Zeitschrift: Studia philosophica : Schweizerische Zeitschrift für Philosophie = Revue suisse de philosophie = Rivista svizzera della filosofia = Swiss journal of philosophy

Herausgeber: Schweizerische Philosophische Gesellschaft

Band: 62 (2003)

Artikel: Die Ontologie künstlicher Körper

Autor: Christen, Markus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-882971

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MARKUS CHRISTEN

Die Ontologie künstlicher Körper[1]

The question of the characteristics of the human body with respect to ontology is a long-standing philosophical problem. This contribution approaches this problem by analyzing those fields of research which try to technically reconstruct human bodies or parts of human bodies – robotics and prosthetics. To accomplish this analysis, a distinction is proposed between two basic types of ontological questions. First-order questions refer to the categories an artificial body can be assigned to; second-order questions refer to the basic classification problems within a certain category. This essay argues that only the second-order questions are suitable to distinguish between natural and artificial bodies as regards ontology. For this, a clarification of the concepts of complexity, autonomy and emergence is necessary.

1. Einführende Bemerkungen

In dieser Arbeit werden unter «künstlichen Körpern» Artefakte verstanden, welche entweder einen materiellen bzw. funktionellen Ersatz verloren gegangener Teile menschlicher Körper darstellen (Prothesen) oder den menschlichen Körper in einem noch zu präzisierenden Sinn als Vorbild für technische Systeme nehmen (humanoide Roboter). Künstlerische Darstellungen menschlicher Körper wie Skulpturen bilden nicht Gegenstand dieser Arbeit. Weiter sind menschliche Körper gemeint, wenn allgemein von «Körpern» die Rede ist.

1 Beitrag zum Symposium «Der Körper in der Philosophie» der Schweizerischen Philosophischen Gesellschaft vom 31. Mai und 1. Juni 2002. Hinweise von folgenden Personen haben zu dieser Arbeit beigetragen: Ruedi Stoop und Peter König, beide vom Institut für Neuroinformatik in Zürich, sowie Endre Bangerter und Simon Lörtscher. All diesen Personen möchte ich herzlich danken.

Im Kapitel 2 wird die Unterscheidung zwischen ontologischen Fragen erster und zweiter Stufe eingeführt. Ausgehend von ontologischen Kategorien, welche in der analytischen Philosophie derzeit Gegenstand der Diskussion bilden, wird ein für die Fragestellung dieser Arbeit brauchbares Kategorienschema aufgestellt. Die mögliche Reduzierbarkeit dieser Kategorien aufeinander ist nicht Thema dieser Arbeit.

In den Kapiteln 3 und 4 folgt eine Einführung in Prothetik und Robotik. Basierend auf dieser Übersicht wird im Kapitel 5 die Ontologie des künstlichen Körpers dargestellt und es werden jene Konzepte herausgearbeitet, welche als viel versprechende Abgrenzungskriterien zwischen natürlichen und künstlichen Körpern in ontologischer Hinsicht dienen können. Abschließend wird die Metapher der «Verschmelzung von Mensch und Maschine» kurz untersucht.

2. Festlegung einer Ontologie

2.1. Ontologische Fragen erster und zweiter Stufe

Die Ontologie[2] untersucht, in welche allgemeinsten Klassen sich die Entitäten der Welt ordnen lassen – man spricht auch von materialer Ontologie. Diese Klassen werden Kategorien[3] genannt, die Gesamtheit der Klassen bezeichnet man als Kategorienschema. Die Frage, welche Kategorien es gibt, ist ein Grundproblem der Philosophie. Das Wesen dieses Problems liegt darin, dass die Erstellung dieser Ordnung kein empirisch lösbares Problem ist – man kann nicht einfach «sehen», welche Kategorien es gibt. Vielmehr führen begriffliche und logische Überlegungen zu möglichen Kategorien einer Ontologie. Sind solche Kategorien gegeben, stellt sich die Frage, ob eine bestimmte Entität von dieser Kategorie erfasst wird oder nicht. Dieses Problem wird in dieser Arbeit eine «ontologische Frage erster Stufe» genannt. Antworten auf

2 Der Begriff «Ontologie» wird auch im Forschungsgebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) gebraucht und bezeichnet dort in der Regel die Menge der repräsentationalen Terme eines KI-Systems (GUARINO, 1995).

3 Der Begriff der Kategorie hat in der Philosophie unterschiedliche Facetten. Aristoteles verstand darunter die allgemeinsten Formen des Seins, Immanuel Kant die Bedingungen a priori der Erfahrung, Ch. S. Peirce das Ergebnis einer handlungsmäßigen Gegenstandskonstitution.

diese Frage können als Test für die Brauchbarkeit eines gewählten Kategorienschemas dienen.

Das «Geschäft» der Ontologie ist mit der Bestimmung eines Kategorienschemas und der Beantwortung ontologischer Fragen erster Stufe nicht erledigt. Auch innerhalb einer Kategorie stellt sich das Problem, welche sortalen Begriffe (Sorten) eingeführt werden sollen, um eine feinere Klassifizierung zu ermöglichen. Im Gegensatz zu Kategorien ist mit Sorten ein empirisches Entscheidungskriterium bezüglich der Zuordnung einer Entität zu einer Sorte verbunden. Dies macht die Einführung solcher Begriffe aber nicht in jedem Fall einfacher, da diese zuweilen eng mit theoretischen Grundannahmen verflochten sind. Die Einführung sortaler Begriffe ist damit ein Kernproblem wissenschaftlicher Disziplinen, an welchen sich aktuelle Kontroversen manifestieren können. Bei diesen Konflikten wird auch auf Logik und Begriffsanalyse zurückgegriffen. Die Einführung von Sorten kann deshalb auch zu einem Problem der philosophischen Ontologie werden. In diesem Sinn gelten Zuordnungen von Entitäten zu Sorten als Antworten auf ontologische Fragen zweiter Stufe.

Dieses Problem kann anhand zweier Beispiele verdeutlicht werden: In der Biologie ist die «Art» ein wichtiger sortaler Begriff. Ursprünglich wurden Arten gemäß morphologischen Kriterien unterschieden. Heute werden Individuen im Hinblick auf genetische Ähnlichkeit und (im Fall sexueller Reproduktion) Fortpflanzungsfähigkeit einer Art zugeschlagen, wobei aber auch heute unklar ist, inwieweit räumliche Separierung (Konzept der Biospezies) und zeitliche Aspekte (Arttransformation im Verlauf der Evolution) mit dem Artbegriff in Verbindung gebracht werden sollen. Der Artbegriff wird damit auch doppeldeutig, indem er sowohl auf konkrete Gruppen (Taxa) wie abstrakte Rangstufen (Kategorien) Bezug nimmt (Jahn, 2000, insbesondere Kapitel 5.3., 11.3. und 18.2.). Ein vergleichbares Problem stellt sich in der Anthropologie beim Begriff «Rasse». Ursprünglich galten auch hier morphologische Unterscheidungskriterien. Doch die DNA-basierte Perspektive zeichnet ein anderes Bild, wonach das Kriterium der Hautfarbe beispielsweise kaum mehr Relevanz hat. Vielmehr hat der Rassebegriff in der Anthropologie weit gehend an Bedeutung verloren (für eine Übersicht siehe Marks, 1995).

2.2. Einführung eines Kategorienschemas

Die Einführung eines Kategorienschemas für diese Arbeit geht von Kategorien aus, die in der analytischen Philosophie als Kandidaten für

solche Schemata gehandelt werden (Runggaldier et al., 1998, Teil III). Hingegen ist der Fokus ein anderer. In der analytischen Philosophie wird die Frage diskutiert, welche der vorgeschlagenen Kategorien als primär bezeichnet werden sollen und welche anderen sich daraus ableiten lassen. Für die Bestimmung einer Ontologie künstlicher Körper zwecks begrifflicher Schärfung problematischer Grenzziehungen zwischen natürlichen und künstlichen Körpern ist aber eine gewisse Vielfalt an Kategorien angebracht. Ansonsten besteht die Gefahr, das Ergebnis vorwegzunehmen. Würde nur eine Kategorie postuliert, so fielen sowohl künstliche wie natürliche Körper unter diese und ein kategorialer Unterschied bestünde nicht. Andererseits ist die Forderung der analytischen Philosophie nach einer möglichst spärlichen Ontologie dahingehend gerechtfertigt, dass man die oben genannte kategoriale Unterscheidung nicht durch die «ad hoc»-Einführung von Kategorien erreichen sollte. Auch eine übermäßig reiche Ontologie führt zu einer trivialen Lösung des Problems.

Zwei klassische, bereits im Universalienstreit auftretende Kategorien sind konkrete Dinge (räumlich und zeitlich bestimmte Entitäten) und Eigenschaften. Sortale Begriffe bezüglich dieser Kategorien betreffen beispielsweise die Bezeichnung von Teilen konkreter Dinge oder die Einteilung in konventionelle und nicht-konventionelle Eigenschaften. Für das vorliegende Problem haben diese beiden Kategorien keine besondere Bedeutung, da sowohl natürliche wie künstliche Körper aus leicht einsehbaren Gründen die Kategorien konkreter Dinge und Eigenschaften realisieren. Folgende Kategorien bilden das Kategorienschema:

- Strukturen: Strukturen bezeichnen die Beschreibungen von Anordnungen von konkreten Dingen im Raum, wobei die Anordnungen unabhängig von den jeweiligen konkreten Dingen existieren. Paradebeispiel ist ein Organismus, der seine Struktur trotz Stoffwechsel erhalten kann. Sortale Begriffe bei Strukturen betreffen deren Einteilung nach Komplexitätsgraden.

- Ereignisse: Ereignisse bezeichnen unterscheidbare zeitliche Abläufe mit einer gewissen kausalen Geschlossenheit. Damit verlangt die Beantwortung einer ontologischen Frage erster Stufe bezüglich der Kategorie Ereignis die Auflistung aller relevanten Entitäten, welche dieses Ereignis im Sinn von Steuerung und direkter Bewirkung rea-

lisieren. Fragen zweiter Stufe betreffen beispielsweise die Suche nach Identitätskriterien für Ereignisse.

- Personen: Die Kategorie Personen deckt jene Entitäten ab, die im Zusammenhang mit Problemen der Philosophie des Geistes – also etwa Qualia oder Bewusstseinszustände – genannt werden. Fragen zweiter Stufe betreffen beispielsweise die Klassifizierung von Bewusstseinszuständen in funktionale und phänomenologische Untergruppen.

Weitere, nicht in diesem Schema enthaltene, in der analytischen Philosophie aber genannte Kandidaten von Kategorien sind Sachverhalte, Tatsachen und Fiktionen. Diese finden hier nicht Beachtung, da nicht einsehbar ist, inwiefern diese für die kategoriale Unterscheidung natürlicher und künstlicher Körper gebraucht werden können. Es wird davon ausgegangen, dass natürliche Körper alle drei Kategorien des Schemas realisieren. Zu beantworten sind die Fragen, welche der Kategorien des Schemas von künstlichen Körpern realisiert werden und welche ontologischen Fragen zweiter Stufe sich hinsichtlich künstlicher Körper bei diesen Kategorien stellen.

3. Ersatzteile für menschliche Körper – Prothesen

3.1. Begriffliches

Prothesen sind Artefakte, die als Ersatz von Teilen des menschlichen Körpers dienen. Körperteile müssen nicht unbedingt Gliedmassen sein, sondern können auch innere Teile des Körpers umfassen. «Ersatz» kann sich sowohl auf Form (kosmetische Prothesen wie Glasaugen) wie Funktion (Funktionsprothesen) beziehen, wobei eine klare Trennung schwierig ist. So haben auch kosmetische Prothesen eine soziale Funktion, indem sie eine unbelastete Kommunikation ermöglichen. Die zwischen Medizin und Ingenieurswissenschaft angesiedelte Forschung über Prothesen nennt sich Prothetik. Endoprothesen sind Prothesen, welche in den Körper eingepflanzt werden, wie beispielsweise ein künstliches Hüftgelenk. Steht die Funktion im Vordergrund, spricht man oft von Implantaten (Pschyrembel, 1997, Stichwort «Implantat»),

wobei Implantate als Subklasse von Prothesen verstanden werden können.

Schwieriger zu bestimmen ist das Verhältnis zwischen Prothesen und Transplantaten – biologische Gewebe oder Organe, die verletztes oder krankes biologisches Material des Körpers ersetzen. Meist stammen diese von einem anderen Körper, im Fall beispielsweise der Haut manchmal von anderen Stellen des eigenen Körpers. Neuerdings werden Methoden des «tissue engineering» entwickelt, wonach biologische Gewebe mittels eines technologisch geprägten Prozesses (Züchtung und Wachstum unter kontrollierten Bedingungen) erzeugt werden. Damit wird die Schaffung von Ersatzorganen möglich. So wird beispielsweise diskutiert, mittels Kunststoff eine dreidimensionale Netzstruktur aufzubauen, in welche Leberzellen eingebettet werden – das Resultat wäre eine biologisch-künstliche Leber (Strain et al., 2002). Im Zug der Stammzellenmedizin hofft die Forschung, dereinst gar mittels therapeutischen Klonens erbgleiches Gewebe für Transplantationszwecke erzeugen zu können. Es zeigt sich also, dass Transplantationen jetzt schon mit einem erheblichen medizintechnischen Aufwand verbunden sind und in naher Zukunft noch weit mehr technisches Schaffen beinhalten. Demnach erscheint es gerechtfertigt, auch Transplantate als eine Art von Prothesen anzusehen, als biologische Prothesen (siehe auch Schütz et al., 2002).

Eine wichtige begriffliche Unschärfe besteht in der Unterscheidung zwischen den Begriffen «Werkzeug» und «Prothese». Natürlich lässt sich einwenden, das Ziel der Prothetik sei reparativ, indem verloren gegangene Körperteile und -funktionen möglichst gut ersetzt werden sollen. Prothesen könnten aber auch eine Ergänzung oder Vervollkommnung des menschlichen Körpers zum Ziel haben – und damit zum Werkzeug des Menschen werden, indem sie dessen Handlungs- und Eingriffsmöglichkeit in der Welt erweitern. In Bezug auf die weit gehend technisierte Lebenswelt des modernen Menschen wird gar behauptet, dass der menschliche Körper in einer technologischen Umwelt inhärent unvollständig ist und demnach Prothesen benötigt, um die Bedingung des Menschseins in einer solchen Umgebung überhaupt erfüllen zu können – die Begriffe «Werkzeug» und «Prothese» werden dadurch ununterscheidbar (Rodenbeck, 1995). Diese Position ist aber zu extrem, da man sich die Möglichkeit der begrifflichen Unterscheidung zwischen den biologisch vorgegebenen Möglichkeiten des menschlichen Körpers und seiner durch die menschliche Kreativität erweiterten Einsatzfähigkeit nicht nehmen lassen sollte. Eine klare Abgrenzung an-

dererseits ist schwierig zu erreichen, da es durchaus denkbar ist, dass künftig gewisse technische Werkzeuge in einem derart engen Bezug zum menschlichen Körper stehen, dass man von «additiven Prothesen» sprechen könnte. Dieses Problem wird bei der Untersuchung der Metapher von der «Verschmelzung von Mensch und Maschine» weiter behandelt.

3.2. Moderne Prothetik

Ziel der Prothetik ist die Konstruktion annähernd perfekter Nachbildungen von Körperteilen, was eine möglichst umfassende Kenntnis über letztere verlangt. Ein Arm beispielsweise ist nicht nur ein Greifinstrument, sondern auch ein Tast-, Temperatur- und Schmerzsensor, wirkt mit seiner Masse ausgleichend im Bewegungsablauf und ist ein Instrument der Gestik. Demnach müssen Probleme wie die Wahl geeigneter Materialien, die Implementierung von Sensoren und Aktoren, die Sicherstellung der Energieversorgung, sowie Signalverarbeitung und -übertragung sowohl bei der Sensorik wie bei der Steuerung der Prothese durch dessen Benutzer gelöst werden. Dies führt zu folgenden Entwicklungen in der modernen Prothetik:

- Fortschritte in der Materialtechnologie erlauben den Einsatz «biologienaher» Materialien bezüglich Gewicht, Beständigkeit (als Ersatzfunktion der Selbstheilungskapazität biologischer Gewebe) und Oberflächenstruktur.

- Fortschritte in der Elektrotechnik erlauben die Integration aktiver Elemente in Prothesen (Kleinstmotoren etc.), welche als Aktoren dienen. Ein Problem ist derzeit die Energieversorgung der Systeme.

- Fortschritte in der Elektronik und Algorithmik ermöglichen eine effizientere Steuerung der Systeme durch ihren Nutzer.

- Fortschritte in der Sensorik führen zur Entwicklung interaktiver Prothesen, welche in der Lage sind, Umweltinformationen aufzunehmen, und welche lokal selbstständig darauf reagieren können.

- Neue Erkenntnisse im Bereich der Signalverarbeitung in biologischen Systemen ermöglichen eine größere Bandbreite des Informationstransfers zwischen dem Träger der Prothese und der Prothese

selbst (z. B. myoelektrische Prothesen). Dennoch gilt dieser Punkt derzeit noch als eines der wichtigsten Hindernisse für die Entwicklung effektiver Prothesen (Nicolelis, 2001).

Kennzeichnend für die moderne Prothetik sind außerdem die folgenden beiden Aspekte: Erstens wird versucht, Ersatz für Sinnesorgane zu schaffen. Prothesen werden damit zu Instrumenten der Informationsgewinnung über die Welt. Dies betrifft derzeit vor allem die Sinne Hören (Kochlea-Implantate) und Sehen (Retina-Implantate), während die Entwicklung von Prothesen für Schmecken, Riechen und Tasten noch ganz am Anfang steht (für eine Übersicht siehe Geary, 2002). Diese Sinnesprothesen können heute aber noch bei weitem keine mit den natürlichen Sinnen vergleichbare Menge an Information für das Gehirn bereit stellen. Zweitens werden Kontrollsysteme für Prothesen entwickelt, welche nicht mehr bewusst durch den Benutzer, sondern direkt durch sein Nervensystem gesteuert werden. Ein Beispiel ist die Therapie der Atemschwäche durch Stimulation des Phrenikus-Nervs.

Diese Entwicklungen zeigen eine absehbare «Biologisierung» der Prothetik. Die Vorgänge auf der Mikroebene biologischer Systeme – der Ebene der Moleküle – werden immer besser verstanden und damit auch technisch zugänglich. Der Einsatz von Nanotechnologie in der Prothetik wird beispielsweise dazu führen, dass die Oberflächeneigenschaften von Endoprothesen besser auf die körperliche Umgebung abgestimmt werden können. Mittelfristig zu erwarten ist zudem die Entwicklung von Schnittstellen, welche direkter als bisher an das Nervensystem angeschlossen werden können («Brain-Machine-Interface»). Schließlich besteht die Möglichkeit, die Energieversorgung von Prothesen durch körpereigene Prozesse zu gewährleisten.

Mit diesen Entwicklungen gewinnen die Prothesen auch an Autonomie in zweierlei Hinsicht. Zum einen kann das Reaktionsverhalten von Prothesen unabhängig von einer bewussten Steuerung durch den Träger der Prothese erfolgen. Dies durch die direkte Verschaltung mit dem Nervensystem oder durch eine Kopplung von Sensoren und Aktoren in der Prothese selbst, was beispielsweise bei der Entwicklung von Laufprothesen von Bedeutung ist. Zum anderen können Prothesen Autonomie bezüglich Selbstreparatur und Energieversorgung erreichen. Dies bedingt eine Anbindung der Prothese an den Metabolismus des Organismus, was bis auf weiteres nur von biologischen Prothesen erreicht wird.

4. Der Mensch als Vorbild – humanoide Roboter

4.1. Begriffliches

Ein Roboter ist ein Spezialfall einer Maschine. Eine Maschine ist ein Artefakt, das unter Energieumwandlung mindestens eine zielgerichtete Tätigkeit vollbringt. Diese Tätigkeit kann die Herstellung eines Produktes, die Lösung einer Aufgabe oder die Bereitstellung einer Energieform aus einer anderen (z. B. Dampfmaschine) sein. Ein Roboter nimmt mittels Sensoren Informationen aus der Umwelt auf und wirkt, basierend auf diesen Informationen, über spezielle Einrichtungen (Aktoren) auf die Umwelt ein. Historisch taucht das Wort «Roboter» erstmals im vom tschechischen Autor Karel Capek geschriebenen und 1921 uraufgeführten Theaterstück *Rossums universelle Roboter* auf. Robotik ist die wissenschaftliche Disziplin, welche sich mit der Konstruktion, der Programmierung und der Anwendung intelligenter Roboter beschäftigt, die mit der Umwelt interagieren und Aufgaben autonom lösen können. Der Begriff «intelligent» wird dabei nicht nur im Sinn der frühen KI auf formal-logische Fähigkeiten eingeschränkt, sondern umfasst auch senso-motorische Fähigkeiten, deren Implementierung in künstliche Systeme sich als schwieriges Unterfangen erwiesen hat.

Ein wichtiges Konzept ist die Maschinenautonomie. Gemeint ist damit grundsätzlich, dass man einem Roboter nicht vorschreiben sollte, *wie* er ein bestimmtes Problem löst, wobei aber der Zweck, für welchen der Roboter eingesetzt wird, vorgegeben wird. Das «wie» ergibt sich durch die innere Dynamik des Systems – gegeben durch die Konstruktion und die im Programm definierten Freiheitsgrade – und der Umwelt, in welcher das System agiert. Ein regelbasiertes System, bei welchem für jede mögliche (sprich: durch den Konstrukteur vorausgesehene) Situation die Handlung bereits vordefiniert wird, ist nicht autonom. In einem ausführlicheren Sinn lässt sich Maschinenautonomie so umschreiben, dass das System eine Entscheidungsfähigkeit im Sinn von Planen, Schlussfolgern und Abschätzen von Konsequenzen besitzt, die auf sensorischem Input basiert und deren Randbedingungen durch Vorgaben und Regelungen gegeben sind. Weiter soll das System Zielvorgaben durch die Kombination von Planungs- und Überwachungsschritten selbstständig durchführen können, eine gewisse Lernfähigkeit besitzen sowie mit anderen autonomen Systemen kooperieren können (Strube, 1996, Stichwort «Robotik»). Bei autonomen Systemen wird bewusst eine Unsicherheit bezüglich des Verhaltens des Systems in

Kauf genommen. Damit ermöglicht man es dem System, neuartige Lösungen für eine bestimmte Aufgabe zu entwickeln.

Nicht alle Roboter sind autonome Roboter. Solche zählen zur dritten Robotergeneration. Vertreter der ersten Generation werden auch «programmierbare Manipulatoren» (klassische Industrieroboter) genannt. Sie agieren in einer fix definierten Umwelt auf eine fest vorgegebene Weise. Roboter der zweiten Generation nennt man «adaptive Roboter». Deren Umwelt ist flexibler, doch der Roboter handelt im Sinn eines regelbasierten Systems, bei welchem für jeden voraussehbaren sensorischen Input die Handlung vorgegeben wird.

Ein kennzeichnendes Element der modernen Robotik ist schließlich der Versuch, Roboter bestehend aus (teil-)autonomen Modulen aufzubauen. Diese Module besitzen einen verhältnismäßig einfachen Aufbau, bestehend aus Sensoren, Aktoren und Prozessoren, und können sich zu größeren Einheiten strukturieren (Kamimura et al., 2001). Derartigen Systemen kann man eine Form der Selbstreparatur verleihen, indem fehlerhafte Module in der Struktur erkannt und ausgestoßen werden. Damit wird eine wichtige Eigenschaft biologischer Systeme technisch umgesetzt (Von Neumann, 1966).

4.2. Humanoide Roboter

Humanoide Roboter sind Systeme, die mindestens Teilaspekte des menschlichen Körpers bezüglich Form und Funktion realisieren. Bekannte Beispiele sind der Roboterkopf Kismet des MIT[4], der Honda-Roboter Asimo[5] und der Roboter DB des «CyberHuman Project»[6]. Humanoide Roboter haben ein mit menschlichen Körpern oder Körperteilen vergleichbares Aussehen – also beispielsweise zwei optische Sensoren («Augen»), um räumliches Sehen zu ermöglichen, zwei «Arme» mit vergleichbaren Bewegungs-Freiheitsgraden wie der Mensch (Dimensionierung, Anzahl Gelenke etc.), oder zwei «Beine», welche Fortbewegung im Sinn von Gehen oder Laufen erlauben. Manche Autoren halten fest, dass humanoide Roboter ein mit dem menschlichen Verhaltensrepertoire vergleichbares Verhalten aufweisen sollten (Brooks, 1996).

4 http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/
5 http://world.honda.com/robot/
6 http://www.his.atr.co.jp/cyh/

Humanoide Roboter sollen die Postulate der Maschinenautonomie erfüllen. Insbesondere sollen folgende Aspekte technisch umgesetzt werden (Arbib, 2001, Stichwort «Robot Control» und andere entsprechende Einträge):

- Direkte senso-motorische Kopplung: Teilaspekte des Verhaltens des Roboters sollen nicht über einen Soll-Ist-Vergleich mit sensorischem Input und einem internen Welt-Modell auf einer hohen hierarchischen Ebene erfolgen, sondern direkt über eine Kopplung von Sensoren und Aktoren auf einer tiefen hierarchischen Ebene, vergleichbar etwa mit einem Reflex.

- Integration autonomer Subsysteme: Das Verhalten des Roboters soll nicht aus einer zentralen Steuerungseinheit resultieren, sondern vielmehr das Ergebnis einer Abstimmung unter verschiedenen, teilautonomen Subsystemen sein. Diese Abstimmung soll eine Form der Selbstorganisation sein.

- Lernfähigkeit: Das Handeln des Roboters in seiner Welt soll es ihm ermöglichen, gewisse Kenntnisse von dieser Welt zu erlangen (Schaal, 2001). Die Art und Weise des Lernens soll durch die Nachbildung der strukturellen Randbedingungen des menschlichen Körpers beeinflusst werden.

- Kommunikation: Der Roboter soll ein «Interface» besitzen, das es ihm erlaubt, auf vielfältige Weise mit einem menschlichen Partner zu kommunizieren. Nebst Sprache beinhaltet dies beispielsweise Gestik und Mimik (Brooks, 1996).

- Körpermodell: Der Roboter soll in der Lage sein, eigenständig zu einem Körpermodell zu gelangen. So soll der Roboter beispielsweise in der Lage sein, mittels Selbstberührung und Beobachtung «eigene» von «fremden» Teilen unterscheiden zu können (Asada, 2002).

Roboter sind konkrete Objekte und interagieren mit der physikalischen Welt. Ihr Einsatz in der Wissenschaft ist kennzeichnend für das Konzept des «embodiments», welches die moderne KI-Forschung und die sogenannte «embodied cognitive science» prägt (Pfeifer, 1999, Ka-

pitel 3 und 4). Bei der Analyse bzw. der Konstruktion «intelligenter Systeme» ist demnach das Körperhafte dieser Systeme sowohl in praktischer wie theoretischer Hinsicht relevant. Dies ermöglicht die Situiertheit dieser Systeme, also deren Einbettung in eine physikalische Welt, so dass das System nicht auf einer abstrakten Beschreibungsebene operiert, sondern mit seinen Sensoren auf das Hier und Jetzt reagiert (Wilson, 1999, Stichwort «Situatedness / Embeddedness»). Verkörperung und Situiertheit bilden heute wichtige Prinzipien für den Bau autonomer Roboter (Brooks, 2002, S. 62 ff.).

Damit wird der Roboter nicht nur zu einer im Hinblick auf bestimmte Aufgaben konstruierten Maschine, sondern im Sinn eines «physikalischen Modells» ein Instrument der Forschung. In den Neurowissenschaften beispielsweise dienen Roboter zur Prüfung von Hypothesen über die senso-motorische Kopplung der Steuerung von Bewegung und Verhalten (Webb, 2002). Humanoide Roboter sollen ebenfalls Forschungsinstrumente werden, mit deren Hilfe man mehr über den menschlichen Körper erfahren will (Brooks, 2002, S. 78 ff.). Es ist überdies bezeichnend, dass die Diskussion um «künstliches Bewusstsein» oft am Beispiel von Robotern geführt wird (Dennett, 2001). Künstliche Körper in Form von Robotern sind demnach eine Herausforderung für die Ontologie, da der Anspruch erhoben wird, «wesentliche» Unterschiede zwischen natürlichen und künstlichen Körpern bestünden nicht (Brooks, 2002, Kapitel 10).

5. Die Ontologie des künstlichen Körpers

5.1. Die relevanten Fragen

Zuweilen wird der Verdacht geäußert, hinter der Suche nach Unterschieden zwischen natürlichen und künstlichen Körpern verberge sich der Wunsch des Menschen, eine Sonderstellung beibehalten zu wollen (Dennett, 2001). Könnte ein solcher Unterschied gleichsam ontologisch festgenagelt werden, so wäre dies eine Garantie gegen weitere Kränkungen. Es stellen sich demnach zwei Fragen: Lässt sich aufgrund des gewählten Kategorienschemas ein solcher Unterschied diagnostizieren? Wenn nein: Welche sortalen Begriffe sind zentral, um die ontologische Verschiedenheit zwischen natürlichen und künstlichen Körpern feststellen zu können?

Bezüglich der Kategorie Struktur zeigt sich rasch, dass diese sowohl von Prothesen wie von humanoiden Robotern realisiert wird, da diese konkrete Dinge sind und deren Teile eine bestimmte, charakteristische Anordnung im Raum haben. Das Argument des Fließgleichgewichts bei natürlichen Körpern – also die Unabhängigkeit der Struktur von der konkreten materiellen Realisierung – findet auch bei künstlichen Körpern Anwendung, deren Material im Fall von Reparaturen ebenfalls ausgewechselt werden kann, ohne dass dies die Struktur wesentlich verändert. Diese Feststellung ist nicht überraschend. Interessanter wird die Analyse bei den Kategorien Ereignisse und Personen.

Bei der Kategorie Ereignisse zeigt sich, dass solche von Prothesen in der Regel nicht realisiert werden, denn sie sind eingebunden in den Funktionszusammenhang des ganzen Körpers und unterliegen insbesondere einer Steuerung von außen. Dieser Sachverhalt muss aber mit der Beobachtung ergänzt werden, dass vermehrt Prothesen entwickelt werden, welche entweder nicht mehr bewusst gesteuert werden oder aufgrund einer internen senso-motorischen Kopplung zumindest in einem gewissen Rahmen ein autonomes Verhalten zeigen können. Dieser Aspekt der Autonomie ist im Falle humanoider Roboter noch ausgeprägter. Ein autonomes System im Sinn der Postulate der Maschinenautonomie realisiert Ereignisse im geforderten Rahmen – unterscheidbare zeitliche Abläufe mit einer gewissen kausalen Geschlossenheit. Die kausale Geschlossenheit ist dadurch gegeben, dass kein explizites Kontrollsystem existiert, welches das Verhalten des Systems determiniert. Insofern ist die Kategorie Ereignisse kein klares Unterscheidungsmerkmal zwischen natürlichen und künstlichen Körpern.

Die bezüglich Unterscheidungskraft hoffnungsvollste Kategorie ist sicher die Kategorie Personen. Im Fall von Prothesen ist die Sachlage klar: Keine Prothese realisiert die Kategorie Personen. Vielmehr werden sie in einen Körper integriert, der als ganzes die Kategorie Personen realisiert. Im Fall humanoider Roboter fällt das Urteil aber nicht mehr so klar aus. Ihr Einsatz als Instrument für die Erforschung menschlicher Verhaltensweisen kann durchaus dazu führen, dass dereinst einige solcher Roboter die Kategorie Personen realisieren, beispielsweise im Sinn eines «künstlichen Bewusstseins». Freilich stellt sich die Frage, wie Fremdbewusstsein als solches erkannt werden soll. Ob dies im Sinne eines Turing-Tests (Turing, 1992) geschehen soll, ist durchaus fraglich, da nicht gesagt ist, dass dieses künstliche Bewusstsein anthropomorph ist. Als Alternative wird vorgeschlagen zu prüfen, ob ein technisches System innere Zustände erreichen und dem Men-

schen mitteilen kann, über deren Vorhandensein und Inhalt der Mensch durch andere Messungen am System nicht oder nur sehr schwierig Auskunft erhalten kann (Dennett, 2001). Dass solches möglich werden kann, lässt sich keinesfalls ausschließen. Zudem muss generell bemerkt werden, dass viele mit der Philosophie des Geistes verbundene Fragen wie die Definition von Bewusstsein oder der Status von Qualia sehr kontrovers diskutiert werden. Je nach Standpunkt in dieser Debatte wird man in der Kategorie Personen demnach ein klares oder ein fragliches Unterscheidungsmerkmal sehen – vor allem im Hinblick auf künftig mögliche Entwicklungen.

Die bisherigen Überlegungen zeigen, dass eine kategoriale Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Körpern mit Schwierigkeiten verbunden ist. Natürlich lässt sich einwenden, dass das gewählte Kategorienschema dafür nicht ausreichend sei. Andererseits zeigt das Scheitern historischer Beispiele, wie die Descartsche dualistische Ontologie oder die Postulierung einer nur den Lebewesen zukommenden Kategorie im Vitalismus, die Schwierigkeit, mittels kategorialer Unterschiede die Sonderstellung natürlicher Körper aufrecht erhalten zu wollen. Trotzdem, die Unterschiede zwischen natürlichen und künstlichen Körpern sind offensichtlich. Sie liegen aber auf einer anderen ontologischen Ebene, denn sie betreffen sortale Begriffe innerhalb der drei Kategorien Struktur, Ereignis und Person. Diese Feststellung soll nachfolgend präzisiert werden.

Ein frappanter Unterschied hinsichtlich der Struktur natürlicher und künstlicher Körper lässt sich wie folgt verdeutlichen: Untersucht man einen beliebig gewählten Kubikzentimeter Material des menschlichen Körpers, hat man es in der Regel mit außerordentlich reich strukturierter Materie auf den verschiedensten Größenordnungen (Moleküle, Organelle, Zellen, Gewebe) zu tun. Bei einem vergleichbaren Stück eines künstlichen Körpers ist diese Struktur – wenn man nicht gerade einen Prozessor erwischt hat – viel einfacher. Diese Differenz wird gemeinhin mit dem Begriff der Komplexität umschrieben. Somit besteht die Herausforderung darin, entlang der Achse Komplexität sortale Begriffe einzuführen, welche sich für relevante Unterscheidungen bezüglich Struktur eignen. Dies ist heute ein ungelöstes Problem, da eine Vielzahl unterschiedener Komplexitätsbegriffe existiert – sowohl bezüglich Anwendungsfeld als auch bezüglich ihrer konkreten Ausgestaltung, etwa im Sinn eines Komplexitätsmaßes (Christen, 1996). Bei der Einführung solch sortaler Begriffe wird man vermutlich die Entstehungsgeschichte dieser Strukturen berücksichtigen müssen, da natürliche Körper Pro-

dukte der Evolution sind und künstliche Körper mit Hilfe eines Konstruktionsplanes gebaut werden. Interessant ist die Frage, inwieweit man bei konstruierten Systemen künftig eine Form der Selbstorganisation bei der Strukturbildung erlaubt bzw. implementiert und welche Auswirkungen dies auf die Klassifizierung künstlicher Körper bezüglich der Achse Komplexität hat.

Bezüglich der Kategorie Ereignis hat sich bereits mehrfach die Frage nach der Autonomie der Systeme gestellt. Autonomie ist ein wichtiger philosophischer Begriff, denkt man etwa an Immanuel Kant, der in der Autonomie einen Wesenszug des Menschen als frei handelndes Vernunftwesen sieht. Maschinenautonomie geht nicht so weit, charakterisiert aber eine eigene Klasse von technischen Systemen im Unterschied zu regelbasierten Systemen. Demnach stellt sich das Problem, sortale Begriffe bezüglich Ereignisse entlang der Achse Autonomie einzuführen.

Hinsichtlich der Kategorie Person schließlich wird oft der Begriff der Emergenz gebraucht, um die Entstehung von Entitäten, die der Kategorie Person zugeordnet werden, zu beschreiben (Kim, 1998, Kapitel 9). Demnach bietet sich an, in der Kategorie Person sortale Begriffe entlang der Achse Emergenz einzuführen, welche beispielsweise zwischen verschieden Stärken von Emergenz unterscheiden. Der Begriff der Emergenz ist in der Philosophie nicht unumstritten (Hoyningen-Huene, 1994) und es gilt der Herausforderung zu bestehen, empirisch prüfbare Aspekte des Emergenzbegriffs herauszuarbeiten, damit sich entlang der Achse Emergenz sortale Begriffe einführen lassen.

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen: Eine kategoriale Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Körpern ist unbefriedigend, da sich eine solche nur für die Kategorie Personen zu ergeben scheint, die selbst aber Gegenstand kontroverser Debatten bezüglich des Status von Entitäten wie Bewusstsein und Qualia ist. Viel versprechender ist die Unterscheidung bezüglich sortaler Begriffe entlang der Achsen Komplexität, Autonomie und Emergenz. Dies ist kein rein philosophisches Unterfangen mehr, sondern bedingt die Zusammenarbeit mit jenen wissenschaftlichen Disziplinen (Mathematik, Physik, Automatentheorie, Neurowissenschaft), welche von einem anderen Blickwinkel aus auf diese Fragen treffen. Der Beitrag der Philosophie wird eine Klärung der drei beschriebenen Begriffsfelder sein, was noch nicht im erforderlichen Ausmaß geschehen ist.

5.2. Zur Verschmelzung Mensch-Maschine

Angesichts der schwierigen kategorialen Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Körpern stellt sich schließlich die Frage, was von der Metapher der «Verschmelzung von Mensch und Maschine» zu halten ist. Diese Untersuchung soll hier nur skizzenhaft geführt werden, indem für die beiden Gebiete Prothetik und Robotik einige Kernprobleme aufgelistet werden, ohne dass weiter auf diese eingegangen wird. Dabei soll insbesondere auf zwei ethische Probleme hingewiesen werden.

Im Rahmen der Prothetik führt die Metapher zur Cyborg-Debatte. Der Begriff Cyborg wurde als Vision für die Verschmelzung Mensch-Maschine eingeführt (Clynes / Kline, 1960). Grundidee des Cyborgs ist die Entwicklung von technischen Ersatzsystemen für Teile des menschlichen Körpers mit dem Ziel, dessen Einsatzmöglichkeit zu erweitern. Insofern macht ein «reparativer» Eingriff in den Körper – also etwa die Implantierung eines Herzschrittmachers – den Menschen noch nicht zum Cyborg. Der Schritt zum Cyborg wird erst dann vollzogen, wenn der Bereich der «additiven Prothetik» erreicht wird. Doch wann ist dies der Fall?

Unplausibel ist, dass die bloße Nutzung von Maschinen schon ein «Verschmelzen» darstellen soll – ansonsten wäre die Verschmelzung von Mensch und Maschine alltäglich. Ein erster Aspekt bezüglich Verschmelzen könnte die Integration einer Prothese in das Körperbild (die neuronale Repräsentation des Körpers im Gehirn) eines Menschen sein, was freilich einer entsprechenden naturwissenschaftlichen Untersuchung bedarf. Ein weiterer Aspekt besteht in der Kopplung von Prothesen mit dem Körper ihres Trägers derart, dass die Stoff- und Informationsflüsse zwischen Prothese und Körper eine vergleichbare Größenordnung erreichen wie jene zwischen Körperteilen untereinander. Derartiges erreichen derzeit nur biologische Prothesen. Würden jedoch technische Geräte ebenfalls in diesem Sinn in den Körper «eingebaut», dürften sie einen eigentlichen Teil des Körpers werden. Handelt es sich schließlich bei derartigen Prothesen um solche, welche dem menschlichen Körper neuartige Eingriffsmöglichkeiten in dessen Umwelt geben, wäre der Schritt zur «additiven Prothetik» erreicht und man könnte im eigentlichen Sinn von einem Cyborg sprechen.

Folgendes ethisches Problem stellt sich in diesem Fall: Menschliche Körper haben vielfältige Formen und nur bei einigen davon spricht man von mangelhaften Körpern (z. B. fehlende Gliedmaßen), die mittels

Prothetik korrigiert werden sollten. Die Frage, was ein solcher Mangel ist, orientiert sich sowohl am technisch Machbaren als auch am kulturell geprägten Menschenbild. Erlaubt eine künftige «additive Prothetik» ein weit gehendes Ergänzen des menschlichen Körpers, stellen sich die Fragen, wie sich dieses Menschenbild ändern wird, welche zusätzlichen Funktionen als «normal» angesehen werden und ob dies beispielsweise zu einer neuen Form von Klassengesellschaft führen wird. Man gelangt in ein Diskussionsfeld, das auch im Hinblick auf eine mögliche «genetische Optimierung» des Menschen vermehrt Beachtung findet.

Bezüglich der Robotik ist festzuhalten, dass führende Robotiker den Unterschied zwischen Mensch und Maschine für rein metaphorisch, bestenfalls quantitativ – etwa im Sinn der Strukturiertheit des involvierten Materials – halten (Brooks, 2002, Kapitel 10). Damit wird die von Descartes eingebrachte Maschinenmetapher für lebende Systeme mit Ausnahme des Menschen auf den Menschen ausgeweitet – eine Tradition, die gemeinhin mit Julie Offray de La Mettrie in Verbindung gebracht wird (Offray de La Mettrie, 1988). Will man von einem materialistischen Weltbild ausgehen, ist die Analogie von Mensch und Maschine kein Affront. Auch im Rahmen der hier vorgestellten Analyse ist die Möglichkeit einer solchen Vergleichbarkeit gegeben, doch von einer eigentlichen Analogie kann nicht gesprochen werden. Unterschiede zwischen Mensch und Maschine müssten jedoch entlang den bereits geschilderten Achsen Komplexität, Autonomie und Emergenz gesucht werden.

Hinsichtlich der ethischen Relevanz ist dabei vor allem die Frage der Maschinenautonomie zentral. Autonome technische Systeme werden künftig vermehrt Anwendung finden, womit sich beispielsweise die Frage stellt, inwieweit Menschen durch automatisierte Formen der Entscheidungsfindung umgangen werden (Kündig, 2002). Fragen der ethischen Relevanz der Maschinenautonomie werden in der heutigen ethischen Debatte kaum behandelt. Da aber künstliche Körper vermehrt in unserer Welt Platz finden werden, lässt sich hier ein weiteres Problem diagnostizieren, zu deren Lösung die Philosophie beitragen sollte.

Literatur

ARBIB, M. A. (ed.) (2001): *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, Cambridge/London

ASADA, M. (2002): *Body Scheme Acquisition by Cross Map Learning in Tactile, Image and Somatosensory Spaces*, Vortrag anlässlich der «Brown Bag Sessions» des Instituts für Informatik der Universität Zürich vom 17. April 2002

Brooks, R. A. (2002): *Menschmaschinen. Wie uns die Zukunftstechnologien neu erschaffen*, Frankfurt am Main

— (1996): *Prospects for Human Level Intelligence for Humanoid Robots*, Proceedings of the 1st Int. Symposium on Humanoid Robots (HURO-96), Tokyo, Japan

CHRISTEN, M. (1996): *Zweifel am Rande des Chaos. Wissenschaftstheoretische Probleme der Komplexitätsforschung*, Lizentiatsarbeit Universität Bern

CLYNES, M. / KLINE, N. (1960): «Cyborgs and Space», in: *Astronautics*, September 1960, S. 26 f. und 74 f.

DENNETT, D. (2001): «COG: Schritte in Richtung auf Bewusstsein in Robotern», in: T. METZINGER (Hg.), *Bewusstsein. Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*, Paderborn

GEARY, J. (2002): *The body electric. An anatomy of the new bionic senses*, London

GUARINO, N. / GIARETTA, P. (1995): «Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification», in: N. MARS (ed.), *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, Amsterdam, S. 25-32

HOYNINGEN-HUENE, P. (1994): «Zu Emergenz, Mikro- und Makrodetermination», in: W. LÜBBE (ed.), *Kausalität und Zurechnung. Über Verantwortung in komplexen kulturellen Prozessen*, Berlin / New York

JAHN, I. (Hg.) (2000): *Geschichte der Biologie*, Heidelberg / Berlin

KAMIMURA, A. / MURATA, S. / YOSHIDA, E. / KUROKAWA, H. / TOMITA, K. / KOKAJI, S. (2001): *Self-Reconfigurable Modular Robot – Experiments on Reconfiguration and Locomotion. Proceedings of 2001*, IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, S. 590-597

KIM, J. (1998): *Philosophie des Geistes*, Wien / New York

KÜNDIG, A. (2002): *A Basis for IT Assessment. Bericht des Schweizer Zentrum für Technikfolgenabschätzung*, September 2002

MARKS, J. (1995): *Human Biodiversity: Genes, Race and History*, New York

OFFRAY DE LA METTRIE, J. (1988): *Der Mensch als Maschine*, Nürnberg

NICOLELIS, M. A. L. (2001): «Actions from thoughts», *Nature* 409, S. 403-407

PFEIFER, R. / SCHEIER, CH. (1999): *Understanding Intelligence*, Cambridge / London

PSCHYREMBEL (1997): *Klinisches Wörterbuch*, Berlin

RODENBECK, E. (1995): *No Man's Land. Bodies and Technology in the First World War*, siehe unter: http://eric.stamen.com/ww1/nomans/nomansland.pdf

RUNGGALDIER, E. / KANZIAN, CH. (1998): *Grundprobleme der Analytischen Ontologie*, Zürich

SCHAAL, S. (2001): «Robot Learning», in: M. ARBIB, (ed.), *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, Cambridge / London

SCHÜTZ, E. / THANOS, S. (2002): «Reparatur für das ZNS: Bypässe, Stammzellen oder Neurochips? – Gratwanderung zwischen Wunsch und Machbarkeit», in: *Neuroforum* 1, S. 155-161

STRAIN, A. J. / NEUBERGER, J. M. (2002): «A Bioartificial Liver – State of the Art», in: *Science special: Bodybuilding: The Bionic Human. Science* (295), 8. February, S. 1005-1009

STRUBE, G. (Hg.) (1996): *Wörterbuch der Kognitionswissenschaften*, Stuttgart

TURING, A. (1992): «Maschinelle Rechner und Intelligenz», in: D. R. HOFSTADTER / D. DENETT, *Einsichten ins Ich*, München

VON NEUMANN, J. (1966): *The Theory of Self-Reproducing Automata*, Edited and completed by A. W. BURKS, Urbana / London

WEBB, B. (2002): «Robots in invertebrate neuroscience», *Nature* 417, 2002, S. 359-363

WILSON, R. A. / KEIL, F. C. (eds.) (1999): *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, Cambridge / London