

Proteisch

Roald Hoffmann* und Pierre Laszlo*

Den Fortschritt in der Wissenschaft verdanken wir häufig dem bewussten Verstoß gegen ein scheinbares Verbot. Beispiele, die einem Chemiker dazu spontan einfallen, sind Edelgasverbindungen, gespannte Kohlenwasserstoffe wie die Tetrahedrane, die Aktivierung selbst von Methan (durch Organometallverbindungen) und, um nur eine brillante, neuere Leistung zu erwähnen, der Einbau einer Alleneinheit in einen sechsgliedrigen Ring, ohne dass dieser in eine benzoide Struktur übergeht.^[1] Für solche Meisterleistungen muss der Chemiker sein ganzes Geschick in das „Überreden“, ja sogar Zwingen des untersuchten Systems stecken, den Anweisungen seiner kühnen Vorstellungskraft zu gehorchen.

Wie immer ist das nicht einfach. Nicht umsonst heißt unser Spielzimmer *Laboratorium* (labor, lat., Arbeit, Schmerz). Ist die Aufgabe dann vollbracht und sollen nun aller Kampf und die ganze Größe des Erreichten anderen (die von der Qual der Arbeit vermutlich nichts ahnen) vermittelt werden, verfällt der Wissenschaftler wie selbstverständlich auf Metaphern. Eine solche, die in der männlichen Ausdrucksweise des 19. Jahrhunderts genauso begründet ist wie in der Geschichte, ist eine mehr oder weniger anzügliche Variante von „die Geheimnisse der Natur enthüllen.“^[2] Eine andere Metapher, die die dornigen, verschlungenen Wege zum Verständnis und die langen Stunden der Plage im Labor beschwört, ist „das Ringen mit der Natur“.

Die zweite Metapher hat in den experimentellen Wissenschaften mindestens seit dem Elisabethanischen Zeitalter eine zentrale Rolle gespielt und ist auch das Thema dieses kleinen Essays. Die Wurzeln dieser Metapher sind in der griechischen Mythologie zu suchen, ihr erster, eindrucksvoller Auftritt in den Wissenschaften ist ein folgenreiches Plädoyer für Experimente. Diese prägnante Formulierung verdeutlicht außerdem eine Spaltung in der Weltanschauung von Natur-

wissenschaftlern und Nichtwissenschaftlern – auch und vor allem heute.

Den Beweis dafür liefert Francis Bacon (1561–1626) in seinem Buch *Of the Advancement of Learning* von 1605. Er schreibt:^[3]

„For like a man's disposition is never well known till he be crossed, nor Proteus ever changed shapes till he was straitened and held fast; so the passages and variations of nature cannot appear so fully in the liberty of nature, as in the trials and vexations of art.“

Er wiederholt die Metaphorik in seinem bemerkenswerten Werk *Novum Organum* von 1620, einer Aufforderung, das, was als Aristotelisches Denken überliefert wurde,^[4] durch Experimente zu ersetzen. Francis Bacon vergleicht die Materie mit Proteus, dem Meergreis, und beschreibt folgendermaßen das wissenschaftliche Bemühen in seinem Bestreben, die Materie zu disziplinieren:^[5]

„And the manipulations of art are like the bonds and shackles of Proteus, which reveal the ultimate strivings and struggles of matter.“

Unter „art“ versteht Bacon ganz eindeutig das Experiment, wie folgende Passage zeifelsfrei belegt:^[6]

„...every interpretation of nature which has a chance to be true is achieved by instances, and suitable and relevant experiments, in which sense only gives a judgment on the experiment, while the experiment gives a judgment on nature and the thing itself.“

Mehr als Dreihundertsechzig Jahre später schreibt Primo Levi im Buch *Das periodische System* im wunderbaren Kapitel über den Wasserstoff:^[7]

„Wir würden Chemiker werden, Enrico und ich. Wir würden mit unseren eigenen Kräften, mit unserem eigenen Genie dem Geheimnis die Hüllen herunterreißen: wir würden Proteus an der Gurgel packen, seine läppischen Verwandlungen von Platon bis Augustinus, von Augustinus bis Thomas von Aquin, von Thomas von Aquin bis Hegel, von Hegel bis Croce zerschlagen. Wir würden ihn zum Sprechen zwingen.“

[*] Prof. R. Hoffmann
Department of Chemistry, Baker Laboratory
Cornell University, Ithaca, NY 14853-1301 (USA)
Fax: (+1)607-255-5707
E-mail: rh34@cornell.edu

Prof. P. Laszlo
Institut de Chimie, Université de Liège au Sart-Tilman
4000 Liège (Belgien)
und
Département de Chimie, Ecole polytechnique
91128 Palaiseau (Frankreich)
Postanschrift: POB 665, Pinehurst, NC 28370 (USA)
E-mail: pierrelaszlo@usa.net

Was geht hier vor, und wer ist Proteus? Hier eine prägnante Beschreibung:^[8]

„Weissagender Meergreis (nach der ‚Odyssee‘ auf der Insel Pharos an der Nilmündung). Er konnte sich in verschiedene Gestalten verwandeln, nur wer ihn festhielt, konnte von ihm eine Wahrsagung erzwingen. Dies gelang (...) dem von Troja heimkehrenden Menelaos.“

Die Erzählung vom Ringen des Menelaos mit Proteus in der *Odyssee* ist einer der Topoi der Literatur. Der Meergreis verwandelt sich beim Versuch des Helden und seiner Begleiter, ihn festzuhalten, zunächst in einen bärtigen Löwen, danach – die Abfolge der Formen, die der Zauberer annimmt (Abbildung 1), hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Abfolge der Tiere im chinesischen Kalender! – in eine Schlange, einen Leopard, einen riesigen Bären, fließendes Wasser und einen hohen Laubbaum. Doch Proteus muss sich der physischen Gewalt von Menelaos und seinen Begleitern beugen und willigt, fest umklammert, schließlich ein, als Seher zu dienen – als jemand mit der unheimlichen Fähigkeit des



Abbildung 1. Der Kampf zwischen Proteus und Menelaos von Patten Wilson.^[11]

Dichters, mit anschaulichen und unvergesslichen Worten die Bilder zu beschreiben, die auf ihn einströmen.^[9] Proteus war wirklich ein begnadeter Redner: Im Dialog zwischen Sokrates und Euthyphron sagt Sokrates im Scherz zu Euthyphron: „Man darf dich nur, wie den Proteus, nicht loslassen, bevor du sie [die Wahrheit] gesagt hast.“^[10]

Aber wie kamen wir vom Ringkampf mit Proteus (eindeutig ein Mann) zum Ringen mit der Natur (die in fast allen europäischen Sprachen feminin ist)? Könnte es damit zu tun haben, dass in Europa in den Jahrhunderten zwischen der Renaissance und der viktorianischen Zeit auch nur der Anflug von Homoerotik verpönt wurde? Handelt es sich einfach um eine Erosion der klassischen Kultur, da die Naturwissenschaften federführend bei der Demokratisierung der Berufe sind? Bacon greift auch zu der anderen Metapher:^[12] „...nature reveals herself more through the harassment of art than in her own proper freedom“. Was auch immer die Gründe gewesen sein mögen, heute wird Proteus, wenn man von Stilisten wie Primo Levi absieht, in seiner Höhle in Ruhe gelassen, und nur noch die Natur wird ins Kreuzverhör genommen.^[13]

Francis Bacon, als Mann der Elisabethanischen Zeit, war ein Meister im Erfinden von Metaphern – man denke nur an seine „Götzen der primitiven Völker, Götzen des Marktes“.^[14] So verglich er die Experimentalwissenschaftler, die beim Sammeln von Daten gut sind, mit Ameisen, während für ihn Theoretiker eher Spinnen ähneln, „who make cobwebs of their own substance“. Nicht jeder war glücklich mit dieser Ansicht des Lord Chancellor. So sah sich eine unserer Ikonen, Justus von Liebig, zu folgender Feststellung veranlasst:^[15]

“Bacon legt in der Forschung dem Experimente einen hohen Werth bei; er weiss aber von dessen Bedeutung nichts; ... Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d. h. eine Idee vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln mit einer Kinderklapper zur Musik“.

Zurück zur Chemie: Wir sind damit vertraut, dass die wirkliche Welt widerspenstig ist, unseren Bemühungen, sie Benehmen zu lehren, widersteht und offensichtlich nicht zu bändigen ist. Viele chemische Reaktionen („Metamorphosen“ wurden sie früher genannt) wirken auf uns in ihren Veränderungen wie Proteus, egal ob die Veränderungen vorhersagbar sind oder nicht. Dabei fallen einem beispielsweise die Kaskadenreaktionen ein, an deren Namensgebung einer von uns wesentlichen Anteil hatte.^[16] Wir kennen auch eine ganze Reihe Tricks, um den Meergreis festzuhalten, wenn es darum geht, die chemische Dynamik zu verfolgen. Ein Beispiel dafür ist das Abfangen von Reaktionszwischenstufen. Um auf die Verbindung Cyclohexa-1,2,4-trien zurückzukommen – Hinweise auf die flüchtige Existenz der Stammverbindung stammten aus solchen Abfangversuchen.^[17] Der Einsatz von Radikalfallen, um bestimmte chemische Spezies sichtbar zu machen (oder

um sie aus ihrer festgelegten Bahn zu werfen), ist ein gängiger Trick.

Wenn wir uns nun der Struktur zuwenden, entdecken wir auch hier eine unheimliche Fähigkeit der Materie, eine unvorhersagbare Vielfalt an Formen anzunehmen. Von Jack Dunitz und Joel Bernstein gibt es eine wunderbare Veröffentlichung über entschwindende Polymorphe – Kristallformen, die einmal synthetisiert wurden, später aber nicht mehr wieder hergestellt werden konnten. Oder so sah es zumindest aus.^[18] Impfkristalle können sich auf geheimnisvollen Wegen vermehren. Dieses Phänomen ist für die pharmazeutische Industrie im Hinblick auf Produktionskontrolle und Patentierbarkeit von großer Bedeutung, weil sich die Polymorphe in ihrer Wirksamkeit unterscheiden können. Polymorphe gehören dem Reich „Dasselbe und doch nicht Dasselbe“ an.^[19]

Die Metapher vom Ringen mit der Natur setzte eine Debatte in Gang, die noch heute die Wasser von Proteus Vater aufwühlt. Bacon wurde beschuldigt, der erste einer ganzen Reihe von Schurken gewesen zu sein, die die Natur folterten, ein Nutzer der Folter im Dienste der Wissenschaft.^[20] Goethes Empörung darüber, dass Newton Licht zwang, durch einen engen Spalt zu treten (und es anschließend mit Hilfe eines Prismas in seine Farbbestandteile zerlegte), ist emblematisch. Genauso sind es die leidenschaftlichen Verurteilungen der Naturwissenschaften und der durch sie möglich gewordenen industriellen Revolution durch Donne, Wordsworth und Ruskin. Die Linie lässt sich fortsetzen bis zur Kritik einiger (wenn nicht fast aller) Umwelt- und Tierschützer am interventionistischen Charakter der Naturwissenschaften.

Hier ist nicht der richtige Ort, um in diese Debatte einzusteigen. Wir sind der Meinung, dass Handel und Technik unter Hinzuziehen der Naturwissenschaften heute manches umfasst, für das wir uns schämen müssen, z. B. Tierversuche bei der Entwicklung neuer Kosmetika, aber dass es daneben viel mehr gibt, auf das wir stolz sein dürfen in unserer wirklich demokratisierenden Wissenschaft.

Als Gemeinschaft haben wir gelernt, dass das Beobachten der Natur weder unschuldig noch vollkommen unauffällig ist. Wir wissen heute, dass es Vergeltung mit sich bringt, vielleicht ähnlich wie Aktaion furchtbar dafür bestraft wurde, dass er die nackte Artemis beim Baden beobachtet hatte. Werner Heisenberg hat uns beigebracht, dass jede Messung, wenn auch nur in sehr geringem Maß, mit dem System wechselwirkt, das untersucht wird. Begrenzt das unser Wissen? Ja und Nein. Eine Folge hat es auf jeden Fall: ein vorsichtigeres Annähern an die Wirklichkeit, bei dem wir die gedankenlose Übertragung der aus der Makrowelt abgeleiteten Intuition auf die Mikrowelt infrage stellen und so sachte vorgehen müssen, wie wir von Anfang an hätten sein sollen bei unserem Befragen der Natur. Betrachtet man nur die modernen Studien zur chemischen Dynamik, diese bemerkenswerte Begegnung von klassischer und quantenmechanischer Welt. Das Unbestimmtheitsprinzip (wie es Heisenberg nannte) hat nichttriviale Konsequenzen für die neue Kunst der Kinetik. Es lässt uns fragen, welche Energien gebraucht werden, um einen Femotsekundenpuls aufzubauen und zu formen, und was für eine Zeitskala erforderlich ist, wenn wir ganz genau

eine winzige Menge Energie in eine Bindung injizieren wollen.^[21]

Ist das Eingreifen in das untersuchte System untrennbar mit den experimentellen Wissenschaften verknüpft? Die Frage verdient eine ausführlichere Behandlung. Überraschenderweise (angesichts von Bacons aufregenden Metaphern und ihrer Ablehnung) haben sich Philosophen erst in neuerer Zeit diesem Thema zugewandt. So befasst sich Ian Hacking in seinem idiosynkratischen Werk *Representing and Intervening*^[22] mit dieser Frage. In einem bedeutenden Essay über „Experimentation and Scientific Realism“ schreibt er: „Interference and interaction are the stuff of reality.“^[23] J. E. Tiles wiederum schreibt in dem Essay „Experiment as Intervention“ über Hackings Analyse, dass sie „in some quarters with a mixture of incomprehension and hostility“ aufgenommen wurde.^[24] Das ist ein bisschen überraschend. Wir stimmen darin mit Tiles überein, dass Wissenschaftsphilosophen in Betracht ziehen sollten, dass ein Experiment nicht nur aus einer Beobachtung folgt (wie klassische Empiriker fälschlich und engstirnig annehmen; ohne ihm zu nahe treten zu wollen, gilt das auch für Liebig). Manchmal liegt ihm auch eine unverhohlene interventionistische Einstellung zugrunde.

Dass die Natur ihre Geheimnisse freiwillig preisgibt, ist eine Fiktion. Der Erwerb von Wissen ist immer mit einer Störung verbunden. Nur deren Größe ändert sich. Darum haben wir gelernt, vorsichtig zu sein. Wir wollen vermeiden, dass unsere Neugierde ihr Objekt zerstört, das in seiner Zerbrechlichkeit einem Schmetterling gleicht. Statt noch wie die Wilden mit der Natur zu ringen, ohne die Folgen zu bedenken, haben wir uns zu Meistern in feineren Methoden entwickelt. Als Beispiele mögen die vielen „nichtinvasiven“ spektroskopischen Techniken dienen, beispielsweise das feine Spiel mit den Spins in der NMR-Spektroskopie oder der Einsatz von Isotopen, die die geringste uns bekannte Störung verursachen.^[25] Und dabei nutzen wir natürlich all die tollen Informationen, die uns die Isotopeneffekte liefern...

Wir versuchen, unsere Störungen so zart wie eine Liebkosung oder einen Kuss zu machen. Aber bei Gott, ein Kuss kann manchmal die Welt erschüttern.

Und selbstverständlich sind auch wir Teil der Natur. Wenn man versucht, ein komplexes System oder Phänomen zu verstehen – z. B. die elektrocyclischen Reaktionen, bevor sie verstanden waren –, erscheinen einem der eigene Verstand und das eigene Geschick zu begrenzt. Wir haben es mit einem komplizierten Geflecht aus ungenauen Fakten zu tun. Wir ringen um eine Erklärung des Phänomens.

Schlafmangel wegen des Kampfes mit der Wahrheit der Materie erinnert an einen anderen Ringkampf auf der geistigen Weltbühne. Es ist die Geschichte von Jakobs nächtlichem Kampf in *Genesis 32*.^[26]

„Jakob blieb allein zurück. Da rang ein Mann mit ihm, bis die Morgenröte anbrach. Und als er sah, daß er ihn nicht übermochte, schlug er ihn auf das Gelenk seiner Hüfte, und das Gelenk der Hüfte Jakobs wurde über dem Ringen mit ihm verrenkt. Und er sprach: Laß mich gehen, denn die Morgenröte bricht an. Aber Jakob antwortete: Ich lasse dich nicht, du segnest mich denn. Er sprach: Wie heißest du? Er antwortete: Jakob. Er sprach: Du sollst nicht mehr Jakob

heißten, sondern Israel; denn du hast mit Gott und mit Menschen gekämpft und hast gewonnen. Und Jakob fragte ihn und sprach: Sage doch, wie heißest du? Er aber sprach: Warum fragst du, wie ich heiße? Und er segnete ihn daselbst.“

Jetzt, wo wir anfangen, in dieser Welt der Chemie die Dinge so zu sehen, wie sie sind, sind wir überwältigt von dem Gefühl, mit sowohl göttlichen als auch menschlichen Konzepten gekämpft zu haben.

Proteus wurde im Laufe der Zeit zu einem Adjektiv. Proteisch zu sein bedeutet, sein Erscheinungsbild ändern zu können, d. h., unterschiedliche Formen annehmen zu können oder in mehreren Formen zu existieren. Hat es jemals eine Wissenschaft gegeben, die sich mehr mit Veränderungen befasst hat, als die Chemie? Und sind nicht der Reichtum unseres Unterfangens, die Vielzahl an Molekülen, die wir synthetisieren können, die wegen der Existenz von Isomerie unvermeidbare Komplexität allen Lebens ebenso viele Inkarnationen von Proteus? Das Adjektiv, das als Titel über diesem Essay steht, ist eine treffende Beschreibung für die Chemie selbst.

- [1] M. A. Hofmann, U. Bergsträsser, G. J. Reiss, L. Nyulászi, M. Regitz, *Angew. Chem.* **2000**, *112*, 1318–1320; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2000**, *39*, 1261–1263.
- [2] Ein reizendes Beispiel hierfür ist das Gedicht eines unserer Helden, Humphry Davy, das von D. Knight zitiert wurde: H. Davy, *Humphry Davy: Science and Power*, Blackwell, London, **1993**. Die Metapher nimmt an, dass die Aufgabe der Wissenschaften die Entdeckung ist. Doch vor allem Chemiker wissen, dass ihre Arbeit zu einem wesentlichen Teil Schöpfung ist; siehe Kapitel 19 in Lit. [19].
- [3] Siehe die von G. W. Kitchin herausgegebene Fassung: F. Bacon, *Of the Advancement of Learning*, J. M. Dent, London, **1915**, S. 73.
- [4] Wir haben diese Formulierung aus Achtung vor Aristoteles gewählt. Bacon und seine Zeit wehrten sich gegen die Scholastiker, die „merely polished the idol of Aristotle's investigations—thousands of years after his time.“ Aristoteles war (gelegentlich) ein genauer Beobachter der Natur, wie seine *Historia Animalium* belegt; sein Denken war „the boldest scientific thinking of his day.“ Die Baconesken Zitate hier stammen von Michael Weisberg, Stanford University, persönliche Mitteilung.
- [5] Siehe die von L. Jardine und M. Silverthorne herausgegebene Fassung: F. Bacon, *The New Organon, Book I*, Cambridge University Press, Cambridge, **2000**, S. 227.
- [6] Siehe die von L. Jardine und M. Silverthorne herausgegebene Fassung: F. Bacon, *The New Organon, Book I*, Cambridge University Press, Cambridge, **2000**, S. 45.
- [7] P. Levi, *Das periodische System* (übersetzt von Edith Plackmeyer), Carl Hanser, München, **1987**, S. 28.
- [8] *Brockhaus – Die Enzyklopädie*, Band 17, 20. Aufl., F. A. Brockhaus, Mannheim, **1998**, S. 550.
- [9] Homer, *Odyssee, IV Gesang* (z.B. Homer, *Ilias, Odyssee* (in der Übertragung von J. H. Voß), Artemis Verlag, Zürich, 1990, 489–494.
- [10] Platon, *Euthyphron, 15d*, zitiert aus Platon, *Die Werke des Aufstiegs*, Artemis Verlag, Zürich, **1974**, S. 209.
- [11] Eine Illustration der Übersetzung der *Odyssee* von H. B. Cotterill: *Odyssey*, George G. Harrap, London, **1911**.
- [12] Siehe die von L. Jardine und M. Silverthorne herausgegebene Fassung: F. Bacon, *The New Organon, Book I*, Cambridge University Press, Cambridge, **2000**, S. 21.
- [13] Es gibt eine verwandte, unserer Meinung nach aber verschiedene Metapher, die ohne genaue Definition in der Philosophieliteratur anzutreffen ist. Es ist das „carving nature at its joints“, auf das uns Michael Weisberg hingewiesen hat. Diese Metapher geht zurück auf Platon (*Phaidros*, 265e: „Ebenso auch wieder nach Begriffen zerteilen zu können gliedermäßig, wie jedes gewachsen ist, ohne etwa, wie ein schlechter Koch verfahren, irgendeinen Teil zu zerbrechen“; zitiert aus Platon, *Sämtliche Werke*, Band 2, Rowohlt, Hamburg, **1985**) und bezeichnet nach unserer Auffassung Naturwissenschaftler (oder Philosophen), die versuchen, Klassifizierungen oder Kategorien „richtig“ hinzubekommen.
- [14] Als Beleg für die anhaltende Gültigkeit dieser Metapher von Bacon sei S. J. Gould, *Science* **2000**, *287*, 253–261, angeführt.
- [15] Liebig hatte noch viel mehr, und selten etwas Freundliches, über Bacon zu sagen. Er widmete eine Vorlesung und zwei lange polemische Essays (die 1863 und 1864 in der *Augsburger Allgemeinen Zeitung* erschienen) dem anderen Baron: J. von Liebig, *Reden und Abhandlungen*, C. F. Winter, Leipzig, **1874**, S. 220–295. Siehe dazu auch die Diskussion von Liebig's Essay in G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, J. Vrin, Paris, **1969**, S. 58–59.
- [16] A. Cornélis, P. Laszlo, *J. Am. Chem. Soc.* **1975**, *97*, 244–245.
- [17] M. Christl, M. Braun, G. Müller, *Angew. Chem.* **1992**, *104*, 471–473; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1992**, *31*, 473–476. Isobenzol entsteht auch als reaktive Zwischenstufe bei der Cycloaromatisierung von 1,3-Hexadiin zu Benzol; siehe W. R. Roth, H. Hopf, C. Horn, *Chem. Ber.* **1994**, *127*, 1765–1779; dieser Prozess wurde 1969 zum ersten Mal beschrieben: H. Hopf, H. Musso, *Angew. Chem.* **1969**, *81*, 704; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1969**, *8*, 680. Henning Hopf erzählte uns, dass er diese Spezies als Zwischenstufe für den Ringschluss von 1,5-Hexadien-5-in in seiner Habilitationsschrift von 1972 vorgeschlagen hatte, es damals aber nicht gewagt hatte, sie auch in gedruckter Form zu erwähnen.
- [18] J. D. Dunitz, J. Bernstein, *Acc. Chem. Res.* **1995**, *28*, 193–200. Einen von uns inspirierte diese Veröffentlichung dazu, ein Gedicht zu schreiben (R. Hoffmann, *Cryst. Growth Des.* **2000**, *1*, 3).
- [19] R. Hoffmann, *The Same and Not the Same*, Columbia University Press, New York, **1995**; R. Hoffmann, *Sein und Schein – Reflexionen über Chemie*, Wiley-VCH, Weinheim, **1997**.
- [20] P. Pesic, *Isis* **1999**, *90*, 81–94. Pesics Artikel mit dem Titel „Wrestling with Proteus; Francis Bacon and the 'Torture' of Nature“, auf den wir uns bei diesem Essay erheblich stützen, nennt eine ganze Zahl solcher Interpretationen von Bacons Metapher. Das lateinische Wort, das Bacon verwendete – *vexatio*, *vexare* – sollte nach Pesic mit Ärgern/Plagen übersetzt werden. Zur Zeit Bacons und auch bei Bacon selbst war die Bedeutung dieses Wortes deutlich verschieden von der des Wortes Folter. Die frühere Verwendung von „trial or vexation“ auf Englisch durch Bacon (siehe Lit. [3]) in einem ähnlichen Zusammenhang stützt Pesics Sichtweise.
- [21] R. Hoffmann, *Am. Sci.* **1999**, *87*, 308–311; R. Hoffmann, *Am. Sci.* **2000**, *88*, 14–17.
- [22] I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge, **1983**.
- [23] I. Hacking in *Scientific Realism* (Hrsg.: J. Leplin), University of California Press, Berkeley, **1984**, S. 154–172.
- [24] J. E. Tiles, *Brit. J. Philos. Sci.* **1991**, *44*, 463–475. Wir danken Michael Weisberg für den Hinweis auf diese Veröffentlichung.
- [25] Von Hans Christian von Baeyer stammt ein mit viel Verständnis geschriebener, nachdenklicher Essay darüber, wie man die Natur genau, aber nicht zerstörerisch untersuchen könnte und untersucht. H. C. von Baeyer, *The Sciences* **1989**, Sept/Oct, 6–9; Nachdruck in H. C. von Baeyer, *The Fermi Solution*, Random House, New York, **1990**.
- [26] *Genesis 32:25–30*, zitiert aus *Die Bibel* (nach der Übersetzung Martin Luthers), Deutsche Bibelgesellschaft, Stuttgart, **1985**, S. 37.