



Möglichkeiten und Grenzen mathematischer Verkörperungsmodelle

Katja Mombaur

Auszug aus dem Jahresbericht
„Marsilius-Kolleg 2015/2016“



Möglichkeiten und Grenzen mathematischer Verkörperungsmodelle

Der Körper eines Menschen bestimmt einen wesentlichen Teil seiner Interaktionen mit der Umwelt. Er erfährt seine Umgebung über die verschiedenen Sinne seines Körpers, deren – in der Regel ungenaue und unvollständige – Messinformationen an das Gehirn übermittelt werden. Das Gehirn fungiert auch als zentrale Kontrollinstanz für Bewegungen, indem es über ein komplexes neuronales System Bewegungssignale an die einzelnen Muskeln sendet, die die Segmente des Körpers bewegen. Dabei kann das Gehirn dem Körper allerdings keine beliebigen Bewegungen aufzwingen, sondern ist an die dynamischen Eigenschaften des Körpers gebunden. Diese definieren die Zusammenhänge zwischen Kräften und Bewegungen und müssen die Beschränkungen durch die kinematischen Gelenkgrenzen, die Kraft- und Geschwindigkeitsgrenzen der muskulären Kontraktion sowie die Beschränkungen in den Signalprozessen respektieren. Gleichzeitig bilden die dynamischen Eigenschaften bei geschickter Ausnutzung auch ein großes Potential, so dass ein Teil der Bewegungsintelligenz in den Körper verlagert werden kann.

Das Thema der Verkörperung und der Ausdehnung des Geistes in den Körper hat in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit in Philosophie, Psychologie, Kognitions- und Geisteswissenschaften erhalten. Dies reflektiert auch die Einrichtung der Marsilius-Projektgruppe „Verkörperung als Paradigma einer evolutionären Kulturanthropologie“ im April 2013. Die Neurowissenschaften beschäftigen sich ebenfalls mit der Thematik und haben mit den Spiegelneuronen einen wichtigen Zusammenhang zwischen der Erzeugung und Wahrnehmung körperlicher Bewegungen entdeckt. Die Verkörperung ist natürlicherweise auch ein ganz zentrales Thema in allen Wissenschaftsgebieten, die sich mit der Analyse, Verbesserung und Erzeugung von Bewegungen

beschäftigen, wie die Biomechanik und Bewegungswissenschaften, die Orthopädie und die Robotik.

In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff „Verkörperung“ nicht allein auf die Tatsache, dass ein Körper existiert. Vielmehr geht es hier um die konkrete Ausprägung des Körpers. Dabei stellt die Berücksichtigung der mechanischen, genauer der dynamischen Eigenschaften eines Körpers einen wichtigen Aspekt dar. Diese Naturgesetze stellen zum einen klare Schranken für die Bewegungen auf, können aber andererseits auch geschickt ausgenutzt werden und so zu einer Verlagerung der Bewegungsentelligenz aus dem Gehirn bzw. der zentralen Steuerungseinheit in die Mechanik, d.h. in den Körper, führen. Neben den Eigenschaften der Mechanik scheint auch die Optimierungsfähigkeit biologischer Systeme und damit auch des menschlichen Körpers entscheidend zu sein, die zur Bevorzugung bestimmter Bewegungsmuster gegenüber anderen führt.

Ziel meines Forschungsvorhabens im Rahmen des Marsilius-Kollegs war es, durch die Entwicklung von mathematischen Modellen der Verkörperung und ihrer Implementierung auf dem Computer einen Beitrag zur Untersuchung der Verkörperung zu leisten, aus Sicht der Mathematik, der Informatik und des Wissenschaftlichen Rechnens. Im interdisziplinären Dialog mit Kollegen aus den verschiedenen Fachdisziplinen sollten die Potentiale und Grenzen derartiger Modelle anhand konkreter Beispiele analysiert und verbessert und für die Fachdisziplinen nutzbar gemacht werden. Meine Aufgabe im Marsilius-Kolleg war es auch, ein Bindeglied zwischen dem Kolleg und der Projektgruppe „Verkörperung“ herzustellen, der ich seit Sommersemester 2014 angehöre. Als Projektfellow hatte ich keinen dedizierten Arbeitspartner im Kolleg.

Unter Modellen verstehen wir in diesem Kontext nicht eine rein qualitative, sondern eine quantitative mathematische Beschreibung von Systemeigenschaften in Form von Gleichungen. Modelle dienen dazu, Einblicke in innere Abläufe zu liefern. Gleichzeitig stellen aber Modelle immer eine Abstraktion der Realität dar und haben deshalb ganz offensichtliche Grenzen. Gründe für die Simplifizierung und Modellabweichung sind vielfältig:

1. Absichtliche Reduktion auf wesentliche Eigenschaften:

In vielen Fällen ist das Ziel des Modells nicht die vollständige Beschreibung eines realen Systems, sondern die Untersuchung bestimmter Merkmale, die u.U. bereits

durch ein sehr viel einfacheres Modell völlig zufriedenstellend beschrieben werden können.

2. Rechenaufwand:

Je komplexer das Modell, desto länger werden die dafür benötigten Rechenzeiten auf dem Computer, so dass bewusst ein Kompromiss zwischen notwendiger Modellkomplexität und vertretbarem Rechenaufwand gesucht wird.

3. Fehlende Information:

Dem Modellierer stehen die notwendigen Informationen zur Detaillierung des Modells nicht zur Verfügung – entweder aufgrund eines fehlenden interdisziplinären Austausches oder weil auch in der entsprechenden Fachdisziplin die quantitativen Informationen noch nicht vorhanden oder nicht leicht individuell bestimmbar sind.

4. Theoretische Grenze:

Einige Aspekte des realen menschlichen Systems, das es zu beschreiben gilt, sind so kompliziert, dass sie prinzipiell nicht modellierbar sind, da ihre Erfassung z.B. ein völliges Verständnis der menschlichen Intelligenz oder der menschlichen Erfahrungswelten implizieren würde. Diese Aspekte können – zumindest nach aktuellem Wissensstand – als unerreichbar für die Modellierung betrachtet werden.

In diesem Projekt lag der Fokus insbesondere auf den Punkten 3 und 4. Anhand konkreter Beispiele für die Modellierung der Verkörperung habe ich versucht, einen interdisziplinären Dialog zur Verbesserung der Modellinformationen nach Wünschen der Fachdisziplinen zu führen. Zum anderen war das Ziel, die unüberwindbaren Grenzen der Modellierung für konkrete Beispiele zu ermitteln und die Bedeutung der Existenz dieser Grenzen für ihren Nutzen in den verschiedenen Fächern zu diskutieren.

Roboter können in diesem Zusammenhang eingesetzt werden, um die Gültigkeit der Modelle in der Realität zu überprüfen. Sollen z.B. für psychologische Studien Verkörperungsmodelle verglichen werden, so kann ggf. die Darstellung der Bewegungen auf dem Computerbildschirm zu einer Verzerrung der Wirkung führen. Eine Implementierung von verschiedenen Bewegungen auf Robotern führt dagegen zu einem viel realeren Erlebnis für die Probanden und damit zu verlässlicheren Testergebnissen.

bietet aber im Gegensatz zu menschlichen Demonstrationsobjekten eine vollständige Kontrolle der Dynamik.

In der Folge beschreibe ich kurz einige Themen, die im Rahmen des Marsilius-Kollegs intensiver mit anderen Fellows diskutiert wurden und zum Teil bereits zu konkreten Kooperationen geführt haben.

In der Medizin spielt die Verkörperung – im gesunden oder kranken Körper – eine wichtige Rolle. Viele Pathologien, die zu Bewegungsproblemen führen, wie z.B. die Zerebralparese, haben Gründe sowohl im biomechanischen als auch im zerebralen und neuronalen Bereich. I.A. werden die beiden Bereiche im Experiment und im Modell separat betrachtet, aber aktuelle Arbeiten in unserer Arbeitsgruppe streben eine Kombination beider Aspekte an. In unseren Vorarbeiten haben wir uns im Wesentlichen mit Pathologien in der Orthopädie beschäftigt. Aus den Diskussionen im Marsilius-Kolleg, insbesondere mit Knut Schnell, ergaben sich jedoch auch sehr interessante Fragestellungen in der Psychiatrie. Auch psychische Erkrankungen, wie Depressionen oder Angst- und Zwangsstörungen, haben direkte Auswirkungen auf die Bewegungsmuster der Patienten. Mit Hilfe von geeigneten Bewegungsmodellen und Messungen von Patientenbewegungen können gesunde von psychisch auffälligen Bewegungen unterschieden werden, was für Monitoringzwecke nicht nur bei stationären, sondern vor allem bei ambulanten Patienten eingesetzt werden kann. Basierend u.a. auf diesen Diskussionen ergab sich das von Knut Schnell zusammen mit Industriepartnern (IT und Sensorik) initiierte BMBF-Projekt MITASSIST zum Thema „Multi-immersive Therapie-Assistenz zur Behandlung psychischer Erkrankungen“, bei dem ich Mit Antragstellerin war und das im nächsten Jahr beginnen wird.

In der Psychologie, insbesondere der Entwicklungspsychologie, ist der Vergleich von sogenannten „belebten“ oder auch natürlichen, als menschlich wahrgenommenen Bewegungen und „unbelebten“, also eher „unnatürlichen“, eckigen, als maschinell wahrgenommenen Bewegungen wichtig. Auch die Wirkung von Aktionen und Bewegungen, die tatsächlich von Maschinen, also Robotern durchgeführt werden, auf den Menschen, in diesem Fall auf kindliche Probanden, ist bedeutsam.

In diesem Zusammenhang konnten wir gemeinsam mit Sabina Pauen, Fellow des Marsilius-Kollegs, und Stephanie Hoehl aus der Marsilius-Projektgruppe zwei Themen für eine Kooperation definieren.

Im ersten Thema geht es um Überimitation, also die Imitation nicht nur von zielführenden, sondern auch von überflüssigen Aktionen menschlicher Lehrer durch kindliche Probanden. Ziel ist es, dabei herauszufinden, welche Rolle der Typ und die Ausführung der überflüssigen Bewegungen sowie die soziale Interaktion des Lehrers mit dem Kind für die Imitation hat. In unserer gemeinsamen Erweiterung des Projekts wird der kleine humanoide Roboter Nao für diese Überimitationsstudien eingesetzt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit aus der Informatik hat er die notwendigen Bewegungen gelernt. Die Sequenz wurde in einem Video festgehalten. Die Versuchsreihen zum Vergleich von Menschen und Robotern als Demonstratoren bei Überimitationsstudien beginnen in Kürze am Institut für Psychologie.

Beim zweiten Thema geht es um den Einsatz sowohl von Modellen als auch von Robotern zur Untersuchung von belebten und unbelebten Bewegungen. Unsere Vorarbeiten zur Beschreibung menschlich wirkender Bewegungen mit Hilfe des Optimierungsansatzes können wir dazu verwenden, um im Modell belebte/natürliche Bewegungen für psychologische Studien - und als Vergleich dazu auch unbelebte/maschinelle Bewegungen aus ganz simplen Kriterien oder aus eckigen Trajektorienstücken - zu erzeugen. Diese Vergleichsstudien können anhand von Visualisierungen der Bewegungen durchgeführt werden.

In Sozial- und Wirtschaftswissenschaften spielen die Interaktion von Individuen mit verschiedenen Präferenzen, die Gruppenbildung oder Separation, das Verhalten von Menschenmengen etc. eine wichtige Rolle. Solche Verhaltensmuster lassen sich ebenfalls in Modellen abbilden und zum Teil auf Schwarmrobotern implementieren. Als Grundlage für die Diskussionen im Marsilius-Kolleg diente hier ein sozialwissenschaftliches Beispiel aus einer Masterarbeit in meiner Arbeitsgruppe. Diese basiert auf dem bekannten Segregationsmodell des Nobelpreisträgers Schelling aus den 1960er Jahren, mit dem er versucht hat, die Rassentrennung in amerikanischen Großstädten zu erklären. In der Masterarbeit wurde das ursprünglich diskrete Modell auf zeit- und ortskontinuierliches Verhalten der Agenten ausgeweitet und um eine Zufallskomponente ergänzt. Damit kann simuliert werden, wie Agenten einen bestimmten Prozentsatz gleicher Agenten in der Umgebung erwarten, sich verhalten, und welches globale Verhalten daraus emergiert. Es zeigt sich durch die Implementierung der Modelle auf Schwarmrobotern, dass bereits aus einer Mindestanforderung von 30% Agenten des gleichen Typs im Laufe der Zeit eine vollständige Segregation entsteht.

Als Konsequenz der Diskussionen im Marsilius-Kolleg und in der Projektgruppe sowie des offenkundig großen Nutzens einer Plattform zur Untersuchung verkörperter Bewegungen entstand außerdem die Idee zur Einrichtung des *Heidelberg Center for Motion Research*. Zu diesem Zweck habe ich im Februar 2016 einen erfolgreichen Antrag bei der Carl-Zeiss-Stiftung koordiniert, an dem viele Fellows verschiedener Jahrgänge und Projektmitglieder beteiligt waren. Mehr Informationen zu den Zielen und Forschungsinhalten dieses geplanten Zentrums finden sich im Essay „Faszination Bewegung“ in diesem Band (S. 40).

Ein weiterer Bestandteil meiner Zeit als Marsilius-Fellow war die Organisation des Marsilius-Seminars zum Thema „Robotik am Menschen – Prothetik und Orthetik aus technischer, medizinischer, historischer und ethischer Perspektive“ gemeinsam mit dem Fellow Philip Osten aus der Medizingeschichte, dem Projektmitglied Gregor Etzelmüller aus der Theologie und weiteren Kollegen aus Medizin, Philosophie und dem Wissenschaftlichen Rechnen.

Insgesamt hat mir mein Jahr im Marsilius-Kolleg viel Spaß gemacht, meinen wissenschaftlichen und persönlichen Horizont erweitert und viele neue Impulse geliefert. Ich hatte die Gelegenheit, sehr interessante Kontakte zu Kollegen aus anderen Bereichen der Universität zu knüpfen und in einigen Fällen bereits sehr konkrete Kooperationsprojekte zu beginnen. Durch in diesem Jahr begonnene große Initiativen wie das Heidelberger Center for Motion Research wurde im Marsilius-Kolleg der Grundstein für viele kommende Forschungsprojekte gelegt.

