

## Nachzügler und vergessene Arbeiten in der Physik

# Dornröschen und Mauerblümchen

WERNER MARX

*Wissenschaftliche Publikationen werden meist in den ersten Jahren am häufigsten zitiert, danach immer seltener. Manche bedeutende Pionierarbeit entfaltet jedoch erst nach vielen Jahren ihre volle Wirkung – oder gerät vollkommen in Vergessenheit. Hier einige Beispiele für solche Dornröschen und Mauerblümchen der Wissenschaft.*

Welche Bedeutung eine wissenschaftliche Arbeit hat, lässt sich oft erst nach Jahrzehnten beurteilen. Ein häufig benutztes Messinstrument für ihre Resonanz ist der so genannte Impact. Er basiert auf der Häufigkeit, mit der die Fachkollegen diese Arbeit zitieren. Die Bandbreite der Wirkung einzelner Arbeiten erstreckt sich von völlig ausbleibender Reaktion bis hin zu vielen hundert oder tausend Zitierungen. Die meistzitierte Arbeit aller Zeiten wurde 1951 von Oliver Lowry veröffentlicht und bisher rund 300 000 Mal zitiert. Sie beschreibt eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung von Proteinen.

Diese Arbeit ist jedoch hinsichtlich ihrer Wirkung ein einmaliges Ereignis. Im weltweiten Mittel wurden Arbeiten in der Chemie und Physik im Zeitraum des vergangenen Jahrzehnts weniger als zehn Mal zitiert. Wenn man die verschiedenen naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen vergleicht, findet man allerdings einen Unterschied von einem Faktor zehn. Der Grund liegt in den unterschiedlichen Zitiergewohnheiten. Hinzu kommt, dass sich die Zitierungen sehr ungleichmäßig auf die Arbeiten verteilen.

Eine typische Verteilung – zum Beispiel eines Forschungsinstituts – ist die folgende: Die ein Prozent meistzitierten Arbeiten erzeugen bereits rund zwanzig Prozent der Gesamtwirkung, die zehn Prozent meistzitierten Arbeiten schon mehr als die Hälfte und die fünfzig Prozent meistzitierten Arbeiten sogar mehr als neunzig Prozent der Wirkung aller Arbeiten. Ein relativ großer Anteil der Arbeiten wird nie zitiert und verschwindet in den Archiven der Wissenschaft. Mehr als zwanzig Prozent aller Zeitschriftenartikel, die der Science Citation Index (SCI) von Thompson/ISI (siehe „Internet“ auf S. 34) zwischen 1981 und 1985 erfasst, wurden im Zeitraum von fünf Jahren nach ihrem Erscheinen kein einziges Mal zitiert.

Neben der Stärke und Verteilung der Wirkung ist auch die zeitliche Entwicklung der Resonanz aufschlussreich. Wenn man den Zeitverlauf der Zitierungen einer einzelnen Arbeit ermittelt, erhält man die Zitiergeschichte (Citation History), die man als ihre Börsen- oder Verkaufskurve ansehen kann. Man lernt, dass wissenschaftliche Arbeiten in der Regel bereits im Jahr ihrer Publikation von den Fachkollegen beachtet werden und die Zitierungen dann schnell ansteigen. Die Zitierungsrate erreicht nach ungefähr drei Jahren ein Maximum. Danach werden diese Publikationen normalerweise von neueren Arbeiten verdrängt, und ihre Wirkung klingt ab. Man spricht von Alterung oder von der Halbwertszeit wissenschaftlicher Literatur. Die Auswertung des 1975er-Jahrgangs von Arbeiten aus der Max-Planck-Gesellschaft zeigt dieses typische Zeitmuster (Abbildung 1). Mit rund 2000 Arbeiten und 40 000 zitierenden Arbeiten liefert der Jahrgang auch ein hinreichend großes Ensemble, um aussagekräftig zu sein. Nach gut drei Jahrzehnten ist die Zitierhäufigkeit stark abgeklungen, eine Abweichung von dieser Tendenz ist in der Zukunft kaum zu erwarten.

In der Wissenschaftsgeschichte gibt es jedoch Arbeiten, die erheblich von diesem statistisch gemittelten Zeitmuster abweichen. Manche entfalten sogar erst nach Jahrzehnten ihre volle Wirkung, und die Kurve ihrer Zitierungen steigt steil an. Doch diese Publikationen sind insgesamt gesehen selten: Unter Tausenden von Arbeiten findet sich kaum eine, die zunächst nicht oder nur wenig zitiert wurde und später eine ungewöhnlich starke Beachtung fand [1]. In der Regel werden Arbeiten in den ersten Jahren nach ihrer Publikation zitiert – oder nie.

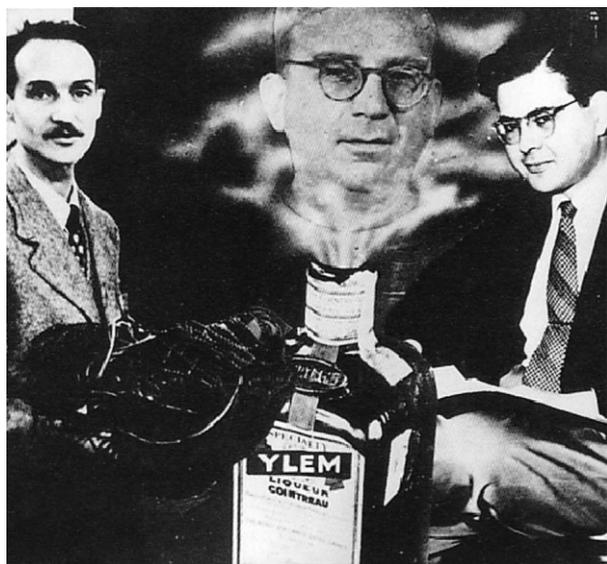
### Verzögert anerkannt – die Dornröschen

Untersucht man jedoch die meistzitierten frühen Arbeiten zum Beispiel aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, so findet man so manche Arbeit, die viele Jahrzehnte nach ihrer Publikation stark ansteigend zitiert wird [2]. Man spricht von langsamer Rezeption und verspäteter Anerkennung (Delayed Recognition) und nennt solche Arbeiten auch Dornröschen (Sleeping Beauties). Einige solcher Arbeiten, die später eine große Bedeutung erlangten, wurden zunächst von Gutachtern abgelehnt oder konnten nur unter großen Schwierigkeiten veröffentlicht werden [3].

Bei diesen Dornröschen handelt es sich meist nicht um die Klassiker der Physik und Chemie. In der Regel werden diese nicht mehr explizit zitiert, sondern als bekannt vorausgesetzt. Je älter Fachliteratur ist, desto eher wurde sie

#### INTERNET

Thomson/ISI und Science Citation Index (SCI)  
www.isinet.com/isi



**Diese zeitgenössische Collage zeigt links Robert Herman und rechts Ralph Alpher, während George Gamow als Geist aus der YLEM-Flasche erscheint. Gamow nannte so den heißen Urzustand aus dicht gepackten Neutronen, aus dem nach seinem Modell der Kosmos entstand.**

bereits in Übersichtsartikel und Lehrbücher eingearbeitet. Wenn sie noch erwähnt wird, dann eher aus historischen Gründen. Kaum ein Wissenschaftler zitiert heute noch etwa Newton oder Maxwell, obwohl große Teile der Physik auf deren Einsichten basieren.

In der Regel sind die Verfasser spät wirkender Arbeiten keine Außenseiter. Sie sind etablierte Wissenschaftler, die bereits zu Lebzeiten mit anderen Arbeiten viel Anerkennung erfahren hatten. Tabelle 1 auf Seite 36 zeigt einige Beispiele für inzwischen hoch zitierte Arbeiten, die alle ihre Wirkung zeitlich stark verzögert entfaltet haben. Diese verspätete Anerkennung ist durchaus kein Merkmal ausschließlich älterer Arbeiten: Auch manche hoch zitierten neueren Arbeiten (vor allem theoretische) entfalten ihre Wirkung ungewöhnlich langsam. Das zeigt sich auch, wenn wir nun einige der in Tabelle 1 aufgelisteten Arbeiten herausgreifen und uns ihre Geschichte genauer anschauen.

### Beispiele für Dornröschen

Nach der Entwicklung der Wellenmechanik durch Erwin Schrödinger unternahm Theoretiker große Anstrengungen, um Näherungslösungen der Wellengleichung für Viel-Elektronen-Systeme zu finden. Der Durchbruch gelang Walter Kohn, der dafür 1998 den Nobelpreis für Chemie erhielt. In zwei Arbeiten aus den Jahren 1964 und 1965 stellte er seine neu entwickelte Dichtefunktionaltheorie (DFT) vor, in der statt der Vielelektronen-Wellenfunktion die Elektronendichteverteilung eine zentrale Rolle spielt. Die DFT-Methode wurde ein wichtiges Verfahren der Quantenchemie, das vor allem auf größere Moleküle und Moleküle mit schweren Kernen Anwendung findet. Kohns Arbeit von

1965 zusammen mit Lu Sham ist mit über 11 000 Zitierungen (13 000 einschließlich Zitatfehlern) eine der meist-zitierten Arbeiten in der Chemie und Physik (Abbildung 2) [4].

Zu den wichtigsten Pionierarbeiten der Chaos-Forschung gehört die Arbeit des Meteorologen Edward Lorenz von 1963 über nichtlineare Phänomene [5]. Lorenz prägte auch das berühmt gewordene Bild des Schmetterlings-Effekts. Doch seine Pionierarbeit wurde mehr als ein Jahrzehnt ignoriert, dann jedoch stark ansteigend zitiert und hat das Maximum ihrer Wirkung immer noch nicht erreicht (Abbildung 3). Die verspätete Anerkennung ist vermutlich eine Folge der anfänglichen Widerstände dieser Fachdisziplin gegenüber. Dazu hat wohl auch die allgemein wenig bekannte und fachlich eng ausgerichtete Zeitschrift beige-tragen, in der die Arbeit „versteckt“ war.

Ein gutes Beispiel für frühe und heute noch wichtige Arbeiten ist eine Publikation von Gustav Mie. Sie erschien 1908 in den Annalen der Physik und behandelt die Lichtstreuung an Partikeln wie Aerosolen, die größer als die Wellenlänge des Lichtes sind [6]. Im Gegensatz zur Rayleigh-Streuung ist die Mie-Streuung nahezu unabhängig von der Wellenlänge. Zumindest bis 1945 wurde diese Arbeit kaum beachtet, dann jedoch bekam sie große Bedeutung im Zusammenhang mit der Untersuchung von Kolloiden, Metallen in Suspensionen und interstellaren Molekülen. Seit Ende der fünfziger Jahre wird die Mie-Arbeit verstärkt zitiert und gehört mit derzeit über 3000 Zitierungen zu den meist-zitierten frühen Physikarbeiten (Abbildung 4).

In diesem Zusammenhang muss auch die Arbeit von Albert Einstein, Boris Podolsky und Nathan Rosen (EPR) von 1935 über die „spukhafte Fernwirkung“ in quantenmechanischen Systemen genannt werden (Physik in unse-

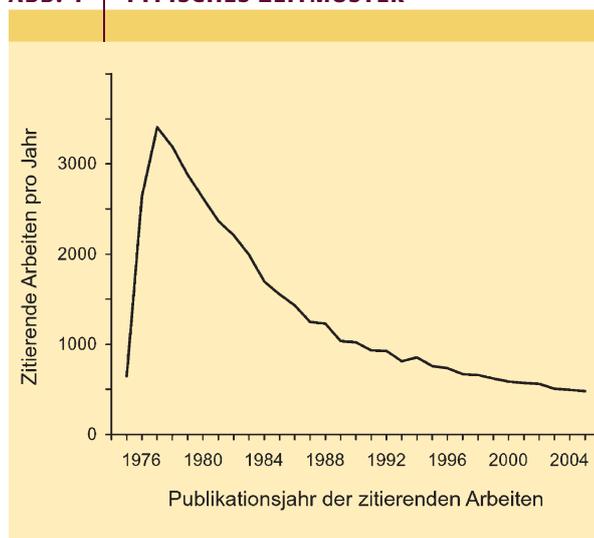


**Walter Kohn (geb. 1923), Nobelpreis für Chemie 1998** (Foto: U. California, Santa Barbara).



**Der Meteorologe Edward Norton Lorenz (geb. 1917) legte 1963 den Grundstein für die Chaos-theorie.**

**ABB. 1 TYPISCHES ZEITMUSTER**



**Zeitverlauf der Wirkung von 2000 MPG-Arbeiten des Jahres 1975. Sie wurden zwischen 1975 und 2005 zusammen von 40 000 anderen Arbeiten zitiert.**

**TAB. 1 | ARBEITEN MIT STARK VERZÖGERTER ANERKENNUNG**

Autoren	Zeitschrift	Titel	# Zitate*
W. Kohn, L. J. Sham	Phys. Rev. <b>1965</b> , 140, 1133	Self-consistent equations including exchange and correlation effects	11350
S. Brunauer, P. H. Emmett, E. Teller	J. Am. Chem. Soc. <b>1938</b> , 60, 309	Adsorption of gases in multimolecular layers	6659
C. Moeller, M.S. Plesset	Phys. Rev. <b>1934</b> , 46, 618	Note on the approximation treatment for many-electron systems	6444
E. N. Lorenz	J. Atmos. Sci. <b>1963</b> , 20, 130	Deterministic nonperiodic flow	3851
G. Mie	Ann. Phys. <b>1908</b> , 25, 377	Contributions to the optics of turbid media, especially colloidal metal solutions	3358
E. Wigner	Phys. Rev. <b>1932</b> , 40, 749	The quantum correction for thermodynamic equilibrium	3350
T. Forster	Ann. Phys., <b>1948</b> , 2, 55	Intermolecular energy transference and fluorescence	3235
D. A. G. Bruggeman	Ann. Phys., <b>1935</b> , 24, 636	The calculation of various physical constants of heterogeneous substances (I)	2869
A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen	Phys. Rev. <b>1935</b> , 47, 777	Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?	2756
P. P. Ewald	Ann. Phys. <b>1921</b> , 64, 253	The calculation of optical and electrostatic grid potential	2255
J. S. Bell	Physics <b>1964</b> , 1, 195	On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox	2128

\* Datum der Suche: 17.06.06. Zitatfehler (5-10%) wurden hier nicht mitberücksichtigt.

rer Zeit **2005**, 36(4), 188 und **2004**, 35(4), 168). Die EPR-Arbeit ist die bis heute meistzitierte Arbeit von Albert Einstein. Eine Arbeit des irischen Physikers John Bell von 1964 nahm darauf Bezug [7]. Bell wies darin über seine heute berühmte Ungleichung einen experimentellen Weg zur Beantwortung der von Einstein aufgeworfenen Fragen. Die später vor allem von Alain Aspect in Paris durchgeführten Experimente widerlegten Einstein und zeigten, dass die un-

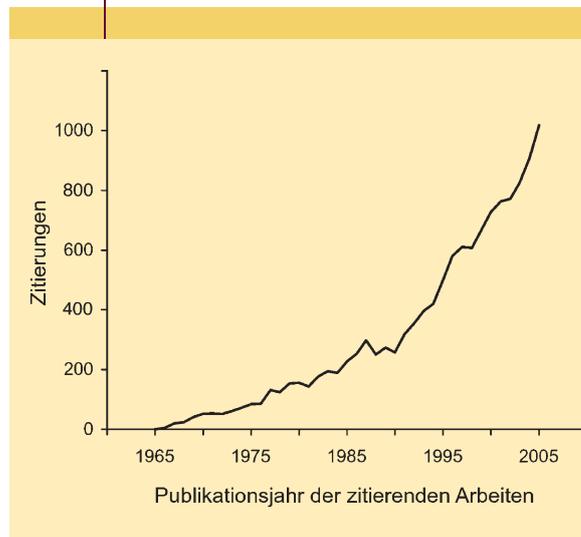
serer Intuition widersprechenden Quanteneigenschaften der Mikrowelt tatsächlich physikalische Realität sind. Auch die Arbeit von Bell verzeichnet eine wachsende Resonanz (Abbildung 5).

Beim Blick auf die hier vorgestellten Zeitkurven der Zitierungen muss man allerdings das Wachstum der wissenschaftlichen Literatur in Rechnung stellen: Zum Beispiel hat sich in der Chemie die Zahl der jährlich publizierten Arbeiten und Patente seit Anfang des 20. Jahrhunderts nahezu ver-hundertfacht. Dementsprechend erhöht sich im statistischen Mittel auch die Chance einer einzelnen Arbeit, zitiert zu werden. Umgekehrt wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts beispielsweise die Arbeiten von Albert Einstein jeweils nur wenige Male pro Jahr zitiert, eine Folge der damals noch kleinen Forschergemeinde. Doch selbst wenn man das Wachstum der Wissenschaftlertgemeinschaft in Rechnung stellt und die relative Wirkung bestimmt, zeigen viele der hier vorgestellten Arbeiten immer noch einen Anstieg - Jahrzehnte oder gar ein Jahrhundert nach ihrer Veröffentlichung.

Es stellt sich die Frage, was die Gründe für die ungewöhnliche Renaissance einzelner Arbeiten sind. Die komplizierte Natur des wissenschaftlichen Fortschritts im Zusammenspiel von Theorie und Experiment bedingt offen-

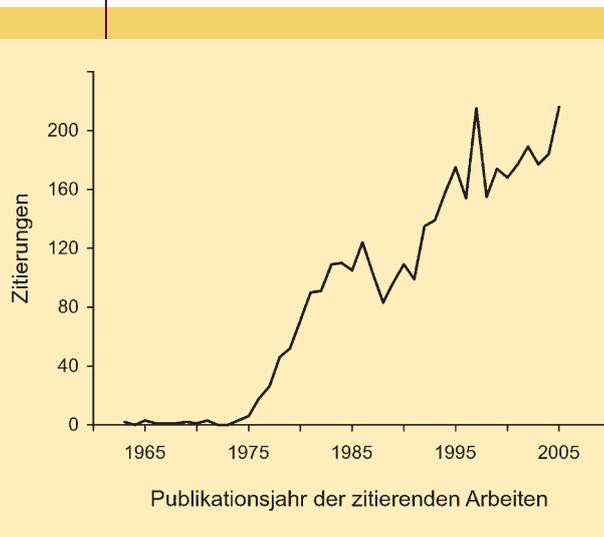
nung stellt und die relative Wirkung bestimmt, zeigen viele der hier vorgestellten Arbeiten immer noch einen Anstieg - Jahrzehnte oder gar ein Jahrhundert nach ihrer Veröffentlichung.

**ABB. 2 | DICHTEFUNKTIONAL-METHODE**



**Zeitverlauf der Zitierungen der Arbeit von Walter Kohn und Lu Sham über die Dichtefunktional-Methode. Bis heute erreicht sie insgesamt 11 350 Zitierungen [4].**

**ABB. 3 | CHAOSTHEORIE**



**Zeitverlauf der Zitierungen der Pionierarbeit von Edward Lorenz. Bis heute erreicht sie insgesamt 3851 Zitierungen [5].**

bar, dass Wissenschaftler neuen Ideen gegenüber manchmal zunächst verhalten bis konservativ gegenüberstehen und sie nur langsam annehmen – auch Wissenschaftler sind dem Zeitgeist unterworfen. Andererseits werden immer wieder Ideen, die ihrer Zeit voraus sind, auf Vorrat niedergeschrieben. Die Fachkollegen lehnen sie nicht ab, sondern ignorieren sie, denn zum Zeitpunkt der Publikation können sie damit noch nichts anfangen. Manche Arbeiten mit verspäteter Anerkennung werden erst als Literaturquelle wiederentdeckt, nachdem eine hoch zitierte Arbeit darauf verwiesen hat – wie der Prinz, der das Dornröschen weckt.

### Ignoriert oder übersehen – die Mauerblümchen

Zieht man Zitierungen als Indikator für die Bewertung einer wissenschaftlichen Arbeit heran, dann setzt man voraus, dass Bedeutung und Wirkung korrelieren. Man kann nun rückblickend eine besonders erfolgreiche Phase der Forschung untersuchen, um festzustellen, wie gut die Zitierungszahlen die fachliche Gewichtung der Pionierarbeiten widerspiegeln und ob es Ausnahmen gibt.

Diese gibt es in der Tat. Ein schönes Beispiel liefert der Durchbruch in der modernen Kosmologie zu Anfang der 1960er-Jahre [8]. Der russische Mathematiker Alexander Friedmann und der belgische Priester und Astrophysiker Georges Lemaître postulierten in den 1920er-Jahren erstmals das Urknallmodell. Es wurde damit zu einer noch zu beweisenden Alternative für das besonders von Einstein unterstützte Modell eines stationären Universums. Im Jahr 1929 entdeckte Edwin Hubble die Rotverschiebung der Spektrallinien im Licht von Sternen und fernen Galaxien und damit die Tatsache, dass die Geschwindigkeit der Galaxien proportional mit der Entfernung zunimmt.

Nun entbrannte eine lang anhaltende Kontroverse darüber, ob das Universum aus einem hoch konzentrierten Anfangszustand entstand und seitdem expandiert. Wie schwer sich die Astronomen an diesen Gedanken gewöhnen konnten, zeigt die Tatsache, dass Friedmanns und Lemaîtres Arbeiten bis heute selten zitiert wurden. Besonders die Publikation von 1931 [9], in der Lemaître erstmals einen punktförmigen Ausgangszustand des Kosmos diskutiert, wurde bis heute lediglich 27 Mal zitiert. Dabei gehört gerade diese Arbeit zu den wenigen Publikationen, die den Anfang der modernen Kosmologie markieren.

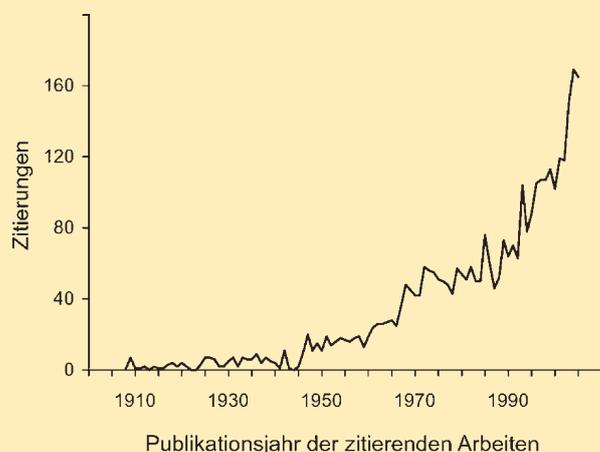
Rund zwanzig Jahre später untersuchte der Theoretiker George Gamow (1904-1968) die Synthese schwerer Elemente aus Wasserstoff im Zusammenhang mit dem Urknall-Modell. Gemeinsam mit seinem Doktoranden Ralph Alpher gelang es ihm, die Häufigkeit von Helium zu erklären. Zur Veröffentlichung lud Gamow Hans Bethe (1906-2005) als Mitautoren ein, obwohl Bethe keinerlei Anteil an der Arbeit hatte. Doch Gamow liebte Wortspiele – die Leser sollten sich an der Ähnlichkeit des Klangs von Alpher, Bethe und Gamow mit Alpha, Beta und Gamma erfreuen. Die Alpher-Bethe-Gamow-Arbeit von 1948 erlebte ein starkes Presse-echo. Doch Alpher verlor sich mit der Zeit im Schatten seiner bekannten Mitautoren, denn allgemein wurde dieser große Durchbruch Gamow und Bethe zugeschrieben.

Alpher gewann für die Fortsetzung seiner Arbeit Robert Herman, einen anderen Gamow-Schüler. Beide erkannten, dass die Energie des Lichtes mit der Expansion des Universums sinken und dessen Wellenlänge größer werden müsste. Sie wagten die Voraussage, dass das ganze Universum von einer gleichmäßig aus allen Richtungen kommenden Hintergrundstrahlung ausgefüllt sein sollte. Für diese errechneten sie eine Wellenlänge von rund einem Mikrome-



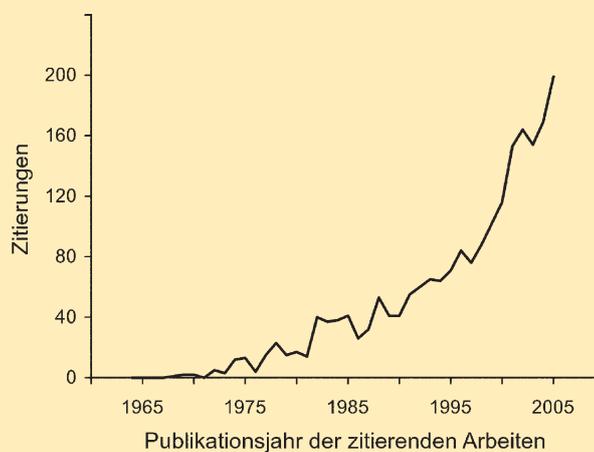
**John Stewart Bell (1928-1990) formulierte 1964 die Bellsche Ungleichung.**

**ABB. 4 | MIE-STREUUNG**



**Zeitverlauf der Zitierungen der Arbeit von Gustav Mie, die bisher 3358 Zitierungen erhielt [6].**

**ABB. 5 | BELLSCHES UNGLEICHUNG**



**Zeitverlauf der Zitierungen der Arbeit von John Bell, die bisher 2128 Zitierungen erhielt [7].**



**Jean-Baptiste  
Joseph Baron de  
Fourier  
(1768-1830).**

ter, entsprechend der Strahlung eines schwarzen Körpers mit einer Temperatur von fünf Grad Kelvin. Dieses Resultat publizierten sie 1949 in *Physical Review* [10].

Inzwischen sank Gamows Stern, denn als Spaßvogel und Verfasser populärer Bücher nahmen ihn die meisten Fachkollegen nicht mehr ernst. Hatte er Alpher 1948 noch überschattet, so brachte er nun die Arbeit seiner Schüler unbeabsichtigt in Misskredit. Die meisten Astronomen standen dem Urknall-Modell damals ohnehin noch ablehnend gegenüber. So ist es nicht überraschend, dass sie die Alpher-Herman-(AH)-Arbeit von 1949 nicht weiter beachteten. Bis heute wurde diese Pionierarbeit insgesamt „nur“ 74 Mal zitiert.

Anfang der 1960er-Jahre waren Arno Penzias und Robert Wilson als Radioastronomen bei Bell Labs angestellt, um die Nutzung von Satelliten für die moderne Telekommunikation zu optimieren. Sie fanden bei der Ausrichtung ihrer Antenne auf Regionen des Weltraums, aus denen keine Radiowellen zu erwarten waren, ein unerwartet starkes Signal, das aus allen Richtungen kam. Zufällig erfuhren sie von einer Arbeit der Kosmologen Robert Dicke und James Peebles an der Princeton-Universität. Darin hatten diese eine Hintergrundstrahlung im Radiowellenbereich als spätes Echo des Urknalls vorhergesagt. Dicke und Peebles waren gerade dabei, den Bau einer Antenne zum Nachweis der Hintergrundstrahlung zu planen.

Penzias und Wilson publizierten ihre Entdeckung im Sommer 1965 im *Astrophysical Journal*, ohne die Bedeutung für die Kosmologie zu interpretieren. Das taten Dicke und seine Gruppe in ihrer Arbeit, die zeitgleich und in der gleichen Zeitschrift erschien. Beide Arbeiten erfuhren schnell eine beachtliche Anerkennung auch in der Form von Zitierungen (750 und 300). In beiden Arbeiten findet sich jedoch kein Verweis auf die Arbeit von Alpher und Herman von 1949. Dicke und Peebles wurden als diejenigen Theoretiker gefeiert, die die kosmische Hintergrundstrahlung vorhergesagt hatten.

Penzias und Wilson erhielten schließlich 1978 für die Entdeckung der Hintergrundstrahlung den Nobelpreis für Physik. Penzias nutzte seinen Nobelvortrag, um Alpher, Herman und Gamow späte Anerkennung zu zollen. Die AH-Arbeit wurde sowohl von Penzias und Wilson wie auch von Dicke und Peebles erstmals 1979 zitiert. Diese zitierenden Arbeiten wurden jedoch ihrerseits nur wenige Male zitiert und bewirkten damit keine verspätete Anerkennung der AH-Arbeit. Gerade einen Monat nach dem Nobelvortrag von Penzias erlitt Alpher, vermutlich wegen Stress im Kampf um Anerkennung, einen schweren Herzinfarkt, von dem er sich nie mehr richtig erholte.

Es stellt sich die Frage, wie die AH-Arbeit so lange übersehen werden konnte und auch später nicht die gebührende Anerkennung fand. Immerhin stammte sie aus einem weithin bekannten wissenschaftlichen Umfeld, publiziert in der damals bereits weltweit führenden Physikzeitschrift. Doch die Kosmologie war inzwischen von einer neuen Generation von theoretischen Physikern dominiert, die offen-

bar kaum auf die Arbeiten ihrer Vorgänger zurückgriffen. Auf Seiten der Experimentalphysiker könnte sich hier die manchmal vermutete Tendenz zur Unterbewertung von Theorie-Arbeiten ausgewirkt haben.

Möglicherweise spielt aber auch ein psychologischer Faktor eine Rolle: Nachdem die Wissenschaft und auch die Öffentlichkeit bereits die Entdecker festgeschrieben hatten, war ein weiterer „Held“ nur lästig. Die schöne Geschichte der Parallelentdeckung in Theorie und Experiment hätte ihren Glanz verloren.

Das Fallbeispiel aus der Kosmologie zeigt, dass frühe Arbeiten der Gefahr unterliegen, auch langfristig nicht die gebührende Anerkennung in Form von Zitierungen zu erhalten. Zum Zeitpunkt ihrer Publikation wird ihre Bedeutung vielfach noch nicht erkannt. Später zitieren die Fachkollegen dann bevorzugt neuere Arbeiten. Diejenigen Arbeiten sind im Vorteil, die im Boom von Umbruchphasen erscheinen. Erfolgreich sind auch Publikationen, die griffige Schlagworte wie etwa Plattentektonik oder Solitonen erfolgreich einführen, welche die neuen Disziplinen dann markieren.

### Vergessen und wieder gefunden

Man kennt auch Arbeiten, die zunächst vergessen und dann als Neuentdeckungen gefeiert wurden. Im folgenden Beispiel erhielt eine solche Arbeit sogar zusätzlich die Namen ihrer Wiederentdecker. Rudolf Kohlrausch beschrieb bereits 1854 Relaxationsvorgänge in Form einer gestreckten Exponentialfunktion (Stretched Exponential Function) [11]. Diese Funktion wurde dann 1970 von Graham Williams und David Watts wiederentdeckt. Seitdem heißt sie Williams-Watts-Funktion, inzwischen unter weiterer Nennung von Kohlrausch auch manchmal KWW-Funktion.

Das Konzept der gestreckten Exponentialfunktion wurde erst im Jahr 1974 und dann wieder im Jahr 1984 mit Verweis auf Kohlrausch als Urheber erwähnt. Die Arbeiten von 1974 zitieren zwar die Kohlrausch-Arbeit von 1854, wurden jedoch ihrerseits „nur“ insgesamt hundert Mal zitiert. Sie konnten deshalb die Kohlrausch-Arbeit nicht wieder etablieren. Die Arbeit von 1984 wurde dagegen rund tausend Mal zitiert, verweist jedoch auf die falsche Kohlrausch-Arbeit – eine frühere Arbeit von 1847 [12]. Diese erwähnt zwar den Ansatz, legt ihn jedoch nicht mathematisch dar. Da die Arbeit von 1984 mit ihrem hohen Impact wesentlich zur Verbreitung des tatsächlichen Urhebers beitrug (allerdings mit dem falschen Zitat), wurde die falsche Kohlrausch-Arbeit bisher weitaus häufiger zitiert, als die zutreffende (675 gegenüber 350 Zitierungen).

Ein weiteres Beispiel liefert die Geschichte der berühmten Fourier-Transformation [15]. Entwickelt hat sie der französische Mathematiker Joseph Fourier. Im Jahr 1965 erschien eine Arbeit von James Cooley und John Tukey, die den bekanntesten schnellen Algorithmus zur Durchführung der Fourier-Transformation vorstellt: die Schnelle Fourier-Transformation (Fast Fourier Transformation, FFT) [13]. Dieser Algorithmus fand eine breite Anwendung. Er wird zum Beispiel bei der Breitband-Datenübertragung (ADSL, WLAN)

und der Kodierung und Dekodierung von Signalen eingesetzt, auch Algorithmen zur Datenkompression (MP3) nutzen ihn. Die Bedeutung der Cooley-Arbeit für die experimentelle Wissenschaft drückt sich nicht zuletzt darin aus, dass sie bisher mehr als 3000 Mal zitiert wurde. Zum Vergleich: Die meistzitierte Arbeit seit 1995 in der ISI-Fachkategorie „Mathematics“ wurde „nur“ knapp 1000 Mal zitiert.

Im Jahr 1977 veröffentlichte Herman Goldstine eine Geschichte der numerischen Analysis. In dieser stellt er fest, dass der deutsche Mathematiker Carl Friedrich Gauß bereits lange vor Cooley die wesentlichen Elemente des FFT-Algorithmus niedergeschrieben hatte. Der vermutlich im Jahr 1805 in lateinischer Schrift verfasste Text wurde allerdings nicht mehr zu Lebzeiten von Gauß veröffentlicht, sondern erschien in seinem 1866 publizierten Nachlass [14]. Ein Hinweis auf die allgemeine Bedeutung der Methode von Gauß findet sich dann in der im Jahr 1904 erschienenen Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften von Heinrich Burkhardt, der aber auch wieder in Vergessenheit geriet.

Cooley wurde durch Goldstine auf den frühen Beitrag von Gauß aufmerksam. 1987 schrieb Cooley dann über die Geschichte der FFT, dass diese einem den Anstoß geben könne, nicht nur neue Ansätze zu erforschen, sondern gelegentlich auch in alte Arbeiten zu schauen.

### Zusammenfassung

Wissenschaftliche Publikationen werden von Fachkollegen im Durchschnitt in den ersten drei Jahren am häufigsten zitiert, danach fällt die Rate rasch ab. Es gibt jedoch Arbeiten, die erst nach vielen Jahren oder Jahrzehnten ihre volle Wirkung entfalten. Berühmte Beispiele für solche „Dörrnäschen“ sind Walter Kohns und Lu Shams Pionierarbeiten über die Dichtefunktionaltheorie oder die EPR-Arbeit von Albert Einstein, Boris Podolsky und Nathan Rosen. Manche Pionierarbeiten waren jedoch ihrer Zeit zu weit voraus und gerieten wie ihre Verfasser in Vergessenheit. Ein Beispiel für ein solches „Mauerblümchen“ ist die Arbeit von Ralph Alpher und Robert Herman von 1949 mit der ersten theoretischen Vorhersage der kosmischen Hintergrundstrahlung.

### Stichworte

Zitierung, Impact, Dichtefunktionaltheorie, Chaostheorie, Schmetterlingseffekt, Mie-Streuung, Bellsche Ungleichung, EPR-Paradoxon, Alpher-Herman-Arbeit, kosmische Hintergrundstrahlung, gestreckte Exponentialfunktion, Fourier-Transformation.

### Literatur

- [1] A. F. J. van Raan, *Scientometrics* **2004**, 59, 461.
- [2] S. Redner, *Physics Today* **2005**, 58, 49.
- [3] J. M. Campanario, Rejecting Nobel class articles and resisting Nobel class discoveries, [www2.uah.es/jmc/nobel/nobel.html](http://www2.uah.es/jmc/nobel/nobel.html)
- [4] W. Kohn, L. J. Sham, *Phys. Rev.* **1965**, 140, 1133.
- [5] E. N. Lorenz, *J. Atmos. Sci.* **1963**, 20, 130.
- [6] G. Mie, *Ann. Phys.* **1908**, 25, 377.
- [7] J. S. Bell, *Physics* **1964**, 1, 195.
- [8] S. Singh, *Big Bang – Der Ursprung des Kosmos und die Erfindung der modernen Naturwissenschaft*. Hanser Verlag, München 2005.
- [9] G. Lemaître, *Nature* **1931**, 127, 706.
- [10] R. A. Alpher, R. C. Herman, *Physical Review* **1949**, 75, 1089.
- [11] R. Kohlrusch, *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* **1854**, 91, 56/179.
- [12] R. Kohlrusch, *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* **1847**, 12/72, 353/393.
- [13] J. W. Cooley, J. W. Tukey, *Mathematics of Computation* **1965**, 19, 297.
- [14] C. F. Gauß, *Nachlass, Theoria Interpolationis Methodo Nova Tractata*. Königliche Gesellschaft der Wissenschaften, Göttingen. *Carl Friedrich Gauss Werke von 1866*, Bd. 3, 265.
- [15] K. Syassen, *Notes on Fourier Transforms and related*, unveröffentlicht.

### Der Autor



Werner Marx, Jahrgang 1951, Studium der Chemie an der Universität Bonn, dort Promotion über atmosphärenchemische Reaktionen. Seit 1982 am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart. Verantwortlich für die Servicegruppe Fachinformation, einer Einrichtung zur Unterstützung der Max-Planck-Institute in Fragen der wissenschaftlichen Information und Forschungsbewertung.

#### Anschrift

Dr. Werner Marx, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Heisenbergstraße 1, 70569 Stuttgart. [W.Marx@fkf.mpg.de](mailto:W.Marx@fkf.mpg.de)



**Carl Friedrich Gauß (1777-1855). Ausschnitt aus einem Ölgemälde von Christian Albrecht Jensen von 1840.**