Fünfhundert Jahre Physikgeschichte als permanente Revolution:

Der Wahrheit Feuerspiegel

Resumee der Vorlesung im Studium generale zum Wandel im wissenschaftlichen Weltbild



„Wenn Gott der Allmächtige zu Beginn der Schöpfung meinen Rat eingeholt hätte, so hätte ich ihm etwas Einfacheres empfohlen", soll König Alfons von Kastillien angesichts des komplizierten mathematischen Modells ausgerufen haben, mit dem Ptolemäus die Bewegung der Planeten beschrieben hatte. Dieses System war nicht nur kompliziert, sondern es erwies sich, nachdem die Planetenuhr schon tausend Jahre seit seiner Aufstellung weitergelaufen war, als ungenau. Navigatioren, Kalendermacher und Astrologen verlangten nach Genauerem. Man dachte an eine Reform des ptolemäischen Systems – unter den Händen des Kopernikus und seiner Nachfolger geriet sie zur Revolution! In seiner Vorlesung innerhalb des Studium generale „Der Wahrheit Feuerspiegel – 500 Jahre Physik" zeichnete Horst Ziegelmann (zusammen mit seinen Mitreferenten Wilfried Kuhn, Gießen, und Armin Hermann, Stuttgart) im vergangenen Semester diese Geschichte der Physik nach, die sich im Rückblick als eine permanente Revolution erweist. Fast nebenbei zeigt sich bei dieser Geschichte auch, daß der Sprengstoff, mit dem diese permanenten Revolutionen der Physik ausgelöst wurden, gar nicht so selten in den Laboren der Universität, in Tübinger Studierstuben in seinen Grundzügen entwickelt wurde. Diese TAGBLATT-Dokumentation des Studium generale zeigt allerdings auch, wie häufig sich die leitenden Kollegien der Universität vor diesem Sprengstoff der Wahrheit fürchteten, zeigt, wie häufig man hier die weltbild-stürzenden Genies der Alma mater Tübingensis lieber vom Leibe hielt.



Dr. Horst Ziegelmann, 49. Der Autor dieser Seite unterrichtet am Tübinger Technischen Gymnasium Physik, bildet am Berufskolleg Physikalisch-Technische Assistenten aus und hält als Privatdozent an der Universität Tübingen Vorlesungen über Theoretische Physik. Er veröffentlichte Arbeiten zum Dreikörperproblem der Quantenmechnik und didaktische Schriften zur Kernenergie. Im vergangenen Jahr erschien von ihm „Was ist wirklich? – Leben und Werk Albert Einsteins". Bild: Metz

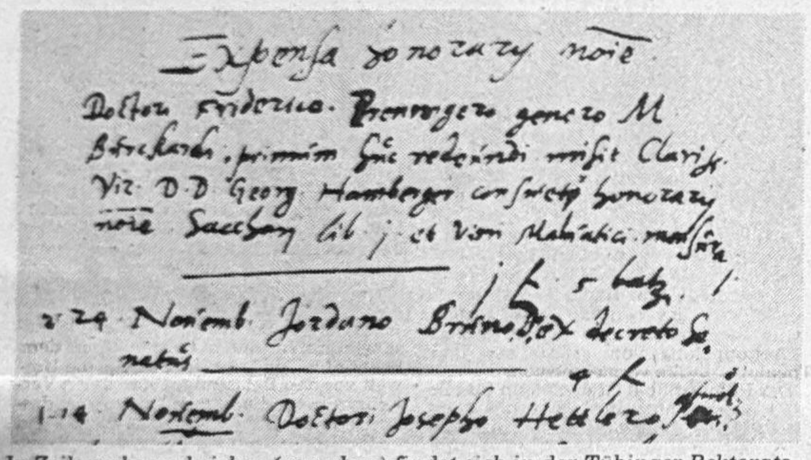
Der Frauenburger Domherr, Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543) las zunächst den Ptolemäus im Urtext in der Hoffnung, sein System sei nur schlecht überliefert – vergeblich. „Daher machte ich mir die Mühe, die Bücher aller Philosophen, derer ich habhaft werden konnte, von neuem zu lesen, um nachzusuchen, ob nicht irgendeiner einmal die Ansicht vertreten hätte, die Bewegungen der Sphären des Weltalls seien anders geartet." Die Lektüre des Aristarch von Samos bringt Kopernikus schließlich zu seinem radikalen Standpunktwechsel, bringt ihn dazu, in Gedanken die Erde zu verlassen und das angeblich so komplizierte Planetensystem aus höchsten Höhen zu überschauen.

Von diesem Standpunkt aus erscheint alles einfach und geordnet, und mit zwei Grundannahmen kann er nun die Bewegung der Gestirne erklären: Die Erde rotiert und erzeugt so das scheinbare Auf- und Untergehen der Gestirne. Die Erde umkreist die Sonne und erzeugt so das verwirrende Verhalten der Planeten, das nun erkannt ist als Überlagerung von Eigenbewegung der Planeten und scheinbarer Bewegung, erzeugt durch die Erdbewegung.

Dies ist qualitativ ein großer Wurf. Quantitativ ist Kopernikus jedoch gescheitert, denn nur durch Zusatzannahmen in ptolemäischer Manier kommt er zu befriedigender Genauigkeit. Seine Idee ist aber nicht mehr aufzuhalten. Vergeblich schilt ihn Luther einen Dummkopf, der die ganze Astronomie umstürzen wolle.

*

Die Lebenslinien zweier Menschen, die den Kopernikanischen Impuls aufnahmen, berührten sich 1588 in Tübingen: Johannes Kepler hatte sich 1587 in Tübingen immatrikuliert und wartete in Maulbronn, bis für ihn ein Platz im Stift frei würde. Giordano Bruno hatte 1588 bei der Universität um die Erlaubnis nachgesucht, Privatvorlesungen halten zu dürfen. Mit einem Reisegeld von vier Gulden war er bewegt worden, seine Wanderschaft fortzusetzen. Ein verpaßtes Rendezvous!



In Zeile sechs und sieben (von oben) findet sich in der Tübinger Rektoratsabrechnung von 1588 der Hinweis auf den Ehrensold für Giordani Bruno.

Giordano Bruno hatte Kopernikus' Höhenflug fortgesetzt und gesehen, daß nicht nur die Erde ihre Rolle als Zentrum der Welt verliert. Wer sich höher hinauf schwingt, erkennt, daß auch die Sonne nicht das Zentrum der Welt ist, sie ist ein Fixstern wie die vielen anderen.

Die Gleichwertigkeit aller Zentren im Universum wird ihm Vorbild für die verschiedenen Glaubensrichtungen, die auf Erden miteinander im Streit liegen. So werden seine Lehrer zur umfassenden Revolution, die die Wächter der Orthodoxie auf den Plan rufen. 1600 wird Bruno als Ketzer in Rom auf dem Scheiterhaufen verbrannt.

„Ich kann nicht beschreiben, welchen tiefsten Grad von Melancholie euer Brief bei mir verursacht hat, da er alle Hoffnung auf Eure Hochschule zunichte machte", schreibt Johannes Kepler (1571 bis 1630) im Jahre 1600 an seinen ehemaligen Lehrer Mästlin nach Tübingen. Es wird für Kepler schicksalhaft, daß ihm die Universität Tübingen die Tür verschließt, und er sich auf ein Angebot des kaiserlichen Mathematikers Tycho Brahe (1546 bis 1601) in Prag einlassen muß. Kepler fällt die Aufgabe zu, mit Hilfe der mehrjährigen, sehr genauen Braheschen Beobachtungen die Marsbahn zu berechnen. Er schließt die Wette ab, das Problem in acht Tagen zu lösen. 900 Folioseiten Keplerscher Berechnungen bezeugen heute noch, daß er seine Wette verlieren mußte. Dem Mars war mit der Hypothese der Kreisbewegung nicht beizukommen.

*

Schließlich begreift er, daß er auf unsicherem Fundament steht. Wenn wir schon die Marsbahn nicht begreifen, wie können wir uns dann darauf verlassen, daß die Erdbahn bekannt ist? Statt von der Erdbahn zum Mars zu blicken, versucht er nun, vom Mars aus die Erdbahn zu vermessen, indem er aus den Braheschen Beobachtungen diejenigen auswählt, bei denen der Mars jeweils am gleichen heliozentrischen Ort steht. Dann dreht er den Spieß um und trianguliert von der nun bekannten Erdbahn aus die Marsbahn. 1605 erkennt er die Ellipsenform der Marsbahn und hat so mit dem vorher schon gefundenen Flächensatz das Marsproblem gelöst.

Bei Ausbruch des dreißigjährigen Krieges lebt Kepler in Linz. Hier gibt er 1619 die Weltharmonie heraus. Die Weltharmonie, das ist für den Physiker das dritte Keplersche Gesetz, wonach das Verhältnis der dritten Potenz des mittleren Abstands von der Sonne zum Quadrat der Umlaufszeit für alle Planeten des Sonnensystems den gleichen Wert hat. Mehr nimmt er nicht zu Kenntnis, obwohl die Weltharmonie viel mehr enthält.

Dieser Vorwurf an die Fachwelt besteht zu Recht: „Die Mitwelt hat dich um den Lohn beraubt, die Nachwelt dir nun das Gesetz geglaubt; was du vom Wesen sprachst, wer mocht es hören?"

*

Ich verachte die Herde derjenigen, die, um Kenntnisse von Naturerscheinungen zu erlangen, nicht auf die Schiffe oder an die Armbrust und an die Kanone gehen, sondern sich ins Studierzimmer zurückziehen, um nachzudenken, ob Aristoteles nichts darüber gesagt habe." Die Flugbahn der Kanonenkugel oder der frei herabfallende Stein, das waren Probleme, die Galileo Galilei, (1564 bis 1642) experimentell untersuchte. Galilei auf dem Schiefen Turm von Pisa Fallexperimente anstellend, das ist ein beliebtes, aber falsches Bild: Galilei betrachtete den freien Fall in Zeitlupe, indem er Rollbewegungen einer Kugel auf einer schiefen Ebene studierte.

Das Problem der Kurzzeitmessung löst er so: Galilei singt, die Kugel rollt, Galilei markiert im Takt den jeweils zurückgelegten Weg. So gelangt er zu den Fallgesetzen und im nächsten Schritt zu den Wurfgesetzen. Seine Studien zur Mechanik werden 1609 durch ein entscheidendes Ereignis unterbrochen: Galilei entdeckt das bereits von anderen entwickelte Fernrohr für seine Zwecke – er ist der erste Mensch, der das Fernrohr zum Himmel richtet.

Der Anblick macht ihn zum eifrigen Kopernikaner. Auf dem Mond sind Berge und Täler zu erkennen; himmlische Welt und irdische Welt beginnen sich zu gleichen! Der Jupiter wird von vier Monden umkreist und zeigt, daß es noch andere Zentren gibt als die Erde! Die Venus zeigt Phasen von der Vollvenus bis zur dünnen Sichelvenus – wie anders als durch eine Umkreisung der Sonne sind solche Beleuchtungsverhältnisse zu erklären? Die päpstlichen Astronomen des Collegio Romano bestätigen seine Entdeckungen – nicht aber seine Schlußfolgerungen.

1616 wird die kopernikanische Lehre verurteilt und Galilei ermahnt, nicht länger am Kopernikanismus festzuhalten. 1625 fühlt sich Galilei ermutigt, seinen Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme zu schreiben. Das Buch, das 1632 mit der kirchlichen Imprimatur erscheint, wird ein großer Erfolg, obwohl es keine eigentliche Beweise für die Bewegung der Erde erbringt. Im Oktober des gleichen Jahres wird Galilei, der sich bis dahin besonderer päpstlicher Gnaden erfreuen durfte, vor die Inquisition zitiert.

Urban VIII. mußte in seinem machtpolitischem Spiel ein Zeichen setzen, um die Orthodoxie zu besänftigen – Galilei machte sich im richtigen Augenblick unbeliebt und wurde das geeignete Opfer. Heute hat die Kirche ihr Verhältnis zu Galilei geändert. Johannes Paul II. verkündete 1979: „Galilei hat von den Männern der Kirche viel zu leiden gehabt ... Galilei hat wichtige Regeln von erkenntnistheoretischem Charakter formuliert, die sich als unentbehrlich erweisen, wenn man die Heilige Schrift und die Wissenschaft in Einklang bringen will."

*

Ich stehe auf den Schultern von Titanen", hatte Isaak Newton (1643 bis 1727) bescheiden sein Werk kommentiert. Die Titanen, die er meinte, waren Kepler – er lieferte die Gesetze der Bewegung der Himmelskörper – und Galilei – er lieferte die Gesetze der Bewegung irdischer Körper unter Einfluß der Schwerkraft. Den Rahmen für die Beschreibung der Natur bilden in Newtons epochalem Werk „Philosophia naturalis principia mathematica" Raum und Zeit, die ohne Bezug auf einen äußeren Gegenstand existieren.

Grundlage für alle Untersuchungen sind die Axiome Trägheitsgesetz, Kraft gleich Masse mal Beschleunigung, actio gleich reactio. Mit Hilfe dieser Axiome gewinnt Newton aus den ersten beiden Keplerschen Gesetzen das Gravitationsgesetz, das er sogleich verallgemeinert: Auch die Planeten ziehen sich untereinander an, so daß die Keplerschen Gesetze nur dann gelten, wenn man die wechselseitige Anziehung vernachlässigt. Die weitere Verallgemeinerung gewinnt er, einer beliebten Anekdote entsprechend, so: Newton sieht den fallenden Apfel und gleichzeitig den Mond. Warum fällt der Mond nicht herunter?

In diesem Augenblick sind himmlische Physik und irdische Physik vereint, ist die Verbindung geschaffen zwischen Keplerschen Planetengesetzen und Galileischen Fallgesetzen. Das neue Gravitationsgesetz bewährt sich auch hier. Es zeigt, wie starkt die irdische Anziehung auf den Mond ist, und wie diese gerade die bekannte Bewegung des Mondes um die Erde erzwingt. Eine Trennung zwischen irdischer und himmlischer Physik, wie es Aristoteles für nötig gefunden hatte, ist hinfällig geworden.

Die Newtonsche Mechanik trat einen beispiellosen Siegeszug an. Kein Wunder, daß man sich jetzt, da der Himmel zuverlässig wie eine Maschine funktionierte, sogar den Menschen als Maschine vorstellte (Lamettrie). All dies war nicht im Sinne Newtons, der sich einen Schöpfer vorgestellt hatte, „der mit seinem Willen die Körper besser bewegen kann und dadurch die Teile des Universums zu gestalten und umgestalten vermag wie wir durch unseren Willen die Teile unseres Körpers zu bewegen vermögen."

*

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 bis 1716) hatte dazu bemerkt: „Die Maschine, die Gott geschaffen hat, ist nach Ansicht dieser Herren so unvollkommen, daß Gott verpflichtet ist, sie hin und wieder zu reparieren, wie ein Uhrmacher sein Werk repariert." Nach Leibniz' Idee hatte der Weltenschöpfer dem Universum ein unveränderliches Maß an Bewegung verliehen – ein Gedanke, der später zum Energieprinzip führte. Zwar kommt ein schwingendes Pendel schließlich zur Ruhe, doch stellt dies für Leibniz kein Problem dar. Die verschwundene Energie würde man als Bewegungsenergie der kleinsten Teilchen wiederfinden.

Für die Zeitgenossen von Leibniz und spätere Generationen war dies inakzeptabel. Ein über die Mechanik hinausgehender Energiesatz galt als leichtfertige Spekulation, ebenso wie die „kleinsten Teilchen" – Wärme galt eher als Stoff denn als Energie.

*

Um den Energiesatz zur Anerkennung zu führen, bedurfte es noch langer Überzeugungsarbeit, wobei sich besonders ein Absolvent unserer Alma mater auszeichnete: Julius Robert Mayer (1814 bis 1878). Er hatte in Tübingen Medizin studiert und segelte als Schiffsarzt 1840 nach Batavia.

Für den Arzt Mayer konnte die Lösung des Problems nur von der Physik herkommen und so versuchte er sich darin. Eine erste Publikation blieb in der Schublade des Herausgebers der Annalen der Physik und Chemie liegen. Erst nach dessen Tode 1878 fand man sie dort. Mayer lernte hinzu, besonders mit Hilfe des Tübinger Physikprofessors Nörremberg, und konnte schließlich mit einer zweiten Schrift in den Annalen der Chemie und Pharmazie reüssieren, da er über das Spekulative hinaus eine genaue Zahl für das mechanische Wärmeäquivalent anbieten konnte. Dies genügte zwar zur Publikation, nicht aber zur allgemeinen Anerkennung des Energieprinzips.



Julius Robert Mayer (1814 bis 1878) hatte nicht nur mit der Ignoranz der wissenschaftlichen Welt zu kämpfen, in seiner Studentenzeit wurde er auch noch wegen seiner demokratischen Haltung von der Reaktion belästigt.

Mit dem Siegeszug des Energieprinzips, in dessen Zusammenhang die Namen Helmholtz, Faraday und Joule zu nennen wären, kam auch die Anerkennung der Leistung Mayers – unter anderem durch die Verleihung der Ehrendoktorwürde der Universität Tübingen. Er hatte als erster das geistige Band gefunden, das alle Bereiche von Chemie, Physik und Technik verbindet. Die Physiker hatten sich schwer getan auf diesem Gebiet. Die Dampfmaschinen liefen schon längst, ehe die Physik die Grundlagen dazu geklärt hatte. So konnte sich hier erfolgreiche und folgenreiche Technik ohne die Führerschaft der Physik entwikkeln, ganz anders als auf dem Gebiet des Elektromagnetismus, wo Gauß sagen konnte: „Die Theorie zieht die Praxis nach sich wie der Magnet das Eisen."

*

Am Anfang der Entwicklung stehen die Belustigungen vornehmer Herrschaften in elektrischen Salons, wo man sich gegenseitig Funken aus der Nase zieht. Neue Teildisziplinen der Physik entstehen – ein Paradebeispiel für die Kritik der romantischen Naturphilosophie, die der Physik vorwirft, sie zerstöre die Natur und übersehe dabei das „innere Triebwerk".

1820 gelingt Hans Christian Orsted (1777 bis 1851) ein Schritt zur Vereinheitlichung der Naturkräfte. Er weist nach, daß ein elektrischer Strom eine Magnetnadel ablenken kann. 1831 glückt Michael Faraday (1791 bis 1867) der umgekehrte Versuch. Er verwandelt mit seinem Induktionsversuch Magnetismus in Elektrizität. Hinfort kann man von einer Naturerscheinung sprechen, dem Elektromagnetismus.

Zur Darstellung seiner Ergebnisse liefert Faraday Bilder statt Formeln. Farady war Autodidakt. Als Buchbinder hatte er in jungen Jahren viele Bücher in der Hand gehabt und einige davon gelesen. Mathematik hatte er nie gelernt. Die einzige mathematische Operation, die er in seinem Leben durchgeführt habe, sei gewesen, die Kurbel einer Rechenmaschine zu drehen. So zeichnete er Bilder, die er Kraftlinien nannte. Diese Bilder konnte er auch experimentell erzeugen mit Grießkörnern oder Eisenfeilspänen. Was seine Zeitgenossen eine vage Sache nannten, war für ihn Realität. Es war das Abbild des durch Ladungen beziehungsweise Ströme veränderten Raums, ein Abbild des elektrischen beziehungsweise magnetischen Feldes.

Maxwell nahm die Faradayschen Bilder ernst und entwickelte die Mathematik, die hinter diesen Bildern stand. Diese Maxwellschen Gleichungen enthielten in konzentrierter Form das gesamte elektromagnetische Wissen der damaligen Zeit und machten zusammen mit einem von Maxwell erfundenen Zusatz eine sensationelle Vorhersage: Elektromagnetische Felder können sich von Ladungen und Strömen lösen und durcheilen dann mit Lichtgeschwindigkeit den Raum.

Licht war als elektromagnetische Welle erkannt, und die Theorie für die künstliche Herstellung dieser Wellen – die Radiowellen – stand bereit. Einige Meilensteine bei der Umsetzung der Theorie in die Praxis seien genannt: 1866 – Siemens' dynamoelektrische Maschine zur Erzeugung elektrischer Ströme unbegrenzter Stärke; 1886 – Erzeugung elektromagnetischer Wellen durch Hertz; 1891 elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt mit der Übertragung elektrischer Energie von Lauffen am Neckar nach Frankfurt; 1909 – Nobelpreis für Marconi und (den auch in Tübingen wirkenden) Karl Friedrich Braun (1850 bis 1918) für die Entwicklung des weltweiten Funkverkehrs.

In den Kreis der beiden Laureaten wäre eigentlich noch ein dritter aufzunehmen gewesen. Er hatte 1895 bereits seine Radiowellen auf eineinhalb Meilen Entfernung nachweisen können, hatte dann aber ein Arbeitsgebiet gefunden, das ihn noch mehr intereressierte als die Welt der Felder und Wellen. Es war Ernest Rutherford (1871 bis 1937), der, angeregt durch die Entdeckung Röntgens und Becquerels, in die Welt der Atome und Korpuskeln hinabtauchte. Zwei verschiedene Welten, die doch miteinander zu tun haben. Atome absorbieren Wellen, dies sind Punktereignisse, die wenig gemein haben mit der sich immer weiter ausdehnenden und energetisch immer „dünner" werdenden Welle.

Welcher Welt gehört das Licht an, Einsteins Antwort: Beiden! Und er kreierte ein Objekt, das die Physiker erst 20 Jahre später zur Taufe zuließen: das Photon, Träger von Wellen- und Teilcheneigenschaften. Dieser Dualismus war eine Zumutung für die Anschauung, erwies sich aber dennoch als fruchtbares Prinzip.

Rutherfords Sondierung des Atoms mit x-Strahlen förderte ein merkwürdiges Gebilde zutage: den winzigen Kern – umgeben von Elektronen. Die Physiker hielten wieder einmal die Teile in der Hand und wußten nicht, wie sie daraus ein stabiles, lichtaussendendes und -aufnehmendes Ganzes herstellen sollten. Niels Bohr (1885 bis 1962) gelang hier wenigstens eine Teillösung. Er schuf ein planetarisches Modell vom Atom, Newtonsche und Maxwellsche Gleichungen zum Teil außer Kraft setzend, um stabile Bahnen zu erhalten.

Der Übergang zwischen energetisch verschiedenen Bahnen erfolgte unter Auf- oder Abgabe eines Photons. Der unbefriedigende Zustand wurde erst durch de Broglie beendet, der den Einsteinschen Dualismus zum allgemeinen Naturprinzip erhob. Elektronen, Phontonen und alle anderen Objekte der Mikrowelt sollten weder im Teilchen- noch im Wellenbild voll erfaßbar sein.

Die Physiker hörten auf, sich die Mikroobjekte wie „Dich und mich" – nur kleiner – vorzustellen. Die neue Physik, die mit ihrem Namen Wellenmechanik schon den Zwittercharakter verriet, ersetzte die alte, die klassische Physik, ließ sie aber als Grenzfall für Alltagsdimension bestehen.

Mit dieser neuen Physik und der Entdeckung des Neutrons 1932 hätte man ein einfaches Bild der Materie zeichnen können. Doch man drängte weiter. Es genügte nicht zu wissen, wie der Kern aufgebaut ist, man wollte selber Schöpfer spielen und einen neuen Kern bauen.

*

Die Nachkriegszeit brachte die Untersuchung des subnuklearen Bereichs mit Hochenergiebeschleunigern und zerstörte das einfache Bild vom Aufbau der Materie durch eine Flut von neuen Elementarteilchen. Hier konnte durch das Quarkmodell eine Ordnung aufgezeigt werden, doch schon werden hinter den Quarks neue Strukturen vermutet. Der alte Vorwurf, den man den Atomisten machte, kommt einem hier in den Sinn. Die Jagd nach dem letzten Baustein ist sinnlos!

Ein Punkt könnte zwar als elementar angesehen werden, doch wie soll eine Ansammlung von Punkten Ausdehnung erlangen, warum ist er dann nicht weiter teilbar? Diese Vorwürfe greifen heute nicht mehr, zeigt doch der Zusammenbau punktförmiger Objekte aufgrund des Dualismus Ausdehnung, zeigt doch der vergebliche Versuch, die Quarks frei zu erzeugen, das Ende der Zerlegung der Materie in immer neue Trümmer.

Inzwischen hat man auch erkannt, daß die Hochenergiekollisionen die künstliche Herstellung der Urzeit unseres Kosmos erlauben. So befruchtet die Physik des Mikrokosmos die Untersuchung des Makrokosmos, der ja nach der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie nicht statisch gedacht werden kann. In der Tat liest man aus den Rotverschiebungen in den Spektren der Galaxien ab, daß wir uns in einer expansiven Phase befinden.

Was nutzt den hungrigen Mägen die ganze Physik? Es scheint gewiß, daß die Erforschung der hier aufgeführten Bereiche weit jenseits menschlicher Dimensionen keine direkt nutzbringenden Anwendungen wie etwa die Erforschung des Elektromagnetismus mit sich bringen wird. Der Nutzen liegt, vom reinen Erkenntnisgewinn abgesehen, im „spin-off": extreme Aufgaben stimulieren neuartige Lösungen.

Horst Ziegelmann



Einen Lehrstuhl an der Universität Tübingen erhielt Johannes Kepler nie, dafür schmückt sein Bild heute das offizielle Siegel der Fakultät für Physik an der Universität Tübingen. Archivbilder