

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

betreut am  
Institut für Rechtsmedizin  
Direktor: Prof. Dr. Marcel A Verhoff

**Die rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden - eine  
hessenweite retrospektive Studie**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Theresa Erika Nicole Ohlwärther  
aus Lauf a. d. Pegnitz

Frankfurt am Main, 2023

Dekan:	Prof. Dr. Stefan Zeuzem
Referent:	PD Dr. Christoph G. Birngruber
Korreferent:	Prof. Dr. Johannes Frank
Tag der mündlichen Prüfung:	17.10.2023

## Inhaltsverzeichnis

1	Gender-Hinweis	5
2	Zusammenfassung deutsch	6
3	Zusammenfassung englisch	8
4	Abkürzungsverzeichnis	10
5	Übergreifende Zusammenfassung	11
5.1	Rechtsmedizin und Forensische Osteologie	11
5.2	Methoden der forensisch-osteologischen Begutachtung	13
5.2.1	Makroskopie	14
5.2.2	Mikroskopie	17
5.2.3	Molekulargenetik	18
5.2.4	Ergänzende Untersuchungen	20
5.2.5	Zielsetzung der Arbeit	23
5.3	Darstellung der Publikationen	24
5.3.1	Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin	24
5.3.2	Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany	25
5.4	Diskussion	27
6	Veröffentlichte eigene Publikationen	35
6.1	Übersicht	35
6.2	Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin	36
6.3	Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany	45
6.4	Darstellung des eigenen Anteils an den Publikationen	55
7	Literaturverzeichnis	56

8	Danksagung	66
9	Lebenslauf	67
10	Schriftliche Erklärung	68

## **1 Gender-Hinweis**

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit auf die Verwendung von männlicher und weiblicher Schreibweise verzichtet. Das verwendete generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Es wird darauf hingewiesen, dass ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten mitgemeint sind, soweit die Aussagen dies erfordern.

## **2 Zusammenfassung deutsch**

### **Einleitung**

Zufällige Funde von Knochen(fragmenten) können von großem Interesse für z. B. Strafverfolgungs- und Denkmalbehörden oder Bauträger sein. Zur Beurteilung einer etwaigen strafrechtlichen oder historischen Relevanz tragen forensisch-osteologische Untersuchungen in einem hohen Maße bei. Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über die forensisch-osteologische Arbeit der beiden hessischen Institute für Rechtsmedizin geben und durch die Interpretation der Ergebnisse im (inter-)nationalen Vergleich regionale Besonderheiten und die Rolle der Rechtsmedizin bei der Begutachtung aufzeigen. Der daraus entstandene Erkenntnisgewinn soll ein Problembewusstsein schaffen sowie Fallarbeit und Lehre verbessern.

### **Material und Methoden**

Zunächst wurden für den Zeitraum von 2005 bis 2019 die im Institut für Rechtsmedizin Gießen archivierten osteologischen Gutachten deskriptiv statistisch ausgewertet. Es wurden Daten zu Fundort, -umständen, Humanspezifität, postmortalem Intervall, Spuren von Gewalt und die Ergebnisse weiterführender Untersuchungen erhoben.

In einer zweiten Studie wurde die Auswertung auf archivierte forensisch-osteologische Gutachten des Instituts für Rechtsmedizin Frankfurt am Main ausgeweitet und der Auswertungszeitraum auf die Jahre 2011 bis einschließlich 2020 angepasst, um eine hessenweite Datengrundlage zu generieren.

### **Ergebnisse**

In der ersten Studie wurden von den in dem 15-Jahres-Zeitraum begutachteten 172 Knochenfunden aus dem Institut für Rechtsmedizin Gießen 40 % in Wald- und Wiesengebieten aufgefunden. In 58 % enthielten die Funde menschliche Knochen, davon wurde in 32 % eine forensisch relevante Liegezeit von 50 Jahren oder weniger nicht ausgeschlossen, und 6 % wiesen Zeichen perimortaler Gewalteinwirkung auf. Bei den Fällen, in denen eine Humanspezifität ausgeschlossen wurde, handelte es sich am häufigsten um Knochen von Hirsch bzw. Reh (32 %), Schwein (29 %) und Rind (14 %). In 20 % aller Fälle wurden

ergänzende DNA-Untersuchungen durchgeführt; in 62 % verlief die Typisierung humaner STR-Systeme erfolgreich und davon gelang in 41 % die Zuordnung zu einem antemortalen Profil einer vermissten Person.

In der zweiten, hessenweiten Studie, wurden 288 Knochenfunde eines 10-Jahres-Zeitraums ausgewertet. Mit 38,2 % wurden die meisten Funde in Wäldern, Wiesen und großen Parks getätigt. In 50,7 % der Fälle enthielten die Funde menschliche Knochen, davon wurde in 37,0 % eine forensisch relevante Liegezeit angenommen. Zeichen einer Gewalteinwirkung wurden in 77,4 % der Fälle mit menschlichen Knochen beschrieben, dabei handelte es sich mit 78,8 % am häufigsten um postmortale Beschädigungen, in 9,7 % um perimortale und in 11,5 % um antemortale Verletzungen. In 40,4 % der als human klassifizierten Knochenfunde wurden DNA-Untersuchungen durchgeführt. Dabei konnte in 81,3 % ein STR-Profil erstellt werden, das in 35,4% zu einer sicheren Identifizierung führte. Bei den zur Untersuchung überstellten nicht-menschlichen Knochen handelte es sich am häufigsten um Knochen vom Schwein (23,4 %), Hirsch (18,1 %), Rind (16,4 %), Reh (11,7 %) und Schaf (11,7 %).

## **Diskussion**

Die Begutachtung von Knochen und Knochenfragmenten ist ein fester Bestandteil der rechtsmedizinischen Fallarbeit und zwingend erforderlich, um Fälle von forensischem Interesse zu identifizieren. Die makroskopische Befundung durch einen geschulten Untersucher erlaubt in der Regel bereits, Aussagen über die forensische Relevanz eines Fundes zu treffen und so die Weichen für das weitere Vorgehen zu stellen. Hilfreich bei der makroskopischen Beurteilung ist eine gute Kenntnis der regionalen Besonderheiten in dem Gebiet, in dem die Knochen gefunden wurden. Die makroskopische forensisch-osteologische Begutachtung stellt trotz der sich ständig weiterentwickelnden technischen Möglichkeiten ein unverzichtbares Werkzeug in der Bearbeitung von Knochenfunden dar. In Deutschland ist es Aufgabe der Rechtsmedizin, diese Expertise zu pflegen und vorzuhalten, mit dem Ziel, zur Aufklärung von Vermisstenfällen beizutragen und unentdeckte nichtnatürliche Todesfälle aufzuklären.

### **3 Zusammenfassung englisch**

#### **Introduction**

Bones or bone fragments found by chance can be of great interest to law enforcement agencies, heritage protection authorities or real estate developers. Forensic-osteological investigations contribute to a great extent to the assessment of a possible criminal or historical relevance. The present work is intended to provide an overview of the forensic-osteological work of the two Hessian Institutes of Legal Medicine and to elaborate regional peculiarities and the role of Legal Medicine in the assessment of such finds. The resulting study is intended to create an awareness of the problem and to improve casework and teaching.

#### **Material and methods**

First, the osteological reports archived at the Institute of Legal Medicine Gießen were evaluated descriptively statistically for the period from 2005 to 2019. Data were collected on site of location and circumstances of the finds, their nature (human or non-human), the postmortem interval, traces of violent impact and the results of further investigations. In a second study, the investigation period of the archived forensic-osteological reports in Gießen was adjusted to the period from 2010 to 2020 inclusive, and equivalently, the archived osteological reports of the Institute of Legal Medicine in Frankfurt were evaluated to generate a Hesse-wide data collection.

#### **Results**

In the first study, of the 172 bone finds examined by the Institute of Legal Medicine in Gießen 40 % were found in forest and meadow areas. In 58 % the finds contained human bones, in 32 % a forensically relevant postmortem interval could not be excluded and 6 % showed signs of perimortem violence. In the cases in which a human specificity could be excluded, the most frequent bones were those of deer or roe deer (32 %), pig (29 %) and cattle (14 %). In 20 % of all cases, supplementary DNA investigations were performed; in 62 %, the typing of human STR was successful and of these, the assignment to an antemortal profile was successful in 41 %.

In the second, Hesse-wide study, 288 bone finds were evaluated. With 38.2 %, most of the finds were made in forests, meadows and large parks. In 50.7 % of the cases, the finds contained human bones, of which a forensically relevant lying time of 50 years or less was assumed in 37.0 %. The signs of violent impact were described in 77.4 % of the cases with human bones, of which postmortem damage was the most frequent (78.8 %), perimortem injuries in 9.7 %, and antemortem injuries in 11.5 %. In 40.4 % of the cases classified as human, DNA examinations of the bones were performed. This resulted in an STR profile in 81.3 %, which led to a definite identification in 35.4 %. The non-human bones sent for examination were most frequently pig (23.4 %), deer (18.1 %), cattle (16.4 %), roe deer (11.7 %), and sheep (11.7 %).

## **Discussion**

The examination of bones and bone fragments is an integral part of forensic casework and is absolutely necessary to identify cases of forensic interest. The macroscopic examination by a trained examiner usually already allows sufficient statements to be made about the forensic relevance of a find and thus to set the course for further action. A good knowledge of the regional characteristics in the area where the bone was found is helpful in the macroscopic evaluation. Forensic-osteological expertise is an indispensable tool in the processing of bone cases, despite the constantly evolving technical possibilities. In Germany, it is the task of forensic medicine to maintain this expertise with the aim of contributing to the clarification of missing persons cases and to solve undiscovered unnatural deaths.

## 4 Abkürzungsverzeichnis

bp	Basenpaar
CT	Computertomographie
C <sup>14</sup>	Kohlenstoffisotop der Masse 14
DNA	Deoxyribonucleic acid
FGB	Friedhofs- und Bestattungsgesetz
mtDNA	Mitochondrial deoxyribonucleic acid
PMI	Postmortales Intervall
PTST	post-traumatic survival time
Ra <sup>288</sup>	Radiumisotop der Masse 288
RiStBV	Richtlinien für das Strafverfahren und das Bußgeldverfahren
RöV	Röntgeverordnung
STR	Short tandem repeats
StPO	Straffprozessordnung
Sr <sup>90</sup>	Strontiumisotop der Masse 90
Th <sup>228</sup>	Thoriumisotop der Masse 228
UV	Ultraviolett

## 5 Übergreifende Zusammenfassung

### 5.1 Rechtsmedizin und Forensische Osteologie

Die Rechtsmedizin wird häufig als das Mutterfach der begutachtenden Medizin bezeichnet. Die Erforschung medizinisch-naturwissenschaftlicher Tatsachen und Zusammenhänge sowie ihre Anwendung zum Zwecke der Rechtspflege stellt den Kernbereich rechtsmedizinischer Tätigkeit dar.<sup>1</sup>

Im Auftrag von z. B. Privatpersonen, Versicherungen, Ermittlungsbehörden oder Gerichten nehmen Rechtsmediziner sachverständig Stellung zu rechtsrelevanten medizinischen Fragen in einem äußerst breiten Aufgabenspektrum.

Im Zentrum der rechtsmedizinischen Tätigkeit stehen häufig Verstorbene bzw. Leichen, die als solche in Deutschland in den Bestattungsgesetzen der Länder definiert sind. In Hessen gilt als Leiche im Sinne des Friedhofs- und Bestattungsgesetzes der Körper eines Menschen mit sicheren Todeszeichen, dessen Zusammenhang durch den Verwesungsprozess noch nicht völlig aufgehoben sein darf. Gleichmaßen gelten menschliche Körperteile, ohne die ein Weiterleben nicht möglich wäre, als einer Leiche zugehörig.<sup>2</sup>

Aufgabe der Rechtsmedizin kann es sein, z. B. durch Leichenfundortbegehungen, Leichenschauen, Leichenöffnungen, feingewebliche, toxikologische und molekulargenetische Untersuchungen Erkenntnisse zu den Todesumständen, zu Todeszeitpunkt, -ursache und -art und der Identität zu erlangen.

Leichenschau und Leichenöffnung stellen ärztliche, jedoch nicht zwingend von Rechtsmedizinern durchzuführende Tätigkeiten dar. Erfolgen sie allerdings im Rahmen eines staatsanwaltschaftlichen Todesermittlungsverfahrens, ist das Vorgehen durch die Strafprozessordnung (StPO) geregelt und durch die Richtlinien für das Strafverfahren und das Bußgeldverfahren (RiStBV) konkretisiert. Gemäß § 87 Abs. 2 StPO ist eine gerichtliche Leichenöffnung von zwei Ärzten durchzuführen. Von zumindest einem der Ärzte werden „gerichtsmedizinische Fachkenntnisse“ gefordert.

Trotz der existierenden rechtlichen Definitionen eines Leichnams und der Regelung gerichtlicher Leichenöffnungen können in der Praxis Unsicherheiten auftreten, z. B. dann, wenn nicht der Körper eines kürzlich verstorbenen Menschen untersucht werden soll, sondern eine längere Leichenliegezeit vorliegt, während derer Autolyse, Fäulnis, Tierfraß und Verwesung dazu geführt haben, dass es sich nicht mehr um einen „im anatomischen Verbund befindlichen Leichnam“ handelt<sup>3</sup>.

Beim Vorliegen lediglich einer Teilskelettierung ist davon auszugehen, dass die sterblichen Überreste die o. g. Definition einer Leiche erfüllen und eine angeordnete Leichenöffnung somit nach § 87 Abs. 2 StPO durchzuführen wäre. Je weiter allerdings die postmortalen Veränderungen fortschreiten, umso mehr wird bei der Leiche eine Auflösung des körperlichen Zusammenhangs auftreten. Und sobald der körperliche Zusammenhang „völlig aufgehoben“ ist, gelten die sterblichen Überreste nicht mehr als Leiche.<sup>4</sup>

Für die Untersuchung von menschlichen Skeletten, Teilskeletten oder einzelnen Knochen existieren weder in der StPO noch anderswo explizite rechtliche Vorgaben. Derartige Untersuchungen fallen in den Bereich der „Forensischen Osteologie“. Dieser Begriff setzt sich zusammen aus „Osteologie“, der Lehre von den Knochen, unabhängig davon, ob [diese] menschliche oder nicht menschlichen“ Ursprungs sind<sup>3</sup> und dem lateinischen „forensis“, das wörtlich mit „zum Forum, Markt gehörig“ übersetzt werden kann. Sinngemäß lässt sich „forensis“ mit „vor Gericht“ bzw. „in der Gerichtsverhandlung“ übersetzen, da im antiken Rom Gerichtsverfahren meist öffentlichen auf dem Marktplatz durchgeführt wurden<sup>3</sup>. Die Forensische Osteologie befasst sich demnach mit der Untersuchung und Begutachtung von mehr oder minder vollständigen Skeletten, einzelnen Knochen oder Knochenfragmenten im Kontext eines Ermittlungsverfahrens bis hin zur Gerichtsverhandlung<sup>5</sup>.

Die Forensische Osteologie stellt historisch gesehen zwar das älteste Teilgebiet der Anthropologie dar, jedoch findet heutzutage der überwiegende Teil forensisch-osteologischer Begutachtungen in rechtsmedizinischen Instituten statt<sup>3,5-7</sup>. Im Gegensatz zur gerichtlichen Leichenöffnung müssen forensisch-osteologische Untersuchungen, z. B. eines aufgefundenen menschlichen Skeletts, nicht durch zwei Ärzte vorgenommen werden. Die Untersuchung ist nicht einmal zwingend

ärztliche Aufgabe. Die Begutachtung kann ebenso von einem einzelnen Biologen oder Anthropologen mit entsprechendem Sachverstand vorgenommen werden<sup>3</sup>. Forensisch-osteologisch tätige Anthropologen finden sich allerdings im deutschsprachigen Raum nur wenige und nur in Einzelfällen an rechtsmedizinischen Instituten. Die forensische Untersuchung von Knochenfunden ist als Weiterbildungsinhalt zur Erlangung des rechtsmedizinischen Facharztstreife z. B. in der Weiterbildungsordnung der Landesärztekammer Hessen<sup>8</sup> vorgesehen und fällt in den Kernbereich rechtsmedizinischer Tätigkeit: die Morphologie<sup>3</sup>. Die Forensische Osteologie ist in Deutschland klar in der Rechtsmedizin zu verorten. Gleichwohl sollten, wie für alle anderen Arten Begutachtungen auch, im Einzelfall und je nach Fragestellung die Vorteile einer interdisziplinären und interinstitutionellen Zusammenarbeit genutzt werden.

Wird die Begutachtung eines Knochenfundes durch die Ermittlungsbehörden in Auftrag gegeben, so bestehen typischerweise einige, wenig variable Fragestellungen<sup>9</sup>. Die vordringlichste Frage ist die nach der Humanspezifität, also ob es sich bei dem Fund um einen Knochen menschlichen Ursprungs handelt. Ist dies nicht der Fall, erfolgen in der Regel keine weiteren forensischen Untersuchungen oder Ermittlungen<sup>1</sup>, obgleich die Funde von wissenschaftlichem Interesse sein können<sup>10,11</sup>. Forensisch-osteologische Untersuchungen wegen des Verdachts auf einen Verstoß gegen das Tierschutzgesetz sind als Seltenheit anzusehen. Handelt es sich bei dem Fund um menschliche Überreste, sind Fragen zur Mindestanzahl der Individuen, Liegezeit, Sterbealter, Körpergröße, Herkunft, Identität und Todesursache zu beantworten.<sup>9,12,13</sup>

## **5.2 Methoden der forensisch-osteologischen Begutachtung**

Der nachfolgende Abschnitt gibt einen Überblick über gängige Untersuchungsmethoden und -verfahren der forensisch-osteologischen Begutachtung. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollten den Auftraggebern bzw. Ermittlungsbehörden als Gutachten in schriftlicher Form vorgelegt und bei Bedarf im Rahmen einer Gerichtsverhandlung mündlich erörtert werden.<sup>1,14</sup>

### 5.2.1 Makroskopie

Die wohl effizienteste Untersuchungsmethode der forensischen Osteologie ist – da ohne apparativen Aufwand durchzuführen, schnell und kostengünstig – die makroskopische Begutachtung<sup>15</sup>. Durch sie können „je nach Morphologie des Knochens/Skelettes [...] sämtliche Fragestellungen z.T. einfach und exakt beantwortet werden [...]“<sup>9</sup>. Grundlage der makroskopischen Beurteilung bilden fundierte Kenntnisse der Skelettmorphologie des Menschen und der regional verbreiteten Tierarten<sup>15</sup> sowie ein erhebliches Maß an praktischer Erfahrung<sup>9</sup>.

Die Herkunft des Knochens, d. h. die Klärung der Frage nach der Humanspezifität, wird dem sachverständigen Auge bei einem (nahezu) vollständig erhaltenen Knochen in der Regel bei der ersten Betrachtung gelingen<sup>6</sup>. Problematischer kann sich die Untersuchung kleiner Knochenfragmente darstellen – dies nicht zuletzt aufgrund einer hohen interindividuellen Variabilität beim Menschen und der zum Teil großen Ähnlichkeit einzelner Knochen(-anteile) zu denen anderer Säugetiere<sup>6</sup>. Hier können Vergleiche mit Tierknochenatlanten und veterinärmedizinischen Lehrbüchern oder Sammlungen notwendig werden.<sup>16–20</sup>

Werden mehrere humane Knochen an einem Ort aufgefunden, stellt sich die Frage, ob alle Knochen von einer einzigen Person stammen können oder ob es sich um die Überreste mehrerer Verstorbener handelt. Zur Erlangung einer Mindestanzahl von Individuen wird der Knochenfund auf das mehrfache Vorliegen gleichartiger Knochen untersucht und geprüft, ob sich nicht mehrfach vorkommende Knochen ihrem Gesamtbild nach einem Individuum zuordnen lassen. Intra- und interindividuelle Variabilität sind dabei zu berücksichtigen.<sup>21,22</sup>

Bei der Begutachtung von menschlichen Knochen stellt sich im Weiteren die Frage nach der Liegezeit oder dem postmortalen Intervall, da die Länge des Zeitraums zwischen dem Tod des Individuums und dem Fund bzw. der Untersuchung der Knochen maßgeblich bei der Entscheidung für oder gegen weitergehende (kriminal-)polizeiliche Ermittlungen ist. In Deutschland wird ein forensisch relevantes postmortales Intervall bei einer Liegezeit von 50 Jahren oder weniger angenommen.<sup>5</sup> Zum Ausschluss eines forensisch relevanten postmortalen

Intervalls erarbeiteten Verhoff et. al. einen Kriterienkatalog, basierend auf makromorphologischen Aspekten, die bei einer Lagerung im Erdreich erst nach einer Liegezeit von über 50 Jahren beobachtet wurden.<sup>23</sup> Hierzu zählen u. a. das Fehlen von Fettwachs, tiefe Usuren und flächenhafte Defekte der äußeren Kompakta, ein intensiver schwarz-brauner Rasen von Mikroorganismen, Abhebungen der Kortikalis, ein Auffasern äußerer Lamellensysteme, Torsionen des Gewebes, Brushitauflagerungen und eine leichte Zerbrechlichkeit der Knochen. An der frischen Sägefläche sind das Fehlen von Fettwachs im Markraum als Ausschlusskriterium für eine forensisch relevantes Intervall genannt.<sup>23</sup>

Verletzungen der Knochen sind in der Regel mit dem bloßen Auge sichtbar und die makroskopische Beurteilung erlaubt eine Einschätzung der Entstehungszeit und der ursächlichen Gewaltart.

Bezüglich der Entstehungszeit werden drei Kategorien unterschieden: ante- bzw. prä mortal, perimortal und postmortal. Die in der Rechtsmedizin sonst übliche Klassifizierung einer Verletzung als vital oder avital kann bei der forensisch-osteologischen Begutachtung nicht angewandt werden.<sup>24</sup> Eine antemortale (syn. prä mortale) Verletzung ist definiert, als eine Verletzung die vor dem Tod entstanden ist und so lange überlebt wurde, dass Heilungsspuren am Knochen sichtbar sind – zumindest eine Woche, im Durchschnitt zwei Wochen.<sup>24–26</sup> Als derartige Heilungsspuren gelten u. a. abgerundete Frakturkanten, Kallusbildung und Farbveränderung am Knochen durch Hämatomflüssigkeit.<sup>24</sup> Als perimortal werden jene Verletzungen klassifiziert, die um den Todeszeitpunkt, also kurz vor, während oder kurz nach dem Tod eingetreten sind.<sup>24</sup> Sie weisen keine Heilungsspuren auf und die biomechanischen Eigenschaften des Knochens entsprechen denen zu Lebzeiten, vergleichbar mit der Elastizität und Stabilität beim Zerbrechen eines frischen Zweiges.<sup>24,25,27</sup> Als Merkmale einer perimortalen Verletzung gelten bestimmte Brucharten und im Verbund bleibende kleine Bruchfragmente im Sinne eines sog. Uplifting.<sup>24</sup> Postmortale Beschädigungen sind gekennzeichnet durch im Gegensatz zur übrigen Knochenoberfläche helleren Bruchflächen und oft mehr- und kleinfragmentären Frakturen. Da der Knochen während der Liegezeit, bedingt durch den dekompositionsbedingten Verlust der organischen Anteile, spröder und weniger elastisch wird, ändert sich auch sein Bruchverhalten<sup>25,28</sup> und entspricht zunehmend dem eines trockenen Zweigs.

Hinsichtlich der Art der Gewalteinwirkung lassen Impressionen, Perforationen, Frakturen, Scharten und Abschlüge am Knochen Rückschlüsse auf die verursachende Gewaltart zu. Unterschieden werden scharfe, halbscharfe und stumpfe Gewalt, punktuelle Gewalt in Form von Spieß- oder Schussverletzungen und die Folgen thermischer Einwirkungen, die Spuren an Knochen hinterlassen können.<sup>29,30</sup>

Als Beurteilungsgrundlage können Erkenntnisse aus der forensischen Traumatologie und der Unfallchirurgie ebenso wie Erfahrungen aus der rechtsmedizinisch-autoptischen Fallarbeit herangezogen werden. Verletzungen am Schädel besitzen hierbei eine besondere Relevanz, da sie mit höherer Wahrscheinlichkeit todesursächliche Bedeutung erlangen können, vor allem bei Tötungsdelikten als Folge stumpfer Gewalt häufig auftreten und rekonstruktive Rückschlüsse erlauben.<sup>31,32</sup>

Zum Zwecke der Identifizierung kann aus makroskopischen Untersuchungsbefunden in einem ersten Schritt ein biologisches Profil erarbeitet werden. Geschlecht, Körperhöhe, Sterbealter und ethnische Herkunft kennzeichnen das biologische Profil, zu dessen Ermittlung ein morphognostischer oder morphometrischer Untersuchungsansatz verfolgt werden kann. Die morphognostische Untersuchung umfasst die (skalierte) Beurteilung des Ausprägungsgrades bestimmter, z. B. geschlechtstypischer Merkmale am Knochen, die morphometrische Beurteilung erfolgt durch das Vermessen definierter Strecken oder Winkel am Knochen und ggf. weiterführenden Berechnungen, für die „komplizierte Formeln aus bestimmten anthropologischen Maßen“<sup>7(p34)</sup> herangezogen werden.

Zur Geschlechtsdifferenzierung sind insbesondere der Schädel und das Becken geeignet, aber auch aus Langknochen lassen sich Aussagen treffen.<sup>6</sup> Dabei kommen morphognostische und morphometrische Verfahren zum Einsatz.<sup>7,9</sup>

Die Eingrenzung des Sterbealters beruht auf der Beurteilung altersabhängiger Veränderungen, z. B. der Wachstumsfugen und der Art des Zahnbesatzes im Gebiss beim Heranwachsenden, Veränderungen an den Gelenkflächen der Schambeinfuge, dem Verknöcherungsgrad der Schädelnähte und allgemeinen Degenerationserscheinungen beim Erwachsenen.<sup>29,33,34</sup>

Zur Körperhöhenbestimmung ist das Vermessen der Länge von Röhrenknochen gut geeignet. Anhand von Regressionsformeln und in Abhängigkeit des angenommenen Geschlechts und der ethnischen Herkunft kann aus unterschiedlichen Langknochen die Körperhöhe errechnet.<sup>6,34</sup>

Die Eingrenzung der ethnischen Herkunft kann über morphometrische oder morphognostische Untersuchungen, insbesondere des Schädels, erfolgen<sup>35,36</sup>

Pathologien oder Zeichen medizinischer Maßnahmen am Knochen können ebenfalls zur Erlangung eines Identitätsverdachts beitragen und in Einzelfällen zur Identitätssicherung geeignet sein. Voraussetzung für die Identitätssicherung wäre geeignetes Vergleichsmaterial im Sinne von zu Lebzeiten an der angenommenen später verstorbenen Person erhobenen Befunden. Medizinische Implantate besitzen z. B. Seriennummern, die einer Klinik und/oder einem Patienten zugeordnet werden können.<sup>6</sup> Als weiteres morphologisches Instrument der Identitätssicherung kann der Zahnstatus genutzt werden, der eine sichere Identifizierung einzelner Individuen ebenso erlaubt wie die Identifizierung vieler unbekannter Verstorbener bei einer Massenkatastrophe. Die Erhebung und der Abgleich des Zahnstatus fallen in den sich überlappenden Bereich von Forensischer Osteologie und Forensischer Odontostomatologie.<sup>7,37</sup>

### **5.2.2 Mikroskopie**

Bleibt die Frage nach der Humanspezifität, z. B. bei einem sehr kleinen Knochenfragment, nach der makroskopischen Untersuchung unklar, kann eine ergänzende mikroskopische Untersuchung sachdienlich sein.<sup>15,38</sup> Hierfür werden unentkalkte Dünnschliffpräparate der äußeren Kompaktaschicht des Knochenfundes hergestellt und lichtmikroskopisch untersucht.<sup>39</sup> Dabei stellen die Anordnung und Morphologie der Osteone, der kleinsten funktionellen Einheiten der Kortikalis, und der Durchmesser der zentral gelegenen Havers-Kanäle wichtige Kriterien in der Artbestimmung dar.<sup>9,40</sup> Während man bei zahlreichen Tierarten unterschiedlich große Osteone mit einer oft plexiformen, zum Teil auch linearen Anordnung findet, zeigen menschliche Knochen nahezu gleichgroße, rundliche, angedeutet polygonale Osteone mit einer zufälligen Verteilung.<sup>1</sup> Der mittlere Durchmesser der Havers-Kanäle beträgt beim Menschen „60  $\mu$ m und nur selten unter 40  $\mu$ m“, bei Haustieren deutlich weniger.<sup>41</sup>

Als weiteres mikroskopisches Merkmal der Humanspezifität ist das sog. Brewster-Kreuz zu nennen, ein Interferenzmuster, das sich an einem Dünnschliffpräparat unter polarisationsoptischer Betrachtung darstellt. Ausgehend vom Havers-Kanal in der Kompakta eines menschlichen Knochens zeigen sich zwei diagonal aufeinander liegende Auslöschungen, die ein Kreuz bilden.<sup>12,29</sup>

Darüber hinaus sind mikroskopische Untersuchungen geeignet, um Verletzungsbefunde näher zu untersuchen. Mit dem Stereomikroskop sind Eingrenzungen der Entstehungszeit von Verletzungen und ihrer Art möglich,<sup>39,42,43</sup> zudem lassen zusätzliche Färbungen Einschätzungen des postmortalen Intervalls zu.<sup>44</sup> Der Einsatz (immun-)histologischer Untersuchungen zur weiteren zeitlichen Unterscheidung perimortaler Verletzungen ist zwar möglich, jedoch fehlen aktuell noch aussagekräftige Studien, die eine Nutzung im forensisch-osteologischen Kontext erlauben würden.<sup>45</sup>

Das Sterbealter lässt sich mit histologischen Methoden ebenfalls eingrenzen. Hinweise können insbesondere Untersuchungen der Kompakta von Langknochen und die zunehmende Packungsdichte und Konturierung von Osteonen mit steigendem Lebensalter geben.<sup>15</sup> Stehen Zähne als Untersuchungsmaterial zur Verfügung, ermöglichen Untersuchungen der sog. Zahnzementannulationen an den Zahnwurzeln Aussagen zum Sterbealter.<sup>46,47</sup>

### **5.2.3 Molekulargenetik**

Die forensische DNA-Analytik wird in der forensischen Osteologie häufig zur Identifizierung, d. h. zur Erstellung eines biologischen Profils oder zur Identitätssicherung eingesetzt, sie kann aber auch zur Prüfung der Humanspezifität herangezogen werden.<sup>12,39</sup>

Die Qualität der Ergebnisse molekulargenetischer Untersuchungen hängt maßgeblich von Menge und Zustand des zu untersuchenden Materials ab. Sowohl Liegezeit, Liegemilieu und auch die Art des zu untersuchenden Knochens nehmen darauf Einfluss. Mit der nach dem Tod einsetzenden Autolyse beginnt auch der enzymatische Abbau der DNA.<sup>48</sup> Darüber hinaus können u. a. Bakterien aus dem Körper oder der Umgebung, Pilze aus dem Boden und Feuchtigkeit, z. B. in Form

von Bodenwasser, und Diagenese zu Fäulnisprozessen und einer weiteren Degradierung und Spaltung der DNA führen.<sup>49–51</sup> Diese postmortalen Degradationsprozesse betreffen verschiedene Knochen bzw. Hartgewebe im Körper unterschiedlich stark. In der Regel weisen Zähne eine geringere Kontaminationsanfälligkeit und die in der Pulpa enthaltene DNA einen besseren Erhaltungszustand auf als Knochenproben.<sup>48</sup> Alt empfiehlt, für molekulargenetische Untersuchungen „folgende Hartgewebeproben bevorzugt auszuwählen: Molaren, Prämolaren, Canini und, falls keine Zähne vorhanden sind, entweder Femur oder Tibia, Humerus oder Pars petrosa ossis temporalis“.<sup>48</sup> Bei molekulargenetisch zu untersuchenden Schädeln wird auch andernorts eine Beprobung der Pars petrosa des Os temporale, d. h. des Felsenbeins, empfohlen.<sup>52</sup>

Hinsichtlich der Identifizierung stellt die Untersuchung sog. Mikrosatelliten oder short tandem repeats (STRs) aus Kern-DNA das nicht nur in der forensischen Osteologie am häufigsten angewandte DNA-Untersuchungsverfahren dar. Bei den STRs handelt es sich um sich wiederholende Sequenzen, die wenige Basenpaare lang sind und sich auf nicht-kodierenden Abschnitten (Introns) der Kern-DNA befinden.<sup>1</sup> Die Gesamtlänge der zu untersuchenden repetitiven Abschnitte beträgt allenfalls wenige Hundert Basenpaare, wodurch ein Untersuchungserfolg auch bei zu kurzen Fragmenten degradierter Kern-DNA möglich ist.<sup>53</sup>

Hochgradig degradiertes Untersuchungsmaterial kann eine erfolgreiche STR-Analyse verhindern. In solchen Fällen bietet sich eine Untersuchung der mitochondrialen DNA (mtDNA) an. Das ringförmige Molekül der mtDNA ist mit 16.569 bp im Vergleich zur nukleären DNA (etwa 3,3 Milliarden bp) deutlich kleiner. Da sie in tausendfacher Kopie in jeder Zelle vorkommen kann und eine ringförmige Struktur aufweist, ist sie deutlich länger als die Kern-DNA und auch bei starker Degradation noch untersuchbar. Untersuchungen der nicht-kodierenden sog. hypervariablen Regionen I und II lassen bei ausschließlich maternaler Vererbung der mtDNA Rückschlüsse auf die Abstammung und die ethnische Herkunft zu.<sup>54</sup> Über Sequenzbestimmungen des Cytochrom-B-Gens kann, wenn morphologisch nicht möglich, eine Speziesbestimmung erfolgen.<sup>55,56</sup>

Für die DNA-Extraktion aus Knochen sind besondere Präparationstechniken und spezielle Untersuchungskits erforderlich,<sup>57</sup> und im Einzelfall ist nicht vorhersehbar, ob eine Untersuchung verwertbare Ergebnisse erbringen wird.<sup>58</sup>

#### **5.2.4 Ergänzende Untersuchungen**

Neben den vorgenannten drei methodischen Hauptsäulen der forensisch-osteologischen Begutachtung existiert noch eine Reihe weiterer, zum Teil hoch komplexer Untersuchungsverfahren mit physikalischen, chemischen oder apparativ aufwendigen Methoden.<sup>23,59</sup>

Exemplarisch seien Ultraschalluntersuchungen,<sup>60</sup> Mikro-CT-Untersuchungen,<sup>61–63</sup> Bestimmungen des Aminosäurespektrums,<sup>64</sup> Untersuchungen des Stickstoffgehaltes,<sup>65</sup> Bestimmungen von Ionen, Lipiden und Proteinen<sup>66</sup> oder atomabsorptionsspektrometrische Untersuchungen<sup>67</sup> genannt. Die meisten dieser Methoden wurden mit dem Ziel entwickelt, ein vom Liegemilieu unabhängiges Verfahren zur Bestimmung des postmortalen Intervalls Liegezeit zu entwickeln, jedoch gelang bisher keine breite Anwendbarkeit für die forensisch-osteologische Begutachtung.<sup>12</sup>

Regelmäßig kommen als schnell durchzuführende und kostengünstige ergänzende Untersuchung zur Eingrenzung des postmortalen Intervalls zwei Untersuchungsverfahren zum Einsatz: die Beurteilung der frischen Sägefläche am Langknochen unter UV-Beleuchtung<sup>23</sup> und das Versetzen von Knochenmehl mit Luminol-Reagenz.<sup>68,69</sup> Für die Prüfung der UV-Fluoreszenz wird eine am gereinigten Langknochen gesetzte frische Sägefläche in einem abgedunkelten Raum mit UV-Licht bestrahlt. Die Abnahme der beim frischen Knochen blauen UV-Fluoreszenz der Sägefläche ist, wenn eine deutliche Reduktion oder vollständige Aufhebung vorliegt, zum Ausschluss eines forensisch relevanten PMI geeignet.<sup>70</sup> Das beim Sägen entstandene Knochenmehl kann aufgefangen und in einem Reagenzglas mit Luminol-Lösung<sup>71</sup> versetzt werden. Auch hier nimmt die Fluoreszenz der Reaktion mit der Dauer der Liegezeit ab, wobei ein positiver Luminol-Test eine kurze Liegezeit nicht beweist.<sup>70</sup>

Bei historischen oder nicht rezenten Knochenfunden ist eine Radiokarbonbestimmung am ehesten dazu geeignet Liegemilieu unabhängig Aussagen über die Liegezeit treffen zu können.<sup>12</sup> Hierzu wird die von dem Chemiker Willard Frank Libby entwickelte Radiokarbondatierung genutzt, die auf der Tatsache beruht, dass das natürliche vorkommende radioaktive Isotop  $C^{14}$  in jedem Organismus vorkommt und im Gleichgewicht mit der Umgebung steht.<sup>72</sup> Nach dem Tod eines Individuums ist dieses Gleichgewicht gestört und der Anteil an  $C^{14}$ -Isotopen nimmt im Organismus mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren ab.<sup>73</sup> Aufgrund der hohen Halbwertszeit ist dies Methode, mit der ein hoher Verbrauch von Knochensubstanz und hohe Kosten einhergehen,<sup>12</sup> für forensisch-relevante Funde eher nicht geeignet, die Liegezeit näher zu bestimmen. Für kurze Liegezeiten kann die Radiokarbonmethode eine Einschätzung geben, ob der Tod vor oder nach den in den 1950er Jahren des 20. Jahrhunderts durchgeführten Thermonuklearwaffen eingetreten ist – dies jedoch „unter Berücksichtigung des Alters des Verstorbenen, das bei Skelettfunden meist nicht bekannt ist“.<sup>74</sup>

Ähnliches gilt für die Strontiumanalyse ( $Sr^{90}$ ) bei der in einigen Fällen der Todeseintritt „vor oder nach den Atombombentests zwischen 1945 und 1979“<sup>74</sup> eingeordnet werden konnte.

In neueren Forschungsansätzen kommt die Bestimmung des Verhältnisses von  $Th^{228}$  und  $Ra^{228}$  basierend auf deren spezifischer Aktivitäten zur Anwendung. Diese Methode wurde bislang zur Altersbestimmung bei Pflanzen und Meerestieren eingesetzt.<sup>74</sup>

Im Hinblick auf ergänzende Untersuchungen zur Identifizierung sind im Weiteren u. a. noch Isotopen-Analysen, Röntgenvergleichsanalyse, Schädel-Bild-Vergleich und andere Superimpositionsverfahren zu nennen.

Bei gänzlich unbekanntem Leichen bzw. menschlichen Überresten kann eine Analyse der stabilen Isotope Hinweise auf Herkunfts- und Aufenthaltsregionen liefern, wodurch polizeiliche Ermittlungen bezüglich der Identität einer Person geografisch eingegrenzt werden können.<sup>75</sup> Eine Isotopenanalyse wird je nach Fragestellung an Zähnen, Knochen und Haaren durchgeführt, dabei ist der Zustand des Gewebes (Brandzehrung, Skelettierung, Lagerung im Wasser) für die Analyse unbedeutend.<sup>75,76</sup> Die Isotopenanalyse basiert auf der Grundlage, dass bestimmte Bio- und Geochemie in unterschiedlichen „Varianten“, den Isotopen, vorliegen

und dass deren Häufigkeit global nicht gleich verteilt ist.<sup>76</sup> Durch unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten und regional spezifische Nahrungsprodukte werden unterschiedliche Isotope vom Organismus und in die einzelnen Gewebe aufgenommen. Je nach Umbaurate der einzelnen Gewebe können so Informationen über die geografische Herkunft eines Menschen von der Jugend bis zum Tod generiert werden.<sup>75</sup>

Liegen bereits Identitätshinweise vor, können Röntgenanalysen und Schädel-Bild-Vergleich zur Identitätssicherung herangezogen werden, sofern antemortale Vergleichsaufnahmen vorliegen.<sup>37</sup>

Die erste erfolgreiche Identifizierung mittels Röntgenvergleich gelang 1927 Culbert und Law<sup>77</sup> über den Vergleich von Aufnahmen von Nasennebenhöhlen, die aufgrund ihrer individuellen Merkmale besonders gut für die Identitätssicherung geeignet sind.<sup>78</sup> Prinzipiell kommt jedes Körperteil für eine Identifizierung mittels Röntgenvergleich in Betracht.<sup>37</sup> Aus medizinischen Gründen werden heutzutage eine Vielzahl von Röntgen- oder Röntgenschnittbildern angefertigt, wodurch die Wahrscheinlichkeit relativ groß erscheint, dass von einer vermissten Person zu Lebzeiten ein Röntgenbild angefertigt wurde, das als antemortales Vergleichsmaterial dienen kann.<sup>1</sup>

Mittels Superimposition können ante- und postmortale Röntgenbilder digital teiltransparent übereinander gelegt werden, um im Fall einer Kongruenz eine angenommene Identität zu sichern.<sup>1</sup> Die Superimpositionstechnik wird ebenfalls angewandt, um einen Schädel mit einer zu Lebzeiten entstandenen Portraitaufnahme der mutmaßlichen Person zu vergleichen. Dazu wird der Schädel in möglichst gleichem Abstand und Blickwinkel wie die Vergleichsaufnahme des Portraits, mit zuvor angebrachten Abstandshaltern für die mittlere Weichteildicke abfotografiert.<sup>79–82</sup> Im Anschluss werden Portrait und Schädelaufnahme digital übereinandergelagt. Stimmen Proportionen und Begrenzungen von Portrait und Schädelaufnahme überein und liegen die Abstandsmesser für die mittlere Weichteildicken innerhalb der auf dem Portrait dargestellten Gesichtsbegrenzungen, kann von einer übereinstimmenden Identität ausgegangen werden.<sup>1,83</sup>

Bildgebende Verfahren eignen sich in der forensischen Osteologie nicht nur zu Identitätssicherung, sondern kommen auch zur Eingrenzung des Verletzungsalters

von Knochenbrüchen der sog. post-traumatic survival time (PTST) zur Anwendung.<sup>84-86</sup> Insbesondere Mikro-CT-Untersuchungen erzeugen qualitativ hochwertige und hochauflösende Bilder die es erlauben, den inneren Aufbau von Frakturen und Kallusbildungen näher zu betrachten und so Informationen über den Heilungsgrad von Verletzungen zu erlangen.<sup>86</sup> Mikro-CT-Untersuchungen stellen im Vergleich zum Goldstandard der Verletzungsaltersbestimmung am Knochen eine gut verfügbare Technik dar bei dem der Knochen anders als bei histologischen Untersuchungen nicht zerstört werden muss.<sup>86</sup> Dennoch wird in der aktuellen Literatur darauf hingewiesen, dass das Mikro-CT nur als ergänzende Analysemethode gesehen werden, und die histologischen Untersuchungen zur Analyse der Knochenheilungsmerkmale nicht ersetzen kann.<sup>84,86</sup>

#### **5.2.5 Zielsetzung der Arbeit**

Die Bearbeitung forensisch-osteologischer Fälle ist insbesondere für menschliche Knochen sehr komplex. Die Knochen sind mitunter das Einzige, was von einem Menschen noch übrig ist. Ggf. sollen mit dem Fund eines einzelnen Knochens eine Reihe komplexer Fragestellungen im Interesse der Strafverfolgung und Rechtssicherheit beantwortet werden. Gelingt es, menschliche Knochen einer vermissten Person zuzuordnen, so bietet die erfolgreiche Identifizierung den Bekannten und Angehörigen Gewissheit und die Möglichkeit, um die verstorbene Person zu trauern.

Über retrospektive Auswertungen forensisch-osteologischer Gutachten des Instituts für Rechtsmedizin in Gießen (15-Jahreszeitraum) und des Instituts für Rechtsmedizin in Frankfurt am Main (10-Jahreszeitraum) sollte eine Datenerhebung und -analyse zu Knochenfunden in den entsprechenden Einzugsgebieten stattfinden, die eine Beschreibung ihrer Phänomenologie erlaubt. Durch die Interpretation der Ergebnisse im (inter-)nationalen Vergleich sollten regionale Besonderheiten und die Rolle der Rechtsmedizin bei der forensisch-osteologischen Begutachtung herausgearbeitet werden, um einen Erkenntnisgewinn für die wissenschaftliche Gemeinschaft und die Fallarbeit zu erzielen. Ferner sollte durch die vorliegende Arbeit ein Problembewusstsein geschaffen werden, das die Fallarbeit optimiert und zu einer Berücksichtigung lokaler Besonderheiten in Lehre, Ausbildung und Weiterbildung führt.

## **5.3 Darstellung der Publikationen**

### **5.3.1 Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin**

Der erste Teil der Arbeit konzentrierte sich auf eine retrospektive Auswertung aller begutachteten Knochenfunde des Instituts für Rechtsmedizin Gießen von 2005 bis 2019. Nach Sichtung aller im Institutsarchiv vorhandenen Unterlagen wurden jene Fälle ausgeschlossen, bei denen es sich um Funde von definitionsgemäß Leichen oder Leichenteilen handelte oder forensisch-osteologische Untersuchungen nach geplanter Exhumierung oder Räumung eines Beinhauses stattfanden <sup>22</sup>. Ausgewertet wurden Daten zu Fundort, -umständen, Humanspezifität, postmortalem Intervall, Spuren von Gewalteinwirkungen und die Ergebnisse weiterführender Untersuchungen.

Von 172 begutachteten Knochenfunden wurden mit 40 % die meisten in Wald- und Wiesengebieten aufgefunden. Finder waren in 26 % der Fälle und damit am häufigsten Spaziergänger. Die meisten Funde wurden im April und September getätigt und die fundreichste Jahreszeit war der Frühling. Ausschließlich menschliche Knochen wurden in 52 % der Fälle aufgefunden und ausschließlich tierische in 41 %. Mischfunde lagen in 6 % der Fälle vor. Bei den begutachteten nichtmenschlichen Knochen handelte es sich am häufigsten um Knochen von Hirsch bzw. Reh (32 %), Schwein (29 %) und Rind (14 %). Für Funde mit humanen Knochen konnte eine forensisch relevante Liegezeit in 32 % der Fälle nicht ausgeschlossen. Zur Beurteilung der Liegezeit der Humanknochen wurde in 27 % aller Fälle mit menschlichen Knochen eine Prüfung der UV-Fluoreszenz an frischen Sägeflächen durchgeführt und in 16 % ein sog. Luminol-Test. Eine Radiokarbon-datierung erfolgte in 6 % dieser Fälle. Zeichen perimortaler Gewalteinwirkung fanden sich in 6 % menschlicher Knochenfunde.

Ergänzende DNA-Untersuchungen erfolgten in 20 % aller Funde; davon verlief in 62 % die Typisierung humaner STR erfolgreich, und in 41 % davon gelang die Zuordnung zu einem antemortalen Profil.

### **5.3.2 Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany**

In einem zweiten Schritt wurden zunächst die Daten der ersten Arbeit neu strukturiert und das Untersuchungsintervall auf einen Zeitraum von 2011 bis 2020 angepasst. Ferner wurden, äquivalent zur Erfassung der Daten des Instituts für Rechtsmedizin Gießen, die Unterlagen forensisch-osteologischer Untersuchungen des Instituts für Rechtsmedizin Frankfurt retrospektiv ausgewertet und dieselben Ausschlusskriterien wie für die Gießener Fälle angewandt. Dadurch fand eine hessenweite Datenerhebung statt. Besonderes Augenmerk lag dabei nach wie vor auf Fundort und Fundumständen, Humanspezifität, postmortalem Intervall, Spuren von Gewalteinwirkungen und den Ergebnissen weiterführender Untersuchungen. Insgesamt wurden in dem untersuchten 10-Jahreszeitraum 288 Knochenfunde in den beiden hessischen Instituten für Rechtsmedizin untersucht, welche die Eingangskriterien erfüllten. Dabei wurden in Gießen 129 Fälle und in Frankfurt am Main 159 Fälle untersucht. Somit wurden im Durchschnitt 2,4 Knochenfunden pro Monat in Hessen bearbeitet, was einen Jahresdurchschnitt von 28,8 Fällen ergibt. Die fundreichsten Monate waren die des Sommerhalbjahres von April bis September, in denen 63,9 % aller Knochenfunde auftraten. Die meisten Knochen wurden dabei von Spaziergängern (26,7 %; n=77), dicht gefolgt von Gärtnern und (Bau-)Arbeitern mit 22,9 % (n=66) und Anwohnern mit 16,7 % (n= 48). In 48,6 % der Fälle wurden ausschließlich tierische Knochen zur Untersuchung überstellt, in 43,8 % (n=126) der Fälle ausschließlich menschliche Knochen und in 6,9 % (n=20) handelte es sich um sog. Mischfunde. In 0,7 % (n=2) war das zur Untersuchung überstellte Material kein Knochen. Insgesamt gelangten so 13 nahezu vollständige Skelette und 2781 Knochen und Knochenfragmente zur Untersuchung, wovon 1223 (43,9 %) menschlichen Ursprungs waren. Bezogen auf tierische Knochenfunde gelangten mit 23,3 % (n= 40) am häufigsten die knöchernen Überreste von Schweinen und mit 18,1 % (n=31) am zweithäufigsten die von Hirschen zur Untersuchung. In 16,4 % handelte es sich um Funde von Rinder- oder Kalbsknochen und jeweils in 11,7 % (n=20) um Knochen von Rehen und Schafen. Unter den menschlichen Knochen und Knochenfragmenten waren zu 17,3 % (n=211) Anteile des Schädels überstellt worden, bei den tierischen Knochen machte dieser Anteil 2,2 % (n=35) aus.

In Bezug auf die als menschlich identifizierten Funde wurden in 43,2 % (n=63) weitere Untersuchungen zur Liegezeitbestimmung durchgeführt. Dabei handelte es sich in 60,3 % (n=38) um UV-Untersuchungen an der frischen Sägefläche von Langknochen, in 34,9 % (n=22) um die Durchführung eines Luminoltests und in 4,8 % (n=3) um Radiokarbondatierungen. Eine forensisch relevante Liegezeit wurde in 37,0 % (n =54) angenommen und in genauso vielen Fällen ausgeschlossen. Spuren von Gewaltverletzungen an den aufgefundenen Knochen wurden in 58,3 % (n=168) als postmortale Beschädigungen klassifiziert, was bei den rein menschlichen Funden einen Anteil von 78,8 % (n=89) einnahm. Ferner wurden in 9,7 % (n=11) perimortale und in 11,5 % (n=13) antemortale Verletzungen an menschlichen Knochen festgestellt. Molekulargenetische Untersuchungen wurden in 24,7 % (n=71) aller Fälle durchgeführt und in 40,4 % (n=59) der menschlichen Knochenfunde. In 83,1 % (n=48) dieser menschlichen Fälle gelang es ein STR-Profil zu erstellen und in 17 Fällen (35,4 %) war eine Identifizierung mittels Zuordnung zu einem antemortalen Vergleichsprofil erfolgt.

Die erhobenen hessenweiten Daten wurden auf nationaler Ebene mit veröffentlichten Daten einer Studie aus Hamburg und auf internationaler Ebene mit Studien aus der Schweiz, Australien, den USA und Südafrika verglichen.

## 5.4 Diskussion

Damit ein Knochen einer forensischen Untersuchung zugeführt werden kann, muss dieser – so trivial dies klingen mag – erst einmal gefunden werden. In Hessen handelte es sich in den untersuchten Zeiträumen in der Regel um Zufallsfunde beim Spaziergang mit oder ohne Hund, beim Pilze-Sammeln oder sonstigem Verweilen in der Natur. Es ist aber nicht davon auszugehen, dass jeder Fund den zuständigen Behörden gemeldet wird. Es kann zahlreiche Gründe geben, warum die Finder ihre Entdeckung nicht melden oder ggf. im wahrsten Sinne des Wortes für sich behalten. Einige Finder wollen sich bei ihren Freizeitaktivitäten nicht durch einen Anruf bei der Polizei und den damit verbundenen bürokratischen Abläufen stören lassen, andere wollen vielleicht schlichtweg Probleme, wie einen möglichen Baustopp bei der Auffindung von Knochen in einer Baugrube, vermeiden. Wiederandere glauben, selbst über die Kompetenz, tierische Knochen als solche zu erkennen, zu verfügen und erachten ihren Fund als nicht mitteilbar. Zu ähnlichen Überlegungen kommt eine Arbeit aus Hamburg zu forensisch-osteologisch begutachteten Knochenfunde am dortigen Institut für Rechtsmedizin.<sup>87</sup> Die Daten dieser Veröffentlichung über „forensische anthropologische Knochenfunde“ aus Hamburg wurde für den Zeitraum 2011-2015 für einen nationalen Vergleich mit den Hessischen Daten genutzt.<sup>87</sup>

Betrachtet man die Art der zur Untersuchung überstellten Tierknochen in Gießen und ganz Hessen, so zeigt sich, dass kaum Tierschädel in eines der beiden rechtsmedizinischen Institute in Hessen überstellt wurden. Dies legt nahe, dass bereits von einem Laien die Schädel von Tieren als nicht-menschlich erkannt werden und folglich deren Funde auch nur selten an die Ermittlungsbehörden gemeldet werden.

Dass ein Fund an die Ermittlungsbehörden gemeldet wird, ist jedoch nicht damit gleichzusetzen, dass der Knochenfund automatisch einer forensisch-osteologischen Untersuchung zugeführt wird. Mitunter werden Knochen, bei denen durch die ermittelnden Beamten der Verdacht gestellt wurde, dass es sich eher um einen Tierknochen handelt, einem Allgemein- oder Veterinärmediziner vorgelegt. Bestätigt dieser den Verdacht der Beamten erfolgen in der Regel keine weiteren Untersuchungen. Wie eingangs erwähnt, werden in Deutschland aktuell forensisch-osteologische Begutachtungen fast ausschließlich von rechtsmedizinischen

Instituten durchgeführt. Diese Herangehensweise unterscheidet sich von vielen anderen Ländern, wo derartige Untersuchungen durch sog. forensische Anthropologen erfolgen. Dieses Studium bzw. diese Subspezialisierung ist im deutschsprachigen Raum derzeit nicht möglich. Die Hauptaufgabe eines forensischen Anthropologen besteht darin, Ermittlungsbehörden bei der Identifizierung lebender Personen oder menschlicher Überreste (skelettierte, mumifizierte Überreste oder Leichen) zu helfen. Dies geschieht äquivalent zur Rechtsmedizin anhand biologischer Merkmale. Der größte Unterschied beider Disziplinen besteht darin, dass der Fokus der Rechtsmedizin zu einem Großteil auf der Erhebung und Beurteilung traumatologischer und pathologischer Befunde liegt, während für die Anthropologie die Variabilität und Häufigkeit bestimmter Merkmale in einer Population sowie die Erfassung dieser individuellen und gruppenspezifischen Merkmale zentraler Bestandteil ihrer Tätigkeit ist. Konkret arbeitet die Anthropologie Wahrscheinlichkeiten in der Relation zur Gesamtbevölkerung heraus, während die Rechtsmedizin Befunde und deren Folgen am jeweiligen Individuum für sich betrachtet.<sup>88</sup>

Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren rein osteologische Gutachten. Dementsprechend wurden Funde, bei denen die Knochen noch durch Weichgewebe (teilweise) im Verbund vorlagen und es sich somit definitionsgemäß (noch) um einen Leichnam bzw. Teile davon handelte, ebenso ausgeschlossen, wie Begutachtungen von Knochen im Rahmen von Exhumierungen und gerichtlichen Leichenöffnungen. Außerdem fanden Untersuchungen von Knochen, die in größerer Menge bei Renovierungsarbeiten in Kirchen aufgefunden wurden, keinen Eingang in die Studien. So wurden z. B. in hessischen Kirchen knöcherne Überreste nach Ablauf der Bestattungsfristen und Auflösung der Gräber in den Dachböden von Kirchen gelagert. Die Lagerstätten der Knochen gerieten mit der Zeit in Vergessenheit, wie zum Beispiel im hessischen Waldeck-Frankenberg oder Spanngenberg geschehen und wurden bei der Wiederentdeckung forensisch-osteologischen Untersuchungen zugeführt.

Hessen ist das fünftgrößte der 16 Bundesländer Deutschlands, besitzt eine Fläche von 21.115 km<sup>2</sup> und 6,4 Millionen Einwohner.<sup>89</sup> Das Gebiet wird rechtsmedizinisch von zwei Instituten versorgt: zum einen durch das Institut für Rechtsmedizin Gießen, das mit den Landgerichtsbezirken Gießen, Fulda, Marburg, Wetzlar und Kassel, die

eher ländlich geprägte nördliche Hälfte Hessens versorgt und zum anderen durch das Institut für Rechtsmedizin Frankfurt mit dessen eher urban geprägtem Einzugsbereich in der südlichen Hälfte Hessens und der Metropolregion Rhein-Main, mit den Landgerichtsbezirken Darmstadt, Frankfurt, Hanau und Wiesbaden. Die forensisch-osteologischen Untersuchungen an beiden Standorten erfolgen nach dem allgemein anerkannten und aktuellen Stand der Wissenschaft, entsprechend der Verpflichtung eines Sachverständigen im Ermittlungsverfahren. Eine Vergleichbarkeit der Vorgehensweisen an beiden Instituten wurde darüber gewährleistet, dass Herr Prof. Verhoff zunächst am Institut für Rechtsmedizin in Gießen tätig und dort bis 2013 aufgrund seiner Expertise für die forensische Osteologie zuständig war. Nach seiner Berufung an das Institut für Rechtsmedizin Frankfurt ging die Verantwortlichkeit für die forensisch-osteologischen Untersuchungen in Gießen auf Herrn PD Dr. Birngruber über, der die von Herrn Prof. Verhoff etablierten Untersuchungsstandards fortführte.

Vor Beginn der Auswertungen lag die Vermutung nahe, dass es deutliche Unterschiede zwischen den Funden im eher ländlich geprägten Einzugsbereich des Instituts für Rechtsmedizin Gießen und dem urbanen Versorgungsgebiet des Frankfurter Institut geben könnte. Diese Vermutung konnte nicht bestätigt werden: hinsichtlich der Fundorte, Finder und Art der aufgefundenen Knochen bestanden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Fällen beider Institute. Gründe dafür könnten in den großen Naherholungsgebieten rund um den Taunus im Versorgungsgebiet der Frankfurter Rechtsmedizin, den durchaus städtisch geprägten Regionen Kassel und Fulda und den gleichermaßen strukturierten Ermittlungsbehörden in ganz Hessen zu suchen sein. Im nationalen Vergleich mit einer Veröffentlichung aus Hamburg wurde für den Zeitraum 2011-2015,<sup>87</sup> bei der in 50 % der Hamburger Fälle die Funde im Rahmen von Bau- oder Gartenarbeiten aufgefunden wurden und dies in 32 % von Bauarbeitern und 13 % von Anwohnern. Während in Hessen der Anteil an Spaziergängern als Finder den mit 26,7 % den größten Anteil der Gruppe bot, lag der Anteil der Spaziergänger als Finder aus Hamburg mit 20 % darunter. Dies könnte auf die bereits erwähnten großen Wald- und Wiesenflächen zurückzuführen sein, die in Hessen für Aktivitäten im Freien genutzt werden und wo 38,2 % aller Knochenfunde in Hessen erfolgten. In Hamburg lag der Anteil an Funden in freier Natur (ohne Wasserflächen) nur etwa bei 12,7 %.

Dazu passend wurden die meisten Funde im Sommerhalbjahr registriert, mit einem Peak im Monat April, was sich mit den Ergebnissen der Hamburger Veröffentlichung<sup>87</sup> und einer Schweizer Arbeit aus Bern<sup>90</sup> deckt. In Frühling und Sommer zieht es die Menschen nach draußen ins Grüne und viele Bauarbeiten werden aufgrund der Witterung nur in der Sommerhälfte des Jahres durchgeführt. Ähnliche Gründe wurden von Indra und Lösch angenommen, die die Häufung der Funde in den Sommermonaten mit einer erhöhten Freizeitaktivitäten und einer fehlenden Schneedecke in Verbindung stellten.<sup>90</sup> Veröffentlichungen bezüglich osteologischer Untersuchungen aus den westlichen und südlichen Teilen der USA verzeichneten konträr hierzu einen Anstieg der Funde zum Jahresende hin, was mit der zu dieser Zeit stattfindenden Jagdsaison in Verbindung gebracht wurde.<sup>91</sup>

In Wald- und Wiesengebieten ist das Vorkommen von Knochen und Knochenfragmenten allgemein keine Seltenheit. Verenden Wildtiere in ihrer natürlichen Umgebung, werden ihre knöchernen Überreste von anderen Tieren verschleppt, verscharrt oder vergraben und kommen früher oder später in Wald und Wiese zum Vorschein. Ein Knochen in einem Wald kann demzufolge als etwas „Normales“ angesehen werden, mit dem gerechnet werden kann. Dennoch waren die Funde in den vorliegenden Arbeiten durch die Finder als mitteilenswert erachtet worden, wofür es unterschiedliche Gründe geben kann (s. o.). Unter anderem wird ein Fund dann als mitteilenswert erachtet, wenn der Finder die Wahrscheinlichkeit als groß erachtet, dass es sich um einen menschlichen Knochen handelt. In Deutschland gilt eine Bestattungspflicht, d. h. es besteht nach dem Versterben einer Person die Pflicht für die totensorgeberechtigten Angehörigen, den Leichnam einer ordnungsgemäßen Bestattung zuzuführen (siehe z. B. FBG Hessen<sup>2</sup>). Menschliche Überreste, die außerhalb von Friedhöfen aufgefunden werden, sind also zunächst nicht mit den in Deutschland geltenden Gesetzen vereinbar.

In Hessen wurden in dem Untersuchungszeitraum 211 humane Schädel und Schädelfragmente zur Untersuchung überstellt, was einen Anteil von 17,3 % der insgesamt untersuchten menschlichen Knochen und Knochenfragmente bedeutete. Bei den Knochen tierischen Ursprungs waren nur 2,2 % der überstellten Knochen Schädeln oder Schädelfragmenten zu zuordnen. Im Gießener Institut stammten 48 % der untersuchten Funde aus Wald- und Wiesengebieten, und mehr als zwei Drittel dieser Funde enthielten Schädel oder Schädelfragmente. Angesichts dieser Ergebnisse liegt die Schlussfolgerung nahe, dass es gerade bei Schädeln und

Schädelfragmenten auch für den Laien ein hoher Erkennungsgrad besteht. So wird z. B. ein Mäuseschädel im Wald durch den Finder als tierischen Ursprungs eingestuft und der Fund so, konträr zu Resten eines menschlichen Schädels, als nicht mitteilenswert erachtet.

Anders verhält es sich mit Langknochen. Ein Drittel der im Gießener Versorgungsgebiet angefallenen nicht humanen Knochenfunde enthielten (nahezu) vollständige Tibiae von Hirsch oder Reh. Die Finder, die diese Knochenfunde für mitteilenswert erachtet hatten, waren häufig Personen, denen man anatomische (Grund-)Kenntnisse zusprechen würde, wie z. B. Ärzte oder Jäger. Der Tibia eines Wildwiederkäuers ist im direkten Vergleich zur menschlichen Tibia in der Tat eine gewisse Ähnlichkeit, bis hin zu ihrer der Größe, zuzusprechen. Für Nordamerika sind vergleichbare Häufungen bei Funden von skelettierten Bärenpfoten beschrieben, die auf den ersten Blick leicht mit menschlichen Händen zu verwechseln sind.<sup>92</sup> Ähnliches wird in einem bilderreichen Fallbericht aus Rumänien von Dogaroiu et al. berichtet.<sup>93</sup> In Australien sehen die Untersucher von forensisch-osteologischen Fällen eine Verwechslungsgefahr zwischen dem Radius eines Känguru und dem eines Menschen.<sup>94</sup>

Diese Beispiele zeigen, dass es von Vorteil ist, die Besonderheiten der örtlichen Fauna zu kennen. Bei einer genaueren Betrachtung der im Untersuchungszeitraum aufgefundenen Tierarten zeigt sich, dass mit 23,4 % (n=40) vom Schwein stammende Knochen und Knochenfragmente am häufigsten in eines der hessischen Institute zur Untersuchung überstellt wurde, gefolgt von Hirschknochen mit 18,1 % (n=31) und Rinder- bzw. Kalbsknochen mit 16,4 % (n=28). In 31 Fällen wurden perimortale Verletzungen in Form von Schlachtspuren an den überstellten Knochen festgestellt. Die These, die sich bei der Betrachtung der Fundumstände zunächst naheliegend erscheint, dass es sich bei den Tierarten hauptsächlich um Bewohner des Waldes handelt, ist in Anbetracht der zur Untersuchung überstellten Tierarten nur bedingt haltbar. In dem von Donlon et al. untersuchten australischen Kollektiv sah die Forschergruppe Hinweise darauf, dass die Häufigkeit verschiedener Tierarten im Untersuchungsgut mit den Essgewohnheiten der Bevölkerung korreliert.<sup>92</sup> In Anbetracht der hessischen Ergebnisse drängt sich ebenfalls dieser Gedanke auf, da Schweineknöchel die am häufigsten zur Untersuchung überstellte Tierart darstellten, und Schwein die am häufigsten in Deutschland verzehrte Fleischart ist.<sup>95</sup>

Man könnte sich die Frage stellen, warum es überhaupt notwendig ist, die Tierart eines aufgefundenen Knochens zu bestimmen, wenn das Interesse der Ermittlungsbehörden lediglich darin liegt, ob es sich um einen menschlichen Knochen handelt oder nicht. Es wäre zeitsparender, wenn nach Ausschluss der Humanspezifität der Knochenfund nicht weiter behandelt und eine Bestimmung der Tierart ausbleiben würde. Ein derartiges Vorgehen kann sich jedoch in strittigen Fällen zum Problem entwickeln. Letztlich gilt es immer, die humane interindividuelle Variabilität von einer nicht-humanen Artspezifität abzugrenzen. Deshalb ist bei der Diagnose „nicht-menschlich“ der Gegenbeweis, also die Diagnose der nicht-humanen Art zu fordern. Insbesondere bei Knochenfragmenten ist dies von großer Wichtigkeit. Das zusätzliche Wissen um die regional am häufigsten zur Untersuchung gelangten Tierarten erleichtert die Fallarbeit zusätzlich.

Der Anteil der als ausschließlich Humanspezifisch klassifizierten Knochenfunde lag in Hessen bei 43,8 %. Mischfunde aus menschlichen und tierischen Knochen lagen in 6,9 % der Fälle vor, was einen Gesamtanteil menschlicher Funde von 50,7 % ergab. Im nationalen Vergleich lag der Anteil menschlicher Funde mit 47 % in Hamburg etwas darunter. International war ein Vergleich in dieser Hinsicht anhand der veröffentlichten Literatur aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweisen in den jeweiligen Ländern nur eingeschränkt und erschwert möglich. Zum Beispiel waren in Johannesburg lediglich 1,6 % der untersuchten Fälle nicht menschlich.<sup>96</sup> Die Zuweisung der Knochenfunde an das dortige Institut erfolgte über Leichenhallen und forensisch-pathologische Diensten,<sup>96</sup> sodass von einer deutlichen Vorselektion auszugehen ist.

Eine der für das Strafverfahren entscheidendsten Fragen bei einem als menschlich klassifizierten Knochenfund ist die nach dem postmortalen Intervall (PMI). In Hessen wurden 37,0 % der Fälle einer Liegezeit von 50 Jahren oder weniger zugeordnet, im Hamburger Kollektiv 28,7 %. Donlon verzeichnet einen Anteil von 57 % der Fälle aus New South Wales, die unter dem angesetzten Cut-off von 50 Jahren für das PMI lagen.<sup>97</sup> Simpson und Byard deklarierten 18 % ihrer Fälle als „zeitgenössisch“.<sup>94</sup> In der Schweizer Studie lag der Anteil als forensisch eingestuft Fälle bei 37,9 %, wobei hier ein Schwellenwert von 60 Jahren angenommen wurde.<sup>90</sup> Ein Vergleich mit Arbeiten aus den USA in denen auch nicht skelettierte Überreste mit eingeschlossen sind und so unter anderem ein PMI von weniger als einer Woche beschrieben ist,<sup>98</sup> erscheint in diesem Kontext wenig zielführend.

Rezente humane Knochenfunde stellen die Untersucher vor die besondere Herausforderung der Identitätsklärung. In Hessen gelang es in 24 Fällen die menschlichen Knochen einer verstorbenen Person zu zuordnen. 70,8 % dieser erfolgreichen Identifikationen erfolgte die Klärung der Identität mittels molekulargenetischer Untersuchungen und in 29,2 % anhand morphologischer Methoden.

Eine südafrikanische Studie von Basilo<sup>99</sup> verdeutlicht, dass polizeiliche Ermittlungen und die Verfügbarkeit von Vergleichsdaten von enormer Wichtigkeit für eine erfolgreiche Identifizierung sind. In der südafrikanischen Studie wurden bei 41 % der Verstorbenen antemortale Verletzungen beschrieben, die eine Identifizierung anhand morphologischer Methoden ermöglicht hätten. Das Fehlen medizinischer Aufzeichnungen erschwerte jedoch die Nutzung morphologischer Identifizierungsmöglichkeiten. Die Verfügbarkeit antemortaler Vergleichsbilder wird in Deutschland gleichzeitig begrenzt und gewährleistet durch die in § 28 Abs. 3 RÖV festgesetzte Aufbewahrungspflicht, die einen Aufbewahrungszeitraum von in der Regel 10 Jahren vorsieht.<sup>37</sup> Darüber hinaus zeigte die Studie von Basilo eindrucksvoll, dass die Wahrscheinlichkeit einer Identifizierung 12 Mal höher war, wenn im Vorfeld Identitätshinweise vorlagen.<sup>99</sup>

Die Bearbeitung von Knochenfunden gehört auch in Deutschland bei den einzelnen Polizeidienststellen nicht zu den alltäglichen Aufgaben. Im Durchschnitt werden in ganz Hessen 28,8 Knochenfunde pro Jahr, also 2,4 Funde pro Monat an eines der beiden rechtsmedizinischen Institute in Hessen zur untersucht überstellt. Nach dem Ruf von Herrn Prof. Verhoff an das Institut für Rechtsmedizin Frankfurt praktizierten an beiden Standorten in Hessen Rechtsmediziner, die eine ihrer Forschungsschwerpunkte in die forensische Osteologie setzten. Eine derartige Expertise bleibt bei den Auftraggebern – Polizei und Staatsanwaltschaft nicht unbemerkt. Mit dem Wissen um die Möglichkeit einer rechtsmedizinischen Begutachtung von Knochenfunden durch geschulte Sachverständige wächst auch die Inanspruchnahme einer solchen Untersuchung. Dabei kann diese Expertise nur bedingt durch das Studieren von Fachliteratur erworben werden, viel mehr bedarf es praktischer Erfahrung und einer Vielzahl an untersuchten Knochen in Zusammenarbeit mit einer erfahrenen Person auf dem Gebiet der forensischen Osteologie, ehe man selbst qualitativ gute und sichere Befunde erheben kann.<sup>14,100</sup>

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Vielzahl an apparativen Methoden zur Beantwortung einzelner forensisch osteologischer Fragestellungen angesprochen. So drängt sich unweigerlich die Frage auf, warum den Unsicherheitsfaktor Mensch beibehalten und sich langwierig schulen, wenn durch eine DNA-Analyse das Geschlecht oder die Frage der Humanspezifität schnell und valide beantwortet werden kann? Die Antwort auf diese Frage ist simpel und ist aktuell relevanter denn je. Für alle apparativen Vorgänge wird eine Vielzahl an Ressourcen benötigt, am Beispiel der Molekulargenetik sind es neben den Geräten zur Aufarbeitung der Proben und dem Untersuchungsmaterial selbst, diverse Reagenzien und Laborgeräte zur Amplifizierung des Erbgutes sowie ein Detektionssystem benötigt sowie Elektrizität, um die Geräte zu betreiben. Die letzten Jahre der Corona-Pandemie und der Krieg in der Ukraine haben gezeigt, dass es in einer globalisierten Welt zu Lieferengpässen und Ressourcenknappheit eigentlich selbstverständlicher Güter des alltäglichen Lebens oder bei der medizinischen Versorgung kommen kann. Neben dem „Problem“ auf die Bereitstellung diverser Güter abhängig zu sein, stellt das Probenmaterial in der forensischen Osteologie eine weitere Schwierigkeit dar. Bei rezenten, gut erhaltenen Knochen mag eine DNA-Analyse schnell und einfach durchzuführen sein. Jedoch sind eine Vielzahl an Knochen jahrelangen Umwelteinflüssen ausgesetzt gewesen oder brandgezehrt. Die Erstellung eines DNA-Profiles durch die Degradierung der DNA oftmals nicht möglich.<sup>48</sup> Die Makroskopie stellt dabei eine einfache, kostengünstige und effiziente Möglichkeit dar, die meisten forensisch osteologischen Fragestellungen bei entsprechender Expertise schnell und hinreichend sicher zu beantworten. Daher sollte dieses Wissen bewahrt, weiterentwickelt und weitergegeben werden und der Fokus auf die Lehre verstärkt werden.

Durch die Betrachtung der bearbeiteten forensisch osteologischen Fälle an den beiden hessischen Instituten sollte in erster Linie die Bedeutung und die damit verbundenen Problematiken, die dieser Themenkomplex mit sich bringt, aufgezeigt werden. Durch das Schaffen eines Problembewusstseins kann die Fallarbeit und Lehre in Zukunft optimiert werden, wobei eine kontinuierliche Erhebung und Auswertung zukünftiger forensisch osteologischer Fälle wünschenswert wäre, um den ständigen Wandel abbilden zu können und dem entsprechend zu reagieren. Von besonderem Interesse wäre dabei inwiefern sich die aktuellen Starkwetterlagen

und die dadurch bedingten Veränderungen der Tier- und Insektenwelt Auswirkungen auf Dekompositionsprozesse und die Erscheinungen am Knochen haben.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Datenbank generiert, mit Hilfe derer nicht nur die hier eingearbeiteten Publikationen entstanden sind, sondern die auch neue Arbeitsgemeinschaften auf dem Gebiet der Forensischen Osteologie entstehen ließ. Zusammen mit dem Schweizer Institut für Rechtsmedizin in Zürich dienten die in Gießen ausgewerteten Daten und dazugehörigen Asservate einer Studie zur Schätzung des postmortalen Intervalls von menschlichen Skelettresten durch Analyse ihrer Fluoreszenz bei 365 und 490 nm.<sup>101</sup> Im Hinblick auf die Problematik der Speziesbestimmung bei kleinen Knochenfragmenten wird aktuelle, u. a. basierende auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, an einem alternativen Verfahren der sonst sehr aufwendigen Aufarbeitung der Proben für histologische Speziesbestimmungen am Institut für Rechtsmedizin Frankfurt gearbeitet.

## **6 Veröffentlichte eigene Publikationen**

### **6.1 Übersicht**

Ohlwärther TEN, Holz F, Heidorn F, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG (2022) Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin. Rechtsmedizin 32: 11-19

Ohlwärther TEN, Holz F, Edler K, Kölzer SC, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG (2023) Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany. Forensic Sci Med Pathol (accepted: 17.02.2023)

## 6.2 Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin

### Rechtsmedizin

#### Originalien

Rechtsmedizin 2022 · 32:11–19  
<https://doi.org/10.1007/s00194-021-00479-4>  
Angenommen: 28. Februar 2021  
Online publiziert: 20. April 2021  
© Der/die Autor(en) 2021



T. E. N. Ohlwärther<sup>1,3</sup> · F. Holz<sup>2</sup> · F. Heidorn<sup>1</sup> · M. A. Verhoff<sup>2</sup> · C. G. Birngruber<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Justus-Liebig-Universität, Gießen, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Frankfurt, Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

<sup>3</sup> Institut für Rechtsmedizin Gießen, Gießen, Deutschland

## Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin

### Einleitung

Vollständige oder unvollständige Skelette, Einzelknochen, Knochenfragmente oder vermeintliche Knochen finden ihren Weg zu einer rechtsmedizinischen bzw. forensisch-osteologischen Untersuchung typischerweise über die Ermittlungsbehörden. Diese beauftragen meist ein schriftliches Gutachten. Die Begutachtung folgt in der Regel einem bestimmten Schema ([23, 24]; **Abb. 1**): Handelt es sich um einen Knochen, ist zunächst die Frage nach der Humanspezifität zu klären. Kann diese verneint werden, sollten eine Bestimmung der Tierart und eine Beschreibung etwaiger Verletzungsspuren oder Beschädigungen erfolgen. Bei nichtmenschlichen Knochen ergibt sich für die Ermittlungsbehörden meist kein weiterer Handlungsbedarf.

Handelt es sich um menschliche Knochen, folgen weitere Untersuchungsschritte. Es gilt, Aufschluss über das postmortale Intervall [25], prä- oder perimortale Verletzungsspuren oder postmortale Defekte [9] sowie auf die Identität hinweisende oder sie sichernde Befunde [2, 13, 15] zu erlangen. Die erhobenen Befunde und Ergebnisse sind in einem Gutachten darzulegen und zu interpretieren, um die Ermittlungsbehörden in ihren weiteren Entscheidungen bzw. Ermittlungen zu unterstützen [23, 24].

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war eine systemische Analyse der an das Institut für Rechtsmedizin Gießen zur Untersuchung übersandten Knochenfunde, um Daten zu Häufigkeit, Art und Umfang derartiger Begutachtungen eines rechtsmedizinischen Instituts mit gemischtem, ländlichem und städtischem Einzugsgebiet zu erhalten.

### Material und Methoden

Alle im Zeitraum von 2005 bis 2019 im Institut für Rechtsmedizin Gießen begutachteten Knochenfunde wurden retrospektiv ausgewertet. Hierzu wurde im Institutsarchiv eine Sichtung aller dokumentierten Untersuchungen vorgenommen.

Ausgeschlossen wurden Fälle, bei denen Knochen nach geplanter Exhumierung oder Räumung eines Beinhauses [10] forensisch-osteologisch begutachtet wurden, sowie Funde, bei denen es sich bei den menschlichen Überresten definitionsgemäß (noch) um Leichen bzw. Leichenteile handelte [5].

Erhoben wurden Angaben zu Fundort und Finder, die Ergebnisse der makroskopischen Begutachtung und ggf. weiterführender Untersuchungen, d. h., ob die Knochen menschlichen oder tierischen Ursprungs waren, welche Knochen aufgefunden wurden, ob eine Eingrenzung des postmortalen Intervalls erfolgen konnte, ob Verletzungsbefunde und/

oder postmortale Defekte vorhanden waren und ob die Knochen einer bestimmten Person zugeordnet werden konnten.

### Ergebnisse

In dem 15 Jahre umfassenden Untersuchungszeitraum erfolgten im Auftrag der Ermittlungsbehörden 172 forensisch-osteologische Begutachtungen, wobei für 161 Fälle ein schriftliches Gutachten vorlag. Bei den restlichen 11 Knochenfunden war ausschließlich eine mündliche Übermittlung des Begutachtungsergebnisses an die Ermittlungsbehörden erfolgt, die Auswertung wurde in diesen Fällen anhand zugehöriger handschriftlicher Aufzeichnungen durchgeführt.

### Finder und Fundorte

Etwa jeder vierte Knochenfund (26%) wurde von Spaziergängern oder Wanderrern, häufig in Begleitung eines Hundes, gemeldet. In 20% der Fälle erfolgte der Fund durch (Bau-)Arbeiter oder Gärtner. Für 18% der Fälle war dem durch die Ermittlungsbehörden mitgeteilten Sachverhalt lediglich zu entnehmen, dass „ein Zeuge“ einen oder mehrere Knochen aufgefunden habe. Durch Anwohner wurden 16% der Funde gemeldet. In 8% der Fälle fanden Kinder beim Spielen im Freien Knochen auf. Weitere Knochen wurden von Polizisten, teils während, teils außerhalb ihrer Dienststätigkeit (8%), Jä-

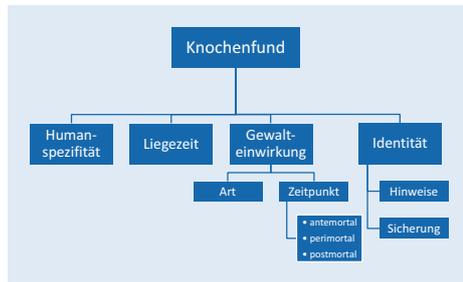


Abb. 1 ◀ Begutachtungsschema

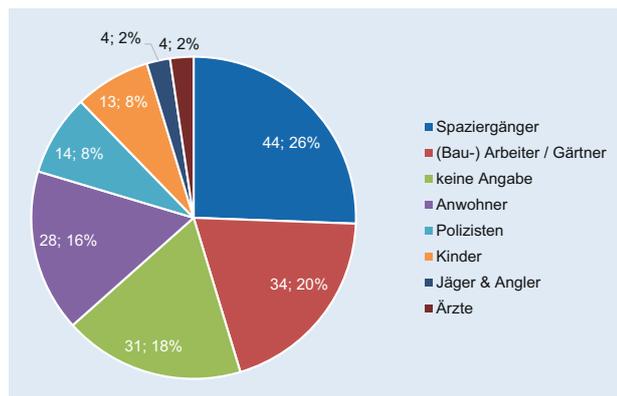


Abb. 2 ▲ Finder der Knochen (Anzahl; prozentualer Anteil), n = 172

gern und Anglern (2%) sowie Ärzten (2%) gefunden und an die Ermittlungsbehörden gemeldet (Abb. 2).

Mit 40% wurden die meisten Knochen in Wald- und Wiesengebieten entdeckt, gefolgt von Privatgrundstücken mit 25% und Verkehrswegen mit 10% (Abb. 3). Bei den auf Friedhöfen bzw. in Kirchen aufgefundenen Knochen handelte es sich um Einzelfunde in nichtortstypischer Lokalisation, z. B. auf den Stufen der Friedhofskapelle oder oberirdisch zwischen regulären Erdgräbern.

### Anzahl und Art der Funde

Im Untersuchungszeitraum erfolgte im Durchschnitt etwa eine Begutachtung pro Monat. Die Monate mit den meisten Knochenfunden waren April und September (Abb. 4a), die knochenfundreichste Jahreszeit der Frühling.

Mit 89 Fällen handelte es sich in etwas mehr als der Hälfte (52%) um Funde mit ausschließlich menschlichen Knochen, in 71 Fällen (41%) um Funde mit ausschließlich tierischen Knochen. In 11 Fällen (6%) lagen sog. Mischfunde vor, d. h., sowohl menschliche als auch tierische Knochen wurden zusammen entdeckt und zur Untersuchung überstellt. Als weder menschlich noch tierisch stellte sich lediglich ein Fund heraus, bei dem es sich um ein zusammengerolltes Stück Linoleumboden handelte. Die Anzahl der Untersuchungen pro Jahr variierte zwischen 4 (im Jahr 2011) und 20 (in den Jahren 2016 und 2018) (Abb. 4b). Ein klarer Trend ließ sich daraus nicht ableiten.

### Art und Anzahl der aufgefundenen Knochen

In dem ausgewerteten 15-Jahres-Zeitraum wurden 7 nahezu vollständige menschliche Skelette und weitere 1345 Knochen, davon 619 (nahezu) vollständig und 726 fragmentierte Knochen, zur Begutachtung überstellt.

Von den 619 nahezu vollständigen Knochen wurden 388 (63%) als menschlich und 231 (37%) als tierisch klassifiziert. Bei den 726 Knochenfragmenten gelang bei 359 (49%) eine Zuordnung zu menschlich, und bei 367 (51%) zu nichtmenschlich. In 7 Fällen, bei denen diesbezüglich makroskopisch keine Aussage möglich war, ergaben forensische DNA-Analysen eine tierische Herkunft.

Bei den als tierisch klassifizierten Knochen handelte es sich hauptsächlich um Langknochen und Wirbelkörper bzw. deren Fragmente. Nur selten wurden vollständige oder fragmentierte Tierschädel zur Untersuchung übergeben. Die tierischen Knochen stammten in drei Viertel der Fälle von Schwein, Rind oder Hirsch bzw. Reh (Abb. 5).

Bei den Knochen humanen Ursprungs handelte es sich, zusätzlich zu den 7 überwiegend vollständigen Skeletten, um 388 (nahezu) vollständig erhaltene und 359 fragmentierte Knochen, wobei als vollständige Knochen hauptsächlich Lang- und Wirbelknochen vorlagen. Menschliche Schädel bzw. Schädelfragmente waren Bestandteil von 74% der zur Untersuchung übersandten Fälle, die menschliche Knochen enthielten. Die Art der untersuchten menschlichen und tierischen Knochen ergibt sich aus Abb. 6a, b.

### Postmortales Intervall (Liegezeitbestimmung)

In knapp einem Drittel (32%) der humanen Knochenfunde ( $n = 100$ ) wurde ein forensisch relevantes postmortales Intervall von 50 Jahren oder weniger nicht ausgeschlossen. Knapp der Hälfte (45%) der humanen Knochenfunde wurde eine Liegezeit von mehr als 50 Jahren zugeordnet. Bei den verbleibenden humanen Knochenfunden (23%) wurde keine Aussage zum postmortalen Intervall anhand makroskopischer Befunde getroffen, vor-

T. E. N. Ohlwärther · F. Holz · F. Heidorn · M. A. Verhoff · C. G. Birngruber

**Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin****Zusammenfassung**

**Einleitung.** Funde von Knochen(fragmenten) können von Interesse für Strafverfolgungs- oder Denkmalbehörden sein. Die forensisch-osteologische Begutachtung kann zur Einordnung der Bedeutung des Fundes beitragen. Ziel der Studie war, durch eine Auswertung von am Institut für Rechtsmedizin Gießen begutachteten Knochenfunden einen Überblick über Umstände und Art der Funde sowie Umfang und Ergebnisse der Begutachtungen zu erhalten.

**Material und Methoden.** Für den Zeitraum von 2005 bis 2019 wurden im Institut archivierte osteologische Gutachten analysiert und Daten zu Fundort, -umständen, Humanspezifität, postmortalem Intervall, Spuren von Gewalteinwirkungen und die

Ergebnisse weiterführender Untersuchungen ausgewertet.

**Ergebnisse.** Von 172 begutachteten Knochenfunden wurden 40% in Wald- und Wiesengebieten aufgefunden. In 58% enthielten die Funde menschliche Knochen, davon wurde in 32% eine forensisch relevante Liegezeit nicht ausgeschlossen. Zeichen perimortaler Gewalteinwirkung fanden sich in 6% menschlicher Knochenfunde. Ergänzende DNA-Untersuchungen wurden in 20% aller Funde durchgeführt; davon verlief in 62% die Typisierung humaner STR erfolgreich, und in 41% gelang die Zuordnung zu einem antemortalen Profil. Bei den zur Begutachtung übersandten nichtmenschlichen Knochen handelte es sich am häufigsten um Knochen

von Hirsch bzw. Reh (32%), Schwein (29%) und Rind (14%).

**Diskussion.** Die Begutachtung von Knochenfunden soll Behörden ermöglichen, die (straf-)rechtliche Relevanz eines Fundes einzuordnen. Die makroskopische Untersuchung ist dafür von großer Bedeutung. Für die Identifizierung menschlicher Knochen besitzen DNA-Vergleichsuntersuchungen einen großen Stellenwert. Sie waren für 81% der erfolgreichen Identifizierungen der Fälle mit menschlichen Knochen verantwortlich.

**Schlüsselwörter**

Forensische Osteologie · Biologisches Profil · Postmortales Intervall · Knocherne Verletzungen · Identifizierung

**Medicolegal assessment of bone findings at the Institute of Legal Medicine in Giessen****Abstract**

**Introduction.** Findings of bones or bone fragments can be of historic interest or of interest to law enforcement authorities.

A forensic osteological expertise can help to classify the significance of the find. The aim of this study was to obtain an overview of the circumstances and nature of the findings as well as the extent and results of the examinations and assessment by retrospectively evaluating bone findings examined at the Institute for Forensic Medicine Giessen.

**Material and methods.** For the period from 2005 to 2019, all osteological expert reports archived at the Institute of Legal Medicine Giessen were analyzed and data on the site, circumstances of discovery, human specificity,

postmortem interval, signs of violence and the results of further investigations were evaluated.

**Results.** Of the 172 examined bone findings, 40% were found in forest and meadow areas. In 58% the findings contained human bones, in 32% a forensically relevant postmortem interval was not excluded. Signs of perimortem violence were found in 6% of the human bone findings. Supplemental DNA testing was performed in 20% of all bone findings, 62% of which were successfully typed with human STRs and in 41% the STR profile obtained could be matched to an antemortem profiles. Nonhuman bones sent for assessment were

most commonly from deer or stags (32%), pigs (29%), and cattle (14%).

**Discussion.** The assessment of bone findings enables the investigating authorities to classify the (criminal) legal relevance.

The macroscopic examination is of great importance for this. For the identification of human bones, comparative DNA analyses are of great importance and were responsible for 81% of successful identification in cases involving human bones.

**Keywords**

Forensic osteology · Biological profile · Postmortem interval · Bony injuries · Identification

nehmlich aufgrund von Zeichen einer längeren Liegezeit im Freien (Abb. 7).

**Ergänzende Untersuchungen zur Liegezeit**

Zur Eingrenzung des postmortalen Intervalls wurde bei humanen Langknochen nach der zerstörungsfreien makroskopischen Begutachtung in 27 Fällen ein Querschnitt des Schaftes angefertigt und die UV-Fluoreszenz der Sägefläche untersucht. In 16 Fällen erfolgte eine Be-

urteilung der Luminolreaktion des beim Sägen entstandenen Knochenmehls. In 6 Fällen wurden Radiokarbonuntersuchungen in Auftrag gegeben. Für die 6 Fälle humaner Knochenfunde, in denen Radiokarbonuntersuchungen durchgeführt wurden, war das postmortale Intervall makroskopisch als nicht forensisch relevant beurteilt worden. Die Beauftragung der Radiokarbondatierungen durch die Ermittlungsbehörden ergab sich teils aus den Fundumständen (z. B. Psychiatriegelände, Universitäts-

campus), teils aus festgestellten Verletzungsspuren (u. a. Schussverletzungen) und erfolgte zur Überprüfung der makroskopisch mit (teils deutlich) über 50 Jahren angenommenen Liegezeiten. Die Untersuchungen ergaben, dass die Knochenfunde von Verstorbenen aus dem späten 17. Jh. bis zum frühen 19. Jh. stammten.

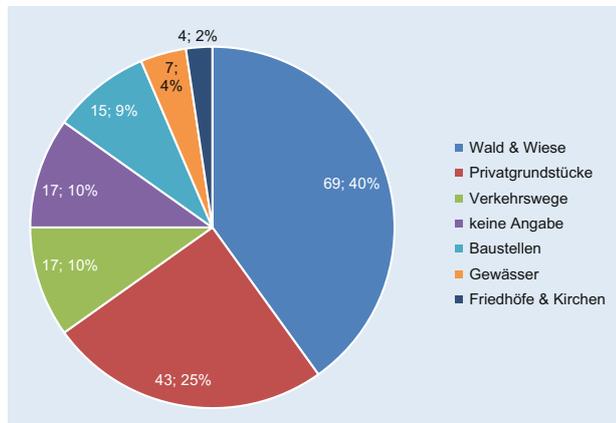


Abb. 3 ▲ Verteilung der Fundorte (Anzahl; prozentualer Anteil),  $n=172$

### Verletzungen und Beschädigungen

In 47% aller untersuchten Knochenfunde fanden sich Spuren einer erfolgten Gewalteinwirkung.

Antemortale (prämortale) Verletzungen wurden für 2% aller Funde ( $n=4$ ) und ausschließlich an menschlichen Knochenfunden beschrieben.

Perimortale Verletzungen fanden sich in 10% aller Funde ( $n=18$ ). Dabei handelte es sich hauptsächlich um typische Schlachts Spuren an Tierknochen ( $n=12$ ). Bei den aufgefundenen humanen Knochen lagen in 6 Fällen (3% aller Funde) perimortale Verletzungen vor. Sie waren in 3 Fällen infolge stumpfer Gewalteinwirkung und in 3 Fällen infolge einer Schussbeibringung entstanden. Postmortale Beschädigungen waren an Tierknochen praktisch ebenso häufig vorhanden wie an menschlichen Knochen und fanden sich in 35% aller Funde ( $n=61$ ). In den Gutachten wurde gut ein Viertel dieser Fälle als Tierverbiss ( $n=17$ ), gut ein weiteres Viertel ( $n=16$ ) als der Bergung zuzuschreibende Beschädigungen konkretisiert. Bei den menschlichen Knochen fanden sich häufiger Bergeartefakte ( $n=15$ ), bei den tierischen Knochen häufiger Tierverbiss ( $n=11$ ).

### Untersuchungen zur Identifizierung

Für die 100 Funde, die menschliche Knochen enthielten, wurden, soweit möglich, im Rahmen der makroskopischen Begutachtung ein biologisches Profil und in 21 Fällen ein postmortaler Zahnstatus erhoben, um Hinweise auf die Identität zu erlangen. In 2 Fällen ergab sich aufgrund vorhandener antemortaler Trepanationsverletzungen ein konkreter Identitätsverdacht. In einem Fall erfolgte der CT-Scan eines Schädels als Datengrundlage für eine digitale Gesichtsweichteilrekonstruktion.

In 21 Fällen gelang eine sichere Zuordnung aufgefundener menschlicher Knochen zu einer als vermisst gemeldeten Person: in 17 Fällen über molekulargenetische Vergleichsuntersuchungen, in 3 Fällen mittels Abgleich des ante- und postmortalen Zahnstatus und in einem Fall über einen Schädel-Bild-Vergleich.

### DNA-Analysen

In 20% aller Funde ( $n=34$ ) wurden an den Knochen molekulargenetische Untersuchungen durchgeführt. Davon verlief in 62% ( $n=21$ ) die Typisierung humaner STR erfolgreich, und in 41% ( $n=14$ ) wurden die erhobenen STR-Profile einem antemortalen Profil zugeord-

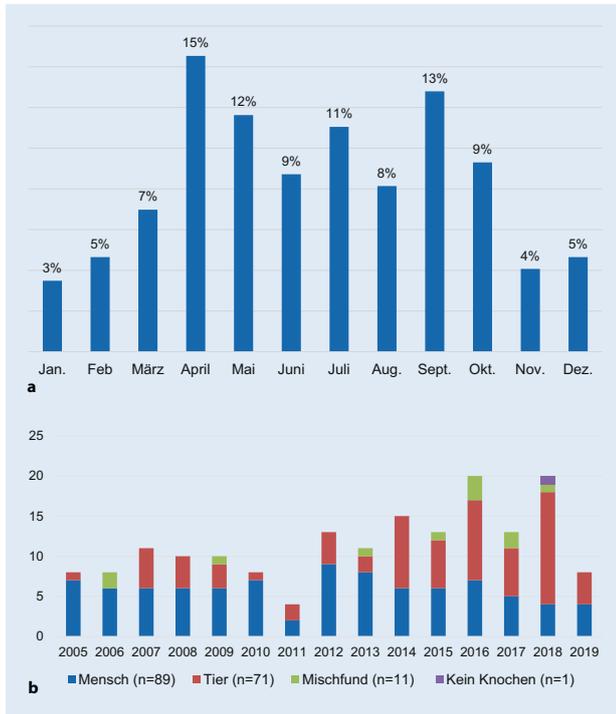
net, was als Identitätssicherung gewertet wurde. In 7 Fällen stellten sich die durch Fragmentierung morphologisch nicht mehr eindeutig als menschlich oder tierisch klassifizierbaren Knochen mittels mtDNA-Analyse als tierische Knochen heraus. In 6 Fällen, bei denen es sich morphologisch eindeutig um menschliche Knochen handelte, war es weder möglich, ein STR-Profil zu erstellen noch verlief die mtDNA-Analyse erfolgreich.

### Diskussion

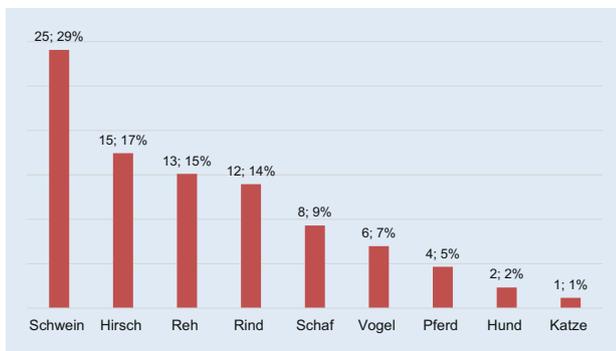
Erachten Ermittlungsbehörden die Untersuchung und Begutachtung eines Knochenfundes für notwendig, wird in der Regel ein rechtsmedizinisches Institut damit beauftragt werden [16, 22]. Bis vor etwa 20 Jahren wurde ein Teil dieser Gutachten durch anthropologische Institute erstellt, die einen forensischen Schwerpunkt hatten. Heutzutage ist die (biologische) Anthropologie in der deutschen Hochschullandschaft nahezu ausgestorben. Vielerorts wurde die osteologische Lehre für Studierende der Biologie durch die Rechtsmedizin übernommen. Die forensisch-osteologische Fallarbeit hat genauso wie die Lehre und die Forschung auf diesem Gebiet einen festen Platz im rechtsmedizinischen Arbeitsalltag. Das Ergebnis des forensisch-osteologischen Gutachtens sollte den Ermittlungsbehörden eine Beurteilung der möglichen strafrechtlichen Relevanz eines Fundes erlauben und die Beantwortung der Frage nach der Notwendigkeit weiterführender Ermittlungen ermöglichen.

### Finder und Fundorte

Voraussetzung dafür, dass die Ermittlungsbehörden Kenntnis von einem Knochenfund erlangen ist, dass dieser durch den Auffinder angezeigt wird. Es ist davon auszugehen, dass nicht jeder Knochenfund gemeldet wird. Die Gründe dafür können vielschichtig sein. Zunächst muss der Knochen als solcher erkannt und weiterhin für den Finder eine Ähnlichkeit mit menschlichen Knochen bestehen. So ist es erklärbar, dass kaum Säugetierschädel vorgelegt werden, da diese bereits von Laien kaum für menschlich gehalten wer-



**Abb. 4** ▲ a Verteilung der Knochenfunde auf die einzelnen Monate des Untersuchungszeitraums, n = 172. b Anzahl der Knochenfunde in den einzelnen Jahren des Untersuchungszeitraums, n = 172



**Abb. 5** ▲ Funde mit tierischen Knochen: bestimmte Tierarten (Anzahl; prozentualer Anteil)

den. Andererseits dürften die Fundumstände, insbesondere der Fundort, eine Rolle spielen. So kann die Motivationslage des Finders sehr unterschiedlich sein, seinen Fund der Polizei nicht zu melden: Auf Baustellen könnte beispielsweise ein Baustopp befürchtet werden, oder es gibt Menschen, die grundsätzlich Kontakte mit der Polizei vermeiden.

Die im ländlichen und im städtischen Einzugsgebiet des Instituts für Rechtsmedizin Gießen in dem analysierten 15-Jahres-Zeitraum zur Untersuchung gelangten Knochenfunde stammten zu 40% von Wäldern und Wiesen. Dort kann prinzipiell mit der Auffindung von Knochen gerechnet werden, die von (Wild-)Tieren stammen, sodass ein Fund als nicht mitteilenswert erachtet werden könnte. Die gemeldeten und folglich untersuchten „Wald- und Wiesenfunde“ bestanden etwa zur Hälfte (52%) ausschließlich aus tierischen Knochen. Es handelte sich dabei meist um Funde von Langknochen, Beckenanteilen und Wirbelknochen, teilweise fragmentiert, bei denen eine Abgrenzung zu menschlichen Knochen von einem Laien nicht erwartet werden kann. Ein Drittel der Funde enthielt (meist zusätzlich zu anderen Knochen) eine Hirschtibia, für die zweifelsohne eine Verwechslungsmöglichkeit mit ihrem menschlichen Pendant besteht [22]. In einem Fall wurde in einem Waldstück ein in einem Armeestiefel steckender mutmaßlicher Unterschenkelknochen aufgefunden. Die Annahme eines humanen Knochenfunds lag nahe, die Begutachtung ergab allerdings, dass es sich bei dem Fund um Rinderknochen handelte (Abb. 8). Es blieb letztlich unklar, wer dieses „Arrangement“ zu verantworten hatte.

Knapp die Hälfte der „Wald- und Wiesenfunde“ (48%) enthielt menschliche Knochen, mehr als zwei Dritteln dieser Fälle Schädel bzw. größere Anteile davon. Dass von menschlichen Schädelknochen auch für Laien ein höherer „Wiedererkennenswert“ ausgeht, ist anzunehmen.

Hinsichtlich der Unterscheidung eines Tierknochens von einem menschlichen Knochen könnte Jägern und Anglern sowie medizinischem Personal ein gewisser Sachverstand unterstellt werden. Von den ausgewerteten 8 Fun-

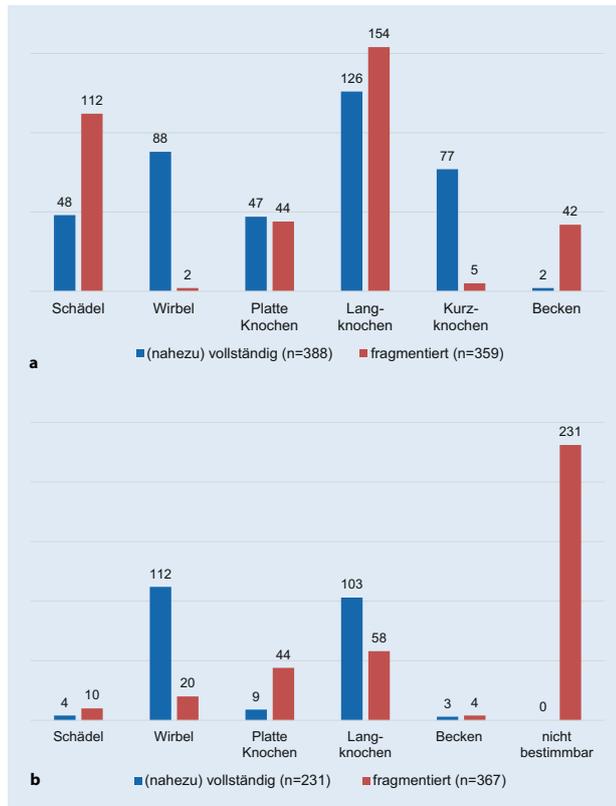


Abb. 6 ▲ a Art und Anzahl der untersuchten menschlichen Knochen. b Art und Anzahl der untersuchten tierischen Knochen

den, die von diesen Personengruppen an die Polizei gemeldet wurden, enthielten lediglich 2 menschliche Knochen. Dabei handelte es sich in einem Fall um ein nahezu vollständiges Skelett, im anderen Fall um ein Femur. Der im ausgewerteten Zeitraum einzige Fall, bei dem sich zur Untersuchung überstelltes Material als weder menschlicher noch tierischer Knochen herausstellte, wurde von einem Orthopäden „vorbefundet“. Es handelte sich dabei um ein Stück zusammengerollten Linoleumboden.

### Humanspezifität

Bei intakten oder überwiegend intakten Knochen sind makroskopisch eine Unterscheidung von menschlichen und tierischen Knochen sowie eine Artsspezifizierung in der Regel problemlos möglich. Bei hochgradiger Fragmentierung kann makroskopisch eine sichere Abgrenzung allerdings schwierig bis unmöglich sein. Ergänzend können in diesen Fällen histologische Untersuchungen durchgeführt werden und die Größe und Anordnung der Osteone zur Klärung der Frage nach der Humanspezifität beitragen [21, 23]. Neben der Morphologie des Osteons stellen „das Vor-

handensein von Haversschen Systemen und ihr relativer Anteil gegenüber anderen histologischen Strukturen“ [6] sowie der durchschnittliche Durchmesser der Havers-Kanäle weitere Kriterien zur Klärung der Artsspezifität dar [7, 16, 17]. In den ausgewerteten Fällen fanden histologische Untersuchungen keine Anwendung. Sieben makroskopisch nicht bestimmbar Knochenfragmente konnten über mt-DNA-Untersuchungen als tierisch klassifiziert werden. In 6 Fällen untersuchter humaner Knochenfunde ergaben sich, am ehesten bedingt durch eine hochgradige DNA-Degradation, keine verwertbaren Ergebnisse.

### Postmortales Intervall

Die Eingrenzung des postmortalen Intervalls hat nach der Bestimmung der Humanspezifität große Bedeutung für die rechtsmedizinische bzw. forensisch-osteologische Einordnung des Fundes als (potenziell) rezent und folglich die ermittlungsseitige Einordnung als rechtsrelevant. Zwar sind weder makroskopische noch apparative Untersuchungen in der Lage, die Liegezeit eines Knochens monats- oder jahrgenau anzugeben, allerdings kann bereits die makroskopische Untersuchung dazu beitragen, die Liegezeit im Hinblick auf das mögliche Interesse der Ermittlungsbehörden einzugrenzen. So können bei bodengelagerten menschlichen Langknochen z. B. ein Fehlen von Fettwachs Spuren und das Vorhandensein von Abhebungen, flächenhaften Defekten und Einrissen der äußeren Knochenschicht sowie intensiven schwarzbraunen Verfärbungen durch Mikroorganismen dazu dienen, eine forensisch relevante Liegezeit von 50 Jahren oder weniger auszuschließen [8, 11, 12, 25]. Die vorangegangene durchgehende Erdlagerung ist allerdings unabdingbare Voraussetzung zur Anwendung dieser Ausschlusskriterien einer forensisch relevanten Liegezeit. Demzufolge sind freiliegend aufgefundene Knochen bzw. Knochen, die Hinweise auf eine längere Liegezeit im Freien aufweisen (Bemoosung, Grünalgenbesiedlung), sehr zurückhaltend zu interpretieren. Von den 100 begutachteten Funden, die menschliche Knochen ent-

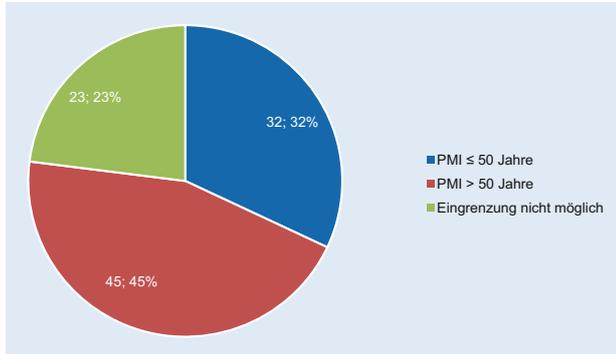


Abb. 7 ▲ Liegezeit humaner Knochenfunde (Anzahl; prozentualer Anteil),  $n = 100$



Abb. 8 ▲ Knochenfund in US-Marschstiefel. Es handelte sich um Rinderknochen

hielten, wurde – teils nach ergänzenden Untersuchungen der UV-Fluoreszenz der frischen Sägemehlfläche und der Chemilumineszenz des mit Luminol versetzten Sägemehls [3, 18] – in 32 Fällen ein forensisch relevantes postmortales Intervall nicht ausgeschlossen.

### Verletzungsspuren

Verletzungsspuren, in Abgrenzung zu postmortalen Beschädigungen [9], sollten, wenn vorhanden, Anlass für weiterführende Ermittlungen geben. Dies gilt insbesondere für perimortale Verletzungen, d. h. Folgen um den Todeszeitpunkt stattgefunden habender und möglicherweise todesursächlicher Gewalteinwirkungen. Eine retrospektive Auswertung von Verletzungsmustern bei Tötungsdelikten ergab knöcherne

Verletzungen bei 70% der Getöteten [4]. Demzufolge ist die Wahrscheinlichkeit als hoch einzustufen, dass derartige Verletzungsspuren – abhängig von Liegezeit und Umgebungsbedingungen – an Knochenfunden noch nachweisbar sind. In den ausgewerteten Fällen des Gießener Instituts fanden sich 6 humane Knochenfunde mit perimortalen Verletzungen. In 3 dieser Fälle handelte es sich um rezente Funde von Schädeln bzw. Schädelfragmenten, die jeweils Spuren stumpfer Gewalteinwirkung aufwiesen – ein Fall hiervon konnte einem sog. Bahnsuizid zugeordnet werden, zu den beiden anderen Fällen lagen keine weiteren Ermittlungsergebnisse vor.

Antemortale Verletzungen müssen so lange vor dem Tod entstanden sein, dass sich am Knochen Heilungsspuren ausbilden konnten. Sie können von großer Be-

deutung für die Identifizierung sein. Dies gilt insbesondere für Verletzungen, die zu Lebzeiten medizinisch versorgt oder sogar entstanden sind. Dann ist eine medizinische Dokumentation zu erwarten. Letztere kann bei der Suche des Opfers mittels der postmortal erhobenen Hinweise auf die Identität genauso hilfreich sein wie bei der Identitätssicherung (z. B. Röntgenvergleichsanalyse). Als Beispiele wären antemortale Trepanationen nach neurochirurgischen Eingriffen zu nennen, die in 2 Fällen der Studie einen konkreten Identitätsverdacht begründet hatten, dann allerdings nicht zur Identitätssicherung genutzt wurden.

### Identifizierung

Eine Klärung der Identität im Sinne einer sicheren Zuordnung aufgefundener menschlicher Knochen zu einer als vermisst gemeldeten Person war in 21 Fällen möglich, wobei die Identifizierung in 4 Fällen über morphologische und in 17 Fällen über molekulargenetische Vergleichsuntersuchungen erfolgte. Drei der morphologischen Identifizierungen gelangen über einen Vergleich des post- und antemortalen Zahnstatus, eine über einen Schädel-Bild-Vergleich.

Mit 81% gelang der ganz überwiegende Anteil der erfolgreichen Identifizierungen ( $n = 17$ ) über molekulargenetische Vergleichsuntersuchungen. Damit lassen sich, authentisches antemortales Vergleichsmaterial vorausgesetzt, Knochenfunde zwar mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit einer (vermissten) Person zuordnen, für die Gewinnung von DNA-Material aus Knochengewebe sind allerdings spezielle Präparationstechniken nötig [19]. Ob amplifizierbare DNA isoliert werden kann, hängt maßgeblich vom Erhaltungszustand des Knochens und der damit einhergehenden Degradation der DNA ab. Eine besondere Herausforderung können brandgezehrte Knochen oder ein feucht-warmes Liegemilieu darstellen [20]. Einen besseren Erhaltungszustand der DNA und eine geringere Kontaminationsanfälligkeit weisen in der Regel Zähne auf [1]. Für Schädel-funde ohne Zähne wird eine Extraktion



**Abb. 9** ▲ Antemortale Verletzung: eine mehr als 6 Jahre zurückliegende Trepanation im Rahmen eines neurochirurgischen Eingriffs

aus Anteilen des Felsenbeins empfohlen [14].

Welche Untersuchungsmethoden letztlich zur Identitätssicherung genutzt werden, hängt von den Umständen des Einzelfalls ab. Entscheidend ist letztlich die Schnittmenge aus den zur Verfügung stehenden antemortalen Vergleichsinformationen und den an den knöchernen Überresten zu gewinnenden postmortalen Informationen.

Zum Beispiel wurden in einem der ausgewerteten Fälle am Schädel eines am Rande einer Autobahn aufgefundenen inkompletten Skeletts eine verheilte Trepanation (antemortale Verletzung) (Abb. 9) und ausgedehnte Zahnarbeiten festgestellt. In Kombination mit dem biologischen Profil (weiblich, kaukasoid, mittleres Lebensalter) und Beifunden (Handtasche, Portemonnaie mit Ausweisdokumenten) ergab sich ein Identitätsverdacht. Bei der wenige Jahre zuvor als vermisst gemeldeten Person war im Rahmen der Vermisstensachbearbeitung in Erfahrung gebracht worden, dass zu Lebzeiten nach erlittenem Schädel-Hirn-Trauma eine Trepanation stattgefunden hatte. Entsprechende Behandlungsunterlagen, inklusive radiologischer Befunde, waren nach der Vermisstenmeldung allerdings nicht angefordert worden und nach dem Skelettfund in der damals operiert habenden Klinik nicht auffindbar. Ein behandelnder Zahnarzt war nicht ermittelt worden. Zur Identitätssicherung wurde die Erstellung eines STR-Profiles beauftragt, das mit dem bereits in der polizeilichen Datenbank einstehenden antemortalen Profil eine vollständige Übereinstimmung ergab.

### Fazit für die Praxis

Die Untersuchung von Knochenfunden nimmt einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der rechtsmedizinischen Fallarbeit ein. In der forensischen Osteologie hat die makroskopische Befunderhebung entscheidende Bedeutung für das weitere Vorgehen. Vor dem Hintergrund der Frage nach einer forensischen Relevanz von Knochenfunden können allein mit den makroskopischen Untersuchungsergebnissen im überwiegenden Anteil der Fälle hinreichende Aussagen getroffen werden. So werden wichtige Weichenstellungen vorgenommen und bezogen auf die weiterführenden Untersuchungen die Ressourcen sinnvoll eingesetzt. Trotz sich ständig weiterentwickelnder technischer Möglichkeiten, wie z. B. der forensischen DNA-Analyse, ist die forensisch-osteologische Expertise unverzichtbar. Diese Expertise vorzuzulassen und zu pflegen, ist heutzutage in Deutschland im Wesentlichen die Aufgabe der Rechtsmedizin.

### Korrespondenzadresse

**T. E. N. Ohlwärther**  
Institut für Rechtsmedizin Gießen  
Frankfurter Str. 58, 35392 Gießen, Deutschland  
Theresa.Ohlwaerther@forens.med.uni-giessen.de

**Funding.** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** T. E. N. Ohlwärther, F. Holz, F. Heidorn, M. A. Verhoff und C. G. Birngruber geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

### Literatur

- Alt KW, Brandt G, Knipper C, Lehn C (2014) Empfehlungen für die Probenentnahme in der forensischen Anthropologie. Rechtsmedizin 24:179–185
- Dettmeyer R, Veit F, Verhoff M (2019) Rechtsmedizin, 3. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, S 289–293
- Ebach SC, Ramsthaler F, Birngruber CG, Verhoff MA (2010) Bestimmung des postmortalen Intervalls von Knochenproben: Ein Vergleich der Luminochemie, des Hexagon-OBIT-Tests und des Combur-Tests. Arch Kriminol 226:38–47
- Flieger A, Kölzer SC, Plenzig S, Heinbuch S, Kettner M, Ramsthaler F, Verhoff MA (2016) Bony injuries in homicide cases (1994–2014). A retrospective study. Int J Legal Med 130:1401–1408
- Gille RJ, Riße M, Kreutz K, Weiler G, Verhoff MA (2006) Zur Bedeutung des Leichenbegriffs für die Rechtsmedizin. Arch Kriminol 217:81–91
- Herrmann B, Grosskopf B, Fehren-Schmitz L, Schoon R (2007) Knochen als Spurenlager. In: Herrmann B, Saternus KS (Hrsg) Kriminalbiologie, 1. Aufl. Bd. 1. Springer, Berlin, Heidelberg, S 115–144
- Hiller M, Bell L (2007) Differentiating human bone from animal bone: a review of histological methods. J Forensic Sci 52:249–263
- Holley S, Fiedler S, Graw M (2008) Makroskopische Abschätzung des postmortalen Intervalls (PMI) und Ausschluss einer forensisch relevanten Liegezeit – Ein Vergleich von Literaturangaben mit rezenten osteologischen Funden. Arch Kriminol 221:275–284
- Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA (2015) Prä- und perimortale Knochenfrakturen vs. postmortale Defekte – Grundlagen der Differenzierung. Arch Kriminol 236:51–63
- Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA (2017) Die forensische Relevanz von Ossuarien – illustriert am Beinhaus von St. Lubentius. Rechtsmedizin 27:87–92
- Knight B (1969) Methods of dating skeletal remains. Med Sci Law 9:247–252
- Kreutz K, Verhoff MA (2002) Forensische Anthropologie. Lehmanns Media, Berlin
- Kreutz K, Verhoff MA (2007) Forensische Gesichtszurückrekonstruktion – Identifizierung bei Skelettfunden. Dtsch Arztebl 104:A1160–A1165
- Kulstein G, Hadrys T, Wiegand P (2018) As solid as a rock – comparison of CE- and MPS-based analyses of the petrosal bone as a source of DNA for forensic identification of challenging cranial bones. Int J Legal Med 132:13–24
- Penning R (2006) Rechtsmedizin systematisch, 2. Aufl. Uni-Med, Bremen Lorch/Württemberg, S 32–37

- 
16. Penning R, Riepert T (2003) Identifikation und forensische Osteologie. In: Madea B, Brinkmann B (Hrsg) Handbuch der gerichtlichen Medizin, Bd. 2. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 1117–1270
  17. Rämisch R, Zerndt B (1963) Vergleichende Untersuchungen der Haversschen Kanäle zwischen Menschen und Haustieren. Arch Kriminol 131:74–87
  18. Ramsthaler F, Ebach SC, Birngruber CG, Verhoff MA (2010) Postmortem interval of skeletal remains through the detection of intraosseal hemin traces. A comparison of UV-fluorescence, luminol, Hexagon-OBTI, and Combur tests. Forensic Sci Int 209:59–63
  19. Rusinski C, Malaver AK, Yunis EJ, Yunis JJ (2012) Comparison of two methods for isolating DNA from human skeletal remains for STR analysis. JForensicSci 57:706–712
  20. Schwark T, Heinrich A, Preusse-Prange A, von Wurmb-Schwark N (2011) Reliable genetic identification of burnt human remains. Forensic Sci Int Genet 5:393–399
  21. Verhoff MA (2008) Forensische Osteologie – Problematische Fragestellungen. Lehmanns Media, Berlin
  22. Verhoff MA, Kreutz K (2004) Forensische Osteologie: Humanspezifität, Liegezeit und Verletzungspuren. Rechtsmedizin 14:417–430
  23. Verhoff MA, Kreutz K, Ramsthaler F, Schiwy-Bochat K-H (2006) Forensische Anthropologie und Osteologie – Übersicht und Definition. Dtsch Arztebl 103:A782–A788
  24. Verhoff MA, Schiwy-Bochat K-H, Kreutz K, Witzel C, Huckenbeck W, Ramsthaler F (2009) Das forensisch-osteologische Gutachten – formale Anforderungen aus rechtsmedizinischer Sicht. Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Forensische Anthropologie der Gesellschaft für Anthropologie (AGFA). Rechtsmedizin 19:357–361
  25. Verhoff MA, Wiesbrock UO, Kreutz K (2004) Makroskopische Befunde zum Ausschluss einer forensisch relevanten Liegezeit bei Knochenfunden – eine Literaturswertung. Arch Kriminol 213:1–14



Jetzt kostenlos **Update Newsletter** bestellen!

**Von Anästhesie bis Urologie – die Update Newsletter von SpringerMedizin.de liefern Ihnen regelmäßig Aktuelles und Wissenswertes aus allen medizinischen Fachgebieten:**

- CME-Beiträge aus den Fachzeitschriften von Springer Medizin
- umfassende Übersichtsbeiträge und interessante Kasuistiken
- aktuelle internationale Studien
- Kongress-Highlights und Themen-Specials
- News aus Berufs- und Gesundheitspolitik

Jetzt Newsletter auswählen und kostenlos bestellen unter [www.springermedizin.de/mynewsletters](http://www.springermedizin.de/mynewsletters)

## 6.3 Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany

Forensic Science, Medicine and Pathology  
<https://doi.org/10.1007/s12024-023-00599-1>

ORIGINAL ARTICLE



### Bone finds and their medicolegal examination: a study from Hesse, Germany

T. E. N. Ohlwärther<sup>1</sup> · F. Holz<sup>1</sup> · K. Edler<sup>2</sup> · S. C. Kölzer<sup>1</sup> · E. Reuss<sup>1</sup> · M. A. Verhoff<sup>1</sup> · C. G. Birngruber<sup>1</sup>

Accepted: 17 February 2023  
© The Author(s) 2023

#### Abstract

Bones found by chance can be of great criminal or historical interest. The nature of their appraisal depends on the individual case, the locally effective legislation and the available resources. To assess whether a find is relevant with respect to criminal investigation, the circumstances of the find and the results of the forensic examination carried out by trained personnel must be considered. The aim of this study was to obtain an overview of the circumstances and nature of the finds as well as the results of the subsequent expert opinions by evaluating bone finds from the federal state of Hesse, Germany. For this purpose, over a 10-year period from 2011 to 2020, all bone finds examined at the Institutes of Legal Medicine in Gießen and Frankfurt am Main, Germany, were evaluated retrospectively with regard to the locations and circumstances of the finds, their nature (human or non-human), the postmortem interval, possible traces of violent impact and the results of further examinations. Of the 288 bone finds evaluated, 38.2% were found in forests, meadows and parks. In 50.7%, the finds contained human bones, of which 37.0% had a forensically relevant postmortem interval of 50 years or less. Evidence of trauma was described in 77.4% of the human bone cases: postmortem damage in 78.8%, peri-mortem injury in 9.7% and ante-mortem injury in 11.5%. DNA examinations were performed in 40.4% of the human bone finds. They yielded STR profiles in 81.3%, leading to a definite identification in 35.4%. Among the non-human bones sent in, the most common were bones from pigs (23.4%), deer (18.1%), cattle (16.4%), roe deer (11.7%) and sheep (11.7%). The macroscopic examination is the first step of the forensic-osteological evaluation and sets the course for further examinations or investigations. DNA examinations are of great importance for the reliable identification of human bones. They were responsible for 70.8% of successful identifications.

**Keywords** Forensic osteology · Anthropology · Postmortem interval · Bony injuries · Identification

#### Introduction

With an area of 21,115 km<sup>2</sup> and a population of 6.4 million, Hesse is the fifth largest of the sixteen German federal states [1]. It is divided into nine regional court districts. The responsibility for these districts falls to two different Institutes of Legal Medicine: Gießen and Frankfurt am Main. Service for the northern half of Hesse, with the regional court districts of Gießen, Fulda, Kassel, Limburg and Marburg, is provided by the Institute of Legal Medicine

in Gießen, while the Institute of Legal Medicine in Frankfurt am Main is responsible for the southern half with the regional court districts of Darmstadt, Frankfurt am Main, Hanau and Wiesbaden. The area covered by the Institute in Gießen is largely rural, while that of the Institute in Frankfurt am Main includes the Rhine-Main metropolitan area.

If skeletons, bones, bone fragments or alleged bones are found by chance outside of archaeological excavation sites in Hesse and reported to the police, the investigating authorities usually commission an expert opinion. The find then goes to the regionally responsible Institute of Legal Medicine, where a medicolegal or forensic-osteological examination is performed.

The assessment is carried out according to a specific regimen aiming at answering questions relevant to the case [2, 3]: If the find is a bone, the question of human origin should be addressed first [4]. If this is not confirmed, a determination of the animal species and a description of any injury

✉ C. G. Birngruber  
birngruber@med.uni-frankfurt.de

<sup>1</sup> Institute of Legal Medicine, University Hospital Frankfurt, Goethe-University, Kennedyallee 104, Frankfurt am Main 60596, Germany

<sup>2</sup> Institute of Legal Medicine, University Hospital Gießen and Marburg, Justus-Liebig-University, Gießen, Germany

marks or damage should be made. In the case of non-human bones, there is usually no further need for action by the investigating authorities.

If human bones are involved, further examination procedures follow, regarding the postmortem interval (PMI) [5–10], pre- or peri-mortem traces of injury or postmortem defects [11–13] and findings indicating or assuring identity [14–21]. The results of the examination should be interpreted and presented in a written report to support the authorities in their further investigations [3, 22].

The objective of the presented study was to portray the phenomenology of bone finds examined by both Institutes of Legal Medicine in Hesse, Germany, by means of a retrospective systematic analysis, and to put them into a national and international context.

## Material and methods

For a period of 10 years (2011–2020), all bone finds examined by the Institutes of Legal Medicine in Gießen and Frankfurt am Main, Hesse, Germany, were analysed.

All analogue and digital archived records of forensic-osteological examinations in both institutes were reviewed. For further analysis, examinations of bones after planned exhumations or the clearance of ossuaries were excluded [23]. Furthermore, finds that, by definition, were not skeletons or bones but (still) corpses or parts thereof [24, 25] were not considered.

Information was then evaluated regarding sites and discoverers, the nature of the bones, the postmortem interval, possible traces of violence and the results of further investigations including whether the bones could be assigned to a specific person.

Consistency in the way the examinations were conducted can be assumed. Three of the authors have been working in both Institutes of Legal Medicine, ensuring a harmonized assessment. At any point, the examinations were carried out based on the so-called “generally accepted state of the art”.

## Results

During the 10-year study period, 288 forensic-osteological examinations were performed by the two Institutes of Legal Medicine. In Frankfurt am Main, 159 cases were processed, and in Gießen 129.

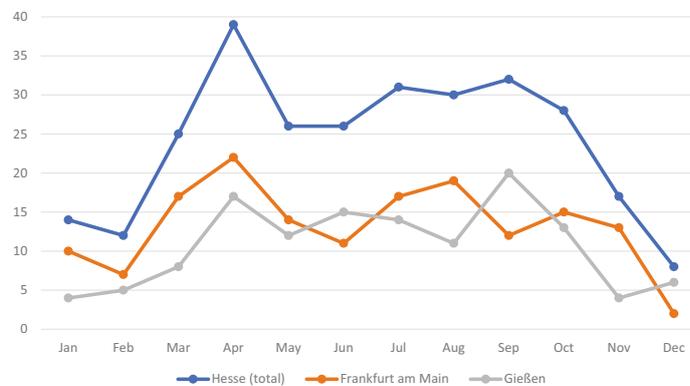
### Caseload

The number of examinations per year varied between 18 and 48 and was unevenly distributed over the individual months of the year (Fig. 1). During the months of summer (April to September) with 63.9% ( $n = 184$ ), notable more finds were reported than in the winter. Most bone finds occurred in April. On average, 2.4 bone finds per month or 28.8 per year were assessed during the study period.

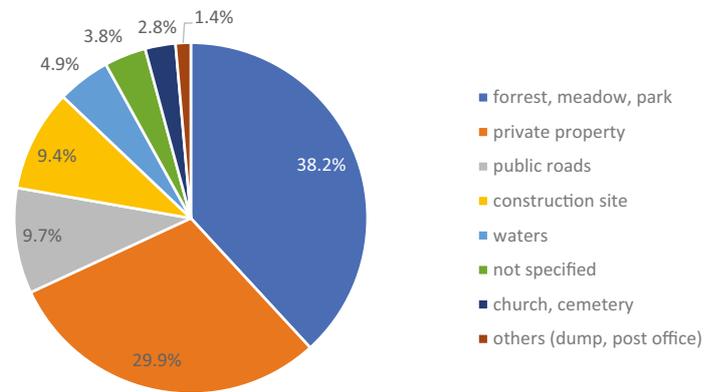
### Locations and finders

Regarding locations and discoverers, there were no significant differences between the rather rural area covered by the Institute of Legal Medicine in Gießen and the rather urban areas managed by the Institute of Legal Medicine in Frankfurt am Main. More than one-third of the bone finds occurred in forests, meadows or large parks, followed by private property, public roads and construction sites (Fig. 2). The bones found in cemeteries and churches were finds that could not be assigned to a regular burial and were found, for example, above ground between intact graves or on the steps of the church. More than one in four bone finds

**Fig. 1** Monthly distribution of the bone finds, cumulative numbers from 2011 to 2020 ( $N = 288$ )



**Fig. 2** Sites of the finds (N=288)



(26.7%; n=77) were reported by walkers or hikers, often while walking their dogs. Workers (construction) or gardeners reported 22.9% (n=66) of the finds. Among the finders were also police officers, hunters and medical personnel who found bones during their professional activities (Fig. 3).

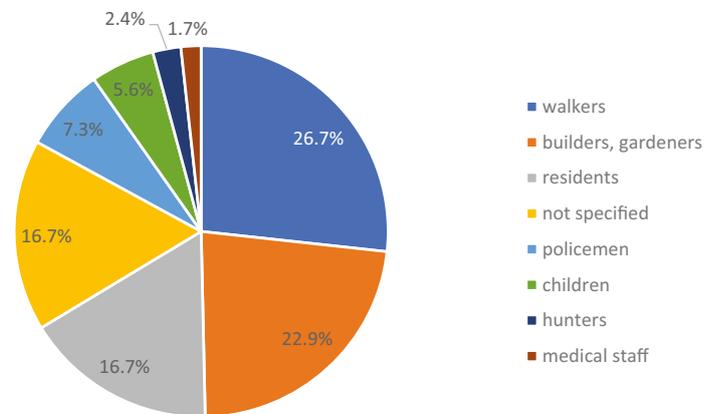
**Nature of bones**

In nearly half of the cases, the find contained animal bones exclusively (48.6%; n=140) and somewhat less frequently human bones exclusively (43.8%; n=126). In 6.9% (n=20), human and animal bones were found together. In two of the cases (0.7%), the finds were not even bones: a piece of rolled linoleum flooring and a plastic bone were found and sent in for examination (Table 1).

**Type of bones**

A total of 13 (nearly) complete human skeletons and 2781 other bones were examined. Of the other bones, 1112 were (nearly) complete and 1669 were fragmented. Of all bones and bone fragments examined, 43.9% (n=1223) were of human origin. Among the animal bones recovered, 23.4% (n=40) were pig bones followed by deer bones with 18.1% (n=31) and cattle bones with 16.4% (n=28). Bones of roe deer and sheep were each found in 11.7% (n=20) of the cases (Fig. 4). Among the human bones, skull or cranial parts were present in 17.3% (n=211); among the animal bones, skulls or parts thereof were present in only 2.2% (n=35) (Figs. 5 and 6).

**Fig. 3** Finders (N=288)



**Table 1** Nature of cases ( $N=288$ )

Period	Human bones	Animal bones	Human and animal	No bones	Sum
2011	6	10	2	0	18
2012	13	7	0	0	20
2013	17	13	2	0	32
2014	10	12	1	0	23
2015	14	11	3	0	28
2016	12	13	3	0	28
2017	15	10	3	0	28
2018	13	31	3	1	48
2019	12	10	1	0	23
2020	14	23	2	1	40
2011–2020	126	140	20	2	288

### Postmortem interval

Macroscopic assessment of the postmortem interval was performed in all cases of human bone finds. Additional examinations were performed in 43.2% ( $n=63$ ) of these cases. Among these were UV fluorescence testing on the fresh saw surface (60.3%), examination of bone powder with luminol (34.9%;  $n=38$ ) and radiocarbon dating (4.8%;  $n=3$ ).

There were equal numbers of cases with a forensically relevant postmortem interval ( $PMI \leq 50$  years) and cases with a PMI of 50 years or more (37.0%;  $n=54$  each). In the remaining 26.0% ( $n=38$ ) of the human bone finds, no reliable statement could be made regarding the PMI due to a longer period of decay outdoors and above ground. Radiocarbon dating was used to date bone finds to the fifteenth, seventeenth and eighteenth centuries.

### Signs of trauma and damage

The majority of all bone finds showed traces of ante-, peri- or postmortem trauma. Postmortem damage was most frequent (58.3%;  $n=168$ ), of which 19.6% ( $n=33$ ) were specified as animal damage and 13.1% ( $n=22$ ) as recovery damage. Perimortem injuries were present in 16.0% ( $n=46$ ) of all cases, of which 67.4% ( $n=31$ ) were found as butchery marks, exclusively on animal bones. Ante-mortem injuries were described in 4.9% ( $n=14$ ) of all cases and exclusively for human bones.

Lesions were described in 77.4% ( $n=113$ ) of the cases containing human bones. These were postmortem damage in 78.8% ( $n=89$ ), peri-mortem injuries (from blunt force, gunshot, sharp force) in 9.7% ( $n=11$ ) and ante-mortem findings (healed fractures, surgical procedures, inflammatory changes) in 11.5% ( $n=13$ ).

### Identification

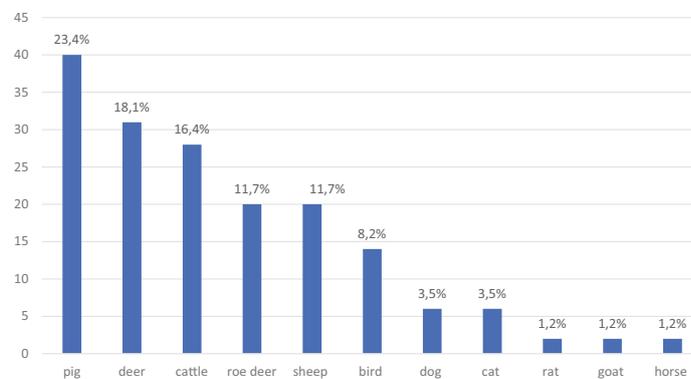
#### Morphological methods

The examination protocol used in both Hessian Institutes of Forensic Medicine includes the determination of a biological profile for each human bone find, in order to obtain information regarding the unknown identity. In addition, a detailed dental status was obtained in 32.2% ( $n=47$ ) of the human bone cases.

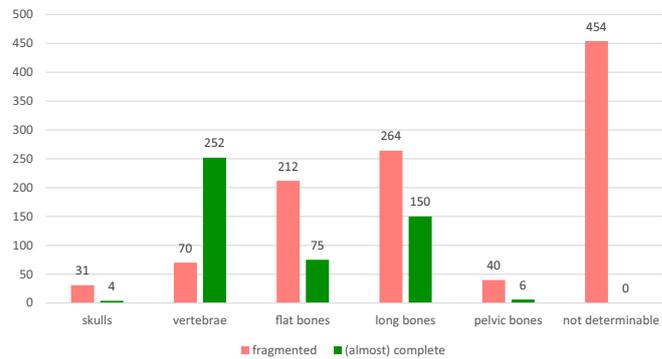
Definite identifications were made in six cases by the dental status and in one case by craniofacial photographic superimposition.

#### Molecular genetic investigations

Molecular genetic analysis was used in 24.7% ( $n=71$ ) of all cases and in 40.4% ( $n=59$ ) of human bone cases. STR

**Fig. 4** Species of the animal bones

**Fig. 5** Animal bones, types and conditions



typing was successful in 81.3% ( $n=48$ ) of these cases. Of these, in 35.4%, i.e. in 17 cases, matching of these postmortem STR profiles with ante-mortem comparison profiles of missing persons or their biological relatives led to a definite identification.

### Discussion

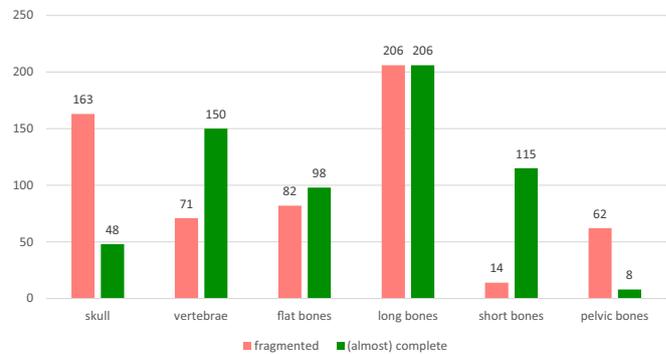
Bone finds can be of considerable interest to, for example, law enforcement and historic preservation authorities. Depending on the applicable legal regulations and the circumstances of the individual case, the person making the discovery will report the find to the police, thus initiating subsequent investigations. The number of cases investigated in this study does not reliably include all bone finds made in Hesse. Bones may be correctly identified as animal by competent finders or incorrectly misidentified as non-human by laypersons and therefore not be reported. Other finders may

deliberately not report bone finds for fear of delays and cost increases in construction projects, for example.

In Germany, bone finds reported to the police are usually examined in forensic-osteological examinations at the Institutes of Legal Medicine. Anthropological institutes that would conduct such an assessment are scarce and far apart [26, 27]. Anthropologists work sporadically at the Institutes of Legal Medicine in German-speaking countries, but mainly the examinations are performed by forensic physicians. In many federal states of Germany, acquiring the necessary expertise is part of the underlying specialty training in Legal Medicine. The processing of bone finds differs greatly from other countries, where forensic anthropology as an independent subject has a broader profile [28–35].

The presented evaluation of bone finds from Hesse, Germany, was intended to give an overview of these investigations, which in individual cases may be very consequential. Furthermore, it was supposed to show possible regional peculiarities in a (inter-) national comparison. The study

**Fig. 6** Human bones, types and conditions



was limited to cases with purely forensic-osteological examination. Cases in which the human remains were corpses in the sense of the applicable legislation were not considered, in contrast to other studies dealing with broader forensic-anthropological casework [30, 36]. Human remains that were corpses according to current law [24, 25] were examined in a forensic autopsy by two physicians in accordance with the German Code of Criminal Procedure (§ 87 StPO).

Publications dealing with the type and frequency of bone finds and their forensic-osteological or forensic-anthropological examination are rather rare.

### National data

At the national level, a comparison with data collected for the period 2011–2015 from a publication on “forensic anthropological bone finds” from Hamburg, Germany, seems appropriate [37].

The number of cases is only slightly lower with a significantly smaller size and population of Hamburg. The month in which the most frequent bone finds occurred was March; bone finds in the months of summer (58%) were more frequent than in the months of winter (40%). In 2%, the month of finding remained unknown in Hamburg. As a cause for the accumulation of finds in April, rising temperatures and increased activity of people outdoors can be assumed, both in terms of recreational activities and gardening as well as construction work.

In Hamburg, 50% of all bones were found during construction work or gardening. Here, the finds were reported in 32% by construction workers and in 13% by residents. In comparison, in Hesse, 22.9% were found by construction workers or gardeners and 16.7% by residents. The proportion of walkers or hikers reporting a bone find was 20% in Hamburg. This is below the 26.7% in Hesse, which could be due to the vast forest and meadow areas used for walks in Hesse in the rural areas. These are the areas in which 38.2% of all bone finds were made in Hesse, while the Hamburg study comes down to about 12.7% that were found in open nature (without water areas). It is worth mentioning that in one case in Hamburg, a bone find was forwarded to the Institute of Legal Medicine via the “lost and found” office.

In Hamburg, 47% of the finds contained human bones, in Hesse 50.7%. Mixed finds were present in 10% and 6.9% of the cases, respectively, and non-bony material was found in 1% and 0.7% of the cases. The Hamburg study does not contain any information on the animal species; the non-bony material was charcoal.

The proportion of bones with a forensically relevant postmortem interval was 37.0% of the human bone finds in Hesse and 28.7% in the Hamburg collective. Successful identifications were achieved in Hamburg in three cases via DNA examinations and in two cases by means of

morphological examinations. In Hesse, identification was achieved by morphological methods in seven cases and by molecular biological methods in 17 cases.

Regarding signs of trauma and damage, in our study and the Hamburg study, the classification into pre-, peri- and postmortem was conducted according to scientifically sound definitions widely used in casework [38–40]: Premortem injuries show signs of healing; in contrast, peri-mortem injuries, which occur shortly before, at, or shortly after death, show no signs of healing; Postmortem damage refers to damage acquired long after death and presents fracture patterns compared to the fracture characteristics of an old, dry tree branch. Information given in the Hamburg study is limited to merely stating that ante-mortem injuries were described in some cases and peri-mortem injuries were rarely present.

### International data

For international comparisons of certain parameters, the literature includes data from Switzerland [41], the USA [42–47], South Africa [36, 48] and Australia [31, 49].

Due to differences in national legislation responsibilities and allocations and the resulting pre-selections, comparisons of case numbers are mostly pointless, and caution is necessary when comparing other parameters. An accumulation of bone finds in the summer half-year comparable to our data was found in Bern, Switzerland, and can be explained by increased recreational activities and a lack of snow cover during this time. In New Mexico, USA, there was no correlation with find frequency and season [41]. A study of bone finds from primarily the western and southern part of the USA reported more frequent finds towards the end of the year due to the hunting season [42].

In the Swiss study, the site of discovery was most frequently outdoors and in 37% of the cases in the mountains or forests [41]. In southern Australia [49], bones were most frequently found in developed land including building sites or residential areas (64.7%) and only in 14.7% in open fields, whereas in New South Wales [31], almost equal numbers were found in the city (48%) and in the bush (47%). In the collective from Gauteng, South Africa, the majority of cases were found in open fields, and one bone was taken from a “witch-doctor” [48]. Bones were most frequently found by hikers and climbers (50%) in the Swiss study and most frequently by outdoor recreationists (11.1%) in the Grisbaum study with incomplete data. The results of international studies overall match our findings with walkers as the most frequent finders (26.8%) and forests and meadows as the most frequent sites (38.2%).

In Hesse, Germany, 55.6% of all cases contained animal bones, in Switzerland 32.8% [41] and in Southern Australia 70% [49]. The numbers for investigations from the USA vary by region [50], ranging from 18.8% in California [43] to

23.6% in Tennessee [46] and 28% for FBI cases [42] to 50% in New York City [47]. From South Africa, only 1.6% animal bones are reported among cases investigated in Johannesburg [48]. As a unique feature of this study, it should be noted that the allocations only came from mortuaries and forensic pathology services and can be subsequently assumed to be pre-selected.

The animal species of which the bones were most frequently sent for examination vary by region [49] and depend on three factors: the frequency of occurrence of an animal species locally, the resistance of the bones to environmental influences and the similarity to the human skeleton [50]. For North America, for example, a high similarity of skeletonized bear paws to the human hand skeleton has been described. The same is observed in Romania, as shown in a richly illustrated case report [51]. In Australia, the radius of a kangaroo shows great similarities to that of a human [49]. The most common animal bones found in Australia are vertebrae and long bones from sheep and cattle [49] and bones from sheep and kangaroos [31]. Donlon et al. [50] see a connection between found bones and local eating habits due to traces of slaughter presented on the bones. In their paper, they give a short outline of the animals most frequently eaten in Australia in the past decades. The idea that consumption habits of humans have an influence on the frequency of animal bone finds would match the results from Hesse: Pork bones were the most frequently found animal bones in the study collective. And pork is the most common type of meat found on German plates [52]. A most likely confusion with a human bone existed in Hesse for the deer tibia (Fig. 7) [53]. In 71.4% of the cases in which medical personnel or hunters, i.e. persons with special knowledge of the human or animal

skeleton, mistook an animal bone for human and reported it to the police, it turned out to be the tibia of a deer or roe deer. The type of animal bone that was most rarely sent in for examination was the skull. This is surely due to the fact that the skull of an animal is easily distinguishable from a human skull, even for laypersons.

A forensically relevant PMI of 50 years or less was present in 37.0% of human bone finds in Hesse. In the Swiss study, a threshold of 60 years was set as the definition for cases of forensic interest. As a result, 37.9% of all bone findings were classified as forensic remains. Donlon reports that the majority of their cases (57%) from New South Wales, Australia, were recent, using a cut-off of 50 years for the PMI [31]. Simpson and Byard mention a part of 18% of their cases as “contemporary” [49]. In the USA, 35% of the reported cases from New Mexico even had a PMI of less than one week, but as Komar presents forensic anthropology casework, his study included more than only skeletonized remains [44]. The same applies for the work of Grisbaum and Ubelaker, who report a proportion of 66.2% of their FBI cases having a PMI of less than 10 years [42].

Signs of trauma were detected in 77.4% of all human bone cases in Hesse. Of these, 78.8% were postmortem, 9.7% perimortem and 11.5% antemortem. The authors from Switzerland report postmortem damage for all their forensic cases, perimortem trauma in 36.4% and antemortem trauma in 4.6% [41]. In cases from the Western Cape, South Africa, perimortem trauma was observed in 29% and antemortem trauma in 41% [36]. For New Mexico, USA, Komar gives the information that in 42% of the cases, no evidence of perimortem trauma was observed and that postmortem damage in the sense of animal activity was present in 46% of the cases [44].

**Fig. 7** Left human tibia (top), right deer tibia (bottom)



Ubelaker reports a proportion of 15% of skeletal remains that showed evidence of scavenging by animals [45].

Cases from Hesse, where the identity of the bones could be clarified, were solved with molecular genetic investigation in 70.8% and with morphological methods in 29.2%. The team from Bern, Switzerland, used DNA analysis for 100% of their positive identifications [41]; in Gauteng, South Africa, four of the identifications were made through DNA confirmation and one case through the use of secondary identifiers [48]. Baliso's study from South Africa [36] impressively demonstrates the importance of police investigation and the availability of comparative data for successful identification. While ante-mortem trauma was observed in 41% of decedents, the lack of medical records hindered the use of this information for identification. Nevertheless, positive identifications were reached for 37% of decedents. Of the cases with an indication of identity, 81% reached a positive identification. Of these cases, human remains were 12 times more likely to be identified.

## Conclusions

The professional examination of bones and skeletonized remains found by chance is mandatory to identify cases of forensic interest; regardless of whether this task is performed by forensic anthropologists or medicolegal experts. Information regarding human specificity, number of individuals, postmortem interval, type and aetiology of injuries and hints to identity can usually be provided by macroscopic examination. Depending on the circumstances of the individual case and available comparative material, macroscopic or molecular genetic examinations may be considered for reliable identification. When examining osseous remains, the objective should be to contribute to solving cases of missing persons and to reveal undiscovered unnatural deaths.

## Key points

1. The professional examination of bones found by incidence is mandatory to identify cases of forensic interest.
2. In Hesse, 50.7% of the finds contained bones of human origin. The most frequent animal bones sent in for examination derived from pigs, deer and cattle.
3. Of the human bone cases, 37.0% were classified as forensically relevant, having a PMI of 50 years or less. Evidence of peri-mortem trauma was present in 9.7% of the human bone finds.
4. In cases where the bones were matched to a missing person, identification was achieved by molecular genetic methods in 70.8% and by morphological methods in 29.7%.
5. Comparing the numbers with national studies did not reveal major differences. The results of comparable international studies strongly depend on the role

of Legal Medicine and Forensic Anthropology in the respective country.

**Acknowledgements** The authors would like to thank Linda Kohler for her much appreciated assistance with the manuscript regarding proof reading and language editing.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

## Declarations

**Ethics approval** The study has been approved by the local ethics committee.

**Conflict of interest** The authors declare no competing interests.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

1. Hessisches Statistisches Landesamt. Statistische Berichte: Die Bevölkerung der Hessischen Gemeinden am 30. Juni 2022. 2022.
2. Ubelaker DH. Human skeletal remains: excavation, analysis, interpretation. 2nd ed. Washington: Taraxacum; 1989.
3. Verhoff MA, Kreuz K, Ramsthaler F, Schiwy-Bochat K-H. Forensische Anthropologie und Osteologie - Übersicht und Definitionen. Dtsch Arztebl. 2006;103:782–8.
4. Garvin HM, Dunn R, Sholts SB, Litten MS, Mohamed M, Kuttickat N, et al. Forensic tools for species identification of skeletal remains: metrics, statistics, and OsteoID. Biology. 2021;11:25.
5. Bonicelli A, Mickleburgh HL, Chighine A, Locci E, Wescott DJ, Procopio N. The "ForensOMICS" approach for postmortem interval estimation from human bone by integrating metabolomics, lipidomics, and proteomics. eLife. 2022;11:e83658.
6. Ebach SC, Ramsthaler F, Birngruber CG, Verhoff MA. Determining the postmortem interval of bone samples: a comparison of luminol chemiluminescence, Hexagon OBTI test, and Combur test. Arch Kriminol. 2010;226:38–47.
7. Ebach SC, Ramsthaler F, Birngruber CG, Verhoff MA. Application of the hexagon-OBTI test and the RSID blood test for the determination of the post-mortem interval of bone samples. Arch Kriminol. 2011;228:114–25.
8. Jellinghaus K, Urban PK, Hachmann C, Bohnert M, Hotz G, Rosendahl W, et al. Collagen degradation as a possibility to determine the post-mortem interval (PMI) of human bones in a forensic context – a survey. Leg Med. 2019;36:96–102.
9. Ramsthaler F, Ebach SC, Birngruber CG, Verhoff MA. Post-mortem interval of skeletal remains through the detection of intraosseal hemin traces. A comparison of UV-fluorescence, luminol, Hexagon-OBTI®, and Combur® tests. Forensic Sci Int. 2011;209:59–63.

10. Verhoff MA, Wiesbrock UO, Kreutz K. Macroscopic findings for the exclusion of a forensic relevant soil embedded resting period in skeletal remains—an approach based upon literature. *Arch Kriminol.* 2004;213:1–14.
11. Flieger A, Kölzer SC, Plenzig S, Heinbuch S, Kettner M, Ramsthaler F, et al. Bony injuries in homicide cases (1994–2014). A retrospective study. *Int J Legal Med.* 2016;130:1401–8.
12. Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA. Pre- and perimortem bone trauma vs. postmortem damages -- principles of differentiation. *Arch Kriminol.* 2015;236:51–63.
13. Veenstra A, Kerkhoff W, Oostra R-J, Galtés I. Gunshot trauma in human long bones: towards practical diagnostic guidance for forensic anthropologists. *Forensic Sci Med Pathol.* 2022;18:359–67.
14. Birngruber CG, Kreutz K, Ramsthaler F, Krähahn J, Verhoff MA. Superimposition technique for skull identification with Afloat® software. *Int J Legal Med.* 2010;124:471–5.
15. Birngruber CG, Martínez Peña EG, Holz F. Bodies without names: a global challenge. *S Afr Med J.* 2020;110:13074.
16. Gille R, Ramsthaler F, Thali M, Strunk J, Birngruber CG, Verhoff MA. Stature estimation from teeth and jaw. *Arch Kriminol.* 2017;239:45–56.
17. Heidorn F, Birngruber CG, Ramsthaler F, Merz M, Risse M, Kreutz K, et al. The value of skull-photo superimpositions in identifying corpses found in domestic settings. *Arch Kriminol.* 2011;228:177–90.
18. Khaleghi M, Memarian A, Shekarchi B, Bagheri H, Maleki N, Safari N. Second and third lumbar vertebral parameters for prediction of sex, height, and age in the Iranian population. *Forensic Sci Med Pathol.* 2022. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12024-022-00554-6>
19. Kolencherry TV, Birngruber CG, Ramsthaler F, Verhoff MA, Kölzer SC. Stature estimation from sagittal and coronal suture lengths for Central European individuals. *Arch Kriminol.* 2016;237:204–11.
20. Krešić E, Bašić Ž, Jerković I, Kružić I, Čavka M, Erjavec I. Sex estimation using orbital measurements in the Croatian population. *Forensic Sci Med Pathol.* 2022 [cited 2023 Jan 10]. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12024-022-00528-8>
21. Partido Navadijo M, Alemán AI. Utility of the sternal synostosis for age-at-death estimation in a Mediterranean population. *Forensic Sci Med Pathol.* 2022;18:423–8.
22. Verhoff MA, Schiwy-Bochat K-H, Kreutz K, Witzel C, Huckenbeck W, Ramsthaler F. Das forensisch-osteologische Gutachten – formale Anforderungen aus rechtsmedizinischer Sicht: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Forensische Anthropologie der Gesellschaft für Anthropologie (AGFA). *Rechtsmedizin.* 2009;19:357–61.
23. Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA. Die forensische Relevanz von Ossuarien – illustriert am Beinhaus von St. Lubentius Rechtsmedizin. 2017;27:87–92.
24. Gille RJ, Ribe M, Kreutz K, Weiler G, Verhoff MA. The significance of the legal term “corpse” in forensic medicine. *Arch Kriminol.* 2006;217:81–91.
25. Verhoff MA, Klinger MF, Kettner M, Birngruber CG. „Skelettfund“ im Keller. *Rechtsmedizin.* 2022;32:41–6.
26. Gesellschaft für Anthropologie. Standorte mit anthropologischer oder humanbiologischer Forschung im deutschsprachigen Raum. 2022 [cited 2022 Dec 27]. Available from: <https://gfa-anthropologie.de/links/anthropologische-humanbiologische-forschungsstandorte/>
27. Rissech C. The importance of human anatomy in forensic anthropology. *Eur J Anat.* 2021;25:1–18.
28. Alfsdotter C. Forensic archaeology and forensic anthropology within Swedish law enforcement: current state and suggestions for future developments. *Forensic Sci Int Rep.* 2021;3:100178.
29. Baryah N, Krishan K, Kanchan T. The development and status of forensic anthropology in India: a review of the literature and future directions. *Med Sci Law.* 2019;59:61–9.
30. Clara A, Anja P, Ankin G, Petra M, Rebecka T, Kanar A. Development and implementation of forensic anthropology in Swedish forensic practice. *Scand J Forensic Sci.* 2022;28:10–9.
31. Donlon D. Forensic anthropology in Australia: a brief history and review of casework. *Forensic Approaches Death Disaster Abuse.* Brisbane: Australian Academic Press; 2008. p. 97–110.
32. Maijanen H, Seitsonen O. Special issue: forensic anthropology and archaeology in Northern Europe (FAANE) – historical, current and future perspectives. *Scand J Forensic Sci.* 2022;28:1–2.
33. Ubelaker DH. A history of forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol.* 2018;165:915–23.
34. Vaswani V, Ahmed MN. Forensic anthropology education and training in India. *Med Sci Law.* 2020;60:83–4.
35. Villa C, Lynnerup N, Boel LWT, Boldsen JL, Weise S, Bjarnø C, et al. Forensic anthropology and archaeology in Denmark. *Scand J Forensic Sci.* 2022;28:3–9.
36. Baliso A, Heathfield LJ, Gibbon VE. Forensic human identification: retrospective investigation of anthropological assessments in the Western Cape, South Africa. *Int J Legal Med.* 2022 [cited 2022 Dec 27]. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00414-022-02870-6>
37. Nieberg A. Retrospektive Analyse über forensisch anthropologische Knochenfunde in Hamburg und Umgebung (von 1980 bis 2015) [Dissertation]. Hamburg; 2018.
38. Quatrehomme G. Postmortem skeletal lesions. *Forensic Sci Int.* 1997;81:155–65.
39. Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA. Prä- oder perimortale Knochentraumata vs. postmortale Defekte–Grundlagen der Differenzierung. *Arch Für Kriminol.* 2015;236:51–63.
40. Coelho L, Cardoso HFV. Timing of blunt force injuries in long bones: the effects of the environment, PMI length and human surrogate model. *Forensic Sci Int.* 2013;233:230–7.
41. Indra L, Lösch S. Forensic anthropology casework from Switzerland (Bern): taphonomic implications for the future. *Forensic Sci Int Rep.* 2021;4:100222.
42. Grisbaum GA, Ubelaker DH. Analysis of forensic anthropology cases submitted to the Smithsonian Institution by the Federal Bureau of Investigation from.. to 1994. *Smithson Contrib Anthr.* 1962;2001:1–15.
43. Kendell A, Hutchinson A, Brill J, Bartelink E, Murad A, Willey P. Analysis of thirty-three years of forensic anthropology casework at California State University, Chico (1975–2008). *Proc Am Acad Forensic Sci.* 2009;15:347.
44. Komar DA. Twenty-seven years of forensic anthropology casework in New Mexico. *J Forensic Sci.* 2003;48:521–4.
45. Ubelaker DH, DeGaglia CM. The impact of scavenging: perspective from casework in forensic anthropology. *Forensic Sci Res.* 2020;5:32–7.
46. Marks M, William M. Bass and the development of forensic anthropology in Tennessee. *J Forensic Sci.* 1995;40:741–50.
47. Mundorff A. Urban anthropology: case studies from the New York City medical examiner’s office. *Hard Evid Case Stud Forensic Anthropol.* Upper Saddle River: Prentice Hall; 2003. p. 52–62.
48. Brits DM, Steyn M, Hansmeyer C. Identifying the unknown and the undocumented: The Johannesburg (South Africa) experience. In: Parra RC, Zapico SC, Ubelaker DH, editors. *Forensic Sci Humanit Action.* 1st ed. Wiley; 2020 [cited 2022 Dec 28]. p. 681–92. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119482062.ch44>
49. Simpson E, Byard RW. A review of osteological remains submitted for forensic examination in south Australia over a 7-year period (2013–2019). *J Forensic Leg Med.* 2020;76: 102074.
50. Donlon D, Croker S, Menzies J. Non-human bones in forensic casework: not such a trivial problem. *Forensic Sci Med Pathol.* 2020;16:442–9.

51. Dogaroiu C, Dermengiu D, Viorel V. Forensic comparison between bear hind paw and human feet. Case report and illustrated anatomical and radiological guide. *Romanian J Leg Med.* 2012;20:131–4.
52. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Versorgungsbilanz Fleisch. 2021. Available from: <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/fleisch>
53. Ohlwärther TEN, Holz F, Heidorn F, Verhoff MA, Birngruber CG. Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin. *Rechtsmedizin.* 2022;32:11–9.

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

#### 6.4 Darstellung des eigenen Anteils an den Publikationen

Ohlwärther TEN, Holz F, Heidorn F, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG (2022) Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin. Rechtsmedizin 32: 11-19

Ohlwärther TEN, Holz F, Edler K, Kölzer SC, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG (2023) Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany. Forensic Sci Med Pathol (accepted: 27.02.2023)

- Weiterentwicklung der ersten Idee von Herrn PD Dr. Birngruber, Erstellung des Studiendesign, Festlegung der Methodologie und Konzeption in enger Zusammenarbeit mit Herrn PD. Dr. Birngruber,
- Literaturrecherche zur Festlegung wesentlicher Untersuchungsparameter,
- Bestimmung der Ein- und Ausschlusskriterien in Zusammenarbeit mit Herrn PD. Dr. Birngruber,
- Auswertung der schriftlichen forensisch-osteologischen Gutachten einschließlich weiterer Unterlagen und Vermerken zu mündlich erstatten Gutachten,
- Auswertung der schriftlichen molekulargenetischen Gutachten in enger Zusammenarbeit mit Herrn Edler und Frau Dr. Reuss,
- Darstellung, Interpretation und Diskussion der Ergebnisse in Abstimmung mit Herrn PD Dr. Birngruber und Frau Dr. Holz,
- Erstellung des ersten Artikels in Abstimmung mit den Co-Autoren für die Zeitschrift Rechtsmedizin,
- Erstellung des zweiten Artikels in Abstimmung mit den Co-Autoren für die Zeitschrift Forensic Science, Medicine and Pathology, sprachliche Überarbeitung des englischen Manuskripts durch Frau Kohler.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Dettmeyer R, Veit F, Verhoff M. Rechtsmedizin. Springer Berlin Heidelberg; 2019. doi:10.1007/978-3-662-58658-7
2. Hessen. Friedhofs- und Bestattungsgesetz (FBG).; 2019.
3. Verhoff MA. Forensischen Osteologie: problematische Fragestellungen. Lehmanns Media; 2008.
4. Verhoff MA, Ramsthaler F, Lux C, Federspiel JM, Gehrels D, Kettner M. Ärztliche Leichenschau im Föderalismus - Überblick über die praktischen Auswirkungen der verschiedenen Landesgesetze. Archiv für Kriminologie. 2022;250(5+6):161-179.
5. Verhoff MA, Kreutz K, Ramsthaler F, Schiwy-Bochat KH. Forensische Anthropologie und Osteologie - Übersicht und Definitionen. Deutsches Ärzteblatt. 2006;103(12):782-788.
6. Verhoff MA, Kreutz K. Forensische Osteologie. Published online July 25, 2005.
7. Penning R, Anslinger K. Rechtsmedizin systematisch. 2. Aufl. UNI-MED Verl; 2006.
8. Landesärztekammer Hessen. Weiterbildungsordnung für Ärztinnen und Ärzte in Hessen 2020 (WBO 2020). [www.laekh.de/aerzte/weiterbildung/](http://www.laekh.de/aerzte/weiterbildung/). Published 2019. Accessed January 23, 2023. [https://www.laekh.de/fileadmin/user\\_upload/Aerzte/Weiterbildung/WBO\\_2020.pdf](https://www.laekh.de/fileadmin/user_upload/Aerzte/Weiterbildung/WBO_2020.pdf)
9. Penning R, Riepert T, Buhmann D, Ritz-Timme S. Identifikation und forensische Osteologie. In: Madea B, Brinkmann B, eds. Handbuch gerichtliche Medizin 2. Springer Berlin Heidelberg; 2003:1117-1270. doi:10.1007/978-3-642-55866-5\_12
10. Ewersen J. Die unterschiedliche Nutzung von Haus- und Wildtieren im Neolithikum Ostholsteins am Beispiel der Schnittspurenanalyse an Knochen aus Grube-Rosenhof, Wangels LA 505 und Heidmoor. Archäologische Informationen. 2004;27(1):109-121.
11. Subalusky AL, Dutton CL, Rosi EJ, Puth LM, Post DM. A River of Bones: Wildebeest Skeletons Leave a Legacy of Mass Mortality in the Mara River,

- Kenya. *Front Ecol Evol.* 2020;8:31. doi:10.3389/fevo.2020.00031
12. Verhoff MA, Kreutz K. Forensische Osteologie: Humanspezifität, Liegezeit und Verletzungsspuren. *Rechtsmedizin.* 2004;14(5):417-430. doi:10.1007/s00194-004-0271-5
  13. Lessig R, Jachau K. Forensische Osteologie. In: Madea B, ed. *Rechtsmedizin.* Springer Berlin Heidelberg; 2015:33-170. doi:10.1007/978-3-662-43500-7\_3
  14. Verhoff MA, Schiwy-Bochat KH, Kreutz K, Witzel C, Huckenbeck W, Ramsthaler F. Das forensisch-osteologische Gutachten – formale Anforderungen aus rechtsmedizinischer Sicht: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Forensische Anthropologie der Gesellschaft für Anthropologie (AGFA). *Rechtsmedizin.* 2009;19(5):357-361. doi:10.1007/s00194-009-0633-0
  15. Herrmann B, Grosskopf B, Fehren-Schmitz L, Schoon R. Knochen als Spureenträger. In: Herrmann B, Saternus KS, eds. *Biologische Spurenkunde.* Springer Berlin Heidelberg; 2007:115-144. doi:10.1007/978-3-540-71111-7\_6
  16. Schmid E. *Atlas of Animal Bones. Tierknochenatlas.* Elsevier; 1972.
  17. Adams BJ, Crabtree PJ, Santucci G. *Comparative Skeletal Anatomy: A Photographic Atlas for Medical Examiners, Coroners, Forensic Anthropologists, and Archaeologists.* Humana; 2008.
  18. France DL. *Human and Nonhuman Bone Identification: A Color Atlas.* CRC Press; 2009.
  19. France DL. *Human and Nonhuman Bone Identification: A Concise Field Guide.* CRC Press; 2011.
  20. Beisaw AM. *Identifying and Interpreting Animal Bones: A Manual.* 1st ed. Texas A&M University Press; 2013.
  21. Verhoff MA, Kreutz K. Forensische Osteologie: Humanspezifität, Liegezeit und Verletzungsspuren. *Rechtsmedizin.* 2004;14(5):417-430. doi:10.1007/s00194-004-0271-5
  22. Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA. Die forensische Relevanz von Ossuarien – illustriert am Beinhaus von St. Lubentius. *Rechtsmedizin.* 2017;27(2):87-92. doi:10.1007/s00194-016-0140-z
  23. Verhoff MA, Wiesbrock UO, Kreutz K. Makroskopische Befunde zum Ausschluss einer forensisch relevanten Erdliegezeit bei Knochenfunden—eine

- Literatúrauswertung. Archiv für Kriminologie. 2004;213(1-2):1-14.
24. Holz F, Birngruber CG, Verhoff MA. Prä- oder perimortale Knochentraumata vs. postmortale Defekte–Grundlagen der Differenzierung. Archiv für Kriminologie. 2015;236(1-2):51-63.
  25. Quatrehomme G. Postmortem skeletal lesions. Forensic Science International. 1997;81:155-165.
  26. Scianò F, Bramanti B, Manzon VS, Gualdi-Russo E. An investigative strategy for assessment of injuries in forensic anthropology. Legal Medicine. 2020;42:101632. doi:10.1016/j.legalmed.2019.101632
  27. Coelho L, Cardoso HFV. Timing of blunt force injuries in long bones: the effects of the environment, PMI length and human surrogate model. Forensic Sci Int. 2013;233(1-3):230-237. doi:10.1016/j.forsciint.2013.09.022
  28. Holz F. Forensisch-Anthropologische Untersuchungen Am Karnerkollektiv Der Michaelskapelle in Limburg - Dietkirchen Mit Dem Schwerpunkt Schädeltraumata. Dissertation. Goethe-Universität Frankfurt; 2015.
  29. Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, Schutkowski H. Prähistorische Anthropologie: Leitfaden der Feld- und Labormethoden. Springer Berlin Heidelberg; 1990.
  30. Kreuz K, Verhoff MA. Forensische Anthropologie: Einführung in die forensische Anthropologie ; unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Fragestellungen der forensischen Medizin ; mit praktischen Übungen. LOB.de, Lehmanns Media; 2002.
  31. Flieger A, Kölzer SC, Plenzig S, et al. Bony injuries in homicide cases (1994–2014). A retrospective study. International Journal of Legal Medicine. 2016;130(5):1-8. doi:10.1007/s00414-016-1407-3
  32. Holz F, Birngruber CG, Ramsthaler F, Verhoff MA. Frakturen des Gehirnschädels als Folge stumpfer Gewalt. Rechtsmedizin. 2018;28(3):229-240. doi:10.1007/s00194-017-0204-8
  33. Jopp E, Schröder I, Püschel K. Empirische Studie zur Geschlechtsbestimmung am Beckenknochen: Anthropologische Methoden auf dem Prüfstand. Rechtsmedizin. 2007;17(5):311-314. doi:10.1007/s00194-007-0459-6
  34. Grupe G, Harbeck M, McGlynn GC. Prähistorische Anthropologie. Springer Berlin Heidelberg; 2015. doi:10.1007/978-3-642-55275-5

35. White TD, Black MT, Folkens PA. Human Osteology. 3rd ed. Academic Press; 2012.
36. Christensen AM, Passalacqua NV, Bartelink EJ. Forensic Anthropology: Current Methods and Practice. Academic Press; 2014.
37. Birngruber CG. Ein Beitrag Zu Morphologischen Methoden Der Identitätssicherung Bei Unbekannten Verstorbenen. Universitätsbibliothek; 2019. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2019/14283>
38. Ubelaker DH, Wu Y. Fragment analysis in forensic anthropology. Forensic Sciences Research. 2020;5(4):260-265.  
doi:10.1080/20961790.2020.1811513
39. Verhoff MA, Kreutz K, Jopp E, Kettner M. Forensische Anthropologie im 21. Jahrhundert: Bestandsaufnahme. Rechtsmedizin. 2013;23(2):79-84.  
doi:10.1007/s00194-013-0873-x
40. Hermann B, Saturnus KS. Biologische Spurenkunde - Band 1 Kriminalbiologie. Springer; 2007.
41. Rämisch R, Zerndt B. Vergleichende Untersuchungen der Haversschen Kanäle zwischen Menschen und Haustieren. Arch Kriminol. 1963;(131):74-87.
42. Verhoff MA, Heyne M, Kreutz K, Ramsthaler F. Liegezeiteingrenzung anhand postmortalen Verletzungen. Rechtsmedizin. 2009;19(4):223-227.  
doi:10.1007/s00194-009-0617-0
43. Nogueira L, Quatrehomme G, Rallon C, Adalian P, Alunni V. Saw marks in bones: A study of 170 experimental false start lesions. Forensic Sci Int. 2016;268:123-130. doi:10.1016/j.forsciint.2016.09.018
44. Jellinghaus K, Urban PK, Hachmann C, et al. Collagen degradation as a possibility to determine the post-mortem interval (PMI) of human bones in a forensic context – A survey. Legal Medicine. 2019;36:96-102.  
doi:10.1016/j.legalmed.2018.11.009
45. Cappella A, Cattaneo C. Exiting the limbo of perimortem trauma: A brief review of microscopic markers of hemorrhaging and early healing signs in bone. Forensic Science International. 2019;302:109856.  
doi:10.1016/j.forsciint.2019.06.014
46. Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW. Tooth cementum annulation for age estimation: Results from a large known-age validation study. Am J Phys

- Anthropol. 2004;123(2):119-129. doi:10.1002/ajpa.10303
47. Gualdi-Russo E, Saguto I, Frisoni P, Neri M, Rinaldo N. Tooth Cementum Thickness as a Method of Age Estimation in the Forensic Context. *Biology*. 2022;11(5):784. doi:10.3390/biology11050784
  48. Alt KW, Brandt G, Knipper C, Lehn C. Empfehlungen für die Probenentnahme in der forensischen Anthropologie: Untersuchung von DNA und Stabilisotopen. *Rechtsmedizin*. 2014;24(3):179-185. doi:10.1007/s00194-014-0950-9
  49. Pääbo S. Ancient DNA: extraction, characterization, molecular cloning, and enzymatic amplification. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1989;86(6):1939-1943. doi:10.1073/pnas.86.6.1939
  50. Bell LS. Palaeopathology and diagenesis: an SEM evaluation of structural changes using backscattered electron imaging. *Journal of Archaeological Science*. 1990;17(1):85-102. doi:10.1016/0305-4403(90)90016-X
  51. Hedges REM, Millard AR. Bones and Groundwater: Towards the Modelling of Diagenetic Processes. *Journal of Archaeological Science*. 1995;22(2):155-164. doi:10.1006/jasc.1995.0017
  52. Kulstein G, Hadrys T, Wiegand P. As solid as a rock—comparison of CE- and MPS-based analyses of the petrosal bone as a source of DNA for forensic identification of challenging cranial bones. *Int J Legal Med*. 2018;132(1):13-24. doi:10.1007/s00414-017-1653-z
  53. Wiegand P, Rolf B. Analyse biologischer Spuren. Teil II: DNA-Typisierung. *Rechtsmedizin*. 2003;13(6):375-383. doi:10.1007/s00194-003-0230-6
  54. Rolf B, Wiegand P. Analyse biologischer Spuren: Teil III: Mitochondriale DNA und Y-chromosomale STR. *Rechtsmedizin*. 2004;14(6):473-484. doi:10.1007/s00194-004-0297-8
  55. Bataille M, Crainic K, Leterreux M, Durigon M, de Mazancourt P. Multiplex amplification of mitochondrial DNA for human and species identification in forensic evaluation. *Forensic Science International*. 1999;99(3):165-170. doi:10.1016/S0379-0738(98)00185-6
  56. Parson W, Pegoraro K, Niederstätter H, Föger M, Steinlechner M. Species identification by means of the cytochrome b gene. *International Journal of Legal Medicine*. 2000;114(1-2):23-28. doi:10.1007/s004140000134
  57. Rucinski C, Malaver AL, Yunis EJ, Yunis JJ. Comparison of Two Methods for

- Isolating DNA from Human Skeletal Remains for STR Analysis: DNA ISOLATION FROM HUMAN SKELETAL REMAINS. *Journal of Forensic Sciences*. 2012;57(3):706-712. doi:10.1111/j.1556-4029.2011.02012.x
58. Holz F, Verhoff MA, Mückenberger K, et al. Euthanasie im Nationalsozialismus – Untersuchungen an drei Skeletten der Kriegsgräberstätte Idstein-Kalmenhof (Hessen). *Rechtsmedizin*. Published online January 19, 2023. doi:10.1007/s00194-022-00612-x
  59. Leopold D, Berg SP, eds. *Identifikation Unbekannter Toter: Interdisziplinäre Methodik, Forensische Osteologie*. Schmidt-Römhild; 1998.
  60. Berg S, Specht W. Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen. *Dtsch Z ges gerichtl Med*. 1958;47(2):209-241. doi:10.1007/BF00664610
  61. Le Garff E, Mesli V, Delannoy Y, et al. Technical note: early post-mortem changes of human bone in taphonomy with  $\mu$ CT. *Int J Legal Med*. 2017;131(3):761-770. doi:10.1007/s00414-016-1509-y
  62. Le Garff E, Mesli V, Marchand E, et al. Is bone analysis with  $\mu$ CT useful for short postmortem interval estimation? *Int J Legal Med*. 2018;132(1):269-277. doi:10.1007/s00414-017-1696-1
  63. Akbulut N, Çetin S, Bilecenoğlu B, et al. The micro-CT evaluation of enamel-cement thickness, abrasion, and mineral density in teeth in the postmortem interval (PMI): new parameters for the determination of PMI. *Int J Legal Med*. 2020;134(2):645-653. doi:10.1007/s00414-019-02104-2
  64. Armstrong WG, Tarlo LBH. Amino-acid Components in Fossil Calcified Tissues. *Nature*. 1966;210(5035):481-482. doi:10.1038/210481a0
  65. Jarvis DR. Nitrogen levels in long bones from coffin burials interred for periods of 26–90 years. *Forensic Science International*. 1997;85(3):199-208. doi:10.1016/S0379-0738(96)02097-X
  66. Castellano MA, Villanueva EC, von Frenckel R. Estimating the date of bone remains: a multivariate study. *J Forensic Sci*. 1984;29(2):527-534.
  67. Földes V, Kósa F, Virágos-Kis E, Rengei B, Ferke A. Atomabsorptionsspektrometrische Untersuchung des Gehaltes an anorganischen Substanzen von Skelettfunden zur Ermittlung der Dauer des Begrabenseins in der Erde. *Arch Kriminol*. 1980;166(3-4):105-111.
  68. Ramsthaler F, Kreutz K, Zipp K, Verhoff MA. Dating skeletal remains with

- luminol-chemiluminescence. Validity, intra- and interobserver error. *Forensic Science International*. 2009;187(1-3):47-50.  
doi:10.1016/j.forsciint.2009.02.015
69. Introna F, Di Vella G, Campobasso CP. Determination of Postmortem Interval from Old Skeletal Remains by Image Analysis of Luminol Test Results. *J Forensic Sci*. 1999;44(3):14505J. doi:10.1520/JFS14505J
  70. Ebach SC, Ramsthaler F, Birngruber CG, Verhoff MA. [Determining the postmortem interval of bone samples: a comparison of luminol chemiluminescence, Hexagon OBTI test, and Combur test]. *Arch Kriminol*. 2010;226(1-2):38-47.
  71. Weber K. Die Anwendung der Chemilumineszenz des Luminols in der gerichtlichen Medizin und Toxikologie. *Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin* volume. 1966;(57):410-423.
  72. Libby WF. Radiocarbon Dating. The method is of increasing use to the archeologist, the geologist, the meteorologist, and the oceanographer. *Science*. 1961;133:621-629. doi:DOI: 10.1126/science.133.3453.621
  73. Godwin H. Half-life of Radiocarbon. *Nature*. 1962;195(4845):984.  
doi:10.1038/195984a0
  74. Zinka B, Kandlbinder R, Haas G, Schupfner R, Wolfbeis O, Graw M. Radionuklidanalyse von <sup>228</sup>Th und <sup>228</sup>Ra: Neue Methode zur Liegezeitbestimmung. *Rechtsmedizin*. 2011;21(2):124-130.  
doi:10.1007/s00194-010-0722-0
  75. Lehn C, Graw M. Wie viel Regionalität steckt in Körpergewebe?: Isotopenmethoden zur geografischen Herkunftsbestimmung von unbekanntem Toten. *Rechtsmedizin*. 2012;22(2):99-105. doi:10.1007/s00194-012-0816-y
  76. Lehn C, Graw M. Stabilisotopenanalysen an Körpergeweben von unbekanntem Personen: Grundlagen, Probennahme, Analysen, Interpretation. *Rechtsmedizin*. 2014;24(2):129-143. doi:10.1007/s00194-014-0946-5
  77. Gastpar. Ueber die Verwendbarkeit des Röntgenverfahrens in der gerichtlichen Medizin. *Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen*. 1902;23:supp 38-93.
  78. Yoshino M, Miyasaka S, Sato H, Seta S. Classification system of frontal

- sinus patterns by radiography. Its application to identification of unknown skeletal remains. *Forensic Science International*. 1987;34(4):289-299. doi:10.1016/0379-0738(87)90041-7
79. Grüner O, Reinhard R. Ein photographisches Verfahren zur Schädelidentifizierung. *Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin*. 1959;47:247-256. doi:10.1007/bf00664460
80. Helmer R, Grüner O. Schädelidentifizierung durch Superprojektion nach dem Verfahren der elektronischen Bildmischung, modifiziert zum Trickbild-Differenz-Verfahren. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*. 1977;80(3):189-190. doi:10.1007/bf02114614
81. Helmer R, Grüner O. Vereinfachte Schädelidentifizierung nach dem Superprojektionsverfahren mit Hilfe einer Video-Anlage. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*. 1977;80(3):183-187.
82. Birngruber CG, Kreutz K, Ramsthaler F, Krähhahn J, Verhoff MA. Superimposition technique for skull identification with Afloat® software. *Int J Legal Med*. 2010;124(5):471-475. doi:10.1007/s00414-010-0494-9
83. Grüner O. Die rechtsmedizinische Identifizierung - Bedeutung und Beweiswert. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*. 1989;103(2):73-83. doi:10.1007/bf00187560
84. Delabarde T, Reynolds M, Decourcelle M, Pascaretti-Grizon F, Ludes B. Skull fractures in forensic putrefied/skeletonised cases: The challenge of estimating the post-traumatic interval. *Morphologie*. 2020;104(344):27-37. doi:10.1016/j.morpho.2020.01.002
85. Akbulut N, Çetin S, Bilecenoğlu B, et al. Evaluation of the detectability of early mandible fracture healing findings in terms of vitality aspect by using micro-CT technology in postmortem interval. *Leg Med (Tokyo)*. 2021;52:101914. doi:10.1016/j.legalmed.2021.101914
86. Viero A, Biehler-Gomez L, Cappella A, Messina C, Montisci M, Cattaneo C. The potential of micro-CT for dating post-cranial bone fractures: a macroscopic, radiographic, and microtomography study of fractures of known post-traumatic ages. *Int J Legal Med*. 2021;135(5):1913-1921. doi:10.1007/s00414-021-02582-3
87. Nieberg A. Retrospektive Analyse Über Forensisch Anthropologische Knochenfunde in Hamburg Und Umgebung (von 1980 Bis 2015).

- Dissertation. Hamburg; 2018.
88. Gesellschaft für Anthropologie. Fachprofil Forensische Anthropologie.; o. J. Accessed March 27, 2023. <https://gfa-anthropologie.de/fachbereiche-der-anthropologie/forensische-anthropologie/>
  89. Hessisches Statistisches Landesamt. Statistische Berichte: Die Bevölkerung der hessischen Gemeinden am 30. Juni 2022.; 2022.
  90. Indra L, Lösch S. Forensic anthropology casework from Switzerland (Bern): Taphonomic implications for the future. *Forensic Science International: Reports*. 2021;4:100222. doi:10.1016/j.fsir.2021.100222
  91. Grisbaum GA, Ubelaker DH. Analysis of forensic anthropology cases submitted to the Smithsonian Institution by the Federal Bureau of Investigation from 1962 to 1994. *Smithson Contrib Anthropol*. Published online 2001:1-15.
  92. Donlon D, Croker S, Menzies J. Non-human bones in forensic casework: not such a trivial problem. *Forensic Sci Med Pathol*. 2020;16(3):442-449. doi:10.1007/s12024-020-00257-w
  93. Dogaroiu C, Dermengiu D, Viorel V. Forensic comparison between bear hind paw and human feet. Case report and illustrated anatomical and radiological guide. *RJLM*. 2012;20(2):131-134. doi:10.4323/rjlm.2012.131
  94. Simpson E, Byard RW. A Review of osteological remains submitted for forensic examination in south Australia over a 7-year period (2013–2019). *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2020;76:102074. doi:10.1016/j.jflm.2020.102074
  95. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Versorgungsbilanz Fleisch.; 2021. Accessed January 7, 2023. <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/fleisch>
  96. Brits DM, Steyn M, Hansmeyer C. Identifying the unknown and the undocumented: The Johannesburg (South Africa) experience. In: Parra RC, Zapico SC, Ubelaker DH, eds. *Forensic Science and Humanitarian Action*. 1st ed. Wiley; 2020:681-692. doi:10.1002/9781119482062.ch44
  97. Donlon D. Forensic Anthropology in Australia: A Brief History and Review of Casework. In: *Forensic Approaches to Death, Disaster and Abuse*. Australian Academic Press; 2008:97-110.
  98. Komar DA. Twenty-seven years of forensic anthropology casework in New

Mexico. *J Forensic Sci.* 2003;48(3):521-524.

99. Baliso A, Heathfield LJ, Gibbon VE. Forensic human identification: retrospective investigation of anthropological assessments in the Western Cape, South Africa. *Int J Legal Med.* Published online July 30, 2022. doi:10.1007/s00414-022-02870-6
100. Ramsthaler F, Jopp E, Krumm P, Bratzke H, Verhoff MA. Forensische Anthropologie: Aufgaben im Rahmen der Identifizierungskommission des Bundeskriminalamtes. *Rechtsmedizin.* 2009;19(2):83-84. doi:10.1007/s00194-008-0583-y
101. Sterzik V, Jung T, Jellinghaus K, Bohnert M. Estimating the postmortem interval of human skeletal remains by analyzing their optical behavior. *Int J Legal Med.* 2016;130(6):1557-1566. doi:10.1007/s00414-016-1395-3

## 8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Beteiligten danken, die mich bei der Anfertigung meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt dabei Herrn PD Dr. Christoph Birngruber, der mich mit seiner Begeisterung für das Thema „Knochen“ angesteckt und mir ermöglicht hat, in diesem Themengebiet zu arbeiten. Ich danke ihm für sein stets offenes Ohr, sein überdurchschnittliches Maß an Geduld, seine fortwährende Unterstützung, die konstruktive Kritik und sein Vertrauen in dieses Vorhaben.

Frau Dr. Franziska Holz danke ich von Herzen für ihre treibende Strenge, die mich zum Durchhalten motivierte und dass sie mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Außerdem gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Dr. Reinhard Dettmeyer und Herrn Prof. Dr. Marcel Verhoff, die es mir ermöglichten, an ihren Instituten zu forschen und mich dadurch bei der Erstellung der beiden Artikel unterstützen. Herrn Prof. Dr. Verhoff danke ich zudem für seine fachliche Expertise, mit der er mir von der ersten Idee bis zum Abschluss der Dissertation beratend zur Seite stand.

Weiterhin möchte ich Herrn Kai Edler für seine technischen, MacGyver-artigen Support danken, Frau Linda Kohler für die blitzschnelle Übersetzungshilfe und Frau Nicole Weil für die Unterstützung, insbesondere in den Anfangstagen des Forschungsvorhabens.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Freunden und Kollegen und meiner Familie für ihre Ermutigungen und aufbauenden Worte und insbesondere meinem Vater für die immer gleiche Frage: „Was macht die Doktorarbeit?“. Ihr habt mir geholfen durchzuhalten und den Mut nicht zu verlieren.

## 9 Lebenslauf

./.

## 10 Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

### **Die rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden - eine hessenweite retrospektive Studie**

in dem Institut für Rechtsmedizin

unter Betreuung und Anleitung von Herrn PD Dr. Christoph Birngruber mit Unterstützung durch Frau Dr. Franziska Holz ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

Vorliegende Ergebnisse der Arbeit wurden (oder werden) in folgendem Publikationsorgan veröffentlicht:

Ohlwärther TEN, Holz F, Heidorn F, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG. Rechtsmedizinische Begutachtung von Knochenfunden am Gießener Institut für Rechtsmedizin. Rechtsmedizin 32: 11-19, 2022

Ohlwärther TEN, Holz F, Edler K, Kölzer SC, Reuss E, Verhoff MA, Birngruber CG. Bone finds and their medicolegal examination: A study from Hesse, Germany. Forensic Sci Med Pathol, accepted: 27.02.2023

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift)