



**Gerhard Zweckbronner**

# „Philosophieren mit Kopf und Hand“

Anfänge der Mechanisierung von Denkprozessen  
im Räderwerk der Rechenmaschine

*„Die ganze Würde des Menschen liegt im Denken“*, postulierte vor rund dreieinhalb Jahrhunderten Blaise Pascal in seinen Pensées,<sup>1</sup> jener französische Philosoph und Mathematiker, der lange Zeit als Erfinder der Rechenmaschine galt. Werden wir diese Würde des Denkens künftig mit Maschinen teilen müssen?

Den Eindruck könnte man jedenfalls bekommen, wenn man die bereits 1999 formulierten Prognosen des amerikanischen Computerpioniers Ray Kurzweil für das Jahr 2029 anschaut. Er schreibt von gewaltigen Rechenleistungen, die zur Verfügung stehen werden – was zunächst nicht überrascht. Ebenso prophezeit er eine Vielzahl neuro-naler Implantate zur Steigerung der visuellen und akustischen Wahrnehmung, des Gedächtnisses und des logischen Denkens – auch diese Entwicklung ist mittlerweile in Gang gekommen. Aber mit Erstaunen liest man schließlich: *„Immer heftiger wird diskutiert über die gesetzlichen Rechte von Maschinen und darüber, was das Menschsein eigentlich ausmacht. Maschinen nehmen für sich in Anspruch, Bewusstsein zu besitzen – ein Anspruch, der weitgehend akzeptiert wird.“*<sup>2</sup>

Derlei Spekulationen werden nach wie vor gespeist durch die Entwicklung elektronischer Datenverarbeitung und die daraus folgende digitale Transformation unserer heutigen Lebens- und Arbeitswelt. Mit der rasanten Verbreitung neuester Medien

und Informationstechniken sowie den Forschungen und Entwicklungen auf dem Felde der sogenannten künstlichen Intelligenz drängt sich immer mehr die Frage auf, ob und unter welchen Bedingungen man auch von einer Art maschinellen Bewusstseins sprechen könne.<sup>3</sup> Ganz zu schweigen von den ethischen und juristischen Konsequenzen; denn wer trägt letztlich die Verantwortung für das, was durch algorithmengesteuerte Techniken geschieht?

Die Frage nach möglichen Zusammenhängen zwischen Maschine und Bewusstsein reicht zurück bis ins 17. Jahrhundert – in die Zeit der Mechanisierung des Weltbildes.<sup>4</sup> Leitwissenschaft war die Mechanik. Schlüssel zum Weltverständnis wurde sie im Verbund mit der Mathematik. Denn das Buch des Universums sei, so Galileo Galilei, in der Sprache der Mathematik verfasst, ohne die es dem Menschen unmöglich sei, ein einziges Wort davon zu verstehen.<sup>5</sup>

Mechanische Bilder und Modellvorstellungen schufen einen erkenntnisleitenden Zugang zur belebten wie zur unbelebten Natur. Wie das Fernrohr den Blick auf Details der Himmelsmechanik freigab, so erschloss das Mikroskop die anatomischen Feinheiten und mechanischen Funktionszusammenhänge in Mensch, Tier und Pflanze. Man erwartete, dass sich dem mikroskopisch geschärften Auge eine mechanische Welt im Kleinen darböte, deren Funktion ebenso erkennbar wäre wie das Zusammenspiel von Rädern und Hebeln in einer Uhr. Und man suchte in der mechanischen Struktur lebender Organismen das Geheimnis ihrer vitalen Aktivität zu ergründen.<sup>6</sup>

Nebenbei bemerkt, mechanistische Sichtweisen sollten das naturwissenschaftliche Denken bis weit ins 19. Jahrhundert hinein prägen. Und heute noch wird das didaktische Potential mechanischer Modelle immer wieder genutzt, um komplexe, der unmittelbaren Anschauung entrückte physikalische oder chemische Vorgänge wenigstens andeutungsweise verständlich zu machen. Einprägsame Worte für die Stärke solcher Modellvorstellungen fand der britische Physiker Lord Kelvin, als er sich in den 1880er Jahren damit abmühte, die elektromagnetische Theorie des Lichts zu begreifen: *„Ich bin niemals zufrieden, bevor ich ein mechanisches Modell des Gegenstandes kons-*

*truiert habe, mit dem ich mich beschäftige. Wenn es mir gelingt, ein solches herzustellen, verstehe ich, andernfalls nicht.“<sup>7</sup>*

### **Philosoph mit „Kopf und Hand“: Wilhelm Schickard und die erste Rechenmaschine**

Eine augenfällige Verknüpfung fanden Mathematik und Mechanik im Räderwerk der Rechenmaschine. Diese Mechanisierung geistiger Tätigkeit begann um 1620 mit Wilhelm Schickard, Professor für biblische Sprachen, Mathematik und Astronomie in Tübingen. Von ihm sagte Johannes Kepler, er philosophiere *„mit Kopf und Hand“*.<sup>8</sup> Dass Schickard wissenschaftliche Erkenntnisse in handgreifliche Mechanik umzusetzen verstand, zeigt auch sein Handplanetarium, mit dem er sich 1632 porträtieren ließ (Abb. 1) – ein Beleg zudem für die Bedeutung, die er mechanischen Modellen beimaß. Schon Kepler hatte, wenn auch erfolglos, versucht, sein neues Weltsystem mit der Sonne im Zentrum mechanisch nachzubilden, also ein technisches Abbild jener *„himmlischen Maschine“* zu schaffen, die für ihn *„gleichsam ein Uhrwerk“* war.<sup>9</sup> Der Schritt zur mechanischen Nachbildung gelang Schickard, mit dem Kepler in enger Verbindung stand.

Anhand einer Rekonstruktion nach der Abbildung auf dem Schickard-Porträt lässt sich zeigen, welche Möglichkeiten das Handplanetarium bot mit seinen drei Himmelskörpern Sonne, Erde und Mond (Abb. 2): Schickard konnte sowohl das alte geozentrische wie das neue heliozentrische Weltsystem demonstrieren, je nachdem, ob er mit der Gelenkkurbel die Erde ins Zentrum der Drehbewegung stellte oder die Sonne. An der relativen Bewegung der Himmelskörper zueinander änderte sich dadurch nichts – möglicherweise ein didaktischer Kunstgriff und zugleich eine Vorsichtsmaßnahme in einer Zeit, in der Vertreter des heliozentrischen Systems sich gegen die traditionelle kirchliche Lehrmeinung stellten und Sanktionen zu befürchten hatten.



Abb. 1:

**Wilhelm Schickard mit seinem  
Handplanetarium**

*Professorengalerie, Museum Universität  
Tübingen MUT*

*Abb. 2:*  
**Schickard'sches Handplanetarium,**  
nach der Darstellung auf dem Porträt  
rekonstruiert von Ludolf von  
Mackensen, gebaut von Gerhard  
Weber, EVZ: 1983/0086  
*TECHNOSEUM, Foto: Klaus Luginsland*



Als Mathematiker und Astronom musste Schickard vielerlei Berechnungen ausführen. Daher strebte er wohl danach, eine Rechenmaschine zu bauen. Über das Ergebnis konnte er 1623 Kepler berichten: *„Ferner habe ich dasselbe, was du rechnerisch gemacht hast, kürzlich auf mechanischem Wege versucht und eine aus elf vollständigen und sechs verstümmelten Rädchen bestehende Maschine konstruiert, welche gegebene Zahlen augenblicklich automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn du da wärest und erlebtest, wie sie die Stellen links, wenn es über einen Zehner oder Hunderter weggeht, ganz von selbst erhöht, bzw. beim Subtrahieren ihnen etwas wegnimmt.“*<sup>10</sup>

Schickard hatte also eine Vierspezies-Rechenmaschine entwickelt, eine Maschine für alle vier Grundrechenarten (Abb. 3). Das mechanische Kernstück war ein sechsstelliges Zählradwerk für Addition und Subtraktion mit selbsttätigem Zehner-Übertrag. Dafür brauchte er die, wie er sie nannte, verstümmelten Rädchen. Ob diese Übertragung auch über mehrere Stellen hinweg zuverlässig funktionierte, muss offenbleiben. Die Qualität der Zahnrad-Bearbeitung durch den von ihm beauftragten Mechaniker ließ jedenfalls zu wünschen übrig.<sup>11</sup>

Leider ging Schickards Maschine verloren – und damit auch das Wissen über sie. Wer sich in der Folgezeit mit der Entwicklung von Rechenmaschinen befasste, konnte also nicht bei Schickard anknüpfen. Erst in den 1950er Jahren fand der Tübinger Philosoph und Mathematiker Bruno Baron von Freytag Löringhoff durch Studium von Skizzen und Beschreibungen dieser Maschine in den Nachlässen von Schickard und Kepler heraus, dass es sie gegeben hat, wie sie aufgebaut war und funktioniert haben musste.<sup>12</sup> Ergebnis dieser Recherche war eine Rekonstruktion, die er mit seinem Werkstattmeister anfertigte. Aus dessen Händen stammt auch ein Nachbau in der Ausstellung des TECHNOSEUM.

Eigentlich waren in der Schickard'schen Maschine nur Addition und Subtraktion mechanisiert. Die Zwischenprodukte, die man in das Zählwerk eingab, las man im oberen Teil der Maschine auf den sechs durch Drehen einstellbaren Einmaleins-

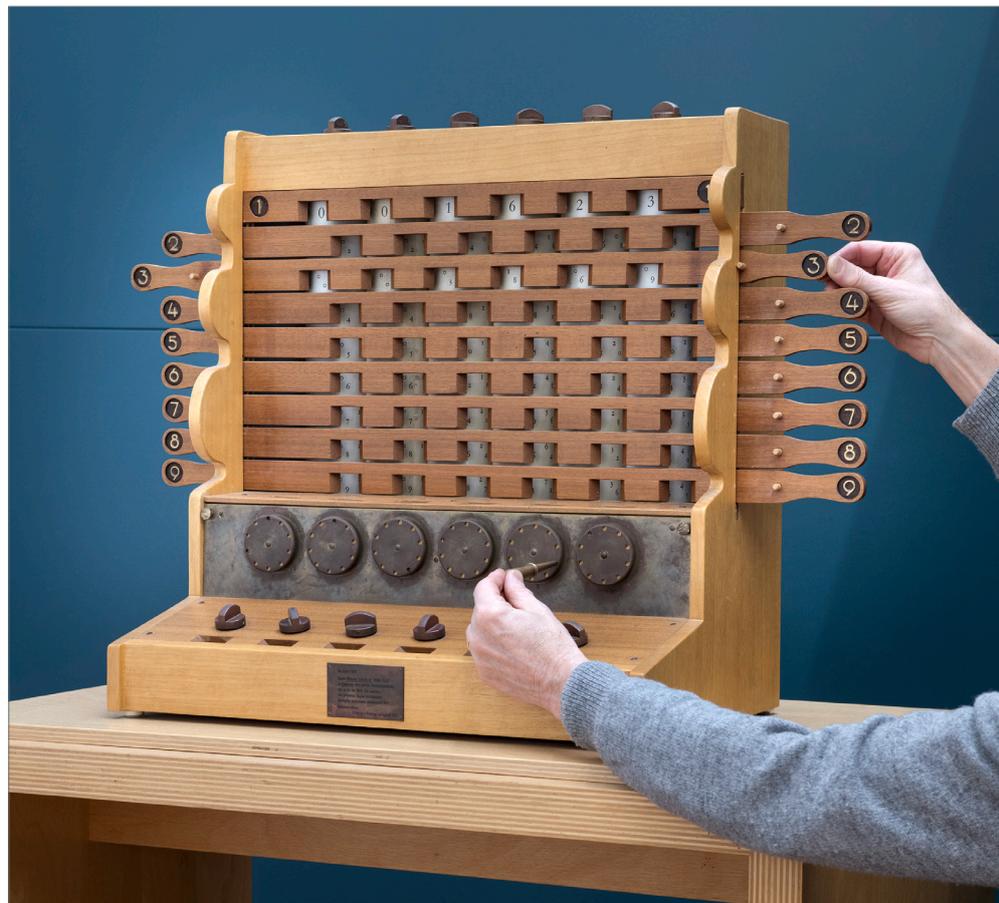


Abb. 3:  
**Schickard'sche Rechenmaschine,**  
rekonstruiert von Bruno Baron von  
Freytag Löringhoff, gebaut von Erwin  
Epple, EVZ: 1983/0008  
*TECHNOSEUM, Foto: Klaus Luginsland*

Walzen ab. Schieber erleichterten das Ablesen, denn man konnte sie so einrücken, dass sie nur die Zeile mit den gewünschten Teilprodukten freigaben.

### Die „Pascaline“ von Blaise Pascal

Rund zwanzig Jahre nach Schickards Erfindung trat Pascal mit seiner Zweispezies-Maschine, für Addition und Subtraktion, an die Öffentlichkeit (Abb. 4 und 5). Anlass zur Entwicklung seiner „Pascaline“ waren die mühsamen Steuer-Berechnungen in französischer Währung, die er im Rahmen der Verwaltungs-Aufgaben seines Vaters erledigte. Er wollte eine Maschine ersinnen, die *„aus sich allein und ohne irgendwelche geistige Arbeit die Operationen aller Gebiete der Arithmetik“* ausführte.<sup>13</sup> Solch eine Maschine konnte der Zweiundzwanzigjährige 1645 dem Kanzler Séguier, Vorgesetzter seines Vaters, mit einem Widmungsbrief überreichen:

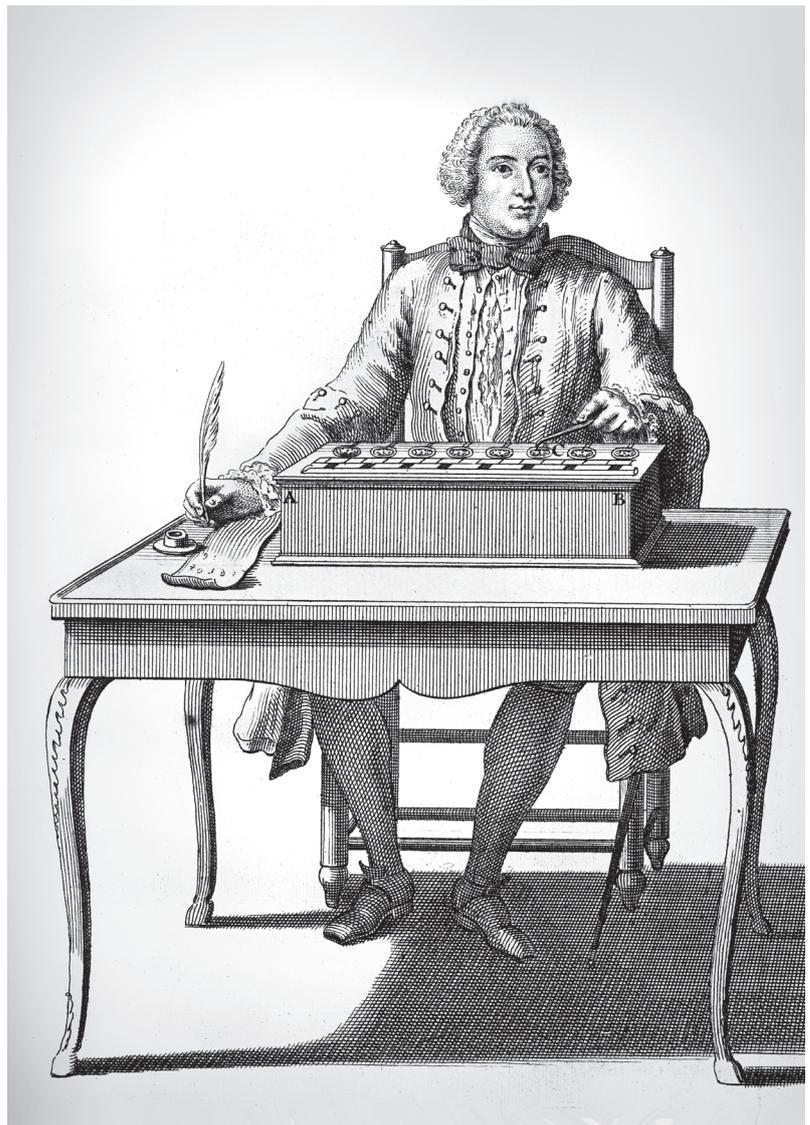
*„Die Langwierigkeit und die Schwierigkeit der Methoden, die man bisher anwandte, brachten mich auf den Gedanken, ein rasch und leicht arbeitendes Hilfsmittel zu erfinden, das mich bei den umfangreichen Rechnungen unterstützen könne, mit denen ich seit einigen Jahren im Zusammenhang mit den Ämtern beschäftigt bin, mit denen Sie meinen Vater für den Dienst beehrten, den er Seiner Majestät in der oberen Normandie leistete. [...] Die Kenntnisse in Geometrie, Physik und Mechanik lieferten mir den Plan dazu und gaben mir die Gewissheit, dass der Gebrauch einer solchen Maschine unfehlbar sein müsste, wenn nur ein Handwerker das Instrument so ausführen könnte, wie ich mir das Modell ausgedacht hatte.“*<sup>14</sup>

Pascals Bemerkung zur handwerklichen Ausführung ist insofern bedeutsam, als er, wie schon Schickard, Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit mit Mechanikern gehabt hatte. Aber nur dank deren Hilfe konnte er seine auf Geometrie und Physik gegründeten Ideen in die Praxis umsetzen, da er nach eigenen Worten *„nicht die Geschicklichkeit besaß, mit Metall und Hammer ebenso umzugehen wie mit Feder und Zirkel“*.<sup>15</sup> Dabei lagen für Pascal Mathematik und Handwerk erstaunlich dicht beieinander. Mathematik war für ihn zwar die höchste Übung des Geistes, aber er

Abb. 4:

**Blaise Pascal an seiner Rechenmaschine**

*Deutsches Museum, München, Archiv, BN 38471*



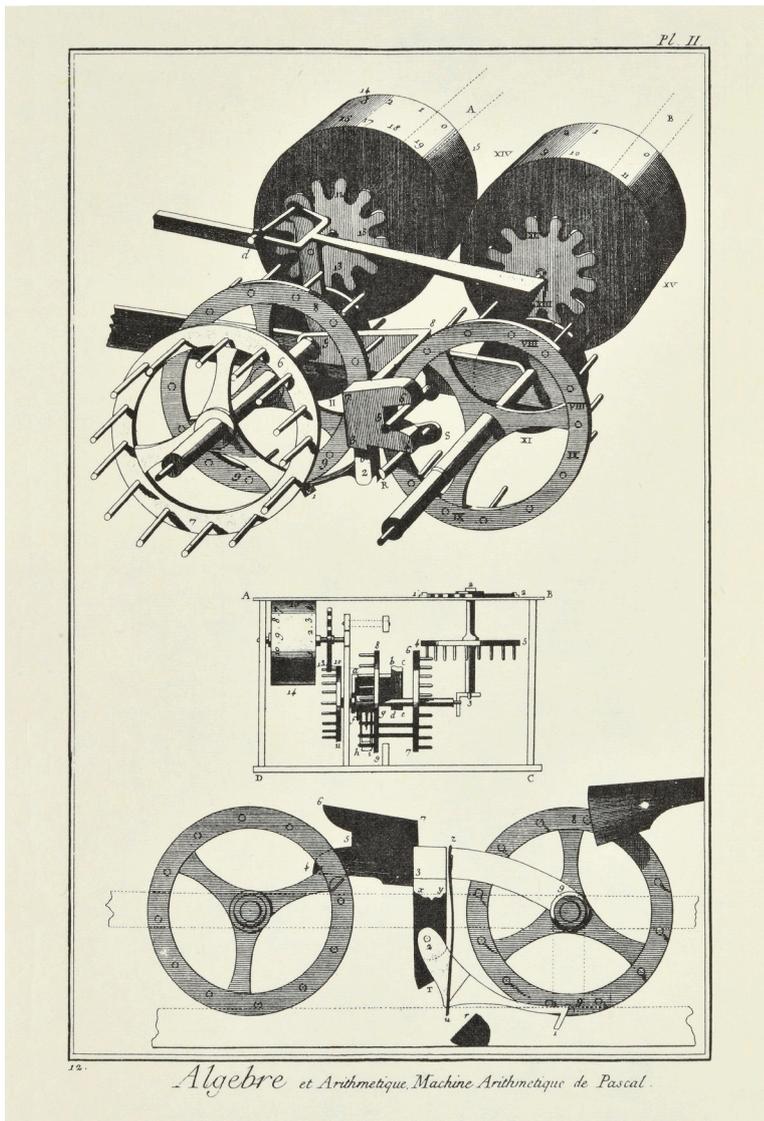


Abb. 5:

Das Rechenwerk der Pascal'schen Maschine, aus: *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Planches. Bd. 5. Lucques: Giuntini 1769.

TECHNOSEUM, Foto: Klaus Luginsland

machte keinen Unterschied zwischen einem Handwerker und einem Mathematiker: „*Obgleich ich sie – die Mathematik – das schönste Handwerk der Welt nenne, ist sie doch nur ein Handwerk.*“<sup>16</sup>

Vielleicht trug das mit zu seinem Entschluss bei, Rechenleistungen des Geistes so zu mechanisieren, dass eine Maschine sie unfehlbar ausführen und Menschen auf diese Weise von zumindest einfacher, routinemäßiger geistiger Tätigkeit entlasten kann. Dennoch war die Maschine für Pascal nichts weiter als ein unbelebtes technisches Mittel: „*Die Rechenmaschine zeigt Wirkungen, die dem Denken näher kommen als alles, was Tiere vollbringen; aber keine, von denen man sagen muss, dass sie Willen habe wie die Tiere.*“<sup>17</sup>

Das bewusste Denken blieb nach Pascal somit dem Menschen vorbehalten, und darin liege, wie eingangs zitiert, dessen ganze Würde. Dieses Denken sei „*ein Wunder und in seinem Wesen ohne Vergleich*“.<sup>18</sup> Bekanntlich war der Akt des Denkens für René Descartes der Beweis für die eigene Existenz und der Bezugspunkt seiner gesamten philosophischen Reflexionen. Zudem, so Descartes, sei das einzige, was uns zu Menschen mache und von den Tieren unterscheide, der Verstand: übrigens die bestverteilte Sache der Welt, denn jedermann glaube, genügend davon zu besitzen.<sup>19</sup>

Ob und wie Schickard über das Verhältnis von Mensch und Maschine bezüglich des Erbringens von Rechenleistungen gedacht hat, ist nicht bekannt. Aber Pascal zog hier eine klare Grenze zwischen belebtem Denken und unbelebter Technik, auch wenn deren Funktion menschlichen Denkleistungen nahe kam und wenn, wie seine Schwester schrieb, „*eine Wissenschaft, die ganz und gar im Geiste wohnt, in eine Maschine eingefangen wurde*“ und so „*die Mittel gefunden waren, alle Operationen dieser Wissenschaft mit absoluter Sicherheit auszuführen, ohne die Vernunft zu benötigen*“.<sup>20</sup>

### **Die „lebendige Rechenbank“ von Gottfried Wilhelm Leibniz**

Eine besondere Aufmerksamkeit erfuhr die „Pascaline“ durch Gottfried Wilhelm Leibniz.

Dieser studierte sie gründlich während eines Aufenthalts in Paris. Sein Urteil fiel allerdings ambivalent aus. Zwar nannte er die Maschine ein „*Probestück des glücklichsten Genies*“, aber ihren praktischen Nutzen zog er in Zweifel: Sie erleichtere nur Addition und Subtraktion, deren Schwierigkeit ohnehin nicht groß sei, aber Multiplikation und Division überlasse sie den herkömmlichen Rechenmethoden.<sup>21</sup>

Leibnizens eigene Pläne galten ebenfalls der Mechanisierung des Rechnens. Sein Ziel war eine „*lebendige Rechenbank*“ für alle vier Grundrechenarten.<sup>22</sup> Sie sollte Rechenoperationen erleichtern und zuverlässiger machen. Denn es sei „*unwürdig, die Zeit von hervorragenden Leuten mit knechtischen Rechenarbeiten zu verschwenden, weil bei Einsatz einer Maschine auch der Einfältigste die Ergebnisse sicher hinschreiben kann*“.<sup>23</sup>

Das Vorbild des mechanischen Schrittzählers, mit dem man seine Schritte ohne zu denken zählen konnte, wie Leibniz schrieb, brachte ihn auf die Idee, „*es ließe sich die ganze Arithmetik durch eine ähnliche Art von Werkzeug fördern*“.<sup>24</sup> Ein langer Weg lag zwischen dieser Idee und ihrer technischen Umsetzung, und wieder gestaltete sich die Zusammenarbeit mit den ausführenden Mechanikern mühsam.<sup>25</sup> Zentrales Konstruktionselement seiner Vierspezies-Rechenmaschine war die von ihm entwickelte Staffelwalze (Abb. 6): ein axial verschiebbares walzenförmiges Zahnrad mit gestaffelten Zahnbreiten. Je nach Einstellung greifen bei einer vollen Umdrehung null bis neun Zähne dieser Staffelwalzen in ihre Gegenzahnräder ein und drehen diese um den eingestellten Wert weiter. Dieses Staffelwalzen-Prinzip sollte sich als zukunftsfähig erweisen: Viele Rechenmaschinen aus industrieller Produktion arbeiteten nach diesem Prinzip.

Ein erstes, noch mit Funktionsmängeln behaftetes Holzmodell führte Leibniz 1673 auf einer Sitzung der Royal Society in London vor. Überzeugender als dieses Modell dürfte das Konzept gewesen sein, das dahinterstand. Mehr als zwei Jahrzehnte arbeitete Leibniz immer wieder an der Entwicklung seiner Maschine, aber das Ergebnis war wenig befriedigend. Zu groß waren die Verständigungsprobleme zwischen ihm und den Handwerkern, ähnlich wie bei Schickard und Pascal.<sup>26</sup>

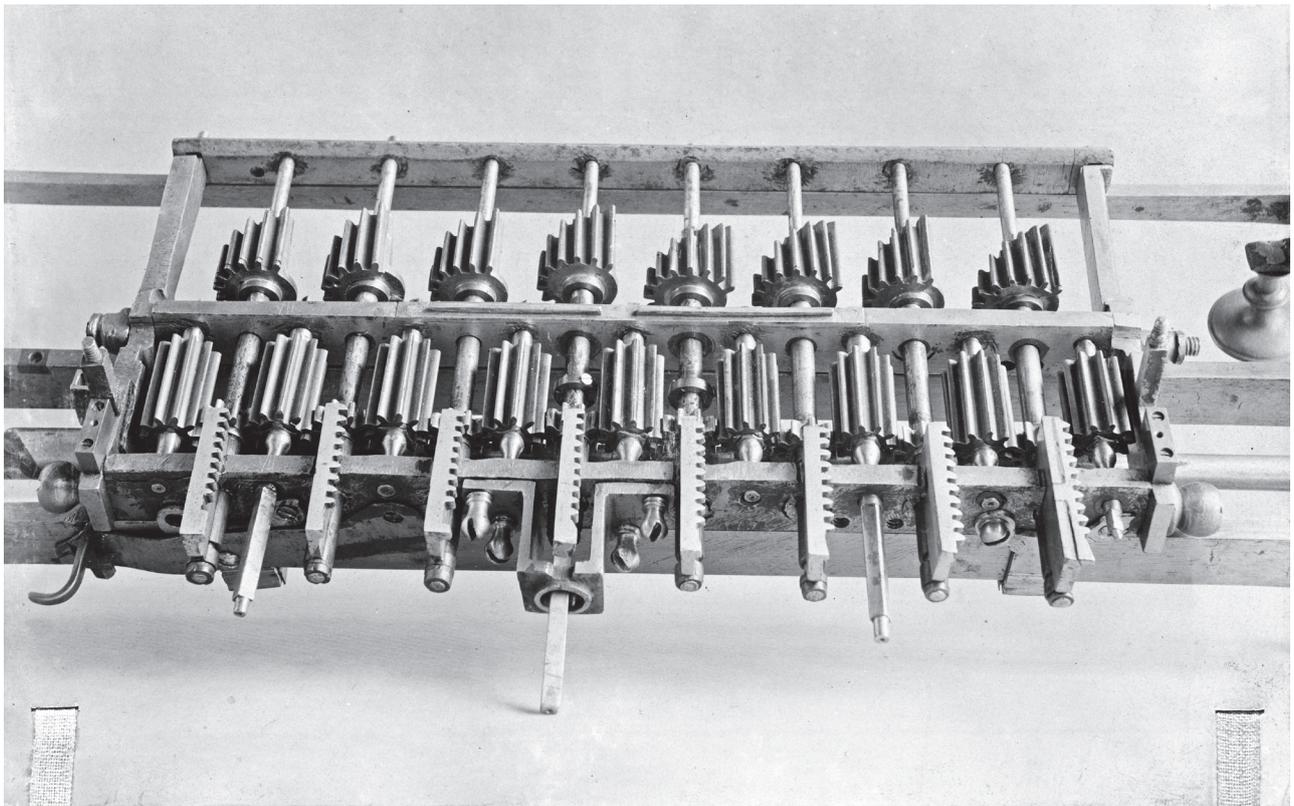


Abb. 6:

**Teilerlegter Nachbau nach der einzigen erhaltenen Original-Maschine von Leibniz, hier die über Zahnstangen verschiebbaren Staffelwalzen, Nachbau von Grimme, Natalis & Co., 1923**

*Deutsches Museum, München, Archiv, BN 45192*

### **Der Weg zur Serienreife mit Philipp Matthäus Hahn**

Erst rund hundert Jahre, nachdem Leibniz sein Modell in London vorgestellt hatte, gelang es dem württembergischen Pfarrer Philipp Matthäus Hahn, alle vier Grundrechenarten zuverlässig zu mechanisieren.<sup>27</sup> Um die Mitte der 1770er Jahre konnte er die ersten wirklich funktionstüchtigen Ausführungen seiner Vierspezies-Rechenmaschine mit bis zu vierzehn Stellen präsentieren (Abb. 7). Von Leibniz hatte er das Staffelwalzen-Prinzip übernommen, und er hatte das Problem des sicheren Zehnerübertrags über sämtliche Stellen hinweg lösen können, an dem jener noch gescheitert war.

Obwohl die Hahn'sche Maschine im Prinzip bereits serienreif war, wurden nur wenige Exemplare hergestellt. Erst in den 1820er Jahren begann die industrielle Produktion von Rechenmaschinen.<sup>28</sup> In diversen Bauformen, später auch elektrisch betrieben, wurden diese nun überall dort eingesetzt, wo große Zahlenmengen zuverlässig bearbeitet werden mussten: in Handels- und Bankhäusern, bei Versicherungsunternehmen, in Fabrikkontor und Verwaltung sowie in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, in der Astronomie und Geodäsie. Diese Zeit des mechanischen Rechnens endete ziemlich abrupt, als in den 1970er Jahren Computer, Tisch- und Taschenrechner auf den Markt kamen. Mechanische Rechenmaschinen verschwanden innerhalb kürzester Zeit von Arbeitstischen und Ladentheken und wanderten in die Vitrinen der Museen.

### **Die Leibniz'sche Idee zu einer dualen Rechenmaschine**

Auch die binäre Null/Eins-Logik der neuen elektronischen Datenverarbeitung reicht mit ihren geistigen Wurzeln zurück ins 17. Jahrhundert, also in die Anfangszeit der dezimalen Rechenmaschine. Und sie führen wieder zu Leibniz, denn dieser hatte sich auch mit dem dualen Zahlensystem befasst, das nur aus den Ziffern 0 und 1 aufgebaut ist und dessen Rechenvorteile für ihn auf der Hand lagen: *„Das Addieren von Zahlen ist bei dieser Methode so leicht, dass diese nicht schneller diktiert als addiert*



Abb. 7:  
**Zwölfstellige Rechenmaschine von  
Philipp Matthäus Hahn, Kornwestheim  
1770 – 1774, Leihgabe S. K. H. Herzog  
von Urach, EVZ: 1983/0082**  
*TECHNOSEUM, Foto: Klaus Luginsland*

*werden können, so dass man die Zahlen gar nicht zu schreiben braucht, sondern sofort die Summen schreiben kann. [...] Ich gehe nun zur Multiplikation über. Hier ist es wiederum klar, dass man sich nichts Leichteres vorstellen kann.“<sup>29</sup>*

Leibniz ging noch einen Schritt weiter und überlegte, wie sich diese einfachen Rechenoperationen in einer Dual-Rechenmaschine mit kleinen Würfeln oder Kugeln mechanisieren ließen. Auch eine Konstruktion mit Zahnrädern schwebte ihm vor, zudem ein mechanischer Zahlenwandler für die notwendige Umwandlung der Dezimalzahlen ins Dualsystem und wieder zurück. Realisiert wurden diese Maschinen allerdings nicht. Erst gut dreihundert Jahre später baute der Wissenschafts- und Technikhistoriker Ludolf von Mackensen nach der schriftlichen Ideenskizze von Leibniz ein Funktionsmodell der Dualmaschine mit Kugeln – unter Verwendung technischer Mittel, die auch im 17. Jahrhundert zur Verfügung gestanden hätten (Abb. 8).<sup>30</sup>

Die Leibniz'sche Idee schlägt jedenfalls eine Brücke vom mechanistischen Denken seiner Zeit zur modernen Computer-Technik. Aber ohne deren elektronische Bauelemente, die mittlerweile in Sekundenbruchteilen Milliarden logischer Null-Eins-Operationen bewältigen, wäre diese Art der Informationsverarbeitung nicht möglich geworden. Die Mechanik wäre hier an unüberwindbare Grenzen gestoßen.

### **Rechnendes Denken in einer mathematisch geordneten Leibniz-Welt**

Warum befasste sich Leibniz so intensiv mit Rechenoperationen und ihrer Mechanisierung? Er sah in der Arithmetik *„eine Art Statik des Universums“*,<sup>31</sup> in dem alles *„mit Zahl, Maß und Gewicht oder Kraft gleichsam abgezirkelt“* war.<sup>32</sup> Leibniz strebte eine *„allgemeine Charakteristik“* an. Darunter verstand er eine mathematisch-philosophische Methode, die es ermöglicht, *„die Lehren, die im praktischen Leben zumeist gebraucht werden, d. h. die Sätze der Moral und Metaphysik, nach einem unfehlbaren Rechenverfahren zu beherrschen“*.<sup>33</sup> Diese Charakteristik, eine universelle Zahlen- und Zeichensprache, sollte *„alle Fragen insgesamt auf Zahlen reduzieren und so eine Art von Statik darstellen, vermöge deren die Vernunftgründe gewogen werden können“*.<sup>34</sup> Die meisten



Abb. 8:  
**Funktionsmodell der Dual-Rechen-  
maschine nach Leibniz, rekonstruiert  
von Ludolf von Mackensen, gebaut  
von Gerhard Weber, EVZ: 2007/0405**  
*TECHNOSEUM, Foto: Klaus Luginsland*

Streitigkeiten, so Leibniz, rührten daher, dass *„die Sache nicht klar, d. h. nicht auf Zahlen zurückgeführt ist“*.<sup>35</sup> Denken und Rechnen würden somit eins und *„alle Irrtümer [...] wären nichts als Rechenfehler“*.<sup>36</sup> Solch eine Gleichsetzung von Denken und Rechnen war nicht ungewöhnlich für diese Zeit. Auch Thomas Hobbes etwa, der englische Staatsphilosoph und Erkenntnistheoretiker, vertrat zeichentheoretische Überlegungen und sah in der Vernunft nichts anderes als Addieren und Subtrahieren.<sup>37</sup>

Künftige wissenschaftliche Dispute stellte sich Leibniz so vor: *„Es wird dann beim Auftreten von Streitfragen für zwei Philosophen nicht mehr Aufwand an wissenschaftlichem Gespräch erforderlich sein als für zwei Rechnerfachleute. Es wird genügen, Schreibzeug zur Hand zu nehmen, sich vor das Rechengerät zu setzen und zueinander (wenn es gefällt, in freundschaftlichem Ton) zu sagen: Lasst uns rechnen.“*<sup>38</sup>

Leibniz verglich die Steigerung der menschlichen Vernunft durch sein Zeichensystem mit der Erweiterung der visuellen Wahrnehmung durch Fernrohr und Mikroskop: Mit dem neuen System werde *„das Menschengeschlecht gleichsam ein neues Organ besitzen, das die Leistungsfähigkeit des Geistes weit mehr erhöhen wird, als die optischen Instrumente die Sehschärfe der Augen verstärken“*.<sup>39</sup>

Nicht von ungefähr erkor Norbert Wiener Mitte des 20. Jahrhunderts Leibniz zum Schutzpatron der Kybernetik, der Lehre von der Regelung und Informationsverarbeitung in Mensch und Maschine. Dieser habe den intellektuellen Impuls gegeben zur Entwicklung der mathematischen Logik und zur Mechanisierung der Denkprozesse.<sup>40</sup> Und die Leibniz'sche Vision, es ließen sich Fragen des praktischen Lebens, einschließlich ethisch-moralischer, nach einem unfehlbaren Rechenschema, wir würden heute sagen mit Algorithmen, entscheiden, führt ins Zentrum aktueller Entwicklungen zur künstlichen Intelligenz, die wie die Kybernetik schon in den 1950er Jahren als neue Wissenschaftsdisziplin etabliert wurde.<sup>41</sup> Unsere zunehmend digitalisierte und von Algorithmen geprägte Lebens-, Arbeits- und Informationswelt ist ihrem Programm nach eine Leibniz-Welt, wie der Philosoph und Wissenschaftstheoretiker Jürgen Mittelstraß darlegt.<sup>42</sup> Das Leibniz'sche *„Lasst uns rechnen“* ist allgegenwärtig.

### **Leibniz und die Grenzen zwischen künstlichen Automaten und Schöpfungen der Natur**

Wenn Denken und Rechnen in eins fallen, wie Leibniz postulierte, und Rechnen in einer, wie er es nannte, „*lebendigen Rechenbank*“ mechanisiert werden kann, dann scheint auch die Grenze, die Pascal noch zwischen dem unvergleichlichen Wunder des Denkens und der unbelebten Maschine gezogen hatte, zumindest etwas durchlässig zu werden. Dennoch waren für Leibniz geistige Vorgänge wie Denken, Fühlen oder Wahrnehmen nicht mechanisch erklärbar: „*Angenommen, es gäbe eine Maschine, deren Struktur zu denken, zu fühlen und Perzeptionen zu haben erlaubte, so könnte man sich diese derart proportional vergrößert vorstellen, dass man in sie eintreten könnte wie in eine Mühle. Dies vorausgesetzt, würde man, indem man sie von innen besichtigt, nur Teile finden, die sich gegenseitig stoßen, und niemals etwas, das eine Perzeption erklären könnte.*“<sup>43</sup>

Wie solche Wahrnehmungen zustande kommen, war Gegenstand seiner Lehre von den Monaden: beseelten unendlich feinen Substanzen, an deren Feinheit keine von Menschen verfertigte Maschine auch nur annähernd heranreicht. Die lebenden Körper hingegen, die Leibniz Maschinen der Natur nannte, seien noch in ihren kleinsten Teilen Maschinen bis ins Unendliche: „*Jede Materiepartikel kann als ein Garten voller Pflanzen und ein Teich voller Fische aufgefasst werden. Aber jeder Zweig der Pflanze, jedes Glied des Tieres, jeder Tropfen seiner Körpersäfte ist noch ein solcher Garten oder ein solcher Teich.*“<sup>44</sup>

Weitere Beispiele aus seiner Feder zeigen, dass er selbst Maschinen, die in ihrer äußeren Funktion menschenähnlich oder wie von Menschenhand gelenkt wirkten, keinerlei Intelligenz oder Bewusstsein zuschrieb: zum Beispiel einer Maschine, „*die imstande wäre, während einiger Zeit in der Stadt herumzuspazieren und sich gerade an den Ecken bestimmter Straßen umzudrehen*“ oder einem Schiff, „*das sich selbst ohne Steuermann in den Hafen führt*“. Sogar ein künstlicher Körper, „*der imstande wäre, einen Menschen nachzumachen*“, besäße keine Intelligenz.<sup>45</sup>

Man könne es wohl verstehen, „*dass die Maschine die schönsten Dinge der Welt hervorbringt, niemals aber, dass sie sich dieselben zum Bewusstsein bringt.[...] Welche mechanische Hypothese man also auch zugrunde legen mag, so kommt man doch dem Bewusstsein nicht näher, sondern bleibt stets unendlich weit von ihm entfernt*“.<sup>46</sup> So wenig man Intelligenz und Bewusstsein in einer Maschine finden kann, so unmöglich war es für Leibniz, „*das Bewusstsein aus irgend einer Maschinerie, welcher Art sie auch sein möge, zu erklären*“. Man dürfe also annehmen, „*dass es überall in den Geschöpfen noch etwas Immaterielles gibt, vor allem aber in uns*“.<sup>47</sup>

Eine klare Grenze zwischen seelenlosen, künstlichen Automaten, mochten sie noch so perfekt konstruiert sein, und dem menschlichen Geistes- und Empfindungsvermögen blieb bei Leibniz also letztlich doch. Und obwohl er seine Rechenbank „*lebendig*“ nannte, führte auch sie nur Zahlenoperationen aus, ohne sich dessen bewusst zu sein. Genauso verhielt es sich mit den mechanischen Nachbildungen von Tieren und Menschen aus der Hochzeit des Automatenbaus im 18. Jahrhundert. Hier fand in weithin bewunderten Konstruktionen Gestalt, was Leibniz nur als Möglichkeit formuliert hatte.

Man denke etwa an die berühmte Ente von Jacques de Vaucanson aus dem Jahre 1738 oder an die Automaten in Menschengestalt von Pierre und Henri-Louis Jaquet-Droz: die schreibenden, zeichnenden oder Klavier spielenden Androiden, die ab den 1770er Jahren einer begeisterten Öffentlichkeit präsentiert wurden.<sup>48</sup> Sie alle waren nur lebendig wirkende Mechanismen mit starrem Programm. Und wenn zu dieser Zeit eine scheinbar intelligente Maschine wie Wolfgang von Kempelens mechanischer Schachspieler in Menschengestalt die Welt in Staunen versetzte, dann war es letztlich doch ein wirklicher Mensch, der in diesem Wunderwerk der Technik kauerte und bei den Vorführungen die intelligente Leistung erbrachte.<sup>49</sup>

### **Künstliche Intelligenz: Verschmelzung von Mensch und Maschine**

Heutzutage sind die Grenzen zwischen Mensch und Maschine ins Fließen geraten.

Schon mit dem Entstehen der Kybernetik in den 1950er Jahren suchte man Leistungen des menschlichen Gehirns unter technischen Gesichtspunkten zu analysieren, stellt doch das Gehirn nach den Worten Wieners „*in einem gewissen Sinne ein Regel- und Rechengesetz*“ dar.<sup>50</sup> Umgekehrt werden sensorische, motorische und intellektuelle Fähigkeiten des Menschen zunehmend auf Maschinen übertragen. Und man versucht, analog zur Informationsverarbeitung im Gehirn mit künstlichen neuronalen Netzen menschliches Denken per Computer nachzubilden. Das Schlagwort von der künstlichen Intelligenz macht Karriere – Kennzeichen einer sprachlichen Verschmelzung von Menschen- und Maschinenwelt.

Schon in den 1960er Jahren hatte Karl Steinbuch, Pionier der Informatik an der Technischen Hochschule Karlsruhe, notiert, moderne Automaten sprengten die Grenzen dessen, was man einst für „*mechanische Gebilde*“ als möglich erachtet habe. Ihre Eigenschaften beschreibe man „*in Kategorien, die bisher den Menschen vorbehalten waren, z. B. logische Verknüpfung, Zeichenerkennung, Gedächtnis, Lernen*“.<sup>51</sup> Seit dieser Zeit steigerten sich die Rechner-Leistungen gewaltig. Um das Jahr 2000 schrieb der Neuroinformatiker Helge Ritter: „*Der Prozessorchip eines heutigen Schreibtischcomputers kann [...] in nur wenigen Sekunden die Lebensleistung eines selbst flinken menschlichen Kopfrechners erbringen, wenn dieser jede Sekunde seines Lebens ausschließlich dem Zahlenrechnen widmen würde [...]. Die Festplatte desselben Computers bietet mühelos Platz, den Volltext sämtlicher Gespräche zu speichern, die ein Mensch während eines ganzen Lebens führen kann.*“<sup>52</sup>

Des Weiteren wurden lernende Automaten entwickelt, Sprach- und Bilderkennung per Computer technisch realisiert oder Rechnerprogramme erstellt für komplexe strategische Spiele wie Schach oder das Go-Spiel, die selbst Großmeistern überlegen sind<sup>53</sup> – Programme, die keines in der Maschine versteckten leibhaftigen Menschen mehr bedürfen. Dessen geistige Leistung steckt nun in der Programmierung, und die ist so strukturiert, dass sie sogar die menschliche Intelligenz, mit der sie entwickelt wurde, zumindest partiell übertreffen kann.

Auch die faktische Verschmelzung von Mensch und Computer hat längst begonnen. Bioelektronisch gesteuerte Prothesen sind hier nur ein Beispiel von vielen. Auf diese Weise entstehen kybernetische Organismen, kurz Cyborgs genannt: Menschen mit implantierten technischen Bauteilen, die der Wiederherstellung, aber auch der Steigerung sensorischer und motorischer Fähigkeiten dienen.<sup>54</sup> In diesem Zusammenhang wurde den bekannten Begriffen Hardware und Software ein neuer hinzugefügt: Wetware, das sind mit Computertechnik kombinierte biologische Zellstrukturen.<sup>55</sup> Zukunftsvisionäre sehen bereits, wie eine neue Spezies, der *robo sapiens*, heraufzieht und den *homo sapiens* in einer transhumanistischen Welt überflügelt, indem er dessen geistige und körperliche Beschränkungen überwindet.<sup>56</sup>

Man könnte darin eine Fortführung des Leibniz'schen Programms sehen: die Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit durch eine universelle Zahlen- und Zeichensprache, die im Verbund mit den Möglichkeiten modernster elektronischer Technik dem Menschengeschlecht gewissermaßen ein neues Organ verleiht, so wie Fernrohr und Mikroskop den Blick in die Weiten des Alls und die Welt des Allerkleinsten geöffnet hatten. In einem kühnen Gedankenspiel betrachtet Kurzweil diese Eröffnung neuer Dimensionen des Geistes durch die Computer-Entwicklung als genialen Schachzug der Evolution. Diese habe, so meint er, einen Weg gefunden, die beschränkte Rechenleistung neuronaler Schaltungen, also des Gehirns, zu überwinden: Sie brachte Organismen hervor, nämlich uns Menschen, die wiederum eine millionenmal schnellere Datenverarbeitungs-Technologie schufen.<sup>57</sup> Die Intelligenz der Evolution würde dann wohl die Unterschiede zwischen natürlicher und künstlicher Intelligenz aufheben.

Der Gedanke, es gebe Entwicklungen im Weltenlauf, in die wir eingebunden sind, ohne sie komplett zu durchschauen oder gar vorherzusehen, war auch Leibniz nicht fremd. Wie er in seiner Schrift „Von dem Verhängnisse“ darlegte,<sup>58</sup> ist unser Verstand zu beschränkt, als dass wir den determinierten, mathematisch-mechanisch abgezielten Lauf der Welt erfassen könnten. Aus Kurzweils Perspektive bedient sich die

Evolution genau dieses beschränkten Verstandes, um eine Intelligenz hervorzubringen, die dessen Leistung in wahrlich ungeahntem Maße übertrifft.

Werden wir künftig Maschinen ein Bewusstsein zuschreiben müssen, wie Kurzweil es prognostiziert hat? Und selbst wenn Maschinen ein solches hätten und wenn sie verstehen würden, was sie tun, wie könnten wir das feststellen?<sup>59</sup> Leibniz vertrat die Ansicht, man könne durchaus meinen, alle anderen Menschen, außer einem selbst, seien bloße Automaten. Aber die Vernunft fordere, dass den anderen ebenso wie uns ein Bewusstsein ihres eigenen Ichs innewohnt.<sup>60</sup> Ließe sich solch ein Vernunftschluss von Mensch zu Mensch auf Maschinen übertragen, die eine Art Eigenleben entwickelt zu haben scheinen und sich dessen möglicherweise bewusst sind?

Es sieht so aus, als wären wir in der Beantwortung der Kernfrage nach Ich-Bewusstsein und Intellekt auch mehr als dreihundert Jahre nach Leibniz nicht entscheidend vorangekommen, trotz aller philosophischen, naturwissenschaftlichen, anatomischen und neurophysiologischen Einsichten, die wir mittlerweile zu diesem Thema gewonnen haben. Zweifellos sind auch die Maschinen komplexer geworden als die Mühle, an deren Beispiel Leibniz zu verdeutlichen suchte, warum sich Denken, Fühlen und Wahrnehmen nicht mechanisch erklären ließen.

Aber wie wir es auch drehen und wenden, das grundsätzliche Problem ist geblieben: Können wir Denken, Wahrnehmen oder Bewusstsein im menschlichen Gehirn erkennen und verorten, geschweige denn in einer Maschine? Ist Bewusstsein nur eine Frage des Komplexitätsgrades vernetzter logischer Strukturen in Gehirn oder Maschine?<sup>61</sup> Gibt es vielleicht, nachdem sich keine funktionale Beziehung zwischen Mechanik und Bewusstsein hat auffinden lassen, im Lichte aktueller Erkenntnisse ein neuronales Korrelat bewussten Erlebens?<sup>62</sup> Bei allem Bemühen stoßen Bewusstsein und Denken in ihrer Beschäftigung mit sich selbst offenbar immer wieder an ähnliche Grenzen, wie sie die Pioniere der Mechanisierung geistiger Arbeit, Pascal und Leibniz, bereits aufgezeigt haben.

### Anmerkungen

Die technische Entwicklung der Rechenmaschinen, die in diesem Beitrag nur am Rande angesprochen wird, hat der Autor ausführlicher dargestellt in seinem Buch „Aufbruch ins Industriezeitalter – Zukunftswerkstätten der Neuzeit“, das demnächst unter der Herausgeberschaft des TECHNOSEUM beim Springer Verlag in Heidelberg erscheint. Dort finden sich auch nähere Erläuterungen zum Betrieb der rekonstruierten Schickard’schen Maschine und des Funktionsmodells der Dualmaschine nach Leibniz. Beide Objekte sind im TECHNOSEUM vorführbereit ausgestellt. Die originale Hahn’sche Maschine wird tastgeschützt in einer Sondervitrine präsentiert; teilweise geöffnet, gibt sie den Blick frei ins Rechenwerk.

- 1** Blaise Pascal: Gedanken. Eine Auswahl. Übers., hrsg. u. eingel. von Ewald Wasmuth. Stuttgart: Reclam 1956 (Reclam Universal-Bibliothek, Nr. 1621/22), S. 81.
- 2** Ray Kurzweil: Die Intelligenz der Evolution. Wenn Mensch und Computer verschmelzen. Köln: Kiepenheuer & Witsch 2016, S. 8.
- 3** Gabler Wirtschaftslexikon. Springer. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/maschinelles-bewusstsein-120206/version-370272> (09.11.2020).
- 4** E. J. Dijksterhuis: Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1956.
- 5** A. Rupert Hall: Die Geburt der naturwissenschaftlichen Methode 1630 – 1720. Von Galilei bis Newton. Gütersloh: Sigbert Mohn 1965 (Geschichte und Kosmos, Hg. A. Rupert Hall), S. 103.
- 6** Ebd., S. 203.
- 7** Zitiert nach Stephen F. Mason: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Stuttgart: Alfred Kröner 1961 (Kröners Taschenausgabe, Bd. 307), S. 572–573.
- 8** Zitiert nach Ludolf von Mackensen: Wilhelm Schickards technische Entwürfe und die Erfindung seines Handplanetariums. In: Friedrich Seck (Hg.): Wissenschaftsgeschichte um Wilhelm Schickard. Vorträge bei dem Symposium der Universität Tübingen zum 500. Jahr ihres Bestehens am 24. und 25. Juni 1977. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck) 1981 (Contubernium, Bd. 26), S. 67–79, hier S. 74–75.
- 9** Ebd., S. 78.
- 10** Zitiert nach Bruno Baron von Freytag Löringhoff: Die Rechenmaschine. In: Friedrich Seck (Hg.): Wilhelm Schickard 1592 – 1635. Astronom, Geograph, Orientalist, Erfinder der Rechenmaschine. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck) 1978 (Contubernium, Bd. 25), S. 288–309, hier S. 289.
- 11** Ludolf von Mackensen: Zur Vorgeschichte und Entstehung der ersten digitalen 4-Spezies-Rechenmaschine von Gottfried Wilhelm Leibniz. In: Akten des internationalen Leibniz-Kongresses Hannover, 14. – 19. November 1966. Bd. II Mathematik-Naturwissenschaften. Wiesbaden: Franz Steiner 1969, S. 34–68, hier S. 47.

- 12** Freytag Löringhoff (wie Anm. 10).
- 13** Zitiert nach Friedrich Klemm: Technik. Eine Geschichte ihrer Probleme. Freiburg, München: Karl Alber 1954, S. 176.
- 14** Ebd., S. 175–176.
- 15** Ebd., S. 176.
- 16** Pascal (wie Anm. 1), S. 19.
- 17** Ebd., S. 81.
- 18** Ebd., S. 81.
- 19** René Descartes: Discours de la Méthode. Von der Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Forschung. Übers. u. hrsg. von Lüder Gäbe. Hamburg: Felix Meiner 1969 (Philosophische Bibliothek, Bd. 261), [Original: Discours de la Méthode Pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les sciences, 1637], S. 3, 5.
- 20** Zitiert nach Bruno von Freytag Löringhoff: Die erste Rechenmaschine: Tübingen 1623. Humanismus und Technik (9, 1964), S. 45–55, hier S.45.
- 21** Mackensen (wie Anm. 11), S. 49.
- 22** Ebd., S. 52.
- 23** Zitiert nach Karl Popp und Erwin Stein (Hg.): Gottfried Wilhelm Leibniz. Das Wirken des großen Universalgelehrten als Philosoph, Mathematiker, Physiker, Techniker. Hannover: Schlütersche 2000, S. 84.
- 24** Zitiert nach Ludolf von Mackensen: Die ersten dekadischen und dualen Rechenmaschinen. In: Popp/Stein (wie Anm. 23), S. 85–100, hier S. 87.
- 25** Rudolf Lindner, Bertram Wohak und Holger Zeltwanger: Planen, Entscheiden, Herrschen. Vom Rechnen zur elektronischen Datenverarbeitung. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1984 (Deutsches Museum, Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und der Technik), S. 224.
- 26** Mackensen (wie Anm. 11), S. 67–68.
- 27** Erhard Anthes: Die Rechenmaschinen von Philipp Matthäus Hahn. In: Philipp Matthäus Hahn 1739 – 1790. Ausstellungen des Württembergischen Landesmuseums Stuttgart und der Städte Ostfildern, Albstadt, Kornwestheim, Leinfelden-Echterdingen. Teil 2, Aufsätze. Stuttgart: Württembergisches Landesmuseum 1989, S. 456–478.
- 28** Rolf Oberliesen: Information, Daten und Signale. Geschichte technischer Informationsverarbeitung. Reinbek bei Hamburg 1982 (Deutsches Museum, Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und der Technik), S. 195–202 und Ludolf von Mackensen: Leitlinien in der Entwicklung der Datenverarbeitung. Ferrum. Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG, Schaffhausen (58, 1987), S. 12–22, hier S. 19–21.

- 29** Zitiert nach Lindner/Wohak/Zeltwanger (wie Anm. 25), S. 51.
- 30** Mackensen (wie Anm. 24), S. 94–99.
- 31** Gottfried Wilhelm Leibniz: Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie. 2 Bde. Hg. Ernst Cassirer. Hamburg: Felix Meiner 1966 (Philosophische Bibliothek, Bd. 107, 108). Bd. 1, S. 30–38 [Zur allgemeinen Charakteristik], hier S. 30.
- 32** Ebd., Bd. 2, S. 129–134 [Von dem Verhängnisse], hier S. 129.
- 33** Ebd., Bd. 1, S. 35.
- 34** Ebd., Bd. 1, S. 37.
- 35** Ebd., Bd. 1, S. 36.
- 36** Zitiert nach Jürgen Mittelstraß: Leonardo-Welt. Über Wissenschaft, Forschung und Verantwortung. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1992 (suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1042), S. 226.
- 37** Wolfgang Röd: Thomas Hobbes (1588 – 1679). In: Otfried Höffe (Hg.): Klassiker der Philosophie. 2 Bde. München: C. H. Beck 1981. Bd. 1, S. 280–300, hier S. 284.
- 38** Zitiert nach Karl Fröschl, Siegfried Mattl und Hannes Werthner: Symbolverarbeitende Maschinen. Eine Archäologie. Steyr: Landesverlag 1993, S. 37.
- 39** Leibniz (wie Anm. 31), Bd. 1, S. 35.
- 40** Norbert Wiener: Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine. Düsseldorf, Wien: Econ 1963, S. 40.
- 41** Rodney A. Brooks: Künstliche Intelligenz und Roboter-Entwicklung. In: Computer.Gehirn: Was kann der Mensch? Was können die Computer? Begleitpublikation zur Sonderausstellung im Heinz Nixdorf Museums-Forum. Paderborn, München, Wien, Zürich: Ferdinand Schöningh 2001, S. 14–37 und Joseph Weizenbaum: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1978 (suhrkamp taschenbuch wissenschaft, 274), S. 268–300.
- 42** Mittelstraß (wie Anm. 36), S. 222.
- 43** Gottfried Wilhelm Leibniz: Monadologie Französisch/Deutsch. Übers u. hg. von Hartmut Hecht. Stuttgart: Reclam 1998 (Reclam Universal-Bibliothek Nr. 7853), S. 19 (Abs. 17).
- 44** Ebd., S. 49 (Abs. 64, 67).
- 45** Leibniz (wie Anm. 31), Bd. 2, S. 382–405 [Erwiderung auf die Einwände Bayles], hier S. 384, 388.
- 46** Ebd., S. 406–409 [Aus dem Briefwechsel zwischen Leibniz und Bayle], hier S. 408–409.
- 47** Ebd., S. 410–422 [Von dem, was jenseits der Sinne und der Materie liegt], hier S. 421.
- 48** Ulrich Troitzsch: Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft zwischen 1600 und 1750. In: Wolfgang König (Hg.): Propyläen Technikgeschichte. Mechanisierung und Maschinisierung 1600 bis 1840. Frankfurt a.

M., Berlin: Ullstein 1991, S. 9–267, hier S. 212–214.

**49** Wikipedia URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Wolfgang\\_von\\_Kempelen](https://de.wikipedia.org/wiki/Wolfgang_von_Kempelen) (19.11.2020).

**50** Wiener (wie Anm. 40), S. 276.

**51** Karl Steinbuch: Automat und Mensch. Kybernetische Tatsachen und Hypothesen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1965, S. V.

**52** Helge Ritter: Die Evolution der künstlichen Intelligenz. In: Computer.Gehirn (wie Anm. 41), S. 38–61, hier S. 39.

**53** Armin Grunwald: Der unterlegene Mensch. Die Zukunft der Menschheit im Angesicht von Algorithmen, künstlicher Intelligenz und Robotern. München: riva 2019, S. 33–49.

**54** Ebd., S. 131–146 und Manuela Lenzen: Künstliche Intelligenz. Was sie kann & was uns erwartet. München: C. H. Beck 2018, S. 110–119.

**55** Werner Stangl: Wetware. Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik. URL: <https://lexikon.stangl.eu/26326/wetware/> (14.02.2020).

**56** Ulrich Eberl: Smarte Maschinen. Wie Künstliche Intelligenz unser Leben verändert. München: Carl Hanser 2016, S. 359–362.

**57** Kurzweil (wie Anm. 2), S. 6.

**58** Leibniz (wie Anm. 31), Bd. 2, S. 129–134.

**59** Lenzen (wie Anm. 54), S. 25–30, 135–138.

**60** Leibniz (wie Anm. 31), Bd. 2, S. 389–390.

**61** Lenzen (wie Anm. 54), S. 132–134.

**62** Wikipedia, URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Neuronales\\_Korrelat\\_des\\_Bewusstseins](https://de.wikipedia.org/wiki/Neuronales_Korrelat_des_Bewusstseins) (17.11.2020).

#### **Zum Autor**

Gerhard Zweckbronner studierte Maschinenbau, wurde habilitiert in Technikgeschichte und war von 1985 bis 2013 als Kurator am TECHNOSEUM tätig.