



## Eckdaten auf einen Blick

<b>Jahrgang</b>	ab Unterstufe / Mittelstufe
<b>Fächer</b>	Naturwissenschaften, Biologie, Chemie, Physik, Geografie
<b>Themen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauseffekt</li> <li>• Auswirkungen des Klimawandels</li> <li>• Kipppunkte</li> </ul>
<b>Kernkompetenzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernkompetenz 1 - Informationsbeschaffung und -verarbeitung</li> <li>• Kernkompetenz 3 - Analyse des globalen Wandels</li> </ul>
<b>Anregungen zur Durchführung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Bearbeitung der Materialien „Treibhauseffekt“ ist dieses Video hilfreich: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=7jil_CIC-8s&amp;list=PL7VpUKghERuXrZWMbK4wA2BGSonMjORnR&amp;index=2">https://www.youtube.com/watch?v=7jil_CIC-8s&amp;list=PL7VpUKghERuXrZWMbK4wA2BGSonMjORnR&amp;index=2</a> (zum Teil können Aufgaben nur mithilfe des Videos bearbeitet werden)</li> <li>• Nach dem Video: Bearbeitung der Materialien „Kipppunkte“ (ab Mittelstufe)</li> <li>• Zusatz: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=oJ1zm65u-ck">https://www.youtube.com/watch?v=oJ1zm65u-ck</a> (Dokumentation „Klimawandel – Was die Wissenschaft wirklich weiß (...und was nicht)“ des WDR mit MaiLab)</li> <li>• Zusatzmaterial zu Kipppunkten: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3283.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3283.pdf</a></li> </ul>
<b>Referierende/ Kooperationspartner*innen</b>	<p>Sebastian Seiffert ist Professor für Physikalische Chemie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. In seiner Forschung entwickelt er Polymer-basierte Materialien zur Folgeschädenabwehr des Klimawandels. Er war bereits in der Public Climate School 2020 sowie bei der Aktion Lectures for Future 2019 als Referent zu Klimafragen aktiv.</p>

# Treibhauseffekt

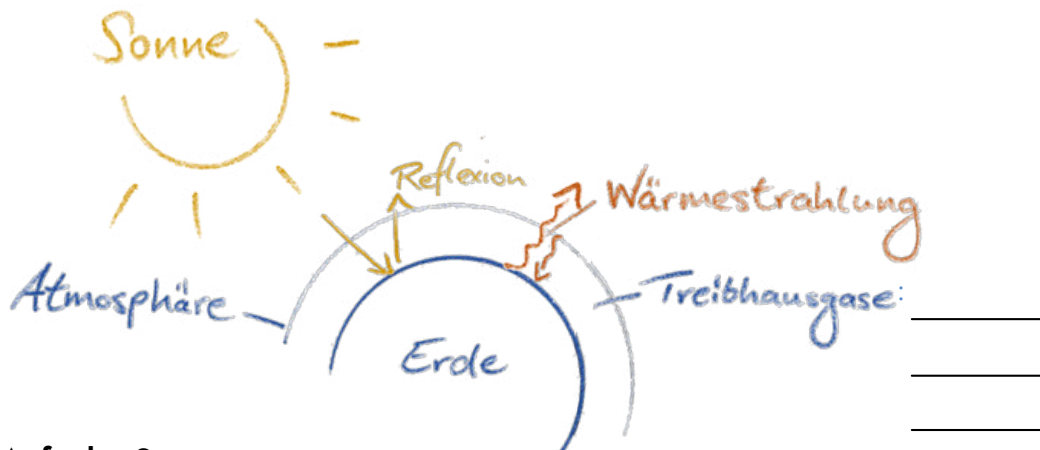
Fülle dieses Arbeitsblatt während des Vortrages aus.

## Aufgabe 1

Welche Temperatur würde auf der Erde herrschen, wenn es keinen Treibhauseffekt geben würde?

## Aufgabe 2

Welche Treibhausgase gibt es?



## Aufgabe 3

Was sind Treibhausgase? Welchen Effekt haben sie auf das Strahlungsgleichgewicht?

---

---

## Aufgabe 4

Warum erhöht sich die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre

---

---

## Aufgabe 5

Welche Auswirkungen hat der Klimawandel?



# Treibhauseffekt

Fülle dieses Arbeitsblatt während des Vortrages aus.

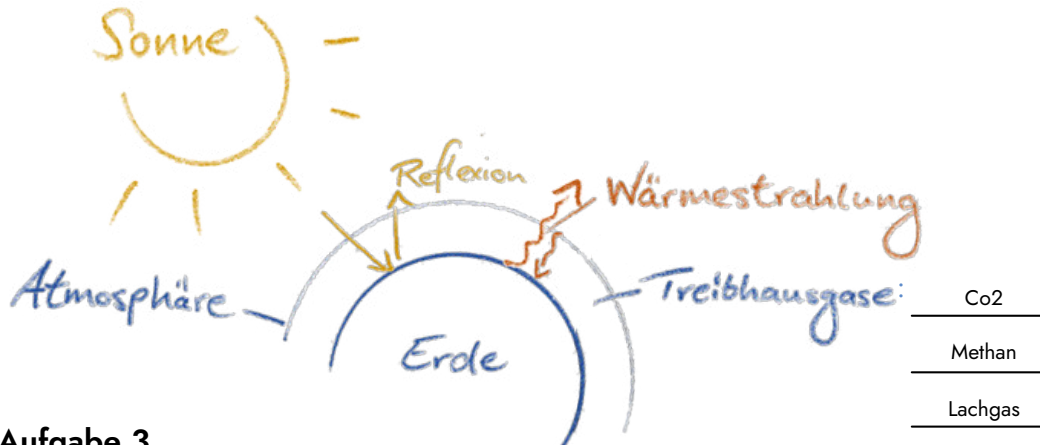
## Aufgabe 1

Welche Temperatur würde auf der Erde herrschen, wenn es keinen Treibhauseffekt geben würde?

**-18 Grad Celsius**

## Aufgabe 2

Welche Treibhausgase gibt es?



## Aufgabe 3

Was sind Treibhausgase? Welchen Effekt haben sie auf das Strahlungsgleichgewicht?

Treibhausgase sind Spurengase, die den Treibhauseffekt ausmachen. Sie reflektieren in der Erdatmosphäre die Wärmestrahlung der Erde, weshalb es auf der Erde nicht durchschnittlich  $-18^{\circ}\text{C}$  kalt ist, sondern mittlerweile  $+16,2^{\circ}\text{C}$  warm ist.

Ein Strahlungsgleichgewicht bedeutet, dass so viel Strahlung, wie auf einen Körper trifft, von diesem auch wieder reflektiert wird. Durch den Treibhauseffekt wird weniger Wärmestrahlung von der Erde abgegeben, als auf diese trifft, was zur natürlichen Erwärmung führt - ein Strahlungsgleichgewicht der Wärmestrahlung existiert somit nicht.

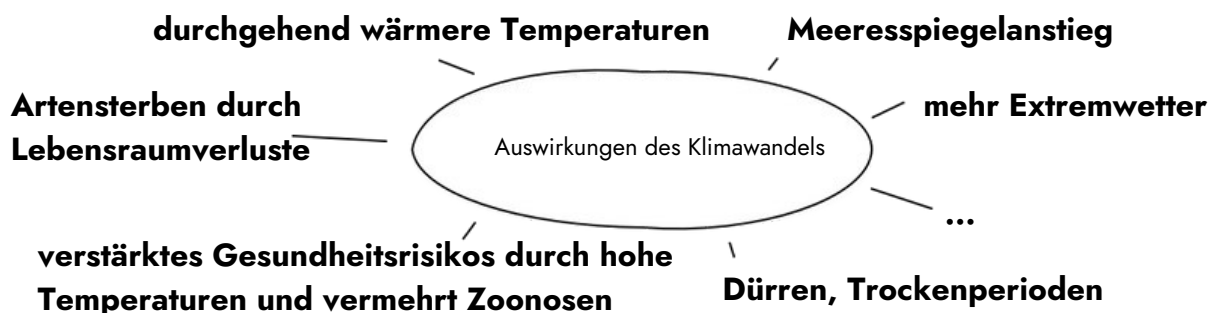
## Aufgabe 4

Warum erhöht sich die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre

Treibhausgase werden durch verschiedene Prozesse - zum größten Teil vom Menschen gemachte - als Abfall- oder Nebenprodukt in die Atmosphäre entlassen. Sie entstehen z.B. beim Verbrennen von fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl oder Gas, für die Strom- oder Wärmegewinnung sowie für Autos. Ebenfalls entstehen sie bei Nutztierhaltung (Kühe furzen Methan) oder in der Industrie (Stahl- oder Zementproduktion), ...

## Aufgabe 5

Welche Auswirkungen hat der Klimawandel?





# Kipppunkte

## **Aufgabe 1**

Was ist ein Kippelement?

---

---

---

## **Aufgabe 2**

Welche Kippelement gibt es?

---

---

---

---

## **Aufgabe 3**

Wähle mit deiner Kleingruppe (3-4 Personen) einen der vier Lückentexte zu den Kippelementen und bearbeite ihn.

## **Aufgabe 4**

Stellt die Kippelemente aus eurem Lückentext (kurz) den anderen in eurer Klasse vor. Macht euch in der Tabelle in Stichpunkten Notizen zu den Kippelementen, die ihr nicht bearbeitet habt.

Weiterführend: Überlege, welche Auswirkungen das Kippen dieser Elemente auf den Menschen hat.



# Kipppunkte

## Aufgabe 1

Was ist ein Kippelement?

Ein Kippelement ist ein großskaliger Bestandteil des Erdsystems, dessen Veränderung ab einem bestimmten Punkt (Kipppunkt) nicht mehr aufzuhalten ist. Bei dieser Veränderung entsteht ein "positiver Rückkopplungseffekt", was bedeutet, dass diese Veränderungen bestimmte Auswirkungen hat, welche wiederum die Veränderung beschleunigen.

Eine Erklärung des Ganzen kann am besten mit dem Beispiel des Abschmelzens der Polkappen erfolgen:

Durch den Klimawandel wird es wärmer, was dazu führt, dass das Eis schmilzt und weniger Schnee fällt. Die Eisfläche wird kleiner und die Sonnenstrahlung wird von dem größer werdenden Ozean absorbiert. Dies trägt wiederum zur Erderwärmung bei, wodurch das Eis schneller schmilzt. Der Kreislauf beginnt immer wieder von neuem.

## Aufgabe 2

Welche Kippelement gibt es?

- Kollaps des Grönländischen Eisschildes
- Kollaps des Arktischen-Wintermeereises
- Kollaps des westantarktischen Eisschildes
- Kollaps des ostantarktischen Eisschildes
- Kollaps der subglazialen Einzugsgebiete in der Ostantarktis
- Kollaps der Atlantischen Umwälz-Zirkulation (u.a. Golfstrom)
- Kollaps der Zirkulation im Labrador- und Irmingermeer
- plötzliches Abtauen bis Kollaps der borealen Permafrostböden
- Abrupter Verlust des Barents-Meereises
- Verlust von Gebirgsgletschern
- Absterben des Amazonasregenwaldes
- Absterben von Korallenriffen
- Absterben nordischer Nadelwälder im Süden und Ausbreitung richtung Norden
- weitere Informationen hier: <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/kippelemente>

## Aufgabe 3

Wähle mit deiner Kleingruppe (3-4 Personen) einen der vier Lückentexte zu den Kippelementen und bearbeite ihn.

## Aufgabe 4

Stellt die Kippelemente aus eurem Lückentext (kurz) den anderen in eurer Klasse vor. Macht euch in der Tabelle in Stichpunkten Notizen zu den Kippelementen, die ihr nicht bearbeitet habt.

Weiterführend: Überlege, welche Auswirkungen das Kippen dieser Elemente auf den Menschen hat.



Kippelemente	Informationen	Auswirkungen
Abnahme des Jet-Streams	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starkes Windstromband</li> <li>• Entsteht durch Ablenkung der Luftmassen durch die Corioliskraft</li> <li>• Sorgt für regelmäßige Wetteränderungen</li> <li>• Nimmt durch den geringer werdenden Temperaturunterschied zwischen Polen und Äquator ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitzesommer</li> <li>• Starkregenperioden</li> <li>•</li> </ul>
Polkappen, Gletscher, Grönland Eisschild		
Permafrostboden		
Amazonas Regenwald und boreale Wälder		
El Niño, Algen und Korallenriffe im Ozean		



## Eisschmelze

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**EISFREIE; SCHMELZEN; GLETSCHERSPALTEN; DOPPELT SO SCHNELL; ZUNAHMEN; SCHWÄCHT; BESCHLEUNIGT; ERWÄRMUNG; VERRINGERT; REFLEKTIERT; SCHNEEFALL; VERSTÄRKT; INS MEER**

Die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast \_\_\_\_\_ gestiegen wie im globalen Mittel. Einige Klimamodelle kommen zu dem Resultat, dass das Meereis in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts im Spätsommer fast vollständig verschwinden wird. Der Kipp-Punkt für eine sommerlich \_\_\_\_\_ Arktis ist wahrscheinlich schon sehr nah oder sogar bereits überschritten.

Eine große Eisfläche wie die Fläche der Arktis hat wegen der weißen Farbe eine hohe Albedo. Das bedeutet, dass ein großer Teil der einfallenden Sonnenstrahlung \_\_\_\_\_ wird. Erwärmt sich nun die Atmosphäre und Teile der Arktis schmelzen, \_\_\_\_\_ sich die Albedo der Erdoberfläche. Dadurch wird weniger Sonnenstrahlung reflektiert und der Untergrund erwärmt sich stärker.

Ein weiterer Anstieg der Temperatur in der Atmosphäre ist die Folge. Dieser Prozess - \_\_\_\_\_ der Atmosphäre, \_\_\_\_\_ von Schnee- und Eismassen, Verringerung der Oberflächenalbedo, verstärkte Erwärmung der Atmosphäre - ist einer der größten positiven Rückkopplungseffekte im Klimasystem.

Ein positiver Rückkopplungsmechanismus \_\_\_\_\_ den Anfangsimpuls, in diesem Falle die Erwärmung des Klimas, ein negativer \_\_\_\_\_ ihn dagegen ab. Taut die Arktis infolge einer Klimaerwärmung, wird diese Erwärmung durch die positive Rückkopplung weiter verstärkt.

Grönland ist die größte Insel der Erde und hat eine Gesamtfläche von 2,1 Millionen Quadratkilometern, ist also mehr als sechsmal so groß wie Deutschland. Ungefähr 80 Prozent der Fläche Grönlands sind von einem dicken Eispanzer, dem Grönländischen Eisschild, bedeckt. Im Mittel ist das Eis etwa 2000 Meter dick, an den dicksten Stellen sogar über 3000 Meter.

Wenn der Eisschild an der Oberfläche zu schmelzen beginnt, entstehen Seen, deren Wasser durch \_\_\_\_\_ in die Tiefe bis auf den felsigen Grund der Insel gelangt. So entstehen Flüsse unter dem Eis, auf denen die Eismassen in Richtung Ozean gleiten. Das bedeutet, dass die Eismassen aufgrund der höheren Temperaturen schneller abschmelzen und sich ebenso schneller \_\_\_\_\_ bewegen. Der dynamische Eisverlust (beispielsweise Verlust von Schelfeis oder Verlust schwimmender Gletscherzungen) erklärt etwa die Hälfte des Eismassenverlustes in Grönland.

Der Rest des Massenverlustes ist dadurch bedingt, dass die Verluste durch das Abschmelzen größer waren als der Zuwachs durch \_\_\_\_\_. Falls diese Prozesse - größere Eismassenverluste als \_\_\_\_\_ durch Schneefall - in den kommenden Jahrhunderten anhalten, rechnen die Forscher mit dem vollständigen Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes und einem daraus folgenden Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 7 Metern.

<sup>1</sup>Schelfeis sind am Rand polarer Landflächen vorkommende, im Meerwasser schwimmende, große Eistafeln. Sie sind mit einem Gletscher an Land verbunden und ragen ins offene Meer hinaus. An diesem äußeren Ende im Meer brechen immer wieder große Teile ab und lösen sich in Eisberge auf. Dieser Prozess wird als "Kalben" bezeichnet.



# Auftauen des Permafrostbodens

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**LUFT; "POSITIVE RÜCKKOPPLUNG"; EISZEIT; MEHR; TREIBHAUSGASE;  
ERWÄRMUNG; WEITER; STERBEN; PERMAFROSTBODEN; HÖHEREN; VERHINDERN;  
ZERSETZENDE MIKROORGANISMEN**

In großen Teilen der Nordhalbkugel der Erde ist der Boden fast das ganze Jahr gefroren. Diesen Boden nennt man \_\_\_\_\_. Nur im Sommer taut die oberste Schicht für wenige Monate auf, und es entstehen einem Moor ähnliche Landschaften, weil das Schmelzwasser nicht in tiefere, noch gefrorene Schichten sickern kann. Die Pflanzen, welche im Sommer dort wachsen, nehmen Kohlenstoffdioxid aus der \_\_\_\_\_ auf und binden diesen.

Wenn der Boden zum Winter hin wieder gefriert, \_\_\_\_\_ die Pflanzen ab. Aufgrund der tiefen Temperaturen können \_\_\_\_\_ diese abgestorbenen Pflanzen aber nur zu geringen Teilen wieder verarbeiten und zu CO<sub>2</sub> umsetzen. Die unzersetzten Vegetationsreste lagern sich jährlich Schicht für Schicht als gefrorener Boden auf.

So wurde seit der letzten \_\_\_\_\_ eine große Menge Kohlenstoff im Permafrostboden gespeichert.

Durch die globale \_\_\_\_\_ kommt es nun dazu, dass die höheren Oberflächentemperaturen in vielen früheren Permafrostgebieten das Wiedergefrieren des Bodens zum Winter hin \_\_\_\_\_. Ebenso nimmt die Tiefe des gefrorenen Bodens ab.

Durch die \_\_\_\_\_ Temperaturen können nun die Mikroorganismen die abgelagerten Pflanzenteile zersetzen, was dazu führt, dass von ihnen in zunehmendem Maße CO<sub>2</sub> und Methan ausgestoßen wird.

Diese \_\_\_\_\_ gelangen in die Atmosphäre und beschleunigen den Klimawandel und somit auch das weitere Auftauen von Permafrostböden...

Es besteht eine \_\_\_\_\_:

Ein positiver Rückkopplungsmechanismus verstärkt den Anfangsimpuls, in diesem Falle die Erwärmung des Klimas, ein negativer schwächt ihn dagegen ab. Tauen die Permafrostböden infolge einer Klimaerwärmung, wird diese Erwärmung durch das Freisetzen von Treibhausgasen weiter verstärkt.

Bei den Permafrostböden besteht folgendes Problem: Sie werden bei einer Erwärmung der Erde in immer längeren Zeiträumen aufgetaut sein und \_\_\_\_\_ Treibhausgase freisetzen. Dies bedeutet, dass die Permafrostböden den Klimawandel bei einer gestiegenen Temperatur \_\_\_\_\_ vorantreiben, auch wenn die anthropogenen (menschgemachten) Treibhausgasemissionen auf null reduziert worden sind.





## Klima und Wälder

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**LUNGE; RINDERZUCHT; SAUERSTOFF; ARTENREICHTUM; ABHOLZUNG; WEIDELAND;  
BRANDRODUNGEN; KAPAZITÄT; AUSZUTROCKNEN; KRANKHEITEN; ERWÄRMUNG;  
BODENFEUCHTE; WENIGER; FREIGESETZT; CO<sub>2</sub>; NADELWÄLDER;  
WALDABHOLZUNGEN;**

Der Amazonas Regenwald ist etwa so groß wie die Fläche der Vereinigten Staaten von Amerika und damit das größte tropische Regenwaldgebiet der Erde. Tropische Regenwälder werden oft als "\_\_\_\_\_ des Planeten" bezeichnet, da sie große Mengen \_\_\_\_\_ aus der Luft aufnehmen und \_\_\_\_\_ wieder abgeben.

Gleichzeitig besitzen sie auch einen großen \_\_\_\_\_, der etwa 10 % der weltweiten biologischen Vielfalt ausmacht.

Die Fläche des Amazonas Regenwaldes nimmt aber durch rücksichtslose \_\_\_\_\_, Holzeinschläge, Ausbau von Infrastruktur und Umwandlung von Waldfläche in \_\_\_\_\_ oder landwirtschaftlich genutzte Flächen (z.B. für \_\_\_\_\_ und Sojaanbau) immer weiter ab. Etwa 17% der ursprünglichen Fläche des Regenwaldes sind bereits vernichtet und nochmal so viel geschädigt.

Durch die Abnahme seiner Fläche, nimmt auch die \_\_\_\_\_ zur Bindung von Kohlendioxid ab und durch Verfahrensweisen, wie \_\_\_\_\_ gelangt zudem auch noch zusätzliches CO<sub>2</sub> in unsere Atmosphäre.

Bei Fortsetzung der Erderwärmung droht der Amazonas Regenwald \_\_\_\_\_. Einige Modelle erwarten dessen Kollaps schon in diesem Jahrhundert.

Boreale Wälder umfassen mehr als zwei Drittel der weltweiten Waldflächen und befinden sich etwa zwischen dem 50. und 70. Breitengrad auf der Nordhalbkugel. Diese sind hauptsächlich \_\_\_\_\_.

Die globale \_\_\_\_\_ führt zu verstärkter Trockenheit und größerer Hitze im Sommer. Dies stellt eine Gefährdung der Wälder dar. Die Anfälligkeit gegenüber \_\_\_\_\_ und Parasiten nimmt zu, während die Reproduktionsrate weiter abnimmt. Ebenso entstehen durch die Trockenheit häufigerer Waldbrände.

Es kommt zur Ausweitung von Grasland, wodurch das Niveau der \_\_\_\_\_ abnimmt, da keine komplexen Wurzelsysteme wie im Wald mehr vorhanden sind, die die Wasserspeicherung des Bodens erleichtern.

Etwa 90 % des weltweiten Papier & Schnittholzbedarfs wird aus borealen Wäldern gedeckt. Hierbei nehmen deren Fläche gleichermaßen durch \_\_\_\_\_ und nicht nachhaltige Forstwirtschaft ab.

Folgen: Die Wälder können \_\_\_\_\_ CO<sub>2</sub> aus der Luft binden. Es kommt zur Abnahme der Bodenfeuchte, wodurch im Boden gebundener Kohlenstoff \_\_\_\_\_ wird.



## Kipppunkte im Ozean

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**TEMPERATURSCHWANKUNGEN; TEMPERATURGEFÄLLE; STEIGT AUF; WOLKEN;  
REGENWÄLDERN; TROCKENE; LUFT; OSTPAZIFIKS; WESTPAZIFIKS; AUSBLEIBEN;  
STRÖMT; ERWÄRMUNG; DÜRREN; ÜBERSCHWEMMUNGEN; HÄUFIGER; STARKE; CO2-  
AUSSTOßES; WACHSEN; ÜBERLEBEN; LEBENSÄUME;**

Im tropischen Pazifik werden im Vergleich zu anderen Ozeanen die stärksten \_\_\_\_\_ der Wasseroberflächentemperaturen beobachtet. Dabei weist der Pazifik ein deutliches \_\_\_\_\_ entlang des Äquators auf: Im Westpazifik kann die Temperatur der Wasseroberfläche etwa 30 Grad Celsius erreichen, während diese im Ostpazifik etwa 10°C darunter liegt.

Normalerweise erwärmt sich die Luft über dem Westpazifik und \_\_\_\_\_. Hierbei bilden sich hohe \_\_\_\_\_ mit großen Niederschlagsmengen, welche zum Beispiel den tropischen \_\_\_\_\_ in Indonesien zugute kommen. Über dem kälteren Ostpazifik sinken die Luftmassen wieder ab und sorgen so für sehr \_\_\_\_\_ klimatische Bedingungen, sodass etwa in Südamerika küstennahe Wüsten existieren.

Die Passatwinde (Winde, die immer aus der gleichen Richtung wehen) tragen die abgesunkene \_\_\_\_\_ wieder in Richtung des \_\_\_\_\_. Dabei entsteht eine Meeresströmung, welche das warme Wasser an der Oberfläche des \_\_\_\_\_ in den Westen bringt, während kaltes Wasser aus den tieferen Schichten nachströmt.

Schwächen die Passatwinde ab, entsteht das Phänomen El Niño vor Südamerika. Dabei sind die Oberflächentemperaturen des Ozeans in einem großen Gebiet im Ostpazifik ungewöhnlich erhöht. Die Schwächung oder das \_\_\_\_\_ der Passatwinde verhindert hierbei, dass kaltes Tiefenwasser an die Oberfläche \_\_\_\_\_. Es kommt zur \_\_\_\_\_ des tropischen Pazifiks. Diese Veränderung der Meeresoberflächentemperatur verursacht beispielsweise in Australien und Indonesien \_\_\_\_\_ und Brände sowie starke Niederschläge mit \_\_\_\_\_ in Regionen Südamerikas. Durch den Klimawandel kommt es zur permanenten Erwärmung der Ozeane, wodurch das El-Niño-Phänomen immer \_\_\_\_\_ auftritt.

Außerdem hat die Erwärmung der Ozeane \_\_\_\_\_ Auswirkungen auf Algen. Algen zählen zu den größten CO<sub>2</sub>-Speichern unserer Erde. Sie nehmen ca. 40% des von Menschen verursachten \_\_\_\_\_ auf. Warmes Wasser ist weniger sauerstoffreich und dadurch können nicht mehr so viele Algen \_\_\_\_\_.

Auch die Korallenriffe leiden unter der Erwärmung der Ozeane. Korallen pflegen eine Lebensgemeinschaft mit Algen, die auf ihnen siedeln und ohne die sie nicht \_\_\_\_\_ können. Beschädigte Algen werden von Korallen abgestoßen. Es kommt zur Korallenbleiche, was die Zerstörung zahlreicher \_\_\_\_\_ nach sich zieht.



# Eisschmelze

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**EISFREIE; SCHMELZEN; GLETSCHERSPALTEN; DOPPELT SO SCHNELL; ZUNAHMEN; SCHWÄCHT; BESCHLEUNIGT; ERWÄRMUNG; VERRINGERT; REFLEKTIERT; SCHNEEFALL; VERSTÄRKT; INS MEER**

Die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel. Einige Klimamodelle kommen zu dem Resultat, dass das Meereis in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts im Spätsommer fast vollständig verschwinden wird. Der Kipp-Punkt für eine sommerlich eisfreie Arktis ist wahrscheinlich schon sehr nah oder sogar bereits überschritten.

Eine große Eisfläche wie die Fläche der Arktis hat wegen der weißen Farbe eine hohe Albedo. Das bedeutet, dass ein großer Teil der einfallenden Sonnenstrahlung reflektiert wird. Erwärmt sich nun die Atmosphäre und Teile der Arktis schmelzen, verringert sich die Albedo der Erdoberfläche. Dadurch wird weniger Sonnenstrahlung reflektiert und der Untergrund erwärmt sich stärker.

Ein weiterer Anstieg der Temperatur in der Atmosphäre ist die Folge. Dieser Prozess - Erwärmung der Atmosphäre, Schmelzen von Schnee- und Eismassen, Verringerung der Oberflächenalbedo, verstärkte Erwärmung der Atmosphäre - ist einer der größten positiven Rückkopplungseffekte im Klimasystem.

Ein positiver Rückkopplungsmechanismus beschleunigt den Anfangsimpuls, in diesem Falle die Erwärmung des Klimas, ein negativer schwächt ihn dagegen ab. Taut die Arktis infolge einer Klimaerwärmung, wird diese Erwärmung durch die positive Rückkopplung weiter verstärkt.

Grönland ist die größte Insel der Erde und hat eine Gesamtfläche von 2,1 Millionen Quadratkilometern, ist also mehr als sechsmal so groß wie Deutschland. Ungefähr 80 Prozent der Fläche Grönlands sind von einem dicken Eispanzer, dem Grönländischen Eisschild, bedeckt. Im Mittel ist das Eis etwa 2000 Meter dick, an den dicksten Stellen sogar über 3000 Meter.

Wenn der Eisschild an der Oberfläche zu schmelzen beginnt, entstehen Seen, deren Wasser durch Gletscherspalten in die Tiefe bis auf den felsigen Grund der Insel gelangt. So entstehen Flüsse unter dem Eis, auf denen die Eismassen in Richtung Ozean gleiten. Das bedeutet, dass die Eismassen aufgrund der höheren Temperaturen schneller abschmelzen und sich ebenso schneller ins Meer bewegen. Der dynamische Eisverlust (beispielsweise Verlust von Schelfeis<sup>1</sup> oder Verlust schwimmender Gletscherzungen) erklärt etwa die Hälfte des Eismassenverlustes in Grönland.

Der Rest des Massenverlustes ist dadurch bedingt, dass die Verluste durch das Abschmelzen größer waren als der Zuwachs durch Schneefall. Falls diese Prozesse - größere Eismassenverluste als Zunahmen durch Schneefall - in den kommenden Jahrhunderten anhalten, rechnen die Forscher mit dem vollständigen Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes und einem daraus folgenden Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 7 Metern.

<sup>1</sup>Schelfeise sind am Rand polarer Landflächen vorkommende, im Meerwasser schwimmende, große Eistafeln. Sie sind mit einem Gletscher an Land verbunden und ragen ins offene Meer hinaus. An diesem äußeren Ende im Meer brechen immer wieder große Teile ab und lösen sich in Eisberge auf. Dieser Prozess wird als "Kalben" bezeichnet.



# Auftauen des Permafrostbodens

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**LUFT; "POSITIVE RÜCKKOPPLUNG"; EISZEIT; MEHR; TREIBHAUSGASE;  
ERWÄRMUNG; WEITER; STERBEN; PERMAFROSTBODEN; HÖHEREN; VERHINDERN;  
ZERSETZENDE MIKROORGANISMEN**

In großen Teilen der Nordhalbkugel der Erde ist der Boden fast das ganze Jahr gefroren. Diesen Boden nennt man Permafrostboden. Nur im Sommer taut die oberste Schicht für wenige Monate auf, und es entstehen einem Moor ähnliche Landschaften, weil das Schmelzwasser nicht in tiefere, noch gefrorene Schichten sickern kann. Die Pflanzen, welche im Sommer dort wachsen, nehmen Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf und binden diesen.

Wenn der Boden zum Winter hin wieder gefriert, sterben die Pflanzen ab. Aufgrund der tiefen Temperaturen können zersetzende Mikroorganismen diese abgestorbenen Pflanzen aber nur zu geringen Teilen wieder verarbeiten und zu CO<sub>2</sub> umsetzen. Die unzersetzten Vegetationsreste lagern sich jährlich Schicht für Schicht als gefrorener Boden auf.

So wurde seit der letzten Eiszeit eine große Menge Kohlenstoff im Permafrostboden gespeichert.

Durch die globale Erwärmung kommt es nun dazu, dass die höheren Oberflächentemperaturen in vielen früheren Permafrostgebieten das Wiedergefrieren des Bodens zum Winter hin verhindern. Ebenso nimmt die Tiefe des gefrorenen Bodens ab.

Durch die höheren Temperaturen können nun die Mikroorganismen die abgelagerten Pflanzenteile zersetzen, was dazu führt, dass von ihnen in zunehmendem Maße CO<sub>2</sub> und Methan ausgestoßen wird.

Diese Treibhausgase gelangen in die Atmosphäre und beschleunigen den Klimawandel und somit auch das weitere Auftauen von Permafrostböden...

Es besteht eine "positive Rückkopplung":

Ein positiver Rückkopplungsmechanismus verstärkt den Anfangsimpuls, in diesem Falle die Erwärmung des Klimas, ein negativer schwächt ihn dagegen ab. Tauen die Permafrostböden infolge einer Klimaerwärmung, wird diese Erwärmung durch das Freisetzen von Treibhausgasen weiter verstärkt.

Bei den Permafrostböden besteht folgendes Problem: Sie werden bei einer Erwärmung der Erde in immer längeren Zeiträumen aufgetaut sein und mehr Treibhausgase freisetzen. Dies bedeutet, dass die Permafrostböden den Klimawandel bei einer gestiegenen Temperatur weiter vorantreiben, auch wenn die anthropogenen (menschengemachten) Treibhausgasemissionen auf null reduziert worden sind.



# Klima und Wälder

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**LUNGE; RINDERZUCHT; SAUERSTOFF; ARTENREICHTUM; ABHOLZUNG; WEIDELAND;  
BRANDRODUNGEN; KAPAZITÄT; AUSZUTROCKNEN; KRANKHEITEN; ERWÄRMUNG;  
BODENFEUCHTE; WENIGER; FREIGESETZT; CO<sub>2</sub>; NADELWÄLDER;  
WALDABHOLZUNGEN;**

Der Amazonas Regenwald ist etwa so groß wie die Fläche der Vereinigten Staaten von Amerika und damit das größte tropische Regenwaldgebiet der Erde. Tropische Regenwälder werden oft als "  **Lunge**   des Planeten" bezeichnet, da sie große Mengen   **CO<sub>2</sub>**   aus der Luft aufnehmen und   **Sauerstoff**   wieder abgeben.

Gleichzeitig besitzen sie auch einen großen   **Artenreichtum**  , der etwa 10 % der weltweiten biologischen Vielfalt ausmacht.

Die Fläche des Amazonas Regenwaldes nimmt aber durch rücksichtslose   **Waldabholzungen**  , Holzeinschläge, Ausbau von Infrastruktur und Umwandlung von Waldfläche in   **Weideland**   oder landwirtschaftlich genutzte Flächen (z.B. für   **Rinderzucht**   und Sojaanbau) immer weiter ab. Etwa 17% der ursprünglichen Fläche des Regenwaldes sind bereits vernichtet und nochmal so viel geschädigt.

Durch die Abnahme seiner Fläche, nimmt auch die   **Kapazität**   zur Bindung von Kohlendioxid ab und durch Verfahrensweisen, wie   **Brandrodungen**   gelangt zudem auch noch zusätzliches CO<sub>2</sub> in unsere Atmosphäre.

Bei Fortsetzung der Erderwärmung droht der Amazonas Regenwald   **auszutrocknen**  . Einige Modelle erwarten dessen Kollaps schon in diesem Jahrhundert.

Boreale Wälder umfassen mehr als zwei Drittel der weltweiten Waldflächen und befinden sich etwa zwischen dem 50. und 70. Breitengrad auf der Nordhalbkugel. Diese sind hauptsächlich   **Nadelwälder**  .

Die globale   **Erwärmung**   führt zu verstärkter Trockenheit und größerer Hitze im Sommer. Dies stellt eine Gefährdung der Wälder dar. Die Anfälligkeit gegenüber   **Krankheiten**   und Parasiten nimmt zu, während die Reproduktionsrate weiter abnimmt. Ebenso entstehen durch die Trockenheit häufigerer Waldbrände.

Es kommt zur Ausweitung von Grasland, wodurch das Niveau der   **Bodenfeuchte**   abnimmt, da keine komplexen Wurzelsysteme wie im Wald mehr vorhanden sind, die die Wasserspeicherung des Bodens erleichtern.

Etwa 90 % des weltweiten Papier & Schnittholzbedarfs wird aus borealen Wäldern gedeckt. Hierbei nehmen deren Fläche gleichermaßen durch   **Abholzung**   und nicht nachhaltige Forstwirtschaft ab.

Folgen: Die Wälder können   **weniger**   CO<sub>2</sub> aus der Luft binden. Es kommt zur Abnahme der Bodenfeuchte, wodurch im Boden gebundener Kohlenstoff   **freigesetzt**   wird.



## Kipppunkte im Ozean

Fülle die folgenden Begriffe in den Lückentext ein:

**TEMPERATURSCHWANKUNGEN; TEMPERATURGEFÄLLE; STEIGT AUF; WOLKEN; REGENWÄLDERN; TROCKENE; LUFT; OSTPAZIFIKS; WESTPAZIFIKS; AUSBLEIBEN; STRÖMT; ERWÄRMUNG; DÜRREN; ÜBERSCHWEMMUNGEN; HÄUFIGER; STARKE; CO2-AUSSTOßES; WACHSEN; ÜBERLEBEN; LEBENSÄRÄUME;**

Im tropischen Pazifik werden im Vergleich zu anderen Ozeanen die stärksten Temperaturschwankungen der Wasseroberflächentemperaturen beobachtet. Dabei weist der Pazifik ein deutliches Temperaturgefälle entlang des Äquators auf: Im Westpazifik kann die Temperatur der Wasseroberfläche etwa 30 Grad Celsius erreichen, während diese im Ostpazifik etwa 10°C darunter liegt.

Normalerweise erwärmt sich die Luft über dem Westpazifik und steigt auf. Hierbei bilden sich hohe Wolken mit großen Niederschlagsmengen, welche zum Beispiel den tropischen Regenwäldern in Indonesien zugute kommen. Über dem kälteren Ostpazifik sinken die Luftmassen wieder ab und sorgen so für sehr trockene klimatische Bedingungen, sodass etwa in Südamerika küstennahe Wüsten existieren.

Die Passatwinde (Winde, die immer aus der gleichen Richtung wehen) tragen die abgesunkene Luft wieder in Richtung des Ostpazifik. Dabei entsteht eine Meeresströmung, welche das warme Wasser an der Oberfläche des Westpazifik in den Westen bringt, während kaltes Wasser aus den tieferen Schichten nachströmt.

Schwächen die Passatwinde ab, entsteht das Phänomen El Niño vor Südamerika. Dabei sind die Oberflächentemperaturen des Ozeans in einem großen Gebiet im Ostpazifik ungewöhnlich erhöht. Die Schwächung oder das Ausbleiben der Passatwinde verhindert hierbei, dass kaltes Tiefenwasser an die Oberfläche strömt. Es kommt zur Erwärmung des tropischen Pazifiks. Diese Veränderung der Meeresoberflächentemperatur verursacht beispielsweise in Australien und Indonesien Dürren und Brände sowie starke Niederschläge mit Überschwemmungen in Regionen Südamerikas. Durch den Klimawandel kommt es zur permanenten Erwärmung der Ozeane, wodurch das El-Niño-Phänomen immer häufiger auftritt.

Außerdem hat die Erwärmung der Ozeane starke Auswirkungen auf Algen. Algen zählen zu den größten CO<sub>2</sub>-Speichern unserer Erde. Sie nehmen ca. 40% des von Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auf. Warmes Wasser ist weniger sauerstoffreich und dadurch können nicht mehr so viele Algen wachsen.

Auch die Korallenriffe leiden unter der Erwärmung der Ozeane. Korallen pflegen eine Lebensgemeinschaft mit Algen, die auf ihnen siedeln und ohne die sie nicht überleben können. Beschädigte Algen werden von Korallen abgestoßen. Es kommt zur Korallenbleiche, was die Zerstörung zahlreicher Lebensräume nach sich zieht.