

## Ihre Zahnbürste, der Urknall und Sie<sup>1</sup>

Herbert Jaeger<sup>2</sup>, GMD-AiS<sup>3</sup>, Mai 2001

Nach dem Frühstück und der Morgenzeitung gehen Sie ins Bad, ein kurzer Blick in den Spiegel, die linke Hand greift zur Zahnpasta, die rechte öffnet sich zur Zahnbürste im Glas, – JETZT die BERÜHRUNG –

einer der rätselhaftesten Momente in Ihrem Leben.

– Wie bitte? Sie starren mich entgeistert an, mit der Zahnbürste in der Hand: Was ist daran rätselhaft? Man nimmt eben die Zahnbürste in die Hand, fertig!

Verharren Sie bitte vorläufig in dieser Positur mit der Zahnbürste in der Hand und wehren Sie sich nicht gegen das, was jetzt folgt. Aus aller Welt kommen Wissenschaftler<sup>4</sup> mit ihren Theorien, Messapparaten und Computern in Ihr Bad geeilt. Der erste, der bei Ihnen ankommt, ist ein alter Philosoph, doch bevor er Ihnen „Erkenne dich selbst“ zurufen kann, wird er von einem haarigen Sinnesphysiologen beiseite geschubst, der gleich mit seinem Skalpell einige Nerven an Ihrem Arm freilegen möchte (und auch noch Pläne bezüglich Ihrer Netzhaut hat). Ehe er jedoch richtig zum Zuge kommt, ist eine Wahrnehmungspsychologin an ihm vorbeigehuscht und streift Ihnen eine Videobrille über. Sie sehen Zahnbürsten in merkwürdigen Verzerrungen und Bewegungen, Sie können sie nicht richtig greifen, Sie glauben zu schwanken, und schon haben Sie auch noch einen Datenhandschuh übergezogen bekommen. Während Sie mit der virtuellen Zahnbürste kämpfen (der Griff ist viel zu dick), hat es der Sinnesphysiologe geschafft und seine Elektrode in Ihrem Unterarm vergraben. Die Wahrnehmungspsychologin drückt eine Taste, im Datenhandschuh kribbelt es unter der Fingerkuppe, der Sinnesphysiologe grunzt, und aus dem Lautsprecher an seinem Rechnerschrank knattert das Stakkato der Nervenimpulse, die in der Nähe der Elektrodenspitze vorbeizucken. Ein älterer, höflicher Neuroanatom taucht in Ihrem Gesichtsfeld auf (auf einem Auge ist die Videobrille halb durchlässig), Sie wollen ihm die Hand reichen. Das Geknatter im Lautsprecher schwillt proportional zur Armbeschleunigung an, der Sinnesphysiologe knurrt zufrieden auf. Der Anatom muss sich gedulden, noch leben Sie ja. Während Sie den Arm wieder zurückziehen und versuchen, die virtuelle Zahnbürste mit der echten (welche der beiden?) in Deckung zu bringen und dazu Ihren Arm nach vorn links zucken lassen, verstummen erst das Knattern und dann das Grunzen, denn der Sinnesphysiologen versteht seine Knatterimpulse nicht mehr und versenkt sich in ein Statistiklehrbuch. Ein männlich-distinguierter Neurophysiologe hat dem alten Philosophen ein ausgefülltes Ethikformular gereicht und sich zügig den anderen vorgestellt, und dann (während Sie sich auf die Zahnbürste konzentrierten, deren blauer Stiel plötzlich nicht mehr vor den blauen Fliesen zu erkennen war) ein Inspektionsloch in ihren Hinterkopf geschnitten und eine glitzernde Flüssigkeit auf Ihre Hirnoberfläche gesprüht. Die Wahrnehmungspsychologin drückt eine andere Taste, die Zahnbürste scheint sich zu drehen. Die Flüssigkeit schillert wie fluoreszierender Gieß. Der Neurophysiologe lässt seinen Lockruf ertönen: „Daten! Daten!!“, woraufhin drei, vier Doktoranden

---

<sup>1</sup> Beitrag für einen Sammelband der Körberstiftung zum Forschungswettbewerb "Bodycheck"

(<http://www.studienpreis.de>)

<sup>2</sup> <http://www.gmd.de/People/Herbert.Jaeger/>

<sup>3</sup> <http://ais.gmd.de/>

<sup>4</sup> weibliche Form stets mitgemeint.

aus seinem Ärmel schlüpfen und Dutzende von Elektroden an den hellsten Leuchtpunkten in Ihre Hirnoberfläche senken. Immer mehr Lautsprecher werden zugeschaltet, das Geknatter wird zu einem betäubenden Lärm. Um den Neuroanatom zu beruhigen, wirft ihm der Neurophysiologe eine kleine Gewebeprobe zu (so klein auch wieder nicht: Sie können jetzt keine grünen Zahnbürsten, keine grünen Autobusse und keine Gurken mehr erkennen). Um die Gewebeprobe entbrennt ein Gerangel unter weiteren Ankömmlingen. Der Neuroanatom ist vorerst mit einem einzigen fast kompletten Neuron zufrieden, das er kartografieren kann. Das sieht aus wie eine Gesamtaufnahme des Amazonas mit allen Verästelungen und Tausenden von Buchten und Städten. Aber wie soll man im Amazonas eine Zahnbürste finden? Der Neuroanatom zieht ein Gedicht von Yeats aus der Tasche: *truth is beauty, and beauty, truth*. Aber er bleibt unruhig, schaut wiederholt zu Ihnen herüber, ob er bald richtig dran kann. Andere Schnipsel der Gewebeprobe sind inzwischen von einem amerikanischen Jungprofessor für *computational neuroscience* in Nährlösung gelegt worden, natürlich nicht ohne mit Mikroelektroden gespickt worden zu sein. Der Jungprofessor arbeitet mit zwei Händen zugleich: mit der Linken sticht er an immer neuen Stellen in die waidwunden Nervenzellen ein, mit der Rechten manipuliert er mathematische Formeln an seinem Computer. Plötzlich haben die Linke und die Rechte etwas in Deckung gebracht: die Computersimulation tut genau so, als ob. Der Professor schreibt sofort einen Fachartikel. Allerdings, wo ist die Zahnbürste in diesem Artikel über Potenzialverläufe am Axonhügel? Unterdessen sind Sie von einem Biokybernetiker überredet worden, gleichzeitig mit der Linken nach der Zahnpasta und mit der Rechten nach der Zahnbürste zu greifen, und zwar um den tweedgekleideten Verhaltensforscher herum, der sich als Artgenosse und Hindernis vor Ihnen aufgebaut hat und Ihnen seine Zähne entgegenbleckt. Sie fletschen zurück und würden ihm gerne die Zähne putzen, aber nicht mit einer Zahnbürste. Der Spiegelschrank verwandelt sich, ein tiefes Brummen dringt aus ihm hervor, er umwölbt Ihren Kopf wie ein großer Topf. Der Kamm auf der Ablage wächst, die Zinken werden zu Drähten mit Saugnäpfen am Ende, die auf ihrem Schädel herumkriechen und sich überall daran festsaugen. Ein Technikerteam schiebt einen riesigen Laborwagen mit Monitoren ins Bad. Der Neurophysiologe, die Wahrnehmungspsychologin, ein Neurologe und ein ganz normaler Psychologe rufen Ihnen im Chor Instruktionen zu: „Gelbes Licht: bei weißem Licht Zahnbürste greifen; blaues Licht: bei weißem Licht Zahnpasta greifen; weißes Licht: so schnell wie möglich Zahnbürste greifen!“. Gelbes Licht leuchtet auf, dann weißes, Sie machen eine ungestüme Greifbewegung. Grellgefärbte Videoclips Ihrer Hirnaktivität wabern über die Leuchtschirme. Ihre Videobrille ist verrutscht und die Zahnbürste zu Boden gefallen, aber das merken die Forscher nicht, die mit ekstatisch herausgerufenen Theorien das allgemeine Knattergetöse zu übertönen versuchen. Der Neurologe löst sich aus dem Team-Knäuel und flüstert Ihnen ins Ohr: „Sie müssen die Zahnbürste nur greifen wollen! Nur wollen!“, wobei er das Wort „wollen“ über die Maße betont, mit beiden Händen Ihre Schläfen umfasst und mit den Daumen kräftig auf die Stirne drückt, weil er Ihr Wollen dort vermutet. Vor der Badtür drängen sich Künstliche-Intelligenz-Forscher, Neuroinformatiker, Robotiker, Nachrichtentechniker, Mess- und Regeltechniker, die einen Blick auf bzw. in Sie erhaschen wollen, wie Sie eine Zahnbürste greifen. Aber Ihre Muskeln gehorchen Ihnen nicht, Arm und Hand zittern. Sie können auch gar nicht mehr auf die Zahnbürste schauen, Ihre Augenmuskeln spielen verrückt und die Szene ist viel zu hell erleuchtet, Sie sind geblendet. Die Ingenieure rufen Ihnen hilfreich gemeinte Instruktionen zu: „Feedback gain zurückdrehen!“, „Aktionsfolge planen! – Start bei Arm 30 Grad 40 cm auf Position fünf!“, „Filter adaptieren, adaptieren, a–dap–tieee–ren!“, „nichtlinearen Prädiktor superponieren!“, „inverse Kinematik neu eichen!“, „Szenenrepräsentation bottom-up!“. Der Neurologe hat eine lange Sonde in Ihren Schläfenlappen gebohrt und legt eine Spannung an. Die Monitore lodern im Farbrausch auf, vor Ihrem Auge steht die Zahnbürste vom Boden

auf und verwandelt sich in einen jungen Philosophen. Die Ingenieure verpuffen, nur ein wolkiges Lächeln bleibt schwebend zurück. Der junge Philosoph nickt mit seinem borstigen Kopf stolz in die Runde. Alle Anwesenden erstarren, als er Ihnen von hinten durch die Inspektionsöffnung ins Hirn greift. Er nestelt und wühlt in Ihrem Kopf herum, Sie verspüren aber keinen Schmerz, nur wohliges Zutrauen. Endlich zieht er mit einer raschen Handbewegung ein Plättchen Metall aus Ihrem Schädel hervor, eine Kupfermünze. Auf deren einer Seite steht: MIND, auf der andern BRAIN. Der Philosoph schnipst die Münze in die Luft, sie rotiert so schnell, dass beide Beschriftungen verschmelzen. „Wo ist das Problem?!“, lacht er triumphierend in die Runde.

Bitte, fahren Sie jetzt fort mit Ihrer Morgentoilette und vergessen Sie dieses Zwischenspiel wieder. Ich wollte Ihnen eigentlich nur sagen, dass es für „die Wissenschaft“ keineswegs klar ist, wie Sie so einfach nach der Zahnbürste greifen wollen können und können können.

Verschiedene wissenschaftliche Disziplinen nehmen verschiedene Aspekte des Gehirn-Arm-Zahnbürste-Systems wahr und modellieren sie je innerhalb verschiedener Begriffssysteme. Wenn Sie die Zahnbürste berühren, stellt der Neuromikrobiologe fest, dass an einer bestimmten Synapse ein bestimmter Botenstoff freigesetzt wird. Die Wahrnehmungspsychologin findet, dass Sie den Zahnbürstenstiel vom Bildhintergrund getrennt haben. Der Verhaltensforscher wirft die Frage auf, wieviel Energieressourcen Sie auf Körperpflege verwenden, und sein naher Kollege, der Soziobiologe, weiß, warum Ihr Zahnputz-Gen sich evolutionär durchsetzen musste. Erdverbundener sind Biokybernetiker, die mit „modellbasierten Reglern“ zu erklären versuchen, warum Sie die Zahnbürste überhaupt treffen, wo doch die Reizleitung in Ihren Nervenbahnen eigentlich zu langsam dafür ist. Medizinische Neurologen führen Fallstudien von hirngeschädigten Patienten an, die ihre Zahnbürste mit ihrer Frau verwechseln. Neurophysiologen ernten derweil mit Dutzenden von strategisch platzierten Elektroden Daten en masse. Sie suchen in diesen Gigabytes nach dem „neuronalen Code“, finden aber nur unklare statistische Effekte, vielleicht auch Artefakte. Neuroinformatiker lassen sich von all diesen Befunden inspirieren, vergessen die Einzelheiten dann aber rasch wieder und programmieren elegante Algorithmen mit Tangens Hyperbolicus und allem nichtlinearen Drum und Dran, die sie „neuronale Netze“ nennen. Kognitionspsychologen designen komplexe Verhaltensversuche, wo Sie ganz schnell (Stoppuhr läuft!) blaue Zahnbürsten von grünen Zahnbürsten und zur Kontrolle blaue Rechtecke von Mondkälbern unterscheiden müssen. Dadurch wird geklärt, wie Sie das Konzept „blaue Zahnbürste“ repräsentieren. KI-(Künstliche Intelligenz)-ler lassen sich (i) von diesen Versuchen, (ii) der mathematischen Logik und (iii) von den Videogames ihrer Kids anleiten, um interaktive Testprogramme für die Ausgangskontrolle eines mittelständischen Dentalbedarfsherstellers zu entwickeln (Industriedrittmittel!). Von einer Konferenz in der Karibik schaltet sich ein Physiker und seine berauschte Fangemeinde zu, die den freien Willen („Ich nehme die Zahnbürste *jetzt*“) als Quanteneffekt erklären. Ferner irren durch die Szene: versprengte Robotiker, Signalverarbeiter, Mess- und Regeltechniker, Mathematiker, Kommunikationstheoretiker, Linguisten, Philosophen, Artificial-Life-Forscher, Psychiater, Bioniker, Informatiker, Anthropologen, Entwicklungspsychologen und Embryologen, um nur die Wichtigsten zu nennen.

Sie gucken mich ja immer noch so entgeistert an: – Wie bitte? So ein Irrsinnsaufwand? Was gibt es denn *Einfacheres* als nach seiner Zahnbürste zu greifen?

Ihre Erlebens-Erfahrung ist die einer glasklaren Einfachheit. Die Erklärens-Erfahrung der Wissenschaftler ist die einer realweltirrwitzmegakonfusen Komplexität. Das passt nicht.

Eins ist jedenfalls klar: wenn Sie in diesem bewussten Moment all jene wissenschaftlich vorhandenen Komplikationen auseinander dröseln und kontrollieren müssten, wären Sie verloren. In Millisekunden würde Ihre Erfahrungswelt in glitzernde Scherben zerstieben. Aus der „Benutzersicht“ Ihrer selbst ist es gut, dass Sie Ihr komplexes Innenleben so einfach bedienen können, dass Sie gar nichts davon merken. Wenn die Evolution Ihre Selbst-Benutzung nicht so hervorragend vereinfacht hätte, dann hätte sich schon die Amöben beim Versuch, ein Futtertröpfchen zu umfließen, spontan in ihre Moleküle zerlegt. Die Optimierung der Einheit des Organismus steht schon seit Beginn des Lebens auf der Agenda, darum klappt das morgens bei Ihnen vor dem Spiegel so gut.

Sie sehen so aus, als würden Sie denken: – Ach, ihr Wissenschaftler. Ihr macht euch das doch nur künstlich kompliziert. So etwas Einfaches wie eine Zahnbürste anfassen muss doch auch eine einfache Erklärung haben. Ja, was heißt hier überhaupt Erklärung. Das braucht man doch gar nicht zu erklären. Lasst mich jetzt bitte sehr endlich meine Zähne putzen.

Damit liegen Sie jedoch falsch. Es gibt keine einfache Erklärung für diese Einfachheit. Nur im perfekten Zusammenspiel ganz vieler Einzelmechanismen erscheinen Sie für sich selbst so einfach. Wenn eine Winzigkeit im Kleinhirn kaputtginge, könnten Sie die Zahnbürste nur noch ziemlich grobmotorisch anfassen; den Mund würden Sie anschließend damit nicht mehr treffen. Wenn eine andere Kleinigkeit in Ihrem Frontalhirn kaputtginge, könnten Sie die Zahnbürste nicht mehr anfassen *wollen*. Eine kleine Blutung im Motorkortex, dann könnten Sie die Zahnbürste so heftig anfassen wollen wie nur was, allein der Arm würde sich nicht in Bewegung setzen. Wenn Sie den Alkohol einer Viertelflasche Wodka im Blut hätten, würde sich die Zahnbürste in Bewegung setzen, ohne dass Sie etwas dagegen tun könnten. Wenn Ihnen eine kleine (gutartige) Geschwulst in einem der höheren Sehareale wüchse, könnten Sie keine blauen länglichen Gegenstände mehr *sehen*, auch wenn Sie wüssten, dass Sie eine Zahnbürste in der Hand hielten. Und wenn diese kleine Geschwulst ein paar Zentimeter weiter vorne läge, dann wüssten Sie nicht mehr, was eine Zahnbürste ist, auch wenn Sie einen länglichen blauen Gegenstand sehen könnten. Wenn, wenn, wenn. Wenn bei Ihnen eines der Rädchen ausrasten würde, wären Sie sicher sehr froh, wenn ein Arzt das verstehen und vielleicht wieder einrenken könnte. All diese Rädchen müssen völlig reibungslos ineinandergreifen, bevor Sie nichts davon merken.

Aber wie sie das tun, dafür gibt es einfach keine einfache Erklärung. Dass „die Evolution“ das so optimieren musste, denn sonst würde es uns ja nicht geben, das sagt nur, dass es nicht anders sein kann – es erhellt aber nicht, *wieso* es so ist. Es bleibt im Dunkel, *wie* dieser Schwindel erregende Ich-Will-Die-Zahnbürste-Fassen-Trick funktioniert. Kein Neurowissenschaftler, kein Psychologe versteht es, kein Robotiker, kein KI'ler kann es nachbauen.

Es ist sogar alles noch viel aussichtsloser. Halten Sie die Zahnbürste gut fest!

Naturwissenschaftliche Erkenntnis versteht komplizierte Dinge, indem sie sie auf einfache Gesetzmäßigkeiten zurückführt. So werden z. B. die verschlungen torkelnden Planetenbahnen auf Newtons Gravitationsgesetz reduziert, oder Myriaden Einzelheiten der Chemie auf die Schrödingergleichung.

Bei unserem bewussten Erklärungsproblem liegen die Dinge aber genau andersherum. Sie und Ihre Zahnbürste: da geht es darum, etwas Einfaches aus etwas Kompliziertem zu erklären!

Selbst gesetzt den Fall, jemand würde das schaffen – wäre das dann noch „Erklärung“? Was wäre das für ein „Verstehen“, etwas Einfaches als wunderbar ausgeklügelt-abgestimmtes Zusammenspiel von Tausenden von heterogenen Einflüssen darzulegen?

Um dies etwas distanzierter zu betrachten, verlassen wir Ihr Badezimmer und begeben uns – Zahnbürste lässig hinters Ohr geschoben – auf den Frankfurter Flughafen. Ein Lufthansa-Airbus landet gerade. Ziemlich elegant und sehr präzise, wie diese Maschine sich da herabsenkt, die Nase hochnimmt, etwas ausschwebt, und – JETZT die BERÜHRUNG –

Ja, wieder so ein einfacher Moment, diesmal die Landung eines Airliners. Der Unterschied: die Experten kennen sich in diesem Falle vollständig aus. Die Experten, das sind Triebwerksbauer, Aerodynamiker, Materialforscher, die Kontrolleure vom TÜV und die Sachverständigen vom Luftfahrtbundesamt, Avioniker, Caterer, die Piloten nicht zu vergessen und auch nicht die stets nicht völlig zufriedenen Passagiere, ferner Mathematiker, Windkanaldesigner, Simulationsalgorithmiker, Klimaanlage- und Drucktechniker und Innenraumdesigner. Diese Leute kennen, zusammengenommen, jedes Schnipselchen Hardware in dem gerade gelandeten Airbus, auch jedes Bit Software, jeden Schaltungstrick, jede Designentscheidung, jedes Was und Wie und Warum, vom Layout einer kleinen Sensorplatine des Landeradars bis zum Abstandsmaß der Bestuhlung. All das ist dokumentiert und wird täglich gewartet und fortgeschrieben in den Computern und Handbüchern bei Airbus, den Zulieferern, den an der Entwicklung beteiligten Universitätslaboren, den Wartungsbetrieben, usw. Wenn irgendeiner irgendeine Frage zu einem besonderen Aspekt des Airbus hat, wird er auf dieser Welt einen Experten finden, der die Antwort auf diese Frage aus seinen Unterlagen entnehmen kann.

Zurück ins Badezimmer. Legen Sie die Zahnbürste auf die Ablage zurück und nehmen Sie bitte wieder die Grundstellung ein: rechte Hand ausgestreckt, gleich die Berührung (dieser Aufsatz ist doch gymnastischer, als es zunächst vielleicht aussah!).

Erste Feststellung: die Hirn- und Denkforscher wären froh, wenn sie für Hirne und Gedanken so gute Pläne hätten wie die Flugzeugbauer für ihr Flugzeug. Zweite Feststellung: ja, viele Hirn- und Denkforscher wollen ungefähr dahin, wo die Flugzeugbauer heute schon sind. Die dritte Feststellung: das Flugzeugwissen ist auf tausende Unterlagen, Computern, Experten verteilt. Kein einzelner Plan oder Mensch erfasst einen Airbus in Gänze, und das wäre auch unmöglich. Das ist ein störender Befund; denn schließlich wollen wir der simplen *Einheit* Ihrer Zahnbürstenberührung näherkommen. Das Flugzeugpendant lehrt aber anschaulich, dass ein solches Verständnis der Einheitsmechanismen Ihres Erlebens, wenn es erreichbar ist, nur fragmentiert von Tausenden von Spezialverstehern verstanden werden kann. Vierte Feststellung: die Airbus-Leute kennen ihren

Airbus deshalb so gut, weil sie ihn selbst *machen*. Analog kann man mit gutem Grund behaupten, dass die Hirn- und Denkwissenschaftler ihren Forschungsgegenstand (= Sie) genau in dem Maße verstehen können, wie sie ihn selbst nachbauen. Das heißt, Robotik und die Wissenschaft von Ihnen werden verschmelzen.

Die fünfte Feststellung verlangt etwas mehr Raum. Wenn die Wissenschaftler in (sagen wir) 500 Jahren komplette Bau- und Funktionspläne von Ihnen hätten, dann wären das wohl „Pläne“ sehr anderer Art als die der Airbus-Ingenieure. Echte Menschen (und Amöben) sind so andersartig als heutige Maschinen, dass auch die Menschen-Ingenieurskunst eine andersartige werden muss, bevor sie menschenäquivalente Designs produzieren kann. Nun kann man heute naturgemäß kaum voraussagen, wie sich diese Andersartigkeit äußern wird. Programmierbare Computerchips, wie wir sie heute kennen, sind wohl keine geeignete Hirnsubstanz – man benötigt irgendeine Art Hardware, die unserer „grauen Masse“ ähnlich ist und nicht saubere Bits durch übersichtliche Leiterbahnen schickt, sondern chaotische Stromflüsse durch Gallertgeflechte wabern lässt (<http://www.ini.unizh.ch/>). Gut möglich auch, dass der Humanoid-Ingenieur der Zukunft seine Artefakte gar nicht mehr „entwirft“, sondern im Computer Gehirnstrukturen evolvieren lässt und dann die Ergebnisse seiner künstlichen Evolution implementiert. Vielleicht wird er auch auf dem Computer nicht die zu implementierenden Gehirnstrukturen evolvieren, sondern nur Über-Eigenschaften wie Anpassungsfähigkeit, Selbstreparaturfähigkeit oder Lernfähigkeit (<http://www.cogs.susx.ac.uk/lab/adapt/>). Ja, sogar die künstlichen Evolutionsmechanismen selbst könnten immer weiter evolvieren – so wie sich zum Beispiel in der Natur die Zweigeschlechtlichkeit als „Evolutionsverstärker“ entwickelt hat. Mit den für diese „Meta-Fähigkeiten“ gefundenen Trägermechanismen wird dann womöglich eine pseudobiologische „graue Masse“ synthetisiert. Vielleicht hat man schon bald ein fasriges Gel hergestellt, das tagsüber beim Denkenlernen in der Sonne wie Opal schillert und in der Nacht beim Träumen grünlich leuchtet! Und dieses Denk-Gel, das erst auf dem Computer in Simulationen evolviert und schließlich chemisch in unsere echte Welt übersetzt wurde, das würde möglicherweise in Petrischalen in raschen Zyklen weiterevolviere (<http://www.gmd.de/BIOMIP/>). Am Ende der 500 Jahre hätten unsere Nachfahren dann vielleicht eine selbstprogrammierende Kunsthirnmasse in der Hand, die man (in Kunstköpfe gefüllt) nur noch eine Weile „leben“ lassen muss, um fertige Superrobotern zu erhalten ... Zur Analyse dieser Selbst-Schöpfungskunst wird wohl eine ziemlich fremdartige Mathematik betrieben werden müssen (<http://ais.gmd.de/INDY/Philosophy.html>). Denn die heutige Mathematik kann nur etwas bereits Gegebenes beschreiben (Brücken, Börsenkurse, Klimakatastrophen, ja sogar mathematische Theorien selbst). Intelligenz aber kann sie nicht beschreiben, da Intelligenz darin besteht, stets neu Gegebenes zu produzieren, unter anderem Mathematik. Die Formeln jener fernen Mathematik müssten nicht nur Intelligenz wie etwas Gegebenes beschreiben, sondern *selbst* intelligent sein – sie müssten sich selbst hinschreiben können ... Nun aber Schluss mit der Schwindelerregerei!

Die sechste Feststellung betrifft eine gewöhnungsbedürftige Einzelheit. Die sei nur kurz angetippt: ja, die Hirn-Denk-Wissenschaftler-Ingenieure der Zukunft werden Ihre Gedanken lesen können. Fortschritt der Gehirnwissenschaft ist (wie stets in den Naturwissenschaften) verknüpft mit Fortschritt der spezifischen Messtechnik – hier eben der Gedankenmesstechnik, Willens-Messtechnik, Seherfahrungs-Messtechnik, Fühl-Messtechnik, etc. Schon heute kann man durch mathematische Analyse von äußerlich abgenommenen Hirnstrompotenzialen bestimmen, ob die „Versuchsperson“ den Arm bewegen will, und wohin sie ihn bewegen

will. Also keine Ausflüchte, ja, Gedankenlesen wird möglich sein, sogar sehr detailliert. (Vielleicht aber nur mit sehr teuren und großen Apparaturen, sodass Sie aus Kostengründen allermeistens ungelesen blieben).

Nach so vielen ablenkenden Feststellungen wieder zu Ihnen. Danke, dass Sie die Zahnbürste immer noch gleich berühren wollen!

Machen wir ein Gedankenexperiment (der Rest dieses Aufsatzes ohne Gewähr). Nehmen wir an, etwa im Jahr 2500 wären die Wissenschaftler-Ingenieure so weit wie die heutigen Flugzeugkonstrukteure, und hätten in ihren Computern und Lehrbüchern einen kompletten, detaillierten Bau- und Funktionsplan eines Ihnen äquivalenten Systems. Die Ingenieure hätten so ein Ding auch „gebaut“, oder wie auch immer man diesen Geneseprozess in 500 Jahren nennen wird.

Gut. Da steht also so ein Wundersystem der Technik im Labor-Badezimmer. Ein unscheinbar-perfekter Hominide aus Kunststoff, frisch gebacken. Nennen wir ihn Omega. Funktional Ihr vollständiges Pendant, in Material und Herstellung etwas teurer. Mikro-Messsonden senden jedes Chipflickerchen aus dem Kopf des Abioten auf die Bildschirme der Ingenieure im Kontrollzentrum, welche die wichtigsten Einzelfunktionen dieses Systems überwachen. Noch wird sein Hirn durch ein Trancefeld in einem „selbststabilisierenden Punktäquilibrium“ gehalten (er „schläft mit offenen Augen“). Die blaue Zahnbürste wird millimetergenau vor der ausgestreckten, etwas zitternd in der Luft stehenden Hand justiert.

In einem anderen Raum steht Ihr Ur-ur-ur- ... -ur-Enkel, also ein Mensch. Er hat sich zu diesem Experiment bereit gefunden. Nennen wir ihn Alpha. Der andere Raum ist ein genaues Duplikat des Badezimmers, in dem der Hominide steht. Ihr Nachfahre verharrt auch in der bewussten Pose kurz vor der Berührung. Mit viel Sorgfalt hat er seine Körperstellung genauso ausgerichtet wie die seines künstlichen Kollegen, bis hin zur Blickachsenjustierung. Er ist instruiert, sich darauf zu konzentrieren, gleich die Zahnbürste zu greifen und mit der Zahnpastatube zusammenzuführen. Er ist kooperativ und konzentriert sich wirklich darauf, auch wenn das über Minuten hinweg nicht leicht ist. Alphas Hirnaktivität wird im Detail aufgezeichnet.

Jetzt wird der eigentliche Versuch vorbereitet. Das feinzisierte Muster der Aktivierungen in den Hirnzellen Ihres Nachfahren Alpha wird in den Kunstkopf von Omega übertragen. Technisch kein Problem in Jahr 2500! Jetzt – Gedankenmustertransfer abgeschlossen. Eigentlich müsste sich Omega genauso fühlen wie Ihr zukünftiger Verwandter, dasselbe wollen, dasselbe zu erkennen glauben, dieselben Worte auf der Lippe haben, denselben Vorsatz bezüglich der Zahnpasta haben, etc. Jedenfalls, wenn das Trancefeld abgeschaltet würde, das ihn just noch in einer zeitlosen Seinsschwebe hält.

Countdown läuft. Zehn – neun – ... Zum Nullzeitpunkt wird das Trancefeld erlöschen und die Kognition von Omega „gezündet“, wie die Experten sagen werden. Wenn die Modelle stimmen, dann müssen Alpha und Omega synchron die Zahnbürste berühren, zur Zahnpastatube führen und Zahnpasta auf die Bürste drücken! ... – fünf – vier – ... Die Kameras laufen, im Kontrollzentrum sind Alpha und Omega auf Dualbildschirmen klar in Sicht, die Denkmuster stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit perfekt überein – ein Bilderbuchexperiment! ... – drei – zwei – eins – ZERO!!

Alpha nimmt die Zahnbürste, drückt Zahnpasta darauf; er dreht sich um und lächelt verschwörerisch in die Kamera.

Omega berührt die Zahnbürste mit der geöffneten Hand, die Zahnbürste fällt zu Boden, Omegas Oberkörper schwingt nach vorn, sein Kopf drückt gegen den Spiegel, er rudert mit den Armen in der Luft, krümmt sich, das Gesicht verzerrt, ein Schrei. Die Notfallprogramme im Kontrollzentrum springen an; Omegas Gesicht wird neutral, das Trancefeld fängt ihn auf. Omega steht wieder aufrecht und still. Seine Hirnmonitore zeigen das kognitive Pendant zu einer rauchenden Stadt nach einem Erdbeben.

„Wir haben ihn wieder nicht stabil gekriegt“, stöhnt der Versuchsleiter, „so geht das nun schon an die 500 Jahre, seitdem dieses irrwitzige Forschungsprogramm läuft.“

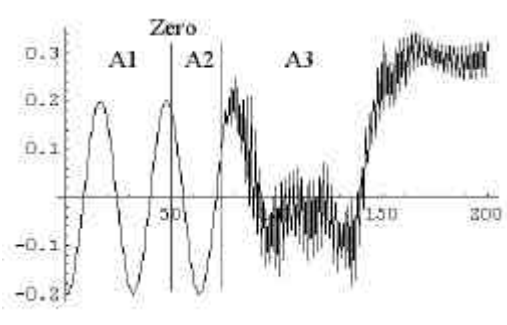
Wir verabschieden uns hier von Ihrem Nachfahren, der gerade sein Versuchspersonen-Honorar ausgezahlt bekommt. Omega lassen wir einfach stehen, er kann uns nicht weiterhelfen. Der Versuchsleiter verweigert ein Interview.

Oh, Entschuldigung, Sie stehen ja immer noch in jener Pose vor Ihrem Spiegel, und werden mit Recht ungeduldig. Es wird Zeit, dass wir mit dieser Angelegenheit zurande kommen!

Also, wieso ist Omega so „instabil“, um den Versuchsleiter zu zitieren?

Lassen Sie uns diese Instabilität zunächst einmal an einem simpleren Beispiel demonstrieren. Sie können es leicht auf Ihrem Computer nachvollziehen. Man modelliert Hirnstrukturen in gehöriger Vereinfachung heute gern als so genannte neuronale Netze. Das sind mathematische Gebilde, die aus vielen miteinander vernetzten „Neuronen“ bestehen, welche wiederum vereinfachte Abbilder von biologischen Gehirnzellen sind. In einem solchen neuronalen Netz können sich komplizierte Wellen von „Aktivierung“ ausbreiten, verstärken, verändern. Man kann ein solches neuronales Netz (durch ein „Lernverfahren“) dazu bringen, ein gewünschtes Aktivierungsmuster zu realisieren. Ein einfaches Beispiel wäre der Wunsch, das Netz möge an seinem „Output-Neuron“ eine saubere Sinusschwingung hervorbringen. Ein solches künstliches Netzwerk ist jedoch – ebenso wie biologisches Nervengewebe – in aller Regel in der Lage, sehr viele verschiedene Schwingungsformen zu produzieren, regelmäßige und chaotische. Um die gewünschte saubere Sinusschwingung abzuzapfen, muss man das Netz in einen ganz bestimmten Gesamt-Schwingungszustand bringen. Das kann man z. B. dadurch tun, dass man es eine Weile von außen in diesen gewünschten Schwingungszustand zwingt (genau dies hat man mit Omega getan, als man ihm Alphas Hirnaktivierungsmuster übertrug). Die folgende Abbildung zeigt, was dabei passieren kann.





Hier sieht man den Aktivierungsverlauf des Ausgabeneurons eines Netzes, das man so geformt („trainiert“) hat, dass es eine Sinusschwingung produzieren soll. In Abschnitt A1 ist noch die äußere Aktivierungsquelle angelegt und zwingt das Netz zur gewünschten Sinusschwingung. Zum Zeitpunkt Zero wird diese Quelle ausgeschaltet. Das Netz schwingt noch kurz wie gewünscht (A2), wird dann aber instabil und verfällt in einen anderen Schwingungsmodus (A3). Leider ist diese Situation mathematisch kaum verstanden. Man kann mit den heutigen Analysetechniken dem Netz nicht ansehen, ob es den gewünschten Sinus stabil beibehält oder eben nicht. Die Mathematiker wissen über diese „nichtlineare hochdimensionale Dynamik“ noch nichts wirklich Erhellendes zu sagen, so dass wir es bei diesem illustrativen Eindruck belassen müssen.

Mit einer Metapher kommen wir dem Explodieren von Omegas Hirnfunktion schon näher als mit der Mathematik. Nehmen wir einmal an, ein sehr mächtiger Herrscher der fernen Zukunft hätte einen neuen Planeten erobert. Als erste Großtat lässt er auf dem unterworfenen Planeten eine Stadt Z bauen, und zwar genau nach dem Abbild seiner heimischen Hauptstadt A. Dass Z sich nicht von A unterscheidet, ist dem Herrscher sehr wichtig, denn er will sich auf seinen Reisen in Z genauso zuhause und mächtig fühlen wie in A. Also, Stein um Stein, Busfahrplan um Busfahrplan, Häkeldeckchen um Häkeldeckchen wird A kopiert und entsteht als Z ein zweites Mal. Da sich A wie jede Stadt dauernd verändert, wird ein Referenzzeitpunkt gewählt: der Imperator entscheidet, dass Z wie A zum Zeitpunkt der Eröffnung des historischen Museums hergestellt werden solle (er erinnert sich so gerne an die Enthüllung seines ersten Denkmals zu diesem Anlass). Nach Abschluss der Bauarbeiten steht die Stadt leer und wird von einem mächtigen Konservierungsfeld gegen den Zerfall geschützt (die Stromkosten trägt der unterworfene Planet). Als nun der Imperator das erste Mal den bewussten Trabanten besucht, verlangt er, dass Z für ihn „lebe“. Er erwartet ein fröhliches Straßenbild, wo zufrieden dreinschauende Bürger ihren Beschäftigungen nachgehen, so dass er ihnen im Vorbeifahren seines Trosses leutselig zuwinken kann. Woher ein solches Leben nehmen? Nun, wozu ist man Imperator. Zur Vorbereitung des Besuchs werden also die hervorragendsten Vertreter der Planetenbevölkerung nach Z bestellt, viele hunderttausend, genauso viele wie A Bewohner hat. Sie werden Person für Person gekleidet und geschminkt wie die Bewohner von A, so dass es zu jedem Bewohner von A einen Stellvertreter auf Z gibt. Diese müssen auf den Straßen, in den Bussen, in den Büros von Z Aufstellung nehmen, und zwar genau dort, wo die Bewohner von A sich zehn Minuten vor jener nostalgischen Denkmalsenthüllung befanden. Sie müssen dieselben Posen einnehmen und jeweils denselben Gesichtsausdruck (dank der Sicherheitstechnik in jener fernen Zeit kein Problem; alle zehn Sekunden wurde von A ein Komplettbild aufgezeichnet; davon wurde das passende zur Momentduplizierung genommen). So verharren sie und warten. Das Konservierungsfeld zieht durch die Bevölkerung etwas mehr Strom als mit der leeren Stadt, hält aber diesen Augenblick durchaus stabil in der Schwebung.

Einschwebt der Tyrann. Als sein Schiff den Boden des Raumhafens von Z berührt, wird das Konservierungsfeld ausgeschaltet: Zero.

Einige Minuten danach liegt Z in rauchenden Trümmern.

Die Mimen taten, was sie konnten, sie waren ja ausreichend eingeschüchtert. Aber sie waren fremd in der Stadt, völlig fremd, fremd in ihren Kleidern und Posen und Gesichtsausdrücken. Die Stadt kam schließlich von einem anderen Planeten. Wir betrachten beispielhaft das Schicksal des armen Tropfs, der in der Führerkabine des Busses Linie 12 Stellung hielt, zum Zeitpunkt Zero Aufenthaltsort Siegesplatzkurve Nord, Geschwindigkeit 53 km/h, Blinker rechts gesetzt. Als der Busfahrermime in Augenblick Zero plötzlich zu sich kommt, hält er ein ihm fremdes rundes Metall (das Lenkrad) in den Händen, hört ein Brummen (Busmotor) und Klicken (Blinker), rote Dreiecke und gelbe Kreise (Verkehrszeichen) flitzen im Augenwinkel vorüber. Etwas knirscht und es gibt eine erschreckende Erschütterung (Bus fährt über Bordstein in Blumenrabatte), etwas Großes kommt im Gesichtsfeld heran (Gartenpavillon). Der Mime streckt die Hände abwehrend nach vorn und versteift die Beine (drückt Gaspedal durch). Das Große (Gartenpavillon) stürzt mit betäubendem Krachen auf ihn zu und verschlingt ihn. Dies in Variationen bei all seinen hundertausend Schicksalsgenossen.

Offenbar ist versäumt worden, die Mimen ordentlich zu trainieren. Der Busfahrer beispielsweise hätte ein Fahrtraining gebraucht. Was heißt hier Fahrtraining! Die Imperatoren hätten ihm erst einmal erklären müssen, was ein Bus ist (auf jenem Planeten gibt es keine). Und wozu ein Lenkrad dient. Was die Verkehrszeichen bedeuten. Wie man Verkehrszeichen von Reklametafeln unterscheidet. Und so weiter. Und nochmals und so weiter. Relativ zu den Erfordernissen von Z sind dessen Novizen-Bewohner ja Wilde. Und praktische Übungen wären auch sehr wichtig gewesen. Wie lange braucht es, um einen Wilden so weit zu schulen, dass er einen Bus im dichten Strassenverkehr für eine halbe Minute unfallfrei steuert? Vielleicht einen Tag?

Gut, eine *halbe Minute* hätte man also mit vertretbarem vorherigen Trainingsaufwand der Neophyten die Stadt Z vielleicht erhalten können. Aber was hätte man den armen Leuten alles beibringen müssen, damit sie eine *ganze Stunde* das Stadtleben von Z weiterspielen könnten! Der Busfahrer z. B. hätte seine Strecke und die Pausenregelungen und das Tanken und das Kassieren lernen müssen. Um dabei nicht wirklich störend anzuecken, hätte er Bescheid wissen müssen über Gewerkschaften, Fahrtarife, Treibstoffqualitäten, die Witze, die sich Busfahrer im Depot zuflüstern. Dazu braucht es schon eine halbjährige Berufsausbildung. Minimum. Und nun wollen wir spaßeshalber *einen Monat* stabiles Stadtleben verlangen. In einem Monat geht in so einer Stadt viel kaputt und muss repariert werden, zum Beispiel muss ein Defekt der Fernheizanlage gefunden und behoben werden, auch der Bus muss zur Inspektion, und die Seekuh im Zoo kalbt und ihr Baby braucht eine besondere Diät. Dazu und zu allem andern, was einen Monat Leben aufrechterhält, braucht es wirkliche Experten – auch der Pizzabäcker ist ein Experte, der tausend Dinge wissen muss, z. B. dass man Hefe an einem heißen Tag unbedingt in den Kühlschrank legen muss (<http://www.robotwisdom.com/ai/cyc.html>).

Kann man das alles den Wilden beibringen? Ja, wenn man sie in Z aufwachsen lässt. Ihre Eltern und Lehrer allerdings hätten auch schon in Z leben müssen, um ihnen alles zu zeigen. Und beim Zeigen und Lernen hätten die Bewohner auch viel *gemacht*: Blumen gepflanzt, Klingeln an Fahrräder geschraubt, Verwaltungsvorschriften

verfeinert, eine U-Bahn gebaut. Z selbst hätte sich verändert. Letztlich beherrscht man expertenhaft nur, was man selbst gemacht oder zumindest verändert hat. Letztlich also – hier kürzen wir großzügig ab – könnte Z längerfristig nur überleben, wenn sich für jede Kleinigkeit dieses Megamechanismus Bewohnerhirne fänden, welche dieses Detail mit hergestellt hätten, welche dieses Detail im Zweifelsfall reparieren oder ersetzen könnten, welche dieses Detail sachgerecht anfassen und bedienen könnten. Kurz, die Stadt Z könnte nur dann überdauern, wenn sie mit ihren Bewohnern zusammen gewachsen wäre. Wenn man die Köpfe der Bewohner einer lebendigen Stadt aufschneiden und das Hirnfleisch nach außen stülpen könnte wie bei einer reifen Feige, dann käme das Leben der Stadt zum Vorschein, in allen Details. Und wenn man die Stadt in allen Details duplizieren wollte, so dass das Doppel so funktioniert wie das Original, dann müsste man die Gedanken ihrer Bewohner zu Stein und Verwaltungsformularen werden lassen, eine andere Quelle gibt es nicht. Die physische Substanz einer Stadt und die Gedanken ihrer Bewohner sind zusammen gewachsen und zusammengewachsen.

Jetzt ist klarer, warum Omega so schnell und gründlich auseinander geflogen ist. Die Hirnstrommuster, die man seinem Kunsthirn zum Zeitpunkt Zero eingespeist hatte, waren keine Einheimischen in diesem Gehirn. Sie passten nicht richtig, nicht in 100-prozentiger Einheit zu den feinen Verästelungen des opalisierenden Substrats. Konnten sie nicht, denn sie waren nicht mit dem Gehirn zusammen gewachsen. Die Hirnstrommuster hatten eine andere Geschichte (die von Alpha) als die kurze Kunstgeschichte der Konstruktion des Hirns von Omega. Ein paar Millisekunden konnte die Täuschung bestehen, dann stob alles auseinander (wie in der Abbildung).

Nun gut, vielleicht sogar tröstlich, dass man keine lebendigen Wesen *bauen* kann. Aber weil wir als Wissenschaftler und Menschen nur verstehen, was wir selbst nachschaffen können, heißt das auch, dass wir lebendige Intelligenz nicht verstehen können. Jedenfalls nicht die Tatsache, dass sie stabil ist, dass sie eine Einheit ist, dass sie sich selbst und anderen als integriertes Ich darstellt.

Sie sind mit Ihrer blauen Zahnbürste enger verwachsen, als Sie sich klarmachen können. Bitte, berühren Sie sie (endlich!), und wir drücken jetzt gemeinsam auf die Tube. Ein völlig natürlicher Vorgang. Wie fänden Sie nun den Gedanken, dass das nur deswegen so natürlich ist, weil Sie in vielen Generationen in eine Welt hineingewachsen sind, in der sich Zahnbürsten und Menschen zusammen entwickelt haben, und Sie so fein austarierte „strukturelle Kopplungen“ (<http://www.enolagaia.com/AT.html>) miteinander ausbuchstabiert haben? Dass diese Einfachheit und Harmonie ihren Ursprung schon nahm, als Amöben mit ihrer Zellmembran einen Nahrungspartikel berührten? Dass dies wiederum nur deshalb funktioniert, weil Zellmembran und Nahrungspartikel derselben Ursuppenchemie entwachsen? Dass die verschiedenen Moleküle der Ursuppe zusammenspielen lernen konnten, weil sie auf Elektronen- und Protonenebene in Kontakt treten können? Dass das wiederum möglich ist, weil alle Quanteneffekte denselben einfachen Gleichungen gehorchen? Welche sich aus dem einen Urknall durch „Symmetriebrüche“ entwickelt haben? Irgendwo muss diese Einheit doch herkommen...

In diesen Jahren erleben wir ein Wiederaufflammen der uralten philosophischen Debatte um Körper (*body*, *brain*) und Geist (*mind*) (<http://mind.phil.vt.edu/www/mind.html>, <http://cogprints.soton.ac.uk/view-phil-mind.html>, <http://www.u.arizona.edu/~chalmers/biblio.html>). Diese schon in der Antike geführte Debatte ist in der Moderne durch Descartes so richtig „scharfgemacht“ worden. Durch strengsten Beweisgang stellte er zwei

Dinge fest: (a) Körper und Geist eines Menschen gehören verschiedenen Seinswelten an (und können daher streng genommen nicht aufeinander einwirken), (b) willkürliche Muskelbewegungen werden dadurch ausgelöst, dass der Geist auf die Zirbeldrüse (eine erbsengroße Drüse an der Schädelbasis) drückt (<http://serendip.brynmawr.edu/Mind/Descartes.html>). Nach diesen widersprüchlichen, aber scheinbar zwingenden Feststellungen war klar, dass nichts klar war. Der enorme Zuwachs an neurophysiologischem und psychiatrischem Detailwissen hat in den letzten zehn Jahren jedoch zu einer stabilen Mehrheitsmeinung unter Philosophen und Neurowissenschaftlern geführt: jeder subjektiven Erfahrung (Wahrnehmung, Gedanken, Überzeugung, Willen, Emotionen, Schmerz) entspricht ein physikalischer Hirnprozess (Hormonausschüttung, neuronale Aktivierungsmuster). Ja, sogar der Bewusstseinerfahrung selbst versucht man definitive neuronale Erregungsorte und Erregungsmuster zuzuordnen: das neuronale Korrelat des Bewusstseins (engl. „neural correlate of consciousness“, NCC) (<http://www.klab.caltech.edu/~koch/crick-koch-cc-97.html>). Die Menge und Vielfalt des aufgehäuften Detailwissen, seine völlige Konsistenz und der daraus erwachsene Konsens haben die uralte philosophische Diskussion auf eine neue Grundlage gehoben. Diese Grundlage ist so solide und wichtig, wie es in der Philosophie eigentlich noch nie der Fall war. Es gibt zwar immer noch verschiedene Ansichten darüber, auf welche Weise der Zusammenhang zwischen *mind* und *brain* zu verstehen ist – zum Beispiel, ob der *mind* ein völlig nachgeordnetes Phänomen (ein Epiphänomen) ist, oder ob er eine *funktionelle* Beschreibungsebene für einen physikalischen Selbstorganisationsprozess darstellt, usw. Diese Debatte ist jedoch eine völlig entmystifizierte, in der Neurowissenschaftler und Philosophen gleichsam nur noch danach trachten, den besten Sichtwinkel auf etwas zu finden, das – wie sie meinen – im Prinzip völlig klar vor ihnen liegt.

Und doch – ist diese grandiose Konsensbildung mehr als nur eine Vorübung? Wenn *mind* und *brain* im Prinzip eine Einheit bilden, stellt sich angesichts von Omegas Explosion vor der Zahnbürste doch die Frage: Wie verstehen wir „Einheit“? Warum fliegt diese Einheit nicht auseinander? Kann man *das* verstehen? Kann man *das verstehen*?

Ein weiteres Rätsel ist übrigens, dass wir über so etwas überhaupt nachdenken können. Irgendwo ist ein Loch in dieser Einheit – die wir nicht verstehen –, aus dem wir herausschlüpfen und diese Einheit von außen verstehen wollen können.