

Ein kleiner Ausschnitt und doch schon hyperkomplex: Die neue Stoffwechselkarte des Menschen enthält Unmengen an digitalen Informationen. Im Detail einsehbar ist die Karte im Internet unter: [www.humanmetabolism.org](http://www.humanmetabolism.org)

## Wird „Big Data“ zur Chiffre für den digitalen GAU?

Jede Zeit hat ihre eigene Datenflut. Und zu jeder Zeit gehörte es schon immer zur Kunst großer Forscher, die „Undaten“ – unbrauchbare oder überflüssige Informationen – von wertvollen Datensätzen zu trennen. Gregor Mendel zum Beispiel hatte für seine Vererbungsexperimente in fünf Jahren die Morphologie von gut 10 000 Erbsenpflanzen ausgewertet und verglichen. Carl von Linné, der schwedische Botaniker, dem wir die Nomenklatur in der Organismenwelt verdanken, hatte in der Systematisierung eine noch viel gewaltigere Datenflut zu bewältigen und schon im achtzehnten Jahrhundert ein Datenmanagement entwickelt, das der Arbeitsweise von Wikipedia frapierend ähnelt. Mit seinem Zettelkasten Marke Eigenbau hat er die Lawine an Informationen über neue Pflanzenarten zu beherrschen gelernt. Und heute? Heute begräbt die digitale Datenlawine ihre Schöpfer unter sich.

Der Begriff „Big Data“, den man nun immer öfter hört, verharmlost im Grunde schon, was allein in der Forschung auf Wissenschaftler und Institutionen zurollt. Vom Daten-Tsunami sprechen deshalb Bioinformatiker wie der deutsche Neurobiologe Hans Hofmann. Er hat die Umwälzungen in den vergangenen Jahren hautnah an der University of Texas miterlebt. Vor fünf Jahren wurde am Texas Advanced Computing Center mit dem Supercomputer „Ranger“ – Rechenleistung 580 Teraflops pro Sekunde – der bis dahin mächtigste Datenverarbeiter der Welt fertiggestellt – und über Nacht schon wieder von der Konkurrenz entthront. In diesen Tagen wird Ranger zerlegt, und seine Einzelteile werden verhöckert. Sein Nachfolger „Stampede“ ist zwar mit einer hocheffizienten Nachwasserkühlung ausgestattet und mit zehn Petaflops Rechenleistung gut zwanzigmal so leistungsfähig wie Ranger, aber trotzdem in der Rechner-Welttrangliste nicht unter den ersten fünf – sehr zum Ärger der Texaner. Hofmann: „Die wichtige Frage für uns Wissenschaftler ist aber, kommen die neuen Computerfarmen überhaupt noch mit in der Datenverarbeitung und -speicherung.“ Am Wochenende war Hofmann

Der Fluch der Moderne: Ein Daten-Tsunami überrollt die Forschung. Beispiel Lebenswissenschaften: Mit jedem neuen Projekt wächst das Wissen, aber auch die Angst, wertvolle Erkenntnisse zu verlieren. Schon gibt es die ersten Notfallpläne.

Von  
Joachim Müller-Jung

Gast einer Tagung der Schering-Stiftung und der Zürcher Hochschule der Künste, die an der Berlin-Brandenburgischen Akademie ausgerichtet wurde. Titel: „Fragile Daten“. Am Anfang stand die Frage, ob es sich bei der datengetriebenen Forschung der Gegenwart tatsächlich um ein neues Paradigma handelt, weg also von der hypothesen- hin zur daten-getriebenen Forschung. Oder ob es sich vielleicht doch eher um einen „Daten-Hype“ handelt, wie der Wissenschaftshistoriker und -theoretiker Hans-Jörg Rheinberger vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte formulierte: „Die Daten werden nicht mehr im Lichte von Phänomenen generiert, denen man auf die Spur kommen möchte, sie werden vielmehr en masse als Datenströme generiert und als Datenteiche geopolt.“ Diese ernüchternde Beschreibung des Datensammelns wurde allerdings schnell verdrängt von der Frage: Wann überlastet die „Datenarbeit“ die Gehirne der Forscher, und wann kollabiert das System am Ende sogar?

„Lange war die Biologie datenlimitiert, heute ist sie analyselimitiert“, sagte Hofmann. Mit anderen Worten: Die Auswertung der Daten stößt an Kapazitätsgrenzen – aber nicht nur. Hofmann selbst hat sich von einem in Würzburg, Tübingen

und Seewiesen ausgebildeten Insektenneurobiologen zu einem Bioinformatiker gewandelt, um den durch Bildverarbeitung und Genomsequenzierung anfallenden Datenmengen noch sinnvolle Informationen zu entlocken.

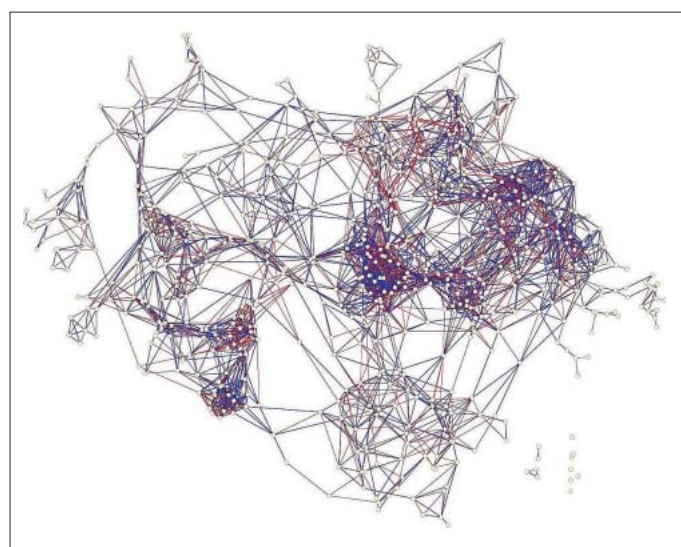
Das Problem wächst, und zwar, wie Rheinberger meint, durch die „historisch enge Verbindung zwischen den Wissenschaften und den technischen Mitteln der Erkenntnisproduktion“ immer schneller. Grundsätzlich neu ist es aber keineswegs. Staffan Müller-Wille von der University of Exeter hat das an Linnés Zettelkastensystem deutlich gemacht. Der berühmte schwedische Botaniker schwankte in der Herstellung seiner Publikationen, „zwischen Loseblatt-Sammlungen und der Synopsis“. Seine Daten – Artbeschreibungen, Zeichnungen und Belege – fixierte Linné auf losen Blättern, die er allesamt selbst auf die exakt gleiche Größe zusammengeschnitten hatte. Karteikarten waren zu seiner Zeit noch nicht verbreitet. So kreierte er sich ein Baukastensystem aus Zetteln, auf denen Linné jeweils Raum für Ergänzungen und Notizen ließ, die nicht selten von den Beobachtungen anderer Naturforscher ergänzt wurden. Ein historisches Wikipedia-System, wenn man so will, das von Linné in der anno-

tierten, „datenreduzierten“ Form als „Systema Naturae“ mit sechshundert Seiten herausgegeben und wenige Jahre später (1767 und 1771) durch zwei Zusatzausgaben – „Mantissa plantarum“ – um mehr als 1100 Seiten ergänzt wurde.

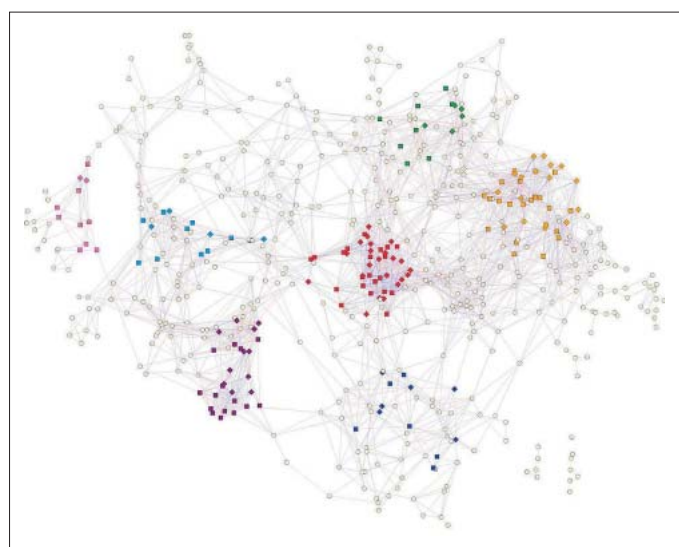
Einen gewaltigen Unterschied von historischen Datensammlern à la Linné oder Ernst Haeckel zur heutigen Datengeneration machte die Philosophin Gabriele Gramelsberger von der Kunsthochschule für Medien (KHM) Köln allerdings deutlich: Klassische Forschung ist in der Fragestellung gerichtet, Datensammlung hingegen heutzutage oft ungerichtet. Der Zwang, alles zu messen und zu quantifizieren, greift mit der automatisierten Technik immer stärker um sich. Gramelsberger: „Die Frage ist jetzt, wie man sinnvolle Daten daraus fischt und wie viele Fehler das System produziert.“ Philipp Fischer von der Biologischen Anstalt Helgoland des Alfred-Wegener-Instituts hat das am Beispiel des neuen Unterwasserobservatoriums vor Spitzbergen verdeutlicht: Man sei bei der kontinuierlichen Datensammlung, Tag und Nacht, angekommen. Aber wie viele „Datenwahrheiten“ man aus den anwachsenden Informationsfluten der Videofilme und Messungen tatsächlich und mit einem vertretbaren Aufwand herausfiltern könne, sei kaum vorhersehbar.

Eine neue Ära der *Data Discovery*, das war auch der Traum eines anderen großen Biologen, Ernst Haeckel, dessen Studien zum „Leben in den größten Meerestiefen“ von Peter Bexte von der KHM vorgestellt wurden. Haeckel ließ den Meeresboden mit Schlepp- und Tretnetzen auf der Suche nach unbekanntem Organismen abgrasen. Der so erzeugte, tabellarisch aufgelistete Datenpool war gewaltig, so Bexte, doch auch „Haeckels Interpretationsüberschuss“. Mit anderen Worten: Haeckels Beschreibungen etwa über den „Batybiusschlamm“ hielten einigen Überprüfungen nicht stand.

Das heute grundsätzlich anders sein sollte, bezweifelte der texanische Neurobiologe Hofmann. Beispiel Genomsequenzierung: Seit zwanzig Jahren wachsen zwar die Datenmengen exponentiell,



Ein Netzwerk im Genom. Rechts sind schematisch Cluster von Genen gezeigt, die das Verhalten beeinflussen.



Fotos Hans Hofmann

Fortsetzung auf der folgenden Seite

## Mit seltenen Erden gegen Krebs

Europäische Forscher produzieren in einem Beschleuniger vier Radionuklide für die bessere Diagnose und eine effiziente Therapie

Mit „maßgeschneiderten“ Radioisotopen sollen Tumoren zukünftig effizienter bekämpft werden können. In einer vorläufigen Studie ist es einer europäischen Forschergruppe gelungen, die Wirksamkeit von Radionukliden des Elements Terbium (chemisches Symbol: Tb) – ein Metall der seltenen Erden – für die Krebstherapie zu demonstrieren. Anders als bereits seit längerem verwendete radioaktive Isotope, die meist als „Abfallprodukte“ an kommerziellen Kernreaktoren anfallen, besitzt Terbium offenkundig ideale Eigenschaften für die Medizin.

Die Radionuklidmedizin behandelt Krebspatienten mit Hilfe radioaktiver Substanzen, die in die Blutbahn injiziert werden. Die Strahlung dieser Substanzen vermag Krebszellen zu zerstören und das Tumorstadium im Körper des Patienten aufzuhalten oder Geschwulste sogar zurückzubilden. Da die emittierte Strahlung nicht zwischen gesundem und krankem Gewebe unterscheidet, ist es notwendig, das radioaktive Isotop in eine biologische Komponente zu „verpacken“, die gezielt

an die Krebszellen andockt. Auf diese Weise kann sich der Wirkstoff am kranken Gewebe konzentrieren und dort den Kampf gegen den Tumor aufnehmen.

Viele der in der Nuklearmedizin gebräuchlichen Isotope wie Iod-131 oder Yttrium-90 haben aus medizinischer Sicht oft keine idealen Eigenschaften hinsichtlich der Energie sowie der Art und der Dauer der radioaktiven Strahlung. „Ideal wäre es, die am besten geeigneten Radioisotope bereits in einer frühen Phase der Entwicklung von Medikamenten auswählen zu können“, erklärt der Physiker Ulli Köster vom Institut Laue-Langevin (ILL) in Grenoble. Ihm ist es gemeinsam mit Kollegen des Paul-Scherrer-Instituts im schweizerischen Villigen, der Technischen Universität München und des europäischen Forschungszentrums Cern bei Genf gelungen, vier maßgeschneiderte Terbium-Isotope zu produzieren, die die medizinischen Anforderungen möglicherweise erfüllen könnten. Die Ergebnisse der ersten Tierversuche waren vielversprechend.

Zur Herstellung der künstlichen Radionuklide mit den Ordnungszahlen 149, 152, 155 und 161 beschossen die Wissenschaftler Folien aus Tantal und Gadolinium mit Neutronen oder energiereichen Protonen. Die Terbiumisotope unterscheiden sich zwar in der Zahl der Neutronen und in der Art ihres radioaktiven Zerfalls, aus chemischer und biologischer Sicht sind sie aber einander recht ähnlich. Das ist ein großer Vorteil für die Radionuklidmedizin. Verpackt in einem im Wesentlichen aus dem Vitamin B9 bestehenden Molekülkomplex, können die Radioisotope an bestimmten Tumoren andocken und dort ihre Wirkung entfalten. Diese ist je nach Isotop unterschiedlich ausgeprägt: So emittieren die Isotope Terbium-155 und 161 Gammastrahlung, die den Körper des Patienten fast vollständig wieder verlässt, so dass sich diese beiden Radionuklide besonders zur Diagnose und Lokalisation von Tumoren eignen. Terbium-152 emittiert dagegen Positronen, die schnell in Gammastrahlung zerfallen. Dieses Isotop ist daher für die Diagnose mit der Posi-

tronen-Emissions-Tomographie prädestiniert. Therapeutischen Nutzen haben insbesondere Terbium-149 und 161. Letzteres sendet Beta-Strahlen aus, die einige Millimeter bis wenige Zentimeter tief in das Gewebe eindringen und dort Zellen zerstören. Die von Terbium-149 emittierten Alpha-Teilchen dringen nur wenige Zehntelmillimeter in das Gewebe ein. Terbium-161 emittiert neben den Beta-Teilchen noch sogenannte Auger-Elektronen aus der Atomhülle, die aufgrund ihrer geringeren Energie nur wenige Mikrometer weit kommen, was ideal für die Bekämpfung kleiner Tumoren und Metastasen ist.

Die Forscher um Köster haben den potentiellen diagnostischen und therapeutischen Nutzen des Terbiumquadrupletts an Mäusen überprüft. Bei fünf von insgesamt acht Versuchstieren konnte eine Rückbildung der Tumoren beobachtet werden. Allerdings räumen Köster und seine Kollegen selbst ein, dass die Zahl der Versuchstiere zu klein war, um aus diesen Ergebnissen allzu große Schlüsse ziehen zu können. Dass neue onkologische Verfahren in vorläufigen Versuchen vielverspre-

chend Ergebnisse liefern, in klinischen Tests aber enttäuschen, ist ein allzu bekanntes Muster in der Krebsmedizin. Die in der Zeitschrift „The Journal of Nuclear Medicine“ (doi: 10.2967/jnu-med.112.107540) veröffentlichte Versuchsserie hat daher den Charakter einer Pilotstudie. Sie zeigt, dass das Konzept als solches funktioniert – wenn auch nur bei solchen Tumoren, die über geeignete Rezeptoren für den Vitamin-Komplex verfügen, in den man die Terbiumnuklide einbettet.

Für die Radionuklidmedizin könnte die Studie trotz dieser Einschränkung ein wichtiger Fortschritt sein. Bereits jetzt herrscht immer wieder Mangel an bestimmten Nukliden. Institute wie Cern oder das ILL, die hauptsächlich mit der Erforschung fundamentaler physikalischer Zusammenhänge in Erscheinung treten, könnten hier einspringen, meint Köster: „Sie können die Entwicklung vielversprechender neuer Therapien beschleunigen, indem sie Radioisotope in hoher Qualität bereitstellen, die kommerziell bislang nicht erhältlich sind.“ JAN HATTENBACH

## Zu viel des Guten

Was in geringen Dosen gut ist, sollte in hohen noch besser sein. Nach dieser Devise schlucken insbesondere in den Industrienationen tagtäglich Abermillionen Menschen teilweise Unmengen von Vitaminen, Mineralien und anderen Nahrungsergänzungstoffen. Immer mehr zeichnet sich aber ab, dass die vermeintlichen Gesundheitsspenders weit weniger segensreich sind als weithin vermutet. Einige können unter Umständen sogar schaden wie etwa das knochenstärkende Mineral Kalzium. Kürzlich gelangten deutsche Wissenschaftler nach Auswertung der Daten einer großen Erhebung zu dem Schluss, dass eine übermäßige Kalziumzufuhr in Pillenform das Risiko für Herzinfarkte in die Höhe treibt. Würde das Knochenmineral mit der Nahrung aufgenommen, blieb es harmlos. Über vergleichbare Erfahrungen berichtet nun auch Karl Michaëlsson von der Universität in Uppsala „British Medical Journal“ (Bd. 346, S. 228). Die Resultate basieren auf einer Langzeituntersuchung von rund 61 500 Frauen, die zu Beginn alle Mitte fünfzig waren. Im Verlauf von durchschnittlich 19 Jahren verstarben knapp 12 000 der Probandinnen, unter diesen fast ein Drittel an den Folgen eines Herz-Kreislaufleidens. Als Lebensverkürzend erwies sich dabei unter anderem eine erhöhte Zufuhr von Kalzium – und das unabhängig von anderen gesundheitsschädlichen Einflüssen. Frauen, die täglich mindestens 1400 Milligramm des Minerals einnahmen, hatten ein doppelt so hohes Risiko für tödliche Herzinfarkte wie solche mit geringerem Konsum. Andere Todesursachen kamen bei ihnen ebenfalls etwas häufiger vor, allerdings war der Unterschied hier geringer. Vor allem jene Frauen waren vermehrt von tödlichen Durchblutungsstörungen des Herzens bedroht, die zusätzlich zu einer kalziumreichen Ernährung auch noch Kalziumtabletten geschluckt hatten. Auf welche Weise hohe Mengen des Minerals dem Herz-Kreislaufsystem zusetzen, lässt sich zwar noch nicht mit Sicherheit sagen. Vermehrte Kalkablagerungen in den Herzschlagadern könnten dabei aber eine wichtige Rolle spielen. Wie auch immer, überraschen dürfen die neuen Ergebnisse nicht. Nahrungsergänzungstoffe sind keine Medikamente, sondern verhindern bestenfalls Mangelkrankheiten. Überraschend ist deshalb nur, wie viele Menschen immer noch ihre Gesundheit den Herstellern von Vitamin- und Mineralpillen anvertrauen. N.v.L.

## Eine wiederaufladbare Batterie zum Falten

Ungewöhnlich elastisch ist eine Lithium-Ionen-Batterie, die amerikanische Wissenschaftler entwickelt haben. Der Akku lässt sich verbiegen, falten und um das Dreifache in die Länge und in die Breite ziehen, ohne an Funktionsfähigkeit einzubüßen. Nach der Verformung kehrt das briefmarkengroße flache Bauteil wieder in seine Ausgangslage zurück, weshalb man es in Textilien einweben und tragbare Geräte mit Strom versorgen könnte. Da die Batterie auch drahtlos aufgeladen werden kann, könnte sie nach Aussagen ihrer Erfinder, Wissenschaftler um John Rogers von der University of Illinois in Urbana-Champaign, auch als Energiequelle für medizinische Implantate im Körper genutzt werden („Nature Communications“, doi: 10.1038/ncomms2553). Das Geheimnis der Elastizität liegt in der besonderen kompakten Bauweise der Elektroden und des Elektrolyten. Letzterer ist beispielsweise in Silikon eingebettet und auf verschiedene Segmente verteilt, die wiederum mit S-förmigen Drähten verbunden sind. Eine Leuchtdiode konnte neun Stunden lang betrieben werden. Nach 20 Lade- und Entladezyklen verlor die Batterie keine nennenswerte Kapazität. F.A.Z.

## Heute

### Miniaturisierte MRT

Das bildgebende Verfahren der Magnetresonanztomographie könnte bald auch scharfe Bilder von Molekülen liefern. Deutsche und amerikanische Forscher haben den Weg dafür geebnet. Seite N2

### Zettelwirtschaft

Zettelkästen dienen als Gedächtnisstütze und halten Alltagseindrücke fest. Das Literaturarchiv Marbach hat in einer Ausstellung nun mehr als hunderttausend Zettel zusammengebracht. Seite N3

### Humanities

Junge deutsche Studierende haben zwar die formelle Hochschulreife, jedoch oft nicht die intellektuelle. Eine Befassung mit den Humanities, wie in den amerikanischen Colleges, könnte ihnen helfen. Seite N5