

Im Inneren einer Krabbe – nichtinvasive Bildgebungsverfahren und die Bedeutung wissenschaftlicher Sammlungen für innovative Forschung an Wirbellosen

STEPHANIE KÖHNK

ABSTRACT

Naturwissenschaftliche Sammlungen sind eine wichtige Grundlage für die Dokumentation und das Verständnis von Biodiversität und Evolution. Sie stellen eine entscheidende Basis für taxonomische, phylogenetische, ökologische, biogeographische und naturschutzfachliche Forschung dar. Sammlungsobjekte verfügen über eine einzigartige Menge an morphologischen, anatomischen, genetischen und geographischen Daten. Meistens wird für morphologisch-taxonomische Untersuchungen ausschließlich die äußere Gestalt der Objekte in Betracht gezogen, da nähere Analysen der inneren Organisation an der destruktiven Natur klassischer anatomischer Methoden scheitern bzw. diese Bestandteile nicht standardmäßig konserviert werden.

Krebstiere (Crustacea) stellen eine wichtige Gruppe innerhalb zoologischer Sammlungen dar. Besonders die Echten Krabben (Brachyura) bewohnen eine große Vielfalt an Lebensräumen, von der Tiefsee bis hin zu Süßwassersystemen in Hochgebirgen. Die Habitatbandbreite geht dabei mit einer großen strukturellen Diversität einher. Deshalb stellen Krabben eine ideale Gruppe dar, um evolutionäre und ökologische Anpassungsprozesse zu untersuchen, auch unter Berücksichtigung anthropogener Einflüsse. Die einmalige Möglichkeit, Veränderungen im Laufe der Zeit zu beobachten, ist durch historische Sammlungen gegeben.

Innovative nichtinvasive Bildgebungsverfahren wie Mikro-Computertomographie (μ CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) stellen neue Werkzeuge für anatomische Untersuchungen dar, welche das Ausgangsobjekt unbeschadet zurücklassen und dennoch den Blick ins Innere erlauben.

Im Beitrag werden auf diese Weise neue Daten präsentiert, welche die Eignung von brachyuren Krabben aus naturwissenschaftlichen Sammlungen für MRT- und CT-Untersuchungen darlegen. Sammlungsobjekte aus verschiedenen Zeitabschnitten und verschiedenen Fixierungsverfahren werden dabei verglichen. Erste Möglichkeiten für Studien aus den unterschiedlichen Bereichen der Biologie werden beispielhaft diskutiert.

Einleitung

Zoologische Sammlungen sind eine wichtige Grundlage, um Artenvielfalt und Evolution zu dokumentieren. Zusammengesetzt aus Exemplaren einer Vielzahl von Arten aus aller Welt und unterschiedlicher Sammlungszeitpunkte stellen diese Sammlungen eine einmalige Schatzkammer des Wissens dar (PONDER, CARTER, FLEMONS u. a. 2001; SUAREZ & TSUTSUI 2004).

Die Objekte werden auf unterschiedlichste Weise für künftige Generationen konserviert. Ein Teil der Sammlung besteht aus sogenannten Trockenpräparaten, wie z. B. Insekten oder Vogelbälge. Der andere Teil wird in verschiedenen Konservierungsflüssigkeiten in der Nasssammlung aufbewahrt. Das eigentliche Sammlungsobjekt steht dabei nicht allein, sondern wird von unterschiedlichen Hintergrundinformationen begleitet. Der Fundort, der Fundzeitpunkt und auch Sammler sowie die Sammelmethode sind am Objekt

vermerkt. Zusammen ermöglichen diese Daten einen einmaligen Einblick in die Faunenzusammensetzung vergangener Zeiten ebenso wie in deren Veränderung im Laufe der Zeit. Sogenannte Zeitserien bieten hier eine hervorragende Datengrundlage, um Artbildungs- und Arteinwanderungsprozesse oder die Entwicklung von Verbreitungsgebieten zu untersuchen.

Bisherige taxonomische Untersuchungen an Sammlungsobjekten beschränkten sich zumeist auf die äußere Morphologie. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das sogenannte Typusmaterial. Trotz verschiedenster Definitionsansätze, was eine Art eigentlich ist (CAMPBELL & REECE 2006), wird derzeit immer noch ein Typusexemplar benötigt, um einem Taxonnamen Gültigkeit zu verleihen (ICZN 1999). Das Typusexemplar einer Art verhält sich zu dieser wie der Urmeter zu einem haushaltsüblichen Maßband. Es ist das ultimative Vergleichsobjekt und die Grundlage der entsprechenden Artbeschreibung. Alle weiteren Tiere, die

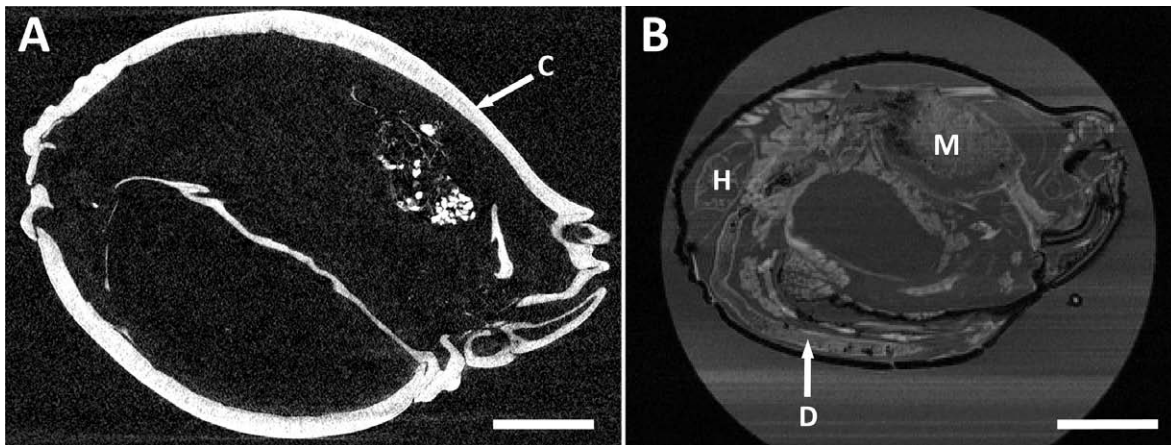


Abb. 1: Vergleich von μ CT- und MRT-Daten anhand zweier Kugelkrabben. Beide Präparate sind mit Formalin fixiert und unkontrastiert. (A) Schnitt durch eine weibliche Kugelkrabbe der Art *Philyra cancella*, μ CT-Daten. Insbesondere die stark kalzifizierte Cuticula ist im CT deutlich zu sehen. (B) Schnitt durch eine männliche Kugelkrabbe der Art *Ilia nucleus*, MRT-Daten. Ganze Organsysteme im Inneren der Krabbe sind deutlich zu erkennen und klar voneinander abgegrenzt. Teile des Magendarmtraktes und das Herz sind beispielhaft beschriftet. C: Cuticula; D: Darm; H: Herz; M: Magen. Maßstabsbalken 1 cm. © Stephanie Köhnk

möglicherweise zu dieser Art gehören oder eben auch eine neue darstellen können, werden im weiteren Verlauf mit dem Typusmaterial verglichen.

Um innere anatomische Strukturen in die Untersuchungen mit einzubeziehen, musste bisher auf zerstörerische Maßnahmen wie Präparation oder Histologie zurückgegriffen werden. Da dies bei seltenem und wertvollem Material nicht möglich ist, bedarf es anderer Methoden, um die durch Sammlungsmaterial gegebenen Daten in vollem Umfang ausschöpfen zu können.

Die Wirbellosen der Wahl – Echte Krabben

Echte Krabben, auch Kurzschwanzkrebse oder Brachyura genannt, stellen ein sehr interessantes Modellsystem für die Untersuchung verschiedener biologischer und evolutionärer Prozesse dar. Von den hydrothermalen Quellen der Tiefsee bis hin zu den Ufern von Hochgebirgsgewässern und den Baumkronen tropischer Wälder haben sie eine Vielfalt von Habitaten erobert (HESSLER & MARTIN 1989; SCHUBART, DIESEL & HEDGES 1998; MAGALHAES & TÜRKAY 2008). Dies ging einher mit verschiedenen anatomischen Anpassungen beispielsweise der Atmung oder des Reproduktionsapparates. Anhand dieser strukturellen Vielfalt der Krabben lassen sich ökologische Anpassungsprozesse untersuchen. Zusätzlich sind Krabbenarten wie die Chinesische Wollhandkrabbe *Eriocheir sinensis* als invasive Art in Europa und die Europäische Strandkrabbe *Carcinus maenas* in Nordamerika und Australien von großem Forschungsinteresse (z. B. PETERS 1938; GELLER, WALTON, GROSHOLZ u. a. 1997; DARLING, BAGLEY, ROMAN u. a. 2008; JAZDZEWSKY & GRABOWSKI 2011). Wie es invasiven Arten möglich ist, sich innerhalb kürzester Zeit in neuen Gebieten zu etablieren, ist auch im Rahmen sich verändernder Klimaver-

hältnisse von Bedeutung. Darüber hinaus liegt, nicht zuletzt aufgrund des kommerziellen Interesses, eine Vielzahl an Arten und Exemplaren in teilweise sehr alten zoologischen Sammlungen vor (HERBST 1790).

Inspiration aus der Humanmedizin – μ CT und MRT bei Krabben

Techniken zur Visualisierung der inneren Strukturen ohne Beschädigung des Äußeren werden in der Humanmedizin und medizinischen Forschung bereits seit Jahrzehnten angewendet.

Die auf Röntgenstrahlung beruhende Computertomographie bzw. Mikrocomputertomographie (μ CT) stellt dabei einen ersten Untersuchungsansatz dar. In verschiedenen Tests hat sich gezeigt, dass diese sich besonders zur Darstellung von Hartstrukturen eignet. Dazu zählt, ebenso wie der Knochen bei Wirbeltieren, das Exoskelett von Gliederfüßern, zu denen auch die Krabben gehören. Die besonders stark kalzifizierte Cuticula dieser Tiere ergibt ein ausgezeichnetes kontrastreiches Signal bei der Untersuchung mit dem μ CT (Abb. 1 A). Um weiches Organgewebe ausreichend detailliert und in entsprechendem Kontrast mit dem CT erfassen zu können, bedarf es einer zusätzlichen Kontrastierung durch chemische Zusätze wie Iodkaliumiodid oder spezieller Harze (z. B. ZIEGLER, OGURRECK, STEINKE u. a. 2010; GÖPEL & WIRKNER 2015; GIGNAC, KLEY, CLARKE u. a. 2016).

Im Gegensatz dazu liefert die Magnetresonanztomographie (MRT) hervorragende Bilder von Weichgeweben (Abb. 1 B), was auch für Krabben gilt. Als begrenzender Faktor ist hier die vorherige Fixierung anzusehen. Beim Vergleich von verschiedenen fixierten Objekten zeigte sich, dass sich nicht alle Fixiermittel gleichermaßen für eine aus-

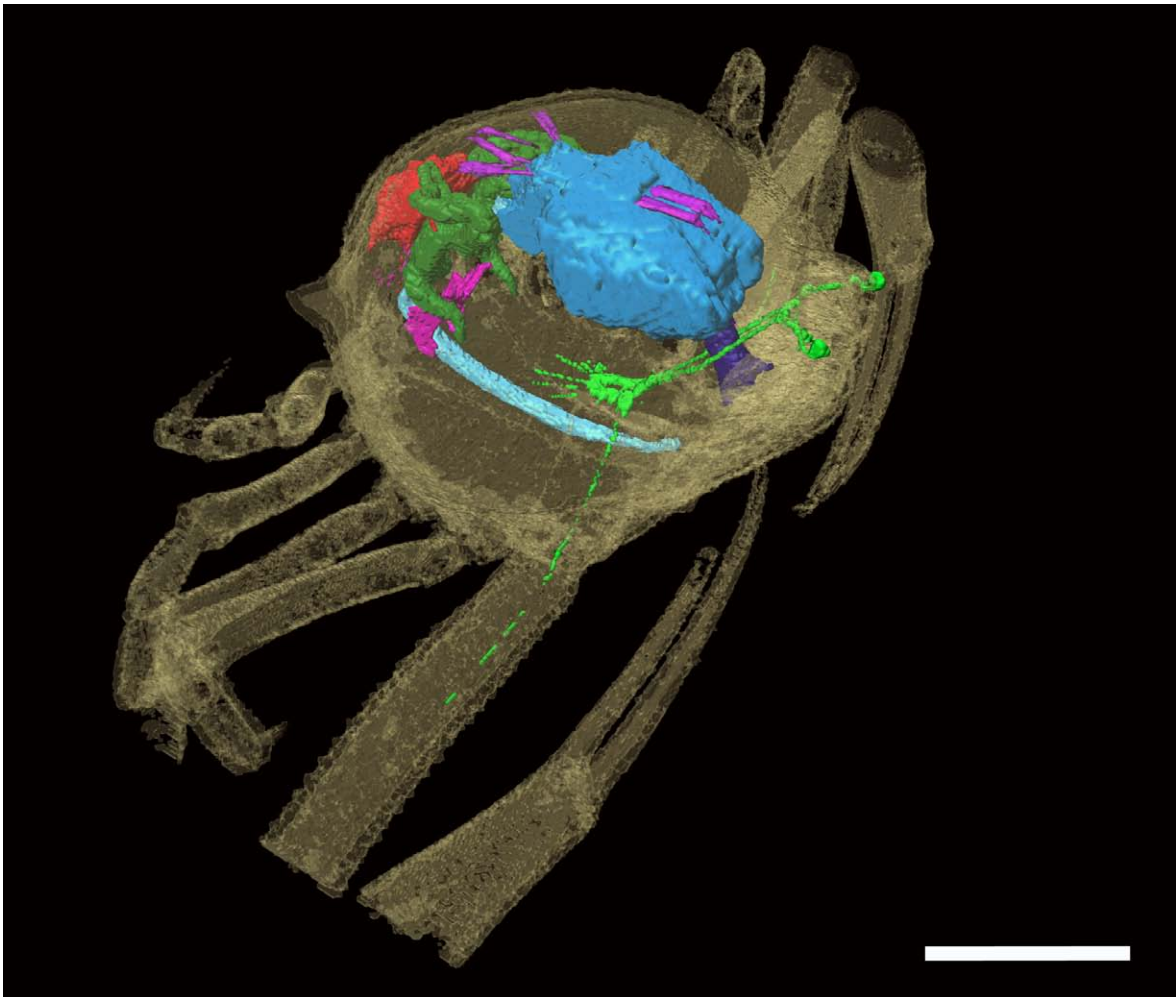


Abb. 2: 3D-Rekonstruktion verschiedener Organsysteme einer männlichen Kugelkrabbe (*Ilia nucleus*) *in situ*. Blau: Verdauungstrakt; dunkelgrün: Reproduktionssystem; gelb: Exoskelett; hellgrün: Nervensystem; rot: Herz; violett: Muskulatur. Maßstabsbalken 1 cm. Abgewandelt nach: KÖHNK u.a. 2017. © Stephanie Köhnk

reichende Organ- und Kontrasterhaltung eignen. Häufig wird Ethanol zur Fixierung verwendet, weil so das Material auch für eine spätere genetische Analyse erhalten bleibt. Eine vollständige Organerhaltung ist mit Ethanol allerdings nicht gegeben (KÖHNK, BAUDEWIG, BRANDIS u.a. 2017). Im Gegensatz dazu erreicht man mit der Fixierung mittels Sublimatsalzen eine hervorragende Erhaltung der Organstruktur, weshalb diese Methode auch für das Herstellen von Gewebeschnitten verwendet wird. Allerdings zeigen die so präparierten Objekte kaum bis überhaupt keinen Kontrast auf den MRT-Aufnahmen (KÖHNK, BAUDEWIG, BRANDIS u.a. 2017). Als besonders geeignet für die Analyse mit Hilfe von MRT erwiesen sich in Formalin fixierte Objekte. Selbst über 100 Jahre altes Material konnte, trotz leichtem Detail- und Kontrastverlust, in anatomische Untersuchungen mit eingebunden werden (KÖHNK, BAUDEWIG, BRANDIS u.a. 2017).

Die Kombination beider Verfahren ermöglicht einen detaillierten und hoch aufgelösten Einblick in historische Sammlungsobjekte, ohne diese dauerhaft zu verändern.

Wissenschaftliche Anwendungsbereiche

Zuallererst erlaubt die Anwendung von bildgebenden Verfahren vielfältige vergleichende anatomische Studien. Mit Hilfe der Magnetresonanztomographie ist es möglich, Organsysteme und deren Lagebeziehungen zueinander im unveränderten Objekt zu erfassen (Abb. 2). Hier offenbart sich ein weiterer Vorteil gegenüber invasiven Verfahren, da es beispielsweise bei der histologischen Präparation zur Deformation und Schrumpfung von Geweben kommen kann (GIBSON, GÓMEZ, MOUSSA u.a. 2012), ein Effekt, der beim MRT nicht auftritt. Die Kombination von MRT und μ CT versetzt uns in die Lage, die Interaktion von Weichgewebe und Hartstrukturen *in situ* nachzuvollziehen. In künftigen Studien könnte es dabei möglich sein, die morphologischen Veränderungen von Organsystemen über die Zeit und im Kontext von Umweltveränderungen zu charakterisieren.

Als ein konkretes Anwendungsbeispiel innerhalb der Anatomie sei hier das Reproduktionssystem weiblicher Krab-

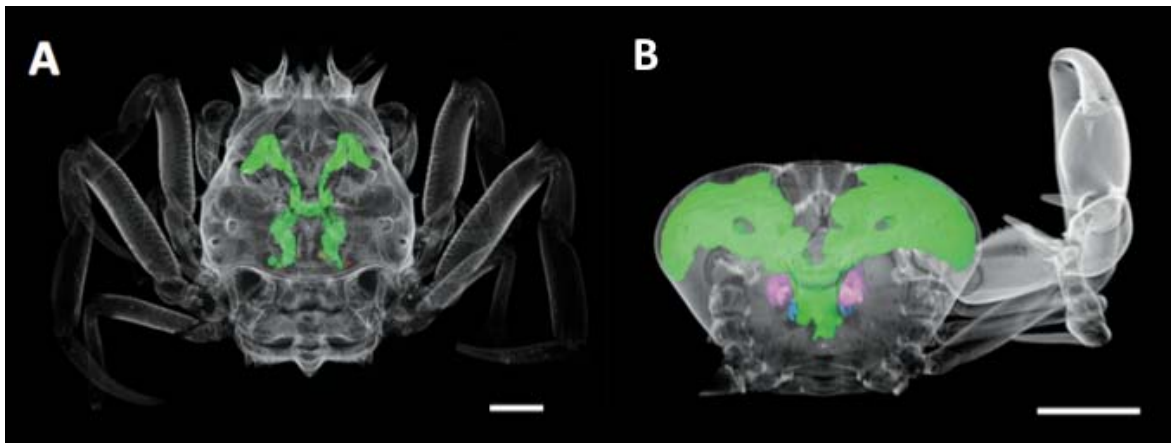


Abb. 3: Vergleichende Anatomie am Beispiel des Reproduktionssystems zweier weiblicher Krabben, 3D-Rekonstruktion aus MRT-Daten in Kombination mit μ CT-Daten (Exoskelett), Ansicht von oben. Besonders deutlich ist das typisch h-förmige Ovar (grün) zu erkennen, das sich in seinen Ausmaßen zwischen den beiden Arten erheblich unterscheidet. (A) *Dorippe sinica*, (B) *Austinograea williamsi*. Abgewandelt nach HAYER u.a. 2016a und KÖHNK u.a. 2017. Maßstabsbalken 5 mm. © Stephanie Köhnk

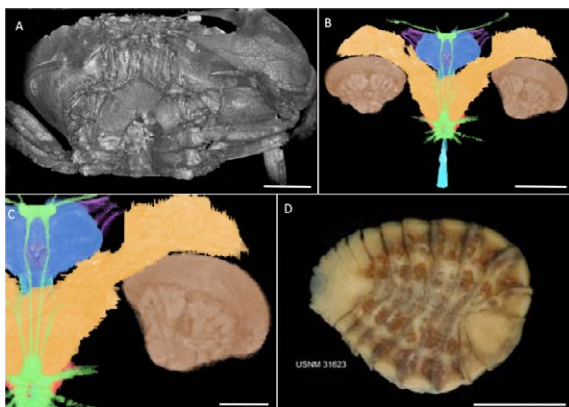


Abb. 4: Volumen-Rekonstruktion parasitischer Asseln der Familie Bopyridae in der Wirtskrabbe *Ozius guttatus*, aus MRT-Daten. (A) Vollständige Rekonstruktion der Oberfläche des Wirtstieres, Ansicht von unten. (B) Position der Parasiten (braun) in Relation zu den Organen des Wirtstieres, Ansicht von unten. (C) Vergrößerter Ausschnitt aus B, Fokus auf einen einzelnen Parasiten. (D) Referenzfoto einer bopyriden Assel (© Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, Department of Invertebrate Zoology, Creator Michelle Brown, CC-by-NC-SA 3.0). Blau: Verdauungstrakt; braun: Parasit; grau: Cuticula; grün: Nervensystem; orange: Hepatopankreas; rot: Herz; violett: Muskulatur. Maßstabsbalken 5 mm. Nach KÖHNK u.a. 2017. A-C © Stephanie Köhnk

ben genannt. Das hochkomplexe Organsystem ermöglicht den Tieren eine innere Befruchtung sowie das Speichern von männlichen Geschlechtsprodukten, teils über längere Zeiträume. Eine Vielzahl von Studien (z. B. HARTNOLL 1968; LEE & YAMAZAKI 1990; DIESEL 1991; BECKER, BRANDIS & STORCH 2011; EWERS-SAUCEDO, HAYER & BRANDIS 2015) beschäftigt sich mit der Variabilität der Anordnung einzelner Teile des Reproduktionssystems, deren Funktion und der zugrunde liegenden evolutionären Entwicklung (z. B. MCLAY & LOPÉZ GRECO 2011; HAYER, KÖHNK, BORETIUS u. a. 2016b). Die teils hochkomplexe dreidimensionale Anordnung der Einzelteile lässt sich mit Hilfe der bildgebenden Verfahren deutlich einfacher entschlüsseln und zudem anschaulicher darstellen (HAYER, KÖHNK, BORETIUS u. a. 2016a; HAYER, KÖHNK, BORETIUS u. a. 2016b).

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ergab sich während der Untersuchung von Sammlungsmaterial auf eher unerwartete Weise. Bei der Rekonstruktion eines Exemplars der Art *Ozius guttatus*, eine Krabbe aus dem indopazifischen Raum, fiel auf, dass sich im Bereich der Kiemen eine

Gewebemasse befindet. Nach abgeschlossener Rekonstruktion derselben war unzweifelhaft ein wirbelloses Tier zu erkennen (Abb. 4B und 4C). Ein Vergleich mit Archivbildern (Abb. 4D) ergab, dass es sich dabei um eine endoparasitische Assel aus der Familie der *Bopyridae* handelt (KÖHNK, BAUDEWIG, BRANDIS u. a. 2017). Parasitierungen von Brachyuren durch Bopyriden sind bekannt (AN 2009), aber schwer auszumachen, weil es keinerlei äußere Anzeichen für den Befall gibt und in der Regel nur das Aufbrechen der Krabbe Klarheit bringen kann. Zusätzlich stellt der dokumentierte Fall die wahrscheinlich erste Beschreibung einer solchen Parasitierung bei der Art *Ozius guttatus* dar. Dokumentiert wurde sogar ein Befall von beiden Kiemenkammern (Abb. 4B). Das Erkennen der Parasitierung, ohne das Sammlungsobjekt zu beschädigen, verspricht neue Möglichkeiten, um die Parasitenlast in Krabbenpopulationen im Verlauf der Zeit zu untersuchen. Das Einschleppen von Parasiten im Zuge der Einwanderung neuer Arten kann somit möglicherweise anhand von Sammlungsmaterial rekonstruiert werden, ebenso wie die Verwandtschaftsver-

hältnisse der Wirtsarten (BOYKO & WILLIAMS 2009). Ähnliche Untersuchungen mit Hilfe von kontrastiertem Material und μ CT-Analyse haben bereits vielversprechende Ergebnisse erbracht (NOEVER, KEILER & GLENNER 2016).

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Bildgebungsverfahren wie MRT und μ CT einen besonderen Nutzen für die Arbeit mit zoologischen Sammlungen haben. Sie ermöglichen eine ganze Reihe neuer Studien im evolutionsbiologischen und ökologischen Bereich. Auch sehr alte Sammlungsobjekte können dabei mit einbezogen werden, wobei ihr wissenschaftlicher Wert dadurch noch mehr verdeutlicht wird. Insgesamt zeigt dies, wie mittels neuer technischer Methoden auch bereits vorhandenes Material neu betrachtet werden kann und auf diese Weise Erkenntnisse erbracht werden, die über die Vorstellungen des ursprünglichen Sammlers hinausgehen können.

Danksagung

Ich möchte mich vielmals bei Susann Boretius, Jürgen Baudewig, Kristin Kötz, Thomas Kleinteich und Stanislav Gorb für die technische Unterstützung und das Zurverfügungstellen von MRT und CT bedanken. Weiterer Dank gilt Dirk Brandis, der mir dieses Projekt ermöglicht hat. Zusätzlich möchte ich mich bei Michael Türkay †, Christoph Schubart und Vasily Spiridonov für das bereitgestellte Material bedanken. Vielen Dank an Sarah Hayer für die wunderbare Zusammenarbeit.

Literatur

AN, J. 2009. A review of bopyrid isopods infesting crabs from China. *Integrative and Comparative Biology* 49: 95–105.

BECKER, C.; BRANDIS, D.; STORCH, V. 2011. Morphology of the female reproductive system of European pea crabs (Crustacea, Decapoda, Brachyura, Pinnotheridae). *Journal of Morphology* 272, 1: 12–26.

BOYKO, C. B.; WILLIAMS, J. D. 2009. Crustacean parasites as phylogenetic indicators in decapod evolution. In: MARTIN, J. W.; CRANDALL, K. A.; FELDER, D. L. (Hg.). *Decapod Crustacean Phylogenetics*. Boca Raton: CRC Press, 197–220.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. (Hg.) 2006. *Biologie*. München: Pearson Education Deutschland.

DARLING, J. A.; BAGLEY, M. J.; ROMAN, J. u. a. 2008. Genetic patterns across multiple introductions of the globally invasive crab genus *Carcinus*. *Molecular Ecology* 17: 4992–5007.

DIESEL, R. 1991. Sperm competition and the evolution of mating behaviour in Brachyura. In: BAUER, R. T.; MARTIN, J. W. (Hg.). *Crustacean Sexual Biology*. New York: Columbia University Press, 145–163.

EWERS-SAUCCEDO, C.; HAYER, S.; BRANDIS, D. 2015. Functional Morphology of the copulatory system of Box Crabs with long second gonopods (Calappidae, Eubrachyura, Decapoda, Crustacea). *Journal of Morphology* 276, 1: 77–89.

GELLER, J. B.; WALTON, E. D.; GROSHOLZ, E. D. u. a. 1997. Cryptic invasions of the crab *Carcinus* detected by molecular phylogeography. *Molecular Ecology* 6: 901–906.

GIBSON, E.; GÓMEZ, J. A.; MOUSSA, M. u. a. 2012. 3D reconstruction of prostate histology based on quantified tissue cutting and deformation parameters. In: MOLTHEN, R. C.; WEAVER, J. B. (Hg.). *Medical Imaging 2012: Biomedical Applications in Molecular, Structural, and Functional Imaging*. SPIE Proceedings 8317, doi: 10.1117/12.912363.

GIGNAC, P. M.; KLEY, N. J.; CLARKE, J. A. u. a. 2016. Diffusible iodine-based contrast-enhanced computer tomography (diceCT): an emerging tool for rapid, high-resolution, 3-D imaging of metazoan soft tissues. *Journal of Anatomy* 228, 6: 889–909.

GÖPEL, T.; WIRKNER, C. 2015. An „ancient“ complexity? Evolutionary morphology of the circulatory system on Xiphosura. *Zoology* 118, 4: 221–238.

HARTNOLL, R. 1968. Morphology of the genital ducts in female crabs. *Journal of the Linnean Society, Zoology* 47, 312: 279–300.

HAYER, S.; KÖHNK, S.; BORETIUS, S. u. a. 2016a. Ever more complex: a new type of organization of the reproductive organs in female *Dorippe sinica* Chen, 1980 (Decapoda: Brachyura: Dorippidae). *Zoology* 119, 455–463.

HAYER, S.; KÖHNK, S.; BORETIUS, S. u. a. 2016b. A new type of brachyuran seminal receptacle in the masked crab *Ethusa mascarone* (Brachyura, Ethusidae). *Journal of Morphology* 277, 11: 1497–1508.

HESSLER, R. R.; MARTIN, J. W. 1989. *Austinograea williamsi*, new genus, new species, a hydrothermal vent crab (Decapoda: Bythograeidae) from the Mariana Back-Arc Basin, Western Pacific. *Journal of Crustacean Biology* 9: 645–661.

HERBST, J. F. W. 1790. *Versuch einer Naturgeschichte der Krabben und Krebse: Nebst einer systematischen Beschreibung ihrer verschiedenen Arten*. Berlin: Gottlieb August Lange.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ZOOLOGICAL NOMENCLATURE (ICZN) 1999. *International Code of Zoological Nomenclature*. London: The International Trust for Zoological Nomenclature, UK.

JAZDZEWSKY, K.; GRABOWSKI, M. 2011. Alien Crustaceans Along the Southern and Western Baltic Sea. In: GALIL, B.; CLARK, P.; CARLTON, J. (Hg.). *In the Wrong Place – Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts*. Dordrecht: Springer Netherlands, 323–344.

KÖHNK, S.; BAUDEWIG, J.; BRANDIS, D. u. a. 2017. What's in this crab? MRI providing high-resolution three-dimensional insights into recent finds and historical collections of Brachyura. *Zoology*, 121: 1–9.

LEE, T.; YAMAZAKI, F. 1990. Structure and Function of a Special Tissue in the Female Genital Ducts of the Chinese Freshwater Crab *Eriocheir sinensis*. *Biological Bulletin* 178, 2: 94–100.

MAGALHAES, C.; TÜRKAY, M. 2008. Taxonomy of the Neotropical freshwater crab family Trichodactylidae. II. The genera *Dilocarcinus* and *Poppiana*. *Senckenbergiana Biologica* 88: 185–215.

MCLAY, C. L.; LOPÉZ GRECO, L. S. 2011. A hypothesis about the origin of sperm storage in the Eubrachyura, the effects of seminal receptacle structure on mating strategies and the evolution of crab diversity: How did a race to be first become a race to be last? *Zoologischer Anzeiger* 250, 4: 378–406.

NOEVER, C.; KEILER, J.; GLENNER, H. 2016. First 3D reconstruction of the rhizocephalan root system using microCT. *Journal of Sea Research* 113: 58–64.

PETERS, N. 1938. Ausbreitung und Verbreitung der chinesischen Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis* H. Milne-Edw.) in Europa in den Jahren 1933 bis 1935. Neue Untersuchungen über die chinesische Wollhandkrabbe in Europa. *Mitteilungen aus dem Hamburger Zoologischen Museum und Institut* 47: 1–31.

PONDER, W. F.; CARTER, G. A.; FLEMONS, P. u. a. 2001. Evaluation of museum collection data for use in biodiversity assessment. *Conservation Biology* 15, 3: 648–657.

SCHUBART, C. D.; DIESEL, R.; HEDGES, S. B. 1998. Rapid evolution to terrestrial life in Jamaican crabs. *Nature* 393: 363–365.

SUAREZ, A. W.; TSUTSUI, N. D. 2004. The Value of Museum Collections for Research and Society. *BioScience* 54, 1: 66–74.

ZIEGLER, A.; OGURRECK, M.; STEINKE, T. u. a. 2010. Opportunities and challenges for digital morphology. *Biology Direct* 45, 5: 1–9.

Zur Autorin

Stephanie Köhnk studierte Biologie und Physik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und promovierte 2014 bis Juni 2017 zum Thema „Functional Morphology and Biomechanical Properties of the Pleon-Holding Mechanism in Brachyuran Crabs“.

Kontakt

Dr. rer. nat. Stephanie Köhnk

Zoologisches Museum der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel

Hegewischstr. 3, 24015 Kiel
skoehnk[at]zoolmuseum.uni-kiel.de