

Herbert Kalthoff*, Hannah Link

Von der Handskizze zum Algorithmus. Zur intermedialen Praxis der symbolischen Robotik

From Hand Sketches to Algorithms. On the Intermedia Practice of Symbolic Robotics

<https://doi.org/10.1515/zfsocz-2025-2027>

Zusammenfassung: Entgegen medialen Visionen einer das menschliche Können und (Er-)Kennen übersteigenden Entität – robotischer Maschinenwesen – beobachtet der Aufsatz die Forschung zu und Fertigung von humanoiden Robotern in den Laboratorien der Robotik. Der Aufsatz analysiert das soziale Geschehen als eine intermediale Praxis der Übersetzung von handschriftlichen Skizzen bis zur digitalen Programmierung. Mit Bezug zur Wissenschaftssoziologie argumentiert er, dass sich zwei Wissensformen ergänzen: technisches Wissen und Erproben einerseits und körperlich-leibliche Involvierung der Robotiker:innen andererseits.

Schlagworte: Materialität; humanoide Roboter; robotische Forschungspraxis; Wissenssoziologie.

Abstract: Contrary to media visions of an entity that transcends human capabilities and knowledge – robotic machines –, the paper observes research into and the manufacture of humanoid robots in robotics laboratories. It analyzes the internal laboratory activities as an intermedial practice of translation, from handwritten sketches to digital programming. With reference to the sociology of science, it argues that two forms of knowledge complement each other: technical knowledge and experimentation on the one hand, and the physical involvement of roboticists on the other.

Keywords: Materiality; Humanoid Robots; Robotic Research Practice; Sociology of Knowledge.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat sich die mediale Aufmerksamkeit verstärkt einer Entität zugewandt, die – so die Annahme – die menschliche Gesellschaft in Zukunft bevölkern wird: soziale bzw. humanoide Roboter. Diese Maschinen sind humanoid insofern, als sie menschenähnlich konstruiert sind und sich entsprechend in einer physischen Umwelt bewegen und Aufgaben übernehmen können; sie sind sozial insofern, als sie vor allem auf eine sozio-affektive Interaktion mit Menschen ausgelegt sind. Nun legen öffentliche Diskurse nahe, dass Menschen diesen Maschinen hoffnungslos unterlegen sind. Roboter sind belastbarer, rund um die Uhr verfügbar und intelligenter als Menschen. Gegen diese medialen Visionen einer technologischen Zukunft menschlicher Sozialitäten mit „Beinahe-Kameraden“ (Merleau-Ponty 1994: 234, H.i.O.), die (fast) alles zu können und (fast) alles (besser) zu wissen scheinen, rückt der Aufsatz den Fabrikationsprozess dieser Artefakte mit dem Ziel in den Blick, die komplexen und zum Teil schwierigen Entstehungsbedingungen zu beschreiben und zu analysieren. Hierzu untersucht der Aufsatz den Forschungsprozess in den Laboratorien der Robotik, und zwar die Praxis des Entwerfens, Formalisierens und Programmierens von Algorithmen sowie die körperlich-leibliche Relation zu diesen Artefakten, die Robotiker:innen konstruieren und testen. Der besondere Reiz, diese Forschung und Entwicklung empirisch zu beobachten, liegt in der Annahme, dass hier Szenarien für zukünftige Sozialitäten entfaltet werden (Schulz-Schaeffer & Meister 2017). Die empirische Grundlage des Aufsatzes ist eine ethnografische Forschung in den Laboratorien, sein Fall ist die symbolische Robotik und mit ihr die Fertigung humanoider Roboter. Dieser Robotertypus ist daten- und rechenintensiv, und seine Programmierung determiniert das, was der Roboter umsetzen kann (Boden 2014). Diese Programmierung impliziert eine möglichst vollständige digitale Abbildung des Umfeldes, in der sich der Roboter bewegen soll (Dreyfus & Dreyfus 1988); Voraussetzung hierfür ist eine zentrale operative Instanz, die Symbole bzw. Zeichen verarbeitet – der Rechner: Die Welt

*Korrespondenzautor: Herbert Kalthoff, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Jakob-Welder-Weg 12, 55128 Mainz.

E-Mail: herbert.kalthoff@uni-mainz.de

Hannah Link, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Jakob-Welder-Weg 12, 55128 Mainz. E-Mail: halink@uni-mainz.de

im Rechner ermöglicht die Bewegung des Roboters in der Welt.¹

Zwei Bezugsprobleme der symbolischen Robotik bestimmen den Laboralltag: zum einen das ‚zum Laufen bringen‘ einer vorab definierten robotischen Aktivität (etwa einer Greifbewegung), zum anderen die Arbeit an der menschenähnlichen Umsetzung eben dieser Aktivität (Link & Kalthoff 2023). Wie also können algorithmische bzw. KI-Anwendungen so implementiert werden, dass eine (Greif-)Bewegung technisch adäquat und in ihrer Umsetzung „natürlich“ (Robotikerin) erscheint? Hierauf ist die experimentelle Anordnung der Labore ausgerichtet: Ihre zentralen Elemente sind analoge Objekte (Schränke, Gläser, Spielzeug etc.), ein Roboter oder eine Roboterplattform, Endgeräte (etwa Rechner mit Programmier- und anderer Software) und analoges Schreibmaterial (Papier, Stifte, Protokollbücher etc.). Im Sinne Rheinbergers (2001) sind diese Elemente die technischen Dinge der Experimentalanordnung und die robotische Bewegung ihr epistemisches Ding, das Fragen aufwirft und eine Suche nach Lösungen in Gang setzt. Eine Vielzahl anderer Objekte (Kabel, Raumteiler, defekte Roboter etc.) bilden den unauffälligen, aber nicht weniger konstitutiven Hintergrund der Experimentalanordnung. Um nun die Abbildung der externen Umwelt (etwa das Modell eines zu greifenden Objekts) sowie die robotisch-menschenähnliche Bewegung erfolgreich programmieren zu können, stützen sich Robotiker:innen auf eine Reihe von Darstellungen: Diese reichen von der Beschaffenheit des analogen Objekts (Maße, Merkmale) über die Darstellung der Roboterbewegung in Handskizzen, die Umwandlung der Handskizzen in mathematische Formeln und die Programmierung eines Algorithmus als „formaler Definition für eine Handlungskette“ (Robotiker) bis hin zur robotischen Bewegung selbst. Bei den laborinternen Testläufen werden der technische Vollzug („Greift er richtig?“) und die Ästhetik der Bewegung („Wie greift er?“) beobachtet und angepasst.

Der Aufsatz vertritt eine wissenssoziologische Perspektive, die praxis- und materialitätstheoretisch informiert ist: Im Zentrum stehen dabei Fragen nach dem Verhältnis von Sozialität und Wissen, von Praxis und Materialität des Sozialen sowie die Rolle von Alltagsannahmen und (angewandt-)wissenschaftlichen Theorien. Eine so konzipierte Wissenssoziologie der Robotik will nicht allein Antworten auf das „Wie“ der robotischen Praxis formulieren, sondern

ebenso ihr „Was“ (also die Inhalte der Robotik) explizieren. Hierzu gibt der Aufsatz einen empirischen Einblick in die Arbeit an der Steuerung von robotischen (Greif-)Bewegungen und damit in die alltägliche Laborpraxis des Entwerfens und Darstellens dieser Steuerungen. Es soll deutlich werden, welche substanziellen Umwandlungen vorgenommen werden müssen, um eine ‚einfache‘ Greifbewegung zu realisieren, und wie die Programmierung die Programmierer temporär ‚im Griff hat‘. Der Aufsatz ist wie folgt strukturiert: Im Folgenden skizzieren wir den Stand der sozialwissenschaftlichen Forschung zur Robotik und stellen unsere theoretische Überlegung dar: Wir fassen beobachtbare Praktiken des Darstellens in diesem ingenieurwissenschaftlichen Kontext als *intermediale Akte* des Übersetzens: als die Verwendung von und den Austausch zwischen Zeichensystemen, mit dem Ziel, Algorithmen programmieren und ein technisches ‚Verähnlichen‘ bewerkstelligen zu können (2). Anschließend reflektieren wir die empirisch-ethnografische Forschung in den von uns beobachteten Laboratorien (3). Die sich daran anschließenden Abschnitte orientieren sich an den Entwicklungsphasen der Laborpraxis und damit am sozialen Gebrauch von Darstellungsmedien, der Formalisierung und Programmierung (4). In dem sich anschließenden Abschnitt ändert der Aufsatz seine Perspektive und beobachtet, wie Robotiker:innen selbst in die Arbeit am Code und in die Testläufe involviert sind und wie sie an der Verähnlichkeit robotischer Bewegung feilen (5). Ein Fazit schließt den Aufsatz ab (6).

2 Stand der Forschung und theoretisches Design

Die Fabrikation von Robotern hat eine sehr vielseitige sozial- und kulturwissenschaftliche Forschung entstehen lassen, die sich grob in u. a. folgende Forschungsthemen differenzieren lässt: Erstens fokussieren Studien auf die Entwicklungsarbeit in den Laboratorien der Ingenieurwissenschaft und fragen nach der Form der epistemischen Praxis, nach ihren materiellen Bedingungen und ihren grundlegenden theoretischen Ausgangsüberlegungen (etwa Bischof 2017); zweitens untersuchen sie die Erprobung und Testung dieser Maschinen *in* den Laboratorien (etwa Lipp 2023) oder als ‚natürliche‘ Experimente in sozialen Settings *jenseits* der Laboratorien – Settings, die mitunter auf besondere Weise formiert werden (etwa Alač et al. 2011; Lindemann & Matsuzaki 2014); drittens analysieren sie die gesellschaftliche Wirkung dieser Maschinen mit Fragen zur (zukünftigen) Mensch-Maschine-Interaktion, zur Ähnlichung humanoider Roboter an den Menschen sowie

¹ Im Gegensatz dazu operieren andere technische Architekturen mit künstlich-neuronalen Netzen, um maschinelles Lernen in Gang zu setzen: Indem sogenannte *social robots* mit Menschen interagieren, generieren sie Daten, die als Information die Programmierung überschriften (Breazeal 2002; Kalthoff/Link 2021).

zur Verschiebung jener grundlegenden Differenz, die das menschliche Leben und menschliche Sozialitäten konstituiert (Castañeda & Suchman 2014); viertens fragen sie nach den Konsequenzen, die der soziologischen Theorie durch diese Maschinen entstehen (Muhle 2018; Schulz-Schaeffer et al. 2023). Wir konzentrieren uns hier auf den für diesen Text relevanten ersten Themenbereich.

Bislang liegen eher wenige Studien vor, die den Laboralltag von Robotiker:innen empirisch erforscht haben. So macht Bischof (2017, 2019) in seiner Studie zur Sozialrobotik deutlich, dass Robotiker:innen alltägliche Zusammenhänge als Ziel-Mittel-Relation definieren. Ambivalente, flüchtige und routinierte Dimensionen des Sozialen werden in diese Relation gebracht, wofür Robotiker:innen ihr typisierendes Alltagswissen nutzen, mit dem sie zugleich Komplexität reduzieren. Potenzielle Nutzer:innen sind insofern relevant, als dass die Roboter in deren Alltagswelt bestehen sollen. Als eine wesentliche Anforderung an die Laborpraxis gilt die Reduktion technischer und sozialer Störungen, die Orientierung an der Realwelt sowie die Einbettung der ‚natürlichen‘ Ordnung in die Laborwelt (Bischof 2017: 214, 225). Fischer et al. (2020) analysieren vor allem die Laborarbeit mit Spracherkennungssoftware, für die unterschiedliche Roboterplattformen verwendet werden. Dabei bleiben – so die Autor:innen – Annahmen über Nutzer:innen eher implizit: Sie spielen im Designprozess selbst eine eher geringe Rolle und werden i. d. R. erst nachträglich zur Erklärung eines experimentellen Verlaufs herangezogen. Das heißt: Vorstellungen, die Robotiker:innen kollektiv über potenzielle Nutzer:innen kreieren, werden dann herangezogen, wenn es darum geht, die Fähigkeit der Maschine plausibilisieren zu können. Hierzu werden bestimmte Vorstellungen eher beiläufig aktualisiert und hervorgehoben, andere hingegen de-aktualisiert; dieser Prozess des *un/doing* ist grundsätzlich kontingent.

Den schöpferischen Aspekt des robotischen Labors hebt Richardson (2016) hervor, die grundsätzlich die Vorstellung einer Grenze zwischen Roboterfiktion und Roboterwissenschaft kritisiert. Da – so die Annahme – fiktionale Modelle von Robotern mit Laborpraktiken zusammenfließen, sind diese Maschinen nicht nur technische, sondern auch kulturelle Artefakte, die – ohne natürlichen oder religiösen Ursprung – auch unheimlich wirken (können). Robotiker:innen sind demnach an einer Nachbildung des Menschen interessiert, und fiktionale Figuren dienen der Annäherung an die Menschen, denen sie ähneln sollen (Richardson 2016: 124). Aus einer posthumanistisch-feministischen Perspektive erforscht Treusch (2015) am Beispiel eines Küchenroboters die Arbeit am Mensch-Roboter-Interface. Herstellung meint hier nicht die materielle Konstruktion oder Fabrikation einer Maschine, sondern die Frage, wie Küchenarbeit

und die mit ihr verbundenen normativen Vorstellungen von Tätigkeit und Ordnung programmiert und getestet werden. Dabei gilt für die beteiligten Robotiker:innen, den Roboter so zu trainieren, dass er als *robotic companion* akzeptiert wird – ein Training, das eine menschlich-maschinelle Ko-Produktion im Küchenlabor darstellt. Hingegen untersucht Alač (2009) in einem japanischen Labor, das dem ‚social robotic‘-Ansatz folgt, wie Robotiker:innen ihre Körper als Resource einsetzen, um praktische Fragestellungen der Programmierung robotischer Bewegungen lösen zu können. Die menschlichen Körper, die sich in ihren einzelnen Elementen beobachten lassen, erlauben hier Schlussfolgerungen in Bezug auf die weiteren Programmierungsschritte. Die Überlegung, Technologien für soziale Mensch-Roboter-Interaktionen zu schaffen, greift demnach auf menschliche Körper zurück, um grundlegende Voraussetzungen für solche Begegnungen technisch implementieren zu können: Der eigene Körper wird zum Erkenntnisobjekt gemacht. So figuriert die Maschine als Erweiterung derjenigen Körper, die zu ihrem Funktionieren beigetragen haben und in deren Bewegungen sich ihre Entwickler:innen wiedererkennen. Robotische und menschliche Körper sind somit füreinander Modell (Alač 2009: 520 ff.).

An diesen Studien wird deutlich, dass sie trotz vielfältiger Auseinandersetzungen mit empirisch wie theoretisch wichtigen Aspekten robotischer Laborpraxis die Frage, welche Rolle Darstellungsmedien zufällt, eher randständig behandeln und ihren Gebrauch, ihren Eigensinn oder ihre Relevanz *für* diese Praxis kaum adressieren. Gelten Endgeräte (wie Rechner) noch als unabhkömmlich (etwa zu Simulationszwecken), so kommen ‚einfache‘ Medien des Darstellens (Papier, Stifte etc.) so gut wie nicht vor. Hingegen sind sie in den von uns beobachteten Laboratorien eine grundlegende Voraussetzung für das Gelingen robotischer Bewegungen und der angestrebten Ähnlichkeit. Wir stellen diesen Aspekt deshalb in den Mittelpunkt unseres Beitrags und knüpfen dabei an Forschungen an, die sich intensiv mit dem Phänomen der Darstellung beschäftigt haben.

Im Kontext der (neuen) Wissenschaftssoziologie und -forschung ist die Rolle, die Darstellungen in der Forschung übernehmen, für verschiedene Disziplinen beobachtet und analysiert worden (siehe die Beiträge in Lynch & Woolgar 1990; Rheinberger et al. 1997; Heintz & Huber 2001; Coopmans et al. 2014), wobei auch ihre zentrale Funktion als moderne Wissenstechnologie beschrieben wurde (Hart Nibbig 1994; Foucault 1974: 78 ff.). Das Konzept der Darstellung weist verschiedene Dimensionen auf: Zum einen wird Darstellung als *Stellvertretung* konzipiert, in der etwas (ein Ding, eine Person, ein Wort etc.) für etwas anderes steht, zum anderen als *Verkörperung*, in der die Grenzen des Darzustellenden und des Darstellenden undeutlich werden

(Mitchell 1990). Für die Ingenieurwissenschaften sprechen manche Autoren (Ferguson 1994; Henderson 1999; Breiung 2001) von „visual representations“ oder Visualisierungen technischer Artefakte (etwa Pumpen, Dampfmaschinen, Brücken) – von grafischen Darstellungen also, die etwas sicht- und bearbeitbar machen, damit sich Verstehens- und Erkenntnisprozesse anschließen können. Es geht dabei um spezifische „Design-Kulturen“, die sich durch ihre Werkzeuge und ihr Management (Henderson 1998) sowie durch die Art unterscheiden, in der sie einander kollaborativ erzeugte Daten erklären und Schlussfolgerungen ziehen (Hoeppe 2014). Dabei handelt es sich in der Regel um maschinell erzeugte Darstellungen.²

In diesem Aufsatz schließen wir erstens an diese Forschung an, verschieben aber den Fokus: Wir analysieren keine maschinell realisierten Darstellungen, sondern konzentrieren uns auf sozio-materielle *Praktiken des Darstellens*, die Bestandteil des Fabrikationsprozesses von Robotern sind. Ferner gehen wir davon aus, dass diese Praktiken das Dargestellte erst *hervorbringen* (auch Burri 2008). Denn menschliche Akteure entscheiden darüber, mit welchen Mitteln und Medien und wie sie einen Gegenstand darstellen wollen. Es handelt sich dabei also um eine gestaltende und in die Darstellung eingreifende Aktivität (Rheinberger 2001; Werner 2001). Neuere Forschungsarbeiten (etwa Krauthausen & Nasim 2010; Hoffmann 2008) haben solche Praktiken des Darstellens u. a. als Notieren und Schreiben, Skizzieren und Entwerfen in sehr verschiedenen (angewandten) Wissenschaften untersucht und sie als ein eingreifend-hervorbringendes Darstellen verschiedenster Gegenstände beschrieben. Für die uns interessierende Laborpraxis gilt, dass sich der Medien- und Bildgebrauch auf die gesamte Handlungskette bezieht: angefangen bei papiernen Handskizzen, weiter über rechnergestützte Simulationen, bis hin zu robotisch-menschenähnlichen Bewegungen, die jeweils mitlaufende Überarbeitungen erfordern. Konzeptionell sprechen wir von Übersetzungen als einer Form, in der Praktiken des Darstellens vollzogen werden.

Zwar verwenden soziologische Forschungen den Begriff der Übersetzung (bspw. Callon 1986; Habermas 2005: 119 ff.), aber es existiert in der Soziologie keine *allgemein* etablierte und anerkannte Theorie des Übersetzens (siehe aber Renn 2014). In der Regel wird mit „Übersetzung“ ein sprachlicher Vorgang bezeichnet: Ein Text wird durch eine/n Übersetzer:in von einer Landessprache in eine andere Landessprache gebracht. Diese Vermittlungs-

tätigkeit, deren Kern eine dyadische Struktur ist, hat in den vergangenen Jahrzehnten zu einer intensiven Diskussion u. a. darüber geführt, ob und inwiefern Ausgangstext und Translat äquivalent und wie das sprachliche Wissen und die Praxis des Übersetzens einzuordnen sind. Zugleich werden die spezifischen Merkmale einer sprachlichen Übersetzung als eines „inter-“ bzw. „intra-lingualen Aktes“ in den Blick genommen und gegenüber anderen sozialwissenschaftlichen Verwendungsweisen als „translation proper“ abzugrenzen versucht (Jakobson 1959; Dizdar 2009; Sütiste 2021). Dabei unterstreicht eine kulturtheoretische Perspektive, die u. a. auf die Bedeutung der Relation von Zeichensystemen und auf das interpretative Paradigma verweist (etwa Gadamer 1960: 361 ff.), dass eine Übersetzung ohne die unabkömmliche Interpretation, Anpassungs- und Vermittlungsarbeit der Übersetzenden und auch ohne den Einbezug anderer Entitäten nicht zu denken ist (Appiah 2000; Dizdar 2009; Langenohl 2014; Benjamin 1977). Übersetzung bedeutet in diesem Sinne sowohl eine aktive Umwandlung eines Textes als auch die „Transformation einer Sprache durch eine andere“ (Derrida 1988: 40).

Der Aufsatz schließt zweitens an die Überlegung an, den Übersetzungsbegriff nicht allein für sprachliche Übersetzungen zu verwenden, sondern auch auf andere Formen des Umwandeln und Transformierens zu beziehen und sie als eine *intermediale Praxis* zu bezeichnen.³ Wir verwenden den Begriff hier für den Wechsel von Handschriftlichkeit zu Digitalschriftlichkeit, d. h. von handschriftlich skizzierten Entwürfen, Algorithmen und Formeln hin zu ihrer digital-schriftlichen Modellierung und Programmierung, der auch die Vermittlung zwischen Zeichensystemen und materiellen Objekten sowie der Trägermedien einschließt. So werden Zeichen (etwa der mathematischen Schrift) verwendet, um andere Zeichen (etwa Handskizzen) in etwas Drittes umwandeln zu können. Hierzu gehört ein weiterer Aspekt: Wie sprachliche Übersetzer:innen neue Worte einführen, um den Sinn eines Textes übertragen zu können (Benjamin 1977), so werden durch intermediale Akte im Labor andere Verfahren, materielle Dinge und Zeichen angedockt (etwa die Jacobi-Matrix, s. u.), die ihre eigene Agentivität entfalten. Dies geschieht mit dem Ziel, vom analogen Objekt zu programmierten Algorithmen kommen zu können. Die handschriftliche Skizze etwa impliziert nicht nur den Gebrauch von Stift, Papier und Hand sowie mathematische Konventionen des Bezeichnens, sondern auch die Verwendung von Zollstock, Messungen und Maßeinheiten. Im Sinne Latours (1996: 233) handelt es sich dabei um „Transforma-

² Es liegen zahlreiche Arbeiten zu einer Soziologie maschinell realisierter Bilder, Darstellungen oder Visualisierungen und ihrer Funktion innerhalb und außerhalb von Wissenschaft vor (siehe nur Burri 2013).

³ Jakobson (1959: 233) schlägt für dieses Phänomen den Begriff der „intersemiotic translation“ vor.

tionsschichten“: Elemente gehen verloren, aber gleichzeitig werden neue Elemente hinzugewonnen. Striche auf Papier stehen für den Schrank, den sie darstellen, sind aber nicht mit ihm identisch, und auch ein mathematisches Rotationsmodell ist nicht die Drehung der Schranktür selbst. Striche und Modelle machen vielmehr einzelne Eigenschaften und Aspekte des Schrankes (hier: die Drehbewegung der Tür) modellierbar und *verwandeln* ihn damit: eine „Transsubstantiation“ (Latour 1996: 232) seiner Stofflichkeit. Das heißt, dass das epistemische Ding (hier: eine Greifbewegung) durch Zeichen, Praktiken und Materialien in eine andere semiotische Konstellation transformiert wird.⁴

In Bezug auf Ähnlichkeit ist festzustellen, dass diese (bislang) kein prominentes Konzept in der Soziologie geworden ist und in Lehrbüchern oder Grundlagenwerken kaum diskutiert wird (siehe aber Tarde 2008). In einer kulturtheoretischen Perspektive vermittelt Ähnlichkeit zwischen Identität und Differenz, zwischen gleich und doch anders sein, und strukturiert und orientiert damit die menschliche Wahrnehmung (Bhatti/Kimmich 2015: 13 f.). Koschorke (2015: 36) kategorisiert Ähnlichkeit als „Hermeneutik des Vorläufigen“, demzufolge Verstehensprozesse „zwischen Übereinstimmung und Nichtübereinstimmung“ oszillieren. In Bezug auf diese Unschärfe spricht Wittgenstein (1984: 280) von einem „Begriff mit verschwommenen Rändern“. Im Gegensatz zu Identität und Differenz kennzeichnet Ähnlichkeit somit Vagheit, Kontingenz und Unvorhersehbarkeit (Assmann 2015). Auch aus einer praxistheoretischen Sicht geht einer Ähnlichkeitsfeststellung keine tiefe Taxonomie voraus, sie bleibt vielmehr auf einer allgemeinen Ebene von Formen, Farben, Klängen etc., die sinnvoll, aber nicht streng miteinander verglichen werden können. In dieses ambige und rekursive Wechselspiel von Gleich- und Ungleich-Sein, von Ähnlich- und Unähnlich-Sein ist die Wahrnehmung von Objekten eingebettet (Winkler 2021). Mit anderen Worten: Eine vergleichende Zuschreibung von Ähnlichkeit ist nicht allein auf zugeschriebene Eigenschaften eines Objekts zurückzuführen: Vielmehr müssen Objekte auch über Merkmale verfügen, die sie im vergleichenden Betrachten überhaupt als ähnlich erscheinen lassen können. In Bezug auf die Robotik betont Weber (2003), dass mit der technisch-mimetischen Verähnlichung zugleich auch der Status des Menschen mitverhandelt wird. Haben Forschungen bislang vor allem eine kommunikative Äquivalenz zwischen Mensch und Maschine (Rechner) thematisiert (siehe nur: Turkle 1984; Geser 1989; Böhringer & Wolff 2010), so geht es der

⁴ Zugleich aber sind Darstellungs- und Übersetzungsmedien keine willfähigen Werkzeuge in den Händen von Robotiker:innen; hierauf gehen wir nicht weiter ein.

rezenten Diskussion um Fragen einer Ähnlichkeit in Bezug auf Stimme, Verhalten, Intelligenz und (vermutete) mentale Zustände (ausführlich Lind et al. 2025; auch Zitzewitz et al. 2013).⁵

Der Aufsatz schließt drittens an diese Diskussion an und spricht von *Praktiken des Verähnlichens* als einer weiteren Form der Darstellung, für deren sozio-materielle Umsetzung er sich interessiert. Für die symbolische Robotik gilt, dass sie an einer generellen Ähnlichkeit zum Menschen orientiert ist und hierzu von allen sozio-kulturellen Merkmalen oder Besonderheiten von Menschen absieht, d. h. sie entdifferenziert. Mit anderen Worten: Robotiker:innen nehmen einen gemeinsamen Kern von Menschen an und weisen ihnen den Status eines Exempels zu, indem sie bspw. wiederholt fragen: „Wie machen wir ((Menschen)) das eigentlich?“ (Robotikerin).⁶ Denn die Erkennbarkeit der Bewegung als eine technisch bewerkstelligte stärkt die Akzeptanz dieser Artefakte (Mori 2019).⁷ Auf diese Weise fungieren Vorstellungen über den Menschen und über menschliche Sozialitäten in der Robotik als *Heuristik* für die technische Umsetzung der robotischen Bewegung in menschenähnlicher Form.

3 Die empirische Forschung

Die empirische Grundlage dieses Aufsatzes sind teilnehmende Beobachtungen von insgesamt zwölf Wochen in drei ingenieurwissenschaftlichen Laboratorien, in denen humanoide Roboterkorpora gefertigt und Verhaltensexperimente sowie mediale Inszenierungen von Robotern vorbereitet und durchgeführt wurden. Dabei haben wir vor allem die involvierten professionellen Praktiken sowie infrastrukturelle Merkmale der Laboratorien ethnografisch beobachtet und protokolliert sowie ausschnitthaft video- bzw. fotografiert. Ferner haben wir 13 leitfadengestützte Interviews mit Ingenieurwissenschaftler:innen und eine Vielzahl ethnografischer Interviews mit Robotiker:innen vor Ort durchgeführt (Spradley 1979). Ethnografische Interviews als „friendly conversation“ (Spradley 1979) boten sich etwa vor allem im Kontext der Arbeit an Skizzen und der Durchführung von Testreihen an, ferner in den Büros der Robotiker:innen und in Pausen. Ethnografische Interviews

⁵ Zur Zuschreibung von (Nicht-)Lebendigkeit und anderen anthropomorphisierenden Merkmalen an dieses Maschinenwesen siehe bspw. Irrgang (2020).

⁶ In diesem Aufsatz stehen doppelte Klammern für Hinzufügungen oder Erläuterungen unsererseits.

⁷ Für Bischof (2019) stellen Mensch-Maschine-Interaktionen eine grundlegende Unterscheidung und damit eine für das menschliche Selbstverständnis konstitutive Grenze in Frage.

nutzen die Mobilität der Forscher:innen und ermöglichen es, aktuelle Beobachtungen einfließen zu lassen und gegenüber den Teilnehmer:innen zu verbalisieren. Nun kennzeichnen die Robotik nicht allein körperlich-praktische Aktivitäten und sprachliche Aushandlungen, sondern ebenso eine immense Produktion von (digitalen) Schriftstücken, die als Medien robotischer Forschung und Entwicklung diese nicht nur ermöglichen und strukturieren, sondern auch als Dokumente der Selbst- oder Fremddarstellung des Feldes fungieren (etwa für mediale Vorführungen). Entsprechend haben wir verschiedenste Dokumente des Feldes (Selbstdokumente) gesammelt bzw. fotografiert (Fremddokumente) und dokumentenanalytisch untersucht.

Die Interviews wurden transkribiert und die ethnografischen Protokolle redigiert. Beide Datensorten wurden offencodiert (Strauss 1998; Emerson et al. 1995). Wir verstehen offenes Codieren als einen Prozess der Übersetzung von empirischen Beobachtungen in analytische Kategorien. Das heißt, dass die Analyse der empirischen Daten mit theoretischen oder analytischen Überlegungen ins Gespräch gebracht wird, ohne die Daten theoretischen Überlegungen anzupassen (Breidenstein et al. 2013). Das offene Codieren wurde im Forschungsprojekt und in Datasessions umgesetzt, wobei wir emische wie analytische Begriffe als Codes verwendet haben. Die von uns als (potenziell) zentral für die Analyse angesehenen Codes haben wir an allen Protokollen und Interviews geprüft und präzisiert. Auf diese Weise kamen u. a. die Codes „handschriftliche Notizen“, „entwerfen“, „mathematisch umformen“, „operative Schrift“, „Körper“, „Leiblichkeit“ in den analytischen Fokus. Der Prozess des Codierens wurde durch das Schreiben von *analytical notes* bzw. Memos sowie ersten konzeptionellen Ordnungen und Kombinationen der erschlossenen Codes unterbrochen. Dieses Vorgehen diente einer Systematisierung der Einsichten, der Generierung weiterer Fragen und der Formulierung weiterführender Überlegungen. Die Analyse der gesammelten Dokumente konzentrierte sich auf drei Dimensionen: auf den Inhalt des Dokuments (Was wird dokumentiert?), auf seine Verfügbarkeit (Wer ist Autor:in, Leser:in? Wie zirkuliert das Dokument?) und auf die Vermittlung (Wie stellt es etwas dar?) (Atkinson & Coffey 2011; Prior 2004). Die Analyse dieser Daten erforderte dabei ein zumindest partielles Verständnis der mathematischen und ingenieurwissenschaftlichen Inhalte, was teils durch die o. g. Interviews mit den Akteur:innen, teils durch Gespräche mit Kolleg:innen aus den fraglichen Disziplinen (partiell) erreicht werden konnte.⁸

⁸ Wir danken Stefanie Hampel und Matthias Schneider für ihre detaillierten Erläuterungen der involvierten mathematischen Verfahren und Darstellungsformen.

In diesem Aufsatz beziehen wir uns auf zwei Labore, in denen wir empirisch geforscht haben: Das erste Labor ist sowohl in Bezug auf das Personal als auch den physischen Raum bemerkenswert groß; es umfasst gleich mehrere Gebäude auf dem Campus. In diesem Labor werden Roboter getestet, montiert und feinjustiert; ebenso werden dort u. a. ältere Roboter gelagert. Das Team setzt sich aus internationalen Robotiker:innen zusammen, die sich auf Englisch verständigen. Das zweite Labor, ebenfalls international ausgerichtet, befand sich zum Zeitpunkt der Beobachtung personell wie materiell im Aufbau und hatte noch nicht die vorgesehene Zielgröße erreicht.⁹

4 Handschriftliche Skizzen und operative Schrift

Wie dargestellt, ist die Programmierung der Umwelt sowie der vorgesehenen robotischen Bewegungen zentral für die symbolische Robotik. Damit diese Programmierung vorgenommen und getestet werden kann, sind eine Reihe aufeinander folgender Arbeitsschritte erforderlich, ohne welche die Programmierung nicht erfolgen könnte: Artefakte oder Bewegungen müssen zuvor „Papiermaschinen“ (Heintz 1995) gewesen sein, bevor sie Roboter oder robotische Bewegungen werden können. Im Folgenden dokumentieren wir verschiedene Arbeitsschritte, die aufeinander folgen, aufeinander verweisen und die jeweils vorangegangenen Schritte voraussetzen. Zugleich gehen Robotiker:innen in dieser Darstellungskette auch zurück, um Korrekturen, Re-Designs oder erneute Prüfungen vorzunehmen. Auf diese Weise erfolgen immer wieder Neubewertungen und Anpassungen der bisherigen Ergebnisse. Damit wird das Endprodukt – die Programmierung einer Bewegung – nicht einfach nur erzeugt, sondern in den Laboren in einem beständigen Hin und Her zwischen analogem Objekt und den Erfordernissen der digitalen Schrift (Programmierung), zwischen Entwickler:innen und Nutzer:innen entwickelt.

Die wissenschaftssoziologische und -historische Forschung (siehe nur Latour 1990; Knorr Cetina 1984; Rheinberger 2001) als auch kulturtheoretische Studien (etwa Krämer 1997) haben die Relevanz des Gebrauchs von Stift und Papier für die wissenschaftliche Praxis betont (siehe auch Henderson 1998). Demzufolge ist Schreiben, Aufschreiben und Zeichnen eine epistemische Praxis, eingebunden in

⁹ Im Unterschied zu Forsythe (2001: 132 ff.), die von einem wissenschaftlichen Verständnis berichtet, das ihr in der Medizininformatik entgegenschlug, begegneten uns die Robotiker:innen eher offen und am ethnografischen Vorgehen interessiert.

die Verfahren und Vorgehensweisen des Labors. Die Etablierung eines wissenschaftlichen Gegenstandes ist jedoch nicht nur an seine schriftliche Ausarbeitung und Entfaltung gebunden, sondern bekommt erst im schriftlichen Akt seine spezifische Form: Als Wissen im Entwurf (Hoffmann 2013) spannt das Schreiben und Skizzieren einen Gestaltungsraum auf, in dem Imaginiertes oder Gegebenes (neu) geordnet, in Beziehung zueinander gesetzt oder auch verändert werden kann. Die Tätigkeit des Skizzierens und Schreibens verweist nicht allein auf die Beherrschung einer Kulturtechnik, sondern unterscheidet ihre Objekte (hier: Roboter) im Hinblick auf die (imaginierte) Bewegung, die sie zukünftig vollziehen sollen. Unsere Analyse konzentriert sich nicht auf die Gesten des Schreibens, sondern auf das, was zu Papier gebracht wurde: auf die Stabilität der Zeichen und auf ihren Gebrauch, ihren Entwurfs- und Versuchscharakter.

4.1 Die Arbeit am Entwurf

Bevor mit dieser Tätigkeit begonnen werden kann, sind eine Reihe von Entscheidungen getroffen und Vorbereitungen abgeschlossen worden, wie etwa die Auswahl eines Forschungsgegenstandes, die Selektion bestimmter Bewegungen, gegebenenfalls die Beantragung von Forschungsgeldern und die Rezeption einschlägiger *Papers*, denn technische Innovationen lassen sich vor allem anhand von Publikationen aus dem je einschlägigen Subfeld der Disziplin erkennen, so dass sie von Robotiker:innen aufgegriffen werden können. Hieran schließen Überlegungen an, die sich auf Fragen der Machbarkeit konzentrieren: Welche Plattformen sind erforderlich, was ist im Labor vorhanden, was muss angeschafft werden (etwa ein Greifarm)? Sind die verfügbaren Roboter geeignet oder müssen weitere eingekauft werden, gefährdet das vorgesehene Experiment deren Stabilität oder Funktionalität?¹⁰ So kann bspw. das Training eines Roboters, der eine bestimmte Armbewegung ausführen können soll, vielfache Abläufe erforderlich machen, die ihrerseits das Robotermaterial (u. a. aus Metall, Silikon und Plastik) abnutzen. Mitunter gehen Labore auch dazu über, Experimente, die lange Übungsläufe notwendig machen, als digitale Simulation zu bewerkstelligen und in den Publikationen auch so darzustellen. Sollen die erforderlichen Vorarbeiten an der Software beginnen, konzentrie-

ren sich Robotiker:innen darauf, die Frage zu klären, ob der Roboter in der Lage sein wird, die Aufgabe auch zu lösen, für die er vorgesehen ist, oder ob Änderungen notwendig werden. Sind diese Vorarbeiten getan und Fragen, die aufkamen, geklärt, beginnt die – im engeren Sinne – Arbeit an der Programmierung der Roboterbewegung. Aus einem ethnografischen Protokoll:

Heute will Max den Schrank modellieren, den der Roboter später öffnen soll. (...) Er greift sich den Zollstock und geht zum Schrank, der neben dem Roboter steht. Er geht etwas in die Hocke und legt den Zollstock an die rechte Außenkante des Schrankes an, danach an die Innenkante, dann an die Schranktür: Innenkante und Außenkante. Zwischendrin geht er an den Schreibtisch zurück. Hier, auf der Ecke des Tisches, hat er sein Blatt Papier und seinen Bleistift gelagert. Er zieht mit einer Hand das Blatt zu sich und zeichnet im Stehen eine Linie. Schnell wendet er sich mit einem großen Schritt wieder dem Schrank zu. So setzt es sich fort: Max misst mit seinem Zollstock, kommt dann zurück und zeichnet eine weitere Line, die an die andere anschließt, zeichnet Winkel und Übergänge hinein, bezeichnet einen mit Alpha, dann den nächsten mit Beta. Er wirkt konzentriert: Still, mit gerunzelter Stirn und zusammengekniffenen Augen misst und zeichnet er, bis er sich wieder zu mir an den Schreibtisch setzt. Neben seiner Zeichnung notiert er Gleichungen. Ab und an geht er mit dem Stift von der Gleichung zu seiner Zeichnung zurück, radiert Teile weg und trägt neue ein. (Protokollauszug)

Die Szene, die der Auszug dokumentiert, zeigt, wie ein Robotiker, mit Messinstrument (Zollstock) und Dokumentationsmedien (Stift, Zettel) ausgestattet, zwischen materiellem Objekt und Skizzierung hin- und herwechselt. Objekt der Skizzierung ist ein Schrank mit einer horizontal gefalteten Tür, deren Frontteile gleich groß sind und deren Bewegung – Öffnung oder Schließung – durch einen hydraulischen Mechanismus unterstützt und möglich wird. Dieser Schrank ist ein für das Labor und dessen Experiment hergestelltes Objekt, das durch seine Materialität (gleiche Größe der Frontteile) Rahmenbedingungen für seine Modellierung stellt. Zugleich setzt das Experiment an einem Alltagsgegenstand an (nämlich einer Kucheneinrichtung) und macht damit den allgemeinen Hintergrund des Experiments erkennbar: die Nutzbarkeit seiner Ergebnisse für robotische Assistenzsysteme.

Aus Sicht unserer Dokumentenanalyse sind hier zwei Dimensionen von Interesse, und zwar der Inhalt (Was zeigt die Skizze?) und die Form der Vermittlung (Wie zeigt die Skizze das, was sie zeigt?). Zunächst (I) wird mit lockeren Strichen die geöffnete untere Frontseite mit ihren Punkten (S, P, Q) und Seitenlängen (38, 27, 16) skizziert (siehe Abb. 1); die Winkel (α , β) geben die Drehung an. Der zweite Teil (II) notiert die Längen der Seiten ohne Maßeinheit und ordnet den Seitenlängen Unbekannte zu (x , y , z). Im dritten Teil (III) skizziert der Robotiker einfache Kreisbewegungen der drei

¹⁰ In Bezug auf die Verfügbarkeit der notwendigen technischen Infrastruktur oder materialen Ausstattung unterscheiden sich die Laboratorien systematisch darin, ob sie die notwendigen Materialien etc. *inhouse* verfügbar haben oder ob sie diese extern einkaufen oder durch Kooperationen herstellen müssen.

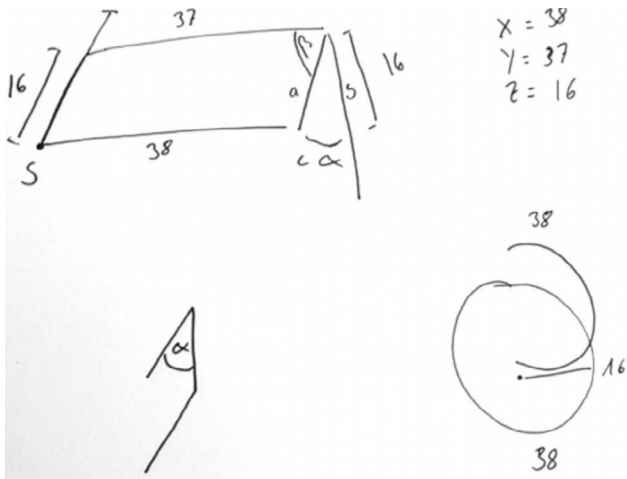


Abb. 1: Linien, Winkel, Maße

Seiten, die gegenläufig zueinander sind. Mit der Strichzeichnung (IV) ‚schaut‘ der Robotiker von der Seite auf die gedachte Öffnungsbewegung und auf die Stellung des Schrankrahmens und beider Frontseiten. Deutlich wird, dass bei einer Drehung der unteren Frontseite nach oben der Winkel α größer, der Winkel β kleiner wird. Zugleich öffnet sich die obere Frontseite erst dann, wenn die untere Frontseite schon bewegt worden ist. Mit diesen Skizzierungen wird erkennbar, mit welchem Handlungsproblem der Robotiker zu tun hat: mit der Modellierung der Kraft, die für diese Drehbewegung nötig ist, und mit der Modellierung der Geschwindigkeit und Dauer, mit der sie ausgeführt werden soll.

In Bezug auf die Form der Vermittlung ist festzuhalten, dass die zweidimensionale Skizze als „Sonderraum“ (Krämer 2014: 65) fungiert, dessen geometrische Flächigkeit die noch zu verwirklichende Drehung visualisieren und somit eine mögliche technische Zukunft dokumentieren soll. Dabei wird nicht der Schrank selbst abgezeichnet, sondern die dreidimensionale Bewegung einer Fläche in eine zweidimensionale Form gebracht (I) und die Stellung einer Bewegung in ihrer Zweidimensionalität festgehalten (III). Diese Einschreibungen auf Papier sind nicht mehr nur einfache Linien oder Punkte, sie verweisen vielmehr auf Merkmale eines Objekts (Ecken, Ausdehnung etc.), umschreiben Flächen und simulieren Bewegungen. Die alphabetischen und mathematischen Zeichen („S“, „16“) identifizieren diese Punkte und qualifizieren Linien, indem sie ihnen einen Wert zuschreiben. Zugleich sind diese Freihandskizzen funktional orientiert, schreiben sich von ihrer Aufgabe her und bringen die zu lösende Aufgabe in eine andere Dimension, ohne zu stark grafischen Konventionen zu folgen (Rheinberger 1999). Die Annahme aber lautet, dass mit der Gerichtetheit, Flächigkeit, Ausrichtung etc. der Skizze eine geometrische Form möglich ist, die verallgemeinert werden kann (Krämer 2014). Zugleich

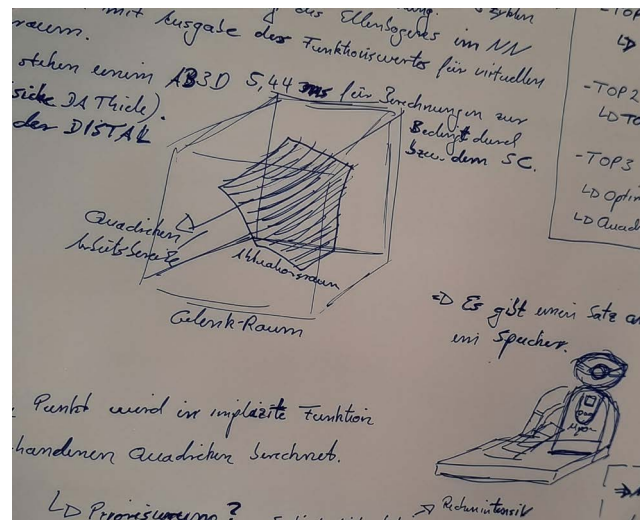


Abb. 2: Aktuations- und Bewegungsraum

folgt die Ordnung der Skizze – die Elemente stehen nebeneinander und untereinander – einem Rechts-Links- und Oben-Unten-Schema und mit dieser Einteilung der europäischen Schreib- und Schriftkultur.

Kennzeichnend für die Skizze ist auch ihr Entwurfscharakter, welcher an ihrer Ungenauigkeit (Wechsel von Groß- und Kleinbuchstaben) und Unvollständigkeit (bspw. fehlen Maßeinheiten) erkennbar wird – der Zeichnende zeichnet, wie es ihm aus pragmatischen Gründen sinnvoll erscheint. Entwerfend wird auf diese Weise etwas skizziert (u. a. Drehung, Winkel), das in dieser Weise noch gar nicht vorhanden ist, aber mit dieser Skizze verfügbar gemacht wird: Aus Sicht der Akteure steht sie mit ihren medialen und materiellen Wechsellern für eine skizzenexterne Bewegung des Roboterarms; aber sie steht auch autonom für sich selbst und ist der Ausgangspunkt von Überarbeitungen und weiteren Modellierungen mithilfe mathematischer Zeichen. Die Skizzierungen machen somit sichtbar, was später durch die Programmierung unsichtbar gemacht wird, sich dann aber wiederum in der Armbewegung zeigt.¹¹

Im Falle eines anderen Labors skizzieren Robotiker:innen einen dreidimensionalen Raum, in dem die Bewegung einer Roboterhand ‚vorgedacht‘ wird (siehe Abb. 2). Für die Bewegung des Roboterarms im Raum sind sogenannte

¹¹ In einem Laboratorium handelte es sich hier um individuelle Dokumente, die eher selten gemeinsam diskutiert werden. Der fehlende Labordiskurs verweist auf den Umstand, dass robotische Laboratorien individuelle Schreiblabore sein können, weil hier jede:r das ihm/ihr zugeordnete Experiment durchführt. Damit stehen diese handschriftlichen Zeichnungen, Notizen und Kritzeleien auch für die Organisationsform des Labors. Forsythe (2001: 21 ff.) beschreibt hingegen eine Labororganisation mit einer Reihe von „meetings“.

Aktuatoren zuständig, die elektrische Signale in eine Bewegung der Gelenke umsetzen.¹² Der Raum besteht dabei aus einer Vielzahl von Punkten, mit denen die Steuerung durch die Aktuatoren punktgenau bestimmbar ist, um zu wissen, wo die Gelenke stehen, wenn der Roboter sich bewegt. Die schriftlich visualisierte Idee ist, dass mithilfe mathematischer Formeln die Gelenke des Roboters (etwa der ‚Ellbogen‘ und die ‚Schulter‘) sowie der Raum, in dem Bewegung und Antrieb stattfinden (von den Teilnehmern auch „Aktuationsraum“ genannt), angesteuert werden.

Die Skizze dokumentiert den Umriss eines Roboters in einem dreidimensionalen Raum, der die robotische Bewegung definiert. Bewegung heißt in diesem Fall, dass das Schulter- und Armgelenk eines Roboters so angesteuert werden, dass der Arm nach vorne geschoben werden kann (siehe Abb. 2). Dies geschieht durch die Winkel, die die Position beider Gelenke und somit des Arms bestimmen. Die Leistung des Handschriftlichen besteht auch in diesem Falle darin, dass erste Ideen skizziert, erste Überlegungen zu einem Algorithmus niedergeschrieben und Bewegungen humanoider Roboter schraffiert werden.

All diese handschriftlichen Notizen, Zeichnungen und Kritzeleien halten fest, was ansonsten verloren gehen könnte, ohne allerdings alles Weitere festzuschreiben. Neben ihrer pragmatischen Dokumentationsfunktion (s. o.) eröffnen sie einen Konzeptraum, innerhalb dessen Überlegungen weiterentwickelt, aber auch wieder verworfen werden können. In der Zusammenschau der beiden besprochenen Skizzen zeigt sich, dass materielle Dinge – Stift und Papier – hier einerseits als eine „semiotische Technologie“ (Barany & MacKenzie 2014) in den Händen der Robotiker:innen funktionieren; andererseits operieren sie als ein kognitives Werkzeug, das durch seine relative Langsamkeit und Vorläufigkeit Denkprozesse in Gang setzt, aufrechterhält und unterstützt. In diesem Sinne sind Laboratorien der Robotik (auch) ein Skriptorium des Skizzierens und Entwerfens, des Schreibens und Korrigierens – ein Überlegen mit dem Stift in der Hand.

4.2 Arbeit an der Formalisierung

Geht es in der Mathematik um den Beweis als Mittel der Kommunikation und Verständigung (Müller-Stach 2023), so geht es in den Laboren der symbolischen Robotik um die algorithmische Modellierung von Bewegungen. Hierzu operieren Robotiker:innen mit Buchstaben des Alphabets, mit

¹² Bekannt ist dieses Verfahren u. a. aus dem Bereich der sogenannten Smart Homes. Dort setzen Aktuatoren ein digitales Signal („Rollläden hochfahren“) – etwa von einem Smartphone gesendet – mechanisch um.

Zahlzeichen, mathematischen und anderen typografischen Zeichen, so dass durch deren (Re-)Kombination eine mathematisch sinnhafte Formel entsteht: ein allgemeiner Ausdruck, der dann beliebig mit Werten gefüllt werden kann. Diese Praxis der Modellierung setzt sich im nächsten Schritt in der Verwendung von Stift und Papier fort. In diesem zweiten Arbeitsschritt der symbolischen Robotik geht es um die Umwandlung der (geometrischen) Skizzierungen in diskrete mathematische (Zahl-)Zeichen, die wir – im Anschluss an Sybille Krämer (1997) – als operative Schrift bezeichnen.¹³ Aufgeschrieben wird auch hier (zunächst) auf Papier, nun aber im Medium der operativen Schrift. Die angesprochene Umwandlung geht dabei mit einer Formalisierung einher, die ihrerseits Voraussetzung für die Programmierung und damit für die digitale Schrift ist.

In ersten handschriftlich notierten Formeln fließen zwei Aspekte zusammen: In fachlicher Hinsicht besteht – wie schon angedeutet (s. o.) – das Problem darin, Kraft in Drehung zu verwandeln und hierzu eine adäquate Formel zu entwickeln bzw. anzuwenden; in sozialer Hinsicht besteht das Problem darin, dass Robotiker:innen nicht immer über das mathematische Wissen verfügen, das für diese Mathematisierung notwendig wäre. Sie kompensieren diese Wissenslücke – „Ich bin kein Mathematiker“ (Teilnehmer) –, indem sie sich mit anderen Robotiker:innen oder Ingenieur:innen bspw. über Messengerdienste oder Exchange-Plattformen austauschen: Sie kommunizieren ihre Sachprobleme, erhalten Hinweise auf mögliche Fehler, diskutieren alternative Lösungsansätze etc. Mitunter nehmen sie auch an Crashkursen („Bootcamps“, Teilnehmer) in Mathematik teil, um Lösungen für ihren Ansatz zu finden und anwenden zu können. Das heißt, dass für die Suche nach adäquaten Lösungen das mathematische Wissen mobil ist und zwischen den Akteur:innen zirkuliert, während die Akteur:innen selbst an das Labor gebunden sind.

Die handschriftlichen Notizen stellen nun eine erste Formalisierung der Aufgabe dar, Bewegung (Drehung) und Kraft zu modellieren. Handschriftlich notiert werden Algorithmen oder Gleichungen als nicht-lineare Abbildungen.

$$p = \begin{bmatrix} \cos(\alpha \frac{\pi}{4}) \\ \sin(\alpha \frac{\pi}{4}) \end{bmatrix} \cdot y \quad q = p \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta \\ \sin\beta \end{bmatrix} \cdot z$$

Abb. 3: Nicht-lineare Abbildung

¹³ Operative Schriften „gehen nicht hervor aus der Verschriftlichung der Lautsprache, sondern sind graphische Systeme sui generis, welche dann allenfalls versprachlicht werden können. Das Besondere dieser Schrift ist, dass sie nicht auf Sprachlaute referiert, sondern auf kognitive Gegenstände“ (Krämer 1997: 115).

In dieser nicht-linearen Abbildung notiert der Robotiker Punkte im Raum (P, Q) sowie die Rotation der Vektoren mit je zwei Dimensionen; er versucht damit, eine Drehung um die Winkel Alpha bzw. Beta zu modellieren. Später wird der Robotiker dann mit der sogenannten Jacobi-Matrix weiter an der Umwandlung von Kraft in Drehung arbeiten, und zwar in einem Koordinatensystem, das ein Bestandteil dieser Ableitungsmatrix ist. Damit wird auch die nicht-lineare Abbildung in eine lineare transformiert und Werte können für die Drehung/Kraft bestimmt werden, die für Vorwärtsbewegung notwendig ist: Punkt für Punkt können dann die Stellung und Bewegung der Gelenkwinkel berechnet werden. Diese Bewegung soll den Greifer (die ‚Hand‘ des Roboters) als letztes Glied einer kinematischen Bewegung in eine bestimmte Position bringen. Das heißt: Mit mathematischen Mitteln modellieren Robotiker:innen die Bewegung und Kraft (Geschwindigkeit) von Gelenken (etwa Schulter und Ellenbogen) und setzen diesen Vorgang schrittweise, mit laufenden Korrekturen und darauf folgenden neuen Versuchen um. Aus einem ethnografischen Protokoll:

Das Problem, das wir vor ein paar Tagen beobachtet haben, nämlich, dass der Roboter dem Widerstand der Tür nachgibt – also sein Handgelenk abknickt – hat Max gelöst. Er hat die Berechnungsrichtung angepasst. Nämlich: Wenn ein gewisser Widerstand deutlich wird, dann berechnet eine Formel, wie die restlichen Gelenke vom Ellenbogen bis zur Schulter stehen müssen. „Das ist eine ganz einfache Formel“, sagt der Robotiker fasziniert. (Protokollauszug)

Die Anpassung der Bewegungsrichtung durch eine veränderte Berechnung erfolgt durch die Arbeit an der genannten Matrix. Wenn etwa die Roboterhand (der Greifer) in einer bestimmten Position stehen soll, um einen Schrank öffnen zu können und nicht abzuknicken, dann werden die Stellung(en) und Bewegung(en), die die Gelenke sukzessive einnehmen, durch immer neue Werte differenziert.

Um bis hierhin zu resümieren: Während die handschriftliche Skizze noch Übergänge, Anschlüsse und Überschneidungen zulässt, stehen die Formeln trotz ihres Probestadiums für eine strikte Sequenzierung von abgeschlossenen Einheiten, die entweder hinter- oder übereinander angeordnet sind und sich jedweder Anschlüsse und Übergänge entledigt haben. Zudem ist die Reihenfolge dieser Arbeiten reversibel: Im Zweifel werden die geometrischen Zeichnungen auch korrigiert, wenn sie nicht mit der mathematischen Formulierung zu passen scheinen. So wechselt der Robotiker stetig zwischen der Formel und seiner vorangegangenen Zeichnung hin und her; man kann auch sagen, dass die Zeichnung die Niederschrift der anderen mathematischen Zeichen informiert. In diesem Prozess findet dann mitunter ein Wechsel der Bezugnah-

men statt: vom Schrank zur Zeichnung, von der Zeichnung zur Formel und von der Formel zum digitalen Modell. Ein Robotiker beschreibt diesen Wechsel mit den Worten: „Der Worst Case ist nämlich, wenn man merkt, dass das, was man physisch gemacht hat, in der Modellierung nicht funktioniert.“ Nicht das artifizielle Modell muss den Ansprüchen der physischen Welt gerecht werden, sondern umgekehrt. Die jeweils neuste, purifizierte Variante der Darstellung bildet den Bezugspunkt der Programmierbemühungen. Hierzu werden – wie gezeigt – Bewegungen in technisch zu bewerkstellende Schritte zerlegt.

5 Digitale Schrift und die Körper der Robotiker:innen

Auf der Basis der hier skizzierten Vorarbeiten erfolgt der dritte Schritt: die Programmierung der Formel(n) in einer Programmierungssoftware (etwa Forth). Zunächst aber muss die entwickelte Formel in eine hierfür passende Software gebracht werden:

Der Robotiker kommt jetzt zurück an den Schreibtisch und tippt auf der Tastatur seines Laptops. Er pausiert immer wieder und schaut auf seine handschriftlichen Berechnungen und Zeichnungen. Mit *Wolfram Alpha* versucht er, die Gleichung zu lösen und zu visualisieren: „Per Hand ist das zu aufwendig. Dann müsste ich alles mit allem multiplizieren, ne. Das, was der mir jetzt ausspuckt, ist aber viel zu kompliziert.“ Er versucht es mit einem anderen Programm: „Okay, also mit Mehrfachbezeichnungen kommt der nicht klar. AB berechnet er als A mal B.“ Das Programm, erklärt er, schlägt dann mehrere Deutungen der Funktion vor. Er fährt mit dem Finger über den Bildschirm und zeigt auf einzelne Zeilen und übersetzt für mich: „Hier sagt er quasi: Wenn $y=0$ ist, dann sieht die Lösung so aus“ und fährt mit seinem Finger die Zeichen entlang. „y ist aber 37! (...) Das heißt, er hat zu wenig Informationen“, erklärt er. „Außerdem sind die vorgeschlagenen Lösungen viel zu kompliziert.“ (Protokollauszug)

Erkennbar wird an diesem Auszug zweierlei: Zum einen geht es um die Erprobung einer Software mit der Erwartung, passende und möglichst einfache Lösungen zu erhalten, zum anderen um die Kontrolle der maschinenschriftlichen Outputs durch die handschriftlichen Vorarbeiten. Anhand der Vorarbeiten wird die Validität bzw. Passung der Software geprüft, also ob mit ihr richtige und eindeutige Ergebnisse erzielt werden können. Dabei wird offensichtlich, dass diskrete mathematische Einheiten vom Programm bisweilen anders ‚gelesen‘ werden als erwartet, was überraschende Ergebnisse zur Folge haben kann. Die Arbeit besteht dann darin, solche Interpretationsspielräume zu minimieren, indem die mathematischen Zeichen

der Formel so vereindeutigt werden, dass sie vom Programm ‚richtig‘ verarbeitet werden können. Ist die mathematische Simulation des Schrankes abgeschlossen, schließt sich die Programmierung der robotischen Bewegung (etwa des Arms) an, durch welche die Objektmanipulation – die Öffnung des Schrankes oder das Öffnen einer Zimmertür – umgesetzt werden soll.¹⁴ Hierfür benötigt der Roboter nicht nur die Schranksimulation, sondern auch ein Modell für die Bewegungsplanung sowie Informationen darüber, wie die Bewegung („Bewegungstrajektorie“, Teilnehmer) der sich öffnenden Schranktür verlaufen wird. Hierfür verwendet Max sogenannte ‚Marker‘: große QR-Codes, die Auskünfte über die Position und Rotationsbewegung der Tür bereithalten und an den Kanten der Schranktür aufgeklebt werden. Der Roboter kann dann, sobald die Kamera am Kopf des Roboters auf den Schrank gerichtet ist, die QR-Codes auslesen und berechnen.

Zudem hat der Robotiker eine Navigationsfunktion erstellt, die die Bewegung des Roboterarms steuert. Sie besteht zum einen aus dem Erreichen eines Oberflächenpunktes des Schrankes durch die Bewegung des Arms. Hierfür wird mathematisch ein Ziel formuliert, welches der Roboter mit der programmierten Vorwärtsbewegung erreichen soll, wobei die geschlossene Tür als Ausgangszustand des Schrankes definiert wird (q^0). In einem anderen Fall schreibt ein Robotiker den Code mit Stift und Papier vor, um „alles im Kopf schon mal durchgehen“ (Teilnehmer) zu können. Das kognitive Durchspielen der gedachten Bewegung erlaubt es diesem Teilnehmer, vorab potenzielle Fehler zu erkennen und Korrekturen vorzunehmen. Anschließend programmiert er den Code auch nicht in einem spezifischen Programm (Python, Forth etc.), sondern direkt in das Programm seines Roboters, das er für diese Zwecke vorbereitet hat. Es ist für ihn damit besser erkennbar, ob die entworfene Funktion (oder der Code insgesamt) funktionieren könnte oder nicht. Immer wieder aber sitzen Robotiker:innen – zum Teil über Stunden – vor ihren zwei oder drei Bildschirmen, die bspw. verschiedene Programme zeigen oder das, was der Roboter ‚sieht‘, und sind in die Tätigkeit der Programmierung vertieft:

Der Robotiker tippt am Computer, wir schweigen. Nach einer Weile atmet er hörbar aus (...). Nun ist er ganz dem Bildschirm zugewandt, körperlich geradezu stillgelegt, so dass sich nur

¹⁴ Für Winograd/Flores (1989: 141 ff.) ist die Programmierung ebenfalls eine Form des Repräsentierens von Objekten oder Relationen, die als Zeichenketten in Speichermedien bewahrt werden. Rammert et al. (1998) analysieren Technikgenese und Technikanwendung am Beispiel von Expertensystemen. Forsythe (2001: 35 ff.) beschreibt die Doxa einer frühen Generation von „knowledge engineers“ in Bezug auf das Verständnis ihrer eigenen „knowledge acquisition“.

seine Hände bewegen und sich seine Kommentare direkt auf das beziehen, was am Bildschirm sichtbar wird. Er versteift sich weiter, tippt, murmelt hin und wieder („Frame sieben“) und tippt und tippt. (...) etwas später, jetzt sitzt er kerzengerade in seinem Stuhl; seine Finger fliegen über die Laptoptastatur; nur ab und an formen seine Lippen stumm einige Worte. Von der Tastatur seines Laptops wandert sein Blick zum rechten Bildschirm, Zeilen springen nach oben und der Robotiker schreibt an ihnen, so als würde er auf sie antworten. Obwohl es in der Halle sehr heiß ist, zeigt er kein Unwohlsein, kein Schwitzen. (...) Seit einer Stunde arbeitet er so. Er redet nicht und außer seinen Fingern bewegen sich nur noch die Zeichen auf den Bildschirmen. Seine Hände hat er so positioniert, dass sie sich während des Tippens nicht vom Fleck bewegen müssen: Während abwechselnd Zeige-, Mittel- und Ringfinger einzelne Tasten anschlagen, verweilen die Daumen bewegungslos in der Luft. Er verweilt bewegungslos in seiner Position, während die Finger ihre Arbeit erledigen. Sein Blick ist dabei strikt auf den einen oder anderen Bildschirm gerichtet. Er schaut nicht einmal nach unten, auf seine Finger, die im eingespielten Rhythmus auf die Tasten schlagen. (Protokollauszug)

Programmieren heißt, eine Verbindung von menschlichen Überlegungen und Vorarbeiten und maschinellen Signalen herzustellen; dies geschieht durch programmierende Robotiker:innen. In diesem Fall verharrt der Robotiker über einen längeren Zeitraum (ca. 1,5 Std.) in einer sehr konzentrierten Pose vor seinen drei Bildschirmen. Er ist nicht ‚Lost in Programming‘, sondern temporär eins mit seiner Tätigkeit geworden: kein Fluchen und auch kein (Ver-)Zweifeln über missglückende oder ungenaue Vorarbeiten, kein Sich-Freuen über gelungene Schritte oder funktionierende Formeln, keine über die Landschaft des Labors wandern den Blicke, keine Erklärung und auch kein Plausch mit der Ethnografin, die dem Geschehen aus direkter Nähe folgt. In dieser engen Mensch-Maschine-Kopplung ist der körperliche Ausdruck nahezu stillgestellt. Zu beobachten ist ein kontinuierlicher Flow, im Zuge dessen Schritt für Schritt die Programmierung der Bewegung erstellt und vervollständigt wird.¹⁵

Aus den detailreich definierten Rotationseigenschaften der Schranktüren (oder anderer Objekte) sowie den Beziehungen zwischen der Position des Objekts und der Armbewegung des Roboters ergibt sich nicht notwendig eine erfolgreich funktionierende Manipulation dieses Objekts. Immer wieder wird überprüft, ob das, was zuvor definiert und schriftlich fixiert worden ist, auf der physischen Roboterplattform auch funktioniert. In einem ethnografischen Protokoll wird festgehalten:

¹⁵ Zur Rolle des menschlichen Körpers bei der Programmierung maschineller Bewegungen siehe Alač (2009) und Schmidt (2008). Zur methodischen Herausforderung, die Praxis des Programmierens in situ zu beobachten, siehe bspw. Ametowobla (2022).

„Das Problem ist jetzt aber, dass er den Schrank verhaut, aber immerhin wissen wir jetzt, dass er genug Kraft hat“, lacht der Robotiker, „Er verhaut den Schrank?!“ – und grinsend dreht er sich zu seinem Laptop um, drückt den Startknopf und zeigt auf den Roboter. Heftig stockend und immer wieder neu anfahrend bewegt sich der Roboterarm nach vorne in Richtung Schrank. Zugleich finden seine kreisenden Bewegungen vor allem in der Luft statt und scheinen kaum auf die Position des Schrankes abgestimmt zu sein. Wenn der Gripper den Schrank berührt, dann nur peripher an der Kante des Griffs, wo er dann abrutscht und lautstark an die Schrankoberfläche knallt. „Pscht, pscht, pscht,“ formuliert der Robotiker feixend, so als würde er versuchen, den Roboter wie ein kleines Kind zu beruhigen. Der Roboter hat offenbar ein Problem mit seiner Navigationsfunktion. (Protokollauszug)

Eine Armbewegung in einem Code zu formalisieren, garantiert offenbar noch nicht, dass diese auch erfolgreich durch den Roboter ausgeführt werden kann.¹⁶ Erstens sind in der Instruktion des Programmcodes – etwa „Bewege dich von den Kanten weg“ – spezifische Eigenschaften des Objekts, das über einen nur schmalen Griff verfügt, noch nicht ausreichend mitbedacht. Welche Aspekte der Bewegung oder der physischen Objekte in der konkreten Anwendung relevant werden, kann – so scheint es – in der Planung und Modellierung der Armbewegung noch nicht vollständig antizipiert werden. Zweitens vermitteln formale Beschreibungen der Bewegung physischer Objekte zwar Interaktionen zwischen Roboter und Objekt, beschreiben diese aber im Medium mathematischer Zeichen und damit einen Raum der Unbestimmtheit. Denn Abläufe, die mit Berechnungspfaden und -logiken kohärent sind, können in ihrer Anwendung auf der Roboterplattform unvorhergesehene Ergebnisse zeitigen: Ein Roboter „verhaut“ einen Küchenschrank – eine Absurdität, die vom Teilnehmer markiert wird. Die beinahe liebevolle Kommentierung mit ihren parasprachlichen Äußerungsformaten („pscht, pscht, pscht“) deutet auf eine gelassene Weise auf das (partielle) Scheitern von Programmierungsbemühungen hin: Algorithmisch kodifizierte Handlungsprogramme lassen sich nicht umstandslos in robotische Bewegung übersetzen, sondern Software und Hardware, Korpus und Code sind immer wieder aufeinander abzustimmen. Die hier demonstrierte Gelassenheit signalisiert auch Kompetenz im Umgang mit der Fehleranfälligkeit, die ein Bestandteil solcher Experimente ist. Zugleich sind Zeit- und Publikationsdruck und – hiermit verbunden – die Sorge um die Karriere und Frust über misslungene Experimente abwesend.

¹⁶ Labatut (2023: 233) lässt in seiner Geschichte der KI einen Protagonisten sagen: „Man kann einfach nicht wissen, was eine bestimmte Zeichenfolge anstellt, solange man den Code nicht ausführt. Nur draufschauen reicht nicht“ (siehe auch Labatut 2023: 357).

Erweisen sich Programmierung und Bewegung dann aber als passend, so schließen sich Überarbeitungen an, in denen Vollzug und Funktionalität der Bewegung geprüft und Anpassungen vorgenommen werden. Ein Beispiel aus der Vorführung („Demonstration“, Robotiker) eines Roboters:

Ein Robotiker (Marius) und eine Robotikerin (Sahar) versuchen, die Bewegung des Anstoßens (‘einander zuprosten’) so zu programmieren, dass der Roboter sie so menschenähnlich wie möglich ausführen kann. In diversen Tests führen sie die Bewegung des Anstoßens aus und werden dabei von einer anderen Robotikerin beobachtet.

Marius: I show you the performance of the script, then you can tell me if it's *too* unnatural.

Sahar: ((nickt))

Marius: ((spielt das Skript ab))
((Der Roboter hebt seinen angewinkelten Arm in Richtung Marius, der direkt vor dem Roboter steht, selbst ein Glas in der Hand hält und darauf wartet, dass der Roboter ihm zuprostet. Sobald der Roboterarm eine bestimmte Höhe erreicht hat, hält er kurz inne, streckt dann seinen Unterarm nach vorne und bewegt anschließend sein Handgelenk weiter, bis sich die Gläser von Marius und dem Roboter berühren. Währenddessen sitzt Sahar mit baumelnden Füßen auf einem Tisch.))

Sahar: That looks unnatural.

Marius: What do you mean?

Sahar: Okay right now, the robot does this.
((Sie bewegt ihren Arm in einem 90-Grad-Winkel nach oben, hält kurz inne, bewegt dann ihren Unterarm ein wenig, hält wieder inne und beugt dann ihr Handgelenk leicht.))

Sahar: You see? It's very stiff. We don't do that usually, right? We would do it like this.
((Sie hebt wieder ihren Arm in einer fließenden Bewegung, wobei sich das Handgelenk bereits mit dem Heben des Arms beugt.))

Sahar: Can you play the motions at once? It might work.

Marius: ((nickt abwesend und hält nun seinen Arm nach vorne und bewegt ihn nach oben. Er betrachtet aufmerksam seinen Arm, während er ihn in die Luft hebt, dann bewegt er sein Handgelenk mit einem Stirnrunzeln – er wirkt sehr skeptisch.))

Damit der Robotiker (Marius) selbst sehen kann, was er an sich selbst nicht sieht, und zwar wie eine menschenähnliche, ‚natürliche‘ Bewegung abläuft und wie sie beim Roboter aussehen sollte, führt die Robotikerin (Sahar) ihm

diese Bewegung vor. Der Robotiker macht die Bewegung nach und beobachtet sich selbst dabei: Die Selbstbeobachtung scheint wie eine kognitive Vergegenwärtigung der Armbewegung zu funktionieren, die ein leibliches Spüren eben dieser Bewegung einschließt. Körperliche Gesten und Bewegungen werden folglich als Erkenntnisinstrument genutzt, um eine „unnatürliche“ (Sahar) robotische Bewegung in eine menschenähnliche zu verwandeln. Das hervorsteckende Merkmal dieses Ausschnitts ist die verkörperte Beteiligung der Robotiker:innen beim Trainieren ihrer Roboterplattform: Die Bewegung des Roboterarms soll natürlich-menschlich wirken, glatt und fließend, so dass zwischen menschlicher und robotischer Bewegung nur noch eine feine Differenz zu erkennen wäre; diese Differenz liegt zwischen einem ‚noch zu‘ (noch zu technisch, noch zu abgehackt) und einem ‚zu‘ (zu menschlich). Es ist dieses gewisse Etwas der Differenz, das eine gelungene Bewegung ausmacht. Robotiker:innen beziehen folglich eigenes Körperwissen und kulturelle Vorstellungen über körperliche Interaktionen zwischen Menschen (hier: einander zuprosten) mit ein, um die Bewegung des Roboterkorpus besser, d. h. menschenähnlicher gestalten zu können. Ihr technisch-kulturelles Wissen und ihre Erfahrung („play the motions at once“) initiieren einen weiteren Testlauf, dessen Ausgang ungewiss ist („might work“) und weitere Testläufe erforderlich machen kann.

6 Fazit und Ausblick

Der Aufsatz hat Praktiken des Darstellens als eine intermediale Praxis analysiert, die Prozesse eines vielschichtigen Übersetzens und Verähnlichens in den Laboratorien der symbolischen Robotik beinhaltet und in Gang setzt. Beschrieben wurde eine Kette von Übersetzungen, die von einer grafischen Darstellung robotischer Bewegung zu ihrer numerischen Darstellung in einem Programmcode bis hin zur physischen Bewegung durch den Roboter selbst reicht. Diese Bewegung kann dann ihrerseits als eine Darstellung verstanden werden, insofern sie der Ausgangspunkt für ein weiteres Finetuning ist, mit dem weiter an einer adäquaten und menschenähnlichen Umsetzung gearbeitet wird. Hierzu werden Algorithmen als digitale Regelmechanismen entworfen, modelliert und überarbeitet, die eine zentrale Steuerung dieser menschenähnlichen robotischen Bewegungen über den internen Rechner ermöglichen. Die Fertigung dieser Programmierung vermittelt dabei zwischen den Vorstellungen und Handlungsvollzügen der Robotiker:innen einerseits und den technischen Objekten andererseits. Zugleich ist der Arbeitsprozess durch den Ge-

brauch einer Reihe von Denk- und Schreibzeugen wie Zettel und Stift für erste Skizzen und Entwürfe von Formeln und Modellen, Rechner und Tastaturen sowie unterschiedliche Software-Anwendungen gekennzeichnet, mit denen die entsprechenden Programme geschrieben werden können. Gegen die Vorstellung, eine softwaregestützte Programmierung der Steuerungseinheit reiche aus, um Roboter kontrollieren und steuern zu können, wurde auch deutlich, dass die Roboter in der Testphase zu erkennen geben, ob und wie sie den Code lesen (können). Das heißt: Robotiker:innen wissen zwar, was sie programmiert haben, können aber nicht vollständig antizipieren, wie Code und Plattform interagieren.

Die Fabrikation humanoider Roboter ist nicht allein ein kognitives oder technisches Geschehen, sondern ebenfalls durch die leiblich-körperliche Involvierung der Robotiker:innen geprägt. Dies zeigte sich vor allem an zwei zu unterscheidenden Vorgängen: zum einen die reziproke körperliche Simulation von Bewegungen, um diese kognitiv zu vergegenwärtigen bzw. zur Anschauung zu bringen; zum anderen eine Rollenübernahme (*doing being a robot*), durch welche sich die Robotiker:innen selbst zu dem Phänomen machen, das sie erforschen.¹⁷ Robotiker:innen ahmen hier die Maschine nach, um ein körperliches Gefühl für robotische Bewegungen zu bekommen, die sie auf Menschenähnlichkeit trimmen wollen. Es scheint fast so, als wäre das (Er-)Kennen und Nachvollziehen des technisch Anderen die Voraussetzung dafür, es auch sinnvoll bearbeiten zu können. Darin zeigt sich auch, dass in der Forschungspraxis der Labore nicht allein Fachwissen und fachliche Erfahrung involviert sind, sondern Robotiker:innen ebenso auf alltagstheoretische Vorstellungen über menschliche Bewegungen rekurrieren und etwa ihr Befremden über die noch zu mechanische Ausführung einzelner Bewegungen zum Ausdruck bringen. Es ist diese Alltagstheorie, mit der Robotiker:innen von allen sozialen Besonderheiten von Menschen absehen: Sie entdifferenzieren, und mit dieser Entdifferenzierung vereinfachen sie.

Der Aufsatz zeigt, wie Robotiker:innen in ihrer Forschung auf beide Wissensformen zurückgreifen und deren Ergebnisse durch ihre intermediale Praxis des Übersetzens Schritt für Schritt implementieren. Das Ergebnis ist dann die (partielle) robotische Beherrschung dieser programmierten kulturellen Codes: Sie dokumentiert den machtvollen Cha-

¹⁷ Hiermit schließen wir an eine Überlegung an, die von Knorr Cetina (1997: 12 ff.) u. a. mit Referenz auf Jacques Lacan entwickelt worden ist. Mit einem etwas anderen Akzent unterstreicht Copeland die Bedeutung menschlichen Einfühlens für die Forschungspraxis. Er zitiert den britischen Mathematiker W. T. Tutte mit den Worten: Die Forschung „depended on human insight – on what you ‚felt in your bones‘ – as Tutte put it“ (Copeland 2025: 112).

rakter dieses technischen Wissens sowie ein ingenieurwissenschaftliches Humanwissen, das auf das Soziale, in dem Roboter operieren sollen, zurückgreift und es zugleich mit entwirft. In Bezug auf die Menschenähnlichkeit argumentiert der Aufsatz, dass die symbolische Robotik Menschen zwar als Heuristik nutzt, aber nicht an deren vollständiger Nachbildung arbeitet, sondern an einer robotischen Andersheit, der Menschenähnlichkeit zugeschrieben werden kann. Zugleich wird die Orientierung an menschlichen Sozialitäten oder Lebensformen durch Robotiker:innen in den Arbeitsschritten mitgeführt, ohne dass sie immer wieder expliziert wird. So lässt sich formulieren, dass die Frage nach der Ähnlichkeit den Robotiker:innen temporär abhandenkommt, während Annahmen über den Menschen, die nicht mehr unterschieden werden, ihre Laborpraxis anleiten. In diesem ambigen Wechselspiel von Un/Ähnlichkeit und Ent/Differenzierung bewegt sich die Forschung zur humanoiden Robotik. Insgesamt verweisen die Ergebnisse des Aufsatzes auf eine doppelte Orientierung des Feldes, die ihrerseits je eigene Pfade eröffnet oder schließt: an technisch-materiellen Erfordernissen des Experiments einerseits und am Menschlichen andererseits.

Für die gegenwärtige Gesellschaft diagnostiziert die Soziologie eine gesteigerte Präsenz (komplexer) technischer Objekte, die zu einem integralen Bestandteil des sozialen Lebens geworden sind (und weiter werden), da sie in die menschliche Sozialität expandieren (Hörl 2011) und für mehr-als-menschliche Beziehungen oder Sozialitäten stehen (Haraway 2008). Für den hier untersuchten Zweig der Robotik ist erkennbar, dass sie – auch aus gewerblich-ökonomischen Interessen – u. a. an der technischen Übermittlung grundlegender menschlicher Fertigkeiten arbeitet, um Humanoide in die Lage zu versetzen, scheinbar einfachste Aufgaben des menschlichen Alltags (etwa Türen öffnen) bewältigen zu können. Roboter sind aber (bislang) keine übermenschlichen Wesen, die den Menschen ersetzen oder all seine Fähigkeiten systematisch übertreffen; vielmehr sind es fragile und hochgradig fehleranfällige Maschinen, die der Pflege und Hilfe bedürfen (Lipp 2023). Der Aufsatz impliziert somit auch, den Geschichten, die sich um Roboter ranken, und den hohen Erwartungen, die an die Robotik gestellt werden, empirische Beobachtungen der Laborpraxis (auch anderer robotischer Ansätze) entgegenzustellen – und damit die Beobachtung einer Disziplin, die sich mit dem Design des Sozialen beschäftigt. Zugleich erlaubt die Beobachtung dieser Modellierung menschlicher Bewegungen einem technischen Blick auf das Menschliche oder auf Menschen analytisch folgen zu können.

Literatur

- Alač, M., 2009: Moving Android: On Social Robots and Body-in-Interaction. *Social Studies of Science* 39: 491–528.
- Alač, M., J. Movellan, & F. Tanaka, 2011: When a Robot is Social: Spatial Arrangements and Semiotic Engagement in the Practice of Social Robotics. *Social Studies of Science* 41: 893–926.
- Ametowobla, D., 2022: Zur Soziologie der Software. Die Rolle digitaler Technik bei der Kontrolle von Unsicherheiten. Wiesbaden: Springer VS.
- Appiah, K. A., 2000: Thick Translation. S. 417–429 in: L. Venuti (Hrsg.), *The Translation Studies Reader*. London: Routledge.
- Assmann, A., 2015: Ähnlichkeit als Performanz. Ein neuer Zugang zu Identitätskonstruktionen und Empathie-Regimen. S. 167–185 in: A. Bhatti & D. Kimmich (Hrsg.), *Ähnlichkeit. Ein kulturtheoretisches Paradigma*. Konstanz: Konstanz University Press.
- Atkinson, P. & A. Coffey, 2011: Analysing Documentary Realities. S. 56–75 in: D. Silverman (Hrsg.), *Qualitative Research. Theory, Method and Practice*. London: Sage.
- Barany, M. & D. MacKenzie, 2014: Chalk: Materials and Concepts in Mathematics Research. S. 107–130 in: C. Coopmans, M. Lynch, J. Vertesi & S. Woolgar (Hrsg.), *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge: MIT Press.
- Benjamin, W., 1977: Die Aufgabe des Übersetzers. S. 50–62 in: Benjamin, W., *Illuminationen. Ausgewählte Schriften*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Bhatti, A. & D. Kimmich, 2015: *Ähnlichkeit. Ein kulturtheoretisches Paradigma*. Konstanz: Konstanz University Press.
- Bischof, A., 2017: *Soziale Maschinen bauen. Epistemische Praktiken der Robotik*. Bielefeld: Transcript.
- Bischof, A., 2019: Die natürliche Künstlichkeit der Mensch-Roboter-Interaktion als leiblich erfahrbare Irritation des anthropologischen Quadrats. S. 129–164 in: J. F. Burow, L.-J. Daniels, A.-L. Kaiser, C. Klinkhamer, J. Kulbatzki, Y. Schütte & A. Henkel (Hrsg.), *Mensch und Welt im Zeichen der Digitalisierung. Perspektiven der Philosophischen Anthropologie Plessners*. Baden-Baden: Nomos.
- Boden, M. A., 2014: GOFAL. S. 89–107 in: K. Frankish & W. M. Ramsey (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Böhringer, D. & S. Wolff, 2010: Der PC als „Partner“ im institutionellen Gespräch. *Zeitschrift für Soziologie* 39: 233–251.
- Breazeal, C., 2002: *Designing Sociable Robots*. Cambridge: MIT Press.
- Breidenstein, G., S. Hirschauer, H. Kalthoff & B. Nieswand, 2013: *Ethnografie. Die Praxis der Feldforschung*. Stuttgart: UTB.
- Breiting, A., 2001: Visualisierung in den Ingenieurwissenschaften. S. 187–199 in: B. Heintz, & J. Huber (Hrsg.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*. Zürich/Wien: Voldemeer/Springer.
- Burri, R. V., 2008: Bilder als soziale Praxis: Grundlegungen einer Soziologie des Visuellen. *Zeitschrift für Soziologie* 37: 342–358.
- Burri, R. V., 2013: Visual Power in Action: Digital Images and the Shaping of Medical Practices. *Science as Culture* 22: 367–387.
- Callon, M., 1986: Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique* 36: 169–208.
- Castañeda, C. & L. Suchman 2014: Robot Visions. *Social Studies of Science* 44: 315–341.
- Coopmans, C., M. Lynch, J. Vertesi & S. Woolgar (Hrsg.), 2014: *New Representation in Scientific Practice*. Cambridge: MIT Press.

- Copeland, B. J., 2025: W. T. Tutte. The Graph Theorist Whose Code-Busting Algorithms Powered the D-Day Invasion. *Mathematical Intelligencer* 47:107–119.
- Derrida, J., 1988: Signatur, Ereignis, Kontext. S. 291–314 in: Derrida, J., *Randgänge der Philosophie*. Wien: Passagen.
- Dizdar, D., 2009: Translational Transitions: „Translation Proper“ and Translation Studies in the Humanities. *Translation Studies* 2: 89–102.
- Dreyfus, H. L. & S. E. Dreyfus, 1988: *Mind over Machine. The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. New York: Free Press.
- Emerson, R. M., R. I. Fretz & L. L. Shaw, 1995: *Writing Ethnographic Fieldnotes*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ferguson, E. S., 1994: *Engineering and the Mind's Eye*. Cambridge: MIT Press.
- Fischer, B., B. Östlund & A. Peine, 2020: Of Robots and Humans: Creating User Representations in Practice. *Social Studies of Science* 50: 221–244.
- Forsythe, D. E., 2002: *Studying Those Who Study Us. An Anthropologist in the World of Artificial Intelligence*. Stanford: Stanford University Press.
- Foucault, M., 1974: *Die Ordnung der Dinge. Die Archäologie der Humanwissenschaften*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Gadamer, H.-G., 1990/1960: *Hermeneutik I. Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik*. Tübingen: Mohr.
- Geser, H., 1989: Der PC als Interaktionspartner. *Zeitschrift für Soziologie* 18: 230–243.
- Habermas, J., 2005: *Zwischen Naturalismus und Religion. Philosophische Aufsätze*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Haraway, D., 2008: *When Species Meet*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Hart Nibbrig, C. L. (Hrsg.), 1994: *Was heißt „Darstellen“?* Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Heintz, B., 1995: „Papiermaschinen“. Die sozialen Voraussetzungen maschineller Intelligenz. S. 37–64 in: W. Rammert (Hrsg.), *Soziologie und künstliche Intelligenz. Produkte und Probleme einer Hochtechnologie*. Frankfurt/Main: Campus.
- Heintz, B. & J. Huber (Hrsg.), 2001: *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*. Zürich/Wien: Voldemeer/Springer.
- Henderson, K., 1998: The Role of Material Objects in the Design Process: A Comparison of two Design Cultures and How They Contend with Automation. *Science, Technology & Human Values* 23: 139–174.
- Henderson, K., 1999: On Line and on Paper. *Visual Representations, Visual Culture, and Computer Graphics in Design Engineering*. Cambridge: MIT Press.
- Hoeppel, G., 2014: Working Data Together: The Accountability and Reflexivity of Digital Astronomical Practice. *Social Studies of Science* 44: 243–270.
- Hoffmann, C., 2013: Processes on Paper: Writing Procedures as Non-Material Research Devices. *Science in Context* 26: 279–303.
- Hoffmann, C. (Hrsg.), 2008: *Daten sichern. Schreiben und Zeichnen als Verfahren der Aufzeichnung*. Zürich: Diaphanes.
- Hörl, E. (Hrsg.), 2011: *Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt*. Berlin: Suhrkamp.
- Irrgang, B., 2020: *Roboterbewusstsein, automatisiertes Entscheiden und Transhumanismus. Anthropomorphisierungen von KI im Licht evolutionär-phänomenologischer Leib-Anthropologie*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Jakobson, R., 1959: On Linguistic Aspects of Translation. S. 232–239 in: R. A. Brower (Hrsg.), *On Translation*. Cambridge: Harvard University Press.
- Kalthoff, H. & H. Link, 2021: *Zukunftslaboratorien. Technisches Wissen und die Maschinenwesen der Robotik*. S. 314–341 in: D. Dizdar, S. Hirschauer, J. Paulmann & G. Schabacher (Hrsg.), *Humandifferenzierung. Disziplinäre Perspektiven und empirische Sondierungen*. Weilerswist: Velbrück.
- Knorr-Cetina, K., 1984: *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Wissenschaft*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Knorr-Cetina, K., 1997: Sociality with Objects. *Social Relations in Postsocial Knowledge Societies. Theory, Culture & Society* 14: 1–30.
- Koschorke, A., 2015: Ähnlichkeit. Valenzen eines post-postkolonialen Konzepts. S. 35–45 in: A. Bhatti & D. Kimmich (Hrsg.), *Ähnlichkeit. Ein kulturtheoretisches Paradigma*. Konstanz: Konstanz University Press.
- Krämer, S., 1997: Kalküle als Wissensrepräsentation. Zur Genese des operativen Symbolismus in der Neuzeit. S. 111–122 in: H.-J. Rheinberger, M. Hagner, B. Wahrig-Schmidt (Hrsg.), *Räume des Wissens. Repräsentationen, Codierung, Spur*. Berlin: Akademie Verlag.
- Krämer, S., 2014: Zur Grammatik der Diagrammatik. Eine Annäherung an die Grundlagen des Diagrammgebrauchs. *Zeitschrift für Literaturwissenschaft und Linguistik* 44: 11–30.
- Krauthausen, K. & O. W. Nasim (Hrsg.), 2010: *Notieren, Skizzieren. Schreiben und Zeichnen als Verfahren des Entwurfs*. Zürich: Diaphanes.
- Labatut, B., 2023: *Maniac*. Berlin: Suhrkamp.
- Langenohl, A., 2014: Verknüpfung, Kontextkonfiguration, Aspiration. Skizze einer Kulturtheorie des Übersetzens. *Zeitschrift für interkulturelle Germanistik* 5: 17–27.
- Latour, B., 1990: *Drawing Things Together*. S. 19–86 in: M. Lynch & S. Woolgar (Hrsg.), *Representation in Scientific Practice*. Cambridge: MIT Press.
- Latour, B., 1996: *Der Berliner Schlüssel. Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*. Berlin: Akademie Verlag.
- Lind, M., S. Dickel, H. Kalthoff & D. Nübling, 2025: Verähnlichungen an den Außenrändern des Humanen. Wie Tiere und Maschinen den Menschen angenähert werden. S. 384–413 in: S. Hirschauer, P. Hofmann, A. Friedrichs & G. Schabacher (Hrsg.), *Humandifferenzierung im Vergleich*. Weilerswist: Velbrück.
- Lindemann, G. & H. Matsuzaki, 2014: Constructing the Robot's Position in Time and Space. *The Spatio-Temporal Preconditions of Artificial Social Agency. Science, Technology & Innovation Studies* 10: 85–106.
- Link, H. & H. Kalthoff, 2023: Die Naturalisierung des Roboters. Zu einer Soziologie technischen Wissens. S. 261–280 in: T. Cress, O. Murawska & A. Schlitte (Hrsg.), *Jenseits des Menschen. Neue Perspektiven auf Natur/Kultur*. Paderborn: Brill/Fink.
- Lipp, B., 2023: Caring for Robots: How Care Comes to Matter in Human-Machine Interfacing. *Social Studies of Science* 53: 660–685.
- Lynch, M. & S. Woolgar (Hrsg.), 1990: *Representation in Scientific Practice*. Cambridge: MIT-Press.
- Merleau-Ponty, M., 1994: *Das Sichtbare und das Unsichtbare*. München: Fink.
- Mitchell, W. J. T., 1990: Representation. S. 11–22 in: F. Lentricchia & T. Mc Laughlin (Hrsg.), *Critical Terms for Literary Study*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Mori, M., 2019/1970: Das unheimliche Tal. S. 212–219 in: K. D. Haensch, L. Nelke, & M. Planitzer (Hrsg.), *Uncanny Interfaces*. Hamburg: Textem.

- Muhle, F., 2018: Sozialität von und mit Robotern? Drei soziologische Antworten und eine kommunikationstheoretische Alternative. *Zeitschrift für Soziologie* 47: 147–163.
- Müller-Stach, S., 2023: *Der Code der Mathematik. Beweis und Wahrheit*. Berlin: Springer.
- Prior, L., 2004: Doing Things with Documents. S. 76–94 in: D. Silverman (Hrsg.), *Qualitative Research: Theory, Method and Practice*. London: Sage.
- Rammert, W., M. Schlese, G. Wagner, J. Wehner & R. Weingarten, 1998: *Wissensmaschinen. Soziale Konstruktion eines technischen Mediums. Das Beispiel Expertensysteme*. Frankfurt/Main: Campus.
- Renn, J., 2014: *Performative Kultur und multiple Differenzierung. Soziologische Übersetzungen I*. Bielefeld: Transcript.
- Rheinberger, H.-J., 1999: Alles, was überhaupt zu einer Inskription führen kann. S. 265–277 in: U. Kaulff & G. Smith (Hrsg.), *Wissensbilder. Strategien der Überlieferung*. Berlin: Akademie.
- Rheinberger, H.-J., 2001: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Göttingen: Wallstein.
- Rheinberger, H.-J., M. Hagner & B. Wahrig-Schmidt (Hrsg.), 1997: *Räume des Wissens*. Berlin: Akademie.
- Richardson, K., 2016: Technological Animism. The Uncanny Personhood of Humanoid Machines. *Social Analysis* 60: 110–128.
- Schmidt, R., 2008: Praktiken des Programmierens. Zur Morphologie von Wissensarbeit in der Software-Entwicklung. *Zeitschrift für Soziologie* 37: 282–300.
- Schulz-Schaeffer, I. & M. Meister, 2017: Laboratory Settings as Built Anticipations. Prototype scenarios as Negotiation Arenas Between the Present and Imagined futures. *Journal of Responsible Innovation* 4: 197–216.
- Schulz-Schaeffer, I., M. Meister, T. Clausnitzer & K. Wiggert, 2023: Sozialität von Robotern aus handlungstheoretischer Perspektive. S. 165–192 in: F. Muhle (Hrsg.), *Soziale Robotik. Eine sozialwissenschaftliche Einführung*. Berlin, Boston: de Gruyter.
- Spradley, J.-P., 1979: *The Ethnographic Interview*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Strauss, A., 1998: *Grundlagen qualitativer Sozialforschung: Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen Sozialforschung*. München: Fink.
- Sütiste, E., 2021: Intersemiotic Translation. S. 127–134 in: Y. Gambier & L. van Doorslaer (Hrsg.), *Handbook of Translation Studies. Volume 5*. Amsterdam: Benjamins.
- Tarde, G., 2008: *Die Gesetze der Nachahmung*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Treusch, P., 2015: *Robotic Companionship. The Making of Anthropomorphic Kitchen Robots in Queer Feminist Technoscience Perspective*. Linköping: LiU-Tryck.
- Turkle, S., 1984: *Die Wunschmaschine. Vom Entstehen der Computerkultur*. Reinbek: Rowohlt.
- Weber, J., 2003: *Turbulente Körper und emergente Maschinen. Über Körperkonzepte in neuerer Robotik und Technikkritik*. S. 119–136 in: J. Weber & C. Bath (Hrsg.), *Turbulente Körper, soziale Maschinen. Feministische Studien zur Technowissenschaftskultur*. Opladen: Leske und Budrich.
- Werner, G., 2001: Das technische Bild – aus ästhetischer Sicht betrachtet. S. 367–382 in: B. Heintz & J. Huber (Hrsg.), 2001: *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*. Zürich/Wien: Voldemeer/Springer.
- Winkler, H., 2021: *Ähnlichkeit*. Berlin: Kulturverlag Kadmos.
- Winograd, T. & F. Flores, 1989: *Erkenntnis Maschinen Verstehen. Zur Neugestaltung von Computersystemen*. Berlin: Rotbuch.
- Wittgenstein, L., 1984: *Philosophische Untersuchungen*. S. 225–280 in: Wittgenstein, L.: *Tractatus logico-philosophicus. Tagebücher 1914–1916. Philosophische Untersuchungen*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Zitzewitz, J. von, P. M. Boesch, P. Wolf & R. Riener, R. 2013: Quantifying the Human Likeness of a Humanoid Robot. *International Journal of Social Robotics* 5: 263–276.

Autor:innen

Herbert Kalthoff

Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Jakob-Welder-Weg 12
55128 Mainz
E-Mail: herbert.kalthoff@uni-mainz.de

Herbert Kalthoff, Professur für Wissenssoziologie und Qualitative Methoden an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
Forschungsschwerpunkte: Soziologie der Bildung und Bewertung; Praxis- und Materialitätstheorien; Wissenssoziologie der Robotik.
Wichtigste Publikationen: *Theoretische Empirie*. Frankfurt/Main: Suhrkamp 2008 (mit S. Hirschauer & G. Lindemann); *Practices of Calculation*, in: *Theory, Culture & Society* 22/2005, 69–97; *Materieller Sinn*, in: *Zeitschrift für Theoretische Soziologie* 8/2019, 147–172; *Hybrid imbalance. Collaborative fabrication of digital teaching and learning material*, in: *Qualitative Sociology* 46/2023, 403–428 (mit T. Cress).

Hannah Link

Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Jakob-Welder-Weg 12
55128 Mainz
E-Mail: halink@uni-mainz.de

Hannah Link, M. A., studierte Soziologie und Ethnologie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Dort seit 2019 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Soziologie und seit 2021 im SFB 1482 „Human-differenzierung“.
Forschungsschwerpunkte: Soziologie der Materialität; Posthumanismus; Feministische Theorie; Wissenschafts- und Technikforschung; Qualitative Methoden.
Wichtigste Publikationen: *Der Mensch im Angesicht der Technik. Eine Ethnografie der Robotik*. Dissertation Universität Mainz 2025; *Roboter-material und ‚Künstliche Intelligenz‘*, in: R. Groß & R. Jordan (Hg.): *KI-Realitäten*. Bielefeld 2023, 143–167.