

## Gliederung

### Inhalt

1.	Atlantische Zirkulation	3
2.	Westafrika-Monsun	4
3.	El Niño	5
4.	Jet Streams	6
5.	Indischer Monsun	7
6.	Arktis	8
7.	Grönland	9
8.	Antarktis	10
9.	Seen- und Meeresgrund	11
10.	Permafrost	12
11.	Marine Kohlenstoffpumpe	13
12.	Amazonas Regenwald	14
13.	Tropische Korallenriffe	15
14.	Borealwälder	16

# 1. Atlantische Zirkulation

Die Wasserströmungen im Nordatlantik werden durch Temperatur- und Salzkonzentrationsunterschiede des Wassers verursacht. Dichteres Salzwasser sinkt ab. Die Eisschmelze auf Grönland verändert die Salzkonzentration des Wassers. Was passiert dann?

**Antwort:**

Die Dichteverteilung wird gestört, indem das geschmolzene Süßwasser in den Nordatlantik fließt. Hierdurch wird das Strömungssystem gestört bzw. behindert!

Dies könnte dazu führen,  
dass mehr warmes Wasser zu Arktis fließt, weshalb das Meereis schneller schmilzt,  
dass der Meeresspiegel schneller ansteigt,  
dass die Ozeane nicht mehr so gut  $CO_2$  aufnehmen können.

**Dichte:**

Die Dichte eines Körpers beschreibt wie viel Masse in seinem Körpervolumen steckt. Also wie „dicht“ die Teilchen im Körper liegen.

Je nach Stoff oder auch Temperatur kann sich die Dichte unterscheiden.

Dies kann dann auch Auswirkungen auf das Gewicht des Körpers haben; so ist bei gleichem Volumen ein Körper mit höherer Dichte schwerer.

Z.B. ist eine Cola-Dose, gefüllt mit Luft, leichter als eine Cola-Dose, die mit Cola gefüllt ist. Denn Luft hat eine geringere Dichte als Cola.

**Temperatur und Dichte:**

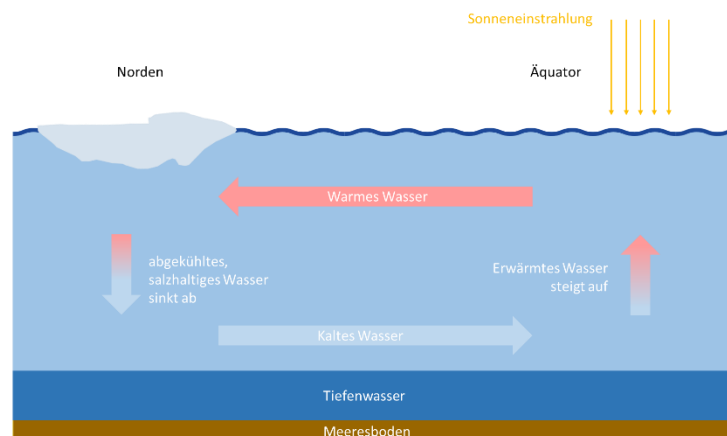
Sinkt die Temperatur eines Körpers, so erhöht sich seine Dichte. Die Teilchen „rücken“ näher zusammen.

Für das gleiche Volumen hat ein kalter Körper eine höhere Dichte und ist damit auch schwerer als der gleiche Körper im warmen Zustand.

Z.B. ist eine Cola-Dose voll warmer Cola (geringere Dichte) leichter als eine Cola-Dose gefüllt mit kalter Cola (höhere Dichte).

**Meeresströmung:**

Wie die Atmosphäre ist auch der Ozean ständig in Bewegung. Das Meerwasser kann an der Oberfläche oder in der Tiefe strömen sowie absinken und aufsteigen.



## 2. Westafrika-Monsun

In Westafrika steigt die heiße Luft auf, es entsteht ein Tiefdruckgebiet. Feuchte Luft strömt vom Atlantik her ein und regnet sich über dem Festland ab. Die Sahelzone könnte durch eine Verlagerung des Monsuns noch trockener werden oder aber ergrünen. Was bedeutet dies für die Bevölkerung?

### **Antwort:**

Dies hätte Klimaflucht und landwirtschaftliche Anpassungen der in der Sahelzone lebenden Menschen zur Folge. Diese müssten bei einer weiteren Austrocknung der Sahara weiter in den Süden flüchten. Bei einer Ergrünung der Wüstengebiete, würden sich zwar landwirtschaftlich neue Nutzungsflächen ergeben, aber dies ist nur für die lokale Wirtschaft positiv. Südamerikanische Ökosysteme würden unter der Ergrünung nämlich leiden. Bisher wurden wichtige Nährstoffe über Wüstenwinde aufgewirbelt und bis über den Atlantik transportiert. Diese würden nun in Südamerika nun fehlen.

### **Westafrikanischer Monsun:**

In Westafrika existiert ebenso ein Monsunsystem, wie das über dem indischen Subkontinent. Es wird auch durch den lokalen Temperaturunterschied zwischen Nord- und Südhalbkugel bedingt. Schon vor ca. 6000 Jahren scheint ein Kipppunkt erreicht worden zu sein, da die Sahara viel schneller austrocknete, als es die damals umgebenden Bedingungen heute vermuten lassen.

### **Sahelzone:**

Die Sahelzone grenzt direkt an die Sahara an. Das Klima wird maßgeblich durch den Westafrika Monsun bestimmt der für wenige, heftige Regengüsse im Jahr sorgt. In dem Gebiet herrschen hohe Temperaturen und starke Trockenheit.



[https://de.wikipedia.org/wiki/Sahelzone#/media/Datei:Sahel\\_orthographic\\_map.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Sahelzone#/media/Datei:Sahel_orthographic_map.jpg)  
„Sahel\_orthographic\_map“  
Autor: Flockedereisbaer  
CC BY-SA 3.0 de

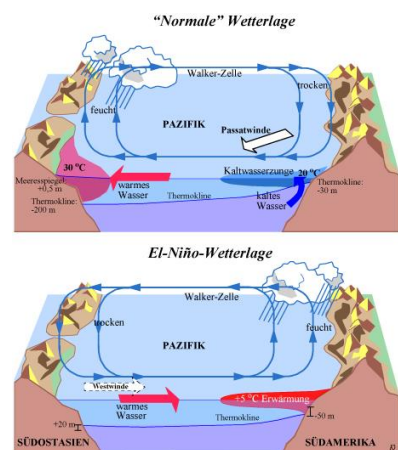
### 3. El Niño

Beim El Niño erwärmt sich die Meeresoberfläche im äquatorialen Pazifik stärker als normal. Dies führt zu Hitze in Australien, Südostasien und Südafrika. Der Regen, der dort fehlt, geht reichlich über der Westküste Südamerikas nieder. Was passiert, wenn es am Äquator wärmer wird?

Die Häufigkeit und Stärke dieses Phänomens kann sich ändern. Für viele Regionen der Erde würde deshalb häufiger extremes Wetter auftreten.

#### El Niño:

Dieses natürliche Phänomen tritt in unregelmäßigen Abständen (alle paar Jahre) wieder auf. Grund hierfür ist die natürliche Variabilität des Klimas. El Niño-Ereignisse kennzeichnen sich dabei durch ungewöhnlich warmes Oberflächenwasser entlang des Äquators, von der peruanischen Küste bis in den zentralen Pazifik. Die Auswirkungen sind dabei weltweit zu spüren. Waldbrände, Überschwemmungen und Stürme sind an verschiedenen Orten der Welt die Folge.



<https://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Datei:ENSO-wetterlage.jpg>

Originalbild des Klimawandel-Wiki „ENSO-wetterlage“,  
Autor: Dieter Kasang CC BY-NC-SA 2.0 DE

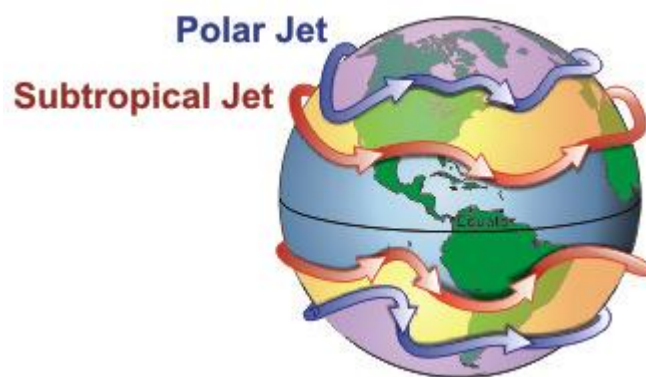
## 4. Jet Streams

In sieben bis 12 Kilometern Höhe schlängelt sich der Jet-Stream um die Nordhalbkugel. Er trennt die kalte Luft des Nordens vom wärmeren Süden. Er ist inzwischen so langsam, dass sich Großwetterlagen wie Kälte- und Hitzewellen, Starkregen und Dürren über viele Wochen nicht auflösen.

### **Jet Stream:**

Ein Starkwind in 8 bis 12 km Höhe, der rund um den Globus von Westen nach Osten weht. Er entsteht an der Grenze zwischen kalten und warmen Luftmassen bzw. Hoch- und Tiefdruckgebieten. Mit einer Windgeschwindigkeit von 200 bis 500 km/h ist der Jetstream ein außergewöhnlich starker Höhenwind.

Man unterscheidet dabei einmal in den Jetstream über den mittleren Breiten, als Polarfrontjetstream und über den Subtropen als Subtropenjetstream.



<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jetstreamconfig.jpg> "Actual jet stream configuration", Lyndon State College Meteorology, Public Domain

## 5. Indischer Monsun

Im Sommer wird die Luft über dem Indischen Subkontinent bis zu 50 °C heiß. Die Luft steigt schnell auf, es entsteht ein Tiefdruckgebiet, welches feuchte Luft vom Pazifik anzieht. Diese Luft strömt über Land und regnet sich ab. Was passiert, wenn es wärmer wird? Gibt es Rückkopplungen?

### Antwort:

Der Monsun würde verstärkt werden. Die langlebigen Treibhausgase und die damit einhergehende Erwärmung zeigt sich nämlich stärker über Land, da dieses schneller als der Ozean reagiert. Dies würde die vorherrschenden Druckunterschiede weiter erhöhen.

Darunter könnte insbesondere die Landwirtschaft in den betroffenen Gebieten leiden, da der Monsunniederschlag grundsätzlich schon starke Schwankungen zeigt. Dies könnte jetzt schon zu Dürren und Überschwemmungen beigetragen haben.

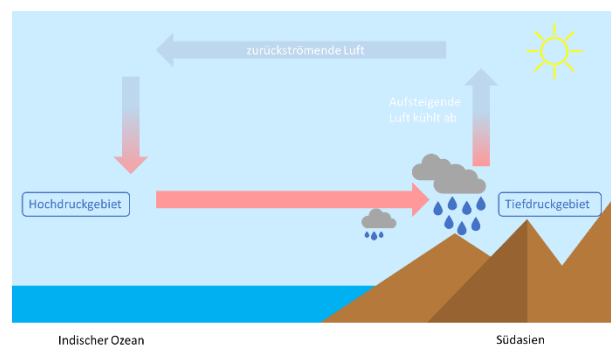
### Monsun:

Die Monsunwinde ändern halbjährlich ihre Richtung. Der Indische Monsun wird dabei im Sommer durch die hohe Sonneneinstrahlung auf das Land und im Winter über die hohe Sonneneinstrahlung auf den Ozean bedingt. Im Sommer und Winter wehen die Winde daher aus verschiedenen Richtungen. Das beeinflusst Regen- und Trockenphasen in bestimmten Regionen.

Aus Beobachtungen der letzten Jahrzehnte kann man abschätzen, dass dieses System sehr sensibel auf äußere Einflüsse reagieren könnte.

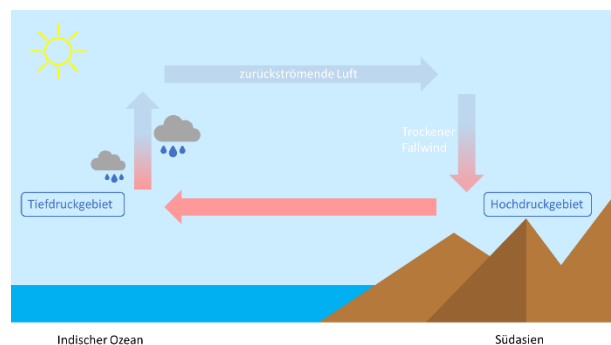
### Sommermonsun (Regenzeit):

Aufgrund der hohen Temperaturen auf dem Festland entsteht dort ein überdauerndes sommerliches Tiefdruckgebiet. Warme, wasserhaltige Luftmassen werden durch den Druckunterschied zwischen Ozean und Festland nun zum indischen Subkontinent geführt. Dort kühlt die Luft ab, insbesondere wenn diese an Gebirgen aufsteigen, und es entstehen schwere Wolken. Können sie die Feuchtigkeit nicht mehr halten, beginnt es zu regnen – oft für viele Monate.



### Wintermonsun (Trockenzeit):

Aufgrund der hohen Temperaturen über dem Ozean entsteht dort ein überdauerndes winterliches Tiefdruckgebiet. Warme, wasserhaltige Luftmassen steigen durch den Druckunterschied zwischen Ozean und Festland auf und regnen sich noch über dem Ozean wieder ab. Die trockene Luft „fällt“ über dem Festland nun wieder und strömt Richtung Ozean.

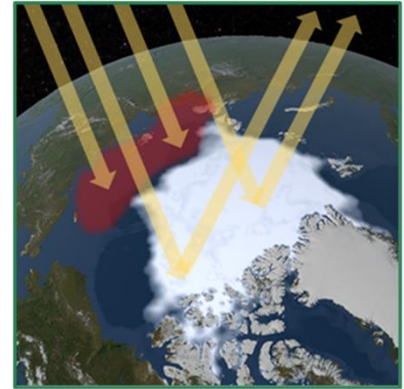


## 6. Arktis

Das Rückstrahlvermögen von Oberflächen wird als Albedo  $\alpha$  bezeichnet und ist bei Eis besonders hoch und bei Wasser relativ klein. Was für eine Auswirkung hat die globale Erwärmung auf sie? Gibt es hier eine Rückkopplung und was bewirkt sie?

### Antwort:

Ein anfängliches Schmelzen des Meereises legt Meerwasser frei, welches das Sonnenlicht besser aufnimmt als das helle Eis und sich damit noch stärker erwärmt. Die Erwärmung wiederum verstärkt die Eisschmelze. Dieser Effekt ist also selbstverstärkend!



### Rückstrahlvermögen (Albedo):

Die Albedo ist ein Maß für die „Weiße“ eines Körpers. Je „weißer“ bzw. heller der Körper ist, desto größer ist das Rückstrahlvermögen (Albedo).

Eine wichtige Folge ist, dass mehr von der einfallenden Sonnenstrahlung reflektiert (d.h. "zurückgeschickt" wird) wird, je heller der Körper ist. Die reflektierte Strahlung steht für die Erwärmung des Körpers nicht zur Verfügung. Der Rest der Strahlung wird von dem Körper absorbiert ("aufgenommene") und erwärmt ihn.

### Rückkopplung:

Rückkopplungseffekte sind solche Effekte, die ihre eigene Ursache verstärken.

Das heißt, aufgrund einer Aktion A tritt ein Ereignis B ein, das wieder Aktion A auslöst. Ein Teufelskreis!

Man nennt solche Effekte daher auch selbstverstärkend.





## 7. Grönland

Bei steigenden Temperaturen wird der gesamte Eisschild auf dem Festland instabil und rutscht ins Meer ab. Am Boden der Eisschicht bildet sich durch Schmelzwasser ein Schmierfilm, der durch Schmelzwasser wächst. Wo passiert dies auf der Erde? Und gibt es dabei Rückkopplungen? Welche?

**Antwort:**

Das ins Wasser rutschende Eis trägt zur Erhöhung des Meeresspiegels bei. Dort würde es dann zerfallen und schmelzen. Gleichfalls werden dunklere Flächen freigelegt, welche das Sonnenlicht besser aufnehmen als die weißen Eisflächen. Darum tritt der gleiche Rückkopplungseffekt auf wie beim arktischen Meereis, die Erde erwärmt sich schneller, was die Eisschmelze verstärkt.

**Grönländischer Eisschild:**

Der Grönländische Eisschild ist nach dem Antarktischen Eisschild der zweite heute noch existierende Eisschild auf der Erde. Sein vollständiges Abschmelzen hätte eine Erhöhung des globalen Meeresspiegels von ca. 7,42 m zur Folge.

## 8. Antarktis

Bei steigenden Temperaturen wird der gesamte Eisschild auf Festland instabil, aber auch das Eis auf dem Meer verschwindet. Dann rutschen die Festlandgletscher ungebremst ins Meer ab. Wo passiert dies auf der Erde? Und gibt es hier Rückkopplungen?

**Antwort:**

Das ins Wasser rutschende Eis trägt zur Erhöhung des Meeresspiegels bei. Dort würde es dann zerfallen und schmelzen. Gleichfalls werden dunklere Flächen freigelegt, welche das Sonnenlicht besser aufnehmen als die weißen Eisflächen. Darum tritt der gleiche Rückkopplungseffekt auf wie beim arktischen Meereis, die Erde erwärmt sich schneller, was die Eisschmelze verstärkt.

**Antarktischer Eisschild:**

Der Antarktische Eisschild ist neben dem Grönländischen Eisschild der zweite heute noch existierende Eisschild auf der Erde. Sein vollständiges Abschmelzen hätte eine Erhöhung des globalen Meeresspiegels von ca. vier bis fünf Meter zur Folge.

## 9. Seen- und Meeresgrund

Am Meeres- und Seengrund lagern große Mengen Methanhydrat (in gefrorenem Wasser eingeschlossenes Methan). Sie brauchen tiefe Temperaturen und hohen Druck, um stabil zu bleiben. Was passiert, wenn das Wasser wärmer wird? Gibt es Rückkopplungseffekte?

**Antwort:**

Durch die erhöhten Temperaturen und die damit verbundenen veränderten Meeresströmungen könnten die Methanhydrate womöglich zerfallen. Das Methan in den Ozeanen wird letztlich in die Atmosphäre abgegeben und trägt somit zu Erderwärmung bei. Wenn die Temperaturen aber noch schneller steigen, so erwärmen sich die Ozeane ebenfalls. Diese verlieren noch weiter ihre Eigenschaft als Puffer und zusätzliches Methan gelangt in die Atmosphäre. Somit beschreibt dies einen Rückkopplungseffekt.

**Methan:**

Methan ist ein Treibhausgas. In der Atmosphäre sorgt es dafür, dass Wärme in der Atmosphäre besser gespeichert wird.

**Methanhydrat:**

Methan ist in diesem Stoff, der Eiskristallen ähnelt, eingespeichert. Methanhydrat ist allerdings recht fragil und zerfällt daher schnell an der offenen Luft. Es wird nur durch die tiefen Temperaturen und dem sehr hohen Druck im Untergrund zusammengehalten.

## 10. Permafrost

In den Permafrostgebieten lagern große Mengen von Methan in Kristallform, sogenannte Methanhydrate. Bei höheren Temperaturen schmelzen diese und das Methan (ein starkes Treibhausgas) gelangt in die Atmosphäre. Wo sind diese Gebiete und gibt es hier Rückkopplungseffekte?

**Antwort:**

Permafrostgebiete sind vor allem in Tundren und borealen Waldgebieten zu finden, also etwa Kanada und Russland. Sollte das Methan aus dem Permafrostboden austreten, würde dies zusätzlich zum Treibhauseffekt beitragen und damit zur Erderwärmung. Wenn die Temperaturen aber noch schneller steigen, taut der Permafrostboden noch schneller ab und zusätzliches Methan gelangt in die Atmosphäre. Somit beschreibt dies einen Rückkopplungseffekt.

**Permafrostgebiete:**

Permafrost bezeichnet dauerhaft gefrorenen Boden/Untergrund. Er bildet sich in Gebieten in denen die Temperatur über mehrere Jahre unter 0 °C liegt. Deshalb sind Permafrostgebiete gerade in der polaren Zone und in der kaltgemäßigten Zone zu finden. Die Bildung von Permafrost wird durch das Klima der jeweiligen Gebiete maßgeblich begünstigt.

## 11. Marine Kohlenstoffpumpe

Plankton an der Oberfläche der Meere nimmt  $CO_2$  auf. Krill frisst das Plankton und lagert durch die Ausscheidungen das  $CO_2$  am Meeresboden ab. Welche Folgen hat es für das Plankton, wenn das Wasser wärmer und damit sauerstoffärmer wird? Gibt es hier Rückkopplungsprozesse?

### Antwort:

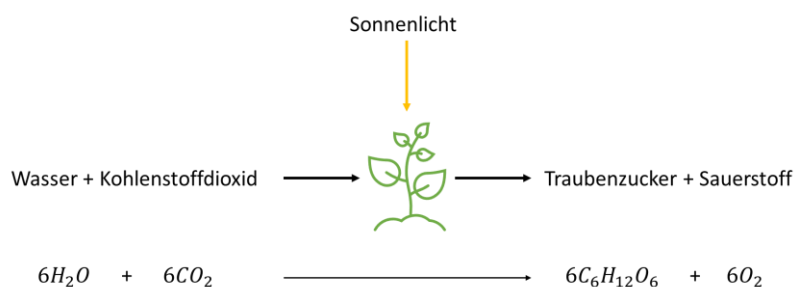
Die meisten Planktonarten sind an eine bestimmte Wassertemperatur angepasst. Durch den Klimawandel erwärmen sich die Ozeane und versauern, sodass Plankton schlechter überleben kann. Durch die geringere Anzahl an Plankton im Meer wird weniger Kohlenstoffdioxid in den Ozeanen gebunden. Dieser trägt als Treibhausgas weiter zur Erderwärmung bei und damit auch zur Erwärmung der Ozeane.

### Plankton:

Phytoplankton sind einzellige Pflanzen, vor allem diverse Algen, die im Oberflächenwasser der Ozeane leben. Durch Photosynthese wandeln sie das  $CO_2$  dort in Sauerstoff um. Phytoplankton ist für die Produktion eines Großteils des Sauerstoffs in der Atmosphäre verantwortlich. Indem es von Krill gefressen wird, wird das  $CO_2$  letztlich über Ausscheidungen am Meeresboden abgelagert. Somit ist das Meer eine wichtige Senke, in der  $CO_2$  gelagert wird, anstatt in der Atmosphäre zu landen.

### Photosynthese:

Photosynthese ist ein Stoffwechselprozess von Pflanzen bei dem Kohlenstoffdioxid genutzt wird, um Sauerstoff zu erzeugen. Auch Wasser und Licht sind nötig für diesen Prozess.



## 12. Amazonas Regenwald

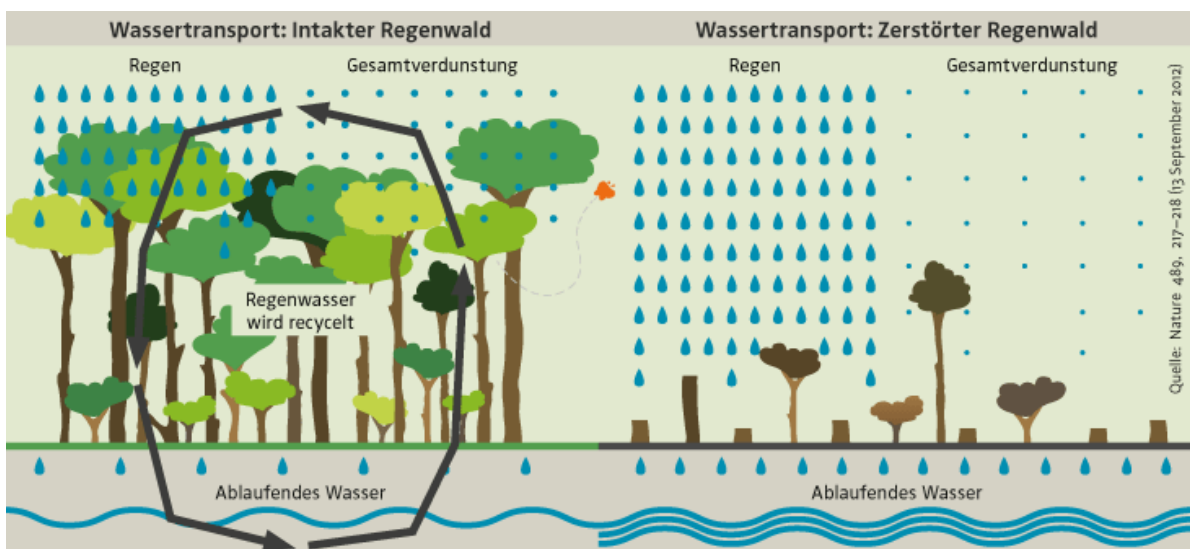
Die tropischen Regenwälder sind ein Puffer im Erdklimasystem. Pflanzen nehmen  $CO_2$  auf und speichern es in ihrer Biomasse. Ein Großteil der Niederschläge stammt aus über dem Wald verdunstetem Wasser. Erderwärmung und Abholzung vernichten Teile des Amazonas. Was passiert dann?

### Antwort:

Ohne Regenwald würde das Regenwasser versickern oder abfließen. Das Gebiet würde gänzlich austrocknen. Damit wäre eines der artenreichsten Ökosysteme und einer der größten  $CO_2$  Speicher zerstört. Gleichzeitig würden die gespeicherten Massen an  $CO_2$  in den Bäumen freigesetzt werden, was den Klimawandel zusätzlich vorantreibt.

### Regenwald im Amazonas:

Der Regenwald im Amazonas umfasst eine Fläche von fast 6 Mio km<sup>2</sup> in Südamerika. Als solch eine enorme Waldfläche stellt er eine der wichtigsten  $CO_2$  Senken der Welt da. Der Niederschlag im Regenwald ist dabei hauptsächlich selbstorganisiert. Der Regenwald sorgt nämlich dafür, dass der Großteil an Wasser nicht abläuft sondern durchgehend verdunstet oder zwischengespeichert wird, damit das Wasser wieder als Niederschlag dienen kann.



Von: <https://www.abenteuer-regenwald.de/wissen/folgen>, zuletzt aufgerufen: 19.02.2023

## 13. Tropische Korallenriffe

Die von Nesseltieren im Meer gebildeten Korallenriffe sind einzigartige Ökosysteme mit einer schier unendlichen Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten. Sie reagieren sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen und einer Versauerung des Wassers. Was passiert mit ihnen durch den Klimawandel?

### Antwort:

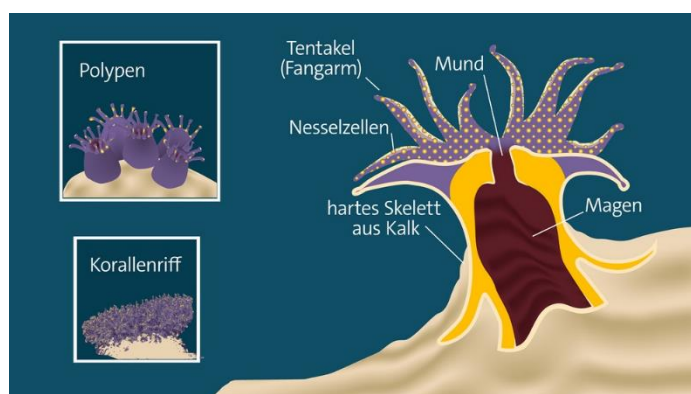
Durch den menschenverursachten  $CO_2$ -Ausstoß versauern die Ozeane. Die Kalkschichten vieler Schnecken oder Korallen lösen sich dadurch und die Meereslebewesen sterben. Gleichzeitig führt eine Erwärmung der Ozeane zur Abgabe ihres gespeicherten  $CO_2$ . Dieses trägt dann noch weiter zu Erderwärmung bei, was einen Rückkopplungseffekt beschreibt. Auch viele Fischarten und im Wasser lebenden Säugetiere verlieren durch die Erwärmung der Ozeane ihren Lebensraum. Sie sind nämlich nicht an die veränderten Temperaturen gewohnt.

### Ozeane als Puffer:

Ozeane sind eine wichtige  $CO_2$  Senke, d.h. sie nehmen  $CO_2$  aus der Atmosphäre und speichern dieses im Wasser. Das  $CO_2$  reagiert dabei auch mit dem Wasser, wodurch es grundsätzlich saurer wird.

### Korallen:

Korallen sind Nesseltieren im Meer die ein kalkhaltiges Skelett besitzen, durch das sie im Korallenriff verankert sind. Bei zu hohen Temperaturen bekommen Korallen nicht mehr die nötigen Nährstoffe vom Meer die sie zum Überleben brauchen. In einer überdurchschnittlich sauren Umgebung löst sich das Kalkskelett auf.



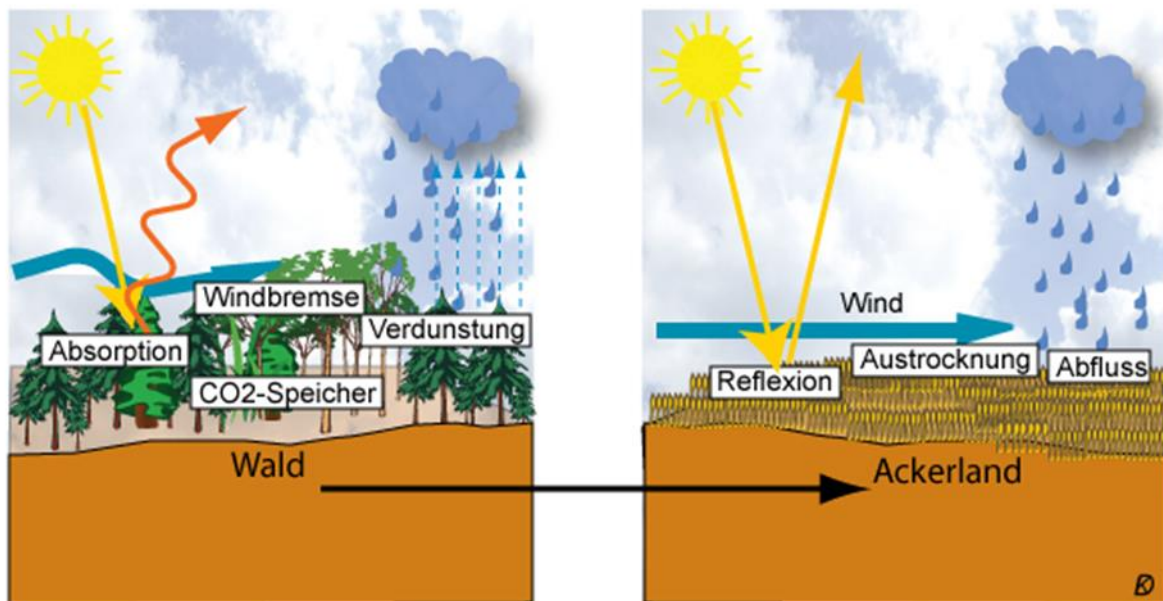
<https://www.ardalpha.de/wissen/natur/tiere/artenschutz/korallen-gefahr-klimawandel-korallenbleiche-100.html> Von: Sylvaine von Liebe, Stand: 02.02.2022 | Bild: Quelle: pa/dpa | Grafik: BR

## 14. Borealwälder

Die Auswirkungen des Klimawandels in den borealen Wäldern sind verheerend. Es ist zu warm und zu trocken. Befall mit Schadinsekten, starke Stürme und Feuer setzen den Wäldern zu und Abholzung gäbe ihnen den Rest. Gibt es hier Rückkopplungseffekte?

### Antwort:

Durch das Waldsterben würde eine große  $CO_2$  Senke wegfallen. Dabei würde eine große Menge an zusätzlichem Kohlendioxid freigesetzt werden.



[https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Wald\\_ackerland\\_albedo.jpg](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Wald_ackerland_albedo.jpg) Originalbild des Klimawandel-Wiki „Unterschied der Albedo bei Waldbedeckung und Ackerfläche“ CC BY-NC-SA 2.0 DE, Autor: Dieter Kasang

### Borealer Wald (Taiga):

Der boreale Wald bezeichnet die Wälder auf der Nordhalbkugel, die in der kaltgemäßigten Klimazone liegen. Die borealen Wälder stellen etwa ein Drittel der globalen Waldfläche dar.



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taiga.png> „Distribution of the Taiga and Boreal forest biome, and its ecoregions.“ CC BY-SA 3.0