ETH Zürich 95.10.19

Welchen Wert haben theoretische Grundlagen für die Berufspraxis? Gedanken zum Fundament des Informatik-Turms.

J. Nievergelt

GISI 95, die gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik GI und der Schweizer Informatiker Gesellschaft SI, fand im September in Zürich statt. Unter vielen Ereignissen war Fachgespräch 7 obiger Frage gewidmet. Über die Tagung und das Fachgespräch wurde bereits in dieser Zeitschrift berichtet. Die folgenden persönlichen Gedanken mögen das Gespräch über dieses Thema weiterhin animieren.

Da es in der Informatik üblich ist, komplexe Gebilde in Schichten zu gliedern, sei diese Methode hier auf die Disziplin Informatik selbst angewandt. Betrachten wir also das über Jahrzehnte hinweg akkumulierte Informatik-Know-How als ein Gebäude mit vier Stockwerken.

Ein riesiger Oberbau ist das Einzige, das die grosse Mehrheit der Informatikanwender aus der Ferne überhaupt sieht. Hier werden Informatiksysteme zur Lösung konkreter Aufgaben eingesetzt, hier weht die Werbung, hier fliesst das Geld - dieses Penthouse hat die ganze Informatik gesellschaftsfähig gemacht. Der Jargon ist benutzerfreundlich: “Wir bieten Lösungen an”, sei es durch ein Management-Informationssystem, ein geographisches Informationssystem, oder ein CA-x System, das steht für “computer-aided anything”.

Im zweitobersten Stockwerk ist eine moderne Fabrik untergebracht, mit ihren Managern, Projektleitern, Software- und Hardware-Ingenieuren. Grosse Hardware- und Software-Komponenten, halb- oder ganzfertige Bausteine, werden eingeliefert und gemäss voluminösen Spezifikationen zu Standardsystemen zusammengesetzt. Hier predigte man gestern Software Engineering, heute spricht man objekt-orientiert, morgen wird es ein anderes Tagesthema sein. Dieses Stockwerk wird von den grossen Informatikfirmen dominiert, und da die Miete teuer ist, gibt es einen regen Wechsel.

Gleich darunter ist der unscheinbare erste Stock sichtbar. Das Schild an der Haustür verkündet: “al-Khowarizmi, Arabischer Mathematiker und Lehrbuchautor des 9-ten Jahrhunderts; sein Name und Werk inspirierten die Wortschöpfungen *Algorithmus* und *Algebra* ”. Hier arbeiten Einzelkämpfer oder kleine Teams an ..?? Das weiss man nicht so recht, denn die Bewohner sprechen eine unverständliche Kürzelsprache. Man konnte nicht genau hören, ob der letzte Schrei “P” oder “NP” lautete. Ist ja auch egal.

Das ist der Informatikturm. Gelungene Gartengestaltung hat das prosaische Erd- oder Kellergeschoss mit Blumen so gut verdeckt, dass man es kaum sieht. Man munkelt, dort hielten sich einige unberechenbare Einsiedler auf, die sich aus unverständlichen Gründen für das Fundament des Turmes interessierten. Aber seit 1931, als noch einige formal unentscheidbare Sätze aus dem Keller drangen [Kurt Gödel, Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I, Monatshefte für Mathematik und Physik 38, 173-198, 1931], hat man nichts mehr von ihnen gehört.

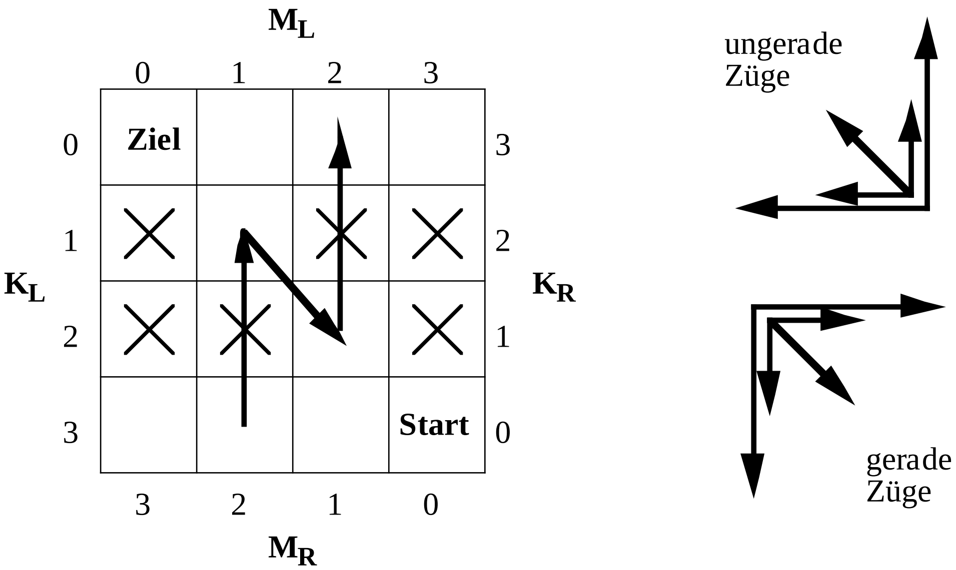
Diese Fabel soll mehrere Punkte illustrieren. Erstens das äusserst breite Spektrum von Tätigkeiten, die alle unter dem Dachbegriff “Informatik” laufen. Zweitens soll sie die relative Gewichtung der verschiedenen Schichten andeuten, die sich von grundlegenden Erkenntnissen bis hin zum Anwenderproblem auftürmen. Und zwar in mehrfacher Hinsicht: der Bekanntheitsgrad in der Gesellschaft, das Wirtschaftspotential, die Anzahl der Beschäftigten. Drittens soll sie den weitverbreiteten Standpunkt über den Stellenwert der Theorie illustrieren, der sich im abschätzigen “ist ja nichts als Theorie” ausdrückt. Informatik ist ja die Kunst des Realisierens, das Zeugs muss laufen; das verlangt Praktiker, nicht Theoretiker; Draufgänger, nicht Philosophen. Viertens soll das Bild zeigen, dass der kopflastige Informatikturm, genauso wie der schräge Turm von Pisa, durchaus als architektonisch gelungen beurteilt werden kann, solange er nicht wackelt. Dann interessiert sich kaum jemand für das Fundament, alle steigen auf die Dachterrasse. Der Informatikturm hat aber im Laufe eines halben Jahrhunderts öfters geschwankt, und scheinbar standfeste Dachbesucher auf den Erdboden stürzen lassen. Dann hat man jeweils einige neue Stützpfeiler im Boden versenkt und frische Blumen darüber gepflanzt, wonach der “business as usual”-Alltag bald wieder zu einem überbelasteten oberen Stockwerk und zu neuem Schwanken führte - auch ein “life cycle”.

Um ein ausgewogenes Bild über den Wert theoretischer Grundlagen für die Berufspraxis zu malen, vertrete ich den optimistischen Standpunkt “nichts ist nützlicher als eine gute Theorie”. Ohne auf die Frage einzugehen, was genau zur “Theorie” zählt, folge ich der pragmatischen Ansicht “you know it when you see it” - Beispiele sprechen für sich selbst. Fangen wir mit einem an, und falls die Spektrum Leser mir elegante, knapp gehaltene, lehrreiche weitere Beispiele senden, kann die Reihe fortgesetzt werden.

Die wohlbekannte Geschichte der Kannibalen und Missionare wird gerne in Büchern über künstliche Intelligenz erzählt. Drei Kannibalen und drei Missionare wollen einen Fluss überqueren, als Transportmittel steht einzig ein Zweierboot zur Verfügung. Die Kannibalen beharren darauf, an keinem Ufer je in der Minderheit zu sein. Denn sie haben aus bitterer Erfahrung gelernt, dass sie von einer Mehrheit von Missionaren bekehrt werden. Auf den Einwand der Missionare, unter dieser Bedingung sei keine Flusskreuzung möglich, präzisieren die Kannibalen: Eine Minderheit von null Kannibalen ist natürlich ok, denn eine bekehrte leere Menge wird nicht als Gefahr empfunden.

Die Kannibalen entwerfen auch den Zustandsraum, in dem die Lösung gesucht werden soll. Ein Zustand wird hauptsächlich durch ein Paar (K_L, M_L) charakterisiert, das angibt, wieviele Kannibalen und Missionare sich auf dem linken Ufer befinden, wo die Reise beginnt. In der Matrix $0 \le K_L \le 3$, $0 \le M_L \le 3$, befinden wir uns anfänglich im Startzustand (3, 3) und suchen einen Weg zum Endzustand (0, 0).

Die Kannibalenbedingung für das linke Ufer “$K_L = 0$ oder $K_L \ge M_L$“ schliesst die drei angekreuzten Felder oberhalb der Hauptdiagonalen aus. Die Matrix kann auch mit dem Komplement (K_R, M_R) beschrieben werden, und die Bedingung für das rechte Ufer “$K_R = 0$ oder $K_R \ge M_R$“ schliesst drei weitere angekreuzte Felder aus.



Ein Zustandsraum für dieses Problem muss noch ein weiteres Bit berücksichtigen: ob das Boot soeben am linken oder am rechten Ufer anlegt. Dieses Bit wechselt seinen Wert bei jedem “Zug” (Flussüberquerung). Wir berücksichtigen es, indem wir gerade und ungerade Züge unterscheiden. Ein ungerader Zug verkleinert das Paar (K_L, M_L), und erhöht gleichzeitig das Paar (K_R, M_R), auf eine von 5 möglichen Arten, die durch Pfeile nach links oben dargestellt sind. Ein gerader Zug verkleinert (K_R, M_R) und erhöht (K_L, M_L), wie die Pfeile nach rechts unten andeuten.

Die Betrachtung dieses Zustandraums zeigt nun schnell, dass der Engpass in der Mitte der Matrix nur auf die abgebildete Weise überwunden werden kann. Wenn wir abwechselnd Züge nach links oben und zurück nach rechts unten ausführen müssen, ist der N-förmige Hindernislauf erzwungen. Danach sieht man leicht, wie man vom Startzustand zum Anfang des “N” und vom Ende des “N” zum Ziel gelangt. Problem gelöst in 11 Zügen. Einschränkende Überlegungen reduzieren das Suchen auf einen sehr kleinen Zustandsraum.

Keine Definition, kein Satz, kein Beweis - was hat das mit Theorie zu tun? Definitionen, Sätze und Beweise könnte man nach Belieben in obigen Gedankengang einbauen und ihn dadurch verschleiern. Formale Darstellung ist aber nicht das Kennzeichen der Theorie, sondern nur ein möglicher Aspekt. Das hier verwendete Gedankengerüst ist streng, es liegt am didaktischen Geschick, wie man es einfach und verständlich darstellt. Überformalisierung eines einfachen Gedankenganges ist eine der Sünden, mit der die theoretische Literatur potentielle Leser abschreckt. Ohne gegen formale Methoden im Allgemeinen zu wettern, sei Theoretikern empfohlen, solche sparsam einzusetzen unter angemessener Berücksichtigung der Leserschaft und des Themas. Ein gut gewähltes Beispiel macht den Kern einer wichtigen Idee vielen Lesern schneller zugänglich als eine vollständige, allgemeine Formulierung.

Das Beispiel der Kannibalen illustriert einen in der Mathematik, Naturwissenschaften und Technik fundamentalen Begriff: Zustandsraum eines Phänomens oder Problems: **Was ist die Menge aller möglichen Zustände, die man berücksichtigen muss? Welche Struktur hat diese Menge? Was für Operationen stehen dem Problemlöser zur Verfügung?** Eine klare Antwort auf diese Fragen ist Vorbedingung für das Verständnis eines Problems und oft ein wesentlicher Schritt zur Lösung.

Ist der Begriff des Zustandsraums “Theorie”? Sicher, denn Zustandsräume existieren nicht in der Natur, sondern in unserem Kopf. Ein Problem kommt auch nicht mit “seinem Zustandsraum” auf uns zu, sondern wir müssen einen geeigneten Zustandsraum gedanklich konstruieren. Ich erwarte den Einwand, “Zustandsraum” sei nur hochtrabender Jargon für einen Alltagsbegriff, den jedes Kind sowieso anwende. Das ist zum Teil richtig, aber dieselbe Bemerkung trifft auf viele Grundbegriffe der Wissenschaft zu, wie Masse, Kraft, Energie. Der Einwand trifft aber auch deshalb nicht den Kern der Sache, weil das natürliche Vorgehen der meisten Leute anders ist: “Wenn ein Kannibale und ein Missionar hinüber rudern, dann der Kannibale das Boot zurückbringt, und danach ...”. Die Anzahl solcher möglicher Szenarien ist im Allgemeinen unvergleichlich grösser als ein Zustandsraum für dasselbe Problem. Ein gut konstruierter Zustandsraum ist eine möglichst kompakte, **statische** Beschreibung der zu untersuchenden Möglichkeiten, und ersetzt damit, oder erleichtert, eine Betrachtung aller dynamischer Abläufe.

Im obigen Beispiel erlaubte uns der Zustandsraum, unsere Aufmerksamkeit gleich am Anfang auf den Flaschenhals der Lösung zu konzentrieren, nämlich die drei eindeutigen Züge in der Mitte der Lösungsfolge. Ein sequentielles Suchen hingegen, “erstens .., zweitens .., ..”, hätte viele Anfangsszenarien erzeugt, von denen die meisten in eine Sackgasse führen. Die Wirksamkeit eines gut konstruierten Zustandsraums kann durch viele elegante Beispiele untermauert werden.

Zurück zur Frage: Welchen Wert haben theoretische Grundlagen für die Berufspraxis? Die Aussage “nichts ist nützlicher als eine gute Theorie” trifft dann zu, wenn ein Gedankengerüst von allgemeiner Anwendbarkeit als “Datenkompressionsgerät” wirkt, das viele interessante Einzelfälle unter eine einzige Regel zwingt. Die Primarschularithmetik ist eine solche Theorie, und auf jeder höheren Stufe der beruflichen Ausbildung eignet man sich weitere Theorien an. Eine Diskussion der Frage “Welchen Wert haben theoretische Grundlagen für die Berufspraxis?” kann nicht pauschal über “Theorie” urteilen. Man kommt nicht darum herum, Einzelurteile zu fällen über die Relevanz jeder einzelnen von Dutzenden verschiedener Informatik-bezogener Theorien für Dutzende von verschiedenen Zielgruppen.

Noch zwei Bemerkungen zum Thema “Theorie”. Geben wir es offen zu, Theorie wird natürlich auch als “Spielerei” betrieben: Man untersucht logisch zwingende Gedankengänge ohne praktische Begründung. Als prominentes Beispiel des Jahres 1995 versichern uns die Mathematiker, dass die vor über drei Jahrhunderten aufgestellte Fermat’sche Vermutung, “$x^n + y^n = z^n$ hat keine ganzzahlige Lösung für $n > 2$”, jetzt bewiesen sei. Welche Auswirkungen diese gedankliche Leistung auf die Wissenschaft haben wird, ob es Anwendungen geben wird, das steht in den Sternen. Das Wort “Spielerei” soll aber nicht abschätzig interpretiert werden. Erinnern wir uns daran, dass Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, bewährte Arbeitspferde der Wissenschaft und Wirtschaft, auch aus jahrhundertealten Fragen über Glücksspiele entstanden sind. Wir sollen aber ehrlich sein und Theorie, die noch im Stadium der Spielerei steckt, auch als solche deklarieren.

Letzte Bemerkung. Woher kommt die weitverbreitete Ansicht, die sich im resignierten “grau ist alle Theorie” ausdrückt, dass Theorie notwendigerweise mühsam und langweilig sei? Aus der Erinnerung an pedantische Lehrer auf der Schulstufe? Es sollte doch auf der Stufe der Berufsausbildung, wo die Theorie klar auf Anwendungen bezogen ist, möglich sein, den durch das Ergebnis motivierten Lernenden auch an der Methodik der Theorie zu interessieren. Ich denke, dafür sind zum Teil die Theoretiker verantwortlich, die einen notwendigen Bestandteil ihrer Arbeitsweise, nämlich Formalismus, auch auf den breiten Kreis der Theorie-Anwender ausdehnen.

Jede Zunft hat ihre Standards, und es ist verständlich, dass die Zunft der Theoretiker ihren eigenen Mitgliedern Auflagen macht in bezug auf formale Strenge der Darstellung ihrer Ergebnisse, “dass das Tüpfchen auf dem **i** richtig gesetzt ist”. Es folgt aber nicht, dass dieselben Standards auch für das viel grössere Zielpublikum der Theorie-Nutzer gelten sollen, z.B. nicht für theoretische Kapitel in einer Anfängervorlesung für alle Informatikstudenten.

Als Beispiel sei der in allen mathematisch dargestellten Wissenschaften fundamentale Begriff “Beweis” genommen. Verständnis dafür, was als mathematischer Beweis gilt, gehört sicher zur Ausbildung jedes Informatikers. Es gibt zum Glück viele kurze, elegante, intuitiv einsichtliche Beweise, und an diesen lässt sich die Disziplin des strengen Beweisens gut üben. Es gibt aber auch Beweise, die seitenlange Formelmanipulation verlangen, an denen man nur Ausdauer üben kann.

Hier hilft die Einsicht, dass nicht jeder Satz, den man besprechen möchte, bewiesen werden muss. Verständnis für die Aussage des Satzes, für dessen Anwendungsbereich; Kenntnis von Beispielen in denen er gilt, und von Gegenbeispielen auf die er fast, aber leider doch nicht ganz zutrifft; dies sind auch wertvolle Einsichten. Die Informatik kennt das Prinzip des “information-hiding”: eine Prozedur soll verwendbar sein, ohne dass man ihren Code studiert, nur aufgrund von knappen Angaben wie Prozedurkopf und Ein- und Ausgabe-Spezifikation. Analog heisst “information-hiding”, angewandt auf einen mathematischen Satz, dass man den Satz anwenden kann, ohne den Beweis zu kennen. Die immer knapp vorhandene Zeit ist oft ertragreicher darin investiert, einen Satz zu illustrieren statt zu beweisen.

Die griechische Wurzel des Wortes “Theorie” heisst “sehen”. Gut ausgewählte, verständlich dargestellte Theorie dient uns als Lupe und Fernrohr um Tatbestände zu sehen, die von blossem Auge unsichtbar sind.

Erschienen im Informatik Spektrum, 18, No.6, 342-344, Dez 1995.