

Nutztiere

Prinzipien der naturwissenschaftlichen Forschung

Peter Vögeli, Stefan Neuenschwander und Vladimir Pliška, Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Züchtungsbiologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

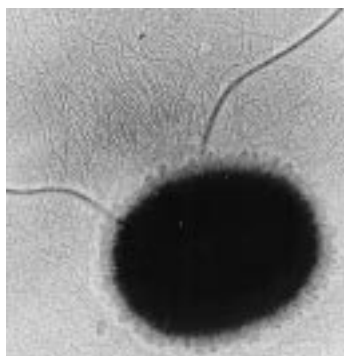
Auskünfte: Peter Vögeli, e-mail: peter.voegeli@inw.agrl.ethz.ch, Fax +41 (0)1 632 11 67, Tel. +41 (0)1 632 32 65

Zusammenfassung

Wissenschaft besteht darin, Fakten in einen Sinnzusammenhang zu bringen. Sache der Wissenschaft ist es, die Gesetze, die diesen Fakten zugrunde liegen, aufzufinden und ihren Geltungsbereich abzuklären. Die wissenschaftliche Arbeit muss handwerklich gut und exakt sein. Wahre Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zeichnen sich dadurch aus, dass sie bereit sind, eine Hypothese fallen zu lassen, wenn sie den Tatsachen widerspricht. Gute Forscherinnen und Forscher setzen sich nicht nur mit den Ergebnissen einer wissenschaftlichen Arbeit auseinander, sondern beachten auch die Bedingungen und Annahmen, unter denen diese zustande gekommen sind. Nur dort, wo diese Bedingungen und Annahmen erfüllt sind, gelten die Ergebnisse. Lehre und Forschung an den Hochschulen dürfen auf keinen Fall zentral gesteuert werden, sondern müssen möglichst unabhängig von politischer Einflussnahme bleiben. Die Gesellschaft darf der Wissenschaft niemals aufzwingen, was erforscht werden muss, oder nicht erforscht werden darf. Wir sind gegen jedes Denk- und Forschungsmoratorium. Die Gesellschaft hat jedoch das Recht und die Pflicht, spezifische Anwendungen der Grundlagenforschung einzuschränken oder zu verbieten. Hier klare und gerechte Entscheidungen zu treffen, ist allerdings sehr schwierig.

Abb. 1. Ein aus dem Darm des Schweines angezüchtetes Bakterium der Art *Escherichia coli*, das Ödemkrankheit und Absetzdurchfall verursachen kann. Das Präparat wurde rundum mit Platin beschattet und im Transmissionselektronenmikroskop dargestellt. Das Bakterium ist von einem „Pelz“ von feinen, flexiblen Hafthärchen, den Fimbrien des Typs F18, umgeben. Die beiden wesentlich dickeren und längeren Anhängsel sind Geisseln, die der Fortbewegung dienen. Aufnahme: Prof. P. Wild, Institut für Veterinär Anatomie der Universität Zürich.

Wissenschaft hat zwei verschiedene Bedeutungen: (1) Wissenschaft als institutionelle Erscheinungsform (zum Beispiel als Beruf, Universitätssystem usw.) und (2) Wissenschaft als spezielle Wissensform. In diesem Artikel verwenden wir den Begriff «Wissenschaft» im letzteren Sinne für ein geordnetes System des erforschten, gebildeten und überlieferten Wissens, das in einer Zeitperiode als gesichert gilt. Ihr wichtigstes Merkmal ist die Objektivität, das heisst, Interessenneutralität und Unabhängigkeit von Ideologien, zeitgenössischen



moralischen Regeln und individuellen Gesichtspunkten in der Gesellschaft (Janich 1997).

Die Wahrnehmung der so verstandenen Wissenschaft ist heute merkwürdig ambivalent: **Einerseits** werden deren Ergebnisse und Behauptungen von vielen unbesehen übernommen: «Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass ...», wird behauptet und damit versucht, jede weitere Diskussion zu unterbinden. Nicht selten sind es sogar Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selber, die so argumentieren. **Andererseits** stellen wir heute ein Misstrauen gegenüber den Naturwissenschaften fest, das bis weit in die Hochschulen hineinreicht. Dieses Misstrauen hat folgende drei Gründe:

Erstens sind viele Leute desillusioniert; der Fortschritt ist zum Teil fragwürdig geworden; zu viele Errungenschaften der Wissenschaft haben sich als Danaer-

Geschenke erwiesen. Ob sich eine wissenschaftliche Entdeckung letztlich als positiv oder negativ für den Menschen auswirken wird, ist schwierig einzuschätzen.

Wer hofft, die Ethik würde die anstehenden Probleme rund um die Wissenschaft und speziell um die Gentechnologie schon lösen, wird enttäuscht werden. Ethik als Wissenschaft kann aussagen, wie moralische Entscheidungsfindung funktioniert und so auch dazu beitragen. Die Formulierung der moralischen Regeln gehört jedoch nicht zu ihrem Aufgabenbereich. Somit kann sie die Rolle des Schiedsrichters, der bestimmt, was moralisch gut und was schlecht ist, nicht übernehmen.

Zweitens: Die Wissenschaft ist autoritär. Der Inhalt der Wissenschaft lässt nämlich kaum eine breite öffentliche Diskussion zu und in diesem Sinne passt die Wissenschaft nicht ins heutige autoritätsfeindliche Bild der Gesellschaft hinein. Das Ziel der Wissenschaft ist die Suche nach der Wahrheit. Auch der Begriff «Wahrheit» selbst kann jedoch eine Diskussion auslösen. Wir wollen hier unter «Wahrheit» zunächst einfach die Übereinstimmung von Behauptung und Tatsache verstehen. Diese Übereinstimmung ist ein Prinzip und soll jederzeit von jedem überprüfbar sein. Das macht die Wissenschaft so unbequem in einer Zeit, wo es sich mehr und mehr einbürgert, Wahrheit nicht mehr als Übereinstimmung von Be-

hauptung und Tatsache, sondern als Übereinstimmung von Behauptung und Weltanschauung zu definieren. Dann allerdings wäre auch das Gegenteil der Wahrheit, die «Unwahrheit», nicht mehr überprüfbar, und jede Wissenschaft hätte ausgespielt.

Drittens sind die politischen Mittel der Demokratie für die Wahrheitsfindung in der Wissenschaft prinzipiell unbrauchbar. Die Wahrheit wird nicht durch Abstimmung gefunden. Allenfalls lässt sich der **Wissenschaftsbetrieb** demokratisieren, und Teamarbeit wird zu Recht in breiten Kreisen der Wissenschaft gefordert. Das ändert aber nichts daran, dass sich im Team die gute Idee eines einzelnen gegen die Ablehnung aller anderen durchsetzen muss.

Wenn die antiwissenschaftliche Haltung der Öffentlichkeit aus den drei erwähnten Gründen überhand nimmt, wird die freie Wissenschaft untergehen.

Wie gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor?

Ziehen wir ein Beispiel aus der Arbeit unseres eigenen Institutes heran. Es geht dabei um die Anhaftung von krankmachenden *Escherichia(E.)-coli*-Bakterien im Darm des Schweines. Bei der Entstehung von Oedemkrankheit und Coli-Durchfall ist die Besiedlung der Dünndarmschleimhaut mit toxinproduzierenden Colibakterien zentral. Im ständig fließenden Strom des Nahrungsbreis im Dünndarm können aber nur solche Bakterien eine krankheitsauslösende Toxinmenge produzieren, die an der Darmschleimhaut haften und sich deshalb massiv vermehren. Das Anlagern der krankmachenden Bakterien geschieht mit Hilfe von Hafthärchen (Abb. 1), in der Fachsprache Fimbrien genannt. Diese Fimbrien gehen mit einem genau dazu passenden Rezeptor

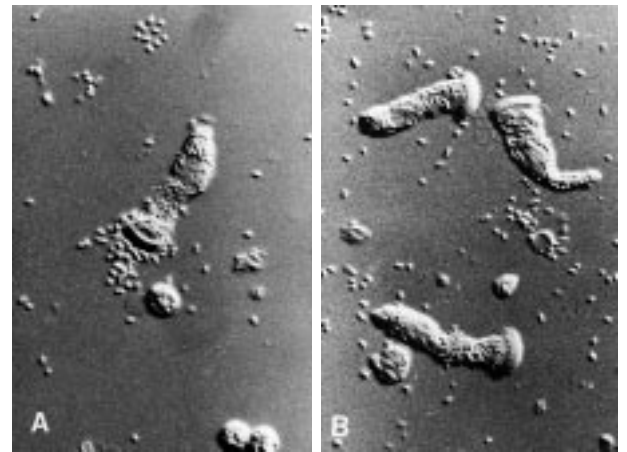
(Empfangsmolekül) auf der Oberfläche der Darmschleimhaut eine feste Bindung ein (Abb. 2). Bei einem Schwein ohne diese Rezeptoren ist daher eine Darmbesiedlung nicht möglich. Das betreffende Schwein ist gegen Infektionen mit Colibakterien mit dem betreffenden Fimbrientyp resistent. Die Ausprägung der Schleimhautrezeptoren wird nach den Mendelschen Regeln vererbt, analog zu den Blutgruppenfaktoren. Die Ausbildung der Rezeptoren ist dabei dominant über deren Fehlen.

Schleimhautrezeptoren werden anhand von präparierten Dünndarmzellen von geschlachteten Schweinen nachgewiesen, die mit Fimbrien tragenden Bakterien zusammengebracht und unter dem Mikroskop beurteilt werden. Ist der Rezeptor vorhanden, kann eine Ansammlung von Bakterien auf dem Bürstensaum der Darmzelle beobachtet werden, ohne Rezeptor ist dies nicht möglich (Abb. 2).

Das an der Bildung der Rezeptoren für Fimbrien F18 massgeblich beteiligte Gen liegt auf Chromosom 6 (Vögeli *et al.* 1996). Der Ort der Erbinformation wurde mit Hilfe der Bestimmung einer Vielzahl von genetischen Markern festgestellt.

Aus der Literatur ist bekannt, dass kohlenhydrathaltige Strukturen von Blutgruppenantigenen als Rezeptoren für krankmachende Mikroorganismen fungieren können.

Es ist tatsächlich so, dass die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Beobachtungen und Fakten ausgehen, die ihnen auffällig oder wichtig erscheinen. Um diese Fakten zu erklären, stellen sie induktiv eine Hypothese (*H*) auf. Sofern die Hypothese zutrifft, muss auch die Implikation (*I*) richtig sein. In einem speziell darauf zugeschnittenen Experiment prüfen sie die Richtigkeit der Implikation nach, um die Hypothese anzunehmen oder zu ver-



werfen. Diese Nachprüfung folgt einem allgemeinen logischen Schema des sogenannten deduktiven Schliessens (Tab. 1).

Warum lässt die Wissenschaft es nicht bei den Fakten bewenden?

Wissenschaft besteht nicht so sehr darin, Fakten anzuhäufen und zu katalogisieren, sondern darin, diese Fakten in einen Sinnzusammenhang zu bringen. Kennt man die Gesetze, nach denen sich die beobachteten Fakten richten, so kann man weitere Eigenschaften des untersuchten Systems (oder eines anderen) voraussagen, und zwar auch in Fällen, die sich der Überprüfung mit gängigen experimentellen Methoden entziehen. Gerade darauf beruht jede Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Unsere Welt besteht aus einer unendlichen Fülle von Fakten. Die Zahl der Gesetze aber, die diesen Fakten zugrunde liegen, ist beschränkt. Aufgabe der Wissenschaft ist es, diese Gesetze aufzufinden und ihren Geltungsbereich abzuklären.

Was ist denn eigentlich das «Wissenschaftliche» an dieser Arbeit?

Zwei Dinge kennzeichnen die wissenschaftliche Arbeit:

Wissenschaftliche Arbeit muss handwerklich exakt durchgeführt sein. Die Experi-

Abb. 2. Präparierte Epithelzellen aus der Dünndarmschleimhaut des Schweines nach Bebrütung in Gegenwart von *Escherichia coli* Bakterien mit Fimbrien des Typs F18. Bild A: Auf dem Bürstensaum einer genetisch empfänglichen Zelle sammeln sich mehrschichtig Bakterien an, die selbst durch Waschen und kräftiges Schütteln nicht abgelöst worden sind. Bild B: Zellen eines genetisch resistenten Schweines ohne haftende Bakterien. Lichtmikroskopische Aufnahmen: Ch. Mettler, Institut für Veterinär-bakteriologie der Universität Zürich.

Tab. 1. Schema des deduktiven Schliessens

Aussage	Überprüfung	Folgerung
wenn $H \rightarrow$ dann I	I ist falsch I ist wahr	H abgelehnt (Fall in Kasten Beispiel 1) H vorläufig angenommen und damit Gegenstand weiterer Überprüfungen (Fall in Kasten Beispiel 2)

mente müssen nach normierten Methoden durchgeführt werden, wobei die Norm für jedes Experiment neu erarbeitet und mit Ansätzen von ähnlichen Versuchen verglichen werden muss. Zufällige Einflüsse spielen bei jeder experimentellen Arbeit mit und müssen minimiert werden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler müssen die Ergebnisse mathematisch und statistisch korrekt auswerten, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Das Handwerkliche der Wissenschaft lässt sich erlernen. Handwerkliche Sauberkeit und Exaktheit ist allerdings kein ausschliessliches Kennzeichen der wissenschaftlichen Arbeit. Wichtiger noch scheint das folgende Kriterium zu sein.

Eine Hypothese muss fallen gelassen werden, wenn sie auch nur mit einem einzigen Testkriterium in Widerspruch steht. Das ist nicht selbstverständlich. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind nicht charakterfestere Menschen als andere. Nehmen wir an, die Hy-

pothese I unseres Beispiels hätte ergeben, dass kein Genaustausch vorkommt, weil unser Tiermaterial zum Beispiel keine zufällige Stichprobe aus der Population gewesen wäre. Wir würden dann unseren Befund als «Beweis» für die Hypothese betrachten, publizieren und über unsere so plausible wissenschaftliche Erkenntnis voreilig überall berichten. Wenn die Wiederholung des Versuchs uns eines Besseren belehrt, wäre es uns sehr peinlich, den Irrtum zugeben. Der Gedanke könnte auftauchen, die Ergebnisse des zweiten Versuchs einfach zu unterschlagen - eine nicht gerade seltene Form der wissenschaftlichen Unehrllichkeit. Wahrscheinlicher ist, dass wir anfangen würden zu argumentieren. Die Schlüsse, die aus einem Versuch gezogen werden können, sind nämlich selten so eindeutig, wie es in unserem Beispiel der Fall ist. Jeder Schluss weist eine gewisse Irrtumswahrscheinlichkeit auf, und Aufgabe der statistischen Analyse ist es eben gerade, diese Irrtumswahrschein-

lichkeit abzuschätzen. Ausserdem spielen die Versuchsbedingungen für das Ergebnis meist eine grosse Rolle. «Zwar habe ich das und das gefunden, in Wirklichkeit aber wäre jenes herausgekommen, wenn...»; oder «wenn ich mehr Versuchstiere zur Verfügung gehabt hätte, wäre...». Nach diesem Schema wird dann argumentiert. Das Schlimme an dieser Argumentation ist, dass sie immer nur dann vorgebracht wird, wenn die Ergebnisse mit den Erwartungen **nicht** übereinstimmen, hingegen nicht, wenn sie übereinstimmen. Ein solches Vorgehen findet jedoch heute in seriös editierten wissenschaftlichen Zeitschriften keine Gnade mehr.

Wissenschaft ist ihrem Wesen nach *öffentlich*. Die Möglichkeit der Nachprüfung muss im Prinzip immer gegeben sein und sie schützt vor Fehlschlüssen oder Schlimmerem. Wissenschaftsplaner und -koordinatoren, die ihr höchstes Ziel darin sehen, dass ein Problem immer nur an einem einzigen Institut bearbeitet wird, sind deshalb auf dem Holzweg.

Die Versuchung, eine Theorie nicht aufzugeben, auch wenn die Versuchsergebnisse ihr entgegenstehen, ist dann besonders gross, wenn hinter der Theorie eine ganze Weltanschauung steht. Der vom Russen Trofim Denisovitch Lysenko (1898-1976) begründete Lysenkoismus, der die Existenz der Gene und damit die Vererbung der Eigenschaften nach den Mendelschen Regeln leugnete und damit die Entwicklung der Genetik in der damaligen Sowjetunion verhinderte, war ein typisches Produkt dieser Denkweise (Soyfer 1994).

Ist Wissenschaft völlig wertfrei, oder enthält sie subjektive Elemente?

Es ist durchaus nicht so, dass in der Wissenschaft keine subjektivi-

Beispiel 1: Überprüfung von Hypothesen

Hypothese I: Das S-Blutgruppensystem ist für die genetische Kontrolle des *E. coli*-F18-Rezeptors (*ECF18R*) im Wirt verantwortlich, da der *S*-Locus auf Schweinechromosom 6 kartiert wurde und in der dank Markern identifizierten Region für *ECF18R* liegt.

Überprüfung: Schlachtung von 183 informativen Nachkommen. Durchführung des mikroskopischen Adhäsionstests. Bestimmung der Genotypen des *S*-Blutgruppensystems. Durchführung einer Kopplungsanalyse. Resultate in Vögeli *et al.* (1996).

Genpaar	Genaustauschfrequenz	Lod-score-Wert (Mass für Kopplung)
<i>ECF18R-S</i>	0,0055	50,6

Folgerung: Die Hypothese, dass der *S*-Genort mit dem *ECF18R*-Locus identisch ist, ist falsch, da Genaustausch zwischen den beiden Genorten vorkommt. Die Gene liegen aber sehr nahe beieinander, da die Kopplung hochsignifikant ist (der Lod-score-Wert übersteigt die Signifikanzschwelle von 3 beträchtlich).

ven Elemente mitspielen. Zunächst einmal bleibt es der subjektiven Beurteilung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler überlassen, welche als merkwürdig empfundenen Tatsachen sie einer wissenschaftlichen Untersuchung unterziehen wollen. Bei der induktiven Erstellung von Hypothesen durch eine Forscherin oder einen Forscher spielen subjektive Elemente - Phantasie, Vorliebe für ein bestimmtes Vorgehen usw. - neben ihrem oder seinem Wissen mit. Das Testen der Hypothese im Versuch ist jedoch objektiver Art. Wenn zwei Fachleute mit verschiedener Weltanschauung dieselbe Hypothese auf dieselbe Weise überprüfen, und sie kommen (im Rahmen des statistischen Fehlers) nicht zum selben Ergebnis, dann muss die Frage gestellt werden, ob eine Person ihr Resultat nicht absichtlich verfälscht oder ob sie ihr wissenschaftliches Handwerk beherrscht. Das Überprüfen von Hypothesen kann deshalb im Prinzip programmiert und irgendjemandem, der die Voraussetzungen dazu hat, übertragen werden.

Liefert uns die Wissenschaft die objektive Wahrheit?

Es ist heute modern, sie mit **Nein** zu beantworten, die Existenz einer objektiven Wahrheit zu leugnen und alles als eine Frage des Standpunkts zu bezeichnen. Insbesondere für die Naturwissenschaft ist jedoch solche Denkart absurd. Die «Wahrheit» wird nicht philosophisch, sondern vielmehr im operationellen Sinne verstanden. Wir haben die subjektiven Elemente der Wissenschaft hervorgehoben, nämlich die Wahl des Forschungsgebiets und das Formulieren von Hypothesen. Beim Überprüfen von Hypothesen aber müssen alle, unabhängig von ihrem persönlichen Standpunkt, zum selben Ergebnis gelangen und eben

Beispiel 2: Überprüfung von Hypothesen

Hypothese II: Die $\alpha(1,2)$ -Fucosyltransferase 1 (*FUT1*) ist für die Bildung der (*FUT1*)-Blutgruppe verantwortlich. Das *FUT1*-Gen liegt auf dem Schweinechromosom 6 in der Nähe des S-Blutgruppengenorts. *FUT1* ist ein guter Kandidat für die genetische Kontrolle der *E. coli*-F18-Rezeptorbildung (*ECF18R*) im Wirt.

Überprüfung: Daher untersuchten wir den Einfluss einer einfachen Basenänderung auf Position 307 (*M307*) in *FUT1* (Meijerink *et al.* 1997). An 41 informativen Nachkommen wurde der mikroskopische *E. coli*-Adhäsionstest durchgeführt und die *FUT1(M307)*-Genotypen bestimmt. Resultate in Meijerink *et al.* (2000).

Genotypen	¹ <i>ECF18R</i>	
	<i>blb</i> (resistent)	<i>BlB, Blb</i> (empfindlich)
² <i>FUT1(M307)^{AA}</i>	7	-
² <i>FUT1(M307)^{AG}</i>	-	17
² <i>FUT1(M307)^{GG}</i>	-	17

¹*ECF18R*: *E. coli*-F18-Rezeptor. «*B*» bezeichnet die Genvariante für Empfänglichkeit (Anhaftung der *E. coli*-F18-Bakterien an die Darmepithelzellen) und «*b*» jene für Resistenz (keine Anhaftung).

²*FUT1(M307)*: Änderung von Adenin (A) zu Guanin (G) in Base 307 des $\alpha(1,2)$ -Fucosyltransferase- (*FUT1*)-Gens.

Folgerung: Die Hypothese, dass die *FUT1*-Blutgruppe und *ECF18R* identisch sind, kann nicht widerlegt werden. Die Genvariante *B* (Ursache für Ödemkrankheit und Absetzdurchfall) ist zu 100 % mit *M307^G*, und die Genvariante *b* (Ursache für Resistenz gegen die beiden Krankheiten) ist zu 100 % mit *M307^A* assoziiert.

Zusätzliche *FUT1*-Enzymaktivitätsmessungen ergaben, dass die *FUT1*-Enzymaktivität im Darmschleimhautepithel von *ECF18*-resistenten Schweinen 28 bis 45x geringer war als bei empfänglichen Schweinen (Meijerink *et al.* 2000). Unsere genetischen und enzymatischen Studien unterstützen die Hypothese, dass das *FUT1*-Enzym und besonders die Basen auf Position 307 des *FUT1*-Gens wichtig sind für die Synthese einer Struktur, die die Adhäsion von *ECF18*-Bakterien an die Dünndarmschleimhaut ermöglicht.

dieses Ergebnis bezeichnen wir als «Wahrheit». In diesem Sinne ist sie auch objektiv. Einige Einschränkungen und Präzisierungen sind aber nötig:

a) Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verstehen Wahrheit durchaus als asymptotische Annäherung der «vorläufigen» Wahrheit von heute an die endgültige Wahrheit. Ob diese je vollständig eruiert werden kann, ist nicht sicher. In der Tierzucht verwenden wir heute die Hypothese, dass die Leistungseigenschaften auf viele Gene zurückgehen, die alle ungefähr gleich stark wirken. Wir wissen genau, dass diese Hypothese zu grob ist und möglicherweise eines Tages durch eine exaktere abgelöst werden wird. Die heutige Hypothese ist aber brauchbar und jedenfalls der Wahrheit näher als eine Hypothese, die alle Leistungsunterschiede zwischen den Tieren zum Beispiel nur auf die Fütterung und Haltung zurückführen wollte.

b) Streng genommen können beim Überprüfen von Hypothesen nur Wahrscheinlichkeitschlüsse gezogen werden. Wenn wir gestützt auf Versuchsergebnisse eine Hypothese ablehnen, dann besteht immer eine gewisse, statistisch berechenbare Wahrscheinlichkeit, dass diese Ablehnung zu Unrecht erfolgt ist. Im Allgemeinen sind wir zufrieden, wenn diese Irrtumswahrscheinlichkeit nicht grösser als 5 % ist. Handelt es sich um eine bereits allgemein anerkannte und bewährte Hypothese oder Theorie, werden wir sie deshalb in der Praxis nicht wegen eines einzigen widersprüchlichen Resultats verwerfen und werden sie einer erweiterten Testprozedur unterziehen. Dieses Vorgehen ist jedoch nicht in vollem Einklang mit dem strengen methodologischen Vorgehen des kritischen Rationalismus, begründet von Karl Popper (Popper 1982) und der sogenannten Wiener Schule, berücksichtigt jedoch die eingeschränkten Möglich-

keiten unserer experimentellen - aber auch mathematischen - Methodologie.

c) Eine Hypothese ist ein abstraktes Modell der Wirklichkeit. Die Wirklichkeit ist aber sehr kompliziert. Um ein Modell aufstellen zu können, müssen meist zahlreiche vereinfachende Annahmen gemacht werden. Überträgt man Erkenntnisse, die am Modell gewonnen wurden, wieder auf die Wirklichkeit, so vergisst man häufig die Bedingungen, unter denen sie erarbeitet wurden. Sind sie nicht erfüllt, so geht man fehl. Das ist eine häufige Quelle von Missverständnissen zwischen den Forschenden und ihren Gesprächspartnern. Zukunftsvoraussagen sind dafür charakteristisch. Kann die Wissenschaft überhaupt die Zukunft voraussagen, zum Beispiel etwa den Fleischverbrauch im Jahre 2010? Sie kann es natürlich nicht. Sie kann nur in der Vergangenheit die Beziehung zwischen Fleischverbrauch, Einkommen und Fleischpreis bestimmen und folgern: **wenn** das Einkommen pro Jahr um x % steigt und **wenn** der Fleischpreis um y % steigt und **wenn** die Bevölkerungszahl um z % steigt, **dann** wird der Fleischverbrauch im Jahre 2010 ungefähr so gross sein. **Ob** sich aber die Einkommen, die Preise und die Bevölkerungszahl wie angenommen verändern, das weiss niemand. Weiter können auch unvorhersehbare Ereignisse mitspielen, wie zum Beispiel die BSE-Krise beim Rind. Es gilt generell: Extrapolierung ausserhalb eines zeitlichen, räumlichen oder durch Fakten beschränkten Intervalls ist unsicher und, streng genommen, unzulässig.

Aus den genannten Gründen sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daher häufig (leider nicht immer) gegenüber dem was sie sagen, selber skeptischer und kritischer eingestellt als ihre Zuhörer. Sie wissen, dass

ihre Aussagen approximativ sind, abhängig von vielen Bedingungen und dass die Aussagen unter Umständen korrigiert werden müssen. Der Laie dagegen meint, die Aussagen der Fachleute seien völlig exakt, definitiv und unter allen Umständen gültig.

Wem soll die Wissenschaft dienen?

«Wissenschaft soll dem Volk (Bauern) dienen» hat eine Landwirtschaftsstudentin einmal ins Agrobulletin geschrieben. Wer möchte da nicht zustimmen, jedenfalls solange diese Aussage als unverbindliche Absichtserklärung aufgefasst wird. Wenn man aber daran ginge, Konsequenzen zu ziehen, und die Forschungsrichtungen, die nicht dem Volke dienen, mit Namen zu bezeichnen und auszumerzen, dann würde es allerdings schwieriger. Wieviele theoretische Arbeiten, die im Moment der Entstehung alles andere als volkstümlich waren, haben sich später als Grundlage von Entwicklungen erwiesen, die dem Volk sehr wohl gedient haben? Wie oft sind von der Wissenschaft entwickelte Neuerungen zunächst vom Volk abgelehnt und hinterher doch akzeptiert worden? Wer allzu viel vom Volk spricht, meint ohnehin meist nur einen bestimmten Teil des Volkes - oder sich selbst.

Prioritäten zu setzen in der Forschung ist ebenso nötig wie schwierig. An sich wären wohl die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selber am besten dazu imstande, aber sie sind Partei. Also werden sie sich damit abzufinden haben, dass andere ein gewichtiges Wort mitsprechen.

Wir müssen aber auch mit ganzer Kraft einen Trend bekämpfen, der sich in Europa und auch der Schweiz immer mehr ausbreitet, nämlich Forschung über Netzwerke zu fördern oder sogar ganze geografische Regionen zu finanzieren. Dazu gehören auch die

nationalen und internationalen Forschungsschwerpunkte, bei welchen die Politik allzuviel mitzureden hat. In Gruppen und Netzwerken schwimmt meist auch viel Mittelmasse mit, und dies auf Kosten der Besten. Mit forschungspolitischem Mut gilt es die Besten zu fördern, selbst wenn die weniger Guten deswegen etwas weniger bekommen. In der Forschung dürfte es sich lohnen, den Nützlichkeitsaspekt nicht überzubetonen und die kurzfristigen Erfolgsaussichten nicht über die langfristigen zu stellen.

Kommt die Wissenschaft einmal an ein Ende, und kann sie alle Fragen lösen?

Jeanne Hersch, die verstorbene Genfer Philosophin, hat in einem ihrer hervorragenden Vorträge einmal gesagt, dass die Lösung aller Probleme nur den unmenschlichen Frieden toter Gestirne mit sich brächte, denn dann wäre der Mensch nicht mehr frei und die Lösung der Probleme hätte ihren Sinn verloren. Wie oft hat man im Laufe der letzten dreihundert Jahre von diesem oder jenem Problem behauptet, man würde es nie lösen können, und doch ist es über kurz oder lang gelöst worden. Es ist durchaus vorstellbar, dass die Hauptprobleme der Naturwissenschaften eines Tages gelöst sein werden. Ist dann der Mensch wirklich nicht mehr frei?

Der Bereich der Naturwissenschaft ist das Faktische, die Tatsache. Dieser Bereich schöpft nicht das ganze Sein aus. Daneben gibt es den Bereich des Sinnes, des Wertes, der Moral, des Wahren, Guten und Schönen, der Freiheit. Dieser Bereich bildet sozusagen den Hintergrund, auf dem Wissenschaft erst möglich wird. Denn selbst wenn man die ganze Welt erklären könnte, bleibt die letzte Frage: Wozu? Wer einen Zimmerboden anstreicht, kann das letzte Stück, nämlich das, auf dem er selber steht, nur vollenden, indem er sich in die Luft

schwingt - also von einer andern Dimension aus arbeitet.

«Nicht die Forschungsergebnisse sind moralisch», - sagte Frau Hersch - «sondern das Forschen ist es. Und als moralische Tätigkeit hat es mit Freiheit zu tun - auch wenn dies in seinen Theorien der Freiheit keinen Platz einräumt oder sie sogar ausschliesst».

Natürlich gibt es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, welche die Dimension des Wertes und Sinnes leugnen. Sie halten es mit dem König aus Alice im Wunderland, der zum Gedicht des weissen Kaninchens sagt: «Wenn es keinen Sinn hat, können wir uns viel Mühe sparen, denn dann brauchen wir ihn gar nicht erst zu suchen».

Alle anderen aber mögen sich an den Philosophen Martin Heidegger halten: «Die Erkenntnisse der Wissenschaften werden gewöhnlich in Sätzen ausgesprochen und dem Menschen als greifbare Ergebnisse zur Verwendung vorgelegt. Die Lehre

eines Denkens ist das in seinem Sagen Ungesagte, dem der Mensch ausgesetzt wird, auf dass er sich dafür verschwende».

Dank

Die Autoren danken Prof. Dr. H.U. Bertschinger, Institut für Veterinär-bakteriologie der Universität Zürich, und Prof. Dr. G. Stranzinger, Institut für Nutztierwissenschaften der ETH Zürich für die Unterstützung der Forschungsarbeiten sowie die kritische Durchsicht des Manuskripts. Im Weiteren wurden die Forschungsarbeiten unterstützt durch die ETH Zürich, den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt Nr. 3100-041601.94/3; 3100-56613.99) und die Suisseporcs (SUISAG) Sempach.

Literatur

■ Janich P., 1997. Kleine Philosophie der Naturwissenschaften. Verlag Beck C.H., Beck'sche Reihe 1203, München, p. 206.

■ Meijerink E., Fries R., Vögeli P., Masabanda J., Wigger G., Stricker C., Neuenschwander S., Bertschinger H.U. and Stranzinger G., 1997. Two ((1,2) fucosyltransferase genes on porcine chromosome 6q11 are closely linked to the blood group-inhibitor (S) and *Escherichia coli*

F18 receptor (ECF18R) loci. *Mammalian Genome* 8, 736-741.

■ Meijerink E., Neuenschwander S., Fries R., Dinter A., Bertschinger H.U., Stranzinger G. and Vögeli P., 2000. ADNA polymorphism influencing ((1,2) fucosyltransferase activity of the pig FUT1 enzyme determines susceptibility of small intestinal epithelium to *Escherichia coli* F18 adhesion. *Immunogenetics* 52, 129-136.

■ Popper K.R., 1982. Logik der Forschung. In: Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften, Studien in den Grenzbereichen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Band 4, 7. Auflage (Hrsg. Mohr J.C.B. (Siebeck P.) Tübingen). Druck: Ernst Klett, Stuttgart, p. 468.

■ Soyfer V.N., 1994. Lysenko and the tragedy of Soviet science. Translated from the Russian by Gruliov L. and Gruliov R., Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, USA, p. 379.

■ Vögeli P., Bertschinger H.U., Stamm M., Stricker C., Hagger C., Fries R., Rapacz J. and Stranzinger G., 1996. Genes specifying receptors for F18 fimbriated *Escherichia coli*, causing oedema disease and postweaning diarrhoea in pigs, map to chromosome 6. *Animal Genetics* 6, 321-328.

RÉSUMÉ

Principes de la recherche en sciences naturelles

La raison d'être de la science est d'apporter des faits et de créer des liens sensés. Il incombe à la science de trouver les lois qui sont à la base de ces faits et de clarifier son domaine d'application. Le travail scientifique doit être exécuté de manière rigoureuse et exacte. Un véritable scientifique se distingue parce qu'il est prêt à abandonner une hypothèse, si les faits la contredisent. Un bon chercheur ne considère pas seulement les résultats d'un travail scientifique, mais il tient compte aussi des conditions et des suppositions qui ont abouti à ces résultats. Ce n'est que lorsque celles-ci sont réalisées, que les résultats sont valables.

L'enseignement et la recherche dans les écoles supérieures ne peuvent en aucun cas être orientés par la politique dans une même direction, mais doivent rester le plus possible indépendants de toutes influences. La société ne peut pas imposer aux scientifiques ce qu'ils doivent ou ne doivent pas étudier. Nous sommes contre tout moratoire de recherche et de réflexion. La société a toutefois le droit et le devoir de limiter ou d'interdire des applications spécifiques de la recherche fondamentale. Il est cependant très difficile de prendre des décisions justes et claires.

SUMMARY

Principles of research in natural science

Science aims at putting facts into context. Science attempts to define laws that underlie these facts and to clear its purview. Scientific work requires good techniques and methods. A real scientist is prepared to discard a hypothesis if it is in contradiction to the facts. A good scientist not only examines the results of an experiment, but also considers the conditions and assumptions under which it was carried out. The results are valid only in the case where the conditions and assumptions have been met.

Teaching and research at the university level shall be in no case centrally directed. They shall be as independent as possible of political influence. The type and field of basic research to be investigated should not be dictated by society. We are against any moratorium on different thoughts and research. However, society has the right and the obligation to restrict or prohibit specific applications of basic research. It is, of course, very difficult to deal here with the various aspects regarding scientific research and arrive at impartial decisions.

Key words: operation in science, hypothesis, experiment, conclusion, objective truth, subjective elements, pseudo-science.