

7. Verkörperlichung und situative Einbettung (*embodied/embedded cognition*)

Historisch findet die Idee der Verkörperlichung ihre Vorläufer in der phänomenologischen Tradition bei Edmund Husserl, Martin Heidegger, Maurice Merleau-Ponty und Hubert Dreyfus sowie in der entwicklungspsychologischen Tradition bei Lev Vygotski, Alexander Luria und Jean Piaget. Für Merleau-Ponty (1945) z. B. spielte der Leib als Bedingung der Möglichkeit von Welt- und Selbstwahrnehmung eine zentrale Rolle. Systematisch gewann diese Idee an Bedeutung, als in den 1990er Jahren das Roboter-Fußballspiel (s. Kap. II.B.2) nach und nach den Turm von Hanoi als klassische Herausforderung an maschinelle Intelligenz abzulösen begann. Hierin drückt sich ein erheblicher Paradigmenwechsel aus, der sich während der letzten beiden Dekaden innerhalb der Künstliche-Intelligenz-Forschung (KI) vollzogen hat. In der klassischen KI (s. Kap. II.B.1) wurde Kognition im Wesentlichen als das regelgeleitete Abarbeiten von Symbolisten aufgefasst – und Problemstellungen wie der Turm von Hanoi, das Schachspiel oder die Entwicklung von Expertensystemen waren gut verträglich mit dieser Doktrin (s. Kap. III.1). Demgegenüber stellt die Fähigkeit natürlicher kognitiver Systeme, aktiv ihre Umwelt zu explorieren und auf unerwartete Umweltbedingungen angemessen zu reagieren, eine große Herausforderung dar, die mittlerweile als entscheidend für ein vertieftes Verständnis von Kognition angesehen wird. ›Angemessen‹ bezieht sich dabei auf wenigstens dreierlei:

- *zeitliche Angemessenheit*: das System muss auf einer der Problemstellung angepassten Zeitskala reagieren;
- *energetische Angemessenheit*: der energetische Aufwand muss in einem angemessenen Verhältnis zur Problemstellung stehen;
- *computationale Angemessenheit*: der interne Informationsverarbeitungsaufwand muss in einem angemessenen Verhältnis zur Problemstellung stehen.

Vor allem im Hinblick auf den energetischen und computationalen Aufwand ergeben sich mit der Umorientierung zu aktiv ihre Umwelt explorierenden kognitiven Systemen Forderungen nach Schlankheit und Ressourcenschonung, die in der klassischen

KI nicht in den Blick genommen wurden, denen durch die Ausnutzung der spezifischen körperlichen Verfasstheit kognitiver Systeme und ihrer spezifischen situativen Einbettung in die Umwelt aber gerade Rechnung getragen werden kann. Ein lehrreiches Beispiel bieten passiv-dynamische Laufmaschinen. Dabei handelt es sich um rein mechanische Konstruktionen, die ihre natürlichen Bewegungsfreiheitsgrade in selbststabilisierender Weise nutzen, um z. B. eine schiefe Ebene hinabzulaufen. Die Energie stammt dabei im Idealfall gänzlich aus der Gravitation oder aus kleinen, energieeffizienten Aktoren. Zwar können derartige Systeme bisher nur wenige einfache Bewegungen ausführen, ihre Energieeffizienz ist aber durchaus vergleichbar mit derjenigen von Lebewesen. Ein weiteres Beispiel sind Rodney Brooks' Arbeiten Anfang der 1990er Jahre, die u. a. provokante Titel wie ›Intelligence without representation‹ oder ›Intelligence without reason‹ tragen (vgl. Brooks 1999). Die von Brooks entworfene Subsumptionsarchitektur (*subsumption architecture*) gestattet die Konstruktion einfacher Roboter, die sich in dynamischen Umgebungen flexibel bewegen können, statt einer aufwendigen internen Repräsentation der Umgebung jedoch auf ein breites Angebot von Verhaltensroutinen zurückgreifen (s. Kap. IV.24), die je nach Sensorinput adäquat ausgewählt werden und für eine bestimmte Zeit die Steuerungsoberhand behalten, was eine computationally schlanke und gleichzeitig flexible Navigation in Echtzeit erlaubt.

Konzepte von Verkörperlichung und situativer Einbettung erfreuen sich in der Robotik (s. Kap. II.B.2) mittlerweile eines hohen heuristischen Werts. Rolf Pfeifer z. B. listet Designprinzipien auf, denen die Entwicklung autonomer Roboter genügen sollte (Pfeifer/Bongard 2007; Pfeifer/Scheier 1999). An oberster Stelle steht für Pfeifer dabei zunächst das *Drei-Konstituenten-Prinzip*, ein Metaprinzip, das den Kontext bestimmt, in den das Roboterdesign eingebettet ist: Man benötigt demnach die Definition einer ökologischen Nische, der gewünschten Verhaltensweisen und Aufgabenstellung sowie das eigentliche Agentendesign. Zu den weiteren Prinzipien zählen das *Vollständige-Agenten-Prinzip* (Agentensysteme müssen autonom, verkörperlicht und situativ in ihre Umwelt eingebettet sein) und das *Prinzip des sparsamen Designs* (Agentensysteme sollten die physikalischen Randbedingungen der ökologischen Nische nutzen). Eines von zahlreichen Beispielen von Systemen, die diesen Prinzipien genügen, ist PUPPY, ein vierbeiniger Roboter, bei dem die äußere Konstruktion und Morphologie in besonders

eleganter Weise auf die innere dynamizistische Antriebsmaschinerie und die Umwelt abgestimmt sind (Pfeifer/Bongard 2007). Anthropomimetische Systeme wie ECCEROBOT sind darauf angelegt, die menschliche Muskel-, Skelett- und Gelenkstruktur so nachzuahmen, dass sich die Materialeigenschaften biologischer Komponenten für die Motorik, Dynamik und Energetik des Roboters ausnutzen lassen (Holland/Knight 2006; s. Kap. III.5).

Andere Beispiele ergeben sich im Rahmen von Schwarmintelligenz, Simulationen und künstlichen Multiagentensystemen. Zu den Herausforderungen dabei zählt es, eine Kollektion von mit elementaren Verhaltensroutinen ausgestatteten Einzelsystemen zu neuartigem und komplexem Verhalten auf der Ebene der Gruppe zu bringen, ohne dabei auf zentrale Planungs- und Organisationseinheiten zurückzugreifen. Ein einfaches Beispiel bietet das System NERD HERD (Mataric 2007), dessen mit nur fünf elementaren Bewegungsroutinen (z.B. Folgen und Abstandhalten) ausgestatteten mobilen Roboter ein komplexes Schwarmverhalten ausbilden können. Eine weitere zentrale Fragestellung gehört in den Gegenstandsbereich der evolutionären Robotik (s. Kap. III.5). Dort geht es u. a. darum, die Morphologie und das Kontrollsystem von Robotern selbst zum Gegenstand einer dynamischen Entwicklung zu machen. Ambitioniertere Systeme dieser Art existieren allerdings bislang vornehmlich als Simulationen.

Mentale Repräsentationen

Nach traditioneller Auffassung kommt dem Konzept der Repräsentation für das Wesen von Kognition entscheidende Bedeutung zu (s. Kap. IV.16). Hurley (1998) nennt dies die Sandwich-Konzeption des Geistes: Kognitive Systeme agieren auf der einen Seite mit perzeptuellem Input und reagieren auf der anderen Seite mit motorischem Output, und zwischen beiden Seiten vermitteln *Repräsentationen*. Ansätze von Verkörperlichung und situativer Einbettung führen zu Abschwächungen dieser Konzeption. Die zentrale Frage dabei ist, ob kognitive Prozesse und Aktivitäten sowie die mit ihnen einhergehenden repräsentationalen Fähigkeiten eines kognitiven Akteurs rein intern sind oder bis zu welchem Grade sie durch externe Körper- oder Umgebungsbedingungen mit geprägt oder mit konstituiert werden. Es lassen sich verschiedene Formen von Verkörperlichung bzw. situativer Einbettung unterscheiden (s. u.):

- *Schwache Verkörperlichung*: Kognitive Systeme verfügen über interne Repräsentationen, deren Gehalt, Struktur und Datenformat durch körperliche bzw. situative Bedingungen geprägt sind.
- *Starke Verkörperlichung*: Kognitive Systeme verfügen über Repräsentationen, deren Gehalt, Struktur und Datenformat durch körperliche bzw. situative Bedingungen konstituiert sind.
- *Radikale Verkörperlichung*: Kognitive Systeme verfügen über keinerlei Repräsentationen. Fähigkeiten und Leistungen kognitiver Systeme beruhen sämtlich auf körperlichen bzw. situativen Gegebenheiten sowie Körper-Umgebungs-Interaktionen.

Von der Frage nach der Bedeutung des Konzepts von Repräsentationen für das Wesen von Kognition ist die Frage zu unterscheiden, wie mentale Repräsentationen ihren semantischen Gehalt erlangen, wie also der Schritt von einer rein syntaktischen Ebene zur Ebene der Symbolbedeutungen vollzogen werden kann (s. Kap. III.1). In diesem Zusammenhang wurde verschiedentlich die These vertreten, dass Verkörperlichung und situative Einbettung zur Lösung des *symbol grounding problem* (Harnad 1990) beitragen können. Die Grundidee ist, dass Repräsentationen über verkörperlichtes Verhalten und Handeln bzw. die situative Einbettung kognitiver Systeme direkt in der Welt verankert sind. Wie z. B. Steels (2010) behauptet, lässt sich die Entstehung rudimentärer grammatischer und semantischer Strukturen auf der Basis von Sprachspielen erklären, an denen Populationen von Robotern beteiligt sind, deren Verkörperlichung sich bereits auf einfache Sensoren und Aktoren beschränkt. Rowlands (2006) versucht zu zeigen, dass sich der normative Charakter repräsentationalen Gehalts dadurch begründen lässt, dass er im Rahmen verkörperlichter und situativ eingebetteter Systeme direkt in Handlungen verankert ist, denen genuine Normativität zugesprochen wird.

Schwache Verkörperlichung

Im Rahmen von schwacher Verkörperlichung bzw. schwacher situativer Einbettung geht man von der Vorstellung aus, dass Gehalt, Struktur und Datenformat mentaler Repräsentationen durch körperliche bzw. situative Bedingungen geprägt sind. Beispielsweise kann man sich ein Passwort oder eine Geheimnummer merken, indem man das entsprechende Eingabemuster auf der Tastatur lernt, also eine mo-

torische anstelle einer propositionalen Repräsentation nutzt (s. Kap. IV.16). Diese Form von Verkörperlichung ist im Sinne von Ryles (1949) klassischer Unterscheidung typischerweise eine Form von Wissen-wie anstelle von Wissen-dass (s. Kap. IV.25).

Ein bedeutsamer Vorläufer der modernen Verkörperlichungsidee ist Gibsons (1979) ökologischer Ansatz in der Wahrnehmungspsychologie, wonach Aspekte der Umgebung Handlungsangebote (*affordances*) bieten und Wahrnehmungsrepräsentationen durch situative Handlungsmöglichkeiten bestimmt werden (s. Kap. IV.24). Clark (1997) spricht in diesem Zusammenhang von kontextabhängigen und handlungsbezogenen Repräsentationen (*action-oriented representations*). Die Handlungsbezogenheit verkörperlichter oder situativ eingebetteter Repräsentationen führt typischerweise dazu, dass mentale Repräsentationen Modelle des Körpers (oder von Teilen des Körpers) einbeziehen (s. u.). Auch Formen geteilter Intentionalität lassen sich als Beispiele handlungsbezogener und situierter Repräsentationen auffassen: Hierbei teilen verschiedene kognitive Akteure Handlungspläne und Handlungsziele, wobei jeder Akteur wechselseitig die Beiträge der Kooperationspartner zur Handlungsdurchführung sowie das gemeinsame Ziel repräsentiert (Tomassello et al. 2005). Die mentalen Zustände Anderer tragen in diesem Sinne zur situativen Einbettung bei.

Starke Verkörperlichung

Der starken These zufolge sind körperliche bzw. situative Bedingungen nicht nur mit prägend, sondern konstitutiv für Gehalt, Struktur und Datenformat mentaler Repräsentationen. Der Körper oder Teile des Körpers werden dabei typischerweise selbst zum Medium der Repräsentation. Thelen/Smith (1994) z. B. geben eine verkörperlichte Erklärung der Entwicklung des Laufverhaltens bei Babys, indem sie experimentell und theoretisch zeigen, dass eine wesentliche Kenngröße bei der Entwicklung des Laufreflexes das Gewicht der Beine, nicht aber die Modifikation interner Planungsrouninen ist.

Die Bedeutung aktiv-sensomotorischer Rückkopplungsschleifen bei der Bewegungssteuerung, etwa einem Greifprozess, wurde schon früh durch das sog. Reafferenzprinzip hervorgehoben (von Holst/Mittelstaedt 1950): Durch einen efferenten motorischen Reiz wird eine Körperbewegung ausgelöst, und die Steuerung des Greifprozesses besteht darin, die interne Reizspeicherung (die sog. Efferenzkopie) abzugleichen mit der reafferenten Rückmeldung,

also der sensorischen Information über die vom System selbst veranlasste aktive Motorik (im Falle des Greifens etwa die visuelle Kontrolle der Arm-, Hand- und Fingerbewegung). Dass es dabei wesentlich auf selbstgenerierte Bewegung ankommt, findet seine eindrucksvolle experimentelle Bestätigung in Zielbewegungsexperimenten mit Prismenbrillen: Eine effektive Adaptation an die durch das Prisma veränderten Wahrnehmungsinputs zeigen Probanden nur dann, wenn ihnen in der Trainingsphase die Möglichkeit zu aktiv durchgeführten Körpereigenbewegungen gegeben wird (Taylor 1963; für kritische Anmerkungen vgl. Klein 2007). Analog benötigt ein Musiker aktive Rückkoppelungen mit seinem Musikinstrument: Ein Tauber z. B. kann noch ein Tasteninstrument spielen, ein Mensch ohne Sensibilität in den Fingerspitzen jedoch sehr viel weniger. Die aktive Einbeziehung des Körpers v. a. in Form selbstgenerierter Eigenbewegungen machen diese Anwendungen des Reafferenzprinzips zu Fällen von starker Verkörperlichung.

Ein weiteres Beispiel aus der kognitiven Entwicklungspsychologie basiert auf dem durch Piaget bekannt gewordenen ›A-nicht-B‹-Fehler, dem Kinder im Alter von etwa sieben bis zwölf Monaten unterliegen: Man zeigt zwei Behältnisse A und B und versteckt vor den Augen des Babys ein Spielzeug oder eine Süßigkeit unter A. Das Baby greift nach A und wird fündig. Der Vorgang wird einige Male wiederholt, dann legt der Experimentator das Spielzeug oder die Süßigkeit unter B. Obwohl das Baby dies sehen konnte, greift es nach A, um dort zu suchen. Es liegt zunächst nahe, diesen Effekt als repräsentationale Fehlleistung, sei es bezüglich der Repräsentation des Außenraumes, des Objekts oder der Körper-Raum-Beziehung oder als Fehlleistung der Handlungsplanung zu interpretieren. Interessanterweise kann der Fehler durch die Variation eines Parameters, z. B. der Ausgangshaltung, aber verringert oder vermieden werden. Thelen und Kollegen bieten daher eine dynamizistische Analyse des ›A-nicht-B‹-Fehlers an (Thelen et al. 2001; Thelen/Smith 1994): Sie sehen das Verhalten des Babys als eine Folge des Ineinandergreifens mehrerer Komponenten der körperlichen Aktivität, wie Reproduktion des Bewegungsmusters, Körperstellung der Effektoren, Salienz des Reizes oder Reaktionszeiten. Das Baby vollführt seine Handlung also nicht unter Zuhilfenahme interner repräsentationaler Daten, sondern auf direkt motorisch-verkörperlichtem Wege. Der Körper bzw. körperliche Bewegungsmuster dienen mithin als direktes Medium der Repräsentation, so dass aufwendige explizite Repräsentationen der Außenwelt überflüssig sind.

Lyre (2008) diskutiert die Frage, ob und in welcher Form Bedeutungen existieren, die ausschließlich einem verkörperlichten System zugänglich sind. Indexikalische Bedeutungen sind naheliegende Kandidaten. Aus der nachrichtentechnischen Kommunikationstheorie ist speziell bekannt, dass sich der Unterschied von rechts und links (im starken, »intrinsischen« Bedeutungssinne und nicht nur im Sinne einer bloß relationalen Unterscheidung) nicht über einen seriellen Nachrichtenkanal übertragen lässt. Dies stellt die wesentlich indexikalische Natur der Ausdrücke »rechts« und »links« unter Beweis, die ostensiv definiert sind und sich auf keinerlei deskriptive Definition reduzieren lassen. Daraus lässt sich folgern, dass nur ein kognitives System mit einem nicht spiegel-symmetrischen Körper über die Bedeutung von rechts und links (im starken Sinne) verfügen kann.

Radikale Verkörperlichung

Die radikalen Formen von Verkörperlichung und situativer Einbettung sind Formen eines Anti-Repräsentationalismus bzw. repräsentationalen Eliminativismus (s. Kap. IV.16). Ein einfaches Beispiel für radikale Verkörperlichung bieten die oben bereits erwähnten passiv-dynamischen Laufmaschinen. In diesen Fällen ist ersichtlich kein Repräsentationsmedium zur Erbringung der motorischen Fähigkeit vorhanden, nicht einmal eine simple Regelungsmechanik.

Ein Beispiel nächsthöherer Stufe bietet der Watt'sche Fliehkraftregler – eine mechanische Realisation eines Regelkreises mit negativer Rückkopplung, der auf elegante Weise eine Steuerungsaufgabe erfüllt: Dreht sich der Fliehkraftregler aufgrund des Dampfmaschinen-drucks, werden zwei Gewichte gegen die Schwerkraft nach oben gehoben, wobei gleichzeitig über einen Hebelmechanismus die Dampfzufuhr der Maschine gedrosselt wird. Dies führt zu einer verminderten Drehung des Reglers und infolgedessen wieder zu einer erhöhten Dampfzufuhr, so dass die Maschine sich schließlich auf eine konstante Drehzahl einreguliert. Anstelle einer Steuerung, bei der zunächst alle relevanten Maschinenparameter durch Messfühler erfasst und danach in einem Programm verarbeitet werden, vollführt der Fliehkraftregler seine Steuerungsaufgabe ohne inneren computationalen Aufwand und in deutlichem Kontrast zu klassischen KI-Strategien, wie van Gelder (1995) hervorhebt.

Der Fliehkraftregler arbeitet zweifellos nicht-computational. Aber arbeitet er auch nicht-reprä-

sentational? Es ließe sich einwenden, dass sich die verschiedenen physikalischen Zustände des Reglergestänges durchaus als repräsentationale Zustände auffassen lassen; in ähnlicher Weise lassen sich die Zustandsbeschreibungen im Phasenraum eines dynamischen Systems repräsentational interpretieren (Schöner/Reimann 2008; s. Kap. III.4). Eine weitere problematische Frage ist, inwieweit sich ein radikaler Anti-Repräsentationalismus auch für höherstufige Formen von Kognition behaupten lässt (s. u.).

Obwohl Brooks sich in seinen Pionierarbeiten einer starken anti-repräsentationalistischen Rhetorik bediente und z. B. von der Welt als »*its own best model*« sprach und interne Repräsentationen für überflüssig erklärte (vgl. Brooks 1999; verwandte Thesen finden sich auch bei Elman et al. 1996 oder Thelen/Smith 1994), war seine Subsumptionsarchitektur *de facto* nicht frei von internen Repräsentationen, sondern lediglich besonders sparsam. Faktisch stellen radikale Verkörperlichung und radikale situative Einbettung – v. a. in der Robotik – oftmals eher eine Art Forschungsheuristik dar. Clark (1997, 148) charakterisiert die radikale Position in diesem Sinne wie folgt: »Structured, symbolic, representational, and computational views of cognition are mistaken. *Embodied cognition is best studied using noncomputational and nonrepresentational ideas and explanatory schemes*, and especially the tools of dynamic systems theory« (Hervorhebung H.L.).

Vertreter radikal anti-repräsentationalistischer Positionen finden sich auch im Rahmen philosophischer Debatten (z. B. Chemero 2009; Garzón 2008; van Gelder 1995), die dortige Thematik überschneidet und vermischt sich aber häufig mit der bereits erwähnten Frage nach der Verankerung mentaler Repräsentationen in der Welt. Eine naheliegende Kritik an der radikalen Position besteht darin, dass Formen von Verkörperlichung und situativer Einbettung allenfalls zur Erklärung niedriger, vorzugsweise mit Motorik verbundener Formen von Kognition beitragen können, sich aber nicht sämtliche höherstufige kognitive Leistungen, z. B. die Fähigkeit, Mathematik zu treiben, Schach zu spielen oder eine natürliche Sprache zu sprechen, auf körper- oder handlungsbezogene, nicht-propositionale Repräsentationen reduzieren lassen (s. Kap. IV.16). Clark/Toribio (1994) sprechen in diesem Zusammenhang von *representation-hungry problems*, d. h. von Problemen, die v. a. Fälle des Nachdenkens über abstrakte und/oder kontrafaktische Entitäten beinhalten. Für diese Art von Problemen, so argumentieren sie, sei nicht zu erwarten, dass sie sich ohne Rückgriff auf den Repräsentationalismus der älteren KI bewältigen lassen.

Verkörperlichung und Bewusstsein

Ein Großteil der bisherigen Darstellung war auf Intentionalität bezogen. Verkörperlichung und situative Einbettung lassen sich aber auch auf Phänomenalität beziehen. Dabei geht es zum einen um die Bedeutung beider Motive für qualitatives Erleben (s. Kap. IV.4), zum anderen um das Verständnis von Selbstbewusstsein (s. Kap. IV.18). Wiederum lässt sich dabei zwischen schwachen und starken bis radikalen Thesen unterscheiden. Einer schwachen These zufolge ist qualitatives Erleben abhängig von der Verkörperlichung und situativen Einbettung, einer stärkeren These zufolge wird qualitatives Erleben wesentlich durch den direkten Kontakt mit perzeptuellen Stimuli konstituiert (s. Kap. IV.19, Kap. IV.24). Für letztere These besteht insofern eine gewisse *prima facie* Plausibilität, als rein interne Repräsentationen eines Stimulus phänomenal weniger reichhaltig und bei weitem undifferenzierter sind als das unmittelbare Erleben eines Stimulus (aus diesem Grund wirken Menschen mit fotografischem Gedächtnis auf uns so faszinierend). Eine radikale These, wonach Wahrnehmungserleben überhaupt nur auf der Basis bestimmter motorischer Interaktionen mit der Welt möglich ist, wird vom Enaktivismus (s. Kap. III.9) vertreten (z.B. Hurley 1998; Noë 2009). Maiese (2011) ist der Meinung, dass Emotionen eine fundamentale Manifestation unserer Verkörperlichung sind, der insofern eine zentrale Rolle bei moralischen Bewertungen zukommt. Allerdings scheint keine der Thesen über die Verkörperlichung und situative Einbettung qualitativen Erlebens einen Anhaltspunkt dafür zu liefern, wie qualitatives Erleben als solches zustande kommt und wie somit das eigentliche sog. schwierige Problem des Bewusstseins zu lösen ist (s. Kap. IV.4), das darin besteht, eine adäquate physikalistische Erklärung von Qualia zu geben (s. Kap. II.F.1).

Auch Selbstbewusstsein scheint wesentlich an einen Körper und an ein Körperbewusstsein gebunden zu sein (Bermúdez et al. 1995). Die Vorstellung, dass sich Gehirn und Körper aufgrund einer chirurgischen Trennung an verschiedenen Orten befinden könnten, wirkt verstörend und untergräbt alle Intuitionen über das Selbst (Dennett 1978). Nach gängiger Auffassung ist zwischen dem Körper und einer internen Repräsentation des Körpers, dem Körpermodell, zu unterscheiden. Zahlreiche Fehlrepräsentationen und illusionäre Körperwahrnehmungen (bzw. Körperwahrnehmungsstörungen) zeigen, dass das Körpermodell ein mentales Konstrukt ist, dessen Grenzen nicht mit der Körpergrenze zusammenfal-

len müssen. Schon Merleau-Ponty (1945/1965, 182) z. B. wies darauf hin, dass der taktile Reiz eines Blinden nicht an der Haut beginnt, sondern am Ende des Blindenstockes: »[...] der Stock ist kein Gegenstand mehr, den der Blinde wahrnimmt, sondern ein Instrument, *mit* dem er wahrnimmt. Er ist ein Anhang des Leibes, eine Erweiterung der Leibessynthese«. Ein bekanntes Beispiel des Auseinanderfallens von Körper und Körpermodell ist die sog. Gummihandillusion: Die synchrone, taktile Reizung einer verdeckten Hand und einer sichtbaren Gummihand führt zu der fehlerhaften Wahrnehmung der Gummihand als körperzugehörig. Drastischere Beispiele sind neuropsychologische Störungen wie die Apraxie (Störung der Ausführung von Willkürbewegungen; s. Kap. IV.15), der neurologische Neglect (kontraläsionaler Ausfall der Körper- und Umgebungswahrnehmung), Phantomglieder oder die *body integrity identity disorder* (z.B. der krankhafte Wunsch nach Veränderung des Körpers durch Amputation).

Anbindend an die phänomenologische Tradition greift Shaun Gallagher (2005) die ältere Unterscheidung von zwei Arten von Körpermodellen, das Körperbild (*body image*) einerseits und das Körperschema (*body schema*) andererseits, auf. Das Körperbild ist ein System von (typischerweise bewussten) Wahrnehmungen, emotionalen Einstellungen und Überzeugungen über den eigenen Körper. Das Körperschema ist demgegenüber ein unbewusstes, automatisches System von sensomotorischen Prozessen zur konstanten Regulierung von Körperhaltung und Körperbewegung. Es umfasst auch die präreflexive und propriozeptive Wahrnehmung des Körpers. Nach Gallagher wird diese Unterscheidung durch neurologische Dissoziationsphänomene bestätigt: Deafferenzierte Patienten, die keine taktilen oder propriozeptiven Reize empfangen, sind nur unter großer mentaler Anstrengung und höchster Konzentration in der Lage, koordinierte Körperbewegungen auszuführen. Bei ihnen ist das Körperschema geschädigt und muss durch die Leistungen des Körperbildes ersetzt werden. Umgekehrt zeigen Neglectpatienten Ausfallerscheinungen, die als Schädigung des Körperbildes zu verstehen sind (sie rasieren z. B. nur eine Gesichtshälfte).

Thomas Metzinger (2006) unterscheidet drei Arten von Verkörperlichung. Verkörperlichung erster Ordnung bezieht sich auf die Anwendung von Verkörperlichung im Rahmen der Robotik (s. Kap. II.B.2) zur Herausbildung kognitiver Systeme unter weitgehendem Verzicht auf interne Repräsentationen (s. Kap. IV.16). Verkörperlichung zweiter Ord-

nung betrifft die Herausbildung einer einheitlichen Körperrepräsentation, eines Körpermodells, als kohärentem internen Selbstmodell der eigenen Verkörperlichung. Nach Metzinger fallen einige hoch entwickelte Roboter und einfache Lebewesen oder auch Schlafwandler in diese Kategorie. Auf der dritten Stufe wird dieses Körpermodell auf die Ebene bewussten Erlebens gehoben, d.h. zur virtuellen kommt eine phänomenale Ebene hinzu (s. Kap. IV.4). Hierzu zählen Systeme, die wie wir bewusst erleben können, dass sie einen eigenen Körper, Gefühle und eigene kognitive Prozesse haben. Derartige Systeme besitzen ein phänomenales Selbstmodell (s. Kap. IV.18). Im Falle von Phantomgliedern, im Traum oder bei außerkörperlichen Erfahrungen kann sich dieses phänomenale Selbstmodell von der Verkörperlichung erster Ordnung abkoppeln und könnte daher im Prinzip auch einem ›Gehirn im Tank‹ zukommen (Metzinger 2009).

Kommunikation, Sprache, Lernen, Mathematik

Bei der Entwicklung virtueller Agentensysteme liegt es nahe, zum Zwecke der nichtverbalen Kommunikation Stilprinzipien von Verkörperlichung zu berücksichtigen, da nichtverbale Kommunikationskanäle wie Gestik, Mimik und Körperhaltung, aber auch Blickverfolgung und Mechanismen gemeinsamer Aufmerksamkeit und geteilter Intentionalität, offensichtlich eines verkörperlichten Akteurs bedürfen (vgl. Wachsmuth et al. 2008; s. Kap. IV.10). Hierbei spielen auch Fähigkeiten sozialer Kognition, etwa das sog. *mindreading* (s. Kap. IV.21), eine zentrale Rolle. Gallese (2005) etwa vertritt die Ansicht, dass mentale Simulation durch Spiegelneuronensysteme im (wenigstens schwachen) Sinne verkörperlicht ist, während Goldman/de Vignemont (2009) in Zweifel ziehen, dass höherstufige Formen des *mindreading* auf mentalen Repräsentationen beruhen, die durch Verkörperlichung strukturiert oder gar konstituiert sind.

Lawrence Barsalou (2008) weist in seinen Arbeiten auf die situative Einbettung von Kategorienlernen und begrifflichem Wissen hin. Begriffe sind demnach keine starren und passiven Eigenschaftskategorien, sondern situativ und kontextabhängig: Der Begriff ›Piano‹ z.B. wird im Kontext ›Umzug‹ stärker mit der Eigenschaft ›schwer‹ als mit der Eigenschaft ›klangvoll‹ assoziiert. Begriffe sind Barsalou zufolge in Situationen verankerte modalitätsspezifische und distribuierte Simulationen. Dies hat

entsprechend auch Implikationen für die situative Einbettung von Begriffslernen (s. Kap. IV.9) und Gedächtnis (Kap. IV.7).

In einer klassischen Arbeit zeigen Kirsh/Maglio (1994) die Situiertheit menschlichen Problemlösens auf der Basis sog. epistemischer Handlungen: Kognitive Akteure manipulieren beständig ihre Umgebung, um epistemische Zwecke effektiv zu erreichen. Einfache Beispiele dafür sind z. B. der Gebrauch von Notizzetteln oder Gedächtnisstützen. Sterelny (2003) eröffnet eine evolutionäre Perspektive auf dieses Phänomen, indem er dafür argumentiert, dass menschliche Kognition wesentlich geprägt und geformt ist durch die evolutionär vorteilhafte Konstruktion kognitiver Nischen (v.a. die Herstellung kognitiver Werkzeuge auf der Basis von Umgebungsangeboten; s. Kap. II. A.1).

Lakoff/Núñez (2000) versuchen, Ideen von Verkörperlichung für das Grundlagenverständnis der Mathematik fruchtbar zu machen: Mathematisches Denken beginnt in ihren Augen mit einem angeborenen Zahlensinn im Bereich kleiner Zahlen, der seine Verankerung in unserer Verkörperlichung, etwa dem Zählen mit Fingern, hat. Durch die Anwendung konzeptueller Metaphern kreierte unsere kognitive Maschinerie den Übergang von konkreten, in sensomotorischen Prozessen verankerten Vorstellungen zu abstrakten Begriffen wie etwa der in der Mathematik zentralen konzeptuellen Metapher der Unendlichkeit. Höhere Stufen mathematischer Begriffsbildung sollen dann durch Iteration entsprechender Metaphern erreicht werden.

Literatur

- Barsalou, Lawrence (2008): Grounded cognition. In: *Annual Review of Psychology* 59, 617–645.
- Bermúdez, Jose/Marcel, Anthony/Eilan, Naomi (1995): *The Body and the Self*. Cambridge (Mass.).
- Brooks, Rodney (1999): *Cambrian Intelligence*. Cambridge (Mass.).
- Chemero, Anthony (2009): *Radical Embodied Cognitive Science*. Cambridge (Mass.).
- Clark, Andy (1997): *Being There*. Cambridge (Mass.).
- Clark, Andy/Toribio, Josefa (1994): Doing without representing? In: *Synthese* 101, 401–431.
- Dennett, Daniel (1978): Where am I? In: ders., *Brainstorms*. Cambridge (Mass.), 310–323.
- Elman, Jeffrey/Bates, Elizabeth/Johnson, Mark/Karmiloff-Smith, Annette/Parisi, Domenico/Plunkett, Kim (1996): *Rethinking Innateness*. Cambridge (Mass.).
- Gallagher, Shaun (2005): *How the Body Shapes the Mind*. New York.
- Gallese, Vittorio (2005): Embodied simulation. In: *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 4, 23–48.
- Garzón, Calvo (2008): Towards a general theory of antire-

- presentationalism. In: *British Journal for the Philosophy of Science* 59, 259–292.
- Gibson, James (1979): *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston. [dt.: *Wahrnehmung und Umwelt*. München 1982].
- Goldman, Alvin/de Vignemont, Frederique (2009): Is social cognition embodied? In: *Trends in Cognitive Sciences* 13, 154–159.
- Harnad, Stevan (1990): The symbol grounding problem. In: *Physica D* 42, 335–346.
- Holland, Owen/Knight, Rob (2006): The anthropomimetic principle. In: Jeremy Burn/Myra Wilson (Hg.): *Proceedings of the AISB06 Symposium on Biologically Inspired Robotics*. Bristol.
- Hurley, Susan (1998): *Consciousness in Action*. Cambridge (Mass.).
- Kirsh, David/Maglio, Paul (1994): On distinguishing epistemic from pragmatic action. In: *Cognitive Science* 18, 513–549.
- Klein, Colin (2007): Kicking the Kohler habit. In: *Philosophical Psychology* 20, 609–619.
- Lakoff, George/Núñez, Rafael (2000): *Where Mathematics Comes From*. New York.
- Lyre, Holger (2008): Handedness, self-models and embodied cognitive content. In: *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 7, 529–538.
- Maiese, Michelle (2011): *Embodiment, Emotion and Cognition*. Hampshire.
- Matarić, Maja (2007): *The Robotics Primer*. Cambridge (Mass.).
- Merleau-Ponty, Maurice (1945): *Phénoménologie de la perception*. Paris. [dt.: *Die Phänomenologie der Wahrnehmung*. Berlin 1965].
- Metzinger, Thomas (2006): Different conceptions of embodiment. In: *PSYCHE – An Interdisciplinary Journal of Research on Consciousness* 12. <http://philpapers.org/archive/METRIG-2.1.pdf>
- Metzinger, Thomas (2009): *Der Ego-Tunnel*. Berlin.
- Noë, Alva (2009): *Out of Our Heads*. New York. [dt.: *Du bist nicht Dein Gehirn*. München 2010].
- Pfeifer, Rolf/Bongard, Josh (2007): *How the Body Shapes the Way We Think*. Cambridge (Mass.).
- Pfeifer, Rolf/Scheier, Christian (1999): *Understanding Intelligence*. Cambridge (Mass.).
- Rowlands, Mark (2006): *Body Language*. Cambridge (Mass.).
- Ryle, Gilbert (1949): *The Concept of Mind*. Oxford. [dt.: *Der Begriff des Geistes*. Stuttgart 1986].
- Schöner, Gregor/Reimann, Hendrik (2008): Understanding embodied cognition through dynamical systems thinking. In: Paco Calvo/John Symons (Hg.): *Routledge Companion to the Philosophy of Psychology*. London, 450–474.
- Steels, Luc (2010): Modeling the formation of language. In: Stefan Nolfi/Marco Mirolli (Hg.): *Evolution of Communication and Language in Embodied Agents*. Berlin, 235–262.
- Sterelny, Kim (2003): *Thought in a Hostile World*. Oxford.
- Taylor, James (1963): *The Behavioral Basis of Perception*. New Haven.
- Thelen, Esther/Schöner, Gregor/Scheier, Christian/Smith, Linda (2001): The dynamics of embodiment. In: *Behavioral and Brain Sciences* 24, 1–86.
- Thelen, Esther/Smith, Linda (1994): *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge (Mass.).
- Tomasello, Michael/Carpenter, Malinda/Call, Josep/Behne, Tanya/Moll, Henrike (2005): Understanding and sharing intentions. In: *Behavioral and Brain Sciences* 28, 675–691.
- van Gelder, Tim (1995): What might cognition be, if not computation? In: *Journal of Philosophy* 92, 345–381.
- von Holst, Erich/Mittelstaedt, Horst (1950): Das Reafferenzprinzip. In: *Die Naturwissenschaften* 20, 464–476.
- Wachsmuth, Ipke/Lenzen, Manuela/Knoblich, Günther (Hg.) (2008): *Embodied Communication in Humans and Machines*. Oxford.

Holger Lyre