Die Zürcher Jahre des Physikers Rudolf Clausius

Autor(en): **Ronge, Grete**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Gesnerus : Swiss Journal of the history of medicine and sciences**

Band (Jahr): **12 (1955)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-520601

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

GESNERUS

Vierteljahrsschrift für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften

Revue trimestrielle d'histoire de la médecine

Jahrgang/Vol. 12 1955 Heft/Fasc. 3/4

Die Züricher Jahre des Physikers Rudolf Clausius*

Von Dr. Grete Ronge, Darmstadt

Einführung

Als das Eidgenössische Polytechnikum in Zürich, der Vorgänger der heutigen Eidgenössischen Technischen Hochschule, am 15. Oktober 1855 seine Tore öffnete, wurde dieses Ereignis feierlich begangen als ein Tag, «*an welchem eine der schönsten Schöpfungen, die das Zusammenwirken eines freien Volkes hervorbringen kann, eine neue höhere Bildungsanstalt, ins Leben treten soll*»[1]. In der Tat sollte die neu geschaffene Ausbildungsstätte für technische Berufe mehr als manche andere Schulform der Blüte und dem Wohlstande des gesamten Landes zugute kommen, und indem der junge Bundesstaat trotz heftig widerstreitender Meinungen in Nationalrat und Ständerat ihre Gründung und Unterhaltung auf sich nahm, bewies er, daß die Schweiz Schritt halten wollte. Wenn nämlich auch die eigentliche Geburtsstunde von Ereignissen vielfältiger Art abhängig gewesen ist, die Errichtung und der Ausbau technischer Lehrinstitute waren allenthalben kennzeichnend für die erste Hälfte und für die Mitte des vorigen Jahrhunderts. In engerem und weiterem Umkreise entstanden damals Schulen von ähnlichem Charakter[2]. Daß sich in dieser Zeit die Notwendigkeit geltend

* Als bescheidener Beitrag zur Hundertjahrfeier der *Eidgenössischen Technischen Hochschule* von der Schweizerischen Gesellschaft für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften dargebracht.

[1] Siehe *Festschrift zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens des Eidgenössischen Polytechnikums;* Teil I: *Geschichte der Gründung des Eidgenössischen Polytechnikums* mit einer Übersicht seiner Entwicklung 1855–1905 von Wilhelm Oechsli (1905), S. 232. Der Redner war Frey-Herosee, der gewesene Bundespräsident von 1854.

[2] Die ersten Formen technischer Schulen waren Fachschulen, wie Bauschulen, Bergwerksschulen, Industrie- und Gewerbeschulen. Als erste polytechnische Schule entstand 1795 die Ecole polytechnique in Paris; sie war eine Bildungsstätte für Zivil- und Militäringenieurwissenschaften. 1829 kam in Paris die Ecole centrale des arts et métiers dazu, seit 1857

machte, den angehenden Technikern von Staats wegen eine solide und umfangreiche Berufsausbildung zu ermöglichen, hatte eine gemeinsame tiefere Ursache: Die Menschheit hatte gelernt, *die bewegende Kraft der Wärme* auszunützen. Nach langem und mühevollem Ringen war um die Jahrhundertwende die Dampfmaschine zu einem brauchbaren und allgemein anwendbaren Energiespender geworden, und die Großindustrie, die sich im Gefolge dieser Erfindung entwickelte, stellte sowohl staatliche Institutionen als auch die aufblühende Privatwirtschaft in einem bisher nicht gekannten Ausmaße vor neuartige Möglichkeiten und Aufgaben.

In derselben Epoche erfuhr die Wärmelehre eine wesentliche Erweiterung in Gestalt der Thermodynamik. Die Phänomene der Wärme wurden dem allgemeinen Energieerhaltungsgesetz eingeordnet. Gleichzeitig drückte sich der besondere Charakter der Wärme in dem Satz von der Vermehrung der Entropie aus. Nicht zufällig entstand die Thermodynamik in einer Zeit lebhaften technischen Fortschritts. Beide Entwicklungen hingen eng miteinander zusammen; denn die Anregungen und Erfahrungen, die von der Technik herkamen, sind der Thermodynamik nutzbar geworden. Daher lag es nahe, daß Männer der reinen Wissenschaft sich in die Fragenkreise beider Gebiete vertieften, und diese mußten als Lehrkräfte für den Physikunterricht an polytechnischen Schulen besonders geeignet erscheinen. Einen Gelehrten solcher Art berief der Schweizerische Schulrat[3] nach Zürich, den

staatlich. 1815 Eröffnung des Polytechnischen Institutes in Wien mit schon fast voller Lernfreiheit. Der 1799 gegründeten Bauakademie in Berlin trat 1821 das Berliner Gewerbeinstitut, spätere Gewerbeakademie, zur Seite, das besonders die Fächer Chemie, Technologie und Maschinenkunde pflegte. Beide Anstalten wurden 1879 zur Technischen Hochschule verschmolzen. 1825 Gründung des Polytechnikums Karlsruhe durch Vereinigung einer Ingenieurschule, einer Bauschule und einer Gewerbeschule. Mit ihrer Aufgliederung in einzelne Fachschulen wirkte es richtunggebend für andere Polytechnika, auch in etwa für Zürich. München gründet 1827 eine polytechnische Zentralschule (Denkschrift von REICHENBACH und FRAUNHOFER), die 1833 in drei polytechnische Schulen, München, Augsburg und Nürnberg, aufgelöst wird. 1828 Gründung der technischen Bildungsanstalt in Dresden, seit 1851 polytechnische Schule. 1829 Gründung der Gewerbeschule in Stuttgart, seit 1840 polytechnische Schule. 1831 höhere Gewerbeschule in Hannover, seit 1847 polytechnische Schule. 1862 wurde das 1745 gegründete Collegium Carolinum in Braunschweig in eine polytechnische Schule umgewandelt. Die 1836 in Darmstadt gegründete höhere Gewerbeschule wurde 1869 Polytechnikum. Siehe *Die Technischen Hochschulen im Deutschen Reich*, herausgegeben von W. LEXIS, Berlin 1904.

[3] Der Schweizerische Schulrat, die oberste Behörde des Polytechnikums, die mit seiner Verwaltung betraut war, wurde vom Bundesrat am 2. August 1854 bestellt.

Physiker RUDOLPH CLAUSIUS. Sein Name ist inzwischen in der Geschichte der Naturwissenschaften unlösbar mit der Entdeckung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik verbunden. Zwölf an wissenschaftlicher Ernte reiche Jahre verbrachte er als Forscher und Lehrer an den Züricher hohen Schulen, deren geistige Atmosphäre ihn beeindruckte und beeinflußte, so wie er sie seinerseits mitbestimmte.

Das Aufspüren erfolgversprechender Lehrkräfte war als eine der wichtigsten Aufgaben unter den vorbereitenden Arbeiten angesehen worden, und der erste Schweizerische Schulrat mit seinem Präsidenten JOHANN KONRAD KERN[4] an der Spitze hatte dieses Ziel mit hohem Verantwortungsbewußtsein und in fortschrittlichem Geiste verfolgt. So kam es, daß das Eidgenössische Polytechnikum von seinem Entstehen an einen Ruf weit über die Grenzen seines Heimatlandes hinaus genoß. Der gute Name gründete sich auf die großzügige und umsichtige Planung, wobei auswärtige Anstalten wohl als Richtlinien betrachtet worden waren, ohne daß sie genau nachgeahmt worden wären, und auf das hohe fachliche Niveau[5]. Wie das erste Programm der Schule angibt, sollte die Aufgabe der Anstalt *in der Bildung von Technikern für den Hochbau, den Straßen-, Eisenbahn-, Brücken- und Wasserbau, die industrielle Mechanik und technische Chemie, von Pharmazeuten, Forstwirten und Lehrern für die höheren Unterrichtsanstalten* bestehen. An fünf Fachschulen für die ingenieurmäßigen Fächer, die Chemie und die Forstwirtschaft gliederte sich eine sechste Abteilung, welche *Naturwissenschaften, mathematische Wissenschaften und literarische und staatswirtschaftliche Wissenschaften* in sich vereinigte.

[4] Dr. JOHANN KONRAD KERN (1808–1888) aus dem Kanton Thurgau studierte in Basel, Berlin und Heidelberg die Rechte und trat schon als junger Mann im politischen Leben für liberale Ideen und eine geeinte Schweiz ein. Von 1837 ab widmete er sich ausschließlich Staatsgeschäften. An den Hochschuldebatten nahm er regen Anteil. 1854 wurde er zum Präsidenten des Schweizerischen Schulrates ernannt. 1857 legte er das Amt nieder, um wieder politische Missionen zu übernehmen.

[5] Siehe CARL LINDE, *Aus meinem Leben und von meiner Arbeit*, Oldenbourg, München 1916 als Manuskript gedruckt, S. 10: «Mir waren aber durch einen Freund, der in Zürich als Architekt studierte, über die Organisation und wissenschaftliche Bedeutung des dortigen Polytechnikums im Vergleiche zu den damaligen ‚polytechnischen Schulen' in Bayern so überzeugende Nachweisungen für die Überlegenheit der ersteren zugegangen, daß ich dadurch schließlich die Zustimmung meines Vaters zu gewinnen vermochte.» – Carl Linde (1842–1934), der Begründer der Firma «Linde's Eismaschinen», studierte von 1861 bis 1864 am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich.

Die Auswahl des ersten Lehrkörpers war unter einem glücklichen Stern erfolgt. Man hatte von vornherein *Männer von bedeutendem Rufe* vorgesehen, wie man dem *Allgemeinen Intelligenzblatt der Stadt Basel* vom 14. August 1854 entnehmen kann, *um teils gleich von Anfang an allerwärts Zutrauen zu erwecken, teils und vorzüglich, um in der Behandlung des Unterrichts sogleich auf die rechte Bahn geleitet zu werden.* Die Wahl war vor allem auf junge Lehrkräfte gefallen, die auf Grund schon vollbrachter Leistungen noch viel erhoffen ließen. Mehrere von ihnen stammten aus Deutschland. CARL LINDE schreibt in seiner Autobiographie[6]: «... So war die höhere Mathematik durch Dedekind und dann durch Christoffel, die Physik durch Clausius, Mechanik und theoretische Maschinenlehre durch Zeuner, Maschinenbaukunde durch Reuleaux vertreten ...»[7] Unter diesen war Clausius, der im Alter von dreiunddreißig Jahren dem Ruf nach Zürich folgte, der Älteste.

Rudolph Clausius' Jugend und Studienjahre
Wissenschaftliche Arbeiten vor der Züricher Zeit

Als Rudolph Clausius 1855 nach der Schweiz übersiedelte, verließ er endgültig den Bereich seiner engeren Heimat. Seine Vorfahren und auch seine Eltern stammten aus der Mark Brandenburg. Er selbst wurde 1822 in Cöslin in Pommern geboren. Er besuchte zunächst in Ückermünde, einem Städtchen am Stettiner Haff, eine von seinem Vater, dem Schulrat und Superintendenten ERNST CARL GOTTLIEB CLAUSIUS, gegründete Privatschule und später die oberen Klassen des Stettiner Gymnasiums. Seine Eltern zogen vierzehn Geschwister groß. Daher mußte es in der Fa-

[6] Siehe CARL LINDE, *Aus meinem Leben und von meiner Arbeit*, S. 11.

[7] Der Mathematiker RICHARD DEDEKIND (1831–1916) habilitierte sich 1854 in Göttingen, wurde 1858 als Professor der Mathematik an das Polytechnikum in Zürich berufen und folgte 1862 einem Rufe an das Polytechnikum seiner Heimatstadt Braunschweig.
ELWIN BRUNO CHRISTOFFEL (1829–1900) wurde 1862 als Professor der Mathematik an das Polytechnikum in Zürich berufen. Von hier aus ging er 1869 an die Gewerbeakademie in Berlin. 1872 folgte er einem Ruf an die Universität Straßburg.
GUSTAV ZEUNER (1828–1907) lehrte von 1855 bis 1871 als Professor der technischen Mechanik und theoretischen Maschinenlehre am Polytechnikum in Zürich. 1865 bis 1867 war er Direktor der Anstalt. 1871 wurde er Direktor der Bergakademie in Freiberg, 1873 Direktor des Polytechnikums in Dresden.
FRANZ REULEAUX (1829–1905) war von 1856 bis 1864 Professor der Maschinenbaukunde in Zürich. Dann folgte er einem Rufe an die Berliner Gewerbeakademie, die spätere Technische Hochschule, deren Direktor er 1868 wurde.

milie sparsam zugehen. Zeitweilig waren fünf Söhne zugleich auf höheren Schulen und Universitäten. Aus Familienerinnerungen der Geschwister geht hervor, daß der Bruder Rudolph seines liebenswürdigen und hilfsbereiten Wesens wegen stets beliebt war und sich, als die Mutter zur Zeit seiner Universitätsstudien verstarb, in aufopfernder Weise um die Ausbildung seiner jüngeren Geschwister kümmerte. Er studierte in Berlin vorwiegend Mathematik und Physik, um sich später, wie sein Vater, dem Unterricht an den höheren Schulen zu widmen. Seine akademischen Lehrer bestätigen in einem Abgangszeugnis fast ausnahmslos den ausgezeichneten Fleiß ihres Schülers. Der Geometer JACOB STEINER[8], ein wegen seiner Grobheit gefürchteter Schweizer, der aber gerade Clausius während der Studienjahre ein besonders wohlwollendes Zeugnis ausgestellt hat[9], sollte bei der Berufung nach Zürich noch einmal Bedeutung gewinnen. 1844 schloß Clausius seine Studentenzeit mit einer Prüfung für Schulamtskandidaten ab und unterrichtete anschließend sechs Jahre am Friedrich-Werderschen Gymnasium zu Berlin. Während dieser Zeit promovierte er (1848) und veröffentlichte mehrere Arbeiten über Lichterscheinungen in der Atmosphäre. Im Herbst 1850 ging er als Lehrer der Physik an die Artillerie- und Ingenieurschule in Berlin über, und im Dezember des gleichen Jahres habilitierte er sich an der Universität Berlin[10].

Inzwischen hatte er sich dem Gebiet der Wärmelehre zugewandt, und schon im Frühjahr 1850 war er mit derjenigen Arbeit an die Öffentlichkeit getreten, die seinen wissenschaftlichen Ruhm begründet hat. Der Titel lautete: *Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen*[11]. Die Abhandlung geht von der Frage nach dem Nutzeffekt des Dampfmaschinenprozesses aus. Welche

[8] JAKOB STEINER (1796–1863) stammte aus Utzenstorf im Kanton Bern. Er studierte in Heidelberg Mathematik und zog dann nach Berlin, wo er zunächst als Privatlehrer tätig war, später aber als Professor der Geometrie an der Universität wirkte.

[9] «Daß Herr Stud. Clausius aus Cöslin seit 3 Semestern meine Vorlesungen über verschiedene Gegenstände der Mathematik mit musterhaftem Fleiße besucht und mir außerdem durch Beantwortung zahlreicher Fragen noch insbesondere bewiesen hat, daß er nicht allein Talente für diese Wissenschaft besitzt, sondern auch mit der löblichsten Anstrengung und Ausdauer darin arbeitet, wird auf Verlangen hierdurch bezeugt. Berlin, den 19. November 1842. J. Steiner.» Das Original dieses Zeugnisses und auch weitere Dokumente und Briefe bezüglich Rudolph Clausius befinden sich in Familienbesitz (siehe Danksagung am Schluß der Abhandlung).

[10] Unterlagen in Familienbesitz.

[11] *Poggendorffs Annalen LXXIX* (1850) 368, 500.

Beziehungen bestehen zwischen dem Aufwand an Wärme und dem Arbeitsgewinn? Clausius' Arbeit schließt so eng an eine 1824 erschienene Publikation des französischen Physikers SADI CARNOT[12] an, daß deren Besprechung zunächst einige Zeilen gewidmet werden müssen. Carnot versucht nachzuweisen, daß der Nutzeffekt der Wärmemaschinen[13] sich nicht ins Ungemessene steigern lasse, sondern daß ihm naturgegebene Grenzen gesetzt seien. Von der zu seiner Zeit vorherrschenden Hypothese ausgehend, daß die Wärme ein unerschaffbarer und unzerstörbarer Stoff sei, führt er die Erzeugung bewegender Kraft aus Wärme darauf zurück, daß ein gewisses Quantum an Wärmestoff von einem Bereich höherer Temperatur auf einen Bereich tieferer Temperatur absinkt. Indem die Wärmestoffmenge das Temperaturintervall «durchfällt», kann sie nach Carnots Theorie Arbeit leisten, gerade so, wie eine herabfallende Wassermenge etwa mit Hilfe eines Mühlrades bewegende Kraft erzeugt. Bei dieser Grundvorstellung ist es einleuchtend, daß dem Gewinn an bewegender Kraft aus Wärme eine obere Grenze gesetzt ist, bedingt einerseits durch die Höhe des durchfallenen Temperaturintervalls, zum andern durch das Quantum an herabfallendem Wärmestoff, und Carnot weist in einer Art indirekter Beweisführung nach, daß das Fehlen einer oberen Grenze der Existenz eines *perpetuum mobile* gleichkommen würde.

Die Entdeckung der Äquivalenzbeziehung zwischen Wärme und Arbeit in den Jahren 1842/43[14] bringt die Hypothese vom unzerstörbaren Wärmestoff ins Schwanken. Die Wärme ist als eine Form der Energie anzusehen. Sie ist wandelbar. Dennoch läßt sich die Anschauung vom Wärmestoff nicht kampflos aufgeben. Eine ihrer stärksten Stützen ist Carnots Theorie der Arbeitserzeugung durch den Wärmefall. Unzweifelhaft ist Carnots Vorstellung vielen Naturgegebenheiten und Beobachtungen gut angepaßt,

[12] SADI CARNOT (1796–1832), der Sohn des berühmten Staatsmannes und Mathematikers Lazare Carnot, studierte an der Ecole polytechnique in Paris Ingenieurwissenschaften. In den der Studienzeit folgenden Jahren tat er zeitweise Dienst als Ingenieuroffizier, zeitweise widmete er sich privaten Studien. Seine 1824 in Paris erschienene, berühmt gewordene Schrift *Sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* blieb seine einzige Veröffentlichung, denn der Tod raffte ihn früh dahin.

[13] Unter Wärmemaschinen versteht Carnot alle mechanischen Einrichtungen, die auf Grund der Wärmeausdehnung irgendeines Stoffes «bewegende Kraft» gewinnen lassen.

[14] ROBERT MAYER, *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur*, in *Ann. Chem. Pharm. XLII* (1842) 233ff.
J.P. JOULE, *On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*, in *Phil. Mag. 23* (1843), 263ff., 347ff. und 435ff.

und noch 1849 sieht WILLIAM THOMSON sie als die wahrscheinlichste Erklärung für das Phänomen der bewegenden Kraft der Wärme an. Nur wenn "our experimental data are more complete", wird sich eine Revision vornehmen lassen[15].

Rudolph Clausius gelingt es, diesen Zwiespalt zu lösen, nicht durch neue Experimente, sondern durch einen neuen Gedanken. Carnots Idee, sagt Clausius, ist in vieler Beziehung nicht zu verwerfen. Aber sie bedarf einer Modifikation. Wohl muß bei der Gewinnung bewegender Kraft aus Wärme eine Wärmemenge von höherem auf tieferes Temperaturniveau absinken. Aber es trifft nicht zu, daß das ganze zur Verfügung stehende Wärmequantum, wie Carnot es annimmt, einer herabfallenden Wassermenge vergleichbar, unangetastet bleibt. Vielmehr ist das gesamte Quantum in zwei Beträge aufzuteilen. Der eine geht wirklich, Carnots Vorstellung entsprechend, von höherem auf tieferes Temperaturniveau über. Der andere aber, welcher der gewonnenen Arbeit äquivalent ist, wird verbraucht und ist dann als Wärme nicht mehr vorhanden.

Auch Carnots Behauptung, daß dem Nutzeffekt einer Wärmemaschine naturgegebene Grenzen gesetzt sind, bleibt aufrechterhalten. Aber Carnots Begründung muß durch eine andere ersetzt werden. Würde eine obere Grenze des Nutzeffektes fehlen, so ließe sich zwar nicht Arbeit aus dem Nichts schaffen, wie Carnot vom Standpunkt der Wärmestofflehre aus annimmt; aber es ließe sich eine unnatürliche Richtung des Wärmeflusses vornehmen. Es ließe sich eine Einrichtung treffen, die «ohne irgendeinen Kraftaufwand oder eine andere Veränderung beliebig viel Wärme aus einem kalten Körper in einen warmen schaffen» könnte, «und das widerspricht dem sonstigen Verhalten der Wärme, indem sie überall das Bestreben zeigt, vorkommende Temperaturen auszugleichen und also aus den wärmeren Körpern in die kälteren überzugehen»[16]. Clausius erkannte, daß die einseitige Neigung der Wärme, von selbst nur aus einem wärmeren Körper in einen kälteren zu strömen, als physikalisches Phänomen von gleicher fundamentaler Bedeutung sei wie das Äquivalenzgesetz zwischen Wärme und Arbeit, und in einer 1854 erschienenen Publikation stellt er dem Gesetz von der Erhaltung der Energie ebenbürtig die Aussage von der naturgegebenen Richtung des Wärmeflusses als «zweiten Hauptsatz der Wärmelehre» an die Seite[17].

[15] *Trans. Edinburgh Roy. Soc. XVI* (1849) 544 und *Math. Physic. Papers I* (1882) 117.
[16] *Pogg. Ann. LXXIX* (1850) 503.
[17] *Pogg. Ann. XCIII* (1854) 481ff.

Berufung
Lehrer und Forscher in Zürich

Es lag auf der Hand, daß der Verfasser dieser Arbeiten, die von hoher wissenschaftlicher Bedeutung waren, jedoch in ihren Auswirkungen nicht minder die Technik angingen und von technischen Fragestellungen ihren Ausgang genommen hatten, günstige Voraussetzungen mitbringen würde, um den Unterricht für mathematische und technische Physik an einem Polytechnikum zu übernehmen. Die fachlichen Gutachter, die vom Schweizerischen Schulrat befragt wurden, unter ihnen WILHELM WEBER[18] in Göttingen und Clausius' früherer Lehrer POGGENDORFF[19], stellten hervorragende Zeugnisse aus. Jacob Steiner, der auf einer Reise Zürich berührte, hob überdies dem Schulratspräsidenten gegenüber den vortrefflichen Charakter seines ehemaligen Schülers hervor[20]. Die Verhandlungen kommen in Gang. Clausius ist offenbar über die Aussicht auf die bevorstehende Berufung beglückt. Bereitwillig geht er auf Vorschläge von Zürich in bezug auf Besoldung und Aufteilung des Physikunterrichts ein. Es entspreche seinen «eigenen Neigungen und Wünschen», so schreibt er am 31. Mai 1855 an den Schulratspräsidenten, daß der Unterricht in Experimentalphysik in Händen von Professor MOUSSON[21] ruhen soll, da er selbst sich «bisher der theoretischen Physik mit besonderer Vorliebe zugewandt habe»[22]. Die

[18] WILHELM WEBER (1804–1891) wurde 1831 als Professor der Physik nach Göttingen berufen, vornehmlich auf die Empfehlung von GAUSS hin, mit dem er bis zu dessen Tode in enger Freundschaft verbunden war. Er trat vor allem mit Arbeiten über Elektrodynamik hervor, mit denen sich auch Clausius in späteren Lebensjahren auseinandersetzte.

[19] JOHANN CHRISTIAN POGGENDORFF (1796–1877) wurde 1834 außerordentlicher Professor an der Universität Berlin. Schon 1824 hatte Poggendorff die Redaktion der nach ihm benannten *Annalen der Physik und Chemie* als Fortsetzung von GILBERTS *Annalen der Physik* übernommen. Rudolph Clausius hörte während seiner Studienjahre bei Poggendorff Geschichte der Physik. In *Pogg. Ann.* hat er den größten Teil seiner Arbeiten veröffentlicht.

[20] Siehe WILHELM OECHSLI, *Festschrift*, I. Teil (1905), S. 190.

[21] ALBERT MOUSSON (1805–1890) studierte Mathematik und Naturwissenschaften an den Akademien Bern und Genf, in Göttingen Bergbauwesen und in Paris Ingenieurwissenschaften. Seit 1833 wirkte er als Lehrer der Mathematik und Physik in Zürich, zuerst an der Industrieschule, dann an der Kantonsschule. Zugleich habilitierte er sich an der Universität, wo er 1837 Extraordinarius, 1855 Ordinarius wurde. Vom Herbst 1855 an übernahm er den Unterricht für Experimentalphysik am Eidgenössischen Polytechnikum.

[22] Originalbrief im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

Formalitäten ziehen sich in die Länge. Inzwischen meldet sich die Universität Bern mit einem Angebot. Clausius schreibt am 5. August an den Schulratspräsidenten: «Soeben erhalte ich die Anfrage von Herrn Professor Brunner von Wattenwyl zu Bern, ob ich geneigt wäre, eine Professur für Physik und Astronomie an der Berner Universität anzunehmen.» Wenn Clausius auch Zürich vorziehen würde, so möchte er doch das Anerbieten Berns nicht ohne weiteres ablehnen. Er bittet um Gewißheit[23].

Die bindende Zusage wird am 24. August ausgestellt. Am 1. September bestätigt Clausius den Empfang der Urkunde, in welcher der Schweizerische Bundesrat ihn «zum Professor der Physik an der eidgenössischen polytechnischen Schule in Zürich, vorzugsweise für die Fächer mathematische und technische Physik und für Leitung der physikalischen Übungen» ernennt. Die Amtsdauer ist auf zehn Jahre festgesetzt, das feste Jahresgehalt auf 3700 Franken. Dazu kommen Anteile an Schulgeldern und Hörerhonoraren[24].

Am 15. Oktober fand die feierliche Eröffnungsfeier der Polytechnischen Schule statt. Am Tage darauf nahmen Lehrer und Schüler ihre gemeinsame Arbeit auf. Lebensvolle Frische war charakteristisch für den damaligen Geist der Schule. Die Begeisterung für den Beruf des Technikers ging von den Lehrern auf die Schüler über. Selbst gerade auf der Höhe ihrer Schaffenskraft, wußten sie die Jugend zu fesseln. Die eigenen Studienjahre noch in nahem Andenken, waren sie außerdem dem studentischen Leben gegenüber aufgeschlossen. «Wie lebendig stehen noch vor meinen Augen einzelne der Professoren der damaligen Zeit!» schreibt ein ehemaliger Student der Schule[25]. «Für die mechanische Abteilung, der ich angehörte, waren Zeuner und Reuleaux die Hauptlehrer; beide in erster, aufstrebender Manneskraft, als anregende Dozenten von uns hochgeschätzt, als selbständige Forscher weit über unsern Kreis hinaus anerkannt. Ihre freundliche Teilnahme an unserm Leben und Treiben steigerte die ihnen entgegengebrachte Verehrung ...» Diesen wird Clausius entgegengehalten: «Eine eigenartige Stellung nahm der Physiker Clausius ein. Er war in jenen Jahren aufs intensivste mit seinen grundlegenden Studien über die mechanische Wärmetheorie beschäftigt, und diese so erfolgreichen Arbeiten gaben auch den Vorträgen des Mannes ihr besonderes Gepräge. Die strenge Entwicklung und Be-

[23] Originalbrief im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

[24] Die Urkunde befindet sich in Familienbesitz, Clausius' Antwortschreiben im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

[25] Siehe *Festschrift der Gesellschaft ehemaliger Studierender der eidgenössischen polytechnischen Schule in Zürich* (1894), S. 134/5.

gründung aus wenigen Prämissen überwog den entscheidenden Versuch und die anschauliche Beschreibung; der mathematischen Darstellung wurde eine solche Sorgfalt zuteil, daß der Dozent keine Formel an die Tafel schrieb, ohne sie sogleich in seinem Hefte zu kontrollieren.

Eine vornehme Zurückhaltung im persönlichen Verkehr, die schon auf den künftigen Geheimrat[26] deutete, wich doch manchmal einem herzlichen Ton, der dann um so mehr Eindruck und Freude machte. Erst später haben wir erfahren, daß er auch in kritischen Momenten den Behörden gegenüber mit Mut und Nachdruck seine Stimme zugunsten der Studierenden erhob.»

Diesem Urteil eines Namenlosen passen sich die Erinnerungsworte, die Carl Linde seinem ehemaligen Lehrer Clausius widmet, gut an, wenn auch der große Schüler, der später den Ammoniakkompressor gebaut, den Luftverflüssigungsapparat erfunden und als erster den zweiten Hauptsatz in der Praxis im großen angewandt hat, den Wert und den Nutzen der strengen Schule tiefer empfindet. Auch Carl Linde stellt eine vergleichende Betrachtung an. *Zeuners lebendiger und klarer Darstellung* und *Reuleauxs' schwungvoller und geistreicher Rede* wird Clausius' Lehrweise gegenübergestellt: «In einem äußeren Gegensatze zu diesen beiden Männern stellte sich mit seiner ruhigen und etwas trockenen Vortragsweise Clausius dar. Um so tiefer aber griff der Inhalt dieser Vorträge, insbesondere auf seinem Sondergebiete, der Wärmelehre, welcher er – gleichzeitig dem Bedürfnisse des Maschineningenieurs entgegenkommend – einen breiteren Raum gewährte als den übrigen Teilen der Physik. Als ich von ihm erstmals die Verhältnisse erörtern hörte, welche zwischen Wärmeaufwand und Arbeitsproduktion bestehen, gewann ich einen starken Eindruck, der niemals aufgehört hat, meine Gedanken zu beschäftigen»[27].

Über den Bereich des Unterrichts am Polytechnikum hinaus fand Clausius Resonanz und Anregung vor allem in der Züricher Naturforschenden Gesellschaft, die als angestammte Vereinigung bereits 1846 auf ein hundertjähriges Bestehen hatte zurückblicken können und seit der Gründung der Züricher kantonalen Universität im Jahre 1833 auch deren Naturwissenschaftler zu ihren prominenten Mitgliedern zählte, so Albert Mousson, den schon genannten Physiker, den Botaniker Oswald Heer und den Geologen Arnold Escher von der Linth.

[26] Rudolph Clausius erhielt 1869 bei seiner Berufung nach Bonn den Titel eines Geheimen Regierungsrates.

[27] Carl Linde, Aus meinem Leben und von meiner Arbeit, S. 12.

Oswald Heer[28] war einer der bedeutendsten Paläontologen seines Jahrhunderts. Gerade in den Jahren 1855 bis 1859 legte er die Ergebnisse seiner langjährigen Studien über die Pflanzenwelt der Tertiärformationen in der Schweiz in seinem Werke *Flora tertiaria helvetica* nieder. 1864 erschien sein populär gewordenes Buch *Urwelt der Schweiz,* ein Bild der vorgeschichtlichen Vergangenheit seines Heimatlandes. Anknüpfungspunkte zu physikalischen Problemen ergaben sich auf Grund seiner langjährigen Beobachtungen und Erfahrungen in der Gesteins- und Gletscherwelt.

Arnold Escher von der Linth[29] war ein bedeutender Geologe. Seine wissenschaftlichen Arbeiten, größtenteils handschriftliche Aufzeichnungen und Skizzen, bildeten die Grundlage für die geologische Erforschung der Schweiz. Die erste geologische Karte seines Heimatlandes ist zum großen Teil sein Werk. Er war ein eifriger Förderer der Naturforschenden Gesellschaft. Von größter persönlicher Zurückhaltung und Uneigennützigkeit, ist er seinen Fachfreunden ein stets hilfsbereiter, unermüdlicher Ratgeber gewesen. Seinem jüngeren Kollegen Clausius, der ihm im Wesen sehr entsprach, war er ein väterlicher Freund.

Da sowohl Mousson als auch Heer und Escher von der Linth auch dem Lehrkörper des Polytechnikums angehörten, war ein enger Zusammenhang zwischen den Gelehrten von vornherein begünstigt.

Die Organisation des gesamten Polytechnikums, sein Wachstum und Wohlergehen lag in den Händen des Schweizerischen Schulrates. An der Spitze dieser Behörde stand seit 1857 für mehrere Jahrzehnte der umsichtige, tatkräftige und zielbewußte Schulratspräsident Karl Kappeler[30]. Wilhelm

[28] Oswald Heer (1809–1883) war Botaniker, Entomologe und Paläontologe. Im Kanton St. Gallen geboren, studierte er in Halle Theologie. Seine Vorliebe aber galt den Naturwissenschaften, mit denen er sich schon während seiner Studienzeit intensiv beschäftigte, um sich ihnen schließlich ganz zu widmen. 1834 habilitierte er sich an der Züricher Universität für Botanik und Entomologie und wurde dort 1836 Extraordinarius, 1852 Ordinarius. Von 1855 ab las er am Polytechnikum spezielle Botanik.

[29] Arnold Escher von der Linth (1807–1872) studierte in Genf und Berlin Naturwissenschaften, vor allem Geologie. Nach mehrjährigen Studienreisen habilitierte er sich 1834 an der Züricher Universität. Nur schwer war der bescheidene Gelehrte 1852 zur Übernahme einer Professur zu bewegen. Von 1856 an las er auch für die Studenten des Polytechnikums.

[30] Karl Kappeler (1816–1888) stammte aus Frauenfeld. Er studierte in Heidelberg und Berlin die Rechte und ließ sich als Advokat in seiner Heimatstadt nieder. 1843 trat er ins politische Leben ein. Seit 1848 vertrat er mehr als dreißig Jahre lang den Thurgau im Ständerat. In den Hochschuldebatten hat er sich um die Gründung des Polytechnikums große Verdienste erworben. Als 1857 Dr. Kern das Amt des Schulratspräsidenten niederlegte, wurde es Kappeler übertragen.

Oechsli charakterisiert ihn als einen Mann von durchdringender Klugheit und Menschenkenntnis, sowie einer seltenen Festigkeit des Willens, der «von dem, was er als im Interesse der Anstalt liegend erkannte, sich durch keinerlei Nebenrücksichten ablenken ließ, am wenigsten durch solche persönlicher Art». Kappeler hielt «eine ins Einzelne eindringende, Alles zusammenfassende Tätigkeit und eine unausgesetzte Wachsamkeit» für seine Amtspflicht. So besuchte er häufig den Unterricht seiner Dozenten und inspizierte die Sammlungen der Schule. Konferenzen und Prüfungen wohnte er persönlich bei. «Bei alledem war ihm kleinliches, pedantisches Wesen fremd. Tüchtigen Lehrern war er eine feste Stütze, und mit weitem Blick sann er auf alles, was die ihm anvertraute Anstalt heben und entfalten konnte»[31]. Mit der Bundesverwaltung führte er einen zähen, unermüdlichen Kampf um ausreichende Geldmittel, die auch seinen Lehrkräften zugute kamen. Davon wird im Umgang mit Clausius noch die Rede sein.

Der Eindruck der Züricher Studenten, ihr Lehrer sei aufs intensivste mit der mechanischen Wärmetheorie beschäftigt, entsprach der Wirklichkeit. Schon 1856 erschien in *Pogg. Ann.* eine umfangreiche Arbeit, die, dem neuen Wirkungskreise angepaßt, von der *Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf die Dampfmaschine*[32] handelt. Eine Schuld soll beglichen werden. Hatte die mechanische Wärmetheorie in technischen Anwendungen ihre erste Anregung gefunden, so soll sie nun ihrerseits dazu beitragen, «diese Anwendungen der Wärme in ein helleres Licht zu stellen», und Clausius macht den Versuch, «die Grundzüge einer mit der mechanischen Wärmetheorie übereinstimmenden Berechnung der Dampfmaschine zu entwickeln».

Die Kenntnis des zweiten Hauptsatzes gestattet, hier einen übersichtlichen Weg einzuschlagen. Carnots von Clausius bestätigte Überlegung war dahin gegangen, daß sich für eine Wärmemaschine, die mit einem vorgegebenen verfügbaren Wärmequantum und einem vorgegebenen Temperaturintervall arbeitet, ein nicht überschreitbares Maximum an Arbeitsgewinn berechnen lasse. Jedoch läßt sich im praktischen Falle dieser Höchstwert nicht verwirklichen. Mit großer Klarheit hat Carnot hervorgehoben, daß der Wärmetransport vom Bereich höherer Temperatur zum Bereich tieferer Temperatur nicht etwa durch einfache Wärmeleitung vor sich gehen dürfe, sondern über ein Zwischenmedium stattfinden müsse, welches sich

[31] Siehe Wilhelm Oechsli, *Festschrift*, I. Teil (1905), S. 270ff.
[32] *Pogg. Ann. XCVII* (1856) 441ff. und 513ff.

unter der Wirkung der Wärme ausdehnt – im Falle der Dampfmaschine ist es der Wasserdampf – und daß jede Temperaturänderung des Arbeitsmediums durch Volumenänderung, d.h. einen adiabatischen Vorgang, verursacht sein müsse. Dagegen bedeuten Wärmeleitungsvorgänge wie auch das Auftreten von Reibungswärme einen Verlust an Arbeitsgewinn, sind also nach Möglichkeit zu vermeiden. Infolgedessen kann Clausius seinen Berechnungen das Maximum des Arbeitsgewinnes zugrunde legen und die Verluste, die durch Unvollkommenheiten der Maschine bedingt sind, davon abziehen. Revisionen alter Vorstellungen, vor allem über das Verhalten der «Dämpfe im Maximum der Dichte» – sie folgen in diesem Zustande nicht den Gesetzen von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac – machen eine neue Bearbeitung besonders notwendig.

Die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie hatten die Hypothese vom Wärmestoff zu Fall gebracht. Damit tauchte die Frage auf, welche Ansichten über die Natur der Wärme den Phänomenen besser angepaßt seien. Die mechanischen Wirkungen, die die Wärme hervorbringen kann, deuteten darauf, daß die Wärme etwas mit Bewegung zu tun habe. Aber nicht darin lag ein umstürzlerischer Gedanke. Seit alters her hatte die Neigung bestanden, die Wärme als eine Bewegung kleiner Materieteilchen anzusehen. Die Feueratome von Leukipp und Demokrit[33], die in Gassendis[34] Atomlehre wieder auflebten, mögen ein Beispiel sein. Dagegen lautete die Forderung des 19. Jahrhunderts, daß man sich von der Vorstellung eines besonderen unzerstörbaren Wärmestoffes als Träger dieser Bewegung freizumachen habe.

So lag es nahe, die Wärme als eine Bewegung der gewöhnlichen Stoffteilchen selbst aufzufassen. Auch diese Meinung war schon in früheren Zeiten vorgebracht worden. Francis Bacon[35] hatte sie im 17. Jahrhundert ausgesprochen. Aber bevor man Maß und Zahl in die Wärmelehre einführen konnte, d.h. vor der Erfindung des Thermometers, mußte jede Äußerung Spekulation bleiben.

[33] Leukipp und Demokrit aus Abdera, die «Atomisten» der Antike, 5. bis 4. vorchristliches Jahrhundert, lehrten, daß die wahrnehmbaren Körper aus unerschaffbaren und unzerstörbaren Atomen aufgebaut seien. Unter diesen seien die runden, kleinen Feueratome die beweglichsten.

[34] Pierre Gassendi (1592–1655), Minoritenpater, von 1646 ab Professor der Mathematik in Paris, erneuerte die antike Atomistik.

[35] Francis Bacon (1561–1626), englischer Staatsmann und Philosoph. 1620 erschien sein Werk *Novum Organum Scientiarum*, das gegen die scholastische Philosophie gerichtet ist.

Als der Begründer einer kinetischen Theorie der Materie gilt DANIEL BERNOULLI[36]. Er hat den Druck eines Gases aufgefaßt als Stöße von schnell dahinfliegenden Gasteilchen gegen die Gefäßwand und angenommen, daß die Erwärmung eines Gases mit einer heftigeren Bewegung dieser Teilchen gleichbedeutend sei. Spätere Autoren, die seine Gedanken weiterführten, fanden wenig Beachtung. Als jedoch um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die bewegende Kraft der Wärme Wissenschaft und Technik beschäftigte, lag das Thema in der Luft.

Auch Clausius eröffnete in den Züricher Jahren einen Zyklus von Publikationen, den er in einer späteren zusammenfassenden Darstellung *Abhandlungen über die zur Erklärung der Wärme angenommenen Molekularbewegungen*[37] überschrieben hat. Der erste Aufsatz dieser Reihe trägt den Titel: «Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen»[38].

Schon bevor er seine erste Arbeit über die mechanische Wärmetheorie[39], in welcher die Wärme als eine Bewegung vorausgesetzt sei, niedergeschrieben habe, so beginnt er, habe er sich «über die Art dieser Bewegung eine bestimmte Vorstellung gebildet». Bisher aber habe er dessen noch nirgends Erwähnung getan, weil er einerseits wünschte, «die Schlüsse, welche sich aus gewissen allgemeinen Prinzipien ableiten lassen, von denjenigen, welche eine bestimmte Art der Bewegung voraussetzten, zu trennen», und weil er andererseits «teils wegen der Schwierigkeit des Gegenstandes, teils wegen anderer Arbeiten, der Entwicklung noch nicht den Grad von Vollständigkeit geben konnte, welcher für die Publikation notwendig zu sein schien». 1856 aber erscheint eine Arbeit des Berliner Physikers KRÖNIG[40] unter dem Titel *Grundzüge einer Theorie der Gase*[41], und nun entschließt sich auch Clausius dazu, mitzuteilen, inwieweit er Krönig zustimme und in welcher Weise er über dessen Vorstellungen hinausgehe[42].

[36] DANIEL BERNOULLI (1700–1782) war seit 1733 Professor in Basel, zunächst der Anatomie und Botanik, seit 1750 der Physik. Sein Hauptwerk, *Hydrodynamica* (Strasbourg 1738) enthält Ansätze einer kinetischen Gastheorie.

[37] Siehe R. CLAUSIUS, *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*, 2. Abteilung, S. 227, Braunschweig 1867.

[38] *Pogg. Ann. C* (1857) 353ff.

[39] *Pogg. Ann. LXXIX* (1850) 368ff. und 500ff.

[40] AUGUST KARL KRÖNIG (1822–1879) war Gymnasiallehrer in Berlin.

[41] *Pogg. Ann. XCIX* (1856) 315ff.

[42] Auch J. P. JOULE hat modellmäßige Vorstellungen zur mechanischen Wärmetheorie entwickelt. 1851 veröffentlichte er «einige Bemerkungen über die Wärme und die Konstitution der elastischen Flüssigkeiten» in der wenig zugänglichen Zeitschrift *Mem.*

Krönig legt eine Hypothese dar, aus der sich eine Erklärung der Gasgesetze ableiten läßt. Die Gasteilchen werden als elastische Kugeln aufgefaßt, die sich geradlinig mit gewisser Geschwindigkeit im leeren Raum bewegen, bis sie untereinander oder mit den Wänden eines einschließenden Gefäßes elastisch zusammenstoßen. Man denke sich eine Anzahl Gasteilchen in einen Kasten eingeschlossen. Das Eigenvolumen der Gasteilchen soll klein sein im Vergleich zum Rauminhalt des Kastens. Anziehungskräfte zwischen den Gasteilchen sollen nicht auftreten. Die Teilchen ändern bei ihren Zusammenstößen Richtung und Geschwindigkeit. Die Bahn des einzelnen Teilchens entzieht sich der Berechnung. «Nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird man jedoch statt dieser vollkommenen Unregelmäßigkeit eine vollkommene Regelmäßigkeit annehmen dürfen». Denkt man sich den Druck hervorgebracht durch die Stöße der Gasteilchen auf die Wand, so liefert die Rechnung das Boyle-Mariottesche Gesetz. Wird mc^2, die lebendige Kraft des Gasteilchens, durch die absolute Temperatur ersetzt, so kommt das Gesetz von Gay-Lussac heraus. Liegen zwei verschiedene Gasarten vor, und wird für sie $p_1 = p_2$, $v_1 = v_2$ und $t_1 = t_2$ angesetzt, so folgt aus der Rechnung: «Von verschiedenen Gasen sind bei gleichem Druck und gleicher Temperatur in gleichem Raume gleich viel Atome enthalten.»[43] Daraus wiederum folgert Krönig, daß die spezifische Wärme aller Gase, nach dem Volumen gemessen, gleich und konstant sein muß, was, wie er betont, mit der Erfahrung nicht ganz übereinstimmt.

Clausius erweitert Krönigs Vorstellungen. Er nimmt neben der geradlinigen Teilchenbewegung auch eine rotierende an, erzeugt durch nichtzentrale Stöße, und dazu eine Vibration, die vor allem bei komplexen, aus mehreren Atomen bestehenden Gasteilchen zu erwarten ist. Infolge dieser Zusatzbewegungen muß die gesamte lebendige Kraft der Gasteilchen über die der fortschreitenden Bewegung hinausgehen, daher die von Krönig bemerkten Unstimmigkeiten in bezug auf die spezifische Wärme der Gase. Im übrigen kann immer nur von einem durchschnittlichen Bewegungszustand einer großen Anzahl von Molekülen die Rede sein. Die Bewegungen der einzelnen Teilchen weichen von diesem Mittelwert ab. Das ist schon bei Krönig angedeutet. Im Gegensatz zum Gaszustand machen sich in den beiden anderen Aggregatzuständen die molekularen Anziehungskräfte be-

Manch. Lit. Phil. Soc. Als Clausius 1857 seine entsprechende Abhandlung in *Pogg. Ann.* erscheinen ließ, kannte er den Inhalt der Arbeit Joules nicht. Da Clausius' Ausführungen weiterführen, soll hier darauf verzichtet werden, Joules Publikation wiederzugeben.

[43] Dieses Gesetz hatte schon 1811 Amadeo Avogadro (1776–1856) ausgesprochen.

merkbar. Infolgedessen können im festen Zustande die Moleküle gewisse Gleichgewichtslagen nicht verlassen. Jedoch sind Vibrationen um den Schwerpunkt und Drehschwingungen möglich. Außerdem können noch Schwingungen innerhalb zusammengesetzter Moleküle auftreten. Im flüssigen Zustand fehlt die bestimmte Gleichgewichtslage. Aber die gegenseitige Anziehung der Moleküle ist zu stark, als daß die Teilchen auseinanderstreben könnten. Es bleibt eine schwingende, wälzende und fortschreitende Bewegung.

Verdampfung an der Oberfläche einer Flüssigkeit tritt dann ein, wenn ein Teilchen mit überdurchschnittlicher lebendiger Kraft sich aus dem Anziehungsbereich der Nachbarmoleküle in den Gasraum losreißt. Umgekehrt werden Teilchen, die aus dem Gasraum auf die Oberfläche stoßen, dort durch die Anziehungskräfte der Moleküle festgehalten. Gleichgewichtszustand besteht, wenn «während einer Zeiteinheit eben so viele Moleküle gegen die Flüssigkeitsoberfläche stoßen und von dieser festgehalten werden, als andere Moleküle von ihr ausgesandt werden. Der eintretende Gleichgewichtszustand ist demnach nicht ein Ruhezustand.»

Hieraus ergeben sich als selbstverständliche Forderungen die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur und die Tatsache, daß eine andere über der Flüssigkeit befindliche Gasart die Verdampfung nicht verhindern kann. Anders ist es beim Sieden, wo der Druck im Innern der Dampfblase den Gesamtdruck, der von außen auf sie wirkt, überwinden muß. Die innere Arbeit bei einer Zustandsänderung, z.B. beim Übergang in den Dampfzustand, ist eine Arbeit, die gegen die molekularen Anziehungskräfte geleistet werden muß.

Die modellmäßige Auffassung eines Gases als eine Anzahl elastischer Kugeln hatte ihre Stütze in den Gasgesetzen und in den physikalischen Vorgängen der Phasenumwandlungen gefunden. Konnte sie nun fruchtbar gemacht werden, um über die chemische Natur der Gasteilchen Aussagen zu machen? Die einfachen Volumenverhältnisse bei Gasreaktionen waren um die Jahrhundertwende entdeckt worden[44]. Sie hatten dazu beigetragen, die chemischen Reaktionen als Vorgänge, die sich gewissermaßen atom-

[44] Siehe Alex. v. Humboldt und J.F. Gay-Lussac, *Expériences sur les moyens eudiométriques et sur la proportion des principes constituants de l'atmosphère,* in *J. Physique 60* (1805) 129ff. und J.F. Gay-Lussac, *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres,* in *Mém. Physique Chim. Soc. d'Arcueil II* (1809) 206ff. und 252ff.

weise abspielen, zu erklären. Dennoch bestanden bisher Unstimmigkeiten, die Clausius vom Standpunkt der neuen Gastheorie aus beheben kann.

Geht man von einem bestimmten Volumen Sauerstoff aus, und bildet man daraus unter Zugabe von Stickstoff einerseits Stickoxyd, andererseits Stickoxydul, so sind, gleichen Druck und gleiche Temperatur vorausgesetzt, die Volumina der Reaktionsprodukte gleich, wobei die Molekülanzahl der Reaktionsprodukte untereinander gleich, nämlich gleich der Anzahl der verfügbaren Sauerstoffatome, angenommen wird. Beide Molekülarten, das zweiatomige wie das dreiatomige, beanspruchen also je Teilchen den gleichen Raum, und aus Krönigs Überlegung folgt, daß auch beide Arten die gleiche lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung haben.

Für die einfachen Ausgangsgase jedoch, die bis dahin einatomig angenommen werden, ergeben sich Abweichungen. Aus Stickstoff und Sauerstoff bildet sich Stickoxyd, ohne daß eine Volumenverminderung eintritt. Dann aber käme auf ein Teilchen der Ausgangsstoffe nur der halbe Raum und nach der neuen Gastheorie auch nur die halbe lebendige Kraft wie auf ein Molekül des Reaktionsproduktes. Dieses unbefriedigende Resultat führt Clausius zu der Annahme, daß die Teilchen der einfachen Gase nicht einatomig seien, sondern aus mehreren, mindestens aber aus je zwei Atomen bestehen, und daß sie sich, wenn sie eine chemische Verbindung eingehen, spalten, so daß sich die Teilchenanzahl im Falle der Stickoxydbildung insgesamt nicht vermindert. Clausius will seine Ansicht «dem wissenschaftlichen Publikum wenigstens als eine Hypothese» vorlegen. Er schreibt:

«Ich nehme an, daß die Kraft, welche die Entstehung chemischer Verbindungen verursacht, und welche wahrscheinlich in einer Art von Polarität der Atome besteht, auch schon in den einfachen Stoffen wirksam ist, und *daß auch in diesen mehrere Atome zu einem Molekül verbunden sind.*

Der einfachste und daher wahrscheinlichste Fall einer solchen Verbindung würde der sein, daß zwei Atome ein Molekül bilden, und dieser Fall liefert die Erklärung jener Volumenverhältnisse, welche vorher als von der Regel abweichend angeführt wurden.»

1811 hatten verwandte Vorstellungen Avogadros keinerlei Beachtung gefunden und waren in Vergessenheit geraten. Jetzt war die Zeit gereift, um den Gedanken in neuer Form erstehen und ihn Licht und Klarheit in die formelmäßige Behandlung chemischen Vorgänge bringen zu lassen.

In einem mathematischen Anhang berechnet Clausius die Geschwindigkeiten von Gasmolekülen. Er findet bei 0 °C für Sauerstoff 461 m/sec,

für Stickstoff 492 m/sec, für Wasserstoff 1844 m/sec, Werte, die von den heute angenommenen kaum abweichen.

Gegen die hohen Geschwindigkeiten werden Zweifel erhoben, denen Clausius 1858 in einer weiteren Publikation begegnet. Die Bahnen der Gasteilchen sind zickzackförmig anzunehmen. Mit dem ihm eigenen Sinn für notwendige physikalische Begriffsbildungen prägt er den Begriff der mittleren Weglänge eines Gasteilchens und den Begriff der Wirkungssphäre eines Moleküls. Indem er willkürlich zugrunde legt, daß nur ein Tausendstel des Gasraumes von den Wirkungssphären wirklich ausgefüllt werde, eine Annahme, die ihm «innerhalb der Grenzen der Möglichkeit» zu liegen scheint, ermittelt er, daß dann die mittlere Weglänge ungefähr das Tausendfache der Wirkungssphäre eines Moleküls betragen würde. Das ist trotz des großen Faktors bei dem gering zu veranschlagenden Durchmesser der Wirkungssphäre absolut genommen eine sehr kleine Strecke. Genauere Angaben hat Clausius nicht gemacht, da ihm die Kenntnis molekularer Dimensionen fehlte.

Die Theorie von den mehratomigen Gasmolekülen der Elemente wird alsbald praktisch verwertet, um das Geheimnis des Ozons aufzudecken, das, 1840 von dem Chemiker SCHÖNBEIN[45] in Basel entdeckt, als eine Erscheinungsform des Sauerstoffes erkannt war. Clausius vertritt 1858 in seinem Aufsatz «über die Natur des Ozons»[46] die Auffassung, daß das Ozon ein Gemisch aus gewöhnlichen, zweiatomigen Sauerstoffmolekülen und aus vereinzelten Sauerstoffatomen sei, wobei diese letzteren «sich in ihrem Verhalten gegen fremde Körper natürlich von solchen Atomen, die je zwei zu Molekülen verbunden sind, unterscheiden müssen» und dem Sauerstoff im *status nascens* vergleichbar sind, daher die starke oxydierende Wirkung.

Schönbein ist erfreut, daß Clausius seinem «chemischen Helden einige Aufmerksamkeit» schenkt. Er selbst nimmt, um das unterschiedliche Verhalten des Ozons gegenüber verschiedenen chemischen Partnern zu erklären, drei Erscheinungsformen des Sauerstoffs an. «An der Dreifaltigkeit des Sauerstoffs kann ich kaum mehr zweifeln», schreibt er am 26. Januar 1860 an Clausius, «wie auch daran, daß aus ○ gleichzeitig eben so gut ⊕ und ⊖ als aus beiden letzteren wieder ○ wird.»[47] Hier symbolisiert ○

[45] CHRISTIAN FRIEDRICH SCHÖNBEIN (1799–1868) war seit 1828 Professor der Chemie in Basel.

[46] *Pogg. Ann. CIII* (1858) 644ff.

[47] Kopie des Briefes im Archiv der Universitätsbibliothek Basel.

den gewöhnlichen, neutralen Sauerstoff, ⊕ und ⊖ zwei aktive Formen. Durch Schönbeins Untersuchungen angeregt, unterstreicht Clausius in einer 1864 erschienenen Arbeit über «aktiven Sauerstoff»[48] seine schon früher geäußerte Ansicht, daß die gewöhnlichen zweiatomigen Moleküle des Sauerstoffs «je ein elektro-positives und ein elektro-negatives Atom» enthalten. Überdies ist eine Revision in der Formulierung des Ozons notwendig geworden. Experimentelle Untersuchungen anderer Forscher lassen keinen Zweifel daran, daß bei der Bildung von Ozon aus Sauerstoff eine Volumenverminderung auftritt. Um diesen Ergebnissen gerecht zu werden, bringt Clausius ein dreiatomiges Ozonmolekül in Vorschlag. Im Hinblick auf das chemische Verhalten aber hält er die drei Atome nicht für gleichartig gebunden. Vielmehr soll jeweils ein Atom, das aktive, nur lose an ein gewöhnliches Sauerstoffmolekül geheftet sein.

Als Schönbein sich mit seiner Idee der elektrisch geladenen Formen des Sauerstoffs unmittelbar an Clausius wandte, wußte er, daß er auf Interesse stoßen würde; denn Clausius war auf die Frage der Stoffteilchen als Träger elektrischer Ladungen schon mehrfach in früheren Publikationen eingegangen, und zu Beginn seiner Züricher Zeit hatte er diese Serie durch eine viel beachtete Arbeit bereichert. Sie handelte von geladenen Teilchen im gelösten Zustande[49]. Er nimmt an, daß in der Lösung eines Elektrolyten neutrale Moleküle und positiv und negativ geladene Teilmoleküle in ständigem Austausch miteinander gleichzeitig bestehen, so daß zwischen ihnen ein Gleichgewichtszustand herrscht, der im Sinn der kinetischen Theorie kein Ruhezustand ist. Von dieser Vorstellung ausgehend, erklärt er das Verhalten der stromleitenden Lösungen. Damit ist Clausius einer der ersten, der eine elektrolytische Dissoziation gelöster Moleküle annimmt.

Während der ersten Jahre erfolgreicher Lehr- und Forschertätigkeit in Zürich gewann auch Clausius' äußere Stellung. Am 26. Februar 1857 wurde er «zum ordentlichen Professor an der philosophischen Fakultät der Hochschule mit besonderer Rücksicht auf das Fach Physik»[50] ernannt. Die Ernennung hatte den Charakter einer Anerkennung. Es ergaben sich daraus keine neuen Vorlesungsverpflichtungen. Jedoch sollten die am Polytechnikum abgehaltenen Lehrgänge nun auch den Studierenden der Universität zugänglich sein. Damit wurde ein zweifaches Ziel erreicht. Bewähr-

[48] *Pogg. Ann. CXXI* (1864) S. 250ff.
[49] *Über die Elektrizitätsleitung in Elektrolyten*, in *Pogg. Ann. CI* (1857) 338ff.
[50] Urkunde in Familienbesitz.

ten Lehrkräften des Polytechnikums war die Möglichkeit gegeben, den Titel des Ordinarius einer Universität zu führen – für Clausius ist der Termin dieses Ereignisses zu viel späterer Zeit, nämlich bei seiner Berufung nach Bonn, noch einmal bedeutungsvoll in bezug auf die dortige Einordnung geworden[51]. Zudem erübrigte sich die Doppelbesetzung etlicher Fächer an beiden hohen Schulen, ein wirtschaftlich günstiger Gesichtspunkt, der allerdings in späteren Jahren zu Mißhelligkeiten führte, da sich das Polytechnikum ausgenutzt fühlte. Am Ende des gleichen Jahres 1857 erhielt Clausius die Nachricht, daß seine «durch die Anstellungsurkunde zugesicherte 10jährige Amtsdauer in eine lebenslängliche umgewandelt» sei[52]. Vom 1. Januar 1859 an wurde auch das feste Jahreseinkommen von 3700 auf 4400 Franken heraufgesetzt[53].

So war Clausius' wirtschaftliche Lage gesichert genug, um an die Gründung einer Familie denken zu können. Am 13. November 1859 heiratete er Adelheid Rimpau, eine gebürtige Braunschweigerin, die aber, da sie früh Waise geworden war, schon seit mehreren Jahren im Hause ihrer älteren Schwester und ihres Schwagers Henneberg in Zürich gelebt hatte. Aus allem, was wir überlieferten Aufzeichnungen entnehmen können, ist das Zusammenleben glücklich und harmonisch gewesen. Von den sechs Kindern, die aus der Ehe hervorgegangen sind, wurden vier in Zürich geboren. Der Sinn für Zusammengehörigkeit und Verantwortung innerhalb der Familie, der schon am Schüler und Studenten bemerkbar gewesen, war erst recht beim Ehegatten und Vater ausgeprägt. Der Frau ist offenbar stets die Erfüllung der schwierigen Aufgabe gelungen, einerseits die anwachsende Kinderschar, die, wie Clausius an einen Freund schreibt, «im Lärmen und Toben das Nötige zu leisten» versteht, zu ihrem Recht kommen zu lassen, und andererseits dafür Sorge zu tragen, daß der Mann die Pflege und ungestörte Ruhe findet, deren er zu seiner Arbeit bedarf. Dem Beruf und der Tätigkeit ihres Mannes bringt Adelheid Clausius Verständnis und Achtung entgegen. Beide Ehegatten verfolgen mit Freude das Heranwachsen, besonders die geistige Entwicklung ihrer Kinder.

Das junge Ehepaar zieht zuerst in ein neuerbautes Haus am Ottenweg, am Rande der Stadt in der Gemeinde Riesbach, nicht weit entfernt von Clausius' einstiger Junggesellenwohnung[54]. 1861 siedelt die Familie nach

[51] Siehe Akten der philosophischen Fakultät der Universität Bonn vom 10. Februar 1869.
[52] Urkunde in Familienbesitz.
[53] Urkunde in Familienbesitz.
[54] Siehe Akten des Stadtarchivs Zürich.

Hottingen über, in eine Vorstadt, «die noch ganz ländlich ist, wo man schöne frische Luft und die Aussicht auf den See und in die Berge hat», wie Clausius selbst einem Freunde gelegentlich einer Einladung seine Wohnung beschreibt[55]. War das Ehepaar Clausius auch nicht zu großem gesellschaftlichem Verkehr geneigt, so pflegte es doch eine herzliche Gastfreundschaft. «Vorab noch einmal meinen besten Dank für die mir bei meinem neuerlichen Besuch in Ihrem Hause wieder zu Teil gewordene Freundlichkeit!» schreibt Schönbein am 23. März 1864. «Sie haben dadurch zu meinen alten Schulden eine neue gefügt, was mich zu drücken anfängt und ernsthaft wünschen läßt, Sie möchten mir doch recht bald die Gelegenheit gewähren, wenigstens einen kleinen Teil derselben tilgen zu können.»[56]

Der stets ersehnte Gast aber war der englische Physiker JOHN TYNDALL[57]. Clausius und Tyndall hatten sich 1851 in Berlin kennengelernt. Beide hatten dem Kreis um GUSTAV MAGNUS[58], Professor der Physik in Berlin, angehört. 1856 besuchte Tyndall mit seinem Kollegen und Freunde Huxley zusammen die Hochalpen, um dort physikalische Beobachtungen über den Einfluß des Druckes auf Schichtenbildung anzustellen. Beobachtungsgegenstand waren die gewaltigen Eismassen der Gletscher. Der Aufenthalt in der Bergwelt erweckte die Freude am Bergsteigen, und bald gehörte Tyndall zu den Eroberern der Alpengipfel. Dreimal setzte er an, um das Matterhorn zu bewältigen. Der dritte Versuch gelang[59]. Als erster bezwang er 1861 den Gipfel des Weißhorns. Seine unvergleichliche Darstellungsgabe macht sein Buch *In den Alpen*[60], eine Beschreibung seiner Alpentouren, auch heute noch für jeden lesenswert, der mit offenen Sinnen die Bergwelt erleben will. Die Freude an der bergsteigerischen Leistung, die Wißbegierde

[55] Rudolph Clausius an John Tyndall, Brief vom 15. Juni 1862.

[56] Siehe Archiv der Universitätsbibliothek Basel.

[57] JOHN TYNDALL (1820–1893) trieb naturwissenschaftliche Studien in Marburg und Berlin, wo er 1851 Clausius kennenlernte. 1853 wurde er Professor an der Royal Institution in London. 1887 gab er seine Tätigkeit dort auf, um sich auf einen Landsitz zurückzuziehen.

[58] GUSTAV MAGNUS (1802–1870) war Professor der Physik in Berlin. 1843 richtete er für seine Schüler und Mitarbeiter ein physikalisches Kolloquium ein. Zu den zehn Teilnehmern, die der ersten Sitzung beiwohnten, gehörte auch Rudolph Clausius.

[59] Tyndall versuchte den Aufstieg von Breuil aus. Der zweite Versuch (1862) führte bis zum ersten Gipfel, wo eine Flagge aufgepflanzt wurde. Ein tiefer Riß im Kamm zum Hauptgipfel zwang die Bergsteiger kurz vor dem Ziele zur Umkehr. 1865 wurde das Matterhorn von WHYMPER bezwungen. Tyndall erreichte 1868 den Gipfel.

[60] Deutsche Ausgabe, 2. Auflage, Braunschweig 1875.

des Forschers konnten Ehrfurcht und Bewunderung vor Größe und Schönheit der Natur nicht schmälern, sondern ergänzten und bedingten einander in glücklicher Weise. Nach der Bezwingung des Weißhorns schreibt Tyndall: «Über die Gipfel und durch die Täler ergossen sich die Sonnenstrahlen, nur durch die Berge selbst behindert, die ihre Schatten als dunkle Massen durch die erleuchtete Luft warfen. Ich hatte nie vorher einen Augenblick gehabt, der mich so wie dieser ergriff. Ich wollte in meinem Notizbuch einige Beobachtungen niederschreiben, aber ich unterließ es bald. Es lag etwas Unharmonisches, wenn nicht Entweihendes darin, wenn ich den wissenschaftlichen Gedanken gestattete, sich einzuschleichen, wo schweigende Huldigung die einzig verständige Handlung schien.»[61]

Tyndalls Gletscherforschungen waren der Anlaß, daß die Beziehungen zwischen ehemaligen Bekannten sich erneuerten. Vor der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich referierte Clausius über Huxleys und Tyndalls Arbeiten[62]. Diese wandten sich gegen eine ältere, von dem englischen Physiker Forbes[63] vertretene Ansicht, daß das Gletschereis unter dem Druck seiner eigenen Masse plastisch werde und daraus Bewegung und Struktur der Gletscher zu erklären sei. Eine andere, frühere Auffassung, welche der Schweizer Zoologe und Geologe Agassiz[64] zeitweilig geteilt hatte, ging davon aus, daß das Wasser in den Gletscherspalten gefriere und die damit verbundene Ausdehnung für die Fortbewegung der Gletscher verantwortlich zu machen sei. Auch sie wurde abgelöst; denn die mechanische Wärmetheorie eröffnete neue Gesichtspunkte. Die Brüder James und William Thomson hatten 1849/50 theoretisch und experimentell nachgewiesen, daß der Gefrierpunkt des Wassers durch Druck herabgesetzt wird[65]. Die aus

[61] *l.c.* S. 93.

[62] *The Structure and Motion of Glaciers,* in *Phil. Trans. 1857* und Brief von Th. H. Huxley an Tyndall, *Phil. Mag. 1857.*

[63] James David Forbes (1809–1868) war Professor der Physik an der Universität Edinburgh. Bekannt wurde sein Buch über Gletscherforschungen, *Travels in the Alps* (1842).

[64] Louis Agassiz (1807–1873), bekannt durch seine Gletschertheorie und seine Arbeiten über fossile Fische, unternahm während seiner Lehrtätigkeit am Gymnasium von Neuchâtel mehrere Expeditionen auf den Aaregletscher. 1846 ging er auf Studienreisen nach den Vereinigten Staaten, und er wählte sie zu seiner neuen Heimat.

[65] James Thomson, der ältere Bruder von William Thomson, Zivil-Ingenieur in Glasgow, wies auf Grund des Carnotschen Prinzips nach, daß der Gefrierpunkt des Wassers als einer Flüssigkeit, die sich beim Gefrieren ausdehnt, durch Druck herabgesetzt wird *(Edinburgh Trans. XVI* [1849] 545). William Thomson bestätigte die Aussage seines Bruders experimentell *(Phil. Mag.* [3] *XXXVII* [1850] 123). Clausius ging in einer

der täglichen Erfahrung bekannten Erscheinungen der «Regelation» waren jetzt als ein Auftauen unter Druck und ein Wiedergefrieren aufzufassen. Tyndall zieht die Regelation auch zur Erklärung der Gletscherbewegungen und der Gletscherstruktur heran[66]. Clausius' Vortrag über dieses Thema fand bei den Schweizer Naturforschern starkes Interesse. «Sie können sich denken», schreibt er am 8. Dezember 1857 an Tyndall, «daß die Gesellschaft, vor welcher ich den Vortrag hielt, sehr competent war, über die Sache zu urteilen. Fast alle kennen die Gletscher aus vielfacher eigener Anschauung; ferner befanden sich darunter Mousson, ... Escher von der Linth, welcher mit Agassiz zusammen viele Versuche, unter andern die von Huxley bekämpften Infiltrationsversuche, gemacht hat, Heer, der bei seinen Wanderungen zur Untersuchung lebender und fossiler Pflanzen ebenfalls den so oft gesehenen Gletschern sein Interesse zugewandt hat, u. a. Alle haben sich sehr anerkennend über Ihre Versuche ausgesprochen, besonders Escher von der Linth, der doch selbst bei der früheren Theorie beteiligt ist.» Allerdings wird die Möglichkeit, daß das Eis in der Nähe des Schmelzpunktes plastisch werde, nicht ganz von der Hand gewiesen. «In bezug auf Ihre Experimente, Eis durch Druck zu formen, wurde bemerkt, daß, obwohl das Zerbrechen und Wiederzusammenfrieren ein wesentlich neues Moment sei, welches sowohl für die Physik im allgemeinen, als auch speziell für die Gletscher von Wichtigkeit sei, doch ein gewisser Grad von Plastizi-

kurzen Abhandlung in *Pogg. Ann. LXXXI* (1850) 168 darauf ein, daß die Entdeckung der Brüder Thomson durch seine Modifikation des Carnotschen Prinzips nicht berührt werde.

[66] FARADAY machte 1850 die Beobachtung, daß zwei auftauende Stücke Eis, aneinandergelegt, an der Berührungsstelle zusammenfrieren. TYNDALL bringt hierzu die Vereisung einer Rodelbahn und eines mit der Hand gedrückten Schneeballs in Parallele. HUXLEY und er wenden zum ersten Male das Wort «regelation» in der Literatur an. Tyndall macht mit Nachdruck darauf aufmerksam, daß ein Gletscher nicht als ein «Vorratshaus von Kälte» anzusehen ist, sondern daß nur eine Temperatur um den Gefrierpunkt die Erscheinungen zuläßt, die tatsächlich beobachtet werden. Er erdenkt zahlreiche Laboratoriumsexperimente, die das Zusammenfrieren von Eisstücken und die Formänderung von Eismassen bei der Temperatur des Gefrierpunktes demonstrieren. Über den Einfluß des Druckes auf die Struktur der Gletscher schreibt er in seinem Buch *In den Alpen* (Braunschweig, 2. Auflage, S. 333): «Die hauptsächlichsten Strukturarten können in drei geteilt werden; es sind folgende: 1) Rand-Struktur, durch Druck in Folge der schnelleren Bewegung der Mitte des Gletschers bewirkt. 2) Longitudinal-Struktur, durch den beiderseitigen Druck von zwei seitlichen Gletschern bewirkt... 3) Transversale Struktur, durch den Druck, den der Wechsel der Neigung und der longitudinale Schub bewirkt, den der Gletscher am Fuße des Eisfalles aushalten muß.»

tät dabei mitwirken müsse, weil da ohne sich unregelmäßig zerbrochene Stücke, wenn sie auch noch so klein wären, nicht zu einem kontinuierlichen Ganzen zusammenfügen könnten.» Clausius weist auf Analogien zwischen den spezifischen Wärmen von Wachs und Eis im Erweichungsintervall bzw. in der Nähe des Schmelzpunktes hin.

Die einmal aufgenommene Verbindung wird von nun an aufrechterhalten. 1859 bittet Tyndall um nähere Angaben über frühere Messungen der Forschergruppe um Agassiz. 1841/42 hatten die Schweizer Gelehrten, indem sie Pfähle quer über den Aaregletscher eingeschlagen und deren Ortsänderung beobachtet hatten, gefunden, daß sich die Mittelbahn eines Gletschers schneller bewegt als die Randgebiete, Feststellungen, welche die englischen Physiker bestätigten. «Der erste Versuch einer Messung der verschiedenen Bewegung ist von Escher allein», schreibt Clausius am 28. Dezember 1859, «welcher im Juli 1841 Pfähle in den Aletschgletscher einschlagen ließ bis auf die Tiefe von etwa 1 m, um sie im August wieder zu beobachten. Er fand sie aber bei seiner Rückkunft umgefallen. Im September desselben Jahres 1841 bestimmte er mit Agassiz die Lage von einer Anzahl von Blöcken auf dem Aaregletscher.» Und als Anmerkung: «Soeben erfahre ich von Herrn Escher auf meine Anfrage, daß im Anfange des September 1841 auf dem Aare-Gletscher nicht bloß die Lage von Blöcken bestimmt ist, sondern auch Reihen von Pfählen quer über den Gletscher eingesenkt sind, 10 Fuß tief, um im nächsten Jahre die Krümmung der Linien, in welchen die Pfähle standen, zu beobachten.» Die Messungen wurden im Sommer 1842 gemacht. Dann heißt es weiter: «Die Ansicht, daß die Gletscher sich in der Mitte schneller bewegen als am Rande, ist vor Agassiz von Charpentier ausgesprochen. Herr Escher hat Ihnen eine kurze Zusammenstellung der fraglichen Untersuchungen mit den Zeitangaben gemacht, welche ich beilege.» Wo immer Tyndall in seinen zahlreichen Schriften über Gletscherfragen historische Angaben gemacht hat, hat er diese Auskünfte verwertet.

Inzwischen bereitet Tyndall eine Vortragsfolge über die Wärmelehre vom Standpunkte der mechanischen Wärmetheorie vor, die er später in Buchform veröffentlicht hat[67], und er zieht in diesem Zusammenhang Erkundigungen über die Arbeiten von Robert Mayer ein. Clausius zählt die bisher erschienenen Schriften auf: «Die Betrachtungen von Mayer über die mechanische Wärmetheorie finden sich, so weit mir bekannt, an folgenden Orten:

[67] *Heat Considered as a Mode of Motion*, 1863, 1865 ...

1) eine Abhandlung in den Ann. d. Chem. u. Pharm. von Liebig und Wöhler, Bd. XLII, S. 233–40, 1842;
2) eine eigene Schrift: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit der chemischen Wirkung, Heilbronn 1845;
3) eine Note in den Pariser Compt. rend. T. XXVII, p. 385, 1848;
4) eine eigene Schrift: Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme, Heilbronn 1851.»[68]

Später bemüht sich Clausius auf Tyndalls Verlangen, die Schriften zu besorgen. «Sobald sie kommen», schreibt er am 7. Mai 1862, «werde ich sie durchsehen, und diejenigen, in welchen sich etwas über die Wärme befindet, Ihnen zusenden. Sie werden aber nicht sehr viel darin finden, da Mayer über die Grundbegriffe der Mechanik nicht hinlänglich klare Vorstellungen hat.» Es ist bezeichnend für die geringe Beachtung, die Mayer im eigenen Lande erfuhr, daß Clausius bis 1862 nur eine der Schriften dem Inhalte nach kannte. Am 17. Mai aber hat er bereits drei der Mayerschen Arbeiten gelesen und an Tyndall abgeschickt, darunter auch die 1848 erschienene Broschüre *Beiträge zur Dynamik des Himmels*. Sein Urteil über Mayers wissenschaftliche Leistung hat sich von Grund auf gewandelt: «Nachdem ich die Broschüren von 1845 und 48 gelesen habe, welche mir früher nur dem Namen nach bekannt waren, indem ich nur die Abhandlung von 1842 wirklich gelesen hatte, muß ich das, was ich in meinem vorigen Briefe geschrieben habe, daß Sie in Mayers Schriften nicht viel Bedeutendes finden würden, zurücknehmen. Ich bin erstaunt gewesen über die Menge schöner und richtiger Gedanken, welche darin enthalten sind; auch ist seine Auffassung der mechanischen Prinzipien viel klarer, als ich nach der ersten Abhandlung von 1842 geglaubt hatte. Wahrscheinlich hat er sich in den Jahren von 1842 bis 1845 erst recht in die Sache hineingearbeitet. In der Schrift von 1845 finden sich eine Menge der Ideen, welche Helmholtz in seinen Schriften *Über die Erhaltung der Kraft* und *Über die Wechselwirkung der Naturkräfte* ausgesprochen hat, und in der Schrift von 1848 findet sich mit großer Vollständigkeit dieselbe Erklärung von der Sonnenwärme, welche Thomson später gegeben hat. Ich glaube daher, daß Mayer viel mehr Anerkennung verdient, als er bis jetzt gefunden hat.» Schon am 6. Juni hält Tyndall seinen berühmten Vortrag in der Royal Institution, in welchem er die Prioritätsansprüche Mayers gegenüber Joule in bezug auf das Äquivalenzgesetz klarlegt. Clausius will das für Mayer so bedeutungsvolle Ereignis

[68] Brief vom 28. Dezember 1859.

diesem mitteilen. Am 15. Juni schreibt er an ihn: «Ich habe jene beiden Schriften[69] und Ihre neuere Schrift über das mechanische Äquivalent der Wärme, welche mir schon früher bekannt gewesen war, meinem Freunde, dem berühmten Physiker Dr. Tyndall, Professor an der Royal Institution of Great-Britain in London, welcher wegen dieser Schriften bei mir angefragt hatte, zugeschickt, und ihm meine Ansicht über den Wert derselben mitgeteilt. Die Antwort, welche ich darauf erhalten habe, wird für Sie gewiß von Interesse sein, und ich erlaube mir, Ihnen die betreffende Stelle wörtlich mitzuteilen. Er schreibt: "I return you my best thanks for Mayer's papers which I have read with astonishment. On Friday evening last I gave a discours in our theatre [dem Hörsaal der Royal Institution] which consisted entirely in a resumé of wath Mayer had done, and gave to him all the credit which he merits. Dove [der Physiker aus Berlin] was there and many Noblemen and Gentlemen—some of them eminent in Science. Faraday, Wheatstone and the President of the Royal Society were among the audience, and they all seemed greatly interested."

Tyndall fügt hinzu, daß er ihre letzte Schrift für das *Philosophical Magazine* übersetzen lassen werde, und vielleicht auch werde für die Übersetzung der andern Schriften sorgen können.

Ich habe geglaubt, daß Ihnen das Lesen dieser Zeilen von Tyndall Freude machen würde, und habe es daher für angemessen gehalten, Ihnen dieselben mitzuteilen; und ich wünsche Ihnen von Herzen, daß Sie immer mehr die Anerkennung finden mögen, welche Sie in so reichem Maße verdienen.[70]

Als im August 1864 die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft ihre Jahresversammlung in Zürich abhält, nimmt auf Clausius' persönliche Aufforderung und Bitte auch Robert Mayer daran teil und hat auf diese Weise Gelegenheit, mit seinem englischen Beschützer, der während dieser Tage ein Gast der Familie Clausius ist, zusammenzutreffen. So hat Clausius Tyndalls mutiges Eintreten für die Rechte Robert Mayers stets befürwortet und nach Kräften unterstützt.

Aus dem wissenschaftlichen Gedankenaustausch zwischen Clausius und Tyndall ist im Laufe der Jahre eine enge Freundschaft geworden. Das anfängliche «Sie» geht in das vertrauliche «Du» über. Tyndall übernimmt die Patenschaft für Clausius' ältesten Sohn, der den Vornamen John erhält. In jedem Jahre ergeht an den Freund die herzliche Bitte, auf dem Wege in

[69] *Die organische Bewegung* ... (1845) und *Beiträge zur Dynamik des Himmels* (1848).
[70] J. Weyrauch, *Kleinere Schriften und Briefe von Robert Mayer*, S. 365.

die Hochalpen die Familie Clausius aufzusuchen oder ein Treffen möglich zu machen. Bis zu Clausius' Tode hat diese Freundschaft angehalten. Indem die beiden Gelehrten ihre wissenschaftlichen und persönlichen Vorhaben miteinander austauschten und besprachen, haben sie sich gegenseitig unschätzbare Hilfe geleistet.

Während Clausius sich helfend und beratend den Arbeiten anderer widmete, nahm auch seine eigene produktive Tätigkeit ihren Fortgang. Die Phasenumwandlungen, durch die modellmäßigen Vorstellungen dem Verständnis nähergebracht, sollten nun den allgemeinen Prinzipien der mechanischen Wärmetheorie untergeordnet werden. Dabei ging Clausius von einem Begriff aus, den er schon 1854 in die Physik eingeführt hatte[71]. Um den zweiten Hauptsatz, von der natürlichen Richtung des Wärmeflusses, der offenbar nicht die gleiche unmittelbare Überzeugungskraft hat wie der erste, in einen formelmäßigen Ausdruck kleiden zu können, hatte er damals den Begriff der *Verwandlung* geprägt. Er hatte nachgewiesen, daß in dem von Carnot schematisierten Prozeß einer Wärmemaschine zwei Vorgänge eng miteinander verknüpft sind, einmal die *Verwandlung* eines Wärmebetrages in Arbeit bei gegebener Temperatur, zum andern der Übergang eines anderen Wärmebetrages von höherem auf tieferes Niveau oder, wie er es an dieser Stelle bezeichnete, die *Verwandlung* von Wärme höherer Temperatur in solche von niederer Temperatur. Durch eine Vorzeichengebung hatte er einen Richtungssinn festgelegt, und er hatte gezeigt, daß jeder dieser beiden Verwandlungsarten ein *Verwandlungswert* zugeordnet werden kann, der die Form Q/T bzw. $Q/T_1 - Q/T_2$ hat. Darin symbolisiert T die jeweils in Frage stehende absolute Temperatur.

Eine Wärmemaschine ist eine mechanische Einrichtung, die einen geschlossenen Turnus von Vorgängen durchläuft, um wiederum in ihren Ausgangszustand zurückzukehren und zu einem neuen Turnus anzusetzen. Eine mathematische Betrachtung, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, hatte ergeben, daß bei einer ideal arbeitenden Wärmemaschine, die alle Wärmeleitungsvorgänge vermeidet, für einen geschlossenen *Kreisprozeß* die Summe aller auftretenden Verwandlungswerte, also

$$\Sigma \frac{Q}{T} = 0,$$

ist.

Im Grenzfall beliebig vieler Umwandlungstemperaturen wird

$$\int \frac{dQ}{T} = 0.$$

[71] Siehe *Pogg. Ann. XCIII* (1854) 481ff.

Auf dem Wege einer indirekten Beweisführung aber war Clausius zu dem Schlusse gekommen, daß für jeden nichtidealen Kreisprozeß, der Arbeitsverluste durch Wärmeleitung in sich birgt,

$$\int \frac{dQ}{T} > 0$$

sein muß[72].

Vom Standpunkt der kinetischen Theorie aus sind Veränderungen des Aggregatzustandes als *Anordnungsänderungen* der Moleküle zu deuten. Diese hat Clausius in einer 1862 erschienenen Publikation als eine dritte Art von *Verwandlungen* seinem Schema so eingeordnet, daß sich auch auf sie die mathematische Form des zweiten Hauptsatzes anwenden läßt[73].

In einer 1865 erschienenen Arbeit *über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptangleichungen der mechanischen Wärmetheorie*[74] führt Clausius diejenige Begriffsbezeichnung ein, die für den zweiten Hauptsatz charakteristisch werden sollte. Er versucht eine Analogie zum ersten Hauptsatz herzustellen. Dort wird eine Wärmemenge, welche ein Körper, etwa ein Gas, bei irgendwelchen Veränderungen aufnimmt, in zwei Teile zerlegt, «deren einer U, welcher die hinzugekommene freie Wärme und die zu innerer Arbeit, falls solche geschehen ist, verbrauchte Wärme umfaßt, ... durch den Anfangs- und Endzustand des Gases, zwischen denen der Übergang stattfinden soll, schon vollkommen bestimmt wird, während der andere, welcher die zu äußerer Arbeit verbrauchte Wärme begreift, außer von jenen Grenzzuständen noch von dem ganzen Weg der Veränderungen zwischen denselben abhängt.»[75] W. Thomson hatte für die Größe U die Bezeichnung Energie eingeführt.

Auch im Zusammenhang mit dem zweiten Hauptsatz läßt sich eine Zustandsgröße festlegen. Bei einem umkehrbaren Kreisprozeß, den ein Körper durchmacht, ist die Summe der Verwandlungswerte gleich null. Dann läßt sich der Verwandlungswert eines Teilprozesses auffassen als Differenzwert einer vom Wege unabhängigen Größe S, welche dem jeweiligen Zustande des Körpers zugeordnet und als sein *Verwandlungsinhalt* bezeichnet werden kann. «Da ich es aber für besser halte», sagt Clausius,

[72] Clausius hat später aus Zweckmäßigkeitsgründen die Vorzeichengebung geändert, so daß in späteren Publikationen die Formel die Gestalt $\int \frac{dQ}{T} < 0$ erhält.

[73] Siehe *Pogg. Ann. CXVI* (1862) 73ff.

[74] Siehe *Pogg. Ann. CXXV* (1865) 353ff.

[75] Siehe *Pogg. Ann. LXXIX* (1850).

«die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger Größen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die Größe S nach dem griechischen Worte $\dot{\eta}$ $\tau\varrho o\pi\dot{\eta}$, die Verwandlung, die Entropie des Körpers, zu nennen. Das Wort Entropie habe ich absichtlich dem Worte Energie möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden Größen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach so nahe einander verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäßig zu sein scheint.»

Zum Abschluß der Abhandlung geht Clausius einem Gedanken nach, der, wie er schreibt, schon von W. Thomson entwickelt worden ist. Der erste Hauptsatz ist ein Erhaltungsgesetz, das für alle physikalischen Erscheinungen Bedeutung hat. Man ist versucht, es auf das gesamte Weltgeschehen anzuwenden und den Gesamtgehalt der Welt an Energie als unveränderlich anzusehen. Für die Entropie, den charakteristischen Begriff des zweiten Hauptsatzes, läßt sich ein entsprechendes Erhaltungsgesetz nicht aussagen. Im realen Geschehen finden laufend Verwandlungen positiven Vorzeichens, wie Wärmeleitungsvorgänge, Übergang von Arbeit in Reibungswärme, von selbst verlaufende *Anordnungsänderungen* der Körper, statt, ohne daß sie durch negative Verwandlungen kompensiert werden. Offenbar überwiegen die Vorgänge, die mit einer Entropievermehrung verbunden sind. Clausius stellt eine ins Einzelne gehende Untersuchung in Aussicht und schließt:

«Vorläufig will ich mich darauf beschränken, als ein Resultat anzuführen, daß, wenn man sich dieselbe Größe, welche ich in Bezug auf einen einzelnen Körper seine Entropie genannt habe, in konsequenter Weise unter Berücksichtigung aller Umstände für das ganze Weltall gebildet denkt, und wenn man daneben zugleich den anderen, seiner Bedeutung nach einfacheren Begriff der Energie anwendet, man die den beiden Hauptsätzen der mechanischen Wärmetheorie entsprechenden Grundgesetze des Weltalls in folgender einfacher Form aussprechen kann:

1) Die Energie der Welt ist konstant.

2) Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.»

Diese Gegenüberstellung ist zu ihrer Zeit zu einem viel behandelten Thema gelehrter Erörterungen geworden. Seiner geringen Anschaulichkeit wegen hat sich der Entropiebegriff nicht so schnell eingebürgert wie der Energiebegriff, und es waren seinerzeit Zweifel erhoben worden, ob es sich bei ihm um einen zweckmäßigen und notwendigen Begriff handle. Inzwischen hat die Praxis längst zugunsten seiner Anwendungsfähigkeit und

Brauchbarkeit entschieden. Gerade in der physikalischen Chemie, die sich am längsten dagegen gesträubt hat, ist er heute ein unentbehrliches Ausdrucksmittel geworden.

Unter dem Eindruck des Prioritätsstreites zwischen Joule und Robert Mayer und gewarnt durch unerfreuliche Erfahrungen in bezug auf eigene Arbeiten, entschließt sich Clausius, seine Publikationen über die mechanische Wärmetheorie in Buchform herauszugeben. «Ich lasse die Abhandlungen *wörtlich* abdrucken, aber unter Zufügung von erläuternden Anmerkungen und Zusätzen, welche vom Texte getrennt sind, um das ursprünglich Gedruckte von dem jetzt Hinzugefügten zu unterscheiden», schreibt er am 11. Mai 1864 an Tyndall. Der erste Band erschien 1864. 1867 folgte der zweite Band. Das Werk wurde alsbald in drei Sprachen übersetzt[76].

Auswärtige Berufungen
Rückkehr nach Deutschland

Die wissenschaftlichen Erfolge blieben nicht ohne Widerhall. Mehrfach bewarben sich auswärtige Bildungsanstalten um den bekannten Gelehrten. Von dem Briefwechsel mit Bern 1855 ist schon die Rede gewesen. 1858 fragte das Polytechnikum in Karlsruhe an. Ohne viel Aufhebens davon zu machen, entschied sich jedoch Clausius für ein Verbleiben in Zürich.

In ernste Erwägung aber zog er 1862 ein Anerbieten des Collegium Carolinum in Braunschweig, das gerade den Charakter einer polytechnischen Schule mit acht Fachabteilungen angenommen hatte. Clausius sollte die Professur für Physik mit den Gebieten Experimentalphysik, technische und mathematische Physik übernehmen. «Zur Erläuterung der staatsdienstlichen Stellung» teilt ihm das Herzogliche Direktorium des Collegium Carolinum in einem Schreiben vom 8. September 1862 mit, «fügen wir hinzu, daß die Anstellung eine unwiderrufliche auf Zeitlebens ist, daß nach den hiesigen Pensionsgesetzen die Pension in 25 Jahren eine Höhe von $^2/_3$ des ganzen Gehaltes erreicht, daß Ihnen Ihre bisherigen Dienstjahre in Zürich und Berlin auf Ihren Wunsch als hiesiges Dienstalter angerechnet werden und eine Witwenpension von 16% des Gehaltes ausbezahlt wird.» Als festes Jahreseinkommen werden 1600 Taler angeboten[77].

Clausius sendet das Schriftstück dem Präsidenten Kappeler. Er schreibt im Begleitbrief, er habe 1858 eine Anfrage aus Karlsruhe abgelehnt, ohne

[76] *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie, erste Abteilung*, Braunschweig 1864, *zweite Abteilung*, Braunschweig 1867.

[77] Kopie des Originals im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

das Angebot für sich auszunützen. «Die Anerbietungen aus Braunschweig sind aber in vieler Beziehung für mich so angenehm und günstig», heißt es weiter, «daß ich es nach dem, wie bis jetzt meine Stellung in Zürich ist, mir und meiner Familie schuldig sein würde, sie anzunehmen.» Clausius betont, daß die «fest normierten Ansprüche in Bezug auf Pension und Witwenpension» des Braunschweiger Angebotes ihn besonders bestechen, während die Schweiz eine Altersversorgung nur in unbestimmter Form zusagt[78].

Der Schulratspräsident Kappeler ist nicht der Mann, der sich kampflos seine wertvollsten Lehrkräfte entwinden läßt. Sein Brief vom 18. September 1862 an Clausius bezeugt seine väterliche Sorge um die Lehrer der ihm unterstehenden Anstalt, seine Umsicht und den offenen Ton, der für ihn im Umgang mit den Mitmenschen stets kennzeichnend gewesen ist. Schon längst ist er selbst der Ansicht, daß «die ökonomische Stellung der Lehrer» einer Prüfung zu unterziehen ist. «Ich hoffe», schreibt er, «daß die Räte der Eidgenossenschaft vor einer erheblichen Summe nicht zurückschrecken werden. Ich meinerseits denke an eine Budgeterhöhung von mindestens 40000 Fr., wovon ca. 20000 Fr. für Besoldungserhöhung zu verwenden wären, vielleicht auch mehr. 10000 Fr. möchte ich außerdem zu dem besonderen Zweck, um ausgezeichnete Kräfte gegen das Piratensystem der Concurrenzanstalten bei uns zu halten, in die Hand des Bundesrates und des Schulrates (pr. Jahr) gelegt wissen.» Kappeler wünscht, daß «mit dem Versicherungswesen eine Kasse für Alterszulagen verbunden» werde. Er plant eine Schulgelderhöhung, die zu großem Teil den Lehrkräften zugute kommen soll. Er weiß sich in diesen Punkten mit den maßgeblichen Räten des Bundesstaates einer Meinung. «Die Eidgenossenschaft hat ohne allen Zweifel den *adeligen Ehrgeiz,* diese Anstalt zu einer technischen Schule ersten Ranges zu heben, und ich hoffe zu Gott, auch den Männern, die mit der nächsten Leitung der Schule betraut sind, werde weder Begeisterung noch Mut noch Ausdauer fehlen, um das Ziel fest ins Auge zu fassen und zu erreichen.» Kappeler betont die gute finanzielle Lage der Schweiz und ihre Bereitwilligkeit, für andere der Allgemeinheit dienende Zwecke große Summen auszugeben. Und auf Clausius eingehend, heißt es: «Für einen Gelehrten und Lehrer Ihres Schlages, der einen berechtigten wissenschaftlichen Ehrgeiz haben darf, ist dergleichen, ist eine solche Situation der Anstalt nicht blauer Dunst. Und ich darf Sie nicht versichern, daß die Behör-

[78] Originalbrief vom 13. September 1862 im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

den der Schule Sie unter die vorzüglichsten Kräfte der Anstalt stellen, eine solche Versicherung wäre nutzlos.» Kappeler verweist auf das großzügige Verhalten der Schweiz bei Fragen der Altersversorgung: «Die Humanität spricht ja im einzelnen Falle ein so gewichtiges Wort, daß die Unbestimmtheit in der Tat für diejenigen, die in diese Lage kommen, besser ist als die fixe Bestimmung mäßiger Prozentsätze.» Eine mündliche Besprechung gleich nach Clausius' Rückkehr – er befindet sich gerade auf einer Reise in England – wird vorgeschlagen. «Unter allen Umständen», so schließt Kappeler, «darf ich Ihnen so viel Anhänglichkeit an eine Anstalt zutrauen, der Sie bei deren Entstehung dienten und die Sie jährlich an Bedeutung wachsen sahen, daß Sie sich nicht entschließen, dieselbe zu verlassen, ohne uns vorher bestimmte Erklärungen zu machen. Gewiß wird eine Vereinbarung bei Ihrer Zurückkunft keine Schwierigkeiten haben[79].

Die Besprechung fällt zu aller Zufriedenheit aus. Clausius entschließt sich, in Zürich zu bleiben. Im Rahmen dieser Verhandlungen überzeugt ihn noch ein unerwarteter Zwischenfall von der Wertschätzung, die man ihm in der Schweiz entgegenbringt. Er schreibt darüber an Tyndall: «Nachdem ich mit dem Präsidenten verhandelt hatte und meine Sache entschieden war, ist ein fremder Herr zum Präsidenten gekommen und hat im Namen eines unbekannten Dritten gefragt, ob der Bundesrat die gehörigen Mittel anwenden würde, um mich zu halten. Als dieses bejaht war, ist er befriedigt fortgegangen, ist aber am anderen Tage wiedergekommen und hat gesagt, damit es dem Polytechnikum für ähnliche Fälle, wo Professoren ins Ausland gerufen würden, nicht an Mitteln fehle, übersende jener Dritte dem Polytechnikum hiermit 50000 frs. als Geschenk, deren Zinsen bei solchen Gelegenheiten zu Gehaltszulagen verwandt werden sollten. Wer der freigiebige Geber ist, weiß man nicht, man vermutet aber, daß es Escher von der Linth sei[80].

Im Jahre 1866 streckte Wien seine Fangarme aus. «Vor kurzem habe ich die Anzeige erhalten», heißt es in einem Brief an Tyndall vom 16. Januar 1866, «daß das Professorenkollegium des Polytechnikums in Wien beim dortigen Ministerium meine Berufung nach Wien beantragt hat. Ich weiß noch nicht, was für Bedingungen man mir von Wien aus stellen wird,

[79] Originalbrief im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

[80] Rudolph Clausius an John Tyndall, Brief vom 10. Februar 1863. Der Donator war jedoch nicht Escher von der Linth, sondern ein Herr Schoch, der nicht genannt sein wollte. Die Schenkung dient unter dem Namen «Schochscher Schulfond» noch heute der gleichen Zweckbestimmung.

halte es aber nicht für unmöglich, daß wir hingehen.» Ehe noch die Verhandlungen zum Abschluß gekommen sind, hat sich der Konflikt zwischen Österreich und Preußen[81] zugespitzt, und Clausius besitzt die preußische Staatsangehörigkeit[82]. Auch wehrt sich die Schweiz wieder gegen den drohenden Verlust. Clausius schreibt an Tyndall: «Man hat mir aber bei der Gelegenheit hier soviel Freundlichkeit erwiesen und hat soviel zur Verbesserung meiner hiesigen Stellung getan, daß ich mich endlich zum Hierbleiben entschlossen habe. Gegenwärtig, wo sich die Lage von Österreich durch Kriegsdrohungen von allen Seiten so verschlimmert hat, habe ich allen Grund, mit dem gefaßten Entschlusse zufrieden zu sein.»[83]

1867 aber ergeht ein Ruf von Würzburg aus, dem Clausius nicht mehr widersteht. Bestimmend ist die Sehnsucht nach dem Vaterlande. Das Abschiedsgesuch trägt das Datum vom 13. Mai 1867: «Hochgeehrter Herr Präsident! Hochgeachtete Herren Schulräte! Es ist vor einiger Zeit an mich die Anfrage gelangt, ob ich die Professur der Physik an der Universität zu Würzburg annehmen wolle. Da nun, so schön der Aufenthalt in der Schweiz auch in vieler Beziehung ist, doch die Liebe zu meinem deutschen Vaterlande und der Wunsch, einmal wieder dorthin zurückzukehren, in mir nicht erlöschen konnte, und da ich fürchten mußte, daß eine so günstige Gelegenheit wie die gegenwärtige, diesen Wunsch in Erfüllung zu bringen, sich mir vielleicht nie wieder darbieten würde, so habe ich mich entschlossen, den Ruf anzunehmen.

Demgemäß erlaube ich mir, den hohen Schulrat zu ersuchen, meine Entlassung aus der Professur, welche ich am Polytechnikum inne habe, auf Schluß dieses Semesters bei dem hohen Bundesrate zu beantragen.

Ich kann dieses Schreiben nicht schließen, ohne die bestimmte Versicherung hinzuzufügen, daß nicht etwa Unzufriedenheit mit meiner Stellung am Polytechnikum mich zu meinem Entschlusse veranlaßt hat. Ich habe an dieser schönen und blühenden Anstalt mit voller Freudigkeit gewirkt und werde stets das lebhafteste Interesse an ihrem ferneren Gedeihen bewahren. Ebenso werde ich das große und immer gleich bleibende Wohlwollen, wel-

[81] 1864 hatte Dänemark im Frieden zu Wien auf Schleswig-Holstein und Lauenburg zugunsten von Österreich und Preußen verzichtet. Zerwürfnisse bei der gemeinschaftlichen Regierung der Herzogtümer führten 1866 zum Krieg zwischen Preußen und Österreich.

[82] Am 21. Januar 1856 war einem an den König von Preußen gestellten Gesuch Clausius', auch während seiner Lehrtätigkeit in der Schweiz preußischer Untertan bleiben zu dürfen, stattgegeben worden.

[83] Rudolph Clausius an John Tyndall, Brief vom 14. Mai 1866.

ches die vorgesetzten Behörden und insbesondere Sie, hochgeehrter Herr Präsident und hochgeachtete Herren Schulräte, mir bewiesen haben, nie vergessen und fühle mich verpflichtet, Ihnen dafür meinen aufrichtigen und tiefgefühlten Dank auszusprechen.»[84]

Clausius' Dankesworte an seine vorgesetzte Behörde und deren Präsidenten waren keine leeren Phrasen. Sein zwölfjähriger Aufenthalt in der Schweiz war für ihn eine überaus glückliche Zeit gewesen. Die Rührigkeit, vor allem die geistige Regsamkeit von Stadt und Land, dazu Zürichs von der Natur ausgezeichnete Lage, die herrliche Umgebung und das gesunde Klima hatten eine Atmosphäre geschaffen, die der wissenschaftlichen Tätigkeit günstig gewesen war. Die aufrechte und offene Gesinnung, die ihm seine Vorgesetzten stets entgegengebracht hatten, war seiner Wesensart gemäß gewesen. Er hatte das Wohlwollen der Behörden genossen. In seinem Abschiedsbrief an den Erziehungsrat des Kantons Zürich gedenkt er dankbar *der freundlichen Bereitwilligkeit,* mit welcher man *trotz prinzipieller Meinungsverschiedenheit* doch alle seine Vorlesungen den Studierenden der Universität zugänglich gelassen hat[85]. Im Umgang mit seinen Fachkollegen war die Achtung, die er jedem Mitmenschen entgegenbrachte, stets in hohem Maße erwidert worden. Die liebenswürdige Erinnerung an die Gründung und die ersten Jahre eines glücklichen Familienlebens war mit der Züricher Zeit verbunden. Unter den Professoren der Hochschulen ließ er beim Abschied aufrichtige Freunde zurück. Mit einigen war er fürs Leben verbunden, da sie Patenschaften für seine Kinder übernommen hatten.

Schon nach eineinhalb Jahren hat Clausius Würzburg wieder verlassen. 1869 folgte er einem Ruf nach Bonn, wo er bis an sein Lebensende verblieb. Dort erlebte die Familie den Krieg 1870/71. Clausius, der sich einem Corps von freiwilligen Krankenpflegern zur Verfügung gestellt hatte, erfuhr eine Verletzung am Knie, die seine körperliche Beweglichkeit für mehrere Jahre beeinträchtigte. 1875 lud der Tod der Ehegattin Adelheid Clausius die Sorge um die sechs Kinder, von denen das älteste vierzehn, das jüngste drei Jahre zählte, allein auf die Schultern des Vaters. Indessen halfen ihm bald die heranwachsenden Kinder, besonders die ältesten Mädchen, diese Last zu tragen.

In den Jahren der Lehrtätigkeit in Deutschland reißen die Verbindungen zu den Schweizer Freunden nicht ab. Als 1883 die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft wieder Zürich zu ihrem Tagungsort wählt, lädt

[84] Originalbrief im Archiv des Schweizerischen Schulrates.

[85] Rudolph Clausius an den Erziehungsrat. Brief vom 13. Mai 1867, Staatsarchiv Zürich.

Professor Mousson Clausius und seine nun zwanzigjährige Tochter Helene nach Zürich ein. Frau Mousson will ihr Patenkind wiedersehen. Am 5. August treffen Vater und Tochter ein. Helene schreibt an eine Cousine in Braunschweig: «Zuerst war es die wunderhübsche, freundliche Stadt selbst, die mir als meine Geburtsstadt noch besonders gefiel, die schöne Umgebung und der herrliche See!» Vor allem beeindruckt sie der Geist der Versammlung und die Hochachtung, die man ihrem Vater entgegenbringt. Sie wohnt den öffentlichen Vorträgen bei. «... aber schon allein die Versammlung zu sehen, war höchst interessant und spannend, eine solche Anzahl kluger Köpfe und geistreicher Gesichter! Unter ihnen zu leben und mit ihnen zu reden und Freundlichkeiten von großen, berühmten Männern zu erfahren, Du kannst Dir kaum denken, wie anregend und erhebend das war, besonders an der Seite von Papa dabei zu stehen, der selbst wie kaum ein anderer geachtet und geehrt wurde.» Dazu kam die Freude, «von so vielen lieben Menschen, meist Freunden der Eltern aus Züricher und Würzburger Zeit so herzlich bewillkommt zu werden! Eine Menge Bekannter trafen wir dort, mir zwar zum großen Teil erst dem Namen nach bekannt, aber alle traten auch mir gleich wie alte Freunde entgegen.» Auch das einst so vertraut gewordene Land zeigt sich noch einmal im schönsten Glanze: «Von Zürich fuhren wir nach Luzern ... Dann ging's nach dem Rigi. Dort haben wir es herrlich getroffen. Fast immer klare Aussicht, einen schönen Abend und einen so wundervollen Morgen, daß ich ihn nie vergessen werde. Die ganze Berner Alpenkette, sowie der nähere Halbkreis vom Säntis bis herum zum zackigen Pilatus lag im hellsten Licht der Morgensonne vor uns, unter uns schimmerten die schönen grünen Seen, und aus dem Tale läuteten die Glocken den Sonntag ein.»[86]

Außer den allgemeinen Zusammenkünften fanden auf den Tagungen der Naturforschenden Gesellschaft auch parallel laufende Sitzungen der einzelnen Fachrichtungen statt. In der physikalischen Sektion wurde Clausius das Präsidium übertragen. Er hielt selbst einen Vortrag über *Eine Theorie der dynamoelektrischen Maschinen*, ein Gebiet, welches ihn während seiner letzten Jahre in Bonn besonders beschäftigte. Den Schöpfer des Entropiebegriffes ehrend, sprach in der gleichen Gruppe der Genfer Raoul Pictet[87] zu dem Thema: *Demonstration expérimentale du second principe*

[86] Helene Clausius an Helene Rimpau. Brief vom 31. August 1883. In Familienbesitz.

[87] Raoult Pictet (1846–1929) war 1879 bis 1885 Professor der Physik in seiner Heimatstadt Genf. 1877 gelang ihm die Verflüssigung von Sauerstoff und Stickstoff. 1886 gründete er in Berlin eine Kältemaschinenfabrik.

de la théorie mécanique de la chaleur, wobei er auch auf Kältemaschinen einging.

Von Clausius' alten Bekannten und Freunden an Universität und Polytechnikum, die an der Versammlung von 1883 in Zürich teilnahmen, sind, abgesehen von dem Gastgeber, Professor Mousson, der Schulratspräsident Kappeler zu nennen, und außerdem Oswald Heer, der, obwohl schwer leidend, dennoch Ehrenpräsident der botanischen Sektion war und dort einen Vortrag über *Die fossile Flora von Grönland* hielt. Noch im gleichen Jahre hatten die Schweizer Naturforscher seinen Tod zu beklagen.

Als Clausius, einundsechzigjährig, an der Züricher Tagung teilnahm, war er eine mit vielen Anerkennungen ausgezeichnete Persönlichkeit. Zahlreiche naturforschende Gesellschaften hatten ihn zum Ehrenmitgliede ernannt. In Preußen und Bayern, in Frankreich und England waren ihm Orden und Ehrenmedaillen verliehen worden. Im kommenden Jahre sollte er Rektor der Universität Bonn werden. Alle Ehrenbezeugungen aber hatten seinem schlichten und liebenswürdigen Wesen und seinem rechtlichen Sinn keinen Abbruch tun können. Hochachtung und Zuneigung, die ihm allerwärts zuteil wurden, galten – nach Tyndalls Worten – *nicht nur dem großen Forscher, sondern auch dem aufrechten Manne*[88]. Eine perniciöse Anämie wurde 1888 zur Todesursache. Bis in die letzten Tage seines Lebens war Clausius als Lehrer und Forscher tätig. In einer seiner Rektoratsreden hatte er als Ziel der exakten Naturwissenschaften des 19. Jahrhunderts das Streben nach Vereinheitlichung hingestellt, das Bemühen, für die verschiedenartigen Erscheinungen eine gemeinsame Erklärung zu finden. Unter diesem Blickpunkte hatte er in der letzten Periode seines Daseins sein eigenes Arbeitsfeld erweitert und vertieft. Dennoch dürfen die Züricher Jahre für sich in Anspruch nehmen, daß in diesem Lebensabschnitt diejenigen Arbeiten gereift und entstanden sind, denen der nachhaltigste Erfolg beschieden gewesen ist.

Herrn Oberstudiendirektor i. R. Dr. phil. Rudolf Budde in Bremen und Herrn Dr. med. Otto Budde in Efringen, den Enkeln von Rudolph Clausius, sowie Herrn Dr. med. Konrad Sochatzy in Alzey, dem Großneffen von Rudolph Clausius, möchte ich an dieser Stelle für die liebenswürdige und bereitwillige Überlassung von Briefen und Dokumenten meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

---

[88] 1879 erhielt Clausius die Copley-Medaille, die höchste Auszeichnung, welche die Royal Society an Wissenschaftler verleiht. Die obigen Worte stammen aus einer Ansprache, die Tyndall damals während eines Banketts zu Ehren seines Freundes hielt.