Geschwister Scholl Gymnasium Löbau

Komplexe Leistung im Fach Chemie (Grundkurs)

Thema: Die chemische Zersetzung menschlicher Leichen

Eingereicht von: Saskia Richter
(Tutorenkurs: Frau Sombke)

Betreuerin: Frau Michler

Vorgelegt am: 23. März 2018

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

I. Die Selbstverdauung des Körpers

1. Der Zeitplan der Verwesung:

- An der Luft
- Unter der Erde
- Im Wasser
    - Wasserleichen - eine besondere Art der chemischen Zersetzung

2. Der Abbau der Fettsäuren

3. Die Zusammensetzung der Aminosäuren

4. Der Zerfall der Proteine

II. Forensische Anthropologie

- aus der chemischen Zersetzung Schlüsse zur Aufklärung von Todesfällen ziehen
    - Exkurs: „Die Chemie des Todes“-Buchreihe von Simon Beckett

III. Die Konservierung menschlicher Leichen – der chemischen Zersetzung entgegenwirken

- Körperwelten und ähnliche Ausstellungen plastinierter menschlicher Körper

Anhang

Literaturverzeichnis

Die chemische Zersetzung menschlicher Leichen

„Ein menschlicher Körper beginnt fünf Minuten nach dem Tod zu verwesen. Der Körper, einst die Hülle des Lebens, macht nun die letzte Metamorphose durch.“

- *Simon Beckett, "Die Chemie des Todes" (Seite 7)*

Ebendieser vom berühmten Autoren Simon Beckett beschriebene Aspekt der „letzten Metamorphose“ stellt meiner Meinung nach besonders treffend die Faszination der Thematik der chemischen Zersetzung menschlicher Leichen dar. Die Tatsache, dass die letzte Handlung des Körpers eines jeden Menschen, ungeachtet dessen Erscheinung und Bedeutung, ist, sich selbst zu verdauen, ist für die meisten ebenso unfassbar wie banal zugleich.
Besonders die Umstände, unter denen ein Leichnam sich selbst zersetzt und die äußeren Einflüsse, die hinsichtlich des dafür benötigten Zeitraumes und diverser Unterschiede bei der Verwesung auf diesen Prozess einwirken, sind für mich interessant. Bei der Betrachtung des 'Zeitplans' der chemischen Zersetzung in verschiedenen ökologischen Umgebungen möchte ich genauer auf sogenannte Wasserleichen eingehen. Diese stellen eine besondere Art der Leichenzersetzung dar. Bedeutsam ist besonders die Erkenntnis, dass jener Prozess der Selbstverdauung lediglich die Summe simpler biochemischer Vorgänge wie der Zerfall von Proteinen sowie deren spezifische Zusammensetzung aus Aminosäuren und der Abbau von Fettsäuren im menschlichen Körper ist.
Dass die Verwesung des Menschen nicht nur chemisch, sondern auch kriminologisch hochinteressant ist, eröffnet einen weiteren Aspekt meiner Arbeit - die forensische Anthropologie. Beispielhaft für dieses besondere Fachgebiet ist die Einbettung des Themas in Thriller durch den begabten britischen Autoren Simon Beckett in seiner Reihe um den forensischen Anthropologen Dr. David Hunter, welche mir einige Anstöße boten. Die Fähigkeit, aus verschiedenen Faktoren der chemischen Zersetzung Schlüsse zur Aufklärung bestimmter Fragen in der Untersuchung von Todesfällen zu ziehen, setzt die Grundlagen der biochemischen Abläufe im menschlichen Körper voraus, welche die Selbstverdauung ermöglichen.
Ebenjenen Vorgängen kann allerdings durch Konservierung der Leichen entgegengewirkt werden, was Ausstellungen wie die berühmten 'Körperwelten' ermöglicht und das letzte Themengebiet meiner Komplexen Leistung bildet.

I. Die Selbstverdauung des Körpers

1. Der Zeitplan der Verwesung

„Eins. Zwei. Acht. Die Ziffern des Zerfalls. In diesem Verhältnis verwesen alle Organismen, ob groß oder klein. An der Luft, im Wasser, unter der Erde.“

- *Simon Beckett, "Verwesung" (Seite 7)*

Gesetzt den Fall, dass drei unterschiedliche Leichen unter gleichen klimatischen Bedingungen verwesen: Eine der drei liegt an der freien Luft, ist also aeroben Bedingungen ausgesetzt, eine schwimmt in einem See oder ähnlichem Gewässer und die Dritte wurde in der Erde vergraben. Die benötigte Zeit für die chemische Zersetzung ist beim freiliegenden Leichnam am kürzesten. Die Wasserleiche hingegen benötigt den doppelten Zeitraum für dasselbe Maß an Verwesung. Ist ein Organismus jedoch vergraben im Erdboden, benötigt er für die Zersetzung acht Mal so lange wie an der Luft. Dieses Phänomen wird in der Forensik als Casper'sche Regel[1] aufgeführt. Es gilt zwar in einigen medizinischen Kreisen mittlerweile als überholt, ist aber als Leitregel noch immer anwendbar.
Die voneinander abweichenden Zeitpläne werden beispielsweise durch Temperaturunterschiede, sich vom Fleisch der verwesenden Leiche ernährende Insekten sowie die Verwesung beschleunigende Mikroorganismen beeinflusst. Somit können Leichen in bestimmten Bodenarten wochen-, monate- oder sogar jahrelang konserviert werden.
Doch wodurch werden die menschlichen Körper nach dem Tod, an der Luft, im Wasser oder unter der Erde in ihrer Selbstverdauung behindert und begünstigt? Ich möchte dies vor allem hinsichtlich der beschleunigenden Faktoren Wetter, Aas fressende Tiere und Kleinstlebewesen betrachten.

<u>An der Luft:</u>
An der Luft sind Leichen jeglichen Einflüssen durch das Wetter, Tiere und Mikroorganismen ausgesetzt. Die Zersetzung wird daher dort am stärksten beschleunigt.
Besonders Sonneneinstrahlung und die damit verbundene Wärmeeinwirkung auf den Körper, aber auch Regen haben Auswirkung auf die Erscheinung einer menschlichen Leiche. Die Wärme der Sonne lässt sie, vor allem in den warmen Monaten, austrocknen und die Haut wie Leder erscheinen. Das kommt daher, dass dem verwesenden Organismus durch Verdunstung Wasser entzogen wird. Dabei trocknen die Zellen aus und ziehen sich zusammen, was zum lederähnlichen Aussehen der

[1]https://books.google.de/books?id=bksjBgAAQBAJ&dq=caspersche+regel&hl=de&source=gbs_navlinks_s

Körperoberfläche führt. Regen hingegen bewirkt, dass der Körper aufgedunsen ist.
Doch nicht nur die Einflüsse von oben können die chemische Zersetzung beschleunigen. Ein großer Teil der Mikroorganismen, welche maßgeblich an der Verwesung beteiligt sind, stammen aus dem Boden. Dabei sind die Art des Bodens sowie die klimatischen Bedingungen relativ unbedeutend. Diese Mikroorganismen sind meist Bakterien und bestimmte Einzeller, aber auch Pilze und Fadenwürmer geben Auskunft über die Verwesungsstadien von Säugetier-Kadavern jeglicher Art. Unterstützten sie den Organismus teilweise bisher noch, so gehen sie nach dem Tod dazu über, die organischen Substanzen zu verdauen. Die Mikroorganismen dringen von außen in das Fleisch des Körpers ein und besonders die Bakterien bauen beispielsweise Proteine und die Aminosäuren, aus denen diese aufgebaut sind, ab.
Es ernähren sich jedoch nicht nur Kleinstlebewesen vom Leichnam, sondern auch andere Säugetiere sowie Insekten. Letztere bieten außerdem die Möglichkeit einer ersten Einschätzung des Todeszeitpunktes, genau genommen Schmeißfliegen und deren Larven, welche in offenen Wunden und Körperöffnungen nisten. Allerdings fressen beispielsweise Waldtiere auch den toten Körper oder Teile davon und beschleunigen somit die Zersetzung.
Der Zugang von Tieren und Mikroorganismen wird durch die offene Lage begünstigt, was den kurzen Zeitraum, in dem der Verwesungsprozess stattfindet, erklärt.

<u>Unter der Erde:</u>
Das Gegenteil dazu bildet die chemische Zersetzung menschlicher Leichen im Erdboden. Acht Mal so lange wie an der Luft benötigt diese nach der Casper'schen Regel dort. Wie kommt es jedoch zu solch immensen Schwankungen in der Dauer des letzten körperlichen Prozesses?
Der offensichtliche Unterschied ist die Unmöglichkeit von Auswirkungen der Wetterverhältnisse und Aasfresser auf den Leichnam. Ist der Körper, wie normalerweise üblich, tief genug unter der Erdoberfläche, ist es auch Tieren mit starkem Spürsinn äußerst selten möglich, den Leichnam zu lokalisieren und durch Graben an ihn heranzukommen. Da auch Sonneneinstrahlung und die damit verbundene Wärme den dunklen, feuchten Erdboden nicht durchdringen können und der Regen ihn höchstens zusätzlich befeuchtet oder die obere Schicht abträgt, sind somit zwei der drei bedeutendsten Verwesungsfaktoren grundsätzlich als eliminiert anzusehen.
Den einzig verbliebenen Einfluss, welcher seinen Ursprung im Boden hat und daher keine Schwierigkeiten, in ebendiesen vorzudringen, stellen die Mikroorganismen dar. Sie besitzen eine enorme Bedeutung für die Zersetzung, auch unabhängig von den anderen beiden Faktoren. Allerdings bildet sich um Körper, die unter der Erde vergraben sind, eine Art Vakuum, welches folglich keinen Sauerstoff enthält. Das O_2 benötigen Bakterien jedoch für den Verwesungsprozess,

da ohne es kein mikrobielles Wachstum möglich ist.
Somit ist jeder Leichnam unter der Erde lediglich von seinen individuellen Zersetzungsprozessen abhängig. Dies führt auch beispielsweise zu den unterschiedlichen Ansichten über die Dauer von, nicht durch Exhumierungen zu störender, Totenruhe auf Friedhöfen.

Im Wasser:

Im Wasser ist die Prozessbeschleunigung durch die äußeren Einflüsse nur in abgeschwächter Form gegeben, weswegen die doppelte Zeitspanne im Vergleich zur Verwesung unter freiem Himmel benötigt wird.
Durch die Lage der menschlichen Leiche in Flüssigkeit ist eine vollständige Austrocknung durch die Sonne und warme Temperaturen nicht möglich. Auch die Auswirkungen durch Niederschlag in Form von Regen erübrigen sich aufgrund dessen.
Auch Aas fressende Tiere haben keinen oder nur sehr begrenzten Zugang zum Körper und können diesen daher nicht in beschleunigter Form abbauen. Die in millionenfacher Anzahl im Erdboden vorkommenden Mikroorganismen sind in Gewässern ebenfalls nicht vorhanden. Zwar existieren durchaus auch in dieser Umgebung Bakterien und diverse andere Kleinstlebewesen, welche den Organismus nach dem Tod üblicherweise zersetzen, sie arbeiten jedoch dahingehend bedeutend weniger effizient als jene an der Luft.
Menschliche Leichen, deren chemische Zersetzung im Wasser stattfindet, weisen zusätzlich noch andere Besonderheiten auf, die ich an dieser Stelle näher betrachten möchte.

Wasserleichen - eine besondere Art der chemischen Zersetzung:

Wasserleichen zu finden und zu bergen stellt eine besondere Schwierigkeit dar. Gelingt es jedoch, kann man aus den Verwesungsbesonderheiten interessante Schlüsse zur Zersetzung ziehen.
Bedingt durch die Lage auf dem Bauch, in der die Leiche im Wasser treibt, bilden sich an der Vorderseite die sogenannten "Totenflecke". Diese entstehen aufgrund von Blutablagerungen und verteilen sich wegen der besonderen Treiblage lediglich auf die vorderen Körperpartien. Das Treiben des Körpers kann vor allem in fließenden oder von den Gezeiten betroffenen Gewässern auch zu postmortalen Verletzungen führen. Diese sind jedoch bei genaueren Untersuchungen von zum Tod führenden Verletzungen zu unterscheiden.
Es sind allerdings nicht nur Abnutzungsspuren von Treibverletzungen und dem natürlichen Tierfraß am menschlichen Kadaver zu erkennen. Durch die Auflösung des weichen Gelenkgewebes, welches Hände und Füße mit dem Rest des Körpers verbindet, lösen sich diese ab, insofern sie nicht durch

Kleidung gehalten werden.[2] Die Extremitäten sind ebenfalls besonders betroffen von der Bildung der "Waschhaut". So wird die gequollene Leistenhaut bezeichnet, welche sich an Hände und Füßen bildet und sich besonders von den Fingern, einschließlich Fingernägel, ähnlich einem Handschuh abstreifen lässt. Unter anderem an jener kann man die Liegezeit der Leiche im Wasser abschätzen.[3] Es gibt jedoch auch genauere, auf biochemischen Reaktionen basierende Erkenntnisse zum Zustand eines toten Körpers.

„Man kann die Veränderungen des Organismus analysieren, um herauszufinden, wie lange er tot ist. Die Zusammensetzung der Aminosäuren, der Abbau der Fettsäuren, der Grad des Proteinzerfalls.“

- *Simon Beckett, "Die Chemie des Todes" (Seite 128 f.)*

2. Der Abbau der Fettsäuren

Der Abbau von Fettsäuren im Körper (außer die der Nervenzellen und Erythrozyten) erfolgt schrittweise und wird als Beta-Oxidation bezeichnet.[4] Diese findet im Matrixraum der Mitochondrien an Enzymen statt und bildet Beta-Hydroxy-Verbindungen als Zwischenprodukt. Die Fettsäuren werden dabei oxidativ zu Acetyl-CoA abgebaut, welches aus dem Coenzym A ($C_{21}H_{36}N_7O_{16}P_3S$) mit einem Essigsäurerest (CH_3CO) als Acetylgruppe besteht. Dieses wird weiterhin im Citratzyklus umgesetzt.
Vor dem Abbau muss die Fettsäure jedoch zuerst durch das Coenzym A aktiviert werden, wobei Energie verbraucht wird. Dabei reagiert die Fettsäure mit dem durch die Spaltung von Adenosintriphosphat (ATP) entstandenen Adenosinmonophosphat (AMP) zu Acyladenylat, einem energiereichen Zwischenprodukt bei der Beta-Oxidation.[5] Darauf folgt die Veresterung dieses Zwischenproduktes mit dem Coenzym A mithilfe der bei der Spaltung von ATP freigesetzten Energie, bei welcher Acyl-CoA entsteht, das durch einen Carrier in die Matrix des Mitochondriums transportiert wird. Während dieses Vorgangs wird der Acylrest mithilfe des Enzyms Carnitin-Transferase, zuerst vom Coenzym A auf Carnitin übertragen, um dann im Matrixraum wieder auf ein freies Coenzym transferiert zu werden.
Zuletzt durchlaufen die Fettsäuren vier verschiedene Teilreaktionen, bei denen Acyl-CoA abgebaut und Acetyl-CoA ($C_{23}H_{38}N_7O_{17}P_3S$) freigesetzt wird. Diese Sequenz von Reaktionen wird je nach

[2]Vergleich siehe: „Totenfang“ - S. Beckett
[3]Vergleich siehe: „BASICS Rechtsmedizin“ - W. Keil
[4]Vergleich siehe: "Biochemie" – T. Kreutzig
[5]http://www.spektrum.de/lexikon/biochemie/acetyl-coenzym-a/62

Art und Aufbau der Fettsäuren mehrmals wiederholt, bis sie vollständig oxidiert sind.[6]

3. Zusammensetzung der Aminosäuren

Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung besitzen Proteine und die Aminosäuren, aus denen sie aufgebaut sind, verschiedene biologische Wertigkeiten.
Aminosäuren, oder genau: Aminocarbonsäuren, mit hoher biologischer Wertigkeit werden als essentiell bezeichnet. Diese können vom Körper nicht selbst aufgebaut, und müssen daher über die Nahrung aufgenommen werden. Für die Zersetzung menschlicher Leichen sind lediglich die nicht essentiellen, „körpereigenen“ Aminosäuren bedeutend (siehe Anhang, Tabelle). Sie zerfallen während des Verwesungsprozesses.[7]

4. Zerfall der Proteine

Oben genannte Aminosäuren bilden die Monomere der Makromoleküle von Proteinen. Diese haben eine Bedeutung für Enzyme, Hormone, das Blut sowie Nähr- und Reservestoffe.
Außerdem sind beispielsweise auch Aktin und Myosin als Muskelbestandteile und Kollagen als Grundbaustein von Knorpel, Knochen, Sehnen, etc. Teil des sich zersetzenden Körpers. Das Ausmaß der Verwesung lässt sich anhand der Muskelproteine ermitteln.[8] Der Zerfall der Proteine erfolgt in der Regel durch Denaturierung wegen Hitze, konzentrierter Säuren, Schwermetallionen, Alkohol oder Strahlung.
Im Prozess der chemischen Zersetzung ist vor allem die Zerstörung der Eiweiße durch die Hitzeeinwirkung auf den toten Körper vorhanden.
Nach Eintritt des Todes werden die Membranen der Lysosomen in den Zellen, welche überflüssige Bestandteile der Zellen abbauen, durchlässig und leeren Proteine zersetzende Enzyme aus. Die Polypeptide, die die Proteine bilden, werden in ihrer Helixstruktur zerstört, wobei auch einzelne Aminosäuren abgespalten und zersetzt werden.[9]
Beim Zerfall der Muskelproteine bildet sich aus den Fettsäuren des sich zersetzenden Körpers die Adipocire, auch als "Leichenwachs" bekannt. Dabei werden Fettsäuren mit einwertigen, primären Alkoholen verestert.[10] Sie ist im Grunde genommen eine Seife, an der man den Verlauf der Verwesung ablesen kann. Verläuft jene aufgrund von beispielsweise bakteriell infizierten, offenen

[6]http://flexikon.doccheck.com/de/Beta-Oxidation
[7]Vergleich siehe: „Chemie für Mediziner“ – A. Zeeck
[8]Vergleich siehe: „Kalte Asche“ - S. Beckett
[9]http://wiki2.benecke.com/index.php%3Ftitle%3DFacharbeit_Herbig_2010
[10]Vergleich siehe: „Lehrbuch der organischen Chemie“ - Beyer/Walter

Wunden oder hohen Temperaturen sehr schnell, so ist die Adipocire krümelig und spröde, bei einem langsameren Verwesungsprozess dagegen eher weich.[11]
Der Zerfall der Proteine vervollständigt die chemischen Grundlagen der Selbstverdauung des toten Körpers.

II. Forensische Anthropologie

„Ich war auf der allerersten Body Farm in Tennessee ausgebildet worden, wo sich an menschlichen Kadavern Verwesungsprozesse kontrolliert beobachten ließen. Dort hatte ich gelernt, den Todeszeitpunkt anhand von bakterieller Aktivität und dem Grad der Verwesung wie sich mit komplizierten Formeln der Zerfall der flüchtigen Fettsäuren im Körper berechnen ließ.“

- *Simon Beckett, „Totenfang“ (Seite 42)*

Forensische AnthropologInnen können nicht nur aus dem „Zerfall der flüchtigen Fettsäuren“ Schlüsse zur Bestimmung des Zeitpunktes des Todeseintritts ziehen. Sie sind aufgrund ihrer besonderen Ausbildung auf sogenannten "Body Farms", welche offiziell als „Forensic Anthropology Facilities“ bezeichnet werden, dazu in der Lage, aus bestimmten biochemischen Abläufen und Vorgängen konkrete Feststellungen zu den Umständen des Todes zu machen. Die berühmteste dieser Ausbildungs- und Forschungsstätten, von denen aktuell vier existent und alle in den USA verortet sind, liegt in Tennessee, wo die erste "Body Farm" von Dr. William Bass im Jahre 1971 eröffnet wurde.[12] Dort arbeiten in der Regel ausschließlich weibliche Forscherinnen und Studentinnen an den bis zu 40 auf etwa 12000 Quadratmetern verteilt liegenden menschlichen Kadavern.
Die Leichen werden unter natürlichen Bedingungen, wie zum Beispiel unterschiedliche klimatische Gegebenheiten, untersucht. Dabei werden sie je nach Einrichtung entweder nur den standortbedingten Umständen oder aber verschiedenen Möglichkeiten der "Lagerung" von Leichen in der Natur ausgesetzt. In Tennessee beispielsweise werden die Leichen im Wasser, unter oder auf der Erde beobachtet und erforscht. Dabei konzentrieren sich die Forscherinnen vor allem auf auffällige Indizien des Verwesungsgrades, wie die Haut und das Entwicklungsstadium der Schmeißfliegenlarven. Mittlerweile kann man sich zu Lebzeiten dazu entscheiden, seinen Körper an die Wissenschaft und damit an diese forensischen Einrichtungen und ihre Studierenden zu spenden.[13]

[11]Vergleich siehe: „Die Chemie des Todes“ - S. Beckett
[12]http://wiki2.benecke.com/index.php?title=2002_SeroNews:_Ein_Besuch_auf_der_%22Body_Farm%22
[13]https://science.howstuffworks.com/body-farm3.htm

Nach abgeschlossener Ausbildung sind die forensischen AnthropologInnen besonders bei kriminologischen Angelegenheiten sehr gefragt. Diese hohe Nachfrage ist teilweise auf die noch heute vorhandene Seltenheit dieser SpezialistInnen zurückzuführen. Besonders bei der Freilegung von Gräbern sowie der Bergung von Wasserleichen wird zumeist sehr viel Wert auf ihre Einschätzung gelegt. Die tiefgreifendere Arbeit der forensischen AnthropologInnen beginnt jedoch während und nach der Obduktion. Sie führen Untersuchungen an Organen und vor allem an Knochen durch, was oft die Identifikation des oder der Toten ermöglicht, falls diese vorher nicht eindeutig durchführbar war. Das äußere Erscheinungsbild des menschlichen Kadavers ist unter anderem dadurch geprägt, dass dunkle Haut heller wird, wohingegen helle Haut sich häufig verdunkelt.[14] Anhand der Knochen können die ForscherInnen durch bestimmte geschlechtsspezifische bauliche Besonderheiten in den meisten Fällen das Geschlecht der Leiche bestimmen. Zur Arbeit der forensischen AnthropologInnen in der Leichenhalle gehört in diesem Prozess auch die Säuberung der Knochen in Form von Mazeration. Diese Methode ist sehr gebräuchlich und kann auf enzymatischer oder chemischer Basis mithilfe von Laugen und Säuren, wie zum Beispiel Essigsäure, durchgeführt werden.[15] Dabei werden die grob vom weichen Gewebe befreiten Knochen in die Lösung eingelegt, wobei die chemischen Flüssigkeiten wesentlich weniger differenzieren und im Gegensatz zu den meist spezialisierten Enzymen alles zersetzen, was zum Verlust wichtiger körperlicher Informationsquellen führen kann. Das chemische Mazerationsverfahren ist daher mit größerer Vorsicht von den forensischen AnthropologInnen auszuführen.

„Die Chemie des Todes“-Reihe von Simon Beckett

Das Thema forensische Anthropologie gewann auch die besondere Faszination des Journalisten und Autoren Simon Beckett. Er entdeckte das Gebiet bei der Recherche für einen Artikel im Jahr 2002 für sich. Im Zuge dessen besuchte er die „Forensic Anthropology Facility“ in Tennessee, die zu dem Zeitpunkt noch die einzige Einrichtung dieser Art war. Beeindruckt von der außergewöhnlichen Ausbildungsmöglichkeit für Kriminalbeamte entstand die Idee für seine nun erfolgreichste Buchreihe um den forensischen Anthropologen Dr. David Hunter.[16] Der Debütroman „Die Chemie des Todes“, im Original „The Chemistry of Death“, ist das berühmteste Werk des Schriftstellers und machte die forensische Anthropologie in gewisser Weise gesellschaftsfähig. Auch die

[14]Vergleich siehe: „Leichenblässe“ - S. Beckett
[15]https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/praeparation/6_mazeration.htm
[16]Vergleich siehe: „Die Chemie des Todes“ - S. Beckett

darauffolgenden Romane der sogenannten Hunter-Reihe fanden sehr viel Zuspruch und behandeln jeweils eine besondere Todesart und somit ein Gebiet der forensischen Anthropologie genauer.
„Die Chemie des Todes“ bildet in jeder Hinsicht die Grundlage der Reihe. Die Geschichte handelt vom Rückzug Dr. Hunters in ein kleines britisches Dorf, wo er, seinem ursprünglichen Beruf den Rücken zugewandt, als Hausarzt arbeiten möchte. Doch der Fund einer Leiche bringt ihn wieder zurück zu seiner Berufung als forensischer Anthropologe. Dabei erfährt der oder die LeserIn viel über die Grundlagen dieses Fachgebiets, wie die Untersuchung von Insektenlarven, die im Leichnam schlüpfen und sich entwickeln. Aus ihrem Entwicklungsstadium kann Dr. Hunter die ungefähre Zeitspanne seit dem Todeszeitpunkt bestimmen und unterstützt trotz Anfeindungen mithilfe der durch seine einzigartigen Kenntnisse ermöglichten Ergebnisse die Ermittlungen der Polizei.
„Kalte Asche“ bringt, wie der Titel bereits andeutet, den Fans der Reihe genauere Erkenntnisse über die Untersuchung und die Besonderheiten der forensischen Arbeit an durch Feuer umgekommene Menschen. Dabei werden vor allem die Knochen untersucht, die im Falle des Feuertodes oft das einzig Verbliebene des Leichnams darstellen. Dies äußert sich auch im britischen Originaltitel des Buches „Written in Bone“. Allerdings geben auch die chemischen Reaktionsprodukte der Verbrennung selbst Auskunft über den Hergang des Todes. Beispielsweise entsteht unter anderem ein öliger Film von brauner Farbe durch die Verbrennung des Fettes der Leiche.
„Leichenblässe“, der dritte Teil der Thrillerreihe vereint eine Zuspitzung der persönlichen Probleme David Hunters, nach einem nur knapp missglückten Mordanschlag auf ihn, mit den höchsten Stadien der Verwesung. Die Schwierigkeiten der Untersuchung eines menschlichen Kadavers, wenn die chemische Zersetzung bereits in sehr hohem Maße vorangeschritten ist, wird in diesem Roman für die LeserInnenschaft nachvollziehbar veranschaulicht. Schauplatz der Handlung ist diesmal die "Body Farm" in Tennessee selbst. Aber selbst die dort vorhandenen Mittel ermöglichen Dr. Hunter nur die Untersuchung der Knochen des Ermordeten, da wegen des Zerfalls von Fettsäuren und Proteinen das Gewebe bereits in zu hohem Maße verflüssigt ist.
„Verwesung“ ist sehr aufschlussreich für all jene, die sich für die speziellen Umstände der chemischen Zersetzung menschlicher Leichen unter der Erde interessieren. Der Verwesungsprozess dauert dort bekanntlich achtmal so lang wie oberhalb des Erdbodens, doch Simon Beckett bedient sich der Abnormität des Bodentyps, der sich in Sumpfgebieten finden lässt und den Verwesungsprozess am stärksten hemmt. Die beinahe unmögliche chemische Zersetzung im extrem sauerstoffarmen Boden führt zu Gräbern, deren "Inhalt" kaum verwest ist, weshalb das Buch ursprünglich den Namen „The Calling of the Grave“ trägt.
„Totenfang“ bildet bis zur von LiebhaberInnen schon sehnsüchtig erwarteten Weiterführung der

Reihe den vorläufigen Abschluss. Dabei geht der Autor auf ein Phänomen ein, welches auch in meiner Komplexen Leistung bereits von Bedeutung war: die chemische Zersetzung sogenannter Wasserleichen. Die Bildung von Adipocire und das Aufquellen der Haut sind nur einige der im Buch aufgeführten und analysierten Charakteristiken der Verwesung.
Simon Beckett ermöglichte; wie beispielsweise auch der deutsche Kriminalbiologe Dr. Mark Benecke mit seiner Arbeit; dem komplexen Fachgebiet der forensischen Anthropologie eine vorher nie dagewesene Nähe zur ansonsten von diesem Thema eher distanzierten Gesellschaft und schuf somit mehr Anerkennung dieser besonderen biochemischen Forschungsberufung.

Die Konservierung menschlicher Leichen – der chemischen Zersetzung entgegenwirken

„Die Knochen und die Asche hätten wir auch im Wohnmobil lassen können, die Hand der Frau musste aber *bei niedriger Temperatur gelagert werden, um das verwesende Gewebe zu konservieren.“*

- *Simon Beckett, "Kalte Asche“ (Seite 161)*

Es gibt unzählige Möglichkeiten die chemische Zersetzung einer Leiche zu beschleunigen oder auch zu verlangsamen. Die vollständige Verhinderung der fortschreitenden Verwesung ist jedoch ein Fachgebiet, welches trotz seiner Kontroverse zu immer mehr Berühmtheit und gesellschaftlicher Verbreitung gelangt: die Plastination menschlicher Kadaver. Vor allem aber die Ausstellung der dabei entstehenden Präparate ruft Diskussionen hervor.
Der Begriff Plastination selbst ist auf den Heidelberger Wissenschaftler Gunther von Hagen zurückzuführen, der im Jahre 1997 die effektivste Methode der Konservierung verwesender Organismen entwickelte.[17] Die so präparierten 'Objekte' werden entweder als anatomische Anschauungsobjekte in der Wissenschaft oder als Exponate in Ausstellungen wie den „Körperwelten“ verwendet. Die somit nicht vorhandene Bestattung des menschlichen Leichnams und die angebliche Respektlosigkeit gegenüber den Toten bringen den Körpermessen bis heute viel Kritik ein. Die Körper gehören jedoch freiwilligen SpenderInnen, die sich noch zu Lebzeiten dazu entschieden, ihren Körper der Wissenschaft zu überlassen.[18] Sie verfügen darüber, meist um auch noch nach ihrem Tod zu helfen, indem sie sich ÄrztInnen zur Weitergabe deren Wissens an Laien zur Verfügung stellen. Mit ihrem Körper wird nach dem Tod wie folgt verfahren:

[17]https://www.bestattungen.de/ratgeber/bestattungsarten/plastination.html#geschichte
[18]https://koerperwelten.de/plastination/koerperspende/

Bei der Plastination wird der Körper in fünf Schritten konserviert und für die Ausstellung vorbereitet. Zuerst wird die Verwesung der Leiche durch die Fixierung mithilfe von Formalin-Lösung, welche alle Bakterien im Körper abtötet, aufgehalten. Dabei müssen die Haut sowie die feine Bindegewebsschicht auf Organen und Ähnlichem sorgfältig und geschickt entfernt werden, bevor die Lösung in die Arterien gepumpt werden kann. Darauf folgt ein Acetonbad, in welchem dieses Lösungsmittel das Körperwasser aus dem Leichnam zieht und ersetzt. Dasselbe wird zur Herauslösung der Fette verwendet, jedoch lediglich in einem nicht eiskalten, sondern erwärmten Lösungsmittel. Dieser Prozess der Entwässerung und -fettung nimmt mehr Zeit in Anspruch als allgemein angenommen und dauert etwa ein Vierteljahr. Weniger zeitintensiv, jedoch am bedeutendsten ist der nächste Schritt, die sogenannte forcierte Imprägnierung. Hier wird in einem mit Kunststoff gefülltem Vakuum wiederum das Lösungsmittel aus dem Körper herausgelöst und durch ebenjenen flüssigen Reaktionskunststoff ausgetauscht. Hierbei handelt es sich um ein Zusammenspiel chemischer und physikalischer Kräfte. Zuerst beginnt das noch im Körper vorhandene Aceton zu sieden und verdampft, während durch den dabei entstehenden Unterdruck der Flüssigkunststoff in jede Zelle des oder der Toten gezogen wird. Nach der Beendigung dieses Schrittes nach mindestens zwei bis höchstens fünf Wochen, je nach Größe und Komplexität des Organismus, wird das Präparat für die Ausstellung in anatomisch korrekter Form mithilfe von Drähten und anderen Fixierungsmitteln in Position gebracht. Die Imprägnierung des Körpers mit flüssigen Kunststoffen, wie beispielsweise Silikon oder Polyester, erfordert als letzten Schritt die Aushärtung durch spezielle Gase in luftdichten Kammern, Wärme, Licht oder Ähnliches in Abhängigkeit vom auszuhärtenden Kunststoff.

Nach mehreren Monaten präziser und viel anatomische Sachkenntnis voraussetzender Arbeit ist die Plastination des menschlichen Leichnams abgeschlossen und dessen Verwesungsprozess in vollem Maße aufgehalten.

In Ausstellungen wie den „Körperwelten“ werden von einzelnen Organen über alle möglichen menschlichen Bestandteile, teilweise auch Krankheitsbilder aufweisend, bis hin zu ungeborenen Föten alles den interessierten BesucherInnen präsentiert. Über die Faszination wird oft der Aufwand zur Erstellung dieser beeindruckenden Exponate vergessen, obwohl dieser enorm und vor allem auch chemisch sehr beeindruckend ist. „Körperwelten“ ist schon lang nicht mehr der einzige Aussteller echter Körper. Mittlerweile gibt es bereits mehrere Körpermessen, die den Menschen ihre eigene Anatomie näherbringen.

Anhang

Tabelle

Nicht essentielle Aminosäuren
Alanin (Ala)
Arginin (Arg)
Asparagin (Asn)
Asparaginsäure (Asp)
Cystein (Cys)
Glutamin (Gln)
Glutaminsäure (Glu)
Glycin (Gly)
Histidin (His)
Prolin (Pro)
Serin (Ser)
Tyrosin (Tyr)

Literaturverzeichnis

BECKETT, SIMON – 2006: The Chemistry of Death, 49. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

2007: Written in Bone, 33. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

2009: Whispers of the Dead, 21. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

2011: The Calling of the Grave, 13. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

2016: The Restless Dead; Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

BENECKE, MARK – 2002: Ein Besuch auf der "Body Farm", http://wiki2.benecke.com/index.ph title=2002_SeroNews: Ein_Besuch_auf_der_%22Body_Farm%22 (Zugriff am 2. März 2018)

BEYER, HANS; FRANCKE, WITTKO; WALTER, WOLFGANG: 1998: Lehrbuch der Organischen Chemie; S. Hirzel Verlag, Stuttgart - Leipzig

HERBIG, CELINA – 2010: Der biochemische Abbau des menschlichen Leichnams unter den Aspekten der Verwesung, der Autolyse und der Fäulnis sowie unter Berücksichtigung natürlicher Störungen der Leichenzersetzung und deren Einschränkung, http://wiki2.benecke.com/index.php%3Ftitle %3DFacharbeit_Herbig_2010 (Zugriff am 2. Januar 2018)

HÖGEMANN, ASTRID – Beta-Oxidation, http://flexikon.doccheck.com/de/Beta-Oxidation (Zugriff am 14. Februar 2018)

KEIL, WOLFGANG – 2009: BASICS Rechtsmedizin, 3. Auflage; Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH

KREUTZIG, THOMAS – 2000: Biochemie, 12. Auflage; Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH

LICHTSCHEIDL, IRENE – Mazeration, https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/praeparation/6_mazeration.htm (Zugriff am 1. März 2018)

MADEA, BURKHARD – 2006: Praxis Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung, 2. Auflage; Springer-Verlag

SCHEVE, TOM – 2008: How Body Farms Work, https://science.howstuffworks.com/body-farm3.htm (Zugriff am 5. März 2018)

SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT VERLAGSGESELLSCHAFT mbH – Acetyl-Coenzym A, http://www.spektrum.de/lexikon/biochemie/acetyl-coenzym-a/62

ZEECK, AXEL (Herausgeber) – 2005: Chemie für Mediziner, 9. Auflage 2017; Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH