

Kapitel 1

Der Aufschwung der deutschen Wissenschaft vor dem I. Weltkrieg

Zu neuen Ufern – wissenschaftlicher Aufbruch um 1900

Mit dem zwölften Glockenschlag in der Neujahrsnacht des Jahres 1900 flammten von den Zinnen des Berliner Stadtschlosses sechs elektrische Scheinwerfer auf und tauchten den steinernen Kaiser Wilhelm I. in blendendes Licht. Dieser visuelle Eindruck ließ die Effekte des traditionellen Zeremoniells wie die zugleich abgefeuerten 33 Schuß Salut fast in den Hintergrund treten. Das elektrisch illuminierte Denkmal, wie zuvor schon die durch viele elektrische Glühbirnen erleuchtete Schloßkapelle, symbolisierte das Ende des Jahrhunderts des Dampfes und den Beginn eines neuen Jahrhunderts, dem der Elektrizität.

Kaiser Wilhelm II. war sich der Symbolträchtigkeit der elektrischen Beleuchtung sehr bewußt und begierig darauf, neue, hellere und technologisch überlegene Lampen zur Selbstdarstellung des Deutschen Kaiserreiches zu nutzen. Dies zeigte sich etwa, als er einen Vortrag Walther Rathenaus von der AEG hörte. Rathenau hatte 1883 zusammen mit Oskar von Miller die Deutsche Edison-Gesellschaft gegründet, die vier Jahre später in Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG) umbenannt wurde. Nun, noch im alten Jahrhundert, trug er im Postministerium über "Elektrische Alchemie" vor, und hierbei wurde er wiederholt vom Kaiser und dessen Sekretär gefragt, ob die neuartige, von Walther Nernst mit der AEG entwickelte Lampe denn nun einsatzbereit wäre. Rathenau antwortete, er erwarte, daß eine Demonstration auf der Pariser Weltausstellung Deutschland zu großer Ehre gereichen werde. Worauf der Kaiser feststellte: "Es wird!"

Die Glühbirne wurde so zum Medium der Selbstdarstellung, in der Elektrizität ganz allgemein sah man einen Garanten für Fortschritt. Das Zeitalter der Elektrifizierung hatte längst begonnen. Bogenlampen und Glühbirnen gab es seit etwa 1880. Zehn Jahre später führen auch in Deutschland die ersten elektrischen Stra-

Benbahnen; 1897 gab es hier bereits über 1000 km elektrifizierte Strecken für sie. Die elektrische Lokomotive sollte es etwas schwerer haben, den Dampf des 19. Jahrhunderts zu vertreiben. Aber es war absehbar, daß die Bereiche Transport und Verkehr, Beleuchtung, Kommunikation und Industriemaschinen durch die Elektrizität im 20. Jahrhundert revolutioniert würden. Die von öffentlichen Elektrizitätswerken hergestellte Strommenge sollte sich etwa in einem exponentiellen Wachstum zwischen 1890 und 1913 ver Hundertfachen und damit die durch sie beleuchteten Straßen, betriebenen Bahnen und versorgten Maschinen. Dies hatte weitreichende Folgen, bis hin zur Politik, denn Herstellung und Verteilung der Elektrizität führten zu Elektrizitätsnetzen und großtechnischen Netzwerken, die politische Planung und technische Beherrschung gleichermaßen nötig machten.

Das elektrische Licht symbolisierte wie keine andere Anwendung der Elektrizität den Fortschrittsglauben zur Jahrhundertwende. Und tatsächlich schlug ein "Elektrizitätspalast" auf der Weltausstellung in Paris im Sommer 1900 die Besucher in den Bann: "[W]ie ein zweites Himmelszelt mit 5000 Glühlampen übersät, gleichsam rivalisierend zum nächtlichen, sternenfunkelnden Firmament" wirkte der Elektrizitätspalast und ließ "das Licht der Sterne vor seinem Glanze erbleichen". Die Sterne erbleichten aber nicht vor dem deutschen Glanz, denn nicht der deutsche Nernst-Pavillon war gemeint, sondern der französische Elektrizitätspalast. Da die prinzipielle Überlegenheit der deutschen Glühbirnentechnik auf praktische Probleme stieß, ja beim Einschalten brannten einmal 600 Lampen zugleich durch, wurde der Nernst-Pavillon zu einer schweren Enttäuschung. Den herkömmlichen 20 000 Bogen- und Kohlefaserlampen internationaler Provenienz konnte man so keine überzeugende Konkurrenz machen.

Thomas Alfa Edison war ganz im Gegensatz zu dem im humanistischen Gymnasium und auf verschiedenen Universitäten geschulten Nernst als zurückgeblieben aus der Schule entlassen worden und hat nie eine Hochschule besucht. Er war vielleicht nicht der einzige Erfinder der Glühbirne, aber er war derjenige, der nach Experimentieren mit 6000 Materialien einen bestimmten Kohlefaden gefunden hatte, der hinreichend Licht spendete, und er war es, der auf typisch amerikanische Art und Weise das Produkt zum wirtschaftlichen Erfolg brachte. Trotzdem war seine Kohlefadenlampe weit entfernt von einer idealen Lampe, wie Nernst sie entwickelt zu haben glaubte. Aber seine Erfindung konnte sich nicht durchsetzen.

Erst die Osram-Lampe des AEG-Konkurrenten Auer mit einem aus *Osmium* und *Wolfram* bestehenden Metallfaden, sollte 1906 den Durchbruch bringen.

Wir hatten mit Wilhelm II. gesehen, wie spezifische Erwartungen an Wissenschaft und Technik im neuen Jahrhundert herangetragen wurden. Und diese Erwartungen waren vielfältig. Sie beruhten wesentlich auf der Vorstellung einer Wirkungskette von wissenschaftlicher Forschung über technische Anwendung zu gesellschaftlichen und sozialen Auswirkungen. Letztlich wurden hiervon Lösungen für politische Probleme erhofft. So wollte Wilhelm II. die Sozialdemokratie, die Zeichen für die sozialen Ungleichheiten im Reich war, lediglich als eine "vorrübergehende Erscheinung" gelten lassen, die sich "austoben" würde, wenn erst einmal die "soziale Frage" gelöst wäre. Und gerade die Lösung dieser sozialen Frage glaubte der Kaiser an die technische Intelligenz delegieren zu können: "Ich wollte die technischen Hochschulen in den Vordergrund bringen, denn sie haben große Aufgaben zu lösen, nicht bloß technische, sondern auch große soziale Aufgaben. Die sind bisher nicht so gelöst, wie ich wollte."

Ein durch moderne Wissenschaft und Technik zu erringender Wohlstand sollte zu einem friedlichen Ausgleich der Gegensätze führen, die Gefahr eines "Klassenkampfes des vierten Standes" würde sich durch technische Mittel lösen lassen. Und Vertreter der technischen Intelligenz wie der Rektor der Charlottenburger Technischen Hochschule Alois Riedler boten dem Kaiser diese Lösung der Probleme regelrecht an: Die Zukunft läge in der Kombination von "wissenschaftliche[r] Technik und soziale[r] Bildung der Leitenden". In einer "durch technische Bildung geleiteten Nation" würde die "soziale Frage" gelöst.

Ähnlich prognostizierten auch andere Vertreter der technischen Wissenschaften, daß eine mächtige Industrie auf der Grundlage freier Forschung das soziale Leben umgestalten werde. Chemiker begriffen die Ausbeutung von Erfindungen als nationale Aufgabe und verglichen bereits die Schlachtfelder der Kriege mit dem Boden des technischen Fortschritts. Wissenschaftliche Erkenntnis wurde als "nationales Gemeingut" verstanden. Lediglich bei den Physikern wurde um 1900 häufig noch eine weitgehende Zweckfreiheit der Ziele proklamiert und Universalismus, Präzision und kulturelle Werte der Wissenschaft betont.

Musterbeispiel hierfür war Max Planck, der aus einer akademischen Familie von Theologen und Juristen stammend den Ethos der Pflichterfüllung auf die wissenschaftliche Tätigkeit übertrug. Nach einem Leitspruch zum neuen Jahrhundert für eine repräsentative Publikation zur Jahrhundertwende gebeten, schrieb er 1899, daß der Erfolg in der Naturforschung in allererster Linie "in der glücklichen Wahl des behandelten Problems und in der richtigen Fragestellung" läge, die dann konsequent verfolgt werden sollte. Eine prophetische Feststellung, wenn man sie auf ihn selbst anwendet, der im Dezember 1900 völlig überraschend auf die Quantennatur der Materie stoßen sollte.

Von der Glühbirne zu den Quanten

Kehren wir noch einmal zurück zum Symbol der Jahrhundertwende, der Glühbirne. An ihrem Beispiel läßt sich gut zeigen, wie vielfältig und eng der Konnex zwischen Grundlagenwissenschaft, technischer Umsetzung und Anwendung und gesellschaftlicher Auswirkung sein kann. Edisons Kohlefaserglühlampe war weit davon entfernt, eine effiziente Nutzung der elektrischen Energie zu ermöglichen. Um dem näher zu kommen, mußte man den Zusammenhang von Strahlungsemission im sichtbaren Wellenlängenbereich und Glühtemperatur genauer kennen. Dies zu erforschen war eine zentrale Aufgabe der Berliner Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR), die insbesondere auf Betreiben von Werner von Siemens 1887 durch einen Beschluß des Deutschen Reichstags gegründet worden war, und deren erster Präsident Hermann von Helmholtz wurde. Hier untersuchte man seit 1897 intensiv sogenannte "schwarze Körper", das waren sozusagen idealisierte Glühbirnen, d. h. Quellen elektromagnetischer Strahlung, deren Energieverteilung entsprechend der Wellenlängen materialunabhängig war und somit eine universeller Strahlungsformel entsprach. Aus ihr konnte man dann auch die Eigenschaften allgemeiner glühender Materialien, wie den Glühdrähten der Lampen, ableiten. Die wichtigste Anforderung an eine gute Glühlampe war, daß das Maximum ihrer Strahlungsintensität im sichtbaren Bereich lag. Das, so die Ergebnisse der PTR-Physiker, war aber nur bei Glühtemperaturen zwischen 3 200 und etwa 9 000 °C der Fall. Unter den Metallen, die derart hohe Temperaturen aushalten, fanden sich später Stoffe wie Wolfram. (Die Kohlefaser strahlte bei niedrigeren Temperaturen und vergeudete die meiste Energie.) Das Gesetz, mit dem sich das

Licht- und die Wärmestrahlung von "schwarzen Körpern" beschreiben ließ, war ein zentrales Forschungsthema um die Jahrhundertwende aufgrund seiner wichtigen technischen Implikationen.

Für theoretische Physiker lag aber die Herausforderung, sich mit diesem Gesetz zu befassen, ganz woanders. Denn gesucht wurde ein universelles Gesetz, das unabhängig von der Art der glühenden Stoffe galt. Und universelle Gesetze und die in ihnen vorkommenden Naturkonstanten zählten für einen theoretischen Physiker des ausgehenden 19. Jahrhunderts wie Max Planck zu den größten Offenbarungen, die die Natur den Menschen bieten konnte. Dies war die zentrale Motivation für ihn, sich dem Problem der "Strahlung schwarzer Körper" zuzuwenden. Sein Lehrer Gustav Kirchhoff hatte bereits Mitte des 19. Jahrhunderts gezeigt, daß die gesuchte Strahlungsformel nur von Wellenlänge und Temperatur abhängen durfte. Und Planck hoffte, durch die Anwendung der allgemeinen Gesetze der Thermodynamik auf die Strahlung diesem Gesetz auf die Spur zu kommen. Nachdem sich im Laufe der Jahre 1899 und 1900 aus Präzisionsmessungen in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt langsam herausstellte, daß die bisher allgemein akzeptierte Strahlungsformel von Wilhelm Wien für lange Wellenlängen nicht stimmen konnte, sondern in diesem Bereich eher die neue Formel von Lord Rayleigh galt, stellte Planck seine Formel auf, die für beide Bereiche kurzer und langer Wellenlängen exakt mit den Messungen übereinstimmte. Für diese mehr oder weniger geratene Formel hatte Planck dann in einem "Akt der Verzweiflung" eine theoretische Ableitung entworfen, die unterstellte, daß die Energie, die bei der Strahlung abgegeben oder aufgenommen wird, nur in Portionen — oder Quanten — von einer bestimmten Größe vorkommt. Diese Energieportion ergibt sich, wenn man die Wellenlänge der Strahlung mit einer Naturkonstanten h multipliziert, die er Wirkungsquantum nannte. Wir nennen sie heute das Plancksche Wirkungsquantum und wissen, daß dadurch die Quantentheorie ihren nicht aufzuhaltenden Ausgang genommen hat. Plancks Formel wird seither als Geniestreich theoretischen Denkens gefeiert. Niemals hätte in der Geschichte der Physik eine so unverdächtige mathematische Interpolation derart weitreichende physikalische und philosophische Konsequenzen gehabt, urteilte Max Jammer etwa 1966 in seiner Geschichte der Quantentheorie. Weniger häufig wird aber der Zusammenhang erinnert, der zwischen dem Anfang der Quantentheorie und der Suche nach effizien-

enten Glühlampen besteht, die letztlich eine ungemeine Revolution unsere Lebens- und Arbeitsgewohnheiten ermöglichten.

Aber nicht nur die theoretische Physik ist mit der Glühbirne eng verbunden, sondern auch die Chemie. Walther Nernst, der ja mit seiner elektrolytischen Lampe vor der Osram-Glühbirne eine preiswertere Konkurrenz zum Gaslicht und eine brillantere Alternative zur Kohlefaserlampe konstruierte, hätte zwar gern mit der AEG einen wirtschaftlichen Erfolg erlebt, sein eigentliches Ziel war aber letztlich doch, die Wissenschaft mit ihren allgemeingültigen Gesetzen zu erforschen. Doch war er in deutlichem Gegensatz zu Planck stark von technologischen Fragen seiner Zeit motiviert. Neben seiner Arbeit an elektrischen Lampen interessierte er sich ebenso für Verbrennungsmotoren. In beiden Fällen geht es um das Studium von geeigneten Materialien für hohe Temperaturen. Nernst interessierten die Gesetze, nach denen sich Stoffe in bestimmten Geschwindigkeiten umwandeln bzw. Reaktionsgleichgewichte bilden. Neben der Betrachtung hoher Temperaturen untersuchte er auch den Zusammenhang von Temperatur und Wärmekapazität nahe dem absoluten Nullpunkt. Das Nernstsche Wärmetheorem schließlich, das auch als Dritter Hauptsatz der Thermodynamik bezeichnet wird, und für den er 1920 den Nobelpreis für Chemie erhielt, war Produkt seiner vielfältigen Forschungen zum Verhältnis von "Wärme und Energie" der elektrolytischen Stoffe, die bei der Nernst-Lampe eine Rolle spielten, und auch seiner Forschungen zu den Verbrennungsprozessen in Motoren. Nernsts Dritter Hauptsatz wurde neben Plancks Wirkungsquantum die zweite Evidenz für die Quantennatur der atomaren Welt. Weniger der Fortschreibung einer akademischen Forschungstradition etwa der seines Lehrers Wilhelm Ostwald sind Nernsts Entdeckungen zu verdanken, wie es die Wissenschaftsgeschichte vielfach behauptet hat, als vielmehr dem Interesse an seiner "Lampe" und seiner Begeisterung für den sich entwickelnden Automobilität. Sein erstes Auto war übrigens ein elektrisches, doch nach dem Besuch der Weltausstellung in Paris kaufte er sich eines mit Benzinmotor. So ist doch nicht in jeder Hinsicht das 20. Jahrhundert das der Elektrizität geworden.

Der Zusammenhang, den wir zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen wie der Quantennatur der Strahlung, dem technologischen Problem der Herstellung möglichst effizienter Lampen und der gesellschaftlichen und politischen Funktionen der Elektrifizierung hergestellt haben, sollte exemplarisch die Verbindung von

Wissenschaftsgeschichte und Gesellschaftsgeschichte verdeutlichen. In der Geschichtsschreibung werden oft nur einzelne Säulen dieses Wirkungsgefüges beschrieben: Etwa zum einen die reine Wissenschaft, die nach universellen Prinzipien innerhalb der einzelnen Phänomenbereiche sucht, etwa um Gesetze der Licht- und Wärmestrahlung aufzustellen. Hier werden die intellektuellen Leistungen der großen Theoretiker wie Max Planck betont. Die Geschichte der technischen Innovationen, etwa der Elektrotechnik, wird zum anderen die Entwicklung und Perfektionierung der Glühbirne schildern und neben Wissenschaftlern als Erfinder die Unternehmen und Unternehmer miteinbeziehen. Historiker der Alltagsanwendung von Technik hingegen werden den Blick auf die Entstehung von Infrastrukturen richten, etwa für Energieversorgung und Verkehr, oder auf die Auswirkungen der Beleuchtung auf öffentliches und privates Leben. Die politische und gesellschaftliche Geschichte wird schließlich Ziele wie die Lösung der "sozialen Frage" und der Entwicklung des Wohlstands thematisieren und in der Elektrifizierung Entwicklungskräfte finden. Methoden staatlicher Repräsentation und Selbstdarstellung nationaler Größe werden hier von Interesse sein.

Die vier Säulen der modernen Wissenschaftsgeschichtsschreibung

(reine) Wissenschaft	Technische Innovationen	Anwendung der Technik	gesellschaftliche und politische Rolle
Prinzipien der Elektrizitäts- und Wärmelehre	Elektrotechnik	Energie, Verkehr	Wohlstand Lösung der "sozialen Frage"
Gesetze der Licht- und Wärmestrahlung Quantentheorie	Glühlampen Kohlefaserlampe Nernst-Lampe	Beleuchtung Straßen Arbeitsplatz ...	Modernisierung Elektrifizierung
Max Planck ...	Walther Nernst ...	strahlend illuminiertes "Wilhelm I"	staatliche Repräsentation
Physikalisch-Technische Reichsanstalt	AEG	Elektrizitätsversorger	Größe der Nation

In diesem Buch werden immer wieder solche Querverbindungen zwischen diesen vier Säulen der Geschichtsschreibung hergestellt, wie sie für die Phase des Auf-

schwungs der deutschen Wissenschaft um die Jahrhundertwende deutlich wurden. Dabei gibt es natürlich einen Wechsel von stärkerer und schwächerer Verbindung. Mitunter finden sich zwischen diesen Säulen nicht nur Querverbindungen, sondern regelrechte Kreisläufe von Wechselwirkungen. Im zweiten Kapitel werden wir auf die von Auer verbesserte Glühbirne zurückkommen. Denn es war u. a. ihr wirtschaftlicher Erfolg, der über die Umwege eines Bankiers, dessen Philanthropie und die ersten Kaiser-Wilhelm-Institute die physikalische Grundlagenforschung (aber auch chemische und andere Forschungsfelder) quasi refinanzierte. Damit wurden von etwa 1911 an bereits ausgezeichneten und zukünftigen Nobelpreisträgern — von Fritz Haber, Emil Fischer und Walther Nernst bis zu Albert Einstein und Werner Heisenberg — Möglichkeiten zur Grundlagenforschung eröffnet.

Zwischen Wissenschaft, Technik und Gesellschaft bestand offensichtlich ein enges Wechselwirkungsverhältnis. Aber welches Gewicht hatten Wissenschaften und Technik in der Gesamtgesellschaft? Wie viele Wissenschaftler gab es überhaupt? Wie groß war die Wissensproduktion auf diesen Gebieten im Vergleich zu anderen?

Die Welt der Wissenschaft um 1900

Aus der vielzitierten Tatsache, daß von allen Naturwissenschaftlern, die die Welt hervorgebracht hat, 90% am Leben sind, läßt sich bereits ermessen, welche quantitative Revolution die Wissenschaft erlebt hat. Die Naturwissenschaftler vor 100 Jahren waren eine kleine Elite. Auf der ganzen Welt gab es insgesamt etwa 1500 Physiker und etwa zwei bis dreimal so viele Chemiker und Biologen. Wenn man beispielsweise die 103 Physikprofessoren in Deutschland der Jahrhundertwende auf die vielfältigen Gebiete der Physik verteilt — und Deutschland hatte damals die meisten, selbst vor den USA —, sieht man leicht, daß es hier häufig nur eine Handvoll Forscher gab, die auf einem bestimmten Forschungsfeld kompetent waren. Von der Jahrhundertwende bis zum Ersten Weltkrieg wuchs deren Zahl auch nur äußerst moderat und von einer Verschiebung der Gewichte etwa gegenüber den Geisteswissenschaften konnte kaum die Rede sein. Ganz im Gegenteil versiebenfachte sich etwa die Zahl der Promotionen in diesem Zeitraum in den Geisteswissenschaften, während sie in der Physik nur leicht anstieg, in der organischen

Chemie stagnierte und in der anorganischen Chemie und insbesondere in Mathematik und Astronomie sogar deutlich zurückging.

Die Jahre 1900 bis 1914 waren also in erster Linie eine Periode des qualitativen Fortschritts in den Naturwissenschaften, nicht eine des quantitativen. Das läßt sich auch an den Publikationszahlen ablesen. Die "Beiblätter", die zu der wichtigsten deutschen physikalischen Zeitschrift, den *Annalen der Physik*, erschienen, veröffentlichten im Jahre 1900 rund 2500 Besprechungen physikalischer Arbeiten der meisten Zeitschriften, 1910 waren es nicht ganz 3000. Die Zahlen deuten aber immerhin auf ein hohes wissenschaftliches Publikationsniveau und Lesepensum der Physiker hin. Und tatsächlich waren die deutschen Physiker mit durchschnittlich 3,2 Publikationen im Jahr die eifrigsten. Die Amerikaner begnügten sich mit lediglich etwa einer Veröffentlichung im Jahr.

Wir haben aber gesehen, daß sich die Geschichte der Wissenschaften im 20. Jahrhundert kaum durch quantitative, statistische oder formale Analysen wirklich charakterisieren läßt. Ein Verständnis der Geschichte der Naturwissenschaften wird sich ebenso wie das anderer Wissensgebiete nur in einer Auseinandersetzung mit den Wissensinhalten gewinnen lassen. Wenden wir uns also den Inhalten der Physik, Biologie und Chemie der Jahre vor dem Ersten Weltkrieg zu.

Das neue Leben der totgesagten Physik

Der Begriff *Weltbild* ist wohl nirgends so häufig gebraucht worden wie in der Physik und für keine andere Wissenschaft wurden so tiefgreifende Revolutionen des Weltbildes konstatiert. Als die größten Revolutionen der Physik gelten die kopernikanische Wende, die der Erde ihre Stellung als Mittelpunkt des Universums nahm, und die Revolution durch Relativitäts- und Quantentheorie, wodurch sich Grundbegriffe wie Gleichzeitigkeit, Kausalität und Realität radikal veränderten.

Um die Revolution in der Physik um die Jahrhundertwende zu illustrieren, wird gern die Geschichte von Max Planck erzählt, der, als er sich 1874 nach den Ausichten eines Studium der Physik in München erkundigte, von Professor Philipp von Jolly gewarnt wurde, daß dieses Fach "nahezu voll ausgereift" sei. Auch wäre mit keinen größeren Entdeckungen noch zu rechnen, die Physik näherte sich viel-

mehr einer Vollendung, wie sie die Geometrie schon seit Jahrhunderten besitze. Auch der Amerikaner Abraham Michelson äußerte 1894 die Meinung, daß die "großen zugrundeliegenden Prinzipien fest etabliert worden sind und daß weitere Fortschritte auf der rigorosen Anwendung dieser Prinzipien auf alle Phänomene gesucht werden müssen, die von uns beobachtet werden." Man kann darüber streiten, wie verbreitet diese Ansichten am Ende des 19. Jahrhunderts waren. Die Vorstellung jedenfalls, daß alle Phänomene der Natur sich rein mechanisch erklären ließen und für die Newton als Autorität angeführt werden konnte, hatte schon kräftig an Anhängern verloren. Die Mechanik versuchte etwa der Chemiker Ludwig Ostwald durch seine Energetik abzulösen. Alles Geschehen sei letztlich nichts anderes als Umwandlung von Energie. Max Planck sah wiederum in der Thermodynamik neue Grundlegungsmöglichkeiten. Und vor allem die Elektrodynamik von Maxwell und die Frage, in welchem Zusammenhang die Materie und der sie umgebende Äther stünden, förderten die "elektrodynamische Weltsicht", nach der sich letztlich auch die mechanischen Gesetze aus der Elektrizität erklären lassen sollten.

Die Veränderung der dualistischen Sichtweise von Kraft und Materie zu immateriellen elektromagnetischen Vorstellungen spiegelte aber mehr als einen Trend der Physik wider. Antimaterialismus war ein vielfach kulturell wirkendes Phänomen dieser Zeit geworden, das neoromantischen Strömungen entsproß. Selbst Planck, der die Energiequanten bei der Ableitung seiner Strahlungsformel einführen sollte, stand zuvor dem Atomismus "nicht nur gleichgültig, sondern sogar etwas ablehnend" gegenüber, wie er fast ein halbes Jahrhundert später einmal zugab.

So schön und vollständig das physikalische Lehrgebäude manchen in den Jahren vor 1900 auch erschienen sein mag, so gab es doch Grund zur Selbstkritik. Lord Kelvin, der nicht nur in Großbritannien als der größte Physiker seiner Zeit galt, machte in einem Vortrag im April 1900 zwei "Wolken des 19. Jahrhunderts" aus, die ihren Schatten auf Bereiche der Physik mit offensichtlich ungelösten Problemen warfen. Die Thermodynamik verbuchte im allgemeinen große Erfolge, die von ihr vorhergesagten Größen für die Wärmefähigkeit von Gasen, den sog. spezifischen Wärmen, stimmten aber mit der Beobachtung schlichtweg nicht überein. Es sollte sich herausstellen, daß dieses Problem ohne die Quantentheorie nicht zu lösen war. Und der andere dunkle Schatten war gerade von Michelson

aufgedeckt worden. Wenn der leere Raum von einem unsichtbaren Äther erfüllt sein sollte, dessen Schwingungen etwa die Ausbreitung von Licht ermöglichte, vielleicht sogar Knoten oder Wirbel in ihm Materie konstituieren sollten, so müßte sich doch irgendwie beobachten lassen, daß sich die Erde wirklich mit einer ungeheuren Geschwindigkeit darin bewegt. Das berühmte Experiment von Michelson und Edward Morley, das heute in Schulbüchern gern zur Hinführung zur speziellen Relativitätstheorie Einsteins verwendet wird, konnte aber keinen Unterschied der Lichtbewegung längs oder quer zur Bewegungsrichtung durch den Äther feststellen. Die ad hoc Erklärung, die Erde würde an ihrer Oberfläche einen Teil dieses Äthers mit sich reißen, konnte niemanden wirklich befriedigen.

Die Überlegungen über die Grundlagen der Physik und ihre philosophischen Implikationen mochten ihren Reiz haben, gegenüber den spektakulären Entdeckungen zwischen 1895 und 1905 spielten sie aber nur eine Nebenrolle. Denn was waren diese akademischen Diskussionen im Vergleich zu einem Foto einer lebendigen Hand, auf dem man detailliert alle Knochen erkennen konnte?

Wilhelm Conrad Röntgen hatte ein solches Foto zum ersten Mal kurz vor Weihnachten 1895 aufgenommen. Einige Wochen lang hatte er sich in Klausur begeben, nachdem er bei seinen Experimenten mit Kathodenstrahlen am 8. November zufällig einen fluoreszierenden Schirm leuchten gesehen hatte. Über seine Arbeit sprach er mit niemandem und zwischen Weihnachten und Neujahr 1895 schrieb er seine "Vorläufige Mitteilung" mit dem Titel "Über eine neue Art von Strahlen", die er am 28. Dezember bei der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft einreichte. Am Neujahrstag 1896 wurden Vorabdrucke seiner Arbeit verschickt. Keine zwei Wochen später führte Röntgen seine Strahlen vor einem ganz speziellen Publikum vor. Der Kaiser hatte es verlangt. Die neuen Strahlen hatte die Physik aus dem Labor in die Öffentlichkeit gebracht und Röntgen, mittlerweile Mitte fünfzig, war über Nacht zu einem der bedeutendsten Wissenschaftler der Welt avanciert.

Röntgen war sicherlich nicht der erste, der X-Strahlen, wie man sie damals nannte, hergestellt hatte. Er war aber der erste, der sie bewußt beobachtet und dann konsequent untersucht hat. Philip Lenard, sein Heidelberger Kollege, auf den die Entladungsröhre zurückgeht, die Röntgen benutzt hatte, verzieh ihm nie, daß sein instrumenteller Anteil an der Entdeckung nicht gewürdigt wurde, und er verzieh

sich nie, daß ihm die neuen Strahlen nicht aufgefallen waren. Umso bitterer war es für Lenard, daß Röntgen 1901 die Auszeichnung ungeteilt erhielt, als zum ersten Male die Nobelpreise verliehen wurden.

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen war aber nur der Auftakt zu einer Reihe von revolutionierenden Entdeckungen. Keine drei Monate nach Röntgens Veröffentlichung war mit den Becquerel-Strahlen die Tür zur Erforschung der Radioaktivität aufgestoßen worden. Henri Becquerel hörte auf einer Sitzung der französischen Akademie der Wissenschaften im Januar von Röntgens Entdeckung und beschloß zu untersuchen, wenn Röntgenstrahlen Fluoreszenz hervorrufen, ob nicht auch umgekehrt fluoreszierende Stoffe Röntgenstrahlen aussenden. Fluoreszenz ist quasi die Eigenschaft von manchen Stoffen, nach Bestrahlung durch Licht oder anderen Strahlen selber über eine gewisse Zeit Licht auszusenden. Bei seinen Versuchen glaubte er zunächst seine Vermutung bestätigt. Vorher den Sonnenstrahlen ausgesetzte fluoreszierende Stoffe konnten eine lichtdicht verpackte Fotoplatte schwärzen. Es war wieder ein gewisses Zufallselement beteiligt, daß Becquerel, der u. a. auch Uranverbindungen verwendete, seine Deutung korrigieren mußte und damit eine weitere Art von Strahlen fand. Am 26. und 27. Februar schien in Paris keine Sonne. Die vorbereitete Uranverbindung konnte daher nicht mit Sonnenlicht "aufgeladen" werden. Aber der stehengelassene Versuchsaufbau führte dazu, daß sich später besonders deutliche Flecken auf der Fotoplatte fanden und Becquerel folgerte richtig, daß die Uranverbindung unabhängig von der Fluoreszenz eine Strahlung emittierte. Im Vergleich zu Röntgens Zufallsentdeckung könnte man Becquerels höher bewerten, versuchte er doch ein eindeutig gestelltes Problem zu lösen. Gleichwohl fand er bei seinen Zeitgenossen weit weniger Beachtung als Röntgen.

1898 begann Marie Curie die Sisyphusarbeit, die chemischen Elemente zu isolieren, die Becquerels Radioaktivität zeigten. Das erste neue Element, das sie fand, nannte sie Polonium, eine symbolische Verbeugung gegenüber ihrer Heimat, die sie 1891 mit einer Fahrkarte vierter Klasse verlassen hatte, um in Paris Physik zu studieren. Zwölf Jahre später erhielt sie zusammen mit Becquerel und ihrem Mann Pierre den Physik-Nobelpreis für die Entdeckung der Radioaktivität und weitere acht Jahre später allein den Chemie-Nobelpreis für ihre Reindarstellung des Radiums.

Die Begeisterung für die Idee eines alles durchdringenden immateriellen Äthers und das elektromagnetische Weltbild war international unterschiedlich groß. Daß aber die elektromagnetische Strahlung und damit insbesondere das sichtbare Licht eine Wellenerscheinung war und nicht etwa aus Teilchen oder Korpuskeln bestehen konnte, war nach den Worten Heinrich Hertz' eine Gewißheit, deren Widerlegung "für den Physiker undenkbar war".

Was waren aber nun Kathodenstrahlen, die man erzeugen konnte, indem man in einer evakuierten Röhre eine Metallelektrode erhitzte und ein elektrisches Feld anlegte? Diese Strahlen konnten wiederum Röntgenstrahlen erzeugen, wenn sie auf eine Metallplatte auftrafen. Und was waren Röntgenstrahlen? Während man in Deutschland zumeist auf eine Erklärung als Ätherschwingungen setzte, war in England die Vorstellung von Teilchen oder "Korpuskeln" verbreiteter. Newton hatte ja bereits in seiner Optik von Lichtteilchen gesprochen.

So ist es der Brite Joseph John Thomson, dessen Experimenten im Jahre 1897 gemeinhin die Entdeckung des Elektrons zugeschrieben werden. Wie seine deutschen Kollegen Philipp Lenard oder Emil Wiechert stellte er genaue Untersuchungen z. B. über die Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen in elektrischen Feldern an. Er deutete die als Strom negativer Elektrizität identifizierten Strahlen als Strom von Korpuskeln und konnte für sie das Verhältnis von Ladung und Masse bestimmen, zunächst jedoch nicht die Ladung oder die Masse einzeln. Unter der Annahme, daß die Ladung dieselbe Größe haben würde wie die Elementarladung, die man etwa in der Chemie bei der Elektrolyse gefunden hatte, konnte er folgern, daß die Masse seines Teilchens nur etwa ein Tausendstel der Masse des leichtesten Atoms, des Wasserstoffs, betrug. Er folgerte, daß man in den Kathodenstrahlen "Materie in einem neuartigen Zustand" finden würde, bei dem diese in viel kleinere Bausteine zerteilt sei. Seine Korpuskeln waren "primordiale Atome", also subatomare Materie nur einer einzigen Sorte, der "Substanz, aus der alle chemischen Elemente aufgebaut sind." Es sollte einige Zeit dauern, bis aus Thomsons Korpuskeln die Elektronen wurden, deren Entdeckung wir ihm heute zuschreiben. Ganz klar aber hat Thomson den Startschuß für die Erschließung eines neues Gebiet der Physik gegeben, welches zu dem Prestigeobjekt der Physik des 20. Jahrhunderts wurde, der Elementarteilchenphysik.

Auf das Bild der Ätherschwingungen konnte man trotzdem nicht verzichten, zeigten sie sich doch dem Phänomen der Röntgenstrahlen häufig besser angemessen. So konnten sie 1906 in Polarisationsexperimenten von dem Briten Charles Barkla als elektromagnetische Schwingungen gedeutet werden, wie Licht und Wärmestrahlung. Noch überzeugender zeigte dies das Experiment von Max von Laue 1912, welches die Beugung von Röntgenstrahlen an Kristallen nachwies. Dieses Experiment bewies zugleich unwiderlegbar die atomare Gitterstruktur der Kristalle.

Wie eng die Entdeckungen um die Jahrhundertwende in der Physik zusammengehören, zeigen auch die Phänomene der Radioaktivität. Die radioaktive Strahlung wurde entsprechend ihrer Fähigkeit, Stoffe zu durchdringen, in α -, β - und γ -Strahlen unterschieden. Während γ -Strahlen sich als Röntgenstrahlen herausstellten, waren β -Strahlen nichts anderes als schnelle Elektronen, also Kathodenstrahlen. Ernest Rutherford führte 1899 die α -Teilchen ein und konnte bis 1908 definitiv nachweisen, daß es sich hierbei um positiv geladene Heliumatome handelte.

Die Frage, wie man sich Atome vorstellen solle, hatte schon lange für die vielfältigsten Spekulationen gesorgt. Thomson meinte, daß sie aus Tausenden von Elektronen bestünden, wobei die Ladung irgendwie nach außen neutralisiert würde. Alle Materie bestünde aus einem universellen Urbaustein. Lord Kelvin schlug hingegen ein "Rosinen-Puddingmodell" vor, nach dem die Elektronen wie Rosinen in einem positiv geladenen Medium verteilt wären. Durch die experimentellen Techniken und die neuen Strahlen konnte nun zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Frage nach der Struktur des Atoms auch empirisch untersucht werden. Philipp Lenard folgerte aus seinen Versuchen über die Absorption von Kathodenstrahlen bereits im Jahre 1902, daß das Atom im wesentlichen leer sei und nur einen sehr geringen absorbierenden Querschnitt aufweise. Es gelang ihm, der 1905 und damit ein Jahr vor Thomson den Nobelpreis für seine Forschungen mit Kathodenstrahlen erhalten hatte, aber nicht, andere Physiker von seinen Atomvorstellungen zu überzeugen. Es war Lord Rutherford und seinen Versuchen mit der Ablenkung von α -Teilchen vorbehalten, daraus ein überzeugendes Atommodell zu konstruieren, mit einem winzigen Atomkern, der von Elektronen umkreist würde. Den großen Durchbruch erzielte allerdings erst das Bohrsche Atommodell von 1913.

Der Däne Niels Bohr ging nach seiner Promotion für ein Jahr als Gast zu Thomson nach Cambridge und zu Rutherford nach Manchester und war somit bestens mit den britischen Atomvorstellungen vertraut. Sein Modell übernahm zunächst Rutherfords Grundlage eines Atomkerns, der von Elektronen umkreist wird. Aber er änderte alle anderen Annahmen ab. Er setzte nicht die Umlauffrequenzen der Elektronen mit den Frequenzen des Lichtes gleich, die ein Atom aussenden kann. Statt dessen postulierte er, daß es für jedes Atom nur eine Anzahl ganz bestimmter "stationärer" Zustände gäbe, denen bestimmte Energieniveaus entsprächen. Und um den Zusammenhang mit den Frequenzen der Spektrallinien herzustellen, benutzte er nun Plancks Quantentheorie: Dem Übergang eines Elektrons von einem Energieniveau zu einem anderen konnte durch das Plancksche Wirkungsquantum die Frequenz des emittierten oder absorbierten Lichtes zugeordnet werden ($E_2 - E_1 = h \nu$). Bohrs Atommodell sagte also die Spektrallinien für ein bestimmtes Element genau voraus. Damit hatten die langen Tabellen und geratenen Behelfsformeln der Spektroskopen mit einem Schlag eine theoretische Erklärung erhalten.

Bohr hoffte mit seinen Vorstellungen alle Atome und auch die Struktur von Molekülen erklären zu können. Insbesondere wollte er das Periodensystem der Elemente deduktiv ableiten, das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts insbesondere durch Dimitri Mendelejew entstand und um 1905 seine endgültige Form mit kurzen und langen Perioden gefunden hatte, die wir heute noch benutzen. Aber Bohrs früher Versuch, die Chemie quasi als ein Untergebiet der Physik einzugemeinden, scheiterte an der Unzulänglichkeit seiner Vorstellungen über die chemische Bindung. Dieses Projekt konnte erst durch die Quantenmechanik in den Bereich des Möglichen rücken.

Mit seiner Veröffentlichung "Über den Aufbau von Atomen und Molekülen", die 1913 in drei Teilen erschien, machte Bohr also zumindest in der Physik Furore und stürzte dennoch viele Physiker in Depressionen. Bohr hatte nicht nur die immer noch rätselhafte Quantenhypothese Plancks benutzt, sondern er hatte auch gefordert, daß für seine Elektronen bestimmte Gesetze der Mechanik und Elektrodynamik schlicht nicht gelten würden. Während sein Modell viele Ergebnisse der Experimentatoren voraussagte, war die Quantentheorie offenbar dabei, die für unumstößlich gehaltenen Gesetze der klassischen Physik zu zerstören, jedenfalls

wenn man sie auf die Mikrowelt der Atome anwandte. Wie aber kam Bohr überhaupt dazu, die Quantentheorie so ernst zu nehmen?

Der Quantenhypothese von 1900 wurde auch von Planck selber jahrelang keine besondere Bedeutung zugeschrieben, sie galt als eine Kuriosität innerhalb der Ableitung des Strahlungsgesetzes. Planck suchte nach alternativen Ableitungen, die sein Gesetz aus der klassischen Mechanik und der Elektrodynamik allein erklärten, und erst 1909 teilte er seinem Kollegen Hendrik Antoon Lorentz mit, daß er nun die Hypothese vertrete: "Der Energieaustausch zwischen Electronen und dem freien Aether vollzieht sich stets nur nach ganzzahligen Quanten h ." Bis 1914 sollte Planck trotzdem immer wieder versuchen, seine Theorie besser mit der klassischen Physik in Einklang zu bringen. Allein Albert Einstein erkannte bereits im Jahre 1905, daß Plancks Theorie radikal mit der klassischen Physik brach und etwa ab 1910 schlossen sich mehr und mehr Kollegen dieser Einschätzung an. Aber noch 1913, als Einstein als Mitglied für die Preußische Akademie der Wissenschaften vorgeschlagen wurde, hieß es in dem von Planck mitverfaßten Antrag einschränkend, daß Einstein gelegentlich in seinen Spekulationen über das Ziel hinausgeschossen sei, z. B. bei seiner Lichtquantenhypothese. Bedurfte es des Untergangs des Kaiserreichs bis der "Revolutionär wider Willen", wie Planck später gern genannt wurde, ein Weltbild akzeptierte, in dem auch Quanten ihren Platz hatten?

Einstein war im Jahre 1905 der vielzitierte Patentamtsangestellte zweiter Klasse, der in Bern innerhalb nur eines Jahres gleich auf drei Gebieten der Physik Großes leistete: Er erklärte die Brownsche Molekularbewegung, interpretierte das Licht als Quanten und stellte die spezielle Relativitätstheorie auf. Er schob die Wolken des 19. Jahrhunderts, die einen Schatten auf die Physik warfen, beiseite. Die Relativitätstheorie, die der 26jährige Unbekannte aufstellte, erklärte das negative Ergebnis von Michelson und Morleys Ätherdriftexperiment und zwei Jahre später konnte er auch das Rätsel der spezifischen Wärmen durch die Quantentheorie lösen.

Mit Einstein trat nicht nur ein williger Revolutionär in der Wissenschaft auf, auch war der Sohn eines eher erfolglosen Kleinunternehmers in der Elektrotechnik ein Außenseiter in der sich überwiegend selbstrekrutierenden Akademikerelite. Dies

läßt sich bereits an seiner ersten Arbeit zur Relativitätstheorie ablesen, die unter dem Titel "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" erschien. Ohne eine Arbeit eines anderen Wissenschaftlers zu zitieren, entwickelte er seine Gedanken, so daß Wissenschaftshistoriker viel Zeit damit zubrachten zu rekonstruieren, welche Kenntnisse der einschlägigen Literatur er überhaupt hatte. Vor ihm war schon mehreren Physikern aufgefallen, daß die Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik gewisse, von der Bewegung mechanischer Körper verschiedene Konsequenzen enthielten. Ja sogar manche der wichtigsten Gleichungen der Relativitätstheorie waren bestens bekannt. George FitzGerald in Irland etwa hatte schon 1889 herausgefunden, daß nach den Gesetzen der Elektrodynamik einem ruhenden Beobachter ein rasch bewegter Körper verkürzt erscheint, Hendrik A. Lorentz in Holland bemerkte dies später unabhängig von ihm und führte eine "lokale" Zeit ein, die sich von der des Beobachters unterscheiden konnte. Auch Henri Poincaré in Paris formulierte 1905 eine Theorie der Relativität, die in vielem mit Einsteins Theorie übereinstimmte, doch sah er alle Messungen von Ort und Zeit als an Konvention gebunden an, so daß ihnen keine objektive Realität zukommen würde.

Gegenüber all diesen Ansätzen war Einstein der einzige, der seine Formeln auf reale, physikalisch meßbare Orts- und Zeitangaben bezog. Ein Bezugssystem hatte für ihn die gleiche Berechtigung wie jedes andere, oder anders formuliert: Ein absoluter Raum, wie etwa der ominöse Weltäther, auf den man als vorgegebenes Bezugssystem letztlich alle Bewegungen beziehen konnte, existierte für ihn nicht. Alle Bewegung war nur relativ zu einem beliebig gewählten Bezugssystem beschreibbar.

Warum gerade Einstein? Der Wissenschaftshistoriker Lewis Pyenson hat versucht diese Frage zu beantworten, indem er ein Seminar an der Göttinger Universität genauer erforschte, an dem führende Mathematiker und Physiker wie David Hilbert und Hermann Minkowski als Dozenten und Max Born oder Max von Laue als Studenten versuchten, die von Lorentz und anderen aufgeworfenen Fragen zu lösen. Warum haben die Göttinger Dozenten die spezielle Relativitätstheorie nicht gefunden? Sie besaßen alle relevanten Veröffentlichungen und alle mathematischen Mittel. Und in einem gewissen Sinne wußten sie vielleicht zuviel, oder sie wollten zuviel auf einmal erreichen. Nach Pyenson hatten sie versucht, die Natur mit reiner Mathematik zu "unterwerfen", und sie waren zu wenig an Berechnun-

gen mit experimentell beobachtbaren Phänomenen. Dies konnte dem zutiefst physikalisch denkende Autodidakt Einstein zum Vorteil geraten, der ohne auf die Einordnung seiner Theorie in das Gebäude abstrakter Mathematik zu schießen, Schritt für Schritt die physikalischen Folgerungen entfaltete. Die Physik des 20. Jahrhunderts sollte wiederholt die These belegen, daß gerade junge und durch viele erfolglose Versuche noch nicht belastete Physiker bedeutende Ergebnisse finden würden, so etwa Louis de Broglie, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg oder Paul Dirac.

Wenige Monate nach Einsteins ersten Veröffentlichung zur Relativität folgte eine weitere mit dem Titel "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?" Die affirmative Antwort enthält die Formel $E = mc^2$, die zur vielleicht folgenschwersten Einsicht der Physik werden sollte.

Während die spezielle Relativitätstheorie deutlich machte, daß Raum- und Zeitangaben keine universellen Größen waren, sondern nur für das jeweilige Bezugssystem galten, in dem der Betrachter ruht, stellte die spätere allgemeine Relativitätstheorie einen Zusammenhang zwischen der Geometrie des Raumes und der Gravitation her. Wie Einstein 1907 auf diesen Gedanken kam, schilderte er 1922 auf einer Reise in Japan: "Der Durchbruch kam eines Tages überraschend. Ich saß auf einem Stuhl in meinem Patentamt in Bern. Plötzlich kam mir ein Gedanke in den Sinn: Wenn ein Mensch frei fällt, würde er sein Gewicht nicht spüren. Ich war verblüfft. Dieses einfache Gedankenexperiment machte einen tiefen Eindruck auf mich. Diese führte zu meiner Theorie der Gravitation."

Diesmal sollte es aber acht Jahre dauern, bis aus der Grundintuition die Allgemeine Relativitätstheorie wurde, und wieder war Einstein Konkurrenten wie dem Mathematiker David Hilbert nur um Nasenlänge voraus. Und der überragende Erfolg dieser Theorie, die ein ungekanntes öffentliches Spektakel kurz nach dem Ersten Weltkrieg in Deutschland wie in Amerika verursachen sollte, resultierte aus der Verbindung zu beobachtbaren Phänomenen. In der New York Times hieß es, Einstein habe gezeigt, daß sich die Sterne nicht mehr dort befanden, wo sie üblicherweise waren. Denn ihr Licht wird durch Gravitationsfelder wie das der Sonne abgelenkt, und die 1919 in Südamerika beobachteten Verschiebungen der Sternposi-

tionen während einer Sonnenfinsternis wurden zum schlagenden Beweis für Einsteins ansonsten unverständliche Relativitätstheorie.

Die zwei Jahrzehnte von 1895 bis 1915, von den Röntgenstrahlen bis zur allgemeinen Relativitätstheorie, bildeten für die Physik eine Periode, in der experimentelle Entdeckungen und kühne theoretische Vorschläge in einem internationalen wissenschaftlichen Diskurs einen entscheidenden Modernisierungsschub bewirkten. Mit Albert Einstein, aber auch dem Holländer Peter Debye auf dem Gebiet der frühen Molekül- und Festkörperphysik oder dem Russen Paul Ehrenfest auf dem Gebiet der statistischen Physik traten in Deutschland Forscherpersönlichkeiten auf, deren persönliche und wissenschaftliche Lebenswege sich von den typischen Mitgliedern der deutschen Gelehrtenrepublik deutlich unterschieden. Hier waren Früchte gesät, die in den "goldenen" Zwanziger Jahren der Physik geerntet werden würden.

Genetik und ein neues Denken in der Biologie

Im Jahr 1900 deutete sich auch in der Biologie eine einschneidende wissenschaftliche Wende an, die vielleicht sogar noch eindeutiger ausfiel als in der Physik. Im achtzehnten Band der *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* erschienen gleich drei Artikel, die alle im Wesentlichen den gleichen Inhalt hatten: die Regeln der Merkmalsvererbung bei Kreuzungsversuchen. Seit der Evolutionstheorie von Charles Darwin stellte sich die Frage nach den Gesetzen der Vererbung. Züchtungsforschung, die die Bildung und Veränderung von Arten untersuchte, war im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts zu einem attraktiven Forschungsfeld geworden. Aber die Regeln, die der Mönch und spätere Abt des Augustiner-Klosters in Brunn, Gregor Johann Mendel, 1866 veröffentlicht hatte, waren nicht als solche zur Kenntnis genommen worden; Mendel selbst hatte gar keine Vererbungslehre gesucht, die bekannte Eigenschaften kombinierte, sondern wollte die Evolution verstehen. Die Zeit für Vererbungsregeln war erst im Jahre 1900 reif, als gleich drei Botaniker unabhängig voneinander die Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln veröffentlichten. Der Holländer Hugo de Vries, Professor in

Amsterdam und Direktor des dortigen botanischen Gartens, hatte 1889 erkannt, daß "Selbständigkeit und Mischbarkeit ... die wesentlichsten Eigenschaften der erblichen Anlagen aller Organismen" seien. Und er machte sich darüber Gedanken, wie die materiellen Träger der Erbanlagen zu denken seien. Er nannte sie in Anlehnung an einen seit Darwin benutzten Begriff der Pangenesis, *Pangene*. Weitere Begriffe wie die der *Determinanten* (August Weismann) oder der *Biogene* (Max Verworn) waren im Umlauf und es sollte bis 1909 dauern, ehe der dänische Botaniker Wilhelm Johannsen vorschlug, einfach die Endsilbe *Gen* für die Erbeinheiten zu benutzen. Denn dieses neue Wort wäre frei von allen alten Hypothesen und es drücke allein die mittlerweile unbestrittene Tatsache aus, daß viele Eigenschaften der Organismen in den Keimzellen festgelegt seien und zwar durch eindeutige und getrennte Einheiten, eben den Genen. Der Name Genetik war bereits drei Jahre zuvor auf dem dritten Internationalen Kongreß für Pflanzenzüchtung in London von dem Briten William Bateson für einen neuen Zweig der Physiologie vorgeschlagen worden. Bateson war es auch, der bereits 1902 das erste Lehrbuch über Mendels Vererbungstheorien veröffentlichte.

De Vries wandte sich nach der Feststellung der grundlegenden Vererbungsregeln aber gleich auch ihren Ausnahmen zu. So waren bei seinen Züchtungen hin und wieder auch spontan Pflanzen mit neuen Merkmalen entstanden, die diese dann aber entsprechend der Regeln weitergaben. 1901 und 1903 erschienen die beiden Bände seiner "Mutationstheorie". Da er darin die Ansicht vertrat, daß allein die Mutationen für die Evolution verantwortlich wären, erntete er bei vielen experimentellen Biologen Kritik, die der natürlichen Auslese das Primat zuwiesen. Eine Auseinandersetzung zwischen "Darwinisten" und "Mendelisten" war die Folge, die das Interesse an der sich herausbildenden Genetik aber nur fördern konnte.

Die beiden anderen Wiederentdecker der Vererbungsgesetze waren der Tübinger Privatdozent Carl Erich Correns und der Wiener Erich von Tschermak, der als Praktikant der Pflanzenversuchsanstalt in Gent zu seinen Ergebnissen gekommen war. Correns, mehr noch als de Vries, wollte die Regeln aber nicht gleich als allgemeingültige Gesetze betrachten und forschte Jahrzehnte lang über ihre Anwendbarkeit und Ausnahmen. 1914 wurde er Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biologie in Berlin, was damals bereits den herausragenden Stellenwert der Genetik für die Biologie insgesamt deutlich machte. Tschermak hingegen hatte sich mit

seinen Untersuchungen habilitiert und begründete als Professor in Wien die wissenschaftlich fundierte Pflanzenzüchtung. Mit den drei Veröffentlichungen von 1900 verbreitete sich der Mendelismus rasch und die nun Genetik genannte Erbllichkeitsforschung etablierte sich rasch als eine der neuen Wissenschaftsrichtungen des 20. Jahrhunderts.

Direkter noch als die Ingenieure mit ihren Vorstellungen zur Lösung der sozialen Frage konnten die Vererbungsforscher ihrerseits gesellschaftliche Bedeutung reklamieren. Denn die Ergebnisse der Tier- und Pflanzenzüchtung ließen sich auch auf den Menschen anwenden. Die alte, bereits bei Platon und in der Bibel nachzulesende Idee der Verbesserung des Menschengeschlechts wurde seit 1883 von Sir Francis Galton, einem Cousin Darwins, unter dem Schlagwort Eugenik neu propagiert und nach der Jahrhundertwende vor allem in den angelsächsischen Ländern und in Deutschland populär. Die Lösung sozialer Probleme wurde in der Elimination derer gefunden, die sie angeblich verursachten, und es wurde von "erwünschten" und "unerwünschten" Exemplaren der menschlichen Rasse gesprochen. Das eröffnete Perspektiven der Bevölkerungsplanung und sowohl ein 1904 von Galton gestiftete Stipendium wie auch eine 1911 von ihm testamentarisch verfügte Stiftungslehrstuhl für Eugenik in London wurde mit dem Mathematiker und Begründer der modernen Statistik Karl Pearson besetzt. Als Bevölkerungsstatistiker und Biometriker sah er die Hauptbedrohung der Gesellschaft in der hohen Geburtenrate der Armen. Beschränkten sich die vorgeschlagenen Maßnahmen der Eugeniker zunächst vor allem auf Eheberatung, sogenannter positiver Eugenik, wurde später auch deren negative Variante verwirklicht: Seit 1931 in den USA und insbesondere nach 1935 im nationalsozialistischen Deutschland wurde durch Zwangssterilisationen unerwünschter Nachwuchs verhindert.

Während die Anwender der Vererbungslehre nicht auf die Aufklärung der wissenschaftlichen Grundlagen warteten, hatte sich freilich die Biologie am Anfang des 20. Jahrhunderts mit den Begriffen Genetik und Gen zugleich in eine eigentümliche Situation gebracht, denn auf die Frage, was eigentlich Gene seien, war keine rasche Antwort in Sicht. Sie "erklären durch ihre Kombinationen die Phänomene der lebendigen Welt" (de Vries) und damit letztlich "die Grundlage des Lebens" (Muller). Aber hatten diese Einheiten der Vererbung irgendeine Realität oder wa-

ren es fiktive Entitäten, die nur dazu dienten, die Mendelschen Regeln einfach darlegen zu können?

Ein Ausweg auf dieser Situation mag sich aus dem Vergleich mit der Physik erschließen. Sie war eine exakte Wissenschaft mit mathematischen Gesetzen und damit ein Ideal, dem sich die Biologie zumindest in einigen Bereichen annähern wollte. Es fällt zunächst auf, daß zwischen der Entwicklung der Physik und der Biologie am Anfang des 20. Jahrhunderts (wie auch später wieder) eine offensichtliche Parallele existieren: der Reduktionismus auf Grundbausteine. Was in der Physik und Chemie die Atome oder Moleküle waren, das sollte in der Biologie das Gen werden. Schon de Vries hatte gefordert, seine Pangene in Analogie mit den Molekülen und Atomen der Physik und Chemie zu verstehen. Nicht daß Gene bereits als aus bestimmten Atomen aufgebaut gedacht wurden: Es spielte gar keine Rolle, ob die Gene selbst wieder Moleküle waren. Was zählte, war, daß ihnen die gleiche grundlegende Bedeutung für die Biologie zukam wie den Atomen in der Physik, eben aus der Kenntnis der Eigenschaften der Grundkonstituenten das Verhalten zusammengesetzter komplexer Systeme erklären zu können.

Auch der Begriff der Mutation hatte seine Entsprechung, wenn nicht gar seine Wurzel in der Physik. Mit der Entdeckung der Radioaktivität und dem damit verbundenen Zerfall oder der Umwandlung von Elementen z. B. von Uran in Thorium und Radium sprach man in der Physik von der *Transmutation* der Elemente gerade zu der Zeit, als de Vries sein Buch über die Theorie der genetischen *Mutationen* verfaßte. Der Biologe Herman Muller, der später die Technik der künstlichen Mutation durch Radioaktivität in die Genetik einführen sollte, bemerkte bereits im Jahre 1916 als Assistent der Columbia Universität in einer öffentlichen Ansprache die "eigentümliche Ähnlichkeit" zwischen den Grundproblemen der Physik und Biologie: In der Biologie sei der Prozess der Mutation ein zentrales Problem. Diesen künstlich zu beeinflussen, sei bisher noch nicht möglich, aber die Kontrolle darüber würde den Evolutionsprozeß in Menschenhand legen. Ebenso sei in der Physik eines der wichtigsten Probleme das der Transmutation der Elemente und auch hier stünde uns praktisch jegliche unbelebte Materie zur Verfügung, sollte man nur ein Mittel finden, diesen Prozeß zu beherrschen. Mutation und Transmutation galten Muller als die beiden Grundpfeiler eine quasi mythischen Brücke zur Macht ("Mutation and Transmutation — the two keystones of

our rainbow bridges to power!") Diese frühe Einsicht in den Konnex von Wissen und Macht bereits Jahrzehnte vor der Entdeckung der Kernspaltung und der Entschlüsselung der Gene verwies zugleich darauf, daß ein bestimmtes reduktionistisches Denken offensichtlich besondere Affinitäten zu Machtausübung entwickeln konnte. Drei Jahre nach Mullers Ansprache gelang es Physikern das erste Mal, gezielt künstliche Transmutationen herbeizuführen; die gezielte Veränderung der Gene sollte aber nicht so schnell möglich werden.

Dadurch, daß das Gen zum Atom des Biologen geworden war, vollzog auch die Biologie selbst einen Transmutationsprozeß, an dessen Ende ein völlig neues Verständnis vom Phänom des Lebens und den Methoden, es zu untersuchen, stand. In den Jahren bis zum Ersten Weltkrieg entwickelte sich nun die Genetik zu einer biologischen Grundlagendisziplin und ihre Begriffe und Theorien etablierten sich in den Lehrbüchern der Biologie und im Denken der Biologen.

Natürlich bestand die Biologie am Anfang des 20. Jahrhunderts aus mehr als Botanik und Genetik. Ja sogar die Botanik und die Zoologie hatten sich als deutlich getrennte Subdisziplinen entwickelt. Es ist bezeichnend, daß gerade der "Erfinder" der Genetik, William Bateson, als einer der ersten biologischen Wissenschaftler gilt, die sowohl botanische als auch zoologische Fachliteratur zur Kenntnis nahmen. Die Genetik sollte innerhalb der Biologie zu einem ersten *intradisziplinären* Fach werden, das für verschiedene Fachgebiete gleichermaßen wichtig wurde. Die Chromosomentheorie der Vererbung war etwa hauptsächlich Betätigungsfeld der Zoologen. Einer ihrer prominentesten Vertreter war Theodor Boveri, der aus Beobachtungen der Zellteilungen von Seeigeleiern und Pferdespulwürmer feststellte, daß sich dabei stets die gleiche Chromosomenstellung wiederholte. Seine Chromosomentheorie identifizierte die Chromosomen als individuelle, kontinuierlich wiederkehrende Elemente des Zellkerns, die sich durch Form und Größe unterscheiden ließen. Er konnte auch nachweisen, daß einzelne Chromosomen nur einen Teil der gesamten Erbinformation repräsentierten.

Das Zusammentragen der Ergebnisse aus Botanik und Zoologie, insbesondere auch aus Pflanzenzüchtung und Zellbiologie, und ihre Kombination unter der Perspektive der Genetik führten ein weiteres Prinzip in die Wissenschaft von der Vielfalt ein, das aus der Physik kam: das Prinzip der Einheit. Die Genetik ver-

sprach Aussagen und Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, die universell für alle lebenden Organismen gelten.

Von weiteren Bereichen, in denen das 20. Jahrhundert neue Forschungsfelder in der Biologie eröffnete, sei nur eines noch kurz erwähnt: Als 1901 mit dem Adrenalin das erste Hormon isoliert werden konnte und wenig später die ersten Vitamine folgten, gab deren Erforschung, Herstellung und medizinische Anwendung der Biochemie ein völlig neue Relevanz und Rolle gegenüber der Chemie selbst. Gerade die industrielle Bedeutung dieser Gebieten läßt im Vergleich zu Physik oder Biologie wieder neue Einflüsse auf eine Naturwissenschaft sichtbar werden, die ihre historische Entwicklung geprägt haben.

Synthese künstlicher Stoffe in der Chemie

Der Kulturzustand eines Volkes lasse sich am Verbrauch von Seife messen, hatte Justus von Liebig einmal behauptet. Und wenn man seiner Verbindung zwischen Chemie und Kultur folgt, dann mußte der Chemie mit dem Preisverfall von Seifen- und Bleichprodukten um die Jahrhundertwende ein großes kulturelles Verdienst zukommen. Zu der Zeit war der große Aufschwung, den diese Wissenschaft und vor allem die chemische Industrie in Deutschland erlebte, schon in vollem Gange. Bis zum Ersten Weltkrieg sollte Deutschland das Weltzentrum der Chemie werden. Während in der Physik die Entdeckung neuer Phänomene und die Revolution der Begriffe und Theorien selten mit direkter wirtschaftlicher Anwendung einherging, war dies in der Chemie ganz anders. Effizientere Herstellungsverfahren für chemische Grundstoffe und die Synthese neuartiger Stoffe versprachen große Profite.

In Deutschland war es insbesondere die Hochkonjunktur nach dem deutsch-französischen Krieg von 1870/71 und den damit verbundenen Reparationsleistungen der Franzosen, die als Katalysator für Entwicklung der chemischen Industrie diente. Erst im Laufe der hier beginnenden rasanten wirtschaftlichen Entwicklung der chemischen Industrie wurde auch die Chemie als Wissenschaft einbezogen, nämlich dann, als der internationale Konkurrenzkampf nach Innovationen verlangte. Die Wende, die sich in der Chemie um die Jahrhundertwende vollzog, ist weni-

ger eine quantitative und wirtschaftliche als eine qualitative und kulturelle. Es ist die Wende vom Imitieren oder Ersetzen von Naturprodukten zur bewußten Verwendung neuartiger synthetischer Materialien, kurz: die Wende vom Naturstoff zum Kunststoff.

Soda, Chlor und Schwefelsäure waren die Stoffe, die die chemische Industrie im 19. Jahrhundert vorrangig herstellte. Seit der Industriellen Revolution wurden sie in großen Mengen als Bleichmittel in der Textil- und Papierindustrie benötigt. Soda war auch für die Herstellung von Glas oder Seife wesentlich. Chemische Großindustrie wie die Badische Anilin- und Soda Fabrik (BASF) entstanden. Es war alles eine Frage des billigsten Herstellungsverfahrens. Die Überlegenheit etwa des Verfahrens zur Sodaherstellung des Belgiers Ernst Solvay gegenüber dem des Franzosen Nicolas Leblanc wirkte sich auf die Volkswirtschaften ganzer Nationen aus, etwa der britischen, die von dem Niedergang des Leblanc-Verfahrens besonders betroffen wurde. Besonders die Elektrochemie erlebte in den Jahren 1895-1905 einen Boom von Fabrikgründungen und beispielsweise der Einsatz von Elektrizität zur Elektrolyse von Chlor-Alkali-Stoffen zur Chlorgewinnung und die Herstellung von Carbid, Aluminium und Elektrostahl demonstrierte neue physikalisch-chemische Verfahren zur Gewinnung von Grundstoffen.

Von diesem letztlich auch nationalen Wettbewerb um billige Grundstoffe konnte die Öffentlichkeit jedoch wenig wahrnehmen, obwohl sich durch ihn der Lebensstandard verbesserte. Nicht zu übersehen hingegen waren die neuen synthetischen Produkte, allen voran die Farbstoffe. Das traditionelle Indigo-blau wurde 1880 erstmals von Adolf von Baeyer synthetisiert und bereits 1900 wurde dreimal so viel synthetisches Indigo hergestellt wie natürliches. Aber vor allem die Verwandlung des Abfallprodukts Teer in unzählige bunte Farben gaben dem öffentlichen Leben ein neues Aussehen. Die Firma Bayer etwa entwickelte allein im Jahre 1896 auf dessen Grundlage über 2000 Farbstoffe, von denen aber nur ein Bruchteil auf den Markt kam. Die synthetischen Farben ermöglichten der Kleidungsindustrie ihre Produkte für jede Kollektion in neuen Farbtönen zu vermarkten.

Gerade Deutschland war auf dem Markt der Farbstoffe ein führender und äußerst geschickter Teilnehmer. Nicht zuletzt durch konsequente Ausnutzung von Patentierungsmöglichkeiten (etwa in den USA möglichen "Sperrpatenten") gelang es

der deutsche chemischen Industrie in den Jahren 1900-1914 ihren Anteil an den weltweit verkauften synthetischen Farbstoffen zwischen 80 und 90% zu halten. Eher durch Zufall hingegen fand man bei der Erforschung neuer Farbstoffe, daß einige von ihnen auch medizinische Wirkungen zeigten, die sie als Arzneimittel einsetzbar machten. Vor allem aber die sinkenden Gewinnmargen im Farbstoffmarkt können als wirtschaftliche Gründe für den Beginn der pharmazeutischen Chemie angesehen werden. Aber daneben spielten auch besondere gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in Deutschland eine Rolle, die gleichermaßen von Bedeutung waren. Diese waren durch Bismarcks Sozialgesetzgebung und dem Krankenversicherungsgesetz von 1883 definiert worden, die den Zugang breiterer Schichten zu medizinischer Versorgung ermöglichten und dadurch den Arzneimittelverbrauch und die wirtschaftlichen Chancen der Vermarktung neuer Medikamente förderte. Zeugen dieser Entwicklung, die wir bis heute in jeder Apotheke finden können, sind etwa die Schmerzmittel Pyramidon und Aspirin, die bereits in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts auf den Markt kamen. Auch bei den Heilmitteln lösten vielfach "Kunst-Stoffe" Naturstoffe ab und dem lebenden Organismus so essentiell eigene Stoffe wie Hormone und Vitamine konnten künstlich hergestellt werden. Dadurch entwickelten sich zugleich neue Sichtweisen der Beeinflussung und Heilung des menschlichen Körpers.

Wir hatten gesehen, daß die Chemie an den Universitäten eher eine untergeordnete Rolle spielte, wenn man den Aufschwung der Chemie insgesamt vor dem Ersten Weltkrieg betrachtet. Wie der Umsetzungsprozeß wissenschaftlicher Erkenntnis in die industrielle Verwertung auf diesem Gebiet aussah, illustriert die Geschichte der künstlichen Herstellung von Stickstoffdüngemitteln. Obwohl Deutschland die weltgrößten Kalisalzvorkommen besaß, tat sich dennoch ein Engpaß bei Stickstoffdünger auf, der importiert werden mußte. Die Idee, den Stickstoff aus der Luft zu binden, wurde zwischen 1903 und 1914 gleich durch drei verschiedene Verfahren verwirklicht. In Norwegen, wo die Wasserkraft billigen Strom zur Verfügung stellte, wurde zunächst das Lichtbogenverfahren entwickelt, bei dem Stickstoff und Sauerstoff aus der Luft zunächst miteinander zur Reaktion gebracht wurden. Neben dem ebenso energieintensiven Frank-Caro-Verfahren, bei dem der Stickstoff zunächst verflüssigt werden mußte, sollte dem 1909 von Fritz Haber konzipierten Verfahren schließlich die Zukunft gehören.

Haber, der spätere Gründungsdirektor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie, war zu dieser Zeit Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Er interessierte sich wie auch sein Kollege Walther Nernst in Göttingen für die norwegische Methode der Stickstoffbindung vom Gesichtspunkt der Thermodynamik chemischer Reaktion aus. Welche Reaktionen waren unter welchen Umständen von Volumen, Temperatur und Druck möglich? Und wie konnte die Rate der Stoffumwandlung berechnet werden? Dies waren die zentralen chemischen Fragen für Haber und die Stickstoffreaktionen waren ein geeignetes Studienobjekt. Während das Lichtbogenverfahren über 2000 °C verlangte, konnte Haber zeigen, daß man die Stickstoffverbindung Ammoniak bereits bei 1000 °C synthetisieren kann, wenn man einen Eisen-Katalysator benutzt. Die Ausbeute dabei schien ihm aber jenseits jeglicher technischer Anwendbarkeit. Gerade dies aber bestritt Nernst öffentlich. Von Nernsts Interesse und Fähigkeiten im Bereich der angewandten Physik und Chemie war bereits die Rede. Nun brachte er also Haber dazu, die beteiligten chemischen Reaktionen noch einmal von Grund auf zu analysieren und dabei auch den Einfluß des Drucks zu berücksichtigen. Sechs Jahre später kam Haber so zu dem Ergebnis, daß man bereits bei einer Temperatur von 500 °C und bei einem Druck von 200 Atmosphären den Syntheseprozess in Gang halten könnte. Damit war die Möglichkeit, den Stickstoff aus der Luft durch ein wesentlich effizienteres Verfahren als den bisher bekannten zu gewinnen, prinzipiell nachgewiesen. Aber die BASF empfing Habers Vorschlag einer technischen Umsetzung nicht gerade enthusiastisch. Fünf weitere Jahre bis 1914 sollte es dauern, bis der Ingenieur Carl Bosch und der Chemiker und Firmenchef Alwin Mittasch den Prozess in einem großindustriellen Herstellungsprozess verwandelt hatten.

Habers Idee wurde nicht durch die Wirtschaft, welche die Landwirtschaft nun mit preiswertem Stickstoffdünger beliefern konnte, sondern allein durch den Krieg zu einem technologischen Durchbruch. Mit jeder Bombe oder Granate die Deutschland explodieren ließ, wurde Schwefelsäure als Grundstoff für Sprengstoff benötigt, deren Nachschub aufgrund der britische Blockade nur durch das neue Herstellungsverfahren gewährleistet werden konnte.

Nach dem Krieg sollte Fritz Haber am 1. Juni 1920 in Stockholm den Nobelpreis für Chemie entgegennehmen, der ihm für das Jahr 1918 in Anerkennung seiner Verdienste zur Entwicklung einer Methode der Ammoniak-Synthese verliehen

wurde. Auf diese Weise lassen sich für Haber die Daten 1914 und 1918 offensichtlich als die Jahre der großtechnischen Anwendung und der Honorierung einer rein wissenschaftlichen Idee deuten. Wer wollte hier eine Verbindung zur Weltgeschichte ziehen? Aber die Chemie war sicherlich mehr als Physik und Biologie von außerwissenschaftlichen Interessen bestimmt. Davon etwa, wie Fritz Haber die Chemie im Ersten Weltkrieg direkt als Waffe einsetzte, wird noch die Rede sein.

Wir hatten in der Einleitung zu diesem Buch das 20. Jahrhundert aus der Sicht der Chemie als das Jahrhundert des Kunststoffs eingeführt. Es sollte nun genauer dargelegt werden, in welchem Sinne dies zu verstehen ist, denn es gab schon seit den 1860er Jahren synthetische Plastikmaterialien und auch das 21. Jahrhundert wird kaum ohne diese Stoffe auskommen. Die Unterscheidung, die man hierzu machen kann, ist die zwischen Kunststoffen als künstlich hergestellte Ersatzstoffe, die Naturprodukte ersetzen, und Kunststoffen, deren neuartigen Materialeigenschaften völlig neue Anwendungen ermöglichen bzw. gerade für solche konzipierten Zwecke gesucht wurden.

Die Tatsache etwa, daß 1870 in Großbritannien 70% aller Messergriffe statt aus Elfenbein, Knochen oder Ebenholz aus Zelluloid gefertigt waren, macht die Unterscheidung deutlich. Dieser Stoff, der einer der ersten Kunststoffe überhaupt war, wurde in diesem Falle rein als preiswerter Ersatzstoff genutzt. Glas, Porzellan, Schildpatt, Horn und auch Elfenbein, Perlen oder Bernstein wurden durch Zelluloid in vielen Bereichen verdrängt.

Die Assoziation, die wir gewöhnlich mit dem Wort Zelluloid verbinden, ist aber eine gänzlich andere. Es ist der frühe Film, der sich in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelte. Zelluloid wurde erst ein Kunststoff im innovativen Sinne, als es nicht mehr für Käämme, Kragen, Spielzeugautos oder Messergriffe eingesetzt wurde, sondern als es seine spezifisch neuen Qualitäten eines ungewöhnlich reißfesten und flexiblen Trägermaterials für Fotoschichten ausspielte.

Es war allerdings eine weitere besondere Eigenschaft, die das Zelluloid zu einer nur vorübergehenden Alltagserscheinung gemacht hat: Es war leicht entflammbar und führte zu einer beachtlichen Zahl von Kinobränden.

Die Unterscheidung zwischen Kunststoffen, die als Substitut dienten, und solchen, die als neue Materialien verstanden wurden, deckt sich dabei historisch mit der technischen Unterscheidung zwischen halbsynthetischen und vollsynthetischen Kunststoffen. Erstere werden aus makromolekularen Natursubstanzen hergestellt wie der Zellulose beim Zelluloid. Nur wenn der Kunststoff auf niedermolekularen Ausgangssubstanzen gewonnen und damit die charakteristische Makromolekülstruktur erst hergestellt wird, spricht man von vollsynthetischen Kunststoffen.

Der erste Kunststoff dieses Typs wurde zwischen 1907 und 1909 von dem in die USA ausgewanderten belgischen Chemiker und Erfinder Leo Hendrik Baekeland entwickelt. Sein *Bakelit* aus Phenol und Formaldehyd war nicht brennbar, auch bei hohen Temperaturen formstabil und mit anderen Substanzen mischbar. Vor dem Ersten Weltkrieg und damit noch vor dem Siegeszug dieser modernen Kunststoffe bewährte sich Bakelit als Isoliermaterial für elektrische Leitungen. Bald wurde es auch zum ästhetisch anspruchsvollen Material für Telefone, Kameragehäuse und Radios benutzt, nach 1933 insbesondere 100.000fach für das Gehäuse von Volksempfängern, und selbst Schmuck und Särge wurden daraus gefertigt.

Dieses Anwendungsspektrum deutet die Verbindungen und Abhängigkeiten an, in die Wissenschaft eintritt, wenn ihr Wissen wirtschaftlich, kulturell oder politisch nutzbar wird, und bringt uns zu den viel Säulen der Wissenschaftsgeschichte zurück. Ob Haber-Bosch-Verfahren zur Stickstoffgewinnung oder vollsynthetische Kunststoffe wie das Bakelit, wissenschaftliches Interesse, technische Innovation und Anwendung gehen Hand in Hand mit gesellschaftlichen und politischen Rollen und Symbolen. Diese Verbindungen sind durch den Aufschwung, den die Naturwissenschaften in den Jahren zwischen den Glockenschlägen zur Jahrhundertwende und dem Donnerhall der Kanonen am Beginn des Ersten Weltkrieges genommen haben, historisch besonders folgenswer geworden. Im folgenden Kapitel wird daher besonders darum gehen, diese Verbindungen weiter herauszustellen und nach den nationalen Spezifika fragen, die die Entwicklung in Deutschland von denen in anderen Ländern unterschied.

