

Zeitschrift: Burgdorfer Jahrbuch
Herausgeber: Verein Burgdorfer Jahrbuch
Band: 63 (1996)

Artikel: Wissenschaft um die Jahrtausendwende
Autor: Koblet, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1075975>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

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

Wissenschaft um die Jahrtausendwende

Hans Koblet

Heute

Wissenschaft hat in den vergangenen drei- bis vierhundert Jahren mit zunehmender Geschwindigkeit die Welt verändert. Diese Feststellung ist ein Gemeinplatz. Dennoch würde es sich lohnen, eine Liste der Änderungen zusammenzustellen. Ihr könnte man entnehmen, wie sich der Alltag der Menschen – vor allem in der nördlichen Industriewelt – umgestaltet hat und wie sehr das Denken über die Stellung des Menschen in der Schöpfung von der Wissenschaft beeinflusst worden ist. Wir könnten die Liste unterteilen in Änderungen, die aus Anwendungen hervorgegangen sind, und in Änderungen, die auf nicht anwendbarem Wissen beruhen. Anwendungen haben in unzähligen Bereichen unser Leben erleichtert, manchmal auch erschwert. Hoch- und Tiefbau, Wohnen, Energie, Wasser, Verkehr, Information, Hygiene und Seuchenbekämpfung, Medizin, Chemie und Umwelt sind zugehörige Stichworte. Die letzten weissen Flecken sind auf den Landkarten verschwunden. Die tiefsten Tiefen der Meere und die höchsten Gipfel der Gebirge sind bezwungen worden. Alle, ob urtümliche Jäger-Gemeinschaften, ob bäuerliche Gesellschaften, ob Menschen des Handwerks- und Industrie-Zeitalters, ob Tiere und Pflanzen, sind in den Strudel der Umwälzungen hineingerissen worden. Änderungen aber, die auf nicht-anwendbarem Wissen beruhen, sind unmerklich und greifen ebenso tief. Einst stand die Erde im Zentrum. Sie war einzigartig, und Gott hatte sie für die Menschen geschaffen. Heute ist die Erde ein unbedeutender Planet, der um eine Sonne kreist. Diese Sonne liegt am Rande einer Galaxis, mit unzähligen gleichartigen Sonnen. Diese Galaxis ist verloren in einem ungeheuren Raum und ist vergänglich in endloser Zeit. Einst war der Mensch, wenn auch aus dem Paradies vertrieben, Krone der Schöpfung; er hatte die Fähigkeit, Erlösung zu finden im ewigen Leben. Im Zuge der Aufklärung wurde der Mensch Erbe einer Ahnenreihe, die hinabführt in

das tierische Sein der Erdgeschichte. Noch behielt er seine Sonderstellung, da ihm Verstand und Vernunft geschenkt waren, mit deren Gebrauch er sich in lichte Höhen weiterentwickeln konnte. Die Moderne ist nüchtern und materialistisch. Der Mensch ist ein Zufallsprodukt der Evolution, und er hat keine besondere Bedeutung in der Geschichte des Lebens. Die Welt wäre Welt auch ohne ihn. Die Menschheit ist vergänglich. Ob sie sich höher entwickelt, ist fraglich. Doch hinter all den Veränderungen, die die äussere und innere Welt des Menschen umgestaltet haben, bleiben die alten Fragen unberührt – die Frage nach der Wahrheit, die Frage nach Gott, und die Frage nach dem Sinn.

Vom Wesen der idealen Wissenschaft

Das Schweizer Lexikon (Band 6, 1993) definiert Wissenschaft als «Gesamtbestand des logischen, nach bestimmten Sachgebieten geordneten Wissens; als abendländischer Begriff von den Philosophen der griechischen Antike geschaffen. Seit Descartes wird Wissenschaft nach der in ihr eingeschlagenen Methode definiert. Verbunden mit diesem neuen Wissenschaftsbegriff ist die Einengung des Wissbaren auf das in der wissenschaftlichen Methode Zugängliche, d. h. darauf, dass wahr ist, was den Gewissheitsgrad einer mathematischen Erkenntnis erreicht. Ein einheitliches, schlüssiges System aller Wissenschaften gibt es trotz zahlreicher Ansätze nicht. Nach der im deutschen Sprachbereich üblichen, auf die alte Einteilung der Wirklichkeit in Natur und Geist zurückgehenden Gliederung unterscheidet man Natur-Wissenschaften und Geistes-Wissenschaften mit ihren jeweiligen Einzeldisziplinen. Diese Einteilung wird jedoch zunehmend aufgegeben.»

Die Verwischung der Unterschiede zwischen Natur- und Geisteswissenschaften ist folgenreich. Im Prinzip befasst sich Naturwissenschaft, wie der Name sagt, mit der Natur im allgemeinen und sucht nach dauerhaft gültigen Wahrheiten, die auch Bestand hätten, wenn der Mensch nicht da wäre. Die Geisteswissenschaften untersuchen dagegen den Menschen und die menschliche Gemeinschaft und deren Motive, Handlungen und Werke. Den Geisteswissenschaften ist das Experiment und damit die Wiederholbarkeit nicht zugänglich; ihre Aussagen sind weniger kausal und eher beschreibend und enthalten demnach immer auch Vermutungen und Überzeugungen, wenn es darum geht, einen Befund zu erklären. Dieser Satz ist

keineswegs abschätzig gedacht; er will nur auf die Gefahr aufmerksam machen, dass mit der Verwischung der Unterschiede zwischen Natur- und Geisteswissenschaften die Öffentlichkeit und die Politik dem Irrglauben erliegen, jedwelche Wissenschaft vermöchte gesichertes Wissen zu erbringen. Da für mich der Begriff der Wissenschaft mit dem Verb «Wissen» direkt zusammenhängt, sind in diesem Artikel «Naturwissenschaft» und «Wissenschaft» gleichbedeutend.

Die kurze und sachliche Definition erklärt nicht, weshalb Wissenschaft so hoch geschätzt wird. Es ist ganz einfach: wir glauben, dass Wissenschaft gleich wie bildende Künste und Literatur im Idealfall zeitloses Kulturgut erzeugt. Ziel ist wahre Einsicht in die Welt, in der wir leben. Ihr Ziel ist nicht Weltbeherrschung. Anwendung mit dem Zweck des «besseren Lebens» ist sekundär. Wissenschaft hat wenig zu tun mit dem einzelnen Wissenschaftler, sie ist unabhängig von seinem Geschlecht, seinem Glauben, seiner politischen Überzeugung, seiner gesellschaftlichen Position, seinem Alter oder seiner Farbe. Es gibt keine schwarze oder feministische Wissenschaft. Wissenschaftler sollten ihre Probleme mit gebührender Distanz betrachten, einen experimentellen Ansatz zu ihnen finden und nach allgemeingültigen Lösungen suchen. Hypothesen, die einem Untersuchungsgang Weg und Methodik zeigen, und Schlussfolgerungen aus den Befunden mögen zwar falsch sein. Da aber Methode und Befunde auf der ganzen Welt wiederholt und überprüft werden können, sind Hypothesen und Schlussfolgerungen früher oder später entweder richtig oder falsch. Der Zusammenhang wachsenden Wissens, erfolgreiche Vorhersagen und technische Anwendungen bestätigen die objektive Gültigkeit älteren Wissens, auf dem wir bauen. Die Naturwissenschaften sind ihrem Wesen nach analytisch, zerlegend, messend, nicht «ganzheitlich». Sie suchen nach Ursache, Wirkung und Rückkoppelung. Wie hätten das Insulin der Bauchspeicheldrüse und der Wirkzusammenhang mit der Zuckerkrankheit mit einem «ganzheitlichen» Blick auf den kranken Menschen gefunden werden können? «Ganzheitlichkeit» ergibt sich aus der Kenntnis der Teile. Die Moden und Vorurteile der Gesellschaft sollten geringen Einfluss haben auf das, was die Gemeinschaft der Wissenschaftler als wahr anerkennt. Wohl beeinflussen die finanzielle Unterstützung und andere gesellschaftliche Kräfte die Geschwindigkeit des Wissenszuwachses, nicht aber auf Dauer die Richtung und die Ergebnisse. Die Geschichte der Diktaturen hat das gezeigt.

Dennoch ist das Weltbild der Naturwissenschaften nie endgültig. Es ist

offen für Verbesserungen und Erweiterungen. Die Grenzen des Wissens sind unbekannt. Wissenschaft muss konsistent sein. Das heisst, dass verschiedenste Methoden zu gleichen Ergebnissen führen sollten. Ein Beispiel: die Datierung der grauen Vorzeit, in der sich die Art Mensch von der Art Schimpanse trennte, kann mit molekularbiologischen Vergleichen des Erbgutes *heute* lebender Vertreter der beiden Arten vorgenommen werden. Sie ist auch möglich aus der physikalischen Altersbestimmung von Skeletteilen oder aus der geologischen Einordnung der Schicht des Fundes. Stimmen die Ergebnisse überein, so wird die Datierung glaubwürdig; stimmen sie nicht überein, so muss eine der Methoden oder die Schlussfolgerung falsch sein.

Wissenschaft kann Fachgebiete verbinden mit einer oder wenigen grossen Hypothesen. Newton zeigte, dass sich Keplers Himmelsmechanik und Galileos Physik unter den Gesetzen von Bewegung und Anziehung (Gravitation) vereinigen lassen. Die Plattentektonik (die Bewegungen unterseeischer Platten) erklärt Erscheinungen von Geologie, Geographie und Zoologie.

Oft gelingen der Wissenschaft präzise Vorhersagen. Die Astronomie hat Ort und Zeit des Einschlags eines Himmelskörpers auf dem Jupiter genau vorhergesagt. In mannigfacher Weise erinnert Wissenschaft an Kunsthandwerk. Sie reicht von der Beobachtung zum schöpferischen Gedanken («so könnte es sein», und «welche Methoden wähle ich, um zu zeigen, dass meine Idee richtig oder falsch ist?»), von der Durchführung zur Interpretation, vom Zeichnen bis zum Schreiben. Wissenschaft ist einer der letzten vollständigen Berufe, ein intellektuelles Abenteuer. Naturwissenschaften stellen die einzige geistige Instanz dar, die weltweite Anerkennung findet.

Überforderte Wissenschaft

Eine Reihe von Wissenschaften sind überfordert durch die Kompliziertheit ihres Forschungsgebietes. Soziologie, Psychologie, Politologie und Zukunftsforschung versuchen deshalb Messverfahren zu entwickeln, die ihnen die Aussagekraft von Naturwissenschaften verleihen sollten. Sie bewegen sich allerdings in so komplizierten Feldern (Psyche, Gesellschaft, Umwelt) mit vielfältigen und unklaren Kausalitätsketten, dass ihre Aussagen nimmermehr den «Gewissheitsgrad einer mathematischen Erkennt-

nis» erreichen können. Da sie einen «ganzheitlichen» Methodenansatz haben und da ihnen das Experiment nicht zur Verfügung steht, vermögen sie kaum sichere Vorhersagen zu erbringen. Mit ähnlichen Problemen kämpfen die Nationalökonomie und die Ökologie. Solange die Ökologie nicht im Sinne eines Experimentes ganze Lebensgemeinschaften in eine riesige Käseglocke verpflanzen kann, um dann geduldig einen Faktor nach dem anderen zu variieren und Gesundheit und Vermehrung jeder Art – von Bodenbakterien bis zu den Vögeln – zu messen, solange wird es ihr nicht gelingen, Sicheres über Ursachen und Wirkungen auszusagen.

Andererseits sollten nach heutiger Gepflogenheit Entscheidungsprozesse, vor allem in der Politik und in der Justiz, wissenschaftlich belegbar sein. So kommt das Wort «wissenschaftlich» in jeder öffentlichen Diskussion mehrfach vor, und sei es auch nur, um den Widersacher – der «wissenschaftliche» Gegenargumente anführt – zu übertrumpfen. Offensichtlich gibt es Wissenschaften, die wegen der Unschärfe ihrer Aussagen – bedingt durch die ungeheure Kompliziertheit ihres Gegenstandes – missbraucht oder vom Kunden überfordert werden. Man denke an die Psychiatrie in der Rechtssprechung, die Drogenpolitik, die Forstwissenschaft im Zusammenhang mit den Debatten um das Waldsterben oder an die Klimawissenschaft im Zusammenhang mit den weltweiten Temperaturveränderungen. Die uralte Erkenntnis der Menschheit, es sei mit knappen Ressourcen sparsam und dankbar umzugehen, würde eigentlich für individuelles und politisches Handeln genügen.

Gehasste Wissenschaft

Trotz dieser Wissenschaftsgläubigkeit wird die Naturwissenschaft zunehmend angegriffen. Sie sei es, die die Welt in unzumutbarer Weise verändert und entzaubert habe. Jeder Entdeckung in den Grundlagen folge die Anwendung auf dem Fuss, ungeachtet der Folgen. Naturwissenschaft sei reduktionistisch, analytisch und zerlegend, statt ganzheitlich. Die Physik habe die Nuklearwaffen entwickelt, die Chemie die Umwelt verschmutzt, und die Molekularbiologie bastle am neuen Menschen. So sei denn auch die Wissenschaftsfreiheit zu beschränken, um dem rasenden Fortschritt Einhalt zu gebieten und der öffentlichen Hand Kosten zu sparen. Andere gehen noch weiter. Die Objektivität der Wissenschaften existiere nicht. Fakten hätten keine Bedeutung. Das einzige, was in den Wissenschaften

zähle, sei Macht und Geld. Fundamentalistische Ökologen fordern uns auf, das irreführende und seichte Vergnügen am wissenschaftlichen Prozess endlich aufzugeben und zurückzukehren zum rauchlosen Herdfeuer. Es ist eine interessante, fast tröstliche Erscheinung der Geistesgeschichte, dass wir das Hohelied vom edlen Wilden und der Schäferidylle schon einmal, zu Ende des 18. Jahrhunderts, gehört haben. Natürlich sind die Naturwissenschaften reduktionistisch. Sie wählen sich einen einfachen Gegenstand als Modell. Sie schreiten fort vom Einfachen zum Komplizierten. Ohne anorganische und organische Chemie, in der sich Tausende von Chemikern mit zunehmend komplizierten Molekülen über Jahrzehnte befasst haben, gäbe es keine Biochemie; ohne Biochemie keine Molekularbiologie. Ohne Molekularbiologie hätten Wesen und Wirken von Viren nie verstanden werden können. Heute verstehen wir sie. Reduktionismus entspricht dem Prinzip der Einfachheit und Bescheidenheit. Dennoch sollten wir Wissenschaftler objektiv genug sein, berechnete Vorwürfe zu akzeptieren. Vielleicht geht es weniger um das Wissen, als um die Instrumentalisierung der Wissenschaften mit dem Ziel, so rasch als möglich Geld zu verdienen. Vielleicht sind die Wissenschaftler mit ihren komplizierten Geräten zu wenig begabt, in einfachen Worten zu erklären, worum es geht. Vielleicht erzeugen sie mit ihrer geheimnisvollen Welt der Hochenergiephysik und der Gentechnologie, der Gendiagnostik und der Gentherapie nicht nur unberechtigte Ängste. Andererseits bedarf die Erklärung naturwissenschaftlicher Gegenstände, deren Abmessungen sich vom Nanometer- (Milliardstel Meter) bis zum Lichtjahre-Bereich erstrecken, eines Publikums mit handfester Grundausbildung, das zuzuhören gewillt ist.

Wissenschaftsfreiheit

Die heute ebenfalls umstrittene *Wissenschaftsfreiheit* ist das Grundrecht, wissenschaftlich zu forschen, zu lehren und zu lernen. Aus der Überzeugung der Träger der klassischen Universitäten, wonach durch Forschung erworbenes neues Wissen direkt in den Unterricht einfließen müsse, hält sich nach wie vor die Verbindung von Lehre und Forschung. Wissenschaftsfreiheit ist Bestandteil einer umfassend verstandenen Meinungsfreiheit. An Universitäten erarbeitetes Wissen muss weltweit fließen können und sollte vor jedermann begründbar sein. Diese Freiheit verbietet dem Staat, Gegenstand oder Methoden der Forschung einzuschränken. Ent-

sprechend anderer Grundrechte kann aber de facto auch die Wissenschaftsfreiheit begrenzt werden, wie die hitzigen Diskussionen um die Gentechnologie oder Tierversuche belegen. Offensichtlich ist gegen die Jahrtausendwende hin die Wissenschaftsfreiheit Gegenstand einer Güterabwägung mit anderen Grundrechten (z.B. Achtung der Menschenwürde) geworden. Es ist nicht ohne Ironie, dass dabei materielle Wissenschaften mit hoher Logik, Plausibilität und Anwendbarkeit («harte Wissenschaften» wie Physik, Chemie, Biochemie, Zell- und Molekularbiologie) «weichen Wissenschaften» (Jurisprudenz, Psychologie, Soziologie, Theologie) mit hohem Glaubensgehalt unterworfen werden. Es gibt ja keine wissenschaftlich-objektiven Kriterien, um den Stellenwert eines Grundrechtes abzuschätzen. Wie irrational die Diskussion in einem säkularen Zeitalter werden kann, stellen wir anhand der Tatsache fest, dass die befruchtete Eizelle im Reagenzglas dem wissenschaftlichen Versuch entzogen, die befruchtete Eizelle im Mutterleib aber im Rahmen der Fristenlösung zur Disposition gestellt werden soll.

In den westlichen Industriestaaten ist demnach um die Jahrtausendwende eine Diskussion entbrannt, die seit langem feststehende Begriffe in Frage stellt.

Wissenschaft und Verantwortung

Die Verhaltensregeln im «inneren Kreis» der Wissenschaftler sind bekannt und anerkannt. Etwas ganz anderes ist die Frage nach der Verantwortung der Wissenschaften «gegenüber der Welt». Ist es so, wie Carl Friedrich von Weizsäcker 1980 formuliert hat, dass «die Wissenschaft für ihre Folgen verantwortlich ist»? Ethik hat heute Konjunktur und gibt Soziologen, Philosophen, Theologen und Juristen Brot. Gibt es eine allgemeine Theorie der Verantwortung? Gilt das Prinzip der Verantwortung nur für Forscher und Ingenieure? Sollen Wissenschaftler die Suche nach Genen aufgeben, die für bösartige Geschwülste disponieren, weil gentechnische Verfahren theoretisch einmal Schaden anrichten könnten? War Einstein verantwortlich für den Einsatz der Atombombe, die Politiker bestellt und bezahlt haben, weil er die berühmte Formel $E = m \times c^2$ entwickelt hat? Ist Arber verantwortlich für den unaufhaltsamen weltweiten Siegeszug gentechnischer Verfahren in Industrie und Universitäten, weil er untersuchte, wie sich Bakterien gegen eindringende Viren schützen, und er dabei

Enzyme entdeckte, die Erbgut an bestimmten Stellen zerschneiden können? Ist es nicht so, dass die Wissenschaften von Politikern, Öffentlichkeit und Medien nur dann zur Rechenschaft gezogen werden, wenn in Folge der Anwendung ihrer Entdeckungen und Erfindungen Risiken, Gefahren und Nachteile auftauchen? Erwartet dieselbe Öffentlichkeit von den Wissenschaftlern und Technikern nicht, dass sie Heilmittel gegen AIDS und Krebs und hohen Blutdruck und Alter, Autos ohne Abgase und Kühlschränke ohne Kühlmittel erfinden? Spricht sie nicht nur dann von Verantwortung, wenn es um Waffen, um das Ozonloch, um das Waldsterben oder um Genmanipulation geht? Die Öffentlichkeit will alles, Gesundheit, hohes Alter, Wohlstand und Bequemlichkeit – der Verantwortung enträt sie sich. So formuliert eine Modell-Studie des EJPD vom 30. 10. 1985 zur neuen Bundesverfassung: Recht auf Leben, körperliche und geistige Unversehrtheit; Bildung und Weiterbildung; volle Entfaltung der menschlichen Persönlichkeit; kulturelles Leben; Sicherheit; umweltschonende, breitgefächerte Energieversorgung; Recht auf Arbeit; Recht auf angemessene Wohnung. Lässt sich das Gute für den einen wie auch für alle so eindeutig definieren? Es gibt keine Gedanken oder Taten, deren Folgen klar und umfassend vorhersagbar sind und die nur Gutes bewirken. Entscheidend ist die gute Absicht, der gute Wille. Mephistopheles war seit Beginn dabei, *«ein Teil von jener Kraft, die stets das Böse will und stets das Gute schafft»* (Goethe, Faust I). Wem soll bei Publikationen die Verantwortung zugeordnet werden, wenn sie die Namen von zwanzig und mehr Autoren tragen, die Institutionen auf allen Kontinenten angehören? Können diese Institutionen moralische Institutionen sein? Fragen über Fragen. Verantwortung ist immer persönlicher Natur. Jeder in der Gesellschaft trägt Verantwortung bei der gedankenlosen Anwendung wissenschaftlicher Ergebnisse und technischer Erfindungen und bei seiner Erwartungshaltung. Institutionen aber könnten bestenfalls in ein Legalitätsprinzip eingebunden werden, wenn es Juristen gäbe, die von Naturwissenschaften etwas verstünden.

Wissenschaft als Lebensform

Es sollte das Ziel jeder Forschungsgruppe sein, internationale Anerkennung auf ihrem Fachgebiet zu erreichen. Internationale Anerkennung durch die Fachkollegen bedeutet, dass die Publikationen überhaupt gelesen und als Bausteine weiterer Arbeiten verwendet und im Schrifttum zitiert wer-

den; dass Angehörige der Gruppe zu Vorträgen oder Übersichtsarbeiten jenseits der Landesgrenzen eingeladen werden; dass ihnen das Recht eingeräumt wird, sich an Kongressorganisationen zu beteiligen und Referenten zu verpflichten. All das sollte nicht Selbstzweck auf dem Wege zum Ruhm sein, der ohnehin in raschlebigiger Zeit vergänglich ist. Internationale Anerkennung ist die Quittung der Fachwelt für die Zuverlässigkeit und Qualität der Arbeit, erlaubt Gedankenaustausch mit den oft weit verstreuten Fachkollegen, ergibt Hinweise auf Trends und nicht leicht ersichtliche methodische Verbesserungen und manchmal Absprachen zur Zusammenarbeit. Vor allem ermöglicht Anerkennung den Zugang der Jungmannschaft zu internationalen Anlässen, zum Stellenmarkt und zur Weiterbildung. Die Ausbildung des Forschungsnachwuchses zur Professionalität im Sinne des zuvor beschriebenen Ideals sollte früh, schon bei einer ernsthaften, ca. drei Jahre dauernden Doktorarbeit beginnen.

Internationale Anerkennung – auch nur im Bereich des engen Fachgebietes – ist heute schwer zu erreichen. Die ausländische Konkurrenz in USA, Westeuropa und Japan ist hoch professionalisiert, und in der wissenschaftlichen Papierflut drohen sporadische Arbeiten schlicht unterzugehen. Allein im biomedizinischen Bereich bezifferte sich die Zahl der publizierten Arbeiten von 1966 bis 1970 auf 986 670; die Zahl nahm linear zu auf ein Total von 1 801 430 für die Jahre 1991 bis 1995. Im Bereich der Grundlagen-Virologie betrug der Umfang der besten Monatszeitschriften im Januar 1995: Journal of Virology 620 Seiten; Virology 785 Seiten; Journal of General Virology 230 Seiten; Archives of Virology 212 Seiten. Wöchentlich erscheint ein dickes Heft von mehreren hundert Seiten mit den biomedizinischen Publikationen der Woche, enthaltend nur die Inhaltsverzeichnisse der besseren, internationalen Hefte mit den Autorenadressen und den Stichwörtern («Current Contents»). Stetsfort werden Fachzeitschriften neu gegründet. Niemand kann diesen Wust verdauen. Der Wissenschaftler beschränkt sich auf die besten Journale und sucht die für die eigene Arbeit wichtigen Publikationen. Er ist hoch spezialisiert. Längst bearbeiten international erfolgreiche Arbeitsgruppen grundlagenmässig nur noch einen Virustyp – z. B. HIV-1 oder Influenzaviren Typus A – und nimmermehr das Gesamtgebiet der Virologie. Es wird verständlich, dass internationale Anerkennung nur zustande kommen kann, wenn es einer Arbeitsgruppe gelingt, regelmässig in reputierten Fachzeitschriften zu publizieren. Was heisst «reputiert»? Reputiert ist eine Fachzeitschrift, die weltweit studiert wird. Sie verfügt über ein «Editorial board», bestehend

aus Fachleuten zu jedem Teilgebiet einer Disziplin, die ein eingereichtes Manuskript an mehrere Spezialisten, somit an Konkurrenten der Autoren, weiterleiten. Diese beurteilen für die Autoren anonym die Arbeiten («Peer Review») und schlagen in oft ausführlichen Gutachten den Editoren vor, ob die Arbeit angenommen, überarbeitet oder abgelehnt werden soll. Dass Arbeiten auch im formalen Bereich tadellos und in englischer Sprache abgefasst sein müssen, ist selbstverständlich. Arbeiten, die nichts Neues bringen, werden abgelehnt. Der grössere Teil der eingereichten Arbeiten wird zurückgewiesen oder zur Revision zurückgeschickt.

Ablehnung einer Arbeit ist für die Autoren eine schmerzhaft Angelegenheit. Ablehnung bedeutet oft Verlust längerer experimenteller Bemühungen im Labor (Löhne, Waren, Zeit). Ablehnung verkleinert den Leistungsausweis bei der Einreichung von Gesuchen um Forschungsfinanzierung oder bei Stellenbewerbungen. Aber die «Peer Review» ist bis dahin die einzige Möglichkeit, der Flut einigermaßen Herr zu bleiben und Qualität auszulesen.

Was heisst «regelmässig» publizieren? Regelmässig heisst, dass im Schnitt halbjährlich eine Arbeit pro Arbeitsgruppe in einer guten Fachzeitschrift erscheinen sollte. Nur so wird die Fachwelt allmählich auf die Namen einer Gruppe aufmerksam. Dieser Prozess dauert erfahrungsgemäss gegen zehn Jahre. Hieraus lässt sich ungefähr berechnen, wie gross eine naturwissenschaftlich arbeitende Forschungsgruppe – die ein Thema bearbeitet – sein sollte. Man schätzt die Dauer der reinen Laborarbeit, bis die Ergebnisse hieb- und stichfest sind und Schlussfolgerungen im Rahmen eines Teilziels möglich werden, so dass Publikationsreife erreicht ist, bei einem erfahrenen Assistenten auf ein bis zwei Jahre, bei einem Doktoranden auf zwei bis drei Jahre. Das ergibt eine Gruppengrösse von etwa zehn Personen, mit einem Chef, einem Oberassistenten, zwei Assistenten, drei Doktoranden, einer Cheflaborantin (Logistik!), einer Hilfskraft und einer Sekretärin. Mehr als zwölf Personen ist von Übel, weil der Fortgang der Arbeiten und die Ausbildung vom Chef nicht mehr sachgerecht bewältigt werden können. Somit lässt sich auch abschätzen, was eine international kompetitive Forschungsgruppe – ohne Aufwand für Verbrauchsmaterial, Maschinen und Reisen – etwa kostet. Der Betrag dürfte heute auf über Fr. 600 000.– im Jahr steigen.

Weder Oberassistenten noch Assistenten und Doktoranden verfügen über Dauerstellen; diese Positionen sind zeitlich beschränkte Ausbildungsstellen (3–6 Jahre). Erfolg kann nur in der Gruppe erreicht werden; somit ver-

fügen lediglich der Chef und eventuell der Oberassistent auf dem Weg zur Habilitation über Wissenschaftsfreiheit («Wahl des strategischen Ziels»). Eine Gruppe kann sich angesichts der Konkurrenz und der Notwendigkeit gemeinsamer Diskussionen, Methoden und Ausbildung Zersplitterung gar nicht leisten. Arbeitsteilung ist nötig. Der Weg in die akademische Freiheit ist für jemanden, der einen ausschliesslich wissenschaftlichen Weg an einer Universität wählt, beschwerlich und abenteuerlich. Mehrere Stationen im Inland und im Ausland sind zu durchwandern, um mit steigendem Können, zunehmender Erfahrung und Anerkennung jedesmal ein Stück Freiheit zu gewinnen. Für die Habilitation («Privatdozent» mit dem Recht, eigenständige Vorlesungen zu halten), die spätestens im Alter von 40 Jahren erreicht werden sollte, bedarf es bereits eines originellen Werks. Aber auch diese Stufe gewährt noch keine Sicherheit; sie ist nur Voraussetzung für eine allfällige Professur, wenn eine passende Stelle frei wird. Der Publikationsdruck ist erheblich; Publikationen sind der einzige sichere Leistungsausweis des Wissenschafters («Publish or perish»). Somit ist es vornehmste Pflicht der Chefs, durch sorgfältige Wahl der Ziele und der Mittel die Mitarbeiter zum Erfolg zu führen. Angesichts der professoralen Tätigkeiten und Pflichtenhefte (Unterricht für Studenten, Ausbildung der Mitarbeiter, Forschung, Administration, Tätigkeit in den Fakultäten, Gutachten, Kommissionen, evtl. privatärztliche Tätigkeit) wird die Erfüllung dieser Pflicht zunehmend in Frage gestellt.

Nicht zuletzt ist der wissenschaftliche Prozess ein Weg des Vertrauens. Wissenschaftliche Arbeit ist sinnlos, wenn sie aufgrund von Publikationsdruck und Zukunftsangst geschönt oder ganz oder teilweise gefälscht wird. Das Vertrauen in einer Gruppe wird tief gestört, wenn sich Chefs oder Kollegen an den Ideen und Ergebnissen der anderen zu bereichern versuchen, z.B. dadurch, dass sie ihren Namen auf eine Publikation setzen, ohne selbst Wesentliches beigetragen zu haben. Die «Peer Review», die anonym verläuft, um Gehässigkeiten zwischen Autoren und Gutachtern zu vermeiden, beruht auf Vertrauen. Für den Gutachter müssen fremde Ideen und Ergebnisse tabu sein; andererseits sind die Verdikte als ehrliche Hilfe der Gutachter entgegenzunehmen. Es gibt viele Formen des wissenschaftlichen Fehlverhaltens – milde und grobe, und Chefs sollten sie unter keinen Umständen, selber beispielgebend, tolerieren. Schliesslich sollten aus dem wissenschaftlichen Prozess nicht nur Publikationen, sondern auch redliche, höfliche, eigenständige und urbane Persönlichkeiten hervorgehen und keine rücksichtslosen oder kriecherischen Menschen. Aber es liegt auf der

Hand, dass angesichts der Sachzwänge bei schrumpfendem Stellenmarkt und sich vermindern den öffentlichen Forschungsmitteln der internationale Kampf um Publikationen und Positionen immer schärfer wird. Nicht ohne Grund hat das «Committee on the Conduct of Science» der amerikanischen Akademie der Wissenschaften 1989 die Charta des Wissenschafters («On being a Scientist») herausgegeben, in der die schwer ins Recht zu fassenden Regeln des akademischen Anstandes festgehalten sind. Wissenschaft als Lebensform verbindet Rationalität mit Tugenden wie Wahrhaftigkeit, Fähigkeit zu Kritik und Selbstkritik und hat eine Subkultur mit eigenem Normensystem geschaffen.

Verrückte Geschichten

Bis dahin Gesagtes soll illustriert werden mit einem Beispiel eines modernen Forschungsprojektes. Das Beispiel zeigt, welche Voraussetzungen und Eigenschaften Naturwissenschaftler zum Erfolg führen können.

Am Anfang stehen einige unzusammenhängende *Beobachtungen* und *Tatsachen*. Lange schon waren Krankheiten bekannt, die nach stummem, später nach chronischem Verlauf zu Bewegungsstörungen und zu Demenz (Verblödung) führen. Es handelt sich um degenerative Krankheiten des Zentralnervensystems bei Mensch und Tier, die unweigerlich zum Tode führen. Sie werden zusammengefasst unter dem Titel der «spongiformen Encephalopathien», zu deutsch der «schwammartigen Gehirnkrankheiten», weil sich im Gross- und Kleinhirn höhlenförmige Defekte ausbilden. Beim Menschen sind vier solche Krankheiten bekannt: Kuru, die Creutzfeldt-Jakobsche Krankheit, das Gerstmann-Sträussler-Syndrom und die tödliche familiäre Schlaflosigkeit; bei Tieren sind es Scrapie der Schafe und Ziegen, die übertragbare Encephalopathie der Nerze, der Elche, der Katzen und der Rinder («Rinderwahnsinn»). Da die Ursachen unbekannt waren, war auch unklar, ob eine zusammenfassende Gruppierung gestattet sei. Wie die Namen andeuten, schienen die Ursachen unterschiedlich («familiär», erblich? «übertragbar», infektiös?). Wer möchte die *Ursachen* nicht kennen (*wissen*)? In der Tat gab es Hinweise auf infektiöse Ursachen. Kuru (der lachende Tod) trat bei einem Hochland-Papua-Stamm auf, der rituellen Kannibalismus durch Verzehr des Gehirns Verstorbener pflegte. Nach 3 Monaten bis 1 Jahr erschienen die genannten Krankheits-symptome (beschrieben um 1960). Dann wurde das Ritual verboten, und

heute werden kaum mehr neue Fälle festgestellt. Bei der Creutzfeldt-Krankheit wurden rare Fälle nach chirurgischen Eingriffen, nach Transplantation der Hornhaut des Auges oder nach Injektion von Wachstumshormon (aus menschlichen Hypophysen) beschrieben. Die stumme Phase dauert 1–10 Jahre. Auch beim Rinderwahnsinn, dem allein in England mehr als 130 000 Rinder zum Opfer fielen, gab es Anhaltspunkte für eine Infektionskrankheit. Die epidemische Krankheit griff um sich, nachdem Ende der siebziger Jahre die Verfahren zur Herstellung von Futtermittelzusätzen aus Fleisch- und Knochenmehl von Schafen (Scrapie!) geändert worden waren. 1986 wurden solche Zusätze verboten. Seit da geht die Zahl der Neuerkrankungen dauernd zurück. Also Infektionskrankheiten? Andererseits sind rund 100 Familien bekannt, in denen die Creutzfeldtsche Krankheit in vererblicher Form auftritt. Hie und da kommt die Krankheit sporadisch vor ohne Hinweis auf Infektion oder Vererbung. Ähnliches gilt für das Gerstmann-Syndrom (rund 50 Familien) und die familiäre Schlaflosigkeit (rund 9 Familien). Also verschiedene Ursachen mit gleichen Symptomen? Soweit die Ausgangslage, *systematisch* zusammengestellt aus vielen verstreuten Einzelbeobachtungen in der *Literatur*. Nun machten sich Mikrobiologen an die Arbeit. Aufgrund von *Erfahrung* und *Logik* kann eine Krankheit nur dann als eine Infektionskrankheit bezeichnet werden, wenn es gelingt, den Erreger aus einem infizierten Organismus zu isolieren – «rein darzustellen» – und auf gesunde Organismen (derselben Art) zu übertragen, in denen er sich vermehrt und die gleichen Symptome erzeugt. Mit Gehirn von Schafen mit Scrapie glückte das *Experiment* der Übertragung auf Schafe. Damit war aber erst belegt, dass es sich *lohnt*, nach einem Erreger zu fahnden. Man kann sich vorstellen, welcher *Mühe* und *Hartnäckigkeit*, welcher *Geduld* und *Zähigkeit* es bedurfte, den «Erreger» aus Hamstergehirnen zu isolieren – allein schon wegen der langen Inkubationszeiten (Monate) bei den Versuchstieren. Prusiner (Universität Californien, San Francisco) brauchte hiezu rund 8 Jahre (1974–1982). Nun aber begannen erst die *Zweifel*. Es lohnt sich, die Geschichte fortzusetzen, weil die Absonderlichkeiten hier beginnen. Vorerst aber ist eine Erläuterung nötig, damit das Folgende verständlich wird.

Alle Organismen bis hin zu Pflanze, Tier und Mensch bedürfen eines artgerechten Erbgutes. Das Erbgut entspricht der Gesamtheit aller Gene eines Organismus. Erbgut als fadenförmiges Riesenmolekül (mit dem chemischen Namen Desoxyribonukleinsäure, DNA) besteht aus der linearen Abfolge fest verknüpfter chemischer Bausteine (4 Typen von sog. Nukleo-

tiden). Diese Abfolge legt ihrerseits die lineare Abfolge (Sequenz) der fest verknüpften Bausteine (20 Typen von sog. Aminosäuren) der Proteine fest. Mehrere hundert Aminosäuren können in einem Protein vorhanden sein. Jedem Gen entspricht ein zugehöriger Proteintyp. DNA wird von vielen Viren, allen Bakterien, allen Pilzen, allen Pflanzen, allen Tieren und vom Menschen als Erbgut verwendet. Der Unterschied zwischen diesen Lebensformen liegt nicht in der chemischen Natur der Nukleotide, sondern in der Anzahl der Gene und deren Information. Im Prinzip sind um so mehr Gene im Erbgut vorhanden, je «höher» ein Organismus (eine Art) in der Lebewelt und in der Geschichte des Lebens steht. Die Zahl der Nukleotide im menschlichen Erbgut wird auf 3 Milliarden veranschlagt. Das entspricht einer Gesamtlänge von 1 Meter. Bis heute ist unklar, wieviele Gene darin enthalten sind. Akzeptierte Schätzungen nennen 100 000. Ein einfaches Virus verfügt über nicht mehr als rund 10 000 Nukleotide und 8–10 Gene. Bei vielzelligen Organismen wie beim Menschen sitzt das komplette Erbgut nicht nur in den Geschlechtszellen, sondern in allen Zellen. Gene haben keine Funktionen im Stoffwechsel; sie repräsentieren die Bauanleitungen für die ihnen eigenen Proteine. Sie sind informatorische Einheiten. Jeder Proteintyp hat dagegen seine individuelle Funktion. So kopieren z. B. bestimmte Proteine mit jeweils charakteristischer unveränderlicher Aminosäuren-Sequenz das Erbgut vor jeder Zellteilung. Alle Lebewesen müssen Gene und somit die entsprechenden Proteine enthalten, die bei der Vermehrung von Zellen Erbgut kopieren, das heisst Nukleotide in getreuer Abfolge verknüpfen können. Erbgut kopiert sich nicht von selbst. Gewisse Proteine kommen in Zellen reichlich vor, wie z.B. der rote Blutfarbstoff Haemoglobin der roten Blutkörperchen, dessen Funktion der Transport von Sauerstoff von der Lunge in die verschiedenen Organe ist. Viele Haemoglobin-Moleküle mit identischer Anzahl und Sequenz der Aminosäuren sind zugleich in einem roten Blutkörperchen. Proteine werden unter dem Diktat der Gene dauernd auf- und abgebaut, so dass jeder Typ in einer funktionsgerechten Konzentration vorliegt. Alle Organismen und Arten, beginnend bei den Bakterien, bilden Zellen; diese sind im Mikroskop leicht sichtbar. Damit eine Leberzelle ihre vielfältigen Funktionen im Stoffwechsel ausführen kann, braucht sie mehr als 10 000 Proteintypen, die wohlgeordnet in der Zelle zeitlich und räumlich koordiniert sind. Die Zusammenarbeit aller Proteine eines Organismus erzeugt dessen Zellen und Strukturen (Kopf, Brust, Bauch, Arme und Beine), Organe (Leber, Niere, Gehirn) und Funktionen (Fett-, Zucker- und

Proteinstoffwechsel, Gehen, Essen, Trinken, Denken). Ein Virus mit seinen wenigen Genen kann keine Zellen bilden. Es reicht gerade für eine winzige geometrische Struktur, die nur im Elektronenmikroskop sichtbar wird. Seine genetische Information ermöglicht die Vermehrung und Verpackung des Erbgutes, die Form und die Infektiosität. Ein Virus vermag seine Proteine nicht selbständig herzustellen. Das müssen die befallenen Zellen des höheren Organismus für das Virus unter Diktat des viralen Erbgutes bewerkstelligen. Aber ohne Erbgut könnte sich ein Virus im infizierten Organismus niemals vermehren, weil ja die Bauanleitung – die Information – für die Bildung der genauen Aminosäuren-Sequenzen seiner wenigen Proteine fehlen würde. So gibt es denn in der heutigen Lebewelt Millionen von verschiedenen Proteintypen. Alle bestehen aus Aminosäuren in typischer Zahl und Folge, und alle entspringen der Information ihres Gens. Das Erbgut ist gleichsam dauerhaftes, vererbliches Gesetz. Die Proteine sind vergängliche, ausführende Moleküle, die die Vermehrung des Erbgutes, den Aufbau von Strukturen und die Stoffwechselvorgänge bewirken. Wird in einem Gen der Informationsgehalt geändert, so kann die Aminosäure-Sequenz des zugehörigen Proteins verändert werden (Mutation). Dabei kann das Protein seine Funktion ändern oder verlieren. Trifft die Veränderung bei Pflanze, Mensch oder Tier Gene in Geschlechtszellen, so kann eine vererbte Krankheit auftreten. Aus all diesen Gründen sind drei Dogmen der Mikrobiologie formuliert worden. Sie lauten: 1. Es gibt keine Infektionserreger ohne Erbgut, handle es sich um Viren, Bakterien, Parasiten, Pilze oder Würmer. Infektionserreger müssen sich im infizierten Organismus vermehren; erst ihre Masse erzeugt Krankheit. 2. Infektionskrankheiten werden horizontal durch Ansteckung verbreitet. Das eingebrachte Erbgut des Erregers schädigt aber (in der Regel) die folgenden Generationen des Infizierten erbgangsmässig nicht. Wie sollte also ein infektiöses Prinzip bei den oben genannten Krankheiten, deren Symptome bei Mensch und Tier so ähnlich sind, einmal eine Infektionskrankheit, ein anderes Mal eine Erbkrankheit erzeugen? 3. Reine Proteine bewirken keine Infektionskrankheiten. Gewisse Proteine können zwar giftig sein, aber sie vermehren sich nicht wie Infektionserreger. Sie sind tote Produkte lebender Organismen, aber eben nicht lebende Organismen.

Kehren wir nun zurück zu unserer Geschichte. Die Absonderlichkeit, die den *Zweifel* der Wissenschaftler und den *Unglauben der Fachwelt* hervorrufen musste, war, dass Prusiner um 1982 nach dem Reinigungsvorgang

als infektiöses, *sich vermehrendes* Prinzip einen einzigen Typ eines reinen Proteins in Händen hatte – ohne Spuren eines Erbgutes. Das war kein Gift: es wirkte erst binnen Monaten. Prusiner nannte sein infektiöses Prinzip «proteinaceous infectious particle» oder Prion und das Protein, das er schliesslich isoliert hatte, Prion-Protein oder PrP. *Zweifel* waren zwingend: wo war die Information für den Aufbau der PrP-Aminosäuren-Sequenz, da doch kein Erbgut vorhanden war? Hatte man nach einer Dekade schweisstreibender Arbeit Erbgut mitisoliert, aber nicht nachgewiesen? Hatte man ein Virus mitgereinigt? Oder schuf das PrP einfach die Voraussetzung für eine Infektion mit einem andersartigen Erreger? Oder war das Gen für PrP gar im infizierbaren Organismus selbst? Es bedarf gehörigen *Mutes* und starker *Überzeugung*, bis dahin *sauber gearbeitet* zu haben, und erklecklichen *Glaubens* an eine *Idee*, gegen *Dogmen* anzurennen, die nicht von Dummköpfen aufgestellt worden waren. Ein reines Protein, das nicht wie ein Gift, sondern wie ein lebendiger Infektionserreger wirkte und sich im infizierten Organismus zu vermehren schien, war bis dahin völlig unbekannt. Die Wissenschaftler verfügten über das *modernste Instrumentarium*, verwendeten es und kamen nun rasch vorwärts. Sie ermittelten die Aminosäuren-Abfolge von PrP, schufen mit dieser Information Proben zum Auffinden von Genen («Reverse Genetik») und fanden, dass alle Säuger und auch der Mensch das PrP-Gen im Erbsatz enthalten und PrProtein bilden. Neue Fragen! Wie ist es möglich, dass wir alle ein infektiöses, bei der Infektion erbgutfreies und doch vermehrungsfähiges Protein mit Information des eigenen Erbgutes aufbauen, ohne krank zu werden? Sollte etwa PrP in zwei verschiedenen Formen, zwei verschiedenen dreidimensionalen Faltungsmustern (Konformationen) mit jeweils gleicher Aminosäuren-Abfolge vorkommen, einer normalen, nicht infektiösen, nicht krankmachenden Form (zelluläres PrP) und einer abnormalen, infektiösen, krankmachenden Form («Scrapie-PrP»)? Für diese *phantasievolle Hypothese* sprach, dass zelluläres PrP mit gewissen proteinspaltenden Enzymen verdaut und in seine Aminosäure-Bestandteile zerlegt werden konnte, «Scrapie-PrP» aber nicht. Das erklärt, dass «Scrapie-PrP» gegessen und unverdaut aufgenommen werden kann (Infektion!). Das erklärte indessen nicht, weshalb sich das infektiöse PrP im infizierten Organismus vermehrt. Die weitere phantasievolle Annahme besagte, dass «Scrapie-PrP» nach der Aufnahme (Futter, Transplantation) unverändert ins Gehirn verfrachtet wird, sich dort ans zelluläre PrP anlagert und dieses in die krankmachende Form überführt. Da die Normalform unter der Wirkung ihres Gens fort-

laufend gebildet wird und da die krankmachende Form nur schlecht abgebaut werden kann, muss sich diese ununterbrochen vermehren. Dieser Prozess braucht Zeit, eine längere Inkubation. Alles spricht heute für diese Annahme. Züchtet man mit gentechnischen Methoden Hamster, denen das PrP-Gen fehlt, und infiziert sie mit «Scrapie-PrP», so erkranken sie nicht. Offensichtlich fehlt das zelluläre PrP, das durch «Scrapie-PrP» in die krankmachende Konformation überführt werden kann (Weissmann, Zürich). Ironie in der Forschung: Hamster ohne zelluläres PrP sind überhaupt in jeder geprüften Beziehung gesund, und bis zum heutigen Tag bleibt unbekannt, welchem Zweck dieses bei allen Säugern vorkommende Gen dient und weshalb es da ist.

Und wie steht es mit den vererbten und den sporadischen Formen der Krankheit beim Menschen? Nach heutigem Stand beruhen diese Krankheiten auf Mutationen im zellulären PrP, das dadurch verformt wird, so dass es sich spontan in die krankmachende Konformation umwandelt. Es wird dabei infektiös. Transgene Tiere, die neben dem normalen Gen zusätzlich ein mutiertes PrP-Gen enthalten, werden krank. Das aus ihrem Gehirn isolierte, erbgutfreie Protein ist infektiös. Gehirnextrakte von Opfern der vererbten Creutzfeldtschen Krankheit und des Gerstmann-Syndroms führen zur Erkrankung von Tieren. So wären also auch Kuru und Scrapie einst spontan entstanden.

Mehrfach wurde angedeutet, dass die Infektion die Artgrenzen überspringen kann. Ist der Verzehr von Rindfleisch durch den Menschen gefährlich? Die Übertragung erscheint wenig wahrscheinlich. Erkrankte Tiere werden ausgemerzt. Man weiss heute, wie die Ansteckung der Tiere vermieden werden kann. Die Ansteckungsgefahr über die Artgrenze hinaus wird um so kleiner, je weniger verwandt die Arten miteinander sind. Das Rind/Schaf-PrP unterscheidet sich von demjenigen des Menschen aufgrund der evolutiven Divergenz schon stark. Vom Genuss rohen Rindfleischs sei dennoch abgeraten, bis die Epidemie wirklich erloschen ist.

Es ging mir darum, dem Leser ein Stück modernster Forschungsgeschichte näherzubringen und ihm die Faszination grundlagenwissenschaftlicher Naturwissenschaft zu zeigen. Gegen die Jahrtausendwende wurde mit modernsten Methoden der Biologie ein neues Infektionsprinzip entdeckt. Das verdanken wir exakten Beobachtungen und der Neugierde, der systematischen Analyse der Literatur, der Erfahrung, der Logik, dem Beherrschen der Methodik, der unbestechlichen Sauberkeit der Arbeit, aber auch der Hartnäckigkeit und der Phantasie.

Die Rolle des Zweifels an Idee und Methode – des Zweifels am Dogma und an sich selbst – sowie des berechtigten Zweifels der Fachwelt wurde betont. Das Fallbeispiel zeigt noch mehr. Nur selten werden frühere Schlussfolgerungen der modernen Naturwissenschaften für falsch befunden. Die genannten Dogmen der Mikrobiologie wurden nicht widerlegt; sie wurden vielmehr ergänzt. Darüber hinaus: moderne Forschung muss spezialisiert, kompetitiv und voll professionalisiert sein. Im Leben eines Wissenschafters sollte ein roter Faden, ein Leitthema, sichtbar werden – wenige Themen, aber in die Tiefe. Das Hin und Her von Thema zu Thema mag Publikationen bringen, aber nichts von Belang. Das alles sind zeitlose Grössen der Wissenschaft mit Gültigkeit über die Jahrtausendwende. Nicht zu vergessen sei der grosse Verbund der Beteiligten bis hin zur Finanzierung solcher Forschung und bis hin zur Industrie, die die Maschinen und die Chemikalien fertigt.

Noch mehr: Ideen und Lösungen müssen reifen. Die Ursachen der genannten Krankheiten hätten früher nicht geklärt werden können, weil weder Ideen zur Lösung des Problems noch das technische Instrumentarium vorhanden waren.

Morgen

Probleme neuer Art werden Wissenschaft und Technik herausfordern. Die Zunahme der Weltbevölkerung ist dramatisch. Um 1950 betrug der Zuwachs rund 40 Millionen pro Jahr, um 1980 80 Millionen pro Jahr; heute beträgt er beinahe 100 Millionen pro Jahr. Etwa 100 bis 500 Millionen Menschen sind auf Wanderung. Die Hälfte der Weltbevölkerung lebt im Jahre 2000 in Städten. Endlose Ketten kleinerer und grösserer ökologischer Änderungen werden die Folge sein im Zusammenhang mit Landwirtschaft, neuen Produktionsweisen, Wasser- und Waldwirtschaft, Ressourcenkonzentration, Abfall, Energie und menschlichem Verhalten. Die genetische Vielfalt wird zunehmend gefährdet. Das Nahrungsmittel Fisch wird in den kommenden 15 Jahren knapp werden, falls die Überfischung der Weltmeere andauert. Während der letzten 40 Jahre ging ein Drittel der bebaubaren Ackerfläche durch Erosion verloren; der Verlust beträgt zur Zeit 10 Millionen Hektaren pro Jahr. Für eine ausreichende Ernährung schätzt man einen Bedarf von 0,5 Hektaren Ackerfläche pro Kopf. Schon heute stehen nicht mehr als 0,27 Hektaren zur Verfügung. Neue Produk-

tionsweisen werden deshalb aufkommen. Gentechnische Erzeugnisse in der Landwirtschaft und biotechnische Verfahren, z. B. in der Fischzucht, werden sich zwingend durchsetzen. Angesichts dieser Probleme fragt man sich beklommen, ob die erkenntnistheoretisch orientierte Forschung in gleichbleibendem Umfang finanziert werden wird.

Was erwarten denn die Wissenschaftler und die gebildeten Laien von der Wissenschaft der nächsten Jahrzehnte über die Jahrtausendwende hinaus? Der Autor ist kein Prophet. Er kann nur Lücken im Wissensgut aufzeigen. *Astrophysik*, *Astronomie* und *Kosmologie* nehmen aus guten Gründen an, dass das Universum in einer Explosion («Urknall») entstanden ist und seit-her expandiert. Weder das Universum als Ganzes noch dessen Galaxien («Milchstrassen»), noch deren Sterne, noch die um Sterne kreisenden Planeten, noch Leben, das auf Planeten haust, ist statisch. Alles evolviert, ändert sich, wird und vergeht. Kommt die Expansion des Universums einmal zum Stillstand? Zieht es sich wieder zusammen in dem einen Punkt, aus dem es einst hervorging? Das hängt ab von der kritischen Masse. Nur wenn die Masse der im Universum verteilten Materie gross genug ist, so kommt die Expansion unter der Wirkung der gegenseitigen Anziehung zu einem Ende. Die bis heute gefundene Gesamtmasse beträgt weniger als 1% der kritischen. Gibt es also fehlende, bis dahin nicht erfasste Materie? Einer der Gründe für die Annahme des Urknalls ist die Tatsache, dass sich alle Sternsysteme voneinander entfernen – wie Punkte auf einem Ballon, der aufgeblasen wird. Die Geschwindigkeit dieser Bewegungen ist um so grösser, je weiter die Objekte entfernt sind: die Geschwindigkeit v ist proportional über die Hubble-Konstante H mit der Distanz r ($v = H \cdot r$). Die Grösse von H ist noch immer nicht sicher. Von der Kenntnis der Masse und von H hängt aber die Ermittlung des Alters des Universums ab. Sollte sich herausstellen, dass das Universum jünger ist als etwa 12 Milliarden Jahre, so wäre es jünger als die ältesten Sterne in unserer Milchstrasse. Das Alter dieser Sterne beträgt 14–16 Milliarden Jahre. So stellt sich bereits die Frage, ob es nicht Episoden der Neuschöpfung von Materie in einem zeitlich und räumlich unbegrenzten Universum gibt.

Die *Partikel-* und *Hochenergiephysik* wird sich weiterhin mit der inneren Struktur der Elementarteilchen, der Neutronen und der Protonen, befassen und den Kräften, die Protonen und Neutronen in Atomkernen zusammenhalten.

Auch mit Bezug auf unsere Erde ist noch vieles unbekannt. Zwar wurde Wegeners These bestätigt, wonach sich die Kontinente verschieben. Neu-

lich gelang sogar, die gegenseitige Lage der Kontinente bis zurück ins Erdaltertum zu rekonstruieren. Das alles hat Bedeutung hinsichtlich der Entstehung der Gebirge, der Erdbeben, des Vulkanismus und der Evolution des Lebens. Doch bestehen viele Unklarheiten über das Entstehen der Erde vor rund 4,5 Milliarden Jahren und die inneren Schichten der Erde. Trotz des atemraubenden Tempos der modernen *Biologie* (Biochemie, Molekularbiologie) wird der Ursprung des Lebens vor rund 3,5 Milliarden Jahren nicht verstanden. Rahmenbedingungen sind bekannt. Die Atmosphäre der frühen Erde enthielt Methan, Ammoniak, Kohlendioxyd und Wasserdampf und somit die lebensnotwendigen Elemente, aber keinen freien Sauerstoff. Wird ein solches Gasgemisch elektrischen Entladungen ausgesetzt, so entstehen Aminosäuren. Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine. Frühes Leben musste sich in einer Welt ohne gasförmigen Sauerstoff zurechtfinden und hat dann Lebensformen entwickelt, die mit Hilfe des Sonnenlichts aus Kohlendioxyd und Wasser gasförmigen Sauerstoff erzeugen können. Das war Voraussetzung für tierische Organismen, die Sauerstoff für ihre Energieerzeugung «verbrennen» und wieder in Kohlendioxyd und Wasser überführen. Unsere Welt beruht auf einem grandiosen Gleichgewicht zwischen sauerstoff-erzeugenden Pflanzen und sauerstoff-zehrenden Tieren. So möchte denn die Biologie den Stammbaum des Lebens rekonstruieren, eine Einteilung des heutigen Lebens aufgrund der stammesgeschichtlichen Verwandtschaften vornehmen und zu Aussagen kommen, wie der Stoffwechsel der frühesten einzelligen Organismen beschaffen war. So faszinierend das alles ist – es geht am Problem des Ursprungs des Lebens vorbei.

Wo liegt das Problem? Wie im Kapitel «Verrückte Geschichten» angedeutet, bedarf jedes Lebewesen eines artgerechten Erbgutes. Die Umsetzung der genetischen Information in Proteine ist ein äusserst komplizierter Prozess, an dem heute mehr als 100 verschiedene Proteintypen beteiligt sind. Nach allem Gesagten ist das Problem des Ursprungs des Lebens leicht zu formulieren. Es braucht ja immer beides: Erbgut und Protein – minimal ein Gen zum Aufbau eines Proteins, das dann in der Lage ist, dieses Gen zu kopieren und zu vermehren. Selbst wenn in einer Ursuppe ohne Zweifel die Bausteine – Nukleotide und Aminosäuren – entstehen können; selbst wenn die Bausteine zufällig und statistisch verknüpft werden könnten (Information fehlt ja noch!) – wie sollte eine sinnvolle Information, wie ein funktionstaugliches Kopierprotein zustande kommen? Und wie sollte Information, selbst wenn sie einmal geschaffen worden wäre, in Pro-

tein übersetzt werden, wenn der Übersetzungsapparat, eine Unzahl von Proteinen mit jeweils definierter Aminosäuren-Abfolge, noch gar nicht existiert?

Geschrieben steht: «Im Anfang war das Wort!» Geschrieben steht: «Im Anfang war der Sinn.» ... Und schreibe getrost: «Im Anfang war die Tat!» (Goethe, Faust I)

Was war zuerst: die Information oder die Funktion? Wie dem auch immer sei: Die erste Koppelung von Information und Funktion zu einem vermehrungsfähigen System muss ein seltenes und phantastisches Ereignis gewesen sein. Es gibt keine Anhaltspunkte dafür, dass sich diese Urzeugung aus toter Materie später wiederholt hätte. Alles Leben entstammt gleichsam einer Urzelle; alles Leben ist verwandt. Dafür spricht auch, neben zahllosen anderen Befunden, die Tatsache, dass DNA von allen zellulären Lebewesen als Erbgut verwendet wird. Seit der Urzeugung ist die Kette des Lebens nie mehr abgebrochen.

Und wie steht es mit unseren Vorfahren im Rahmen der menschlichen Evolution? Molekulare und fossile Daten stimmen heute weitgehend überein. Molekulare Datierung beruht auf dem Vergleich von Genen gleicher Bedeutung zwischen verschiedenen Arten. Lebensfähige Änderungen in der Nukleotidabfolge treten mit einer gewissen Geschwindigkeit auf, so dass aus der Zahl der Änderungen auf den Zeitraum geschlossen werden kann, der seit der Verzweigung in verschiedene Arten verstrichen ist. Heute gruppiert man so: die Homininae setzen sich zusammen aus dem Menschen, dem Schimpansen und dem Gorilla und ihren jeweiligen Vorfahren. Die Ponginae enthalten den Orang-Utan und seine Vorfahren; es bleiben die Gibbons und deren Vorfahren. Alle gehören zusammen in die Artengruppe der Hominoidea. Es ist eindeutig, dass die Hominoidea in Afrika vor rund 20 Millionen Jahren auftraten. Sie zweigten sich auf in Ponginae und Homininae vor rund 13 Millionen Jahren. Die Homininae trennten sich auf vor 6 bis 7 Millionen Jahren. Menschen und Schimpansen divergierten vor 5 Millionen Jahren. Der moderne Mensch trat vor höchstens 200 000 Jahren auf den Plan; das entspricht nicht mehr als 10 000 Generationen. Auch die fossilen Lücken in der Abfolge der menschlichen Etappen füllen sich allmählich. 1994 wurden Teile des *Australopithecus ramidus* gefunden, dessen Alter auf 4,4 Millionen Jahre geschätzt wird. Leider sind die Fundstücke der Vorfahren der anderen Arten der Homininae weit weniger zahlreich, so dass der Einfluss von Umweltfaktoren auf die parallele Evolution des Menschen und der Menschenaffen heute kaum

beurteilt werden kann. Erbgutvergleiche mit heutiger Methodik zeigen, wie nahe sich die Menschen und ihre kleinen Brüder und Schwestern, die Schimpansen, stehen. Wo liegt denn der Unterschied, der sich namentlich im geistigen Bereich so deutlich manifestiert? Wir wissen es nicht. Bekanntlich ist das Erbgut bei höheren Arten in Chromosomen in charakteristischer Anzahl gestückelt. Der Mensch hat 23 Paare, die Menschenaffen 24. Die Gene des beim Menschen fehlenden Chromosoms sind als Block integriert am einen Ende des menschlichen Chromosoms Nr. 2. Ist diese sogenannte Translokation von Belang? Jedenfalls ist etwas geschehen bei der Artentrennung auf genetischer Ebene. Sind Gene in eine günstigere Reihenfolge versetzt worden, so dass z. B. beim Menschen der Hirnschädel und das Gehirn grösser werden konnten? Wir wissen es nicht. Der Sinn der translozierten Gene ist unbekannt.

In 5000 bis 10 000 Generationen hat der Mensch den ganzen Globus besiedelt. Australien war vor 50 000 Jahren bewohnt, Japan vor 30 000 Jahren, Amerika vor 20 000 bis 25 000 Jahren. Wie sind alle diese Menschen, Angehörige einer Art, untereinander verwandt? Bei dieser Frage beteiligen sich auch die *Sprachwissenschaftler*. Einiges spricht dafür, dass genetische Merkmale und Sprachen korreliert sind. Nichts spricht dagegen, dass die grosse Wanderung von Afrika ausging, aber Wege und Zeiten sind erst lückenhaft dokumentiert. Die Welt verändert sich um die Jahrtausendende rascher und rascher. Es besteht dringender Bedarf, Sprachen und DNA kleiner urtümlicher Bevölkerungsgruppen zu sammeln, die heute noch unter Bedingungen leben, wie man sich die Bedingungen zur Zeit der grossen Wanderungen vorstellt. Es geht um nicht weniger als die Rekonstruktion der *Kulturgeschichte* der Menschheit.

Die Molekularbiologie verfügt heute über Methoden, die Signalfolge von Erbgütern (die Nukleotidsequenz) zu ermitteln. Die Methoden sind weitgehend automatisiert. Das ermöglicht eines der ehrgeizigsten Projekte der gegenwärtigen Biologie: die Signalfolge des menschlichen Erbgutes aufzuklären (humanes Genomprojekt). Warum ehrgeizig? Wie erwähnt, wird die Zahl der Nukleotide im menschlichen Erbgut auf 3 Milliarden, die Zahl der Gene auf 100 000 geschätzt. Die Natur hat das Kunststück vollbracht, in jede Zelle von wenigen Tausendstelmmillimetern Durchmesser Erbgut einer Gesamtlänge von einem Meter zu verpacken, ohne Wirrwarr anzurichten. Können wir einmal die gesamte Nukleotidfolge dieses Meters menschlichen Erbgutes aufschreiben, mit einem Buchstaben für jedes Nukleotid, Zeile um Zeile in linearer Folge, so entsteht eine Bibliothek mit

1000 Büchern à 1000 Seiten. Aufgrund plausibler Durchschnitte ist ein Gen aus etwa 1500 Nukleotiden aufgebaut, so dass 100 000 Gene nicht mehr als 150 Millionen Nukleotide umfassen würden (5 % des Totals). Was ist der Sinn der übrigen 95 %? Ist dort eine Art Geschichte des Lebens gespeichert, in Form einer Unzahl von Genen, die chemisch gesehen zwar noch vorhanden, aber für immer verstummt sind? Handelt es sich gleichsam um eine uralte Bibliothek, die immer reichhaltiger geworden ist, aus der aber nur noch bestimmte Bücher gelesen werden? Selbst wenn die Signalfolge ermittelt ist (um das Jahr 2010?), so ist man vom «gläsernen Menschen» noch weit entfernt. Aus dem Vorstehenden dürfte klar sein, dass uns die Nukleotidsequenz eines Gens wenig sagt, wenn «sein» Protein und dessen Funktion unbekannt sind. Das ist wie Lesen in einem Buch, das wohl mit unseren Buchstaben, aber in einer unbekannten Sprache geschrieben ist. Wir erfassen seinen Sinn nicht. Wir kennen keine Gene für die Phänomene, die wir als Seele und Geist bezeichnen. Ohne Zweifel sind daran viele Gene beteiligt. Wie sollen wir ausfindig machen, welche zu welchem Zweck zusammenarbeiten? Wie sollen wir messen, wie und in welcher Masse sie vom Milieu (Eltern, Gemeinschaft, Lebensweise) beeinflusst werden (Erbe-Umwelt-Problem)?

Beim Genomprojekt geht es demnach um die Erfassung eines ungeheuer komplizierten Informationsmosaiks, über das jeder einzelne Mensch verfügt. Beim anderen Extrem in der Palette des Lebens, den Viren, geht es um die Abklärung der Signalfolge einfacher Erbgüter einer grossen Zahl von Typen, Gattungen und Familien. Diese Aufgabe wird um die Jahrtausendwende weitgehend gelöst sein. Das Problem der Vorbeugung und Heilung wird dennoch offen bleiben. Es hängt eng zusammen mit Fragen der Pharmakologie, der Lehre der Wirkungsweise von Medikamenten. Medikamenten, körpereigenen Botenstoffen wie Hormonen und Viren ist gemeinsam, dass sie ihre Wirkungen nur entfalten, wenn sie sich an passende Empfänger binden können. Diese Empfänger sitzen auf der Zelloberfläche bestimmter Zellen und sind in der Regel Proteine. Die Bindung erfolgt nach dem Prinzip, dass beide Teile zusammenpassen müssen wie Stücke eines Puzzles. Die Pharmakologie möchte deshalb Medikamente konstruieren, die sich nur an einen Empfängertyp auf den zu behandelnden Zielzellen binden; das wären ideale Medikamente ohne Nebenwirkungen. Die Virologie möchte das Gegenteil: sie möchte mit harmlosen Substanzen die Empfänger vorübergehend so blockieren, dass die mit dem Blutstrom verschleppten Viren keine Bindungsstellen mehr finden. In all

diesen Fällen ist Voraussetzung, dass man die Architektur, die räumliche Form der Empfänger kennt. Anders formuliert: man muss wissen, wie die nur auf dem Papier lineare, eindimensionale, fadenförmige Abfolge von Aminosäuren in einem Protein in der Natur eine exakte, dreidimensionale, knäueiförmige Struktur annimmt. Die Ermittlung der Aminosäuren-Folge ist heute einfach zu bewerkstelligen. Die routinemässige Aufklärung der Knäuelung der ungezählten Proteintypen bildet dagegen eine schwere Hürde.

Auch mit Bezug auf die Entwicklung der befruchteten Eizelle (Ontogenese) und die Ausbildung der Organe (Differenzierung) tapen wir noch weitgehend im dunkeln. Bei vielzelligen Organismen mit Organen – wie beim Menschen – sind je nach Zelltyp verschiedene Gene aktiv, um einen zellspezifischen Proteinsatz zu ermöglichen. Andere Gene sind stumm. Mit anderen Worten: bei der Entwicklung einer befruchteten Eizelle zu einem vielzelligen Organismus mit der Differenzierung von Organen mag Gen a in einer bestimmten Entwicklungsphase aktiv sein, um dann für den Rest des Lebens stumm zu bleiben. Gen b mag im erwachsenen Leben im Gehirn aktiv sein, ist aber stumm in allen übrigen Organen und Geweben. So besitzen die Wirbeltiere sogenannte homöotische Gene, welche die embryonale Frühentwicklung steuern und die bei allen Arten fast identisch sind. Erstaunlicher noch, dass diese Gene auch verwandt sind mit analogen Genen von Insekten. Sie liegen auf einem Chromosom, solche für Hals und Nacken am einen Ende, solche für den Schwanz am anderen Ende, und sie geben ihre Information nach einem festen Zeitplan frei, beginnend mit den «Kopfgenen». Weshalb geben identische homöotische Gene beim Fisch zu Flossen, bei der Maus zu Füßen Anlass? Ähnliches gilt für das Hauptschalter-Gen, das die Entwicklung der Augen auslöst, indem es die Freigabe der Information von rund 2500 nachgeordneten Genen veranlasst. Wirbeltiere und Insekten, Tintenfische, Seeigel und Plattwürmer brauchen den gleichen Hauptschalter, obschon ihre Augen unterschiedlich aufgebaut sind. Welche Gene sind zu welchem Zeitpunkt der Ontogenese aktiv? Welche weiteren Gene sind in welchen Organen aktiv? Weshalb wachsen Organe nur bis zu einer bestimmten Grenze und bewahren dann Form und Grösse? Im menschlichen Gehirn sind zahllose Gene mit unbekannter Funktion aktiv. Welche Gene in welchen Zellen der zahlreichen Gehirnparten, die mit einem ungeheuren Netzwerk miteinander verbunden sind? Wie funktioniert überhaupt ein Gehirn, und wie gehen Denkprozesse vor sich? Bei all diesen Fragen handelt es sich um alte Fragen,

die mit Abschluss des «humanen Genomprojektes» längst nicht beantwortet werden. Dennoch gibt es keinen Ersatz für die vollständige Ermittlung der Signalabfolge des menschlichen Erbgutes und die Speicherung des Resultates in riesigen Datenbanken. Wie bei allem im menschlichen Dasein – handle es sich um Stillstand oder Fortschritt – wird das neue Wissen zwiespältige Folgen zeitigen. Eine rasch zunehmende Zahl bekannter Erbkrankheiten, die auf die Änderung *eines* Gens zurückgeführt werden können, werden erklärt und diagnostiziert werden können. Das erfüllt den Autor mit Missbehagen; die ethischen, juristischen und finanziellen Konsequenzen sind unübersehbar. Andererseits wird Gentherapie (Einbringen des normalen Gens in von der Erbkrankheit betroffene Zellen) für Leidende Erleichterung bringen. Gentherapie an Geschlechtszellen, um Erbkrankheiten von Nachkommen auszuschliessen, wird verboten sein und ist ohnehin aus theoretischen Gründen kaum durchführbar.

Literatur, Geschichtswissenschaften und bildende Künste dagegen bedürfen der Biologie nicht. Ihre Erzeugnisse sind einmalig und nicht wiederholbar. Mögen sie blühen mit Phantasie, Menschenkenntnis, Schönheitssinn, Herz und Verstand. Die unvergleichliche Eigenschaft des Menschen, über sich selbst und seine Stellung in der Schöpfung nachzudenken, findet mehrere Wege. Wissen und Glauben schliessen sich nicht aus. Die Wissenschaften beantworten nicht die Frage nach dem Sinn. Die Botschaft der Naturwissenschaft aber ist klar: sie kündigt von einer überwältigenden Vielheit in der Einheit. «*Die unbegreiflich hohen Werke sind herrlich wie am ersten Tag*» (Goethe, Faust I).

Dank

Dem Germanisten Dr. M. Schär in Bern danke ich für seine kritischen Bemerkungen, und Frau R. Flückiger in Burgdorf für die mitdenkende Erstellung des Manuskriptes. Dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung sei für die langjährige Unterstützung virologischer und andersartiger Grundlagenforschung gedankt. Diese Arbeit ist Herrn Fred Scheidegger, dem jüngst verstorbenen Burgdorfer Redaktor, gewidmet.

Lebenslauf des Autors

Geboren 1928 in Burgdorf. Matura 1948 daselbst. Staatsexamen in Medizin, Bern, 1954. Privatdozent 1968. Später Ordinarius ad personam für Biochemie, speziell Molekularbiologie, am Institut für Medizinische Mikrobiologie der Universität Bern. Emeritiert 1993. Ausbildung in Bern, Boston (USA), Genf, Zürich. Rund 250 kürzere und längere Publikationen fachlicher und nicht-fachlicher Natur; zahlreiche Vorträge in der Schweiz, Deutschland, Russland, Japan, USA. Längerer Forschungsaufenthalt in Japan. Gesellschaft für Virologie; American Society for Virology; Schweizerische Gesellschaft für Mikrobiologie; Schweizerische Gesellschaft für Zell- und Molekularbiologie; International Society for in Vitro Biology; im Vorstand der AIDS-Aufklärung Schweiz; Japanisch-Schweizerische Gesellschaft. Preisträger der Schweiz. Gesellschaft für Innere Medizin. Oberst i Gst a.D. Stadtrat zu Burgdorf 1980–1985. Verheiratet mit Katharina Dür von Burgdorf, seit 1956. Wohnhaft Pestalozzistrasse 15, 3400 Burgdorf.