

Was ist Energie?

Energie ist einer der Zentralbegriffe in der Physik.

Physikalisch betrachtet ist *Energie* die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.

Dieser Begriff ist in seiner heutigen naturwissenschaftlichen Bedeutung erst seit dem 19. Jahrhundert eingeführt. Er wurde zu dieser Zeit allerdings im rein mechanischen Sinne angewandt. Vom Engländer Young¹ kam 1802 der Vorschlag „energy“ zur Bezeichnung des Arbeitsvermögens von Maschinen zu verwenden. 1829 formulierte Poncelet² die Definition: „Fähigkeit zur Verrichtung von Arbeit“. Ursprünglich, bei Aristoteles³, kommt im Griechischen das Wort „energeia“ zutage, und zwar für jegliches Geschehen für den *Übergang aus dem Zustand des Möglichen in den Zustand der Wirklichkeit und Wirksamkeit*.

Im 19. Jahrhundert kam die Idee auf, dass *Wärme eine Form der Energie* sei, die sich in andere *Energieformen* umwandeln ließe. Aus dieser Grundidee wiederum leitete Helmholtz⁴ im Jahr 1847 den **Energieerhaltungssatz** ab:

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern ausschließlich nur in andere Energieformen umgewandelt, d. h. überführt werden.

¹ Young, Thomas, *13.06.1773 in Milverton (Somerset), †10.05.1829 in London, britischer Arzt, Physiker und Ägyptologe, führte 1807 den Begriff Energie für „lebendige Kräfte“ ein (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

² Poncelet, Jean Victor, *01.07.1788 in Metz, †22.12.1867 in Paris, französischer Mathematiker und Physiker, definierte um 1892 den Begriff „Arbeit“ (in: Ebenda).

³ Aristoteles, *384 v. Chr. in Stagira (in Makedonien), †322 v. Chr. in Chalkis auf Euböa, griechischer Philosoph (in: „Das große WELT LEXIKON“, Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG Mannheim 2007, ISBN 978-3-7653-3330-9).

⁴ Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand, *31.08.1821 in Potsdam, †08.09.1894 in Charlottenburg (Berlin), deutscher Physiker und Physiologe (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

Dies ist der 1. Hauptsatz, das 1. Axiom der Thermodynamik⁵ und bis heute unwiderlegt. Ein Perpetuum mobile⁶ kann es demnach nicht geben.

Und der geniale Einstein?⁷ Er fand heraus, dass Masse (m) und Energie (E) durch das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit (c^2) miteinander in Beziehung stehen. Genauer gesagt, entspricht die Energie eines *bewegten* Gegenstandes seiner Masse mal der Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat **plus** Bewegungsenergie. Bewegt sich der Gegenstand nicht, dann besitzt er auch keine Bewegungsenergie, und so formulierte Einstein 1905 die physikalische Beziehung: $E = m \cdot c^2$. Mit dieser Äquivalenz von Energie und (relativistischer) Masse entspricht jeder Energie eine Masse und jeder Masse lässt sich eine Energie zuschreiben. Die „Spezielle Relativitätstheorie“ war geboren. Masse und Energie sind folglich nur zwei verschiedene Formen ein und derselben Sache.

Masse und Energie sind also gleichwertig.

Die Einsteinsche Energie-Massen-Relation sagt, dass bei einer atomaren Veränderung der hierbei entstehende Massendefekt die Energiefreisetzung bewirkt.

So kann verständlich werden, dass in der an sich schon geringen Masse von 1 kg Uran ($^{235}_{92}\text{U}$) in der Implosionsbombe „Little Boy“ auf Hiroshima der bei der atomaren Veränderung des U-235 entstandene Massendefekt von nur etwa 0,9 Gramm ausreichte, um mit seiner Energiefreisetzung die gesamte Stadt in Sekundenschnelle total zu zerstören.

Unter der Voraussetzung, dass die Bombe die Sprengwirkung von etwa 17.200 Tonnen Trinitrotoluol [TNT Trotyl, $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$]⁸ hatte und 1 kg TNT die spezifische Energie von 4,6 Megajoule (MJ), entsprechend 1,277 Kilowattstunden (kWh) beinhaltet, wurden rund 22 Millionen kWh thermische Energie schlagartig freigesetzt.

(Siehe hierzu Teil V „Erläuterungen“, „Zu Kapitel 1: Was ist Energie?“.)

⁵ Thermodynamik: Wärmelehre.

⁶ Perpetuum mobile: (lat. „dauernd beweglich“) Maschine, die ohne Energiezufuhr von außen dauernd Arbeit verrichtet. Ein P. m. ist weder mit dem 1. noch 2. Hauptsatz der Thermodynamik verträglich.

⁷ Einstein, Prof. Dr. phil. habil. Albert, *14.03.1879 in Ulm, †18.04.1955 in Princeton (N.J., USA), deutsch-schweizerisch-amerikanischer Physiker, u. a. Entwickler der Relativitätstheorie, gilt als eines der größten wissenschaftlichen Genies aller Zeiten. 1921 Nobel-Preis für Physik insbesondere für die quantentheoretischen Arbeiten zum Photoeffekt (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

⁸ TNT: gelblich kristalline Substanz, hergestellt durch mehrstufige Nitrierung von Toluol. Nitrierung: Behandlung organischer Substanzen – hier Toluol – mit Salpetersäure (HNO_3) oder Gemischen aus konzentrierter Salpeter- und Schwefelsäure (H_2SO_4). Toluol [Methylbenzol, ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$)]: aromatischer Kohlenwasserstoff, nach Benzol riechend. In Hiroshima kamen ungefähr 140.000 Menschen und in Nagasaki 100.000 Menschen überwiegend in Bruchteilen einer Sekunde zu Tode und zwar durch die Wirkung der Energie, nicht durch radioaktive Strahlung. Die Energie erzeugte gewaltige „Feuerbälle“ von hoher Temperatur und hohem Druck. Durch den riesigen Sauerstoffbedarf der Feuer entstanden in Bodennähe überschallschnelle Luftgeschwindigkeiten sowie enorme Sogkräfte durch (thermische) Aufwinde. Das Inferno durch Feuer, Luftgeschwindigkeiten, Aufwinde, Turbulenzen etc. zerstörte fast gänzlich jegliche Strukturen.

Diese thermische Energiemenge aus der Kernspaltung von Uran-235 entspricht ungefähr der elektrischen Energie aus einem Kernkraftwerk (Wirkungsgrad $\eta = 35\%$) in Höhe von 7,7 Millionen kWh, die in 2010 in Deutschland im Zeitraum von sieben Minuten als elektrischer Strom genutzt wurde. Für „Fat Man“, die Bombe auf Nagasaki, wird die Sprengwirkung des „Sprengstoffs“ Plutonium ($^{239}_{94}\text{Pu}$) mit 22.000 Tonnen TNT angegeben. Demnach wurden aus etwa 1,65 Gramm Kern-Massendefekt ca. 28 Millionen kWh thermische Energie eruptiv frei.

Und Fukushima? Der havarierte Block 1 der Kernkraftwerksanlage hatte eine elektrische Brutto-Leistung von 784 MW, ebenso Block 3. Damit kann in grober Abschätzung von einer an den Kernspaltungen beteiligten relativistischen Masse Δm in Höhe von etwa 600 Gramm ausgegangen werden. Pro Reaktor ist damit potenziell die 650-fache Energie der Atom-Bombe „Little Boy“ bzw. die 360-fache von „Fat Man“ vorhanden.

Jetzt ist letztlich vorstellbar, dass die Kühlung des jeweiligen nuklearen Reaktordruckbehälter-Inventars (Wärme aus der Kernspaltung selbst sowie aus der Zerfallswärme der Isotope⁹ und Actiniden¹⁰) sowohl viel Wasser als auch eine lange Zeit erfordert.

► **Anmerkung** Obwohl 1 kg TNT nur etwa $1/10$ der Energiemenge von 1 kg Diesel-Treibstoff beinhaltet, ist TNT hier die Vergleichssubstanz und zwar deshalb, weil der Energiegehalt von TNT in einem winzigen Sekundenteil in einen enormen Hitzestoß, der eine gewaltige Druckwelle entfaltet, umgewandelt wird. Diese zerstörerische Druckwelle verursacht den immensen Explosionsschaden. Bezogen auf die Wirkzeit kann der Explosionsschaden durch eine sogenannte Atombomben-Explosion mit dem Schaden durch eine TNT-Explosion gleichgesetzt werden.

Der Nuklear-Bomben-Wahnsinn Die energetisch stärksten nuklearen Sprengsätze die oberirdisch zur Explosion gebracht wurden waren

- am 01.03.1954 (Ortszeit) die amerikanische „Castle Bravo“ mit einer Energie entsprechend 15 Millionen Tonnen TNT und
- am 30.10.1961 die russische „Zar-Bombe“ (27 Tonnen Masse) mit einem Energiegehalt entsprechend 50 Millionen Tonnen TNT.

Damit war die freigesetzte Energie von „Castle Bravo“ rund 680-mal und die der „Zar-Bombe“ sogar etwa 2.280-mal stärker als die von „Fat Man“. Anders dargestellt: an 680 Tagen (1,86 Jahre) bzw. an 2.280 Tagen ($\approx 6,5$ Jahre) hätte täglich je eine „Fat Man“ explodieren müssen.

⁹ Isotope: Atomkerne (Nuklide) eines chemischen Elements, die die gleiche Protonenzahl (Kernladungszahl- oder Ordnungszahl) haben, sich aber in ihrer Neutronenzahl und damit auch in ihrer Nukleonenzahl (Massenzahl) unterscheiden. Das chemische Verhalten der Isotope eines chemischen Elements ist weitgehend identisch.

¹⁰ Actinide: Die sogenannten „schweren“ Elemente jenseits von Uran, also solche, deren Ordnungszahl größer 92 ist.

1.1 Energie – Das Phänomen

Man kann die **Energieformen** der *Erscheinungsformen* gemäß Tab. 1.1 unterscheiden.

Tab. 1.1 Energieformen – Erscheinungsformen

Energieform	Bezeichnung	Erscheinungsform (Beispiele)	Technische Energie- verwendung (Beispiele)
Mechanische Energie	Bewegungs-Energie (kinetische Energie)	Fließwasser rollen rotieren	Laufwasser-Kraftwerke fahrendes Kfz Schwungrad
	Lage-Energie (potenzielle Energie)	Stausee, gespannte Feder	Speicher-Kraftwerke Stoßdämpfer
Wärmeenergie	Thermische Energie	Heizkörper Wärmflasche Aufwind (Thermik)	Heizung Wärmespeicher Aufwind-Kraftwerk
Chemische Energie	–	Brennstoff (Kohle, Gas, Öl) Sprengstoffe	fossilgefeuerte Kraftwerke, Holzheizofen Sprengen, Feuerwerks- körper, Airbag-Zündung
Strahlungsenergie	Elektromagnetische Energie	Sonnenlicht-Strahlung Radiowellen	Photovoltaikanlagen Hörfunk, Fernsehen
Bindungsenergie (nuklear)	Kernenergie	Kernspaltung Kernfusion	Kernkraftwerke Kernfusions-KW
Elektrische Energie	–	Elektrischer Strom	Elektrogenerator, Elektromotor, Beleuchtung, Heizung, Kühlung
	Gewitter	Blitz*	–

* Blitze: Im Zeitraum 01.01.2010 bis 26.09.2010 haben 1.334.076 Blitze Deutschland und Teile der Nachbarländer Dänemark, Schweiz und Luxemburg getroffen. In 2006 waren es 2.484.791. So die Angaben vom Blitz-Informationsdienst (Blids) der Firma SIEMENS in Karlsruhe (in: Süddeutsche Zeitung, Deutschland-Ausgabe, Nr. 225, 29.09.2010, S. 16). In der Kalenderwoche 27/2011 wurde in einem Blitz über Deutschland die Stromstärke von 285.000 Ampere (A) gemessen. 93.208 Blitzeinschläge erfolgten im Zeitraum 01.01.2012 bis 08.07.2012 allein in Bayern. *Potz Blitz*.

Warum Blitze entstehen, ist noch nicht 100-prozentig geklärt. Vermutet wird, dass es die Bewegung (Reibung) von Wassertropfen oder Eiskristallen in der Luft, in den Wolken ist. Die einzelne Reibung erzeugt nur eine äußerst geringe triboelektrische Ladung. Wegen der enormen Anzahl der Tropfen oder Kristalle, z. B. in einer Wolke, wird aber die elektrische Ladung insgesamt enorm hoch. Vorstellbar ist auch, dass eine Interaktion (wechselseitige Beeinflussung) zwischen dem elektrischen Feld der Erde und den sich bewegenden Tröpfchen oder Kristallen und damit ihrer elektrischen Ladung erfolgt. Eine stark negative Ladung einer Wolke führt zu einer positiven Ladung in der Erde oder einer anderen Wolke. Die negative Ladung in der einen Wolke stößt Elektronen z. B. in der anderen Wolke ab. Auf der nächstgelegenen Ober-

fläche (Wolke, Erde) entsteht dann eine positive elektrische Ladung. Jetzt verläuft eine schwache elektrische Ladung beispielsweise von der Wolke zur Erde, wobei die elektrische Ladung die Luft ionisiert. Das heißt, dass den Atomen der Luft Elektronen entzogen werden, die Atome der Luft dadurch eine elektrische Ladung erhalten und somit elektrisch leitfähig sind. Bei diesem Vorgang entsteht ein Blitz, der sogenannte „Pfadfinderblitz“. Er bereitet den Weg für den „Hauptblitz“, der allerdings in *entgegengesetzter* Richtung verläuft. Die hohe Stromstärke (Ampere) und die hohe Spannung (Volt) im Blitz ergeben eine gewaltige Energie (Joule, Wattsekunden, Kilowattstunden, ...), oftmals mehr, als ein 1.000-MW-Kraftwerk in einer Sekunde ($\approx 278 \text{ kWh}$) liefert.

Diese Energiemenge strömt blitzartig durch die Luft und setzt dabei die Moleküle der Luft so rasend schnell in Bewegung, dass sie durch wechselseitige Reibung etwa 20.000 bis 25.000 Grad heiß werden. Es ist der plötzliche Temperaturwechsel der Luft-Moleküle, der eine Stoßwelle, faktisch eine Explosion, auslöst, die wir „Donner“ nennen. Der Donner ist lediglich das Geräusch, das der Blitz verursacht. Blitz und Donner sind also keine separaten Ereignisse. Wir nehmen sie nur als solche wahr, weil wir sie meist zeitversetzt sehen oder/und hören.

In der alltäglichen Praxis wird die Arbeitsfähigkeit der Erscheinungsformen der Energie als Kraft, Wärme, Kälte oder Licht genutzt. Chemische Energie, Strahlungsenergie und Kernenergie müssen für die Anwendung (Nutzung) zunächst in mechanische, thermische oder elektrische Energie umgewandelt (konvertiert) werden. Erst die Umwandlung von Energieträgern macht Leben auf unserer Erde möglich.

1.2 Energie – Alles in Ordnung?

Gemäß den Gesetzen der klassischen Mechanik, so wie sie Newton¹¹ beschrieben hat, sind alle Vorgänge (Prozesse) umkehrbar (reversibel).

Dass dies so generell nicht verallgemeinert werden kann, das ist die Erkenntnis und das Verdienst von Clausius¹². Er brachte erstmals eine *Richtung* ins Naturgeschehen. 1865 erkannte er, dass Wärme stets von wärmeren auf kältere Körper übergeht. Nicht umgekehrt. Es gibt also einen *gerichteten* Übergang. Bisher konnte nicht beobachtet werden, dass ein Körper niedriger Temperatur, der sich weiter abkühlt, durch seine abgestrahlte Temperatur einen anderen Körper höherer Temperatur zusätzlich erwärmt.

Weiterhin stellte Clausius fest, *dass mechanische Arbeit sich **vollständig** in Wärme umwandeln lässt, nicht aber Wärme vollständig in Arbeit.*

¹¹ Newton, Sir Isaac, *04.01.1643 in Woolsthorpe (bei Grantham), †31.03.1727 Kensington (heute zu London), englischer Physiker, Mathematiker und Astronom, gilt als Begründer der klassischen theoretischen Physik. Seine größten Leistungen: *Newtonsche Axiome*, *Newtonsche Bewegungsgleichung* (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

¹² Clausius, Rudolf Julius Emanuel, *02.01.1822 Köslin, †24.08.1888 in Bonn, deutscher Physiker. Unter anderem präziserte er den 2. Hauptsatz der Thermodynamik, nach dem Wärme nur unter Energiezufuhr vom kälteren auf den wärmeren Körper übergeht (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford, 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

Erkenntnis: Die Richtung der Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie und umgekehrt ist nicht gleichwertig.

Diese Tendenz ist vom zentralen Begriff der **Entropie** geprägt. Die Entropie kann in einem geschlossenen System nur zunehmen. Entropie ist also ein Maß für die Unordnung, denn Energie in geordneter Form – wie z. B. mechanische Bewegungsenergie – kann vollständig in Energie weniger geordneter Form, z. B. Wärme, überführt werden. Umgekehrt gelingt dies nur teilweise.

Beispiel

Wärme kann nur zum Teil in elektrische Energie (geordnete Form) konvertiert werden. Deshalb lässt sich die Energie, die bei der Verbrennung von Kohle in einem Kraftwerk als Wärmeenergie frei wird, letztlich nur teilweise in elektrische Energie umwandeln. Nur den (technisch) *nutzbaren* Teil der Wärme nennt man *Exergie*.¹³

Er ist der geordnete Teil der Energie. Ein Teil der Gesamt-Wärmeenergie ist also entwertet. Der *entwertete* Teil einer Energieform heißt *Anergie*.

Was wir umgangssprachlich „Energieverbrauch“ oder „Energieverlust“ nennen, ist der *entwertete* Teil der *Energie*, denn, wenn beispielsweise die Wärme einen Raum erwärmt hat und anschließend oder währenddessen nach außen abstrahlt, dann haben wir von der abgestrahlten Wärme nicht mehr den bestimmungsgemäßen Nutzen – dieser Teil der ursprünglichen Gesamt-Wärmemenge ist entwertet.

Die aus einer Wärmemenge ΔQ entnehmbare nutzbare Wärmeenergie (Exergie) ΔE ist nur abhängig von der Temperatur $T_{\Delta Q}$ der entnommenen Wärmeenergie und der Temperatur T_U der Umgebung, die die Restwärmemenge aufnehmen soll.

Mathematisch formuliert lautet dieser physikalische Zusammenhang:

$$\Delta E = \underbrace{\frac{T_{\Delta Q} - T_U}{T_{\Delta Q}}}_{\text{Carnot-Faktor}} \cdot \Delta Q$$

Carnot¹⁴-Faktor

¹³ Exergie: Dieser Begriff wurde auf Vorschlag von Z. Rant im Jahr 1956 eingeführt. Rant, Zoran, *14.09.1904, †12.02.1972, slowenischer Maschinenbau-Ingenieur, Wissenschaftler und Professor, Mitglied in SAZU (Slovenian Academy of Sciences and Art, gegründet 1938); www.Wikipedia.org.

¹⁴ Carnot-Faktor oder Carnot-Wirkungsgrad: $\eta_{\text{thermodyn.}} = 1 - (T_{\text{kalt}} / T_{\text{heiß}})$. Der Carnot-Faktor ist ein Vergleichsfaktor zur Beurteilung der Güte der Energieumwandlung in praktisch realisierbaren (thermodynamischen) Kreisprozessen. Der Carnot-Prozess selbst kann technisch nicht vollständig realisiert werden. Carnot soll gesagt haben: „Partout où il existe une différence de température, il peut y avoir production de puissance motrice.“ („Überall wo ein Temperaturunterschied herrscht, kann mithilfe einer Maschine Energie erzeugt werden.“) Carnot, Nicolas Léonard Sadi, *01.06.1796 Paris, †24.08.1832 Paris, französischer Ingenieur und Physiker (in: „Lexikon der Naturwissenschaftler“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg · Berlin · Oxford, 1996, ISBN 3-8274-0045-7).

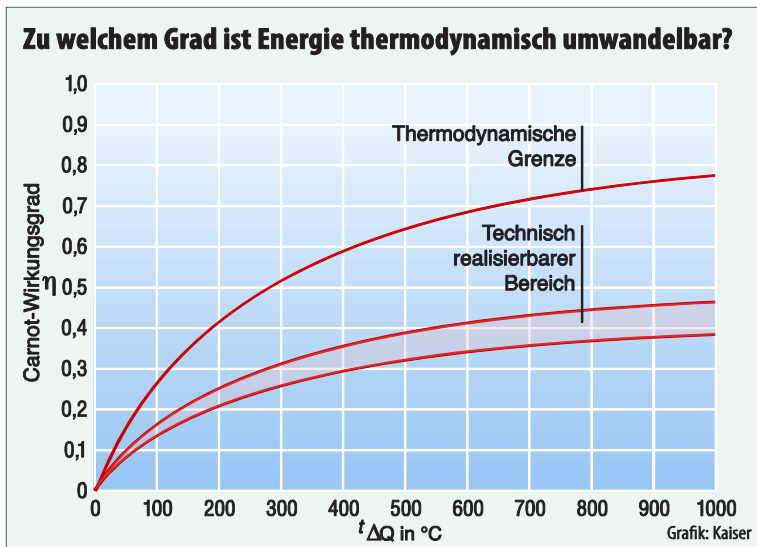


Abb. 1.1 Thermodynamischer Umwandlungsgrad. (Quelle: Grafik © Kaiser)

Beispiel-Rechnung:

$$T_{\Delta Q} = t + t_{\Delta Q} = (273,15 + 95)^\circ\text{C} = 368,15 \text{ K}$$

$$T_U = t + t_U = (273,15 + 10)^\circ\text{C} = 283,15 \text{ K}$$

$$\Delta E = \frac{(368,15 - 283,15) \text{ K}}{368,15 \text{ K}}$$

$$\Delta E \approx 0,23 \triangleq 23 \%$$

[1]

Ergebnis-Interpretation: Der hier nutzbare Energieanteil, also die Exergie, beträgt 23 %; 77 % sind nicht nutzbare Energie, also Anergie. Diese Betrachtung gilt für ideale theoretische Verhältnisse einer Wärmekraftmaschine. Real ist, dass gemäß der Beispiel-Rechnung nur etwa 60 bis 70 % von den 23 % Exergie, also lediglich 14 bis 16 % technisch nutzbar ist (siehe Abb. 1.1).

Aus der idealen Wärmekraftmaschine wird die ideale Wärmepumpe gemäß

$$\Delta Q = \underbrace{\frac{T_{\Delta Q}}{T_{\Delta Q} - T_U}}_{\text{reziproker Carnot-Faktor}} \cdot \Delta E$$

Nach [1] ergibt sich $\Delta Q = \frac{1}{0,23} \approx 4,35$.

Der reziproke Carnot-Faktor ist der „Hebel-Faktor“ der thermodynamischen „Erzeugung“ von Wärme-Energie aus z. B. Elektro-Energie.

In Summe bleibt die Energiemenge aber erhalten, also ist

$$\text{Energie} = \text{Exergie} + \text{Anergie}$$

1.3 Temperatur ist keine Wärme

Die Temperatur ist die Basisgröße, die den Wärmezustand eines Körpers erfasst. Untereinander im thermischen Gleichgewicht befindliche Körper haben eine physikalische Eigenschaft gemeinsam: die Temperatur. In der Physik der Thermodynamik ist die Temperatur eine *intensive*¹⁵ Zustandsgröße.

Der Begriff der *Temperatur* entwickelt sich aus Sinneswahrnehmungen der Hitze und Kälte. Obwohl streng physikalisch falsch, ist sie unser Maß, mit dem wir ausdrücken, wie warm oder wie kalt ein Gegenstand oder die Umgebung ist.

Wärme ist eine Energieform, die zwischen einem Körper (Gegenstand), Raum oder System auf einen anderen Körper, Raum oder System aufgrund eines Temperaturunterschieds (Temperaturdifferenz) übertragen wird. Dies erfolgt immer vom Wärmeren zum Kälteren, sofern keine zwischengeschaltete technische Einrichtung eine entgegengesetzte Richtung erzwingt. Als Energieform ist die Wärme eine *extensive*¹⁶ Größe.

Um den Unterschied zwischen Temperatur und Wärme(-Energie) zu verdeutlichen, folgendes Beispiel:

Eine Person befindet sich in einem Raum, dessen Luft z. B. die Temperatur 10 °C hat. Sie fröstelt und deshalb denkt sie, die doppelte Wärme haben zu wollen. Mit diesem Wunsch meint sie sicherlich nicht die doppelte Wärme-Energie im Raum, sondern die doppelt hohe Raum-Temperatur, nämlich 20 °C statt 10 °C. Denn würde sie tatsächlich die doppelte Wärme-Energie im Raum wollen, dann müsste sie die Raum-Temperatur auf sage und schreibe 293 °C erhöhen. Dabei beträgt die Differenz der *absoluten* Temperaturen nur etwa 3,5 %.

¹⁵ Intensiv; extensiv: Die Eigenschaften eines Systems kann man als *intensiv* oder *extensiv* klassifizieren. *Intensive Eigenschaften sind nicht additiv*. Beispiele: die Temperatur; der Druck. Die Temperatur irgendeines kleinen Teilchens eines Systems, das sich im Gleichgewicht befindet, ist dieselbe wie die des Gesamtsystems.

¹⁶ *Extensive Eigenschaften sind additiv*. Ihr Wert für das gesamte System ist gleich der Summe der Einzelwerte für individuelle Teile des Systems. Beispiele: das Volumen; die Masse.

Elektrischer Strom

Gestehung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und
Nutzung elektrischer Energie im Kontext der
Energiewende

Niederhausen, H.; Burkert, A.

2014, XVIII, 783 S. 162 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-8348-2492-9