

32 Klimaänderung und erneuerbare Energie

Vertiefung und Kompetenzüberprüfung

Martin Apolin (Stand Mai 2012)

Die Luft-Zusammensetzung

A1 Angenommen, in der Luft befinden sich 390 ppm CO₂. Auf wie viele Luftmoleküle kommt daher ein CO₂-Molekül? Anders gesagt: Wie viele Luftmoleküle musst du sammeln, damit statistisch gesehen ein CO₂-Molekül dabei ist?

A2 Schätze ab, um wie viel Prozent die CO₂-Konzentration zwischen dem Jahr 1800 und 2000 gestiegen ist. Verwende dazu Abb. 1.

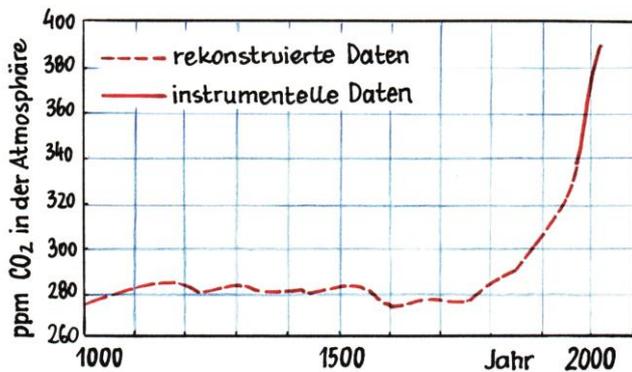


Abb. 1: Veränderung der CO₂-Konzentration der Luft in den letzten 1000 Jahren (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.7, S. 43).

A3 a Schätze die Masse der Atmosphäre ab, die sich über 1 m² der Erdoberfläche befindet. Hilf dir mit dem Normaldruck der Atmosphäre in Pascal (Tab. 1). Überlege dazu, welcher Zusammenhang zwischen Masse und Gewicht besteht.

Druckeinheit	Normaldruck
Pascal (Pa) = 1 N/m ²	101.300 Pa = 1013 hPa
Bar (bar)	1,013 bar
Millibar (mbar)	1013 mbar
Torricelli (torr oder mmHg)	760 Torr
Physikalische Atmosphären (atm)	1 atm

Tab. 1: Vergleich verschiedener Druckangaben.

A3 b Schätze mit Hilfe von A3 a die Masse der Erdatmosphäre ab. Der Erdradius beträgt $6,37 \cdot 10^6$ m, die Kugeloberfläche berechnet sich durch $O = 4r^2\pi$.

A3 c Schätze die Massenanteile der Luft-Gase in Tab. 2 ab. Verwende dazu die Volumenanteile (Tab. 2) und den Ausschnitt des Periodensystems in Abb. 2.

1										18					
1	H										2	He			
1	Wasserstoff 1,0079 1										2	Helium 4,0026 2			
2			13		14		15		16		17				
3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne
2	Lithium 6,941 2/1	Beryllium 9,0122 2/2	Bor 10,811 2/3	Kohlenstoff 12,011 2/4	Stickstoff 14,007 2/5	Sauerstoff 15,999 2/6	Fluor 18,988 2/7	Neon 20,180 2/8							
3			13		14		15		16		17		18		
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar
Natrium 22,990 2/8/1	Magnesium 24,305 2/8/2	Aluminium 26,982 2/8/3	Silicium 28,086 2/8/4	Phosphor 30,974 2/8/5	Schwefel 32,065 2/8/6	Chlor 35,453 2/8/7	Argon 39,948 2/8/8								

Abb. 2 zu A3 c (Quelle: Wikipedia)

	Volumenanteil	Massenanteil
N ₂	78,08 %	
O ₂	20,95 %	
Ar	0,93 %	
CO ₂	0,038 %	

Tab. 2: Volumen- und Massenanteile der Luft

A3 d Schätze die Gesamtmasse an CO₂ in der Atmosphäre. Verwende dazu das Ergebnis von A3 b und A3 c. Gib das Ergebnis in kg und Gigatonnen (Gt) an.

A4 Warum wird die Luft nach oben hin dünner (siehe Abb. 3)? Welche Dichte hat Luft über den Daumen auf Meeresebene? Um welchen Faktor ist sie in einer Höhe von 350 km dünner? In dieser Höhe befindet sich etwa die internationale Raumstation ISS. Wie dick ist die gesamte Atmosphäre?

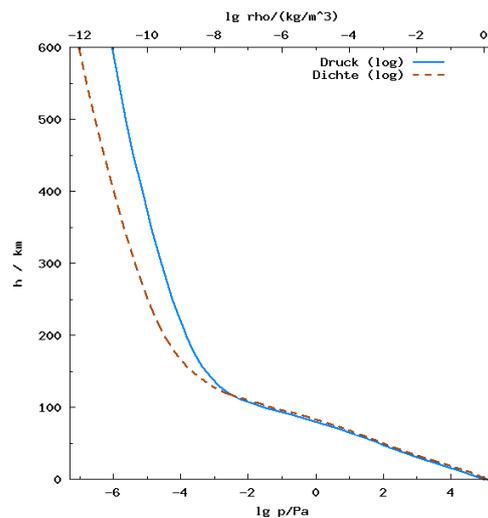


Abb. 3: Dichte und Druck der Erdatmosphäre bis 600 km Höhe. Auf der unteren x-Achse ist der dekadische Logarithmus des Drucks p in Pascal angegeben, auf der oberen x-Achse der dekadische Logarithmus der Dichte ρ in kg/m³ (Grafik: SiriusB; Quelle: Wikipedia).

A5 Im Film „Eine unbequeme Wahrheit“ wird behauptet, dass die Atmosphäre so dick ist wie die Schale eines Apfels. Schätze ab, ob dieser Vergleich richtig sein kann. Der Radius der Erde beträgt $6,37 \cdot 10^6$ m. Hilf dir mit Abb. 3!

A6 Den „Schwimmreifen“, der bei einer positiven Energiebilanz entsteht, kann man tröstlich auch als transformierte Sonnenenergie ansehen. Begründe mit Hilfe der Gleichung $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie} \Rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$.

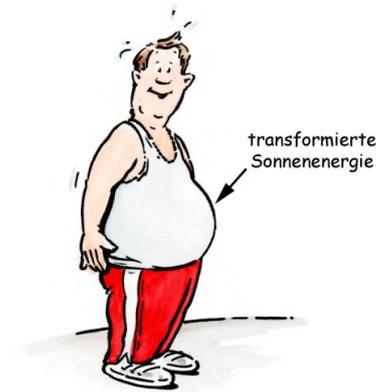


Abb. 4 zu A6 (Grafik: Janosch Slama)

A7 Auf www.cosmiq.de stellt ein User die Frage: „Seit wann gibt es Pflanzen auf der Welt?“. Muellmann123 antwortet [sic!]: „schon Mrd. Jahren, wenn nich sogar Billonen Jahre vor uns.“ Was ist zu dieser Antwort zu sagen? Schätze mit Hilfe von Abb. 5 ab, seit wann es auf jeden Fall schon Pflanzen gegeben haben muss.

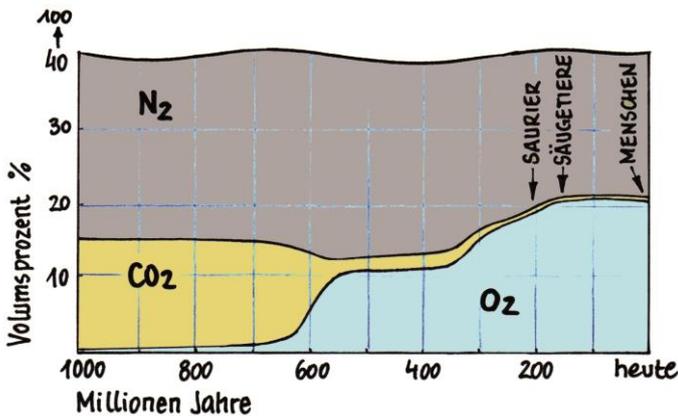


Abb. 5: Schematische Darstellung der Entwicklung der Uratmosphäre bis heute (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.3, S. 42).

Der anthropogene Treibhauseffekt

A8 Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre besagt, dass Wärme von selbst immer von Orten der höheren zu Orten der niedrigeren Temperatur fließt. Wird dieser Satz nicht

verletzt, wenn ein in der Sonne geparktes Auto innen heißer wird als die Umgebungsluft?

A9 Oft kann man lesen, dass die Atmosphäre das von der Erde abgestrahlte IR wieder reflektiert. Warum ist das nicht richtig? Wie ist es tatsächlich? Verwende für deine Erklärung Abb. 6.

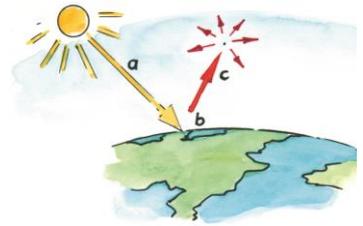


Abb. 6 (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.5, S. 43).

A10 Mit wie viel Watt pro Quadratmeter strahlt die Erde durchschnittlich wieder in den Weltraum hinaus – und somit auch die Sonne durchschnittlich auf die gesamte Erdoberfläche? Hilf dir mit Abb. 7!

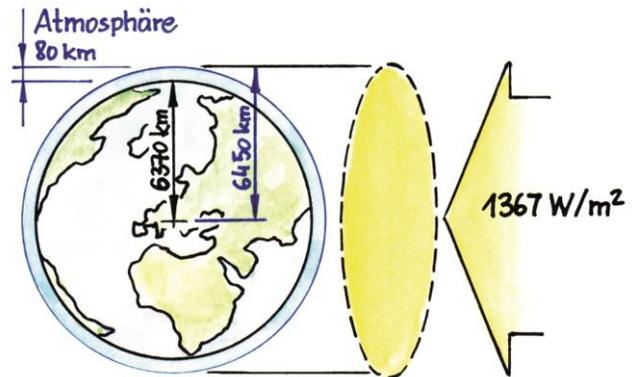


Abb. 7 So kann man die Strahlungsenergie der Sonne abschätzen. Die berechnete Kreisfläche ist die 2-dimensionale Projektion der Erde. Der absorbierende Teil der Atmosphäre ist mit einer Höhe von 80 km angenommen (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.19, S. 47).

A11 Welche wichtigen Informationen kann man aus Abb. 8 herauslesen? Was kann man *nicht* herauslesen?

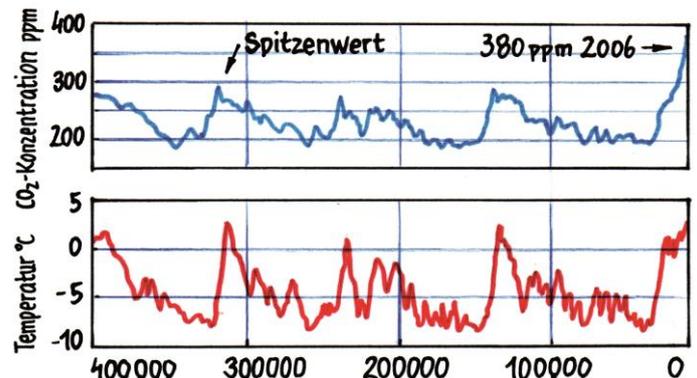


Abb. 8: Veränderung der Temperatur und von CO₂ in den letzten 400.000 Jahren (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 37.9, S. 106, BB7).

A12 Begründe mit Hilfe von Abb. 9, warum der Großteil der Vegetation der Erde nördlich des Äquators liegen muss. Überlege dazu, wie es zu den Zacken im atmosphärischen Kohlenstoffdioxid kommt.

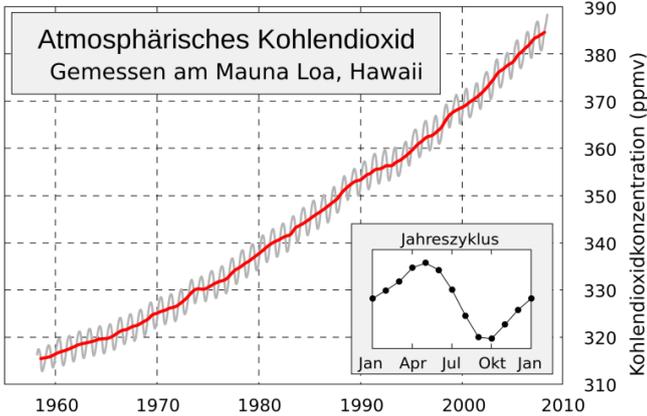


Abb. 9 zu A12: Anm.: Chemisch richtig wäre es, von Kohlenstoffdioxid zu sprechen (Quelle: Wikipedia)

A13 Warum absorbieren Wasserdampf (H₂O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) IR so gut? Was passiert dabei mit den Molekülen? Warum absorbieren die anderen Luftgase N₂ und O₂ kein Infrarot?

A14 Die Größe des anthropogenen Treibhauseffekts beträgt in der Strahlungsbilanz etwa zusätzliche 2,6 W/m². In Abb. 10 siehst du die Entwicklung des Weltenergiebedarfs seit 1970. Schätze mit dem aktuellsten Wert ab, ob die Abwärme, die vom Menschen etwa durch Heizen, Kochen oder Verbrennen erzeugt wird, die Erwärmung der Erde maßgeblich mitverursacht. Rechne die abgegebene Energie in W/m² um (hilf dir mit A10).

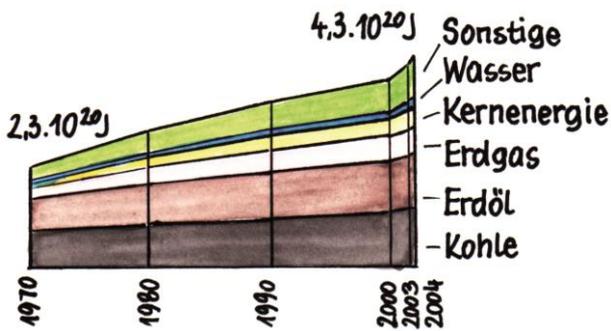


Abb. 10: Die Entwicklung des Weltenergiebedarfs seit 1970 (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.17, S. 47).

A15 Oft wird die globale Erwärmung der gesteigerten Aktivität der Sonne in die Schuhe geschoben. Überprüfe diese Hypothese mit Hilfe von Abb. 11.

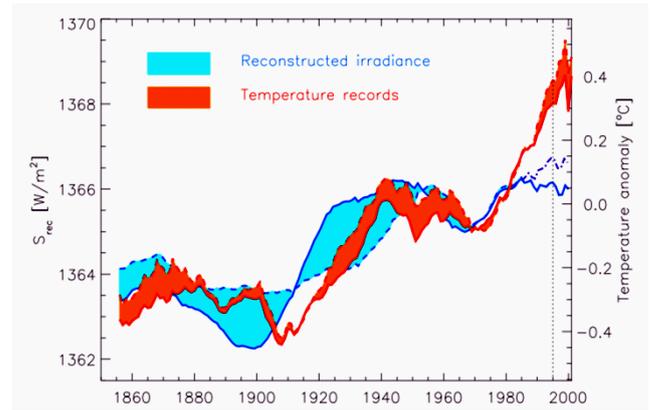


Abb. 11: Rekonstruktion der Sonneneinstrahlung und der Temperaturveränderung seit 1870. Die roten und türkisen Flächen zeigen unterschiedliche Temperaturmittlungen bzw. deuten die Unsicherheiten in der Bestimmung der Sonnenhelligkeit an (Quelle: S.K. Solanki, M. Fliggé, N. Krivova, 2002, preprint).

Mögliche Entwicklungen des globalen Klimas

A16 In Abb. 12 siehst du mögliche Entwicklungen des Klimas bis 2100, durchgeführt von verschiedenen Institutionen. Wieso unterscheiden sich die Prognosen so stark voneinander?

Projektionen globaler Erwärmung

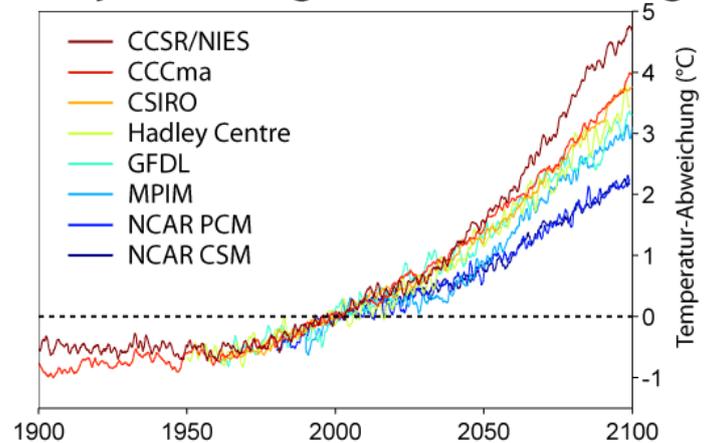


Abb. 12: Mögliche Temperaturentwicklungen bis 2100 (Quelle: Wikipedia).

A17 Wenn du mit einem Mikro zu nahe an einen Lautsprecher kommst, dann pfeift es höchst unangenehm. Warum? Warum liegt beim Treibhauseffekt ein ähnlicher Mechanismus vor?

A18 In Abb. 13 (nächste Seite) siehst du die Entwicklung des Anstiegs der Meeresspiegel. Wie stark wird der Meeres-

spiegel zwischen 2000 und 2100 ansteigen, wenn dieser Trend bis dahin so anhält?

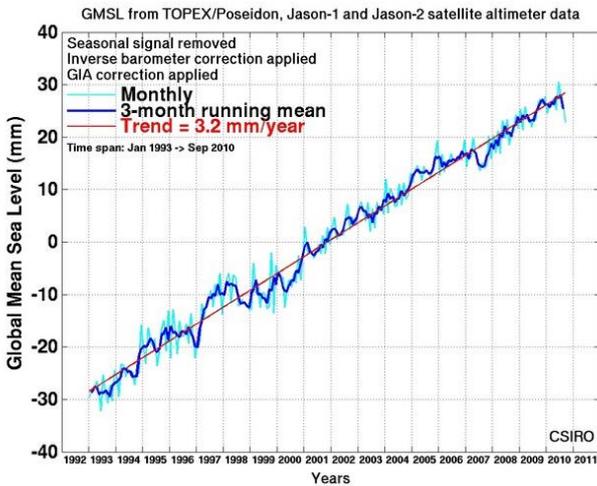


Abb. 13: Anstieg des Meeresspiegels in den Jahren 1992 bis 2011 (Grafik: Neil White, CSIRO; Quelle: Wikipedia).

A19 In Tabelle 3 siehst du die pro Kopf Abgabe an CO₂ im Jahr 2006 in einigen Ländern. Berechne den Gesamtausstoß für die jeweiligen Länder und den Prozentsatz an der weltweiten Emission und vervollständige die Tabelle. Die Gesamtemission betrug 2006 etwa 30.000 Mio. Tonnen. Welche Aussagen kannst du treffen?

Land	Einwohner	Tonnen CO ₂ pro Person 2006	Tonnen insgesamt	% der weltweiten Emission
Katar	1,7 Mio.	56,2		
Vereinigte Staaten	311 Mio.	19,0		
Australien	22 Mio.	18,1		
Deutschland	82 Mio.	9,7		
Österreich	8,4 Mio.	8,6		
China	1340 Mio.	4,6		
Indien	1210 Mio.	1,3		

Tab.3: Die CO₂-Emission einiger ausgewählter Länder im Jahr 2006.

A20 Zwischen 1990 und 2000 betrug im Schnitt die jährliche Freisetzung an CO₂ 24.000 Mio. Tonnen pro Jahr. Der gesamte Gehalt an CO₂ in der Atmosphäre beträgt etwa 3000 Gt. Schätze ab, um wie viele ppm der CO₂-Gehalt der Luft in dieser Zeit gestiegen sein müsste und vergleiche mit Abb. 9. Was kann man daraus schließen?

A21 In Abb. 14 siehst du das Kyoto-Ziel, das sich Österreich bis zum Jahr 2012 gesetzt hatte. Nimm an, wir hätten es erreicht. Schätze ab, um wie viel dadurch die weltweite CO₂-Emission gesunken wäre. Verwende dazu das Ergebnis aus A19. Was kann man daraus folgern?

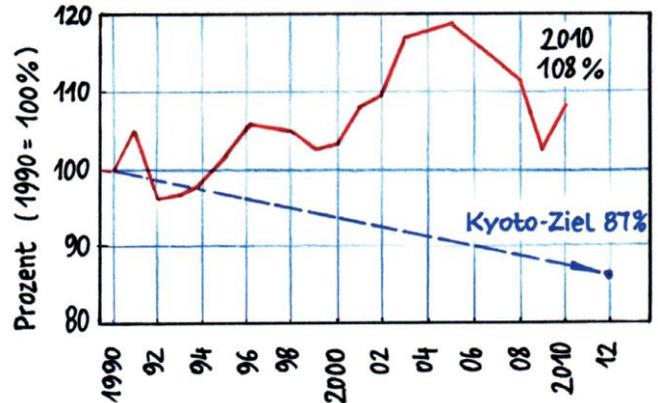


Abb. 14: Kyoto-Ziel und tatsächliche CO₂-Emission von Österreich (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 32.14, S. 46).

A22 Warum kann man das Wetter auf eine Woche, das Klima aber auf ein Jahrhundert im Voraus sinnvoll einschätzen?

Energie aus der Sonne

A23 Schätze ab, ob man sich von Licht ernähren kann! Nimm dazu an, dass Lichtatmer in der Lage sind, in der Haut Photosynthese ablaufen zu lassen. Für deine Schätzung brauchst du die Strahlungsleistung der Sonne, die am Boden ankommt (Abb. 15), eine Schätzung für die Körperoberfläche des Menschen und den Wirkungsgrad bei der Photosynthese (etwa 1%).

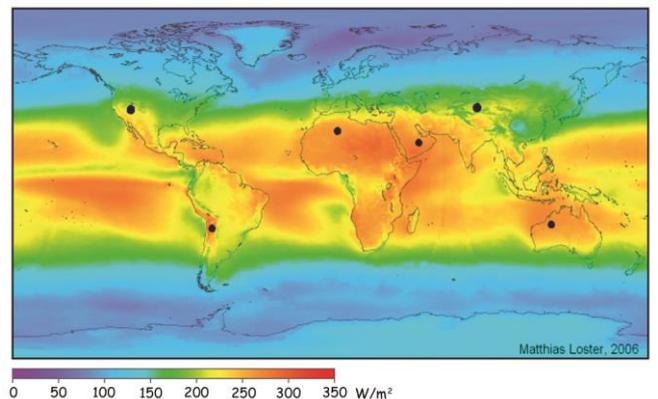


Abb. 15: Die Karte zeigt die durchschnittliche lokale Sonneneinstrahlung (gemittelt über ein ganzes Jahr) auf der Erdoberfläche (Abb. 32.20, BB7, S. 48).

A24 Schätze ab, wie lange die Sonne auf die Erde stahlen muss, damit diese Energie (theoretisch) dem Jahresbedarf der gesamten Menschheit entspricht? Verwende dafür Abb. 7 und Abb. 10!

A25 Wie groß müsste ein Solar-Panel sein, damit man den Energiebedarf der Menschheit decken könnte? Nimm an, dass das Panel an einem sehr günstigen Ort positioniert ist (siehe Abb. 15), und dass es einen Wirkungsgrad von 10 % aufweist. Vergleiche das Ergebnis mit der Fläche von Österreich (84.000 km²).

A26 Versuche Vorteile und Nachteile von Photovoltaik aufzuzählen.

Windenergie

A27 Argumentiere möglichst einfach, warum es nicht möglich sein kann, dem Wind die gesamte kinetische Energie zu entziehen.

A28 a Schätze die Leistung eines Rotors ab. Gehe dabei folgendermaßen vor: In einer bestimmten Zeit strömt eine zylinderförmige Luftmasse durch dessen Querschnittsfläche (Abb. 16).

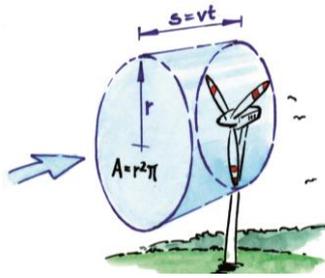


Abb. 16 (Grafik: Janosch Slama)

Berechne zunächst das Volumen dieses Zylinders. s ist dabei der Weg, den die Luft in einer bestimmten Zeit zurücklegt, und somit gleichzeitig die Höhe des Zylinders. Berechne dann mit Hilfe der Gleichung Dichte (ρ) ist Masse (m) pro Volumen (V) die Masse dieses Luftzylinders. Bestimme schließlich die kinetische Energie des Luftzylinders ($E_k = mv^2/2$) und die Leistung über $P = E_k/t$.

A28 b Die Leistung eines Rotors ist proportional zu r^2 und v^3 (siehe A28 a). Warum ist das so? Versuche möglichst einfache Argumente zu finden.

A28 c Um wie viel Prozent wächst die Rotorleistung, wenn sich die Luftgeschwindigkeit um 20 % erhöht?

A29 Wie ist es möglich, dass die Luft hinter dem Rotor eines Windkraftwerkes langsamer strömt? Es muss doch durch

den imaginären Zylinder (Abb. 16) immer dieselbe Luftmasse pro Zeit strömen? Müsste es nicht zu einem Rückstau kommen, wenn die Luft hinter dem Rotor abgebremst wird?

A30 Abb. 17 zeigt die auf ein durchschnittliches Jahr bezogene Leistung der weltweit installierten Windanlagen. Berechne für das Jahr 2011 den Prozentsatz der Windenergie im Vergleich mit dem Gesamtenergiebedarf der Welt ($5,1 \cdot 10^{20}$ J).

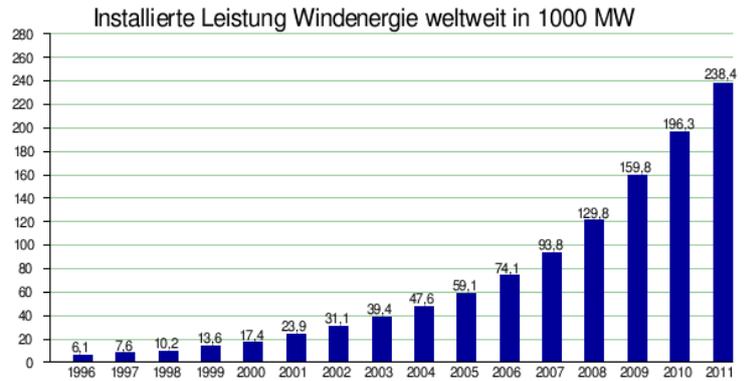


Abb. 17 zu A30 (Quelle: Wikipedia)

Allgemeines

A31 Warum ist das Verbrennen von Biomasse ökologischer als das Verbrennen von fossilen Stoffen? Es wird doch in beiden Fällen CO₂ freigesetzt! Erkläre in diesem Zusammenhang den Begriff CO₂-neutral.

A32 Auf vielen Karten zur Sonneneinstrahlung wird nicht die Strahlungsleistung in W/m² angegeben (wie in Abb. 15), sondern auf Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr umgerechnet. Welcher Zusammenhang besteht hier?

A33 Als graue Energie (Tab. 4 nächste Seite) wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes benötigt wird. Der Strom-Energiebedarf eines Haushalts beträgt etwa 3000 kWh im Jahr. Um wie viel steigt der Energiebedarf einer Familie in Prozent, wenn diese a) jeden Tag 4 Aludosen in den normalen Müll wirft, b) alle 3 Jahre einen neuen PC kauft, c) alle 10 Jahre ein neues Auto und d) die Punkte a) bis c) alle zutreffen? Vervollständige die Tabelle! Was folgt daraus?

	graue Ener-		graue Energie pro
--	-------------	--	-------------------

	gie		Jahr/ in Prozent des Strom-Energiebedarfs
Aludose	5 kWh	4 Aludosen pro Tag	
PC	3000 kWh	1 PC alle drei Jahre	
Auto	30.000 kWh	1 Auto alle 10 Jahre	

Tab. 4: Geschätzte Werte für die graue Energie. Ein Wert in der letzten Spalte ist exemplarisch vorgegeben.

A34 Der „Erntefaktor“ ist eine Kennziffer zur Beschreibung der Effizienz eines Kraftwerks oder einer Energiequelle. Er beschreibt das Verhältnis der genutzten Energie zur investierten Energie. Die „energetische Amortisationszeit“ ist diejenige Zeit, nach der der kumulierte Energieaufwand beim Bau bzw. der Produktion gleich der genutzten Energie wird. Er gibt also die Zeit an, wie lange eine energieliefernde Anlage in Betrieb sein muss, bis sie unter dem Strich genauso viel Energie abgegeben hat, wie für ihre Produktion nötig waren. Interpretiere die Daten in Tabelle 5.

Typ	Erntefaktor	Amortisationszeit
Atomkraftwerk (Druckwasserreaktor)	120	2 Monate
Gaskraftwerk (Erdgas)	28	9 Tage
Laufwasserkraftwerk	50	1 Jahr
Windkraftwerk (günstige Lage)	50	1 bis 6 Monate
Solarzellen (Dachinstallation, Süddeutschland)	3,0	7 Jahre

Tab.5: Geschätzte Werte für den Erntefaktor und die energetische Amortisationszeit. Die Werte sind als Größenordnungen zu sehen, weil ihre Angaben in der Literatur sehr schwanken.

A35 Manchmal wird der Mythos von der CO₂-freien Atomkraft strapaziert. Was ist falsch daran?

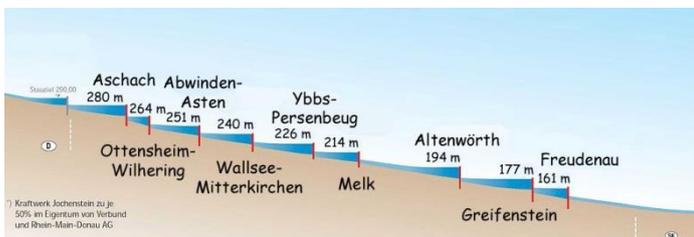


Abb. 18: Querschnitt durch die Staustufen der Donau. Das Gefälle ist stark übertrieben dargestellt (Quelle: Wikipedia).

A36 Könnte man nicht einfach, um den steigenden Strombedarf in Österreich zu decken, mehr Donaukraftwerke bauen? Verwende für deine Begründung Abb. 18!

A37 Die Hainburger Au ist eine naturbelassene Flusslandschaft an der Donau nahe Hainburg in Niederösterreich, östlich von Wien. Anfang 1983 hatte der WWF Österreich seine Kampagne „Rettet die Auen“ gestartet und mit Hilfe einiger Medien begonnen, die Öffentlichkeit auf die drohende Zerstörung eines Teils der Donauauen durch ein dort geplantes Wasserkraftwerk aufmerksam zu machen.

Am 8. Dezember 1984 organisierte die Österreichische Hochschülerschaft einen Sternmarsch, an dem etwa 8000 Menschen teilnahmen. Mehrere hundert Personen blieben in der Au und erzwangen die Einstellung der Rodungsarbeiten. Nachdem die Au zum Sperrgebiet erklärt worden war, kam es am 19. Dezember 1984 zu einem umstrittenen Polizeieinsatz, bei dem unter Schlagstockeinsatz eine Fläche von der Größe von zwei Fußballfeldern mit Absperrungen eingefasst und unter Polizeibewachung gerodet wurde. Bei den Zusammenstößen zwischen 800 Polizeibeamten und etwa 3000 Aubesetzern wurden auf Seiten der Umweltschützer nach offiziellen Angaben knapp 20 Personen verletzt. Am Abend desselben Tages demonstrierten in Wien rund 40.000 Menschen gegen das Vorgehen der Regierung und gegen den Kraftwerksbau.

Ab 21.12.1984 verhängte die Bundesregierung einen Rodungsstopp. Das 1985 durchgeführte Konrad-Lorenz-Volksbegehren, das unter anderem ein Verbot von Großkraftwerken wie Hainburg und die Errichtung eines Nationalparks im Gebiet von Hainburg verlangte, wurde von über 350.000 Personen unterzeichnet. Der Verwaltungsgerichtshof hob den Wasserrechtsbescheid auf. Seit 1996 gehört das Gebiet der Hainburger Au zum Nationalpark Donau-Auen.

Begründe, warum die Hainburger-Au-Besetzung sowohl umweltpolitisch als auch demokratiepolitisch für Österreich von großer Bedeutung war! Überlege, warum die Interessensbereiche von Ökologie und Ökonomie meistens sehr schwer unter einen Hut zu bringen sind.

Hilfe zu A1: Die Angabe 390 ppm bedeutet, dass sich 390 Moleküle CO₂ in einer Million Luftmolekülen befinden. Es gilt daher $390 \text{ Moleküle CO}_2 / 10^6 \text{ Luftmoleküle} = 1 \text{ Molekül CO}_2 / (10^6 / 390 \text{ Luftmoleküle}) = 1 / 2564$. Auf 2564 Luftmoleküle kommt daher nur ein einziges Molekül CO₂, und das ist schon überraschend wenig!

Hilfe zu A2: Um 1800 betrug die CO₂-Konzentration etwa 285 ppm. Im Jahr 2000 war sie bei etwa 380 ppm. Wenn man 285 ppm als Ausgangswert annimmt, dann lagen 2000 die Werte bei $100 \cdot 380 / 285 \approx 133 \%$. Die Steigerung beträgt daher etwa 33 %. Anders gerechnet: 1 % des Ausgangswertes sind 2,85 ppm. 380 ppm entsprechen daher $380 / 2,85 \approx 133 \%$.

Hilfe zu A3 a: Der Normaldruck beträgt 101.300 Pa oder 101.300 N/m². Gewicht ist Masse mal Erdbeschleunigung, also $G = m \cdot g$. Oder in Einheiten: $[N] = [kg \cdot m \cdot s^{-2}]$. Umgekehrt ist daher die Masse Gewicht durch Erdbeschleunigung ($m = G/g$). In Einheiten $[kg] = [N] / [m \cdot s^{-2}] = [kg \cdot m \cdot s^{-2}] / [m \cdot s^{-2}]$. Man kann daher aus dem Normaldruck sofort ausrechnen, dass pro m² eine Masse von $101.300 \text{ N} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 10.326 \text{ kg}$ Luft lastet.

Hilfe zu A3 b: Die Oberfläche der Erde beträgt $O = 4r^2\pi = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$. Über jedem dieser Quadratmeter liegt eine Luftmasse von 10.326 kg (A3 a). Die Gesamtmasse der Atmosphäre beträgt daher etwa $5,3 \cdot 10^{18} \text{ kg}$.

Hilfe zu A3 c: Am besten ist es, relativ zu rechnen. Dazu muss man die Volumenanteile der jeweiligen Gase mit ihrer relativen Masse multiplizieren (siehe Abb. 2) und addieren: $78,08 \cdot 14 + 20,95 \cdot 16 + 0,93 \cdot 18 + 0,038 \cdot 22 = 1445,9$. Der Wert 1445,9 ist die relative Gesamtmasse der Luft und somit 100 %. Nun kann man den relativen Massenanteil ermitteln. Für N₂ wäre das z. B. $78,08 \cdot 14 / 1445,9 = 0,756$. Daher hat N₂ einen Massenanteil von 75,6 %. Wenn man mit den anderen Werten ebenso verfährt, erhält man die Werte in der rechten Spalte in Tab. 6. Diese Werte stimmen gut mit den dokumentierten überein.

	Volumenanteil	Massenanteil
N ₂	78,08 %	75,60 %
O ₂	20,95 %	23,18 %
Ar	0,93 %	1,16 %
CO ₂	0,038 %	0,06 %

Tab. 6: Volumen- und Massenanteile der Luft

Hilfe zu A3 d: Die Gesamtmasse der Erdatmosphäre beträgt $5,3 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ (A3 b). CO₂ hat davon einen Massenanteil von 0,06 % (A3 c). Die Gesamtmasse des CO₂ in der Atmosphäre beträgt daher $5,3 \cdot 10^{18} \text{ kg} \cdot (0,06 / 100) = 3,18 \cdot 10^{15} \text{ kg}$. Eine Tonne entspricht 10^3 kg , eine Gigatonne 10^{12} kg . In der Atmosphäre befinden sich daher rund 3000 Gt CO₂.

Hilfe zu A4: Flüssigkeiten sind praktisch nicht komprimierbar. Daher nimmt zwar im Wasser mit zunehmender Tiefe der Druck zu, aber die Dichte bleibt so gut wie gleich. Gase sind aber sehr leicht zu komprimieren. Je weiter man in die Atmosphäre eintaucht, desto mehr Luft befindet sich darüber, die die unteren Luftschichten zusammendrückt. Daher wächst die Dichte an bzw. sie sinkt umgekehrt mit zunehmender Höhe.

Auf Meeressniveau hat Luft eine Dichte von rund 1 kg/m^3 . Es gilt $\log(1) = \log(10^0) = 0$. Daher beginnt die Dichte-Kurve auf Meeressniveau bei 0 (siehe obere x-Achse in Abb. 3). Die x-Achse ist logarithmisch aufgetragen und zeigt daher direkt den Exponenten an. In 350 km Höhe ist der log der Dichte der Luft auf etwa -11 abgesunken. Das heißt, dass dort die Dichte um den Faktor 10^{-11} geringer ist. Die Atmosphäre hat *keine* fixe Grenze, sondern dünnt sich immer mehr aus. Der Übergang zum Weltraum ist daher fließend, und alle angegebenen Grenzen sind daher immer Definitionen.

Hilfe zu A5: Das Problem dabei ist, die Dicke der Atmosphäre zu definieren, weil diese keine scharfe Grenze hat (siehe A4). Ziehen wir eine willkürliche Grenze bei 300 km, also bei $3 \cdot 10^5 \text{ m}$. Das entspricht $3 \cdot 10^5 \text{ m} / (6,37 \cdot 10^6 \text{ m}) \approx 0,05 = 5 \%$ des Erdradius. Angenommen, ein großer Apfel hat einen Radius von 5 cm (= 50 mm). 5 % davon sind 2,5 mm. Das überschätzt die Dicke der Schale sicherlich etwas, trifft aber zumindest die Größenordnung recht gut.

Hilfe zu A6: Generell kann man sagen, dass die gesamte chemische Energie, die in allen Lebewesen – also Pflanzen und Tieren - auf dieser Erde gespeichert ist, umgewandelte Sonnenenergie ist, denn diese ist dafür verantwortlich, dass CO₂ und H₂O in Zucker umgewandelt wird. Tiere fressen Pflanzen, und wir essen Pflanzen und Tiere. So gelangt die chemische Energie in unseren Körper. Zu ihrer Erzeugung war aber die Sonnenenergie notwendig. Daher kann man begründen, dass der menschliche Organismus letztlich mit Sonnenenergie funktioniert. Und man kann sagen, dass die Fettpölster im Körper transformierte Sonnenenergie sind. Das wäre doch einmal etwas fürs Esoterikforum!

Hilfe zu A7: Nachdem die Erde rund 4,6 Milliarden Jahre alt ist, können natürlich Pflanzen nicht Billionen Jahre vor uns entstanden sein. Abb. 4 zeigt, dass bereits vor etwa 700 bis 800 Millionen Jahren der Sauerstoffgehalt zumindest etwas angestiegen ist. Deshalb muss es zu dieser Zeit schon Photosynthese und somit auch Pflanzen gegeben haben.

Hilfe zu A8: Nein, die Wärme fließt ja trotzdem von warm nach kalt, nämlich von der Sonnenoberfläche (etwa 5500 °C) ins Innere des Autos (maximal 70 bis 80 °C).

Hilfe zu A9: Das sichtbare Licht der Sonne kann die Atmosphäre nahezu ungehindert durchdringen (Abb. 6 a). Wenn es auf die Erde trifft, wird es teilweise in Infrarotstrahlung umgewandelt (b). Diese wird von bestimmten Molekülen in der Atmosphäre absorbiert und dann *in alle Richtungen* weggestrahlt. Dadurch wird ein Teil auch wieder zur Erde zurückgeworfen (c), und es kommt somit zu einer stärkeren Erwärmung als ohne Atmosphäre. Es handelt sich also um *keine* Reflexion, sondern um Absorption und Reemission. Bei einer Reflexion würde das Licht komplett zurückgestrahlt werden.

Hilfe zu A10: Die berechnete Kreisfläche, auf die die Strahlung der Sonne trifft, ist die 2-dimensionale Projektion der Erde (Abb. 7). Diese Kreisfläche kann man mit $A_{\text{Kreis}} = r^2 \pi$ berechnen. Weil sich die durchschnittliche Temperatur der Erde nur sehr langsam ändert, muss im Schnitt die auf die Erde eingestrahlte Sonnenenergie gleich der ins All abgestrahlten Energie der Erde sein. Die Oberfläche der Erde kann man mit $O_{\text{Kugel}} = 4r^2 \pi$ berechnen. Weil die abstrahlende Fläche 4-mal so groß ist wie die angestrahlte Kreisfläche, muss auch die abgestrahlte Leistung in W/m^2 ein Viertel der Solarkonstanten sein, also rund $342 \text{ W}/\text{m}^2$. Das ist auch umgekehrt die durchschnittliche Leistung, mit der die Sonne auf die gesamte Erdoberfläche strahlt.

Hilfe zu A11: Man kann sehen, dass es in den letzten 400.000 Jahren starke Schwankungen in der CO_2 -Konzentration und in der Temperatur gegeben hat – wie auch von vielen Klima-Skeptikern behauptet wird. Die CO_2 -Konzentration lag dabei aber niemals über 280 ppm. Der Anstieg auf 380 ppm ist somit als etwas Besonderes zu bewerten und geht nicht automatisch als natürliche Schwankung durch.

Man sieht weiters, dass die Temperaturminima und –maxima mit den Minima und Maxima der CO_2 -Konzentration zusammenfallen. Daraus lässt sich aber *kein* Kausal-

zusammenhang ablesen. Diesen kann man durch Klimamodelle herstellen, aber nicht durch diese Grafik.

Letztlich kann man in der Grafik sehen, dass die Unterschiede zwischen Warmzeit und Eiszeit maximal 10 °C betragen. Es dauerte aber viele tausend Jahre, bis sich die Temperatur geändert hatte. Daher kann man sich vorstellen was es bedeutet, wenn sich die Temperatur bis 2100 um etwa 5 °C ändert, also in vergleichsweise einer winzigen Zeitspanne.

Hilfe zu A12: Die Zacken kommen dadurch zu Stande, dass im Herbst (ab Oktober) Bäume und Sträucher auf der Nordhalbkugel ihre Blätter verlieren. Dabei wird das in ihnen gespeicherte CO_2 freigesetzt. Weil auf der Südhalbkugel in der selben Zeit weniger Blätter nachwachsen, steigt dadurch der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre an. Erst wenn im Frühjahr auf der Nordhalbkugel die Blätter wieder nachwachsen, sinkt der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre wieder ab.

Hilfe zu A13: Bei der Bestrahlung eines Stoffes mit elektromagnetischen Wellen werden bestimmte Frequenzbereiche absorbiert. Infrarotstrahlung liegt energetisch im Bereich der Rotationsniveaus von kleinen Molekülen und der Schwingungsniveaus von Molekülbindungen. Die Absorption führt zu einer Schwingungsanregung der Bindungen. Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und dem Molekül kann nur auftreten, wenn im Molekül bewegte elektrische Ladung zur Verfügung steht. Das ist immer dann der Fall, wenn das Molekül entweder ein veränderbares oder ein induzierbares Dipolmoment aufweist, salopp gesagt also die verschiedenen Enden eines Moleküls unterschiedlich geladen sind, und das ist nur bei H_2O und CO_2 der Fall.

Hilfe zu A14: Nehmen wir an, dass die gesamte in einem Jahr umgesetzte Energie in Wärme umgewandelt wird. Ein Jahr hat $60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$. Die „Heizleistung“ beträgt daher $4,3 \cdot 10^{20} \text{ J} / 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} = 1,36 \cdot 10^{13} \text{ W}$. Die Oberfläche der Erde beträgt $O_{\text{Kugel}} = 4r^2 \pi = 4 \cdot (6370 \cdot 10^3)^2 \cdot \pi \text{ m}^2 = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$. Die zusätzliche Heizleistung beträgt daher $1,36 \cdot 10^{13} \text{ W} / 5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 = 0,027 \text{ W}/\text{m}^2$. Das macht ziemlich genau 1/100 des anthropogenen Treibhauseffektes aus und ist daher zu vernachlässigen.

Hilfe zu A15: Der Verlauf der mittleren Temperatur auf der Erde (rot) stimmt von 1860 bis 1970 tatsächlich recht gut mit der rekonstruierten solaren Helligkeit überein. Der deutliche Temperaturanstieg auf der Erde seit 1970 lässt sich

aber nicht mehr auf die Sonnenhelligkeit zurückführen und ist ein Indiz für den anthropogenen Treibhauseffekt.

Hilfe zu A16: Die Unterschiede kommen vor allem dadurch zu Stande, ob man die Entwicklung des CO₂-Ausstoßes optimistisch oder pessimistisch sieht.

Hilfe zu A17: Die Erwärmung hat zwei Auswirkungen, die wiederum die Erwärmung verstärken: 1) Durch das Abschmelzen der Eismassen wird weniger Licht von der Erdoberfläche reflektiert und mehr absorbiert. 2) Durch die Erwärmung können die Ozeane weniger CO₂ binden und dieses wird vermehrt frei. Der Treibhauseffekt verstärkt sich dadurch selbst. Dasselbe Prinzip liegt bei einem pfeifenden Lautsprecher vor. Das nennt man allgemein eine positive Feedbackschleife.

Hilfe zu A18: Aus dem Trend 3,2 mm/Jahr folgt 320 mm oder 0,32 m in 100 Jahren.

Hilfe zu A19: Obwohl Amerika nur etwa ein Viertel der Einwohner von China hat, verursachte es im Jahr 2006 etwa dieselben CO₂-Emissionen wie China. Insgesamt produzierten die USA und China etwa 40 % des weltweiten CO₂. Katar fällt auf Grund seiner geringen Einwohnerzahl global gesehen kaum ins Gewicht. Es verursacht etwa so viel Emissionen wie Österreich.

Land	Einwohner	Tonnen CO ₂ pro Person 2006	Tonnen insgesamt	% der weltweiten Emission
Katar	1,7 Mio.	56,2	9,6·10 ⁷	0,3
Vereinigte Staaten	311 Mio.	19,0	5,9·10 ⁹	19,7
Australien	22 Mio.	18,1	4·10 ⁸	1,3
Deutschland	82 Mio.	9,7	8·10 ⁸	2,7
Österreich	8,4 Mio.	8,6	7,1·10 ⁷	0,2
China	1340 Mio.	4,6	6,2·10 ⁹	20,5
Indien	1210 Mio.	1,3	1,6·10 ⁹	5,2

Tab.7 zu A19

Hilfe zu A20: 24.000 Mio. Tonnen entsprechen 24 Gt. Wenn der gesamte Gehalt an CO₂ in der Atmosphäre etwa 3000 Gt beträgt, wären das 24 Gt/3000 Gt = 0,008, also 0,8 %. Der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre würde daher im Jahr um 0,8 % steigen. Wenn man von 353 ppm im Jahr 1990 ausgeht (siehe Abb. 9), dann würde die Steigerung etwa

2,8 ppm pro Jahr ausmachen und in 10 Jahren daher 28 ppm. Im Jahr 2000 müsste der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre daher bereits bei 381 ppm gelegen haben. In Abb. 9 sieht man aber, dass er knapp unter 370 ppm lag. Daran sieht man, dass es noch andere Mechanismen geben muss (z. B. sogenannte Kohlenstoffsenken), die die Menge des CO₂ beeinflussen. Das macht natürlich Prognosen sehr schwierig.

Hilfe zu A21: Österreich verursacht etwa 0,2 % der weltweiten CO₂-Emissionen (siehe Tab. 7). Würde es gelingen, diese um 13 % zu senken, würde man weltweit gesehen 0,026 % weniger CO₂ freisetzen. Absolut gesehen ist das ein Tropfen auf den heißen Stein. Trotzdem sind solche Ziele wichtig, vor allem deshalb, weil sie ein Zeichen setzen und das Bewusstsein der Bevölkerung beeinflussen können.

Hilfe zu A22: Weil man beim Klimaszenario ja nicht die Temperatur für einen bestimmten Ort an einem bestimmten Tag berechnet, sondern die globale Durchschnittstemperatur für ein Jahr, und das ist etwas ganz anderes! Wenn man die Temperatur, die es z. B. in einer Woche in Graz haben soll, prognostiziert, kann man gut und gerne bei einer überraschenden Wetterentwicklung auch einmal um 10 °C danebenliegen. Wenn man aber die globale Jahresdurchschnittstemperatur berechnet, wird man nur Bruchteile eines Grades danebenliegen, weil sich die „Temperaturüberraschungen“ die Waage halten.

Hilfe zu A23: Abb. 15 zeigt, dass selbst in den günstigsten Gegenden der Welt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung etwa 300 W/m² beträgt. Die Hautoberfläche eines Menschen liegt zwischen 1,5 und 2 m². Nehmen wir großzügig den höchsten Wert an. Die Sonne kann aber immer nur eine Seite bestrahlen, also 1 m². Unter günstigsten Bedingungen wird daher der Mensch durchschnittlich mit 300 W bestrahlt. Der Wirkungsgrad bei der Photosynthese beträgt aber nur rund 1 %. Daher kann der Mensch nur 3 W = 3 J/s an Energie aufnehmen. Der Tag hat 86.400 s. Der Mensch kann daher rund 260.000 J oder 260 kJ durch „Lichtatmung“ aufnehmen. Der Tagesbedarf liegt aber bei etwa 10.000 kJ. Lichtatmung ist daher unmöglich.

Hilfe zu A24: Wenn man zum Erdradius (6370 km) noch 80 km Atmosphäre rechnet (siehe Abb. 7), dann bestrahlt die Sonne eine Kreisscheibe mit einem Radius von 6450 km. Das ergibt eine Fläche von $r^2\pi = (6,45 \cdot 10^6 \text{ m})^2 \cdot \pi = 1,31 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$. Wenn du mit der Solar-

konstante multipliziert, bekommst du die Joule pro Sekunde, die auf die Erde gestrahlt werden:

$$1,31 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \cdot 1367 \text{ J}/(\text{sm}^2) = 1,79 \cdot 10^{17} \text{ J/s.}$$

Wenn du den Gesamtenergiebedarf der Erde in einem Jahr mit $4,3 \cdot 10^{20} \text{ J}$ annimmst (Abb. 10), dann muss die Sonne $4,3 \cdot 10^{20} \text{ J}/(1,79 \cdot 10^{17} \text{ J/s}) \approx 2400 \text{ s} = 40 \text{ min}$ scheinen.

Hilfe zu A25: Bei einem Wirkungsgrad von 10 % liefert ein Quadratmeter im günstigen Fall 30 W, also 30 J/s, und ein Quadratkilometer $3 \cdot 10^7 \text{ J/s}$. In einem Jahr ($= 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}$) summiert sich die Energie daher auf $9,46 \cdot 10^{14} \text{ J}$. Der Weltenergiebedarf lag 2004 bei $4,3 \cdot 10^{20} \text{ J}$. Um das abzudecken, müsste das Solar-Panel eine Fläche von $4,6 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ besitzen. Vergleich mit der Fläche von Österreich: $4,6 \cdot 10^5 \text{ km}^2 / (8,4 \cdot 10^4 \text{ km}^2) \approx 5,4$. Das Panel müsste also die 5- bis 6fache Fläche von Österreich haben.

Hilfe zu A26:

Vorteile:

- Solarstrom reduziert die CO₂-Emission.
- Sonnenenergie ist im Gegensatz zu fossilen Energieträgern unbegrenzt verfügbar.
- Photovoltaik bringt viele Arbeitsplätze und dem Staat Steuern.
- Solarstrom erspart Brennstoffimporte.
- Es kommt zu einer Reduzierung der energiepolitischer Abhängigkeiten von möglichen Krisenherden.

Nachteile:

- Aufgrund der wetter-, tages- und jahreszeitabhängigen Sonneneinstrahlung ist ohne zusätzliche Speichertechnologie keine konstante Energieversorgung möglich. Auf Verbrauchsschwankungen kann ebenfalls nicht reagiert werden. Zudem wird Energie gerade in kalten Gebieten beziehungsweise Jahreszeiten benötigt, wenn weniger Solarenergie zur Verfügung steht.
- Die Energieerzeugung durch Photovoltaikzellen ist nach einer kompletten ökologischen Bilanz betrachtet nicht emissionsfrei, da die Herstellung der Anlagen bedeutende Mengen an Energie („graue“ Energie; siehe A33), Frischwasser und Chemikalien benötigt. Da die Lebensdauer der Solarmodule bei ca. 20 bis 40 Jahren liegt, ist die reine Gesamtenergiebilanz jedoch positiv.

Hilfe zu A27: Wenn man die gesamte kinetische Energie entziehen könnte, dann würde die Luft hinter dem Rotor zum Stillstand kommen. Dann käme es aber gewissermaßen zu einem Luftstau, der auch die Luft vor dem Rotor zum

Stillstand bringen würde, und dann würde der Rotor zum Stillstand kommen.

Hilfe zu A28 a: Das Volumen des Zylinders ist $V = As = r^2\pi s$. s ist der Weg, den die Luftmoleküle zurücklegen.

Aus $v = s/t$ folgt $s = vt$ und somit $V = r^2\pi vt$.

Welche Masse hat die Luft in diesem Zylinder? Aus $\rho = m/V$ folgt $m = \rho V$. Wenn man nun das oben berechnete Volumen einsetzt, bekommt man $m = \rho r^2\pi vt$.

Die kinetische Energie ist daher $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho r^2\pi vt^2 v^2}{2} = \frac{\rho r^2\pi v^3}{2}$ und die Leistung $P = \frac{E_k}{t} = \frac{\rho r^2\pi v^3}{2}$.

Hilfe zu A28 b: Wenn sich der Radius verdoppelt, dann vervierfacht sich die Fläche des Luftzylinders, das ist naheliegender. Aber wo kommt der Faktor v^3 her? Wenn sich die Luftgeschwindigkeit verdoppelt, dann wächst die kinetische Energie der einzelnen Moleküle um den Faktor 4. Gleichzeitig kann aber in derselben Zeit die doppelte Luftmasse durch den Zylinder strömen, was noch einmal einen Faktor 2 und in Summe den Faktor 8 ausmacht.

Hilfe zu A28 c: Nehmen wir die Luftgeschwindigkeit relativ mit 1 an. Eine 20 % höhere Geschwindigkeit entspricht daher 1,2. Weil die Leistung proportional zu v^3 ist, wächst diese daher um den Faktor $1,2^3 \approx 1,73$ an, also um beachtliche 73 %.

Hilfe zu A29: Die Luft kann nur deshalb abgebremst werden, weil sich auch der „Luft-Zylinder“ aufweitet (Abb. 19). Würde er das nicht

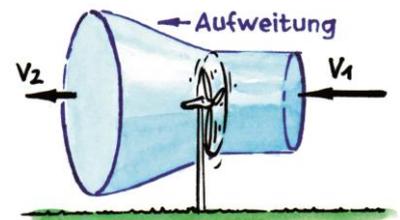


Abb. 19 (Grafik: Janosch Slama)

tun, könnte sich auch die Luftgeschwindigkeit nicht verringern. Aus der Leistungsabnahme des Rotors folgt diese Aufweitung also zwangsläufig, und das ist schon ein wenig verblüffend.

Hilfe zu A30: Die weltweit installierten Windanlagen lieferten 2011 im Schnitt $238,4 \cdot 1000 \cdot 10^6 \text{ W} \approx 2,4 \cdot 10^{11} \text{ W}$. Ein Jahr hat $60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$. Aus Leistung ist Arbeit pro Zeit ($P = W/t$) folgt $W = P \cdot t$. (Anm.: Verwechsle nicht die Einheit Watt (W) mit der Größe der Arbeit (W)!) Die im Jahr 2011 durch Wind produzierte Stromenergie betrug daher $2,4 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} \approx 7,6 \cdot 10^{18} \text{ J}$ und lag somit bei $100 \cdot 7,6 \cdot 10^{18} \text{ J} / (5,1 \cdot 10^{20} \text{ J}) \approx 1,5 \%$.

Hilfe zu A31: Der Begriff CO₂-neutral ist nicht glücklich gewählt. Man meint damit nicht, dass kein CO₂ frei wird, sondern dass die CO₂-Bilanz im längeren Schnitt ausgeglichen ist. Beim Verbrennen wird CO₂ frei, beim Wachsen von Pflanzen wird CO₂ gebunden. Wenn in einer bestimmten Zeit genauso viele Pflanzen nachwachsen, wie man verbrannt hat, dann ist die CO₂-Bilanz ausgeglichen. Das nennt man dann CO₂-neutral. Warum ist das Verbrennen fossiler Stoffe nicht CO₂-neutral? Öl, Gas und Kohle sind zwar letztlich auch aus Biomasse entstanden, aber dieser Prozess hat viele Millionen Jahre gedauert. Bis zum Beispiel wieder Erdöl „nachwächst“, gibt es vielleicht gar keine Menschen mehr. Deshalb produziert dessen Verbrennung einen momentanen CO₂-Überschuss.

Hilfe zu A32: Die Energie, die im Strom steckt, wird in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Darunter versteht man die Energie, die ein Gerät mit der Leistung von einem Kilowatt (1000 W) in einer Stunde umsetzt. Also gilt: 1 kWh = 1000 W · 3600 s = 3,6 · 10⁶ J. Welcher Zusammenhang besteht mit der Strahlungsleistung der Sonne? Rechnen wir exemplarisch 1 W/m² in kWh/m² um. 1 W/m² = 1 J/(s · m²). Ein Jahr hat 60 · 60 · 24 · 365 s = 3,15 · 10⁷ s. 1 J/(s · m²) ergibt im Jahr also 1 J/(s · m²) · 3,15 · 10⁷ s = 3,15 · 10⁷ J/m² und das entspricht wiederum 3,15 · 10⁷ / 3,6 · 10⁶ kWh/m² = 8,76 kWh/m² im Jahr.

Hilfe zu A33: In der rechten Spalte von Tab. 8 ist der Energiebedarf auf ein Jahr umgerechnet, wenn eine Familie die in der 3. Spalte angegebenen Dinge „verbraucht“. Überraschender Weise schlagen sich die Alu-dosen mit Abstand am stärksten zu Buche. Wenn eine Familie also jeden Tag 4 Alu-dosen einfach in den normalen Müll wirft, dann erhöht sie indirekt den Energiebedarf um 233 % im Jahr. Salopp gesagt ist das also doppelt so schlimm, wie alle 10 Jahre ein Auto zu kaufen. Das unterstreicht die enorme Bedeutung, Aludosen wieder zu recyceln. In Summe erhöht sich der Energiebedarf der Familie um 366 %, er steigt also um den Faktor 3,66 an, ohne dass das in den „normalen“ Statistiken ausgewiesen ist.

	graue Energie		graue Energie pro Jahr/ in Prozent des Strom-Energiebedarfs
Aludose	5 kWh	4 Aludosen pro Tag	7000 kWh 233 %
PC	3000 kWh	1 PC alle drei Jahr	1000 kWh 33 %
Auto	30.000 kWh	1 Auto alle	3000 kWh

		10 Jahre	100 %
--	--	----------	-------

Tab. 8: Geschätzte Werte für die graue Energie und welchen Anteil sie am Gesamtenergiebedarf haben.

Hilfe zu A34: Atomkraftwerke haben einen sehr hohen Erntefaktor. Das ist natürlich Wasser auf den Mühlen der Atomkraftbefürworter. Natürlich sind die Probleme bei der Lagerung der alten Brennstäbe und die Gefahr von Atomunfällen aus dieser Tabelle nicht herauszulesen. Günstig sind auch Wasser- und Windkraftwerke. Zusätzlich sind diese auch relativ umweltschonend. Schlecht steigen momentan noch die Solarzellen aus, weil sie einen relativ geringen Erntefaktor und zusätzlich eine relativ lange Amortisationszeit aufweisen.

Hilfe zu A35: Auch bei der „Atomstrom-Produktion“ entsteht CO₂, und zwar deshalb, weil man während der gesamten Produktionskette Uranabbau, Urananreicherung, Brennelemente-Produktion, Transport usw. Energie benötigt. Die CO₂-Emission ist zwar geringer als bei der Stromerzeugung aus fossilen Kraftwerken, jedoch höher als bei erneuerbaren Energieformen wie z. B. Wind.

Hilfe zu A36: Die Leistung, die ein Laufkraftwerk erzeugt, hängt bei gleicher Durchflussmenge nur vom Höhenunterschied ab. Der Höhenunterschied kommt aber wiederum durch das Gefälle der Donau zu Stande. Würde man zwischen zwei bestehenden Kraftwerken ein neues bauen, dann würde sich der Höhenunterschied des Wasserstandes bei diesem und dem nachfolgenden Kraftwerken halbieren. Statt angenommen einmal 11 m hätte man dann zweimal 5,5 m Höhenunterschied. Die Leistung könnte dadurch *nicht* gesteigert werden, weil bei beiden Kraftwerken die Leistung ebenfalls halbiert wird. Es gäbe auf der Donau nur noch zwei sinnvolle Möglichkeiten für ein neues Kraftwerk: zwischen den Kraftwerken Melk und Altenswörth (dort befindet sich quasi noch eine Lücke) und nach dem Kraftwerk Freudenu in der Hainburger Au. Beide Projekte wurden aber aus Gründen des Umweltschutzes nicht umgesetzt. Das geplante Kraftwerk in Hainburg wurde etwa 1985 nach massiven Bürgerprotesten fallen gelassen (siehe A10).

Hilfe zu A37: Durch die Ereignisse von Hainburg hat sich in Österreich der Gegensatz zwischen „konservativen“ und „grünen“ Ansichten relativ scharf herausgebildet, und der Umweltgedanke hat sich in allen parteipolitischen Programmen festgesetzt. Mit der Besetzung wurde klar, dass die österreichische Bevölkerung den Landschaftswert ge-

nauso hoch beurteilt wie die Versorgungssicherheit. Der ORF sprach seinerzeit vom „neuen Umweltbewusstsein der Österreicher“. Mit Hainburg wurde klar, dass man die Ressource Wasserkraft nicht vollständig ausreizen kann, weil sie mit Interessen des Erholungswerts wie auch des Tourismus in Konflikt kommt.

Die Ökonomie (Wirtschaft) ist die Gesamtheit aller Einrichtungen und Handlungen, die der Deckung des menschlichen Bedarfs dienen. Im Namen der Ökonomie werden oft Maßnahmen gesetzt, die den Naturraum stören oder negativ beeinflussen, also unökologisch sind. Die Begründung ist vereinfacht gesagt meist die, dass diese Maßnahmen ja nur im Sinne der Menschen getroffen werden. Oft stecken aber auch rein wirtschaftliche Interessen der Firmen dahinter, also Geld!