

Wenn Wärme nicht als „minderwertige“ Energie angesehen würde ...

Kritische Anmerkungen zum 2. Hauptsatz / Von Gotthard Barth

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik gehört für viele zu den am besten abgesicherten Naturgesetzen. Über diese allgemein schrieb Prof. Dr. Wolfgang Wild, Rektor der Technischen Universität München, 1984 in der Zeitschrift „Universitas“: „Naturgesetze stellen keine gesicherte, unumstößliche bewiesene Erkenntnis dar. Sie sind Hypothesensysteme, die überholbar, fehlbar und bis in ihre Fundamente hinein aufhebbar sind.“ Ist es Zufall, daß in jüngster Zeit gerade der 2. Hauptsatz erneut diskutiert wird? Könnte sein Gehalt zu einem Dogma erstarrt sein, das neue Wege in der Energietechnik verschließt? Für die VDI-Gesellschaft Energietechnik mangelt es lediglich am richtigen Verständnis für das mit dem 2. Hauptsatz festgehaltene und unumstößliche Naturgesetz. 1982 rief sie „Fachleute“ auf, diesen Kernsatz der Energietechnik allgemeinverständlicher zu formulieren. Das Ergebnis, soweit es in ihrer Zeitschrift „Brennstoff – Wärme – Kraft“ abgedruckt wurde, trug eher zu noch größerer Verwirrung bei. Für den Verfasser, einen österreichischen Privatgelehrten, der im 19. Jahr die Zeitschrift „Wissen im Werden“ herausgibt, die der physikalischen Grundlagenforschung gewidmet ist, begann das große Mißverständnis mit den theoretischen Arbeiten von Clausius. Gotthard Barth hat nachfolgend für die „Sonnenenergie“ seine Kritik am 2. Hauptsatz auf einen allgemeinverständlichen Ansatz komprimiert, bei dem er bewußt auf mathematische Beweisführungen verzichtete.

Wirkungsgrade

Die ersten Dampfmaschinen, die atmosphärischen Wasserhaltungsmaschinen von Newcomen, hatten einen Wirkungsgrad von 1 Prozent. Die doppelt wirkenden Niederdruckmaschinen von Watt erreichten gegen Anfang des vorigen Jahrhunderts 3 Prozent. Mit einem Wirkungsgrad von ebenfalls 3 Prozent konnte Seebeck 1821 Wärme in elektrische Energie umwandeln. Einen noch geringeren Wirkungsgrad haben moderne Atomkraftwerke. Kaum 2 Prozent der beim Kernzerfall freiwerdenden Energien werden verwertet. Die auftretende Verlustwärme wird von den Atomtechnikern genutzt. Das ist so, als würde ein Techniker die Wärme, die an der Welle eines Generators entsteht, zur Erzeugung von Dampf verwenden; die vom Generator erzeugte Elektrizität dagegen müßte unter großem technischen Aufwand als Abfall beseitigt werden. Wenn die Kern-techniker von einer Beherrschung ihrer Energie sprechen, ist das weit übertrieben. Bedeutende Forscher, wie sie am Anfang der Entwicklung standen, die Curies, Rutherford, Soddy und Hahn zeigten, wie man Radioaktivität in Bewegung setzen kann. Jetzt fehlen uns die großen Forscher, die zeigen, wie man Radioaktivität wieder abschalten kann, durch Elementumwandlung etwa.

Die längst verschrotteten Dampflokomotiven erreichten etwa 13 Prozent Wirkungsgrad. Nur große Dieselmotoren kommen heute auf 45 Prozent. Damit übertreffen sie etwas die Dampfturbinen. All das sind recht bescheidene Werte, wenn man bedenkt, daß Wasserturbinen oder elektromagnetische Wandler mit 98 Prozent Wirkungsgrad nahezu das Ideal erreichen. Die Erbauer von Wärmekraftmaschinen mit ihren bescheidenen Effekten finden in der mathematischen Wärmetheorie von Clausius Trost: Nach der jetzt etwa 140 Jahre alten Formel für den Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen bewegen sich die technisch erreichten Wirkungsgrade an der Grenze des theoretisch Möglichen. Nach dem 2. Hauptsatz der Theorie von Clausius ist Wärme eine minderwertige Energieform, die nur zum Teil in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Nur unbelehrbare Erfinder wollen das nicht glauben.

Die unvorstellbar rasante Entwicklung der Elektronik geht praktisch ohne Verbindung mit der Schulphysik vor sich. Schon am Anfang des Radios standen Techniker, Marconi und Tesla. Ganz ähnlich verhielt es sich bei den Dampfmaschinen. Erst 1824 schrieb der junge französische Ingenieur Sadi Carnot seine „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers“, die erste Theorie zu den Dampfmaschinen. Bei der Berechnung des Wirkungsgrades ging Carnot von den wohlbekanntesten Wasserrädern aus: Bei gleicher Wassermenge im Reservoir ist die Wirkung umso größer, je höher das zur Verfügung stehende Gefälle ist. Die geleistete Arbeit ist Wassermenge mal Fall-

höhe. Entscheidend ist aber auch, ob man die ganze Fallhöhe ausnützen kann, oder nur einen Teil. Haben wir ein Gefälle von $h_2 = 10$ m, so ist die Wirkung am größten, wenn das Mühlrad ganz unten steht, in der Höhe $h_1 = 0$ m. Kann das Wasserrad aber nur in halber Höhe des Gefalles angebracht werden ($h_1 = 5$ m), dann ist die Wirkung nur halb so groß; das Wasser arbeitet nur über eine Fallhöhe von 5 m. Der Wirkungsgrad bei Wasserrädern ist $E = (h_2 - h_1)/h_2 = (10 - 5)/10 = 0,5$ oder 50 Prozent. Diese Formel ist für jedermann verständlich.

Selbstverständlich könnte man die Höhen des Wasserreservoirs und des Mühlrades auch auf die Meereshöhe beziehen. Nehmen wir an, der Wasserfall befindet sich im Gebirge in 2000 m Höhe. Die absoluten Höhen in die Formel für den Wirkungsgrad eingesetzt, ergibt $E = (2010 - 2000)/2010 = 0,0048$. Der Wirkungsgrad dieses Wasserrades wäre jetzt nicht einmal ein halbes Prozent. Natürlich ist das Unsinn. Jeder Techniker wird seinen Wirkungsgrad auf die tatsächlich gegebene Fallhöhe des Wassers beziehen, nicht auf irgendeinen errechneten Nullpunkt.

Diese Überlegungen übertrug Carnot direkt von den Wasserrädern auf die Wärmekraftmaschinen. Angenommen, eine Dampfmaschine hat ein Temperaturgefälle von etwa 100° zur Verfügung. Würde von ihr das ganze Temperaturgefälle ausgenutzt, lautet die Formel für den Wirkungsgrad $E = (100^\circ - 0^\circ)/100^\circ = 1$. Im Idealfall ergibt das also einen Wirkungsgrad von 100 Prozent. Das ist wiederum für jedermann einsichtig. Zwei Jahrzehnte nach Carnot kam aber der mathematische Physiker Clausius mit seiner neuen mechanischen Theorie der Wärme. Er setzte in die einfache Formel von Carnot absolute Temperaturen ein, wie sie Lord Kelvin propagierte.

Der absolute Nullpunkt der Temperatur war nicht neu. Schon 1703 hatte der Franzose Amontons von einer größten Kälte gesprochen, bei der der Druck eines Gases null wird. Der Praktiker Carnot rechnete mit Temperaturen, mit denen es ein Dampfmaschinenbauer in der Wirklichkeit zu tun hat. Der Theoretiker Clausius bezog den Wirkungsgrad seiner Gedankenexperimente auf einen errechneten Nullpunkt, der – in der Wirklichkeit unerreichbar – im Unendlichen liegt; ungefähr bei minus 273°C . Damit wird der Wirkungsgrad, den die mathematische Theorie liefert, um vieles kleiner als bei Carnot.

Nehmen wir wieder die Dampfmaschine mit einem Temperaturgefälle von 100° . Auf den errechneten absoluten Nullpunkt bezogen erhalten wir einen Wirkungsgrad von $E = (393^\circ - 293^\circ)/393^\circ = 0,25$. Statt des idealen Wirkungsgrades von 100 Prozent ergibt sich nach der absoluten Formel von Clausius ein Wirkungsgrad von nur 25 Prozent. Die Verminderung des Wirkungsgrades ist hier allerdings nicht so groß wie bei dem Wasserrad, bezogen auf Meeresebene, auf absolute Höhen. Für die Dampfmaschinen zur Zeit von Clausius waren auch 25 Prozent ein uner-

reiches Ideal. Die Frage ist jedoch, ob es überhaupt einen Sinn hat, auf ein theoretisches Nullniveau zu beziehen, das unerreichbar im Unendlichen liegt?

Clausius' mechanische Wärmetheorie

Robert Emanuel Clausius war der erste Professor für Theoretische Physik in Deutschland. Schon von allem Anfang an gab es heftigen Widerspruch von Physikern und Philosophen gegen seine mechanische Wärmetheorie. Nach Clausius wird alles „von selbst“ kälter, aber nicht wärmer. Natürlich wußten schon damals alle Leute, daß es im Sommer große Schwierigkeiten bereitet, Bier kalt zu halten. Clausius aber sah nur die andere Seite. Alle Energieformen gehen schließlich in Wärme über. Wärme nimmt immer weiter ab, bis die ganze Welt im Kältetod erstarbt. Die Welt strebt einem Maximum der „Entropie“ zu, einer größten Unordnung.

Den Begriff „Entropie“, von griechisch entrophein, hineinfallen, hatte Clausius erfunden. Nirgends in der wirklichen Natur ist aber etwas von diesem Weltende festzustellen. Überall gibt es einen immerwährenden Kreislauf. Die Wissenschaft mußte bestrebt sein, Ausnahmen von diesem Clausiusschen Weltgesetz zu finden. Schließlich meinten die Biologen, in der belebten Substanz gebe es eine Gegen-Entropie, eine Zunahme der Ordnung.

Dann waren da vor allem die Techniker und Erfinder. Nach Clausius ist Wärme, wie gesagt, eine minderwertige Form von Energie. Immer kann nur ein Teil davon in andere Energieformen umgewandelt werden. Daher ist der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen so jämmerlich bescheiden. Bei jeder Umwandlung von Wärme in andere Energien bleibt ein Teil als Wärme erhalten, die „von selbst“ kälter und kälter wird.

Im Laufe der Jahrzehnte hat es die verschiedensten Formulierungen zum 2. Hauptsatz gegeben. Wärme kann nicht „von selbst“ von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergehen, sagte Clausius. Niemand hat bisher einen „2. Hauptsatz der Mechanik“ formuliert, der sagt, daß Wasser nicht „von selbst“ von unten nach oben fließen könne. Noch sonderbarer klingt der 2. Hauptsatz bei Planck: „Es ist unmöglich, eine periodisch funktionierende Maschine zu konstruieren, die weiter nichts bewirkt, als Hebung einer Last und Abkühlung eines Wärmereservoirs.“ Jeder Techniker wird eine kontinuierlich funktionierende Maschine einer periodisch wirkenden vorziehen. Außerdem müßte natürlich die Abkühlung eines Wärmereservoirs die Ursache, nicht die Wirkung einer funktionierenden Maschine sein. Kurz, für jeden Erfinder muß der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen ein Ansporn sein, es besser zu machen.

Die Theorie von Black

Wie schon gesagt, diese Schwierigkeiten ohne Ende waren für die Wissenschaftler seit 140 Jahren Anlaß, nach immer neuen Ausnahmen von den Naturgesetzen zu suchen, die Clausius erfunden hatte. Natürlich ist es in der Wissenschaft durchaus legitim, wenn ein Gesetz nicht überall zu stimmen scheint, nach Zusätzen zu suchen, die die Sache doch noch in Ordnung bringen. Aber ist es nicht viel näherliegender, wenn eine Theorie so vielfach nicht stimmt, zunächst zu fragen, ob denn die Fehler, die sich ergeben, nicht gleich am Anfang in die Theorie hineingekommen sind? Sind denn diese Schwierigkeiten, die uns die Theorie von Clausius bereitet, überhaupt notwendig?

Für eine solche Untersuchung ist der natürlichste Weg, sich ein wenig in der Vorgeschichte umzusehen. Erstaunlich: Vor Clausius und seinem englischen Kollegen Lord Kelvin gab es mit der Wärmelehre überhaupt keine Probleme. Der englische Arzt und Chemiker Joseph Black – er hatte 1755 die Kohlensäure entdeckt – trug eine gut verständliche Wärmelehre vor. Black unterschied die „Kraft“ der Wärme, die Temperatur, von der Menge der Wärme. Es ist selbstverständlich nicht gleichgültig, ob man in eine Badewanne 1 Liter oder 10 Liter heißes Wasser hin-

einschüttet. Und es ist auch nicht gleichgültig, welche „Kraft“, welche Temperatur das Wasser hat. Multipliziert man die beiden Größen, Menge der Wärme (von der Menge des heißen Wassers abhängig) mit der Temperatur, so hat man ein eindeutiges Maß für die vorhandene Wärmeenergie, wie wir heute sagen.

Natürlich hatte auch Black seine Aussagen über die Wärme nicht einfach erfunden. Schon vor ihm hatten sich andere Forscher mit der Wärme beschäftigt, z.B. der schon erwähnte Franzose Amontons. Mit der Theorie von Black kämen wir auch heute gut durch. Der entscheidende Fehler von Clausius war, daß er die klare Unterscheidung zwischen Wärmemenge und Temperatur verlor. Bei ihm ist die Wärmeenergie nicht mehr eindeutig gegeben durch das Produkt Wärmemenge mal Temperatur. Der bei Black ganz klare Begriff „Wärmemenge“ wird bei Clausius verschwommen: Die Wärmemenge eines Gases ist nach Clausius von der Vorgeschichte abhängig, ob etwa die gleiche Temperatur durch Kompression oder durch Expansion oder durch Wärmezufuhr von außen entstanden ist.

Das klingt sonderbar. Wie immer in der Wissenschaft, gibt es zwischen Verteidigern und Kritikern einer These endlose Debatten. Bei Clausius aber geht es um eine mathematische Theorie. Wenn nun aber eine Theorie logische Fehler oder Widersprüche zur alltäglichen Erfahrung aufweist, dann müssen auch in der mathematischen Darstellung Widersprüche oder sonstige Fehler enthalten sein. Schon frühzeitig gab es Kritik: Der Physiker G. Decher nannte 1858 die Theorie von Clausius „Pfusch“ und „Mißhandlung der Analysis“. Aber Näheres hat er nicht angegeben. Clausius sah in der Natur nur die eine Hälfte: Alle Dinge werden „von selbst“ kälter. Daß Butter im Sommer „von selbst“ wärmer wird, daß wir unsere Lebensmittel mit nicht geringem Energieaufwand kühlen müssen, dieser Teil der Wirklichkeit kommt in der Theorie von Clausius nicht vor.

Aber auch mathematisch sah Clausius nur die Hälfte. Als Physiker hatte er nur eine begrenzte mathematische Ausbildung erhalten, ein hervorragender Mathematiker war er gewiß nicht. Ein wenig müssen wir hier in mathematische Bereiche eintreten: Die mechanische Energie eines eingeschlossenen Gases ist durch das Produkt Druck mal Volumen eindeutig bestimmt. Dieses Produkt entspricht vollkommen dem Produkt Temperatur mal Wärmemenge nach Black. Wenn wir nun eine sehr kleine Änderung der mechanischen Energie eines Gases berechnen, müssen wir die Änderung des Druckes mit der Änderung des Volumens multiplizieren. Dafür, für „differential“ kleine Änderungen eines Produktes, hat Leibniz eine Regel aufgestellt: Es ist die Summe von Druck mal Volumensänderung plus Volumen mal Änderung des Druckes zu bilden. Clausius aber verlor im Laufe seiner Rechnung den zweiten Teil: Volumen mal Änderung des Druckes. Druckänderungen gibt es in der mechanischen Theorie der Wärme von Clausius einfach nicht mehr. Selbstverständlich ist mit der halben Formel ein exaktes Rechnen nicht mehr möglich. Clausius mußte die Vorgeschichte hinzunehmen, um doch noch brauchbare Rechenergebnisse zu erhalten.

Eigentlich müßte das genügen: Eine mathematische Theorie, die auf einer halben und daher falschen Rechnung aufbaut, ist notwendig falsch, mag sie auch da und dort „richtige“ Ergebnisse erzielen. Lassen wir die mathematisch falsche Theorie mit allen ihren sonstigen Problemen einfach weg und kehren wir zu den einfachen, klaren und der Natur entsprechenden Vorstellungen von J. Black zurück. Dann ist Wärme nicht minderwertig. Wärme kann, wenn man die richtigen Verfahren anwendet, zumindest theoretisch zu 100 Prozent in andere Energieformen umgewandelt werden. Wendet man Temperaturänderungen sozusagen als Katalysator an, um verborgene molekulare Kräfte freizusetzen, dann kann ein noch größerer Wirkungsgrad erzielt werden, wie die Wärmepumpen, Brennkessel und die CO₂-Maschine von B. Schaeffer beweisen (Sonnenenergie 3/1986). Eine Weiterentwicklung der einfachen Wärmelehre von Joseph Black würde Erfindern breite Straßen zum Erfolg öffnen.