



Eckdaten auf einen Blick

Jahrgang	ab Oberstufe
Fächer	Physik, Naturwissenschaften
Themen	<ul style="list-style-type: none"> • Strahlungsmodell, Strahlungsbilanz • Albedo
Kernkompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Kernkompetenz 1 - Informationsbeschaffung und -verarbeitung • Kernkompetenz 7 - Beurteilen von Entwicklungsmaßnahmen • Kernkompetenz 10 - Handlungsfähigkeit im globalen Wandel
Anregungen zur Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Das Material ist vertiefend zum Thema Klimawandel und kann als Einstieg in die Klimaphysik verwendet werden. • Der Treibhauseffekt wird anhand des Modells der Glasscheiben-Atmosphäre u.a. durch Rechnungen veranschaulicht. • Eine vorherige Beschäftigung mit den Begriffen "Albedo", "Strahlungsgleichgewicht" und "schwarze Strahler" ist zu empfehlen. • Bei der Bearbeitung des 2. Arbeitsblatts bietet sich zudem die Beschäftigung mit dem Stefan-Boltzmann Gesetz an. • Im Anschluss an das Material können die Eigenschaften der Atmosphäre weiter erarbeitet werden.
Referierende/ Kooperationspartner *innen	<p>Entwickelt als Material aus dem Sachbuch "KLIMA - die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten"</p> <p>Das Sachbuch wurde inhaltlich von der Helmholtz Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren erstellt und von dieser sowie der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung verlegt.</p>

Strahlungsmodell

Ohne Atmosphäre hätte die Erde eine Oberflächentemperatur von 255K (-18°C). Die gleiche Temperatur würde die Erde mit einer Atmosphäre haben, welche keine Strahlung absorbiert - etwa eine, die nur aus Stickstoff und Sauerstoff besteht.

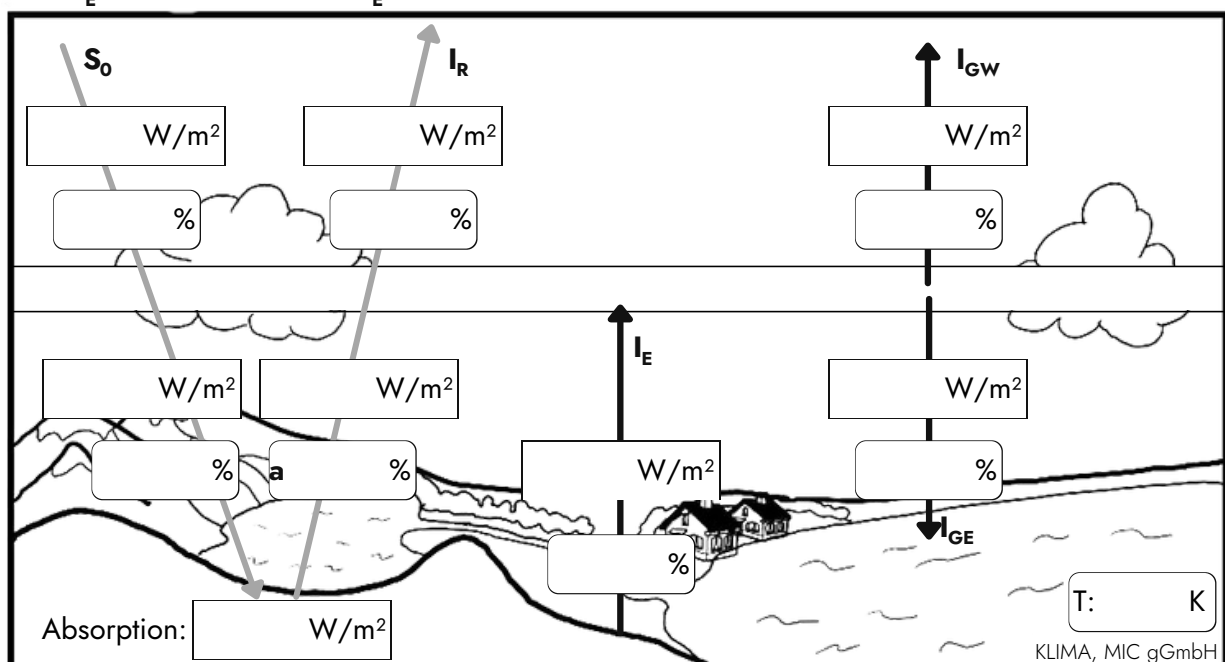
Entscheidend für den Treibhauseffekt sind die Spurengase. Um den Treibhauseffekt zu verstehen, betrachten wir ein vereinfachtes Modell der Atmosphäre, bei welchem alle Spurengasmoleküle wie CO₂ oder O₃ in einer dünnen Schicht konzentriert sind - simuliert durch eine schwebende Glasscheibe. Für die solare Einstrahlung (S_0) soll diese Scheibe durchlässig sein, sodass es die Erdoberfläche erreicht. Die von der Erde abgestrahlte langwellige Wärmestrahlung (I_E) hingegen wird von ihr vollständig absorbiert. Unser Modell funktioniert damit ähnlich wie eine echte Glasscheibe, deren atomare Bindungen durch die Wärmestrahlung in Schwingungen versetzt werden und diese Strahlung ($I_{GE} + I_{GW}$) wieder emittieren. In unserem Modell verhalten sich die Spurengasmoleküle wie die atomaren Bindungen der Glasscheibe.

Mit der Zeit wird die Glasscheibe wärmer, womit auch die Wärmestrahlung von der Glasscheibe zur Erde und damit auch deren Temperatur steigt.

So ist dann der Treibhauseffekt vereinfacht erklärt. Aber wie rechnen wir jetzt damit?

Fülle mithilfe der folgenden Schritte das Schaubild:

1. Die solare Strahlung (S_0) liegt bei 342 W/m² und wird von der Erde zu 30% (0,3) direkt wieder ins Weltall reflektiert. Diese Reflexion nennt man Albedo (a). Die Erdoberfläche absorbiert dabei den Anteil von $1-a$.
2. Um die Überlegungen weiter zu vereinfachen, betrachten wir den Gleichgewichtszustand, bei dem die Glasscheibe so heiß ist, dass die gesamte Abstrahlungsbilanz in den Weltraum der solaren Einstrahlung entspricht. Es gilt somit: $S_0 = I_R + I_{GW}$
3. Da die Glasscheibe die Wärme ungerichtet abstrahlt, gilt ebenfalls: $I_{GE} + I_{GW} = 2 \cdot I_{GW}$
4. Um die Bilanz der Glasscheibe auszugleichen, muss für die Abstrahlung der Erdoberfläche (I_E) Folgendes gelten: $I_E = \quad + \quad =$





Strahlungsmodell

Fällt euch an der Bilanz etwas auf?

Die Abstrahlung der Erde (I_E) ist doppelt so groß, wie die von der Oberfläche direkt absorbierten solaren Strahlung. Warum ist das so? Versuche dies zu erklären.

Bevor wir uns mit der Kritik am Modell beschäftigen, wollen wir noch herausfinden, wie sehr sich die Erde in unserem Modell aufheizt.

Dazu nutzen wir das T^4 Gesetz des schwarzen Strahlers, das Stefan-Boltzmann Gesetz: $I = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$

Die Strahlungsleistung I eines Körpers kann damit bei einer bekannten Temperatur T (angegeben in Kelvin) dieses Körpers errechnet werden - oder umgekehrt. σ ist dabei die sogenannte Strahlungskonstante $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ und ε die Emissivität, welche für unsere Abschätzung als $\varepsilon = 1$ angesetzt werden kann.

Stelle nun die Gleichung um, sodass du die Temperatur ausrechnen kannst.

Rechne dann die Temperatur der Erde in unserem Modell bei Verwendung von I_E aus.

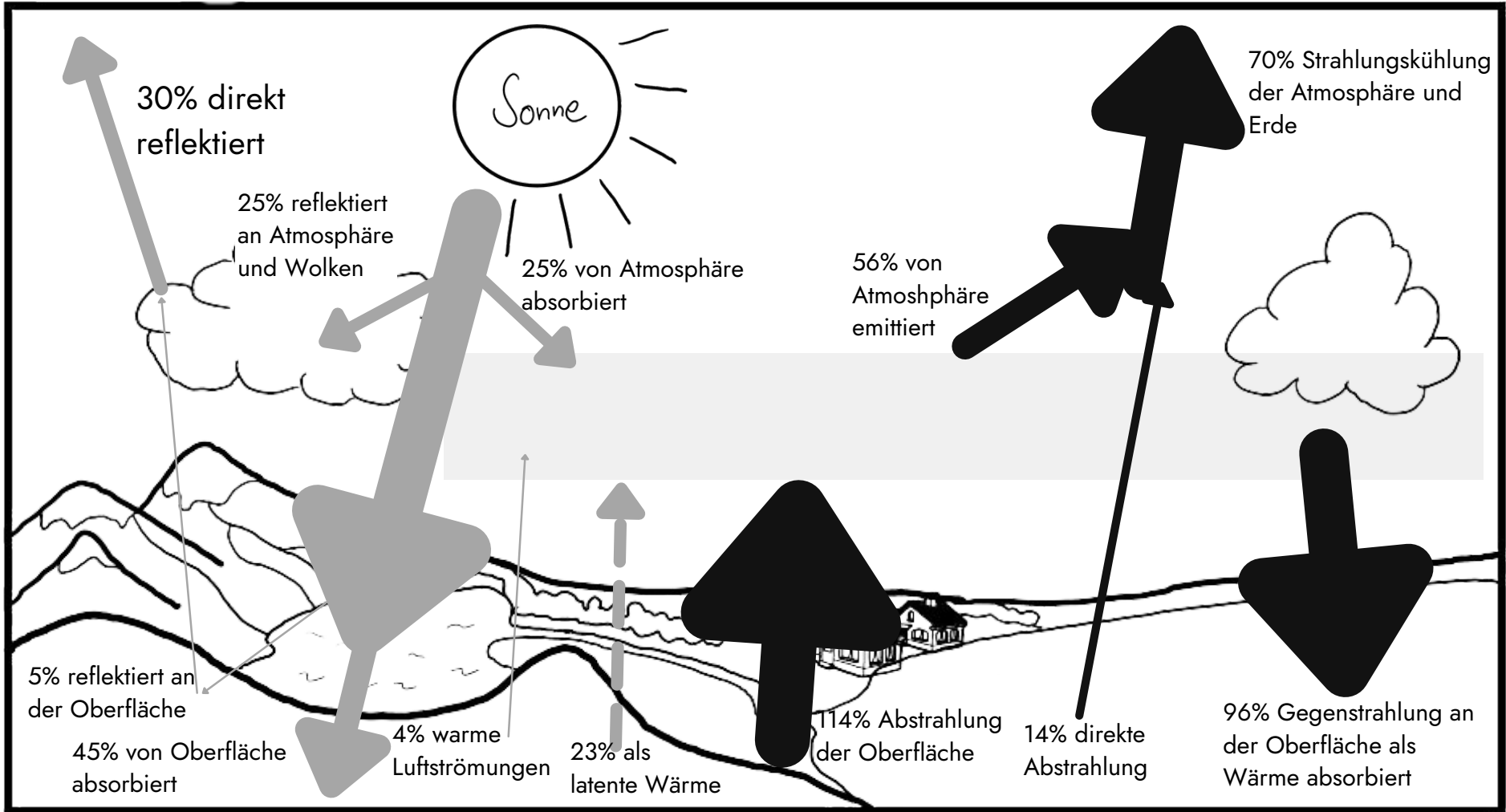
Mit diesem stark vereinfachten Modell konnten wir uns dem Treibhauseffekt nähern und sind bei einer Temperatur um den Faktor 1,189 höher als ohne die Glasscheibe.

Das ist wesentlich wärmer, als die eigentliche Durchschnittstemperatur von mittlerweile etwa 15°C .

Beantworte: Welche Eigenschaften der Erdatmosphäre beachten wir im Modell nicht?

Wie ihr feststellen könnt, müssen für eine korrekte Energiebilanz wesentlich mehr Faktoren miteinbezogen werden. Schaut euch dazu die Abbildung auf dem nächsten Blatt an und arbeitet mit eurer Lehrperson weiter an den Eigenschaften der Erdatmosphäre.

Energiebilanz der Erde (Mittelwerte)



Strahlungsmodell

Ohne Atmosphäre hätte die Erde eine Oberflächentemperatur von 255K (-18°C). Die gleiche Temperatur würde die Erde mit einer Atmosphäre haben, welche keine Strahlung absorbiert - etwa eine, die nur aus Stickstoff und Sauerstoff besteht.

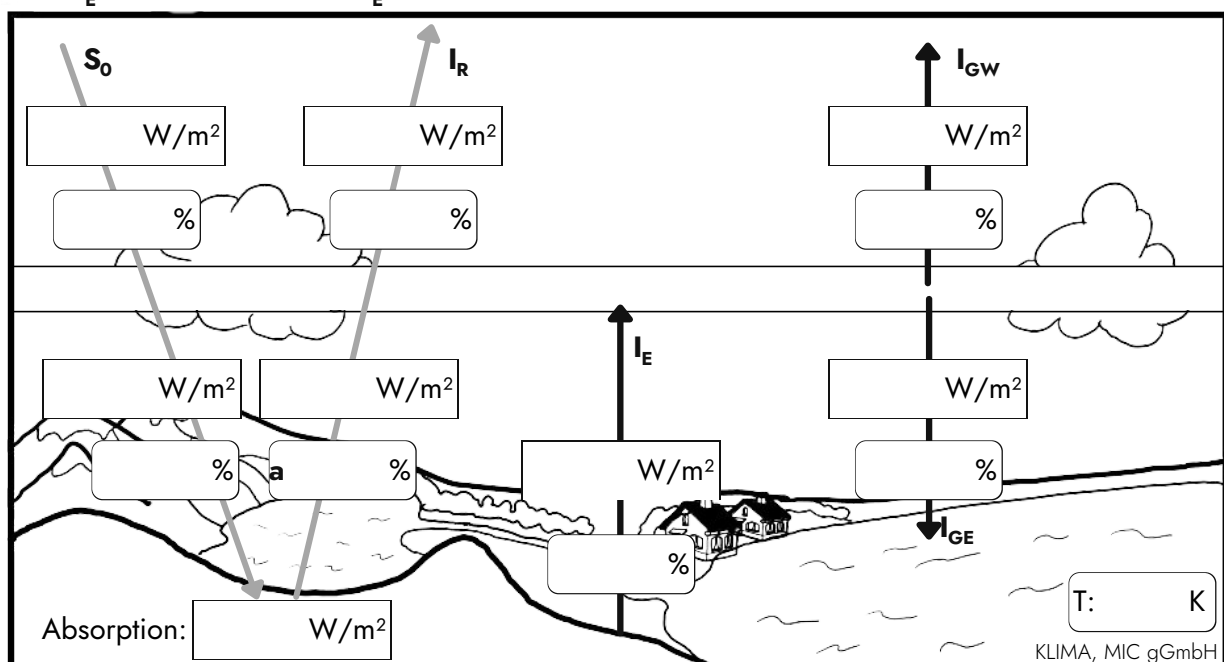
Entscheidend für den Treibhauseffekt sind die Spurengase. Um den Treibhauseffekt zu verstehen, betrachten wir ein vereinfachtes Modell der Atmosphäre, bei welchem alle Spurengasmoleküle wie CO₂ oder O₃ in einer dünnen Schicht konzentriert sind - simuliert durch eine schwebende Glasscheibe. Für die solare Einstrahlung (S_0) soll diese Scheibe durchlässig sein, sodass es die Erdoberfläche erreicht. Die von der Erde abgestrahlte langwellige Wärmestrahlung (I_E) hingegen wird von ihr vollständig absorbiert. Unser Modell funktioniert damit ähnlich wie eine echte Glasscheibe, deren atomare Bindungen durch die Wärmestrahlung in Schwingungen versetzt werden und diese Strahlung ($I_{GE} + I_{GW}$) wieder emittieren. In unserem Modell verhalten sich die Spurengasmoleküle wie die atomaren Bindungen der Glasscheibe.

Mit der Zeit wird die Glasscheibe wärmer, womit auch die Wärmestrahlung von der Glasscheibe zur Erde und damit auch deren Temperatur steigt.

So ist dann der Treibhauseffekt vereinfacht erklärt. Aber wie rechnen wir jetzt damit?

Fülle mithilfe der folgenden Schritte das Schaubild:

1. Die solare Strahlung (S_0) liegt bei 342 W/m² und wird von der Erde zu 30% (0,3) direkt wieder ins Weltall reflektiert. Diese Reflexion nennt man Albedo (a). Die Erdoberfläche absorbiert dabei den Anteil von $1-a$.
2. Um die Überlegungen weiter zu vereinfachen, betrachten wir den Gleichgewichtszustand, bei dem die Glasscheibe so heiß ist, dass die gesamte Abstrahlungsbilanz in den Weltraum der solaren Einstrahlung entspricht. Es gilt somit: $S_0 = I_R + I_{GW}$
3. Da die Glasscheibe die Wärme ungerichtet abstrahlt, gilt ebenfalls: $I_{GE} + I_{GW} = 2 \cdot I_{GW}$
4. Um die Bilanz der Glasscheibe auszugleichen, muss für die Abstrahlung der Erdoberfläche (I_E) Folgendes gelten: $I_E = I_{GE} + I_{GW}$





Strahlungsmodell

Fällt euch an der Bilanz etwas auf?

Die Abstrahlung der Erde (I_E) ist doppelt so groß, wie die von der Oberfläche direkt absorbierten solaren Strahlung. Warum ist das so? Versuche dies zu erklären.

Bevor wir uns mit der Kritik am Modell beschäftigen, wollen wir noch herausfinden, wie sehr sich die Erde in unserem Modell aufheizt.

Dazu nutzen wir das T^4 Gesetz des schwarzen Strahlers, das Stefan-Boltzmann Gesetz: $I = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$

Die Strahlungsleistung I eines Körpers kann damit bei einer bekannten Temperatur T (angegeben in Kelvin) dieses Körpers errechnet werden - oder umgekehrt. σ ist dabei die sogenannte Strahlungskonstante $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ und ϵ die Emissivität, welche für unsere Abschätzung als $\epsilon = 1$ angesetzt werden kann.

Stelle nun die Gleichung um, sodass du die Temperatur ausrechnen kannst.

Rechne dann die Temperatur der Erde in unserem Modell bei Verwendung von I_E aus.

Mit diesem stark vereinfachten Modell konnten wir uns dem Treibhauseffekt nähern und sind bei einer Temperatur um den Faktor 1,189 höher als ohne die Glasscheibe.

Das ist wesentlich wärmer, als die eigentliche Durchschnittstemperatur von mittlerweile etwa 15°C .

Beantworte: Welche Eigenschaften der Erdatmosphäre beachten wir im Modell nicht?

Wie ihr feststellen könnt, müssen für eine korrekte Energiebilanz wesentlich mehr Faktoren miteinbezogen werden. Schaut euch dazu die Abbildung auf dem nächsten Blatt an und arbeitet mit eurer Lehrperson weiter an den Eigenschaften der Erdatmosphäre.