*Neues aus der Welt der Wissenschaft*[\[ORF ON Science - News - Wissen und Bildung\]](#)

## An den Grenzen der Thermodynamik

Die drei Hauptsätze der Thermodynamik gehören zu den ehernen Gesetze der Physik. Unter anderem besagen sie, dass es unmöglich ist, Maschinen zu bauen, die mehr Energie erzeugen als verbrauchen. Zumindest auf molekularer und atomarer Ebene gerät aber der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik ins Wanken - wie nun erstmals experimentell bewiesen wurde.

### Eine Frage der System-Größe

Wie Ed Gerstner, der Herausgeber der beiden Online-Portale zu Physik und Materialien der Fachzeitschrift "Nature" schreibt, könnte dies bedeuten, dass es eine Art natürliche Grenze der Miniaturisierung und unseres Verständnisses der belebten Welt gibt.

In einer Größenordnung von ein paar Millionstel Millimeter - eine Größenordnung, in der Zellen bereits jetzt, in einigen Jahren aber auch Maschinen operieren werden - werden die Gesetze der Mechanik großer Systeme scheinbar nicht angewandt.

### Drei Hauptsätze der Thermodynamik

Für die Thermodynamik sind die drei Hauptsätze der Wärmelehre maßgebend:

1. Hauptsatz - der Energieerhaltungssatz: Wärme kann in andere Energieformen übergeführt oder aus diesen erzeugt werden, sie kann aber nicht aus nichts entstehen.
2. Hauptsatz - der Entropiesatz: die Entropie - eine von Rudolf Julius Emanuel (Clausius) eingeführte Rechengröße, die in der Wärmelehre den Zustand eines Systems (z.B. Gas oder Flüssigkeit) charakterisiert - kann bei Zustandsänderungen des Systems nicht abnehmen.
3. Hauptsatz - das Nernst'sche Wärmetheorem: die Entropie jeder Substanz geht gegen Null, wenn die Temperatur bei ansonsten festen Bedingungen gegen Null strebt.

... [Online Skript Thermodynamik und Statistische Physik](#) ...

### Wassermoleküle vs. Latex-Tröpfchen

Wie kam es zu dieser Einschätzung? Emil Mittag, Debra J. Searles und Kollegen zweier australischer Universitäten hatten den Einfluss von Wassermolekülen auf die Bewegung von winzigen Latex-Tropfen untersucht, die durch Laserstrahlen fixiert wurden.

Sie fanden heraus, dass Variationen in der zufälligen thermischen Bewegung der Wassermoleküle innerhalb von Zeitspannen von weniger als zwei Sekunden einzelne Tröpfchen anstießen.

Dies führte zu einer zwar kleinen, aber signifikanten Erhöhung ihrer kinetischen Energie - eine Verletzung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik.

### Keine "freie" Energie, kein Perpetuum mobile

Der Energiegewinn, so die Forscher, sei nur von kurzer Dauer gewesen und könnte insofern niemals zu einer Quelle "freier" Energie oder einem Perpetuum mobile führen.

Er war aber groß genug, um das zu bestätigen, was sich die Physiker ohnehin lange schon dachten.

### Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Der Entropiesatz wurde auf verschiedene Weisen ausgedrückt. Eine Variante: Wärme kann niemals spontan, d.h. ohne Arbeitszufuhr von

außen, von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergehen (Clausius). Eine weitere: Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu konstruieren, die nichts anderes bewirkt als die Erzeugung mechanischer Arbeit unter Abkühlung eines Wärmereservoirs (Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile II; Planck und Thomson).

Ludwig Boltzmann wiederum erkannte, dass der Entropiesatz gleichbedeutend ist mit der Wahrscheinlichkeitsaussage: Die auf die einzelnen Moleküle eines Körpers verteilte Bewegungsenergie geht stets von einem weniger wahrscheinlichen Verteilungszustand in einen wahrscheinlicheren über, nicht aber umgekehrt. Sind z. B. alle Luftmoleküle zu Anfang in einer Ecke eines Zimmers, so verteilen sie sich gleichmäßig in diesem Zimmer: die Entropie nimmt zu. Es ist jedoch praktisch ausgeschlossen, dass umgekehrt die gleichmäßig verteilten Moleküle sich einmal alle in einer Zimmerecke ansammeln.

☛ [Mehr über den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik](#)

Theoretische Vorhersage bestand seit langem

Denn die Verletzung des Zweiten Gesetzes der Thermodynamik bei kleinsten Teilchen-Mengen innerhalb größerer Systeme ist keine neue Idee. Das Forscherteam um Searles und Mittag hat es bereits vor mehr als zehn Jahren theoretisch vorher gesagt.

Und schon 1878 schrieb der schottische Physiker James Clerk Maxwell: "Die Wahrheit des Zweiten Gesetzes der Thermodynamik ist ... statistisch, nicht mathematisch, da sie auf der Tatsache beruht, dass die Systeme, mit denen wir uns beschäftigen, aus Millionen von Molekülen bestehen ... Daher wird das Gesetz auch bei jeder ausreichend kleinen Gruppe von Molekülen, die zu einem größeren System gehören, kontinuierlich und bis zu einem bemerkenswertem Ausmaß verletzt."

Analogie zum Glücksspiel

Ed Gerstner verglich die Thermodynamik in der Online-Ausgabe von "Nature" mit einem fortwährenden Glücksspiel. Der erste Hauptsatz, wonach keine Energie aus nichts geschaffen werden kann, bedeutet in diesem Zusammenhang: "Man kann nicht gewinnen." Der zweite: "Man kann nicht einmal ohne Verluste spielen."

Mit anderen Worten: Es ist nicht besonders ungewöhnlich, ein einzelnes Glücksspiel zu gewinnen. Nach sehr vielen Spielen gewinnt aber immer die Bank.

Oder im Sinne der Thermodynamik: Man kann das Kasino gar nie verlassen, daher rühre auch die Robustheit des Zweiten Gesetzes - zumindest bei größeren Systemen und über einen größeren Beobachtungszeitraum hinweg.

Die Original-Studie von Emil Mittag, Debra J. Searles und Kollegen unter dem Titel "Experimental Demonstration of Violations of the Second Law of Thermodynamics for Small Systems and Short Time Scales" erscheint in den Physical Review Letters vom 29. Juli 2002 (89, 050601).

☛ [Original-Abstract](#)


☛ [Grundbegriffe der Thermodynamik](#)

☛ [Grundlagen der Thermodynamik](#)

☛ [Physical Review Letters](#)

☛ [Nature Science Update](#)

[ [ORF ON Science](#) : News : Wissen und Bildung ]

IHR KOMMENTAR ZU  
DIESEM THEMA 

[atleosklian](#) | 25.07. 07:18

Supraleiter - die Revolution

Da liegt schon ein bisschen Wahrheit drin, Anubis. Erklärungen gibt es allerdings viele, die meisten lassen sich sogar auf einen Nenner bringen. Daß die Anwendungsmöglichkeiten jedoch nahezu grenzenlos sind und wir uns noch lange nicht an dem Ende der Entwicklungsleiter befinden, davon bin ich überzeugt. Vor allem auf der Ebene der "Supraleiter"-Technologie wird sich in näherer Zukunft einiges tun.



[anubis25](#) | 23.07, 20:33

tja... die physik

hat es immerhin bis heute nicht geschafft, eine vernünftige erklärung über die beschaffenheit eines magnetfeldes zu liefern. man spricht von magnetismus, elektromagnetismus, aber jeder physiker schweift in allgemeine erklärungen ab wenn jemand genauer fragt.... warum, weil man bis heute nicht weis was magnetismus auf molekularer, atomarer und subatomarer ebene eigentlich bedeutet, bzw. was sich hier abspielt. wir können sehr gut mit den auswirkungen dieser vorgänge arbeiten...e-motoren, festplatten, emagnetische wellen.... die liste liese sich lange fortsetzen, für mich steht jedenfalls eines fest, es gibt immer noch viele themen die es offensichtlich nicht wert sind erforscht zu werden, oder hat man angst vor den erkenntnissen????

[sensortimecom](#) | 23.07, 21:06

Ja. Man hat.

[crazy chatter18](#) | 23.07, 22:43

was sagt die physik?

ja ... mit elektromagnetischen (also auch magnetischen) feldern habe ich auch so meine probleme: "aha, felder ... ja und /was/ sind felder?" natürlich kann man dann das ganze math. aufziehen: "es gibt skalarfelder und vektorfelder. ein skalarfeld ist eine funktion  $R^3 \rightarrow R$  (oder so); typisches beispiel: temperaturfeld ... in jedem raumpunkt meines zimmers beispielsweise findet sich eine bestimmte temperatur. vektorfelder hingegen sind funktionen vom typus  $R^3 \rightarrow R^3$  beispiel: elektron im elektrischen feld; das elektron "erfährt" eine kraft durch dieses vektorfeld (elektrische feld) dessen vektor im entsprechenden raumpunkt eine best. beschleunigung verursacht, die als komponente in die resultierende bewegung eingeht. (allgemein kann man natürlich auch von  $R^3 \rightarrow R^n$  uä.sprechen) ... Was sagt uns das? erstmal nicht mehr ... das sind jetzt erstmal diese felder. aber ernsthaft: was wissen wir den wirklich selbst über die uns umgebende welt? wenn man genau nachfragt: nicht viel, zumindest nichts letztlich befriedigendes. einzig ihre sichtbarkeit, angreifbarkeit usw. gibt ihnen etwas mehr realität. aber auch die verflüchtigt sich, wenn man versucht das genau zu beschreiben bzw. zu hinterfragen. wir wissen weniger als wir glauben.

mfg

crazy chatter18

[ipv6](#) | 24.07, 00:12

hat man angst vor den erkenntnissen?

"ja aber was wirklich ist denn ein elektrisches feld?" will der kleine maxi wissen und ist enttauscht, weil die physiklehrer es nicht erklären koennen. sie haetten angst vor der erkenntnis, meint er dann. dabei ist es doch so,dass es hier nichts zu erkennen \*gibt\*. wir \*koennen\* nichts wissen. ja, wir koennen relationen aufstellen "a ~ b : c ~ d" oder  $E=mc^2$ , das ist aber auch schon alles. alles andere ist sophisterei.

[dorthy](#) | 24.07, 00:28

@anubis

die physik forscht kontinuierlich... im laufe der zeit werden immer wieder antworten für phänomene gefunden werden... wissenschafter sind die letzten, die angst vor erkenntnissen haben.. sonst würden sie nicht forschen...

[harryr2](#) | 24.07, 16:23

@anubis: ???

Man hat es nicht geschafft? Dann sind wohl die letzten 70 Jahre Physik an Dir vorbeigegangen. Gerade die elektromagnetische Wechselwirkung ist eine der am besten verstandenen und geprüften. Die Quantenelektrodynamik beschreibt sehr genau wie sich Teilchen auf subatomarer Ebene verhalten, wenn sie elektrodynamisch über Photonen wechselwirken.


Die magnetische Wirkung ergibt sich im übrigen aus dem Spin geladener Teilchen innerhalb eines elektrischen Feldes. (soweit ich mich jetzt erinnere, ist aber schon laange her).

Nicht alles, was selbst man nicht gehört/verstanden hat, kann die Physik nicht erklären. ;o)

Gruß Harry  
(ev Antworten bitte per mail, schaue hier nur sporadisch rein)

[gegenschwimmer](#) | 24.07, 19:53  
Bitte, wir haben schon alles erklärt  
Wir sind bereits bei der Frage, wie das Universum in der ersten Sekunde nach dem Urknall ausgesehen hat. Und damit ist nicht der Knall gemeint, den die Physiker haben.  
Interessanter Link:  
<http://www.tantra.at/artikel/geheimesgebot.htm>

[badre](#) | 23.07, 19:40

da is die physik matura grad mal ein paar wochen alt wird das soeben erst so schwer herausgearbeitet spezialgebiet schon prompt verworfen ... supi .. 

[crazy chatter18](#) | 23.07, 22:47  
wieso verworfen?  
du hattest physik-matura? na dann müsstest du eigentlich um die vorläufigkeit phys. wissens (bzw. ihrer theorien) wissen. ist newton verworfen? nicht wirklich. für  $v \ll c$  bleibt sie doch gültig. man hat inzwischen halt eine genauere, umfassendere theorie. das macht die newtonsche physik aber nicht hinfällig. hier ist's ähnlich. das bild ist nur genauer geworden aber deshalb muss man es doch nicht auf den müll schmeißen ...  
mfg  
crazy chatter18

[butt](#) | 24.07, 04:18  
Auch nomothetische Wissenschaften brauchen Hypothesen  
Vielleicht hat sie die Mär' geglaubt, daß die Physik eine "exakte" Naturwissenschaft sei, in der alle Gesetze beweisbar sind.

[gegenschwimmer](#) | 24.07, 19:14  
@butt  
Könntest Du bitte einem des Griechischen nicht mächtigen "nomothetisch" erklären?

[crazy chatter18](#) | 24.07, 22:22  
@gegenschwimmer ... suchen hilft ...  
hier einige adressen, wo dieses wort verwendet wird:  
<http://www.mauthner-gesellschaft.de/mauthner/hist/huxl.html>

<http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/INTERNET/ARBEITSBLAETTERORD/ERZIEHUNGSWISSENSCHAFT/ErzWissenschaftEmpirisch.html>

<http://www.lyre.de/nlq.htm>  
(hier steht irgendwas, hab's nur überflogen von "indeterminismus der quantentheorie" - das stimmt doch nicht?)

mfg  
crazy chatter18

[crazy chatter18](#) | 24.07, 22:52  
hm ...  
<http://www.mauthner-gesellschaft.de/mauthner/tex/heis3.html>  
(Scheint als würde ich nicht in Raum und Zeit leben, da ich die QT als deterministisch ansehe ...\*g\*)

mfg  
crazy chatter18

Die ORF.at-Foren sind allgemein zugängliche, offene und demokratische Diskursplattformen. Bitte bleiben Sie sachlich und bemühen Sie sich um eine faire und freundliche Diskussionsatmosphäre. Die Redaktion übernimmt keinerlei Verantwortung für den Inhalt der Beiträge, behält sich aber das Recht vor, krass unsachliche, rechtswidrige oder moralisch bedenkliche

Beiträge sowie Beiträge, die dem Ansehen des Mediums schaden, zu löschen und nötigenfalls User aus der Debatte auszuschließen.

Sie als Verfasser haften für sämtliche von Ihnen veröffentlichte Beiträge selbst und können dafür auch gerichtlich zur Verantwortung gezogen werden. Beachten Sie daher bitte, dass auch die freie Meinungsäußerung im Internet den Schranken des geltenden Rechts, insbesondere des Strafgesetzbuches (Üble Nachrede, Ehrenbeleidigung etc.) und des Verbotsgesetzes, unterliegt. Die Redaktion behält sich vor, strafrechtlich relevante Tatbestände gegebenenfalls den zuständigen Behörden zur Kenntnis zu bringen.

Die Registrierungsbedingungen sind zu akzeptieren und einzuhalten, ebenso Chatiquette und Netiquette!

[Übersicht: Alle ORF-Angebote auf einen Blick](#)