

12. Heizen

- 12.1 Wärme – eine besondere Form der Energie
- 12.2 Ein Zimmer heizen – physikalische Überlegungen
- 12.3 Ein Zimmer heizen – ökologische Überlegungen
- 12.4 Wärmeverluste durch die Außenwände
- 12.5 Biographie: Rudolf Clausius

Die Beherrschung des Feuers zum Wärmen, zur Bereitung von Speisen und zur Abwehr wilder Tiere war ein entscheidender Fortschritt in der Entwicklung vom Affen zum Menschen. Daran erinnert der Mythos vom Prometheus, der den Menschen das Feuer vom Himmel brachte und dafür von den Göttern grausam bestraft wurde. Feuer gehörte vielleicht schon seit einer Million Jahre zum Leben unserer Vorfahren. Die Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert und das wissenschaftliche Verständnis der Wärme erlaubte es, Wärme auch einzusetzen, um dem Menschen mühsame Arbeit abzunehmen.

12.1 Wärme – eine besondere Form der Energie

Temperatur: Im Alltag wird der Begriff Wärme in zwei Bedeutungen benutzt: Man sagt z.B., "dass man sich in der Wärme wohlfühle" oder "dass ein Zimmer eine angenehme Wärme habe" oder andererseits "dass ein Ofen Wärme abgebe" oder "dass Wärme verloren gehe". Im ersten Fall verbinden wir mit Wärme einen Zustand bzw. eine Eigenschaft "warm" oder "kalt". Sie lässt sich mit unserem Tastsinn erfahren. Indem wir die Hand an die Stirne eines Kindes legen, können wir feststellen, ob es Fieber hat.

Die qualitativen Empfindungen heiß, warm oder kalt werden durch den Begriff der Temperatur quantifiziert. In den Thermometern benutzt man gewisse physikalische Eigenschaften, die sich in Abhängigkeit von der Temperatur ändern, z.B. die Ausdehnung von Flüssigkeiten oder den elektrischen Widerstand. Alle Thermometer müssen geeicht werden.

Wärmeenergie: Der zweite zentrale Begriff der Wärmelehre ist die Wärmeenergie oder thermische Energie. Für sie hat unser Körper kein unmittelbares Sinnesorgan. Dennoch haben wir aus dem täglichen Leben vielfache Beispiele dafür, dass das Erwärmen einer Substanz mit Energieaufwand verbunden ist. Beim Bremsen von Autos werden die Bremsen heiß. Hierbei wird die Bewegungsenergie des Autos verkleinert und in Wärmeenergie umgewandelt. Beim Erhitzen von Wasser auf dem Herd muss man für die "verbrauchte" elektrische Energie bezahlen. Wir lernen: Um einen Körper zu erwärmen, d.h. um seine Temperatur zu erhöhen, ohne ihn zu bewegen oder zu verformen, müssen wir dem Körper Energie zuführen. Diese Energie kann zunächst in verschiedener Form vorliegen (als Bewegungsenergie wie beim Auto, als elektrische Energie auf dem Herd oder als Energie aus der Verbrennung von Gas, Kohle oder Holz). Durch verschiedene Verfahren wird diese Energie in thermische Energie umgewandelt und zwar vollständig. Das garantiert uns der Satz von der Erhaltung der Energie.

Wie viel Energie nötig ist, um bei einer gegebenen Substanz eine bestimmte Temperaturerhöhung zu erzielen, hängt von der Masse der Substanz und einer Material-

eigenschaft, der spezifischen Wärmekapazität, ab. Um 1 kg Wasser von 0°C auf 100°C zu erwärmen, ist eine Energie von 419 kJ oder 0,116 kWh nötig, für dieselbe Masse Aluminium nur etwa ein Fünftel nämlich 0,025 kWh und für 1 kg Luft bei konstantem Druck 0,028 kWh. Bei einem Preis von etwa 20 ct/kWh für elektrische Energie kostet es etwa 2 ct, wenn man einen Liter Wasser von 0°C zum Kochen bringt.

Versuch: Umwandlung elektrischer Energie in Wärme

Wertigkeit von Energie: Schon aus dem täglichen Leben wissen wir, dass es verschieden wertvolle Formen der Energie gibt. Für 1 kWh elektrische Energie zahlen wir etwa 20 ct, aber nur etwa 5 ct, wenn die dieselbe Energiemenge in Form von Gas, das wir zum Heizen und Kochen benutzen, geliefert wird. Der Grund für diesen Preisunterschied liegt darin, dass sich elektrische Energie vielfältiger einsetzen lässt als Gas, was im Folgenden erläutert wird.

Es ist ein Grundgesetz der Physik, dass die Energie Q in Form von Wärme sich nur **teilweise** in Energie W in Form von Arbeit oder Elektrizität umwandeln lässt. Man nennt das Verhältnis

$$\eta = W/Q = (T_1 - T_2)/T_1 \quad (1)$$

den Wirkungsgrad, wobei man sich eine Dampfmaschine vorstellen kann, die mit Dampf einer Temperatur T_1 beginnt, die Restwärme bei einer Temperatur T_2 abgibt und dabei die Arbeit W verrichtet. Für Ottomotoren liegen die Werte von η zwischen 10% und 37%, für Dieselmotoren zwischen 15% und 55% und für Wärmekraftwerke auf Kohlebasis zwischen 25% und 45%. Wenn man z.B. Gas benutzt, um in einem Wärmekraftwerk elektrische Energie zu erzeugen, wandelt man zunächst etwa 2-3 kWh im Gas steckender chemischer Energie in Wärme um, aus denen man schließlich 1 kWh elektrischer Energie erhält. Das erklärt den „physikalischen Anteil“ an der Differenz zwischen Gas- und Strompreis. Der umgekehrte Prozess, elektrische Energie in Wärme zu verwandeln, verläuft verlustfrei.

12.2 Ein Zimmer heizen – physikalische Überlegungen

Wir betrachten jetzt die Luft in einem Zimmer mit dem Volumen V . Die darin enthaltene Luft hat den Druck p und die Temperatur T , die wir der Einfachheit halber in Kelvin messen. Zwischen diesen drei Variablen gibt es den Zusammenhang

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T \quad (2)$$

worin N die Zahl der Moleküle in dem Zimmer und k die sog. Boltzmannkonstante sind. Die einzelnen Moleküle fliegen durch den Raum, stoßen gegeneinander und an die Wände, wodurch der Druck erzeugt wird. Wenn wir auch über die Geschwindigkeiten v_i der einzelnen Moleküle keine Aussage machen können, ist jedoch die mittlere kinetische Energie der Moleküle durch die Temperatur bestimmt:

$$\langle E_{\text{kin}} \rangle = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \quad (3)$$

Mit Hilfe der Gleichungen (2) und (3) betrachten wir nun die Aufheizung des Zimmers. Mit einem Ofen führen wir der Luft d.h. den Luftmolekülen im Raum Energie dadurch zu, dass die Moleküle an den Ofen stoßen und sich dabei ihre mittlere kinetische Energie von $\langle E_{\text{kin}} \rangle$ auf

$\langle E_{\text{kin}}^* \rangle = 3/2 \cdot k \cdot T^*$ und damit auch die Zimmertemperatur von T auf T* erhöht. Soweit ist alles klar.

Aber erhöht sich damit auch die Energie des Raumes? Dazu müssen wir uns die Gleichung $p \cdot V = N \cdot k \cdot T$ ansehen. Wenn die Temperatur von T auf T* steigt, muss sich in der Gleichung auch eine weitere Größe verändern. Wegen der Konstanz des Zimmer Volumens, können das nur p oder N sein. Da nun das Zimmer nicht luftdicht abgeschlossen ist, herrscht in ihm immer der Aussendruck p, unabhängig von der Zimmertemperatur. Damit die obige Gleichung erfüllt ist, muss sich also N, die Zahl der Moleküle im Raum verändern: bei steigender Temperatur muss N auf N* abnehmen, d.h. einige aufgeheizte Moleküle müssen den Raum verlassen, bis $N \cdot T = N^* \cdot T^*$ erfüllt ist. Deshalb gilt für die Gesamtenergie in dem Raum $E = 3/2 \cdot N \cdot k \cdot T = 3/2 \cdot N^* \cdot k \cdot T^*$; sie wird durch das Aufheizen nicht verändert. Wir haben die etwas paradox klingende Aussage. Die aufgewandte Heizenergie dient dazu, die Raumtemperatur zu erhöhen, aber sie selbst verschwindet aus dem Raum.

Versuch: Erwärmung eines Gases, dessen Volumen mit einem beweglichen Stempel abgeschlossen ist.

Wie viel Energie braucht man nun, um die Temperatur der Luft in einem Zimmer mit einem Volumen von 50 m³ um 10°C zu erhöhen. Man berechnet, dass die Masse der Luft im Zimmer 6,5 kg beträgt, damit benötigt man 0,018 kWh. Das kostet 0,1 ct bei einem Gaspreis von 5 ct pro kWh – ein verschwindend kleiner Betrag! Woher kommen also die hohen Heizkosten?

12.3 Ein Zimmer heizen – ökologische Überlegungen

Wenn man die Temperatur in einem Zimmer erhöhen will, muss man Wärmeenergie zuführen, z.B. indem man organische Substanzen verbrennt. Man unterscheidet dabei den Brennwert einer Substanz und den Heizwert. Der Brennwert eines Stoffes gibt die Wärmemenge an, die bei Verbrennung und anschließender Abkühlung der Verbrennungsgase auf 25 °C frei wird. Im Gegensatz dazu bezeichnet der Heizwert die *nutzbare* Wärmemenge, das ist der Brennwert des Stoffes minus die durch die Freisetzung heißer Abgase fortgetragene Energie.

Die folgende Tabelle enthält die Brennwerte verschiedener Stoffe. Wenn man von dem Hausmüll absieht, der viele z.T. nicht brennbare Anteile enthält, liegen die Brennwerte der verschiedenen Stoffe nur um etwa einen Faktor zwei auseinander.

Brennstoff	Feuchtigkeit [%]	Brennwert [kWh/kg]
Stroh	15	4,0
Scheidholz (Buche)	20	4,1
Haushaltsmüll	30-40	2,5
Schweres Heizöl		11,9
Steinkohle	10	6,9 – 7,0
Erdgas		10,8

Während der Brennwert eine inhärente Eigenschaft eines Stoffes ist, hängt der Heizwert zusätzlich sehr stark von der Konstruktion des verwandten Ofens ab. Bei einem offenen Kamin beträgt der Heizwert nur etwa 10 – 30 % des Brennwertes, bei

einem im Haushalt verwandten Kohleofen etwa 30 – 50 %. Sehr viel Wärmeenergie geht, wie man so sagt, „durch den Schornstein“. Die modernen Gasöfen versuchen deshalb die Abgastemperatur zu drücken und den entstehenden Wasserdampf zu kondensieren, um die Kondensationswärme zurückzugewinnen, denn gerade der Dampf im Abgas trägt viel Energie weg. Man kann nicht genug betonen, dass die Feuchtigkeit eines Brennstoffes bzw. der Wasserdampf, der beim Verbrennungsprozess entsteht, den Heizwert entscheidend beeinflusst.

Bei elektrischen Heizöfen geht zwar keine Wärmeenergie durch Abgase verloren, aber, wie wir schon oben diskutiert haben, braucht man etwa dreimal so viel Wärme, um 1 kWh elektrische Energie zu erzeugen, die dann im Zimmer in 1 kWh Wärmeenergie umgewandelt wird. Also liegt auch hier der effektive Wirkungsgrad in der Gegend von 30 - 40%.

Die Wärmepumpe ist eine interessante Alternative zum Heizen durch Verbrennen. Im Prinzip ist sie eine „rückwärtslaufende Dampfmaschine“: Während in der üblichen Dampfmaschine der heiße Dampf benutzt wird, um Arbeit zu verrichten, und der kalte Dampf in die Umwelt abgegeben wird, nimmt die Wärmepumpe aus der Umwelt kühle Luft auf, wärmt sie in einem Arbeitsprozess (keinem Verbrennungsprozess, sondern z.B. Kompression) auf und gibt die Wärme im Haus wieder ab. Abb. zeigt eine mögliche Realisierung.

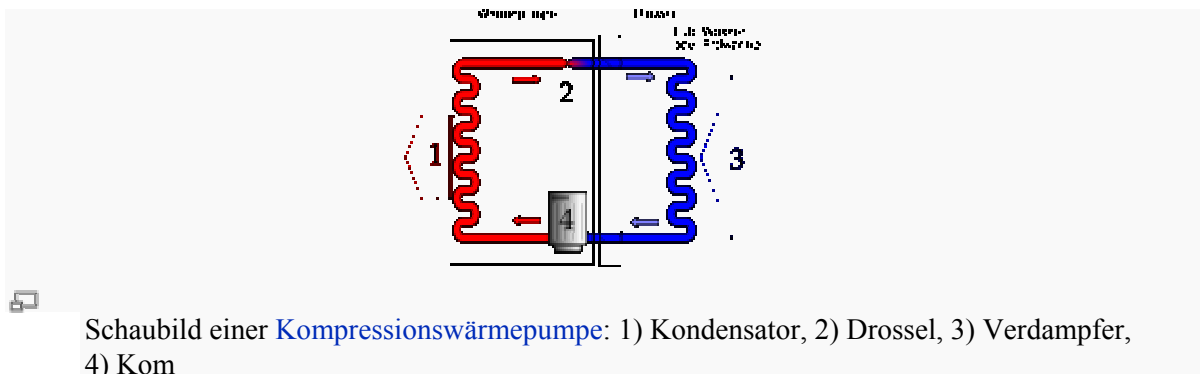


Schaubild einer [Kompressionswärmepumpe](#): 1) Kondensator, 2) Drossel, 3) Verdampfer, 4) Kom

Die blau-gezeichnete Schlange enthält ein Gas, das die Temperatur der Umwelt (Luft oder Bodentemperatur) annimmt. Das Gas wird ins Haus geleitet, wo ein Kompressor (4) den Druck erhöht, bis das Gas kondensiert und dabei seine Kondensationswärme abgibt, die dann zum Erwärmen der Zimmerluft benutzt wird. Über eine Drossel (2) entspannt sich die Flüssigkeit und wird wieder zu Gas von einer Temperatur, die unter der der Außenwelt liegt. Die Außenwelt wärmt das Gas, das dann durch den Kompressor wieder in den Innenraum gedrückt wird usw. Der Wirkungsgrad einer solchen Maschine wird definiert durch die Wärme Q , die bei einer Temperatur T in das Haus abgegeben wird, dividiert durch die vom Kompressor verrichtete Arbeit W :

$$\eta = Q/W = T/(T-T^*) > 1,$$

wobei T^* die Temperatur der Umwelt angibt.

Die Wärmepumpe kann auch als umgekehrt laufender Kühlschrank angesehen werden.

Versuch: Kondensation durch Druckerhöhung

Versuch: Abkühlung durch Entspannung (Joule Thomson Effekt)

Das sieht so aus, als könne man hier Wärmeenergie „für umsonst“ bekommen. Allerdings sieht die Wirklichkeit weniger rosig aus.

Beispiel: Das untere Temperaturniveau T^* einer Wärmepumpe liegt bei $10\text{ }^\circ\text{C}$ ($T^* = 283,15\text{ K}$) und die Nutzwärme wird bei $50\text{ }^\circ\text{C}$ ($T = 323,15\text{ K}$) übertragen. Nach der obigen Formel würde der Wirkungsgrad bei 8,1 liegen. Technisch erreichbar ist bei dem Temperaturniveau nur ein Wert von 3,5. Damit können also mit einer Arbeitsenergie von 1 kWh, die z.B. als elektrische Leistung eingebracht wird, 3,5 kWh als Wärme bei $50\text{ }^\circ\text{C}$ genutzt werden können. In der Gesamtbetrachtung muss aber der Kraftwerkswirkungsgrad berücksichtigt werden, der bei ca. 33 % liegt, d.h. um 1 kWh elektrischer Energie zu produzieren, muss man eine Primärenergie von 3 kWh aufwenden. Der thermische Gesamtwirkungsgrad bezogen auf den Primärenergieaufwand zur Nutzwärme beträgt dann 1,15; somit erhält man praktisch nur einen geringfügig höheren Wirkungsgrad wie für den Fall der direkten Wärmenutzung. Wenn man allerdings die elektrische Energie in einem hauseigenem Generator mit Kraft-Wärme Kopplung erzeugt, kann man auch die Abfallwärme im Haus nutzen und kommt so zu effektiven Wirkungsgraden für Wärmepumpen deutlich über 1.

In Ländern, in denen die elektrische Energie aus „Wasserkraft“ mit einem deutlich höheren Wirkungsgrad gewonnen wird, ist dann der Einsatz von Wärmepumpen sehr sinnvoll.

12.4 Wärmeverluste durch Außenwände

Wir alle wissen aus Erfahrung, dass ein einmal geheiztes Zimmer sehr schnell wieder abkühlt. Wir wollen uns hier allein mit dem Wärmefluss durch die Außenwände beschäftigen, da dieser Effekt physikalisch gut definiert ist und auch durch geeignete Wärmedämmung beherrschbar ist. Aus der Theorie der Wärmeleitung wollen wir hier nur die Formel für den stationären Fall (also keine Zeitabhängigkeit) angeben und benutzen:

$$Q/\Delta t = \lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)/d.$$

Die in der Zeiteinheit Δt aus einem Raum nach außen abfließende Wärmemenge Q ist proportional zur Fläche A der Außenwände, ihrer Dicke d und zur Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ zwischen der Außen- und Innenseite der Wand. Die spezifische Wärmeleitfähigkeit λ ist eine Eigenschaft des Materials, aus dem die Wand besteht. Die Werte für λ streuen zwischen 0,15 und 0,8 W/K·m, z.B. gilt für Gasbeton $\lambda = 0,15\text{ W/K}\cdot\text{m}$ und für Ziegel ein Bereich von $\lambda = 0,4$ bis $0,8\text{ W/K}\cdot\text{m}$.

Versuch: Wärmeleitung in verschiedenen Metallstäben

Wir wollen jetzt für ein Beispiel den täglichen Wärmeverlust durch Wärmeleitung ausrechnen. Dabei nehmen wir ein Wohnzimmer eines Reihenhauses an, dessen Außenwand eine Fläche von $A = 15\text{ m}^2$, eine Dicke $d = 0,3\text{ m}$ hat und aus Ziegeln mit einem Wert $\lambda = 0,5\text{ W/K}\cdot\text{m}$ gemauert ist. Für eine Temperaturdifferenz $(T_1 - T_2) = 30\text{ K}$ ergibt sich dann eine Verlustleistung von $Q/\Delta t = 0,75\text{ kW}$. Innerhalb eines Tages verschwindet also nur durch die Außenwand eine Wärmeenergie von $Q = 18\text{ kWh}$, für die man 0,90 € zahlen muss, wenn man Gas zum Heizen benutzt und 3,60 €, wenn man Strom benutzt.

Schon diese Abschätzung zeigt, dass die Höhe des Energieverbrauchs beim Heizen nicht daher kommt, dass man einmal die Temperatur in einem Zimmer durch

Energiezufuhr erhöht, sondern dadurch, dass man dauernd die Wärmeverluste ersetzen muss. Diese Verluste lassen sich dadurch reduzieren, dass man die Wände dämmt, die Fenster mit Isolierglas versieht, Fenster und Türen abdichtet etc.. Hier liegen sicherlich noch sehr große Potenziale für die Energieeinsparung.

12.5 Biographie: Rudolf Clausius (1822 – 1888)

"...in the memoir of Clausius ... the science of thermodynamics came into existence..."

Gibbs

Rudolf Clausius wurde in Köslin im damaligen Preußen geboren. Er entstammte einer großen Familie (mit insgesamt 18 Kindern) und war der 6. Sohn eines Pfarrers und Schulrats, der selbst eine kleine Privatschule gegründet hatte. Rudolf besuchte zunächst diese Privatschule und wechselte dann später auf ein Gymnasium in Stettin, wo er bis zu seinem Schulabschluss im Jahre 1840 blieb. Anschließend begann er sein Studium an der Berliner Universität, ohne sich zu Beginn bereits im Klaren zu sein, welche Fächer er belegen sollte. Am Anfang zeigte er großes Interesse an der Geschichte, aber letztlich entschied er sich für die Mathematik und die Naturwissenschaften. Nach seinem Examen im Jahre 1844 unterrichtete Clausius mehrere Jahre Mathematik und Physik am Friedrich Werder Gymnasium. Nebenher fertigte er eine Doktorarbeit über Optische Effekte in der Erdatmosphäre an und promovierte 1848 in Halle zum Doktor der Philosophie. In seiner Dissertation ging er zwar von falschen Voraussetzungen aus, indem er die Phänomene in der Erdatmosphäre (Himmelsblau, rote Sonne beim Untergang) auf Reflektion und Brechung und nicht auf Streuung des Lichts zurückzuführen versuchte. Doch er verstand es, die Mathematik auf diese Erklärung so geschickt einzusetzen, dass diese Arbeit als Beispiel dafür angesehen werden kann, wie ein physikalisches Problem die Entwicklung der Mathematik auch dann beeinflussen kann, wenn die physikalischen Grundannahmen nicht zutreffend sind.



Clausius erste Arbeit zur Theorie der Wärme erschien im Jahre 1850. Diese Veröffentlichung machte ihn mit einem Schlag bekannt und berühmt, so dass er noch im gleichen Jahr eine Stelle als Professor an der Königlichen Artillerie- und Ingenieurschule in Berlin erhielt und außerdem Privatdozent an der Berliner Universität wurde. In dieser Arbeit erhält das kurz zuvor postulierte Prinzip der Energieerhaltung seine erste quantitative Formulierung und wird zum 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Clausius hatte erkannt, dass Wärme kein unveränderlicher Stoff ist, sondern eine Energieform, die man in andere Formen umwandeln kann. Allerdings erklärt der Energieerhaltungssatz noch nicht, dass die Umwandlung von Energie nicht in beliebiger Richtung stattfindet. Bringt man z.B. zwei unterschiedlich warme Körper in Kontakt, so haben sie schließlich die gleiche Temperatur. Es passiert niemals, dass der kältere Körper Wärme an den wärmeren Körper abgibt. Diese Erfahrung wird von Clausius als der 2. Hauptsatz der Thermodynamik bezeichnet.

Im Jahre 1855 erhielt Rudolf Clausius einen Ruf auf den Lehrstuhl für Mathematische Physik am Züricher Polytechnikum, der späteren Eidgenössischen Technischen Hochschule. Gleichzeitig wurde er Professor an der Universität Zürich. Zwar verspürte Clausius immer wieder Heimweh nach Deutschland, andererseits herrschte in Zürich eine ausgezeichnete intellektuelle Atmosphäre, in der er von hervorragenden Mathematikern und Physikern umgeben war. Er arbeitete zunächst auf dem Gebiet der kinetischen Gastheorie, und seine Ideen mündeten bald in zwei wesentlichen Veröffentlichungen zu diesem Thema: "Über die Art der Bewegung, die wir Wärme nennen" (1857) und "Über die mittlere freie Weglänge, die von einzelnen Molekülen bei der Bewegung in Gasen zurückgelegt wird." (1858). Clausius machte die Annahme, dass sich die Moleküle zwischen zwei Stößen gleichförmig (geradlinig) bewegen und berechnete daraus die mittlere Geschwindigkeit von Wasserstoffmolekülen bei Normalbedingungen. Der dabei erhaltene Wert von etwa 2000 m/s schien der langsamen Diffusionsrate zu widersprechen, doch Clausius konnte den Widerspruch durch Einführung der mittleren freien Weglänge lösen.

Ferner beschäftigte er sich weiterhin mit der Theorie der Wärme, die er in mehreren Veröffentlichungen weiter ausbaute. Hierbei führte er im Jahre 1865 zum ersten Mal den Begriff der Entropie ein und formulierte die beiden Hauptsätze der Thermodynamik in der folgenden Form:

1. Die Energie des Universums ist konstant.
2. Die Entropie des Universums strebt einem Maximum entgegen.

Während seiner Zeit in Zürich heiratete Clausius 1859 Adelheid Rimpam, die ihm insgesamt 6 Kinder schenkte, die Geburt des sechsten allerdings nicht überlebte. Clausius, der inzwischen sehr bekannt war, erhielt mehrere Angebote von Technischen Hochschulen und Universitäten, die er aber ablehnte. Selbst ein Ruf aus Braunschweig, der Heimatstadt seiner Frau, blieb unberücksichtigt. Erst im Jahre 1867 konnte er dem Heimweh nach Deutschland nicht länger widerstehen, akzeptierte den Ruf auf eine Professur an der Universität Würzburg und verließ Zürich mit viel Wehmut. Nachdem er einen Ruf nach München ausgeschlagen hatte, übernahm er dann 1869 einen Lehrstuhl an der Universität Bonn. Kurz nachdem er seine letzte bedeutende Arbeit zur Thermodynamik geschrieben hatte, brach der Krieg zwischen Frankreich und Deutschland aus, der sich auch auf das persönliche Schicksal von Rudolf Clausius auswirken sollte. Der fast 50-jährige Professor fühlte sich nämlich als Patriot verpflichtet, seinem Vaterland zu dienen. Er rekrutierte und führte ein studentisches Sanitätskorps an die Front, wobei er selbst am Bein schwer verwundet wurde. Ausgezeichnet mit dem Eisernen Kreuz hatte er von nun an häufig mit Schmerzen und Unannehmlichkeiten zu kämpfen. Hinzu kam, dass 1875 seine Frau starb und er sich um die Kinder kümmern musste. All diese Probleme schienen ihm unvereinbar mit einer konzentrierten akademischen Arbeit.

Um die Probleme mit dem verletzten Bein besser in den Griff zu bekommen, empfahl ihm der Arzt, doch reiten zu lernen. Und bald schon war Clausius ein guter Reiter und konnte auf dem Rücken eines Pferdes den Weg zu seinen Vorlesungen gut und schnell zurücklegen. Er gab dann im Jahre 1876 eine überarbeitete Version seiner Arbeiten zur Thermodynamik unter dem Titel "Die mechanische Wärmetheorie" heraus, die für viele Jahre zum Standardlehrbuch der Wärmelehre wurde. Außerdem beschäftigte er sich seit 1875 mit der Elektrodynamik bewegter Körper, die in der Entwicklung der

Elektrodynamik eine Rolle spielte, deren Lösung aber erst 1905 von Albert Einstein gefunden wurde.

Im Jahre 1884 wurde Rudolf Clausius Rektor der Universität Bonn und nach seiner Amtszeit heiratete er ein zweites Mal. Seine Frau Sophie Stack und er bekamen noch einen Sohn. Obwohl Clausius bereits an einer akuten Anaemie litt, arbeitete er unvermindert weiter. Er gab noch die 3. Auflage seiner "Wärmetheorie" heraus und nahm selbst an seinem Krankenbett noch Prüfungen ab. Er war die Verkörperung von Aufrichtigkeit und Pflichtbewusstsein bis zu seinem Tode.

Rudolf Clausius war ein theoretischer Physiker, der eine entscheidende Rolle beim Aufbau der Theoretischen Physik als eigenständiger Disziplin spielte.