

DAS WUNDER

DER BEWEGUNG

DAS WUNDER DER BEWEGUNG

GEHEN WIE EIN MENSCH

KATJA MOMBAUR

Wie es Menschen gelingt, zu gehen, zu laufen oder zu rennen, ist in den Details noch immer weitgehend unbekannt. Wissenschaftler der Universität Heidelberg analysieren die menschlichen Bewegungsmuster und übersetzen sie in die Sprache der Mathematik. Das erlaubt es ihnen, die Bewegungen im Computer zu simulieren und für diverse Anwendungen zu optimieren, beispielsweise, um Prothesen zu verbessern. Auch humanoide Roboter, die problemlos auf zwei Beinen laufen können, zählen zu den Visionen der Forscher.

W

Warum wir aus den unendlich vielen Möglichkeiten, einen Fuß vor den anderen zu setzen, ein bestimmtes Bewegungsmuster auswählen, ist noch lange nicht verstanden. Die Gesetzmäßigkeit zu kennen, die dem Laufen zugrunde liegt, mag auf den ersten Blick unerheblich erscheinen – die meisten Menschen erlernen das Laufen während ihrer Kindheit völlig problemlos und wenden das Bewegungsmuster lebenslang intuitiv an. Bei näherer Betrachtung aber wird rasch klar, dass Laufbewegungen eine besonders wichtige Klasse menschlicher Bewegungen darstellen. Sie sind im Alltag essenziell und dienen als Basis für viele unserer Tätigkeiten.

Spätestens dann, wenn das natürliche Laufen nicht mehr funktioniert, etwa infolge von Krankheit oder nach einem Unfall, wird deutlich, wie wichtig ein fundamentales Verständnis des Laufens ist. Auch wenn es gilt, krankhafte Gangmuster zu behandeln, Operationen zu planen, Prothesen und Orthesen anzupassen oder Muskeln künstlich zu stimulieren, ist es wichtig, Laufbewegungen grundlegend zu verstehen. Ebenso bedeutend ist ihr Verständnis, will man Leistungssteigerungen im Sport erreichen oder Roboter wie Menschen gehen lassen. Schließlich sind auch die Produzenten von Computerspielen und Zeichentrickfilmen an möglichst natürlichen Laufbewegungen für ihre virtuellen Charaktere interessiert.

Was macht das Laufen so kompliziert? Laufen ist ein vielschichtiger hierarchischer Prozess, der zahlreiche mechanische und kognitive Komponenten umfasst. Wir nehmen unsere Umgebung mit den Sinnen wahr und entscheiden dann, auf welchem Weg wir ein Ziel ansteuern wollen. Diese Entscheidung „auf höchster Ebene“ wird sodann intuitiv umgesetzt in koordinierte Bewegungen der einzelnen Gelenke. Aus mechanischer Sicht ist der Mensch ein redundantes System mit weniger Antrieben als Freiheitsgraden. Besonders kompliziert und bislang noch wenig verstanden ist die Stabilitätskontrolle des menschlichen Laufens. Denn das System ist statisch nie stabil, sondern befindet sich aufgrund der wechselnden Kontakte und der produzierten Sequenzen aus Fallen und Schwingen in einem kontrollierten dynamischen Gleichgewicht.

Ein Blick zurück

Bereits im späten 19. Jahrhundert begannen Wissenschaftler damit, alltägliche Bewegungssequenzen von Menschen und Tieren – etwa die verschiedenen Gangarten – zu beobachten und zu experimentellen Zwecken aufzuzeichnen. Berühmte Beispiele sind die „Chronophotographien“ des britischen Fotografen Eadweard Muybridge und des französischen Physiologen Étienne-Jules Marey. Heute werden in klinischen und universitären Ganglaboren deutlich präzisere Messtechniken eingesetzt, beispielsweise Infrarotkameras, die Positionen von reflektierenden Markern an vielen Stellen des Körpers aufnehmen können. Hinzu kommen Messungen der Beschleunigung und der Drehraten am Körper, Kraftmessplatten, Drucksensoren oder die Aufzeichnung der elektrischen Aktivität der Muskeln (Elektromyographie).

Doch auch die modernen Verfahren können kein vollständiges Bild des menschlichen Ganges liefern. An dieser Stelle kommen die Methoden des wissenschaftlichen Rechnens – der Modellierung, Simulation und Optimierung – ins Spiel, wie wir sie im „Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen“ der Universität Heidelberg entwickeln und anwenden. Dazu abstrahieren wir menschliche Bewegungssysteme in mathematischen

Modellen, implementieren diese im Computer und gleichen sie mit der Realität ab. In der Computersimulation lässt sich testen, wie sich Systeme bei bestimmten Eingaben verhalten; die Optimierung schließlich liefert die bestmöglichen Bewegungen. Auf diese Art und Weise gewinnen wir Einblicke in die Eigenschaften des Systems und der Bewegungen, die allein mit Experimenten nicht zu erreichen wären.

Dritte Säule der Wissenschaft: das Wissenschaftliche Rechnen

Das Interdisziplinäre Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) wurde im Jahr 1987 als das bundesweit erste universitäre Forschungszentrum seiner Art gegründet. Die Forscher am IWR befassen sich mit Fragestellungen aus Natur-, Technik- und Geisteswissenschaften und bearbeiten sie mit dem Methodenrepertoire des Wissenschaftlichen Rechnens: der mathematischen Modellierung, Simulation und Optimierung, der Bild- und Datenverarbeitung sowie der Visualisierung. Als Querschnittsdisziplin trägt das Wissenschaftliche Rechnen entscheidend zur Lösung anspruchsvoller Probleme aus Wissenschaft und Technik bei und gilt damit als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Seine Methoden kommen bei so unterschiedlichen Fragestellungen zum Einsatz wie dem Entwurf effizienter Brennstoffzellen, der Simulation der Vorgänge beim Hirninfarkt, der Prognose des Pestizidabbaus im Boden oder auch der Optimierung von Bewegungsabläufen.

Das IWR umfasst heute mehr als fünfzig Forscherteams aus den unterschiedlichsten Fakultäten sowie neun von jungen Wissenschaftlern geführte Nachwuchsgruppen. Rund fünfhundert Forscherinnen und Forscher arbeiten im Rahmen des Zentrums in interdisziplinären Kooperationen zusammen. Neben Mathematik, Physik, Chemie und Informatik sowie den Lebenswissenschaften sind hier zunehmend auch die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, die Psychologie, die Kognitionswissenschaften sowie die Geistes- und Kulturwissenschaften vertreten. Die Infrastruktur des IWR, auf die die Forscher zurückgreifen können, umfasst unter anderem Hochleistungsrechner, 3D-Graphiklabore sowie spezielle Laser-Scanner. Auf Initiative des IWR entstand 2007 die „Heidelberger Graduiertenschule der mathematischen und computer-gestützten Methoden in den Wissenschaften“ (HGS MathComp), die in der Exzellenzinitiative gefördert wird. Hier forschen derzeit gut 150 Doktoranden aus allen am Zentrum vertretenen Fächern.

www.iwr.uni-heidelberg.de

Menschliche Bewegung als mathematisches Modell

Bewegungen von Menschen und Tieren lassen sich als mathematische Modelle im Computer darstellen. Der menschliche Organismus wird dabei als System von starren Körpern beschrieben, die an Gelenken beweglich miteinander verbunden sind. Es ist dazu nicht notwendig, jeden einzelnen Knochen des menschlichen Skeletts separat abzubilden – vielmehr gilt es, diejenigen Segmente zu identifizieren, die für einen bestimmten Bewegungstyp relevant sind. Um die charakteristischen Modellparameter, wie zum Beispiel die Geometrien und Massen der Segmente, zu beschreiben, können wir Daten aus anthropometrischen Standardtabellen oder individualisierte Werte für einen Patienten oder eine Patientengruppe verwenden. Der Antrieb der Bewegung lässt sich mithilfe der Drehmomente beschreiben, die an den Gelenken wirken. Man kann aber auch noch weiter zurückgehen, und die Kräfteerzeugung in den Muskeln, die Ansteuerung der Muskeln durch die Nerven und die zahl-reichen Regelschleifen des Körpers abbilden.

Eine solche Modellierung führt mathematisch auf Systeme von Differentialgleichungen oder differentiell-algebraischen Gleichungen. Laufbewegungen bestehen dabei aus mehreren Phasen – sie sind charakterisiert durch die verschiedenen wirkenden Kontakte mit der Umgebung, insbesondere mit dem Boden. Jede Phase lässt sich dementsprechend durch einen eigenen Satz von Bewegungsgleichungen beschreiben.

Wie optimal sind natürliche Bewegungen?

Es ist eine verbreitete Hypothese, dass sich viele – insbesondere alltägliche – Bewegungen von Menschen und Tieren im Laufe der Evolution und infolge individueller Entwicklung und individuellen Trainings optimal ausgeprägt haben. Diese Aussage steht im Einklang mit grundlegenden Annahmen der Bionik zur Optimalität natürlicher Strukturen und Prozesse – und ihres Vorbildcharakters für die Technik. Während der Evolution hat sich die menschliche Statur bestmöglich an den zweibeinigen Gang angepasst, auch die Ausführung häufig wiederholter Bewegungen ist in der Regel optimal. Die anthropomorphe Struktur ist dabei für die meisten Bewegungsaufgaben hochgradig redundant: Sie würde es prinzipiell erlauben, allgemeine Aufgaben wie „Gehe vorwärts!“ oder „Greife nach diesem Gegenstand!“ auf ganz unterschiedliche Weisen auszuführen.

Die natürlichen Bewegungen können in der Regel auf die Optimierung naheliegender mechanischer Eigenschaften des menschlichen Bewegungssystems zurückgeführt werden, beispielsweise eine Minimierung der Energie oder eine Maximierung der Effizienz. Der Mensch verbessert solche Kriterien nicht bewusst. Aber es scheint, als leite die Mechanik die Lernprozesse unbewusst in derartige Optima und trainiere das Gehirn und die neuronalen Reflexschleifen auf die entsprechenden Kontrollsignale. Eine ähnliche Optimierung findet bei Bewegungen im Sport



PROF. DR. KATJA MOMBAUR hat Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart und in Toulouse studiert und im Jahr 2001 in Heidelberg in Mathematik promoviert. Ihre wissenschaftliche Laufbahn führte sie unter anderem an die Seoul National University und das LAAS-CNRS in Toulouse. Seit 2010 ist sie Professorin am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen der Universität Heidelberg. Dort leitet sie die Arbeitsgruppe „Optimierung in Robotik und Biomechanik“ sowie das Robotiklabor. Aktuell ist sie Fellow im Heidelberger Marsilius-Kolleg. Die Schwerpunkte ihrer wissenschaftlichen Arbeit sind die Modellierung, Simulation und Optimierung von anthropomorphen Systemen, also von Menschen, humanoiden Robotern und virtuellen Charakteren.

Kontakt: katja.mombaur@iwr.uni-heidelberg.de

statt – mit einem hier klar formulierten Ziel und durch ein bewusstes Training unterstützt. Das verwendete Optimierungskriterium variiert in Abhängigkeit von der Bewegungsaufgabe und besteht häufig aus einer Mischung verschiedener einzelner Optimierungsziele.

Auch pathologische Bewegungen kann man als das Ergebnis einer Optimierung auffassen. Wobei dieser Prozess hier nicht zu verstehen ist als Suche nach der besten oder leistungsfähigsten Lösung, sondern als Reaktion auf eine Krankheit oder Verletzung: Sind einzelne Segmente oder Gelenke geschwächt, wird der Patient versuchen, sie zu entlasten, das heißt, er minimiert die Last auf der Struktur und die im Gelenk erzeugten Drehmomente und kompensiert mit anderen Teilen des Körpers. Andere Pathologien, etwa Parkinson oder die durch frühe Hirnschädigungen verursachte Zerebralparese, führen insgesamt zu veränderten Gehbewegungen. Im Vergleich zu den Normbewegungen zeichnen sie sich durch eine geringere Effizienz und Dynamik sowie durch eine höhere Anspannung, Steifheit und das Anstreben von quasistatischer Stabilität aus.

Mathematische Optimierungen

Aufgrund ihrer Optimalitätseigenschaften lassen sich menschliche Bewegungen hervorragend mit den mathematischen Methoden zur optimalen Steuerung eines Systems untersuchen. Indem Bewegungsmodelle in Differentialgleichungen beschrieben und geeignete Optimierungs-Zielfunktionen formuliert werden, können im Computer optimale Bewegungen erzeugt und mit der Realität verglichen werden.

Die sogenannte inverse Optimalsteuerung behandelt den umgekehrten Fall: Anstatt eine Lösung für eine gegebene Optimierungsaufgabe zu finden, suchen wir hier die Optimierungsaufgabe, die eine gegebene Lösung erzeugt. Damit können wir herausfinden, welches Optimierungsziel einer bestimmten, experimentell gemessenen Bewegung zugrunde liegt. Die Ergebnisse dieses sehr aufwendigen Vorgehens sind immer dann von großer Bedeutung, wenn sich nachweisen lässt, dass ganze Klassen von Bewegungen von ein und demselben Optimierungskriterium bestimmt werden.

Eine wichtige Frage der mathematischen Modellierung, die über die Grenzen verschiedener Bewegungstypen hinausgeht, ist zudem die nach den Gemeinsamkeiten aller natürlichen beziehungsweise menschenähnlichen Bewegungen im gesunden Zustand. Ihre Beantwortung könnte zu einer allgemeingültigen Definition, beispielsweise in Form von Komponenten der Zielfunktion, führen.

Die nachfolgend dargestellten Projekte stellen exemplarisch Untersuchungen vor, die wir in unserer Arbeitsgruppe „Optimierung in Robotik & Biomechanik“ mithilfe der optimalen Steuerung bei gesunden und kranken Bewegungen vorgenommen haben.

Exoskelette unterstützen menschliche Bewegungen

Im Rahmen der „Heidelberg-Karlsruhe Research Partnership“, HEiKA, haben wir uns gemeinsam mit dem Institut für Anthropomatik des Karlsruher Instituts für Technologie mit „Exoskeletten“ für die untere Extremität und ihrem möglichen Einsatz bei querschnittsgelähmten Menschen beschäftigt. Exoskelette sind Roboteranzüge oder tragbare Roboter. Sie können entweder die vorhandene Bewegungsaktivität eines Menschen unterstützen oder die Bewegungen vollständig erzeugen. Ziel unseres Teilprojekts war es, ein computergestütztes Design-Tool zu entwickeln, das den Entwicklungsprozess von Exoskeletten bei der Auswahl der Struktur und der Motoren unterstützt. Für eine gewünschte Bewegung können wir damit die auftretenden Belastungen und die notwendigen Gelenkmomente für das Gesamtsystem Mensch-Exoskelett bestimmen. Erreicht wurde dies durch das Anpassen der Modellbewegung an die gemessenen tatsächlichen Bewegungsdaten eines gesunden Probanden. Unsere Ergebnisse liefern Designern wichtige Einsichten für die Entwicklung geeigneter Exoskelette, die Auswahl der Komponenten, beispielsweise von passiven Elementen und Motoren, sowie die Ausgestaltung der Form und die Auswahl des Materials.

Assistenzroboter für die Geriatrie

Aufgrund der zunehmenden Alterung der Gesellschaft beschäftigen sich viele Forschungsvorhaben damit, die medizinische Versorgung und den Erhalt der Mobilität bis ins hohe Alter zu verbessern. Ziel des europäischen Projektes „MOBOT“ ist es, Mobilitätsassistenten-Roboter

„Aus mechanischer Sicht ist der Mensch ein redundantes System mit weniger Antrieben als Freiheitsgraden.“

zu entwickeln, die älteren Patienten beispielsweise dabei helfen können, aufzustehen und zu laufen. Diese Assistenzsysteme können etwa die Form eines intelligenten, adaptiven Rollators annehmen, auf den sich die Patienten aktiv aufstützen. Doch auch komplexere Ausgestaltungen sind möglich, zum Beispiel Roboter, die wie ein menschlicher Pfleger den Patienten festhalten können.

Mithilfe der mathematischen Optimierung ist es uns am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen in Heidelberg gelungen, die Bewegungen von Patienten zu simulieren und zu bestimmen, welche Kräfte entlang welcher Aktionslinien auf den Körper einwirken sollten, um den Betroffenen bestmöglich zu entlasten. Auf diese Weise konnten wir das Design unseres Roboters so optimieren, dass er in der Lage war, die gewünschte Unterstützung zu leisten. Die Systeme befinden sich zurzeit in der ersten klinischen Evaluation. Darüber hinaus entwickeln wir aktuell Methoden, die es möglich machen, die adaptiven Bewegungen der Assistenzsysteme in Echtzeit zu messen und zu optimieren.

Bessere Prothesen

Auch im Bereich der Prothetik können Optimierungsrechnungen dazu beitragen, das Verhalten von Patienten mit Prothesen zu analysieren und das Design der künstlichen Gliedmaße zu verbessern. Zusammen mit Kollegen des Ganglabors der Orthopädischen Klinik in Heidelberg-Schlierbach interessieren wir uns insbesondere für die Stabilität von Gehbewegungen mit und ohne Prothesen. Wir versuchen zu erklären, wie es zur Veränderung der Gangmuster durch die Prothese kommt. Zudem interessieren wir uns für das Gehen auf schiefen Ebenen und für den Effekt, den zusätzliche Kontakte an den Händen auf die Stabilität haben.

Mit Kollegen aus Köln und Karlsruhe gehen wir darüber hinaus der Frage nach, ob der Einsatz professioneller Sportprothesen für Unterschenkelamputierte – im Wesentlichen große Federn aus Kohlefaser – zu einem Wettbewerbsvorteil verhilft. Dies wurde zunächst im Fall des südafrikanischen Sprinters Oscar Pistorius diskutiert, im letzten Sommer dann auch bei dem deutschen Weitspringer Markus Rehm. Wir konnten mit Optimierungsrechnungen zeigen, dass die Sportler mithilfe ihrer Prothesen bei konstanter Maximalgeschwindigkeit in der Tat mit einem deutlich geringeren Energieaufwand und nahezu verschwindender Knieflexion rennen können. Um jedoch abschließend zu klären, ob Prothesen im Wettbewerb tatsächlich einen nennenswerten Vorteil verschaffen, müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden, etwa die Beschleunigungs- und Bremsphasen, der Einfluss der Stumpf-Schaft-Interaktion und die Beteiligung der Muskeln in benachbarten Gelenken. Diese Fragen sind Gegenstand unserer aktuellen Forschungsarbeiten.

Funktionelle elektrische Stimulation

Muskeln, die aufgrund einer Krankheit oder eines Unfalls nicht mehr natürlich stimuliert werden, können mit der „funktionellen elektrischen Stimulation“ (FES) künstlich dazu angeregt werden. Die FES wird bereits seit Jahren in verschiedenen Bereichen des Körpers, vor allem in der unteren und oberen Extremität, eingesetzt. Während die Stimulation von Gangbewegungen eines querschnittsgelähmten Menschen noch immer als sehr aufwendig gilt und für den Patienten ermüdend ist, wird sie bei halbseitig, nur teilweise gelähmten Patienten bereits relativ häufig durchgeführt.

Ein häufiges Symptom, beispielsweise nach einem Schlaganfall, ist die „Fußhebschwäche“: Der Patient zieht beim Gehen das Bein nach, und der Fuß hängt an der betroffenen Seite herunter. Hier genügt die gezielte Stimulation eines einzelnen Muskels – des „Musculus tibialis anterior“ –, um die Laufbewegung deutlich zu verbessern. Gemeinsam mit Kollegen vom „Laboratoire d'Informatique, de Robotique

Heidelberg-Karlsruhe Research Partnership

Die im Oktober 2011 ins Leben gerufene „Heidelberg-Karlsruhe Research Partnership“ (HEiKA) festigt die langjährige Zusammenarbeit der Universität Heidelberg mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die komplementäre Aufstellung beider Institutionen bietet optimale Voraussetzungen für eine strategische Partnerschaft. HEiKA fördert wissenschaftliche Kooperationen in fünf sogenannten „Forschungsbrücken“: den Bereichen „Medizintechnik für die Gesundheit“ und „Natur, Technik, Gesellschaft“ sowie den Forschungsfeldern „Organische Elektronik“, „Erweiterte Imaging Plattform“ und „Synthetische Biologie“. 26 wissenschaftliche Projekte wurden und werden im Rahmen von HEiKA in diesen Bereichen bislang unterstützt.

Als institutionalisiertes Dach ermöglicht die Forschungspartnerschaft darüber hinaus eine Abstimmung beider Universitäten etwa bei Berufungsverfahren und gemeinsamen Forschungsanträgen sowie die gemeinsame Beschaffung von Großgeräten, die nur in vereinter Anstrengung möglich ist. Besonders hervorzuheben ist zudem die enge Zusammenarbeit bei der Initiierung und Einwerbung großer, auch internationaler, Forschungs- und Innovationsverbünde. Neben der Unterstützung exzellenter Forschung innerhalb der fünf Forschungsbrücken fördert HEiKA auch den Dialog mit der Öffentlichkeit. Hierzu werden alle zwei Jahre die sogenannten HEiKA-Symposien organisiert, deren Ziel es ist, einen interdisziplinären Blick auf gesellschaftlich bedeutsame Fragestellungen zu ermöglichen.

www.heika-research.de

THE MIRACLE OF LOCOMOTION

WALK LIKE A HUMAN

KATJA MOMBAUR

Walking and running are important forms of human motion that are essential for our everyday life and serve as basis for many of our actions. However, we still lack a fundamental understanding of the mechanisms underlying human locomotion, i.e. how we choose a particular way to put one foot in front of the other out of an infinite number of ways to do so. This lack of understanding may not seem important at first sight, since most people learn to walk and run intuitively and without problems at an early age. Deeper insights into human locomotion are, however, required when this natural ability is lost or does not exist, due to illness or an accident, if a performance increase is desired, e.g. in sports, or if walking or running are to be implemented in technical systems such as robots.

With the methods available to date, we cannot yet paint a complete picture of the way we walk. Walking is a complex hierarchical process that includes numerous mechanical and cognitive components. This is where the methods of scientific computing come in – modelling, simulation and optimisation – that we use at the Interdisciplinary Center for Scientific Computing of Heidelberg University. They allow us to simulate movements in the computer and optimise them for various applications, e.g. to improve prosthetic limbs or build exoskeletons. The latter are robotic suits or wearable robots that either support the wearer's existing movement activity or generate such activity themselves. Humanoid robots that walk easily on two legs are part of our vision. ●

PROF. DR KATJA MOMBAUR studied aerospace engineering at the University of Stuttgart and the ENSAE Toulouse and earned her PhD at Heidelberg University in mathematics in 2001. Her career led her to a number of academic institutions, among them Seoul National University and the LAAS-CNRS in Toulouse. In 2010 she became a professor at Heidelberg University's Interdisciplinary Center for Scientific Computing. She heads the research group 'Optimization in Robotics and Biomechanics' and the robotics lab. In addition, she is currently a fellow at the Marsilius Kolleg of Heidelberg University. Prof. Mombaur's research focuses on modelling, simulation and optimisation of anthropomorphous systems, i.e. of humans, humanoid robots and virtual characters.

Contact: katja.mombaur@iwr.uni-heidelberg.de

“Movement optimisation lends itself to many different applications – including the use of humanoid robots in disaster areas.”

et de Microélectronique“ in Montpellier arbeiten wir daran, mithilfe von Optimierungen auf der Basis eines Muskel-Skelett-Modells zu ermitteln, welche Stimulationsmuster für den Patienten am angenehmsten wären. Ebenso interessiert uns, wie die Stimulation in Echtzeit, auf der Basis einer aktuellen Zustandsschätzung bei minimaler Sensorik, so optimiert werden kann, dass der Fuß nicht mehr über den Boden schleift.

Optimale Bewegungen im Sport

Sportbewegungen zeichnen sich durch schnelle Abläufe und komplizierte dreidimensionale Koordinationsaufgaben aus. Im Sport ist das Ziel der Optimierung offensichtlich: Sportler möchten schneller und effizienter laufen, höher und weiter springen, komplexe gymnastische Aufgaben wie Salti und Schrauben am Turngerät ausführen oder Sprünge vom Turm ins Wasser optimal absolvieren. Tänzerinnen und Tänzer möchten sich möglichst anmutig bewegen. Eine modellbasierte Optimierung von Sportbewegungen bietet Trainern und Leistungssportlern wichtige Einblicke in die Bewegungsabläufe, in die internen Kräfte und Drehmomente und in die äußeren Belastungen. Mit personalisierten Modellen für einzelne Sportler würde es beispielsweise möglich werden, eine virtuelle Trainingsumgebung aufzubauen. Basierend auf Mehrkörpersimulation und -optimierung könnte die virtuelle Trainingsumgebung eingesetzt werden, um Trainingshypothesen zu überprüfen, Bewegungsvariationen zu testen und Leistungsfrequenzen zu ermitteln.

Humanoide Roboter

In unserem aktuellen Forschungsprojekt „KoroiBot“, das von der Europäischen Union gefördert wird, untersuchen wir gesunde menschliche Gangbewegungen in verschiedenen Situationen, beispielsweise auf ebenem Untergrund, auf Treppen, schiefen Ebenen, auf Balken, Geröll, Trittsteinen oder Wippen. Dabei analysieren wir, welchen Anteil die reine Mechanik an diesen Bewegungen hat und wie hoch der kognitive Beitrag ist, der am Anfang und nach Abschluss des Lernprozesses notwendig ist. Ziel von „KoroiBot“ ist es, auf Basis dieser Erkenntnisse Methoden zu entwickeln, die es humanoiden Robotern erlauben, mechanisch intelligente und stabile Bewegungen in unterschiedlichen Laufsituationen zu generieren. Auch hierbei spielt die Optimierung eine entscheidende Rolle. Humanoide Roboter sollen künftig beispielsweise eingesetzt werden, um Menschen in gefährlichen oder unangenehmen Situationen zu unterstützen oder zu ersetzen – als Retter in Katastrophengebieten, als Helfer im Haushalt oder als Mitarbeiter in Arbeitsbereichen wie der Flugzeug- oder Schiffertigung. Für diese Aufgaben benötigen sie eine Reihe fortgeschrittener Fähigkeiten. Auch die Fähigkeit, sich auf zwei Beinen stabil fortzubewegen, ist eine entscheidende Voraussetzung, um die genannten Aufgaben erfüllen zu können.

„Bewegungsoptimierungen erlauben vielfältige Anwendungen – auch den Einsatz humanoider Roboter in Katastrophengebieten.“

In den nächsten Jahren werden wir uns in Heidelberg weiterhin damit beschäftigen, gesunde und kranke menschliche Laufbewegungen sowie die Umsetzung der Ergebnisse in Medizin, Robotik und Sport zu erforschen. Wir werden die Modelle, die Methoden und die technischen Komponenten in Präzision und Effizienz weiter verbessern, sodass sie es uns erlauben, Bewegungen zuverlässig vorauszusagen und zu regeln. Zu unseren Visionen zählen die optimierungsbasierte Entwicklung neuer Exoskelett-Technologien mit innovativen Materialien, beispielsweise für den Einsatz bei Querschnittsgelähmten oder um alltägliche Bewegungen gesunder Menschen zu erleichtern. Darüber hinaus streben wir die Konstruktion einer neuen Generation von Robotern an. Diese könnten bei der Fertigung von Flugzeugen oder Schiffen zum Einsatz kommen oder uns in Katastrophensituationen wie Fukushima entlasten. ●