Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 82 (1991)

Heft: 4

Artikel: Über den Umgang mit Energie

Autor: Spreng, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902930

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: 09.07.2025

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

Über den Umgang mit Energie

D. Spreng

Energie ist ein grundlegender Begriff in verschiedenen Wissenschaften. Der Umgang mit ihr ist jedoch nicht derselbe in den verschiedenen Disziplinen. Die unterschiedliche Sichtweise führt u.a. auch zu mehreren Methoden der Bilanzierung von Energie. Vor allem existiert aber eine Wechselwirkung zwischen wissenschaftlichem und realem Umgang mit Energie. In Zukunft werden die Ingenieurwissenschaften vermehrt die Analyse der Auswirkungen von Techniken miteinschliessen.

L'énergie est un terme fondamental dans diverses sciences. Son utilisation peut toutefois varier suivant les disciplines. La manière différenciée de la voir implique, entre autres, aussi plusieurs méthodes d'analyse du bilan de l'énergie. Toutefois, il existe avant tout une interaction entre les utilisations scientifique et réelle de l'énergie. L'ingénierie tiendra à l'avenir davantage compte de l'analyse des conséquences de certaines techniques.

Leicht gekürzte Fassung der Antrittsvorlesung als Privatdozent an der ETH Zürich am 27. November 1990

Adresse des Autors
PD Dr. *Daniel Spreng*, Forschungsgruppe Energieanalysen, Insitut für Elektrische Energieübertragungen und Hochspannungstechnik, ETH, 8092 Zürich

Ansichten der Energie

Als ein paar Spitzen am Ende des eindrücklichen Aletschgletschers, so präsentiert sich die Jungfrau, wenn man sie vom Wallis her betrachtet. Es ist kaum zu glauben, dass es derselbe Berg ist, der sich von Bern her so harmonisch in die Alpenkette einfügt oder der von Interlaken her derart majestätisch wirkt. Auf alten Stichen heisst es jeweils nicht Ansicht, sondern beispielsweise «Aspect der Stadt Zürich». Ebenso gibt

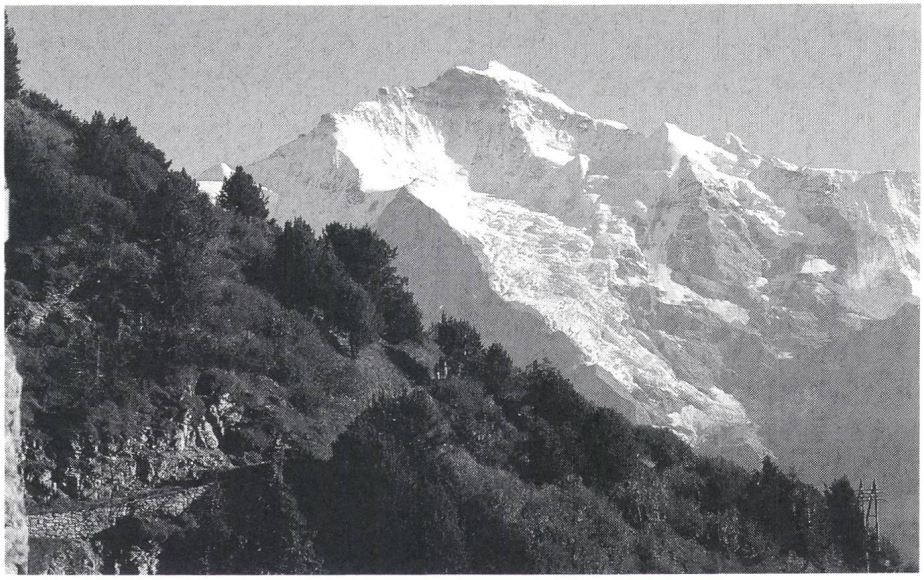


Bild 1 Majestätischer Gipfel von Norden ...

Bild 2 ... ein paar Bergspitzen am Ende des Aletschgletschers von Süden: die Jungfrau

es in den Wissenschaften verschiedene Aspekte, verschiedene An-sichten ein und desselben Phänomens, auch verschiedene An-sichten der Energie.

Nachfolgend werden drei Themen angeschnitten: Zunächst soll versucht werden zu zeigen, wie verschieden der Umgang mit Energie, die An-sicht der Energie, in verschiedenen Wissenschaften ist. Die unterschiedlichen Sichtweisen führen auch zu verschiedenen Methoden der Bilanzierung von Energie, auf die in einem zweiten Teil kurz eingegangen wird. Im dritten Teil, schliesslich, werden einige Gedanken zur Frage vortragen, wie sich wissenschaftliche An-sichten der Energie auf den Umgang mit Energie in Wirtschaft und Gesellschaft auswirken.

Physik

In der Physik ist der Term Energie erst seit Mitte des letzten Jahrhunderts gebräuchlich. Er ist ein Sammelbegriff für verschiedene Phänomene, die als Formen eines Grundphänomens, der Energie, erkannt wurden. Die unseren Sinnen zugängliche Formen sind mechanische, thermische, elektromagnetische und chemische Energie. Die Idee des Sammelbegriffs ist ganz eng verbunden mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, der postuliert, Energie könne nicht vernichtet, sondern nur von einer Form in eine andere Form umgewandelt werden.

Die Physik sagt keineswegs, dass die verschiedenen Formen der Energie alle ein und dasselbe seien. Sobald wir uns für Energie genauer interessieren oder sobald wir Energie mit unseren Sinnen erfassen wollen, müssen wir näher an das Gebirge herangehen und einzelne Gipfel unterscheiden.

Es ist erstaunlich, dass selbst in der Mechanik der Term Energie nicht sehr alt ist. Newton, der sich vor allem mit der Bewegung der Himmelskörper befasste, kam ohne den Begriff aus. Lange wurden Grössen, die man heute Energie und Kraft nennt, vermischt und gewöhnlich mit Kraft bezeichnet. Erst Mitte des letzten Jahrhunderts unterschied Helmholtz klar zwischen den beiden Begriffen.

Physikalische Begriffe sind in der Regel wertfrei: Blaues Licht ist nicht besser als rotes Licht, eine lange Strekke nicht besser als eine kurze. Dies ist nicht so in den Ingenieurwissenschaften, wo es sehr oft um Grössen geht, die ein klares Wertgefälle haben: Ein hoher Wirkungsgrad ist beispielsweise besser als ein niedriger oder eine hohe Produktivität besser als eine niedrige.

Thermodynamik

Die Thermodynamik ist ein Wissensgebiet, das zwischen den Ingenieurwissenschaften und der Physik steht. Sie ist nicht nur deshalb mit Vorsicht der Physik zuzurechnen, weil von allem Anfang an Ingenieure dazu wesentliche Beiträge geliefert hatten, sondern eben darum, weil in der Thermodynamik Wertigkeit eine wichtige Rolle spielt.

Die wesentliche Erkenntnis, die später zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik führte, ist 1824 vom französischen Wasserbau-Ingenieur Sadi Carnot formuliert worden. Carnot interessierte sich für den Wirkungsgrad von Dampfmaschinen. Seine Vorstellungen über das Wesen der Wärme waren aus heutiger Sicht eigenartig: Er dachte, Wärme sei etwas wie eine unsichtbare Flüssigkeit, genannt «calorifique», und er stellte sich vor, eine Temperaturdifferenz entspreche sozusagen der Fallhöhe des Wärmestromes. Von dieser Vorstellung aus kam er zum Schluss, dass diejenige Dampfmaschine am wirkungsvollsten sei, die «une grande chute du calorifique» ausnütze.

Vor Carnot war nicht klar, ob das Arbeitsmedium, die Umdrehungsgeschwindigkeit oder sonst ein Konstruktionsmerkmal der Maschine deren Wirkungsgrad grundlegend bestimme. Sein Postulat, dass die Temperaturdifferenz zwischen zu- und abgeführter Wärme der wesentliche Einflussfaktor sei, war von grosser praktischer und theoretischer Bedeutung.

Carnot's Erkenntnis wurde dann von der Physik übernommen und 1851 von Clausius, einige Jahre bevor er an der ETH lehrte, mathematisch formuliert. Doch die Aufnahme dieses Gedankengutes bedeutete eine Revolution für weite Teile der Physik. Plötzlich war nicht mehr alles wertfrei: Hohe Temperaturdifferenzen wurden nützlicher als kleinere, mechanische Energie höherwertig als Wärme, ja es wurde dadurch im Grunde genommen auch die fortschreitende Zeit gegenüber der rückwärts laufenden Zeit ausgezeichnet.

Die Einführung dieses auf Nützlichkeit ausgerichteten Denkens der Thermodynamik in die Physik führte zu Konflikten mit anderen Gebieten der Physik. Es entstanden jahrzehntelange Auseinandersetzungen zwischen Schulen, die diesen anthropozentrischen Standpunkt bevorzugten und solchen, für die die Wertfreiheit, wie sie in der statistischen Mechanik gepflegt wird, wichtiger war. Einige der mit diesem Konflikt in Zusammenhang stehenden Fragen wurden erst in letzter Zeit beantwortet.

Im wertfreien Gefilde der Physik erscheint Entropie, der am stärksten mit der Idee der Wertigkeit behaftete Begriff, als etwas ganz Besonderes. Sowohl für den Ingenieur als auch für den Ökonomen gibt es wertvollere und weniger wertvolle Energie. Für den Ingenieur ist die Form des Energieträgers sowie seine örtliche und zeitliche Verfügbarkeit wichtig. Handelt es sich bei dem Energieträger um einen Wärmeträger, ist die Temperatur – und damit die Entropie – ein wichtiges Kriterium der Nützlichkeit, aber keineswegs das einzige. Der Wärmeträger muss nicht nur am geeigneten Ort, zur gewünschten Zeit in genügender Quantität zur Verfügung stehen, sondern das Trägermedium sollte z.B. auch eine hohe Wärmekapazität haben und chemisch möglichst verträglich mit den eingesetzten Apparaturen sein.

Bei der Elektrizität ist jede Form von der gleichen, hohen thermodynamischen Wertigkeit. Für den Ingenieur sind aber zeitliche und örtliche Verfügbarkeit, Spannung und Frequenz auch wichtige Faktoren der Nützlichkeit. Es sind Faktoren einer allgemein verstandenen Wertigkeit. Die thermodynamische Wertigkeit ist zwar in einem viel kleinerem Mass anwendungsspezifisch, sie ist im Grunde genommen aber ebenso anthropozentrisch, auf den Menschen bezogen, wie andere Aspekte der Nützlichkeit.

Auf einem funktionierenden Markt schlagen sich unterschiedliche Nützlichkeiten in unterschiedlichen Preisen nieder. Damit kommen wir zu weiteren Ansichten des Energiegebirges, zu Aspekten der Wirtschaftswissenschaften.

Wirtschaftswissenschaften

Es wird hier mit Absicht der Plural verwendet, denn innerhalb der Wirtschaftswissenschaften gibt es mehr als einen Blickwinkel.

Die betriebswirtschaftliche Sicht beispielsweise ist von der Sicht des Ingenieurs nicht allzusehr verschieden. Sehr unterschiedlich ist jedoch die volkswirtschaftliche Sicht. Es ist nicht leicht für einen Physiker und Ingenieur, den Unterschied zwischen seinem eigenen Blickwinkel und der Sicht eines Volkswirtschafters voll zu würdigen.

Technische Energie wird bekanntlich nur in Maschinen und Apparaten gebraucht, und der technisch orientierte Beobachter denkt gern, dass er die Rolle der Energie in der Volkswirtschaft versteht, wenn er nur weiss, welche Maschinen, in welcher Anzahl wie eingesetzt werden. Die Volkswirtschaft be-

steht aber nicht nur aus Maschinen, sondern auch aus Menschen und die Volkswirtschafter interessieren sich in erster Linie für das Verhalten der Menschen und nur in zweiter Linie für Maschinen.

Der berühmte enge Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum ist für einen engstirnigen Ingenieur völlig uninteressant. Ihn interessieren vor allem Wirkungsgradverbesserungen, die eben gerade diesen Zusammenhang auflösen. Der Ingenieur versteht nicht, wenn Volkswirtschafter versucht sind, an diesem nur zeitweise beobachteten Zusammenhang als vermeintlichem Gesetz festzuhalten.

Fragt man aber den Ingenieur, wie sich eine Wirkungsgradveränderung auf das Verhalten der Benutzer auswirke, ob beispielsweise die Einführung von Energiesparlampen dazu führe, dass man mit Licht entsprechend sorgloser umgehe, dann ist der Ingenieur natürlich völlig überfragt. Auch der Volkswirtschafter würde wohl diese Frage nicht auf der Stufe einzelner oder des durchschnittlichen Benutzers beantworten wollen, sind doch unzählige Wechselwirkungen dieser einen Verbesserung mit anderen Veränderungen denkbar. So könnte ein Effekt der Stromsparlampen u.a. darin bestehen, dass viel grössere Flächen, z.B. vermehrt auch Gärten, beleuchtet werden. Oder es könnte sein, dass der relativ hohe Anschaffungspreis der Stromsparlampen die Aufmerksamkeit auf das Thema Beleuchtung lenkt, so dass die neue Lampe doppelt sparsam eingesetzt wird. Auch könnte die fehlende Abwärme zu einem erhöhtem Wärmebedarf oder einem niedrigerem Kühlbedarf führen, oder vielleicht bringt die Sparlampe Architekten dazu, weniger Fenster vorzusehen, was wiederum den Bedarf an Raumwärme beeinflusst.

Diesem weitverzweigten Netz von Wechselwirkungen wird in der Volkswirtschaftslehre nicht nachgegangen, sondern es wird versucht, den Gesamteffekt einzufangen. Allenfalls werden einzelne Branchen unterschieden oder es wird auch auf das Verhalten von Betrieben oder Haushalten eingegangen, aber nicht im einzelnen. Investitionen in Energie konsumierende Güter und Ausgaben für den Konsum von Energie sind in dieser Sicht ganz eng mit anderen Investitionen und anderen laufenden Ausgaben verbunden. Diese Sicht erlaubt nicht, Aussagen zu einzelnen Techniken, wie der Energiesparlampe, zu machen.

Die multidisziplinäre Forschung im wichtigen Bereich zwischen der Volkswirtschaftslehre und den technischen Wissenschaften ist spannend, aber äusserst schwierig. Heute stehen die technisch orientierten Beobachter sozusagen im Kanton Bern und die Ökonomen im Wallis. Ihre Sicht der Energie-Jungfrau ist völlig verschieden. Vielleicht müssen beide auf den Eiger steigen, um zu einer gemeinsamen Sicht der Energie zu gelangen. Versuche, diese Übersicht durch sogenannte «Bottom-up-Modelle» von der Ingenieurseite aus direkt zu erlangen, sind möglicherweise ähnlich schwierig, wie die Besteigung der Eigernordwand. Trotzdem ist zu erwarten, dass Ansichten, die Teile der Ingenieurwissenschaften und der Volkswirtschaftslehre verbinden, in Zukunft ganz wesentlich zu umfassenderen Einsichten in die Rolle der Energie in der Wirtschaft führen werden.

Geisteswissenschaften, Künste

Energie kann also in den Naturwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften und den Wirtschaftswissenschaften ganz unterschiedlich gesehen werden. In den Geisteswissenschaften, den Künsten und in Bereichen wie der Bioenergetik oder anderen Lehren sind selbstverständlich noch viel unterschiedlichere Ansichten vorzufinden.

Methoden der Bilanzierung

Über die Bilanzierung von Energie gab es bisher eine ganze Reihe von Schulen, die jede für sich den Anspruch erhob, die richtige Methode entwickelt zu haben. Es gab daher weder eine allgemein anerkannte Methode noch allgemein anerkannte Antworten auf scheinbar einfache Fragen, wie die Frage nach der netto Energieproduktion eines Kraftwerks. Ob beispielsweise die Energieproduktion eines Kernkraftwerks insgesamt grösser sei als der indirekte Verbrauch, den sein Bau und Betrieb in der gesamten Wirtschaft bewirke, wurde mal so, mal anders beantwortet. Die Antwort schien vor allem davon abgängig zu sein, ob der Beantworter ein Befürworter oder ein Gegner der Kernenergie war.

Eine derartige Abhängigkeit der Antwort vom Standpunktes des Beantworters ist unzulässig. Es gibt aber auch zulässige Abhängigkeiten, wie folgendes Beispiel eines Kraftwerks nochmals verdeutlicht:

- Ein Physiker wird sagen, dass weder ein Kraftwerk noch sonst ein System Energie produziere. Energie werde in einem Kraftwerk nur umgewandelt. Falls nichts gespeichert werde, seien Energie-input und Energie-output immer gleich gross.
- Ein Ökonom wird sofort darauf hinweisen, dass jedes Kraftwerk selbstverständlich mehr Energie produzieren müsse, um wirtschaftlich zu sein, als es insgesamt, direkt und indirekt, an Energie benötige. Der Input setze sich aus Arbeitskraft, Energie und anderen Rohstoffen zusammen und dürfe nicht mehr kosten als der Output, der ausschliesslich aus Energie bestehe.
- Der Naturschützer wird dem entgegenhalten, das Wertvollste, dem Menschen anvertraute, seien die Güter der Natur. Jede menschliche Tätigkeit, die nicht vollständig in einen geschlossenen Kreislauf eingebettet sei, verschwende diese natürlichen Güter. Insbesondere benötige ein Kraftwerk, dessen Wirkungsgrad nicht 100% betrage und nicht von erneuerbaren Quellen gespiesen sei, immer mehr wertvolle Energievorräte als es Energie liefere.

Bei der Bilanzierung von Energie spielt also die Ansicht, die man von der Energie hat, eine wichtige Rolle. Beispielsweise auch an so unverdächtigen Orten wie in der Energiestatistik.

Energiestatistik

Der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch der Schweiz wird meist mit etwa 20% angegeben. Dies ist richtig, wenn man auf Stufe Endenergie rechnet, d.h. wenn man die Elektrizität mit ihrem Wärmeinhalt in die Rechnung einsetzt. Obwohl nach wertfreier Sicht des Physikers korrekt, werden dadurch aber unbesehen Äpfel und Birnen zusammengezählt: Nämlich Elektrizität, die viel mehr kann als nur heizen, und Brennstoffe, die kaum etwas anderes können.

Es ist Ausdruck des abstrakten Charakters des Begriffs Energie, dass man mit gutem Recht auch anders rechnen kann, z.B. wie es im Ausland üblicher ist, auf Stufe Primärenergie. Primärenergie entspricht bei fossilen Brennstoffen dem Wärmeinhalt der eingesetzten Energieressourcen. Bei Wasserkraft und Kernbrennstoffen wird rückwärts von der produzierten Elektrizität her berechnet (Bild 3, Bereich Primärenergie), wieviel fossile Brennstoffe zu ihrer Produktion in einem thermischen Kraftwerk eingesetzt werden müssten; dieser Wert wird als Primärenergie bezeichnet. Primärenergie ist ein fiktiver Hilfswert, wie ihn Ingenieure oft benutzen.

Würde man in der Schweiz mit der so definierten Primärenergie rechnen, so würde der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch fast 45% aus-

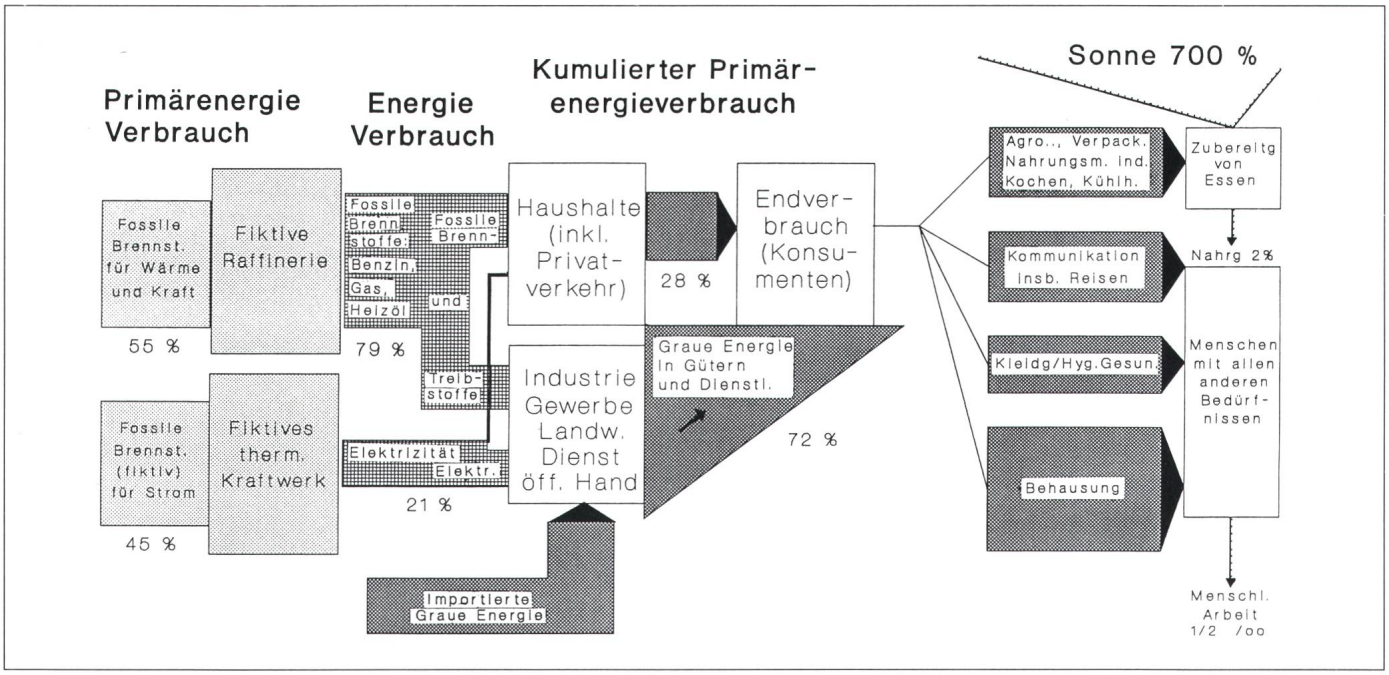


Bild 3 Verschiedene Aspekte der Energiebilanz
Die rechnerischen Grundlagen der Energiestatistik sind Informationen über die Energieverkäufe der Energiewirtschaft an die Energiebezüger in allen Sektoren der Wirtschaft; also Verkäufe von Benzin an den Tankstellen, von Heizöl ab Zisternenwagen, von Elektrizität und Gas gemessen bei den Eingangszählern der Haushalte und Betriebe usw. Diese Energieformen sind aber unterschiedlich und werden auch in verschiedenen Originaleinheiten gemessen (Liter, Tonnen, kWh, m^3 usw.), sie können nicht zusammengezählt werden, ohne dass irgendwelche Konventionen getroffen werden.
Aus der Sicht des Physikers kann der Energie- (genauer Enthalpie-)Inhalt dieser Energieträger zueinander in Beziehung gesetzt werden, dies wird denn auch in der Endenergiestatistik getan. In der im Ausland meist üblichen Primärenergiestatistik werden die aus dem Boden kommenden fossilen Brennstoffe gezählt, die zur Herstellung der verschiedenen Formen von Endenergie benötigt wurden oder – wenn sie aus anderen Quellen stammen – benötigt worden wären: eine eher ingenieurmässige Sicht.
Aus der Sicht der Ökonomen sind Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen und die öffentliche Hand keine Endverbraucher. Sie konsumieren zwar Endenergie, produzieren aber Güter und Dienstleistungen für den Endverbrauch. Wenn der gesamte Verbrauch an Primärenergie dem Endverbrauch, den Konsumenten, zugeordnet werden soll, so wird der durch die Haushalte direkt konsumierten Endenergie die gesamte kumulierte Primärenergie zugeordnet, die zur Herstellung dieser Endenergie insgesamt notwendig war, und den Gütern und Dienstleistungen die gesamte kumulierte Primärenergie – von den Rohstoffen bis zum Fertigprodukt – die zu ihrer Produktion insgesamt erforderlich war (vergl. D. Spreng: Wieviel Energie braucht die Energie? Verlag der Fachvereine, Zürich 1989 [Neuauflage 1991]). Oft wird diesem kumulierten Energieaufwand der Name graue Energie gegeben.
Es wird dann möglich, den gesamten (kumulierten) Primärenergieverbrauch grob nach den Grundbedürfnissen des Menschen aufzuteilen. Zudem kann – dies wieder aufgrund der Enthalpieinhalte – der gesamte Aufwand an Primärenergie (= 100%) mit der auf die landwirtschaftliche Fläche scheinenden Sonnenenergie oder mit dem Enthalpieinhalt der Nahrung oder der durchschnittlich geleisteten menschlichen Arbeit verglichen werden

machen. Der Anteil nimmt zudem ständig zu und es wird nicht mehr sehr viele Jahre dauern, bis er sich der 50%-Marke nähert und diese überschreitet.

Wie nun schlussendlich in dieser oder jener Statistik gerechnet werden soll, ist Ansichtssache und wird gewöhnlich in einer Kommission entschieden.

Wenn man den Wert der Elektrizität in Franken und Rappen zum Wert der gesamten Ausgaben für Energie in Beziehung setzt, so beträgt dieser Anteil etwa 40%, die Fahrzeugsteuer ausgeklammert rund 50%. Würde man nach der Wertschöpfung der Elektrizitätswirtschaft als Anteil der Wertschöpfung in der gesamten Energiewirtschaft fragen, so käme man wohl auf 70 oder 80%, oder, wenn man nach dem Beitrag der Elektrizität an der Zunahme der Energieproduktivität fragen würde, auf einen noch höheren Prozentsatz.

Wenn man stets bloss die 20% der Endenergiestatistik zitiert, besteht die Gefahr, dass man den Eindruck erhält, die 20% seien auch irgendwie ein Mass für die Bedeutung der Elektrizität. Die physikalische Sichtweise, die den 20% zugrunde liegen, hat aber nichts mit Wertung oder Bedeutung zu tun.

Kumulierter Energieaufwand

Energiestatistiken sind aus der Sicht der Energiewirtschaft aufgebaut. Private Haushalte konsumieren aus dieser Sicht 38% der Endenergie. Dazu kommen noch etwa 10% für das Benzin des privaten Fahrzeugverkehrs, die in der offiziellen Statistik dem Verkehr zugerechnet sind. Ökonomen betrachten aber oft die privaten Haushalte als die einzigen wahren Endverbraucher im Wirtschaftssystem. Letztlich wird dann auch alle Energie direkt oder indirekt zur Deckung dieses Endbedarfs aufgewendet.

Auch für den privaten Konsumenten ergeben sich aus diesem Blickwinkel einprägsame neue Einsichten in die mengenmässige Verwendung von Energie. U.a. muss gesagt werden, dass kumulierter Energieaufwand hier bedeutet, dass der gesamte Energieverbrauch der Wirtschaft den Endprodukten zugerechnet wird. Der Aufwand von der Erzgewinnung bis zur Beleuchtung des Verkaufslokals wird zusammengezählt, d.h. kumuliert. Es ist die sog. graue Energie aus der Sicht des schweizerischen Konsumenten (Bild 3, Mitte). Der Aufwand an Energie, inkl. Sonnenenergie, für Grundbedürfnisse ist ebenfalls auf dem Übersichtsbild 3, rechts dargestellt und in der Legende kommentiert. Der kumulierte Energieaufwand für den Gebrauch eines Autos erweist sich z.B. um ein Drittel höher als der Benzinverbrauch (Bild 4).

Was die sog. Erntefaktoren, die kumulierte Netto-Erzeugung von Energie

betrifft, so liefert diese Betrachtungsweise interessante Übersichten über die Systeme. Aber nur in wenigen Ausnahmefällen lautet das Resultat, ein vermeintliches Energieproduktionssystem sei eigentlich (aus der Sicht des Ingenieurs) eine Energiesenke. Solche Ausnahmefälle finden sich bei noch völlig unausgereiften, unwirtschaftlichen Prototypen und allenfalls auch bei Biomasse-Systemen, die von landwirtschaftlichen Subventionen ungebührlich hohen Gebrauch zu machen wissen.

Grenzen von Energiebilanzen

Energiebilanzen dieser Art haben sowohl einen quantitativen, analytischen als auch integrierenden, ganzheitlichen Charakter. Man darf aber nicht vergessen, dass sie doch eigentlich die ingenieurwissenschaftliche Sicht der Dinge darstellen. Vergisst man dies, fällt man leicht in die Falle der Technokratie.

Alle paar Jahrzehnte macht sich der Wunschtraum breit, es könne ein technisch-naturwissenschaftliches System aufgebaut werden, das die ganze Welt erklärt und mit dessen Hilfe die Welt glücklich gelenkt werden könne. Von dieser technokratischen Hybris muss bei technisch-naturwissenschaftlichen Übersichtsarbeiten und sog. Gesamtbeurteilungen Abstand genommen werden.

Eine Bilanzierungsmethode, mit welcher man kaum Gefahr laufen wird in diese Falle der Technokratie zu geraten, ist die Internalisierung externer Kosten.

Internalisierung externer Kosten

Um Kosten insbesondere von Umweltbelastungen, die extern, ausserhalb der betrachteten Wirtschaftseinheit anfallen, zu bestimmen, ist eine Zusammenarbeit von verschiedenen Disziplinen unumgänglich. Es ist zunächst das technische System, mit all seinen Energie- und Stoffflüssen zu beschreiben – eine Ingenieuraufgabe. Dann ist die Umwelt zu beschreiben und es sind die direkten und indirekten Auswirkungen des technischen Systems auf die verschiedenen Bereiche der Umwelt zu ermitteln – eine fast unlösbare Arbeit in verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen. Und am Schluss erst bewertet der Ökonom die abgeschätzten Auswirkungen in Franken und Rappen.

Bei dieser Bilanzierungsmethode wird die Spannung zwischen mehr oder weniger willkürlicher, subjektiver Bewertung und wissenschaftlich begründeter Bewertung deutlich gemacht und ausgetragen. Dies, weil die zu beurteilende Umweltbelastung im Schlussresultat nicht in technisch-naturwissenschaftlichen Masseinheiten, sondern in Franken und Rappen angegeben wird. Aus diesem Grund könnte das noch fast leere Gebäude der Internalisierung externer Kosten einen Rahmen für die verschiedensten wissenschaftlichen Arbeiten der kommenden Jahre bilden; vielleicht auch einen Rahmen für eine Zusammenarbeit verschiedenster Institute der Hochschule. Es würden sich vielleicht Ansichten von verschiedenen Disziplinen ergänzen. Es könnten sich Ansichten der Energieprobleme ergeben, welche die Umweltaspekte gebührend berücksichtigen.

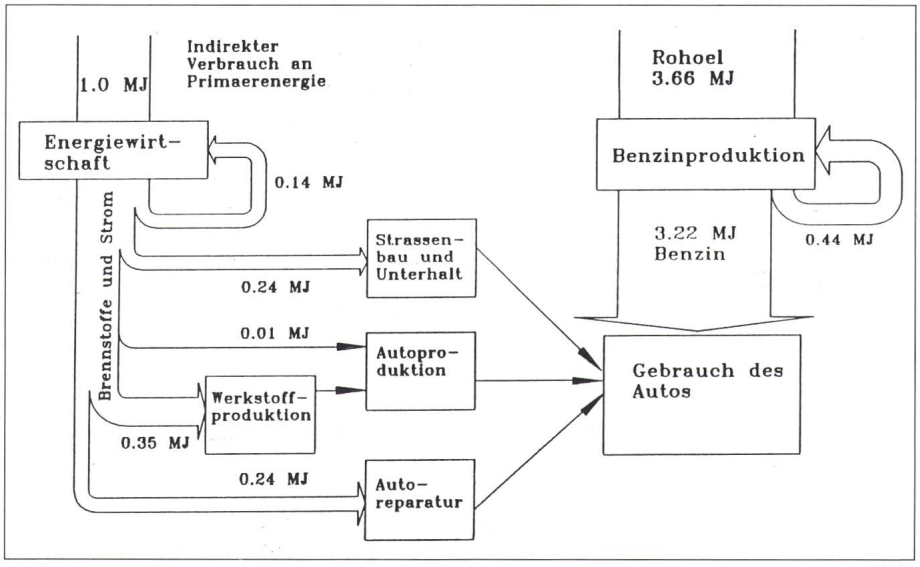


Bild 4 Direkter und indirekter Energieverbrauch beim Gebrauch des Autos
Direkter Primärenergieverbrauch (hier in Form von Rohöl), indirekter Primärenergieverbrauch (die graue Energie), direkter Endenergieverbrauch (hier Benzin) und indirekter Endenergieverbrauch (Brennstoffe und Strom) können nicht nur auf den Landesverbrauch bezogen werden, sondern auch auf eine einzelne Tätigkeit (hier den Gebrauch des Autos). Es sind eine ganze Reihe von Untersuchungen wie diejenige, die dieser Darstellung zugrunde liegt, welche die geschätzte Aufteilung der gesamten Primärenergie auf die Grundbedürfnisse erlauben

Wechselwirkung zwischen wissenschaftlichem und realem Umgang

Heute hat die Kette «Forschung, Entwicklung, Anwendung» eine klare Ausrichtung. Nützliche Resultate der Forschung werden in der Entwicklung weiterbearbeitet und ausgereifte Entwicklungen kommen dann zur Anwendung.

Der Not gehorchend...

Die Anwendung und die Diffusion von fertig entwickelten Techniken vollzog sich zeitweise ganz anders: Wasserräder und Windmühlen wurden im Mittelalter meist nur der Not gehorchend eingesetzt, nur da, wo es nicht anders ging. Die Wirkungsgrade waren im allgemeinen äusserst bescheiden und die Entwicklung wurde kaum vorangetrieben. Erst im 18. und 19. Jahrhundert begann man auch bei diesen mechanischen Energiequellen, samt den Antrieben und Anwendungen, systematisch auf Wirkungsgrade zu achten. Und erst Ende des letzten Jahrhunderts, als die Wasserräder als Quelle mechanischen Antriebs durch die Dampfmaschine und den aufkommenden Elektromotor schon bald verdrängt waren, konnte die Technologie der langsam drehenden Wasserräder als mehr oder weniger ausgereift gelten. An einigen französischen Kanälen gibt es noch heute schöne Exemplare von Rädern mit gutem Wirkungsgrad zu bewundern.

Auch die Entwicklung der Dampfmaschine wurde zur Linderung eines nationalen Notstandes begonnen. Im 17. und Anfang des 18. Jahrhunderts war das Klima in Europa deutlich kälter als im Mittelalter – dies ist auch auf Bildern holländischer Maler dieser Zeit zu sehen; sehr oft sieht man Schlittschuhszenen und andere Winterbilder. Die Kälte führte besonders in England zu grossem Holzmangel, was die erstmalige Verwendung von Kohle zur Folge hatte. Nun waren aber dem Abbau von Kohle enge Grenzen gesetzt, da die Gruben sich jeweils nach geringer Abbautiefe mit Wasser füllten und unbrauchbar wurden. Dies bewog zu Beginn des 18. Jahrhunderts den Spengler Newcommen dazu, in seiner Werkstatt eine Maschine zu basteln, die mit Dampf eine Pumpe antreiben konnte. Newcommen's Dampfmaschinen sollten dazu dienen, dieses Wasser aus den Gruben zu pumpen. Der Aufwand,

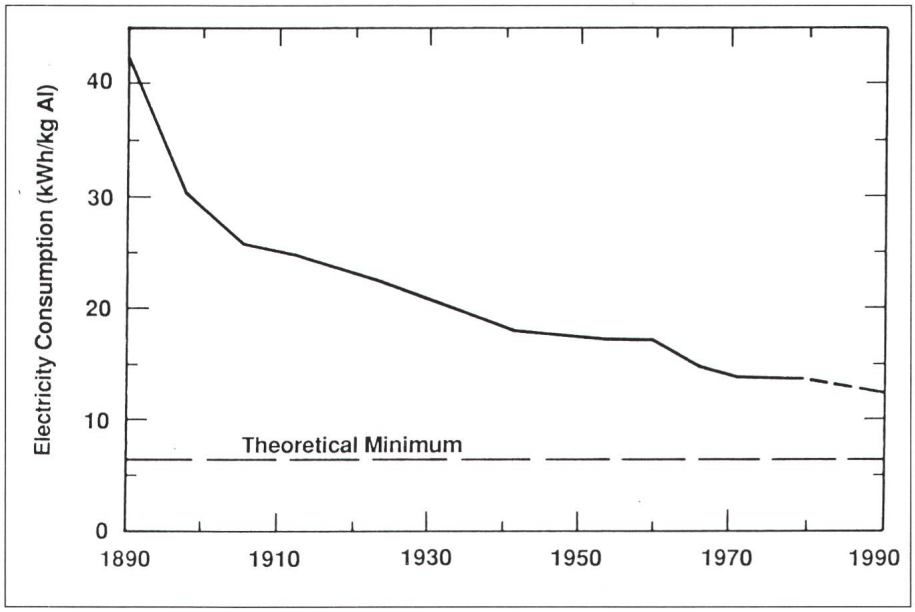
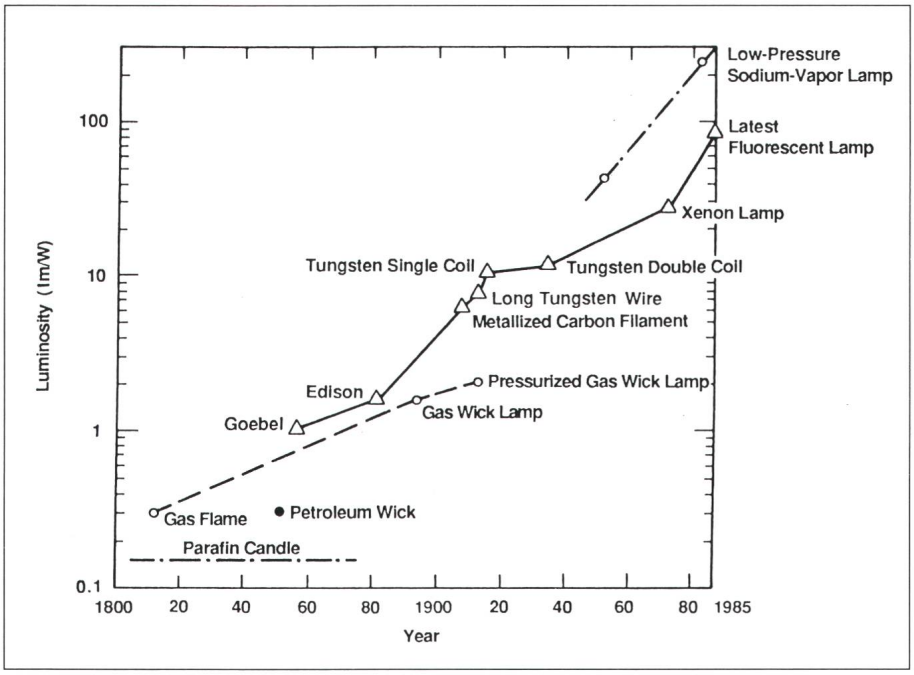


Bild 5 (oben) und Bild 6 (unten): Auswirkungen des technischen Fortschritts
Technischer Fortschritt führte über die Jahre zu ständigen Verbesserungen der Wirkungsgrade. Bei der Aluminiumgewinnung (Elektrolyse von Al_2O_3 – Bild 5) wurde die eine, im Prinzip unveränderte Technik kontinuierlich verfeinert, in der Beleuchtungstechnik folgten sich Phasen der grundlegenden Neukonzipierung und Phasen der Verbesserung bestehender Techniken. Insgesamt wurde in knapp 200 Jahren die Lichtausbeute pro eingesetzte Energiemenge tausendmal höher. In beiden Fällen kann für die Zukunft mit einer allmählichen (asymptotischen) Annäherung an den theoretisch minimalen Bedarf, bzw. maximalen Wirkungsgrad, gerechnet werden.



Pferde dazu zu verwenden, war riesig gross.

Newcommen's Dampfmaschine hatte einen Wirkungsgrad von etwa einem halben Prozent. Sie konnte nur in Kohlegruben eingesetzt werden, weil dort ein Überfluss an Kohle vorhanden war. Die Weiterentwicklung der Dampfmaschine erfolgte Jahrzehnte danach durch den Vorlesungsassistenten Watt. Watt's Erfindung eines separaten Kondensators steigerte den Wirkungsgrad um einen Faktor drei und erlaubte den Einsatz der Dampfmaschine auch andernorts. Aus solchen Erfahrungen wurde die Effizienzsteigerung ein Grundanliegen des Ingenieurs.

Effizienzsteigerung, ein Grundanliegen des Ingenieurs

Energiesparen ist keine separate Disziplin. Jeder Ingenieur trachtet danach, Techniken mit hoher Effizienz zu entwickeln. Interessant ist die Wirkungsgradverbesserung einiger Techniken über längere Zeit zu verfolgen. Der Wirkungsgrad der Dampfmaschine ist in gut zweieinhalb Jahrhunderten von einem halben Prozent auf etwa 50% erhöht worden. Noch eindrücklicher ist die Darstellung der Entwickung des Wirkungsgrades von gebräuchlichen Lichtquellen (Bild 5), oder der Aluminiumelektrolyse (Bild 6). Ähnliche Verläufe für den spezifischen Energiebedarf lassen sich für sehr viele weitere Prozesse, Apparaturen und Systeme zeigen. Gesamthaft führt dies in der Wirtschaft jedes Jahr zu Energieeinsparungen von etwa einem Prozent pro Produktions- oder Dienstleistungseinheit. Man nennt dies vielfach das natürliche Sparen. Besonders rasant ist diesbezüglich die Entwicklung bei den Herzstücken der Computer, den sog. CPU, bei denen sich der Energiebedarf pro Rechenoperation durchschnittlich jedes zweite Jahr etwa halbiert. Energiewirtschaftlich relevant sind allerdings nicht einzelne Geräte, sondern ganze Anlagen, die auch andere Komponenten, wie Bildschirme, Speicher- und Kommunikationseinheiten, aufwendige Stromversorgungen und Klimaanlagen enthalten und deren spezifischer Energieverbrauch insgesamt weniger schnell abnimmt (siehe Bulletin SEV/VSE 80(1989)20, S. 1325 ff).

Dass sich mit höherem Wirkungsgrad auch die nützlichen Anwendungsbereiche explosionsartig ausdehnen können, zeigte sich in jedem der erwähnten Fälle: bei der Dampfmaschine, den Lichtquellen und auch bei industriellen Prozessen, wie der Aluminiumelektrolyse. Der Strombedarf für Elektronik, der heute etwa 4% des gesamten schweizerischen Strombedarfs ausmacht (Computer sind daran mit 2,5% beteiligt), könnte bis in 10 Jahren an die 10% erreichen. Der Ingenieur ist dabei nicht unbeteiligter Zuschauer, sondern für ihn ist die Ausdehnung der Anwendung die Frucht seines Bemühens.

Produktion fasziniert jeden echten Ingenieur: Ein Brückenbauer ist dazu da, Brücken zu bauen. Ein Elektro- oder ein Maschineningenieur konzipiert Anlagen, und zwar wenn möglich gute, effiziente Anlagen, die in grosser Stückzahl Absatz finden.

Die Auswirkungen der schöpferischen Kraft des Ingenieurs auf unsere Gesellschaft kann kaum überschätzt werden. Die Erwartung der steten Verbesserung technischer Einrichtungen

hat sich in einer Erwartung der steten Verbesserung der Lebensumstände niedergeschlagen.

Wissenschaftliche Ausrichtung der Ingenieurtätigkeit

Eine ganz wesentliche Steigerung der Wirksamkeit der Ingenieurarbeit erfolgte in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts durch die wissenschaftliche Ausrichtung der Ingenieurtätigkeit. Diese ist eng mit dem Anfang der Anwendung der Elektrizität verbunden. Zuvor wurden technische Entwicklungen gebastelt. Die den menschlichen Sinnen nicht direkt zugängliche, unsichtbare Elektrizität forderte ein anderes Vorgehen, sie konnte nicht mehr beobachtet und angefasst werden. Ohne Differential- und Integralrechnung, ohne die Gleichungen des Physikers Maxwell ging nichts. Elektrotechnik wurde denn auch an den Technischen Hochschulen erlernt. Neuentwicklungen gingen von dort aus, wie auch von neu gegründeten industrieeigenen Forschungsinstituten. Die wissenschaftliche Ausrichtung in der Elektrotechnik breitete sich schnell auf andere Ingenieurwissenschaften und auch z.B. auf die Betriebswissenschaften aus.

Ebenso wie sich die Ingenieure zuvor wenig für Wissenschaft interessiert hatten, war auch das Interesse der Wissenschaft an der Technik vor der Zeit der Elektrizität sehr gering. Der Professor von Watt kümmerte sich kaum um die Arbeiten, die sein Assistent verfolgte. Eine Theorie der Dampfmaschine begann die Physik erst 150 Jahre nach Newcommen zu entwickeln.

Das gleichzeitige Interesse des Ingenieurs an hohen Wirkungsgraden, also hoher Produktivität *und* an wissenschaftlichen Methoden hat dann zu einem fast atemberaubenden Tempo des technischen Fortschritts geführt. Insofern als der technische Fortschritt einer quantitativen Steigerung der Produktion entspricht, sind wir heute auf immer deutlicher werdende Grenzen gestossen.

Neue Phase der wissenschaftlichen Ausrichtung

Das Ideal des Ingenieurs muss sich entsprechend wandeln. Er hat sich wissenschaftliche Methoden zur zielstrebigen Verbesserung der Nützlichkeit seiner Schöpfungen zu eigen gemacht. In Zukunft ist ein Ingenieur gefragt, der auch vermehrt wissenschaftlichen Erkenntnisdrang verspürt; ein Ingenieur der nicht nur schöpferisch ist im Erschaffen, sondern auch im Anpassen und Einfügen. Anpassen und Einfügen kann man nicht, wenn nicht die Umgebung und ihre Wechselwirkungen mit dem Objekt erforscht werden.

In dieser neuen Phase der wissenschaftlichen Ausrichtung der Ingenieurtätigkeit geht es darum, dass das selbstreflektierende Element, die Analyse, ein grösseres Gewicht erlangt. Das Gebiet Energieanalyse umfasst eine recht breite Palette von Instrumenten zur Beurteilung von Techniken und Entwicklungen. Arbeitsgebiete dieser Art werden in Zukunft ohne Zweifel eine zunehmende Bedeutung einnehmen.

Im Bereich der Energie gilt es, den Energie-Berg von verschiedener Seite zu betrachten. Nicht die eine, richtige Gesamtsicht ist gefragt, sondern bewegliche Beobachter und umsichtiges Handeln.

RUTSCHMANN

Transformatorenstation Typ T 87

- Architektonisch sehr attraktiv, nur 1,5 m über Terrain
- Grösste Dauerhaftigkeit dank Beton und Chromstahl
- Bis vier Hochspannungsfelder 24 kV
- Grosse Niederspannungsverteilung
- Transformator 630 kVA
- Natürliche Kühlung
- Ideal in Fällen, bei denen eine Innenraumbedienung ausser Betracht fällt.

Qualität und Preis überzeugen.

Verlangen Sie nähere Unterlagen bei

RUTSCHMANN

Rutschmann AG
8627 Grüningen, Tel. 01/935 21 56
Fax 01/935 21 76

Lieben Sie Hochspannung?

Wir von der MGC-Energietechnik auf alle Fälle.
Besonders wenn es sich dabei um unsere Spezialprodukte handelt.

- Transformatoren
- Messwandler
- Duresca®-Schienen

MGC
MOSER-GLASER

Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH-4132 Muttenz / Schweiz
Telefon 061 / 61 12 00