



**Effiziente Kutsche?** Pferdefutter bringt wenig Reichweite, ist aber eine erneuerbare Energie



**Effizientes Auto?** Moderne Motoren nutzen den Sprit immer besser aus. Wird jetzt alles gut?

# Fetisch Effizienz

Energie sollte immer effizienter genutzt werden, sagen Umweltpolitiker. Sie müssten es besser wissen

Text **Marcel Hänggi** Illustration **Carsten Raffel**



Fotos: abg-images, Andrzej Bochenski / Gallery Stock

**E**in Vater fährt sein Kind mit dem Auto in den Kindergarten. Quizfrage: Wie sieht ein Umweltpolitiker auf diese Situation? Sicher, er würde empfehlen, mit dem Fahrrad zu fahren, das wäre klimafreundlicher, aber hier soll es um etwas anderes gehen: Wie energieeffizient ist die Autofahrt zum Kindergarten? Effizienz ist der Fetisch der Umwelt- und Energiepolitik, und deshalb lohnt sich eine kleine Abschätzung.

Angenommen, das Auto wiegt 2000 Kilo und die Fracht – das Kind – 20 Kilo, also ein Prozent des Autogewichts. Von der im Benzin gespeicherten Energie, die der Motor nutzt, bewegen dann rund 99 Prozent das Auto selbst und ein Prozent die Fracht. Weiter angenommen, das Auto ist mit neuester Motorentechnik ohne Schummelsoftware ausgestattet. Einer dieser energieeffizienten Geländewagen, auf die Autobauer zuletzt so stolz waren. So ein Fahrzeug

setzt im Stadtverkehr ungefähr 20 Prozent der im Benzin gespeicherten Energie in Bewegung um. Das bedeutet: Von der Energie im Tank werden zwei Promille (ein Prozent von 20 Prozent) für den Kindertransport aufgewendet, und weil der Vater allein wieder nach Hause fährt, halbiert sich der Wert. Ein Promille der Energie wird also genutzt, 999 Promille verpuffen. Ist das wirklich effizient?

*Faktor Vier* hieß ein Umweltbestseller der neunziger Jahre, Untertitel: *Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch*. Es war das Versprechen, dass die Umwelt genesen kann, ohne dass wir auf etwas verzichten müssen. Energieeffizienz lässt sich präzise messen: als Verhältnis von Nutzen zu Energieeinsatz. Der Nutzen können Transportkilometer, bewegte Passagiere oder die Leuchtkraft einer Lampe sein. Deshalb eignet sich die Kennziffer so gut für Vergleiche, Benchmarks, Vorschriften, Pressemeldungen. Ach, was würden doch viele

Kraftwerke überflüssig, kaufte jeder Haushalt den energieeffizientesten Kühlschrank. Geht doch, war die optimistische Botschaft.

Schön. Aber falsch. Und zwar so offensichtlich falsch, dass man sich wundert, wie erfahrungsresistent die Effizienzhoffnung ist. Schon ein flüchtiger Blick in die Technikgeschichte zeigt: Die Menschheit verbraucht bei allen technischen Fortschritten stets mehr Energie. Nein: Mehr Effizienz führt nicht immer zu weniger Verbrauch. Nein: Technischer Fortschritt führt nicht immer zu mehr Effizienz. Und nein: Effizienz lässt sich nicht klar messen.

Das Auto müsste eigentlich die größten Effizienzgewinne gemacht haben, denn in keine andere Technik flossen in den vergangenen Jahrzehnten so viele Forschungs- und Entwicklungsgelder. Tatsächlich ist die Energieausbeute der Motoren markant gestiegen. Das vor hundert Jahren häufigste Modell, der Ford T, verbrauchte zwölf Liter Benzin auf hundert Kilometer. Ein typisches

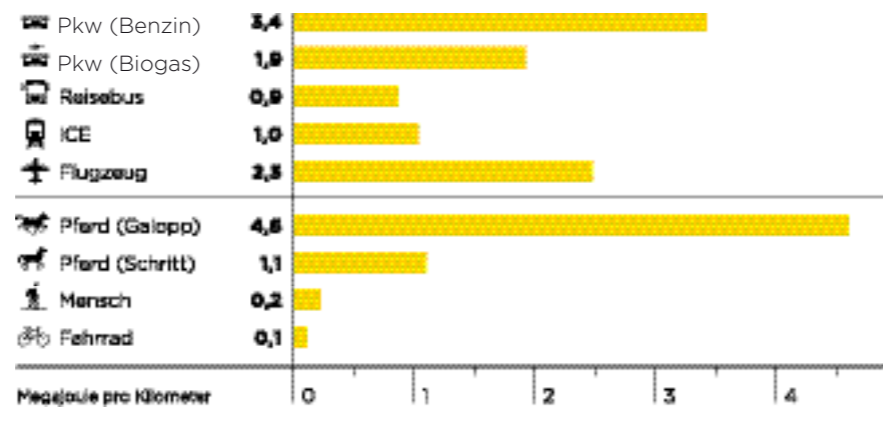
Auto von heute verbraucht halb so viel und ist damit pro Kilometer doppelt so effizient. Noch höher fällt die Effizienzsteigerung aus, wenn man den Trick der offiziellen Verbrauchskennzeichnung anwendet: Die setzt den Verbrauch in Bezug zum Fahrzeuggewicht. Ist ein modernes Auto dreimal so schwer und verbraucht halb so viel Benzin wie der Ford T, ist es in dieser Logik sechsmal so effizient. Und berücksichtigt man, dass die »Tin Lizzie« 20 PS leistete, ist der Effizienzsprung noch größer.

Ganz anders sieht die Rechnung allerdings aus, wenn man die Situation aus der Vogelperspektive betrachtet, also nicht nur die Effizienz des einzelnen Autos berücksichtigt, sondern die des ganzen Systems aus Fahrzeugen, Straßen, Mobilitätsgewohnheiten. In den vergangenen hundert Jahren sind die durchschnittlichen Weglängen, gerade auch infolge der Massen-Automobilisierung, um grob geschätzt den Faktor 15 gewachsen. Um von zu Hause an den Arbeitsplatz zu gelangen, legt man heute durchschnittlich einen 15-mal so langen Weg zurück. Wenn ein modernes Auto zwar pro Kilometer halb so viel verbraucht wie früher, aber werktags 15-mal so weit fährt, verbraucht man in der Summe natürlich viel mehr Energie. Das heutige Auto ist damit, gemessen an den zurückgelegten Strecken, viel weniger effizient (abgesehen davon, dass vor hundert Jahren kaum jemand mit dem Auto zur Arbeit fuhr).

Gewiss lässt sich die Energie- und Mobilitätsgeschichte der Menschheit als

### Welche Art zu reisen verbraucht am wenigsten Energie?

Das Fahrrad ist Effizienzmeister – aber nicht für alle Distanzen geeignet. Die Werte für Pkw, Bus, ICE, Flugzeug sind für 100, die anderen für 5 Kilometer berechnet



eine Erzählung stetig steigender Energieeffizienz schreiben. Aber man muss dabei eben sehr genau darauf achten, welche Zahlen miteinander verglichen werden. Heute fragen Ingenieure und Umweltpolitiker, zu welchem Anteil die in einem Energieträger enthaltene Energie genutzt wird. Früher dagegen ging es darum, bisher brachliegende Energiereserven zu nutzen und dadurch die Leistung, die eine menschliche Arbeitskraft zu erbringen vermag (rund 100 Watt), zu steigern. Selbst eine ineffiziente Nutzung neuer Energiequellen konnte in diesem Sinne effizient sein.

So waren die Wasser- und die Windkraft viele Jahrhunderte lang die wichtigsten

körperfremden Quellen mechanischer Energie. Sie trieben alle Arten von Mühlen an. Der Wind machte außerdem mobil. Er schob Segelschiffe übers Meer, und in China nutzten Bauern und Arbeiter leistungsfähige Segel-Schubkarren – eine äußerst effiziente Transporttechnik.

Segelschiffe wurden stets leistungsfähiger und effizienter, besonders in Europa seit dem 15. Jahrhundert. Das erlaubte den Europäern, sich ihr Kolonialreich zusammenzuräubern. Zu ihren besten Zeiten erbrachten Segelschiffe die 200-fache Leistung dessen, was die Mannschaft hätte leisten können. Man hätte für dieselbe Leistung also 200-mal so viele Ruderer gebraucht, wie sich Matrosen am Bord befanden (dennoch existierten Galeeren bis weit in die Neuzeit neben den Segelschiffen).

Den Ureinwohnern Amerikas brachte dieser technische Fortschritt Tod und Verderben – und einigen Überlebenden gewaltige Effizienzsteigerungen. Die Prärie-Indianer gelangten durch die europäischen Siedler an einen neuen Energiekonverter: das Pferd. Es wandelte die Biomasse-Energie des Präriegrases in kinetische Energie (Geschwindigkeit) um, die man nutzte, um Nahrungsenergie in Form von Büffelfleisch zu erjagen. Der Weg von der im Gras gespeicherten Sonnenenergie bis zu Fleischkalorien war zwar, in Zahlen umgerechnet, grotesk ineffizient. Doch auf diese Weise wandelte man eine für den Menschen nutzlose Energiequelle (Gras) in eine hochwertige Energiequelle (Fleisch) um. War die

Jagd bisher ein aufwendiges Gemeinschaftsunternehmen gewesen, konnte nun ein Jäger allein mehrere Büffel pro Beutezug erlegen. Aus friedlichen und egalitären Kulturen wurden die stark hierarchischen Kriegerkulturen der Sioux oder Cheyenne.

In Europa machte man sich in dieser Zeit daran, Pferde und andere tierische Energielieferanten durch kohlefressende Superpferde zu ersetzen: 1712 baute der englische Schmied Thomas Newcomen die erste Dampfmaschine. Es war das erste Gerät, das thermische Energie (Wärme) in kinetische Energie (Arbeit) umzuwandeln vermochte. Newcomens Erfindung war etwa so effizient wie der Geländewagen, der ein Kind in den Kindergarten kutschert. Nur ein Promille des fossilen Brennstoffs wurde in mechanische Arbeit umgewandelt. Heute wandeln moderne Dampfturbinen

## Mit effizienten Segelschiffen konnten sich die Europäer ihr Kolonialreich zusammerräubern

Kohlekraftwerke über 40 Prozent der fossilen Energie in elektrischen Strom um, kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke über 50 Prozent, und wenn die Abwärme zum Heizen genutzt wird, kann der Wirkungsgrad theoretisch 100 Prozent erreichen. (Der Wirkungsgrad ist ein Spezialfall der Energieeffizienz: Er misst das Verhältnis von tatsächlich nutzbarer Energie zu eingesetzter Primärenergie, die in eine Maschine oder ein Kraftwerk hineinkommt.)

Doch die Effizienzgeschichte der Dampfmaschine war nicht geradlinig. Um 1770 erfand der schottische Mechaniker James Watt die Dampfmaschine neu. Er trug dazu bei, ihre Effizienz vom Promille in den Prozentbereich zu steigern. Eine seiner Neuerungen allerdings verbesserte den Wirkungsgrad nicht, sondern senkte ihn. Newcomens »atmosphärische« Dampfmaschine verrichtete nur dann Arbeit, wenn ihr Kolben sich senkte; Watts »doppelwirkende« Maschine verrichtete beim Hin- wie beim

Rückweg des Kolbens Arbeit. Das war attraktiv, weil man für dieselbe Leistung nur eine halb so große Maschine brauchte.

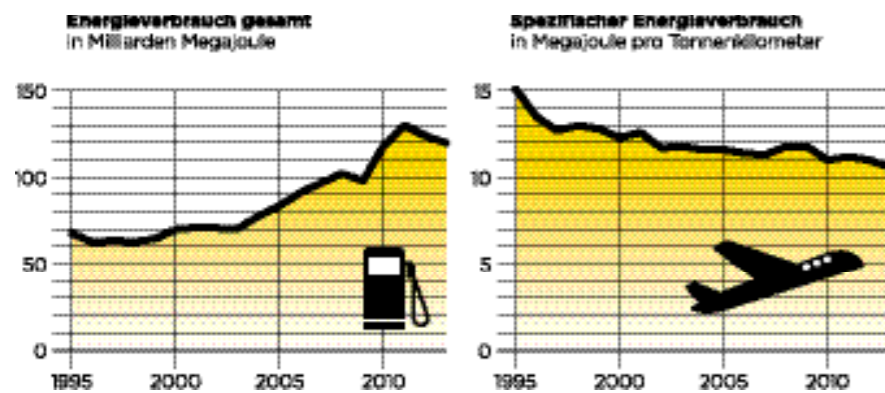
Die Leistung pro Maschine war wichtiger als die Effizienz dieser Leistung. Als die Dampfmaschine im 19. Jahrhundert die viel effizienteren Wasser- und Windmühlen zu ersetzen begann, trieb sie eine seit der Antike stets gleich ineffiziente Energienutzung auf die Spitze: die Sklavenausbeutung. Denn die dampfbetriebenen Textilfabriken diesseits des Atlantiks verarbeiteten immer mehr Baumwolle. Die Nachfrage stieg. In den USA schnellte die Zahl der Sklaven zwischen 1790 und 1860 von 660 000 auf fast 4 Millionen hoch. Die meisten von ihnen arbeiteten auf den Baumwollplantagen. Modern und effizient war daran nur eines: die Organisation der Ausbeutung.

In ihren ersten Jahrzehnten war die ineffiziente Dampfkraft unwirtschaftlich. Die erste Dampfmaschine auf dem europäischen Kontinent wurde 1722 im slowakischen Königsberg aus Prestige Gründen aufgebaut und bald wieder aufgegeben, sie rechnete sich nicht. Nur in Großbritannien war es anders, nicht aus technischen, sondern aus wirtschaftspolitischen Gründen: Hier verteuerten die Getreidegesetze die mit Pferden betriebenen Mühlen. Ein versteckter Strafzoll auf die konkurrierende Energie, der der Dampfmaschine zum Durchbruch verhalf.

Obwohl die Energieeffizienz nicht stetig zunahm, entwickelte sich die Energieausbeute im Laufe der Zeit recht eindrucksvoll. Dieser scheinbare Fortschritt hatte aber einen Haken: Der Gesamt-Energieverbrauch nahm nicht ab, sondern zu. Er steige nicht trotz, sondern wegen der Effizienzgewinne, postulierte schon 1865 der Ökonom William Stanley Jevons: »Es ist eine völlige Gedankenverwirrung, anzunehmen, die effiziente Verwendung von Brennstoffen sei gleichbedeutend mit einem reduzierten Verbrauch. Das genaue Gegenteil ist wahr.« Den eindrücklichsten Beleg seiner These erlebte Jevons nicht mehr: Als im frühen 20. Jahrhundert Glühbirnen mit Wolfram statt Kohlefasern auf den Markt kamen, fürchteten die Elektrizitätswerke um ihren Umsatz, denn die neuen Glühbirnen waren viermal effizienter. Das Gegenteil geschah: Elektrisches Licht wurde plötzlich für viel mehr Leute erschwinglich, und der Umsatz der Elektrizitätswerke explodierte geradezu.

### Das Effizienzparadox

Frachtflugzeuge nutzen den Treibstoff immer besser aus (rechts), so wird Luftfracht billiger. Die Transportmenge steigt, ebenso der Gesamtverbrauch (links)



### DURCH UND DURCH NACHHALTIG. MIT DER WELTWEIT ERSTEN CRADLE-TO-CRADLE ZERTIFIZIERTEN BIO-DÄMMUNG

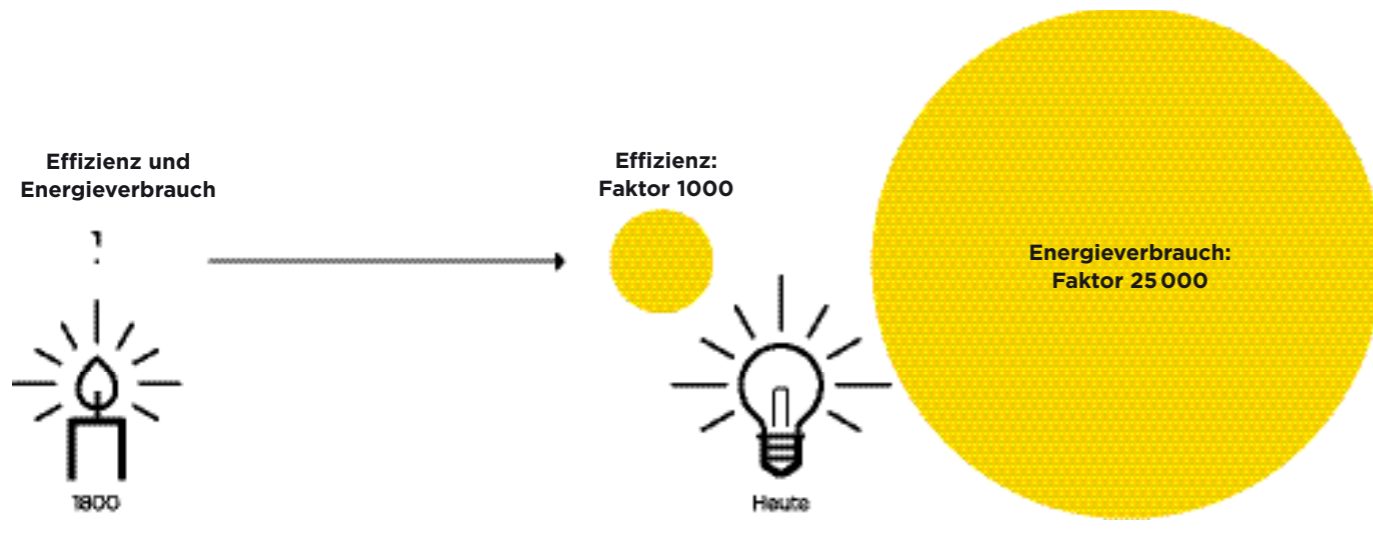
Jedes unserer höchst energieeffizienten Architekturhäuser ist garantiert gesund gebaut. Und gedämmt mit einem der besten Bio-Dämmstoffe der Welt: unsere patentierten Holzspänohlen. Dafür erhielten wir als erstes Hausbauunternehmen weltweit das höchste Nachhaltigkeitsiegel Cradle to Cradle in Gold. Mehr Nachhaltigkeit bedeutet mehr.

Jetzt weiterlesen und mehr Nachhaltigkeit entdecken.  
[www.baufritz-dz.de](http://www.baufritz-dz.de)

**BAUFRITZ**  
Der ÖkoHaus-Pionier seit 1981

### Rebound-Effekt – der Fluch der Effizienzsteigerung

Während die Effizienz der Lichterzeugung in Großbritannien seit 1800 um den Faktor 1000 zunahm, stieg der Energieverbrauch für Beleuchtung um den Faktor 25000 und machte alle Effizienzgewinne zunichte. Rebound nennen Forscher diesen Effekt



Jevons war einer der Begründer der bis heute dominanten neoklassischen Schule der Ökonomie. Aber sein Paradoxon vergaß die Neoklassik schnell wieder – bis es, nun unter dem Namen Rebound, seit den achtziger Jahren allmählich wieder zum Forschungsthema wurde. Rebound (englisch für »Rückprall«) bezeichnet im Basketball die Situation, wenn der Ball vom Korb abprallt und ein anderer Spieler ihn erobert. In der Ökonomie bedeutet Rebound, dass Effizienzgewinne nur teilweise zu Einsparungen führen und in manchen Fällen, wie von Jevons postuliert, sogar einen Mehrverbrauch zur Folge haben. Denn eine effizienter erbrachte Leistung kostet weniger, wird also mehr nachgefragt (siehe Grafik oben und auf Seite 86).

Spart man dennoch Energie, kann man das Geld für anderes ausgeben, was ebenfalls Energie verbraucht. Und spart man nun immer noch, wirkt die eingesparte Energie auf dem Markt wie ein zusätzliches Angebot, das den Preis senkt – und somit die Nachfrage ankurbelt. Der ehemalige Umweltminister Klaus Töpfer hat den Rebound-Effekt mit einer Anekdote illustriert. Als ihm Freunde erzählten, sie hätten nun einen besonders effizienten Kühlschrank gekauft, fragte Töpfer sie: Was habt ihr mit dem alten gemacht? Antwort: Der steht jetzt im Keller, für den Wein.

Laut einer Studie des UK Energy Research Center machen Rebound-Effekte bei Verkehr, Heizung und Kühlung wahrscheinlich knapp 30 Prozent der möglichen Effizienzgewinne wieder zunichte; in allen anderen Bereichen falle der direkte Rebound geringer aus. Die Schätzungen der indirekten Rebound-Effekte liegen weit auseinander. Man kommt der Wahrheit wohl recht nahe, wenn man feststellt: Energie, die auf

## Rebound heißt: Einen effizienten Kühlschrank kaufen und mit dem alten den Wein kühlen

den Markt gelangt, wird auch verbraucht. Trotz des Rebound-Effekts können Effizienzsteigerungen mitunter aber sehr wohl zu Einsparungen führen, beispielsweise in Gebäuden, in denen der Heizenergieverbrauch dank besserer Dämmung sinkt. Allerdings war es hier in der Nachkriegszeit zu besonders großen Effizienzverlusten gekommen: Die Zentralheizung wärmte alle

Zimmer gleichmäßig auf, während früher die Stube neben der Küche lag, sodass eine einzige Feuerstelle Ofen, Herd und Stube heizte, während die darüberliegenden Schlafzimmer für die Nacht kühl temperiert waren. In heißen Ländern konnte man die Hitze auf Veranden besser aushalten; mit der Kühltechnik begann diese architektonische Anpassung ans Klima zu verschwinden. Dasselbe gilt für die Siesta – die wohl effizienteste Technik, mit hohen Temperaturen umzugehen.

Die Geschichte der Effizienzsteigerung hat eine kuriose Pointe: Die Effizienz der Energiegewinnung selbst ist seit Beginn des Zeitalters der fossilen Energien stetig gesunken. Das Maß dafür ist der »Energy Return on Energy Invested« (EROEI). Im 17. Jahrhundert konnte ein Kumpel Kohle schürfen, die 500-mal so viel Energie enthielt, wie er bei seiner Arbeit verbrauchte. Heute liegt der EROEI für Kohle bei etwa 80:1.

In der Erdölförderung sank der Wert im 20. Jahrhundert von etwa 100:1 auf unter 20:1. Die Ursache ist das, was Ökonomen das Prinzip des abnehmenden Grenznutzens nennen: Die besten Vorräte sind erschöpft, und man muss schlechter zugängliche Quellen anzapfen. Der Atomstrom hat aus einem anderen Grund – wegen der Versicherungskosten – nie mehr als einstellige EROEI-Werte erzielt.

Die unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz bemerkenswerteste Erfindung der Moderne war das Fahrrad: Es machte die menschliche Fortbewegung viel energieeffizienter, ohne dafür eine andere Energiequelle anzupfen. Von dieser Ausnahme abgesehen, könnte man die Geschichte der Technik als eine Abfolge von Technologien beschreiben, die zwar in sich stets effizienter werden – aber in der Summe stets mehr Energie verbrauchten als ihre Vorgänger: von Pferdeantrieben, Wind- und Wassermühlen zur Dampfmaschine. Von kurzen Wegen zu autogerechten Landschaften. Von Siesta und Veranda zur Klimaanlage. Von Einweckgläsern zum Kühlschrank. Und von Wäscheleine und Wäscheklammer zum elektrischen Wäschetrockner.

Aus ökologischer Sicht könnte man das Thema Energieeffizienz aus den Debatten um die Energiewende streichen. Für den Klimawandel zählt, wie viel Kohlenstoff zu CO<sub>2</sub> verbrannt wird, und nicht, wie effizient das geschieht. Und angesichts der Notwendigkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null zu

senken, sind auch der effizienteste Verbrennungsmotor, die effizienteste Ölheizung und das effizienteste Kohlekraftwerk die falschen Techniken.

Es gibt keinen Grund, Energieträger, deren Nutzung die menschliche Zivilisation bedrohen, überhaupt auf den Markt zu lassen. Das Pariser Klimaabkommen postuliert im Grunde nichts anderes als ein Verbot fossiler Energieträger für die zweite Jahrhunderthälfte; und der CO<sub>2</sub>-Emissionshandel ist nichts anderes als ein Versuch, diese Energieträger zu rationieren. Ein Energieangebot, das nicht auf den Markt gelangt, kann keine Rebound-Effekte auslösen. Und ob die noch zugelassene Energie dann effizient oder ineffizient verbraucht wird, ob sie ersetzt oder eingespart wird, das kann man – auch aus wirtschaftsliberaler Sicht – getrost dem Markt überlassen. —

**Marcel Hänggi**, Autor mehrerer Bücher zu Energie und Klima, hält Effizienz für ein wenig menschenfreundliches Prinzip, ist aber ein Fan des Fahrrads, des effizientesten Transportmittels.

## Gesucht: Menschen mit Mut zur Nachhaltigkeit

Genug, für alle, für immer – gemäß diesem Credo sucht ZEIT Wissen Menschen, Initiativen, Institutionen, Unternehmen und Start-ups, die mit frischen Ideen die Gesellschaft verändern und den respektvollen Umgang mit der Umwelt versuchen. Gemeinsam mit der Bildungsinitiative »Mut zur Nachhaltigkeit« und Dr. August Oetker verleihen wir den ZEIT Wissen-Preis **Mut zur Nachhaltigkeit** in den drei Kategorien Wissen, Handeln und Durchstarten. In der Kategorie **Wissen** zeichnen sich Bewerber durch ein lang anhaltendes Engagement oder einen Durchbruch in Forschung oder Wissensvermittlung aus. In der Kategorie **Handeln** ist Nachhaltigkeit der Kern der Unternehmensphilosophie. In der Kategorie **Durchstarten** werden junge, innovative Geschäftsmodelle gesucht, in denen Nachhaltigkeit fest verankert ist. Der Preis wird während des ZEIT Wissen-Nachhaltigkeitskongresses im März 2017 in Hamburg verliehen. **Machen Sie mit:** Nennen Sie uns bis zum 15. August 2016 Ihren Nachhaltigkeits-Favoriten unter [www.zeit.de/nhp](http://www.zeit.de/nhp) oder per E-Mail an [mut-zur-nachhaltigkeit@zeit.de](mailto:mut-zur-nachhaltigkeit@zeit.de)



### DIE GEWINNER

Die beiden letzten Preisträger in der Kategorie Handeln

**2016 Werner & Mertz GmbH** setzt sich mit der »Initiative Frosch« für Alternativen zum Palmkernöl und effektiveres Recycling von Plastikflaschen ein

**2015 Die Solarkiosk GmbH** hilft Menschen in armen Regionen, einen Energie-Kiosk zu betreiben

Die beiden letzten Preisträger in der Kategorie Wissen

**2016 Stephan Rammler** hat konkrete Visionen für eine postfossile Mobilitätskultur

**2015 Van Bo Le-Mentzel** entwirft günstige Möbel zum Nachbauen und stellt die Pläne zur freien Verfügung

Zur Jury gehören unter anderem: Klaus Wiegandt, Harald Welzer, August Oetker und Andreas Sentker, der für die Jury die Leservorschläge sichtet.



### POSTGRADUALE MASTERPROGRAMME

**PhD Environmental Technology & International Affairs**  
In Kooperation mit der Diplomatischen Akademie Wien  
4 Semester, Vollzeit, Englisch  
Nächster Start: 28. September 2016

**PhD Sustainable Energy in Central & Eastern Europe**  
In Kooperation mit dem Energyport Research Center  
4 Semester, Semibezugsform, Englisch, gelbeschriebenes  
Nächster Start: 28. Oktober 2016

**PhD Energy Management Systems**  
In Kooperation mit der Technischen Universität Graz  
4 Semester, Semibezugsform, Deutsch, gelbeschriebenes  
Nächster Start: 10. November 2016

