

Zeitschrift: Schweizer Monat : die Autorenzeitschrift für Politik, Wirtschaft und Kultur
Band: 93 (2013)
Heft: 1010

Artikel: Homo informaticus
Autor: Hromkovic, Juraj
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-737138>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

6 Homo informaticus

Die Informatik ist aus dem Traum geboren, intellektuelle Arbeit zu vereinfachen. Das war vor über 300 Jahren. Heute ist die Vision Realität: Die Informatik hat sämtliche Sphären erobert und ist dabei, die Lebensqualität von Milliarden von Menschen zu steigern – oder sie in die digitale Demenz zu führen.

von Juraj Hromkovic

In der Nacht vom 17. August 2013 stiegen um 0.51 Uhr sämtliche Google-Dienste aus. Der Ausfall dauerte nur vier Minuten. Doch diese kurze Zeit reichte aus, um uns eine Abhängigkeit vor Augen zu führen, deren Bedeutung in Zukunft rasant wachsen dürfte: Informatik- und Kommunikationstechnologien haben ein globales Nervensystem geschaffen, welches das private und berufliche Leben von Milliarden von Menschen prägt und das Potential in sich trägt, die Qualität des Lebens dieser Menschen enorm zu steigern. Aber: was ist das eigentlich, Informatik?

Informatik ist sicherlich nicht die erlernte Kompetenz im Umgang mit Computern oder Softwareprodukten wie Word oder Excel – denn auch eine bestandene Führerscheinprüfung macht ja niemanden zum Physiker oder Maschinenbauer. Eine simplifizierte, aber dafür allgemein verständliche Definition beschreibt die Computerwissenschaft als Lehre von den Grenzen und Möglichkeiten der Automatisierung der Arbeit, wobei ein besonderer Fokus auf die Automatisierung von intellektueller Arbeit gerichtet ist.

Schon in der Antike tüftelte Heron von Alexandria an automatisch betriebenen Tempeltüren, und die Erfindung der Spinnmaschine feuerte jene Dynamik an, die wir als industrielle Revolution kennen. Ganz einfach und abstrakt betrachtet bedeutet Automatisierung, den Weg zu einem gesetzten Ziel so weit wie möglich zu vereinfachen und den dafür nötigen Aufwand zu minimieren. Die Automatisierung setzte ein, als Menschen begannen, entdeckte Vorgehensweisen so zu formulieren, dass

jeder und jede sie erfolgreich verwenden und umsetzen konnte – unabhängig vom Verständnis für das Funktionieren und den Ursprung der Methode.

So waren schon antike Bauarbeiter beim Bauen von rechtwinkligen Ecken auf die Nutzung des Satzes des Pythagoras angewiesen. Er besagt, dass in allen ebenen rechtwinkligen Dreiecken die Summe der Flächeninhalte der Kathetenquadrate gleich dem Flächeninhalt des Hypotenusenquadrates ist. Oder wie im Mathematikunterricht: $a^2 + b^2 = c^2$. Die Bauarbeiter brauchten nicht den Satz zu verstehen oder beweisen zu können, sie mussten nur zur Herstellung des rechten Winkels ein Dreieck mit Seitenlängen 3, 4 und 5 Einheiten aufspannen.

Um nun die Bedeutung der bisherigen und kommenden Automatisierungswellen verstehen zu können, bedarf es einer Zeitreise in die Vergangenheit, die wir im späten 17. Jahrhundert beginnen lassen.

«Lasst uns rechnen, meine Herren!»

Die ersten fortgeschrittenen Gedanken über die Automatisierung der intellektuellen Tätigkeiten finden wir beim deutschen Universalgelehrten Gottfried Leibniz («Discours de métaphysique» von 1686 und «Principes de la nature et de la grâce fondée en raison» von 1714). Leibniz hat wegweisende Gedanken zur Mathematik und ihrer Rolle für die Gesellschaft angestellt. Er hat die Mathematik als eine spezielle Sprache gesehen, in der Menschen absolut genau formulieren und mit entsprechender Zuverlässigkeit argumentieren können. Sein berühmter Satz «Lasst uns rechnen, meine

Juraj Hromkovic

ist Professor für Informationstechnologie und Ausbildung an der ETH Zürich und hat sich in den letzten Jahren in zahlreichen Publikationen mit Fragen der Didaktik beschäftigt.

Herren!» zielte darauf, alle Streitigkeiten und Auseinandersetzungen aus der Welt zu schaffen, indem alle Probleme der realen Welt in der Sprache der Mathematik abgefasst würden, um sie dann mittels mathematischer Instrumente (wie beispielsweise der Analysis) korrekt zu lösen. Damit, so Leibniz' Überlegung, würden alle Diskussionen unnötig werden. Hinter Leibniz' «Automatisierung der intellektuellen Tätigkeit» stand nichts weniger als die Idee, Entscheidungsprozesse radikal zu vereinfachen und Problemstellungen «automatisch» mit zuverlässigen mathematischen Methoden statt mit kontroversen Spekulationen und Debatten zu lösen.

Leibniz' mathematische Exaktheit war nur um den Preis eines relativ kleinen Vokabulars von Begriffen zu haben, da nur wenige von ihnen das Kriterium der exakten Bedeutung erfüllen konnten. Die realen Problemsituationen der Welt mussten also exakt definiert sein, um sie vernünftigerweise in die Sprache der Mathematik überführen zu können. Die damalige Mathematik mit ihrem noch recht eingeschränkten Vokabular war zu schwach, um dieses Ziel bei allen Problemstellungen erfolgreich zu erfüllen – und deshalb träumte Leibniz von der Weiterentwicklung der Sprache der Mathematik und von einem einfachen «rechnerischen» Satz von Regeln für logische Argumentation, mit de-

nen man ein automatisches Problemlösen erreichen könnte.

Der Traum von David Hilbert

In den folgenden Jahrhunderten trat die Logik mit ihren formalen Regeln der korrekten Argumentation ihren Siegeszug an – und die Mathematik wurde durch neue Konzepte, also ein «grösseres Vokabular», wesentlich stärker und konnte der Wissenschaft und der Wirtschaft für eine grosse Menge von Problemen neue Lösungen liefern. Es dauerte dreihundert Jahre, bis die nächste Automatisierungswelle für intellektuelle Arbeit einsetzte. Während des Übergangs ins 20. Jahrhundert nämlich, inmitten der Blütezeit der technischen Revolution, bildete sich um den deutschen Mathematiker David Hilbert eine einflussreiche mathematische Schule, deren Mitglieder glaubten, dass man die Lösungen aller Probleme automatisieren könne, die bisher in der Sprache der Mathematik formuliert waren. Und zwar mit jenem systematisierten Verfahren, das wir gemeinhin «Methode» nennen. Die Existenz oder die Erfindung einer Methode zur Lösung eines Problems ist der *Automatisierung* des Lösens des Problems gleichgestellt. Jede und jeder kann diese Vorgehensweise verwenden, ohne zu verstehen, wie man sie entdeckt hat und warum sie überhaupt funktioniert.

Es zeigte sich aber, dass sowohl Leibniz' als auch Hilberts Traum prinzipiell unerreichbar sind. Denn: die Mathematik ist eine spezielle Sprache, die aus Begriffen besteht, deren Bedeutung exakt durch Axiome der Mathematik festgelegt wurde. Alle anderen Begriffe dieser Sprache sind aus diesen axiomatischen Begriffen abgeleitet. Somit ist die Mathematik als Sprache viel ärmer als die natürlichen Sprachen. Die Ausdrucksstärke, also die Gesamtheit der Dinge, über die die Mathematik Auskunft geben kann, ist also kleiner, dafür ist die Sprache aber absolut genau. Ein anderer Vorteil der Mathematik als Sprache ist ihre Argumentationsstärke – die Möglichkeit, in mathematischer Sprache argumentativ korrekte Aussagen machen und überprüfen zu können. Zwischen diesen beiden Grössen gibt es ein

Unterschied. Und dieser Unterschied sorgte dafür, dass das entstand, was wir heute als Informatik kennen.

Die Suche nach unlösbaren Problemen

1930 präsentierte der Mathematiker Kurt Gödel überraschend eine der für die ganze Wissenschaft wichtigsten Entdeckungen des zwanzigsten Jahrhunderts: Er fand heraus, dass die Ausdrucksstärke der Mathematik grösser ist als ihre Argumentationsstärke. Das heisst, dass mit der Mathematik Behauptungen formuliert werden können, deren Korrektheit innerhalb der Mathematik nicht überprüfbar ist. Das bedeutet aber auch, dass wir, erstens, viele Probleme in der Sprache der Mathematik erst gar nicht ausdrücken können und, zweitens, dass wir mit unseren Instrumenten nicht immer entscheiden können, ob mathematische Behauptungen gültig oder ungültig sind.

Kurt Gödel machte auch die Hoffnung zunichte, dass man durch axiomatische Einführung neuer Begriffe in der Mathematik und somit die Bereicherung der Mathematik eine Argumentationsstärke erreichen kann, die gleich der Beschreibungsstärke wird. Egal um wie viel stärker und reicher wir die Mathematik machen werden, es wird immer Behauptungen geben, über die man in der neuen Mathematik nicht entscheiden kann, ob sie gültig oder ungültig sind.

Letztlich sollte es diese Einsicht sein, die über einen weiteren Umweg zur Entstehung der Informatik als selbständige Wissenschaftsdisziplin führte. Gödel erkannte nämlich, dass es gewisse Probleme geben muss, für die prinzipiell keine Lösungsmethode existieren kann, weil die unendliche Vielfalt des jeweiligen Problems nicht durch eine endlich dargestellte Methode unterbunden werden kann. Die nächste Herausforderung bestand also darin, mathematisch zu beweisen, für welche Probleme es prinzipiell keine Lösungsmethode geben kann. Um zu beweisen, dass etwas nicht existiert oder existieren kann (das schwerste Vorhaben in der Wissenschaft), muss man ganz genau wissen, was dieses etwas genau sein soll. Also brauchte man eine exakte mathematische Definition des Begriffs «Methode».

Sechs Jahre nach Gödel präsentierte der britische Mathematiker Alan Turing eine Definition, die rund 20 Jahre brauchte, um in der Wissenschaft allgemein akzeptiert zu werden: Um vom Gebrauch des Wortes «Methode» in der Umgangssprache Abstand zu halten, benutzte man zur Bezeichnung der Turingschen Definition das neue Wort «Algorithmus». Existiert für ein Problem ein Algorithmus, heisst das, dass dieses Problem automatisch lösbar ist. Und umgekehrt: Existiert für ein Problem kein Algorithmus, lässt sich also keine Lösungsmethode bauen, gilt das Problem als nicht automatisch lösbar.

Mit der Frage nach der Automatisierbarkeit von Problemlösungen gelangt man nun in die Nähe dessen, was Informatik ist. Die Informatik hat als Ziel, zu bestimmen, was «praktisch» automatisierbar ist – und was nicht. Dabei geht es nicht nur um die Grenze der «theoretischen» Automatisierung, sondern auch um die praktische Anwendbarkeit einer automatisierten Lösung. Jeder Algorithmus muss eine gewisse Menge von Rechenarbeit leisten, um an die Lösung zu kommen. Wenn dieser Aufwand die physikalische Kapazitätsgrenze des Universums überschreitet, ist der Algorithmus unbrauchbar. Einige Probleme sind aber so schwierig und komplex, dass kein Algorithmus sie mit umsetzbarem Aufwand lösen kann. Solche Probleme darf man dann als «praktisch unlösbar» bezeichnen, obwohl zu ihrer Lösung Algorithmen existieren und sie also theoretisch als lösbar gelten. Dies ist der Kern des Geschäftes der Informatik: den Unterschied zwischen lösbaren und unlösbaren Problemen zu machen und somit die Grenze des Machbaren zu ergründen.

In der Praxis löst die Informatik heute eine Vielfalt von Problemen: Ob es um die Optimierung der Planung von Arbeitsprozessen geht oder um Dienstleistungen, um Visualisierung von Daten, automatisierte Diagnostik für unterschiedliche Krankheiten, sichere Kommunikation und E-Commerce, Auswertung von Experimenten und Hypothesenbildung in den Naturwissenschaften, Steuerung des Verkehrs oder Wettervorhersagen, überall erreicht man

laufend wesentliche Fortschritte, die das Potential haben, die Lebensqualität enorm zu steigern. Um dieses Potential nutzen zu können, genügt es aber eben nicht, einen Computer oder Softwareprodukte wie Word oder Excel verwenden zu können, die das Schulfach «Informatik» in einigen Ländern Europas vornehmlich vermittelt. Es bedarf eines Verständnisses, wie die Dinge hinter den Kulissen der Informationsverarbeitung funktionieren. Und weil die wenigsten Eltern in der Lage sind, ihren Kindern dieses Verständnis zu vermitteln, braucht es die Anerkennung der Informatik als allgemeinbildendes Schulfach, das Verständnisgrundlagen vermittelt statt blosser Verwendungskompetenz.

Informatik in der Bildung

Untersuchungen und Erfahrungen von geeignetem schulischem Programmierunterricht belegen, dass es sich bei diesem Fach um eine Bereicherung in der Bildung handelt: Die Entfaltung des intellektuellen Potentials wird gefördert und die Konzentrationsfähigkeit wird verbessert. Auf der anderen Seite zeigen nicht nur Studien von Psychologen und Bildungsexperten, dass die überzogene und unüberlegte Verwendung von Informatiktechnologien zur Unterforderung von jungen Menschen und sogar zu Demenz, Leseschwäche und Konzentrationsstörungen führen kann. Ein abschreckendes Beispiel ist auch die nationale Tragödie in Südkorea, wo 17 Prozent der Jugendlichen als unterentwickelt und IT-abhängig gelten, nur weil man jedem Kind in der Schule einen Computer zur Verfügung stellte. Die Schweiz befindet sich hier auf einem riskanten Weg, weil für die Weiterentwicklung des Lehrplans zu schnelle Entscheidungen getroffen wurden, ohne dass mögliche Folgen genauer abgewogen worden wären.

Informations- und Kommunikationstechnologien sind nicht von sich aus gut oder böse. Genau wie bei der Atomkraft geht es darum, wie man sie einsetzt. Zur Illustration möge ein einfaches Beispiel dienen. In der Schule wird die Multiplikation von zwei beliebig grossen Zahlen unterrichtet. Eine klassische Möglichkeit, die

Multiplikation zu vermitteln, besteht darin, den Algorithmus auswendig lernen und einüben zu lassen. Eine andere Möglichkeit erleichtert den Kindern das Leben dadurch, dass sie ihnen eine Automatisierung zur Verfügung stellt: Die Kinder lernen dabei nur, die zwei Zahlen in den Rechner einzutippen und dann einen Knopf zur Multiplikation zu drücken. Alles funktioniert reibungslos, nur das Gehirn wird nicht wirklich angesprochen, und durch Nichtüberwindung dieser Hürde verzichtet das Gehirn auf ein Training, das seinem Wachstum gut täte. Zwischen Auswendiglernen und Automatisierungsanwendung gibt es aber noch eine dritte Möglichkeit, und die ist typisch für den Programmierunterricht. Sie legt den Kindern keinen Algorithmus, sondern nur die Problemstellung vor: Wie können zwei beliebige Zahlen miteinander multipliziert werden? Den entsprechenden Algorithmus müssen die Schüler dann selbständig entdecken und seine richtige Funktionalität in Testläufen überprüfen. Das ist eine echte intellektuelle Herausforderung.

Verhindern von digitaler Demenz

Wenn ein kleines Kind einen intelligenten Wagen zum Fahren erhält, wird es vielleicht nicht mehr richtig laufen lernen. Wenn man Kindern in grossem Mass intellektuelle Tätigkeiten automatisiert zur Verfügung stellt, ohne sie diese vorher erlernen zu lassen, dann kann ihr Gehirn unterentwickelt bleiben. Ständiges Drücken auf Tasten und damit verbundenes Multitasking führt zusätzlich zu Konzentrationsschwäche. So öffnet sich nach dem Psychologen Manfred Spitzer der Weg zur digitalen Demenz. Das Selberfinden von Lösungsalgorithmen bildet einen Gegenpol zu dieser Entwicklung. Die Kinder und Jugendlichen lernen zuerst, die Probleme der realen Welt als Probleme der Informationsverarbeitung darzustellen. Danach suchen sie konstruktiv eine Lösungsmethode. Wenn sie eine entdeckt haben, müssen sie diese ganz genau beschreiben und am Ende dem Rechner in der kargen Programmiersprache mitteilen. Die nächste Herausforderung besteht

darin, die Methode in der Form eines Programms zu testen und nach Bedarf zu korrigieren oder zu verbessern. Der ganze Prozess läuft mit hoher Selbständigkeit ab. Gefördert werden konstruktive Lösungs- und Abstraktionsfähigkeit, und gleichzeitig wird eine sehr genaue Kommunikation eingeübt. Das selbständige Basteln und Testen zeitigt Lerneffekte, die die Kognition nachhaltig prägen. Durch die Herstellung eines eigenen funktionierenden Produktes entstehen Erfolgserlebnisse und somit eine hohe Motivation, das nächste Projekt anzugehen. Selbständiges Entdecken und Freude an der Arbeit werden so zu durchdringenden Merkmalen des Unterrichts.

Man hat im Bildungswesen also die Wahl. Es muss nur die richtige getroffen werden: weg vom Auswendiglernen von Bedienungsanleitungen und Surfen im Internet und hin zur selbständigen Automatisierung von attraktiven Problemstellungen. Die Aufgabe der Schule besteht nicht darin, das blinde Beherrschen konkreter Tätigkeiten zu vermitteln, sondern die Entfaltung des intellektuellen Potentials von Kindern und Jugendlichen zu fördern. Die Informatik mit ihrer Bestrebung, Wege zur Automatisierung und somit zur Erleichterung der Arbeit zu entdecken, kann hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten. Auch 300 Jahre nach Leibniz ist die Informatik nämlich noch eine Wissenschaft, in der es unglaublich viel zu entdecken, zu erfinden und zu verbessern gibt. ◀

«Man hat im Bildungswesen die Wahl. Es muss nur die richtige getroffen werden: weg vom Auswendiglernen von Bedienungsanleitungen und Surfen im Internet und hin zur selbständigen Automatisierung von attraktiven Problemstellungen.»

Juraj Hromkovic