

## Paradigmen kommen und gehen oder revolutionäre und krankhafte Wissenschaft – wie man den Unterschied erkennt\*\*

Nicholas J. Turro\*

*Naturwissenschaftliche Erkenntnisse: Paradigmen und Pathologisches*

Eine der interessantesten Herausforderungen für Wissenschaftler besteht darin, einem Laien zu erklären, wie Wissenschaft funktioniert und warum Wissenschaftler ihre Entdeckungen, obwohl nicht vollkommen, für das beste halten, das der menschliche Verstand hervorzubringen in der Lage ist. Im Allgemeinen sind sich Wissenschaftler darüber im Klaren, dass wissenschaftliche Entwicklungen als vorbehaltlich und alle Schlussfolgerungen, wenigstens im Prinzip, als provisorisch anzusehen sind. Dennoch verhalten sich die Wissenschaftler bei ihrer täglichen Arbeit oft so, als ob sie es mit grundlegenden „Wahrheiten“ zu tun hätten. Dieses Verhalten wird durch die selbstsichere Art und Weise unterstützt, in der die Wissenschaft eine scheinbar nicht endende Reihe von unglaublichen Voraussagen und Verifikationen liefert, die häufig schnell in bedeutende technologische Anwendungen einfließen, was dann die Erklärung zu einer noch größeren Herausforderung macht. Wie kann jemand von seinem „Wissen“ so überzeugt sein, ohne gleichzeitig als arroganter Besserwisser aufzutreten?

In diesem Zusammenhang ist eine andere Frage zu klären: Wie geht die Wissenschaft mit außergewöhnlichen Theorien um? Wie kann ein Wissenschaftler erkennen, ob eine bemerkenswerte Idee oder experimentelle Beobachtung einmal zum Nobelpreis führen könnte – der für die Art von Wissenschaft verliehen wird, die das Denken der Wissenschaftler verändert – oder zum Ig-Nobelpreis, der für Ergebnisse verliehen wird, die nicht wiederholt werden können (oder sollen)?

In der Geschichte der Wissenschaft ist die Grenze zwischen revolutionärer Wissenschaft und krankhafter Wissenschaft

nicht immer deutlich gewesen. Nach welchen objektiven Kriterien kann man Geniales von Unsinn unterscheiden? Beide Extreme des wissenschaftlichen Spektrums zeichnen sich durch ein gemeinsames Merkmal aus: die Fähigkeit des Wissenschaftlers (oder einer Gruppe von Wissenschaftlern) „außerhalb des üblichen Rahmens“ zu denken. Doch wie sieht dieser Rahmen aus? Ich würde ihn gleichsetzen mit dem Paradigma, dem Konzept, das Thomas Kuhn in *The Nature of Scientific Revolutions* bekannt gemacht hat.<sup>[1]</sup> Die Wissenschaft macht Quantensprünge, wenn sich ein Paradigma verändert, aber ein schwieriger und komplexer Prozess, bei dem außer wissenschaftlichen auch soziologische Aspekte eine Rolle spielen, ist erforderlich, um zu bestätigen, dass eine außergewöhnliche Behauptung auch revolutionär ist – der Kernpunkt echter Paradigmenwechsel – und sie von denen zu trennen, die sich schließlich als wertlos erweisen, bestimmt für den Abfalleimer der Wissenschaftsgeschichte.

Betrachten wir ein konkretes Beispiel: Im letzten Jahrhundert publizierte Max Planck einige mathematische Berechnungen, mit der Absicht, eine Anomalie in der klassischen Theorie des Lichts, die damals als unerschütterliches Paradigma galt, zu beschreiben. Die Anomalie wurde als „Ultraviolet-Katastrophe“ bezeichnet, und dieser Begriff gibt eine Vorstellung davon, wie beunruhigt die Physiker damals waren! Plancks außergewöhnlicher Vorschlag zur Beseitigung der Anomalie bestand darin, Licht als „gequantelt“ und aus Energieteilchen bestehend anzunehmen und nicht gemäß dem Paradigma der klassischen Theorie als Energiekontinuum. Zu jener Zeit (und zum Teil immer noch) erschien dies als ein unsinniger, allen bekannten Erfahrungen widersprechender Vorschlag und eine Bedrohung für das vorherrschende Paradigma der klassischen Theorie des Lichts.

Doch wenige Jahre nach der Veröffentlichung verband Einstein Plancks Vorschlag mit einer anderen Anomalie, nämlich dass Licht einen Ausstoß von Elektronen aus einem Metall bewirkt (der photoelektrische Effekt). Die Erklärung des photoelektrischen Effekts im Rahmen der Quantentheorie führte 1921 zu Einsteins Nobelpreis. In den nächsten Jahrzehnten stand die Welt der Physiker einen Kampf durch, aus dem die Grundgedanken der Quantenmechanik triumphierend hervorgingen, obwohl sie den Erfahrungen des Alltags zuwiderliefen. Das Emporkommen des Paradigmas der Quantenchemie warnt und lehrt uns: Ohne Rücksicht

[\*] N. J. Turro  
Department of Chemistry  
and Department of Chemical Engineering  
Columbia University  
3000 Broadway, Mail Code 3119  
New York, NY 10027 (USA)  
Fax: (+1) 212-932-1289  
E-mail: turro@chem.columbia.edu

[\*\*] Der Autor dankt Bill Millard, dem Herausgeber des Columbia University's 21C magazine, für seine Unterstützung und Zusammenarbeit sowie der NSF für Forschungsmittel (Grant CHE98-12676).

darauf, wie bizarr eine wissenschaftliche Behauptung sein mag oder wie weit sie von der üblichen Erfahrung entfernt ist, kann sie trotzdem akzeptiert und von Wissenschaftlern verwertet werden und sogar rasch in technologischen Anwendungen genutzt werden!

Aber was ist mit den vielen bemerkenswerten Hypothesen, die aufgestellt, erörtert und dann von der Gemeinschaft der Wissenschaftler als Unsinn abgelehnt wurden? Wie wurde jede einzelne Entscheidung gefällt, und wie können wir wissen, ob die Entscheidung richtig war? Gibt es Regeln, denen die Wissenschaftler folgen können, um die Wahrscheinlichkeit zu verringern, in die Falle zu tappen und krankhafte Wissenschaft zu unterstützen?

#### (Selbst)täuschungsmechanismen

Gestörte Wissenschaft kann viele Formen annehmen, von Pseudowissenschaft (irrationale oder mystische Gedankengebäude, in einen wissenschaftlich klingenden Jargon gekleidet) über Schundwissenschaft (methodisch nachlässige, ungenaue Forschung, gewöhnlich durchgeführt, um irgendeine Angelegenheit außerhalb der Wissenschaft voranzubringen oder einen Rechtsstreit zu gewinnen) bis hin zu Betrug. Dieser Essay befasst sich nicht mit Wissenschaft, die aus unredlichen Machenschaften resultiert (und selten von intellektuellem Interesse ist), sondern vielmehr mit ernsthaften Untersuchungen, die sich letzten Endes als Irrtümer erwiesen und die als krankhafte Wissenschaft eingestuft werden können.<sup>[2]</sup> Wie der Chemiker und Nobelpreisträger Irving Langmuir in seinem berühmten General-Electric-Vortrag zu diesem Thema sagte: „These are cases where there is no dishonesty involved, but where people are tricked into false results by the lack of understanding about what human beings can do to themselves in the way of being led astray by subjective effects, wishful thinking, or threshold interactions.“<sup>[3]</sup>

Die Straße zur wissenschaftlichen Wahrheit ist nicht einfach nur mit historischen Irrtümern gepflastert, sie wird durch ständige Fehlerkorrekturen erbaut. Wenn wir Kuhns Beschreibung des wissenschaftlichen Fortschritts als eine Folge von Revolutionen oder Paradigmenwechseln akzeptieren, die aus dem ständigen Bemühen resultieren, neue Ergebnisse mit dem herrschenden Paradigma in Einklang zu bringen, dann sagen die Krisenmomente eines Wissenschaftsbereiches – wenn verschiedene Parteien darüber streiten, ob sich ein neues Konzept oder experimentelles Ergebnis als revolutionär oder absurd erweisen wird – sehr viel darüber aus, wie Erkenntnisse gebildet, getestet, gesichert und akzeptiert werden. Deshalb kann ein Verständnis krankhafter Wissenschaft dem Forscher helfen, glaubwürdige Wissenschaft besser zu erkennen – und selbst zu ihr beizutragen.

Kuhn<sup>[1]</sup> geht davon aus, dass Forscher bei ihren alltäglichen wissenschaftlichen Arbeiten manchmal anomale Befunde erhalten; der gewissenhafte Wissenschaftler untersucht diese Abweichungen experimentell, in der Absicht, die Anomalie zu widerlegen und das gegenwärtig vorherrschende Paradigma zu bestätigen. (Dieses Muster der paradigmagelenkten Nachforschung möchte ich als „Erstes Gesetz der Parodynamik“ bezeichnen.) Wenn jedoch bedeutende Anomalien fortbestehen und den größten Bemühungen der Wissenschaft-

eler, sie zu beseitigen, standhalten, beginnt ein Zeitraum intensiver Debatten und experimenteller Arbeit, in dem üblicherweise eine Gruppe die Richtigkeit des Paradigmas in Frage stellt und eine andere sie verteidigt. Ein plötzlich auftretendes Schlüsselergebnis kann das Paradigma bestätigen und die vermeintliche Anomalie als krankhaft enthüllen; bei seltenen und denkwürdigen Gelegenheiten rechtfertigt ein Schlüsselergebnis eine bedeutende Revision oder einen Wechsel des Paradigmas (darauf folgen gelegentlich Nobelpreise).

Welches Paradigma auch immer ein wissenschaftliches Fachgebiet zu irgendeiner Zeit beherrscht, es hilft, das Denken des Forschers zu prägen und zu ordnen, wobei es als eine Art „Straßenkarte“ für Untersuchungen innerhalb des Spezialgebiets fungiert und als Schutz vor stümperhafter Arbeit. Befindet sich ein Fachgebiet in einer potentiell revolutionären Phase, so kann ein herrschendes Paradigma ein Gefängnis sein, das die Forscher daran hindert, viel versprechenden neuen Hinweisen zu folgen. Aber öfter ist es eine Art von abstrakter Autorität, etwas, das man nicht ohne Zwang aufgibt. Wissenschaft wird oft dann dilettantisch, wenn sich Forscher aus ihrem vertrauten Paradigma wagen, ohne ausreichende Erfahrung mit den Paradigmen des neuen Gebietes zu haben.

Ein aufschlussreiches Beispiel<sup>[4]</sup> ist die Kontroverse über die „kalte Kernfusion“ von 1989; damals behaupteten Wissenschaftler, einen außergewöhnlichen nuclearen Prozess entdeckt zu haben, als bei elektrochemischen Reaktionen „anomale“ Wärmetönungen auftraten. Die Forscher, ihres Zeichens Elektrochemiker, vertraten die Ansicht, eine Kernreaktion sei durch Messungen von Neutronen- und Gammastrahlenemission belegt. Dabei handelte es sich jedoch um Artefakte, wie Kernphysiker nachweisen konnten. Die Elektrochemiker hätten sich vermutlich eine ziemlich große Schmach ersparen können, wenn sie erfahrener in den Paradigmen der Hochenergiephysiker gewesen wären.

Obwohl nur wenige Anomalien überhaupt zu revolutionären Änderungen führen – während die meisten Forscher davon träumen, genau die Art von Entdeckung zu machen, die zu Ansehen führt –, besteht eine verständliche Versuchung, unerwartete Ergebnisse als gleichermaßen außergewöhnliche und bedeutsame Anomalien zu interpretieren. In jeder wissenschaftlichen Disziplin erfolgt eine unmittelbare Bewertung und Quantifizierung der Neuheit einer Idee, ihres intellektuellen Potentials (insofern in gewissem Sinne eng verwandt mit der potentiellen Energie, als die Entfernung zwischen der Vorstellung und dem, was ein vorhandenes Paradigma vorhersagen würde, gemessen wird), das man als den Überraschungsgehalt (surprisal) der Idee oder des Ergebnisses bezeichnen kann. Eine große Überraschung bedeutet, dass sich die Idee oder das Ergebnis weit außerhalb des Paradigmas befindet. Weil die weitere Untersuchung sehr gewinnträchtig, aber auch riskant ist, ist Skepsis bei den Forschern, die sich diesem Thema widmen, als Gegengewicht unbedingt notwendig.

Die Geschichte der wissenschaftlichen Irrtümer lässt einige Muster erkennen; diese sind in Abbildung 1, die an eine Abbildung in einem früheren Aufsatz in dieser Zeitschrift angelehnt ist, dargestellt.<sup>[5]</sup> Befindet sich ein Bereich in der

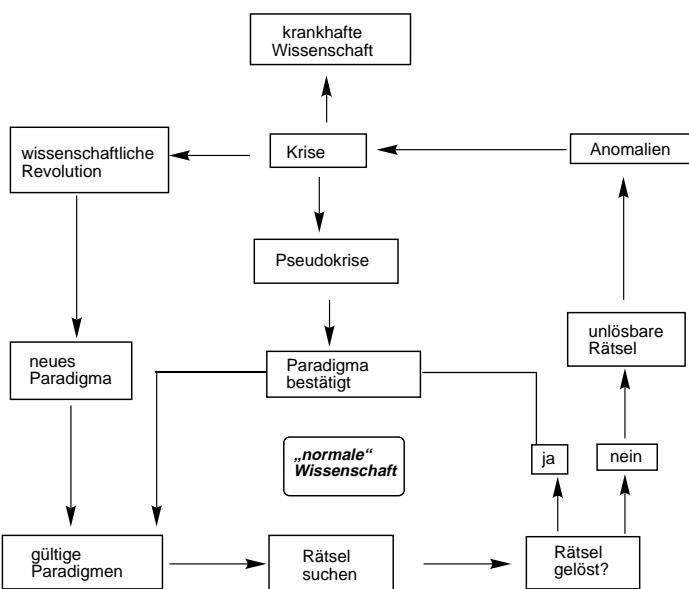


Abbildung 1. Wege, die wissenschaftliche Entdeckungen gehen können.

kritischen vorrevolutionären/präpathologischen Phase, so kommt ein Grundprinzip zur Anwendung, das ich das „Zweite Gesetz der Parodynamik“ nennen möchte: Je drastischer die Abweichung von einem geltenden Paradigma, desto wahrscheinlicher wird ein revolutionärer oder krankhafter Ausgang – und desto wichtiger wird es, die Mechanismen zu kennen, durch die Erkenntnisirrtümer aufzutreten pflegen. Abbildung 1 zeigt das Zweite Gesetz der Parodynamik für ein ausgereiftes wissenschaftliches Paradigma. Täglich folgt „normale Wissenschaft“ den mehr oder weniger ereignislosen Schleifen, in denen auf das Paradigma übertragene Probleme gelöst werden, und das Paradigma wird fortwährend bestätigt.

Der Bereich der „normalen Wissenschaft“ in Abbildung 1 besteht aus der Entstehung von Problemen basierend auf den herkömmlichen Paradigmen, dem Lösen der Probleme und der damit verbundenen Bestätigung der Paradigmen. Von Zeit zu Zeit widerstehen einige Probleme ihrer Lösung, und wenn sie selbst den Koryphäen eines Fachgebiets hartnäckig entgegentreten, können sie in diesem Fachgebiet als Anomalien betrachtet werden. Anomale Ergebnisse, die mit dem vorherrschenden Paradigma eines Bereiches nicht erklärt werden können und wichtig genug sind, um einen intellektuellen Aufruhr zu verursachen, können diesen Bereich in eine Krise stürzen – ein nicht vorhersagbarer Zustand analog einem „Katastrophenpunkt“ in der Topologie –, die in einer Bestätigung des gegenwärtigen Paradigmas enden kann, unabhängig davon, ob es sich um einen Fall von revolutionärer oder krankhafter Wissenschaft handelt.

Die Überwindung der Krise kann normalerweise eine von drei Formen annehmen: 1) Das revolutionäre Potential der Anomalie kann sich als mehr scheinbar denn real entpuppen, und dieser „pseudokritische“ Zustand löst sich auf, wodurch das ursprüngliche Paradigma in gleicher Weise bestätigt wird wie durch „normale Wissenschaft“, wenn auch mit größerem Nachdruck. 2) Die Anomalie kann eine tatsächliche Kuhn-sche Revolution auslösen, woraus ein neues Paradigma resultiert. 3) Die Anomalie kann sich als krankhaft heraus-

stellen; in diesem Fall werden nur Fanatiker sie weiter verfolgen, und das alte Paradigma bleibt nicht nur unangestastet, sondern wird wiederum bestätigt.

#### Vom Möglichen über das Plausible und Wahrscheinliche zum Bewiesenen

Eine Möglichkeit, wie Verwirrung im Denken eines Wissenschaftlers eintreten kann, besteht in einem Bruch im gedanklichen Voranschreiten durch vier Stadien wissenschaftlicher „Erkenntnis“; der Einfachheit halber können wir diese als die vier Ps bezeichnen:

- Das *Mögliche* (possible) umfasst alles, was keine Grundsätze der Wissenschaft verletzt (beispielsweise den Zweiten Satz der Thermodynamik oder den Impuls- oder Energieerhaltungssatz).
- Das *Plausible* (plausible) bezeichnet Ideen, die mit dem Möglichen vereinbar sind und die tragbar sein können, wenn wir uns Umstände vorstellen können, unter denen sie realisiert und überprüft werden könnten. (Im berühmten Fall<sup>[6]</sup> des „Polywassers“ oder der polymerisierten H<sub>2</sub>O-Moleküle gab es a priori keinen Grund, weshalb eine chemische Reaktion, die solch ein Produkt liefert, nicht ablaufen sollte und sich, wie es jede Reaktion muss, zu einem Zustand geringerer potentieller Energie bewegt; die Vorstellung kann als unplausibel, aber nicht als unmöglich angesehen werden, da sie nur fordert, dass ein Zustand von polymerisiertem Wasser existiert und dieses unter irgendwelchen Bedingungen stabiler ist als gewöhnliches Wasser.)
- Zum *Wahrscheinlichen* (probable) gehören Ideen der „normalen und alltäglichen Wissenschaft“ im Sinne Kuhns: die Ideen und Untersuchungen, die ein bestehendes Paradigma anwenden und den Umfang des Paradigmas auch erweitern können, aber nicht zu einem Paradigmenwechsel führen. Diese Ideen sind so fest etabliert, dass sie gewöhnlich nicht debattiert werden, sondern als Dogma verstanden werden.
- Das *Bewiesene* (proven) bezieht sich auf nicht überraschende Übungen im Lösen von Problemen, auf das Routineverfahren, um Ideen experimentell zu testen oder zu „beweisen“, das innerhalb eines gefestigten Paradigmas sicher funktioniert.

Die Grenzen, die diese Erkenntnisstufen voneinander trennen – besonders die zwischen den ersten beiden – sind in der Praxis nicht so deutlich wie in der Theorie, vor allem wenn ein Ergebnis für zwei oder mehr unterschiedliche Spezialgebiete mit verschiedenen Paradigmen von Interesse ist. Eine Hypothese mit „großem Überraschungsgehalt“ kann von einer Position aus unmöglich erscheinen, während das Paradigma eines anderen Bereichs deutlich macht, dass die Hypothese innerhalb des Möglichen liegt und lediglich die Grenzen von Plausibilität oder Wahrscheinlichkeit verschiebt. Zum Beispiel liegt die kalte Fusion zweier Deuteriumkerne bei niedriger Temperatur oder die Polymerisation von Wasser gegenwärtig außerhalb des Paradigmas der konventionellen Chemie und kann deshalb als „unmöglich“ bezeichnet werden, wenn man sich auf „gewöhnliche“ chemische Bedingungen beschränkt. Eigentlich wäre es genauer, sie

„unplausibel“ zu nennen unter für die Chemie ungewöhnlichen Bedingungen wie denen der Hochenergiephysik. Tatsächlich repräsentierte das Experiment der kalten Fusion keine Unmöglichkeit, da bekannt ist, dass Kerne unter Freisetzung enormer Energie verschmolzen werden können, sondern eine „katalysierte“ Fusion, die ohne Methoden der Hochenergiephysik auskommt. So unplausibel es uns auch erscheint, die Geschichte der Wissenschaft hat gezeigt, dass kluge Wissenschaftler sich vorstellen können, wie „unplausible“ Wissenschaft zu machen ist, vorausgesetzt, dass sie grundsätzlich „möglich“ ist.

Erst nachdem ein Konzept den Spießrutenlauf durch die Wissenschaftlergemeinschaft – d.h. die rigorosen Experimente und interpretativen Bemühungen, sie als falsch zu entlarven – überstanden hat, kann gesagt werden, dass sie sich von einer Frage der Möglichkeit zum Status des Wahrscheinlichen oder Bewiesenen bewegt. Krankhafte Wissenschaft kommt vor, wenn ein Forscher diesen Prozess abkürzt und sich voreilig statt für genaue Untersuchung für Befürwortung entscheidet.

#### *Manchmal gibt es kein „es gibt“*

Die klassischen Symptome krankhafter Wissenschaft im Sinne Langmuirs (Tabelle 1) führen viele Fehler auf verschiedene Formen der subjektiven Beurteilung zurück. Unsicherheit ist Teil jeder Wissenschaft, und subjektive Beurteilungen sind in den meisten Bereichen unvermeidlich; vor allem statistische Randphänomene an der Grenze menschlicher Wahrnehmung mit einem geringen Signal/Rausch-Verhältnis können leicht falsch gedeutet werden. (Langmuir selbst begegnete diesem Phänomen 1930 im Columbia-Laboratorium der Professoren Bergen Davis und Arthur Barnes: Diese Physiker glaubten, Elektroneneinfang durch Alphateilchen in einem Magnetfeld entdeckt zu haben. Doch Langmuir fand heraus, dass sie bei ihren sechsständigen Marathonsitzungen, in denen sie Szintillationen auf einem Bildschirm in einem abgedunkelten Raum zählten, auch visuelle Halluzinationen

Tabelle 1. Sechs wiederkehrende Muster in Fällen krankhafter Wissenschaft nach Langmuir.<sup>[3]</sup>

- Der größte beobachtete Effekt wird durch ein verursachendes Prinzip von kaum messbarer Intensität hervorgerufen, und das Ausmaß des Effekts ist im Wesentlichen unabhängig von der Intensität der Ursache
- Der Effekt ist von einer Größenordnung nahe an der Nachweigrenze, oder wegen der sehr geringen statistischen Signifikanz der Ergebnisse sind viele Messungen nötig
- Es wird hohe Genauigkeit beansprucht
- Es werden fantastische, der Erfahrung widersprechende Theorien vorgeschlagen
- Kritik begegnet man mit Ad-hoc-Rechtfertigungen, die spontan erfunden werden
- Das Verhältnis von Befürwortern zu Kritikern steigt auf etwa 1:1 an, um dann allmählich gegen Null zu gehen

Zu diesen können wir die folgenden hinzufügen:

- Das bemerkenswerte Ergebnis ist spezifisch für ein „spezielles“ System
- Irgendeine spezielle Technik oder Apparatur spielt eine Rolle
- Das Ergebnis erfordert eine überraschende Abkehr von Paradigmen, die gänzlich die Ergebnisse in allen anderen vergleichbaren Systemen bestimmen, einschließlich derer, die von den Autoren untersucht wurden

zählten, die unter solchen Bedingungen normal sind. Sie gingen über Beobachtungen hinweg, die im Widerspruch zu ihrem Paradigma standen.)

Wissenschaftler sortieren oft einige ihrer verstreut liegenden Messwerte als „Ausreißer“ aus, weil sie z.B. experimentelle Fehler vermuten; in manchem Zusammenhang mag dies an Betrug grenzen, aber häufig ist es ein vernünftiger und akzeptabler Ausleseprozess. In allen Bereichen schützt die Forderung nach Reproduzierbarkeit innerhalb statistischer Grenzen gegen diese Art von Beobachtungsfehler.

Die Alarmglocken sollten daher sofort läuten, wenn ein Forscher gegen die Forderung nach Reproduzierbarkeit Widerstand leistet und behauptet, dass nur ein bestimmtes System dieses anomale Ergebnis hervorrufen können (oder sogar nur bestimmte Forscher). Solch ein Beispiel sind die Untersuchungen zur „unendlichen Verdünnung“,<sup>[7]</sup> denen zufolge Lösungen von Antikörpern biologisch aktiv blieben, selbst wenn sie so stark verdünnt wurden, dass keine gelösten Moleküle mehr nachweisbar waren. Dies würde bedeuten, dass Wasser eine Erinnerung an die Moleküle behält, die in ihm gelöst waren. Eine Bestätigung dieser Hypothese – völlig unplausibel, aber innerhalb chemischer Paradigmen nicht unmöglich – hätte einige der Grundüberzeugungen der Chemie über die Eigenschaften von Wasser umgeworfen. Andere Forscher fanden heraus, dass diejenigen, die über die unendliche Verdünnung berichtet hatten, keine geeigneten Kontrollen bezüglich Beobachtervereinigung genommen oder Probenverunreinigung durchgeführt, widersprechende Messungen ausgeschlossen, die Statistik „angepasst“ und es versäumt hatten, Gründe für fehlende Reproduzierbarkeit zu suchen. Statt zuzugeben, dass seine Arbeitsgruppe einer fehlgeleiteten Forschung nachgegangen war, hat der Leiter des Labors an dieser Theorie festgehalten, und nicht nur einen, sondern gleich zwei Ig-Nobelpreise für unglaubliche Forschung verliehen bekommen. Der Verlauf dieser Geschichte passt genau zu den von Langmuir genannten Symptomen.<sup>[2, 3]</sup>

#### *Etwas für existent erklären*

Jedoch nicht alle wissenschaftlichen Krankheitserscheinungen werden durch die Langmuirsche Liste abgedeckt. Ein anderer Fall von krankhafter Wissenschaft, die Debatte über Polywasser<sup>[6]</sup> in den 60er Jahren, veranschaulicht eine gebräuchliche Art, eine Abkürzung zu nehmen: ein Versäumnis, alternative gängige Hypothesen zu berücksichtigen, um scheinbar außergewöhnliche Ergebnisse zu deuten. Deryagin und andere Forscher konnten durch Kondensation von Wasser in sehr kleinen Kapillaren eine dichte Flüssigkeit herstellen, die für eine neue, polymerisierte Form von Wasser, eben Polywasser, gehalten wurde. Deryagins Ergebnisse waren durchaus für andere reproduzierbar, kontrollierende physikochemische Variablen wurden hinreichend berücksichtigt, und auf die Kritik von Kollegen wurde eingegangen. Aber die Flüssigkeit stellte sich schließlich als Artefakt heraus, hervorgerufen durch Verunreinigungen in gewöhnlichem Wasser.

Deryagin und weltweit zahlreiche Anhänger seiner Theorie verfolgten das Polywasser-Konzept bis zum Äußersten, zum

Teil wegen der plausiblen Theorien über das Verhalten von Wassermolekülen in ultradünnen Kapillaren – und wahrscheinlich zum Teil wegen massiver Unterstützung durch die U.S. Navy,<sup>[8]</sup> die an einer möglichen militärischen Anwendung von Polywasser interessiert war! Wenn jedoch Reinheitsuntersuchungen mit hochentwickelten Geräten Deryagin gezwungen hätten, eine offensichtliche Hypothese nachzuprüfen, die er vorher zurückgewiesen hatte – dass diese Flüssigkeit nicht Polywasser war, sondern einfach Wasser, das irgendwie verunreinigt war –, er hätte schnell und aufrichtig zugegeben, dass seine ursprünglichen Experimente fehlerhaft waren, und jede Interpretation, die auf diesen Befunden beruhte, für ungültig erklärt.

Die wissenschaftliche Entwicklung kurierte sich in diesem Fall selbst, doch nicht so schnell, wie es hätte sein können, wenn Deryagin und andere Ockhams Ökonomieprinzip (auch als „Ockhams Rasiermesser“ bekannt) beherzigt und der einfachsten Erklärung mehr Gewicht beigelegt hätten: Verunreinigung. Eine bevorzugte Hypothese kann eine Eigen-dynamik entwickeln, besonders, wenn ein Forscher sein Ansehen oder seine berufliche Selbstverwirklichung für eine Vorstellung aufs Spiel setzt, um konkurrierende (und oft dürftigere) Erklärungen für die Ergebnisse auszuschalten. Hat sich der Forscher eine persönliche Schlussfolgerung gebildet, so verteidigt er sie oft, indem er deren eigene Begriffe, Modelle und Vermutungen benutzt. Übernimmt der Wissenschaftler eine solche Schlussfolgerung, ohne die Hypothese vorher in Frage zu stellen, so bringt er die Interpretation der Ergebnisse in einen logischen Kreislauf hinein. Solche Krankheitserscheinungen sind, obwohl sie nicht in der Langmuirschen Liste stehen, sicher von derselben Art, geht es doch darum „what human beings can do to themselves in the way of being led astray by ... wishful thinking.“<sup>[3]</sup>

Ein Aufsehen erregendes Ergebnis kann auch untrennbar mit einer Aufsehen erregenden Deutung der Ergebnisse verflochten werden. In krankhafter Wissenschaft zieht eine nicht außergewöhnliche Beobachtung oft eine ziemlich sensationelle Interpretation nach sich; die Episode der kalten Fusion bietet hierfür ein lehrreiches Beispiel. Das eigentliche Experiment hatte einen anomalen Temperaturanstieg während der Elektrolyse zur Folge. Die Interpretation dieser Beobachtung führte zu dem Schluss, dass die „einzige“ Quelle ein nuclearer Prozess war. Die Beobachtung einer Kernexplosion stellt jede Interpretation der kausalen Zusammenhänge und der zu ihr führenden wissenschaftlichen Prinzipien in den Schatten, und in irgendeiner Weise könnten die beteiligten Forscher das Energie erzeugende Potential der kalten Fusion mit dem der Wasserstoffbombe verglichen haben. Da eine spektakuläre Beobachtung fehlte, haben sie all den Medienrummel, den sie benötigten, durch ihre Interpretation bewirkt.

Es ist interessant, dass die Geschichten der kalten Fusion, des Polywassers und der unendlichen Verdünnung alle mit den Eigenschaften von Wasser zu tun haben und glanzvolle (oder vielleicht blendende) Beispiele dafür liefern, wie unplausible Ideen Amok laufen. Vielleicht, weil Wasser essentiell für das Leben ist, zahlreiche Eigenschaften hat, die tatsächlich anomal sind (oder wenigstens kaum verstanden werden), und viele metaphorische Bedeutungen aufweist,

lässt es wohl den unkritischen Enthusiasten im Forscher hervortreten.

Die menschlichen Unzulänglichkeiten, all die üblichen Abkürzungen rund um etablierte wissenschaftliche Methoden eingeschlossen, sind es, die jede Art von Projekt gefährden. Außerwissenschaftliche Belange, wie Medienaufmerksamkeit, berufliches Ansehen, Hoffnung auf finanziellen Gewinn, ideologische Vorlieben, „*Hybris Nobelicus*“ und Druck von interessierten Parteien außerhalb der Wissenschaft, können alle zur Selbsttäuschung beitragen und sie fördern. Die Notwendigkeit der Finanzierung mag selbst den gewissenhaftesten Grundlagenforscher dazu verleiten, den praktischen Nutzen zu übertreiben, wenn er einem potentiellen Geldgeber neue Arbeiten vorstellt. Das heutige akademische Umfeld – das mehr wie ein Medienfischglas denn wie ein Elfenbeinturm anmutet – bietet dem Wissenschaftler auch ausgedehnte Kanäle, um zum Laienpublikum zu sprechen, was ein beträchtliches Risiko in sich birgt, Inhalt, Zweck oder Potential einer wissenschaftlichen Entdeckung falsch darzustellen, entweder im Bemühen, dem Laien den beruflichen Jargon verständlich zu machen, oder durch den äußerst ansteckenden Enthusiasmus hinsichtlich einer ungeprüften Idee oder eines möglicherweise außerordentlichen, aber vorbehaltlichen Ergebnisses. Dies sind natürlich keine Fragen des Paradigmas, sondern lediglich Fragen von Objektivität und Professionalität.

#### *Ratschläge für den praktizierenden Wissenschaftsrevolutionär*

Gewiss, der wissenschaftliche Fortschritt wäre unmöglich, wenn die Forscher innerhalb ihres vorherrschenden Paradigmas immer auf Nummer sicher gingen, störende Ergebnisse beiseite legten oder vor kühnen Hypothesen zurückschreckten. Einige der größten Entdeckungen und vielversprechendsten Forschungsgebiete heutzutage – z.B. bemannter Raumflug, Welle-Teilchen-Dualismus, Fullerene, Hochtemperatur-Supraleitung – bekämpfte die vorherrschende wissenschaftliche Meinung einst als reine Phantasie. Ich denke, es gibt einige praktische Tipps für Forscher, um die Wahrscheinlichkeit zu verringern, dass aus dem „Eureka!“ von heute ein Ig-Nobelpreis von morgen wird:

- Erstelle und prüfe immer mehrere plausible Hypothesen, um experimentelle Befunde zu erklären.<sup>[9]</sup>
- Lasse dich durch das beste vorhandene Paradigma leiten, bis du dir sicher bist, dass deine Befunde eine Überprüfung des Paradigmas notwendig machen.
- Beachte die Konzepte der statistischen Signifikanz und Fehlergrenzen, besonders, wenn Phänomene an der Schwelle zwischen Signal und Rauschen analysiert werden, und vor allem dann, wenn die Ergebnisse außergewöhnlich zu sein scheinen.
- Wiederhole, wiederhole, wiederhole.
- Versuche, das Phänomen durch zwei oder mehr wirklich unabhängige Methoden zu beobachten. Wenn die Befunde von zwei oder mehr unabhängigen Methoden übereinstimmen, hast du hinreichende Sorgfalt aufgewandt und das Recht verdient, zu behaupten, dass deine Beobachtung in Ordnung ist.

- Diskutiere überraschende Befunde offen mit Kollegen (über formelle und formlose Wege innerhalb und außerhalb des eigenen Spezialgebiets) und mache konstruktiven Gebrauch von der vorgebrachten Kritik.
- Wenn Forschung mit Nichtwissenschaftlern – besonders jenen mit Mikrofonen, Kameras, Notebooks oder Scheckheften – diskutiert wird, widerstehe der Versuchung, Ergebnisse zu überinterpretieren, deine Erklärungen zu stark zu vereinfachen oder direkte praktische Anwendungen zu versprechen.
- Wenn sich durch weitere Untersuchungen deine Hypothese als falsch herausstellt und du auch davon überzeugt bist, erkenne es an. Irrwege sind nichts, dessen man sich schämen müsste; sie sind unabdingbar für den Fortschritt der Wissenschaft. Nach einer Reihe von fehlgeleiteten Untersuchungen gibt es endlich eine Theorie wie die Quantenmechanik, die einige Anpassungen an das Gesetz der Massenerhaltung erforderte, aber letzten Endes der Kritik widerstand, Befunde erklärte, die die Newtonsche Theorie nicht erklären konnte, und die Physik revolutionierte. Derselbe Korrekturvorgang, der eine Theorie falsifiziert, verifiziert die andere; das ist die Art und Weise, wie Wissenschaft funktioniert.
- Mache das Undenkbare! Versuche dein Bestes, um Fehler in deinem Experiment zu finden und falsifiziere deine Interpretation ernsthaft. Wir sollten erkennen,<sup>[9]</sup> dass, sobald ein Wissenschaftler eine eigenständige und befriedigende Erklärung für ein offensichtlich außergewöhnliches Phänomen gefunden hat, „from that moment, affection for one's intellectual child springs into existence, and as the explanation grows into a definite theory one's parental affections cluster about the offspring and it grows more and more dear to the individual...[t]here springs up also unwittingly a pressing of the theory to make it fit the facts and a pressing of the facts to make them fit the theory.“ Je außergewöhnlicher das Ergebnis ist, desto mehr sollte man versuchen, es durch kritische Experimente zu widerlegen. Man muss bereit sein, seinen eigenen geistigen Nachwuchs zu vernichten! Denn wenn sich die außergewöhnliche Wissenschaft als korrekt erweist, wird man ohnehin nicht in der Lage sein, sie zu vernichten. Der beste Weg, um revolutionäre Wissenschaft von krankhafter Wissenschaft zu unterscheiden, ist es, brutal zu sein und auf dem Schlachtfeld von Gedanken und Experiment den Sieger zu ermitteln. Selbst wenn sich das, was du tust, als falsch herausstellt, wirst du aufrichtig gegenüber deiner Wissenschaft gewesen sein und wirst von den

Kollegen wegen deines intellektuellen Mutes und der Hingabe an das wissenschaftliche Ethos bewundert werden.

### Zusammenfassung und Ausblick

Kuhns Paradigmen<sup>[1]</sup> und Langmuirs Symptome der krankhaften Wissenschaft<sup>[2, 3]</sup> liefern dem Wissenschaftler ein wertvolles geistiges Rüstzeug, um Fallgruben in der naturwissenschaftlichen Forschung vermeiden zu können. Das Paradigma ist konservativ und hält von revolutionärer Wissenschaft ab. Das Paradigma einer Disziplin ist die soziologische, wissenschaftliche und intellektuelle Struktur, ein Schutzschild, um die Wissenschaftler davor zu bewahren, revolutionäre Behauptungen anzuerkennen. Krankhafte Wissenschaft wiederum ist schnell dabei, die außergewöhnliche Interpretation zu akzeptieren und vor der konservativen Interpretation, die innerhalb der vorherrschenden Paradigmen bleibt, zu rechtfertigen. Jeder Wissenschaftler hat wahrscheinlich die Spannung zwischen paradigmatischer und krankhafter Wissenschaft gefühlt, zwischen dem alltäglichen, normalen Befund und dem außergewöhnlichen, erstaunlichen Befund. Der Autor hofft, dass dieser Essay als Leitfaden zur Erkennung und Unterscheidung von revolutionärer Wissenschaft und krankhafter Wissenschaft für Chemiker von Nutzen sein wird.

- 
- [1] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2. Aufl., University of Chicago, Chicago, **1970**. [Anmerkung der Redaktion: Dieses Buch liegt auch in deutscher Übersetzung vor: T. S. Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Suhrkamp, Frankfurt, **1973**].
  - [2] Fallstudien zur krankhaften Wissenschaft: D. L. Rousseau, *Am. Sci.* **1992**, 80, 54–63.
  - [3] Krankhafte Wissenschaft: I. Langmuir, *Phys. Today* **1989**, 42, 36–48.
  - [4] a) F. E. Close, *Too Hot to Handle. The Story of the Race for Cold Fusion*, W. H. Allen, London, **1990**; b) E. F. Mallove, *Fire from Ice: Searching for the Truth Behind the Cold Fusion Furor*, Wiley, New York, **1989**.
  - [5] „Geometrisches und topologisches Denken in der Organischen Chemie“: N. J. Turro, *Angew. Chem.* **1986**, 98, 872–892; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1986**, 25, 882–901.
  - [6] Polywasser: F. Franks, *MIT Press Energy Lab. Ser.* **1981**.
  - [7] „High-dilution experiments a delusion“: J. Maddox, J. Randi, W. W. Stewart, *Nature* **1988**, 334, 287–290; die Antwort von Jacques Benveniste: J. Benveniste, *Nature* **1988**, 334, 291.
  - [8] Dr. Brian Pethica, zurzeit in der Henry Krumb School of Mines tätig (Columbia University, NY), war, während er das Unilever Research Laboratory bei Liverpool leitete, einer der führenden Forscher im Westen, die sich mit Polywasser beschäftigten, und sagte damals voraus: „... [one] would see polywater papers until the Navy's \$4 million runs out.“
  - [9] J. R. Platt, *Science* **1964**, 146, 347–352.