



Medienimpulse  
ISSN 2307-3187  
Jg. 63, Nr. 1, 2025  
doi: 10.21243/mi-01-25-17  
Lizenz: CC-BY-NC-ND-3.0-AT

# Nicht schon wieder. Anmerkungen zu einem sekkierenden Agenda Setting

Christian Swertz

*Im Beitrag wird gezeigt, dass digitale Maschinen nicht denken können. Bei den Behauptungen, dass digitale Maschinen intelligent seien, lernen könnten oder dazu in der Lage wären, zu unterrichten, handelt es sich daher um Lügen. Diese Lügen werden im Zuge eines Agenda Building verbreitet, das in Analysen kaum erkannt wird. Daher haben digitale Maschinen den Turingtest bestanden: Es ist mit digitalen Maschinen gelungen, Analyst:innen so auszutricksen, dass mehr als 70 % innerhalb von 5 Minuten nicht erkennen können, dass digitale Maschinen nicht denken können.*

*In the article it is shown that digital machines cannot think. Claims that digital machines are intelligent, can learn or are ca-*

*pable of teaching are therefore lies. These lies are spread in the course of an agenda building that is rarely recognised in analyses. Therefore, digital machines have passed the Turing test: digital machines have succeeded in tricking analysts in such a way that more than 70 % are unable to recognise within 5 minutes that digital machines cannot think.*

## 1. Einleitung

Tote lernen nicht. Das haben internationale Studien klar bestätigt: Selbst nach sorgfältig geplanten Interventionen im Rahmen der posthumer Bildungsforschung konnten keine Effekte gemessen werden. Und sogar Versuche unter Berücksichtigung der Inklusionsbedürfnisse Verstorbener, die seit Jahrzehnten symbolisch exkludiert werden (Baudrillard 1982), sind nachhaltig gescheitert.

Wie im Fall der zuverlässig scheiternden Versuche, Lernprozesse durch digitale Maschinen zu verbessern, sollten daher weitere Versuche unternommen werden, Toten die Grundbildung zu vermitteln, die es ermöglichen würde, sie für die optimierte Individualisierung von Unterrichtsprozessen einzusetzen. Damit könnte der bestehende Ressourcenbedarf nachhaltig und im Blick auf die zukünftigen Bedürfnisse am Arbeitsmarkt international konkurrenzfähig befriedigt werden.

Die Eröffnung mag etwas makaber klingen. Es ist aber durchaus notwendig, mit einer provokativen Metaphorik deutlich zu machen, dass digitale Maschinen nicht leben. Es handelt sich bei digitalen Maschinen nicht um Lebewesen, sondern um Artefakte, um von Menschen gebaute Gegenstände. Darum können digitale Ma-

schinen nicht lernen, nicht handeln, nicht erzogen werden, nicht denken und nicht lehren.

Daher ist die hier untersuchte Frage nicht, wie digitale Maschinen in der professionellen Pädagogik sinnvoll eingesetzt werden können. Angesichts aktueller Debatten ist es vielmehr dringender, der Frage nachzugehen, wie erklärt werden kann, dass immer noch die Annahme vertreten wird, dass mit digitalen Maschinen Lehr- und Lernvorgänge optimiert werden können, obwohl das empirisch falsifiziert (Russell 2001) und theoretisch widerlegt (Meder 2004) wurde.

Die These ist, dass diese Annahme immer noch vertreten wird, weil es ein Agenda Building im Interesse von Kapitalist:innen gibt. Und da dieses Agenda Building nach der Erzählung von der programmierten Unterweisung (Skinner 1958), der Erzählung von Problemlösungssystemen (Newell/Simon 1972) und der Erzählung von auf semantischen Technologien (Quillian 1967) basierenden Intelligenten Tutoriellen Systemen (Hartley/Sleeman 1973) die vierte Erzählung ist, mit der die gleichen Interessen verfolgt werden, ist die These, dass es sich um ein sekkierendes Agenda Building im Interesse von Kapitalist:innen handelt.

Um die These zu begründen, werden methodisch zunächst medienhistorische Momente in konstruktiver Absicht fragmentarisch präsentiert und abschließend mit einer systematischen und einer empirischen Perspektive analysiert. Der Beitrag wird mit einem dystopischen Fazit abgeschlossen.

## 2. Konstruktionen

Die Vorstellung, dass Menschen physischen Dingen Leben einhauchen können, ist ein alter Topos der abendländischen Kultur. Eine der frühesten dokumentierten Erzählungen ist die Sage von Pygmalion. Pygmalion hat die Statue einer Frau zum Leben erweckt, sich in die Statue verliebt und ein Kind mit ihr gezeugt. Dabei war Pygmalion noch auf die nachdrückliche Hilfe von Gött:innen angewiesen.

Dann gelang es Menschen in einer im 12. Jahrhundert verfassten Geschichte mit Hilfe eines kabbalistischen Rituals, unbelebter Materie zumindest so viel Leben einzuhauchen, dass das *Golem* genannte Lebewesen sich bewegen und Befehlen gehorchen konnte. Sprechen konnte *Golem* zwar nicht. Das Ritual wurde aber mit Kräften in Verbindung gebracht, die den streng gläubigen Menschen, die das Ritual ausführten, von einem Gott verliehen wurden. Die Menschen konnten das Ritual dann selbst ausführen und haben sich so ein Stück weit von den Gött:innen emanzipiert.

In Erzählungen über Alchemist:innen wird dann berichtet, dass diese in der Lage waren, den in organischem Material enthaltenen Seelenstoff zu aktivieren und so Menschen künstlich zu erschaffen. Der unter dem Künstler:innennamen Paracelsus bekannt gewordene Alchemist, der oft als früher Arzt beschrieben wird, veröffentlichte eine genaue Anleitung für die Erschaffung eines künstlichen Menschen (von Hohenheim 1584). Göttlicher Beistand war dafür nicht mehr erforderlich.

Damit hatten sich diese Menschen von den Gött:innen emanzipiert und sich das Vermögen zur Schaffung von Leben angedichtet. Allerdings nur angedichtet, denn die These, dass Menschen nicht dazu in der Lage sind, Leben zu erschaffen, wurde nicht falsifiziert. Es gab zwar die Anleitungen und Erzählungen, aber keine Erfolge. Das ist immer noch so, denn eine solche Falsifikation ist auch durch die Studien, die im Rahmen von Experimenten im Bereich *Artificial Life* (Adami 1998) durchgeführt wurden, nicht erfolgt.

Es ist also falsch zu behaupten, dass Menschen künstliches Leben erschaffen können. Künstliches Leben zu erschaffen ist aber eine Voraussetzung für die Erschaffung künstlichen Denkens. Also können Menschen auch kein künstliches Denken schaffen. Richtig ist dagegen, dass Menschen auf dem Wege des Geschlechtsverkehrs oder auf dem Wege der künstlichen Befruchtung Leben zeugen und auf dem Wege der Erziehung die Fähigkeit zu Denken vermitteln können. Und richtig ist es auch, dass es viele Menschen gibt, die gerne Erzählungen verbreiten, in denen Menschen dazu in der Lage sind, künstliches Leben oder künstliches Denken zu erschaffen.

Vermutlich trägt die Rezeption solcher Erzählungen dazu bei, dass es nach wie vor viele Menschen gibt, die mit großem Engagement versuchen, künstliches Leben und künstliches Denken zu erschaffen. Diese Menschen realisieren allerdings nicht, dass sie sich in einer Fiktion, in einer Traumwelt bewegen.

Hier geht es nicht darum zu analysieren, warum manche Menschen dieses Engagement entwickeln, sondern darum, diesen Vorstellungen zumindest fragmentarisch in medienhistorisch relevanten Erzählungen zur Gestaltung von digitaler Maschinentechologie nachzugehen.

## 2.1 As we may think

Die Geschichte des Hypertextes, der in Verbindung mit digitalen Medien in den letzten Jahrzehnten zum dominanten Medium gemacht worden ist, wird meistens (Ensslin 2020) mit einem Verweis auf den Beitrag *As We May Think* (Bush 1945) begonnen. Bush war während des zweiten Weltkriegs mitverantwortlich für die Koordination von Wissenschaftler:innen, die Kriegstechnik wie die Atombombe entwickelt haben. Nach dem zweiten Weltkrieg suchte er nach neuen Aufgaben und Zielen für die Wissenschaftler:innen, die er betreut hat. Die Idee, die er dabei entwickelt hat, war, der Erweiterung der physischen Kräfte des Menschen mit Hilfe von Maschinen die Erweiterung der geistigen Kräfte des Menschen mit Hilfe von Maschinen zur Seite zu stellen.

Um das zu begründen, singt Bush zunächst ein Loblied auf die mit wissenschaftlichen Methoden entwickelten großartigen Erneuerungen, die das Leben so wunderbar verbessert haben – die *Grenzen des Wachstums* (Meadows 1972) waren noch nicht bekannt –, um dann zum entscheidenden Problem zu kommen:

The investigator is staggered by the findings and conclusions of thousands of other workers—conclusions which he cannot find time to grasp, much less to remember, as they appear (Bush 1945: 101).

Bush betont damit, dass Menschen mit den schnell zunehmenden Wissensbeständen und angesichts der steigenden Ausdifferenzierung von Prozessen überfordert sind – ein Argument, das auch 80 Jahre später immer noch gerne verwendet wird.

Zur Lösung dieses Problems schlägt Bush vor, neue Kommunikationsmethoden zu entwickeln, mit denen verhindert werden kann, dass wichtige Entdeckungen und Entwicklungen übersehen werden oder gar verloren gehen. Mit maschinellen Methoden soll erreicht werden, dass denkende Menschen von mühseliger Fleißarbeit entlastet werden und sich nicht mehr um Routinen kümmern müssen.

Dabei hat Bush nicht nur einfache, sondern auch anspruchsvolle Methoden vor Augen:

Some of them [machines, C. S.] will be sufficiently bizarre to suit the most fastidious connoisseur of the present artifacts of civilization (ebd.: 105).

Wie der Golem sollte die Maschine Befehle ausführen und Menschen damit das Leben leichter gestalten. Alchemie war dafür nicht erforderlich. Bush hat sich stattdessen am Stand der Technik und den Möglichkeiten, die damit verbunden waren, orientiert:

It is readily possible to construct a machine which will manipulate premises in accordance with formal logic, simply by the clever use of relay circuits. Put a set of premises into such a device and turn the crank, and it will readily pass out conclusion after conclusion, all in accordance with logical law, and with no more slips than would be expected of a keyboard adding machine (ebd.: 105).

Bush beschreibt damit einen Vorgang, der erst endet, wenn alle Schlüsse gezogen sind und damit die vollständige Wahrheit erreicht ist.

Es ist Bush mit seinem Differential Analyser nicht gelungen, diese allgemeine Idee umzusetzen, und es ist anzunehmen, dass er die Arbeiten von Konrad Zuse, der 1941 die erste bekannte turingmächtige Maschine baute (Zuse 2007), nicht kannte. Unklar ist auch, ob Bush die Arbeit von Alan Turing (Turing 1936) bekannt war; klar ist aber, dass Bush sich bereits in den 1920er-Jahren mit Norbert Wiener ausgetauscht hat, der den von Bush präsentierten Ideen eine überraschende Wendung gegeben hat.

## 2.2 Cybernetics

Wiener (1948) hat ziemlich zeitgleich mit Claude Shannon (1948) den Informationsbegriff statistisch definiert. Diese Idee wurde vermutlich durch die Weiterentwicklung der statistischen Mechanik im Zusammenhang mit der Entwicklung der quantentheoretischen Interpretation des Entropiebegriffs inspiriert, die beiden sicher bekannt war.

Wiener entwickelt auf dieser Grundlage den von Bush formulierten Ansatz der automatischen Informationsverarbeitung zu einer allgemeinen Idee der Steuerung weiter. Dabei formuliert er nicht nur einen allgemeinen Informationsbegriff und begründet die Bevorzugung digitaler Systeme (ebd.: 118), sondern geht einen entscheidenden Schritt über die Idee von Bush hinaus: Während Bush Maschinen noch als Hilfsmittel denkender Menschen be-

greift, versteht Wiener Menschen wie Maschinen als informationsverarbeitende Systeme. Daher verwendet er Begriffe aus der Statistik und statistischen Mechanik, wie z. B. Gleichgewicht (Homöostase), Schwingung oder Feedback, um Menschen zu beschreiben.

Ausgehend von Beispielen psychischer Erkrankungen (ebd.: 98 ff.), die er mit Analogien zu technischen Vorgängen erläutert, ist seine entscheidende These:

It is a noteworthy fact that human und animal nervous systems, which are known to be capable of the work of a computation system, contain elements which are ideally suited to act as relays. The elements are so-called *neurons* or nerve cells (ebd.: 120).

Die Fähigkeit zu rechnen, wird von Wiener mit der Aktivität von Nervenzellen gleichgesetzt. Und Nervenzellen können, wie Wiener schreibt, genauso rechnen wie Relais. Dabei berücksichtigt Wiener nicht nur die Informationsverarbeitung, sondern auch die Informationsspeicherung. Beides ist, wie er argumentiert, mit Maschinen und Gehirnen gleichermaßen möglich (ebd.: 130).

Diese Analogie zwischen Relais, die heute als Transistoren gebaut werden, und Nervenzellen führt Wiener weiter zu der These, dass Maschinen auch in der Lage sind zu lernen (ebd.: 126). Diese These begründet er, indem er nicht nur Menschen, sondern ganze biologische Arten (zu denen er die Menschen zählt, die er nicht systematisch von Tieren unterscheidet) als Informationsverarbeitungssysteme beschreibt. Dabei rückt er den Informationsfluss zwischen der Art und dem Individuum in den Mittelpunkt. Im

Feedback, also im Datenaustausch zwischen Art und Individuum, entsteht dann laut Wiener das, was von Darwin als Evolution bezeichnet wurde.

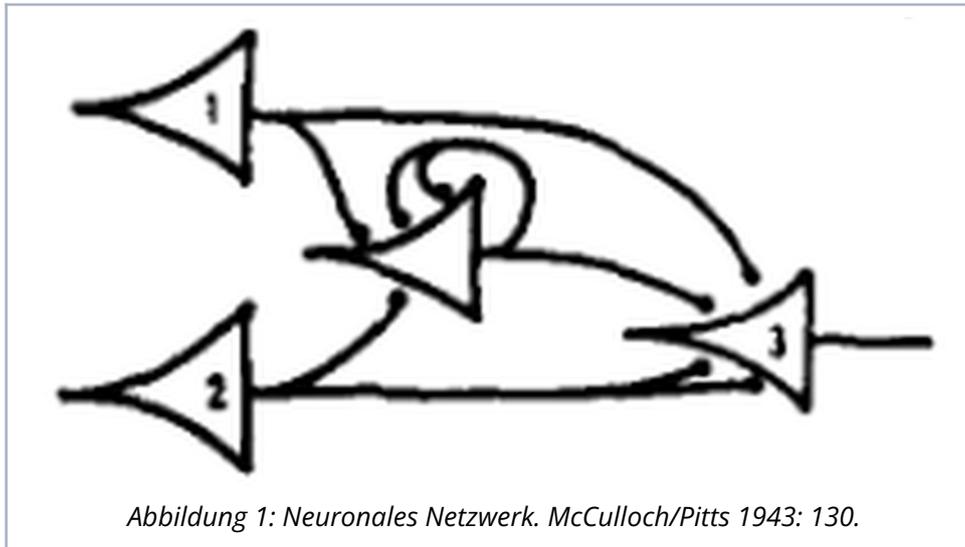


Abbildung 1: Neuronales Netzwerk. McCulloch/Pitts 1943: 130.

Wiener erwähnt in seiner Argumentation zwar nicht, dass er die mathematische Modellierung neuronaler Prozesse von McCulloch und Pitts (1943) übernommen hat, formuliert die Theorie aber in einer Mischung aus populärer und mathematischer Darstellung so überzeugend, dass sie von derart vielen Menschen (wie z. B. Gregory Bateson, Margaret Mead, Niklas Luhmann, Paul Lazarsfeld, Heinz von Foerster, Jean Piaget, Humberto Maturana, Francisco Varela, Talcott Parsons etc.) aufgegriffen wird, dass ohne Übertreibung behauptet werden kann, dass die Kybernetik *das* Paradigma der Gegenwart ist. Es ist ein kybernetisches Zeitalter.

Während McCulloch und Pitts Ansatz von Wiener nur implizit aufgegriffen wird, nimmt er explizit Bezug auf Alan Turings Thesen

zum Entscheidungsproblem (Turing 1936). Zwei Jahre nach Wiener veröffentlicht Turing dann seine eigenen Thesen zum Thema.

### 2.3 Computing Machinery and Intelligence

Wiener hatte die Frage, ob Maschinen denken können, gar nicht erst gestellt, sondern das als Prämisse verdrehte Ergebnis, dass Maschinen denken können, gleich mit Beispielen illustriert. Turing verwendet die These, dass Maschinen denken können, nicht als Prämisse, sondern schlägt vor, die Frage durch ein Spiel zu ersetzen (Turing 1950). Das von Turing vorgeschlagene Imitationsspiel ist später als Turingtest berühmt geworden, der, nebenbei bemerkt, von Maschinen nach wie vor nicht bestanden wird.

Turing hat als erste Version des Imitationsspiels die Unterscheidung zwischen einem Mann und einer Frau als Aufgabe angesetzt. Die Aufgabe des Menschen, der sich als weiblich identifiziert, und des Menschen, der sich als männlich identifiziert, ist dabei nicht, gegenüber der Versuchsperson wahrheitsgetreu zu antworten. Es geht vielmehr darum, die Identifikation zu verhindern: „It is A’s object in the game to try and cause C to make the wrong identification“ (ebd.: 434). Dazu darf und soll auch gelogen werden.

In diesem Betrugsspiel soll nun eine Person durch eine Maschine ersetzt werden. Wenn es der Maschine genau so häufig wie Menschen gelingt, die Versuchsperson hinters Licht zu führen, hat sie das Spiel gewonnen. Turing identifiziert in seinem Spiel die Fähigkeit zu denken mit der Fähigkeit zu betrügen.

Das war eine durchaus witzige Idee. Und es war sinnvoll, denn Turing war völlig klar, dass Maschinen logische Aufgaben ohne weiteres erledigen können, hatte er doch selbst eine Maschine entworfen und gebaut, die solche Aufgaben bearbeiten konnte. Ein Wettkampf im logischen Schließen war also witzlos, und logisches Lügen ist eine bisher wenig entwickelte Disziplin. Vielmehr gilt schon seit der Antike die Regel, dass ein logischer Fehler tödlich ist. Absichtliches logisches Lügen könnte damit zwar als eine Art wissenschaftliche Suizidalität interpretiert werden, aber die Frage, ob Maschinen dazu in der Lage sind, Selbstmord zu begehen, hatte Turing nicht gestellt. Stattdessen geht es mit dem Imitationsspiel um die Frage, ob Maschinen betrügen können, womit Turing deutlich macht, dass für ihn Denken in der Fähigkeit zum Ausdruck kommt, andere zu hintergehen.

Zum Imitationsspiel sollen nach Turing nur digitale Maschinen zugelassen werden, die Algorithmen abarbeiten können. Turing nennt das Wort Algorithmus zwar nicht, liefert aber eine Beschreibung einer digitalen Maschine, der auch bei der aktuellen Konstruktion von Rechenmaschinen gefolgt wird, und beschreibt den Vorgang der Programmierung genauso, wie das heute im *Computational Thinking* (Wing 2008) vertreten wird.

Turing beschreibt digitale Maschinen dann als Discrete State Machines. Solche Maschinen haben nur eine endliche Anzahl an möglichen Zuständen. Dabei schließt Turing explizit die Vermutung von Laplace, dass eine minimale Änderung in einem früheren Zustand eine erhebliche Änderung in einem späteren Zustand

zur Folge haben kann, aus. Daher kann bei digitalen Maschinen mit einem gegebenen Anfangszustand, bekanntem Algorithmus und bekannten Eingaben der Endzustand immer und ohne Ausnahme exakt vorhergesagt werden (Meder 1986: 84; Krämer 1988).

Turing hebt dabei eine entscheidende Eigenschaft der von ihm vorgeschlagenen Maschinen hervor:

Provided it [the calculations, C. S.] could be carried out sufficiently quickly the digital computer could mimic the behaviour of any discrete state machine (ebd.: 441).

Eine solche schnelle Maschine macht es möglich, eine digitale Maschine als Telefon, als Taschenrechner, als SnapChat, als Instagram, als OrganicMaps oder irgend eine andere Maschine zu verwenden; eine Eigenschaft, die von Turing zu Recht betont wird.

Turing schließt mit diesem Argument die Identifikation von Maschinen mit Menschen aus, was er nicht zuletzt damit zum Ausdruck bringt, dass es selbstverständlich möglich ist, dass Menschen sich wie Maschinen verhalten, es aus seiner Sicht aber unklar ist, ob es möglich ist, dass Maschinen sich wie Menschen verhalten. Turing spezifiziert aus diesem Grund die Aufgabe im Imitationsspiel so, dass es einer Versuchsperson in 70 % der Fälle nicht gelingt, innerhalb von fünf Minuten korrekt zu entscheiden, ob sie mit einer digitalen Maschine oder einem Menschen kommuniziert. Mehr hat Turing digitalen Maschinen nicht zugetraut. Ein Roboter ist also ein schlechter Partner, wenn man etwas tut, mit dem man die Teilnahme an einer Runde *Gefangenendilemma* riskiert.

ert, denn mehr als ein paar Minuten Verhör übersteht die digitale Maschine sicher nicht.

Turing schlägt dann vor, nicht das Gehirn eines Erwachsenen zu programmieren – sondern das Gehirn eines Kindes. Denn die sind, so Turing, sehr einfach aufgebaut:

Presumably the child-brain is something like a note-book as one buys it from the stationers. Rather little mechanism, and lots of blank sheets (ebd.: 456).

Wenn ein solches einfaches Gehirn als Programm mit genügend Speicher ausgeführt wird, kann es lernen und sich zu einem erwachsenen Gehirn entwickeln. Und die digitalen Maschinen können sich dann in einer Evolution weiter entwickeln – wobei Turing die natürliche Selektion durch das Urteil von Experimentator:innen ersetzt.

Indem Turing die natürliche Selektion durch Menschen ersetzt, macht er Menschen zu Gött:innen der Maschinen. Genau das widerspricht aber Darwin's Konzept der Evolution (Darwin 1859). Denn Turing schreibt den Menschgött:innen Absichten zu – und das hat Darwin aus der Theorie der Evolution ausgeschlossen. Die Evolution hat laut Darwin kein Ziel und keinen Plan und ist kein handelndes oder gar göttliches Wesen.

In jedem Fall werden Maschinen damit von Turing als erziehbar verstanden. Erziehung wird von ihm als Vorgang beschrieben, der durch „punishments and rewards“ (ebd.: 457) gesteuert wird. Das ist eine prominent von Thorndike (1911) verbreitete und überraschend naive Vorstellung von Erziehung, Lernen und Bildung. Die-

se naive Vorstellung war zu Turings Lebzeiten außerordentlich in Mode und erfreut sich durch Skinners geschicktes Storytelling (Skinner 1948) auch heute noch großer Beliebtheit. Dass Turing diese naiven Überlegungen übernommen hat, kann wohl nur dadurch erklärt werden, dass Turing keine Kinder hatte. Denn vielen Menschen, die die Ehre hatten, Kinder von der Geburt an auf ihrem Lebensweg zu begleiten, ist klar, dass Belohnen und Strafen keine auch nur annähernd sinnvolle Beschreibung der Kooperation mit Kindern abgeben.

Diese offensichtliche Naivität hat allerdings nicht verhindert, dass die Erzählung, dass Maschinen erzogen werden könnten, in verschiedenen Varianten weiterentwickelt worden ist. Eine interessante Variante stammt von Grace Hopper .

## 2.4 The Education of a Computer

Rear Admiral Grace Bewster Murray Hopper positioniert ihre unter dem Titel *The Education of a Computer* erschienene Arbeit im Rahmen von Versuchen, das menschliche Gehirn durch elektrische digitale Maschinen zu ersetzen (Hopper 1952). Dabei geht es ihr, wie auch schon Wiener und Turing, in erster Linie um die Gehirne von Mathematiker:innen. Um deren Gehirne effektiv und so weit wie möglich zu ersetzen, schlägt sie vor, dass Mathematiker:innen digitale Maschinen nicht direkt programmieren, sondern Subroutinen verwenden, die dann von einem Programm in das eigentliche digitale Maschinenprogramm übersetzt werden.

Damit hat Hopper höhere Programmiersprachen erfunden. In höheren Programmiersprachen (derzeit bekannt sind z. B. Java, Python etc.) werden keine Befehle notiert, die digitale Maschinen direkt ausführen können, sondern Aufrufe für Unterrountinen, die dann von einem digitalen Maschinenprogramm in ein Programm umgeschrieben werden können, das eine digitale Maschine ausführen kann. Die digitalen Maschinenprogramme, mit denen das durchgeführt wird, werden auch als Compiler oder Interpreter bezeichnet. Daher handelt es sich bei Programmiersprachen wie Java oder Python nicht um Sprachen, sondern um Compiler.

Hopper stellt in ihrem Text keinen Bezug zum Titel des Beitrags her. Der Umstand, dass die Konstruktion einer Programmiersprache als Erziehung betitelt wird, zeigt daher, dass die Repräsentation von digitalen Maschinen als Wesen, die Lernen wie Menschen, für Hopper bereits völlig selbstverständlich war.

Deutlich wird das am Ende ihres Aufsatzes, wenn Sie schreibt:

Thus by considering the professional programmer (not the mathematician); as an integral part of the computer, it is evident that the memory of the programmer and all information and data to which he can refer is available to the computer subject only to translation into suitable language (ebd.: 249).

Der Programmierer, von dem Hopper schreibt, ist kein Mensch, sondern der Compiler, der die Befehle der Mathematiker:innen in ein digitale Maschinenprogramm übersetzt. Der Compiler wird dabei von Hopper mit den professionellen Programmierer:innen, die diese Aufgabe für Hopper erledigt haben, gleichgesetzt. Com-

piler sind genau wie Menschen. Darum wird der technische Vorgang des Kompilierens gelegentlich auch als Übersetzen bezeichnet, obwohl diese Übersetzung mit der Übersetzung zwischen menschlichen Sprachen, in der die Bedeutung nie exakt beibehalten werden kann, nichts zu tun hat.

Die Konstruktion von Compilern wird von Hopper als Erziehungsprozess bezeichnet, mit dem menschliche Fähigkeiten zu Bestandteilen von digitalen Maschinen gemacht werden. Damit wird kein unmittelbarer Bezug zur Erziehung von Menschen mehr hergestellt, sondern Erziehung als ein informatischer Begriff bestimmt, der mit dem bildungswissenschaftlichen Erziehungsbegriff genau so viel zu tun hat wie das Übersetzen mit dem Kompilieren. Computererziehung und Menschenerziehung sind keine Synonyme, sondern Homonyme.

Mit Hoppers Beitrag kann der kleine Durchgang durch die Entwicklung digitaler Maschinen abgeschlossen werden, weil seit ihrer Veröffentlichung keine relevanten neuen Konzepte veröffentlicht worden sind. Das bis zu diesem Zeitpunkt entwickelte Verständnis führt in der Folge allerdings zu der verbreiteten Überzeugung, dass Erziehung und Bildung beim Menschen genau so zu verstehen sind, wie die Konstruktion von digitalen Maschinen und Programmiersprachen.

### 3. Analysen

Es ist angesichts der Überzeugung, dass Maschinen denken könnten oder zumindest möglicherweise denken könnten, sich selbst

entwickeln könnten, erzogen werden könnten oder dazu geeignet sein könnten, Menschen und menschliche Gesellschaften sinnvoll zu steuern, erforderlich, kurz daran zu erinnern, dass es unmöglich ist, denkende Maschinen zu bauen. Dazu wird die Frage, der Wiener und Turing ausgewichen sind, gestellt. Und die Antwort auf die Frage, ob Maschinen denken können, lautet nein. Der systematische Grund dafür ist, dass es für Maschinen keine Zeichen gibt.

### 3.1 Über Semiose

Dass es für Maschinen keine Zeichen gibt, ist am einfachsten an dem Umstand zu zeigen, dass es für Maschinen zwischen einem Zeichen und dem, was bezeichnet wird, keinen Unterschied gibt. Während für einen Menschen klar ist, dass das in einem Buch gedruckte Wort „Baum“ kein Baum ist, sondern es sich um Papier und Farbe handelt, mit denen auf einen Baum verwiesen wird, ist für eine Maschine das Wort Baum, das etwa in einem MLC-Speicher abgelegt wird, eine elektrische Spannung. Die elektrische Spannung ist die Bedeutung. *Baum* sind also elektrische Spannungen. Und das gilt auch für Mensch, Gott oder Pizza. Es handelt sich um elektrische Spannungen. Etwas anderes gibt es für digitale Maschinen nicht.

Eine genauere Erklärung liefert die Zeichentheorie von Morris (1938). Morris hat in seiner Erläuterung des Zeichenbegriffs das „sign vehicle“ (ebd.: 81), den Zeichenträger, als eigene Dimension von Zeichen ausgewiesen: Zeichenträger sind nach Morris an Prozessen beteiligte Gegenstände. Die Gegenstände werden in Pro-

zessen zu Zeichen gemacht. Diese Prozesse bezeichnet Morris als Semiose. Zur Semiose gehören der Zeichenträger, der als Zeichen wirkt, das Designat, worauf das Zeichen referiert, die Interpretant:in, durch die die betreffende Sache irgendeiner Rezipient:in als Zeichen erscheint, und die Interpret:in, womit Morris explizit an Peirce (1903) anschließt.

Entscheidend ist, dass die Zeichen nach Morris unabhängig vom Zeichenträger sind. Es gibt zwar keine Zeichen ohne Zeichenträger – aber potenzielle Zeichenträger sind nicht schon Zeichen, sondern müssen in der Semiose erst zu Zeichen gemacht und als Zeichen verstanden werden. Was Morris damit beschreibt, wird heute auch als Kommunikation bezeichnet. Kommunikation ist etwas, das Menschen z. B. tun, wenn sie denken, dass sie denken: Sie kommunizieren mit sich selbst. Dazu verwenden Menschen das Gehirn im menschlichen Körper als Zeichenträger.

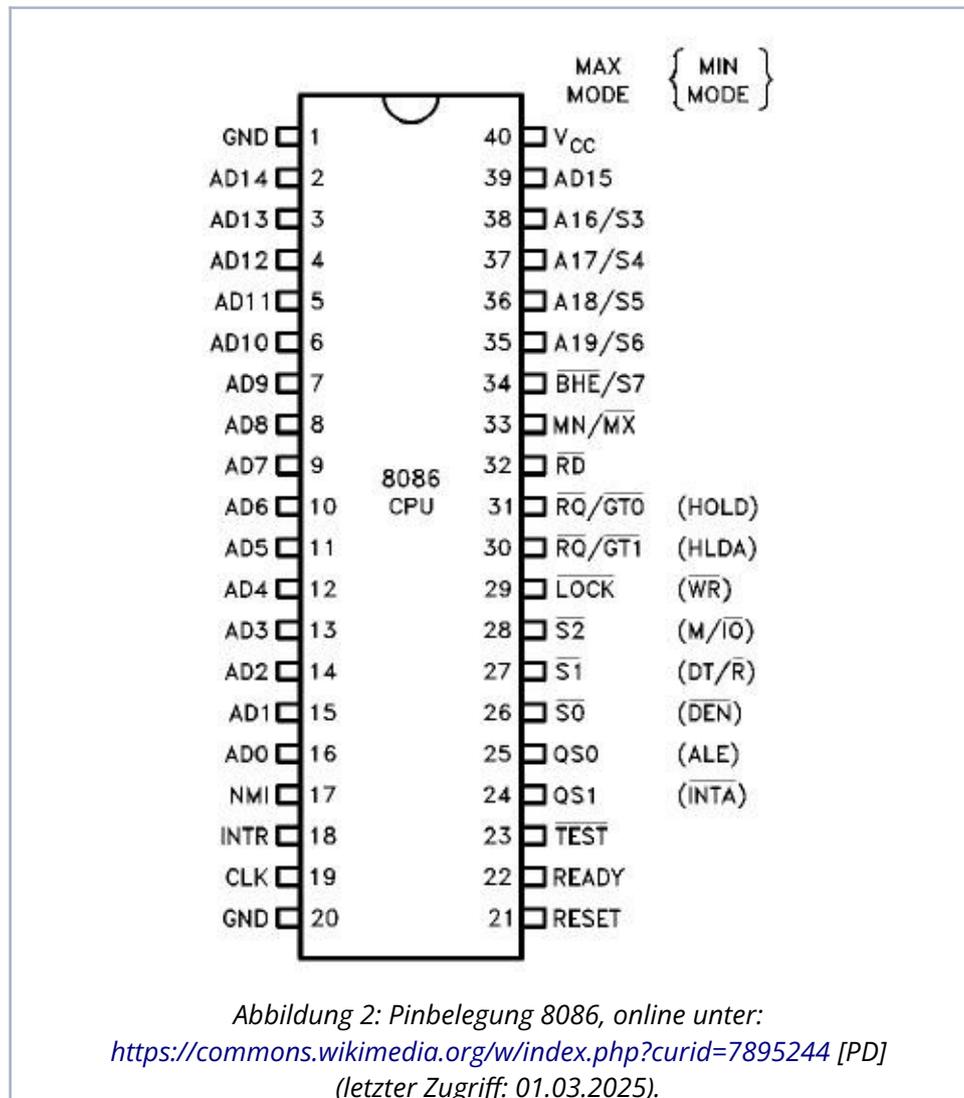
Das Gehirn als Zeichenträger hat mit der Bedeutung der Gedanken genau so viel zu tun wie die Spannungen im digitale Maschinenspeicher mit einem Baum. Zeichenträger und Zeichen sind unabhängig voneinander. Daher ist es auch sinnvoll, Medien als Zeichenträger zu definieren, die von Menschen als Zeichen verwendet werden (Swertz 2000).

Unterhaltsam ist in diesem Zusammenhang eine Erzählung, mit der das Problem schön veranschaulicht werden kann: Menschliche Gehirne erben ein Sprachzentrum – aber kein Schreibzentrum. Es ist also zu erwarten, dass Menschen, die denkende Gehirne sind, nicht schreiben lernen können. Nun ist diese These ge-

legentlich falsifiziert worden. Also kann aus der Struktur des Gehirns nicht entnommen werden, wie Menschen schreiben lernen. Möglich ist es aber, die Sache umzudrehen, und das Gehirn zu benutzen, um schreiben zu lernen. Wenn Menschen das tun, modifizieren sie ihr Gehirn so, dass sie ein Schreibzentrum erzeugen (Dehaene u. a. 2015). Das Gehirn wird dabei an das Denken angepasst.

Dass Gehirne nicht denken können, sondern für das Denken angepasst werden müssen, zeigt auch der Umstand, dass Gehirne nicht von selbst denken. Das Gehirn eines Menschen fängt, wenn es nach der Geburt sich selbst überlassen wird, nicht an zu denken. Und es fängt, wie Kaiser Friedrich der II. in einem grausamen Deprivationsexperiment gezeigt haben soll (Houben 2008: 144), auch nicht an zu sprechen. Menschen können ihre Gehirne aber so modifizieren, dass beides möglich ist.

Das ist mit digitalen Maschinen nicht möglich, weil Zeichen und Zeichenträger immer identisch sind. In digitalen Maschinen werden Opcodes (das ist bei Menschen der Zeichenträger) und Assemblerbefehle (das sind bei Menschen die Zeichen) 1:1 aufeinander abgebildet (Weizenbaum 1976).



Die Opcodes werden als ein- oder ausgeschaltete Leitungen am Prozessor angelegt, und jeder Opcode ist genau einem Assemblerbefehl zugeordnet. Jeder Assemblebefehl ist mit genau einer Schalterstellung exakt und ohne jeden Interpretationsspielraum identisch. Das „Wort“ ADD ist z. B. die Schalterreihenfolge 0000000000000101 beim 8086-Prozessor (Abb. 2); von den Lei-

tungen AD0-AD15 (Abb. 1) müssen also AD0 und AD2 eingeschaltet werden. ADD ist daher kein Wort, sondern die Schalterreihenfolge.



Es gibt in digitalen Rechenmaschinen nichts, was dem Unterschied zwischen Zeichenträger und Zeichen entsprechen könnte. Daher gibt es keinen Sinn, keine Bedeutung, keine Semiose, keine Sprache, kein Lernen, keine Erziehung und kein Denken. Es gibt nur logische Operationen, keine Urteile (Czech 1977). Digitale Maschinen sind weder lebendig noch dazu in der Lage zu denken. Digitale Maschinen sind wie Kieselsteine. Sie stürzen ab, wenn sie fallen gelassen werden, und bleiben liegen.

Das klingt in den Beschreibungen von digitalen Maschinen oft ganz anders. Dieser Eindruck basiert aber nicht auf Erfahrungen, sondern auf Erzählungen. Die Wirkung, die mit diesen Erzählun-

gen erreicht werden soll, wird erreicht, indem Wörter für technische Vorgänge etabliert werden, die ganz andere Gegenstände bezeichnen. Unabhängig davon, ob diese rhetorische Figur eine Metapher (Eve 2024), eine Analogie (Wozny 1989) oder eine andere List ist, ist es ein erfolgreicher Zug im von Turing vorgeschlagenen Imitationsspiel: Gemessen an Turings Maßstäben handelt es sich bei solcher Rede um erfolgreichen Betrug.

Das ist eine durchaus interessante Herausforderung für Menschen, die zu Neugierde neigen. Üblich sind an dieser Stelle Bemerkungen zu Themen wie Kapitalismus- und Ideologiekritik (Nietzsche 2017; Barberi 2017; Meder 2020; Dander u. a. 2024). Das ist auch sinnvoll und völlig angemessen, denn mit diesem Betrug wird offensichtlich Ausbeutung und Entfremdung im Interesse der Steigerung der Profite von Kapitalist:innen erreicht. Weil das aber schon so oft und so wunderbar argumentiert worden ist, soll hier stattdessen eine kleine Ergänzung zu den vorliegenden ausgezeichneten Analysen vorgeschlagen werden.

### 3.2 Agenda Building

Der Vorschlag ist, die Theorien des Agenda Settings und des Agenda Building zu verwenden, um zu erläutern, wie Kapitalist:innen es schaffen, so viele Menschen zu betrügen. Dazu wird die Theorie des Agenda Building ideologiekritisch interpretiert.

Die Idee, Medien zu verwenden, um Interessen durchzusetzen, ist so alt wie die Schriftsprache (Swertz/Barberi 2020). Insofern ist es wenig überraschend, dass Medien auch in der Gegenwart ver-

wendet werden, um Macht durch Zwang, Unterdrückung oder Manipulation (und nicht durch Demokratie) auszuüben (ebd.). Überraschend ist vielleicht der nachhaltige Erfolg der Methoden zur manipulativen Machtausübung mittels Medien, die Lippman (1921) vorgeschlagen hat. Nicht überraschend ist aber der Umstand, dass die Vorschläge von Lippman später von Cohen (1963) aufgegriffen worden sind. Cohen hat die Frage, wie Menschen, die Außenpolitik machen, die Presse für ihre Entscheidungen nutzen, untersucht. In seiner Studie wird gezeigt, wie die Presse benutzt wird, um die Interessen der Regierung zu kommunizieren (ebd.: 266). Seine entscheidende Beobachtung ist, dass

... the press is significantly more than a purveyor of information. It may not be successful much of the time in telling people what to think, but it is stunningly successful in telling its readers what to think about (Cohen, 1963: 13).

Mit Medien wird nicht bestimmt, was Menschen denken, sondern bestimmt, worüber Menschen nachdenken.

In seiner Studie hat Cohen allerdings nicht berücksichtigt, dass Journalist:innen eher selten im Interesse der Meinungsfreiheit, sondern primär im Interesse des Profits der Kapitalist:innen, denen die Zeitungen gehören, handeln (Herman/Chomsky 2008). Damit hat Cohen die von ihm begründete Theorie des Agenda Setting von jeder Ideologiekritik abgeschnitten. Dieses Agenda Setting ist in der weiteren Agenda Setting Forschung beibehalten worden. Ein Beispiel dafür ist die Chappel-Hill Studie (McCombs/Shaw 1972), in der ebenfalls gezeigt wurde, dass mit Medien nicht

die Meinung von Menschen determiniert wird, aber beeinflusst wird, worüber Menschen miteinander sprechen und nachdenken.

Dabei ist hier weniger der Umstand relevant, dass mit diesen Theorien gezeigt wurde, dass Menschen die Themen, über die sie nachdenken und miteinander sprechen, auch aus Medien entnehmen, sondern der Umstand, dass mit diesen Theorien beschrieben wurde, wie Menschen dazu gebracht werden, über bestimmte Themen nachzudenken und miteinander zu sprechen. Denn es waren diese Beschreibungen, die dann genutzt worden sind, um Medien so zu gestalten, dass Menschen dazu gebracht werden, über manche Themen nachzudenken und miteinander zu sprechen – und über andere nicht. Diese Umsetzung der Forschungsergebnisse in praktische Mediengestaltung, die ganz im Sinne der handlungsorientierten Medienpädagogik erfolgt ist, wurde dann wieder in der an die Agenda Setting Theorien anschließenden Agenda Building Theorien beschrieben (Lang/Lang 1981).

In Agenda Building Theorien und den in diesem Rahmen entwickelten Theorien des Framing und des Priming wird beschrieben, wie Themen mit Hilfe von Medien erzeugt werden. In diesen Theorien wird allerdings erstens nicht berücksichtigt, dass am Agenda Building auch Wissenschaftler:innen beteiligt sein können. Zweitens wird nicht berücksichtigt, dass das Agenda Building im Interesse des Profits der Kapitalist:innen erfolgt, denen die Medienkonzerne (wie z. B. Microsoft, Alphabet, Apple und Meta) gehören. Und drittens wird nicht berücksichtigt, dass das Agenda Build-

ding viel erfolgreicher betrieben werden kann, wenn die Menschen, in deren Eigentum sich die Medien befinden, auch die Menschen sind, in deren Interesse das Agenda Building betrieben wird. Denn damit werden die von Cohen noch betonten Differenzen zwischen den Interessen von Journalist:innen und Politiker:innen nachhaltig vermieden.

Zwar haben schon Herman und Chomsky mit ihrer Filtertheorie gezeigt, wie es Eigentümer:innen von Medien gelingt, ihre Interessen mit denen der Journalist:innen, die für die Eigentümer:innen arbeiten, in Einklang zu bringen (Herman/Chomsky 2008). Das Ausmaß der medialen Integration von Politik und Profit, dass dann etwa Silvio Berlusconi gestaltet hat, weist aber eine durchaus herausragende Qualität auf.

Genau diese Verbindung haben auch Meta, Alphabet, Apple und Microsoft zur Grundlage ihres Geschäfts gemacht. Die entscheidende Pointe dabei ist, dass die Konzerne ihre Profitpolitik unabhängig von politischen Strömungen gestalten können. Denn fast alle Menschen, die sich politisch äußern, nutzen dafür digitale Medien, die von Microsoft, Alphabet, Apple und Meta produziert werden. Und genau das ist die Agenda der Konzerne, denn dadurch wird die Machtausübung mit digitalen Medien und die Profiterzeugung mit digitalen Medien gleichzeitig erreicht. Ein erfolgreicheres Agenda Building als das von den Inhaber:innen der Politikprofittechkonzerne betriebene hat es in der Geschichte der Medien nicht gegeben. Dieses Agenda Building ist so erfolgreich, dass eine totale Dominanz über fast alle Menschen, die digitale

Medien nutzen, erreicht worden ist. Und darum gibt es auch fast keine politische Strömung, in der die Nutzung der digitalen Medien von Microsoft, Alphabet, Apple und Meta explizit abgelehnt wird.

#### 4. Final Boss Down

Die Idee, digitale Maschinen genau wie Industriemaschinen zu benutzen, um Menschen auszubeuten, kann nach einigen Jahrzehnten der Industrialisierung nicht überraschen. Überraschend ist eher die Behauptung, dass die Ausbeutung mit digitalen Maschinen von der Ausbeutung mit Dampfmaschinen grundlegend zu unterscheiden ist, denn in beiden Fällen handelt es sich um Ausbeutung mittels Maschinen, und in beiden Fällen werden Profite durch Massenelend erreicht. Auch wenn digitale Maschinen zugleich als so wirksame Methoden im Klassenkampf verwendet werden, dass die Benutzer:innen ihr Elend nicht wahrnehmen, sondern das Erlösungsversprechen glauben, ist Elend immer noch Elend.

Faszinierend ist allerdings, dass das Agenda Building mit digitalen Medien so erfolgreich gelingt, dass es zwar gelegentlich noch gesellschaftskritische Reflexionen gibt, aber auch die Menschen, die gesellschaftskritisch reflektieren, dazu die digitalen Maschinen verwenden, die sich im Eigentum der Kapitalist:innen befinden. Dazu gehören z. B. Mobiltelefone, auf denen Betriebssysteme von Alphabet oder Apple laufen, oder digitale Maschinen, auf denen Betriebssysteme von Microsoft laufen. Und falls Sie nicht glauben,

dass Ihr Mobiltelefon nicht Ihnen gehört: Versuchen Sie einmal, LineageOS (ein Open Source-Betriebssystem für Mobiltelefone, das keine Daten an Unternehmen übermittelt) zu installieren. Dann werden Sie bemerken, dass Sie über das Gerät nicht frei verfügen können. Und wenn Sie über das Gerät nicht frei verfügen können, ist es nicht Ihr Eigentum. Die Produktionsmittel gehören den Kapitalist:innen, aber bezahlt werden sie von unbezahlten und daher als Sklav:innen tätigen Arbeiter:innen. So geht Profit.

Solange die Geräte, die von Menschen benutzt werden, um Microsoft, Meta, Alphabet und Apple anzugreifen, Microsoft, Meta, Alphabet und Apple gehören, stört der Angriff die Eigentümer:innen von Microsoft, Meta, Alphabet und Apple nicht, weil die Eigentümer:innen immer schon gewonnen haben, solange ihnen die Produktionsmittel gehören. Und auf die Idee, die Inhaber:innen anzugreifen, kommt niemand, weil (fast) alle auf den Trick mit den *juristischen Personen* hereinfliegen.

Die Situation ist eigentlich ziemlich einfach: Die Angriffe auf digitale Maschinen mit digitalen Maschinen, die Konzernen gehören, führen zur weiteren Verbreitung und Nutzung dieser digitalen Maschinen und damit zur Steigerung der Profite der Konzerne – vor allem, wenn mit der Kritik genügend Aufmerksamkeit erzeugt wird. Und das ist natürlich jederzeit willkommen, weil sich Menschen als *End Boss* digitaler Maschinen auf diesem Weg mit den digitalen Maschinen selbst besiegen.

Die Verwendung des kybernetischen Feedbacks zur Steuerung von Menschen mit digitalen Maschinen ist also so erfolgreich, dass auch der kritische Widerstand gegen die Medien einen profitablen Mehrwert erzeugt. Das ist nicht zuletzt daran zu sehen, dass auch sehr viele sich als kritisch verstehende Menschen mit dem größten Vergnügen das Thema „Künstliche Intelligenz“ so aufgreifen, dass sie einen Beitrag zur Verbreitung der Datenreligion leisten. Die digitalen Maschinen haben das Imitationsspiel gewonnen.

---

## Literatur

Adami, Christoph (1998): Introduction to artificial life, New York: Springer.

Barberi, Alessandro (2017): Medienpädagogik als Sozialtechnologie im digital-kybernetischen Kapitalismus? Kybernetik, Systemtheorie und Gesellschaftskritik in Dieter Baackes Kommunikation und Kompetenz, in: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 27, 173–209, online unter: <https://doi.org/10.21240/mpaed/27/2017.04.07> .

Baudrillard, Jean (1982): Der symbolische Tausch und der Tod, München: Matthes & Seitz.

Bush, Vannevar (1945): As We May Think, in: Atlantic Monthly, 101–108.

Cohen, Bernard Cecil (1963): Press and Foreign Policy, Princeton, NJ: Princeton University Press.

Czech, Albert (1977): Grundkurs der Logik, Bonn: Bouvier.

Dander, Valentin/Grünberger, Nina/Niesyto, Horst/Pohlmann, Horst (Hg.) (2024): *Bildung und digitaler Kapitalismus*, München: kopaed.

Darwin, Charles (1859): *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, London: Johan Murray.

Dehaene, Stanislas/Cohen, Laurent/Morais, José/Kolinsky, Régine (2015): Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition, in: *Nature Reviews. Neuroscience* 16, 4, 234–244, online unter: <https://doi.org/10.1038/nrn3924>.

Ensslin, Astrid (2020): *Hypertext Theory*, in: *Oxford Research Encyclopedia of Literature*, Oxford University Press.

Eve, Martin Paul (2024): *Theses on the Metaphors of Digital-Textual History*, Stanford: Stanford University Press.

Hartley, J. R./Sleeman, Derek H. (1973): Towards more intelligent teaching systems, in: *International Journal of Man-machine Studies* 5, 215–236.

Herman, Edward S./Chomsky, Noam (2008): *Manufacturing Consent: The Political Economy of the Mass Media*, London: The Bodley Head.

von Hohenheim, Philippus Theophrasti (1584): *De Natura Rerum*, Straßburg: Jobin.

Hopper, Grace Murray (1952): The education of a computer, in: *Proceedings of the 1952 ACM national meeting (Pittsburgh) vom 1952*, 243–249.

Houben, Hubert (2008): *Kaiser Friedrich II. (1194–1250). Herrscher, Mensch, Mythos*, Stuttgart: Kohlhammer.

Krämer, Sybille (1988): *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriss*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Lang, Gladis E./Lang, Kurt (1981): *Watergate: An Exploration of the Agenda-Building Process*, in: Wilhoit, Cleveland G./de Bock, Harold (Hg.): *Mass Communication Review Yearbook*, Erlbaum 447–468.

Lippmann, Walter (1921): *Public Opinion*, New York: Pelican Books.

McCombs, Maxwell E./Shaw, Donald L. (1972): *The Agenda-Setting Function of Mass Media*, in: *The Public Opinion Quarterly* 36, 2, 176–187, online unter: <http://www.jstor.org/stable/2747787> (letzter Zugriff: 01.03.2025)

McCulloch, Warren S./Pitts, Walter (1943): *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, in: *The bulletin of mathematical biophysics* 5, 4, 115–133.

Meadows, Donella H. (Hg.) (1972): *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, New York: Universe Books.

Meder, Norbert (1986): *Der Sprachspieler – oder Kreativität als Selbstkonzept im Zeitalter der Information*, in: Konrad Adam (Hg.): *Kreativität und Leistung. Wege und Irrwege der Selbstverwirklichung*, Köln: Bachem 140–149.

Meder, Norbert (2004): *Der Sprachspieler. Der postmoderne Mensch oder das Bildungsideal im Zeitalter der neuen Technologien*, Würzburg: Königshausen und Neumann.

Meder, Norbert (2020): *Bildung und Daten-Kapitalismus*, in: Iske, Stefan/Fromme, Johannes/Verständig, Dan/Wilde, Katrin (Hg.): *Big Data, Datafizierung und digitale Artefakte*, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 99–113.

Morris, Charles W. (1938): Foundations of the Theory of Signs, in: Otto Neurath (Hg.): International Encyclopedia of Unified Science, Chicago: The University of Chicago Press.

Newell, Allan/Simon, Herbert A. (1972): Human problem solving, Eglewood Cliffs: Prentice-Hall.

Niesyto, Horst (2017): Medienpädagogik und digitaler Kapitalismus. Für die Stärkung einer gesellschafts- und medienkritischen Perspektive, in: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 27, 1–29, online unter: <https://doi.org/10.21240/mpaed/27/2017.01.13.X>.

Peirce, Charles S. (1903): Lectures on Pragmatism, in: Hartshorne, Charles/Weiss Paul (Hg.): Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Cambridge: Harvard University Press.

Quillian, M. Ross (1967): Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities, in: Behavioral Science 12, 5, 410–430, online unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bs.3830120511> (letzter Zugriff: 01.03.2025).

Russell, Thomas L (2001): The no significant difference phenomenon: a comparative research annotated bibliography on technology for distance education: as reported in 355 research reports, summaries and papers, Fishers: IDECC.

Shannon, Claude E. (1948): A Mathematical Theory of Communication, in: Bell System Technical Journal 27, 3, 379–423, online unter: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

Skinner, Burrhus Frederic (1948): Walden two, Indianapolis: Hackett Publishing.

Skinner, Burrhus Frederic (1958): Teaching Machines, in: Science 128, 3330, 969–977.

Swertz, Christian (2000): Computer und Bildung. Eine medienanalytische Untersuchung der Computertechnologie in bildungstheoretischer Perspektive, Bielefeld: Universität Bielefeld.

Swertz, Christian/Barberi, Alessandro (2020): Personal Data für Entscheidungsimpulse setzende Akteurinnen und Akteure, in: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 15–34, online unter: <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb15/2020.03.02.X>.

Thorndike, Edward L. (1911): Animal Intelligence: Experimental Studies, New York: MacMillan.

Turing, Alan M. (1950): I. – Computing Machinery and Intelligence, in: Mind LIX, 236, 433–460, online unter: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.

Turing, Alan (1936): On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, in: Proceedings of the London Mathematical Society 42, 2, 230–265.

Weizenbaum, Joseph (1976): Computer Power and Human Reason: From Judgement to Calculation, San Francisco: W. H. Freeman & Co Ltd.

Wiener, Norbert (1948): Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine, Cambridge: M.I.T. Press.

Wing, Jeannette M. (2008): Computational thinking and thinking about computing, in: Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 366, 1881, 3717–3725, online unter: <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118>.

Wozny, Lucy Anne (1989): The application of metaphor, analogy, and conceptual models in computer systems, in: Interacting with Computers 1, 3, 273–283, online unter: [https://doi.org/10.1016/0953-5438\(89\)90015-5](https://doi.org/10.1016/0953-5438(89)90015-5).

Zuse, Konrad (2007): Der Computer – Mein Lebenswerk, Berlin/  
Heidelberg: Springer.