

Jeannette M. Wing

Computational Thinking – Informatisches Denken¹

Übersetzung: Hermann Hellwagner (AAU Klagenfurt), Gerti Kappel und Radu Grosu (TU Wien)

Informatisches Denken stellt eine universell einsetzbare Haltung und Fähigkeit dar, die alle lernen und nutzen sollten, nicht nur Informatiker.

Informatisches Denken beruht auf der Mächtigkeit und den Grenzen von Berechnungsprozessen, ob sie nun von Menschen oder Maschinen ausgeführt werden. Berechnungsmethoden und -modelle geben uns Mittel an die Hand, Probleme zu lösen und Systeme zu entwerfen, die niemand von uns alleine zu lösen in der Lage wäre. Informatisches Denken setzt sich mit den Fragen der Maschinenintelligenz auseinander: Was kann der Mensch besser als ein Computer? Was können Computer besser als Menschen? Grundsätzlich wird die Frage behandelt: Was ist berechenbar? Heute kennen wir nur Teile der Antworten auf solche Fragen.

Informatisches Denken ist eine grundlegende Fähigkeit für alle, nicht nur für Informatiker. Ergänzend zu Lesen, Schreiben und Rechnen sollten wir jedem Kind *Informatisches Denken* als notwendige analytische Fähigkeit vermitteln. So wie der Buchdruck die Ausbreitung von Lesen, Schreiben und Rechnen erleichtert hat, sollten gemäß dieser Vision – gewissermaßen selbstreferenziell – Computing und Computer die Ausbreitung des Informatischen Denkens erleichtern.

Informatisches Denken hilft Probleme zu lösen, hilft bei der Gestaltung von Systemen, hilft menschliches Verhalten zu verstehen, indem es auf den fundamentalen Konzepten der Informatik aufbaut. Informatisches Denken umfasst eine Reihe von mentalen Werkzeugen, die die Breite des Gebietes der Informatik widerspiegeln.

Wenn wir ein *bestimmtes* Problem lösen müssen, können wir fragen: Wie schwierig ist es zu lösen? Was ist der beste Weg es zu lösen? Die Informatik bedient sich solider theoretischer Grundlagen, um genau solche Fragen zu beantworten. Wenn wir Aussagen über die Schwierigkeit eines Problems machen wollen, müssen wir die Leistung der zugrundeliegenden Maschine berücksichtigen, die die Lösung ermitteln soll. Wir müssen in unsere Überlegungen den Befehlssatz der Maschine, Ressourcenbeschränkungen und ihre Einsatzbedingungen mit einbeziehen.

Wenn wir ein Problem *effizient* lösen wollen, können wir weiter fragen, ob eine Näherungslösung ausreichend ist, ob wir Randomisierung zu unserem Vorteil nutzen können, ob falsch-positive oder falsch-negative Ergebnisse erlaubt sind. Informatisches Denken ist, ein offensichtlich schwieriges Problem in ein Problem umzuformen, das wir zu lösen wissen, etwa durch Reduktion, Einbettung, Transformation oder Simulation.

¹ Übersetzung des Artikels: Jeannette M. Wing. „Computational Thinking“. *Communications of the ACM*, vol. 49, no. 3, pp. 33-35, March 2006.

Für die Übersetzung des Leitbegriffes „Computational Thinking“ wurden viele Alternativen in Betracht gezogen, etwa „Lösungsorientiertes Denken“, „Algorithmisches Denken“ oder „Denken in Abstraktionen und Modellen“. Letztlich legten sich die Übersetzer auf „Informatisches Denken“ fest, weil dieser Begriff die diesen Artikel und die Disziplin Informatik kennzeichnende Denk- und Vorgehensweise am besten wiederzugeben und sich im deutschen Sprachraum zu etablieren scheint.

Informatisches Denken heißt rekursives Denken. Es befasst sich mit Parallelverarbeitung. Es interpretiert Code als Daten und Daten als Code. Es setzt auf Typüberprüfung als Verallgemeinerung von Dimensionsanalyse. Informatisches Denken umfasst, die Vor- und Nachteile von Aliasing zu erkennen, anders ausgedrückt, einer Sache mehr als einen Namen zu geben. Es berücksichtigt sowohl die Kosten als auch die Mächtigkeit indirekter Adressierung und von Prozeduraufufen. Es beurteilt ein Programm nicht nur auf Basis seiner Korrektheit und Effizienz, sondern auch auf Basis seiner Ästhetik, und einen Systementwurf auf Basis seiner Einfachheit und Eleganz.

Informatisches Denken benutzt Abstraktion und Dekomposition, wenn eine große, komplexe Aufgabe gelöst oder ein großes, komplexes System entworfen werden soll. Es ist die Identifizierung und Strukturierung von unabhängigen Aspekten eines Gesamtproblems. Es ist die Auswahl einer passenden Repräsentation für ein Problem und die Modellierung seiner relevanten Aspekte, um es besser bearbeiten zu können. Es ist die Benutzung von Invarianten, um das Verhalten eines Systems kurz und deklarativ zu beschreiben. Es bedeutet Zuversicht darin zu haben, dass wir ein komplexes System benutzen, verändern und beeinflussen können, ohne alle seine Details zu verstehen. Es ist Modularisierung eines Systems, sodass mehrere Benutzer es handhaben können, oder Prefetching und Caching von Daten, um sie für zukünftige Nutzung rasch verfügbar zu haben.

Informatisches Denken bedeutet Denken im Sinne von Prävention und Schutz vor bzw. Funktionswiederherstellung nach Fehlern oder Fehlfunktionen, durch Maßnahmen der Redundanz, Schadenseingrenzung und Fehlerkorrektur. Informatisches Denken benutzt durchaus auch seltsame Begriffe, bezeichnet etwa die Situation eines Verkehrskollapses als *Verklemmung* und Kooperationsvereinbarungen als *Schnittstellen*. Mit informatischem Denken kann man aber auch lernen, Sitzungen oder Treffen ohne Konflikte oder andere für die Teilnehmer unerwünschte Effekte zu vereinbaren.

Informatisches Denken heißt, mit heuristischer Argumentation eine Problemlösung zu finden. Es befasst sich mit Planen, Lernen und Ablaufkoordination unter Unsicherheit. Und es bedeutet Suche, Suche und wieder Suche, die so unterschiedliche Ergebnisse wie etwa eine Liste von relevanten Webseiten, eine erfolgreiche Strategie für ein Spiel oder ein Gegenbeispiel hervorbringen kann. Informatisches Denken kann bedeuten, massive Mengen an Daten zu benutzen, um eine Berechnung zu beschleunigen, und sorgfältig zwischen Zeit- und Raumbedarf einer Lösung, zwischen Rechenleistung und Speicherkapazität abzuwägen.

*Denken wie ein Informatiker geht über Programmierfähigkeiten deutlich hinaus.
Es erfordert Denken auf mehreren Abstraktionsebenen.*

Betrachten wir die folgenden alltäglichen Beispiele: Wenn Ihre Tochter am Morgen in die Schule geht, packt sie in ihren Rucksack die Dinge, die sie für den Tag braucht. – Das ist Prefetching und Caching. Wenn Ihr Sohn seine Handschuhe verloren, schlagen Sie vor, dass er seine Wege zurückverfolgt, um sie zu finden. – Das bedeutet Backtracking. An welchem Punkt hören Sie auf, Skier zu mieten, und kaufen sich stattdessen ein Paar? – Diese Entscheidung zu fällen ist ein Online-Algorithmus. In welcher Schlange stellen Sie sich an den Supermarktkassen an? – Sie machen implizit Leistungsmodellierung für Multi-Server-Systeme. Warum arbeitet Ihr Telefon immer noch bei einem Stromausfall? – Das ist Ausfallsicherheit und Redundanz im Design. Wie kann man bei einer Authentifizierung möglichst fehlerfrei Menschen von Computern unterscheiden? – Dies nutzt die Tatsache, dass manche harte

Probleme der Künstlichen Intelligenz für Softwareagenten noch sehr schwierig bis unmöglich zu lösen sind.

Informatisches Denken wird im Leben jedes Menschen tief verwurzelt sein, wenn Worte wie *Algorithmus* und *Vorbedingung* Bestandteil des Wortschatzes sind, wenn *Nichtdeterminismus* und *Garbage Collection* die von Informatikern verwendeten Bedeutungen erhalten und wenn *Bäume* verkehrt herum gezeichnet werden.

Wir haben bereits den Einfluss des Informatischen Denkens auf andere Disziplinen erlebt. Zum Beispiel hat Maschinelles Lernen die Statistik gewandelt. Statistisches Lernen wird für Probleme einer Größenordnung verwendet, die noch vor wenigen Jahren unvorstellbar war, sowohl in Bezug auf Datengröße als auch Dimension. Statistikabteilungen in allen Arten von Organisationen stellen Informatiker ein. Informatikfakultäten gliedern bestehende Statistikinstitute ein oder gründen neue.

Das erwachte Interesse von Informatikern an der Biologie wird von der Überzeugung angetrieben, dass die Biologen von Informatischem Denken profitieren können. Der Beitrag der Informatik zur Biologie geht darüber hinaus, enorme Mengen an sequenzierten Daten nach Mustern zu durchsuchen. Man erhofft, dass Datenstrukturen und Algorithmen – die Abstraktionen und Methoden aus der Informatik – die Struktur von Proteinen derart darstellen können, dass ihre Funktion erklärt wird. Eine derartige Algorithmische Biologie (*Computational Biology*) verändert die Art und Weise wie Biologen denken. In ähnlicher Weise verändert eine Algorithmische Spieltheorie wie Ökonomen denken, Nanocomputing wie Chemiker denken und Quantum Computing wie Physiker denken.

Diese Art des Denkens soll zu den Fähigkeiten aller Menschen zählen, nicht nur von Wissenschaftlern. Ubiquitäres Computing ist heutzutage, was Informatisches Denken in der Zukunft sein wird. Ubiquitäres Computing war der Traum von gestern und ist heute Wirklichkeit. Informatisches Denken wird die Realität von morgen sein.

Was Informatisches Denken ist, und was es nicht ist

Informatik befasst sich mit automatischen Berechnungen – was berechnet werden kann und wie es zu berechnen ist. Informatisches Denken hat daher die folgenden Charakteristika:

Konzeptualisierung, nicht Programmierung. Informatik ist nicht gleich Programmierung. Denken wie ein Informatiker bedeutet mehr als Computerprogramme schreiben zu können. Es erfordert Denken auf mehreren Abstraktionsebenen.

Grundlegende statt Routine-Fähigkeiten. Grundlegende Fähigkeiten sind solche, die jeder Mensch beherrschen muss, um in unserer modernen Gesellschaft bestehen zu können. Sie gehen über Routine- oder mechanische Fähigkeiten weit hinaus. Ironischerweise wird Denken erst dann zu einer Art Routine, wenn Informatiker die Grand Challenge der Künstlichen Intelligenz gelöst haben, dass Computer wie Menschen denken können.

Ein Weg, wie Menschen, nicht Computer, denken. Informatisches Denken repräsentiert, wie Menschen Probleme lösen; es strebt nicht an, Menschen wie Computer denken und handeln zu lassen. Computer sind dumm und langweilig; Menschen sind klug und einfallsreich. Wir Menschen machen Computer spannend. Nun ausgestattet mit Rechnern, nutzen wir unsere Klugheit, Probleme anzugehen, an die wir uns vor dem Zeitalter der Computer nicht gewagt hätten, und Systeme zu konstruieren, deren Funktionalität nur durch unsere Vorstellungskraft eingeschränkt ist.

Ergänzt und kombiniert mathematisches und ingenieurmäßiges Denken. Informatik stützt sich grundlegend auf mathematisches Denken; wie alle technischen Wissenschaften bezieht sie ihre

formalen Grundlagen aus der Mathematik. Informatik stützt sich ebenso auf ingenieurmäßiges Denken, da wir Systeme bauen, die mit der realen Welt interagieren. Die Beschränkungen der zugrundeliegenden Geräte zwingen Informatiker, nicht nur mathematisch, sondern auch ingenieurmäßig, eben informatisch, zu denken. Andererseits haben wir die Möglichkeit, virtuelle Welten jenseits physikalischer Gegebenheiten und Beschränkungen zu konstruieren.

Ideen, keine Artefakte. Es sind nicht nur die Software- und Hardware-Artefakte, die wir produzieren, die physikalisch überall präsent sind und unser Leben nachhaltig beeinflussen. Wichtig sind zudem die informatischen Konzepte, mit deren Hilfe wir Probleme angehen und lösen, unser tägliches Leben meistern und mit anderen Menschen kommunizieren und interagieren.

Für alle, überall. Informatisches Denken wird weit verbreitete Realität sein, wenn es integraler Bestandteil des menschlichen Handelns geworden und als ein eigenes Konzept verschwunden ist.

Viele Leute setzen Informatik mit Computerprogrammierung gleich. Einige Eltern sehen nur eingeschränkte berufliche Möglichkeiten für ihre Kinder, die Informatik studieren. Viele Menschen denken, dass Grundlagenforschung in der Informatik erledigt ist und dass es nur um weitere technische Verbesserungen geht. Informatisches Denken ist eine große Vision für Pädagogen, Forscher und Praktiker in der Informatik, die bewirken kann, dass sich das Verständnis unseres Gebietes in der Gesellschaft ändert. Wir müssen mit dieser Vision vor allem Schülerinnen und Schüler ansprechen, neben Lehrern, Eltern und Studierenden, und zwei wichtige Botschaften vermitteln:

Es gibt noch genügend intellektuell anspruchsvolle und spannende wissenschaftliche Probleme, die verstanden und gelöst werden müssen. Problem- und Lösungsbereiche sind nur durch unsere eigene Neugier und Kreativität begrenzt.

Mit einem Studienabschluss Informatik hat man vielfältige berufliche Möglichkeiten. Man kann Englisch oder Mathematik studieren und unterschiedliche berufliche Karrieren beginnen. Dasselbe gilt für Informatik: Nach einem Studium der Informatik sind Karrieren in der Medizin, im Rechtswesen, in der Wirtschaft, in der Politik, in jeder Art von Wissenschaft oder Technik und sogar in der Kunst möglich.

Professoren der Informatik sollten Kurse des Inhalts „*Denken wie ein Informatiker*“ anbieten, für Studierende aller Studienrichtungen. Wir sollten schon Schülerinnen und Schüler mit informatischen Methoden und Modellen vertraut machen. Anstatt das zurückgehende Interesse an der Informatik oder den Rückgang der Mittel für die Forschung in der Informatik zu beklagen, sollten wir das Interesse der Öffentlichkeit für das intellektuelle Abenteuer unseres Gebietes gewinnen. Wir sollten die Schönheit und Leistungsfähigkeit der Informatik darstellen, mit dem Ziel, Informatisches Denken alltäglich zu machen.