen.pdf?__blob=publicationFile&v=9, abgerufen Mai 2017
76. BfS (2014) In: Digitales Online Repositorium und Informationssystem, Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 2014, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091514109>, abgerufen Mai 2017
77. Beerman R, Nunez D, Jr., Wetli CV (1986)
Radiographic evaluation of the cocaine smuggler
Gastrointest Radiol, 11: 351-354

78. Freislederer A, Sauer W, Graw M, et al. (1989)
Body-packing: detection of incorporated drug packets using ultrasound technics
Beitr Gerichtl Med, 47: 187-191

79. Pokieser H (1987)
Roentgenologischer Nachweis verschluckter Rauschgiftpäckchen (body packing). Richtlinien für das Zentrale Institut fuer Radiodiagnostik Universität Wien

80. Beck NE, Hale JE (1993)
Cocaine 'body packers'
Br J Surg, 80: 1513-1516

81. Markun S, Flach PM, Schweitzer W, et al. (2013)
Bodypacking
Praxis, 102: 891-901

82. Yang RM, Li L, Feng J, et al. (2009)
Heroin body packing: clearly discerning drug packets using CT
South Med J, 102: 470-475

83. Costello J, Townend W (2004)
Best evidence topic report. Abdominal radiography in "body packers"
Emerg Med J, 21: 498

84. Reichold S (2007)
Mehrzeilen-Spiral-Computertomographie in hochauflösender Darstellung und in Niedrig-Dosis-Technik zur Detektion von konventionell nicht erfassbaren Lungeninfiltraten bei immunsupprimierten Patienten mit FUO
Institut für Klinische Radiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München:
p. 127

85. Poletti PA, Canel L, Becker CD, et al. (2012)
Screening of illegal incorporeal containers ("body packing"): is abdominal radiography sufficiently accurate? A comparative study with low-dose CT
Radiology, 265: 772-779

86. Shahnazi M, Sanei Taheri M, Pourghorban R (2011)
Body packing and its radiologic manifestations: a review article
Iran J Radiol, 8: 205-210

87. Pinto A, Reginelli A, Pinto F, et al. (2014)
Radiological and practical aspects of body packing
Br J Radiol, 87: 20130500

88. Sengupta A, Page P (2008)
Window manipulation in diagnosis of body packing using computed tomography
Emerg Radiol, 15: 203-205
89. Sica G, Guida F, Bocchini G, et al. (2015)
Imaging of drug smuggling by body packing
Semin Ultrasound CT MR, 36: 39-47
90. 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 Radiol, 45: 469-473
91. 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 Radiol, 41: 187-191
92. Novelline R (1997)
Squire`s fundamentals of radiology.
Vol. 5th edn., Boston: Havard University Press.
93. Leschka S, Fornaro J, Laberke P, et al. (2013)
Differentiation of cocaine from heroine body packs by computed tomography: Impact of different tube voltages and the dual-energy index
Journal of Forensic Radiology and Imaging, 1: 46-50
94. Wudy RM (2018, laufendes Promotionsverfahren zum Doktor der Medizin, LMU München, Medizinische Fakultät, Dissertation eingereicht und unter Begutachtung)
Computertomographie beim Bodypacking: Differenzierung von Drogengebunden mittels Dual- Energy-Computertomographie
Klinik und Poliklinik für Radiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München
95. Israelit SH, Brook OR, Molnar R, et al. (2009)
CT of cocaine carrier – “body packer” – interpretation requirements
European Journal of Radiology Extra: doi:10.1016/j.ejrex.2009.1005.1001
96. Platon A, Becker M, Becker CD, et al. (2016)
Illegal intra-corporeal packets: can dual energy CT be used for the evaluation of cocaine concentration? A cross sectional study
BMC Med Imaging, 16: 3
97. Laberke PJ, Fornaro J, Kim SK, et al. (2015)
Dual-energy CT behavior of heroin, cocaine, and typical adulterants
Forensic Sci Med Pathol, 11: 20-28

10. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Kati Ingeborg Dorothea Zöfelt

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

**Computertomographie (CT) bei zu Transportzwecken inkorporierten Drogen
(Bodypacking):**

**Eine experimentelle ex-vivo Studie zur Unterscheidung von unterschiedlich
stark komprimierten und mit Streckmitteln versetzten Kokain- und Heroin-
Proben anhand der CT-Dichte**

selbstständig 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 ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Konstanz, 26.09.2018

Kati Zöfelt

Doktorand

11. DANKSAGUNG

Ein besonderer Dank gebührt den folgenden Personen, durch deren Beitrag diese Arbeit ermöglicht wurde:

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. Stefan Wirth und meinen Mit-Betreuern Dr. Michael Scherr und Dr. Jochen Grimm, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Radiologie am Campus Innenstadt und des Landeskriminalamtes in München, die mit ihrem jeweiligen, großen Engagement diese Arbeit möglich gemacht und begleitet haben.

Ebenso danke ich meiner Familie, meinem Partner und meinen engsten Freunden für die stete Unterstützung und Ermutigung während der Erstellung dieser Arbeit.