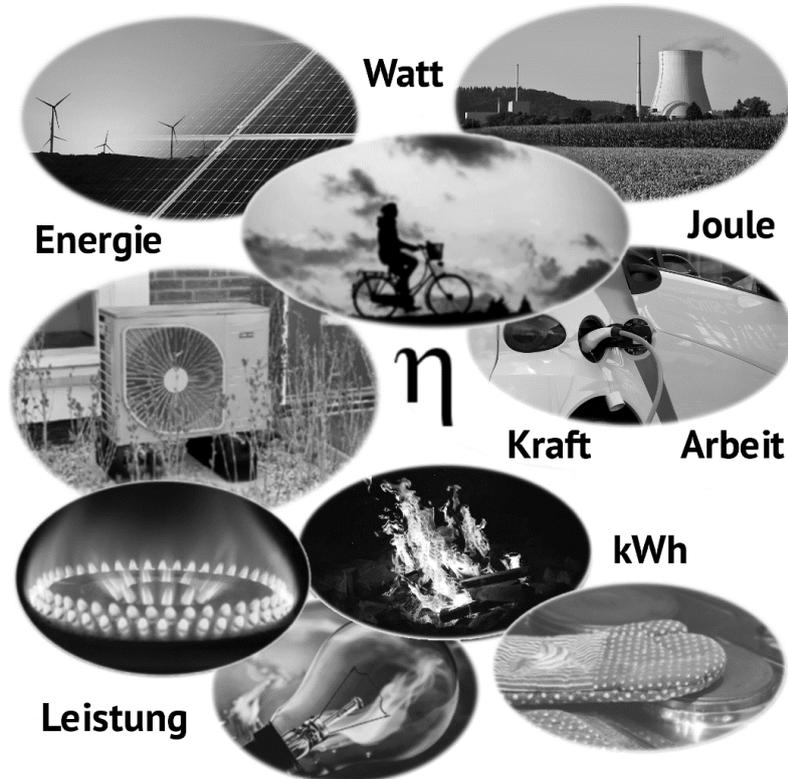


Energie im Alltag

verstehen, beurteilen, mitreden, handeln
... einfachste Mathematik (Grundrechenarten , Kopfrechnen)



Wer sich mit Klimawandel und nachhaltiger Energieversorgung ernsthaft auseinandersetzen will, braucht ein wenig Fachwissen. Wenn Sie sich auf diesem durchaus anspruchsvollen technisch-physikalischen Parkett unsicher fühlen, aber fundiert mitreden und rein privat sinnvolle Entscheidungen treffen wollen, kann es nicht schaden, sich kundig zu machen - gerne mit diesem Heft.

Dieses Heft gibt keine Ratschläge, diskutiert keine sozialen oder moralischen Aspekte, sondern versucht, in einfacher Sprache, mit simpler Alltagsmathematik und wenigen physikalischen Formeln einschlägiges Wissen und Verstehen zu vermitteln.

StDi.R. Franz Steinleitner, März 2023

Inhaltsverzeichnis

Hinweis, Anmerkungen, Vorwort	
Grundlegende Begriffe und Fachausdrücke	01
Ein wenig Prozentrechnen	02
Was ist Kraft ?	04
Was ist Arbeit ?	06
Was ist Energie ?	07
Was ist Leistung ?	09
Formeltabelle mit Praxisbeispiel	10
Eine wichtige Zahl, der Wirkungsgrad η	11
Unsere Energie – woher nehmen und was kostet sie?	12
Konkrete Beispiele: Versteckte und unnötige Verbraucher	13
Kochen	13
Pedelecs	14
Die Physik von Photovoltaik und Solarthermie	16
Photovoltaik-Anlagen für das Einfamilienhaus	17
600 kWp Balkon-Photovoltaikanlage	19
Solarthermie	20
Solarauto	21
Batterie-Elektroauto vs Verbrenner	22
Einblick in der Welt der Atome und Elektrizität	23
Rechenbeispiele Haushalt, Elektroauto	26
Wärmepumpe	27
Wie viel Energie steckt in welchem Medium?	28
Heizen mit Holz	29
Weiterführende Fakten, Einblicke, Ausblicke, private Ansichten	30

© StD_{IR} Franz Steinleitner, Februar 2023

Für meine Frau und meine Tochter

Bildmaterial Deckblatt: bearbeitete Komposition gemeinfreier Pixabay-Bilder.

Um Papier zu sparen und die Kosten gering zu halten, ist das Heft in Schwarz-Weiß gehalten und ohne Bilder. Einschlägiges Bildmaterial finden Sie zuhauf im Internet.

Hinweise:

Dem Zweck des Heftes gemäß verwende ich Alltagssprache und Alltags-Mathematik. Generell stelle ich alles so knapp und einfach wie möglich, aber so genau wie nötig dar. Um dem Alltag gerecht zu werden, wechsele ich salopp zwischen Sprache und Symbolik, schreibe also beispielsweise für „ein Quadratmeter“ symbolisch mal 1 qm oder 1 m².

Das mathematische Zeichen \approx bedeutet ungefähr oder gerundet, wie bei $3,46 \approx 3,5$.

Das Zeichen \equiv bedeutet „nur formal anders dargestellt“, aber inhaltlich identisch.

Die Schreibweise $6 : 3 = 2$ ist problematisch, weil der Doppelpunkt für vieles benutzt wird, daher schreibe ich vorwiegend $\frac{6}{3} = 2$ oder im Fließtext $6 / 3 = 2$ statt $6 : 3 = 2$.

Persönliche Anmerkung:

Die meisten der hier präsentierten Beispiele haben einen komplexen Hintergrund und berühren neben physikalisch-technischen sowie finanziellen Aspekten auch soziale und gesundheitliche Bereiche. Auch wenn ich subjektive Wertungen zu vermeiden suche und niemanden belehren will, kann man wohl mitunter auf meine Einschätzung schließen. Sollte das absehbar sein, verwende ich Kursivschrift. Ich will aber nie dem Urteil des Lesers vorgreifen oder dieses manipulieren. Sie sollen stets anhand von Fakten selbst urteilen.

Warum ich dieses Heft geschrieben habe: weil ich mich nicht selten über fehlerhafte und irreführende mediale Beiträge ärgere und weil sogar in Fachartikeln Verwechslungen von Fachbegriffen und Fehlinterpretationen physikalisch-technischer Sachverhalte auftreten. Das bremst oder verhindert sinnvollen Fortschritt und provoziert öffentlich und privat Fehlentscheidungen.

Man sollte beispielsweise beim Auto die Geschwindigkeit auch nicht mit der Strecke verwechseln: Es ist erkennbar unsinnig zu sagen „Ich bin heute 120 km/h weit gefahren“. Bei „Die PV-Anlage bringt 10.000 Kilowatt im Jahr“ fällt das nicht allen auf. Und nur wenige bemerken, dass die Aussage „400 Windräder mit 5 Megawatt ersetzen ein AKW mit zwei Gigawatt Leistung“ in mehrfacher Hinsicht fragwürdig und für sich genommen wertlos ist. Sowas lesen Sie durchaus.

Mein Wunsch ist, dass Sie nach der durchaus fordernden Lektüre solche Ungereimtheiten erkennen und nicht auf Werbeversprechen reinfallen, sondern ausreichend zuverlässig und schnell Behauptungen überprüfen und damit auch im privaten Bereich fundierte Entscheidungen treffen können.

Gehen Sie lieber nicht ungeprüft davon aus, dass in den zuständigen Abteilungen der Politik und Industrie durchgehend kompetente Leute mit besten Absichten sitzen, dass jeder Handwerker ausreichend geschult ist und Sie nach bestem Wissen und Gewissen berät.

Vorwort

Man stolpert angesichts der globalen Probleme ständig über physikalische Begriffe wie Kilowattstunden, Gigawatt, Megajoule, Milliampèrestunden und ähnlich seltsame Wörter. Zudem werden komplexe Begriffe wie Energie im Alltag oft bis zur Inhaltslosigkeit zweckentfremdet und mit anderen wie Kraft verwechselt. „Energieverbrauch“ ist beispielsweise physikalisch falsch, wie sie wissen oder bald erkennen werden, ebenso wie die Aussage „Gewicht 60 kg“ - auch wenn sogar Physiker mitunter salopp so sagen. Denn das Kürzel kg für Kilogramm bedeutet Masse, aber das Gewicht ist eine Kraft, gemessen in Newton (bitte Geduld, klären wir gleich). Gewicht ist etwas, das Massen wegen der Gravitation, der naturgemäßen Anziehung aller Massen, auf der Oberfläche eines Planeten oder Mondes, verspüren. 60 kg Masse auf der Erde sind 60 kg Masse auf dem Mond und in der Schwerelosigkeit der ISS, also egal wo. Aber das Gewicht von 60 kg auf der Erde beträgt 600 Newton und auf dem Mond 100 Newton. In der ISS ist das Gewicht übrigens nur etwas geringer als auf der Erde (599,9 N), da sie in nur 400 km Höhe über dem Erdboden fliegt. Die Astronauten verspüren dieses minimal geringere Gewicht aber so gut wie nicht, weil es von der Zentrifugalkraft kompensiert wird – die ISS rast ja mit knapp 8 km/s auf einer Schleifenbahn um die Erde. Sie merken, die Dinge sind komplex.

Andererseits sollte jeder in dieser globalen Welt mit ihren Problemen wie Klimawandel und Energieversorgung einigermaßen kompetent die Entwicklung verfolgen, die in den Medien dargebotenen Fakten richtig einordnen, nach Möglichkeit mitbestimmen und zumindest im eigenen Umfeld möglichst sinnvoll handeln können.

Die multimediale Datenflut, widersprüchliche Expertenaussagen und die Tatsache, dass viele Informationen ungenau und mitunter schlicht falsch sind, erschwert das aber.

Eine Grundvoraussetzung für kluges Handeln ist Fachkompetenz. Nicht alle Berater und Verkäufer agieren ehrlich und sind ausreichend kompetent. Zudem kann man in bester Absicht mit zu wenig Kenntnis und Verständnis zu untauglicher Einschätzung kommen.

Ein großes Problem ist, dass man nicht selten Dinge gegeneinander werten muss, die naturgemäß nicht vergleichbar sind. Es gibt, wie beispielsweise beim Elektroauto mit einer Lithiumbatterie, soziale Aspekte, die nicht in Energie oder Geld ausdrückbar sind.

Dazu kommt, dass Leben nunmal Chaos bedeutet. Es regiert nicht selten der reine Zufall. Entwicklungen sind nur mit mehr oder weniger brauchbaren Wahrscheinlichkeiten abschätzbar und unvorhersehbare Ereignisse machen sorgfältigste Planung zunichte.

In vielen Fällen gibt es einfach keine logisch zwingende Entscheidung. Sie wird und muss individuell bleiben. Aber dies bitte in bester Absicht, unter Berücksichtigung aller gesicherten Fakten und mit Blick auf die sozialen Aspekte, nach bestem Wissen und Gewissen.

Wäre schön, wenn Ihnen dieses Heft dabei hilft. Sie werden schon einige „Energie“ und Geduld brauchen, aber es lohnt sich garantiert, in vielerlei Hinsicht, auch finanziell.

Ich wäre sehr dankbar für Hinweise auf Fehler aller Art: Post@Franz-Steinleitner.de
Fachleute mögen mir zudem nachsehen, dass ich mitunter bewusst stark vereinfache.

Vorweg ein paar unverzichtbare Begriffe und Fachausdrücke

Physikalische Größen sind komplexe Begriffe, mit denen Physiker die Welt beschreiben.

Sie kennen die drei elementarsten (von insgesamt sieben unabhängiger Grundgrößen):

die **Zeit** mit dem Kürzel t (time) und der Grund-Einheit Sekunden, kurz s

die **Masse** mit dem Kürzel m (mass) und der Einheit Kilogram, kurz kg

die **Strecke** mit den Kürzeln s (oder l, r, d, x, y, z ...) und der Einheit Meter, kurz m

Wir benötigen in diesem Heft vor allem die darauf aufbauenden (abhängigen) Größen:

Kraft mit dem Kürzel F (Force) und der Einheit **Newton N**

Arbeit mit dem Kürzel W (Work) und der Einheit **Joule J** (früher **Kalorien cal**)

Beliebte Alltagseinheit ist die **Kilowattstunde kWh**: **1 kWh = 3,6 Millionen Joule**

Energie, meist mit dem Kürzel E (Energy) und der Einheit ebenfalls **Joule J** bzw. **kWh**

Leistung mit dem Kürzel P (Power) und der Einheit **Watt W = Joule / Sekunde = J / s**

sowie den mathematischen Begriff **Wirkungsgrad** η , eine reine Zahl, meist in %

Bitte Geduld, was diese Größen bedeuten wird im Folgenden genau erklärt ...

Und bitte, nehmen Sie sich die Zeit, sich diese wenigen Symbole formal einzuprägen.

Es verwirrt ein wenig, dass beispielsweise das Kürzel für Arbeit und die Einheit der Leistung denselben Buchstaben W benutzen. Aber 5 W kann nur 5 Watt bedeuten, 5 Arbeit wäre ja Unsinn. Ebenso kann 5 s nur 5 Sekunden bedeuten, nicht 5 Weg.

Sie sollten auch gängige Zahlbegriffe kennen, man liest sie in alltäglicher Presse:

Kilo	k	für Tausend = 1000	Beispiele Kilogramm
Mega	M	für eine Million = 1000.000	Megawatt
Giga	G	für eine Milliarde = 1000.000.000	Gigajoule
Tera	T	für eine Billion = 1000.000.000.000	Terawattstunden
Milli	m	für ein Tausendstel = 1/1000	Millisekunde
Mikro	μ	für ein Millionstel = 1/1000.000	Mikrometer

Sie werden bald wissen, dass 1 Watt = 1 W = 1 J / 1s = 1 J/s ist, und das daher gilt:

$$1 \text{ kWh} = \mathbf{1 \text{ Kilowattstunde}} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3.600.000 \text{ J} = \mathbf{3,6 \text{ MJ}}$$

Um den Überblick über die Nullen nicht zu verlieren, benutzt man oft die Schreibweise $1000.000 = 10^6$ für die Million und $1/1000.000 = 10^{-6}$ für ein Millionstel (sprich 10 hoch)

$$\text{Beispiel: } 72,03 \text{ MJ} = 72.030.000 \text{ J} \approx 72 \cdot 10^6 \text{ J} = \frac{72.000.000 \text{ J}}{3.600.000 \text{ J/kWh}} = 20.000 \text{ Wh} = 20 \text{ kWh}$$

Beachten: der Punkt trennt Dreiergruppen: $1.234.567,89 \text{ m} \approx 1.234.568 \text{ m} \approx 1.235 \text{ km}$

Unverzichtbare Mathematik: **Prozent %**

% sind nichts weiter als eine seltsame Zahlendarstellung. Vergessen Sie den „Dreisatz“, das ist eine Krücke, die wir nicht brauchen und die bei anspruchsvollen Fragen versagt. Und wenn ich Ihnen noch einen Rat geben darf: rechnen Sie soviel wie nur möglich im Kopf, mit Bleistift und Schmierblatt, ohne Taschenrechner. Oft genügen Abschätzungen.

Prozentrechnen heißt vergleichen – mittels einer Division

Vergleichen kann man auf zwei Weisen: durch Subtraktion und Division.

Durch Subtraktion sieht das so aus:

6 ist um 2 weniger als 8, ebenso wie 79 um 2 weniger als 81 ist.

Das ist nicht hilfreich, denn der Unterschied ist im ersten Fall viel bedeutender.

Der Vergleich durch Division ist aussagekräftiger: $\frac{\text{Was wird verglichen}}{\text{Womit wird verglichen}}$

Beispiel: Vergleichen wir 6 mit 8 durch eine Division, wie groß ist 6 im Vergleich zu 8?

$$\frac{6}{8} = \frac{3}{4} = 0,75 = \frac{75}{100} = 75 \text{ Hundertstel} = 75 \text{ pro Hundert} = 75 \text{ pro centum (lat.)} = 75\%$$

Das bedeutet: 6 bezüglich 8 ist $6/8 = 3/4 = 0,75 = 75\%$. Also 6 kg sind 75% von 8 kg.

Aber 78 ist $78/81 \approx 0,962 = 96,2 / 100 = 96,2\%$ von 81, liegt also viel näher an 81.

Und wie berechnet man beispielsweise 64 % **von** 8?

Ganz einfach: **von** bedeutet immer **mal**. Beispiel: das Dreifache **von** 2 ist $3 \cdot 2 = 6$

Also, 64% von 8 = $0,64 \cdot 8 = 5,12$ und 325% von 0,40 = $3,25 \cdot 0,4 = 1,3$

Machen sie sich bitte klar:

$0,23 = 23/100 = 23\%$	$0,04 = 4/100 = 4\%$	$5,64 = 564/100 = 564\%$	$0,0029 = \dots \approx 0,3\%$
------------------------	----------------------	--------------------------	--------------------------------

Prozent sind nur eine andere Art der Zahlendarstellung: $18/5 = 3,6 = 360/100 = 360\%$

Beispiel: $27 / 15 = 9 / 5 = 1,8 = 180 / 100 = 180\% = 100 / 100 + 80 / 100 = 100\% + 80\%$

Das bedeutet, 27 ist um 80% von 15, also $0,8 \cdot 15 = 12$ mehr als 15

oder noch anders: $27 = 180\% \text{ von } 15 = 180\% \cdot 15 = 1,80 \cdot 15 = 27$

Die entscheidende Frage ist immer, was sind die sogenannten „100%“

Die „100%“ sind das, womit verglichen wird, das, was im Nenner des Bruches steht.

Im gerade betrachteten Beispiel war das die 15.

Merken Sie sich einfach: $X\% = \frac{X}{100} = \frac{\text{Was wird verglichen}}{\text{womit wird verglichen}}$

Ergänzend und übungshalber ein paar Alltagsbeispiele:

13 % von 35 € sind $13\% \cdot 35 \text{ €} = (13/100) \cdot 35 \text{ €} = 0,13 \cdot 35 \text{ €} = 4,55 \text{ €}$

45 € + MWSt (19%) = $45 \text{ €} + 19\% \cdot 45 \text{ €} = 45 \text{ €} + 0,19 \cdot 45 \text{ €} = 1,19 \cdot 45 \text{ €} = 53,55 \text{ €}$.

Merken Sie sich: **Preis brutto = 1,19 · Preis netto**

Und hier eine der berühmten Fallen: 100 € Brutto ohne MWST sind NICHT 81 €, sondern wegen $\text{Brutto} = 1,19 \cdot \text{Netto}$ ist **Preis netto = Preis brutto / 1,19**.

Wer's nicht glaubt: $81 \text{ €} + 19\% \text{ von } 81 \text{ €} = 1,19 \cdot 81 \text{ €} = 96,39 \text{ €}$... und nicht 100 €.

51,17 € inkl. MWSt sind $51,17 \text{ €} / 1,19 = 43 \text{ €}$ ohne MWSt, also Netto

64 € weniger 20% sind 80% von 64 €, also $80\% \cdot 64 \text{ €} = 0,8 \cdot 64 \text{ €} = 51,20 \text{ €}$

Der beliebteste Fehler besteht darin, unbemerkt den Nenner, die „100 %“ zu wechseln.

Beispiel: 20% Nachlass und dann nochmal 10% Nachlass sind nicht 30% Nachlass, sondern: Endpreis = 90% von 80% von Anfangspreis = $0,9 \cdot 0,8 \cdot \text{Anfangspreis} = 0,72 \cdot \text{Anfangspreis} = 72\% \text{ vom Anfangspreis}$, und das bedeutet 28% Nachlass. Die 10% beziehen sich nicht auf den Anfangspreis, sondern auf 80% vom Anfangspreis.

Vorab ein für dieses Heft wichtiges Anwendungsbeispiel: **Effizienz (Wirkungsgrad)**

Von der Sonnenstrahlung treffen 1360 Joule (eine Energiemenge) pro Sekunde auf einen Quadratmeter oberhalb der ungefähr 500 Kilometer dicken Lufthülle der Erde. Die Gase, der Wasserdampf und der Staub der Luft absorbieren je nach Wetterlage, Ort und Zeit ungefähr 50% der Strahlung. Wenn man die verbleibenden 50% der Strahlung auf der Erdoberfläche mit einer Solarzelle auffängt, verliert man physikalisch und technisch bedingt bei derzeitiger Technik ca. 80%. Will man den von der Solarzelle erzeugten „Strom“ (genauer die elektrische Leistung) über eine gewisse Zeit sammeln (als elektrische Energie) und dauerhaft und transportabel speichern, wäre eine Möglichkeit, per Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen. Damit kann man immerhin 80% der Solarzellenleistung abgreifen. Wenn wir mit diesem Wasserstoff eine Brennstoffzelle betreiben, verwandelt sie 40% in elektrische Energie, 50% in Wärme. 50% der elektrischen Energie gelangen per Elektromotor (mit Wirkungsgrad 90%) über die Räder auf die Straße. Rechnen wir mal nach, wieviel Prozent der ursprünglichen Sonnenstrahlung auf diesem komplexen Umwandlungsweg zum reinen Fahren dienen:

$0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 0,0144 = 1,44 \%$, also irgendwas zwischen 1% und 2%.

Da bedarf es wohl noch einiger Forschung, um deutlich mehr herauszuholen.

Was ist Kraft ?

Der erste wirkliche Physiker, Galileo Galilei, bemerkte durch unvoreingenommenes Beobachten und Experimentieren etwas sehr Bedeutungsvolles:

Massen ohne jeden äußeren Einfluss würden sich konstant und geradlinig bewegen.

Das ist in unserem Umfeld nicht so ohne Weiteres zu sehen, weil im Alltag immer etwas seine Hand im Spiel hat, das man nicht gänzlich vermeiden kann (und will): **Reibung**.

Reibung ist ein komplexes mechanisches, chemisches und atomares Phänomen, das sich mathematisch-physikalisch nur grob mit Näherungsformeln beschreiben lässt und in den meisten Fällen praktisch mit stark reduzierten Modellen gemessen werden muss. Eine genauere Betrachtung würde für dieses Heft zu weit führen, brauchen wir nicht.

Wir nennen nun **Etwas, das die Bewegung einer Masse ändert, Kraft: Kräfte** bewirken also per Vereinbarung eine Geschwindigkeits- oder Richtungsänderung einer Masse - oder sie kompensieren bei konstanter Bewegung die Reibung oder andere Gegenkräfte.

Nebenbei: Man kann mit einfachen Worten nicht erklären, was eine „Masse“ ist ... Die hier einzig mögliche Beschreibung: „Das, was alles außer Licht gemeinsam hat.“ Eine Masse ist das, was man mit einer Waage misst. 1 Liter Wasser hat die Masse 1 kg.

Als Bezugsgröße, als sogenannte **Einheit der Kraft**, wählt man folgende Situation: Wenn eine Kraft das Tempo einer Masse von 1 kg pro Sekunde um 1 m/s = 3,6 km/h ändert, nennen wir das **1 Newton = 1 N** (zu Ehren des Physikers Isaac Newton).

Der Physiker schreibt dann $\frac{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ Newton} = 1 \text{ N}$

Hier tauchen die Größen **Geschwindigkeit** und **Beschleunigung** auf:

Geschwindigkeit v = $\frac{\text{zurückgelegte Strecke}}{\text{benötigte Zeitspanne}}$, symbolisch $\frac{\text{s}}{\text{t}}$, beispielsweise 10 m/s

Für die Praxis: 10 m/s = 36 km/h (bitte merken Sie sich diesen Umrechnungsfaktor 3,6)

Beschleunigung a = $\frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{benötigte Zeitspanne}}$, symbolisch $\frac{\text{v}}{\text{t}}$

Der Mathematiker schreibt (mit ein wenig Algebra) als Einheit $\frac{1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$

Überprüfen Sie es oder glauben sie es bitte einfach: 1 N/kg = 1 m/s².

Die Kraft 1 N ändert die Geschwindigkeit einer Masse von 1 kg in jeder Sekunde um 1 m/s = 3,6 km/h. Die Größe 1 N/kg ist eine Beschleunigung, nämlich 1 m/s².

Dazu ein anspruchsvolles Beispiel: Fallschirmspringer

Die Erde zieht mit ihrer Masse von knapp $6 \cdot 10^{24}$ kg auf ihrer Oberfläche eine andere Masse von 1 kg mit der **Gravitation** genannten Kraft von $9,80 \text{ N} \pm 0,02 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$ an.

Da die Erde keine perfekte Kugel mit zudem lokal unterschiedlicher Dichte ist, hängt diese **Ortsfaktor** genannte Größe $g = 9,80 \text{ N/kg} \pm 0,02 \text{ N/kg}$ vom Ort ab.

Ich verwende in diesem Heft $g \approx 10 \text{ N/kg} = 10 \text{ m/s}^2$, das ist hier ausreichend genau.

Es ist also **Gewicht = Masse · g** ... eine Kraft (die Massenanziehung Erde-Körper)

Auf dem Mond hätte nun 1 kg nur ein Sechstel dieses Gewichts, also $9,8/6 \text{ N} \approx 1,6 \text{ N}$.

Der Grund: Ortsfaktor auf der Mondoberfläche $g_{\text{MOND}} \approx 1/6$ Ortsfaktor auf der Erde g_{ERDE} .

Bitte beachten Sie gemäß Festlegung:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m/s}}{\text{s}} \text{ und damit } 10 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m/s}}{\text{s}} \text{ und } 10 \frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \frac{10 \text{ m/s}}{1\text{s}} = \frac{36 \text{ km/h}}{1\text{s}}$$

Ein Mensch mit 70 kg Masse hat ein Gewicht von ca. 700 N auf der Erdoberfläche.

Jedes dieser 70 kg - also der Körper insgesamt - würde im freien Fall aus beispielsweise 1 Kilometer Höhe ohne Luftreibung mit $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ beschleunigt, daher pro Sekunde um 36 km/h schneller werden und damit (teile ich Ihnen einfach mit) nach 14 Sekunden mit ungefähr 500 km/h am Boden ankommen – das ist natürlich viel zu schnell.

Luft bremst, dies umso mehr, je schneller man ist. Jeder Radfahrer spürt und weiß das. Dennoch würde man ohne Fallschirm aus 1 km Höhe mit ca. 200 km/h am Boden ankommen. Mit einem die Reibung erhöhenden Fallschirm sind es nur noch 25 km/h. Sportliche Leute können diesen Aufprall (wie beim einem Sprung aus 2,5 m Höhe) abfedern, wobei trainierte Fallschirmspringer die Vertikalbewegung durch Kippen des Schirms elegant in eine waagrechte Bewegung umsetzen und einfach auslaufen.

Es erstaunt, dass alle Massen ohne Luftreibung gleich schnell fallen würden. Das liegt an einem aus dem Alltag vertrauten Phänomen – der **Trägheit**, einer ebenso hilfreichen wie störenden Masseneigenschaft, die bewirkt, dass man umso mehr Kraft für eine bestimmte Beschleunigung braucht, je mehr Masse der Gegenstand hat.

Ausblick zum Thema Kräfte:

Die Massenanziehung (Gravitation) ist eine der drei elementaren Kräfte, auf denen alle Kräfte der Welt beruhen: Gravitation, Elektromagnetismus und Atomare Kräfte.

Für Nichtphysiker ist es kaum nachvollziehbar, dass man alle Kräfte in dieser Welt auf nur drei reduzieren kann. Wie das möglich ist, woher diese Kräfte kommen und wie sie wirken, ist auf Alltagsniveau und im Rahmen dieses Heftes nicht darstellbar, aber auch nicht zwingend nötig.

Die im Alltag neben dem Gewicht auftretenden Kräfte, auch das Phänomen Reibung, auch Körperkraft, beruhen erstaunlicher Weise - und überhaupt nicht direkt erkennbar - auf dem Elektromagnetismus. Das zu erläutern, ist hier schlichtweg unmöglich.

Was ist Arbeit ?

Wenn eine Masse mit Kraft über eine Strecke bewegt wird, nennen wir das Arbeit.

Als Bezugsgröße (Einheit) wählen wir die Bewegung von 1 kg mit der Kraft 1 N über die Distanz 1 m und nennen das 1 Joule = 1 J zu Ehren des Physikers James Prescott Joule.

Wir vereinbaren: **die Arbeit 1 Joule (kurz 1 J) = 1 N · 1 m = 1 Nm**

Wenn Sie einen 50 kg – Zentnersack mit konstanter Geschwindigkeit gegen die Erdanziehung über eine 3 m hohe Treppe schleppen – die Reibung lassen wir mal weg, haben sie $50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 3 \text{ m} = 1500 \text{ Joule} = 1,5 \text{ kJ}$ „Hubarbeit“ verrichtet.

Das Wort *geleistet* wäre hier falsch, denn Leistung beschreibt, wie schnell das ging!

Ohne dass Ihnen das bewusst wird, arbeitet ihr Körper jeden Tag ca. 10 Millionen Joule Das meiste, nämlich ca. 75%, also 7,5 MJ = 7.500 kJ, arbeiten das Herz, die Lunge und die Wärmeproduktionsanlage ihres Körpers (um die bekannten 37°C zu halten).

Wenn sie ohne Motorunterstützung mit 20 km/h radeln, kämpfen sie gegen ca. 10 N Roll- und Luftreibung. Auf völlig gerader Strecke und gleichmäßiger Fahrt bedeutet das über 25 km eine Arbeit von $10 \text{ N} \cdot 25.000 \text{ m} = 250.000 \text{ J} = 250 \text{ kJ}$, deprimierend wenig. Sollten sie dabei einen 500 m hohen Berg überwunden haben – bei 80 Kilogramm Gesamtgewicht (Körper plus Rad), sind es $250 \text{ kJ} + 80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 500 \text{ m} = 650 \text{ kJ}$.

Der im Alltag benutzte Arbeitsbegriff ist dem physikalischen nahe und brauchbar: wenn ein Handwerker arbeitet, bewegt er mit Kraft Massen. Und er benutzt Maschinen, die selber wieder mit Kraft den Bewegungszustand von Massen ändern.

Wenn sie beispielsweise mit einem Gabelschlüssel der Länge 30 cm und 50 N Armkraft (dem Gewicht einer Masse von 5 kg) eine Schraube mit 15 Umdrehungen gegen die Reibung reindreihen, haben sie $(2 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot \pi) \cdot 50 \text{ N} \cdot 15 \approx 1414 \text{ Joule} \approx 1,4 \text{ kJ}$ gearbeitet (ich nehme an, sie kennen die Formel $2 \cdot r \cdot \pi$ für den Kreisumfang).

Wenn sie ein Gewicht einfach nur halten, ist das scheinbar keine Arbeit, weil sich nichts bewegt. Der Tisch, auf dem was liegt, arbeitet ja offenbar nicht. Der nicht, aber sie.

Denn wir können Gewichte nicht halten wie ein Tisch. Unsere Muskeln müssen biologisch bedingt ständig mikroskopische Auf-Ab-Bewegungen ausführen.

Man erkennt dies am zunehmenden Zittern des Arms, wenn man einen schweren Gegenstand längere Zeit mit gestrecktem Arm halten soll.

Auch das gleichmäßige waagrechte Tragen einer Tasche wäre physikalisch keine Arbeit - die Kraft zeigt ja nicht in Wegrichtung, ist es aus aber aus dem genannten Grund doch. Selbst unbewegtes Nachdenken auf dem Sofa ist Arbeit, weil das Herz vermehrt Blut gegen die Schwerkraft und Reibung an den Gefäßwänden pumpen muss und weil zusätzlich chemische Prozesse ablaufen, bei denen Kräfte Massen bewegen.

Was ist Energie ?

Das ist ein mit wenigen Worten nicht fassbarer und nur schwer erklärbarer Begriff. Newton ahnte als erster, dass Arbeit etwas benötigt, das er „lebendige Kraft nannte“. Erst der Physiker und Arzt Dr. Julius Mayer erfasste in aller Klarheit vor 200 Jahren die Banalität, die alle schon immer vor Augen hatten und doch nicht realisierten:

Wenn Menschen, Tiere und Maschinen arbeiten sollen, brauchen sie einen „**Treibstoff**“. Je nach Lebewesen und Maschine ist das Nahrung, Öl, Gas, Kohle, Elektrizität, Wärme und vieles mehr. Ohne Nahrung oder allgemein Treibstoff ist Arbeit nicht möglich.

Diese interne Fähigkeit des Treibstoffs, Arbeit zu ermöglichen, nennt man **Energie**:
Energie vermittelt die Fähigkeit zu arbeiten (mit derselben Einheit Joule J)

Es gibt viele Formen von Energie:

Atomare Energie, Strahlung, chemische Energie (Öl, Gas, Kohle, Methan u. a.),
die Bewegung einer Masse, Höhenunterschied, elastische Verformung, Wärme ...

Grundsätzlich unterscheidet die Physik die Energie einer Masse in Bewegung (**kinetische Energie**) von der nicht direkt erkennbaren Energie eines Zustandes (**potentielle Energie**).

Entscheidend ist: **Bei den Energien gibt es Qualitätsunterschiede:**

Die hochwertigsten sind die atomare Energie und die Energieform Strahlung, speziell Licht. Die minderwertigste ist Wärme - umso minderwertiger, je tiefer die Temperatur.

Die Qualifizierung geschieht ganz einfach: **Wenn sich eine Form von alleine, ohne Einwirken einer äußeren Kraft in eine andere verwandelt, ist erstere höherwertig.**

Beispiel: Wenn etwas zu Boden fällt, verwandelt sich Lageenergie ohne unser Zutun in Bewegungsenergie und beim Aufprall in Wärmeenergie. Lageenergie ist also edler als Wärmeenergie. Dieser Vorgang ist **irreversibel**, er läuft nicht Energiezufuhr in der Gegenrichtung ab. Um Energie wieder in eine höherwertige Form zu verwandeln, muss man aktiv arbeiten. **In beiden Fällen wird Energie weder verbraucht noch erzeugt.**

Arbeit bedeutet also nicht den Verbrauch von Energie, sondern deren Umwandlung.

Wenn Menschen, Tiere und Maschinen arbeiten, verwandeln sie letztlich hochwertige Energie in minderwertige und letztlich nicht mehr weiter nutzbare Wärmeenergie.

Die Physiker sind überzeugt, weil alle bisherigen Experimente es bestätigen:

Man kann Energie nicht verbrauchen, nur umwandeln. Die Umwandlung ist Arbeit.

Nebenbei: Energieangaben machen nur mit Angabe eines **Bezugsniveaus** Sinn!

Diese Angabe ergibt sich meist unausgesprochen, aber leider nicht immer.

Wenn zwei Autos exakt hintereinander herfahren, ist ihre Bewegungsenergie gegeneinander Null, im Gegenverkehr aber erheblich:

bei jeweils 100 km/h und 1,6 Tonnen Masse wären es todbringende 1.234.567,89 Joule.

So funktionieren das Universum und das Leben energetisch:

Zu Beginn seiner Existenz finden wir Strahlungsenergie und materielle Energie in Form von Gasen, woher auch immer. Manche verweisen auf einen Gott, die Physiker reden von Quantenfluktuation im Vakuum. Die erste Erklärung ist keine, die zweite nur für Physiker verständlich, experimentell ungesichert und für den Alltag überhaupt nicht hilfreich.

Jedenfalls führen Kräfte, die wir nur ansatzweise verstehen dazu, dass aus dieser Strahlungsenergie und den Gasen Sterne entstehen und wieder vergehen. Unsere Sonne ist ein kleiner. Größere als sie vergehen nicht einfach, sie explodieren als Supernovas. Wir leben zu fast 100% von der Strahlungsenergie der Sonne, derzeit vor allem von den Ressourcen Kohle, Gas, Öl, Methan, die sie mit ihrer Strahlung in einigen Milliarden Jahren auf der Erde produziert hat. Der klägliche Rest ist atomare Energie in Form von Uran 235, entstanden in einer Supernova, umgewandelt in AKWs in Wärme und mittels Turbinen und Generatoren in elektrische Energie, in der Alltagssprache „Strom“.

Leben basiert also physikalisch auf der Umwandlung edler Strahlungsenergie der Sonne in zunehmend minderwertige Energie und letztlich nicht mehr nutzbare Wärmeenergie.

Die Physiker glauben, dass die beim Start des Universums vor gut 13 Milliarden Jahren bereitgestellte Energie des Universums unveränderlich ist, langfristig nicht ins Nichts verschwinden und nicht aus dem Nichts entstehen kann: sie glauben an einen **Energieerhaltungssatz** in kräftemäßig abgeschlossenen Systemen, wobei die Qualität der Gesamtenergie ständig abnimmt und nur lokal zunehmen kann.

Leben ist ein lokaler Qualitätsanstieg der Energie auf Kosten der universellen Qualität. Wie das möglich ist und wie das funktioniert, versteht derzeit niemand, aber es ist mathematisch im Rahmen der sogenannten Chaostheorie nachvollziehbar. Chaotische Systeme (die Natur ist ein Sammelsurium chaotischer Systeme) können, im strengen Sinne zufällig, lokal Ordnung auf Kosten insgesamt anwachsender Unordnung erzeugen.

Da nun Arbeit nur die Verwandlung von Energie in eine andere Form ist, spricht man von **Energieumsatz** und gibt der Energie die Einheit der Arbeit: Joule.

Bitte einprägen: **Arbeit ist Energieumsatz, sie verwandelt Energie in eine andere Form. Die Umwandlung von Energie in eine andere Form liefert Arbeit oder erfordert Arbeit.**

Früher benutzte man die **Kalorie**. Eine Kalorie = 1 cal ist einfach gesagt die Energie, die nötig ist, um 1 cm³ Wasser (Masse 1 Gramm) um 1 Grad zu erwärmen: 4,2 Joule.

Unsere 10.000 kJ täglicher Nahrungsbedarf sind umgerechnet ca. 2400 kcal. Mit einer halben Stunde flottem Lauf verwandeln sie grade mal die 300 Kilojoule bzw. 70 kcal chemische Energie eines Käsebrottes oder eines Gebäckstücks mittels mechanischer Arbeit letztlich in eine andere chemische Form und begleitend in Wärmeergie.

Was ist Leistung ?

Wir sind eine Leistungsgesellschaft. Sie erwarten nicht nur, dass der Handwerker seine Arbeit ordentlich erledigt, sondern auch, dass er sie in einer gewissen Zeit schafft. Und: alle Prüfungen setzen ein Zeitlimit. Das müsste nicht so sein, wir wollen es aber so.

Sinnvoller Weise definiert man: **Leistung $P = \frac{\text{Verrichtete Arbeit}}{\text{Benötigte Zeitspanne}} = \text{symbolisch } \frac{W}{t}$**

Die Einheit ergibt sich von selbst, es ist eine sogenannte abgeleitete Einheit: $1 \text{ J} / 1 \text{ s}$

Wir ehren mit diesem 1 J/s den Physiker James Watt: $1 \text{ J} / 1 \text{ s} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$

Machen Sie sich bitte klar: **1 Watt = 1 W (eine Leistung) = 1 J/s**

Es folgt formal: **$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ Ws}$** , die Wattsekunde ist eine Energie!

Während ich grade Daten recherchiere, lese ich auf einer offiziellen Seite wieder diesen typischen Unfug, mit dem man trefflich Inkompetenz oder Schlamperei beweist:

„Das Gehirn braucht pro Stunde 20 Watt“. Meditieren sie mal über diese Aussage ...

Das ist ähnlich unsinnig wie „Dieses Auto fährt 100 km/h pro Stunde“.

Es ist so: Das Gehirn leistet $20 \text{ W} = 20 \text{ J/s}$... in jedem Moment, in dem es arbeitet.

Es setzt in jeder Sekunde, in der es arbeitet, die Energie $20 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 20 \text{ J/s} \cdot 1 \text{ s} = 20 \text{ J}$ um.

Wenn sie also einen Zentnersack über 3 m vom Erdgeschoß in den ersten Stock schleppen, ist das eine Arbeit von $50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 3 \text{ m} = 1500 \text{ J}$. Wenn Sie das in 10 Sekunden schaffen, ist das eine Leistung von $1500 \text{ J} / 10 \text{ s} = 150 \text{ W}$.

Das ist schon ganz ordentlich.

Sie erinnern sich: $50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 500 \text{ N}$ ist das Gewicht des Zentnersacks.

Unser Körper investiert in Herzschlag, Atmung und Wärmeregulierung ca. 60 Watt, das ist die Ruheleistung im Schlaf. Leichtes Joggen erfordert zusätzlich ungefähr 100 W.

Eine wichtige Frage ist, wie lange man eine bestimmte Leistung halten kann.

Radrennfahrer schaffen bei harten Anstiegen eine halbe Stunde lang bis zu 500 W und im Sprint sagenhafte 2000 W, aber eben nur für ein paar Sekunden.

Wer eine halbe Stunde auf dem Fahrrad mit 150 Watt fahren kann, ist sehr sportlich. Er hat $150 \text{ W} \cdot 1800 \text{ s} = 150 \text{ J/s} \cdot 1800 \text{ s} = 270.000 \text{ J}$ gearbeitet und damit bescheidene 270 kJ Nahrungsenergie (die Energie in einer Käsesemmel) in minderwertige Wärme verwandelt, aber auch begleitend Muskulatur aufgebaut. Sport dient also weniger dem Abnehmen (auch, weil man dabei Appetit bekommt), sondern dem Formen der Figur. Sie nehmen sekundär ab, weil Muskeln auch ohne Sport mehr Energie „verbrennen“. Zum Nachschlagen:

Größe	übliche Einheiten	Beispiel
Kraft	Newton N	1 l Wasser hat ein Gewicht von ca. 10 N
1 Newton ändert die Geschwindigkeit einer Masse von 1 kg in 1 Sekunde um 1 m/s		
Arbeit	Nm \equiv Joule J \equiv Ws	1 kWh = 3,6 Millionen Joule Energieumsatz
Arbeit bedeutet, dass mit Kraft eine Masse längs eines Weges bewegt wird		
Energie	früher 1 Kalorie = 4,2 Joule	2kW-Heizung „verbraucht“ 10 kWh in 5h
Energie vermittelt die Fähigkeit zu arbeiten, mit Kraft etwas zeitlich zu verändern. Sie geht dabei nicht verloren, sondern wird in eine weniger edle Form umgewandelt.		
Leistung	Watt W \equiv J/s	Sportliches Laufen fordert 100 bis 150 W
<i>Leistung beschreibt, wie schnell eine Arbeit erfolgt, hat mit der Energie nichts zu tun.</i>		

Erlauben Sie bitte, dass ich ab jetzt manchmal statt „Umwandlung der Energie in eine minderwertigere Form“ so salopp wie falsch - aber leider üblich - „verbrauchen“ sage.

Anwendungsbeispiel für all diese Formeln

Wie weit kommt man und wie lange benötigt man, um die 10 Megajoule unseres Tagesbedarfs an Energie mit einem flottem Dauerlauf auf ebener Strecke umzusetzen?

Berechnungsannahme: Stundenlang laufen mit zügigen 9 km/h und 100 Watt reiner Bewegungsleistung (durchschnittlicher Praxiswert) ist schon eine Herausforderung ...

Zunächst verbraucht unser Körper in Ruhe bereits 75% der Nahrungsenergie, bleiben noch 2,5 Mj = 2500 kJ = 2.500.000 Joule.

Leistung = Energieumsatz / Zeitspanne, symbolisch $P = E / t$

Mit etwas Nachdenken gelangt man zu $t = E / P = 2.500.000 \text{ J} / 100 \text{ W} = 25.000 \text{ s}$.

Das bedeutet (25.000 / 3600) Sekunden \approx 6,94 Stunden, knappe 7 Stunden Laufzeit.

In dieser Zeit schafft man ein Strecke $s = v \cdot t = (9 \text{ km/h}) \cdot 7 \text{ h} = 63 \text{ km}$.

Das erfordert schon eine beachtliche Kondition und Langzeittraining.

Wie wäre das bei einem Berglauf mit durchgängig 8% Steigung, wenn ein 75 kg schwerer Leistungssportler Läufer mit 7 km/h an seine Leistungsgrenze geht?

Jetzt muss er im Wesentlichen sein Gewicht über 8% einer noch unbekanntem Strecke l heben: das erfordert $0,08 \cdot l \cdot 75 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg}$ Energie aus dem Topf mit 2.500.000 J.

Sie finden mit ein wenig Nachdenken und Herumrechnen sicher heraus:

der Berg müsste knapp 42 km lang und der Läufer knappe 6 Stunden unterwegs sein.

Jetzt ahnen Sie, was es bedeutet, einen Marathon in zwei Stunden zu laufen ...

Wirkungsgrad η (sprich äta)

Die Reibung und andere technisch-physikalisch-chemische Phänomene bewirken, dass bei jeglicher Umwandlung der zur Verfügung stehenden Energie nicht alles in die **erwünschte Arbeit** mündet, sondern dass ungewollt und unvermeidbar ein Teil in nicht nutzbare Wärme verwandelt wird oder andere Verluste auftreten.

Die Frage ist dabei immer, was erwünscht ist. Das ist meist Interpretationssache.

Wenn ich beispielsweise die Abwärme eines mit Benzin oder Gas betriebenen Stromgenerators ausnutze, ist er **nützlicher**, er bekommt einen besseren „**Wirkungsgrad**“.

Wenn ein Auto konstant fährt, überwindet der Motor die Luft-, Straßen- und Getriebe- reibung, heizt oder kühlt das Wageninnere und sorgt für allerlei weiteren Komfort. Beim besten Auto werden nur 20% der chemischen Energie des Treibstoffs für das reine Fahren verwendet: das Auto hat einen fahrtechnischen Wirkungsgrad von nur 20%.

30% dienen der internen Funktion und dem Komfort wie einer Klimanlage und Radio.

Wenn man dies dazunimmt, hat das Auto 50% Wirkungsgrad. 50% der Energie des Treibstoffs gehen als nutzlose Wärme verloren, das meiste durch den Auspuff. Wenn es nur darum geht, von A nach B zu kommen, ist das Auto ein mieses Gerät: $\eta = 0,2 = 20\%$

- auch, weil man, um ein paar Leute mit je ca. 75 kg zu befördern, über eine Tonne Automasse durch die Gegend karrt. Autos sollten leichter werden, viel leichter!

Genau das ist u. a. ein Manko des batteriebetriebenen Elektroautos: ein Drittel des Gewichts stammt von der Batterie. Und das reduziert trotz des sehr effektiven Elektromotors die Fahreffizienz des Elektroautos erheblich.

Da ist das Fahrrad weit überlegen (90%), sogar das E-Bike, aber nicht so komfortabel.

Aber das sind nur Teilaspekte komplexer subjektiver Umstände und zudem Ansichtssache.

Bitte gut einprägen: **Wirkungsgrad $\eta = \frac{\text{erwünschte Arbeit}}{\text{gesamter Energieumsatz}}$**

Denken sie nach: **Der Wirkungsgrad ist immer kleiner 1 = 100/100 = 100%**

Nochmal: Entscheidend ist das Wort **erwünscht** und was man zum **Energieumsatz** zählt.

Mit cleverer Interpretation des Energieumsatzes kommen Schlaumeier auf über 100%.

Es ist ohnehin haarsträubend, was man im Zusammenhang mit Kraft, Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad so liest und hört. Wenn Sie hier unbedarft sind, werden Ihnen dumme oder fragwürdige Leute eine Menge Unfug erzählen und Sie über den Tisch ziehen.

Man muss aber auch bedenken und zugeben: die Zusammenhänge sind oft sehr komplex.

Unsere Energie – woher nehmen ?

Bitte beachten Sie: Naturwissenschaft macht keine Aussagen zu moralischen, sozialen oder politischen Aspekten und finanzielle Berechnungen müssen subjektiv eingeordnet werden. Dennoch muss und kann man sich an belastbaren Fakten orientieren.

Ich werde im Folgenden großzügig gerundete, aber brauchbare Daten verwenden. Falls Sie selber nachforschen wollen - was Sie sollten, bedenken Sie bitte: Informationen im Internet sind oft veraltet oder unbrauchbar oder schlicht falsch. Klären Sie immer vorweg: wann wurde das geschrieben, wer hat das geschrieben, wer bezahlt den Schreiber, die Webseite, die Studie. Belastbare Daten zu recherchieren, ist schwierig. Die hier verwendeten Daten sind nach meinem Dafürhalten ausreichend belastbar.

Die Menschheit bezieht derzeit ihre Energie global zu knapp 20% regenerativ und den Löwenanteil von 80% durch Ausbeutung der in Jahrmilliarden auf sehr komplexe Weise in Öl, Gas, Methan, Kohle und andere Ressourcen verwandelten Sonnenenergie.

Zunächst ein paar amüsante Zahlen: **Was kostet derzeit (2022/23) Energie ?**

Nun, in **1 Liter Diesel** (Benzin) stecken knapp 10 kWh chemische Energie. Bei einem Preis von 2 € für den Liter kostet 1 Kilowattstunde also ca. **20 Ct**. Ärgerlich am Rande ist: die Aufbereitung aus Erdöl bis zur Lieferung an die Tankstelle verschlingt pro Liter Treibstoff über 1 kWh, mehr als 10% der gespeicherten Energie.

Strom kostet fast **50 Ct / kWh**, ist also mehr als doppelt so teuer.

Gas kostet um die **15 Ct / kWh**, was sich allerdings schnell und erheblich ändern kann.

Interessant ist, was **menschliche Arbeit** kostet:

Wenn jemand ordentlich arbeitet -mit 100 Watt- und das eine Stunde lang, sind das $0,1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 0,1 \text{ kWh}$. **1 kWh menschliche Arbeit kostet daher 500 €** (bei 50 € / Std).

Sonnenstrahlung kostet nichts, aber die Umwandlung ist verlustreich und teuer.

Die Sonne stellt an sich mit ihrer Strahlung das Zehntausendfache der Energie zur Verfügung, die wir global brauchen. Das Problem besteht darin, die Strahlungsenergie der Sonne aufzufangen - derzeit können wir das nur mit Windrädern, Solarzellen (beide erzeugen Strom) und Solarkollektoren (erzeugen Wärme) - und möglichst verlustfrei in eine gefahrlos nutzbare, transportable und langfristig speicherbare Form umzuwandeln. **Dabei tauchen zwei gewaltige technische Herausforderungen auf: Wir haben derzeit weder effiziente noch ausreichende Strom- oder Wärmespeicher. Und: sowohl Windrad wie Solarpanel haben einen - physikalisch bedingt - nicht mehr bedeutsam steigerbaren Wirkungsgrad von nur gut 20%.** Die natürliche Photosynthese schafft aber auch nur 6 %.

Versteckte elektrische Verbraucher

Ohne dass wir das bewusst realisieren, laufen im Haushalt etliche unverzichtbare Geräte: die Fritzbox mit Repeater, Ladegeräte, Standby-Schaltungen von Radio, TV, Stereoanlage, Telefon und andere versteckte Dauerstromverbraucher. Je nach Lebensführung und Umsicht dürften das 50 W bis über 100 W sein. Allein die Fritzbox mit Repeater braucht im Schnitt 20 W. Aber die muss laufen, zumindest tagsüber. Nicht zu vergessen die Kühlkombi mit typisch 50 W, die aber nicht immer läuft.

Vom sinnlos laufenden PC mit über 200 W, vor dem niemand sitzt, dem Fernseh mit 100 W, in den keiner schaut, dem Radio mit 50 W, dem keiner zuhört, dem technisch veralteten Bügeleisen, das eine halbe Stunde mit 2500 W sinnlos die Umgebung wärmt, weil der Nutzer am Telefon ratscht, von unnütz brennenden Lampen und anderen Energieschleudern will ich gar nicht reden. Da genügt aber Umsicht und Mitdenken, das muss ja nicht sein.

Die vorweg genannten, versteckt laufenden durchschnittlich 100 W kosten Sie jährlich derzeit ungefähr $0,1 \text{ kW} \cdot (365 \cdot 24) \text{ h} \approx 880 \text{ kWh}$ Energie, also $880 \cdot 0,50 \text{ €} = 440 \text{ €}$. Das können Sie kaum reduzieren, den zweitgenannten gedankenlosen Verbrauch schon.

Küche - Kochen - Elektroherd.

Am effizientesten und praxisiertesten ist der Induktionsherd. Er ist in der Anschaffung teuer, aber zum Ausgleich dafür braucht er nur billige Eisentöpfe. Der Wirkungsgrad eines Induktionsherdes liegt bei über 90%. Das bedeutet, er setzt 90% der elektrischen Anschlussleistung in Heizleistung und damit in Wärme um - wenn Sie den passenden Topf mit ebenem Boden aufsetzen. Manche Platten erkennen sogar, wo der Topf steht und wie groß er ist. Die Heizleistung der Herdplatten können Sie von 500 Watt bis zu nicht ganz ungefährlichen 7500 Watt (bei einigen Modellen) steigern.

1 Liter Wasser benötigt für 1 Grad Temperaturanstieg 4200 Joule. Wollen Sie also Leitungswasser von 15°C zum Kochen bringen, müssen Sie $4,2 \text{ kJ/1}^\circ \cdot 85^\circ \approx 360 \text{ kJ}$ Wärmeenergie zuführen. Wenn Sie das mit maximaler Stufe $7,5 \text{ kW} = 7,5 \text{ kJ/s}$ tun, dauert es $(360 / 7,5) \text{ Sekunden} \approx 50 \text{ Sekunden}$, also knapp eine Minute.

Seine Energieaufnahme betrug wegen der 90% Wirkungsgrad der Herdplatte etwas mehr: $(360 / 0,90) \text{ kJ} = 400 \text{ kJ} = (400 / 3600) \text{ kWh} = 1/9 \text{ kWh}$. Bei 50Ct / 1kWh Strompreis kostet Sie das Erhitzen von 1 Liter Wasser auf 100°C daher $0,50 \text{ €} \cdot 1/9 \approx 5 \text{ Ct}$.

Es gibt eine einfache Stromverbrauchsregel: „Kleinvieh macht auch Mist“ und **alles was heizt oder kühlt, ist ein „Stromfresser“**. Die Betriebsdauer ist entscheidend.

Pedelecs - gerne fälschlich E-Bikes genannt.

E-Bikes sind zulassungspflichtige Fahrräder, die auch ohne Tretunterstützung fahren. Es gibt nur wenige Umstände und Situationen, in denen sowas Sinn macht.

Bei einem Pedelec müssen Sie treten, damit es fährt. Die Modelle arbeiten recht unterschiedlich, aber im Wesentlichen verstärkt der Motor in vier Stufen ihre Tretkraft um das 1,5 bis 4-fache, je nach Modell auch mehr. Vereinfacht: der Motor macht in Stufe vier aus Ihren 100 W Tretleistung mit der Energie der Batterie 400 W effektive Leistung.

Ein Fahrrad ist in vielerlei Hinsicht eines der effizientesten mechanischen Geräte, das je erfunden wurde. An sich gilt das auch für Pedelecs, auch wenn der Lithium-Ionen-Akku ein mieses Teil ist, weil er viel zu wenig Energie in zu viel Masse speichert - abgesehen von den generellen Lithium- und Kobaltproblemen der Akkus.

In einem Pedelec-Akku sind grade mal 650 Wh in 3,5 kg. 1000 Wh in ½ Kg, das wär's. Dieses Problem haben derzeit alle Batterien und Akkus, besonders die eines E-Autos. Dazu kommt, dass man Akkus nur begrenzt oft aufladen kann (beim Fahrrad 500 bis 1000-mal) und dass sie auch ohne Benutzen nach etlichen Jahren erheblich an Speichervermögen verlieren. Ein Pedelec-Akku ist gerade mal 6 Jahre gut brauchbar.

Wie weit kommt man mit einem 650 Wh Akku?

Wie weit man kommt, hängt natürlich von vielen Parametern ab und ist nicht generell angebar. Wie weit kommt man maximal? Versuchen wir, dies abzuschätzen:

Zu 10 N Straßenreibungswiderstand kommen bei Windstille und aufrechter Fahrweise auf ebener Strecke mit 20 km/h weitere 10 N Luftwiderstand, zusammen 20 N Reibung. Wenn man 1 Stunde lang 20 km/h fährt und dabei eine Kraft von 20 N ausübt, ist das eine Arbeit von $20 \text{ N} \cdot 20.000 \text{ m} = 400.000 \text{ J}$. In jedem Moment bedeutet das eine Leistung von $400.000 \text{ J} / 3600 \text{ s} \approx 110 \text{ Watt}$, ein durchaus realistischer Wert.

Sollten Sie in der ersten Stufe fahren, wird der Akku mit Faktor 1,5 unterstützen, also mit ungefähr 55 Watt anschieben und in $650 \text{ Wh} / 55 \text{ W} \approx 11$ Stunden leer sein. Dann sind Sie mit 20 km/h erstaunliche 220 km weit gefahren. Mehr geht nicht.

Ein Tipp: Da die 1. Stufe eigentlich nur das erhöhte Gewicht und die höheren Getriebe-Reibungsverluste kompensiert, fahren sie diese Tour besser mit einem normalen Rad.

Ein Pedelec macht Sinn, wenn sie Berge fahren wollen oder starken Gegenwind haben. Mit Anstiegen und Gegenwind reicht der Akku natürlich bei weitem nicht so lange:

Fahren wir einen kernigen 5 km-Anstieg mit 10% Steigung in der höchsten Stufe 4. Jetzt erhöht der Motor Ihre Leistung auf das Vierfache.

Deshalb fahren sie mit 15 km/h, wo sie ohne Motor absteigen oder sich mit kaum 5 km/h Geschwindigkeit hochquälen müssten. Ab 3 km/h ist ohnehin Schieben besser.

Die Reibung spielt bei Anstiegen eine untergeordnete Rolle.

Die Hauptarbeit besteht im Hochheben ihrer Masse und der des Rades.

Nehmen wir mal 75 kg Mensch + 25 kg Fahrrad = 100 kg.

Sie müssen bei 10% Steigung über 5 km eine Höhendifferenz von 500 m überwinden.

Das bedeutet eine Hubarbeit von $500 \text{ m} \cdot 100 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 500.000 \text{ J} = 500 \text{ kJ}$

Dazu kommen noch $20 \text{ N} \cdot 5000 \text{ m} = 100.000 \text{ J} = 100 \text{ kJ}$ Reibungsarbeit, insgesamt also 600 kJ. Das bedeutet 600.000 Joule Anstiegsarbeit. Die Fahrzeit für die 5 Bergkilometer: $5 \text{ km} / (15 \text{ km/h}) = 1/3 \text{ h} = 20 \text{ Minuten} = 1200 \text{ s}$.

Das erfordert eine Leistung von $600.000 \text{ J} / 1200 \text{ s} = 500 \text{ W}$... aber nicht allein ihre:

Sollten Sie das mit der höchsten Stufe dem Motor weitestgehend alleine überlassen, würde er $\frac{3}{4} = 75\%$ der Leistung aufbringen, nämlich $0,75 \cdot 500 \text{ W} = 375 \text{ W}$ und der Akku wird in der Fahrzeit von 20 Minuten die Energie $375 \text{ W} \cdot 1/3 \text{ h} \approx 125 \text{ Wh}$ verbrauchen, also gut ein Fünftel der Energie bei Vollladung.

Sie können fünf solche Anstiege fahren, 25 km mit 10%, dann ist der 650 Wh Akku leer.

Die Erfahrung zeigt: Auf weitgehend ebener Strecke mit etlichen leichten Anstiegen, ein wenig Gegenwind und sportlicher Fahrweise mit durchschnittlich 20 km/h kommen Sie mit einem 650 Wh – Akku bis zu 100 km. Ein 5 km langer, steiler Berg frisst 1/5 Akku. Sportliche Typen, die auf ebener Strecke den Motor ausschalten und am Berg erst bei über 15% die Stufe 4 wählen, schaffen natürlich deutlich mehr.

Niemand muss sich mit einem Pedelec als Weichei empfinden, man kann damit genau so powern wie mit einem normalen Rad. Die Frage ist, welche Unterstützung Sie wählen. Trotz der Akkuprobleme und des Gewichts halte ich ein Pedelec für eine sehr sinnvolle Sache – nicht nur für ältere Leute. Vor allem weil man damit gerade bei hügeligem Gelände sehr effizient einkaufen und zur Arbeit gelangen kann. Zudem will man ja nicht immer nur sportlich unterwegs sein, sondern auch mal ebenso schöne wie bergige Landschaften erkunden, ohne dann verschwitzt und völlig fertig am Ziel anzukommen.

Dann ist da noch das Ladeproblem, wenn's mal deutlich mehr als 100 km in welligem Gelände sein sollen. **Wie lange dauert Laden?**

Hoffentlich haben Sie ein Ladegerät, das mit 4 Ampère lädt. Die Hersteller sparen da gern und liefern nur ein 2A-Ladegerät. Dann verdoppelt sich die Ladezeit.

Generell sollte ein Akku für eine möglichst lange Lebensdauer zwischen 30% bis 80% Ladung pendeln – für die alltägliche Fahrpraxis leider ein unbrauchbarer Tipp.

Ein 4A-Ladegerät lädt mit 4 Ampère und 42 Volt: $4 \text{ A} \cdot 42 \text{ V} = 168 \text{ VA} = 168 \text{ Watt}$.

Für 650 Wh Akku-Energie braucht das 4A-Ladegerät $650 \text{ Wh} / 168 \text{ W} = 4 \text{ Stunden}$.

Merken Sie sich einfach diesen praxisnahen Zusammenhang (bei einem 4A-Ladegerät):

1 Balken \triangleq 1 Std Ladezeit \triangleq 25 km durchwachsene Fahrstrecke. (2A: 2 Std Ladezeit).

Photovoltaik und Solarthermie

Unterscheiden Sie bitte zwischen Photovoltaik-Anlagen (kurz PV), die Strom produzieren und Solarthermie-Anlagen, die letztlich Wasser erwärmen.

Ich muss Sie vorweg darauf hinweisen: dieses Thema ist sehr komplexes und weites Feld, prädestiniert für kontroverse Ansichten. Betrachten wir also die harten Fakten.

Zur Physik von Photovoltaik und Solarthermie

Das Sonnenlicht trifft die Lufthülle der Erde mit 1360 Watt pro Quadratmeter bei senkrechtem Einfall. Diese Strahlungsintensität genannten 1360 W/m² teilen sich etwa 1 : 1 auf in sichtbares Licht und unsichtbare Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung).

In der BRD treffen am Boden auf 50° Breite bei hochstehender Sonne noch 700W/m² bis 900 W/m² auf eine senkrechte Auffangfläche. Eigentlich wäre das eine Intensität, die den durchschnittlichen globalen Bedarf um den Faktor 1000 übertrifft.

Die generellen Probleme sind, dass die Sonne nachts nicht scheint, dass das Solarpanel nie senkrecht zur Sonne zeigt, dass die Sonne nur kurz im Zenit steht, dass die Luft 25% der Infrarotstrahlung schluckt und die UV-Strahlung fast gänzlich streut, vor allem aber, dass Regen, Staub, Wolken und Schatten die gesamte Strahlung erheblich abschwächen. Physikalisch technisch kommt hinzu, dass die Solarzellen einer PV-Anlage derzeit 20% Wirkungsgrad haben und physikalisch bedingt nicht mehr als 30% haben können. Die schwarzen Absorber der Solarthermie (Infrarotstrahlung) sind da mit fast 100% top. Aber Sie werden bald feststellen, auch diese Thermie-Anlagen sind problematisch.

Es erfordert nun viel Messaufwand, um herauszufinden, wieviel Energie man im Laufe eines Jahres mit Windrädern, einer PV- oder Thermie-Anlage aus der Sonnenstrahlung herausholen kann. Windräder sind im Privatbereich derzeit kein sinnvolles Thema. Ein generelles und durchaus auch individuelles Problem ist, wie die Energie speichern. Denn wir brauchen den Strom auch nachts, wenn die Sonne nicht scheint, und die Wärme im Winter, wenn es wochenlang regnet und schneit und trübe ist.

Übrigens: Kälte reduziert die Effizienz der Solarzellen und Thermiekollektoren nicht.

Im Gegenteil, es ist optimal, wenn es moderat kalt ist und die Sonne scheint. Allerdings, bereits ein kleiner Schneefleck reduziert die Leistung einer PV erheblich. Zudem: die Sonne steht im Winter in unserer Breite nur maximal 20 Grad über dem Horizont. Für senkrechten Einfall bräuchte man ein Dach mit 70° Neigung im Winter und 30° im Sommer. Die Kollektoren aufzuständern oder gar der Sonne nachzuführen, ist aus mehreren Gründen auf einem üblichen Hausdach ein Unding.

Man könnte dieses Problem mit Kuppeldächern oder drehbaren Häusern angehen ... Aber, bleiben wir beim billigeren weil technisch einfacheren Stand der Dinge.

Photovoltaikanlagen, kurz PV-Anlagen oder -noch kürver- die PV

Käufliche Photovoltaikplatten mit ca. 2 m² Fläche haben laut Hersteller maximale Leistungen von 400 W. Kaum glaubhaft bei maximal 800 W/m² Strahlungsintensität der Sonne auf der Erdoberfläche und bei 20% Wirkungsgrad der Solarmodule, da landet man eher bei maximal 300 W – in guter Übereinstimmung mit realen Messwerten.

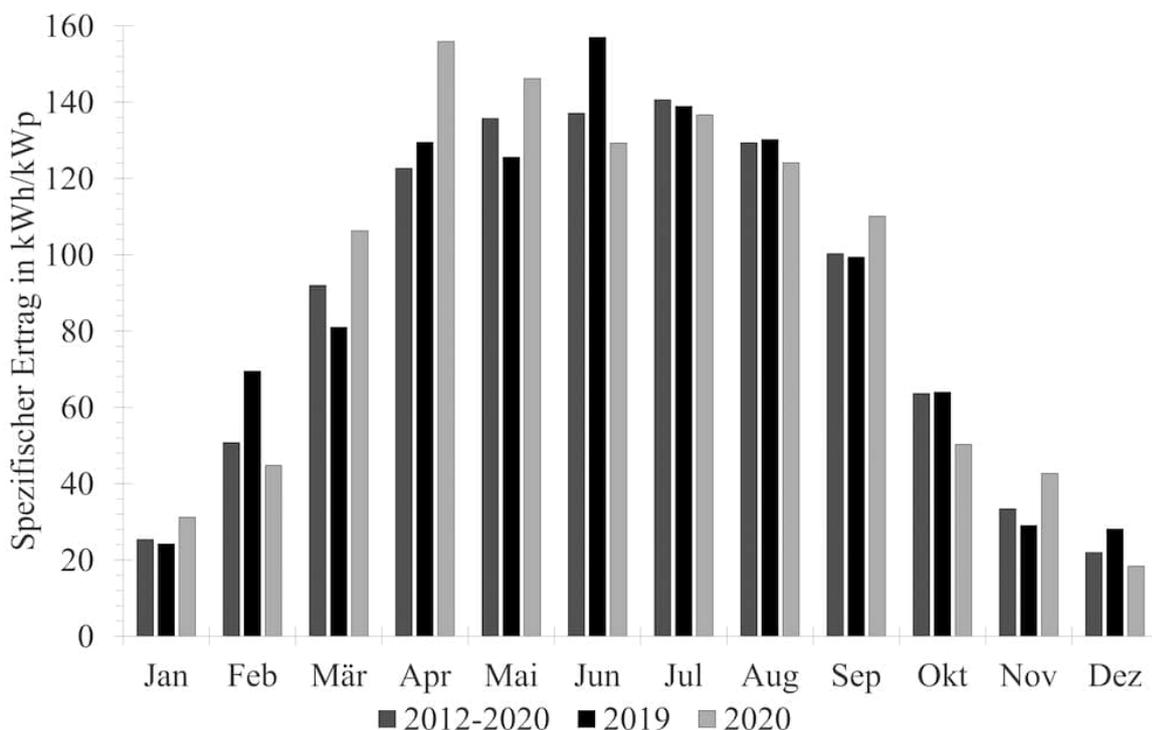
Wir brauchen im Folgenden einen Fachbegriff: **kWp** \equiv **Kilowatt-peak**.

1 kWp bedeutet, die Anlage liefert unter Idealbedingungen 1 kW elektrische Leistung.

Es ist schwierig, bei all den Unwägbarkeiten und unbekanntem Randdaten den wechselhaften Jahresertrag einer PV-Anlage brauchbar abzuschätzen. Man muss das messen.

Hier die BRD-Durchschnittsdaten einer 1 kWp PV-Anlage vom 22. 09. 2022:

<https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-leistung/photovoltaik-ertrag-in-sommer-und-winter>



Gesammelt übers Jahr sind das ziemlich genau 1000 kWh pro 1 kWp-Solarpanel.

Bei einer 10 kWp-Anlage bekämen sie also um die 10.000 kWh frei Sonne.

Allerdings werden Sie davon –auch mit einem Stromspeicher– in der Praxis nur etwa 50% verbrauchen, weil Sie den anfallenden Strom nicht immer zeitgerecht nutzen und speichern können. Verkäufer werden Ihnen 80% und mehr versprechen.

Eine sparsame und umsichtige Familie mit Kind benötigt durchschnittlich 3500 kWh bis 4500 kWh elektrische Energie pro Jahr, also im Schnitt gut 10 kWh täglich.

Eine 10 kWp-PV liefert nach diesen Daten im Dezember im Schnitt 8 kWh, 50% sind nutzbar. Das bedeutet: Selbstversorgung schafft ein BRD-OttoNormalverbraucher mit einer 10 kWp-PV und 10 kWh-Speicherakku im Winter nicht. Er braucht das Netz.

Energetische und finanzielle Amortisation einer PV-Anlage

Bitte bedenken sie für das Folgende: da viele Parameter unbekannt sind und die technische, politische, wirtschaftliche und soziale Entwicklung absolut unvorhersehbar ist, sind die Berechnungen nur als grobe Anhaltswerte nach derzeitigem Stand der Dinge zu betrachten.

Die derzeit besten Solarmodule mit 2 m² Solarzellenfläche liefern 300 Wp bis 400 Wp. Sie brauchen also ca. Solarmodule für eine 10 kWp-Anlage.

Inklusive Installation dürfte sie das derzeit (2023) ohne Speicherakku um die 20.000 € aufwärts kosten und mindestens 60 m² Dachfläche belegen.

Stromspeicher, also Akkus sind bei Größenordnungen im Bereich einiger kWh in vielerlei Hinsicht noch problematisch und derzeit bezüglich Effizienz unverhältnismäßig teuer. Ein 10 kWh Stromspeicher kostet 2023 mindestens 8000 €. Speicher werden aber bald billiger werden, hier wird intensiv geforscht.

Ob sich eine PV finanziell rechnet, ist eine schwierige, nur individuell beantwortbare, und – wie ich ernsthaft meine – letztlich uninteressante oder gar sinnlose Frage.

Versuchen wir dennoch übungshalber eine unvermeidbar fragwürdige Abschätzung:

Die Lebensdauer solcher Anlagen liegt bei 20 Jahren, Optimisten meinen 25 Jahre.

Lassen wir mal Reparaturen weg, weil die zwar nötig sein werden und die ganze Kalkulation zunichte machen können, aber nicht sinnvoll abschätzbar sind.

Wartungsverträge kosten ungefähr 250 € / Jahr. Und versichern müssen Sie die Anlage auch. Ob die Entsorgung Kosten verursachen wird, ist unbekannt, vermutlich schon.

Rechnen wir möglichst zugunsten der PV mit absehbaren 50 Ct / kWh für den Strom.

Und nehmen wir den realistischen Wert von 8000 kWh Ertrag der 10 kWp-PV pro Jahr.

Gehen wir weiter davon aus, dass Sie mittels 10 kWh-Speicherakku und realistischem 50% Eigenverbrauch ihren 4000 kWh-Haushalt ganzjährig versorgen – mehr geht nicht.

Eine relevante Einspeisegebühr, welche die PV bislang finanziell attraktiv gemacht hat, sollten wir vorsichtig ansetzen: derzeit 10 Ct / 1 kWh, eventuell mehr.

Dann ist die Sache einfach: die 10 kWp kostet mindestens 20.000 €. Rechnen wir mal ohne Speicher: man spart pro Jahr (ohne Reparatur) mit den o. g. Randdaten bestenfalls

$4000 \text{ kWh} \cdot 50 \text{ Ct / kWh} + 4000 \text{ kWh} \cdot 10 \text{ Ct / kWh} - 250 \text{ € Wartung}$ um die 2000 €

Das bedeutet mindestens 10 Jahre finanzielle Amortisationszeit für eine solche PV.

Aufgrund der unbekannt Parameter und der großzügigen Abschätzung sollten Sie diese Zeitspanne als Untergrenze betrachten. Reduzieren können Sie diesen Zeitraum

mit einem E-Auto, aber da tauchen andere Probleme auf. Das gilt auch mit Speicher.

Wie gesagt: die Dinge sind außerordentlich komplex und sehr individuell.

Die energetische Amortisationszeit ist schwer abschätzbar, liegt aber unter 10 Jahren.

600 Wp – Balkonvoltaikanlagen, 2022 der große Renner.

Um es gleich vorweg zu sagen: damit retten wir weder die Umwelt noch lösen wir die anstehenden Energieprobleme, aber komplett unsinnig sind die Anlagen nicht.

Wenn die Sonne senkrecht auf die Anlage fällt, können Sie maximal 600 Watt abgreifen. Da das selten der Fall ist, dürfte die Leistung im Schnitt dürfte 300 bis 400 Watt liegen. Das reicht gut für die Standbygeräte und den Kühlschrank – wenn die Sonne scheint.

In der BRD gibt es 1600 Sonnenstunden mit dieser Durchschnittsleistung. Das bedeutet, diese Anlage liefert theoretisch übers Jahr gut 600 kWh. Erfahrungswerte von Besitzern, die versuchen, das maximal Mögliche herauszuholen, liegen bei 400 bis 500 kWh.

Das entscheidende Problem bei jeder PV ist, die Leistung in dem Moment abzugreifen, in dem sie ansteht – also wenn die Sonne die Solarzellen bescheint. Wenn Sie die Anlage nicht überwachen (lassen) und zeitgerecht Kleingeräte einschalten, speist der Zähler die Energie ohne Gegenleistung ins Netz ein; davon haben Sie nichts – und der Stromlieferant auch nicht (Solarstrom ist „dreckiger“ Strom, der die Netzfrequenz stört).

Ein Stromspeicher lohnt bei Balkonanlagen derzeit 2023 finanziell nicht. Dann würde die Sache nämlich wesentlich teurer, bei nur wenig Energiegewinn. Das würde zudem eine teure, weil aufwendige und automatisierte Einbindung in das Hausnetz erfordern.

Die Anlage darf direkt per Schukostecker in eine geerdete und direkt mit der Sicherung verbundene Einfachsteckdose der Hausanlage eingespeist werden. Der PV-Strom hat technisch bedingt Vorrang gegen die Versorgung aus dem Netz. Vorsicht: Sie brauchen einen modernen Zähler mit Rücklaufsperrung. Der Betrieb mit altem Zähler ist verboten.

Bei Strompreisen von derzeit 50 Ct / kWh ergeben die oben genannten realistischen 400 kWh eine theoretische Einsparung von 200 € - wenn Sie jedes kWh nutzen. Realistisch ist die Hälfte, 200 kWh. Langzeitnutzer melden Einsparungen von bis 100 €.

Für eine hochwertige komplette Anlage eines deutschen Herstellers zahlte man 2023 um die 1500 €. Von scheinbar billigen Anlagen aus China kann man nur abraten. Angesichts der durchgehend großzügigen Abschätzungen zugunsten der Solartechnik ergäbe sich als minimale finanzielle Amortisationszeit $1500 / 100 = 15$ Jahre, falls in dieser Zeit nichts kaputtgeht.

Aber die Kosten sind ja oft nicht der entscheidende Aspekt der Kaufüberlegungen.

Es gibt also keine zwingenden Argumente gegen oder für eine einfache Balkon-PV. Diese Entscheidung müssen Sie selbst treffen; aber egal wie, Sie machen nichts falsch.

Solarthermie – Wärme, warmes Wasser, kein Strom

Auch bei diesem nicht weniger komplexen Thema kann man nur grobe Hinweise geben und nur allgemeine Berechnungen anstellen, weil die individuellen Lebensumstände und Ansprüche eine große Rolle spielen. Ein paar Zahlen will ich Ihnen aber mitgeben. Die wichtigste Frage lautet: wollen Sie heizen oder nur warmes Wasser oder beides?

Wir brauchen ein wenig Physik: **Was können die thermischen Kollektoren und Anlagen?**

Da Solarkollektoren im Wesentlichen Infrarot und damit 50% der Gesamtstrahlung von den 700 W/m^2 bis 900 W/m^2 der Gesamtstrahlung der Sonne auf der Erdoberfläche absorbieren, physikalisch aber einen Wirkungsgrad von über 90% haben, und da zudem die Absorption nicht so winkelabhängig ist, liefert ein Quadratmeter der schwarzen Kollektorfläche oder der Röhrenkollektoren an schönen Tagen eine Leistung im Bereich 350 W bis 450 W . Das deckt sich mit Erfahrungswerten. Sollte die Sonne also von 09 Uhr bis 15 Uhr strahlend am Himmel stehen, bekämen sie $6 \text{ h} \cdot 0,45 \text{ kW} = 2,7 \text{ kWh}$, realistisch eher 2 kWh über den Tag von einem Quadratmeter Solarthermiepanel.

Entscheidend ist: wie gut ist Ihr Haus gedämmt. Luftdichte Minimalenergiehäuser sind nicht meine Sache, ich will Fenster, die man öffnen kann. Der jährliche Wärmebedarf eines einfachen, aber gut gebauten Einfamilienhauses (BRD, 2023) liegt bei 150 kWh pro Jahr und Quadratmeter. Bei 120 m^2 Wohnfläche ergibt das 18.000 kWh pro Jahr, plus 4000 kWh Warmwasserbedarf. Das dürfte bei den meisten Einfamilienhäusern ähnlich sein - wenn man alle Räume im Winter auf Wohlfühltemperatur 22°C hält, ließe sich aber durch Einschränkungen auf 15.000 kWh reduzieren. Damit rechne ich weiter:

Wenn Sie den Wärmebedarf von 15.000 kWh in den 250 Wintertagen solar abdecken wollen, brauchen Sie eine Solarkollektorenfläche X , die diese 15.000 kWh liefert, also $X \cdot 250 \text{ Tage} \cdot 2 \text{ kWh} / (\text{Tag}, \text{m}^2) = 15.000 \text{ kWh} \rightarrow X = (15.000 / 500) \text{ m}^2 = 30 \text{ m}^2$.

Das hört sich machbar und bezahlbar an, aber da gibt es einen Pferdefuß: Mit dieser Fläche können – und müssen – Sie im Sommer ein großes teures Schwimmbad betreiben, weil man diese Energie unbedingt abführen muss. Die Anlage kann bei zu hohen Temperaturen eine Menge technischen Ärger und Kosten verursachen. Zudem brauchen sie auch im Winter einen Wasserspeicher im Bereich 1000 Liter und Raum für die aufwendige Technik. Bedenken Sie auch die aufwendige Wartung.

Mit bescheidenen 6 m^2 können sie im Sommer das Warmwasser solar bereitstellen.

Üblich sind Thermieanlagen mit 12 m^2 . Damit schaffen Sie nach gesicherten Messdaten im Umfeld Münchens 6000 kWh bis 8000 kWh Wärmeenergie pro Jahr. Das bedeutet, Sie brauchen auch bei einem gut gedämmten Haus eine zusätzliche Heizanlage.

Die finanzielle und energetische Amortisation sind leider nicht sinnvoll abschätzbar.

Das (teilweise) solar angetriebene Elektroauto, der Traum etlicher Umweltenthusiasten:

Ein solches Auto braucht wie jedes E-Autos einen üblichen Akku. Mit den maximal zwei Quadratmetern Solarpanel der Karosserie zu fahren, ist unmöglich: ein vernünftiges Auto braucht 50 kW Motorleistung, die Panels liefern aber nur maximal 0,4 kW.

Man fährt also auch mit Solarkarosserie ein normales E-Auto mit einem schweren Akku.

Seit 2018 versucht das (bislang erfolglos) ein Startup mit dem **SION** (s. Internet):

Die Solarpanels der Karosserie liefern laut Hersteller bis 0,3 kWh am Tag. Ist möglich: 4 m^2 (Zellenfläche) \cdot 0,4 kW (Strahlung) \cdot 10 h (Sonne) \cdot 0,2 (Wirkungsgrad) = 3,2 kWh.

Das Auto schafft bei sparsamster Fahrweise 300 Kilometer mit seinem 54 kWh-Akku (von denen nur 45 nutzbar sind), braucht also mindestens 15 kWh für 100 Kilometer.

Am Rande: das ist bemerkenswert wenig gegen die typisch 60 kWh eines Verbrenners.

Die Karosserie-Solarpanels liefern also unter Idealbedingungen (10 Stunden pralle Sonne) maximal 3 kWh und damit keine 20 km pro Sonnentag. Der reale Alltagswert dürfte an den meisten Tagen deutlich darunterliegen, vor allem im Winter.

Die Karosserie-Solarpanels sind für mich ein fragwürdiges Gimmick im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch, die Zusatzkosten, die Beschädigungsresilienz, die Reparaturanfälligkeit und insbesondere hinsichtlich Nutzen/Aufwand. Die meiste Zeit schleppen sie diese aufwendig verbauten und empfindlichen Solarpanels wohl vergeblich mit.

Das Batterie-Elektroauto generell

Ich will dieses Fass hier nicht aufmachen: in zehn Jahren werden wir wissen, was Sache ist.

Es ist völlig sinnlos, mit Teslafreaks und Hybridautoenthusiasten darüber zu reden. Solch technikaffine Leute sind einfach überwältigt vom banalen Beschleunigungsvermögen eines Elektromotors und erliegen dem Werbungshype, ohne das Drumherum zu hinterfragen. Ein Hybrid ist ohnehin schlicht und einfach Unfug, viel zu schwer. Die wenigsten Besitzer nutzen den E-Motor, weil er kaum 50 km schafft; die packen das Ladekabel gar nicht aus.

Am Rande bemerkt: Elon Musk ist ein zwar intelligenter, cleverer und umtriebiger, aber auch rücksichtsloser Mensch, der sich um soziale Aspekte wenig schert und die Dinge bewusst verzerrt darstellt. Ich mache mich jetzt bewusst unbeliebt: Dass die Medien diese Person hypen, dass die Politik Batterieautos sponsert und dass manche Leute Elon Mask bewundern, ist ärgerlich und beweist nur deren Unwissen oder Gedankenlosigkeit.

Natürlich ist das E-Auto das Auto der Zukunft: kein Getriebe, daher sehr leicht – ohne Akku!

Das derzeitige Batterie-Elektroauto hat ein Problem, den Akku: der ist noch zu schwer und zudem immer noch mit sozialem Ballast beladen (unverantwortbarer Lithium&Kobaltabbau). Das ließe sich über den Preis und politisch regeln und stellt eine Hausaufgabe: Forschen!

Elektroauto vs Verbrenner

Das E-Auto ist technisch viel einfacher aufgebaut, braucht wesentlich weniger Teile. Generell ist ein Vergleich Verbrenner–Batterie-Elektroauto aber sehr problematisch. Beide Autotypen produzieren Umweltschäden erheblichen Ausmaßes und bislang ernsthafte soziale Unverträglichkeiten. Die Zukunft gehört vermutlich dem Elektroauto. Der Verbrenner hat nach meiner derzeitigen Einschätzung nur eine Zukunft mit neuen, künstlich erzeugten Treibstoffen, eventuell auch methanisierendem Wasserstoff. Elektroautos nutzen entweder die Brennstoffzelle oder ganz neue, leichte Akkus.

Was die Effizienz eines Verbrenners schmälert, ist der physikalisch bedingt geringe Wirkungsgrad seines thermodynamischen Motors –unter 60%, und das hohe Gewicht des Getriebes. Damit kommt der Verbrenner nur auf einen Fahrwirkungsgrad von 20%.

Ein moderner Elektromotor hingegen hat einen sehr hohen Wirkungsgrad, über 90%. Das Problem ist hier das Gewicht des Akku: beim Tesla sind das 800 kg bei über zwei Tonnen Gesamtgewicht. Dennoch schafft dieser Akku schafft bei die wünschenswerten 1000 Kilometer. Mit noch mehr Akku beißt sich die Katze in den Schwanz ...

Die Akku-Ladeproblematik ist zudem technisch völlig ungeklärt und Gegenstand aktueller politischer und wirtschaftlich-technischer Überlegungen mit unbekanntem Ausgang, so dass jede Einschätzung und Prognose dem Blick in eine Glaskugel gleicht.

Man kann auch nicht die Begrenztheit der Ressource Öl gegen die derzeit teilweise völlig unverantwortliche Gewinnung von Lithium und Kobalt gegenrechnen. Und Verbrennerbefürworter vergessen gerne, dass die Bereitstellung von zehn Litern Sprit an der Tankstelle ab Förderstelle bereits die Energie eines Liters verschlingt.

*Was die energetische Amortisation oder den berüchtigten ökologischen Fußabdruck betrifft, arbeiten die Befürworter beider Antriebe oftmals mit unvollständigen und auch unsauberen Argumenten. Viele der mir bekannten Analysen lassen wesentliche Aspekte weg oder ordnen sie erkennbar ungeeignet bis völlig falsch ein. Es ist wie so oft der Vergleich von Äpfeln mit Birnen. Und es gibt eine Menge selbsternannter Gurus, die im Internet sehr beredt, aber fachlich fragwürdig ihr Unwesen treiben. **Mein Tipp: abwarten, forschen, probieren!***

Das Auto der Zukunft ist fast zwingend ein Elektroauto, weil Öl und Gas begrenzt sind.

Kann sein, dass die Forscher einen neuen leichten Akkutyp mit hoher Energiespeicherdichte erschaffen, sodass Autos mit deutlich unter einer Tonne Gesamtgewicht und Reichweiten von tausend Kilometern möglich werden. Bis dahin ist es es ziemlich egal, was Sie fahren - nur bitte kein Hybridauto. An sich genügen meist ein billiger Kleinwagen und 100 km/h. Jedenfalls müssen Diesel- oder Benzinautofahrer derzeit absolut kein schlechtes Gewissen haben –solange Elektroautos mit solch schwergewichtigen Akkus rumfahren.

Sie wissen, dass Materie aus unvorstellbar kleinen und daher per se nicht direkt wahrnehmbaren Atomen besteht. Es gibt leider keine einfache bildhafte Vorstellung, die diese Objekte auch nur annähernd korrekt darstellt, also wiedergibt, was man in monströsen Experimentieranlagen wie dem Beschleuniger in CERN messen kann.

Die Physiker beschreiben die Atome mit beängstigend anspruchsvoller Mathematik und kryptischen Formeln. Ihre mehrdimensionalen Denkmodelle überschreiten aber die Vorstellungskraft aller Menschen und sind erkennbar unzureichend. Konkrete Berechnungen erfordern zudem gigantische Rechenanlagen und lange Rechenzeiten.

Aber unser Gehirn braucht eine bildliche Vorstellung, auch wenn sie nur Teilaspekte richtig darstellt. Für uns hier genügt ein –zugegeben stark vereinfachendes– Modell.

Atome sind danach Objekte der Größenordnung Millionstel Millimeter. Sie haben einen nochmals um den Faktor 100.000 kleineren Kern aus zwei Objekten: Protonen und Neutronen, umgeben von einer Hülle aus Objekten - die sie sich hier am besten so falsch wie hilfreich als diffuse Punktwolke um den Kern vorstellen, den sogenannten Elektronen. Die Anzahl der Elektronen eines Atoms ist im Normalzustand gleich der Protonenzahl. Man sagt dann, das Atom sei elektrisch neutral oder „ungeladen“.

Elektronen und Protonen ziehen sich mit einer eigenständigen elektrischen Kraft an und stoßen sich exakt so stark jeweils untereinander ab. Daraus resultieren auf sehr komplexe Weise alle Alltagskräfte mit Ausnahme des Gewichts.

Warum trotz der Abstoßung der kompakte Atomkern aus Protonen relativ stabil ist, kann und muss hier nicht erörtert werden: Ursache ist eine extrem starke Kernkraft.

Es gibt in der Natur 92 **Elemente** genannte Atome mit Protonenzahlen von 1 bis 92. Die in diesem Heft interessanten:

Wasserstoff 1, Helium 2, Lithium 3, Kohlenstoff 6, Sauerstoff 8, Kobalt 27, Kupfer 29. Das natürliche Element mit den meisten Protonen ist Uran 92.

Diese Protonen, insbesondere die 92 des Uran, werden von einer allen anderen Kräften hunderttausendfach überlegenen, eigenständigen Kernkraft zusammengehalten.

Bei großen Protonen- und bestimmten Neutronenzahlen wird der Kern instabil.

Fast jedes Element gibt es mit unterschiedlicher Neutronenzahl, sogenannte Isotope.

Uran gibt es in zwei Varianten: mit 143 (Uran 235) und 146 (Uran 238) Neutronen.

Die Gesamtzahl der Kernbausteine von U 235: 143 Neutronen + 92 Protonen.

Uran 238 ist ein stabiles Element. Das Uran235-Atom hingegen ist instabil und kann durch Beschuss mit langsamen Neutronen in zwei Teile zerlegt werden.

Da dabei wieder zwei schnelle Neutronen frei werden, kann man durch Abbremsen dieser Neutronen eine Kettenreaktion auslösen: dies geschieht in Atombomben und Kernkraftwerken. Die ein wenig leichteren Zerfallsprodukte des Uranatoms haben eine unvorstellbare Wucht. Die Massenabnahme wird nach $E = mc^2$ in Energie verwandelt: 1 Gramm in 25.000.000 kWh, womit man 1000 Häuser ein Jahr lang beheizen könnte.

Eine Atombombe ist physikalisch die Kettenreaktion einiger Kilogramm U235 im Bruchteil einer Sekunde, in einem AKW läuft die Spaltung kontrolliert langsam ab: Im Reaktor eines AKW „brennen“ ca. 4 Tonnen U235 gleichmäßig vor sich hin, erhitzen damit letztlich Wasser und erzeugen über Dampfturbine und Generator Strom.

Aber zurück zum **Einblick in die Welt der Elektrizität:**

Die meisten Atome halten ihre Elektronen bezüglich alltäglicher Kräfte gut fest. In Metallen kann sich aber ein Elektron vom Atom trennen und im Atomverband mehr oder weniger frei bewegen. Mit chemischen und magnetischen Tricks, die hier nicht relevant sind, schieben Batterien und Generatoren diese frei beweglichen Elektronen durch einen metallischen (oder auch flüssigen) **Leiter**: das ist **Strom** im einfachsten Sinne.

Die „Stärke“ (ich bitte die Physiker um Nachsicht), mit welcher Generatoren, Akkus oder Batterien Elektronen „anschieben“, nennt der Physiker **Spannung**, symbolisch U, gemessen in Volt V. Die Anzahl der Elektronen, die dabei durch den Querschnitt eines Drahtes pro Sekunde geschoben wird, heißt **Stromstärke**, symbolisch J, gemessen in Ampère A. Bei 1 A fließen ungefähr 10^{19} Elektronen pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt, mit einer Geschwindigkeit von typisch nur einigen Millimetern pro Sekunde.

Elektrische Größen (formaler Überblick):

Name	Symbol	Einheit	Bedeutung
Ladung	Q	1 Coulomb = 1 C	$6,24 \cdot 10^{18}$ Elektronen (historisch bedingt)
Strom	J	1 Ampère = 1 A	Ladungsfluss im Leiter = 1 C / 1 Sekunde
Spannung	U	1 J/C = 1 Volt = 1 V	Stromantrieb (Energie z.V. pro Ladung)

Um diese Begriffe und Daten ein wenig einzuordnen:

Eine Spannung unter 40 Volt ist für einen gesunden Menschen ungefährlich, ab 240 V und 1 A wird's lebensgefährlich. Wenn nur wenige Elektronen fließen - Größenordnung 1 Millionstel Ampère- ist selbst eine Hochspannung von zehntausend Volt ungefährlich. Das ist der Fall, wenn Sie die Katze gegen den Strich streicheln und dann den Finger an ihr Ohr halten: dann springt ein „Funke“ über – was sie natürlich überhaupt nicht mag.

Die BRD und viele andere Länder nutzen aus verschiedenen Gründen vorrangig sogenannten Wechselstrom mit 220 V bis 240 V. Dabei wechselt die Stromrichtung, die Fließrichtung der Elektronen im Leiter, 50-mal pro Sekunde (der Physiker spricht von 50 Hertz, kurz Hz). Diese Taktung muss wegen vieler damit arbeitender elektronischer Geräte in jedem Moment auf 0,2% genau gehalten werden – eine schwierige Aufgabe angesichts der bezüglich Leistung wechselhaften regenerativen Stromerzeuger mit ihrer „schmutzigen“ - weil gar nicht oder miserabel getakteten - Einspeisung ins Stromnetz.

Am Rande bemerkt: In einer Glühbirne sind also immer dieselben Elektronen, die mit 50 Hz über Millimeterbruchteile Weg hin- und herpendeln und damit die Leistung des Kraftwerks abgreifen. Das Kraftwerk „schubst“ nur (mit hier nicht darstellbaren Tricks) per Turbine und Generator die Elektronen hin und her und überträgt dieses Gezappel über die Stromleitung mit den freien, sich gegenseitig abstoßenden Elektronen zum Verbraucher. Was vom Kraftwerk ins Haus läuft, ist ein Gezappel, keine Ladungen.

Ein wenig Praxis: Batterien, Akkus, nochmal Elektroauto

Batterien und Akkus verfügen im geladenen Zustand über zwei elektrisch isolierte Bereiche: in einem herrscht ein Elektronenüberschuss gegen die Protonenzahl, im andern ein entsprechendes Defizit. Diese Elektronendifferenz nennt man **Ladung**. Der selbsttätige Ladungsausgleich erfolgt extern per Strom durch einen Verbraucher, also ein elektrisches Gerät wie eine Elektroheizung oder einen Elektromotor.

Batterien kann man nur einmal laden und muss sie dann entsorgen.

Akkus kann man einige hundert- manche gar einige tausendmal aufladen.

Bei kleinen Akkus wird ärgerlicher Weise die gespeicherte Energie nicht direkt in Joule, sondern indirekt mittels der Spannung und der Ladung angegeben.

Sie müssen das nicht herleiten: es gilt **Akku-Energie = Spannung × Ladung**

Und diese Ladung wird oft in kryptischen Milliamperestunden mAh angegeben:

1 mAh entspricht einem Überschuss von $2,25 \cdot 10^{19}$ Elektronen am negativen Pol.

Da Sie sicher keine Physikvorlesung hören wollen, nutzen Sie bei Bedarf die Formel:

$$\text{Akku-Energie in Wattstunden Wh} = (\text{Akkuladung in mAh} \times \text{Spannung in Volt}) / 1000$$

Beispiel: typischer Handy-Akku mit 3,7 V Spannung und 1900 mAh Ladung

Elektrische Energie im Akku = $(1900 \cdot 3,7 / 1000)$ Wh = 7,03 Wh \approx 0,007 kWh.

Zum Vergleich: In einem Pedelec-Akku sind 650 Wh = 0,65 kWh elektrische Energie, in einem E-Auto-Akku bis zu 75.000 Wh = 75 kWh.

Es schadet zudem nicht, wenn Sie wissen – wenn auch nicht verstehen müssen:

Elektrische Leistung = Stromstärke × Spannung, also 1 Watt = 1 Ampère · 1 Volt

Kurz: elektrische Leistung $P = U \cdot I$, also 1 Volt · 1 Ampère = 1 VA = Watt = 1 W

Wie weit kommt ein Elektroauto mit einem 40 kWh-Akku?

Nutzen kann man nur 80% der Akkuenergie, also 32 kWh, weil man den Akku nicht leer fahren darf (auch nicht kann) - und nicht auf 100% laden sollte.

Wegen des hohen Akkugewichts wiegt auch das kleine Auto typisch 1,4 Tonnen.

Beim Fahren mit 100 km/h muss der Motor 300 N Luftwiderstand und 150 N Straßenreibungswiderstand überwinden. Ein Anstieg von 1% fordert zusätzlich 150 N und eine normale Beschleunigung beim Überholen 300 N.

Lassen wir den Wagen auf ebener Straße konstant fahren – ohne Beschleunigung: dann muss der Elektromotor $300\text{ N} + 150\text{ N} = 450\text{ N}$ Gesamtreibung kompensieren.

Sie erinnern sich hoffentlich noch: Energiebedarf = Arbeit = Kraft \times Fahrstrecke S.

Betrachten wir nur das reine Fahren ohne interne Reibungsverluste und Klimaanlage:

Das bedeutet hier: $450\text{ N} \cdot S = 32\text{ kWh} = 32 \cdot 3600.000\text{ J} = 115.200.000\text{ J}$

Also maximale Fahrstrecke $S = 115.200.000\text{ J} / 450\text{ N} = 265.000\text{ m} = 265\text{ km}$.

Sollte die Klimaanlage oder gar die Heizung und der Scheibenwischer laufen – das Radio mit ein paar Watt dürfen Sie getrost vergessen, wird die Strecke deutlich kürzer.

Und wenn Sie einen 5 km langen Berg mit 8% Steigung fahren, verliert der Akku wegen des Gewichts von $1,4\text{ t} \cdot 10\text{ N/kg}$ erschreckende $8\% \cdot 5000\text{ m} \cdot 14.000\text{ N} = 5.600.000\text{ J}$, umgerechnet über 1,5 kWh und damit ungefähr 15 km Reichweite ebener Strecke.

Was verbrauchen und kosten Haushaltsgeräte?

Ein typischer Desktop-PC zieht 300 Watt (Gaming-PCs bis 750 Watt) aus dem Netz.

Wenn Sie den täglich 5 Stunden laufen lassen, verbraucht er $0,3\text{ kW} \cdot 5\text{ h} = 1,5\text{ kWh}$.

Übers Jahr also ca. 550 kWh - die Sie derzeit 2023 ca. ca. 250 € kosten.

Eine einigermaßen lichtstarke LED-Lampe hat 10 Watt. Wenn Sie ab 18:00 Uhr

Nachmittag bis 24:00 Uhr einschalten, verbraucht sie $0,01\text{ W} \cdot 6\text{ h} \cdot 365 = 22\text{ kWh}$.

Das kostet Sie nur 11 €. Dennoch beachte man: Kleinvieh macht auch Mist.

Wenn Ihnen Ihre Stromrechnung bedenklich hoch erscheint, suchen Sie nach

Großverbrauchern im Bereich 100 W und mehr und nach Verbrauchern, die lange laufen.

Der deutsche Bundesbürger verbraucht im Schnitt 1500 kWh pro Jahr, der Sparsame

1000 kWh. Weniger ist nur mit Verzicht auf Komfort und Geräte erreichbar.

Bedenken Sie auch, dass viele Geräte unbemerkt und oft sinnlos laufen.

Transformatoren, wie sie in Steckernetzgeräten und Ladegeräten verbaut sind, brauchen

oft auch Strom, wenn das Gerät läuft oder lädt. Wenn es sich warm anfühlt, ist das so.

Das kann sich bei diesen stillen Verbrauchern in einem Haushalt auf 50 bis 100 Watt aufsummieren und damit 200 bis 400 € kosten.

Die Wärmepumpe – ich bespreche hier die „billige“ Variante, die Luft-Wasser-Variante.

Eine Wärmepumpe ist einfach nur ein „umgedrehter Kühlschrank“. Man kühlt die Luft (den Boden, das Grundwasser) durch ein (nicht immer unproblematisches) Kühlmittel ab und pumpt deren Wärmeenergie gegen das Temperaturgefälle ins Haus.

Wenn sie ein maximal gedämmtes, praktisch luftdichtes Haus mit Boden- oder Wandheizung und Luftumwälzung haben, ist sie die Heizmethode der Wahl.

Eine WP braucht relativ viel Strom, der nicht zur Heizung beiträgt:

Dennoch liegt der Faktor Gewinn/Aufwand (hoffentlich) über 1. Die Rede ist vom

Leistungsfaktor: wie viel Wärme liefert 1 kWh Strom (das i.a. schlicht verloren ist)?

Da versprechen die Hersteller und Handwerker Traumwerte bis Faktor 5.

Praktische Erfahrungen liefern für normale Standardhäuser nur Werte unter 3.

Faktor 1 bedeutet, die Wp ist sinnlos, da können Sie gleich einen Heizlüfter einsetzen.

Ein hochmodernes Passivhaus benötigt im Winter mindestens 15 W/m^2 Heizleistung, ein etwas älteres Ziegelhaus 100 bis 200 W/m^2 und alte Häuser weit darüber hinaus.

Mein altes, aber solides Efh mit 120 m^2 Wohnfläche kann ich mit einer Heizleistung von $130 \text{ W/m}^2 \cdot 120 \text{ m}^2 \approx 16 \text{ kW}$ auch bei Minustemperaturen auf mindestens $22 \text{ }^\circ\text{C}$ halten – bei nur 50°C Vorlauf und normalen Heizkörpern. Das würde eine gute WP schaffen.

Wo ich noch eine technische Herausforderung und Handlungsbedarf sehe:

Bei 22.000 kWh Wärmebedarf / Jahr (Heizung + Warmwasser) müsste man bei einem realistischen Leistungsfaktor 2,5 mit einer Monoblock-Luft-Wasser-Wp 8.800 kWh Stromwärme außer Haus in die Gegend pusten – eine fragwürdige Angelegenheit.

Macht eine Wärmepumpe bei einem Haus mit einer Standard-Zentralheizung Sinn?

Das Problem ist, dass Wärmepumpen technisch bedingt nur Temperaturen um die 30°C schaffen und Gas- oder Ölheizungen mit Standardheizkörpern um die 70°C Vorlauf-temperatur brauchen, um im Winter wohlige 22°C Wohnraumtemperatur zu schaffen. Mehrstufige Anlagen schaffen höhere Vorlauftemperaturen bis 55°C , haben aber einen wesentlich schlechteren Leistungsfaktor im Bereich 2 und weniger.

Die rein theoretisch ideale, allerdings sehr teure und wetterabhängige Kombination wäre eine starke Wärmepumpe an einer möglichst großen PV mit einem großen Stromspeicher – und für alle Fälle ein stromloser Holzofen.

Der Wärmepumpenstrom

soll ja regenerativ erzeugt werden, nach Stand der Dinge per Windrad und Solarzelle.

Wenn in der BRD alle mit Wärmepumpen heizen wollen, wird das schwierig. In einer Großstadt mit Hochhäusern kann ich mir das aus mehreren Gründen nicht vorstellen.

Diesen Strom müssen wir wohl importieren, aus Ländern mit entsprechend viel Sonne.

Wie viel Energie ist in welchem Medium?

Ein allgemein wichtiges Kriterium für einen Energiespeicher ist die **Energiedichte**:
Wieviel Masse braucht man für die Speicherung einer bestimmten Menge Energie.

	Angabe in Millionen Joule pro 1 Kilogramm: MJ / kg	in kWh / kg
Lithium-Ionen Akku (E-Auto, Pedelec)	0,36	0,1
Blei-Akku (Starterbatterie der Verbrenner)	0,11	0,03
Wasserstoff je nach Handhabung	120 bis 220	30 bis 60
Diesel, Benzin	maximal 43	12
Kohle	maximal 45	12,5
Hartholz (Buche, Eiche), Presslinge	bis 20	bis 5,5
Uran 235 (AKW)	90.000.000	25.000.000
Kernfusion (70 Jahre Forschung ohne Fortschritt)	300.000.000	83.333.333
$E = mc^2$ (Wasserstoff- und Atombombe)	90.000.000.000	25.000.000.000

Ein Blick genügt: Batterien bzw. Akkus haben mit Abstand die mieseste Energiedichte.
Wenn da kein Quantensprung kommt, sind sie für den Verkehr untauglich.

Die Zukunft gehört vermutlich dem „grünen“, durch Elektrolyse erzeugten Wasserstoff.

Elektrolyse braucht zwar entsprechend viel Strom, hat aber bereits 80% Wirkungsgrad.

Wasserstoff ist aber ein problematisches Gas, schwer zu handhaben.

Eine 2 : 1 Mischung Wasserstoff : Sauerstoff ergibt eine extrem explosives Medium:
Knallgas. Damit starten schwere Raketen und damit flog Tschernobyl in die Luft.
Man muss Wasserstoff entweder in extrem druckfeste und damit schwere Gefäße einsperren oder – für den Verbrauch zum Fahren oder Heizen – in ein weniger problematisches Medium wie Methan umwandeln, natürlich mit Energieverlusten.

Methan kann man problemlos im Erdgasnetz speichern und transportieren, man kann damit problemlos heizen und fahren – direkt mit Gasmotor oder per Brennstoffzelle.

Die atomaren Energien verleiten hinsichtlich ihrer Energiedichte zum Träumen. Uran 235 ist aber begrenzt und AKWe schaffen unlösbare Probleme wie die Gefahr eines GAUs mit unabsehbaren und weitreichenden Folgen für Mensch, Tier und Natur. Dazu kommt die Problematik radioaktiver Abfälle, die zehntausende von Jahren gefährlich sind. Und AKWe sind unverhältnismäßig teuer. Sie liefern in der BRD derzeit nur 6% des Stroms und der macht wieder nur 20% des Gesamtenergiebedarfs aus, insgesamt ein lächerliches Prozent. An der Kernfusion verzweifeln die Physiker seit 70 Jahren. Da besteht wenig Hoffnung. Die atomaren Energien lösen auf absehbare Zeit unsere Energieprobleme sicher nicht.

Holz als Heizenergielieferant

Ich werde mich nicht mit der Feinstaubproblematik beschäftigen und die gefühlsbeladene Diskussion um den Wald in Deutschland und an sich lieber außen vorlassen. Das liegt weit jenseits meiner Kompetenz und ich will hier nur greifbare und belastbare physikalisch-technische Fakten vortragen und möglichst objektive Entscheidungshilfen geben.

Auch Kohle ist als begrenzte Ressource hier kein relevantes Thema. Wir verbrauchen in wenigen Jahrhunderten, was Sonne und Natur in zwei Milliarden Jahren erzeugt haben.

Bei vernünftigem Handeln und einer –kluger Weise auf wenige Milliarden begrenzten Anzahl Menschen auf diesem Planeten– könnte man die Ressource Holz zumindest lokal regenerativ machen, also dafür sorgen, dass genug nachwächst.

Ich will und kann auch nicht die Vor- und Nachteile spezieller Öfen (Hackschnitzel-, Pellets-, Dauerbrandöfen) gegeneinander abwägen. Sie haben einen Nachteil: sie brauchen Strom. Und Kaminöfen überzeugen jenseits der Physik mit einem unschlagbaren Wohlfühlfaktor.

Zur Physik – Holz als Heizmedium

Die Energiedichte von Hartholz ist mit ungefähr 5 kWh / kg nicht überragend, aber auch nicht schlecht. Zudem spielt das Gewicht eine untergeordnete Rolle. Jeder kann auf zwei Armen soviel Holz ins Haus schaffen, dass der 5 kW bis 9 kW starke Kaminofen im Winter eine Etage einen Tag lang auf Wohlfühltemperatur deutlich über 20°C hält.

Die vierköpfige deutsche Durchschnittsfamilie in einem älteren Einfamilienhaus braucht pro Jahr ungefähr 200 kWh Wärme pro Quadratmeter und Jahr und damit ungefähr 20.000 kWh Energie zum Heizen – egal wie, und zusätzlich 4000 kWh für Warmwasser, insgesamt also 24.000 kWh, wenn die Raumtemperatur im gesamten Haus ganzjährig bei 22°C und die Warmwassertemperatur sinnvoller Weise bei maximal 60°C liegt.

Stromlose Kaminöfen haben Leistungen von 5 bis 9 kW.

Sollten sie ein Einfamilienhaus damit beheizen wollen, brauchen sie für jedes Stockwerk einen. Typische Gasheizungen haben nämlich 12 bis 18 kW.

Sie können die Öfen mit Holz oder Presslingen betreiben.

Presslinge haben dieselbe Energiedichte, benötigen aber wegen der kompakten Form deutlich weniger Speicherplatz - rechnen sie grob mit Faktor zwei.

1 Tonne Presslinge entspricht gewichtsmäßig 2 Ster (auch Festmeter fm) Hartholz.

In 1 Tonne Presslinge stecken nach Obigem ungefähr 5000 kWh Heizenergie.

Für 20.000 kWh Heizenergie brauchen sie also 5 Tonnen Presslinge oder 10 Ster Holz.

Fakten, Überlegungen, Einblicke, Ausblicke für physik- und technikaffine Interessierte.

AKW Ja / Nein?

Diese vieldiskutierte brisante Frage ist pragmatisch entscheidbar: NEIN.

Die Technik ist nicht sicher beherrschbar und zu gefährlich: ein GAU tötet zu viel Leben.

Die „Entsorgung“ (ein dämliches, politisch bewusst gewähltes Wort), eine sichere Verwahrung der radioaktiven Abfälle, ist ungeklärt und letztlich unmöglich. Darum will sie keiner!

Zudem reichen die derzeit bekannten Uranvorkommen (die wir in der BRD vorwiegend in Russland kaufen müssten) nur für ein bis zwei Jahrzehnte. Wozu dann dieses Risiko?

Kernfusion ?

Für die vom amerikanischen Militär (im Hinblick auf Waffentechnik) forcierten Lasermethode (Fusion in winzigen Wasserstoffkügelchen per Laserkompression) sehe ich wenig Licht am Horizont. Sie ist technisch absolut grenzwertig und hinsichtlich Dauerbetrieb nur schwer vorstellbar. Aber da kann ich mich irren. Es gibt unerwartete technische Durchbrüche.

Dass es mit dieser Methode 2023 zum Durchbruch kam (für Sekundenbruchteile), weil zum ersten Mal mehr Leistung erzeugt als zugeführt wurde, ist allerdings ein banaler Schwindel, ein aus durchsichtigen Gründen bewusster und gewollter Rechenfehler.

Das haben europäische Wissenschaftler mit der Tokamak-Methode (dem Einschluss eines hundert Millionen Grad heißen Fusionsgases aus Deuterium und Tritium in komplexen Magnetfeldern) schon vor einem Jahrzehnt geschafft – wenn auch nur für wenige Sekunden. 1950 wurde die Kernfusion als Eier legende Wollmilchsau betrachtet und seitdem warten wir im 25-Jahrestakt auf einen Durchbruch. Die Kernfusion der Sonne (Wasserstoff fusioniert zu Helium) direkt nachzumachen, ist uns technisch absehbar nicht möglich. Die Sache ist sehr schwierig, aber nicht hoffnungslos. In halbes Jahrhundert werden wir uns noch gedulden müssen, bis Kernfusionsanlagen im Dauerbetrieb die elektrische Grundlast erzeugen. Das Problem radioaktiver Abfälle wäre nur noch marginal.

Die Fusion in der Sonne basiert auf einem tief liegenden, für unser Alltagsverständnis nicht nachvollziehbaren, aber realem Phänomen – dem „Tunneleffekt“. Das Phänomen besteht darin, dass auf subatomarer Ebene mit einiger Wahrscheinlichkeit Prozesse ablaufen können, die makroskopisch unmöglich sind – als würden Sie x-tausend Versuchen plötzlich und ohne erkennbaren Grund schadlos durch eine massive Wand auf die andere Seite gelangen. Die Forscher versuchen bereits, dieses im Mikrokosmos reale Phänomen einzusetzen.

Auf eine Kernfusionsanlage im Dauerlauf werden wir aber noch ein halbes bis ganzes Jahrhundert warten müssen. Bis dahin brauchen wir Alternativen für die Abdeckung des ständigen Grundbedarfs bei Wärme und Strom.

Allein beim Strom braucht die BRD Anlagen, die kontinuierlich 40 bis 80 Gigawatt Leistung liefern können. Das können regenerative Versorger derzeit schlicht und einfach nicht.

Die Sonne liefert das 8000-fache der Leistung, die wir brauchen. Es fehlt an Technik- noch. Regenerative Energien in der BRD: SONNE

Der jährliche Primär-Gesamtenergiebedarf der BRD liegt seit Jahren bei über drei Billionen Kilowattstunden. Den decken wir zu 85% über die Ressourcen Kohle, Gas und Öl.

Unterscheiden Sie bitte klar zwischen der sogenannten „Grundlast“ – das ist die ständig nötige Minimalleistung aller Energielieferanten und dem stark lokal und zeitlich wechselnden aktuellen Bedarf – beides ein Problem für die regenerativen Versorger.

Die BRD benötigt im Schnitt seit Jahren 40 bis 60 Gigawatt allein zur Stromgewinnung, die aber nur 20% der benötigten Gesamtleistung ausmacht. Zur Einordnung: Ein großes AKW liefert zwei Gigawatt – in Form elektrischen Stroms. 20 bis 30 AKW's könnten das ... aber, AKW's betrachten nur noch faktenresistente Leute als sinnvolle langfristige Option. Und Kernfusion ist derzeit etwas für Träumer und Unverzagte mit Jahrhunderthorizont. Bleibt auch die Frage nach regenerativer Quelle für die nicht-elektrischen 80% Energie.

„**Wasserkraft**“ ist in der BRD längst ausgereizt, liefert ohnehin nur einige wenige Prozent der Stromleistung und damit nur einen vernachlässigbaren Anteil an der erforderlichen Primär-Gesamtleistung.

Die regenerativen Energien per Windrad und Solarpanel haben ein großes Problem, das nur wenige Leute wirklich ausreichend auf dem Schirm haben: fehlende Speicher und noch keine effektive Speichertechnologie. Speicherseen und Akkus (beim derzeitigen Stand der Technik) sind da nur mickrige Behelfslösungen. Im Bereich Akkus wird aber intensiv geforscht. Windkraft und Solarenergie sind ohne Speicher nicht im Grundlastbereich einsetzbar. Sie stellen da sogar ein Steuerungsproblem dar, weil Standard-Grundlastkraftwerke nicht schnell genug regelbar sind und der Strom aber just in time abgenommen werden muss. Abgesehen davon können wir in Europa geografisch bedingt die nötige Gesamtenergie für den Ersatz von Kohle, Gas und Öl in Europa nie und nimmer per Solarpanel und Windrad erzeugen.

Eine Lösung wäre eine globale Kooperation zur Erzeugung von Strom, per Direktverbrauch oder Speicherung der elektrischen Energie in Form von Wasserstoff per Elektrolyse, eventuell Umwandlung in Methan zwecks einfacheren Handlings. Der Direktverbrauch des Wind- oder Solarstroms wäre am sinnvollsten, weil der Weg über Elektrolyse und Methanisierung über 50% der Energie kostet. Allerdings brauchen wir absehbar Wasserstoff und Methan für den Schwerlastverkehr per LKW, Schiff, Flugzeug sowie für die chemisch-wirtschaftliche Industrie. Das alles zu managen ist eine globale politische, wirtschaftliche und soziale Mammut-aufgabe, bei der derzeit niemand Licht am Horizont sieht. Da bräuchten wir in den Leitungs- und Entscheidungsebenen aller Länder intelligente Leute mit breiter Bildung, mit Mut und Moral, fernab von Egoismus und Gewinnsucht, ohne Gier nach Bedeutung und Macht, große Persönlichkeiten, die sich für die Sache aufopfern. Oh je ...

Eine Anmerkung bezüglich unseres lokalen und globalen Energieverbrauchs:

Die BRD verbrauchte 2022 ungefähr 555.000.000.000 kWh Energie, 20% in Form von Strom. Je knapp 30% die Industrie, die Haushalte und der Verkehr. Den Rest der Handel, diverse Gewerbe und Dienstleister wie Verwaltung, Gastronomie und Kulturbetrieb.

Der Anteil der erneuerbaren Energien lag 2022 in der BRD beim Strom bei 44 % und weltweit bei 20%. Wir leben also vorwiegend von unwiederbringlichen, in Jahrmilliarden von der Sonne erzeugten Ressourcen, die wir in nur zwei Jahrhunderten ausbeuten.

Der deutsche Bürger verbraucht pro Jahr insgesamt knapp 30.000 kWh Energie. Unser Wohlstand erfordert eine durchschnittliche Leistung von 3300 Watt pro Person. Das ist aus mehreren wissenschaftlich gesicherten Gründen um den **Faktor 3** zu hoch.

Zehn Milliarden Menschen (oder gar mehr) auf dem Wohlstandsniveau der BRD verändern die Biosphäre in wenigen Generationen so, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit für den Menschen keine gute Lebensgrundlage mehr bietet. Es ist nicht ansatzweise möglich, dies in diesem beschränkten Rahmen schlüssig zu erklären. Aber Wissenschaftler mit zweifelsfrei höchster Kompetenz und sozialem Gewissen predigen das seit Jahrzehnten.

Diese Erde bietet auf lange Sicht höchstens fünf Milliarden Menschen mit sinnvollem und einfachem Lebenswandel eine Lebensgrundlage auf Faktor 1 - Niveau.

Wenn wir nicht in wenigen Jahrzehnten die Anzahl der Menschen, unsere Ansprüche und die Differenz zwischen Arm und Reich erheblich reduzieren, werden wir arge Probleme bekommen, den Planeten und unsere Spezies zu unseren Ungunsten verändern.

Die Erde und das Universum berührt in keiner Weise, was diese Spezies alles anstellt.

Zum Schluß:

Was die nächsten Jahrzehnte geschieht, ist nicht mehr abwendbar und nicht vorhersagbar, außer dass sich vieles gewaltig ändern wird, auch der Mensch selber ...

Vorerst ist Sparsamkeit, generell und insbesondere beim Energieverbrauch durchaus klug, bis wir die Sonnenenergie in ausreichendem Maße auffangen, speichern und verwerten können. Es ist geradezu lächerlich: die Sonne bietet mit ihrer auf die Erde treffenden Strahlung das 8000-fache der Leistung, die wir Menschen derzeit brauchen.

Wir brauchen in der Breite der Bevölkerung Bildung, soziales Denken, Moral und unverzagtes Forschen im Sinne von try and error, von Jugend forscht bis in die Studierkammern und Versuchsanlagen jedweder Wissenschaft. Schwarzsehen, Schuldzuweisungen und Aktionen vorbei an der Frage „Wie sollen wir ganz konkret handeln?“ sind unangemessen und kontraproduktiv. Die Politik kann und wird die Probleme nicht lösen, weil sie an sich selbst und an den Menschen scheitert. Stellen Sie sich also darauf ein, dass die Welt in wenigen Jahrzehnten ein ganz andere sein wird – mit einem völlig anderen Menschenbild.

<p>© StD_{IR} Franz Steinleitner www.Franz-Steinleitner.de Februar 2023</p>	
--	--