

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Energie  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060230>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Energieverbrauch von 2...15 kWh pro kVA mittlerer Schweißscheinleistung gerechnet werden. Zum Vergleich sei erwähnt, dass Lichtbogen-Schweissmaschinen in ähnlichen Betrieben 30...100 kWh pro Jahr und kVA mittlerer Schweißscheinleistung konsumieren. Weil der Energieverbrauch im Verhältnis zur bezogenen Leistung sehr klein ist und ausserdem der Schweissmaschinenbetrieb die Netze ausserordentlich ungünstig belastet, sehen sich die Elektrizitätswerke genötigt, nicht nur den Energieverbrauch, sondern auch eine Grundgebühr zu verrechnen. Ueber die Grundlage, auf der diese zu berechnen ist, bestehen zurzeit noch verschiedene Meinungen. Dazu kommt noch, dass für die Angabe der Leistungsaufnahme solcher Maschinen keine Normen bestehen und daher jeder Fabrikant die Maschinenleistung unter andern Voraussetzungen und Annahmen deklariert. Solange für die Leistungsbezeichnung keine einheitlichen Regeln aufgestellt sind, muss die Leistungsaufnahme jeder angeschlossenen Maschine durch eine Strom- und Spannungsmessung ermittelt werden. Die Messung der Leistungsaufnahme an Ort und Stelle hat den grossen Vorteil, dass jeder Schweissmaschinenbesitzer gleich behandelt wird. Die EKZ bestimmen den für die Grundgebühr massgebenden Anschlusswert folgendermassen:

Auf der Netzseite der Schweissmaschine wird bei höchster Schweißstromstufe und angeschlossenem, allfällig vorhandenem Kondensator Strom und Spannung gemessen. Während der Messung wird mit Punkt- und Nahtschweissmaschinen bei kleinsten Fensteröffnungen<sup>7)</sup> das dünnste noch einwandfrei zu schweissende Blech und mit Stumpf-schweissmaschinen das grösstmögliche Werkstück geschweisst. Das Produkt aus den derart gemessenen Werten stellt die maximal aufgenommene Scheinleistung in VA dar und wird als Anschlusswert bezeichnet. Der zur Verrechnung gelangende Grundpreis beträgt pro kVA Anschlusswert und Jahr bei Abgabe der Energie in Niederspannung und Anschluss der Maschine hinter einem normalen kWh-Zähler 16 Fr., bei Anschluss hinter einem kWh-Zähler mit Maximumregistrierung 10 Fr., bei Abgabe in Hochspannung hinter einer Hochspannungszählerei 5 Fr. Die EKZ hoffen damit eine Regelung getroffen zu haben, die sowohl vom Maschinenbesitzer als auch vom Elektrizitätswerk als tragbar betrachtet werden kann.

<sup>7)</sup> P. Vögeli: Die Anschlussleistung von Punktschweissmaschinen für Aluminium und seine Legierungen; SBZ Bd. 121 (1943), Nr. 1, S. 8...10.

Adresse des Autors:  
H. Altherr, Stellvertreter des Installationschefs der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Zürich.

## Energie

536.72

Der Rektor der ETH, Prof. Dr. F. Tank, hielt am ETH-Tag vom 18. 11. 44 im Auditorium Maximum der ETH eine Rede über «Energie», die sehr grosse Beachtung fand. Sie wurde im Rahmen der kultur- und staatswissenschaftlichen Schriften im Polygraphischen Verlag A.-G., Zürich, 1945<sup>1)</sup>, herausgegeben. Mit freundlicher Erlaubnis des Autors und des Verlages geben wir einiges, z. T. im Wortlaut, z. T. ganz kurz referierend, aus dieser Rede wieder:

«Die Chronik berichtet: Im Jahre 1715 zeigte ein Mann mit Namen Orffyreus in Merseburg eine Maschine, welche die Eigenschaft besass, wochenlang von selbst in Bewegung zu bleiben. Viel Volkes wanderte herbei, das Wunder zu beschauen. Orffyreus nannte seine Maschine „Triumphans Perpetuum mobile Orffyreanum“ und brachte an ihr eine Büchse an zur Sammlung von Geldbeiträgen für wohlätige Zwecke. Der Landgraf von Hessen-Kassel, ein eifriger Förderer der Wissenschaften, erteilte ihm den Titel eines Kommerzienrates und berief ihn an seinen Hof. Da behauptete eine Dienstmagd, sie hätte helfen müssen, das Perpetuum mobile von einem Nebenraume aus anzutreiben. Sie schwor ihre Aussage zwar wieder ab, und viele Bewunderer liessen sich in ihrem Glauben an Orffyreus nicht irremachen. Aber sein Ruhm war dahin, und er starb einige Zeit später verlassen und vergessen.»

60 Jahre später beschloss die Académie des Sciences in Paris, keine Vorschläge eines Perpetuum mobile mehr zur Prüfung entgegenzunehmen mit der kurzen und bündigen Begründung: «Le mouvement perpétuel est absolument impossible.»

Die Entwicklung des Energiebegriffes seit frühesten Zeit ist etwa durch folgende Daten gekennzeichnet:

Ein halbes Jahrtausend vor Beginn unserer Zeitrechnung lehrte Demokrit: «Aus nichts wird nichts. Nichts, was ist, kann vernichtet werden. Alle Veränderung ist nur Verbindung und Trennung von Teilen. Nichts geschieht zufällig, sondern alles aus einem Grunde und mit Notwendigkeit. Nichts existiert, als der leere Raum und die Atome; alles andere ist Meinung. Die Atome sind ein Letztes und Unteil-

bares und ihre Bewegung ist ewig.» Descartes (1596—1650) entwickelte eine Lehre von der Unzerstörbarkeit der Bewegung, und er definierte als Bewegungsmenge das Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Körpers (heute nennt man das Impuls). Leibniz definierte die lebendige Kraft als das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit eines Körpers und er schreibt: «Es ist nun sicher zweckmäßig anzunehmen, dass sich stets der gleiche Gesamtbetrag an Bewegungsfähigkeit in der Natur erhält und sich weder vermehrt noch vermindert, denn wir sehen ja bei keinem Körper Kraft verlorengehen, ohne dass sie sich auf einen andern überträgt; daher kann auch niemals eine immerwährende mechanische Bewegung von selbst zustande kommen, denn keine Maschine, geschweige denn die gesamte Welt, kann ihre Kraft steigern ohne neuen Antrieb von aussen her.» Daniel Bernoulli liess 1748 eine Abhandlung erscheinen «Sur le principe de la conservation des forces vives» und er rechnete aus, dass die in einem Kubikfuss Schwarzpulver schlummernde Energie ausreichend wäre, um ein Gewicht von nahezu 200 Millionen Pfund einen Fuss hoch zu heben, und in seiner Hydrodynamik lehrte er: «Je stärker die Wärme ist, um so häufiger ist unter allen Umständen die Bewegung der Teilchen.» 1765 erfand James Watt die doppelt wirkende Dampfmaschine mit Selbststeuerung, Schwungrad und Kurbel. Auch Goethe befasste sich mit energetischen Betrachtungen.

Den zweiten Teil der Rede lassen wir im Wortlaut folgen:

«Aber dann erfolgte der Durchbruch mit Macht. Er bedeutet, wenigstens in seinen Auswirkungen, das grösste wissenschaftliche Ereignis des 19. Jahrhunderts. An ihn knüpfen sich vor allem drei Namen: Julius Robert Mayer, James Prescott Joule und Hermann von Helmholtz. Ein Vierter, dem ebenfalls ein Anteil an der Krone gebührt hätte, war zu früh verblichen: Sadi Carnot.

Im Jahre 1840 unternimmt der 26jährige Arzt Robert Mayer aus Heilbronn eine Reise nach Ost-Indien. Er ist ein temperamentvoller Feuerkopf, der sich für alles brennend interessiert, was in der Natur vorgeht. Bei Aderlassen auf Java glaubt er zu beobachten, dass das venöse Blut heller sei als in nördlichen Breitengraden. Blitzartig durchzucken

<sup>1)</sup> 20 Seiten, Preis Fr. 1.50. Wir empfehlen diese Schrift unseren Lesern lebhaft.

ihm einige Gedanken. Die Ueberzeugung ergreift von ihm Besitz, dass die Physiologie des Stoffwechsels den gleichen physikalischen Gesetzen unterworfen sei, wie die unbelebte Natur. Er vermutet eine quantitative Abhängigkeit des Wärmeaushaltes im Körper von der Temperatur der Umgebung. Physik weiss er wenig. Aber er ist durchdrungen von der Grösse und Bedeutung der Zusammenhänge, welche sich ihm offenbaren. Das Gesetz von Ursache und Wirkung muss für die Natur in ihrer ganzen Allgemeinheit gelten, und zahlenmässig genau so gross wie die Ursache war, muss auch die Wirkung sein. Von der Reise zurückgekehrt, trägt er seine Ideen dem tüchtigen Tübinger Physiker Nörremberg vor und erhält zur Antwort: „Ja, wenn Sie ein neues Experiment auf Ihre Theorien gründen können, dann ist Ihre Sache gemacht.“ Nörremberg erhebt ferner den Einwand, dass Flüssigkeiten beim Schütteln sich erwärmen müssten. Robert Mayer geht nach Hause und stellt Versuche an. Es ist uns ein ausgedehnter Briefwechsel von Mayer erhalten, so dass wir über viele Einzelheiten unterrichtet sind. Am 12. September 1841 schreibt er an seinen Freund Baur: „Den Nachweis, den Nörremberg verlangt, dass durch Schütteln sich Wärme erzeugen lässt, habe ich durch viele, stets gelungene, vorsichtige Versuche geleistet. Eine Lebensfrage für meine Theorien, die sich mit mathematischer Gewissheit entwickeln lassen, bleibt nun die Lösung der Frage: Wie hoch muss ein Gewicht — etwa 100 Pfund — über die Erde erhoben sein, dass die dieser Erhebung entsprechende und durch das Herablassen des Gewichtes zu gewinnende Menge von Bewegung gleich sei der Menge von Wärme, welche erforderlich, um ein Pfund Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln?“ Um eine solche Zahl geht nun alles. „Wahrlich, ich sage Euch“, lässt er später in einem Briefe sich vernehmen, „eine einzige Zahl hat mehr wahren Wert als eine kostbare Bibliothek voll Hypothesen!“

Im Jahre 1842 erscheint in Liebigs und Wöhlers „Annalen der Chemie und Pharmacie“ eine kurze Veröffentlichung Robert Mayers unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“. In dieser in mancher Hinsicht noch anfechtbaren Arbeit erscheint zum erstenmal diejenige Zahl, welche gestattet, Wärmeinheiten in mechanischer Masse anzugeben und welche man das mechanische Wärmeäquivalent genannt hat. Mayer findet auf geistreichem Wege durch Rechnung, dass einer verbrauchten Kilo-Kalorie Wärme ein mechanischer Arbeitsbetrag von 365 Meter-Kilogramm entsprechen müsse. Es ist nebensächlich, dass diese Zahl später auf den genaueren Wert von 427 Meter-Kilogramm zu verbessern war; sie genügte, den Heilbronner Arzt unsterblich zu machen.

Mayers Arbeiten blieben mehrere Jahre hindurch unbeachtet. Obwohl er ein Gegner fruchtloser Naturphilosophie war, sind seine Gedankengänge naturphilosophischer Art und knüpft er an die grossen Philosophen des Altertums an. Immer wieder begegnen wir in seinen Schriften dem Satze: „Causa aequat effectum“, d. h. die Ursache ist gleichwertig mit der Wirkung, oder „Aus nichts wird nichts; nichts was ist, kann vernichtet werden.“ Mayer besass eine mächtige schöpferische Phantasie, aber ein gleiches Mass von unbearbaren Wissen war ihm versagt. Dieser Gegensatz führte zu einer inneren Problematik, welche sein späteres Leben zeitweise schwer überschattete.

Der Experimentator, dessen es bedurfte, um durch ge nauere Messungen den zahlenmässigen Nachweis für den Kreislauf der Energie zu führen, war James Prescott Joule. Joule begann seine Arbeiten unberührt von Mayers Ideenwelt. Seine erste Mitteilung erschien 1843 unter dem Titel „Ueber die erwärmenden Wirkungen der Magneto-Elektrizität und über den mechanischen Wert der Wärme“. Joule war Physiker aus Liebhabelei, aber er besass den in der Forschung so überaus wichtigen Sinn für das Wesentliche. Er hat gemessen, und dadurch war er gross, denn seine Messungen entschieden alles. Auch Joule blieb die Anerkennung längere Zeit versagt. William Thomson, der spätere Lord Kelvin, der in der Geschichte der Physik zu den bedeutendsten Thermodynamikern zählt, berichtet über einen Vortrag, welchen Joule anlässlich der Versammlung der englischen Naturforscher in Oxford 1847 hielt: „Als ich Joules Abhandlung vorlesen hörte, war ich anfangs in Versuchung, mich zu erheben und zu erklären, dass sie unrichtig sein müsse.“

Allein nach und nach sah ich ein, dass die Abhandlung eine grosse Wahrheit und eine grosse Entdeckung enthielt.“

In Hermann von Helmholtz tritt nun der Mann auf den Plan, der mit überragendem Können den Gedanken der Erhaltung der Energie in seiner ganzen Allgemeinheit und Tragweite erfasse und in die Grundlagen des physikalischen Wissens seiner Zeit einzufügen verstand. Seine berühmte Arbeit „Ueber die Erhaltung der Kraft“ — später von Wilhelm Ostwald als erstes Heft der Sammlung „Klassiker der exakten Wissenschaften“ herausgegeben — ist ein Jugendwerk, welches Helmholtz als junger Militärarzt im wesentlichen schon in den Jahren 1843 und 1844 fertiggestellt hatte, und dessen Inhalt er am 23. Juli 1847 vor der Physikalischen Gesellschaft in Berlin vortrug. In späteren Jahren erzählte er über dessen Entstehung: „Die Ueberzeugung von der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile habe ich während meiner Schulzeit oft genug aussprechen und die Unvollständigkeit der dafür zu erbringenden Beweise erörtern hören. Als Eleve des Friedrich-Wilhelm-Institutes hatte ich in der Bibliothek desselben Assistenz geleistet, und in den unbeschäftigt Minuten die Werke von Daniel Bernoulli, d'Alembert und anderer Mathematiker des vorigen Jahrhunderts mir herausgesucht und durchmustert. So stiess ich auf die Frage: Welche Beziehungen müssen zwischen den verschiedenartigen Naturkräften bestehen, wenn allgemein kein Perpetuum mobile möglich sein soll?, und die weitere: Bestehen nun tatsächlich alle diese Beziehungen?“ Ueber seine Arbeit selbst bemerkt Helmholtz in deren Einleitung: „Gegenstand derselben ist der Versuch, ein bisher nur mit Beschränkungen angewendetes, notwendiges Grundgesetz der Mechanik ganz allgemein durchzuführen; eine Idee, die in neueren Zeiten von vielen Seiten in Anregung gekommen, aber hier zum ersten Male vollständig ausgeführt ist.“ Helmholtz hat den Energiesatz der Mechanik tatsächlich auf alle Gebiete und Anwendungsmöglichkeiten der Physik erweitert. Um dies tun zu können, musste er voraussetzen, dass alle Kräfte der Natur letzten Endes mechanischer Art seien. Damit war das weitreichende Postulat ausgesprochen, dass alles Naturerkennen schliesslich auf die Gesetze der Mechanik zurückzuführen sei. Es bedeutete dies aber nicht weniger als das physikalische Forschungsprogramm der nächsten Dezennien. Helmholtz fährt in seiner Einleitung weiter: „Es bestimmt sich also endlich die Aufgabe der physikalischen Naturwissenschaften dahin, die Naturerscheinungen zurückzuführen auf unveränderliche, anziehende und abstoßende Kräfte, deren Intensität von der Entfernung abhängt. Die Lösbarkeit dieser Aufgabe ist zugleich die Bedingung der vollständigen Begreiflichkeit der Natur.“ Emil Dubois-Reymond, ein Jugendfreund von Helmholtz, der später als Physiologe zu hohem wissenschaftlichem Ansehen gelangte, nannte diese Einleitung begeistert „ein historisches Dokument grosser wissenschaftlicher Konzeption für alle Zeiten“. Der Widerspruch der älteren Physiker-Generation war gross. Von der vornehmen physikalischen Zeitschrift „Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie“ wurde das Helmholtzsche Manuskript zurückgewiesen mit den Begleitworten Poggendorffs: „Meine unmassgebliche Meinung wäre, der Verfasser liesse die Abhandlung für sich erscheinen.“ Und es geschah so.

Die Entdeckung des allgemeinen Gesetzes von der Erhaltung der Energie war ein Sieg der Jugend. Robert Mayer war 28 Jahre alt, als seine erste Abhandlung erschien, Joule 25jährig und Helmholtz 26jährig. Ein grosses Ziel war erreicht. Der ungeschliffene Edelstein eines weit zurückreichenden Gedankengutes hatte am Prüfstein der Erfahrung Form und Gestalt und damit seinen unschätzbarer Wert gewonnen. Auf den Fluren der Wissenschaft begann es zu keimen und zu grünen. Die gesamten Naturwissenschaften hatten ein gemeinsames Fundament erhalten. Insbesondere traten die verschiedenen Disziplinen der Physik wie Mechanik, Wärmelehre, Optik und Elektrizitätslehre, nunmehr durch das Band des Energieaustausches verbunden, miteinander in erkennbaren engeren Zusammenhang. Die Chemie empfing Anregungen und Richtlinien ihrer Forschung. Gebieterisch pochte das Zeitalter der Technik an die Tore. Eisenbahn, Dampfschiff und Telegraph schufen neue Wege für den Austausch geistiger und materieller Güter. Das Rauschen eines gewaltigen Frühlings ging durch jene Tage. Und die Historiker schrieben das Jahr 1848.

Die weitere Entwicklung des Energiesatzes im 19. Jahrhundert bedeutet vor allem Anwendung. Zu vielseitig und zu verzweigt ist hier das Einzelne, als dass alles gesagt werden könnte. Doch gebietet die Pflicht, zwei Namen nicht zu vergessen: Rudolf Clausius und William Thomson. Clausius und Thomson sind bekannt geworden als die Schöpfer eines weiteren fundamentalen, das ganze Naturgeschehen umspannenden Satzes, des sogenannten zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre oder besser des Satzes von der Zunahme der Gesamtentropie. Dieser Satz ist gänzlich verschieden vom Satze von der Erhaltung der Energie, ergänzt ihn aber grundlegend, indem seine Aussage sich auf die Richtung der in der Natur auftretenden Prozesse bezieht. Aehnliche Angaben enthält der Energiesatz nicht. Das Wort Energie wurde erst 1853 von dem englischen Physiker Rankine in dem heute geläufigen Sinne eingeführt und angewendet. William Thomson hat die Bezeichnung Energie übernommen und verbreitet. Der Ausdruck Entropie wurde von Clausius in bewusster Anlehnung an das Wort Energie geprägt. Erstmalig führte er ihn ein in einem berühmten Vortrage, welchen er am 24. April 1865 vor der Zürcher Naturforschenden Gesellschaft hielt, und welchen er mit den Worten schloss: „1. Die Energie des Weltalls ist konstant; 2. die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“

Der Satz von der Erhaltung der Energie vermochte trotz seiner immensen Fruchtbarkeit auf das Wesen der Energie selbst nur wenig Licht zu werfen. Dazu waren neue Erkenntnisse notwendig, welche erst das 20. Jahrhundert durch die Relativitätstheorie und die Quantentheorie brachte.

Die Relativitätstheorie bedeutet zugleich Abschluss und Krönung der Physik des 19. Jahrhunderts. Wie der Schlussstein eines Gewölbes fasst sie die einzelnen Gebiete der Physik zusammen, welche sie zugleich erweitert und präzisiert. Ihre Fruchtbarkeit verdankt sie der Kraft der Gedanken, welche ihr Schöpfer, Albert Einstein, mit seherischer Gabe und bewunderungswürdigem Scharfsinn in sie hineinlegte. Die Relativitätstheorie verneint die absolute Geltung von Raum und Zeit; sowohl der Raum- wie der Zeitmessung wird lediglich relative Bedeutung zuerkannt. Der Energie schreibt sie Trägheit zu, ja mehr noch, sie erklärt die Masse als eine Erscheinungsform der Energie. Masse und Energie sind identisch! Einstein selbst hat das Gesetz von der Identität von Masse und Energie als das wichtigste Ergebnis der Relativitätstheorie bezeichnet. Energie ist träge, sie hat Gewicht. Transportierte Energie besitzt Impuls. Die Energie des Lichtes und der Strahlung ist davon nicht ausgenommen. Die Masse verliert ihren primären Charakter als unzerstörbare Substanz. Nun verschmelzen die Sätze von der Erhaltung der Energie und von der Erhaltung der Masse zu einer neuen Einheit: Die Summe von Masse und Energie bleibt in einem abgeschlossenen System konstant.

Wir sind nicht gewohnt, Energien als Masse uns zu denken, aber wir müssen es lernen. Zahlen zeigen uns, dass der Verbrauch an elektrischer Energie in der Schweiz im Durchschnitt der letzten 20 Jahre um 250 Millionen Kilowattstunden jährlich gestiegen ist, was einer Verbrennungswärme von 30 000 Tonnen bester Kohle gleichkommen würde und jährliche Neuinvestierungen von 50...100 Millionen Franken erforderte. Dieser Energiezuwachs bedeutet 10 Gramm und damit weniger als das Gewicht eines Fünffrankensteinstückes. Der totale Energiebedarf der Schweiz, der zur Zeit noch nicht ganz zu einem Fünftel auf elektrischem Wege gedeckt werden kann, beträgt etwa 45 Milliarden Kilowattstunden im Jahre, was 1,8 Kilo gramm Masse entspricht. Wenn einmal bei vollständiger Ausnutzung unserer ausbaufähigen Wasserkräfte 20 Milliarden Kilowattstunden elektrische Energie erzeugt werden, dann rinnen im Jahre 300 Gramm träge und ponderabler Masse als elektromagnetische Wellen längs der Adern der Hochspannungsleitungen und Verteilanlagen von den Kraftwerken in die Verbrauchsstellen.

Es ist bekannt, dass die Relativitätstheorie eine Stufe hoher formaler Vollkommenheit erreicht hat. In der Physik bedeutet die Form aber nicht nur eine Schale, sondern stets auch einen Anteil am Kern des Wesentlichen. Unter Aufopferung jeder Anschaulichkeit, aber unter Wahrung einer höchsten Oekonomie und Folgerichtigkeit des Denkens werden Raum und Zeit zu einer vierdimensionalen Welt von absoluter Geltung vereinigt. In dieser Welt des Absoluten

erscheint der Energiesatz in einer letzten Vollendung: den Satz von der Erhaltung der Masse bereits umfassend, wächst er mit dem Satze von der Erhaltung des Impulses zusammen und bildet mit ihm ein einziges und allumfassendes Erhaltungsgesetz, den Energie-Impuls-Satz. Energie und Impuls sind untergeordnete Stufen eines höheren physikalischen Begriffes. Die Visionen eines Descartes und eines Leibniz aber durften in dieser Form ihren endgültigen Ausdruck finden.

Die Voraussagen der Relativitätstheorie müssen in einer Welt geprüft werden, der andere Grössenordnungen zukommen als unserer täglichen Umgebung. Es ist der Mikrokosmos der Atome, in welchem der Satz von der Identität von Masse und Energie seine schönste Bestätigung findet. Wir stellen uns heute die Atome als Gebilde vor mit einem äusserst kleinen, die wesentliche Masse enthaltenden Kern, der elektrisch positiv geladen und von einer Hülle elektrisch negativer Elektronen umgeben ist. Der Kern baut sich aus elementaren Bausteinen auf, den Protonen und den Neutronen. Die Protonen sind Wasserstoffkerne. Die Neutronen sind ihnen an Masse nahezu gleich, jedoch elektrisch ungeladen. Wenn Kerne labil werden und zerfallen, nennen wir sie radioaktiv. Die Physik besitzt Mittel, wenn auch in geringem Ausmaße, Kerne zu enger Berührung zu bringen und damit Umwandlungen der Kerne oder Kernreaktionen einzuleiten. Unsere klassische Chemie befasst sich im Gegensatz dazu mit materiellen Umsetzungen, bei welchen die Kerne erhalten bleiben; die dabei auftretenden Energietönungen bedeuten massenmäßig nur wenig. Daher kennt die Chemie konstante Atomgewichte und gilt in ihr das Gesetz von der Erhaltung der Masse. Anders in der Kernchemie. Unter dem Gesichtspunkte der Äquivalenz von Masse und Energie erscheinen die Kerne als Orte höchster Energiekonzentration. Die Kernreaktionen enthalten sich dann als ein Austausch von Energien, sei es potentieller, kinetischer oder strahlungsmässiger Art. Es ist erstaunlich, mit welcher Genauigkeit heute gerade infolge der Berücksichtigung des bei den Kernreaktionen auftretenden Energieumsatzes die Atomgewichte bestimmt werden können. Zwei Protonen und zwei Neutronen besitzen im Zustande räumlicher Trennung eine Summe der Atomgewichte gleich 4.0331, in bekannter Weise bezogen auf Sauerstoff gleich 16.0000. Treten sie zur Bildung eines Heliumkernes zusammen, so findet man für letzteren nur noch ein Atomgewicht von 4.0028. Die Massendifferenz von rund 30 Milligramm auf 4 Gramm entstandenes Helium entspricht verlorener potentieller Energie und ist abgestrahlt worden. Es bedeutet dies den gewaltigen Betrag von 650 Millionen Kilo-Kalorien. Die Reaktionswärmen der Kernprozesse sind also ungeheuer gross.

Als Begleiterscheinung von Kernumwandlungen kann sogar Strahlung eines bestimmten Energiebetrages verschwinden und an ihrer Stelle ein Teilchenpaar von äquivalenter Masse entstehen. Man spricht von Materialisierung der Strahlung. Es geschieht dies beispielsweise bei der Erzeugung eines positiven und eines negativen Elektrons aus äusserst kurzwelliger Strahlung. Auf der andern Seite können ein positives und ein negatives Elektron sich vereinigen und unter Bildung eines ihrer Masse äquivalenten Energiebetrages von Strahlung vollständig verschwinden. Das bedeutet Zerstrahlung der Materie. Immer bleibt aber die Gesamtsumme von Masse und Energie erhalten.

Die Kenntnis der Kernreaktionen hat uns heute die Lösung eines alten und schwierigen Rätsels ermöglicht, nämlich den scheinbar unerschöpflichen Vorrat der Sonne an Strahlungsenergie zu erklären. Aus Messungen wissen wir, dass bei senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung einem Quadratmeter Erdoberfläche während jeder Minute ein Energiebetrag von 19 Kilo-Kalorien zugeführt wird, was umgerechnet auf den Quadratmeter und die Sekunde eine Leistung von 1,35 Kilowatt ausmacht. Daraus ergibt sich ein sekundlicher Energiegewinn der gesamten Erde von 170 Billionen Kilowatt, eine Leistung, welche viele Millionen Kraftwerke nicht aufbringen könnten und welche doch nur dem zweimilliardsten Teil der von der Sonne überhaupt ausgestrahlten Energie menge entspricht. Dabei ist die Strahlung der Sonne infolge ihrer hohen Temperatur so überaus stark, dass ein einziger Quadratmeter Sonnenoberfläche je Sekunde etwa 60 000 Kilowatt abgibt und damit dasselbe leistet, was nur unsere mächtigsten Generatoren vermögen. Wäre die kosmische Glut der Sonne ein Feuer gewöhnlicher Art, so müsste ihr alle zwei

Stunden ein ganzer Mond aus Kohle oder alle sechs Tage eine aus Kohle bestehende Erde zugeführt werden, damit ihre Wärme und Leuchtkraft erhalten bleiben. Eine ganz aus Steinkohle bestehende Sonne aber würde in einem Zeitraume von rund 5000 Jahren restlos verbrannt sein.

Nahezu der gesamte energetische Austausch auf dieser Erde entstammt der Sonne. Die Verdampfung des Wassers in den Meeren, Seen und Flüssen, die Hebung der so entstandenen Feuchtigkeit um Tausende von Metern und ihr Abtransport um Hunderte von Kilometern, was schliesslich die Niederschlagsbildung in Form von Regen und Schnee ermöglicht — all das ist nicht nur ein Werk der Sonnenenergie, sondern findet überdies bis ins einzelne sein Gleichnis im Ablauf einer ungeheuren Dampfmaschine, welche durch drahtlose Energieübertragung aus hundertfünfzig Millionen Kilometern Distanz, nämlich der Entfernung Sonne-Erde, geheizt wird. Ohne Sonnenenergie ist kein Leben denkbar. Schätzungsweise 16 Milliarden Tonnen Kohlenstoff werden jährlich durch sie in den Pflanzen unter Mitwirkung des Chlorophylls gebunden. Sie ist es, welche die durch die Verbrennungsprozesse im menschlichen und tierischen Körper sowie in den Maschinen entwertete Energie zu höheren Formen wieder aufwertet. In den Kohlenlagern der Erde liegt seit Jahrtausenden Sonnenenergie für die Verwendungszwecke der Zukunft bereit, und auch unsere Gletscher und Firne bedeuten Speicher der Sonnenenergie zum Verbrauche in unseren Kraftwerken.

Dabei wissen wir, dass die Sonne ihre Tätigkeit seit mehr als einer Milliarde Jahren in unvermindertem Grade aufrechterhalten hat. Man kann heute mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit behaupten, dass im Innern der Sonne sich Kernreaktions-Zyklen abspielen, aus deren Bilanz die Strahlungsenergie der Sonne bestimmt wird. Vermutlich verwandelt sich in einem mehrstufigen Prozess Wasserstoff in Helium, wobei pro Gramm umgesetzten Wasserstoffes eine Energiemenge von rund 150 Millionen Kilo-Kalorien frei wird und abgestrahlt werden kann. Der auf diese Weise von der Sonne im Jahre abgegebene Energiebetrag von  $2,7 \cdot 10^{30}$  Kilo-Kalorien bedeutet einen Massenverlust von 125 Billionen Tonnen, der aber unmerklich ist, da er nur rund dem 15-billionsten Teile der Gesamtmasse der Sonne gleichkommt. Unser Zentralgestirn wird daher mit Sicherheit noch viele Milliarden Jahre leben können, bevor irgendwelche Zeichen des Alterns sich an ihm bemerkbar machen werden. So könnte die Sonne wohl als ein Perpetuum mobile erscheinen, in Wirklichkeit aber ist sie eine futuristische Maschine zur Auswertung der Atomkern-Energie.

Aber auch der Energie, dieser Weltherrin, deren Macht zu preisen ein Gelehrter wie Wilhelm Ostwald nicht müde wurde, sind ihre Grenzen gesetzt. Die Kenntnis dieser Grenzen verdanken wir der Quantentheorie. In letzterer hat die Atomlehre des 20. Jahrhunderts ihre Zusammenfassung gefunden. Den ersten Küstenstreifen dieses Neulandes entdeckte im Jahre 1900 Max Planck, als er bei der Aufstellung seines

berühmten Strahlungsgesetzes sich gezwungen sah, die Vorstellung einer elementaren, quantenhaften Unterteilung der Energie einzuführen, und gleichzeitig auf eine Naturkonstante von fundamentaler Bedeutung stiess: das universelle Wirkungsquantum. In ihrer Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit stellt die Quantentheorie heute eine eigentliche Physik der prinzipiell kleinsten Einheiten der Natur dar; in ihrem abstrakten Gewande gleicht sie einer Mathematik des Atoms. Die Quantentheorie zeigt, dass die Grenzen des Energiebegriffes da liegen, wo die Möglichkeit physikalischer Messungen grundsätzlich aufhört. Ihre strenge Formulierung findet diese Tatsache in den berühmten Unbestimmtheitsrelationen Werner Heisenbergs, welche besagen, dass man nie eine physikalische Größe beliebig genau messen kann, ohne zu gleicher Zeit und notwendigerweise die Messgenauigkeit einer andern zugeordneten Größe zu beeinträchtigen. Das Produkt aus den Messfehlern, also aus den Unbestimmtheiten der beiden Größen, kann dabei nie kleiner sein als ein bestimmter Betrag, der gleich ist dem Planckschen universellen Wirkungsquantum. Energie und Zeit bilden nun ein solches Paar zugeordneter Größen; die Natur hat Energie und Zeit durch eine geheimnisvolle innere Bindung ausgezeichnet. Eine Energiemessung von äusserster Genauigkeit schliesst eine gleichzeitige äusserst genaue Zeitmessung aus. Es können daher Energiebeträge nur definiert werden für Vorgänge oder Zustände innerhalb eines genügend breiten Zeitintervalles. Für Geschehnisse, welche selbst nach atomaren Vorstellungen von sehr kurzer Dauer sind, existiert der Energiebegriff überhaupt nicht mehr. Der Satz von der Erhaltung der Energie versagt nie, wo überhaupt von Energie gesprochen werden kann. Aber es gibt Vorgänge, welche keine energetischen Aussagen mehr zulassen. Dies ist die Grenze des Satzes von der Erhaltung der Energie.

Die Wissenschaft ist sich heute einer bestimmten Reife bewusst geworden. In dieser Reife hat sie ihre Grenzen erkannt. Es liegt im Wesen der Natur und in unserem eigenen begründet, dass alle unsere Erkenntnis, um ein Wort Werner Heisenbergs zu brauchen, gewissermassen über einer grundlosen Tiefe schweben muss. Und doch hat der menschliche Geist nie geruht, die grossen Zusammenhänge zu ahnen, zu suchen und auch mehr und mehr aufzudecken. Der Satz von der Erhaltung der Energie ist ein grandioser Satz. In seiner erhabenen Einfachheit und in der ungeheuren Weite seines Geltungsbereiches bedeutet er nicht weniger als einen Bestandteil des Schöpfungsplanes, der dieser Welt zugrunde liegt. Welch eine Fülle von Vorstellungen und Begriffen birgt dieses eine Wort: Energie! Sie ist zugleich höchste Realität und äusserste Abstraktion. Für den Physiker ist sie eine durch Messung gewonnene Erfahrung, für den Mathematiker eine Rechengrösse, für den Techniker ein Rohstoff, für den Juristen eine Sache, für den Kaufmann Reichtum und schliesslich für uns alle, wie der ganze Schöpfungsplan — ein Wunder!»

## Schutzmassnahmen bei Aufstellung von Holzmasten

Von Willy Kinberg, Stockholm-Vendelsö

621.315.668.1

*Der Autor stellt fest, dass die bei Holzmasten üblichen Steinkränze zur Ansammlung von Regenwasser Anlass geben, so dass das Auftreten von Fäulnispilzen am Stangenfuß begünstigt wird. Es wird vorgeschlagen, den oberen Steinrand nicht unmittelbar an der Erdoberfläche anzubringen, damit die Fäulniserscheinungen möglichst reduziert werden.*

*L'auteur constate que les couronnes de pierres prévues généralement autour du pied des poteaux en bois facilitent l'accumulation de l'eau de pluie et favorisent ainsi la pourriture du poteau. Il propose de ne pas disposer la couronne de pierres supérieure à fleur du sol, mais à une certaine profondeur, afin de réduire le plus possible les risques de pourriture.*

Bei Berechnung der horizontalen Grundbeanspruchungen bei Mastfundamenten verläuft der Druck vermutlich nach einer quadratischen Parabel gemäss Fig. 1. Es ist aber auch ein linearer Verlauf, wie in Fig. 2 gezeigt wird, denkbar.

Der höchste Grunddruck entsteht gemäss Fig. 1 bei  $\frac{1}{3} t_2$ , gemessen von der Erdoberfläche, und entsprechend Fig. 2 an der Erdoberfläche selbst.

Bei der Aufstellung von Holzmasten sucht man in manchen Gegenden einen Grunddruckverlauf nach Fig. 2 dadurch zu erreichen, dass man steinernes Geröll an der Erdoberfläche um die Stangen lagert und dort zwischen Stangen und Erdreich gemäss Fig. 3 einstampft. Wenn man bei einer solchen Bauart wirklich eine erhöhte Stabilität der Stangen erreicht, so ist ein solches Vorgehen aus andern Gründen verwerflich.