



**Jahresbericht 2023**  
Aufgaben und Ergebnisse

Deutsche Forschungsgemeinschaft

**Jahresbericht 2023**

Aufgaben und Ergebnisse

Das Internetangebot der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) umfasst verschiedene digitale Plattformen und Portale.

[www.dfg.de](http://www.dfg.de) ist die zentrale Website der DFG mit aktuellen Nachrichten und Publikationen sowie umfassenden Informationen rund um die Förderung, zu Entscheidungsprozessen, Gremien und Grundlagen des Förderhandels. Sie bietet auch Zugang zu allen weiteren digitalen Angeboten der DFG.

GEPRIS ([gepris.dfg.de](http://gepris.dfg.de)) informiert über laufende und abgeschlossene DFG-geförderte Forschungsvorhaben. Das Informationssystem gibt Auskunft über den Inhalt und das Forschungsziel eines Projekts sowie über die an einem Projekt beteiligten Personen und Forschungsstätten.

Mit GERiT ([gerit.org](http://gerit.org)) stellt die DFG in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) und der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) ein Informationsportal zu mehr als 32 000 deutschen Forschungsstätten bereit. GERiT richtet sich an Studierende und Forscher\*innen aus dem In- und Ausland.

Das Portal Wissenschaftliche Integrität ([wissenschaftliche-integritaet.de](http://wissenschaftliche-integritaet.de)) umfasst den Kodex „Leitlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ und fachspezifische Kommentierungen. Der Kodex soll eine Kultur der wissenschaftlichen Integrität in der deutschen Wissenschaftslandschaft verankern. Neben den Kommentierungen finden sich auch Fallbeispiele, FAQ sowie weitere aktuelle Informationen zum Thema.

Das Informationsportal RIsources ([risources.dfg.de](http://risources.dfg.de)) gibt einen Überblick über wissenschaftliche Forschungsinfrastrukturen in Deutschland, die Forscher\*innen für die Planung und Durchführung ihrer Vorhaben nutzen können.

Mit GEPRIS Historisch ([gepris-historisch.dfg.de](http://gepris-historisch.dfg.de)) stellt die DFG Informationen zu etwa 50 000 DFG-Anträgen aus dem Zeitraum zwischen 1920 und 1945, zu ihren Antragsteller\*innen und den Forschungsstätten, an denen diese tätig waren, bereit.

#### Deutsche Forschungsgemeinschaft e. V.

Kennedyallee 40 · 53175 Bonn

Postanschrift: 53170 Bonn

Telefon: +49 228 885-1

Telefax: +49 228 885-2777

[postmaster@dfg.de](mailto:postmaster@dfg.de)

[www.dfg.de](http://www.dfg.de)

#### DFG-Organigramm

Das Organigramm der DFG-Geschäftsstelle ist zu finden unter:

[www.dfg.de/organigramm](http://www.dfg.de/organigramm)



Konzept & Redaktion: Thomas Köster, DFG

Projektkoordination & Lektorat: Rebecca Schaarschmidt, DFG

Lektorat: Anne Tucholski, DFG; Susanne Pütz

Autor\*innen: Janine van Ackeren (S. 21–43); Katja Lüers (S. 44–67); Ulrike Schneeweiß (S. 68–91); Svenja Ronge, DFG (S. 92–109, S. 159–167); Thomas Köster, DFG (S. 111–121); Johannes Fournier, DFG (S. 122–131); Christian Hohlfeld (S. 133–143); Jörg Schneider, DFG (S. 145–157)

Grundlayout, Typografie und Umschlaggestaltung: Tim Wübben, DFG

Satzrealisierung, Montagen und Grafiken: Olaf Herling

Druck: mediaprint solutions GmbH, Paderborn



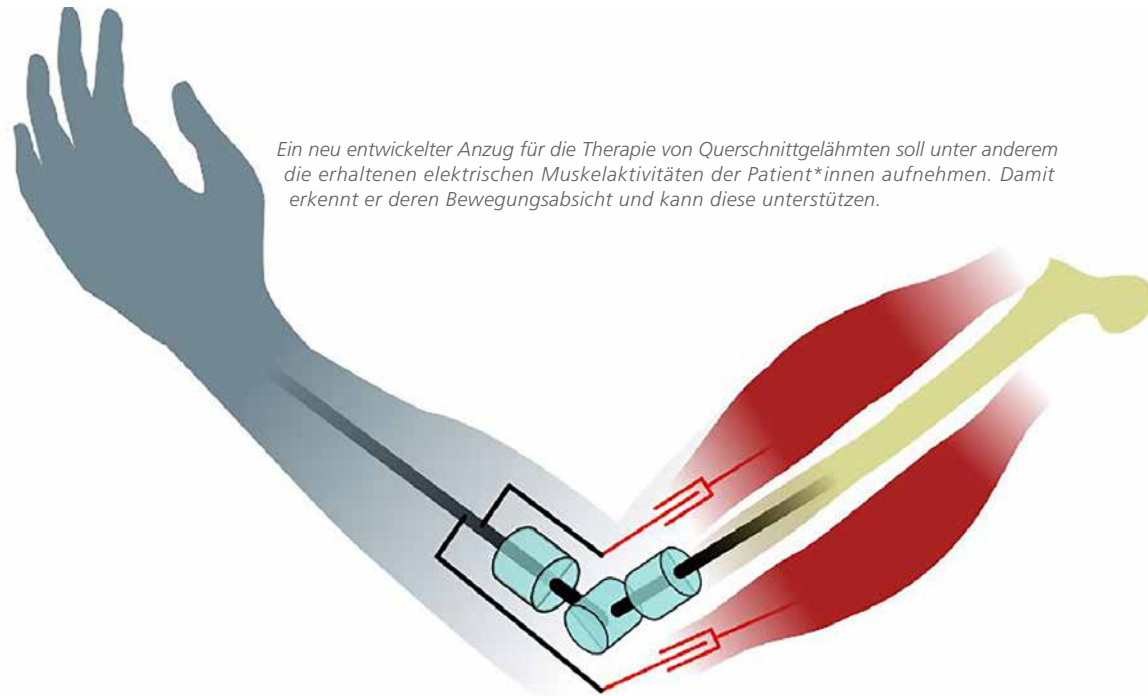
Der Jahresbericht der DFG wurde auf FSC®-zertifiziertem Papier gedruckt.

Deutsche Forschungsgemeinschaft

## Jahresbericht 2023

Aufgaben und Ergebnisse





Ein neu entwickelter Anzug für die Therapie von Querschnittgelähmten soll unter anderem die erhaltenen elektrischen Muskelaktivitäten der Patient\*innen aufnehmen. Damit erkennt er deren Bewegungsabsicht und kann diese unterstützen.

Exosuit entsprechend zu koordinieren. Dabei sind Kompetenzen im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) und der Signalverarbeitung gefragt. „Integrierte Sensoren sollen die Muskelaktivität messen“, erklärt Castellini. „Selbstlernende Algorithmen errechnen aus diesen Werten die Bewegungsintention der Betroffenen und richten die Assistenzsysteme gezielt darauf aus.“

Damit die KI funktioniert, muss zunächst ein vollständiges virtuelles Modell der anatomischen Muskel- und Skelettstruktur aufgebaut werden. Die Voruntersuchungen führt das Team mit nicht gelähmten Personen durch – und sammelt dabei möglichst viele Daten über die Bewegungsmuster. Die mit diesen Daten trainierte KI kann dann dem FES-System sagen, wel-

che motorischen Nerven wie intensiv elektrisch stimuliert werden sollen. Gleichzeitig erhält aber auch das Exoskelett Informationen darüber, welche Seilzüge wie stark zu spannen sind.

An der Entwicklung des weichen, einfach anzuziehenden Exosuits arbeitet der dritte Antragsteller, Lorenzo Masia, und sein Team an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Wie kann man gezielt schwache Muskeln unterstützen? Welche Inspirationen bietet die Biologie? Diese Fragen wollen die Forscher\*innen beantworten, um daraus die Steuerung für den Exosuit zu entwickeln. Hierzu arbeiten sie in ihrem Labor mit modernen Instrumenten für die Bewegungserfassung und die Stoffwechselanalyse. „Unser Ziel ist es, einen funktionellen An-

zug zu entwickeln, der sich vor allem durch seine Nutzerfreundlichkeit auszeichnet und angenehm tragbar ist“, erläutert der Maschinenbauingenieur und Professor für Medizintechnik.

Eine technische Herausforderung: Trotz der elektrischen Stimulationsimpulse gilt es, schwache, noch erhaltene elektrische Muskelaktivitäten störungsarm zu erfassen, um die Neuroorthese in Bewegung zu setzen. „Bei zu intensiver elektrischer Stimulation tritt eine vorzeitige Ermüdung von Muskeln auf“, erklärt Masia. „Es ist eine unserer Hauptaufgaben, die Stimulation über die Therapie präzise anzupassen und die Unterstützung durch den Exosuit darauf abzustimmen.“

Um herauszufinden, ob und wie der Anzug in der Praxis funktioniert, führen Rüdiger Rupp und sein Team am Universitätsklinikum Heidelberg klinische Tests durch. Ziel ist es zu überprüfen, ob und wie es mit der neuen Technologie gelingen kann, mit Patient\*innen nach einer Rückenmarksverletzung oder einem Schlaganfall aufgabenspezifische Bewegungstherapien durchzuführen. „Wir wissen bis zu einem gewissen Grad, dass die Komponenten des Anzugs einzeln funktionieren. Wir wissen aber nicht, ob deren Kombination funktioniert und die vorgeschlagene technische Lösung in der Therapie angenommen wird“, sagt

Rüdiger Rupp. „Sollte das der Fall sein, können wir eine neue Qualität einer individuell auf Patient\*innen zugeschnittenen motorischen Rehabilitation erreichen.“

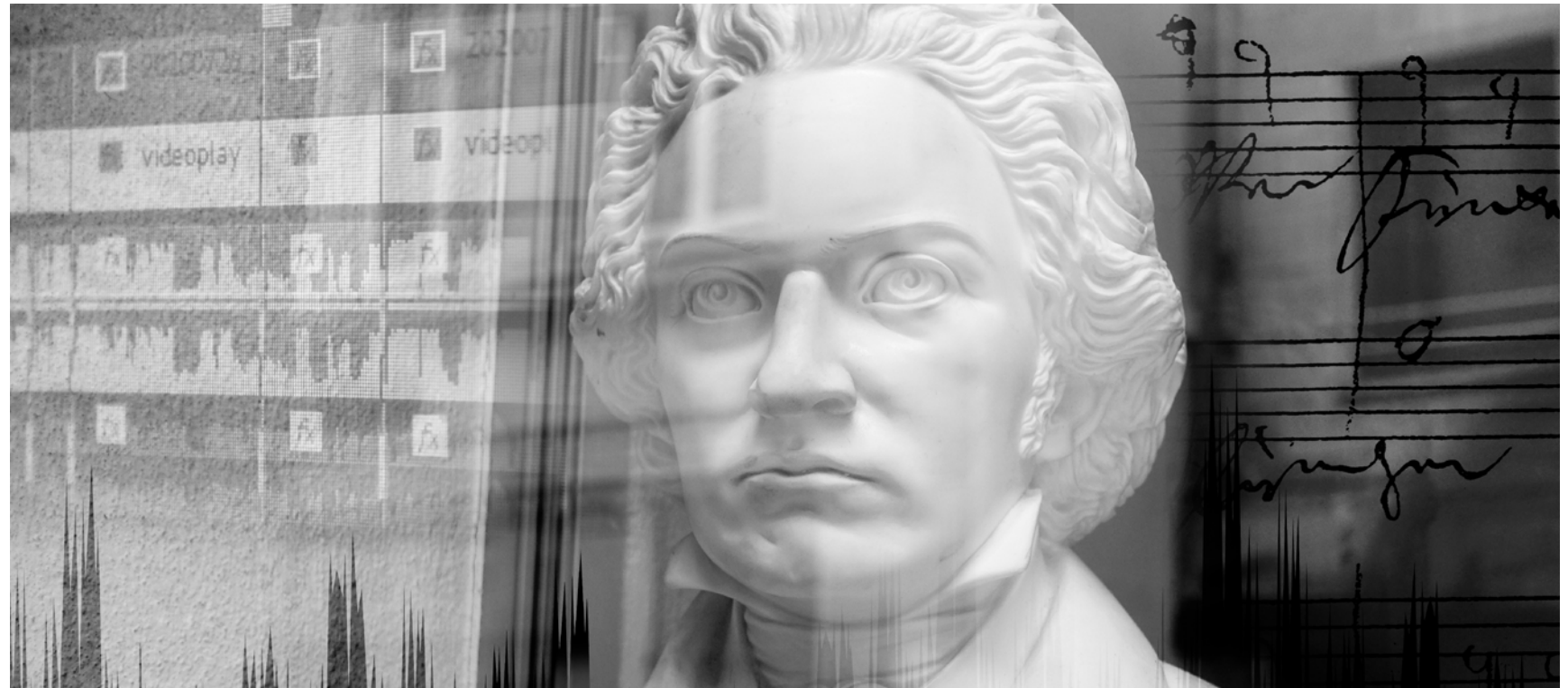
Die Forscher\*innen erhoffen sich durch die kombinierte Therapie, dass sich die motorischen Funktionen besser und schneller erholen können. Hinzu kommt ein angenehmer Nebeneffekt: Indem die Patient\*innen aktiv in die Ausführung sinnvoller Bewegungsaufgaben einbezogen werden, wirkt die Methode zusätzlich motivierend. „Unsere große Hoffnung als Ingenieure ist es, dass unsere Techniken, die im Labor funktionieren, irgendwann auch Betroffenen im Alltag zu mehr Selbstständigkeit und Lebensqualität verhelfen können“, sagt Claudio Castellini.

### Lernen mit und über Musikdaten

Auf einen ganz anderen Bereich, der Menschen und ihre Kulturen, aber auch wissenschaftliche Disziplinen miteinander verbindet, blickt Meinard Müller. In seinem 2023 angelaufenen Reinhart Koselleck-Projekt „Lernen mit Musiksignalen: Technologie trifft Ausbildung“ vereinen ihn und seine Kolleg\*innen gleich zwei Interessen: zum einen ihre Leidenschaft für Technik und zum anderen für die Musik. So entsteht das gemeinsame Ziel, Muster hinter Musikstücken aufzuspüren

und sie mithilfe von Computern zu analysieren. „Unser Forschungsgebiet könnte man allgemein als Musikverarbeitung bezeichnen“, sagt der Professor für Semantische Audiosignalverarbeitung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Musikdaten sind heute aus dem Alltag vieler Smartphone-Besitzer\*innen nicht mehr wegzudenken – zum Beispiel, wenn eine KI automatisch Musik erkennt oder Songs abspielt, die einem bestimmten Stück ähneln. „Die Art, wie Musik präsentiert, genutzt, verbreitet und gespeichert wird, hat sich in den vergangenen Jahren rasant weiterentwickelt“, erklärt Müller. „Entsprechend groß ist das Interesse an Technologien und Werkzeugen, mit denen wir musikbezogene Daten verwalten.“ So ist ein eigenes Forschungsgebiet entstanden, das sogenannte Music Information Retrieval (MIR). Darunter versteht man, Informationen aus Musikstücken zu ziehen, diese zusammenzufassen und die Daten technisch weiterzuverarbeiten. Hier kommen ganz unterschiedliche Disziplinen zusammen, etwa die Ingenieurwissenschaften, die Informatik, die Musikwissenschaften oder auch die Digital Humanities. Informatiker Müller etwa sitzt häufig am Klavier. Diese Vielfalt zieht sich durch die gesamte Arbeitsgruppe – alle Mitglieder haben einen ausgeprägten Musikhintergrund.



Vielfältig ist auch das Reinhart Koselleck-Projekt, in dem sich die Forscher\*innen dem Konzept des Lernens aus unterschiedlichen Blickwinkeln nähern. „Zunächst wollen wir Musikdaten analysieren und dadurch die Daten besser verstehen, also von den Daten und über die Daten lernen“, sagt Müller. Er und sein Team nutzen dazu KI-Technologien, die komplexe Merkmale und verborgene Beziehungen direkt aus Musiksignalen extrahieren sollen. Wie bei der Analyse von Bilddaten auch geht es hier um Musterer-

*Im 2023 angelaufenen Reinhart Koselleck-Projekt „Lernen mit Musiksignalen: Technologie trifft Ausbildung“ verfolgen Wissenschaftler\*innen das Ziel, Muster hinter Musikstücken aufzuspüren und sie mit Computern zu analysieren. Das Forschungsgebiet kann allgemein als Musikverarbeitung bezeichnet werden.*

kennung – um Tonhöhen, Akkorde und Rhythmen, aber auch um die Gesangstexte. „Deep Learning hat zu gewaltigen Verbesserungen der Musikdatenanalyse geführt“, so Müller. „Heute sind wir in der Lage, die Quellen mehrspuriger Musikaufnahmen, etwa Gesang, Begleitung, Schlagzeug oder Bass, im Detail zu entschlüsseln.“

Allerdings sind die Verfahren in der Industrie meist auf die Popmusik zugeschnitten. In ihrer Grundlagenforschung betrachten die Wissenschaft-

ler\*innen nun die Algorithmen in Zusammenhang mit den verschiedensten Arten von Musik, zum Beispiel der Klassik oder seltenen indigenen Gesängen. „Wir wenden sozusagen Mainstream-Algorithmen auf Datensätze an, die jenseits des Standards sind. Häufig stellen wir dann fest, dass die Algorithmen plötzlich versagen.“ Warum passen zum Beispiel die Harmonien nicht mehr? Auf Grundlage welcher akustischen und musikalischen Signaleigenschaften ist der Computer zu seinem Ergeb-

Wie gelingt es, in einem 16-stündigen Opernzyklus harmonische Strukturen und andere wiederkehrende Leitmotive zu erfassen? In interdisziplinären Kooperationen will das Team kulturell relevante Musikkorpora analysieren.



nis gekommen? Das herauszufinden, ist schwierig, denn beim Deep Learning handelt es sich meist um rein datengetriebene Verfahren. Die Lösung des Problems verspricht sich Müller von der Verschmelzung verschiedener Methoden.

Dabei nutzen die Wissenschaftler\*innen um Müller zum einen traditionelle Verfahren der Ingenieurwissenschaften, darunter die Signalverarbeitung. Hier geht es darum, die zeitlich-spektralen Eigenschaften der Daten zu er-

fassen und dann zu analysieren. Die Methodik basiert auf klaren Regeln, aus denen Algorithmen hervorgehen. Das Forschungsteam kombiniert sie mit neueren Methoden der Künstlichen Intelligenz, die mit vielen Beispieldaten funktionieren. So entstehen neuartige Hybridmodelle – und ein besseres Gefühl dafür, was der Algorithmus eigentlich lernt. Müller erhofft sich dadurch Rückkopplungen, die neue Impulse für das Maschinelle Lernen und die KI an sich geben können: „Da Musik so komplex und

vielschichtig ist, eignet sie sich gut, um darin interessante Phänomene zu erkennen und letztendlich mehr über die Modelle selbst zu lernen.“

Tatsächlich kapitulieren die Methoden der Künstlichen Intelligenz oft vor der Komplexität der Musik. So ergibt sich das dritte Lernmoment des Projekts: Lernen von Domänenexpert\*innen. In interdisziplinären Kooperationen mit Musikwissenschaftler\*innen will das Team kulturell relevante Musikkorpora analysieren. Paradebeispiele dafür sind die Werke von Richard Wagner, dessen Opern oft mehrere Stunden dauern. Wie gelingt es beispielsweise, sich im 16-stündigen Opernzyklus „Der Ring des Nibelungen“ einen Überblick über harmonische Strukturen und andere wiederkehrende Leitmotive zu verschaffen? „Es gilt, die Daten automatisch zu verarbeiten und zu visualisieren“, erklärt Müller. Auf dieser Basis versuchen die Musikwissenschaftler\*innen, neue Strukturen zu erkennen und diese zu hinterfragen, woraus sich dann eine Art interdisziplinäres Ping-Pong-Spiel ergibt.“

Gemeinsam nähern sich somit die Fachleute der Fragestellung, einer ersten Hypothese und passenden Algorithmen an. Die gegenseitigen Rückmeldungen führen zu Fortschritten in beiden Disziplinen: „Die Musikwissenschaftler\*innen können uns sagen, ob die entdeckten Bezü-

ge nur Artefakte der automatisierten Verarbeitung oder tatsächlich relevant sind“, betont Müller. „Und die Algorithmen decken wiederum neue Zusammenhänge auf, nicht nur innerhalb der Stücke, sondern auch im Vergleich mit Werken anderer Komponisten und sogar verschiedener Epochen.“ So soll das Projekt auch einen Beitrag zu den Digital Humanities leisten.

In der vierten Säule geht es schließlich um das Lernen im Sinne der Wissensvermittlung – zwischen verschiedenen Disziplinen, aber auch zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. „Ich bin überzeugter Grundlagenforscher im humboldtschen Sinne“, sagt Meinard Müller. „Unsere Lehre geht bis in die Schulen. Man merkt immer wieder, wie die Musik Überraschungsmomente generiert und Menschen öffnen kann.“ Schüler\*innen fänden zum Beispiel plötzlich technische und naturwissenschaftliche Fächer spannend, obwohl sie sich zuvor nicht dafür interessierten. Der Grund: „Viele Menschen haben eine emotionale Beziehung zu Musik“, sagt Müller, und hinter jedem Ton verbergen sich physikalische Parameter – Frequenzen, Amplituden, Klangfarbe. „Das geht nahtlos weiter: Wenn es um algorithmische Verarbeitung geht, ist man auf einmal in der Mathematik.“

Müllers Ziel: „In meinen Vorlesungen möchte ich Deep Learning so un-

terrichten, dass es besser verstanden wird und auch die Grenzen und das Potenzial aufzeigen.“ Und wie ginge das besser als über Musik?

### Von der Vielfalt der Natur lernen

Lernen möchten auch Rajaprakash Ramachandramoorthy vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf und Jakob Schwiedrzik von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in der Schweiz, die ihren Blick auf die Tierwelt richten – denn seit jeher ist es die unglaubliche Vielfalt der Natur, die Wissenschaftler\*innen fasziniert und sie antreibt, ihren Phänomenen auf die Spur zu kommen. Das Projektteam begeistert die Widerstandsfähigkeit des männlichen Moschusochsen, genauer gesagt seines Kopfes. Denn die besondere Beschaffenheit seines Schädels verleiht dem in der Fachsprache *Ovibus moschatus* genannten Tier die Fähigkeit, viele extreme Kopfstöße unbeschadet zu überstehen.

„Die Natur mit ihrer Millionen Jahre währenden Evolution hat mit den wenigen und einfachen Ressourcen, die ihr zur Verfügung stehen, geniale Lösungen für extreme Probleme entwickelt“, sagt Ramachandramoorthy. „Das bietet uns vielfältige Gelegenheiten, diese Lösungen zu erlernen, zu erforschen und auf moderne Materialherausforderungen zu übertragen.“

Mit dem 2023 gestarteten Sachbeihilfe-Projekt „Biomimetische Multiskalen-Untersuchung der Strategien zur Stoßdämpfung im Schädelknochen von *ovibus moschatus*“ verfolgen der Materialwissenschaftler und seine Kolleg\*innen ein großes Ziel: die strukturellen, chemischen und mechanischen „Bausteine“ aufzudecken, die zu den überlebensnotwendigen Schutzmechanismen des Moschusochsen führen.

Männliche Moschusochsen können bis zu 400 Kilogramm wiegen, und während der Paarungszeit prallen die Giganten mit Geschwindigkeiten von rund 50 Stundenkilometern kopfüber aufeinander. „Es ist bekannt, dass die Tiere in ihrer typischen Lebensspanne von etwa 15 Jahren mehr als 2000 dieser Zusammenstöße ohne nennenswerte Hirnverletzungen überleben“, sagt Projektleiter Ramachandramoorthy. Hinzu kommt, dass sie ihre spektakulären Rankämpfe in arktischer Kälte absolvieren, denn sie leben in Grönland, Kanada und Alaska. „Aus Sicht der Technik und der Werkstoffe ist das ein faszinierendes Beispiel für die Abfederung extremer Stöße und die Energieabsorption, also die Aufnahme von Energie, unter extrem niedrigen Temperaturen.“

In der Natur gibt es noch andere Tiere, die ähnliche Fähigkeiten entwickelt haben, um wiederholten Erschüt-

Wenn männliche Mochusochsen kopfüber aufeinanderprallen, überstehen sie diese extremen Kopfstöße unbeschadet. Welche Mechanismen stecken dahinter? Das soll das 2023 gestartete Sachbeihilfe-Projekt „Biomimetische Multiskalen-Untersuchung der Strategien zur Stoßdämpfung im Schädelknochen von *ovibus moschatus*“ aufdecken. Ziel ist die Entwicklung neuartiger Metamaterialien.



terungen zu widerstehen, darunter Spechte, Fangschreckenkrebe oder Dickhornschafe. Sie waren in den vergangenen Jahrzehnten bereits Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Im Gegensatz dazu ist der äußerst komplexe Schädel des Moschusochsen jedoch noch weitgehend unerforscht, abgesehen von einigen grundlegenden Röntgen-Computertomographie-Studien der inneren Struktur.

So ist aus früheren Untersuchungen bekannt, dass der Moschusochsenkopf sowohl eine harte Keratinschicht als auch Regionen aus dichtem „kortikalen“ Knochen und hochporösem „trabekulären“ Knochen aufweist. „Diese Regionen müssen wir einzeln untersuchen, um ihre Rolle beim Schutz des Gehirns vor Schäden beim Aufprall vollständig zu verstehen“, erklärt Ramachandramoorthy. „Dabei ist es