

Energie sparen in Zeiten des Klimawandels

Ein Themenheft der website www.imtreibhaus.de
Ulrich Graf, Bremen 2009

Copyright: Alle Rechte für diese Publikation liegen beim Autor.
Die Vervielfältigung auf elektronischem Wege oder als Druckfassung
bedarf der Zustimmung des Autors.

Inhaltsverzeichnis

Energie sparen in Zeiten des Klimawandels – Panikmache oder Notwendigkeit?	2
Klimawandel – menschengemacht	2
Können wir den Klimawandel rückgängig machen?	4
Eigennutz und Klimaschutz	5
Der Energieverbrauch des Haushalts: Menge, Kosten, Emissionen	8
Der Stromverbrauch im Haushalt	11
Energie und Leistung von elektrischen Geräten	11
Die „weiße Ware“: Kühlschrank, Waschmaschine, Spülmaschine	15
Unterhaltungselektronik und Computer	18
Heizung und Wärmedämmung	18
Die Heizungsanlage	18
Was kann man durch Wärmedämmung einsparen?	21
Anspruch und Wirklichkeit beim Einsparen von Heizkosten:	23
Die Wärmedämmung	23
Die sparsamere Heizung	24
Das Nutzerverhalten	26
Energie sparen beim Auto	27
Trends bei der Autotechnik	28
Beim Auto sparen – aber wie?	31
Energie sparen in Zeiten des Klimawandels – was tun?	32
Ergänzende Literatur zum Thema	34
Über den Autor	35

Energie sparen in Zeiten des Klimawandels – Panikmache oder Notwendigkeit?

Klimawandel – menschengemacht

Der lange, kalte Winter 2009 ist zu Ende gegangen. Was war noch mal mit Klimawandel? Wo sind denn die heißen Sommer und feucht-warmen Winter, die uns angedroht wurden? Wie sollten wir uns über verringerte CO₂-Emissionen freuen, wenn sie das Resultat einer Weltwirtschaftskrise mit stark herunter gefahrener Automobilproduktion und massenhafter Freisetzung von Arbeitskräften sind? Was sollen die Aufforderungen zum Energie sparen, wenn die steigenden Kosten für Heizung, für Strom und Treibstoff jeden Spareffekt zunichte machen?

Unsere aktuellen Sorgen sind greifbarer als die Angst vor einem, bisher nicht wirklich deutlich werdenden Klimawandel. Die Versuchung liegt nahe, die drohende Klimaveränderung abzutun als Panikmache in einer Reihe vergleichbarer Katastrophenszenarien. Die älteren von uns erinnern sich noch an die „Ölkrise“ der 70er Jahre, als das Gespenst begrenzter Erdölressourcen erstmalig die Medien beherrschte und wir mit „autofreien Sonntagen“ darauf reagierten – wobei die Benzinpreise damals, bezogen auf das Durchschnittseinkommen, erheblich niedriger waren als heute und die vorübergehenden Lieferengpässe ja nur ein Versuch der Öl exportierenden Länder waren, die Preise hochzutreiben. Nachträglich gesehen, war die Ölkrise keine echte, sondern nur eine gefühlte Krise.

Ein anderes Katastrophenszenario war das „Waldsterben“ der 80er Jahre. Epidemieartig vertrocknende Baumbestände und Wälder machten uns deutlich, dass unser Ökosystem empfindlich auf unseren Lebensstil reagiert und sich radikal verändern kann. Plötzlich war uns jeder Baum heilig, und man konnte es sich für alle Zeiten mit dem Nachbarn verderben, wenn man eine unangemessen hohe Birke aus dem kleinen Garten hinter dem Haus entfernen wollte. Ein positiver Effekt der Sorge um den Wald war übrigens die Einführung von Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Kraftwerken.

Diese „Katastrophen“ gingen vorbei und sind nahezu vergessen. Wir dürfen aber nicht übersehen, dass die Befürchtungen von damals durchaus berechtigt waren. Die Ölkrise z.B. hat dazu geführt, dass seitdem mit großem Aufwand und größtmöglicher Genauigkeit erfasst wird, wie lange die weltweit vorhandenen fossilen Ressourcen Kohle, Erdöl und Erdgas beim derzeitigen Verbrauch und bei ökonomisch vertretbaren Förderkosten noch reichen (nachzulesen z.B. in den jährlich aktualisierten „Energiestatistiken“ des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, www.bmft.de). Die Reichdauer der fossilen Ressourcen beträgt derzeit für Kohle 160 Jahre, Erdgas 60 Jahre und Erdöl 40 Jahre – das ist nicht wirklich viel. Eine positive Nachwirkung der Ölkrise der 70er Jahre ist unter anderem, dass seitdem die erneuerbaren Energieträger Sonne, Wind, Biomasse, Wasserkraft usw. als Basis der zukünftigen Energieversorgung ernst genommen werden, und durch die seitdem massive Förderung sind die dafür notwendigen technischen Systeme heute auch einsatzbereit. Dass nach wie vor die fossilen Energieträger rund 85 Prozent des weltweiten Primärenergiebedarfs abdecken, liegt hauptsächlich daran, dass die traditionellen Energieträger einfach noch zu erschwinglichen Preisen auf dem Markt angeboten werden. Ob diese Preise plötzlich nach oben schnellen (wie im Sommer 2008) oder auch wieder sinken (wie Anfang 2009) hat nur wenig mit einer tatsächlichen Verknappung zu tun, sondern ergibt sich aus dem internationalen Handel mit Rohstoffen an der Börse. Schon jetzt aber zeichnet sich ab, dass einige Ölquellen den Zeitpunkt maximaler Förderung überschritten haben. Eine Erdölknappheit wird bald nicht mehr eine spekulative Androhung sein, sondern

Realität. Die Treibstoffkosten werden dann wieder steigen, und zwar in nie da gewesenem Tempo.

Was das Katastrophenszenario „Klimawandel“ betrifft, so ist aus wissenschaftlicher Sicht unbestreitbar, dass die Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche durch menschliche Einwirkung in den letzten hundert Jahren um 0,8 °C gestiegen ist, und dass sich der Anstieg beschleunigt fortsetzt. Es ist unbestreitbar, dass sich die Alpengletscher seit etwa 100 Jahren immer mehr zurückziehen. Es ist unbestreitbar, dass der Meeresspiegel ansteigt (an meinem Wohnort Bremen wird mit einem Anstieg des mittleren Tidehochwassers um 0,7 m bis 2050 gerechnet). Die messbare Klimaveränderung wird sich natürlich auch auf das Wetter auswirken, obwohl hierbei eine langfristige „Wettervorhersage“ nicht möglich ist: In den seit dem 19. Jahrhundert aufgezeichneten meteorologischen Daten äußert sich „Wetter“ in Form von mehr oder weniger heftigen Ausschlägen um die Mittelwerte. Ein steigender Mittelwert sagt nichts darüber aus, wie heftig die Ausschläge sind, er ist einfach eine mathematisch ermittelte Größe. Es kann allerdings durchaus sein, dass sich extreme Wetterlagen in Zukunft häufen. Aber so genau lässt sich das offenbar nicht vorhersagen.

Der Unterschied zu den Klimaveränderungen früherer Zeiten (den Eiszeiten und Warmzeiten) liegt darin, dass wir dabei sind, eine seit etwa 8000 Jahren relativ konstante Klimaperiode durch *menschliche Aktivitäten* zu beeinflussen. Das gab es noch nie in der Menschheitsgeschichte, aber es gab auch noch nie so viele Menschen mit so hoch entwickelten technischen Möglichkeiten zur Beeinflussung der Ökosphäre. Der wichtigste Parameter bei der menschengemachten Klimaveränderung ist die Freisetzung von CO₂ (Kohlendioxid) durch die Verbrennung der fossilen Primärenergieträger Kohle, Erdöl und Erdgas im Verlauf der vergangenen zweihundert Jahre. Dadurch hat sich der Treibhauseffekt in der Atmosphäre verstärkt. Die Atmosphäre besteht aus 21 % Sauerstoff, 78 % Stickstoff und einem Rest von etwa 1 % so genannter „Treibhausgase“, wovon knapp die Hälfte auf das CO₂ entfällt. Die Treibhausgase reflektieren die Wärmestrahlung der Erdoberfläche zurück auf die Erde, wodurch – wie in einem Treibhaus – die Temperatur erhöht wird.

Natürlich ist die Temperatur der Erdoberfläche nicht überall die gleiche. Die geografische Breite, die Topografie, die Nähe zu den Meeren usw. tragen ihren Teil zur Ausbildung des lokalen Wetters und der lokalen Temperatur bei. Es gibt Trockenwüsten, tropische Regenwälder, Polargebiete, gemäßigte Klimazonen – und das alles ergibt einen Durchschnittswert der Temperatur der Erdoberfläche. Was wird aus den Klimazonen, wenn dieser Durchschnittswert steigt? Wird die Sahara wieder zur Savannenlandschaft? Vertrocknen die Regenwälder? Wird die sibirische Tundra zum Weizenanbaugebiet? Verschwindet Holland von der Landkarte? Beim Klimawandel wird es Gewinner und Verlierer geben. Das Hauptproblem wird sein, das erst einmal alles durcheinander gerät, was sich über Jahrhunderte eingespielt hat. Am wenigsten Interesse an einer solchen unsicheren Zukunft haben diejenigen Staaten, die bereits industriell hoch entwickelt sind und deren Bevölkerung sich eines hohen materiellen Lebensstandards erfreut – wir Deutsche gehören ohne Zweifel zu diesen Privilegierten. Unser gemäßigttes Klima mit dem Wechsel der Jahreszeiten, moderaten Temperaturen und gleichmäßig verteilten Niederschlägen ist optimal. Ein erwärmungsbedingter Wechsel von sommerlichen Dürrephasen einerseits und Starkregen mit Überschwemmungen andererseits – wie es die Klimaforscher vorhersagen – sowie warmen Wintern, in denen Schädlinge im Boden nicht mehr abgetötet werden, hätte für unsere Landwirtschaft nur Nachteile. Rein egoistisch gesehen, haben wir allen Grund, uns zu überlegen, wie wir den Klimawandel aufhalten können. Und da der Klimawandel durch menschliche Aktivitäten zustande kommt, müsste er doch auch durch menschliche Aktivitäten zu verhindern sein?

Können wir den Klimawandel rückgängig machen?

Die schlechte Nachricht lautet: Nein. Die bodennah emittierten Treibhausgase wie Kohlendioxid und Methan benötigen viele Jahre, um in die bis in etwa 11-18 km Höhe reichende Troposphäre aufzusteigen und sich dort anzureichern. Dort, am oberen Rand der für Wetterphänomene maßgeblichen Atmosphäreschicht, wirken sie einige Jahrzehnte als Treibhausgase, bis sie allmählich in den Weltraum hinaus diffundieren. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts – dem Beginn der industriellen Revolution – hat sich der CO₂-Gehalt der Troposphäre von 280 auf 380 ppm (parts per million, 1 ppm = 0,0001 Prozent) erhöht. Wenn ab sofort die CO₂-Emissionen weltweit auf Null heruntergefahren werden, sind die Abgase der letzten Jahrzehnte immer noch auf dem Weg nach oben, um den Treibhauseffekt weiter hoch zu treiben. Dies ist der erste Teil der schlechten Nachricht.

Über die Hälfte der weltweit emittierten Treibhausgase werden von den hoch entwickelten Industrieländern ausgestoßen. Der Rest entsteht vor allem in den gering entwickelten, bevölkerungsreichen Weltregionen wie Indien und China mit zusammen etwa 2,5 Milliarden Einwohnern. Die durchschnittlichen pro-Kopf-Emissionen an CO₂ der Industrieländer sind fast zehnmal so hoch wie die der Entwicklungs- und Schwellenländer. Auch wenn die Industrieländer aus Einsicht in die Notwendigkeit von Klimaschutzmaßnahmen ihre pro-Kopf-Emissionen um 20 % senken, kann es man den Entwicklungs- und Schwellenländern nicht übel nehmen, wenn sie versuchen, ihre Lebensbedingungen durch steigenden Energieverbrauch zu verbessern und damit ihre pro-Kopf-Emissionen zu steigern. Die Einsparungsmaßnahmen der Industrieländer werden dadurch mehr als kompensiert. Das ist der zweite Teil der schlechten Nachricht.

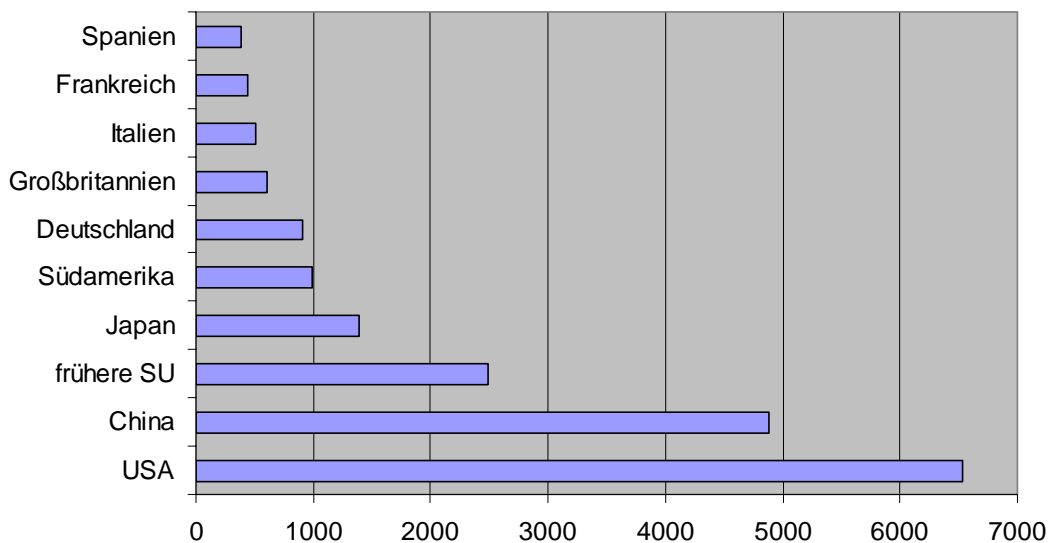


Abb. 1: Energiebedingte CO₂ - Emissionen ausgewählter Länder und Regionen, 2004 (in Megatonnen pro Jahr)

(nach BMWI Energiedaten, 12.06.2007)

Durch die bereits stattfindende weltweite Erwärmung werden Prozesse im Ökosystem in Gang gesetzt, die den Treibhauseffekt zusätzlich verstärken: So tauen z.B. große Gebiete in Nordeuropa, deren Böden bis jetzt durch Permafrost gasdicht verschlossen sind, allmählich auf. Der moorige Untergrund setzt Methangas frei, das pro Mengeneinheit zwanzigmal klimawirksamer ist als Kohlendioxid. Dieser Vorgang ist nicht mehr rückgängig zu machen und hält auch dann weiter an, wenn die industrielle Produktion von Treibhausgasen vollständig eingestellt wird. Ein ähnlicher Effekt scheint sich an den Abhängen der

Kontinentalschelfe der Weltmeere abzuspielen, wo in riesigen Mengen abgelagerte Methanhydrate im wärmer werdenden Wasser schmelzen und Methan freisetzen. Methan scheint sich zur nächsten Bedrohung des Weltklimas zu entwickeln – die Klimaveränderung nimmt den nächsten Anlauf. Das ist der dritte Teil der schlechten Nachricht.

Nicht ganz so gravierend, aber auch nicht zu vernachlässigen ist die verstärkte Wärmeabsorption durch die Oberflächen der Polarmeere, deren Eisbedeckung bisher einen Teil der Solarstrahlung zurückreflektiert hat. Bei abschmelzendem Eis nimmt die dann dunkle Wasseroberfläche mehr Wärme auf als vorher. Das Wasser erwärmt sich, der Meeresspiegel steigt..

Das klingt nun so, als wären alle Versuche, den Klimawandel noch aufzuhalten, völlig sinnlos. Das sind sie aber nicht. Jede Verzögerung des – im Prinzip unaufhaltsamen – Wandels mildert die Folgen des Übergangs. Die Übergangsphase zum veränderten Weltklima wird schmerzlich, und wie immer werden vor allem diejenigen Regionen darunter leiden, die schon jetzt wirtschaftlich schwach sind und sich die Anpassung ihrer labilen Landwirtschaft an neue klimatische Voraussetzungen nicht leisten können. Für uns in Mitteleuropa wird das zwar leistbar sein, aber erhebliche finanzielle Mittel erfordern z.B. zum Ausbau von Deichen in den Küstengebieten, zu vermehrtem Lawinenschutz in den Alpen, für den Übergang zu Bewässerungssystemen in der Landwirtschaft zur Abpufferung des stark schwankenden Regenangebotes, für verstärkten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln usw. – das werden wir schaffen, aber wir müssen etwas Zeit gewinnen. Die staatlich verordneten Maßnahmen zur Senkung des Ausstoßes von Treibhausgasen, die auf internationalen Klimakonferenzen wie Kyoto 1997 und dem G8-Treffen in Heiligendamm 2007 ausgehandelt wurden, zielen in diese Richtung. Das zwischenzeitlich vom deutschen Umweltminister gesetzte Ziel der Begrenzung des Anstiegs der Durchschnittstemperatur auf zwei Grad Celsius bis zum Jahr 2100 wird, nach derzeitigem Anschein, nicht erreicht werden können, aber jede Verzögerung im Temperaturanstieg sollte uns willkommen sein.

Wenn die letzte Kohle, der letzte Tropfen Erdöl, der letzte Kubikmeter Erdgas verbrannt ist, sollte der Spuk vorbei sein. Die in der Menschheitsgeschichte einmalige, unwiederholbare, nur wenige Jahrhunderte kurze Episode der Nutzung fossiler Energieträger ist dann zu Ende – dies scheint der gute Teil der Nachricht zu sein. Aber nicht einmal darüber können wir uns rückhaltlos freuen: Wie schon erwähnt, sind noch Jahrzehnte danach die Treibhausgase auf ihrem Weg nach oben, und die Folgen der bereits erreichten Erwärmung (Methanfreisetzung, verstärkte Wärmeabsorption durch die Erdoberfläche) verstärken den Treibhauseffekt auch ohne unser Zutun noch weiter.

Eigennutz und Klimaschutz

Die Widersprüchlichkeit menschlichen Handelns beim Umwelt- und Klimaschutz ist durch zahlreiche Untersuchungen belegt und interpretiert worden. Stark verkürzt, lautet die Aussage: Jeder redet von Umweltschutz, aber keiner tut was. Dies gilt auch für Maßnahmen gegen den Klimawandel. Die Mehrzahl der Bevölkerung reagiert auf den massiven medialen Informationsdruck und die zunehmenden staatlichen Anreize etwa so:

- Die Informationen über den stattfindenden Klimawandel werden, wenn auch mit einer gewissen Skepsis, als glaubhaft eingestuft.
- Angesichts der zunehmenden wirtschaftlichen Dynamik der Schwellenländer wie China und Indien wird gefolgert, dass unsere Anstrengungen zur Abschwächung des Klimawandels wenig Aussicht auf Erfolg haben.
- Neue technische Gebrauchsgeräte, die eine gewohnte Dienstleistung mit geringerem Energieverbrauch und geringeren Schadstoffemissionen anbieten, werden gerne akzeptiert. Ihre Nutzung wird mit dem Image „fortschrittlich, modern, umweltschonend“ verbunden, ist aber vor allem verknüpft mit der Hoffnung, durch geringere Verbrauchskosten Geld zu sparen.

Der letzte Aspekt ist der entscheidende. Von wenigen Idealisten abgesehen, strebt der normale Bürger danach, seine ganz persönlichen Lebensbedingungen zu verbessern oder zumindest zu halten. Umweltschutz wird als gesellschaftliche Aufgabe gesehen, die über Steuern zu finanzieren ist. Eine ganz persönliche Beteiligung durch Abzweigung eines Teils der – im Allgemeinen als knapp empfundenen – finanziellen Mittel zum Lebensunterhalt ist nicht ohne weiteres durchsetzbar, solche persönlichen Opfer brauchen Anreize.

So ist es nur konsequent, wenn staatliche Maßnahmen zur Verlangsamung des Klimawandels darauf abzielen, dem Bürger einen finanziellen Anreiz zum Handeln zu geben. Besonders deutlich wird das bei der Förderung der emissionsfreien Erneuerbaren Energien: Das „Erneuerbare Energien Gesetz“ (EEG) in seiner Neufassung von 2004 schreibt attraktive Vergütungen für die Netzeinspeisung von Strom aus Photovoltaikanlagen, Windgeneratoren und Biogasanlagen fest, die Energie-Einsparverordnung Wärme (EnEV Wärme) regelt die Förderung von Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs in Wohnungen, bei der Kraftfahrzeugsteuer wird in Zukunft verstärkt die Schadstoffbelastung durch Abgase berücksichtigt usw.. Anreizsysteme solcher Art waren bisher sehr erfolgreich und haben die rasante technische Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Gang gesetzt. Zu unterscheiden ist hier zwischen der Förderung neuer, meist völlig emissionsfreier Energietechniken (Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme) bzw. Kohlendioxid-neutraler Verbrennung (Bioenergie) und der Förderung energiesparender Maßnahmen, wobei hier Energiesparen gleich gesetzt wird mit Emissionsverringern.

Allen Maßnahmen ist gemeinsam, dass sie nicht umsonst zu haben sind. Strom aus Photovoltaik kostet etwa 48 ct / kWh, während Strom aus dem Kohlekraftwerk etwa 3,5 ct / kWh ab Kraftwerk kostet (die Differenz zum Preis des Stroms aus der Steckdose ergibt sich aus den Kosten der Verteilung und den Gewinnen der Stromversorger). Niemand würde sich eine Solaranlage auf das Dach setzen, wenn er die hohen Kosten alleine tragen müsste. Deshalb wird über das EEG die Umverteilung der Solarstromkosten auf die Gesamtheit der Stromverbraucher geregelt. Die Stromrechnung pro Haushalt ist durch die Erneuerbaren Energien derzeit um etwa 2 EUR pro Monat gestiegen.

Die Kosten einer neuen, effizienteren Heizung, einer verbesserten Wärmedämmung der Wohnung, eines energiesparenden Haushaltsgerätes trägt der Verbraucher im Allgemeinen allein. Hier besteht der Anreiz darin, dass die höheren Kosten des Gerätes über die geringeren Verbrauchskosten wieder hereinkommen, bevor das Gerät aus Altersgründen außer Dienst gestellt wird.

Bei allen diesen Maßnahmen wird der Bürger durch praktische Ratschläge unterstützt. Diese Ratschläge sind allerdings nicht immer uneigennützig: Rund um Energiesparen und Umweltschutz haben sich florierende Wirtschaftszweige gebildet, sind Arbeitsplätze entstanden, wird Geld verdient. Nur ein Beispiel: Der Beitrag der Solarenergie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien betrug 2005 nur 2 %, der Anteil der Photovoltaikanlagen am Umsatz aus der Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien aber im gleichen Jahr 33,2 % (Quelle: BMU-Publikation „Erneuerbare Energie in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung“, Stand Mai 2006). Photovoltaik verkauft sich gut, weil jeder Nutzer hofft, damit Geld verdienen zu können, Steuern zu sparen oder zumindest eine attraktive Rendite des eingesetzten Kapitals zu erhalten. Ob diese Rechnung aufgeht, wird sich nach dem Ende der zwanzigjährigen Laufzeit der Anlagen zeigen. An diesem Beispiel zeigt sich aber besonders deutlich, dass *Eigennutz* die treibende Kraft ist. Trotzdem ist diese Form der Technologieförderung zumindest vorübergehend sinnvoll, um die Entwicklung der Technik voranzutreiben und ihre Alltagstauglichkeit zu erproben.

Gute Ratschläge bekommt man auch und vor allem, wenn es um den Energieverbrauch der alltäglichen Geräte des Haushalts geht. Ganz aktuell ist die Diskussion um die Glühbirne, die möglicherweise per Gesetz zugunsten der Energiesparlampe verboten werden soll.

Unbestreitbar verbrauchen Energiesparlampen bei gleicher Helligkeit wesentlich weniger Strom als Glühlampen, und der höhere Preis wird durch die längere Lebensdauer mehr als wettgemacht. Energiesparlampen sind eine vernünftige Lösung. Aber sind sie so wichtig, dass man die Glühlampe verbieten muss? Nein, das sind sie nicht, denn der Anteil der Beleuchtung am Stromverbrauch des Haushalts beträgt nur einige Prozent. Es wäre wichtiger, den eigenen Haushalt daraufhin zu untersuchen, wo am meisten Strom verbraucht wird, und daraus die entsprechenden Schlüsse zu ziehen. Meine Argumentation läuft daraus hinaus: Die guten Ratschläge zum Energiesparen gaukeln dem Verbraucher vor, er könne bei Befolgen der Ratschläge die Umwelt schonen, den Klimawandel aufhalten und gleichzeitig Geld sparen. Umweltschutz durch Eigennutz.

Leider wird diese Rechnung nicht aufgehen. Klimaschutz ist teuer, und auch Energie sparen ist teuer. Beim Kampf um die Verlangsamung des Klimawandels gibt es Gewinner und Verlierer. Gewinner sind Energiekonzerne, Aktiengesellschaften, Anlagenhersteller, bis hin zum kleinen Betrieb, der die Türen und Fenster erneuert (und dem letzteren sei es durchaus gegönnt). Verlierer sind die ganz normalen Verbraucher, die nicht als Umweltsünder dastehen wollen, aber trotz aller Einsparbemühungen immer noch mehr bezahlen müssen. Es geht jetzt darum, unseren Anteil zum Umweltschutz zu leisten, ohne dabei über die Maßen über den Tisch gezogen zu werden. Um hier Schadensbegrenzung betreiben zu können, müssen wir uns genauer mit der Materie beschäftigen. Die üblichen Tipps zum Energiesparen im Haushalt helfen uns nicht weiter, wir müssen selbst herausfinden, wo wir sparen können. Es reicht nicht, zu wissen, wie viel Prozent der *Durchschnittshaushalt* einsparen kann. Die Frage ist: Wie viel Prozent der Treibhausgasemissionen *meines eigenen Haushaltes* kann ich z.B. durch effizientere Geräte einsparen? Was kostet mich das, was spare ich an Betriebskosten pro Jahr ein? Was sind die Nebenwirkungen, die ich akzeptieren muss? (Z.B.: Läuft die effizientere Waschmaschine eine Stunde länger beim normalen Waschvorgang? Ist das Licht der Energiesparlampe ungemütlicher als das der Glühlampe? Bildet sich Schimmel an den Wänden, weil zu wenig geheizt wird?).

Es geht also darum, den eigenen Lebensstil im Rahmen des Möglichen so zu verändern, dass er finanziell tragbar ist und gleichzeitig den Ansprüchen an Umwelt- und Klimaschutz gerecht wird. Die Grenzen sind individuell verschieden. Das Ergebnis kann frustrierend sein, aber dann wissen wir wenigstens Bescheid.

Der Energieverbrauch des Haushalts: Menge, Kosten, Emissionen

Die privaten Haushalte in Deutschland verbrauchen mit etwa 28% einen relevanten Anteil der gesamten Endenergie, sie liegen damit gleichauf mit dem Verkehr (28 %) und der Industrie (27 %) und über dem Endenergiebedarf von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen mit 16 % (alle Daten von BMWI / Energiestatistiken 2007). Allerdings sind wir persönlich nicht nur über den privaten Haushalt am Energieumsatz beteiligt: Im Sektor Verkehr beteiligen wir uns mit unseren privaten Fahrzeugen, aber auch als Nutzer von öffentlichen Verkehrsmitteln und als Urlaubsreisende am Energieverbrauch und damit auch an der Emission von Treibhausgasen. Die Emissionen der Kraftwerke entstehen zu einem erheblichen Teil, um unsere Haushalte mit Strom zu versorgen. Unser Handeln und unsere Konsumgewohnheiten beeinflussen den Gesamtverbrauch an Energie und die Gesamtemissionen also deutlich mehr, als es durch den direkten Energieverbrauch im Haushalt deutlich wird.

Abb. 2 zeigt die Aufteilung der im Haushalt verbrauchten Endenergie auf die verschiedenen Verbrauchssektoren. Wie wir sehen, ist der Anteil der Heizenergie mit Abstand am Größten. Auch das darf nicht vorschnell interpretiert werden. Heißt das auch, dass der mit Abstand größte Teil der vom privaten Haushalt verursachten Treibhausgasemissionen auf die Heizung zurückzuführen ist? Heißt das auch, dass der größte Teil der Energiekosten im Haushalt auf die Heizung zurückzuführen ist?

Außerdem: Die Grafik Abb. 2 gilt für einen durchschnittlichen deutschen Privathaushalt. Welche Werte gelten für meinen ganz persönlichen Haushalt? Vielleicht verhalte ich mich ja ganz anders als der „durchschnittliche Verbraucher“. Wie ist die technische Ausstattung des hier zugrunde gelegten Durchschnitts-Haushaltes? Wie sind die Konsumgewohnheiten des „Durchschnitts-Haushaltsmitgliedes“?

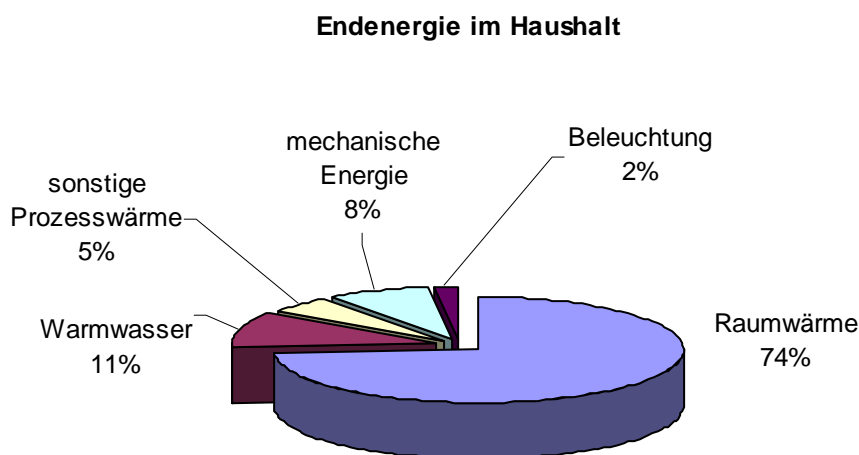


Abb. 2: Endenergie der Haushalte nach Verbrauchssektoren (Deutschland 2005).

Die Raumwärme hat mit 74% mit Abstand den größten Anteil. „Sonstige Prozesswärme“ ist z.B. die Kochwärme. „Mechanische Energie“ bedeutet fast ausschließlich elektrische Energie zum Antrieb verschiedener Geräte. Der Anteil der Beleuchtung ist mit 2% relativ unbedeutend.

Quelle: Energiestatistiken des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, 24.4.2007 (www.bmwi.de)

Die Daten von Durchschnittshaushalten sind also nur für eine erste grobe Einschätzung der Situation brauchbar. Da es aber jetzt darum geht, Konsequenzen zu ziehen, die unsere

Haushaltskasse entlasten sollen, müssen wir es genauer wissen. Das wird natürlich etwas mühsam und geht nicht ohne Messen und Rechnen. Es macht aber Sinn, denn wenn das Prinzip der Datenerfassung einmal klar ist, können wir jederzeit die wechselnden Preise und Kosten von Haushaltsgeräten und Energieträgern bei der Berechnung von Effizienz, Rentabilität und Klimawirksamkeit berücksichtigen.

Zunächst einmal müssen wir wissen, wie viel Energie wir in unserem privaten Haushalt jährlich verbrauchen und was das kostet. Das ist relativ einfach festzustellen – zumindest, wenn man selbst Eigentümer der Wohnung oder des Hauses ist. Man braucht nur die Jahresabrechnung des Energieversorgers. Wenn man allerdings zur Miete in einem Mehrparteienhaus wohnt, kann es schon deutlich mehr Mühe machen, den tatsächlichen Verbrauch zu ermitteln. Vor allem ist es nicht sofort ersichtlich, wie sich der Preis zusammensetzt. Im Folgenden interpretiere ich die Daten meines eigenen Haushalts (zwei Erwachsene, zwei Kinder von 16 und 18 Jahren). Sinngemäß kann dies dann für andere Haushalte umgesetzt werden. Ich berücksichtige im Folgenden nicht die Wasserkosten (weil der Wasserverbrauch bei der Berechnung der Emissionen keine Rolle spielt), aber ich beziehe die private PKW-Nutzung mit ein.

Unser Stromverbrauch im Jahr 2007 betrug 4800 kWh. Das ist relativ viel, und vor allem ist der Stromverbrauch in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, obwohl wir das Gefühl haben, durchaus sparsam mit elektrischen Verbrauchern umzugehen (mehr dazu weiter unten). Die Stromkosten in EUR pro kWh sind ab Sept. 2008 von 0,2012 auf 0,2084 gestiegen. Dazu kommen aber noch fixe Kosten, die im Allgemeinen pro installiertem Zähler berechnet werden. In unserem dreistöckigen Altbau mit ca. 150 m² Wohnfläche sind drei Stromzähler installiert, und die Gesamtkosten für 4800 kWh belaufen sich damit auf 1180 EUR. Pro kWh ergeben sich also 0,246 EUR (deutlich mehr, als der Verbrauchspreis von 0,20 !). Bei einem Tarifwechsel, z. B. vom Basistarif zum Vielverbraucherarif, sinken die Gebühren pro kWh, aber es steigen die Zählergebühren, so dass sich ein Endpreis von 0,262 EUR / kWh ergäbe.

Auch das Erdgas ist teurer geworden. Die Kosten für Erdgas liegen jetzt bei 0,0806 EUR/kWh, bei 15 000 kWh und einem Gaszähler (Festpreis 59,16 EUR/Jahr) komme ich auf 1268,16 EUR/Jahr beim Basistarif.

Dazu kommen jetzt aber auch noch die Treibstoffkosten für den PKW, die in der Abb. 2 gar nicht berücksichtigt sind: Ich fahre einen 20 Jahre alten Benziner, pro Jahr etwa 14 000 km, Verbrauch durchschnittlich 10 Liter/100 km, Literpreis 1.50 EUR, macht 2146 EUR/Jahr (ich gebe also mehr für Benzin aus als für die Heizung!). Im Folgenden betrachte ich den Energieverbrauch des Haushaltes als Summe von Stromverbrauch, Gasverbrauch und Treibstoffverbrauch. Für Treibstoff wurde ein Energieinhalt von 8 kWh pro Liter angenommen.

	Strom	Gas	Treibstoff
Jahresverbrauch in kWh	4800	15000	11200
Energiekosten in EUR je kWh	0,246	0,085	0,1875
Jährliche Energiekosten in EUR	1180	1268	2146
Jährliche Emissionen in kg CO ₂	4224	2700	3248

Tabelle 1: Energiemenge, Kosten und Emissionen der Energieträger im Haushalt

Mit einem Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel lässt sich das unter verschiedenen Gesichtspunkten auswerten:

Jahresverbrauch in kWh

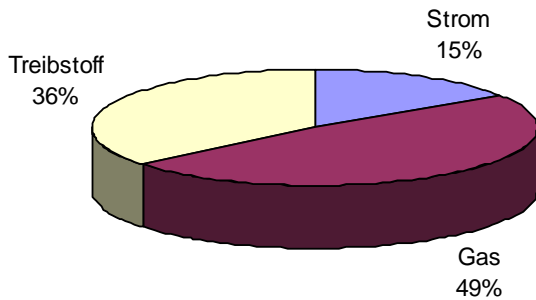


Abb. 3: Die verbrauchte Energiemenge

Betrachtet man nur den Energieverbrauch, so liegt die Heizung deutlich vor dem Verbrauch an elektrischer Energie und auch vor dem Treibstoffverbrauch. Ohne Berücksichtigung des Individualverkehrs wäre der Anteil der Heizwärme noch dominierender gegenüber dem Stromverbrauch. Wenn ich nur auf den Energieverbrauch achte, wäre also die Heizung der bei weitem wichtigste Verbrauchssektor im Haushalt.

jährliche Kosten

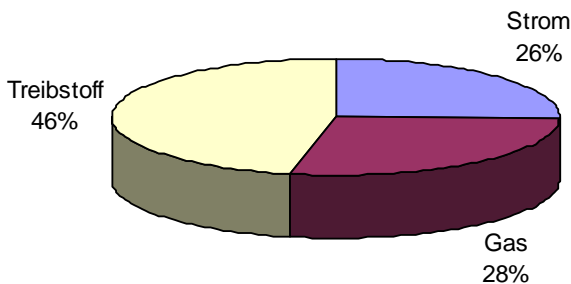


Abb. 4: Anteilige Kosten

Da die kWh Strom erheblich teurer ist als die kWh Gas, liegen die Gaskosten nur geringfügig über den Stromkosten. Durch die besonders stark gestiegenen Treibstoffpreise sind meine Treibstoffkosten erheblich höher als die Kosten für Strom oder Gas. Wenn ich Geld sparen will, müsste ich vor allem bei der Benutzung des privaten PKW ansetzen.

Emissionen pro Jahr

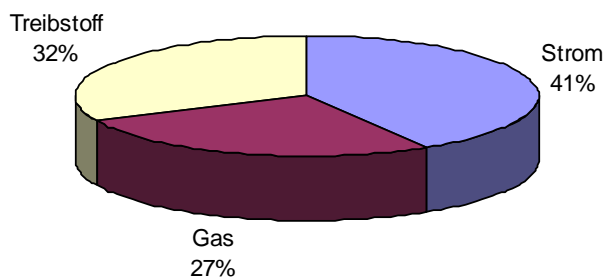


Abb. 5: Anteilige Emissionen

Bei der Freisetzung von Treibhausgasen liegt der Strom deutlich vorne! Dafür verantwortlich ist der relativ niedrige Wirkungsgrad der Kohlekraftwerke, in denen der Strom erzeugt wird. Diese Emissionen werden nicht im Haushalt selbst erzeugt, aber sie werden von ihm an anderer Stelle (nämlich im Kraftwerk) verursacht und müssen deshalb als Emission dem Haushalt zugeordnet werden.

Zur Ermittlung der Emissionen wurden die folgenden Umrechnungsfaktoren eingesetzt:

- Bei der Verbrennung von Benzin entstehen 0,26 kg CO₂/kWh
- Bei der Verbrennung von Erdgas entstehen 0,20 kg/kWh
- Bei der Verbrennung von Kohle im Kraftwerk entstehen 0,32 kg CO₂/kWh. Für die Umwandlung der Primärenergie in Strom gilt ein Faktor 2,75, je kWh Stromenergie werden also 0,88 kg CO₂ freigesetzt.

Die wichtige Erkenntnis aus diesen Überlegungen ist: Energie sparen spart zwar fast immer auch Kosten und verringert die Emission von Treibhausgasen, aber dieser Zusammenhang ist abhängig vom Energieträger (und auch von Abrechnungsmodalitäten, z.B. beim Stromtarif). Ohne genauere Erfassung der persönlichen Verbrauchsdaten sind die erzielten Effekte mehr oder weniger zufällig. Die übliche Aussage in Informationsmaterialien für Verbraucher „... den größten Energiebedarf hat die Heizung, hier muss vor allem gespart werden“ ist so nicht haltbar. Der Verbrauch an elektrischer Energie und Treibstoff ist genau so wichtig. Es muss bei jeder geplanten Maßnahme überprüft werden, in welchem Verhältnis der finanzielle Aufwand z.B. für effizientere Technik zum Erfolg (geringere Verbrauchskosten, Verringerung der Emission von Treibhausgasen) steht.

Sehen wir uns nun genauer an, wo im Haushalt Energie verbraucht wird, welche Geräte dabei eine Rolle spielen und wie sich auf umweltverträgliche Weise die Verbrauchskosten reduzieren lassen.

Der Stromverbrauch im Haushalt

Energie und Leistung von elektrischen Geräten

Unser Haushalt ist nur funktionsfähig, wenn die Stromversorgung zuverlässig funktioniert. Wie wichtig die Stromversorgung ist, würden wir spüren, wenn wirklich einmal eine tagelange (nicht nur stundenlange!) vollständige Unterbrechung einträte. Spielen wir einmal durch, was die Folge wäre:

- Das Licht fällt aus. Nicht nur in den Wohnungen, sondern auch auf den Straßen und an den öffentlichen Gebäuden. Nachts ist es völlig dunkel.
- Die Heizung fällt aus. Egal, ob Gasheizung, Ölheizung, Wärmepumpe, Solarheizung, Pelletheizung – alle haben eine elektronische Regelung und elektrische Pumpen, ohne die sie nicht mehr funktionieren. Im Winter kühlen die Wohnungen sehr schnell aus.
- Kühlschränke und Gefriertruhen gehen aus, Lebensmittel verderben.
- Elektrische Herde sind nicht mehr nutzbar.
- Straßenbahnen und Züge fahren nicht mehr.
- Die Wasserversorgung wird eingestellt.
- Radio und Fernsehen können nicht mehr empfangen werden, es fehlen Informationen über das Ausmaß der Störung und über das empfohlene Verhalten
- Das Telefonnetz fällt aus. Auch Handys werden unbrauchbar, weil die Sendestationen ausfallen.
- Batteriebetriebene Geräte funktionieren noch kurze Zeit, dann können die Batterien nicht mehr nachgeladen werden.
- Die Produktion von Gütern aller Art wird unterbrochen (z.B. liefert der Bäcker kein Brot mehr!).

Diese Liste lässt sich noch weiter fortsetzen. Die obigen Beispiele sollen aber genügen als Warnung: Eine derartige Situation gilt in Deutschland als unwahrscheinlich, aber sie ist möglich. Eine gewisse Vorsorge ist durchaus zu empfehlen.

Die Abhängigkeit vom Strom bedeutet auch, dass Strom sparen schell an seine Grenzen stößt, weil die elektrische Energie fast unersetzlich ist. Fast jede Einschränkung wird spürbar als Verlust an gewohntem Komfort und als Verzicht auf bisher selbstverständliche Dienstleistungen. Die Abb. 6 und 7 zeigen den Stromverbrauch nach Sektoren von Ein- und Mehrpersonenhaushalten in Deutschland, 2005

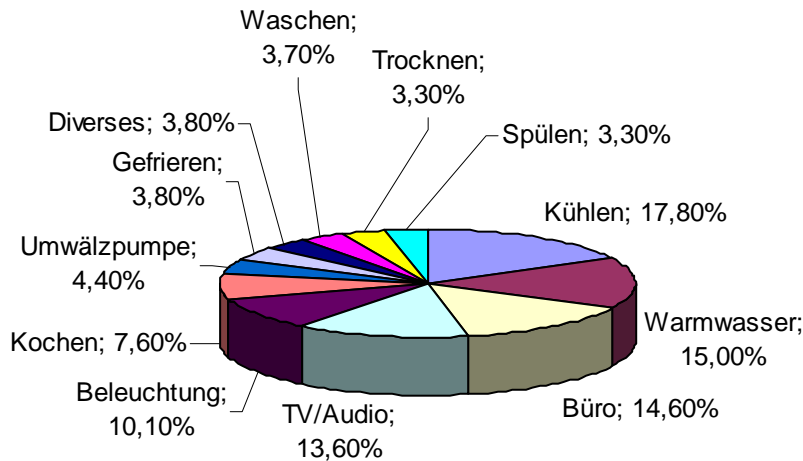


Abb. 6: Stromverbrauch nach Sektoren, Einpersonenhaushalte
(Quelle: Energieagentur NRW, www.ea-nrw.de/infopool/info_details.asp?InfoID=4106)

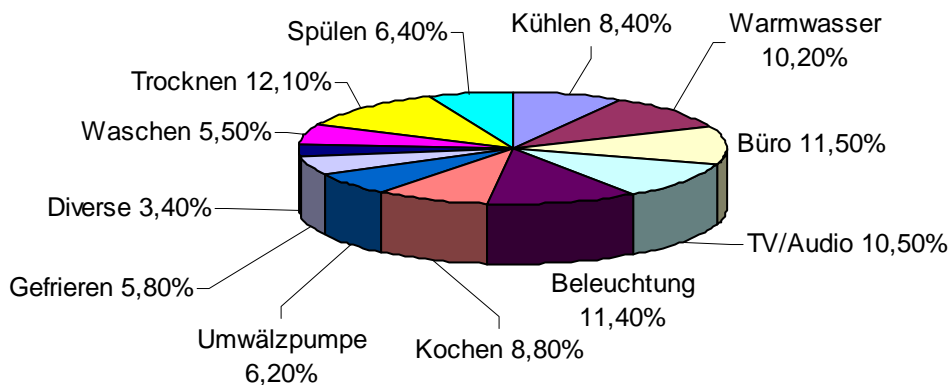


Abb. 7: Stromverbrauch nach Sektoren, 4-Personenhaushalte
(Quelle: Energieagentur NRW, www.ea-nrw.de/infopool/info_details.asp?InfoID=4106)

Wie und wo kann man hier sparen? Das scheint auf den ersten Blick ziemlich beliebig zu sein, denn vor allem beim Mehrpersonenhaushalt ist der Stromverbrauch ziemlich gleichmäßig über alle Sektoren verteilt. Es liegt nahe, dass beim Stromverbrauch die Effizienz des jeweiligen Gerätes eine wichtige Rolle spielt. Zunächst aber müssen wir klären, wie sich ein eventueller Energiespareffekt überhaupt nachweisen lässt.

Die Leistungsfähigkeit elektrischer Geräte wird vor allem durch die elektrische Leistung (das Produkt aus Strom und Spannung) definiert. Die Leistung äußert sich z.B. als Wärme, indem der Strom Heizdrähte zum Glühen bringt (z.B. in der Herdplatte) oder durch den Antrieb eines Elektromotors. Die elektrische Leistung eines Gerätes in Watt (W) muss normalerweise auf dem Gerät angegeben sein (vgl. Abb. 8).



Abb. 8: Produktinformation

Angegeben ist die Netzspannung (220 – 240 Volt Wechselstrom) und die Leistung (1200 Watt)

Diese Leistung sagt aber noch nicht viel darüber aus, wie viel Energie das Gerät im Lauf eines Jahres verbraucht. Der Energieverbrauch ist das Produkt aus Leistung und Zeit (gemeint ist die Zeit, in der die

Leistung abverlangt wird). Um den Energieverbrauch zu messen, muss also im einfachsten Fall nur die Zeit gemessen werden, in der ein Gerät mit konstanter Leistung betrieben wird. Bei der Beleuchtung können wir das tatsächlich so machen: Wenn eine Glühlampe mit 75 Watt Leistung eine Stunde lang in Betrieb ist, wurden 75 Wattstunden (Wh) elektrische Energie umgesetzt, das sind 0,075 Kilowattstunden (kWh). Wenn diese Lampe an 350 Tagen im Jahr jeweils 2 Std. in Betrieb ist, ergibt sich ein jährlicher Energieverbrauch von $350 \text{ mal } 2 \text{ mal } 0,075 = 52,5 \text{ kWh}$. Bei Stromkosten von 0,22 EUR/kWh sind das 11,5 Euro pro Jahr.

Somit zeichnet sich ab, wie wir den Energieverbrauch und die Kosten der Beleuchtung unseres Haushaltes berechnen können: Wir müssen über einen bestimmten Zeitraum (z.B. eine Woche oder einen Monat) notieren, welche Leuchtkörper mit welcher Leistung wie viele Stunden in Betrieb sind. Das muss dann auf das ganze Jahr hochgerechnet werden (abzüglich Ausnahmesituationen wie Urlaub) und ergibt den Anteil der Beleuchtung am Stromverbrauch.

Die einfachste Möglichkeit, bei der Beleuchtung Energie zu sparen, liegt auf der Hand: Weniger Licht einschalten! Zum Beispiel darauf achten, dass da Licht nicht in leeren Räumen brennt, dass die Leistung der Lampen nicht unnötig hoch ist usw. Wenn man das konsequent durchführt, wird aber auch klar, dass das ziemlich lästig werden kann.

Zum Glück gibt es auch die Möglichkeit, durch effizientere Beleuchtungstechnik Geld zu sparen. Energiesparlampen sind inzwischen allgemein bekannt, sie verbrauchen bei gleicher Helligkeit nur etwa ein Viertel der Energie von Glühlampen. Wenn wir die 75 W Glühlampe aus dem obigen Beispiel durch eine 20 W Energiesparlampe ersetzen, sinkt der jährliche Energieverbrauch bei gleicher Beleuchtung auf etwa 13 kWh. Entsprechend reduziert sich auch der Ausstoß von Treibhausgasen auf ein Viertel. Aber Energiesparlampen sind auch teurer als Glühlampen – lohnt sich das?

Wenn man eine neue Energiesparlampe kaufen will und sich das inzwischen sehr reichhaltige Sortiment genauer ansieht, kann man durchaus ins Grübeln kommen: Da gibt es die Energiesparlampen im Angebot für EUR 1,99, aber auch als Markenprodukt für EUR 9,99 oder sogar EUR 24,99 (dimm-fähig). Bei genauerem Hinsehen stellt sich heraus, dass die teurere Energiesparlampe eine längere Lebensdauer hat als die billigere (10 000 Std. statt 6000 Std.). Rechtfertigt das den vierfachen Preis? Aber damit nicht genug: Bei genauerem Hinsehen entdeckt man auch ganz unterschiedliche Lichtstärken (gemessen in Lumen) bei gleicher elektrischer Leistung, z.B. 7 Watt / 400 Lumen (EUR 9,99) oder 7 Watt / 228 Lumen (EUR 1,99) oder 11 Watt / 420 Lumen (EUR 1,99). Demgegenüber kosten die Glühlampen, egal ob 40, 60 oder 100 Watt, alle nur EUR 0,75. Welche Lampe soll man nun nehmen, wenn man bei der Beleuchtung Energie und Geld sparen will?

Das auszurechnen ist eine gute Übung im Mathematikunterricht der 8. Klasse. Nehmen wir ein x-y Koordinatensystem mit der Zeitskala an der x-Achse und den Kosten an der y-Achse. Die Energiekosten für die Beleuchtung durch eine Lampe im Dauerbetrieb können durch eine Gerade dargestellt werden, deren Steigung (das Verhältnis von y-Achsenabschnitt zu x-Achsenabschnitt) durch die Stromkosten in EUR/Std. bei konstanter elektrischer Leistung gegeben ist. Diese Gerade beginnt nicht im Nullpunkt, sondern sie schneidet die y-Achse bei den Anschaffungskosten.

Nehmen wir z.B. eine Glühlampe mit der Leistung 60 W und dem Preis 0,75 EUR bei Stromkosten von 0,22 EUR/kWh: Ihre laufenden Stromkosten sind $0,06 \text{ kW} \cdot 0,22 \text{ EUR/kWh} = 0,013 \text{ EUR/Std.}$ Die Gerade beginnt bei (0; 0,75) und hat die Steigung 0,013 EUR/Std. (als Maßstab geeignet ist z.B. 1 cm = 1000 Std. auf der x-Achse und 2 EUR = 1 cm auf der y-Achse). Schon nach 1000 Std. ist die Lebensdauer der Glühbirne beendet, sie muss ausgewechselt werden. Die Gerade wird bei $x = 1000 \text{ Std.}$ um den Kaufpreis 0,75 EUR angehoben und läuft dann mit gleicher Steigung weiter.

Nun zum Vergleich eine no-name Energiesparlampe mit vergleichbarer Lichtleistung (11 W / 1,99 EUR): Sie beginnt bei (0; 1,99) und verläuft mit der Steigung 0,0024 (wegen der Stromkosten von $0,011 \text{ kW} \cdot 0,22 \text{ EUR/kWh}$). Schon nach wenigen hundert Stunden schneidet sie die erste Gerade und spart Kosten ein. Auch nach dem Anheben der Geraden um 1,99 EUR nach der Lebensdauer von 6000 Std. bleibt sie unter den Kosten der Glühlampe.

Interessant ist die Gerade der teuren Energiesparlampe mit 8 W / 9,99 EUR: Nach 6000 Betriebstunden hat sie ungefähr die gleichen Kosten verursacht wie die no-name Lampe. Dann liegt sie darunter, weil ihre Lebensdauer höher ist und sie erst nach 10 000 Std. ausgetauscht werden muss. Nach insgesamt 10 000 Std. kommen aber die hohen Anschaffungskosten dazu, während die zweite no-name Lampe noch läuft. Die teurere Energiesparlampe lohnt sich offenbar erst bei sehr langen Laufzeiten.

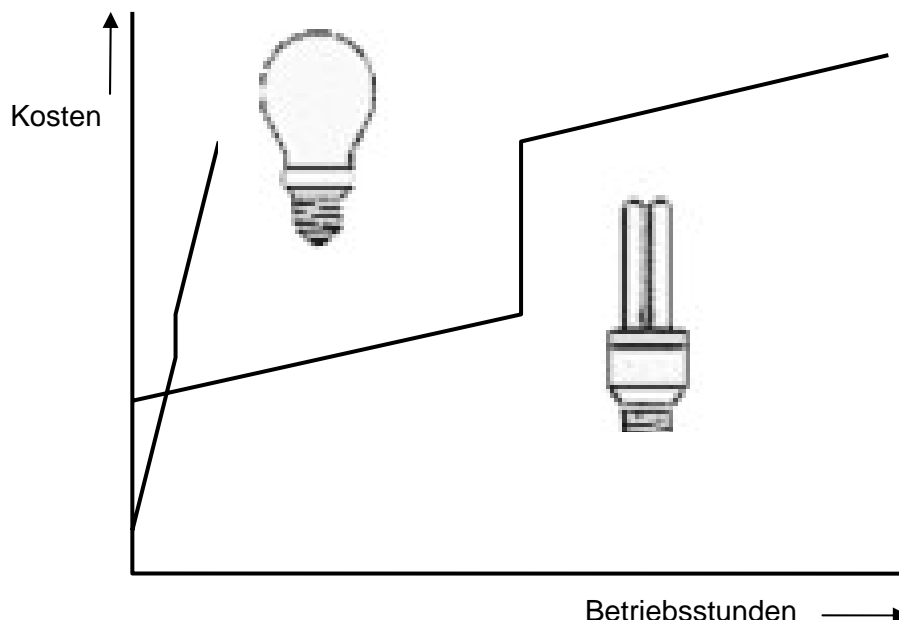


Abb 9: Graphische Darstellung der Betriebskosten von Glühlampen und Energiesparlampen in Abhängigkeit von den Betriebsstunden (ohne Skalierung)

Wenn Ihnen diese Rechnung zu umständlich ist, lösen Sie das Problem pragmatisch: Benutzen Sie Energiesparlampen dort, wo die Beleuchtung täglich lange an ist.

Die „weiße Ware“: Kühlschrank, Waschmaschine, Spülmaschine

Bei den typischen Geräten der „weißen Ware“ ist der Energieverbrauch nicht so einfach zu bestimmen wie beim Licht, denn die beanspruchte Leistung ist nicht gleich bleibend. Das kann man vergleichen mit einem Auto, dessen Motor eine im Kraftfahrzeugschein eingetragene Leistung von z.B. 80 kW hat. Der Motor gibt diese Leistung nur unter bestimmten Bedingungen (Vollast, Nenndrehzahl) ab. Beim Anfahren und während der verschiedenen Fahrtzustände ist die Leistung und damit auch der jeweilige Energieverbrauch ein anderer. Wie viel Energie – hier in Form von Treibstoff – das Auto während einer bestimmten Fahrstrecke verbraucht hat, lässt sich nicht genau vorhersagen. Der Energieverbrauch muss gemessen werden, und die vom Hersteller angegebenen Verbrauchswerte in Liter pro 100 km sind nur grobe Richtwerte.

Ähnlich ist es bei den Großgeräten im Haushalt, vor allem Kühlschrank, Gefriertruhe, Waschmaschine und Wäschetrockner. Auch hier werden vom Hersteller Angaben zum Energieverbrauch gemacht, die sich auf bestimmte Standardprogramme beziehen. Besonders bei der Waschmaschine kann dies aber – je nach benutztem Waschprogramm – erheblich von tatsächlichen Verbrauch abweichen. Deshalb sollte hier unbedingt eine Messung mit Hilfe eines „Energiemonitors“ durchgeführt werden: Dies ist ein elektronisches Messgerät, das etwa 15 bis 30 EUR kostet und zwischen Steckdose und Stecker des Gerätes geschaltet wird. Der Energiemonitor ermöglicht sowohl die Messung der momentanen Leistung (in Watt) wie auch die Messung des Energieverbrauchs (in kWh) über eine gewisse Zeit, z.B. von Anfang bis Ende des Waschvorganges. Wenn man diese Messung während eines typischen Waschprogramms durchführt und das mit der geschätzten jährlichen Zahl der Waschvorgänge multipliziert, erhält man eine ziemlich realistische Aussage zum Jahresenergieverbrauch dieses Gerätes.

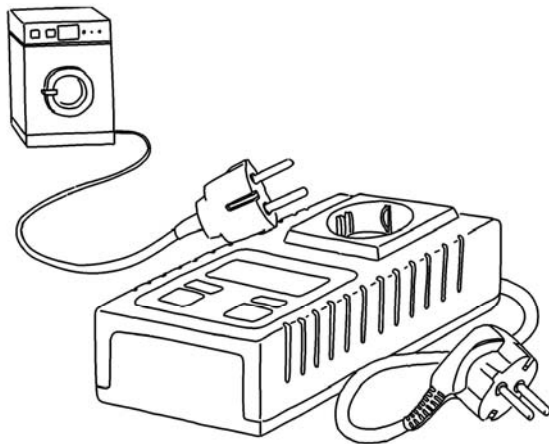


Abb. 10: Energiemonitor

Der Energiemonitor wird zwischen Steckdose und Anschlussstecker des Gerätes geschaltet. Ablesbar ist sowohl die momentane elektrische Leistung des Gerätes in W wie auch die über einen bestimmten Zeitraum verbrauchte elektrische Energie in Wh oder kWh.

Diese Messung muss dann sinngemäß auch bei den anderen Haushaltsgeräten durchgeführt werden. Natürlich könnte man auch den Energiemonitor eine Woche lang oder einen Monat lang am Gerät lassen, um den Energieverbrauch über längere Zeit zu ermitteln – meist fehlt es aber an der notwendigen Geduld, um dies für alle Geräte durchzuführen. Beim elektrischen Herd allerdings ist die Messung schwieriger, da er meist an Drehstrom angeschlossen ist und keine Steckdose vorhanden ist, an der man einen Energiemonitor zwischenschalten könnte. Ein etwas umständliches Verfahren wäre, den Stromverbrauch des Herdes bei verschiedenen Schaltstufen über den Stromzähler zu messen und dann die Benutzungszeiten über einen längeren Beobachtungszeitraum (mindestens ein ganzer Tag mit typischer Benutzung) zu notieren. Relevant wird der Stromverbrauch des Herdes vor allem dann, wenn der Backofen oft benutzt wird (z.B. zum Auftauen der Frühstücksbrötchen).

Lohnt sich der Kauf eines neuen Kühlschranks oder einer neuen Waschmaschine wirklich? Wenn die neue Maschine lange genug hält (z.B. 10 Jahre), müsste sie ihr Geld eigentlich wieder hereinbringen. Ein Beispiel: Der alte Kühlschrank (ohne Gefrierfach) verbraucht pro Tag etwa 0,68 kWh (das muss man mit dem Energiemonitor messen!), das summiert sich über's Jahr zu 55 EUR Stromkosten, wenn die kWh 0,22 EUR kostet. Ein neuer, gleichgroßer Kühlschrank der Energieeffizienzklasse A++ kostet etwa 450 EUR und verbraucht (ohne Gefrierfach) etwa 150 kWh weniger pro Jahr, spart also jährlich 33 EUR ein. In der Effizienzklasse A+ kostet ein gleichartiger Kühlschrank etwa 350 EUR und spart gegenüber dem alten Kühlschrank etwa 100 kWh (entsprechend 22 EUR/Jahr) ein. Die Differenz von 100 EUR im Kaufpreis werden über die Verbrauchsdifferenz von 11 EUR/Jahr in 9 Jahren amortisiert – das ist knapp unter der zu erwartenden Lebenszeit des Kühlschranks. Der Vorteil der Effizienzklasse A++ gegenüber A+ ist also nicht allzu groß, wird allerdings besser, wenn sich die Strompreise erhöhen.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist aber auch, dass ein neues Haushaltsgerät oft noch weitere Vorteile hat: Z.B. könnte der Kühlschrank eine wirkungsvolle Enteisungsvorrichtung haben, die das lästige Enteisen per Hand erspart. Er könnte auch größer oder kleiner ausfallen als der alte Kühlschrank und damit dem Bedarf besser angepasst sein. Ein Kühlschrank mit Gefrierfach verbraucht etwa die Hälfte mehr als ein gleichartiger Kühlschrank ohne Gefrierfach und kostet etwa 50 EUR mehr. Generell kann man sagen: Ein funktionierendes Gerät nur wegen der geringeren Verbrauchskosten gegen ein neues auszutauschen, wird sich nicht lohnen. Die übliche Praxis, ein Gerät erst dann auszuwechseln, wenn es defekt ist und eine Reparatur zu teuer wäre, ist durchaus vernünftig. Wichtiger als die bestmögliche Effizienzklasse ist die Anpassung von Fassungsvermögen und Kühlleistung an den Bedarf.

Wenn man ein älteres, aber noch voll funktionsfähiges Gerät hat, könnte es lohnend sein, die Arbeitsbedingungen des Gerätes zu überprüfen. Das gilt insbesondere für den Kühlschrank. Der Wirkungsgrad der Kälteerzeugung ist umso höher, je besser die Wärmeabgabe vom Kühlgut an den inneren Wärmetauscher (im Allgemeinen die Wand des Kühlfaches oder eine sichtbare Rohrschlange im oberen Teil des Kühlschranks) und vom äußeren Wärmetauscher an der Rückseite des Kühlschranks an die Umgebungsluft funktioniert. Der Wärmeübergang im Inneren des Kühlschranks wird durch die Eisschicht behindert, die sich durch gefrierende Luftfeuchte am Wärmetauscher bildet. Dieses Eis muss entfernt werden, wenn es nicht durch eine eingebaute Enteisung behoben wird. Genau so wichtig wie die Enteisung, aber viel weniger beachtet ist aber die Staubschicht, die sich auf den Kühlrippen an der äußeren Rückwand des Kühlschranks bildet. Die Rückwand ist schwer zugänglich, weil der Kühlschrank ja monatelang nicht von der Stelle bewegt wird. Die Staubschicht behindert aber die Abgabe der Wärme, die vorher dem Kühlschrankinhalt entzogen wurde, an die Umgebungsluft. Vereisung des Kühlfaches und Verschmutzung der äußeren Kühlrippen führen gemeinsam dazu, dass bei gleichem Stromverbrauch weniger Kühlleistung umgesetzt wird. Dieser Mehrverbrauch könnte genau so viel ausmachen wie die Differenz zwischen einem neuen und einem alten Kühlschrank! Also: Nicht überstürzt einen neuen Kühlschrank kaufen, sondern erst einmal die Wirkung des alten verbessern. Dazu gehört auch, dass er nicht direkt neben einem Herd mit Backofen steht und dadurch erwärmt wird.

Auch bei der Waschmaschine kann man sich nicht allein auf die Herstellerangabe zur Effizienz verlassen. Schon bei der alten Maschine gilt: Niedrigere Temperaturen beim Waschvorgang sparen Energie, und zwar oft mehr, als eine neue Maschine gegenüber der alten bei gleichem Programm einspart! Eine volle Maschine ist effizienter als eine halb volle. Nicht jedes Wäschestück muss nach einmaligem Tragen gewaschen werden.

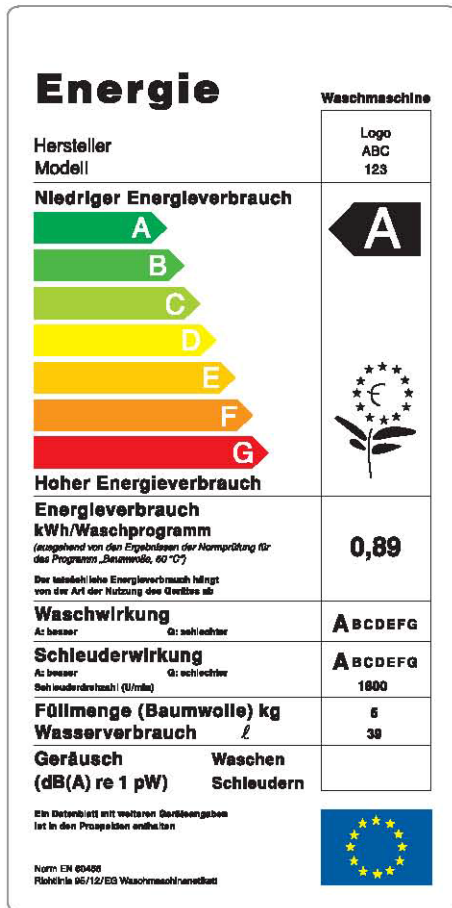


Abb. 11: EU-Label einer Waschmaschine

Bildquelle:
<http://www.stromeffizienz.de/eu-label.htm>

Bei Wasch- und Spülmaschinen liegen im Allgemeinen Produktinformationen vor, die einen Vergleich bezüglich des Wasser- und Stromverbrauchs ermöglichen. Europaweit hat sich das EU-Label durchgesetzt, in dem das Gerät den Effizienzklassen A++ (sehr gut) bis G (nicht effizient) zugeordnet werden. Diese Angaben gelten für einen standardisierten Ablauf. Wenn man seine alte Maschine damit vergleichen will, kommt man nicht darum herum, den tatsächlichen Verbrauch bei dem Programm zu messen, das man gewöhnlich benutzt.

Als grobe Richtlinie kann man davon ausgehen, dass moderne Wasch- und Spülmaschinen nur etwa halb so viel Strom verbrauchen wie alte Maschinen: Im Schnitt etwa 0,9 kWh/Arbeitsgang. Die Stromkosten von effizienten Geräten (A++) liegen bei durchschnittlich etwa 120 EUR pro Jahr bei täglicher Nutzung. Wenn ein effizientes Gerät 200 EUR mehr kostet als ein neues Gerät mit 140 EUR Stromkosten pro Jahr, rentiert sich das bessere Gerät ab einer Laufzeit von 10 Jahren. Das müssen Sie sich nun selbst ausrechnen an Hand der Herstellerdaten des von Ihnen ausgesuchten Gerätes. Wie Sie sehen, sind die Unterschiede bei den Kosten nicht sehr groß, aber wenn die Stromkosten weiter steigen, spricht doch viel für das effizientere Gerät. Während der Laufzeit anfallende Reparaturkosten machen die ganze schöne Wirtschaftlichkeitsberechnung allerdings irrelevant.

Öko- oder Energiesparprogramme bei neuen Maschinen sind zwar sparsam, aber der Waschvorgang dauert länger, als man es von der

alten Maschine her gewohnt ist. Zwar gibt es technische Verbesserungen, die den Spülvorgang effizienter machen, wie z.B. die Art der Besprühung des Geschirrs in der Spülmaschine. Der größte Teil der elektrischen Energie in Wasch- und Spülmaschine wird aber zum Erwärmen des Wassers verbraucht. Weniger Wasserverbrauch und niedrigere Temperaturen verringern den Energieverbrauch, aber die Wäsche bzw. das Geschirr soll ja trotzdem sauber werden. Das geht nur, wenn das warme Wasser länger einwirken kann und dadurch den Schmutz besser löst.

Natürlich können auch aggressivere Wasch- und Spülmittel die Reinigungswirkung verbessern und damit zum Energiesparen beitragen – zu Lasten der städtischen Klärwerke.

Eine gute Lösung ist der Anschluss der Wasch- und Spülmaschine an die Warmwasserleitung der Gasheizung. In diesem Fall wird die teure elektrische Energie durch die wesentlich billigere und umweltfreundlichere Gasenergie ersetzt. Dies erfordert eine dazu geeignete Waschmaschine und die Abstimmung mit dem Heizsystem. Diese Lösung spart erheblich mehr an Energiekosten als der Wechsel von einer älteren Maschine zu einer neueren mit höherer Effizienzklasse.

Unterhaltungselektronik und Computer

Dieser Sektor der Haushaltstechnik wird oft unterschätzt, nimmt aber heute einen zunehmend wichtigen Platz beim Stromverbrauch ein (vgl. Abb. 7). Eine kleine Musikanlage mit Radio und ein kleiner Fernseher sind im Stromverbrauch vernachlässigbar, aber eine anspruchsvolle Anlage mit gewaltigen Endverstärkern und zahlreichen Lautsprechern erreicht durchaus die Leistung eines Elektroherdes, hat aber wesentlich längere Betriebszeiten. Dazu kommt die Computernutzung: Netzteile und Bildschirme verbrauchen hunderte von Watt, und da durch die weit verbreiteten Flat-Rates kein finanzieller Anreiz zur Einschränkung des Datentransfers mehr besteht, sind Computer heute vor allem bei Jugendlichen viele Stunden täglich (oder auch ganztägig) in Betrieb. Hier ist es besonders wichtig, den individuellen Stromverbrauch zu messen. Dazu müssen alle Geräte, die zum Komplex Computer/Internet gehören, an eine gemeinsame Steckerleiste geführt werden, die dann über den Energiemonitor mit der Steckdose verbunden werden. Nicht berücksichtigt ist dabei der Stromverbrauch der externen Modems und Router, die im Allgemeinen rund um die Uhr mit dem Netz verbunden sind. Die Leistung eines WLAN-Routers kann mit etwa 10 Watt (Dauerleistung) angesetzt werden – im ganzen Jahr sind das 87 600 kWh, das kostet etwa 18 EUR.

Bei der Unterhaltungselektronik und der Computertechnik muss man individuell entscheiden, welche Einschränkungen man akzeptieren will. Mit der Suche nach effizienteren Geräten kommt man hier nicht weit, ausschlaggebend ist der Nutzwert, den die Geräte für den Nutzer haben. Sparen geschieht hier vor allem durch Ausschalten.

Und dann sind da noch die Ladegeräte und externen Netzteile, die überall an Steckdosen und Steckerleisten hängen. Auch sie verbrauchen Strom, auch wenn sie gar nichts laden. Je wärmer sie sind, desto größer ist die Verlustenergie. Dass dieser so genannte „stand-by“-Strom aller deutschen Haushalte insgesamt die Leistung eines Großkraftwerkes beansprucht, ist inzwischen wohl allgemein bekannt. Deshalb sollte man die Ladegeräte aus der Steckdose ziehen, wenn sie nicht benötigt werden. Ihr Beitrag zum Stromverbrauch des Haushaltes ist allerdings gering. Das Abschalten des Computers bringt erheblich mehr als das Herausziehen eines Netzteiles.

Heizung und Wärmedämmung

Die Heizungsanlage

Traditionell gilt die Heizung als dominierender Sektor beim Energieverbrauch und bei der Emission von Treibhausgasen im Haushalt. Dies soll nun etwas genauer untersucht werden.

Schon die Wahl des Brennstoffs bei der Heizung beeinflusst die Emission von Treibhausgasen erheblich. Bei der Verbrennung von Erdgas (Heizwert 10 kWh/m³) werden pro kWh gewonnener Energie 0,20 kg Kohlendioxid (CO₂) frei. Bei Heizöl mit gleichem Heizwert von 10 kWh/kg werden 0,27 kg CO₂ je kWh Energie frei. Erdgas ist also bei der Verbrennung weniger klimaschädlich als Erdöl. Anders ausgedrückt: Bei gleichem Verbrauch an Heizenergie und etwa gleichen Kosten (als Folge der Preiskopplung von Erdöl und Erdgas!) ist Erdgas klimaschonender als Erdöl.

Kohle setzt bei der Verbrennung etwa 0,32 kg CO₂/ kWh frei. Kohle ist billiger als Erdgas und Erdöl, aber umweltschädlicher.

Holzpellet-Öfen setzen ebenfalls CO₂ frei (etwa 0,36 kg/ kWh), aber: Hier handelt es sich um klimaneutrales Kohlendioxid, denn es wurde während des Wachstums der Pflanze der Luft entzogen und wird nun bei der Verbrennung wieder freigegeben. Nicht berücksichtigt ist hier

die Freisetzung von Feinstaub und Aerosolen bei der Holzverbrennung, die möglicherweise noch Anlass für gesetzliche Regelungen sein werden. Die CO₂-Bilanz von Holzbrennstoffen wird dadurch beeinträchtigt, dass bei der industriellen Ernte und Bearbeitung traditionelle Energie (vor allem Dieselöl) verbraucht wird.

Elektrische Heizsysteme, die vor allem in Form elektrischer Durchlauferhitzer für Warmwasser und für Warmwasserspeicher verbreitet in Gebrauch sind, sind zwar im Haushalt selbst emissionsfrei, aber der Strom kommt meist aus einem Kohlekraftwerk und verursacht dort etwa 0,88 kg CO₂/ kWh. Elektrowärme ist also umweltschädlicher als direkte Verbrennung von Heizenergieträgern und zudem noch deutlich teurer (1 kWh elektrische Energie kostet etwa 20 ct, eine kWh Erdgas oder Heizöl etwa 8 ct). Insgesamt sind die durch den Stromverbrauch im Haushalt verursachten Emissionen an Treibhausgasen, die bei der Stromgewinnung im Kraftwerk freigesetzt werden, mindestens so relevant wie die direkt im Haushalt über die Heizung erzeugten Abgase.

Die über die Heizung verbrauchte Endenergie hat einen Anteil von etwa 74 % am Endenergieverbrauch des Durchschnittshaushalts in Deutschland (vgl. Abb. 2), wenn der Anteil des privaten Kraftfahrzeuges nicht berücksichtigt wird. Energie sparen beim Wärmebedarf des Haushalts (Heizung und Warmwasser) ist also besonders wirksam, aber Maßnahmen im Bereich von Heizung und Wärmedämmung sind auch besonders teuer. Bei knappen finanziellen Mitteln sollte man sich sehr genau überlegen, welche Maßnahmen auch wirklich eine finanzielle Entlastung über die Energiekosten bringen und in welchem Zeitraum sich Sanierungsmaßnahmen auszahlen.

Die Planung individueller Energiesparmaßnahmen ist im Sektor Heizung besonders kompliziert, weil hier sehr unterschiedliche Aspekte zu beachten sind:

- Die beste Heizung nützt nichts, wenn die Wärme fast ungehindert entweicht. Die Wohnung / das Haus muss gut wärmegeklämt sein.
- Auch bei guter Wärmedämmung kann ein erheblicher Teil der Wärmeenergie über das Abgas entweichen. Die Heizung muss einen guten Wirkungsgrad haben.
- Auch bei bester Technik spielt der Mensch eine wichtige Rolle: Überhitzte Räume, offen stehende Fenster und volle Heizleistung bei Abwesenheit der Bewohner führen zu hohem Energieverbrauch trotz guter technischer Voraussetzungen.

Das müssen wir jetzt im Detail durchgehen. Es lohnt sich, diese verschiedenen Aspekte zu untersuchen und abzuwägen, was man sich zu welchem Zeitpunkt leisten kann und will.

Die Beheizung von Wohnräumen geschieht heute ganz überwiegend nicht mehr durch Einzelöfen in den Räumen, sondern durch eine „Zentralheizung“: Die Wärmeerzeugung erfolgt durch Verbrennung des Brennstoffs in einem Heizkessel, in dem Wasser erhitzt wird. Dieses Heizungswasser wird dann in einem geschlossenen Kreislauf zu den Heizkörpern in den Räumen gepumpt, gibt dort Wärme ab und gelangt zurück zum Heizkessel, wo es wieder erwärmt wird (Abb. 12).

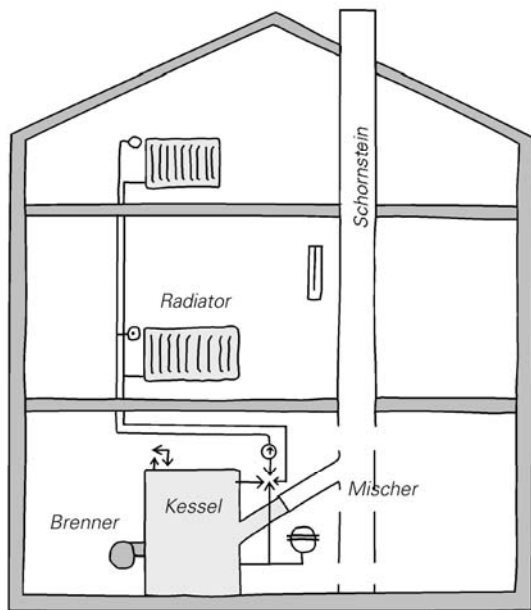


Abb. 12: Prinzip der Zentralheizung

Die Temperatur des Heizungswassers beim Austritt aus dem Heizkessel (die Vorlauftemperatur) ist bei neueren Heizungen meist 75 °C, die Temperatur des abgekühlten Wassers (Rücklauf) etwa 60 °C. Bei älteren Heizungen sind die Temperaturen höher (Vorlauf 90 °C , Rücklauf 70 °C).

Bei der Verbrennung des Brennstoffs im Heizkessel entstehen Abgase, die sich aus Kohlendioxid, Wasserdampf und geringen Mengen Kohlenmonoxid, Stickoxid und Kohlewasserstoffen, bei Ölheizungen auch Schwefelverbindungen, zusammensetzen. Bei den älteren Heizungen treten hohe Abgastemperaturen von ca. 260 °C auf, was erhebliche Energieverluste bedeutet: Die Wärme, die im Abgas steckt, wird nicht zum Heizen genutzt. Bei den heute üblichen Niedertemperaturheizungen ist die Abgastemperatur nur noch ca. 160 °C, die Abgasverluste sind nur noch etwa 9 % oder weniger.

Die konsequente Fortführung der Verringerung der Abgasverluste ist die Brennwertheizung: Hier werden die Abgase durch das nur noch etwa 40 °C warme Heizungsrücklaufwasser soweit abgekühlt, dass der in ihnen enthaltene Wasserdampf kondensiert und Wärme an das Heizwasser abgibt. Das erhöht den Wirkungsgrad der Heizung um etwa 10 %. Die Abgase sind dann aber so kühl, dass sie nicht mehr genügend Auftrieb entwickeln, um durch den traditionellen Kamin aufzusteigen. Sie müssen mit Hilfe eines Ventilators durch ein Abgasrohr aus Plastik oder Metall ins Freie gedrückt werden.

Die Heizung bildet zusammen mit dem zu beheizenden Haus ein komplexes System mit vielen Möglichkeiten, Energie zu vergeuden oder einzusparen. Die entscheidende Aussage, mit der sich die Effizienz der Wärmeversorgung verschiedener Häuser miteinander vergleichen lässt, ist der Jahres-Heizwärmebedarf in kWh/m². Für ein typisches Einfamilienwohnhaus mit 3 bis 4 Personen und 150 m² Nutzfläche liegt dieser Heizwärmebedarf bei Altbauten (vor 1984) bei über 200 kWh/ m², bei Gebäuden ab 1995 etwa bei 90, bei den sog. Niedrigenergiehäusern unter 70 kWh/ m². Ein Niedrig-Energiehaus verbraucht also nur ein Drittel der Heizenergie wie ein Altbau. Der Großteil des Gebäudebestandes in Deutschland besteht noch aus Altbauten, die vor 1984 gebaut wurden und dementsprechend schlecht wärmedämmend sind. Es wird mehr Gas und Öl verbrannt, als es nach derzeitigen technischen Möglichkeiten notwendig wäre. Das bedeutet hohe Heizkosten für die Haushalte und hohe Umweltbelastung durch Abgase.

Innerhalb des Heizwärmebedarfs ist der Energiebedarf für Warmwasser für Bad und Küche in den letzten Jahren etwa gleich geblieben, und auch der Wärmeverlust durch Lüften hat sich nicht allzu sehr verringert. Deutlich geringer geworden ist aber der sog. Transmissionswärmeverlust durch die Gebäudehülle, also durch Fenster, Türen, Außenwände, Decken und Keller – hier wurden durch verbesserte Wärmedämmung erhebliche Fortschritte gemacht.

Was kann man durch Wärmedämmung einsparen?

Ratschläge zu Sanierungsmaßnahmen an Altbauten sind zahlreich. Es ist nicht ganz einfach, zwischen mehr oder weniger deutlicher Produktwerbung und einigermaßen objektiver Darstellung zu unterscheiden, insbesondere deshalb, weil zahlreiche Argumente und Berechnungsbeispiele immer wieder kritiklos übernommen werden. Ich will zunächst eine als objektiv einzuschätzende Darstellung (ZDF Mediathek, Beitrag „Der Energieausweis – Energiebilanz für Immobilien“ WISO 20.05.2008, Video abrufbar unter www.zdf.de/ZDFmediathek/content/504956?inPopup=true) wiedergeben, die sich auf Energiesparmaßnahmen im durchschnittlichen Einfamilienhaus bezieht. Anschließend will ich einen Bezug zwischen diesen Angaben und dem von mir bewohnten Einfamilienhaus herstellen, um zu zeigen, dass „allgemeine Ratschläge“ nur eine grobe Richtung angeben können und keineswegs die persönliche Berechnung überflüssig machen.

Beispiel Einfamilienhaus: Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs (nicht wörtliche, aber inhaltlich genaue Wiedergabe der Druckfassung des Beitrags)

a) Die Fenster

Alte, einfach verglaste Fenster lassen bei einem Einfamilienhaus jährlich fast 5000 Kilowattstunden Energie als Wärme entweichen. Mit dicht schließenden, doppelt verglasten Fenstern beträgt der Verlust nur etwa die Hälfte. Solche Fenster kosten etwa 300 EUR/m². Gut erhaltene Holzrahmen brauchen oft nur neue Scheiben.

Jalousien zum Sonnenschutz sollten immer außen angebracht werden. Wenn neue Fenster eingebaut werden, ist das eine gute Gelegenheit, auch Außenjalousien anzubringen. Für die Verringerung von Wärmeverlusten im Winter hilft die Außenjalousie aber nichts, hier ist ein Vorhang innen nützlich, der aber nicht die Heizkörper verdecken darf.

Kosten der Fenstersanierung:

*Wärmeschutzverglasung mit U-Wert unter 1,3 W/m² inkl. Haustür: ca. 14 000 EUR
Förderprogramme: KfW Gebäudesanierungsprogramm
Energieeinsparung: ca. 2500 kWh/Jahr, 200 Euro/Jahr*

b) Sanierung der Fassade

Während ein ungedämmtes Haus jährlich mehr als 10.000 kWh Energie als Wärme abstrahlen kann, sinkt der Wert mit Dämmung auf knapp ein Drittel. Bei der Dämmung der Wände müssen "Wärmebrücken" vermieden werden. Damit sind Lücken im Dämmmaterial beispielsweise an den Fenstern oder bei Balkonanschlüssen gemeint, durch die ungehindert Wärme abgestrahlt wird. Wärmebrücken zu ungeheizten und schlecht gedämmten Anbauten wie Wintergärten oder Garagen sollten vermieden werden.

Kosten der Fassadensanierung:

*14 cm Wärmedämmverbundsystem mit Hartschaum- oder Mineralwolldämmplatten:
Ca. 22 000 EUR
Förderprogramme: KfW Gebäudesanierungsprogramm
Energieeinsparung:
Ca. 15 000 kWh/Jahr, 1200 Euro/Jahr (als Heizkosten angesetzt: 8 ct/kWh)*

c) Austausch des Heizkessels

Moderne Brennwertkessel verbrauchen durch Nutzung des Brennwerteffektes, geringere Abgasverluste und geringere Abstrahlungsverluste bis zu 40 Prozent weniger als alte

Energiefresser. Setzt man zusätzlich eine Solaranlage für die Warmwasserbereitung ein, fällt der Bedarf noch einmal deutlich niedriger aus. In vielen Fällen rechnet sich schon nach 15 Jahren eine Erneuerung des hauseigenen Heizkessels.

Kosten beim Austausch des Heizkessels:

Brennwertkessel mit hydraulischem Abgleich: Ca. 9000 EUR

Förderprogramme: KfW Gebäudesanierungsprogramm

Energieeinsparung: Ca. 10 000 kWh/Jahr, 800 Euro/Jahr

d) Dämmung der Kellerdecke

Wenn der Keller unbeheizt bleiben soll, empfiehlt sich nur die Dämmung der Kellerdecke. Soll der Keller als Werkstatt, Hobby- oder Lageraum genutzt werden, müssen insbesondere die äußeren Kellerwände zum Erdreich hin gedämmt werden. Die Materialien dort dürfen nicht verrotten, müssen Feuchte abhalten und Druck widerstehen. Ein typischer Dämmstoff für solche Anwendungen sind Hartschaumdämmplatten aus Polystyrol.

Kosten der Kellersanierung:

10 cm Kellerdeckendämmung mit Hartschaumdämmplatten ca. 2500 EUR

Förderprogramme: KfW Gebäudesanierungsprogramm

Energieeinsparung: 2500 kWh/Jahr, 200 Euro/Jahr

e) Sanierung des Daches

Da Wärme nach oben steigt, ist die Dämmung des Daches ebenso wichtig wie die der Seitenwände. Bei Altbauten wurde die Dämmung früher durch das Luftvolumen des „Dachbodens“ gewährleistet. Heute wird dieser Dachboden meist ausgebaut, was besondere Dämmmaßnahmen erfordert. Da die Dacheindeckung meist nicht entfernt werden soll, ist eine Zwischensparrendämmung die kostengünstigste Lösung. Dabei werden formbare Matten oder Rollen zwischen die Sparren geklemmt. Selbst kleinste Zwischenräume sollten ausgefüllt werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Bei Neubauten oder einer Neueindeckung des Dachstuhls ist eine Vollflächendämmung möglich. Dabei werden die Dämmplatten oberhalb der Sparren verlegt, die Dachpfannen liegen dann auf einer Lattung. Diese Art der Dämmung ist von Vorteil, weil sie die Wärmebrücken im Bereich der Sparren ausschließt.

Wenn das Dach nicht beheizt werden soll, kann der Dämmstoff auf dem Boden verlegt, ausgerollt oder aufgeschüttet werden. Die Dämmung sollte lückenlos und luftdicht sein. Zwischenräume können erhebliche Wärmeverluste zur Folge haben. Ist die Dämmschicht nach innen nicht luftdicht abgeschlossen, kann feuchte Luft in die Dämmstofflagen eindringen. Dadurch kann das Dämmmaterial durchfeuchten und schimmeln.

Kosten der Dachsanierung:

Aufsparrendämmung: 14 cm Hartschaumdämmung oder 18-24 cm Isolierung mittels Mineralwolle, Holzweichfaser, Zellulose o.ä. , ca. 20 000 EUR

Förderprogramme: KfW Gebäudesanierungsprogramm

Energieeinsparung: ca. 9 000 kWh/Jahr, 720 Euro/Jahr

Die hier angeführten Kosten und Einsparpotentiale sind nur grobe Richtwerte. Im Ernstfall müssen unbedingt entsprechende Angebote eingeholt werden.

Ich fasse die obigen Werte nun in einer Tabelle zusammen:

Maßnahme	Kosten EUR	Einsparung kWh/Jahr	Einsparung EUR/Jahr	Amortisationszeit Jahre
Fenster	14 000	2 500	200	70
Fassade	22 000	15 000	1 200	18
Heizkessel	9 000	10 000	800	11,25
Kellerdecke	2 500	2 500	200	12,5
Dach	20 000	9 000	720	27,7
Summe der Maßnahmen	67 500	39 000	3 120	21,6

Tabelle 2: Kosten und Ertrag von verbesserter Wärmedämmung

Als „Amortisationszeit“ ist hier vereinfachend der Quotient aus Investitionskosten und Einsparung pro Jahr eingesetzt, eventuelle Kapitalkosten sowie Reparaturen sind nicht berücksichtigt.

An dieser Tabelle fällt auf, dass sie nichts mit der Wirklichkeit zu tun hat. Ich bin Besitzer eines hundert Jahre alten Reihenhauses üblicher Größe und mit für Altbauten typischer Ausstattung und verbrauche pro Jahr 15 000 bis 18 000 kWh Heizenergie, was mich etwa 1200 Euro pro Jahr kostet. Eine komplette Sanierung nach obigem Beispiel müsste meinen Jahresenergieverbrauch auf Null senken (was sicher nicht der Fall ist) und fast dreimal soviel einsparen, als ich zur Zeit überhaupt ausbebe. Was soll ich also mit diesen Zahlen anfangen? Es hilft alles nichts, ich muss meine eigene Rechnung aufstellen.

Anspruch und Wirklichkeit beim Einsparen von Heizkosten

Die Wärmedämmung

Es liegt auf der Hand, dass man zuerst die Wärmeverluste der Wohnung oder des Hauses verringern und dann die Heizung dem neuen Bedarf anpassen sollte. Lange Zeit galt als gängige Empfehlung, dass die Verbesserung der Wärmedämmung pro investiertem EUR mehr Energie spart als die Erneuerung der Heizung. Das bezweifle ich inzwischen.

Meine stark vereinfachte Überschlagsrechnung sieht so aus: Der jährliche Wärmebedarf meines Hauses (ein etwa 100 Jahre altes, in den 60er Jahren renoviertes Reihenhaus, 30 cm Ziegelwand, großflächige Fenster, zum Teil sogar noch einfach verglast!) mit etwa 150 m² Wohnfläche war im Winter 2007/2008 knapp über 15000 kWh, das entspricht also etwa 100 kWh/ m² – gar nicht so schlecht für einen Altbau. Durch Erneuerung aller Fenster und Türen und Anbringung einer 12 cm dicken Außendämmung könnte ich den Wärmebedarf wohl auf den Niedrigenergiestandard von 70 kWh/ m² senken. Der spezifische Wärmebedarf pro m² Wohnfläche verringert sich dann um die Differenz zwischen Altbaustandard und Niedrigenergiestandard, was bei den derzeitigen Heizkosten von 1200 EUR/Jahr eine Ersparnis von 360 EUR/Jahr bedeuten würde. Wenn die Wärmedämmung einschließlich der Fenster 30 000 EUR kostet, hat sich die Investition in 83 Jahren amortisiert – bei einer Verdoppelung der Brennstoffkosten amortisiert sie sich schon in 40 Jahren. Ich persönlich erlebe das gar nicht mehr. Wenn meine Kinder das Haus verkaufen, ist die Wärmedämmung längst nicht mehr Stand der Technik und wirkt sich nicht mehr auf den Verkaufspreis aus.

Lohnt sich das? Habe ich 30 000 EUR übrig, die ich jetzt investieren kann? Wenn ich 30 000 EUR zu 4 % Zinsen auf der Bank anlege, bekomme ich jährlich 1200 EUR Zinsen!

Allerdings ist die Heizung, mit der ich zur Zeit 1200 EUR Heizkosten habe, schon wesentlich besser als die ursprüngliche, etwa 20 Jahre alte Anlage: Nach Erneuerung des alten Heizkessels vor 4 Jahren mit dem Ziel der Verringerung der Leistung und der Abwärmeverluste ging der Heizwärmebedarf von 26 000 auf 16 000 kWh zurück. Dies stimmt mit den Angaben in der obigen Tabelle recht gut überein. Wichtig ist es, zu erkennen: Der Grundsatz „viel hilft viel“ ist hier falsch. Wenn durch bestimmte Maßnahmen der Energiebedarf bereits deutlich verringert wurde, wird es immer schwerer, durch weitere Maßnahmen noch mehr einzusparen.

Wenn ich nur die Fenster erneuere, sinkt deren U-Wert von etwa 4,0 auf 1,0. Der Wärmeverlust durch die Fenster verringert sich auf ein Viertel. Wenn die Fensterflächen insgesamt ein Viertel der Außenfläche des Hauses ausmachen, sinkt der gesamte Transmissionswärmeverlust (die Wärme, die durch die Außenwände verloren geht) um ein Viertel von einem Viertel, also etwa 6 %. Das sind etwa 72 EUR Heizkostensparnis bei den derzeitigen Brennstoffkosten. Alle Fenster zusammen kosten bei mir etwa 7 000 EUR, die Amortisationszeit liegt bei über 90 Jahren. Auch in dem Beispiel in der Tabelle liegt die Amortisationszeit für die Fenster bei 70 Jahren. Generell kann man sagen, dass – entgegen den Aussagen der entsprechenden Fachfirmen – sich ein Ersatz „normaler“, noch gut schließender Fenster rein finanziell nicht lohnt.

Trotzdem habe ich in neue Fenster investiert, weil ich mir davon auch eine Verbesserung der gefühlten Behaglichkeit verspreche: Großflächige, kalte Fenster beschlagen im Winter und strahlen Kälte aus, die man unangenehm spürt, wenn man daneben sitzt. Man kann die Vorhänge zu ziehen, aber dann ist es tagsüber zu dunkel und außerdem kann die Heizung unter den Fenstern ihre Wärme nicht in den Raum abgeben. Das alles spricht für besser isolierende Fenster. Die Dämmung der Außenwände dagegen werde ich nicht durchführen: Das ist mir zu teuer, und ich setze mehr auf energiesparendes Verhalten (siehe weiter unten).

Die sparsamere Heizung

Wissen Sie eigentlich, dass seit Ende 2004 die Abgaswärmeverluste den Wert 10 % nicht überschreiten dürfen? Das allein könnte schon der Anlass gewesen sein, dass Ihre Heizung vor ein paar Jahren erneuert wurde. Das ist, insbesondere bei der weit verbreiteten Gas-Etagenheizung, kein großer Aufwand: Es wird lediglich die Heiztherme ausgetauscht, was etwa 4000 EUR kostet. Die Abgasbestimmungen sind mit der neuen Therme im vorgeschriebenen Rahmen. Ist damit alles in Ordnung?

Nein, da ließe sich noch viel mehr machen. Wenn Sie nur die Heiztherme gegen eine neue von gleicher Leistung austauschen, werden Sie die etwas bessere Effizienz kaum als Ersparnis wahrnehmen. Eines der typischen Merkmale der zwanzig bis dreißig Jahre alten Heizungen in den Altbauten ist die Überdimensionierung der Brenner und Heizkörper. Dies ist ein Merkmal einer vergangenen Epoche, als Energie noch billig war und bei den Kostenüberlegungen noch kaum eine Rolle spielte. Die Heizung wurde so ausgelegt, dass sie bei den niedrigsten zu erwartenden Außentemperaturen (- 20 °C) noch eine Raumtemperatur von + 20 °C gewährleisten konnte. Da die Wärmedämmung der Häuser generell schlechter war als heute, war eine hohe Heizleistung und gleichzeitig eine große Gesamtläche an Radiatoren (Heizkörpern) nötig. Um die großen Mengen an Heizungswasser umzuwälzen, musste auch die elektrische Pumpe groß dimensioniert sein. Betreibt man eine solche Heizung heute bei dem deutlich geringeren Wärmebedarf der letzten Winter, so hat man mit folgenden Nachteilen zu rechnen:

- Die Heizkörper sind viel zu groß, die Ventile müssen fast geschlossen werden, die Regelung durch Raumthermostate wird instabil
- Die Heiztherme schaltet immer nur kurz ein und schon bald wieder aus, weil sie nur wenig Wärme abgeben muss. Das führt zu katastrophal schlechten Abgaswerten, weil eine saubere Verbrennung nur stattfinden kann, wenn die Heizung mindestens einige Minuten lang mit voller Leistung läuft.
- Die Pumpe arbeitet gegen den Druck des stark gedrosselten Wasserkreislaufes an und verbraucht viel mehr Strom als theoretisch nötig wäre. In manchen älteren Anlagen arbeitet die Pumpe ständig. Der Stromverbrauch der Heizungsanlage beträgt einige Prozent des Gesamtstromverbrauchs des Haushaltes (vgl. Abb. 6 und 7).

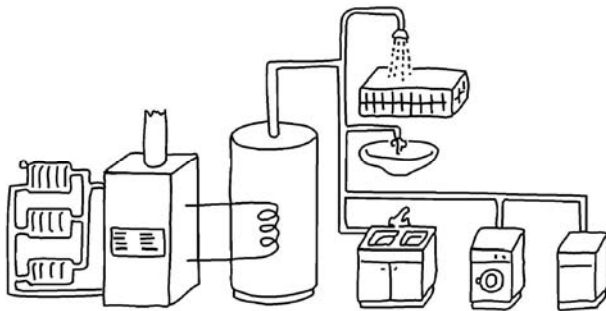


Abb. 13: Heizungsanlage mit Warmwasserspeicher

Verschärft wird das Ganze noch durch das verbreitete Prinzip der Speicherung des Warmwassers für Bad und Küche. Solche Speicherbehälter sind mit Trinkwasser aus der Wasserleitung gefüllt, das durch eine Wärmetauscherspirale vom Heizungswasser auf 60 °C erhitzt wird und über die Warmwasserleitungen zu den Ventilen in Bad (Badewanne, Dusche, Handwaschbecken) und Küche geführt wird. Damit jederzeit Warmwasser zur Verfügung steht, wird der Speicher immer (und zwar auch im

Sommer) auf der eingestellten Temperatur gehalten. Deshalb muss dann die Heizung das ganze Jahr über in Bereitschaft stehen. Auch bei längerer Abwesenheit der Bewohner, z.B. während der Urlaubszeit im Sommer, kann die Heizung nicht einfach abgeschaltet werden, denn der Speicher muss mindestens einmal pro Woche auf 60 °C hoch geheizt werden, um die Bildung gesundheitsschädlicher Bakterien im lauwarmen Wasser zu verhindern. Diese Betriebsweise führt zwangsläufig zu hohem Energieverbrauch.

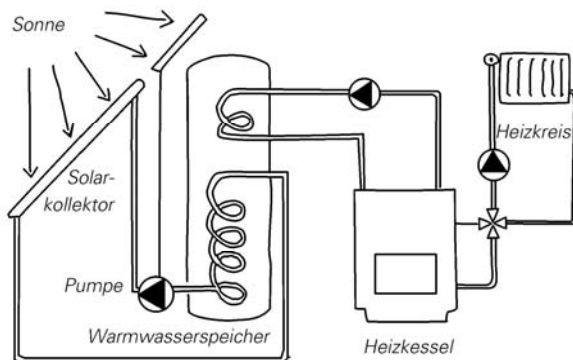


Abb. 14: Heizung mit Warmwasserspeicher und Solarunterstützung

Eine Heizung mit Warmwasserspeicher kann durch eine Solarkollektoranlage ergänzt werden. Die Bereitschaftsverluste der Heizung (also die Wärme, die zwar erzeugt, aber nicht genutzt wird) werden dann nicht auch noch durch Verbrennen von Gas oder Öl bezahlt. Das gerne benutzte Argument, dass durch eine Solaranlage 60 % der Energie für Warmwasserbereitstellung abgedeckt werden können, täuscht darüber hinweg, dass es sich hierbei vor allem um Wärme handelt, die einen Speicher auf seiner Temperatur hält, auch wenn gar kein warmes Wasser benötigt wird. Ein Warmwasserspeicher

ist der häufigste Grund für einen zu hohen Heizwärmebedarf, und die solare Zusatzheizung macht das nicht besser.

Nicht alle Heizungen haben diesen Warmwasserspeicher. Insbesondere kleinere Gasthermen für Etagenheizungen können das Warmwasser auch im Durchlauf erhitzen, und dieses Prinzip ist erheblich sparsamer als der Betrieb eines Warmwasserspeichers. Die Leistung der Therme muss ausreichend sein, um den Warmwasserbedarf beim Duschen

abdecken zu können. Das erfordert etwa 20 kW Leistung. Diese Leistung wird aber nicht benötigt, um kurzzeitig Warmwasser zu Hände Waschen oder Zähneputzen zu liefern: Hierbei haben wir wieder den Effekt des kurzzeitigen An- und Abschaltens der Therme mit hohen Abgaswerten und ineffizienter Verbrennung. Für diesen Sonderfall (geringer, gelegentlicher Warmwasserbedarf) sind kleine elektrische Durchlauferhitzer eine recht gute Lösung. Keinesfalls aber sollte man den Warmwasserbedarf von Dusche und Badewanne elektrisch erwärmen, das treibt die Stromkosten gewaltig in die Höhe.

Es gibt sehr viele Varianten bei den Heizsystemen in unseren Altbauten. Allen gemeinsam ist, dass die alten Heizungen ineffizient, Energie verschwendend und Umwelt belastend sind. Zum Glück hat die Heizungstechnik in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht, so dass die technischen Voraussetzungen für effizientes Heizen heute zur Verfügung stehen. Die Frage ist nur, ob man sich das leisten kann und ob man einen qualifizierten Betrieb findet, der die zunehmend komplexen Verhältnisse des Heizungssystems wirklich im Griff hat. Auf die folgenden Merkmale muss man achten und sich die Wirkungsweise vom Anbieter erklären lassen:

- Die Winter sind in der Tendenz wärmer geworden, dies ist bei der Auslegung der Heizung zu berücksichtigen. Die Heizung sollte eher knapp dem Bedarf entsprechen. Wenn dann doch einmal eine unerwartet kalte Wetterperiode eintritt, muss man sich mit zusätzlichen elektrischen Heizkörpern behelfen, das ist immer noch billiger als jahrelang eine zu große Heizung zu betreiben.
- Die Brennwertheizung arbeitet auch im Teillastbereich effizient und ist zu empfehlen.
- Die Brennerleistung muss „modulierend“ sein, d.h. der Brenner schaltet nicht einfach ein oder aus, sondern kann auch mit gedrosselter Leistung effizient arbeiten.
- Auch die Heizungspumpe muss leistungsangepasst im modulierenden Betrieb arbeiten.
- Die Heizkörper sollten nicht überdimensioniert sein. Die Rohrleitungen der Heizkreise müssen den Strömungsverhältnissen entsprechend dimensioniert sein (hydraulischer Abgleich).
- Die Regelung muss für Tag-, Nacht- und Wochenendbetrieb programmierbar, aber auch manuell einstellbar und abschaltbar sein.

Wenn man dies alles berücksichtigt, ist die Modernisierung der Heizung in einem Altbau nur durch eine vollständige Erneuerung des Gesamtsystems sinnvoll. Das ist teuer, senkt aber den Verbrauch an Heizenergie wie auch an Strom. Da eine Heizung lange in Betrieb ist, lohnt sich die Investition und man hat ein ruhigeres Gewissen, was die Emissionen betrifft. Moderne Heizungen sind allerdings wegen ihrer aufwändigen Elektronik nicht so wartungsfrei wie die alten Zentralheizungen, und eine jährliche Reinigung ist zu empfehlen, um den guten Wirkungsgrad zu erhalten.

Das Nutzerverhalten

Die wesentlichen Einsparungen, die ich persönlich bisher realisieren konnte, scheinen weniger durch verbesserte Technik, sondern durch das Nutzerverhalten zustande zu kommen. Das wichtigste ist: Abschalten, wenn die Heizung nicht gebraucht wird. Wir benutzen ein eigentlich veraltetes Regelungssystem, bei dem ein Raumthermostat in einem Zimmer je Stockwerk die Heizung regelt. Die Heizkörper in den anderen Räumen werden durch Heizkörperthermostate individuell geregelt, sind aber nicht unabhängig von der vorgegebenen Temperatur des Bezugsthermostaten. Das Ergebnis ist nicht immer genau so, wie es die Familienmitglieder individuell wünschen, aber im Großen und Ganzen muss nichts mehr verändert werden, wenn eine gute Abstimmung der Regelorgane erfolgt ist. Der große Vorteil ist: Wenn ein Stockwerk auch nur stundenweise nicht benutzt wird, wird die Heizung über den Raumthermostat beim Verlassen des Raumes manuell ausgeschaltet. Auch nachts

wird die Heizung ausgeschaltet, wenn es nicht zu kalt ist (in den vergangenen drei Wintern war es nie „zu kalt“). Auf das Einstellen von Programmen für den Tages- und Nachtbetrieb verzichten wir, da die manuelle Einstellung flexibler an die Situation angepasst werden kann. Diese Vorgehensweise hat sich in einer deutlichen Senkung des Gasverbrauchs geäußert – ohne finanziellen Mehraufwand.

Leider ist es angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Heizsysteme nicht möglich, individuell genau passende Empfehlungen zu geben. Man muss die Mühe auf sich nehmen, das Zusammenwirken der technischen Komponenten zu untersuchen und zu interpretieren und selbst Ideen zu entwickeln, wo Verbesserungen Sinn machen könnten. Erst, wenn man gewisse Vorstellungen davon hat, was geschehen könnte, sollte man mit einem Fachmann darüber reden. Seine Vorschläge sollte man dann wieder überdenken und natürlich auch durchrechnen, was finanziell leistbar ist. Sicher ist aber: Der Kostenfalle beim Heizen kann man nicht entkommen. Entweder man bezahlt die steigenden Verbrauchskosten oder man investiert in die Technik und zahlt weniger für den Brennstoff. Die Kosten zu bremsen gelingt nur, wenn man konsequent durch sein Verhalten den Energieverbrauch einschränkt.

Die oben genannten Beispiele für die Verringerung des Heizwärmebedarfs sind aber durchaus realistisch für ein Einfamilienhaus typischer Größe und Beschaffenheit und zeigen vor allem eins: Investitionen zur Wärmedämmung am Haus zahlen sich erst nach vielen Jahren (meist erst nach Jahrzehnten) aus. Es ist ein Irrtum, zu glauben, man könne damit Geld sparen. Steigende Energiekosten in Zukunft sind zwar ein Argument für baldige technische Sanierungsmaßnahmen, aber das Problem der Finanzierung der Investitionen wird dadurch nicht gelöst.

Wenn allerdings das politische Ziel der Reduzierung von Treibhausgasen ernst genommen wird, kann der Bereich der privaten Haushalte mit seinem Bedarf an Heizenergie nicht unvershont bleiben. Die verschiedenen Fördermaßnahmen der Bundesregierung zielen in diese Richtung.

Energie sparen beim Auto

Kaum jemand würde gern auf sein Auto verzichten. Eher als alle anderen Konsumgüter vermittelt das Auto ein Gefühl von „gehobenem Lebensstandard“. Anstieg und Fall der Treibstoffpreise werden wahrgenommen wie in ärmeren Ländern der Brotpreis. Die Kraftquelle beim Auto ist ein Brennstoff fossilen Ursprungs: Benzin und Dieselöl, das in weltweit verteilten Förderstätten als Rohöl aus der Erde gepumpt, in den Raffinerien weiterverarbeitet und schließlich an den Tankstellen verkauft wird. Der Preis der Treibstoffe entsteht durch das Wechselspiel von Fördermenge, Nachfrage, Kapazität der Raffinerien und – zu einem erheblichen Teil – durch Spekulation an der Börse. Plötzliche starke Steigerungen des Treibstoffpreises kommen häufig vor, ein starkes Absacken des Preises dagegen selten.

Obwohl die Treibstoffpreise immer kurzfristige Schwankungen aufweisen, geht ihre Tendenz unaufhaltsam nach oben. Die Gründe liegen auf der Hand: Die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle sind nur in endlicher Menge in der Erdkruste vorhanden. Zwar wurden in den letzten Jahrzehnten immer wieder neue Vorkommen entdeckt, aber die jährliche Ausbeutung übersteigt die Menge der neu hinzugekommenen Ressourcen bei weitem. Schon jetzt ist bei einigen Ölfördergebieten der gefürchtete „peak oil“ –Punkt erreicht, bei dem die täglich maximal förderbare Menge zurückgeht. In wenigen Jahrzehnten werden sowohl die Förderkosten für noch vorhandene Reserven steigen wie auch die verfügbare Menge deutlich abnehmen. Das ist gut für das Klima, denn die Freisetzung riesiger Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid durch die Verbrennung der fossilen Brenn- und Treibstoffe hat allmählich ein Ende. Die Zukunft der nicht-schienengebundenen Verkehrsmittel allerdings muss neu definiert werden.

Zur Zeit befinden wir uns in einer Übergangsphase, in der das konventionelle Kraftfahrzeug durch immer weiter steigende Kraftstoffkosten vom Allgemeingut zum Luxusgut wird. Dieser Entwicklung können wir kaum entkommen, denn neue Kraftfahrzeugtechnologien – die längst in Erprobung sind – werden vorläufig noch so teuer sein, dass sie schon für den Normalverbraucher in den hoch motorisierten Industrieländern kaum noch erschwinglich sind und für die Mittelschicht ärmerer Länder unerreichbar bleiben.

Einige der Entwicklungen in der Fahrzeugtechnik sollen hier kurz angesprochen werden, bevor wir dann wieder zu der Frage kommen, wie wir hier und heute dem Kostendruck begegnen können.

Trends bei der Autotechnik

Ein Viertakt-Motor mit „innerer Verbrennung“ wie unsere üblichen Automotoren braucht bei jeder zweiten Umdrehung eine bestimmte Menge Brennstoff und eine genau dazu passende Menge Luft. Der Brennstoff enthält fast immer Kohlenstoff, aber auch Wasserstoff. Ab einer bestimmten Temperatur (meist etwa 250 °C) wird der Brennstoff zündfähig, d.h. er reagiert mit Sauerstoff und bildet Verbrennungsprodukte wie z.B. Kohlendioxid oder Wasserdampf. Dabei wird Wärme freigesetzt, was zu einer starken Ausdehnung der beteiligten Gase führt und über den Kolben des Motors in mechanische Bewegung umgesetzt wird.

Der Brennstoff muss nicht unbedingt flüssig sein. Auch feinkörnige Partikel wie z.B. Kohlestaub können als Brennstoff eingesetzt werden: So wird z.B. der Kessel in Kohlekraftwerken mit sehr fein gemahlener Kohle betrieben, die durch Düsen, gemischt mit der Verbrennungsluft, eingeblasen wird. Flüssige Brennstoffe sind im Kraftfahrzeug praktischer in Bezug auf Speicherung, Zuführung und Einspritzung.

Der Brennstoff kann auch gasförmig sein. Die Holzvergaser-Fahrzeuge zur Zeit des zweiten Weltkriegs fuhrten mit Holzgas, das als brennbare Bestandteile vor allem Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Methan enthält. Methan aus Biogasanlagen ist weitgehend identisch mit Erdgas und ebenfalls als Motorbrennstoff geeignet. Reiner Wasserstoff ist ein besonders sauberer Brennstoff, weil bei der Verbrennung nur Wasserdampf entsteht.

Angesichts der Vielfalt möglicher Brennstoffe könnte man meinen, dass ein Verzicht auf Benzin und Dieselöl doch gar nicht so schwer fallen sollte. Aber leider ist bisher noch kein Verfahren auf dem Markt, dass die traditionellen Flüssigkraftstoffe völlig ersetzen könnte. So wie auch die Vorkommen an fossilen Treibstoffen (vor allem Erdöl und Erdgas) endlich sind und zur Neige gehen, stößt man auch bei neu entwickelten Kraftstoffen an Grenzen der Verfügbarkeit. Besonders deutlich wurde das bei den Biokraftstoffen, also aus Pflanzenmaterial gewonnenen Treibstoffen. Von den Biokraftstoffen hat man sich besonders viel versprochen, will sie einerseits als nachwachsende Rohstoffe nachhaltig (wenn auch nicht in beliebigen Mengen) zur Verfügung stehen, andererseits aber auch den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre nicht erhöhen, weil sie bei der Verbrennung nur soviel Kohlendioxid freigeben, wie sie beim Wachstum der Luft entzogen haben. Der letztgenannte Vorteil der Kohlenstoffneutralität musste leider relativiert werden, weil durch Ernte und Verarbeitung des Pflanzenmaterials erhebliche Mengen traditioneller Treibstoffe verbraucht werden und z.B. durch Düngung der Felder zusätzliche Treibhausgase, wie vor allem Stickstoffoxide (Lachgas) freigesetzt werden.

Besonders heikel ist aber die Frage, in wie weit die Produktion von Energiepflanzen wie Raps, Mais, Zuckerrohr und Ölpalmen mit der Produktion von Nahrungsmitteln konkurriert. Bisher sind die weltweit zur Produktion von Energiepflanzen genutzten Flächen noch keine Bedrohung für die Versorgung mit Lebensmitteln – dieser Eindruck entstand im Wesentlichen durch spekulative Verzerrung der Weltmarktpreise. Bei einer verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Brenn- und Treibstoffe wird es aber von enormer

Bedeutung sein, diejenigen Nischen zu definieren, wo die Land- und Forstwirtschaft Rohstoffe zur energetischen Nutzung bereitstellen kann, ohne andere für die Menschheit noch wichtigere Versorgungssektoren zu beeinträchtigen.

Die größte Verbreitung unter den alternativen Kraftstoffen hat zur Zeit der sog. Biosprit: Dies ist aus Zuckerrohr oder Mais gewonnener Alkohol, der dem herkömmlichen Kraftstoff in Deutschland mit 5 % beigemischt wird. Höhere Anteile an Biosprit im Kraftstoff sind durchaus möglich und in den USA auch üblich, erfordern aber gewisse technische Anpassungen am Motor. Der Betrieb von Autos mit Erdgas ist ebenfalls möglich, wobei das Erdgas auch durch Biogas ersetzt werden könnte. Für Dieselmotoren wird in Deutschland auch der aus Rapsöl gewonnene Rapsmethylester (RME) angeboten, aber auch reines Rapsöl als Alternative zum Dieselöl.

In die Nutzung von Wasserstoff hat die deutsche Automobilindustrie große Erwartungen gesetzt. Wasserstoff könnte direkt im Motor verbrannt werden, wie es in Bussen auf dem Gelände des Großflughafens München von BMW erprobt wird. Wasserstoff könnte aber auch in einer Brennstoffzelle Strom für einen Elektroantrieb erzeugen. In diese Variante hat Daimler-Benz sehr viel Forschung investiert und mit den Versuchsfahrzeugen der NECAR-Serie (auf der Basis der A-Klasse) bereits PKWs mit 70 kW Leistung und 300 km Reichweite erprobt. Es ist aber noch nicht gelungen, PKW's mit Brennstoffzellenantrieb zu einem Preis anzubieten, der die Markteinführung rechtfertigen würde.

Das Engagement der großen deutschen Autohersteller in die Brennstoffzellentechnologie war wohl einer der Gründe, warum das Potential der Hybridantriebe – die Kombination von Verbrennungsmotor und Elektroantrieb – erst sehr spät erkannt wurde. Der Hybridantrieb von Autos scheint bei flüchtiger Betrachtung nichts zur Einsparung von Treibstoff und Schadstoffemissionen beitragen zu können: Die Primärenergie bei einem Hybridauto heutiger Bauart ist ganz einfach Benzin (für Dieselfahrzeuge wurde das Prinzip noch kaum angewendet). Ein Teil der vom Verbrennungsmotor gelieferten Energie wird zum Laden der Akkus verwendet, mit denen dann das Fahrzeug auch elektrisch angetrieben werden kann. Damit das funktioniert, braucht das Hybridfahrzeug große, schwere Akkus, einen starken Elektromotor, der auch als Ladegenerator dienen muss, und aufwändige Regeltechnik. Egal, ob das Hybridauto gerade durch den Verbrennungsmotor oder den Elektromotor angetrieben wird – mehr Energie, als im Benzin steckt, kann nicht für den Antrieb genutzt werden. Wieso ein Hybridauto mit wesentlich mehr Gewicht gegenüber einem vergleichbaren Normalfahrzeug weniger Benzin verbrauchen soll, erscheint zunächst rätselhaft (und ist auch nicht immer gesichert). In der Tat waren die ersten Hybridautos – die schweren SUV-Fahrzeuge in den USA, die im Hybrid-Betrieb im Stadtverkehr statt 20 l/100 km nur noch 16 bis 17 l/100 km verbrauchten – für europäische Autohersteller eine absurde Fehlentwicklung. Die europäische Strategie war dagegen, kleinere und leichtere Autos zu bauen, die von vornherein wesentlich weniger Treibstoff verbrauchten. Aber der Fortschritt der Technik im Automobilbau wie auch in der Elektrotechnik bringt es mit sich, dass die Kombination von Verbrennungsmotor und Elektroantrieb immer interessanter wird.

Um dies zu verstehen, muss man den Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung genauer ansehen – hier liegt der Schlüssel für den Erfolg der Hybridsysteme. Sehen wir uns zunächst den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors an: Er ist, vor allem bei der ständig wechselnden Belastung im Fahrzeugbetrieb – sehr schlecht. Die tieferen Gründe dafür finden sich im Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre, wonach mechanische Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt werden kann, aber Wärme nie vollständig in mechanische Energie. Konkret bedeutet das, dass z.B. ein Benzinmotor unter optimalen Bedingungen (nahezu Volllast, gleich bleibende Drehzahl, gute Füllung des Verbrennungsraumes) etwa 36 % der chemischen Energie des Treibstoffes in Bewegungsenergie umsetzen kann, dass er aber im normalen Fahrbetrieb mit einem deutlich schlechteren Wirkungsgrad von 15 bis 25 % arbeitet. Besonders schlecht ist der Wirkungsgrad im Stadtverkehr: Wenn das Auto steht und der Motor im Leerlauf dreht, ist der Wirkungsgrad gleich Null, denn es wird Energie

verbraucht, ohne dass sich das Fahrzeug bewegt. Beim Anfahren in den ersten drei Gängen ist der Wirkungsgrad sehr niedrig, was sich ja im hohen Benzinverbrauch im Stadtverkehr äußert. Erst wenn sich das Auto im mittleren Geschwindigkeitsbereich von etwa 60 bis 80 km/h bewegt, kann sich der Wirkungsgrad dem theoretisch möglichen nähern. Bei höheren Geschwindigkeiten ist der Wirkungsgrad gut, aber der Treibstoffverbrauch steigt trotzdem an, weil der Luftwiderstand mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigt und deshalb die Bewegung immer mehr Kraftaufwand erfordert.

Der Elektromotor dagegen ist keine Wärmekraftmaschine. Die Umwandlung von Strom in Bewegung und umgekehrt ist mit sehr guten Wirkungsgraden von 80 bis 95% möglich, wobei zwar auch Verlustwärme auftritt, aber wesentlich weniger als beim Verbrennungsmotor. Dieser gute Wirkungsgrad wird beim Hybridmotor ausgenutzt: In den Fahrsituationen, in denen der Wirkungsgrad des Benzinmotors besonders schlecht ist (also im Leerlauf und beim Anfahren) wird auf Elektroantrieb umgeschaltet. Die in der Batterie gespeicherte Energie wird zum geringeren Teil aus Schubenergie beim Ausrollen des Fahrzeuges gewonnen, zum größeren Teil aber während derjenigen Fahrtzustände, in denen der Motor Reserven zum Laden der Akkus abzweigen kann. Die Mehrbelastung des Motors verbessert seinen Wirkungsgrad und vermeidet überflüssige Verluste. Im Betrieb auf Langstrecken wie Autobahn können die Akkus vollständig aufgeladen werden, der Elektroantrieb hat hier aber keinen Vorteil und bleibt ausgeschaltet.

Es versteht sich, dass zwei vollständige Antriebsysteme mit der Abstimmung von Motorleistung, Ladevorgang und Elektroantrieb technisch aufwändig und teuer sind. Es darf bezweifelt werden, dass diese Technik im Mischbetrieb (Stadt und Fernverkehr) soviel Treibstoff einspart, dass sich der finanzielle Mehraufwand für einen Hybrid-PKW lohnt. Trotzdem sind die darin steckenden Ideen und technischen Komponenten wegweisend für die derzeitige Entwicklung in der Automobiltechnik. Zwar lässt sich mit einem kleinen und leichten Fahrzeug mit Dieselmotor deutlich mehr Kraftstoff sparen als mit einem schweren Hybridfahrzeug, aber schon die Schubabschaltung des Motors und die Abschaltung im Leerlauf, verbunden mit dem Anfahren und gleichzeitigem Motorstart über einen elektrischen Motor-Generator (im Prinzip eine Kombination von Lichtmaschine und Anlasser) würde Treibstoff sparen und Abgase verringern. Das Hybridsystem der Zukunft könnte aus einem relativ kleinem Verbrennungsmotor bestehen, der nur mit bestmöglichem Wirkungsgrad die Akkus auflädt, und einem Elektroantrieb, der für das Fahren verantwortlich ist. Im Stadtverkehr könnte der reine Elektroantrieb vorherrschen, was die Smogbelastung erheblich verringern würde.

Inzwischen ist das Eindringen des elektrischen Antriebs in die Fahrzeugtechnik unaufhaltsam und erste Elektroautos werden auch von deutschen Herstellern angeboten. Der Flaschenhals in der Entwicklung sind die Akkus, wobei die neuen Lithium-Ionen-Akkus ein wesentlich besseres Verhältnis von Gewicht zu Leistung haben als die traditionellen Blei-Akkus. Für den Alltagseinsatz von Elektroautos ist vor allem zu klären, wo und wie die Akkus wieder aufgeladen werden. Ein reines Stadtauto, dessen Akkus über Nacht in der Garage aufgeladen werden, ist ohne weiteres vorstellbar, aber beim Langstreckenverkehr wird das schwieriger.

Bezogen auf den Verbrauch an Brennstoff und die Emission von Treibhausgasen machen elektrische Antriebe natürlich nur Sinn, wenn die Stromerzeugung im Kraftwerk mit wesentlich besserem Wirkungsgrad erfolgt als die direkte Nutzung des Brennstoffs im Motor. Die Zukunftsvision wäre die emissionsfreie Stromerzeugung mit Solar- und Windkraftwerken zur Ladung der Fahrzeugakkus mit einer zeitlichen Entkopplung von Stromproduktion und Stromverbrauch – eine faszinierende Aufgabe für Ingenieure.

Beim Auto sparen – aber wie?

Irgendwann werden die Autos also ganz anders funktionieren als wir es bisher gewohnt sind. Aber was nützt uns das jetzt, wo die Treibstoffpreise an der Tankstelle immer weiter steigen? Wie schon bei den anderen technischen Geräten des Haushalts, hilft nur die individuell angepasste Berechnung weiter.

Die Umrüstung auf alternative Treibstoffe (Rapsöl, Erdgas, Autogas, ...) scheint zur Zeit finanziell durchaus vorteilhaft zu sein. Lästig ist die noch unzureichende Verbreitung der entsprechenden Tankstellen. Das wird sich auch nicht wesentlich ändern, solange es keine einheitliche Alternative zu Benzin und Diesel gibt. Der Preisvorteil der alternativen Kraftstoffe beruht vor allem auf der geringeren Besteuerung, mit deren Hilfe eine Praxiserprobung, ähnlich wie z.B. bei Solarenergie, gefördert wird. Wie lange und in welcher Höhe diese Förderung aufrecht erhalten wird, ist eine politische Entscheidung.

Hybridautos der jetzigen Generation sowie Elektroautos sind Prestige-Objekte für diejenigen, die es sich leisten können. Ökonomische Vorteile können sie haben, wenn das Fahrzeug mit hoher Kilometerleistung fast nur im Stadtverkehr genutzt wird (Taxis).

Hochaktuell ist zur Zeit die Überlegung, von einem älteren Fahrzeug mit relativ hohem Kraftstoffverbrauch auf einen neuen Kleinwagen umzusteigen. Das kann sich lohnen, muss aber individuell überprüft werden. Meine ganz persönliche Überlegung: Mein derzeitiges Fahrzeug – ein Kombi mit 2,3 Liter Hubraum und ca. 10 l/100 km durchschnittlichem Benzinverbrauch bei sparsamer Fahrweise – ist in gutem Zustand, aber mit 300 000 km auf dem Tacho nicht mehr verkäuflich. Wenn ich einen neuen Kleinwagen mit einem Verbrauch von 6 l/100 km kaufe, spare ich bei 14 000 km im Jahr und Benzinkosten von 1.50 EUR pro Liter jährlich etwa 840 EUR. Ich bezahle aber auch weniger an Steuer und Versicherung. Wenn ich insgesamt 1200 EUR pro Jahr spare, würde sich ein neuer Kleinwagen für 12 000 EUR in zehn Jahren amortisieren, und das ist durchaus attraktiv! Allerdings ist nicht sicher, ob der Kleinwagen über eine längere Zeit nicht reparaturanfälliger ist, und der Restwert nach 10 Jahren ist auch nicht allzu hoch. Ich werde daher erst dann ein neues, kleineres Auto kaufen, wenn das alte eine teure Reparatur erfordert und deswegen verschrottet werden muss. Die Entscheidung wird mir erleichtert, weil dann die Kinder aus dem Haus sind und wir kein Familienauto mehr brauchen.

Dieses Rechenbeispiel ist sehr individuell, aber anders geht es nicht. Die folgenden Parameter sind zu berücksichtigen, wenn Sie einen Wechsel des Fahrzeuges in Erwägung ziehen. Die Daten sind für eine Zeitspanne von etwa 5 Jahren im Voraus zu ermitteln. Zunächst die Kosten, wenn Sie das bisherige Fahrzeug noch einige Jahre behalten:

- die durchschnittliche km-Leistung pro Jahr
- die Treibstoffkosten pro Jahr beim bisherigen Fahrzeug, wobei eine angemessene Preissteigerung zu berücksichtigen ist
- die voraussichtlichen Reparaturkosten in den nächsten Jahren, wenn Sie das bisherige Fahrzeug behalten
- Kraftfahrzeugsteuer und Versicherung für das bisherige Fahrzeug
- Erlös (Abwrackprämie??) für das jetzige Fahrzeug
- Der nicht kostenrelevante „Spaßfaktor“ beim bisherigen Fahrzeug (wichtig, wenn Sie von einem betagten Luxusfahrzeug auf einen neuen Kleinwagen umsteigen wollen).

Das Ergebnis muss nun den Daten des anvisierten neuen (bzw. neueren) Fahrzeuges gegenübergestellt werden:

- Treibstoffkosten bei gleicher km-Leistung
- Voraussichtliche Reparaturkosten im Berechnungszeitraum

- Kraftfahrzeugsteuer und Versicherung
- Kaufpreis
- Geschätzter Wert des Fahrzeugs nach Ende des Berechnungszeitraums
- „Spaßfaktor“.

Diese Berechnung ist relativ aufwändig und mit Unsicherheiten behaftet, vor allem, was Reparatur- und Wartungskosten angeht. Sie sollten diese Berechnung aber unbedingt durchführen und sich nicht unvorbereitet ein neues Auto aufschwätzen lassen. Sie werden sehen, dass es gar nicht so einfach ist, mit einem neuen, kleineren Auto wesentlich kostengünstiger zu fahren als mit einem Altwagen, der noch in gutem Zustand ist. Eine wichtige Überlegung ist dabei auch, ob man es riskieren will, seine finanzielle Liquidität aufs Spiel zu setzen: Ein Neuwagen bindet Kapital auf Jahre hinaus, muss gepflegt werden, macht eine teure Vollkaskoversicherung empfehlenswert und kann dem Besitzer in große Schwierigkeiten bringen, wenn er über einen Kredit finanziert ist.

Für Geschäftswagen gelten andere Überlegungen, dies soll hier nicht weiter ausgeführt werden.

Energie sparen in Zeiten des Klimawandels – was tun?

In diesem Themenheft geht es nicht darum, die Hintergründe und die Dynamik des Klimawandels erneut wissenschaftlich zu interpretieren – hierzu gibt es inzwischen Informationen in hinreichender Menge. Es geht um die Konsequenzen für den Einzelnen / die Einzelne: Was genau sollen wir denn jetzt tun? Und obwohl es auch hierzu schon Informationen und Ratschläge in Hülle und Fülle gibt, wollte ich mit diesem Themenheft noch einen weiteren guten Rat hinzufügen: Traue keinen guten Ratschlägen, denke selbst nach!

Es ist möglich, in unserem privaten Haushalt den Energieverbrauch und die Emission von Treibhausgasen zu verringern, ohne den gewohnten Anspruch an den technischen Komfort aufzugeben. Damit haben wir es auch in der Hand, unseren eigenen, bescheidenen Anteil zur Verlangsamung des Klimawandels beizutragen. Aber: Energiesparmaßnahmen, die auf technischen Verbesserungen beruhen, kosten Geld. Sie kosten soviel Geld, dass die geringeren Betriebskosten auch bei weiter steigenden Energiekosten nur mit Mühe wieder hereinkommen. Um zu verhindern, dass Energiesparen im privaten Haushalt zur Kostenfalle wird, muss jeder / jede selbst nachrechnen, welche Maßnahme sich wirklich lohnt. Dies wollte ich an einigen Beispielen belegen.

Kostenlos ist dagegen energiebewusstes Handeln. Nicht mehr heizen als nötig, die Heizung ausschalten, wenn sie nicht gebraucht wird, auf Kurzstrecken mit dem Fahrrad fahren statt mit dem Auto, stand-by ausschalten mit Hilfe von Steckerleisten – das kennen Sie alles, hierzu gib es seitenweise Ratschläge. Verzetteln Sie sich nicht mit Kleinigkeiten, sondern überlegen Sie sich, wo es wirklich was bringt. Ein kleines Rechenbeispiel hierzu: Wenn Sie im Stadtverkehr eine Strecke von 20 km mit dem Auto fahren, verbrauchen Sie etwa 2 Liter Benzin mit einem Energieinhalt von insgesamt 16 kWh. In elektrische Energie umgewandelt, wären das etwa 5 kWh. Um die durch die Autofahrt entstandenen Emissionen an anderer Stelle wieder einzusparen, müssten Sie 8 Stunden lang auf das Licht von zehn Glühlampen zu 60 Watt oder von 40 Energiesparlampen zu 15 Watt verzichten. Sie könnten allerdings auch mit dem Rad fahren, dann entstehen die Emissionen erst gar nicht.

Eine Anmerkung am Rande: Um den anteiligen Kerosinverbrauch für eine Flugreise in die Karibik wieder auszugleichen, müssten Sie ein ganzes Jahr lang zu Hause im Dunkeln wohnen – aber das müssen Sie mit Ihrem Gewissen ausmachen.

Aber nun komme ich zurück auf die pessimistischen Feststellungen am Anfang dieses Textes: Wir können den Klimawandel abbremsen, aber nicht rückgängig machen. Das soll

keineswegs entmutigend wirken. Ich will aber doch darauf hinweisen, dass der Klimawandel für uns Konsequenzen haben wird, die unangenehm sind. Schon mehrmals habe ich darauf hingewiesen, dass wir uns in Zukunft an hohe Energiepreise gewöhnen müssen. Das ist die Folge der versiegenden Ressourcen an billigen fossilen Brennstoffen, aber auch die Folge der hohen Kosten einer weltumspannenden Vernetzung erneuerbarer Energien einschließlich der geeigneten Zwischenspeicher für das schwankende Energieangebot. Hohe Energiekosten werden unseren Lebensstandard belasten, und wirtschaftlich schwächere Länder werden noch viel mehr darunter leiden.

Was unseren privaten Haushalt betrifft, werden wir die Warnungen der Klimaforscher – so wenig präzise, wie sie bisher noch sind – allmählich ernst nehmen müssen. Die Veränderung der Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche bedeutet, nach allem, was wir darüber wissen, stärkere Ausschläge der regionalen und saisonalen Wetterparameter. Auch in Deutschland werden wir häufiger Wetterphänomene haben, die für unser bisher so gemäßigtes Klima ungewöhnlich sind: Längere Trockenperioden im Sommer mit Ernteausfällen, Kühlproblemen in den Kraftwerken, Waldbränden, Hitzetoten, und als Ausgleich dann wieder Starkregenperioden mit Überschwemmungen und großem materiellen Schaden. Ist Ihr Dach in gutem Zustand, sind die Regenablauffrinnen groß genug dimensioniert? Läuft Ihr Keller bei Starkregen voll, weil die Abwasserkanäle überfordert sind? Was machen Sie, wenn wirklich einmal der Keller unter Wasser steht? Haben Sie Außenjalousien an den Fenstern, die im Sommer Schatten spenden? Was tun Sie, wenn der Strom ausfällt – wissen Sie überhaupt, was das für Konsequenzen hat? Darüber sollten Sie mal nachdenken.

Deutschland ist ein hoch industrialisiertes Land mit einer informierten Bevölkerung und großer Wirtschaftskraft. Ein Klimawandel kann uns viel weniger anhaben als der Mehrzahl anderer Länder. Das ist kein Grund, sich zurück zu lehnen und abzuwarten. Der menschengemachte Treibhauseffekt und die daraus entstehenden klimatischen Veränderungen sind schließlich das Resultat einer industriellen Entwicklung, von der nur ein Teil der Weltbevölkerung - und darunter auch wir - profitieren. Wir müssen nun auch unseren Teil der Verantwortung für die Folgen übernehmen.

Ergänzende Literatur zum Thema

Weitere Themenhefte zum download:

Der Treibhauseffekt www.imtreibhaus.de

Solarenergie – Kosten, Nutzen, Perspektiven www.imtreibhaus.de

Kleine Holzvergaser – Ein Bericht aus der Praxis mit Tipps zum Selbstbau
www.imtreibhaus.de

Materialien für den Unterricht:

Modulares Schulinformationssystem Energie (MSE) www.energie-umwelt-schule.de

Module zum download:

Die Energiesparschule – was Schüler und Lehrer tun können www.energie-umwelt-schule.de/Unterricht/bezug.htm

Energiesparen im Haushalt – wir suchen Energieverschwender und schalten sie aus
www.energie-umwelt-schule.de/Unterricht/bezug.htm

Fachinformationen:

www.stromeffizienz.de

Eine Webseite der Deutschen Energie Agentur, sehr nützlich für die Durchführung eines Energieverbrauchschecks und bei der Suche nach effizienten Haushaltsgeräten

Hinweis zu den Bildquellen:

Die Abb. 8, 10, 12, 13, 14 sowie die Zeichnung auf der Titelseite sind dem MSE-Modul „Energiesparen im Haushalt“ entnommen

Über den Autor

Ulrich Graf studierte Elektrotechnik/Nachrichtentechnik an der Technischen Universität München und promovierte dort zum Dr.-Ingenieur. Nach einigen Jahren als Fachautor in einem naturwissenschaftlichen Verlag und der Mitarbeit an der Studiengruppe für Biologie und Umwelt (Frederic Vester) ging er 1972 als Assistenzprofessor an die neu gegründete Universität Bremen.



Ab 1980 arbeitete er als Gutachter für die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) in Projekten der Entwicklungshilfe mit den Schwerpunkten ländliche Energieversorgung, erneuerbare Energien und angepasste Technologie.

Seit 1996 ist er wieder an der Universität Bremen im Studiengang Wirtschaft-Arbeit-Technik tätig. Gemeinsam mit Helmut Spitzley, Volker Koch und Heinz-Dieter Schulz entstand das „Modulare Schulinformationssystem Energie“ mit den Bänden „Der Treibhauseffekt“, „Woher kommt unsere Energie“, „Energie sparen im Haushalt“ und „Die Energiesparschule“ (vgl. www.energie-umwelt-schule.de).

Die Web-Seite www.imtreibhaus.de entstand im Zusammenhang mit der Lehrtätigkeit an der Universität Bremen und wird laufend nach den aktuellen Anforderungen ausgebaut.