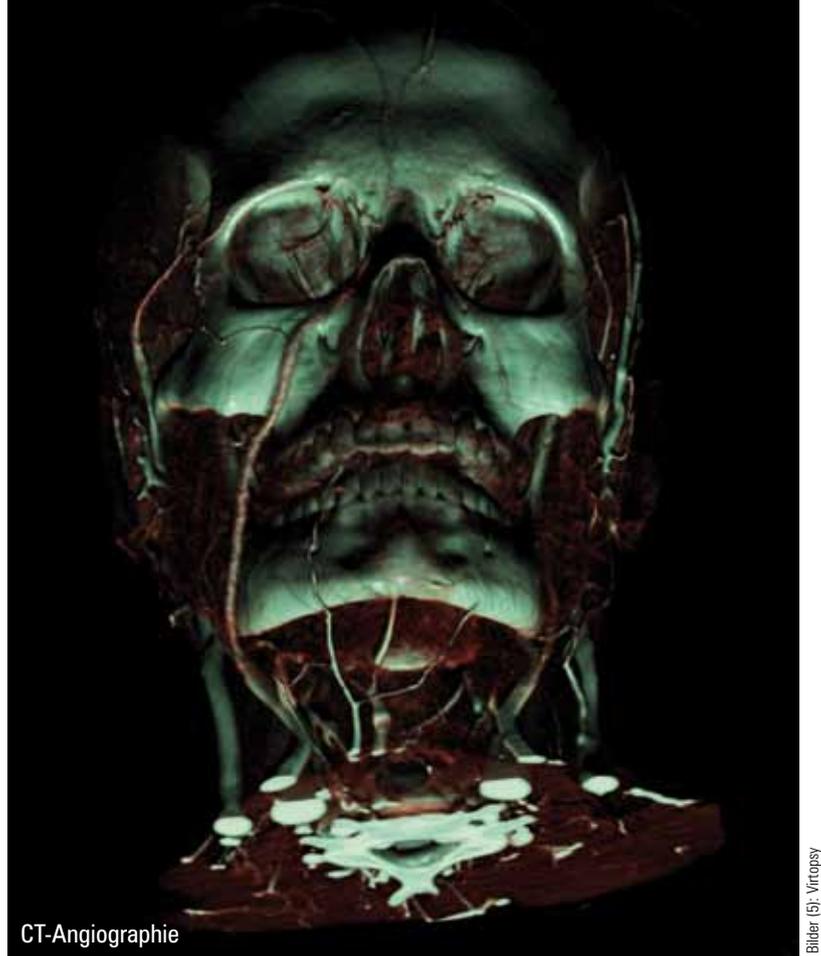


Forensische Bildgebung

Obduktion am Computer

■ Unklare Todesursachen werden klassischerweise durch eine Autopsie geklärt. In Heidelberg nutzt man zusätzlich moderne Methoden der Bildgebung, um sich bereits vor Ansetzen des Skalpells einen Überblick zu verschaffen. Noch weiter gehen Forscher in Zürich, die am Konzept der „Virtopsy“ arbeiten.



CT-Angiographie

Bilder (6): Virtopsy

Der Schuss in die Brust tötete den Mann sofort. Doch wo ist die Kugel? Die Ärztin lokalisiert im Brustraum des Mordopfers einige Knochensplitter. Ihr Blick wandert weiter zur Körpermitte. Hier ist es! Das Projektil steckt in einem Wirbelkörper fest und kann später für die weitere Analyse entnommen werden. Das Beweisstück wird die Ermittler zur Tatwaffe und vielleicht sogar zum Mörder führen.

Doch soweit ist es noch nicht, die Obduktion hat nämlich noch gar nicht begonnen. Untersucht wurde lediglich ein dreidimensionales Abbild des Getöteten, digital gespeichert auf der Festplatte ihres Computers. Denn die Rechtsmedizinerin Kirsten Marion Stein hat neben Schere und Skalpell vor allem zwei Werkzeuge zur Hand: Röntgenstrahlen und die richtige Software.



Foto: Mario Reinbold

Die Heidelberger Rechtsmedizinerin **Kirsten Marion Stein** obduziert mit Skalpell, Software und Röntgenstrahl.

Das Heidelberger Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin liegt in einem unscheinbaren Gebäude direkt am Neckar, irgendwo zwischen den anderen medizinischen Instituten. Seit 1990 ist Kirsten Stein hier tätig, 1995 begann sie ihre Forschungen zur Forensischen Radiologie. Als das Institut 2001 einen eigenen Computertomographen bekam, waren die Heidelberger Rechtsmediziner Pioniere auf deutschem Boden in Sachen forensischer Bildgebung.

Unverwüsthliche Beweise

Auch heute gibt es nur wenige rechtsmedizinische Einrichtungen in Deutschland, die ein solches Gerät besitzen, darunter Ulm, Hamburg und Berlin. Die Regel ist aber nach wie vor die Untersuchung einer Leiche mit den klassischen Methoden. Wird eine Obduktion gerichtlich angeordnet, so müssen laut Strafprozessordnung unter Anwesenheit zweier Obduzenten und eines Sektionsassistenten immer Schädel, Brust- und Bauchraum eröffnet und untersucht werden, um konkurrierende Todesursachen auszuschließen. Verstarb das Opfer, um ein hypothetisches Beispiel zu nennen, tatsächlich an der Stichverletzung im Bauch oder

vielleicht doch an der Hirnblutung infolge des anschließenden Sturzes, die man ohne Obduktion vielleicht übersehen hätte?

Hier wird ein Schwachpunkt der altbewährten Herangehensweise deutlich: Entgeht den Medizinern ein kleines, aber bedeutsames Detail, wird dieses auch nicht protokolliert und ist somit häufig für alle Zeiten verloren. Hätte man den Toten aber vor seinem Weg ins Krematorium mittels bildgebender Verfahren dreidimensional gescannt, könnte man noch Jahrzehnte später auf das Bildmaterial zurückgreifen. Bits und Bytes verwesen nicht – ein zuverlässiges Datensicherungskonzept vorausgesetzt – so dass man jederzeit auf virtuellem Wege eine Obduktion wiederholen kann. Mehr noch, der klassische Eingriff mit dem Skalpell verändert die Leiche, die virtuelle Variante hingegen hinterlässt keine Schäden.

Doch wie zuverlässig sind solche Bilddaten, wenn es um forensische Fragen geht? „Für die Aufklärung eines Verbrechens genügt es nicht, einen Befund nur zu vermuten“, erläutert Stein die große Herausforderung für die Rechtsmediziner. „Ich muss mir bei dem, was ich sehe, absolut sicher sein“, stellt sie klar, denn schließlich könne es vor Gericht um die Frage „schuldig“ oder „nicht schuldig“ gehen. Beweise sind also entweder waserdicht oder wertlos – dazwischen bleibt nicht viel Spielraum.

Grafiken, die Stein in ihrem Institut untersucht, werden mit Hilfe eines Computertomographen erstellt. Dabei erhält

man viele zweidimensionale Schnittbilder durch die Transversalebene, aus denen der Computer ein dreidimensionales Bild errechnen kann. „Man bekommt eine Verteilung der Röntgendichte, die sich in Grauwerten darstellen lässt“, erklärt Stein. Strukturen hoher Röntgendichte, beispielsweise Knochen, sind dann hell, Luftblasen hingegen fast schwarz, da sie praktisch keine Röntgenstrahlung absorbieren. Knochenfrakturen oder Lufteinschlüsse lassen sich auf diese Weise sehr gut identifizieren, während man bei der Obduktion Knochen oft aufwändig freipräparieren und aufbereiten muss, um Details zu erkennen. Embolien lassen sich in Bereichen ausmachen, die man bei einer Obduktion vielleicht ausgespart hätte.

Zudem kann man CT-Aufnahmen an der unversehrten Leiche anfertigen. „Nach einem Kopfschuss sehe ich oft wolkenartige Knochensplitter im Gehirn“, nennt Stein ein Beispiel, „würde ich den Schädel bei der Obduktion öffnen, fiel mir dieses Bild zusammen wie ein 3D-Puzzle und die

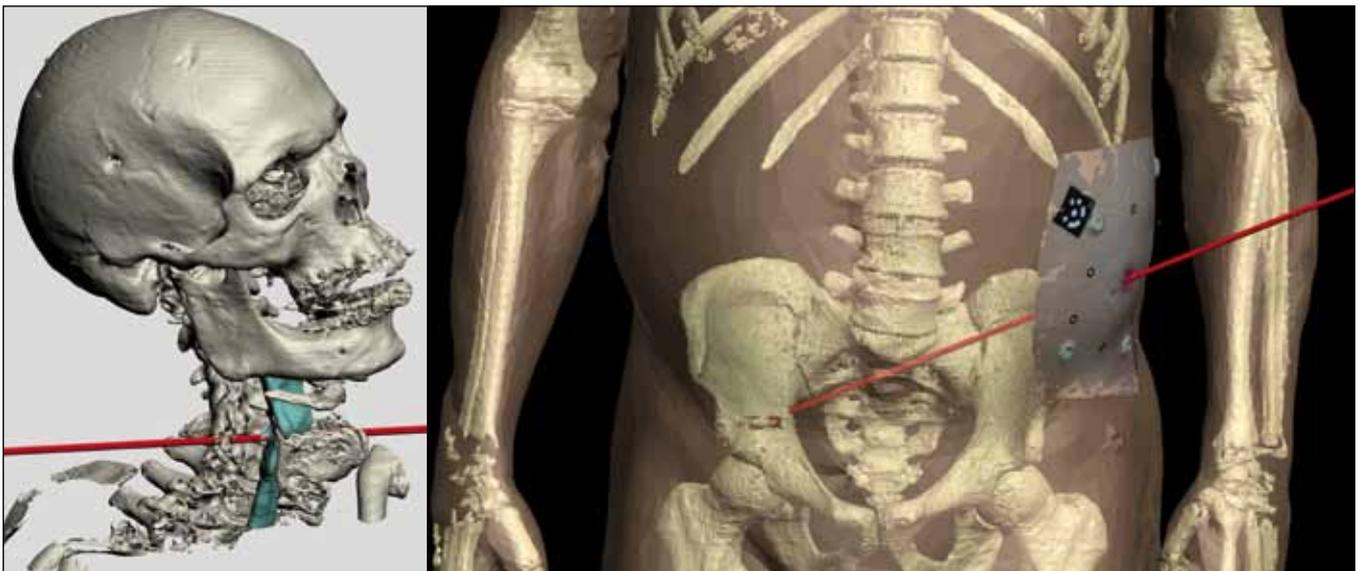
man das Messer in die Hand nimmt, wo das Projektil liegt.“ Dabei kann auch schon mal eine Couch im Computertomographen landen, weiß Stein zu berichten: „Es sollte jemand erschossen worden sein, das Projektil war weg und wurde in einem Sofa vermutet. Natürlich hätte man das auch verbrennen können, um das Geschoss zu finden, aber man wollte es eben möglichst zerstörungsfrei haben.“ Das Möbelstück wurde also kurzerhand in kleinere Stücke zerlegt und computertomographisch untersucht.

Leben und Tod im CT

Bildgebende Methoden haben allerdings auch ihre Grenzen und bergen einige Tücken. So können Strukturen mit ähnlicher Röntgendichte nicht sauber differenziert werden, beispielsweise Blut und Muskelgewebe. Zur Erhöhung der Röntgendichte kann man mit Hilfe einer Herzkreislaufmaschine Kontrastmittel verabreichen, um auf diesem Wege Blutge-

lebenden Patienten arbeitet. „Es gibt leichenspezifische Veränderungen, die man am lebenden Menschen nie feststellen wird“, erklärt Stein, „wie Mageninhalt, der in die Speiseröhre zurückgeflossen ist. Das ist ein Befund, den ich regelmäßig an Leichen sehe, doch ein klinischer Radiologe denkt eher an einen Tumor, wenn er auf der Aufnahme etwas in der Speiseröhre erkennt.“ Ebenfalls leichenspezifisch ist die Ansammlung von Fäulnisgasen im Körper. Aufgrund der geringen Röntgendichte dieser Gase können Kontraste zu Strukturen entstehen, die am lebenden Menschen mittels CT nicht sichtbar zu machen sind.

Stein erinnert sich an eine Publikation von Fachkollegen, die sie gelesen hatte. Die Autoren glaubten, die Fäulnisblase einer Leber dargestellt zu haben, tatsächlich aber zeigte die CT-Aufnahme das Zwerchfell. Durch die Verschiebung und Verformung umliegender Organe hatte sich ein für lebende Patienten vollkommen untypisches Bild ergeben. „Weil in Bauch- und Brusthöhle nur Gas war, konnte man das



Virtopsy-Rekonstruktionen von Schüssen in Hals (li.) und Bauch (re.).

Information wäre verloren.“ Auch das Auffinden eines Projektils in der Leiche kann mit großem Aufwand verbunden sein, wenn man nach alter Schule vorgeht. „Je nachdem, wo das Geschoss eingedrungen ist, kann man da schon mal einen Nachmittag lang suchen“, erinnert sich Stein. Die CT aber dauert nur 20 bis 30 Minuten und das Projektil ist schnell gefunden. Objekte aus Metall erzeugen nämlich charakteristische Artefakte, die sich sehr gut von anderen Strukturen hoher Röntgendichte, etwa Knochen, unterscheiden lassen.

„Das ist das Wunderschöne an der postmortalen Computertomographie“, schwärmt Stein, „man weiß schon, bevor

fäße sichtbar zu machen. Voraussetzung ist aber, dass die Leiche noch keine stärkeren Verwesungserscheinungen zeigt, denn autolytische Prozesse machen die Gefäßwände brüchig und können zum Austritt von Kontrastmittel führen. Gibt es an einer Leiche aber eine forensisch relevante Besonderheit, die sich nicht über Röntgendichteunterschiede sichtbar machen lässt, so wird man diese übersehen, wenn man sich allein auf die CT verlässt.

Sichtbare Strukturen wiederum können falsch interpretiert werden, insbesondere, wenn man einen mit der forensischen Bildgebung nicht vertrauten Radiologen hinzuzieht, der sonst nur mit

Zwerchfell abgrenzen – ein Befund, den der Kliniker so nie zu sehen bekommt“, fasst sie zusammen.

Im Gegensatz dazu ist Gas in der Lunge der Normalzustand am lebenden Patienten. Höhere Röntgendichte deutet hier auf krankhafte Veränderungen hin. Bei einer Leiche aber kommt es zu einem Absinken der Körperflüssigkeit, wodurch schon wenige Minuten nach dem Tod Leichenflecken entstehen. Auch in der Lunge sammelt sich durch diesen Effekt Flüssigkeit auf der zum Boden gewandten Seite und verdrängt das Gas. Daher erhöht sich die Röntgendichte in der Lunge eines Toten und bildet einen Gradienten entlang ▶

der Schwerkraft. Je länger die Leiche liegt, desto stärker ist dieses Bild ausgeprägt. „Man muss erst lernen, postmortale Befunde einzuordnen“, schlussfolgert Stein.

Die Computertomographie hat also nur dann Vorzüge, wenn man die Befunde auch richtig deuten kann. Fremdkörper, Knochenbrüche, Gaseinschlüsse und Hirnblutungen lassen sich gut erkennen, leichenspezifische Veränderungen müssen dabei berücksichtigt werden. Will man auch Strukturen ähnlicher Röntgendichte nicht-invasiv erfassen, kann die Magnetresonanztomographie (MRT) weiterhelfen. Atome unterscheiden sich in ihren magnetischen Eigenschaften. Wasserstoff etwa verhält sich in einem Fettmolekül anders als in einem Wassermolekül,

erhalten. Wohl aus diesem Grund gibt es in Deutschland bislang noch kein rechtsmedizinisches Institut, das über ein eigenes MRT-Gerät verfügt.

Skalpelfreie Autopsie

Nehmen wir einmal an, Kosten spielten keine Rolle und man könnte einem Rechtsmediziner die modernsten bildgebenden Technologien samt interdisziplinärem Expertenteam zur Verfügung stellen. Was wäre dann möglich? Ein Blick in die Schweiz, zum Team um Michael Thali, gibt eine Antwort. Begonnen hat alles Mitte der 90er Jahre in Bern unter Leitung von Richard Dirnhofer, der dort einige Jahre später das Projekt „Virtopsy“ gründete.



In einer Virtopsy-Sitzung können Oberflächen gescannt, Knochen- und Weichteile analysiert und auch Biopsien gemacht werden – alles mit Hilfe des Roboterarms „Virtobot“.

wenn man es einem starken Magnetfeld aussetzt – letztlich erlauben es diese Charakteristika, einzelne Gewebetypen zu differenzieren. Beispielsweise lassen sich über die Diffusionsbewegungen von Wasser Nervenbahnen darstellen und somit Hirnverletzungen erkennen, die bei computertomographischer Bildgebung unsichtbar bleiben. „Bei der MRT muss ich aber vorher genau wissen, was ich darstellen will“, ergänzt Stein. „Dann habe ich auch eine gute Ortsauflösung und kann Weichteile unabhängig von ihrer Röntgendichte abbilden.“

Nachteile der MRT sind also nicht nur die im Vergleich zur CT sehr hohen Anschaffungs- und Betriebskosten. Man benötigt darüber hinaus speziell ausgebildetes Personal, um mit den Geräten zu arbeiten und verwertbare Aufnahmen zu

Heute ist Thali Kopf der Gruppe, im Februar 2011 bezog er mit dem größten Teil seines Teams sein neues Zuhause an der Universität Zürich. Die Schweizer Vision der forensischen Bildgebung, Virtopsy, ist ein als Marke eingetragenes Kofferwort, das aus „Autopsie“ und „virtuell“ konstruiert wurde. Die Arbeitsgruppe hat zu ihrem Virtopsy-Projekt eine eigene Webseite eingerichtet (www.virtopsy.com). Kurze Texte und Videoclips führen den Besucher anschaulich in das Themenfeld ein.

Thali erinnert sich an die Anfänge, als das Team die Fachwelt erstmals mit der Idee einer „skalpellfreien Autopsie“ schockierte. „Das schien zu implizieren, wir wollten die klassische Autopsie abschaffen; durch den Entrüstungsschrei der Rechtsmediziner ist unser Projekt dann sehr bekannt geworden.“ Ziel von

Virtopsy ist es, zunächst einmal möglichst viele Informationen durch nicht-invasive Verfahren zu gewinnen und digital zu archivieren. Das beginnt schon mit der Begutachtung oberflächlicher Schäden, die man an einer Leiche oder anderen Objekten am Tatort vorfindet. Hält man die Beobachtungen fotografisch fest, so reduziert man räumliche Information auf zwei Dimensionen. Daher verwendet man in Zürich Verfahren zur dreidimensionalen Erfassung von Oberflächen, beispielsweise das TRITOP/ATIS II der Gesellschaft für Optische Messtechnik (GOM). Das Gerät projiziert Lichtstreifen auf Oberflächen, die, je nach Krümmung, unterschiedlich verzerrt werden. Auf diesem Weg lässt sich die Oberfläche von Objekten auf 20 µm genau erfassen und digital speichern. Wunden eines Mordopfers können mit dieser Technik ebenso vermessen werden wie die Karosserie eines Unfallfahrzeugs. Darüber hinaus ist es möglich, die Daten des Oberflächenscans beispielsweise mit einer CT-Aufnahme zu einem einheitlichen Bild zu verrechnen. Bei einer Schussverletzung hat man dann oberflächliche Details zusammen mit Daten zum Schusskanal und inneren Verletzungen in einer Grafik vereint.

Für den Blick in den Leichnam werden CT und MRT eingesetzt. Thalıs Arbeitsgruppe benutzt die Magnetresonanz nicht nur, um Strukturen sichtbar zu machen, sondern auch zur Abschätzung der Zeit, die seit dem Eintritt des Todes vergangen ist. Die Magnetresonanztomographie erlaubt nämlich die Identifizierung von Metaboliten, die für Abbau- und Fäulnisprozesse typisch sind, ohne dabei die Leiche öffnen zu müssen. Ist trotzdem eine Biopsie notwendig, um histologische und toxikologische Untersuchungen durchführen zu können, hilft der „Virtobot“ weiter, ein beweglicher Roboterarm, der zielgenau die minimalinvasive und computergestützte Entnahme von Gewebe erlaubt.

Theorie und Praxis

3D-Scan, CT und MRT, kombiniert mit dem Know-how, die daraus gewonnenen Daten auch sinnvoll auswerten zu können – darin liegt die Stärke der Zürcher Virtopsy-Gruppe. Praxistauglich für den routinierten Einsatz in einem durchschnittlichen rechtsmedizinischen Institut sind diese aufwändigen Methoden derzeit sicher noch nicht, gesteht auch Thali ein. „Es ist klar, dass nicht jedes kleine Institut so etwas unterhalten kann“, stellt er fest und ist sich bewusst, dass seine Mitarbeiter, darunter Rechtsmediziner, Radio-



Der Forensiker **Michael Thali** glaubt an eine große Zukunft für die Virtopsy.

logen, Ingenieure und Softwareexperten, derzeit eher Entwickler als Anwender sind. „Für uns ist das in erster Linie universitäre Forschung“.

Derzeit sind bildgebende Befunde in Deutschland nur dann gerichtlich verwertbar, wenn sie durch eine Obduktion abgesichert sind. Auch Stein hält an den klassischen rechtsmedizinischen Metho-

den fest. „Auf der CT-Aufnahme habe ich einen Vorbefund, aber die klare Diagnose muss ich mir durch die Obduktion holen“, erklärt sie und weist gleichzeitig auf die Möglichkeiten der Bildgebung hin. „Natürlich kann bei der Obduktion etwas übersehen oder fehlinterpretiert werden, deswegen ist die Kombination mit der Bildgebung einfach optimal“.

Die Zahl rechtsmedizinischer Institute, die entweder eigene Computertomographen nutzen oder eng mit einer radiologischen Einrichtung kooperieren, ist in den letzten Jahren auch im deutschsprachigen Raum gestiegen. Seltener greift man zur MRT, denn die hohen Betriebs- und Personalkosten rechtfertigen den Einsatz nur, wenn auch gerichtsverwertbare Ergebnisse zu erwarten sind. Daher sind momentan Forschungsprojekte sehr wichtig, um die Möglichkeiten der MRT nutzen und ihre Grenzen erkennen zu können.

In Heidelberg gibt es diesbezüglich seit 15 Jahren eine enge Zusammenarbeit mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ). Kooperationen mit der Heidelberger Radiologie und dem Ludwig-Boltzmann-Institut für Klinisch-

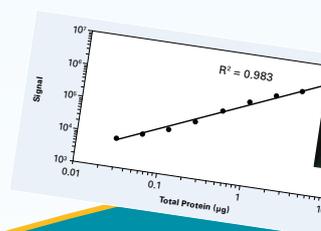
Forensische Bildgebung in Graz werden derzeit aufgebaut. In Graz untersucht man unter anderem, wie zuverlässig sich diese Methode, die ohne ionisierende Strahlung auskommt, auch für die Begutachtung lebender Patienten nach Gewalttaten einsetzen lässt.

Thali ist fest überzeugt von den Möglichkeiten des „Virtopsy“-Ansatzes. Auf die hohen Kosten der Bildgebung angesprochen erwidert er, die Fortschritte in der Molekularbiologie seien in ihren Anfängen auch alles andere als preisgünstig gewesen. „Heute benutzt man für eine Vaterschaftsanalyse ja auch keine Blutgruppen mehr.“ Ob das Konzept der Virtopsy jemals in der Lage sein wird, das Skalpell komplett zu ersetzen, darauf legt sich Thali heute nicht mehr fest. „Damals hätte ich diese Frage vielleicht etwas provokant mit ‚ja‘ beantwortet“, scherzt er. „Heute aber sage ich in schweizerisch-diplomatischer Manier: 60 bis 80 Prozent der forensischen Todesursachen sehen wir jetzt schon durch den Virtopsy-Approach. Ob man damit die klassische Autopsie je ganz ersetzen wird, das soll die Zukunft sagen und nicht der Thali.“

MARIO REMBOLD

The Best Just Got Better...

Simpler, Faster, Better Data



Introducing the **NEW** **ODYSSEY® CLx** Infrared Imaging System

- ✔ **The History You Trust.**
Ten Years of Revolutionizing Quantitative Western Blots
- ✔ **The Proven Technology.**
4,000+ Publications Citing Data From Odyssey Infrared Technology
- ✔ **The Data You Demand.**
More Than 30,000 Users Worldwide

www.licor.com/odysseyCLx
©2011 LI-COR, INC

LI-COR Biosciences GmbH
+49 (0) 6172 17 17 771
bio-eu@licor.com

LI-COR Biosciences UK Ltd.
+44 (0) 1223 422104
bio-eu@licor.com

LI-COR
Experience Excellence