

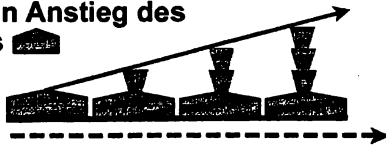
Akzelerierende Wissenskumulation in den Naturwissenschaften - aufgezeigt am Beispiel der Physik

1. Vorbemerkung zum Begriff Beschleunigung

Die wesentliche, allen Definitionen von Beschleunigungsvorgängen zugrunde liegende physikalische Größe ist die Zeit. Dieser Begriff steht in der Hierarchie physikalischer Begriffe neben dem Begriff Raum an oberster Stelle (Klinger, W. 2005). Er spielt bei allen dynamischen Prozessen in unserem Universum eine fundamentale Rolle. Dabei darf nicht übersehen werden, dass ohne implizite Benutzung des Begriffs „Zeit“ eine Explikation von Begriffen wie "dynamischer Prozess", "Bewegung" etc. nicht möglich ist. Ändert sich eine Größe in Abhängigkeit der Zeit, so wird dies durch den Begriff der Änderungsgeschwindigkeit dieser Größe beschrieben. Das wohl geläufigste Beispiel hierfür ist die Geschwindigkeit eines sich bewegenden Gegenstandes, z.B. eines Autos. "Geschwindigkeit" bedeutet hier "Änderung des Weges pro Zeiteinheit". Ist die Änderung des Weges in gleichen Zeitintervallen konstant, d. h. werden in gleichen Zeitintervallen gleiche Wegstrecken zurückgelegt, so spricht man von einer gleichförmigen Bewegung. In diesem Spezialfall wächst der Weg linear mit der Zeit an, d.h. der zurückgelegte Weg ist der dazu benötigten Zeit proportional (vgl. Abb. 1 oben).

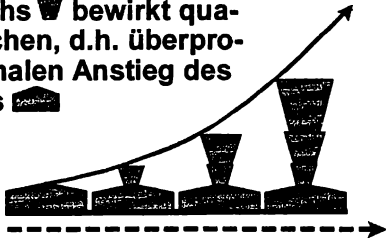
Der Begriff „Beschleunigung“ (bzw. Akzeleration) kommt erst dann ins Spiel, wenn die Änderungsgeschwindigkeit einer Größe ebenfalls zeitabhängig ist. Auf das Auto bezogen heißt das: Die Geschwindigkeit des Autos ändert sich zeitabhängig. In gleichen Zeitintervallen werden nun nicht mehr gleiche Wegstrecken zurückgelegt, d. h. der zurückgelegte Weg ist der dazu benötigten Zeit nicht mehr proportional. Es ist somit festzustellen, dass Größen - wie im vorliegenden Beispiel die Wegstrecke - immer dann nichtproportional, d.h. überproportional zunehmen, wenn ihre Geschwindigkeit von der Zeit abhängt. Beschleunigte Prozesse laufen demnach stets überproportional ab. Beim freien Fall etwa nimmt die Fallgeschwindigkeit proportional mit der Zeit zu. Der Fallweg wächst somit quadratisch mit der Zeit, d.h. also überproportional (vgl. Abb. 1 Mitte).

Zeitlich konstanter
Zuwachs ∇ bewirkt
linearen, d.h. propo-
rionalen Anstieg des
Hügels \blacktriangle



Zeitlich konstanter Zuwachs

Zeitlich linear anwachsender
Zuwachs ∇ bewirkt qua-
dratischen, d.h. überpro-
portionalen Anstieg des
Hügels \blacktriangle



Zeitlich linearer Zuwachs

Zeitlicher Zuwachs propo-
rional zur jeweiligen
Menge bewirkt exponen-
tiellen, d.h. überpro-
portionalen Anstieg des
Hügels \blacksquare



Zuwachs proportional zur jeweiligen Menge

Abb. 1: Zur Erläuterung des proportionalen und des überproportionalen Beschleunigungsvorgangs: Ein Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsvorgang ist stets überproportional, wenn der positive bzw. negative Zuwachs einer Größe (z. B. eines Volumens) zeitabhängig ist.

Die Größe "Beschleunigung" kann positive und negative Werte annehmen. Positive Beschleunigungen decken sich dabei mit dem im Alltagsleben verwendeten Begriff "Beschleunigung". Negative Beschleunigungen werden im Alltagsleben als Bremsvorgänge oder Verzögerungen beschrieben.

Neben Bewegungen mit konstanter Beschleunigung, d.h. gleichförmig beschleunigten Bewegungen, gibt es vielfach auch Prozesse, in denen die Beschleunigung selbst wieder zeitabhängig, also zeitlich nicht konstant ist. Zeitliche Änderung der Beschleunigung einer Größe bezeichnet man gelegentlich auch als "Ruck".

In Analogie zu biologischen Prozessen wird die zeitliche Zunahme einer Größe häufig auch als Wachstum bezeichnet. In diesem Fall spricht man dann nicht mehr von Änderungsgeschwindigkeit, sondern von der "Wachstumsrate" der entsprechenden Größe. Für die zeitliche Zunahme einer Größe wird oft auch die Begriffsbezeichnung "Kumulation" verwendet.

Ein wichtiger Sonderfall eines akzelerierenden Wachstumsprozesses liegt vor, wenn die Wachstumsrate einer Größe Q dieser Größe direkt proportional ist. In diesem Fall gilt:

Änderungsgeschwindigkeit $dQ/dt = 1/\tau_0 \cdot Q$, wobei τ_0 eine für den Wachstumsprozess charakteristische Zeitkonstante darstellt. Beispiele für solche Wachstumsprozesse sind etwa die Zunahme eines Kapitals aufgrund von Zinseszins oder die Vermehrung einer Zellkultur aufgrund einer zeitlich konstanten Zellteilungsrate.

Wachstumsprozesse dieser Art liefern stets eine exponentielle Zunahme $Q(t) = Q_0 \cdot e^{t/\tau_0}$ der entsprechenden Größe Q . Die Zunahme bei exponentiell-überproportionalem Wachstum (vgl. Abb. 1 unten) ist natürlich wesentlich stärker als beispielsweise bei nur quadratisch-überproportionalem Wachstum (vgl. Abb. 1 Mitte). Da der Mensch seiner natürlichen Veranlagung nach ein Lineardenker ist, übersteigt exponentielles Wachstum einer Größe auch bei noch so kleinen konstanten Wachstumsraten sein Vorstellungsvermögen für das rasante Anwachsen solcher Prozesse. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, darauf hinzuweisen, dass reale Systeme niemals unbeschränkt wachsen können. Entweder muss die Wachstumsrate zeitlich gegen Null gehen oder es kommt zur Katastrophe. Die in der Gegenwart stetig geäußerte Forderung nach kontinuierlich wirtschaftlichem Wachstum ist aus diesem Blickwinkel unsinnig.

Nach diesen generellen Vorbemerkungen zu Beschleunigungsvorgängen wird im Folgenden am Beispiel der Wissensexplosion in der Physik die akzelerierende Wissenskumulation in den Naturwissenschaften untersucht.

2. Die Zunahme des physikalischen Wissens von 1945 - 2003

Unter einer Explosion versteht man im übertragenen Sinne ein rapides, überproportionales Anwachsen, eine lawinenartige Vermehrung einer Größe. Betrachtet man das atemberaubende Tempo, mit dem sich die Zahl der naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse - und damit die Naturwissenschaften selbst - im letzten Jahrhundert entwickelt haben, so darf die Wissenskumulation auf dem Gebiet der Naturwissenschaften mit Recht als Wissensexplosion bezeichnet werden. Um diesen Sachverhalt am Beispiel der Naturwissenschaft Physik untersuchen zu können, muss zunächst ein Messverfahren gefunden werden, um die physikalischen Wissenszuwächse zu erfassen.

Neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden in der Physik der wissenschaftlichen Öffentlichkeit üblicherweise durch Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften mitgeteilt. Als Maß für den Wissenszuwachs in der Physik soll deshalb für die folgenden Betrachtungen die Anzahl der physikalischen Veröffentlichungen pro Jahr dienen. Man kann diese Zahl z. B. dem Index "Physics Abstracts" (*Information Services for Physics and Engineering Communities*) entnehmen, in dem sämtliche physikalisch relevanten Publikationen der Welt erfasst und die Ergebnisse der jeweiligen Veröffentlichung durch einen kurzen Abstract (Kurzfassung) der wissenschaftlichen Öffentlichkeit mitgeteilt werden.

In Abb. 2 ist die Anzahl der jährlichen Publikationen von 1945 bis 2003 linear als Funktion der Zeit aufgetragen. Die Anzahl der in "Physics Abstracts" pro Jahr referierten Veröffentlichungen steigt mehr oder weniger steil von bescheidenen ca. 3.000 Veröffentlichungen im Jahr 1945 bis weit über 200.000 Veröffentlichungen im Jahr 2003!

Um die Daten besser analysieren und interpretieren zu können, sind sie in Abb. 3 in halblogarithmischem Maßstab aufgetragen. Gerade Linien bedeuten bei dieser Auftragsweise einen exponentiellen Anstieg der abhängigen Größe. Die in Abb. 3 eingezeichneten Geraden stellen beste Anpassungen eines solchen exponentiellen Anstiegs $N(t) = N_0 \cdot e^{t/\tau_0}$ an die zeitliche Entwicklung der Anzahl $N(t)$ der Publikationen dar.

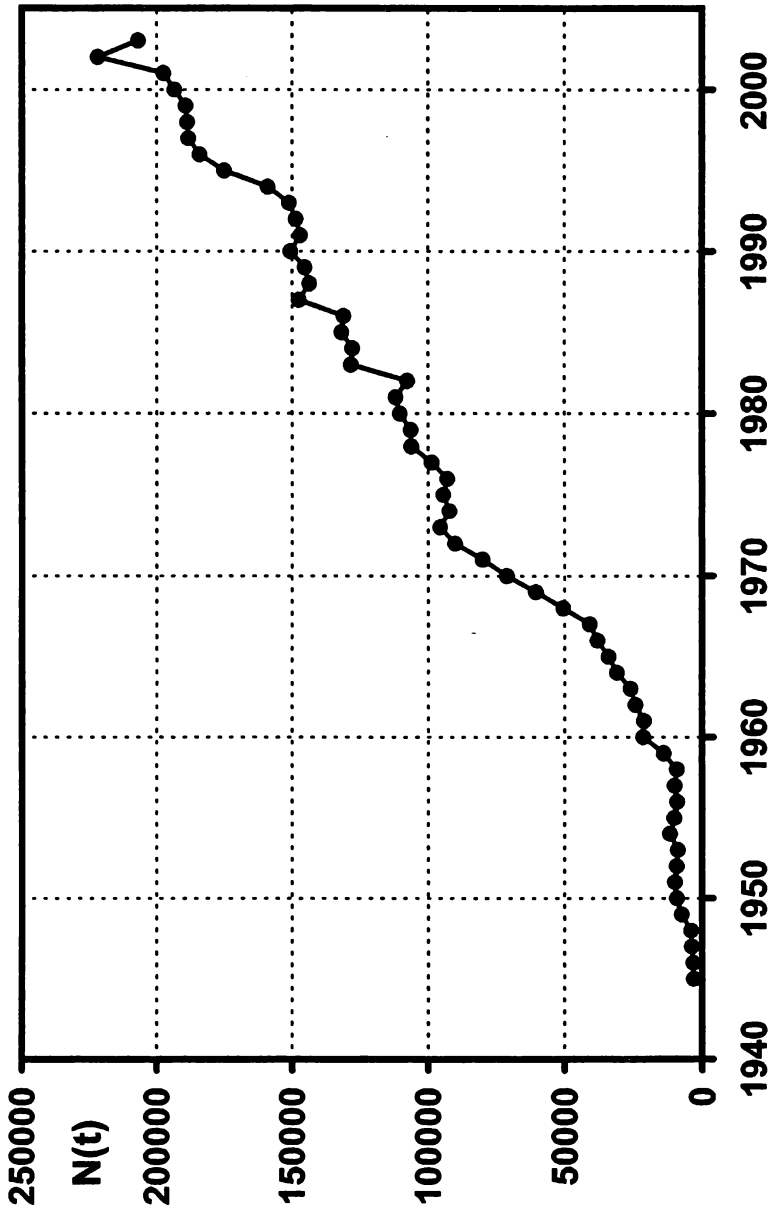


Abb. 2: Anzahl $N(t)$ der in "Physics Abstracts" referierten Veröffentlichungen von 1945 - 2003 (lineare Auftragung!)

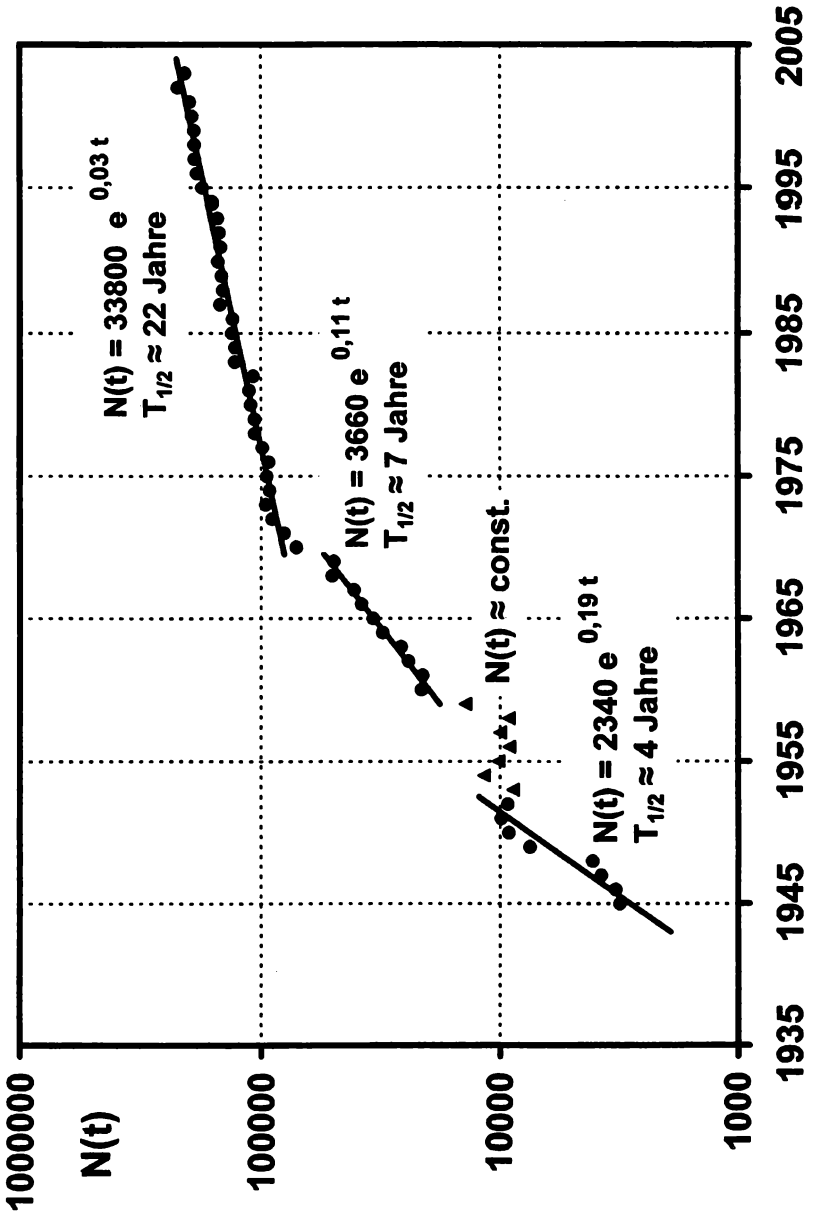


Abb. 3: Anzahl $N(t)$ der in "Physics Abstracts" referierten Veröffentlichungen von 1945 - 2003 (halb-logarithmische Auftragung!)

Wie ersichtlich, kann die Kurve grob in vier Zeitabschnitte unterteilt werden. Abgesehen von den Jahren 1953 bis 1959, in denen die Zuwachsrate im wesentlichen konstant ist, lassen sich die Daten in den Jahren von 1945 bis 1952, von 1960 bis 1969 und von 1970 bis 2003 jeweils recht gut durch Geraden - allerdings mit jeweils unterschiedlichen Steigungen $1/\tau_0$ - anpassen. Dies bedeutet, dass die Anzahl der Veröffentlichungen physikalischen Inhalts in diesen Zeitabschnitten exponentiell gewachsen ist, jedoch mit unterschiedlicher Zuwachsrate. Aus den Steigungen der Geraden lässt sich berechnen, dass sich die Anzahl der Publikationen im Zeitraum von 1945 bis 1952 im Durchschnitt alle 4 Jahre und im Zeitraum von 1960 bis 1969 alle 7 Jahre verdoppelt hat. Von 1970 bis 2003 hingegen fand eine Verdoppelung der Veröffentlichungen im Durchschnitt nur alle 22 Jahre statt. Nach wie vor wächst in diesem Zeitabschnitt die Anzahl der Veröffentlichungen exponentiell an, allerdings mit einer erheblich längeren Verdoppelungszeit. Dies entspricht ab 1970 einer substantiellen Verlangsamung der Wissenszuwächse im Bereich der Physik. Ohne zusätzliche Korrelationsanalysen zwischen anderen wissenschaftlichen Disziplinen und gesellschaftlichen Bereichen können über die Ursachen, welche dieses Verhalten letztendlich bewirkt haben, zur Zeit nur vage Vermutungen angestellt werden. Denn zu vielfältig und unterschiedlich sind die ineinander greifenden, sich teilweise gegenseitig bedingenden gesellschaftlichen, ökonomischen, wissenschaftlichen und wissenschaftspolitischen Parameter.

Im Jahr 1945 wurden weltweit insgesamt ca. 3.000 Arbeiten veröffentlicht. Im Jahr 1970 waren es bereits über 71.000 und im Jahre 2003 ca. 210.000 Arbeiten pro Jahr. Während ein Physiker im Jahr 1945 im Rahmen einer 5-Tages-Woche ca. 15 Kurzfassungen pro Arbeitstag zu bewältigen gehabt hätte, wären es 1970 bereits 355 und 2003 etwa 1050 Kurzfassungen pro Arbeitstag gewesen. Setzt man zum Durchlesen eines Abstracts etwa 5 Minuten an, dann konnte sich ein Physiker 1945 mit einem Zeitaufwand von 1 1/4 Stunden pro Arbeitstag einen Überblick über das *gesamte* Gebiet der Physik - einschließlich solcher Randgebiete wie Astrophysik, Biophysik, Physikalische Chemie etc. - verschaffen. Im Jahr 1970 hätte er dazu bereits 30 Stunden und im Jahr 2003 mehr 88 Stunden pro Arbeitstag benötigt!!

Die Entwicklung bzw. die Schaffung neuer Spezialgebiete innerhalb einer Disziplin ist stets mit Neugründungen von Zeitschriften verbunden. Die Neugründung von Zeitschriften kann daher ebenfalls als Maß für das Wissenswachstum einer Disziplin dienen.

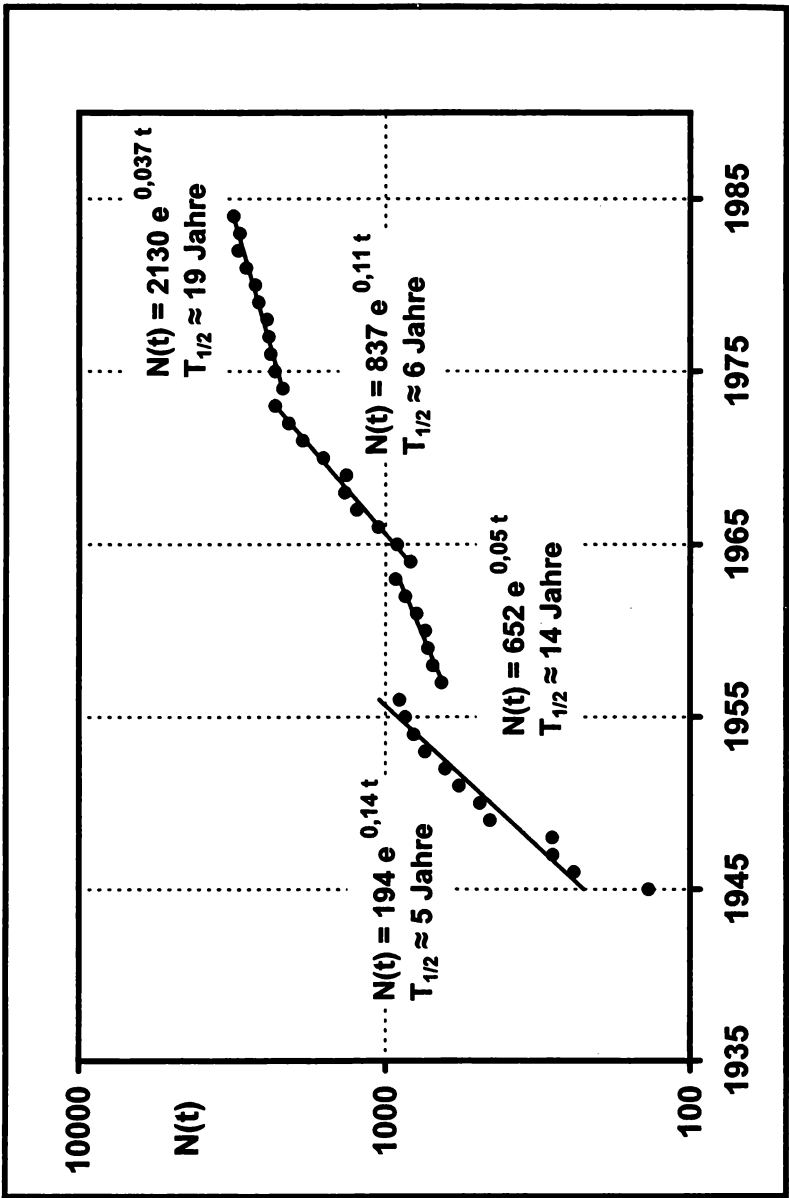


Abb. 4: Zahl $N(t)$ internationaler physik-relevanter Zeitschriften von 1945 - 1985 (halb-logarithmische Auftragung!)

In Abb. 4 ist die Anzahl der internationalen Zeitschriften mit physikrelevanten Publikationen von 1945 bis 1985 in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. Es lassen sich hier wieder deutlich vier Zeitabschnitte unterscheiden. In jedem dieser Zeitabschnitte wächst die Zahl der Zeitschriften ebenfalls in guter Näherung exponentiell an, und zwar mit Verdoppelungsraten von $T_{1/2} = 5$ Jahren, $T_{1/2} = 13$ Jahren, $T_{1/2} = 6$ Jahren und $T_{1/2} = 19$ Jahren. Diese Verdoppelungsraten sind mit denen im vorigen Diagramm voll kompatibel. Sie zeigen außerdem sehr deutlich den Trend zur Spezialisierung in der Physik.

Zu ganz ähnlichen Resultaten kommt man auch, wenn man die Seitenzahl der international renommierten Zeitschrift "Physical Review" in Abhängigkeit der Zeit in diesem Fall von 1913 - 2000 aufträgt (siehe Abb. 4). Analog zu den vorhergehenden Diagrammen lässt sich auch hier wiederum eine Reihe unterschiedlich stark wachsender Abschnitte feststellen mit Verdoppelungszeiten, die in der gleichen Größenordnung liegen. Einigen sehr deutlichen Einbrüchen in der Wachstumskurve lassen sich ganz konkrete geschichtliche Ereignisse zuordnen, wie Erster und Zweiter Weltkrieg sowie die Weltwirtschaftskrise. Auffallend ist hier die jeweilig zeitliche Verzögerung, mit der sich diese geschichtlichen Ereignisse auf den Wissenszuwachs auswirken. Über die Ursachen, welche für den deutlichen Knick in der Änderungsgeschwindigkeit des Wissenszuwachses in den Jahren 1960, 1970, 1985 und 1995 verantwortlich sind, kann ebenfalls - wie bereits oben erörtert - nur spekuliert werden.

Legt man die Seitenzahlen der Zeitschrift "Physical Review" wiederum auf einen Arbeitstag um, so stieg die zu bewältigende Seitenzahl allein bei dieser Zeitschrift im Jahr 1945 von ca. 10 Seiten pro Arbeitstag auf ca. 420 Seiten pro Arbeitstag im Jahr 2004. Weitere Beispiele, welche die Wissensexplosion in den Naturwissenschaften verdeutlichen können, liefert der Buchmarkt mit seiner von Jahr zu Jahr wachsenden Zahl neuerscheinender Monographien und ebenso die zunehmende Zahl wissenschaftlicher Tagungen, bei denen die Flut der Vortragsanmeldungen nur noch in zahlreichen Parallelsitzungen und Postersessions bewältigt werden kann.

All diese Beispiele illustrieren die rasante Wissensakkumulation im Bereich der Physik. Sie zeigen eindrucksvoll, dass ein Wissenschaftler der Gegenwart maßlos überfordert ist, wenn er sich auch nur einen ganz groben Überblick über die erdrückende Flut neuer physikalischer Forschungsergebnisse verschaffen wollte. Heute ist es nicht mehr möglich, dass ein einzelner Physiker das Gesamtgebiet der Physik überblicken kann, geschweige denn in allen Teilgebieten kompetent ist.

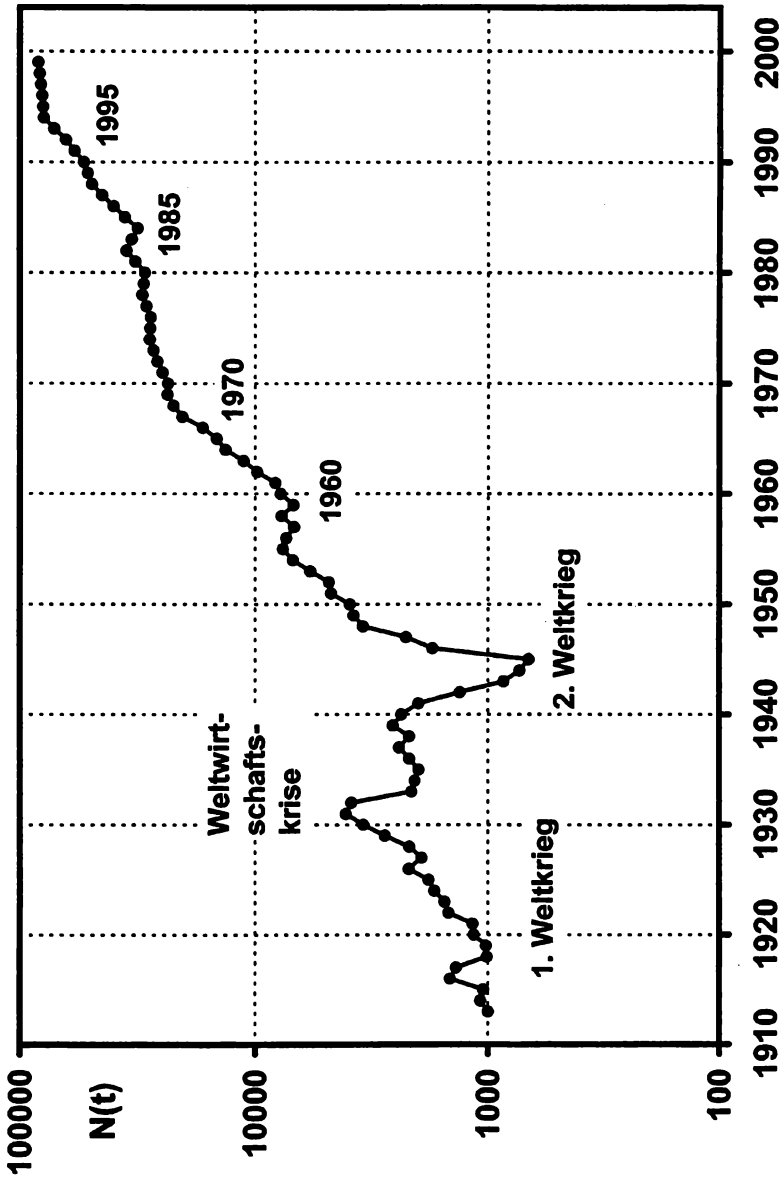


Abb. 5: Seitenzahl $N(t)$ des internationalen Physik-Journals "Physical Review" von 1913 - 2000 (halb-logarithmische Auftragung!)

3. Gründe für die akzelerierende Wissenskumulation in der Physik

Im Folgenden werden eine Reihe von Ursachen aufgeführt, die Anlass zu der akzelerierenden Wissenskumulation in der Physik gegeben haben.

3.1 Förderung der Physik durch die Gesellschaft und die dadurch bedingte Zunahme der Zahl der Wissenschaftler

Noch zu Beginn des letzten Jahrhunderts führten Physiker an den Universitäten ein von der großen Öffentlichkeit weitgehend unbeachtetes Dasein. Die Institutsetats waren klein. Experimente wurden oftmals aus eigener Tasche bezahlt. Fragestellungen und Forschungsergebnisse der Physik wurden zwar im Allgemeinen als durchaus interessant empfunden. Man sah damals aber - im Gegensatz zur chemischen Forschung, deren Resultate in den chemischen Industriekonzernen vielfach Anwendung fanden - noch keinen unmittelbaren Nutzen für die Gesellschaft.

Diese Situation hat sich grundlegend geändert. Die heute in allen Lebensbereichen weitgehend durch naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse bedingten Innovationen stellen einen ganz wesentlichen Faktor dar, um im Konkurrenzkampf der Industrienationen eine Überlebenschance zu haben. Immense Mittel werden daher von der Gesellschaft für physikalische Grundlagenforschung und angewandte Physik bereitgestellt. Forschung wird nicht mehr nur an Universitäten, sondern vor allem auch an eigenständigen Forschungsinstituten und Forschungslabors der Industrie betrieben. Der Beruf des Physikers hat sich voll etabliert, und für Physiker gibt es mittlerweile ein weites Betätigungsfeld in vielen Bereichen der Gesellschaft. Als Folge dieser Situation wuchs vor allem in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts auch die Anzahl der Naturwissenschaftler weltweit entsprechend rasch an. Dies führt zu der erstaunlichen Tatsache, dass weitaus die Mehrzahl aller Naturwissenschaftler der gesamten Menschheitsgeschichte in der Gegenwart lebt.

3.2 Veröffentlichungsdruck

Eine zweite Ursache für die akzelerierende Wissenskumulation in der Physik stellt der ungeheure Veröffentlichungsdruck dar, dem Wissenschaftler ausgesetzt sind. Denn amerikanischem Vorbild entsprechend, unterliegt heute jeder in der naturwissenschaftlichen Forschung Tätige dem Zwang des "publish or perish". Wer keine lange, kontinuierliche Veröffentlichungsliste aufzuweisen hat, dem wird in unserer Zeit kaum die Chance geboten, auf dem Gebiet der naturwissenschaftlichen Forschung voranzukommen. Dies

hat zur Folge, dass auch kleinste Wissenszuwächse so rasch wie möglich publiziert werden. Statt einer einzigen, in Jahren gereiften, abgerundeten und in sich abgeschlossenen Arbeit entstehen neben der zusammenfassenden Hauptpublikation eine Reihe von Vorveröffentlichungen, die sich wohl in ihrer Ausführlichkeit, oft aber nicht wesentlich in ihrem Inhalt unterscheiden. Dies führt zu einer Atomisierung des naturwissenschaftlichen Wissens und zu einer ungeheuren Anhäufung von oftmals zusammenhanglosem Detailwissen.

Vergleicht man die Naturwissenschaft mit einem Kunstwerk in Form eines riesigen, sehr komplexen Mosaiks, so entspricht die heutige Veröffentlichungspraxis der pausenlosen Produktion ungeheurer Mengen von Mosaiksteinchen vorwiegend gleicher Farbschattierung, die in großen Halden aufgeschüttet werden (*Eilenberger, G. 1981, 69*). Nur wirklich gute Institute und Forscherpersönlichkeiten arbeiten tatsächlich an kleinen Ausschnitten des großen Kunstwerks. Oft müssen sie dabei viel Zeit mit der Suche nach den richtigen Steinchen in den großen Halden vergeuden.

3.3 Verbesserung der Messtechnik

Ein dritter wichtiger Grund für die rasch zunehmende Zahl wissenschaftlicher Messergebnisse in der Physik beruht auf der Perfektionierung der Messgeräte und der Datenerfassung. Noch anfangs der sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurden beispielsweise die meisten für ein Experiment benötigten elektronischen Geräte vom Wissenschaftler selbst entworfen und zusammengelötet. In der Zwischenzeit hat sich eine physikalische Industrie entwickelt, die dem Physiker die zeitraubende Geräteentwicklung weitgehend abnimmt und äußerst zuverlässige und präzise arbeitende Geräte zu Verfügung stellt. Noch in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts spielten Rechenschieber und mechanische Rechenmaschinen eine wichtige Rolle bei der Auswertung von Messergebnissen. Graphische Darstellungen für Veröffentlichungen wurden per Hand mit Tusche, Lineal und Schriftschablonen hergestellt und dann mit Hilfe des Fotolabors auf Hochglanzfotopapier übertragen. Zunehmend werden die zum Experimentieren verwendeten Apparaturen mit einem Computer gekoppelt. Man misst "on-line", d.h. nicht nur die Datenerfassung und -verarbeitung geschieht durch den Computer, sondern die Experimente selbst werden durch den Rechner gesteuert. Durch diese Automatisierung können in kürzester Zeit ungeheure Mengen von Messergebnissen produziert und ausgewertet werden.

Ein Beispiel soll dies erläutern: Bei der Untersuchung der Alpha-Teilchen-Streuung an den Atomkernen einer Goldfolie wurde von Rutherford und Mitarbeitern (*Rutherford, E. 1911, 669*) im Jahre 1909 noch jedes einzelne Streueignis durchs Mikroskop als Lichtblitz auf einem Zinksulfid-Szintillationsschirm beobachtet und manuell registriert. Größenordnungsmäßig lässt sich auf diese Weise etwa 1 Ereignis pro Sekunde erfassen. Mit einer modernen elektronischen Zählapparatur hingegen können heute pro Sekunde 50000 und mehr Szintillationen registriert werden. Ein solches Experiment dauerte damals Monate. Heute lässt es sich in Bruchteilen einer Stunde mit einer wesentlich höheren Genauigkeit durchführen.

Neben der enormen Verbesserung der Messmethoden und Messgeräte spielen auch die vielen Großforschungsanlagen, wie z. B. das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg oder CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire) in Genf, eine wesentliche Rolle. In ihnen wird die Datenproduktion mit der Effizienz moderner Industrieunternehmen betrieben.

3.4 Entwicklung völlig neuer Forschungsgebiete und Techniken

Anlass zu großen Schüben in der Produktion naturwissenschaftlicher Ergebnisse gibt stets auch die Entwicklung neuer Forschungsgebiete und neuer Forschungstechniken. Erinnert sei hier nur an die explosionsartige Entwicklung der Kernphysik, an die Festkörper- und Halbleiterphysik, an die Laseroptik und an die Elementarteilchenphysik (vor 1932 waren beispielsweise nur zwei Elementarteilchen, nämlich das Proton und das Elektron, bekannt, heute dagegen sind es mehrere hundert). Viele Ergebnisse neuer Gebiete führen zu technischen Anwendungen, die eine zusätzliche Akzeleration der Wissensvermehrung, und zwar weit über die Physik hinaus bewirken. Entwicklungen etwa wie der Mößbauer-Effekt, die Kernresonanz und das Rastertunnelmikroskop haben Messtechniken revolutioniert. Die Transistor- und Computertechnik, die Lasertechnik, die Glasfaseroptik, die Reaktortechnik und vieles mehr beeinflussen ganz wesentlich das Leben in unserer Industriegesellschaft.

4. Möglichkeiten zur Bewältigung der Wissensexplosion

Angesichts der ungeheuren, überproportionalen Vermehrung naturwissenschaftlichen Wissens im Laufe der letzten beiden Jahrhunderte drängt sich die Frage auf, wie das einzelne Individuum, insbesondere der Forscher, der

Lehrende und der Lernende diese Flut von Informationen und Erkenntnissen verarbeiten und weitergeben bzw. sich aneignen kann; kurzum, welche Möglichkeiten es gibt, die Wissenskumulation in der Physik zu bewältigen.

Diese Frage soll im Folgenden auf zwei Ebenen diskutiert werden, und zwar einerseits auf der Ebene der Forschung und andererseits auf der Ebene der Lehre, d. h. also der Tradierung des Wissens.

4.1 Bewältigung auf der Ebene der Forschung

Auf der Ebene der Forschung stellt die Wissenskumulation den Menschen hauptsächlich vor organisatorische Probleme. Die Frage ist hier: Wie kann das stetig wachsende Wissen, das der wissenschaftlichen Öffentlichkeit in den Publikationen ziemlich ungeordnet vorgesetzt wird, so geordnet, katalogisiert und indiziert werden, dass der an einem Problem arbeitende Wissenschaftler zu den für sein spezielles Problem relevanten Informationen raschen und lückenlosen Zugriff hat?

4.1.1 Einsatz der Datenverarbeitung

Eine Möglichkeit, riesige Informationsmengen mit raschem Zugriff zu organisieren, bietet die moderne Datenverarbeitung. Seit Jahren wird an Datenbanken und Informationsdiensten gearbeitet, um naturwissenschaftliche Informationen fächerübergreifend möglichst vollständig zu erfassen. Zur Zeit stellt die elektronische Datenbasis "Physics Abstracts, Electrical & Electronics Abstracts sowie Computer & Control Abstracts" der Fa. INSPEC den weltweit umfassendsten bibliographischen Informationsdienst für den Bereich der Naturwissenschaften dar (*postmaster@iee.org*). Mit Hilfe der INSPEC-Datenbanken, deren Benutzung - etwa über die Universitätsbibliotheken kostenlos - erfolgt, können Literaturrecherchen am Computer sehr effizient on-line und im Vergleich zu früher äußerst zeitsparend und umfassend durchgeführt werden.

4.1.2 Science Citation Index

Eine weitere Möglichkeit zum raschen Auffinden relevanter Literatur - vor allem bei der Einarbeitung in ein neues Gebiet - stellt der so genannte "Science Citation Index" dar (*Institute for Information, INC.*). Mit Hilfe dieses Indexes können erst kürzlich erschienene Publikationen aufgrund der in ihnen zitierten Arbeiten gefunden werden; d.h. unter einem bestimmten, in Neuerscheinungen aufgeführten - notwendigerweise älteren - Zitat sind all die Autoren von Neuerscheinungen aufgelistet, welche diese ältere Arbeit zitiert habe. Dieser Index, der die Zitate von mehr als 5800 wissenschaftli-

chen Journalen von mehr als 100 Disziplinen berücksichtigt und ebenfalls on-line zugänglich ist, hat den großen Vorteil, dass der Nutzer anhand von Zitaten nicht nur immer weiter in die Vergangenheit geführt wird, sondern auch die aktuellsten Arbeiten eines Gebietes auffinden kann, sofern in diesen die betreffende ältere - dem Nutzer bekannte - Arbeit zitiert worden ist.

Ein Beispiel möge dies erläutern: Angenommen man möchte sich informieren, welche Arbeiten im Jahr 2003 auf dem Gebiet der speziellen Relativitätstheorie erschienen sind. Man sucht sich dazu irgend eine grundlegende Arbeit auf diesem Gebiet, z. B. die von A. Einstein 1905 publizierte Veröffentlichung über die Lorentz-Transformation in den *Annalen der Physik* (*Einstein, Albert 1905, 891*). Im Science Citation Index 2003 sind dann unter "Einstein, A. *Ann. Phys.* 17, 891 (1905)" alle im Jahre 2003 publizierten Arbeiten aufgeführt, in denen diese Einsteinsche Arbeit zitiert wurde.

4.1.3 Änderung der Veröffentlichungspraxis

Bei allen Möglichkeiten, die moderne Datenverarbeitungs- und Indexverfahren bieten, ist ein Überdenken der Veröffentlichungspraxis dringend nötig. Es muss dieses fatale "publish or perish" aufgegeben werden. Der einzelne Wissenschaftler sowie auch wissenschaftliche Teams müssen in der Forschung wieder in größeren Zusammenhängen denken, planen, experimentieren und veröffentlichen lernen. Dies allerdings erfordert eine Abkehr von der häufig geübten Praxis, dass der wissenschaftliche Erfolg eines Wissenschaftlers bei Berufungen oftmals nur durch die Quantität von Publikationen und nicht durch deren Qualität beurteilt wird.

4.2 Bewältigung auf der Ebene der Lehre

Abschließend werden noch einige Möglichkeiten erörtert, die geeignet sind, die enorme Wissenskumulation in der Physik auf der Ebene der Lehre zu bewältigen. Denn eine Wissenschaft ist nur solange lebens- und entwicklungsfähig, solange sie lehrbar, d.h. tradierbar bleibt. Das Problem der Lehrbarkeit der Naturwissenschaften betrifft den Bereich der Hochschulen ebenso wie den der Gymnasien, Real-, Haupt- und Grundschulen. In der Lehre spielt - neben dem Umfang des zu vermittelnden Wissens - der Faktor "Zeit" eine wichtige Rolle. Als Folge der Wissenskumulation, die nicht nur im Bereich der Physik stattfindet, steht den Lehrenden und Lernenden immer weniger Zeit zur Bewältigung von immer mehr Wissen zur Verfügung. Es wird daher zunehmend schwieriger, vernünftige Kompromisse zu finden zwischen dem gewaltigen Wissensangebot und dem Wenigen, das den Lernenden in der kurz bemessenen Zeit, die sie für die Beschäftigung mit einer

bestimmten Disziplin zur Verfügung haben, vermittelt werden kann. Die negativen Auswirkungen auf den Lehr- und Lernbetrieb sind bekannt:

An den Hochschulen werden häufig die Prüfungsanforderungen erweitert, um die Studenten auch zum Studium neuerer Gebiete zu veranlassen. Dies führt zu unerwünschten Studienzeiterverlängerungen. An den Schulen gibt es stoffüberfüllte Lehrpläne, die meist nur eine oberflächliche Beschäftigung mit den einzelnen Tatsachen des Lehrgegenstandes erlauben. Der "Stoff" wird durchgehetzt, Wiederholung, Vertiefung und Einübung des Gelernten wird durch den übermächtigen Stoffdruck vielfach vernachlässigt. Versagen der Schüler auf der einen und Frustration der Lehrer auf der anderen Seite sind das Ergebnis.

Da eine weitere Verlängerung der Studien- bzw. Schulzeit nicht in Frage kommt, muss zur Bewältigung der Stofffülle eine drastische Reduzierung des Wissensangebots erfolgen. Das schwierig zu lösende Problem ist dabei, wo gekürzt, beschnitten und weggelassen werden soll, wo die Prioritäten liegen müssen, was wichtig und was nebensächlich ist. Je nach Standpunkt und Blickwinkel wird man auf solche Fragen unterschiedliche Antworten erhalten.

4.2.1 Reduktion des physikalischen Faktenwissens durch Theorienbildung

Wohl die wichtigste Möglichkeit zur Reduzierung der riesigen Datenmengen, des immensen Faktenwissens und der Einzelphänomene ist in der Physik durch die Arbeits- und Verfahrensweise dieser Wissenschaft selbst gegeben. Die Rede ist hier von der Theorienbildung, d.h. also von der Abbildung der "Wirklichkeit" auf ein mathematisch fassbares Modell. Die von einer umfassenden Theorie beschriebenen, für die Entwicklung der Theorie oft eminent wichtigen Phänomene und Einzelfakten werden im nachhinein durch die Theorie in ihrer Bedeutung eingeschränkt und relativiert. Sie dienen dann oftmals nur noch als Beispiele und zur Demonstration für die Gültigkeit der Theorie. In dieser Hinsicht ist die Physik eine sich selbst reduzierende Wissenschaft.

Diese Behauptung wird durch die Entwicklungsgeschichte der Physik vielfach bestätigt. Als Beispiel dazu diene das Gebiet der elektrischen und magnetischen Phänomene. Zunächst standen die Magnetostatik und die Elektrostatik als beziehungslose Gebiete der Physik nebeneinander. Aufgrund der Oerstedtschen Entdeckung, dass elektrische Ströme stets von einem Magnetfeld umgeben sind, und den Faradayschen Induktionsexperimenten, die zeigen, dass durch zeitlich sich verändernde Magnetfelder elektrische Spannungen

gen entstehen, wurde eine Vereinigung der beiden Gebiete zur Elektrodynamik möglich, die in den Maxwellschen Gleichungen ihren prägnantesten Ausdruck gefunden hat. Aus diesen Gleichungen können die quantitativen Zusammenhänge aller nur denkbaren elektromagnetischen Phänomene deduziert werden, vom Plattenkondensator über den Elektromagneten bis hin zu den Radiowellen und allen Lichterscheinungen. Nach der Entdeckung der Quantenphänomene wurde diese Theorie weiter entwickelt zur Quantenelektrodynamik. Dies ist eine umfassende, in ihrer Exaktheit ans Unglaubliche grenzende Theorie zur Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen im Mikrokosmos, wo Quanteneffekte eine wichtige Rolle spielen. Beispielsweise lässt sich mit dieser Theorie der Wert für die Anomalie des magnetischen Moments des Elektrons auf neun Stellen genau berechnen!

Die Verknüpfung von Einzelphänomenen und zunächst isoliert stehender Gebiete der Physik durch immer umfassendere Theorien macht die Kenntnis so mancher Einzeltatsachen, die sich unsere Vorväter noch einprägen mussten, für den heutigen Studenten überflüssig. Die Theorienbildung in der Physik ist damit ein äußerst wichtiges Hilfsmittel und Werkzeug zur Reduzierung von Faktenwissen, oder pointiert ausgedrückt: Die Tradierung physikalischen Wissens geschieht in konzentrierter, kompakter Form durch die Weitergabe physikalischer Theorien.

4.2.2 Möglichkeiten zur Bewältigung der Kumulation physikalischen Wissens in der Schule

Auf hohem wissenschaftlichem Niveau kann die Tradierung physikalischen Wissens durch Überlieferung von Theorien nur an den Universitäten im Rahmen eines Physikstudiums stattfinden. In den Allgemeinbildenden Schulen fehlen nicht nur umfangreiche mathematische Kenntnisse, die nötige Zeit und bei vielen Schülern auch Interesse und Verständnis. Die Zielsetzungen der Allgemeinbildenden Schulen müssen auch ganz andere sein. Ihnen obliegt es, das Kulturgut Physik den Menschen unserer Zeit in dem Umfange zu vermitteln, wie sie es zur Lebensbewältigung sowie zur Lebensgestaltung notwendig haben. Diese, in ihrer Allgemeinheit wohl von der Mehrheit unserer Gesellschaft akzeptierbare Forderung ruft jedoch stets heftige Kontroversen auf, wenn es darum geht, Art und Umfang der physikalischen Kenntnisse festzulegen, die für den Menschen der Gegenwart notwendig sind, um sich in seiner technisierten, industrialisierten und mediengesteuerten Umwelt zurechtzufinden. Auf die besonders im Bereich der Bildungspolitik teils widersprüchlich geführten Diskussionen und die herrschende Meinungsvielfalt bei den permanent stattfindenden Curriculum-Revisionen soll hier nicht

eingegangen werden. Wesentlich zur Bewältigung der physikalischen Wissensakkumulation im Schulunterricht sind aber die folgenden Gesichtspunkte:

4.2.2.1 Spezialisierung im Physikunterricht

Eine physikalisch-fachliche Spezialisierung, wie sie in gewissem Umfang heute vor allem in den Gymnasien versucht wird, ist in Allgemeinbildenden Schulen unangemessen. Ohne Kenntnis der notwendigen mathematischen und physikalischen Grundlagen wird häufig versucht, den Schülern Spezialkenntnisse aus der aktuellen Forschung zu vermitteln. Dies ist einer der Gründe für das naturwissenschaftliche Unverständnis und die katastrophalen Wissenslücken, die bei deutschen Schülern im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich sowohl von der Timss-Studie (Third International Mathematics and Science Study) als auch von der Pisa-Studie (Programme for International Student Assessment) festgestellt wurden. Hier muss sich die Einsicht wieder durchsetzen, dass in Allgemeinbildenden Schulen die Vermittlung der grundlegenden, elementaren physikalischen Inhalte und Phänomene im Sinne eines Studium Generale Vorrang haben muss. Weniger ist in diesem Falle mehr. Spezialisierung muss den Berufsbildungsstätten überlassen werden.

4.2.2.2 Fachsystematik im Physikunterricht

Physik ist eine systematische Wissenschaft. Daraus lässt sich jedoch für den Schulunterricht keine Rechtfertigung für eine übertriebene fachsystematische Stoffanordnung ableiten, wie sie in jüngster Vergangenheit im Zuge der curricularen Reformen in den Physiklehrplänen Einzug gehalten hat.

4.2.2.3 Arbeits- und Denkweise des Physikers im Physikunterricht

Weitaus wichtiger als die Vermittlung einer Überfülle physikalischer Einzel fakten ist für den Menschen unserer Zeit der Einblick in die Arbeits- und Denkweise des Physikers. Die Schüler sollen erfahren, wie der Physiker zu seinen Ergebnissen und Aussagen kommt. Sie sollen die Fähigkeit entwickeln, Aussagekraft und Gültigkeitsbereich zu beurteilen. Die Auswahl der Inhalte für den Unterricht aber sollte sich so stark wie möglich an lebensnahen Phänomenen der Natur sowie auch am technischen Erfahrungspotential der Schüler orientieren.

4.2.2.4 Mathematisierung im Physikunterricht

Es ist ein Merkmal der Physik, dass auch äußerst kompliziert erscheinende Sachverhalte anschaulich und ohne jeglichen mathematischen Aufwand in qualitativer Weise dargestellt werden können. Zu frühzeitiges Mathematisieren erzeugt im Schüler in den meisten Fällen ein unüberwindliches Hinder-

nis für das Verständnis der physikalischen Zusammenhänge. Zu frühe und übertriebene Mathematisierung ist daher strikt abzulehnen. Mathematik darf erst dann ins Spiel kommen, wenn das Wesentliche eines Sachverhaltes bereits qualitativ durchschaut und verstanden ist. Diese didaktische Einsicht sollte im Physikunterricht nach wie vor höchste Priorität haben. Im Bereich der Schule ermöglicht sie eine substanzielle Reduzierung der physikalischen Wissensfülle. Für den Nicht-Physiker reicht in den meisten Fällen das qualitative Verständnis eines Sachverhaltes bei weitem aus.

5. Literatur

- KLINGER, Walter (2005): Hierarchische Strukturen im Bereich der Physik.
– In: Max Liedtke (Hg.), Hierarchien, Matreier Gespräche 2003, Vehling Verlag, Graz.
- PHYSICS ABSTRACTS (1913 - 2005): Information Services for Physics and Engineering Communities, The Gresham Press, Old Woking, Surrey, England.
- EILENBERGER, Gerd (1981): Festkörperphysik: Quo vadis? – In: Phys. Bl. Bd. 37, 69.
- RUTHERFORD, Ernest (1911): The Scattering of Alpha and Beta Particles by Matter and the Structure of the Atom, Phil. Mag. ser 6, xxi, 669-88.
- SCIENCE CITATION INDEX: Institute for Information, INC. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- EINSTEIN, Albert (1905): Zur Elektrodynamik bewegter Körper. - In: Ann. Phys. 17, 891.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: [2004](#)

Autor(en)/Author(s): Klinger Walter

Artikel/Article: [Akzeptierende Wissenskumulation in den Naturwissenschaften - aufgezeigt am Beispiel der Physik 289-307](#)