

## Lösung der Aufgaben

**1** Lösen Sie die Aufgabe in Abbildung 1A!

$$3000[\text{Liter/Jahr}] * 2,7[\text{kg/Liter}] = 8100 [\text{kg CO}_2 / \text{Jahr}]$$

$$8100 [\text{kg CO}_2, \text{Jahr}] / 20 [\text{kg CO}_2 / \text{Baum}] = 405 [\text{Baum}]$$

**2** Wie viel CO<sub>2</sub> entsteht bei der Verbrennung von 1 Liter Heizöl?

Dichte ~ 0,85 kg/Liter, Kohlenstoffgehalt ~85 %; 1Liter Öl ≙ 0,72 kg C



$$\rightarrow 0,72 [\text{kg C}] = (0,72/12) * 44 = 2,64 [\text{kg CO}_2]$$

**3** Was suggeriert die Aufgabestellung in Abbildung 1A?

Die Aufgabenstellung suggeriert, dass ca. 400 Bäume das freigesetzte Kohlendioxid der Heizungsanlage beseitigen.

**4** Zu welchem Denkfehler verführt die Aufgabe in Abbildung 1A?

Die Tatsache, dass die von den Bäumen gebundene Kohlendioxidmasse beim Verrotten der Bäume (wieder) freigesetzt wird, wird bei der Aufgabenstellung nicht berücksichtigt.

**5** Die auf dem Land biologisch gebundene Kohlenstoffmasse der Erde beträgt etwa 2000 GtC. Etwa 65 % davon ist unterirdisch im Boden integriert. Die überirdische Biomasse beträgt ca. 30 %, der Rest, ca. 5%, ist die Streu. Berechnen Sie anhand der in Abbildung 1B gezeigten Kohlenstoff-Massenströme, wie lange durchschnittlich der Kohlenstoff als Streu gebunden ist.

Siehe Aufgabentext	Siehe Abbildung 1B	
Streu: 2000*0,05 = 100 [GtC]	55 [GtC / Jahr]	100 [GtC] / 55 [GtC / Jahr] = 1,8 [Jahr]

**6** Vergleichen Sie die Aussagen der Abbildungen 2, 3 und 4! Wie hoch ist die CO<sub>2</sub>-Masse in der Atmosphäre, auf dem Land und in dem Ozean? Wie hoch sind die jährlichen Austauschmengen?

CO<sub>2</sub>-Masse

Land: 2050 bzw. 2000 GtC,  
 Ozean: (38100+1800) bzw. 39000 GtC  
 Atmosphäre: 600 bzw. 750 GtC

CO<sub>2</sub>-Massenstrom

Land ↔ Atmosphäre: 100 – 120 bzw. 100 GtC/a;  
 Ozean ↔ Atmosphäre: 100 – 115 bzw. 74 GtC/a

**7** Vergleichen Sie anhand Abbildung 3 die natürlichen und anthropogenen CO<sub>2</sub>-Massenströme zwischen Atmosphäre und Land!

Natürlich ca. 90 – 120 GtC/a; anthropogen ca. (5,3 + 0,6 bis 2,6) = 6 – 8 GtC/a  
 Anthropogener Anteil ca. 7 %

## 1 – Feuerungen und Umwelt

**8** Wie hoch ist der anthropogene Anteil der CO<sub>2</sub>-Zufuhr in die Atmosphäre nach Abbildung 5?

anthropogen: 7 GtC/a ;

natürlich 100 GtC/a (Land) + 100 GtC/a (Ozean) = 200 GtC/a

$7 / 200 = 3,5 \%$

**9** Warum ist die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Masse in der Atmosphäre geringer als die anthropogene CO<sub>2</sub>-Zufuhr?

Die C-Masse auf dem Land nimmt zu (Vegetation wird schneller);

Die C-Masse im Ozean nimmt zu (wegen der höheren Partialdruck der Atmosphäre);

D.h.: sowohl Land als auch Ozean ist eine Senke für C

**10** Unter welchen Umständen könnte die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Masse in der Atmosphäre höher sein als die anthropogene CO<sub>2</sub>-Zufuhr?

Bei zu viel Waldbrand; bei einem plötzlichen Ausstoß aus dem tiefen Ocean; bei starken Vulkanischen Tätigkeiten; bei auftauchen von Permafrostböden etc.

**11** Wie hoch ist die verbleibende CO<sub>2</sub>-Zunahme der Atmosphäre im Vergleich zur jahreszeitlicher Zunahme im Zeitraum 1959 – 1963 laut Abbildung 6?

Jahreszeitliche Zunahme: Jahr:59 – 60 = 7ppm, Jahr:60 – 61 = 6,5 ppm

Jahr:61 – 62 = 6,2 ppm Jahr:62 – 63 = 6ppm  $\Sigma = 25,7$  ppm

Verbleibende Zunahme Minimalstellen = 2,2 ppm, Maximalstellen = 2,8 ppm

Mittelwert = 2,5 ppm

Die jahreszeitliche Zu- und Abnahme ist zehnmal so groß wie die verbleibende Zunahme. Abbildungen 3 und 5 lassen noch größere Unterschiede erwarten. Die Werte in den Abbildungen 3 und 5 sind globale Werte, die Messung nach Abbildung 6 ist eine lokale Messung! Die verbleibende Zunahme ist für die Klimaerwärmung verantwortlich!

**12** Warum ist die Jahreszeitliche Zunahme in Abbildung 6 höher als die Verbleibende Zunahme?

Der natürliche Kreislauf ist eine Größenordnung höher als der anthropogene (siehe Abbildungen 3 und 5)

**13** Erklären Sie die jährlichen Schwankungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre in Abbildung 6!

Von ca. November bis ca. April ist das Wachstum der Pflanzen auf der Nordhemisphäre gering, CO<sub>2</sub> wird nicht verbraucht, die Verrottung der Pflanzen setzt CO<sub>2</sub> frei, die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt. Von ca. Mai bis ca. September verursacht das intensive Pflanzenwachstum die Senkung der -Konzentration der Atmosphäre

## 1 – Feuerungen und Umwelt

**14** In Abbildung 8 zeigt Egbeck, dass bei den Klimasprüngen der letzten 400000 Jahre stets zuerst die Temperatur anstieg und erst danach die CO<sub>2</sub>-Konzentration. Hieraus zieht Egbeck die Schlussfolgerung, dass der durch die Sonnenstrahlung verursachte Temperaturanstieg die CO<sub>2</sub>-Konzentration ansteigen lässt. Zeigen Sie anhand der Diagramme 7, 9 und 11, dass Egbecks Behauptung falsch ist.

Diagramm 7 zeigt die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre von ca. 270 auf ca. 370 ppm. Diagramm 11 zeigt den Temperaturanstieg um ca. 0,8 K im gleichen Zeitraum. Trägt man beide Schwankungen in Diagramm 9 ein, so sieht man, dass sich die Temperaturschwankungen im natürlichen Bereich bewegen, während die CO<sub>2</sub>-Konzentration Werte annimmt, die in den vergangenen 400000 Jahren nie erreicht wurden. Die CO<sub>2</sub>-Zunahme kann also nicht die Folge der Temperaturerhöhung sein, sondern nur die Ursache.

**15** Um welchen Betrag hat sich die Erdtemperatur seit 1965 durch menschliche Einflüsse erwärmt, wenn man voraussetzt, dass die CO<sub>2</sub>-Zunahme in diesem Zeitraum durch Verbrennung verursacht wurde. Benutzen Sie für die Lösung Tabelle 1 und Abbildung 6.

CO<sub>2</sub>-Zunahme 1965 – 2000 (Abb. 6)  $365 - 315 = 50$  ppm

Tabelle 1: CO<sub>2</sub>-Anteil am Treibhauseffekt  $\sim 8,6$  K (Jahr 2000)

CO<sub>2</sub>-Anteil am Treibhauseffekt Jahr 1965  $\sim 8,6 \cdot 315 / 365 \approx 7,4$  K

Von CO<sub>2</sub>-Zunahme verursacht:  $\approx 8,6 - 7,4 \approx 1,2$  K

**16** Wie oft war in den vergangenen 10tausend Jahren die globale Erdtemperatur höher als heute?

3mal, vor ca. 1 – 2000, vor ca. 4 – 7000 und vor ca. 9000 Jahren

**17** Wenn lediglich die Abbildungen 7 und 11 betrachtet werden, entsteht der Eindruck, dass der Temperaturanstieg seit Beginn der Industrierevolution durch den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration verursacht wird. Betrachtet man lediglich die Abbildungen 11 bis 14, entsteht der Eindruck, dass sich der Temperaturanstieg der vergangenen 200 Jahre im Rahmen der natürlichen Schwankungen bewegt. Worauf basiert die Hypothese, dass dieser Temperaturanstieg auf die Wirkung der Treibhausgase zurückzuführen ist?

Seit 420000 Jahren war die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre nie so hoch wie heute (Abb. 7 und 9). Dies ist ein sehr starkes Indiz, dass die Temperaturerhöhung der vergangenen ca. 100 Jahren in erster Linie auf die Wirkung der Treibhausgase zurückzuführen ist.

**18** Die Solarkonstante beträgt 1370 W/m<sup>2</sup>. Laut Abbildung 18 empfängt die Erde einen mittleren Strahlungsstrom von lediglich 342 W/m<sup>2</sup>. Warum?

Kugeloberfläche:  $D^2 \cdot \pi$ ; Kreisoberfläche:  $D^2 \cdot \pi / 4$ ;  $1370 / 4 = \underline{342,5}$

**19** Wie hoch ist nach Abbildung 18 die theoretisch höchstmögliche Strahlungsausbeute (in [kWh/m<sup>2</sup>a]) von Solarkollektoren auf der Erde?

Ohne Reflektion:  $(168+30) \cdot 24 \cdot 365 / 1000 = 1734$  kWh/(m<sup>2</sup>a)

## 1 – Feuerungen und Umwelt

**20** In Deutschland beträgt die Sonneneinstrahlung je nach Region zwischen ca. 950 und 1100 kWh/m<sup>2</sup>a, der Kollektorsertrag jedoch lediglich 440 – 520 kWh/m<sup>2</sup>a. Warum?

Beispiel: Außentemperatur 0°C, die Sonne erwärmt den Kollektor auf 20°C, die Wärme auf diesem Temperaturniveau ist für die Heizung nicht verwertbar. Mit zunehmender Absorbertemperatur nehmen die Verluste überproportional zu. Wegen optischen Verlusten des Kollektors und Wärmeverlusten des Gesamtsystems kann die theoretisch mögliche Ausbeute nie erreicht werden!

**21** Vergleichen Sie die globalen Temperaturmessungen der Abbildungen 11 und 19 im Zeitbereich 1860 bis 2000. Wie erklären Sie die Unterschiede?

Beide Diagramme zeigen von ca. 1860 bis ca. 1900 einen einigermaßen konstanten Temperaturverlauf. Von ca. 1900 bis ca. 1940 ist in beiden Diagrammen ein Temperaturanstieg von ca. 0,4 K zu sehen. Von ca. 1940 bis ca. 1970 kam in beiden Abbildungen ein Temperaturrückgang von ca. 0,1 K (Nuklearer Winter???) Seit ca. 1970 ist in beiden Diagrammen ein steiler Temperaturanstieg zu beobachten: In Abb. 11 beträgt der Anstieg ca. 0,4 K, in Abb. 14 ca. 0,6 K. Dieser Unterschied kann darauf basieren, dass Abb. 11 den Temperaturverlauf der ganzen Erdoberfläche, während Abb. 19 der Nordhemisphäre darstellt.

**22** Charakterisieren Sie die in Abbildung 20 dargestellten Messungen. Unterteilen Sie dabei die Erdoberfläche in drei Regionen a) Äquator-Region, b) Südhemisphäre und c) Nordhemisphäre.

- Die Äquator-Region zeigt die geringste Temperaturänderung mit einer schwachen Tendenz zur Temperaturerhöhung.
- Die Südhemisphäre eine etwas höhere Temperaturänderung auf als die Äquator-Region. Einige Gebiete zeigen eine Absenkung der Temperatur, andere eine deutliche Erhöhung.
- Die Nordhemisphäre zeigt die stärkste Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung ist besonders stark über dichtbesiedelten Gebieten wie Westeuropa, Nordamerika und China.

**23** Wie wirken sich die Tiefseeströmungen auf das globale Klima aus?

Wenn die Tiefseeströmung mehr CO<sub>2</sub> von der Ozean-Oberfläche in das Tiefsee transportiert, kühlt sich das Klima ab. Wenn hingegen der CO<sub>2</sub>-Transport zur Meeresoberfläche dominiert, erwärmt sich das Klima. Die Unsicherheit in diesem Transport ist sehr groß, deren Wirkung ist schwer abschätzbar.

**24** Wie wirkt sich die globale Temperaturerhöhung auf das Meeresspiegel aus? Meeresspiegel steigt, große Landstriche werden überflutet, Migration mit vielen Flüchtlingen

**25** Wie wirkt sich die globale Temperaturerhöhung auf die Wasserversorgung aus? Trinkwasserknappheit bei Dürreperioden, Trinkwasserknappheit in Gebieten, wo Gletscher-Schmelzwasser Trinkwasserreservoir darstellt (z.B. Alpen)

## 1 – Feuerungen und Umwelt

**26** Wie wirkt sich die globale Temperaturerhöhung auf Nahrungsmittelversorgung aus?

Ernteausschlag bei Dürrekatastrophen

Ernteausschlag bei übertrieben nasser Witterung

**27** Wie wirkt sich die globale Temperaturerhöhung auf internationale Konflikte aus?

Mit Zunahme von Kriegen, Flüchtlingsströmen, Terroranschlägen und Kriegen muss gerechnet werden

**28** Nach dem Kyoto-Protokoll ist Deutschland verpflichtet, seinen Ausstoß an den Treibhausgasen bis 2012 um 21 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 zu senken. Die Werte für den Stand von 1990 können aus Tabelle 2 entnommen werden. Das Wirtschaftsministerium und das Umweltministerium haben sich in März 2004 in der CO<sub>2</sub>-Reduktion darauf geeinigt, die Kohlendioxidemissionen für Industrie und Energiewirtschaft bis 2012 auf 495 Millionen Tonnen zu begrenzen. Um welchen Betrag muss in Deutschland die CO<sub>2</sub>-Emission im nicht-industriellen Bereich von Haushalt, Gewerbe und Verkehr reduziert werden, damit das Kyoto-Protokoll erfüllt wird?

Gesamtemission 1990 (temperaturbereinigt) :  $1038,7 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

21 % von  $1038,7 \cdot 10^6 \text{ t/a}$  =  $218,1 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

Energie und Industrie:

$646,4 \cdot 10^6 \text{ t/a} - 495 \cdot 10^6 \text{ t/a}$  =  $151,4 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

Haushalt, Gewerbe und Verkehr:

$218,1 \cdot 10^6 \text{ t/a} - 151,4 \cdot 10^6 \text{ t/a}$  =  $66,7 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

**29** Wo liegt die Schwierigkeit für Deutschland, das Kyoto-Protokoll zu erfüllen? Interpretieren Sie in dieser Hinsicht Tabelle 1!

Während die Summe der Emissionen für Energie und Industrie von 1990 bis 2002 über 20 % gesunken ist, sank die Summe der anderen Sektoren (Gewerbe, Verkehr und Haushalt) lediglich um ca. 5 %. Die Industrie hat ihre Kyoto-Verpflichtung bereits bis 2002 erfüllt. Von den „anderen Sektoren“ haben Gewerbe, Handel und Dienstleistungen ihre Kyoto-Verpflichtung mit über 30 % Emissionsminderung ebenfalls erfüllt. Die Reduktion der Emission durch die Haushalte beträgt von 1990 bis 2002 lediglich etwa 4 %. Hier müssen noch sehr große Anstrengungen unternommen werden. Besonders problematisch ist der Sektor Verkehr, bei dem die Emission im betroffenen Zeitraum ca. 10 % zunahm. Kann dieser Zuwachs nicht eingedämmt werden, muss in allen anderen Sektoren eine überdurchschnittliche Abnahme erfolgen, um die Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls zu erfüllen.

**30** Warum zeigt in Tabelle 1 die „Temperaturbereinigung“ einen stärkeren Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Emission der Haushalte als auf die der anderen Sektoren?

Der Temperaturanstieg von 1990 bis 2002 führte zu einer deutlichen Reduktion der erforderlichen Heizleistung. Die Temperaturbereinigung ist die Zurückführung des Heizenergieverbrauchs auf das gleiche Temperaturniveau.