

Der Kognitive Loop

Und wie sich „Intelligenz“ auf Siliziumbasis konstituiert

Claus Riehle, dimeto GmbH, Thorsten Pötter und Thomas Steckenreiter, Samson AG

The Loop of Cognition

In process engineering, one thinks of production operations that are controlled or regulated by sensors and actuators. And any realization of matter transformation is based on a physical substratum, which holds equally for living systems and their behaviour. The article distinguishes between three system levels: the functional level, the interface to the environment and the cognitive level of *intelligence*. Using these three levels, the learning cycle or the previous *Cognitive Loop* can be very well illustrated. If one compares with this way of distinction the *Bio-Informatization* of human intelligence with the technical development stages of mechanization, automation, regulation and deep learning, then the cybernetic-sociological term "*operational closure*" becomes understandable. It becomes obvious that in the context of a digitized culture of production and organization, we should be prepared for a *new kind of cognitive loop* based on silicon (Si), an intelligent system behavior via *Si-Informatization*, the so-called *Artificial Intelligence*.

Keywords:

automation, digitization, ethics, evolution, industry 4.0, cognition, communication, artificial intelligence (AI), cybernetics, learning, machine, media, human, process engineering, philosophy, operational closure, organization, sensor systems, sociology, substrate, systems theory, technology, technology science

In der Prozesstechnik denkt man in Produktionsoperationen, die von Sensoren und Aktoren gesteuert bzw. geregelt werden. Und jede Realisierung von Stoffumwandlung basiert auf einem physischen Substrat, was in gleicher Weise für lebende Systeme und ihr Verhalten gilt. Unterschieden werden in dem Beitrag drei Systemebenen: die Funktionsebene, das Interface zur Umwelt und die kognitive Ebene *Intelligenz*. Mithilfe dieser drei Ebenen lässt sich der Lernzyklus bzw. der bisherige *Kognitive Loop* sehr gut veranschaulichen. Vergleicht man in dieser Unterscheidungsweise intelligentes Verhalten von Menschen mit den technischen Entwicklungsstufen Maschinerisierung, Automatisierung, Regelung und Deep Learning, dann wird das in der kybernetisch-soziologische Systemtheorie gängige Merkmal „*operational geschlossen*“ verständlich. Daraus wird der Schluss gezogen, dass wir im Rahmen einer digitalisierten Kultur von Produktion und Organisation mit einem *neuen Kognitiven Loop* auf Silizium-Basis (Si) rechnen sollten. Um diese Analogie hervorzuheben, bezeichnen wir das vom Homo Sapiens entwickelte intelligente Verhalten mit *Bio-Informatisierung* und die Evolution der sogenannten *Künstlichen Intelligenz* mit *Si-Informatisierung*.



Dr. Claus Riehle ist Geschäftsführer und technischer Leiter der dimeto GmbH und arbeitet als Dozent, freiberuflicher Organisationsberater und Systemischer Coach (SG).



Dr. Thorsten Pötter ist Chief Digital Officer (CDO) der Samson AG und dort verantwortlich für den Bereich Digitalisierung.



Dr. Thomas Steckenreiter ist im Vorstand der Samson AG und dort als Chief Technology Officer (CTO) verantwortlich für den Bereich Forschung, Entwicklung und Operations.

claus.riehle@dimeto.de

Liest man den Begriff „Technik“ mit einer altsprachlichen Brille, dann wird das *besondere Können* erkennbar, weshalb das altgriechische „*téchne*“ bis heute in der Kunst, Philosophie und Wissenschaft von Bedeutung ist. Vor diesem Hintergrund wird auch klar, warum Verfahrens- und Prozesstechnik als *Kunst der Stoffumwandlung* verstanden werden kann [1-3]. Während man *Verfahrenstechnik* mehr mit physikalischen Grundoperationen assoziiert, verbindet man *Prozesstechnik* stärker mit der Mess- und Regelungstechnik. Beide Aspekte sind jedoch in der *Prozessindustrie* eng verknüpft, sodass die Begriffe häufig auch synonym verwendet werden. Denn moderne Produktionsverfahren/-prozesse sind nicht nur mit Sensoren ausgerüstet, sondern mit „*Fühlern*“ geradezu übersät, weil Sensorik durch die rasante Halbleiterentwicklung preiswerter, kleiner, verfügbarer und intelligenter geworden ist; alles zusammen eine wesentliche Randbedingung für „*Digitalisierung*“ bzw. „*digitale Transformation*“ oder „*die vierte Medienepoche*“ [4, 5].

Der Betriebsloop - Sensor-Aktor basierte Operationen

Die Unterscheidung Sensor/Aktor ist die Grundlage der Mess- u. Regelungstechnik.

Die Unterscheidungen System/Umwelt und Beobachtung/Operation sind Grundlage von Luhmanns allgemeiner Theorie *Sozialer Systeme* nach [6]. Vermutlich werden Ingenieure, Manager, Biologen und Soziologen folgende Ansichten weitestgehend teilen: Operationen in Systemen werden über Sensoren und Aktoren gesteuert, egal ob das System eine Produktion, ein Organismus oder eine Organisation ist. Im Fall technischer Systeme reden wir von *Kybernetik*, im Fall sozialer Systeme von „*Kybernetik 2. Ordnung*“ [7]. Sensoren und Aktoren bilden die Schnittstelle zwischen System und Umwelt (vgl. „*Interface*“; „*interaktive Oberflächen*“).

Besonders in der *Theorie Sozialer Systeme nach Luhmann*, nach der ein soziales System

nur aus seinen kommunikativen Ereignissen besteht bzw. daraus erzeugt wird, spielen die Begrifflichkeiten „Selbstreferenz“ und „operationale Schließung“ eine bedeutsame Rolle. Sie sind Grundlage dessen, was in Anlehnung an die Biologie unter Bezugnahme auf Maturana „Autopoiese“ genannt wird [6-9]. Merkmal für diesen Prozess der Selbsterschaffung bzw. der permanenten Selbsterhaltung ist die *operationale Geschlossenheit eines Systems*; gleichzeitig müssen Systeme für ihren Selbsthalt selektiv offen sein. So ist etwa das Herzkreislaufsystem operational geschlossen, solange wir nicht verletzt sind, so wie unser Nervensystem auch, dennoch können/müssen beide mit ihrer Umwelt wechselwirken. Ähnlich lassen sich Mikrocontroller oder Microcontrollersysteme sehen, es sind die hoch „integrierten Schaltkreise“ (IC = „Integrated Circuits“), die operational geschlossen und via „Interfaces“ wechselwirkungsoffen sind.

Das Zusammenspiel von Sensor(en), Aktor(en) und Operation(en) stellt den Betrieb bzw. die Existenz eines Systems gegenüber seiner Umwelt sicher, mit der es kontinuierlich, aber selektiv im Austausch steht. Anders gesagt, der in Bild 1 dargestellte Betriebsloop dient der Aufrechterhaltung der Systemstabilität unter wechselnden Anforderungen seitens einer Umwelt. Ferner sind Sensoren, Aktoren und Operationen an ein Substrat (=Medium) gebunden. Das gilt auch für die Umwelt, jedoch ist zwischen System und Umwelt ein Substrat- oder Medienbruch zu beobachten; dieser Substrat-/Medienbruch markiert geradezu den Übergang System-Umwelt für einen Beobachter.

Zur Evolution der Interaktion – Sprache und Intelligenz

Am Anfang der „Maschinisierung“ steht der Gebrauch von einfachem Werkzeug wie Keil, Hammer, Nadel. *Einfaches Werkzeug* deshalb, weil die zum Gebrauch erforderliche Sensorik von Menschhand geliefert wird: Sie führt das Werkzeug und die Ergebnisprüfung erfolgt via Hände/Augen/Nase/Zunge (z. B. Finger zur Temperaturmessung, das Ablecken der Finger zur pH-Messung u. a. m.). Aus der Perspektive des Werkzeugs beschrieben, könnte man sagen: *In den Anfängen der Maschinisierung war der Mensch der Sensor*, „der verlängerte Arm“ seiner neu entwickelten Werkzeuge und Apparate (z. B. Ackerbau, Herd, Schusswaffen).

Das Beschreiben von Phänomenen und Zusammenhängen ist eine abstrakte Tätigkeit, jedoch evolutionär äußerst hilf- bzw. erfolgreich, wie am Menschen sichtbar. Das Beschreiben selbst

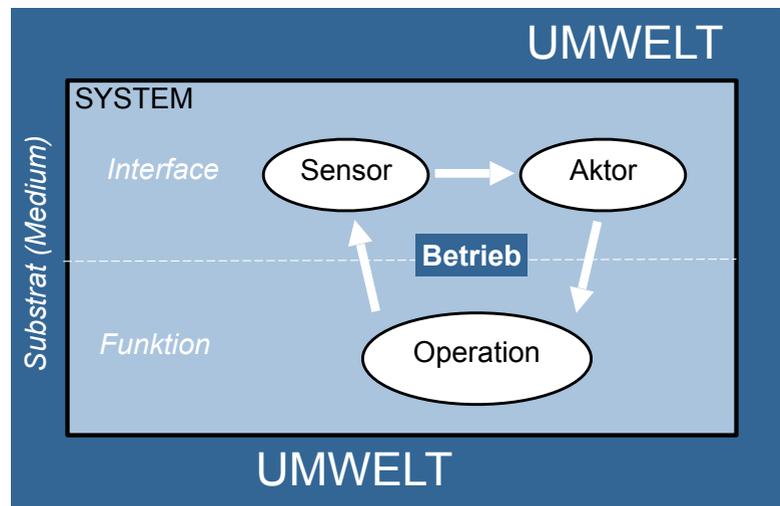


Bild 1: Der Betriebsloop eines Systems.

via *Sprache* (Laute, Worte, Schrift, Metaphorik, Abstraktion) ist mit dem verknüpft, was wir „Intelligenz“ nennen. Diese Varianten von *Beschreiben-Können* sind ein wesentliches Merkmal unserer Lernfähigkeit und damit unseres Anpassungsvermögens. Und dieses Beschreiben-Können, dieses „höhere Syntheseniveau“ [10], liegt jenseits von konkreter Handlung (= Operation). Es liegt auf einer anderen Seite des sensorischen Interfaces, sozusagen *über* allem Bisherigen, denn es ermöglicht sogar das Gegenteil: Die *Unterbrechung des Betriebsloops*; was quasi eine Voraussetzung für Intelligenz darstellt und Lernen erst möglich macht (Bild 2).

Erst der „*Interrupt*“ schafft die Möglichkeit, Daten anders zu verarbeiten als bisher. Es braucht den Interrupt um bislang Automatisiertes zu unterbrechen. Und dadurch beginnen sich die von lebenden Systemen bis dato entwickelten und auf Biochemie und Biophysik basierenden Verfahren, die aus Daten Information machen, zu ändern: Das lebende System Homo Sapiens wird so nach und nach anders *informiert* bzw. *neu informatiert* - nämlich der Neokortex bildet sich aus. Um diese Entwicklung zu markieren, führen wie hier den Begriff der *Bio-Informatisierung* ein.

Menschliche Intelligenz – der Kognitive Loop der Bio-Informatisierung

Solange wir nur von *Re-Aktion* reden, d. h. ein festes Schema für Reiz-Handlung bzw. Sensor-Aktor vorliegt, reden wir nicht von Intelligenz. *Erst wenn wir diesen strengen Ablauf, der sich über „Generationen“ bewährt hat, unterbrechen und damit über das Wie der Fortsetzung entscheiden können, beginnt intelligentes Verhalten*. Unterbrechung eines Reiz-Handlung- bzw. Sensor-Aktor-Schemas

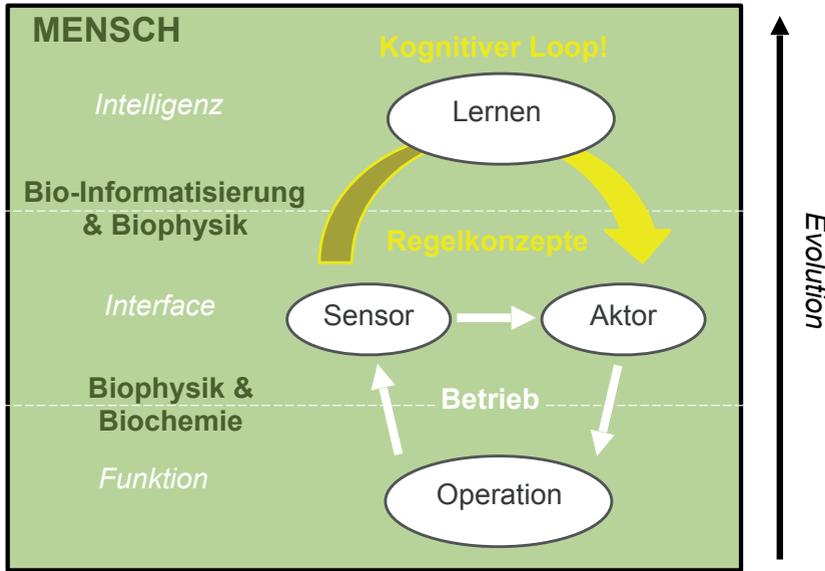


Bild 2: Der kognitive Loop beim Menschen (Bio-Informatisierung).

ist die Voraussetzung für Lernen und Adaptieren-Können.

Und durch das Abstraktionsvermögen unseres neuronalen Netzwerks, genannt Gehirn, bzw. durch das hieraus resultierende Modell-bilden-Können wird Lernen und Anpassung erheblich schneller und effizienter; dieser Kognitive Loop ist ein Überlebensvorteil in der Evolution.

Die Unterbrechung entspricht einer Distanzierung von der operativen Ebene und kommt quasi einer Absetzung davon gleich, weshalb Intelligenz in Bild 2 auch oberhalb des Interfaces und getrennt von der Operation dargestellt ist. Lernfähigkeit und Theoriefähigkeit sind an einer anderen Stelle verortet als Operation und Funktion, aber beide sind diesseits des Interfaces zur Umwelt. Die Fähigkeit zur Abstraktion ist notwendig, um aus praktischen Sachverhalten eine Vorstellung, eine Theorie, Modell oder ein Regelkonzept zu machen. Ein Lernendes

System kann absehen, was ihm widerfahren könnte, anstatt wieder das Gleiche zu erfahren.

Modell, Vorstellung, Regelkonzepte und Echtzeit-Regelung

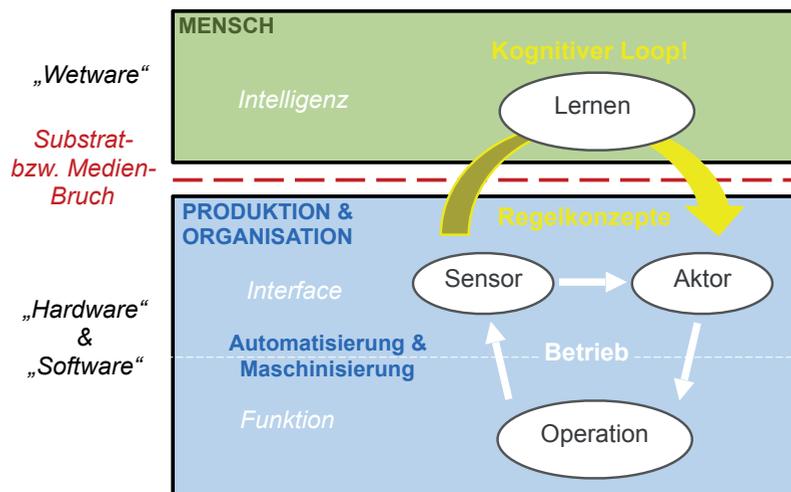
Um einen Ablauf zu regeln, brauchen wir eine Vorstellung (= virtueller Raum; „Figur der Verdopplung“ bei Nassehi [5]) davon, was sich ereignen wird bzw. ereignen könnte. Eine Vorstellung alleine ist schon gut, besser ist jedoch eine sich aktualisierende Vorstellung des Ablaufs. Die Vorstellung eines Ablaufs nennt man Modell und die Aktualisierung wird durch die Rückkopplung („closed loops“) geleistet, wodurch das Modell dynamisch wird. Ist diese Schließung gegeben, spricht das Ingenieurwesen nicht mehr von Steuerung, sondern von einem Regelkreis bzw. von Regelung. Je schneller und je häufiger aktualisiert wird – ein zeitaufwändiger, also rechenintensiver Schritt – desto dynamischer und damit „echter“ ist die Übereinstimmung von realer Situation und virtueller Situation (Vorstellung/Modell). Im idealen Fall reagiert ein intelligentes System in Echtzeit, d. h. es entscheidet sich situativ und prädiktiv für einen neuen Richtwert (aus vielen möglichen anderen). Eine solche sogenannte Echtzeit-Regelung wird z. B. angestrebt bei Produktionsanlagen oder beim autonomen Fahren. Die natürliche Evolution hat sie bei uns Lebewesen vor Zeiten auf bio-chemisch-physikalische Weise realisiert. Wir können z. B. in vielen Situationen wählen, ob wir wegschauen oder uns stellen, ob wir fliehen oder für uns eintreten.

„Wetware“ und der „Kognitive Loop“ im Unternehmen

Der Lernprozess in Unternehmen ist ein großes und zugleich altes Thema, weil eine Unternehmung gefordert ist, bei variablen Märkten

ständig aktuell zu sein. Wie Unternehmen (= Organisation, = System) lernen, wird besonders anschaulich, wenn man im Luhmannschen Bild bleibt und die Menschen in der Umwelt der Organisation konzeptioniert. Wie in Bild 3 dargestellt, wird dann erstens deutlich, dass die Lernschleife einer Organisation (= System) über ihre Mitarbeiter geschlossen

Bild 3: Der Kognitive Loop im Unternehmen.



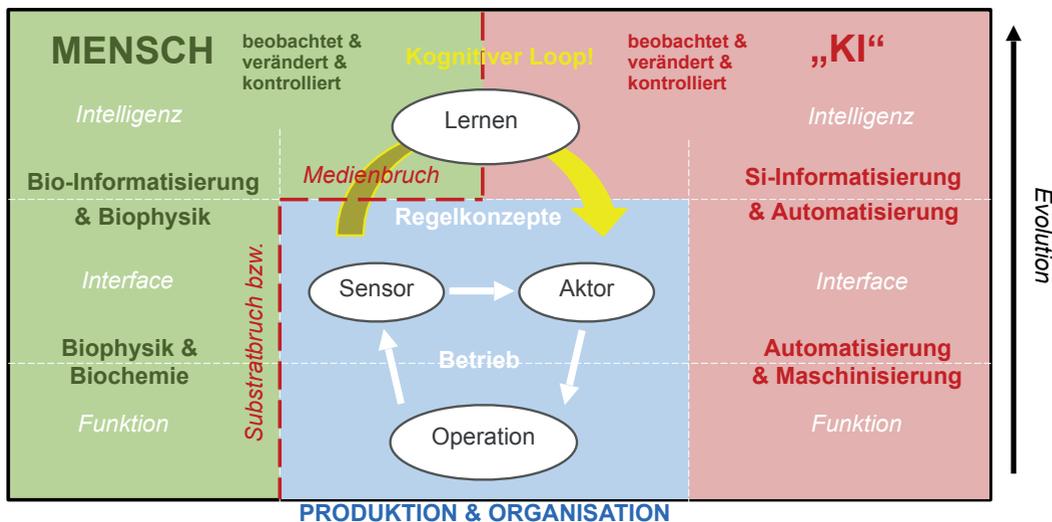


Bild 4: Spieler auf Augenhöhe auf dem Spielfeld Produktion & Organisation.

wird, und zweitens wird der Substrat-/Medienbruch zwischen dem System *Organisation* und seiner Umwelt *Mitglieder* offensichtlich.

Reduzieren wir „Organisatorisches“ schlicht auf Hard- und Software (im weitesten Sinn auch gedacht als Medium für kommunikative Ereignisse), dann wird nicht nur verständlich, weshalb Soziologen den Menschen als „Wetware“ bezeichnen, sondern es erscheint geradezu als konsequent [11]. Der Begriff „Hardware“ bezeichnet das *statische Material* und dient als formfestes Substrat für die *implementierte „Software“*, das noch formbare Material, den informatisierenden Code (vgl. *Informatik*). Zwar baut sich der Mensch zweifellos ebenfalls aus harten und weichen Bestandteilen auf, jedoch ist der markanteste und in diesem Fall entscheidende Unterschied der, dass wir (abhängig vom Alter) zu rund 80 % aus Wasser bestehen. Wasser ist weder Substrat für Hardware noch für Software, aber essenzielles Substrat für Menschen, deshalb das Label *Wetware*.

Intelligente Gegenspieler, genannt „KI“

Die rasante Leistungssteigerung von Rechnern und Datenspeichermedien – gemessen in der Zahl der Schaltzyklen auf einem Rechenchip und darstellbar in Form des *Moorschen Gesetzes* – bringt durch die Miniaturisierung einerseits und den Preisverfall andererseits Neues auf die Agenda [12]. Nämlich „Maschinen“, die keine Maschinen im herkömmlichen Sinn mehr sind, weil sie intelligente Merkmale und Fähigkeiten aufweisen, die uns Menschen auszeichnen: Sie können ähnlich wie wir *beobachten, verändern und kontrollieren* – daher

die *disruptive Wirkung* auf uns, auf Unternehmen [13] und auf Gesellschaft [4, 5].

Und nicht nur das, sie können auch *erfahrungsbasiert* lernen. Hierfür steht der Begriff „Deep Learning“, der für eine aus verschiedenen Schichten aufgebaute Softwarearchitektur steht, die auf die „Theorie der neuronalen Netze“ zurückgeht [14]. Mit diesem Ansatz gelingt es inzwischen mehr und mehr, die Lernfähigkeit unseres Gehirns mit Mitteln der Informatik nachzubilden (z. B. [15]). Mit anderen Worten: Dieses moderne, überaus komplexe und überaus schnelle Zusammenspiel von Hard- u. Software-Komponenten entwickelt sich zu einem echten *Gegenspieler* des Menschen. Diese Situation versucht Bild 4 zu illustrieren. Auf dem *Spielfeld Produktion & Organisation* stehen sich zwei Spieler auf Augenhöhe im Hinblick auf *Management des Spiels* Produktion & Organisation gegenüber.

Künstliche Intelligenz – der Kognitive Loop der Silizium-Informatisierung

Produktionsprozesse und Hard- & Software-Komponenten haben vielleicht nicht das gleiche, aber doch ein sehr ähnliches Substrat/Medium. Jedenfalls basieren sie nicht auf Wasser, d. h. *Wetware* ist ausgeschlossen. Bild 5 soll verdeutlichen, wie sich die moderne Halbleitertechnik nicht nur den operativen Bereich und die Schnittstellen erobert, sondern eben auch den Bereich des Lernens. Kurz gesagt, die Künstliche Intelligenz dehnt sich auf dem gesamten *Spielfeld Produktion & Organisation* aus, weil sie in der Lage ist, den Betriebsloop (effizienter als wir) zu okkupieren. Noch härter formuliert von Nassehi, wenn er schreibt, dass

Literatur

- [1] Fischer, H.-R.: Das Neue als Sprachspiel. Prozedur zur Einführung. In: Fischer, H.-R. (Hrsg): *Wie kommt Neues in die Welt - Phantasie, Intuition und der Ursprung von Kreativität*. Weilerswist 2013.
- [2] Riehle, C.: „Wie kommt Neues in die Welt“ - Buchrezension von [1]. URL: <http://systemmagazin.com/wie-kommt-neues-in-die-welt-phantasie-intuition-und-der-ursprung-von-kreativitaet/>, Abrufdatum 01.11.2019.
- [3] Riehle, C.: Systemisch - was fehlt? „Verfahrenstechnik“ – ein kaum entdecktes Fenster im systemischen Kalender. URL: <http://systemmagazin.com/systemisch-fehlt-verfahrenstechnik-ein-kaum-entdecktes-fenster-im-systemischen-kalender>, Abrufdatum 1.11.2019
- [4] Baecker, D.: *4.0 – oder Die Lücke die der Rechner lässt*. Leipzig 2018.
- [5] Nassehi, A.: *Muster – Theorie der digitalen Gesellschaft*. München 2019. [6] Luhmann, N.: *Soziale Systeme – Grundriss einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp Taschenbuch. Frankfurt a. M. 1987.
- [7] Simon, F. B.: *Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus*. 3. Auflage. Heidelberg 2008.
- [8] Maturana, H.: *Repräsentation und Kommunikation*. In: H. Maturana (Hrsg): *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung der Wirklichkeit*. Braunschweig 1982.
- [9] Varela, F.: *Autopoiese, strukturelle Kopplung und Therapie*. In: Simon, F.B. (Hrsg): *Lebende Systeme – Wirklichkeitskonstruktionen in der systemischen Therapie*. Frankfurt a. M. 1997.
- [10] Elias, N.: *Über die Zeit*. 12. Aufl. Suhrkamp Taschenbuch. Frankfurt a.M. 2017

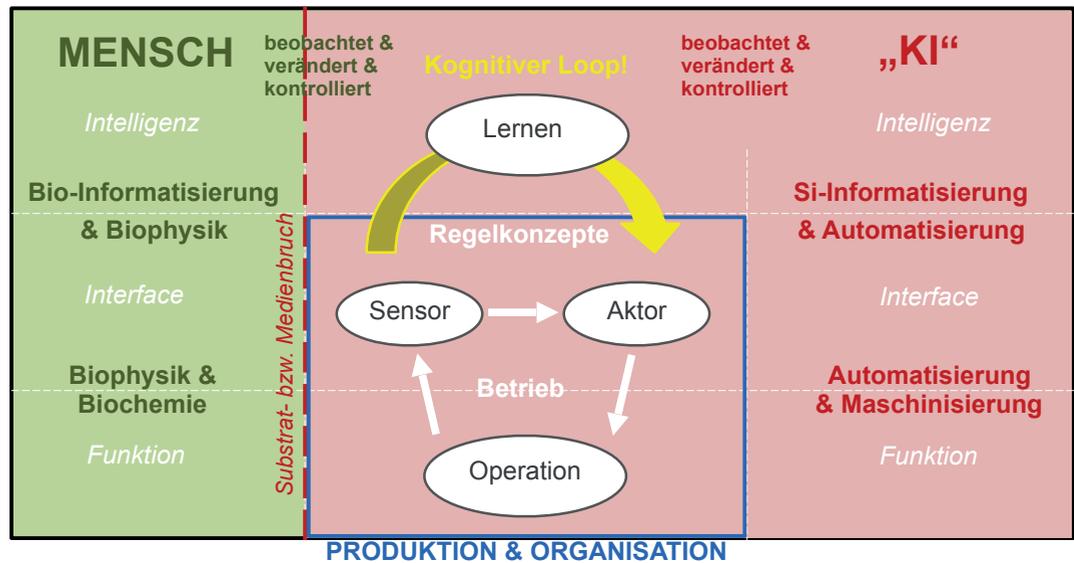


Bild 5: Der kognitive Loop auf Silizium-Basis – die Si-Informatisierung – ist frei von einem Substrat- bzw. Medienbruch bezüglich Produktion & Organisation.

[11] Baecker, D.: Hardware, Software, Wetware. In: Castor&&Pollux, Multimediales Musiktheater für Ensemble, Videokunst und „4DSound“, Programmheft Internationales Musikfestival Heidelberger Frühling 2019, S. 34–37. URL: https://catjects.files.wordpress.com/2019/06/hardware_software_wetware.pdf, Abrufdatum 5.11.2019.

[12] Steckenreiter T.; Pötter T.; Riehle C.: Industrie 4.0 ist kein digitaler Wandel, sondern eine Revolution (Teil 1). Industrie 4.0 Management 34 (2018) 2 & 3, Teil 1: S. 43-47, Teil 2: S. 47-50; URL: http://bit.ly/2ynmxkG_i40_DIGITS_T1, Abrufdatum 15.10.2019.

[13] Pötter T.; Steckenreiter T.; Riehle C.: Digitalisierung - eine revolutionärer Wandel der modernen Produktionsgesellschaft, die große Industrie 4.0-Analyse. Essay/Whitepaper. In: Process Vogel Communication Group 2019. URL: www.process.vogel.de/die-grosse-industrie-40-analyse-gehoren-sie-zu-den-gewinnern-oder-den-verlierern-a-801364, Abrufdatum 15.10.2019.

[14] Kinnebrock, W.: Neuronale Netze – Grundlagen, Anwendungen, Beispiele. München Wien 1992.

[15] LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G.: Deep Learning. In: Nature 521 (2015), S. 436-444.

[16] statista: Number of smartphone users worldwide from 2016 to 2021. URL: www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide, Abrufdatum 11.11.2019.

[17] countrymeters: Weltbevölkerungsuhr. URL: <https://countrymeters.info/de/World>, Abrufdatum 11.11.2019.

[18] Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. Norton New York 2014.

elektrische Zustände die *Dynamik der Geschlossenheit radikalieren* würden [5]. Denn ein evolutionärer Vorteil dieses intelligenten Gegenspielers ist es, ohne Substratbruch agieren zu können. Zusätzlich (und auch dadurch) ist er sehr viel schneller, wenn es darum geht, komplexe Lagen zu erfassen und zu prozessieren, d. h. er agiert *gleichzeitig(!) großräumiger* als wir Menschen. Und die letzte Aussage gilt auch für den Lernprozess: Jedes mobile oder stationäre Endgerät – überall auf der Welt - kann als Sensor, als „Fühler“, als Schnittstelle für einen auf Silizium basierten Kognitiven Loop dienen; die *Silizium-Informatisierung* ist bereits angelaufen.

Bild 5 bietet auch an, wie man begrifflich dem Trend entgegentreten kann, dass „Digitalisierung“ zu einem Buzzword verkommt. Im Grunde geht es um Digitaltechnik (vgl. *techné*), die sich der Komponenten Automatisierung und Si-Informatisierung bedient.

Konkurrenz oder Ko-Operation

Die Metapher des Spielfelds legt den Konkurrenzgedanken nahe und tatsächlich ist es auch nicht neu, dass Technisierung von Menschen so empfunden wird. Die Perspektive Verdrängungswettbewerb erzeugt die disruptive Wirkung. Der von dem Soziologen Armin Nassehi formulierte, lösungsorientierte Blickwinkel ist hier hilfreicher. Nassehi fragt sich, für welches Problem die Digitalisierung eine Lösung darstellt [5]. Schließlich ist es offensichtlich, dass die Möglichkeiten der digitalen Technik vielen Menschen den Alltag „leichter“ machen. Denn uns wird Arbeit, Ballast, Komplexitätsbewältigung und Stress abgenom-

men; so lässt sich ein globaler Nutzungsgrad von fast 50 % einer neuen Technologie wie Smartphone seit seiner Einführung 2007 einfach und schlüssig erklären [16, 17].

Und Smartphones sind nur ein Sinneskanal dessen, was sich dahinter als Künstliche Intelligenz entwickelt. Es gibt bereits zahlreiche Bereiche, wo wir nicht mehr konkurrieren, sondern freiwillig mit intelligenten Algorithmen ko-operieren: Navigation, Börse, Recherche, Einkauf, Diagnostik u. a. m. Offenbar kann die Künstliche Intelligenz sehr viel besser (im Sinne von unangestregter) mit Komplexität umgehen als wir Menschen. Auf jeden Fall sind wir gut beraten, in der KI nicht nur Konkurrenz, sondern auch die Potenz zu einem höheren Gemeinnutzen zu sehen. Denn ob es nun der Rohstoffverbrauch, der Klimawandel oder die Gesellschaftsform ist, wir Menschen sind herausgefordert unser individuelles und kollektives Verhalten zu überdenken. Und mit Überraschungen sollten wir in jeder Hinsicht rechnen. So könnte es nach Nassehi [5] in einem zweiten Zeitalter der Maschinen [18] durch die Digitaltechnik und die KI sogar zu einer unerwarteten Ironie kommen, nämlich der *reflexiven Aufwertung nicht-künstlicher Intelligenz* – d.h. Mensch kann weiter Hoffnung pflegen.

Schlüsselwörter:

Automatisierung, Digitalisierung, Ethik, Evolution, Industrie 4.0, Kognition, Kommunikation, Künstliche Intelligenz (KI), Kybernetik, Lernen, Maschine, Medien, Mensch, Prozesstechnik, Philosophie, Operationale Schließung, Organisation, Sensorik, Soziologie, Substrat, Systemtheorie, Technologie, Technikwissenschaft