

# Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung

## Auf dem Weg zu einem Periodensystem

A. Karafillidis, R. Weidner

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik  
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg  
karafillidis@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de

### Kurzzusammenfassung

Der Forschung zu technischen Systemen der Unterstützung fehlt die Möglichkeit, den Zusammenhang und die Differenz der zahlreichen heterogenen Probleme, Ansätze und technischen Lösungen erkennen und bewerten zu können. Eine Klassifikation kann Abhilfe schaffen, sofern sie nicht intuitiv und ad-hoc, sondern theoretisch hergeleitet wird. Auf Grundlage von zuvor entwickelten Ansätzen zu einer Theorie der Unterstützung werden taxonomische Kriterien abgeleitet und die Entscheidungen methodisch begründet. Diese Kriterien werden genutzt, um eine Matrix analog zu einem Periodensystem zu konstruieren, so dass Zusammenhänge und Differenzen unterschiedlicher technischer Artefakte in diesem Bereich visuell dargestellt werden. Vor allem jedoch entstehen auf diese Weise Leerstellen, die als Bedarfe betrachtet werden können, um weitere Entwicklungs- bzw. Forschungsaktivitäten anzustoßen. Abschließend wird dieser Ansatz diskutiert und mögliche weitere Entwicklungen angedeutet.

### Abstract

#### “Taxonomic criteria of technical support. Toward a periodic table“

Research on technical support systems is lacking a common structure. Such a structure would allow for a better recognition and evaluation of the coherence and difference between heterogeneous problems, approaches, and technological solutions already existing in the field. A classification could provide requisite help, but it has to be theoretically guided instead of ad-hoc and intuitive. Based on previous work on a theory of support we derive taxonomic criteria and substantiate them methodologically. These criteria are then used to construct a matrix in analogy to the periodic table in order to make visible the coherence as well as the differences of different technical support artifacts. Additionally we thus get blank spaces in the matrix which can be conceived as demands to fuel further research or development. We conclude with a discussion of this approach and possible further developments.

**Keywords:** Klassifikation von Unterstützung, Taxonomie, Periodensystem, Relationsmuster der Unterstützung, Körper-Artefakt-Verhältnis

### 1 Einleitung

Seit einigen Jahren wird Technik ausdrücklich mit der Absicht entwickelt, Menschen in verschiedenen Anwendungskontexten zu unterstützen, z.B. im industriellen Umfeld, in der Altenpflege oder auch im Alltag. Damit sind vielerlei Hoffnungen verknüpft. Entsprechende technische Lösungen zielen bspw. darauf ab, die Produktivität zu steigern, die körperliche/geistige Belastung zu verringern oder die Lebensqualität zu erhöhen. Augenfällige Beispiele für konkrete Artefakte sind Industrie- und Service-Roboter, Hebehilfen, Werkzeuge, Assistenzsysteme

in Flug- und Fahrzeugen, Exoskelette, aber auch Sehhilfen, Implantate, Elektroräder oder Apps für Mobiltelefone. Sie alle zeichnen sich wiederum durch zahlreiche unterschiedliche Anwendungskontexte aus. Die Vielfalt ist kaum zu überblicken. Das wird in Zukunft nicht einfacher werden – auch deshalb, weil die Verwendung des Labels „Assistenzsystem“ aus Marketinggründen attraktiv ist.

Technikentwicklung ist kein geradliniger Prozess. Sie kann im Sinne des Erprobens technischer Möglichkeiten durchaus wissenschaftlich motiviert sein, ist aber entscheidend mitbestimmt durch strategische Interessen, die zumeist ökonomischen, politischen oder kulturellen Logiken folgen [1]. Die Absicht Menschen technisch zu unterstützen, ist bislang eher eine Form der gesellschaftlichen Legitimation für den Einsatz neuer technischer Entwicklungen gewesen. Das Unterstützungsmotiv war eine Art Beruhigungsformel, denn technische Erfindungen, so die weit verbreitete Meinung, sollen das Leben leichter machen. Mittlerweile wird diese Ausrichtung auf die Unterstützung von Menschen allerdings zum Entwicklungsmotiv gemacht. Durch diese Fokussierung auf die Assistenz- und Unterstützungsfunktionen technischer Systeme seit den 1970er Jahren (und verstärkt in den vergangenen 15 Jahren) ist nun ein darauf spezialisiertes Wissen entstanden. Hinzu kommen konkrete Erfahrungswerte in Bezug auf Spezifika und Probleme sowie eine Einsicht in die Notwendigkeit eines interdisziplinären Vorgehens, das zudem häufig durch Einbindung potentieller Nutzer ergänzt wird, so dass partizipativ bzw. transdisziplinär entwickelt wird. Diese Vermehrung spezialisierten Wissens, die Verschiebung der Problemstellungen, die projektförmige Kooperation verschiedener Disziplinen und die Einbindung neuer Akteure in Gestaltungsprozesse technischer Systeme rechtfertigt es daher, von technischer Unterstützung als einem neuen Feld der Technikwissenschaften zu sprechen.

Die sehr dynamische und rasante Entwicklung dieses Feldes hat allerdings eine Kehrseite. So ist bspw. eine große Anzahl von Lösungen, Ansatzpunkten und technischen Artefakten zu finden, ohne dass genau erkennbar ist, worin ihr Zusammenhang besteht und ob es überhaupt jenseits des bloßen Augenscheins oder ähnlicher Namensgebungen einen Zusammenhang gibt. Die Vielfalt der Ansatzpunkte für mögliche Unterstützung, der Umsetzungen und der beteiligten Disziplinen macht die Lage in Forschung und Anwendung unübersichtlich. Dem Feld fehlt bislang eine Struktur. Augenblicklich ist es noch zu stark projektabhängig.

Das muss nicht automatisch zu Problemen führen. Um jedoch zum einen Forschungslücken identifizieren und Anwendungsdefizite konkret benennen zu können und zum anderen zukünftige unterstützende Systeme zielgerichteter zu entwickeln, reicht es nicht aus, die Lösungen immerzu ad-hoc in Bezug auf einen jeweils stark eingeschränkten, aktuellen Anwendungsbereich zu sortieren. Dazu müssen die strukturell und materiell so unterschiedlichen technischen Systeme, mit denen jeweils auch unterschiedliche Formen der Ko-Operation von Mensch und Technik verknüpft sind, *vergleichbar* werden. Das kann unter anderem Einsichten in die Austausch- bzw. Übertragbarkeit technischer Komponenten (bspw. von Sensoren, Aktuatoren, Interfaces) über bestimmte Plattformen und spezialisierte Bereiche hinweg ermöglichen.

Die Ansprüche an eine angemessene Taxonomie sind hoch und ihre Entwicklung ist ein laufender Prozess, der in einem derart dynamischen Forschungsfeld nicht vollends abgeschlossen werden kann. Aufbauend auf ersten Versuchen der Bestimmung von zentralen Determinanten und grundlegenden Aspekten technischer Unterstützung [2, 3, 4, 5] versucht dieser Beitrag erste Kriterien für eine Taxonomie existierender und in der Entwicklung befindlicher technischer Systeme zu liefern. Auf dieser Grundlage werden, in Anlehnung an den strukturellen Aufbau

des Periodensystems der Elemente, Ansatzpunkte für eine Klassifikation technischer Unterstützung/Assistenz vorgestellt und entsprechend visualisiert. Zu diesem Zweck werden exemplarische Technologien herangezogen und eingeordnet. Dabei sind, so die These, die entstehenden Lücken wichtiger als die generierte Ordnung selbst. Abschließend werden künftig mögliche Entwicklungsschritte und gegenwärtige Grenzen dieses Ansatzes diskutiert.

## **2 Klassifikation**

Ein wirkungsvoller Schritt zur Strukturierung eines Feldes sind Klassifikationen [6, 7]. Die Nutzung von Unterscheidungen zur Einteilung und Ordnung der Erfahrungswelt ist jedoch kein typisch wissenschaftliches Vorgehen [8]. Klassifizieren ist vielmehr eine grundlegende Operationsform kognitiver Prozesse. „To classify is human“ [9, S. 1]. Vermutlich ist diese Nähe zwischen wissenschaftlicher und alltäglicher Methode ein zentraler Grund für die besondere Attraktivität von Klassifikationen und für ihre Wichtigkeit im Zuge der Programmierung von Sprach- und Bilderkennung im Bereich der Künstlichen Intelligenz.

Eine wissenschaftlich brauchbare, plausible und robuste Klassifikation muss im Gegensatz zu den Heuristiken des Alltags ihre Prämissen offenlegen und begründen können. Im Rahmen einer Bestimmung und Nutzung taxonomischer Kriterien für eine Klassifikation technischer Unterstützung sind vor Aufnahme der kleinteiligen Arbeit grundlegende Entscheidungen notwendig. Sie betreffen hier vor allem die Eingrenzung der zu klassifizierenden Population und die Granularität der Elemente.

### **2.1 Population: Technische Artefakte der Unterstützung**

Das Phänomen der Unterstützung geht weit über technische Unterstützung hinaus. Es schließt z.B. finanzielle oder moralische Unterstützung mit ein [10] oder auch die Unterstützung von Menschen durch Tiere. Deshalb ist bereits eine Vorentscheidung getroffen, wenn konkrete technische Artefakte klassifiziert werden sollen, die menschliche Aktivitäten unterstützen. Doch trotz dieser Einschränkung auf technische Artefakte bleibt die Varietät hoch. Ist es angesichts dessen nicht sinnvoll, sich zunächst nur auf einen bestimmten Bereich zu konzentrieren, also zum Beispiel nur Unterstützung durch Exoskelette oder Implantate zu klassifizieren?

Es ist unser Ziel, vollkommen heterogene technische Lösungen vergleichbar zu machen, so dass spezifische Probleme als Spezialfall eines allgemeinen Problems erkennbar werden [11]. Deshalb erfolgt direkt der Versuch, alle empirisch von Beobachtern als Unterstützungs- und Assistenzsysteme markierte Artefakte in die Klassifikation mit einzubeziehen. Das erfordert einen gewissen Grad an Abstraktion – was wiederum auch technische Systeme als Unterstützung sichtbar macht, die in der Literatur bislang nicht unter dieser Bezeichnung aufgefallen sind und somit die Population erweitern. Anschließend ist eine Erhöhung der Auflösung noch immer möglich, wohingegen umgekehrt die Konzentration auf allzu bereichsspezifische Unterscheidungen und Details eine Zusammenführung erschwert. Deshalb verzichten wir in diesem Beitrag darauf, vorhandene Klassifikationen von Assistenz als Stand der Forschung zu referieren. Sie sind allesamt beschränkt auf bestimmte Domänen wie z.B. Software [12] oder Werkerinformationssysteme [13] oder Exoskelette [14]. Es gibt noch keine Klassifikation in der Abstraktionslage, die hier im Fokus steht.

Angestrebt ist eine *empirische* Klassifikation, denn es geht darum, eine Menge empirischer Objekte entsprechend taxonomisch zu erfassen [15]. Es ist zugleich aber auch eine konzeptuelle Klassifikation, weil Typen theoretisch hergeleitet werden, deren empirische Fälle technisch

noch entwickelt werden können. Insofern ist das Resultat eine Mischform, eine Art „Taxologie“. Die Menge der zu klassifizierenden, bereits existierenden Population bleibt jedoch nicht wegen dieser Mischform unscharf, sondern ausschließlich aus empirischen Gründen. Da jedes technische Artefakt als potentiell unterstützend begriffen werden kann, wird auf empirische Plausibilität gesetzt und nicht auf eine Definition, mit der sich technische Artefakte eindeutig in unterstützende und nicht-unterstützende aufteilen lassen. Jeder Versuch einer scheinbar eindeutigen Definition wird scheitern oder wird so breit angelegt sein müssen, dass er unbrauchbar wird.

## **2.2 Taxa als empirische Elemente**

Die zu klassifizierenden Elemente sind keine konkreten, einzelnen technischen Lösungen bestimmter Hersteller oder Forschungsinstitute. Die Population empirischer Objekte wird also mit einer minimalen Struktur übernommen. In diesem hochdynamischen Feld wäre ein auf Ebene einzelner Objekte ansetzender Klassifikationsversuch problematisch. Extrapoliert man die Frequenz mit der entsprechende Lösungen oder gar Produkte auftauchen und verschwinden, werden eine Vielzahl der augenblicklich vorhandenen Systeme in einigen Jahren vermutlich nicht mehr in der jetzigen Form existieren. Zudem gibt es allein im Bereich Service-Robotik weltweit aktuell mehr als 600 Hersteller [16], was dieses Unterfangen nicht unbedingt erleichtert.

Im Gegensatz zu biologischen Taxonomien gibt es bei technischen Artefakten keine „natürlichen Arten“ (so umstritten sie in der Biologie selbst sind) in dem Sinne, dass bestimmte Objekte relativ zeitstabil vorausgesetzt werden können [17]. Die Elemente einer ersten Klassifikation sind daher selbst bereits *Taxa* von Unterstützungssystemen. Wir beginnen nicht mit einer Schaffung von *Taxa* und einer Identifikation von zugehörigen Objekten, sondern klassifizieren forschungspraktisch verwendete *Taxa*, um ihre Beziehungen sichtbar zu machen. Es werden folglich „Exoskelette“ und „Industrieroboter“ als empirische Objekte klassifiziert, nicht das Beinexoskelett X der Universität Y oder der Industrieroboter A des Herstellers B.

Die temporale Dynamik des Felds ist ein wichtiger, aber nicht der einzige Grund dafür, weshalb diese Entscheidung für empirische Typen – also *Taxa* – als Elemente ein legitimer Weg ist. Ein weiterer Grund ist ihre soziale und sachliche Konstruktion, also die einfache Tatsache, dass es sich um *Arte-Fakte* handelt. Das gilt interessanterweise auch für die Elemente des Periodensystems, denn auch die chemischen Elemente bedürfen der Herstellung. Die meisten von ihnen sind nicht natürlich aufzufinden, sondern werden technisch produziert, um als Element in Erscheinung treten zu können [18, 19]. Eisen ist bspw. nur als Erz zu haben und es braucht technische Verfahren, die das Eisen vom Sauerstoff trennen, um reines Eisen zu bekommen. Es gibt ferner Elemente, die im Labor synthetisiert werden müssen. Sie sind im Prinzip „künstliche Natur“, also Produkte technischer Verfahren, aber dennoch elementar. Deshalb ist das Periodensystem ein Klassifikationsschema, das für unser Vorhaben von besonderem Interesse ist und auf sein Potential hin erprobt werden sollte.

Technische Unterstützungssysteme sind ebenfalls synthetisierte Objekte. Die *Taxa* beziehen also Formen der Synthetisierung bestimmter Artefakte mit ein und richten sich nach empirisch beobachtbaren und deutlich erkennbaren Konstruktionsprinzipien: z.B. Exoskelette, Health-Apps oder humanoide Service-Roboter. Jedes einzelne Exoskelett oder jede existierende Health-App als Element aufzunehmen würde keinen Erkenntnisgewinn erzielen. Schließlich finden sich auch nicht alle möglichen Isotope der stofflichen Elemente im Periodensystem. Das Element ist eine Abstraktion. „(...) any contemporary chemist has to concede that when he or

she points to the sixth place in the periodic system they are not pointing to any physically existing isotope but to an abstract entity which somehow embodies all the isotopes of carbon.“ [20, S. 71]

Genauso wie die Population technischer Unterstützungssysteme bleiben auch die Elemente aus empirischen Gründen unscharf. Es sind *polythetische* Klassen, die als Elemente klassifiziert werden [15], das heißt unsere Taxa sind nicht notwendig homogen und exklusiv. Es gibt immer eine beobachterabhängige Ungewissheit und Grenzfälle, so dass Überlappungen nicht ausgeschlossen werden können. Doch es ist nur scheinbar die Aufgabe von Klassifikationen Eindeutigkeit zu schaffen wo zuvor Chaos herrschte. Vielmehr haben sie die Funktion, Probleme und Differenzen genau adressieren zu können und ihnen eine Form zu geben, um weitere Fragen anzuschließen. Sie schaffen mit anderen Worten keine Objektivität, sondern sie disziplinieren Subjektivität und übersetzen sie in Forschungsfragen.

### **3 Taxonomische Dimensionen**

In den vorangehenden Abschnitten haben wir den Bereich eingegrenzt, der klassifiziert werden soll. Nun müssen die Kriterien der Klassifikation bestimmt werden. Dazu bauen wir auf vorangehende Überlegungen auf, in denen wir drei Determinanten beobachtet haben, die jede Situation der Unterstützung bestimmen. Entscheidend ist der Fokus auf *Situationen*, also die soziologische Betrachtung von Unterstützung. Als Grundlage einer Klassifikation dienen deshalb weder objekttypische Eigenschaften, die sich auf die stoffliche und strukturelle Beschaffenheit des Artefakts beziehen (z.B. auf Aktuatoren, Sensorik, Kinematik, Material, Aufbau), noch subjekttypische Faktoren, die üblicherweise kognitive und physische Funktionen als Ansatzpunkte für Unterstützung unterscheiden, sondern *situierte Relationen* zwischen Artefakten und Menschen. Das bedeutet davon ausgehen zu müssen, dass Unterstützung nicht selbstverständlich durch die technische Vorrichtung geleistet wird. Es gibt eine empirische Differenz zwischen den Intentionen der Entwickler\_innen von Technik und ihrem praktischen Einsatz, die klassifikatorisch berücksichtigt werden muss, unter anderem auch deshalb, weil sie im Hinblick auf Akzeptanz von Technologie eine wichtige Rolle spielt. Unterstützung ist ein Resultat der Situation, in der sich das technische System als unterstützend inszenieren und bewähren muss. Dadurch wird die Beobachtung des Problems anders formatiert, ohne die vorhandenen Versuche einer Klassifikation auszublenden. Gerade die intuitiv zunächst plausible und deshalb für Entwickler\_innen wichtige Unterscheidung von entweder kognitiver oder physischer Unterstützung von Menschen lässt sich nicht einfach ignorieren. Aber sie bekommt einen anderen Stellenwert und dient nicht als Ausgangsdifferenzierung für eine Klassifikation. Ihre zentrale Stellung wird ferner durch aktuelle Entwicklungen in der Kognitionsforschung in Frage gestellt. Im Gegensatz zum klassischen (und noch immer einflussreichen) Modell der sequentiellen Informationsverarbeitung, das körperliche und geistige Funktionen trennt, wird Kognition mittlerweile als verkörperter und verteilter Prozess verstanden: sie betrifft die sensomotorische Kopplung [21, 22] und ist darüber hinaus neurophysiologisch zwar in individuellen Körpern/Gehirnen verankert, aber dort nicht konzentriert, sondern vollzieht sich situativ verteilt, das heißt sie ist verteilt auf die neurophysiologische Vorgänge, körperextern verfügbare Symbole, Artefakte und Interaktionsprozesse, die gemeinsam eine aktuell für den Organismus verfügbare Realität errechnen [23]. Wir verlieren diese Unterscheidung zwischen kognitiver und physischer Unterstützung aus empirischen Gründen trotz allem nicht aus den Augen, weil sie bei der Suche nach ingenieurwissenschaftlichen Ansatzpunkten für Unterstützung faktisch

noch immer im Fokus steht und deshalb auch mit dem Eindruck der Nutzer und der Art ihres Gebrauchs der Unterstützung korrespondieren kann.

### **3.1 Kommunikative Muster von Unterstützungssituationen (Ordinate)**

Unterstützungssituationen sind dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einer Aktivität und einer auf sie bezogenen Unterstützung unterschieden wird. Sofern ein als Unterstützungssystem bezeichnetes Artefakt in eine Situation eingeführt ist, wird diese Unterscheidung konkretisiert, und zwar als Unterscheidung zwischen einer zu unterstützenden menschlichen Aktivität (das kann eine „interne“ Aktivität, z.B. eine körperliche Funktion, sein oder eine „extern“ auszuführende Aufgabe) und dem technischen Artefakt, das diese Aktivität unterstützt. In solchen Situationen der Unterstützung ist das kommunikative Verhältnis von Mensch und Technik dreifach bestimmt: durch die zeitliche Beziehung, durch die Art ihrer Kopplung und durch die Attribution von Kontrolle [4].

#### ***Zeitliche Relation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)***

Mensch und Technik können *synchronisiert* oder *desynchronisiert* operieren. Synchronisierung ist möglich und beobachtbar, wenn die Möglichkeit einer wechselseitigen Wahrnehmung zwischen Mensch und Technik Bedingung der Unterstützung ist. Das impliziert meistens, dass die technische Unterstützung der Aktivität für beteiligte Menschen erkennbar innerhalb der Grenzen der Situation stattfindet. Wenn das der Fall ist, lässt sich von einer Kopräsenz von Mensch und Technik sprechen. Sofern keine sensorische Information von der Aktivität des jeweils anderen errechnet wird (z.B. eine Software läuft im Hintergrund, so dass der Mensch das nicht wahrnehmen kann) und damit das Kriterium der Wechselseitigkeit nicht gegeben ist, kann streng genommen keine Synchronisation stattfinden – auch wenn ein situationsexterner Beobachter die Relation womöglich als in irgendeiner Form synchronisiert beschreiben kann (und auch wenn die Strenge dieses Kriteriums in weiteren Studien differenziert werden kann). Man beachte, dass wechselseitige Wahrnehmung sich nicht nur auf den Sehsinn beschränkt. Wenn keine Synchronisierung stattfindet, ist die Relation nicht kopräsent, sondern verstreut. Eine intermittierende Synchronisation ist möglich und vermutlich unvermeidlich, wird in dieser ersten Klassifikation im Periodensystem jedoch noch nicht berücksichtigt.

#### ***Kopplungsrelation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)***

Mensch und Technik können *integriert* oder *komplementär* gekoppelt sein. Integration ist der Fall, wenn die technische Unterstützung die Ausführung der Aktivität operativ und materiell mitvollzieht – wenn also die Freiheitsgrade der Technik in Bezug auf die Aktivität durch die menschlichen Freiheitsgrade bestimmt bzw. abgestimmt sind. (Oder allgemein und im äußersten Fall: wenn die jeweiligen Freiheitsgrade bezüglich der Aktivität formal und funktional identisch sind). Bei Integration bezieht sich die Unterstützung im Prinzip immer auf menschliche Funktionen und ihre Kompensation, ihre Wiederherstellung, ihren Ersatz oder ihre Verstärkung. Eine komplementäre Kopplung liegt dagegen vor, wenn es sich um eine arbeitsteilige Relation von Mensch und Technik handelt. Arbeitsteilung ist nur dann möglich, wenn es eine Konzentration auf die Aufgabe gibt, die in verschiedene Schritte oder Komponenten aufgeteilt wird. Das schließt die Veränderung von Kontextbedingungen der Aktivität ein (z.B. im Sinne von „den Rücken freihalten“, Vorbereiten). Mit technischer Assistenz im genauen Sinn kann

immer nur diese komplementäre Form der Kopplung gemeint sein. Assistenz bezeichnet folglich eine spezielle Form von Unterstützung. Mit einer höher auflösenden Differenzierung können darüber hinaus auch Wahrnehmungsmedien der Kopplung (z.B. haptisch, optisch, sprachlich) unterschieden werden.

**Kontrollrelation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)**

Die Unterstützungsbeziehung kann entweder *menschlich kontrolliert* oder *technisch kontrolliert* sein. Kontrolle bezeichnet einen zirkulären, kommunikativen Prozess: man muss sich von dem kontrollieren lassen, was man kontrollieren will. Der Mensch kontrolliert die Technik und lässt durch sie bspw. seine Bewegungen kontrollieren, weil sonst das Interface nicht funktioniert. Kontrolle ist nie einseitig [24, 25, 26]. Jedoch wird diese Zirkularität, wie in allen Kommunikationsprozessen, interpunktiert [27], das heißt es wird in diesem Prozess ein Ausgangspunkt oder Ursprung der Kontrolle bestimmt. Kontrolle wird dadurch einer der beteiligten Entitäten zugeschrieben. Kontrollrelationen können in der Unterstützungssituation auch wechseln oder oszillieren. Außerdem wäre es möglich, dauerhafte von vorübergehender Kontrolle zu unterscheiden und diese Determinante dadurch weiter zu differenzieren.

Die Determinanten werden hier vereinfacht dichotom betrachtet und als Grundlage einer Klassifikation von technischen Systemen verwendet, die in solchen Situationen unterstützend eingesetzt werden. Keine von ihnen ist in irgendeiner Form oder Kombination technisch oder moralisch wünschenswerter oder effektiver oder aus anderen Gründen zu bevorzugen. Die gerade angedeuteten Variations- und Differenzierungsmöglichkeiten werden noch nicht erprobt. Da diese drei Determinanten Unterstützungssituationen immer gemeinsam strukturieren, ergeben sich bei drei dichotomen Determinanten  $2^3$  grundlegende Formen. Tabelle 3.1 zeigt ihre Herleitung.

**Tabelle 3.1:** Grundlegende Muster von Unterstützungssituationen

	Zeitverhältnis		Kopplungsform		Kontrollzuschreibung	
	<i>Desynchron</i>	<i>Synchron</i>	<i>Komplementär</i>	<i>Integriert</i>	<i>Artefakt-Kontrolle</i>	<i>Menschliche Kontrolle</i>
<i>DKA</i>	1	0	1	0	1	0
<i>DKM</i>	1	0	1	0	0	1
<i>DIM</i>	1	0	0	1	0	1
<i>DIA</i>	1	0	0	1	1	0
<i>SKM</i>	0	1	1	0	0	1
<i>SKA</i>	0	1	1	0	1	0
<i>SIA</i>	0	1	0	1	1	0
<i>SIM</i>	0	1	0	1	0	1

Polare Relationen

Eine „1“ markiert, dass die jeweilige strukturelle Ausprägung vorhanden ist, eine „0“ markiert, dass sie nicht vorhanden ist. Es ist nicht ausgeschlossen, dass es Situationen/Artefakte geben kann, die beide Seiten einer Determinante gleichzeitig realisieren können oder zwischen den beiden oszillieren. Wir halten bei diesem Versuch einer Klassifikation jedoch an einer dichotomen Lesart fest, um eine erste Grundstruktur zu gewinnen. Die Drei-Letter-Codes in der linken

Spalte dienen als Kürzel für die acht verschiedenen Relationsmuster in Unterstützungssituationen. Sie sind hier zum einen in zwei Gruppen zusammengefasst, und zwar die desynchrone Gruppe (D-Gruppe, die oberen vier Zeilen) und die synchrone Gruppe (S-Gruppe, die unteren vier Zeilen), und zum anderen sind sie nach polaren Relationen sortiert, das heißt die Pfeile auf der linken Seite verweisen jeweils auf Relationsmuster mit spiegelbildlichem  $\{0,1\}$ -Muster.

### **3.2 Wahrnehmung der Artefakte in Relation zum menschlichen Körper (Abszisse)**

Diese acht Muster kommunikativer Relationen (mit anderen Worten: von Situationen) dienen als Ordinate einer zweidimensionalen Matrix, die analog zu einem Periodensystem konstruiert werden soll. Es sind die immerzu wiederkehrenden Muster solcher Situationen. Die andere Dimension der Matrix ist eine Gruppierung nach *Ähnlichkeit der technischen Systeme, und zwar in Bezug auf ihr Größen- und Distanz-Verhältnis zum menschlichen Körper*. Auch das ist bereits eine implizite Klassifikation, die das intuitive Verständnis von verschiedenen ansetzenden Unterstützungssystemen übernimmt, das von der Wahrnehmung des Artefakts in Differenz und dementsprechend im Verhältnis zum eigenen Körper abhängt.

Es sind zunächst fünf zum Teil fließend ineinander übergehende Körperrelationen nach Ähnlichkeit unterscheidbar.

*Getrennt*: Artefakte, die einen eigenen Körper haben (nicht einfach nur: Gerätegehäuse) und prinzipiell auch unabhängig von der räumlichen Nähe zum menschlichen Körper autonom oder (ferngesteuert) bedienbar operieren können. Sie können dementsprechend in Bezug auf Nähe und Ferne zum menschlichen Körper variieren. Beispiele sind Roboter aller Art und Drohnen oder generell Telemanipulationsobjekte.

*Umgebend* (ambient): Artefakte deren Verkörperung verteilt und deren Einheit deshalb nicht direkt wahrnehmbar ist. Ihre Identität verdichtet sich bisweilen in (oftmals mobilen) Interface-Geräten, was ihren technologischen Zusammenhang in Ansätzen sichtbar und verstehbar macht. Beispiele sind Ambient Assisted Living oder Smart Homes. Autonome Fahrzeuge sind ein Grenzfall zwischen getrennter und umgebender Unterstützungstechnologie.

*Körpernah*: Kleine bis körpergroße Geräte/Objekte, mit denen entweder rudimentäre Interaktion möglich ist oder ein Verhältnis der Bedienung besteht. Dazu gehören Mobiltelefone, aber auch klassische Werkzeuge oder Hebehilfen. Körpernah bezieht sich auf den Greifradius bzw. auf das in gewissem Maße variable Territorium des Selbst (Erving Goffman). Die Kombination „umgebend und körpernah“ findet sich bei vielen Technologien, z.B. Fahrerassistenzsystemen, die normalerweise nicht wahrnehmbar mitfahren.

*Tragbar*: Artefakte, die direkt am Körper getragen bzw. befestigt werden (es sind nicht Objekte gemeint, die in Taschen oder in der Hand mittransportiert oder herumgetragen werden können). Ihre maximale Größe kann diejenige eines menschlichen Körpers allenfalls minimal überschreiten. Der minimalen Größe sind im Prinzip keine Grenzen gesetzt. Beispiele sind Fitness-arambänder, Hörgeräte, Brillen oder Exoskelette.

*Implantiert*: Artefakte, die über verschiedene Wege (meist operativ, aber auch durch Schlucken) in den Körper implantiert bzw. gebracht werden. Sie werden dort entsprechend mit körperinternen organischen Strukturen verbunden (oftmals Nerven) oder können vorübergehend körperliche Vorgänge/Parameter beobachten, wie z.B. Schrittmacher, Elektroden zur Neurostimulation oder Datenpillen. Ein Grenzfall von tragbar und implantiert sind, z.B. neuromuskulär steuerbare Armprothesen.



Es ist nicht überraschend, wenn sich Fälle finden, die zu mehreren dieser Körper-Raum-Verhältnisse passen oder womöglich auch Fälle, die nirgends richtig zu passen scheinen. Schließlich ist das keine Kategorisierung mit exklusiven Klassen, sondern eine am Erleben und Handeln mit solchen Artefakten orientierte Unterscheidung. Ferner sollte im Blick bleiben, dass diese Relationen für technische Systeme beschrieben sind, die zur Unterstützung menschlicher Aktivitäten gedacht sind. Sie gelten nicht für alle mögliche Technik (auch wenn behauptet werden kann, dass jede Technik Menschen direkt oder indirekt unterstützt).

Jedes unterstützende Artefakt kann mit oder ohne Prozessoren und Software operieren. Sie können ferner vernetzungsfähig sein – müssen es aber nicht. Die Versuchung ist insofern groß, zunächst grundlegend zwischen „intelligenter“ und klassischer, ohne Intelligenz ausgestatteter Technik zu unterscheiden. Warum taucht diese offensichtliche und in der Technikentwicklung relevante Differenz hier nirgends explizit auf? Rein technisch gesehen kann eine solche Unterscheidung durchaus sinnvoll sein. Unterstützung ist hingegen weder aus rein technischer Sicht („technische Möglichkeiten“) noch aus rein menschlicher Sicht („menschlicher Bedarf“) angemessen zu begreifen. Es ist ihr Zusammenspiel, auf das es ankommt. Deshalb liegt der Fokus auf Situationen, damit „Intelligenz“ nicht flugs einem Gerät zugeschrieben wird, sondern damit es möglich wird, die Bedingungen zu ermitteln, durch die Artefakte in kommunikativen Verhältnissen intelligent bzw. smart werden. Smartness hängt nicht nur von Prozessoren und Software ab.

Ein solcher Ansatz vermeidet eine essentialistische Betrachtung von Artefakten, die unabhängig von ihrem praktischen Einsatz bestimmte Eigenschaften (z.B. Intelligenz) haben. Diese Betrachtung ist unbrauchbar und in Bezug auf Akzeptanz von Technik irreführend. Sie führt genau die Probleme weiter, vor die uns eine gesellschaftlich entkoppelte Technikentwicklung gestellt hat. Technische Artefakte haben allenfalls das Potential intelligentes Verhalten zu zeigen, aber das gilt auch für alle Menschen und trotzdem werden ihnen – nicht nur in entsprechenden Tests, sondern auch im Alltag – unterschiedliche Formen und Grade an Intelligenz zugerechnet oder gar ihr Fehlen attestiert.

#### **4 Ein Periodensystem**

Wir haben nun die erforderlichen taxonomischen Voraussetzungen, um nach dem Vorbild des chemischen Periodensystems der Elemente eine qualitative, empirische Klassifikation von technischen Unterstützungssystemen vorzunehmen. Genau genommen handelt es sich selbstverständlich nicht um ein „Periodensystem“, weil hier kein periodisches Gesetz zu Grunde liegt, sondern elementare und wiederkehrende Relationsmuster in Unterstützungssituationen. Diese Muster werden in der Tabelle vertikal aufgeführt (ein Muster pro Zeile) und mit der Wahrnehmung der Körper-Artefakt-Relationen gekreuzt, die in die horizontale Dimension eingetragen werden. Allerdings war auch beim ersten chemischen Periodensystem nicht das periodische Gesetz maßgebend für die Anordnung, sondern zunächst rein qualitative Kriterien, nämlich die qualitativ wahrgenommene Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften einzelner Stoffe [28]. Wie im Grunde jede Klassifikation hat das ursprüngliche Periodensystem von Mendeleev die Elemente also in erster Linie nach Ähnlichkeiten gruppiert.

Wir wählen nun diese zweidimensionale Darstellung des Periodensystems, weil sie eine besondere Form der Visualisierung elementarer Relationen ermöglicht und darüber hinaus auf potentielle Zusammenhänge und Technologien verweist.

Wahrnehmung  
(räumliches Körper-Artefakt-Verhältnis)

↑

	Kommunikation (Relationenmuster von Mensch und Artefakt)										
	Getrennt		Umgebend				Körpernah		Tragbar		Implantiert
DKA	Drohne (autonom)	Industrieroboter	Service-Robot z.B. Rasenmäher, Staubsauger	AAL [Smart Home]	Fahr- assistentz z.B. Spurhalte- & Bremsassistent	autonomes Fahrzeug	Health-App Sport, Ernährung	Decision Support Systems			Datenpille
DKM	Drohne (ferngest.)	CNC		CCTV (Videoüberwachung)			Hebehilfe Industrie, Pflege	Werkzeug mit/ohne Antrieb	Tragbarer Laubläser		
DIIM			Telemani- pulator							Exoskelett	Prothese
DIA							E-Bike	Gehhilfe	Brille	Orthese	Cochlea- Implantat
SKM			Social-Robot z.B. Pflege, Spiel	Smart Home [AAL]				Smart- phone	Datenbrille (Steuerung)		
SKA		Leichtbau- roboter							Datenbrille (augmented)	Wearables z.B. Uhr, Tracker	
SIA							Navigation- system	Greifhilfe			Schritt- macher
SIM									Exoskelett		Prothese & Sensorik

Abbildung 4.1: „Periodensystem“ zur Klassifikation technischer Unterstützungssysteme

Analog zur ersten Version Mendeleevs – eine 12x8-Tabelle [29] – erhalten wir eine 8x5-Tabelle, in der bestimmte technische Lösungen gruppiert werden. Es sind effektiv nur fünf Spalten, weil die jeweilige Unterteilung der Spalten in drei Unterspalten nur der Anzahl der hier in einer Reihe zu notierenden Lösungen geschuldet ist. Die „Breite“ der einzelnen Spalten kann also abhängig von der Anzahl der identifizierten Fälle, die in eine Klasse fallen, reduziert oder erweitert werden. Die gewählte Abfolge innerhalb der Spalten richtet sich nach der Nähe zu den Nachbarklassen bzw. einfach nach der Größe des Artefakts im Verhältnis zum Körper. Die Spalten sind intern also grob nach Artefaktgröße/-nähe von links nach rechts sortiert. Diese Spaltendifferenzierung kann in Zukunft dazu dienen, technische Systeme genauer voneinander zu unterscheiden.

Der Prozess der Identifikation von Elementen für bestimmte Klassen wird hier nicht im Einzelnen dargestellt, obwohl genau das vermutlich an bestimmten Stellen für die größte Irritation sorgt (Wieso findet sich die Technik X an dieser Stelle?). Es genügt vorerst die hier anhand der zuvor zu Grunde gelegten Kriterien ermittelte Identifikation zu akzeptieren, um nicht in Zuordnungsstreitigkeiten zu verfallen, sondern um drei Auffälligkeiten des ersten Resultats zeigen zu können. Die Beobachterabhängigkeit einer Klassifikation lässt sich ohnehin nicht vollends tilgen.

- (1) Einige Ähnlichkeiten waren zu erwarten, andere sind überraschend. Dass ein Industrie- und ein Service-Roboter sich in Bezug auf die kommunikative Form der Unterstützung näher sind als Smart Home und Hörgerät überrascht nicht. Dass Herzschrittmacher und Navigationssysteme oder E-Bikes und Hörgeräte sich vom Relationsmuster her ähneln (sie finden sich in einer Zeile, nämlich SIA bzw. DIA) verwundert hingegen erst einmal. Interessant ist ferner die Einsicht, dass eine Technik durch Weiterentwicklungen – bspw. den Einbau von Sensorik – oder verschiedene Nutzungsarten – bspw. einer Nutzung von Datenbrillen nur zum Fotografieren – in andere Relationsmuster springen kann. Das ist in der Matrix illustriert an Drohne, Datenbrille und Exoskelett. Wie sich diese Punkte interpretieren lassen und welche Schlüsse daraus oder aus anderen Vergleichen jeweils gezogen werden können, variiert abhängig von Interesse und Forschungsfrage.
- (2) Die körpernahen und die körpergetragenen Artefakte weisen die größte Varianz in Bezug auf Relationsmuster der Unterstützung auf – die meisten Zellen dieser beiden Spalten, sechs von acht, sind besetzt. Die geringste Varianz in dieser Hinsicht findet sich aktuell bei den ambienten Technologien. Im Relationsmuster DKA (Desynchron, Komplementär, Artefaktkontrolliert) zeigt sich darüber hinaus die größte Variation an technischen Unterstützungsformen, was mithin historisch bedingt ist. Es ist eine Verschiebung zu sehen von der D-Gruppe (die ersten vier Zeilen), zur S-Gruppe (die unteren vier Zeilen), wenn man sich in der Tabelle nach rechts, also hin zu kleineren Artefakten und zum Körper bewegt.
- (3) Die gesamte Matrix ist etwas mehr als die Hälfte gefüllt (24 Zellen von 40). Fast die Hälfte sind Leerstellen. Sie sind in der Matrix schraffiert hervorgehoben. Das ist kein Problem der Klassifikation, sondern eine der aus unserer Sicht wichtigsten Funktionen für eine Orientierung am Periodensystem. Das Feld der Forschung bzw. der Entwicklung von und mit technischer Unterstützung ist noch vergleichsweise jung und diese Leerstellen deuten darauf hin, dass und vermutlich wo noch Potentiale zu finden sind.

Die erkennbaren Lücken im Periodensystem sind nicht absolut, das heißt, es gibt womöglich aktuell bereits Technologien, die dort ihren Platz finden könnten. Wir beanspruchen keine Vollständigkeit, gehen jedoch davon aus, dass ein Großteil der existierenden technischen Unterstützungssysteme als Spielart irgendeines dieser klassifizierten abstrakten Elemente gelten kann. Es ist umgekehrt keineswegs zu erwarten (und es ist auch nicht notwendig), dass irgendwann alle Zellen gefüllt sein werden. Aber das ist auch nicht der Sinn dieses Ansatzes einer Klassifikation. Die verblüffendste Einsicht von Mendeleev war die Voraussage der Eigenschaften noch unbekannter Elemente [19]. Das Periodensystem hatte also eine Voraussagefähigkeit, die man sonst nur Theorien zugetraut hatte [28]. Es war damit möglich, das Unbekannte zu formulieren, wie es Gaston Bachelard ausgedrückt hat. Deshalb sind die vakanten Stellen in dieser Art des Klassifizierens genauso wichtig wie die besetzten Stellen (oder gar: wichtiger). Aber das heißt im Umkehrschluss gerade nicht, dass die Möglichkeiten in den besetzten Zellen bereits ausgeschöpft sind oder eine einmalige Zuordnung unveränderlich ist. Eine höhere Auflösung der Klassifikation und anderen Möglichkeiten der Sortierung können auch bei den besetzten Zellen noch weitere Potentiale offenbaren.

## **5 Diskussion und Ausblick**

Mit dem vorgestellten Periodensystem als Klassifikation des heterogenen Felds technischer Unterstützungssysteme wird eine Systematisierung präsentiert, die es ermöglicht, erwartbare, aber auch zum Teil überraschenden Zusammenhänge und Unterschiede verschiedener technischer Objekte in dieser Domäne zu erkennen. Verschiedene Interpretationen der dadurch ermöglichten Beobachtungen sind in dieser Darstellung nicht zu finden. Sie sind Gegenstand weiterer Forschung und Entwicklung.

Das Klassifikationsverfahren gründet sich auf eine Theorie der Unterstützung, die vor allem soziologische und kognitionswissenschaftliche Ressourcen nutzt [3, 4]. Die beiden taxonomischen Dimensionen des Periodensystems (kommunikative Relationen und körperliche Wahrnehmungsverhältnisse) und ihre Differenzierung sind daraus abgeleitet worden. Ohne eine solche Theoriegrundlage wäre man auf Übernahme eingebürgerter Kategorien und Definitionen angewiesen, ohne die Chance zu haben, die Relationen zu erkunden, die das Feld ausmachen. Die Übernahme von Unterscheidungen wie zwischen kognitiver und physischer Unterstützung oder zwischen Software und Hardware impliziert schon zu viele Vorentscheidungen über Grenzen von Artefakten und Aktivitäten, die dann als unhinterfragte Prämissen mitlaufen. Wenn man nur noch mit Hilfe der bereits etablierten Kategorien sieht, wird alles unsichtbar, was nicht dort hineinpasst [9].

Trotz allem fällt der Verzicht auf übliche Klassifikationskriterien nicht leicht, vor allem weil sie sehr gebräuchlich sind und deshalb intuitiv plausibel erscheinen. Dennoch wollen wir diese unsystematisch übernommenen und wissenschaftlich längst fragwürdig gewordenen Unterscheidungen fallen lassen. Nur dann wird es möglich, eine Klassifikation zu formulieren, die in Zeiten von „embedded systems“ [30] jenseits der Trennung von Soft- und Hardware argumentiert und auf die cartesische Trennung von Körper (Physis) und Geist (Kognition) verzichtet. Sie ist kognitionswissenschaftlich nicht mehr entscheidend, seitdem zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben, dass Kognition *enacted*, verkörpert, situiert und sozial verteilt operiert [31, 32, 33, 23, 34].

Die resultierende Klassifikation ist eine Mischung aus empirischem und konzeptuellem Vorgehen. Es ist also weder eine (empirische) Taxonomie noch eine (konzeptuelle) Typologie, sondern eine Art „Taxologie“ oder eben: ein *Periodensystem*. Diese Ikone der Wissenschaft als Analogie zu wählen hat etwas mit dieser Vermischung von Typologie und Taxonomie und der attraktiven Visualisierung zu tun. Ein Periodensystem erlaubt es durch seine Struktur Forschungs- und Entwicklungslücken zu identifizieren, Probleme genauer zu benennen, alternative Anwendungsfelder zu erkennen oder Innovationsmöglichkeiten zu entdecken.

Das Resultat ist trotz allem noch nicht diskriminierungsfähig genug. Ferner ist die Identifikation der Elemente nicht eindeutig, was aber mitunter daran liegt, dass die Perspektiven involvierter Beobachter stets variieren, und damit die Einschätzung der Situation insbesondere in Bezug auf die Kontrollhoheit und die Synchronisation unterschiedlich ausfallen kann. Unterscheidungen oszillieren und es müssen Wege gefunden werden, diese empirische Unbestimmtheit von Situationen anzuerkennen und damit umzugehen.

Diese Schwierigkeiten bestimmen auch die weiteren Schritte, von denen einige bereits angedeutet worden sind. Es werden unter anderem alternative Möglichkeiten der Sortierung und Gruppierung der Zeilen untersucht und die Kriterien werden weiter aufgeschlüsselt und verfeinert. Die Anwendung numerischer Verfahren der Clusteranalyse, um die vorhandenen Artefakte empirisch zu bündeln [35, 36] wird ebenfalls in Betracht gezogen. Doch das sollte nicht in Substitution des Periodensystems erfolgen. Eine numerische Taxonomie kennt nur Cluster und keine Lücken, die in dieser Hinsicht gerade interessant sind. Systematisierung bedeutet, das Unbekannte zu formulieren, weil ein Objekt eben nicht natürlich der Erkenntnis vorausgeht [19]. Numerische Verfahren können das nur unzureichend darstellen.

Eine Systematisierung kann die Theoriebildung über Disziplinengrenzen hinweg erleichtern. Sie kann außerdem technische Entwicklungsentscheidungen orientieren, bis hin zur Auswahl oder funktional äquivalenten Substitution von Systemkomponenten und verschiedener Kombinationen von Sensoren, Aktuatoren und Kinematiken. Die Erstellung und der Vergleich verschiedener Periodensysteme für verschiedene Beobachter (z.B. Nutzer und Entwickler) sind auch als Methode im Rahmen partizipativer Technikentwicklung denkbar. Nicht zuletzt könnte diese Klassifikation in Verbindung mit Bewertungspraktiken auch wichtige Ansatzpunkte zur Beantwortung der Frage liefern, welche Form von technischer Unterstützung wir politisch und ethisch verantworten wollen.

## **6 Danksagung**

Diese Forschung (Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags liegt bei den Autoren.

## **7 Literatur**

- [1] W. Rammert: Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: VS Verlag, 2007.
- [2] R. Weidner, A. Karafilidis: Three General Determinants of Support-Systems. In: Applied Mechanics and Materials Vol. 794 (2015), S. 555-562, Trans Tech Publications, Schweiz, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.794.555, 2015.

- [3] A. Karafillidis, R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, Springer-Verlag, Berlin, S. 66-89, 2015.
- [4] A. Karafillidis: Synchronisierung, Kopplung und Kontrolle in Netzwerken. Zur sozialen Form von (technischer) Unterstützung und Assistenz. In: P. Biniok, E. Lettkemann (Hrsg.): Assistive Gesellschaft, Springer VS, Wiesbaden, 2017 (im Erscheinen).
- [5] R. Weidner, A. Karafillidis, J. P. Wulfsberg: Individual Support in Industrial Production – Outline of a Theory of Support-Systems. In: 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, S. 569-579, DOI 10.1109/HICSS.2016.77, 2016.
- [6] P. F. Lazarsfeld: Some Remarks on the Typological Procedures in Social Research. Zeitschrift für Sozialforschung VI, S. 119-139, 1937.
- [7] C. G. Hempel: Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft. Düsseldorf: Bertelsmann Universitätsverlag, 1974.
- [8] C. Lévi-Strauss: Das wilde Denken. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1973.
- [9] G. C. Bowker, S. L. Star: Sorting Things Out. Cambridge: MIT Press, 2000.
- [10] A. Herz: Strukturen transnationaler sozialer Unterstützung. Eine Netzwerkanalyse von personal communities im Kontext von Migration. Wiesbaden: Springer VS, 2012.
- [11] K. Henning, S. Kutscha: Informatik im Maschinenbau. 4., neubearbeitete Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer, 1994.
- [12] A. Dogangün: Adaptive Awareness-Assistenten: Entwicklung und empirische Untersuchung der Wirksamkeit. Lohmar/Köln: Eul Verlag, 2012.
- [13] S. Teubner, G. Reinhart, R. Haymerle, U. Merschbecker: Individuelle und dynamische Werkerinformationssysteme. In: R. Weidner (Hrsg.): Band zur zweiten transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, Hamburg, 2016.
- [14] C. Hochberg, O. Schwarz, U. Schneider: Aspects of Human Engineering – Bio-optimized Design of Wearable Machines. In: A. Verl, A. Albu-Schäffer, O. Brock, A. Ratz (Hrsg.): Soft Robotics. Transferring Theory to Application, Springer, Berlin, S. 184-197, 2015.
- [15] K. D. Bailey: Typologies and Taxonomies. T. Oaks et al.: Sage. 1994.
- [16] International Federation of Robotics, Press Conference, Presentation 12. Oktober 2016, Seoul. Download der Präsentation unter: [http://www.ifr.org/index.php?id=59&df=Presentation\\_12\\_Oct\\_2016\\_\\_WR\\_Service\\_Robots.pdf](http://www.ifr.org/index.php?id=59&df=Presentation_12_Oct_2016__WR_Service_Robots.pdf), 2016.
- [17] M.. Mahner: Biologische Klassifikation und Artbegriff. In: Philosophie der Biologie, Hrsg.: U. Krohs, G. Toepfer, Frankfurt am Main, S. 231-248, 2005.
- [18] W. Lefèvre: Viewing chemistry through its ways of classifying. Foundations of Chemistry 14, S. 25-36, 2012.
- [19] G. Bachelard: Philosophie des Nein. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1980.
- [20] E. R. Scerri: What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? Foundations of Chemistry 14, S. 69-81, 2012.
- [21] F. Varela, J.-P. Lachaux, E. Rodriguez, J. Martinerie: The Brainweb: Phase Synchronization and Large-Scale Integration. Nature Reviews Neuroscience 2, S. 229-239, 2001.
- [22] A. Karafillidis: Unmittelbares Handeln und die Sensomotorik der Situation. Über Francisco J. Varela, Ethical Know-How. In: D. Baecker (Hrsg.): Schlüsselwerke der Systemtheorie, 2., erweiterte Auflage, Springer VS, Wiesbaden, S. 223-249, 2016.
- [23] E. Hutchins: Cognition in the Wild. Cambridge: MIT Press, 1995.
- [24] R. Glanville: The Question of Cybernetics. Cybernetics and Systems 18, 2, S. 99-112, 1987.

- [25] W. R. Ashby: Requisite Variety and its Implications for the Control of Complex Systems. *Cybernetica* 1, 2: S. 83-99, 1958.
- [26] G. Vickers: Cybernetics and the Management of Men. In: ders., *Towards a Sociology of Management*. Chapman and Hall, London, S. 15-24, 1967.
- [27] P. Watzlawick, J. H. Beavin, D. D. Jackson: *Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien*. Hans Huber, Bern, 2000.
- [28] E. R. Scerri: A critique of Weisberg's view on the periodic table and some speculations on the nature of classifications. *Foundations of Chemistry* 14, S. 275-284, 2012.
- [29] E. R. Scerri: *The Periodic Table*, Oxford: Oxford UP, 2011.
- [30] T. A. Henzinger, J. Sifakis: The Discipline of Embedded Systems Design. *Computer* 10, IEEE Computer Society, S. 32-40, 2007.
- [31] M. L. Anderson: Embodied Cognition: A Field Guide. *Artificial Intelligence* 149, S. 91-130, 2003.
- [32] A. Clark: *Supersizing the Mind. Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. Oxford/New York: Oxford UP, 2011.
- [33] F. J. Varela: *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik: Eine Skizze aktueller Perspektiven*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1990.
- [34] N. Suchman: *Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions*, 2. Aufl., Cambridge: Cambridge UP, 2007.
- [35] P. H. A. Sneath, R. R. Sokal: *Numerical Taxonomy*, San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973.
- [36] P. H. A. Sneath: Numerical classification of the chemical elements and its relation to the periodic system. *Foundations of Chemistry* 2, S. 237-263, 2000.