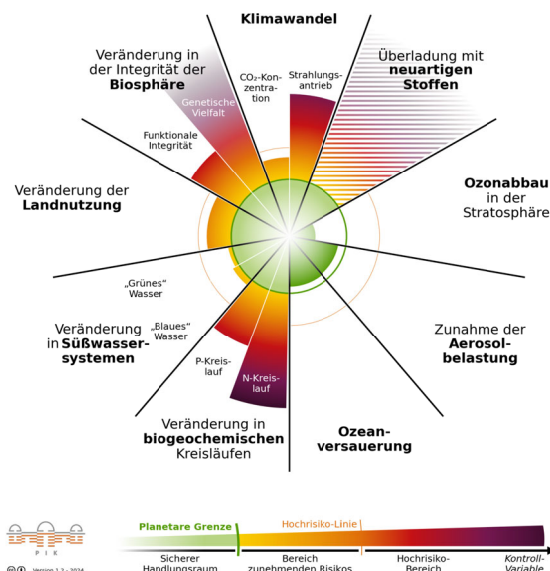


# Planetare Grenzen

## Experimente und Texte zu ökologischen Kipppunkten und planetaren Grenzen



■ Einzelmethode ■ Modul ■ Gesamtkonzept



90 Minuten



ab 15 Jahren, 9-30 Teilnehmende (TN)



M1 - M4, 2 Becher mit Wasser, Brett, Unterlage, Moderationskarten (MK), Stifte, Beamer, Leinwand, 2 Schnüre, Plakate (>DIN A3)



Normaler Raum, Platz in der Mitte



Methodische Komplexität ■ ■ ■ ■ ■



Inhaltliche Tiefe ■ ■ ■ ■ ■

### KURZBESCHREIBUNG

Anhand von Experimenten und Textbeispielen wird das Phänomen von Kipppunkten verdeutlicht.

Damit wird zu den planetare Grenzen übergeleitet und mit einer Aufstellung im Raum deren Zustand eingeschätzt. Anschließend arbeiten sich die TN anhand von Videos und Texten in das Thema ein.

Abschließend werden Ergebnisse, Erkenntnisse und Handlungsmöglichkeiten diskutiert.

### VORWISSEN

#### Empfohlenes Vorwissen:

- Grundverständnis für Natur / Umwelt und ihre Rolle für das menschliche Leben.
- Grundwissen zum Zustand natürlicher Ressourcen mit Blick auf menschliche Nutzung.

#### Mögliche Methoden oder Module im Vorhinein:

- 06 Ressourcen Einführung
- 06 Erschöpfte Umweltressourcen (ausstehend)
- 10 Ich zahle deine Kosten

### THEMEN

**Zuordnung Curriculum:** 06 Ressourcen

**Schlagworte:** Ressourcen, Natur, Ökosystem, Klimawandel, Biodiversität, Planetare Grenzen, Kipppunkte, Substitution, Nachhaltigkeit.

**Querbezüge zu anderen Themen im Curriculum:**

07 Güter, 08 Gemeinwohl, 10 Externalitäten, 27 Produktion.

### VORBEREITUNG

- Druck M1 (1 pro TN)
- Druck M2 (1 für Gesamtgruppe)
- Druck M4 (1 pro 9 TN)
- 2 Becher mit Wasser befüllen
- Kleine Wippe aus Brett und Unterlage bauen
- Beamer und Ton für Video einrichten
- 1 Plakat pro Gruppe „Kipppunkte“ bereit halten

## ABLAUF KOMPAKT

Dieser kompakte Ablauf dient der schnellen Orientierung, z.B. während des Workshops.

Auf der Folgeseite ist zusätzlich ein ausführlicher Ablauf, der sich für eine detaillierte Vorbereitung empfiehlt.

| Zeit      | Ablauf                                                    | Format           | Materialien             |
|-----------|-----------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|
| 7         | <b>Einstieg: Experimente zu Kipp-Punkten</b>              | Plenum           | 2 Becher, Wasser, Wippe |
| 10        | <b>Erarbeitung positive Rückkoppelungen</b>               | Gruppen          | M1, Plakate             |
| 6         | <b>Präsentation: Vorstellung positive Rückkoppelungen</b> | Plenum           | Plakate                 |
| 2         | <b>Überleitung zu Planet mit Karikatur</b>                | Plenum Gespräch  | Beamer, M4 Bild         |
| 5         | <b>Sammeln planetare Grenzen</b>                          | Plenum Gespräch  | Stifte, MK              |
| 5         | <b>Einführung planetarer Grenzen</b>                      | Plenum Input     | Beamer, Video, M2       |
| 10        | <b>Schätzung zur Belastung - Positionsbarometer</b>       | Plenum           | 2 Schnüre               |
| 15        | <b>Erarbeitung Texte zu planetaren Grenzen</b>            | Einzel / Gruppen | M3, MK                  |
| 15        | <b>Präsentation: Stand der planetaren Grenzen</b>         | Plenum           | (M2)                    |
| 10        | <b>Meinungen und Diskussion - Positionsbarometer</b>      | Plenum           | M2                      |
| 5         | <b>Abschluss / Puffer</b>                                 |                  |                         |
| <b>90</b> | <b>Summe der gesamten Zeit in Minuten</b>                 |                  |                         |

### Allgemeine Tipps: /

**Ziele des Moduls:** Teilnehmende können ...

(■ ■ ■ wenig bis ■ ■ ■ voll erreichbare Detailkompetenz des Curriculums (Nr. übergeordnete Kompetenz))

- ■ ■ 6.2) ... anhand verschiedener Beispiele die Regenerierbarkeit natürlicher Ressourcen diskutieren und dabei das Prinzip der ökologischen Nachhaltigkeit und das Vorsorgeprinzips erläutern.
- ■ ■ 6.2) ... das Prinzip komplexer Systeme sowie ökologischer Kippunkte erklären und in diesem Zusammenhang das Konzept planetarer Grenzen und endlicher Ressourcen diskutieren.
- ■ ■ 6.2) ... die Messbarkeit von natürlichen Ressourcen und Ökosystemen sowie ihrer Kippunkte kritisch erörtern und einen angemessenen Umgang damit diskutieren.

## ABLAUF AUSFÜHRLICH

**Allgemeine Vorbemerkung:** der vorliegende Ablauf ist vor allem ein inhaltlicher roter Faden. Die methodische Ausgestaltung, inhaltlichen Schwerpunkte und Zeitangaben können bzw. sollten je nach Teilnehmenden, Moderation und Zeitrahmen variieren. Prinzipiell entspricht dies einer zeitlich ambitionierten, d.h. eher dichten Variante. In der Regel können bei längerem Zeitrahmen einzelne Abschnitte problemlos ausgedehnt werden.

| Zeit | Ablauf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Format                                                                      | Materialien                                                      |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 7    | <b>Einstieg: Experimente zu Kipp-Punkten</b><br><br>Die Moderation (Mod.) führt alleine oder mit Unterstützung von 1-2 Teilnehmenden (TN) folgende kleine Experimente durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasser wird langsam in einen Becher gefüllt bis er überläuft.</li> <li>• Ein leerer Becher wird langsam an den Tischrand geschoben, bis er hinunter fällt.</li> <li>• Auf einer kleinen Wippe mit zwei Bechern wird der leichtere so lange beschwert, bis die Wippe kippt und der andere umfällt.</li> </ul> Die TN beschreiben, was die Situationen gemeinsam haben.<br>→ <i>Anfangs ist es eine lineare Veränderung, dann kommen Kippunkte, Schäden sind irreversibel.</i><br><br>Zur Überleitung sollen die TN überlegen, ob es solche Kippunkte auch in der Natur bzw. für den ganzen Planeten gibt?      | Plenum<br>Experimente<br>Gespräch                                           | 2 Becher,<br>Wasser, Tasse,<br>Wippe (Brett + Unterlage)         |
| 10   | <b>Erarbeitung positive Rückkoppelungen</b><br><br>Die Mod. teilt die TN in Gruppen mit jeweils 2-5 Pers. ein und gibt jeder Gruppe jeweils einen Text von M1 ( <i>Permafrost, Eiskappen, Regenwald</i> ) sowie ein Plakat und ggf. Stifte.<br><br>Die TN lesen die Texte M1 zu den Kippunkten und skizzieren jeweiligen den Mechanismus auf ein Plakat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Gruppen<br>(2-5 Pers.)                                                      | M1 Texte<br>Kippunkte<br><br>Plakate<br>(DIN A3),<br>ggf. Stifte |
| 6    | <b>Vorstellung positive Rückkoppelungen</b><br><br>Die Gruppen präsentieren jeweils die positive Rückkoppelung von ihrem Text mit Hilfe der Skizze auf ihrem Plakat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Plenum                                                                      | Plakate                                                          |
| 2    | <b>Überleitung zu Planetaren Grenzen mit Karikatur</b><br><br>Die Mod. zeigt eine Karikatur (M4) mit zwei Planeten. Die TN diskutieren was auf dem Bild zu sehen ist und was die Aussage dahinter sein soll. Im Plenum diskutieren die TN kurz folgende Frage: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Erreichen die Menschheit tatsächlich durch ihre Verhaltensweise Grenzen, wo die Lebensbedingungen gefährdet sind?</i></li> </ul> Anschließend gibt die Mod. die Überleitung, dass Wissenschaftler*innen 9 kritische Grenzen ausgemacht haben.<br><br><b>Tipps:</b> Je nach Diskussionsverlauf sollte auch die Pointe der Karikatur kritisch-philosophisch diskutiert werden: ob wir Menschen wirklich nur „eine Krankheit“ für den Planeten sind, oder auch sinnvolle Beiträge in Ökosystemen und der Evolution leisten. | Plenum<br>Diskussion<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>Plenum<br>Input | Beamer<br>M4 Bild                                                |

|    |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |                                                                                                                 |
|----|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | <b>Sammeln planetare Grenzen</b>                     | Die TN sammeln gemeinsam Überlegungen, in welchen 9 Umwelt-Bereichen es planetare Grenzen gibt. Die Mod. schreibt die Vorschläge auf MKs auf.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Plenum                 | Stifte und Moderations-Karten (MK)                                                                              |
| 5  | <b>Einführung planetarer Grenzen</b>                 | <p>Die Mod. zeigt den TN ein kurzes Erklärvideo (<a href="#">Link</a>) zu den planetaren Grenzen.</p> <p>Anschließend legt die Mod. die Infoblätter (M2) mit jeweils einer planetaren Grenze und kurzer Beschreibung gut sichtbar für alle TN kreisförmig auf den Boden.</p> <p>Die im vorherigen Abschnitt beschrifteten MKs der TN mit den Überlegungen zu den planetaren Grenzen werden dort wenn möglich von den TN oder der Mod. zugeordnet.</p>                                                                                                                                 | Plenum<br>Input        | Beamer<br><br>M2 Infoblätter |
| 10 | <b>Schätzung zur Belastung</b>                       | <p>9 TN stellen sich jeweils zu einem Infoblatt mit einer Grenze (M2). Direkt darum herum liegt 1 Schnur für den Unsicherheitsbereich und mit etwas Abstand weiter außen im Kreis eine 2. Schnur als Hochrisikogrenze. Ggf. erläutert die Mod. die Bedeutung dieser zwei Schnüre / Schwellen etwas ausführlicher.</p> <p>Alle TN diskutieren und schätzen den Zustand der Grenze und positionieren die 9 Personen entsprechend weiter innen / außen.</p> <p>Wenn die Schätzungen abgeschlossen sind leitet die Mod. dazu über, dass sie jetzt mit Texten die Fakten kennenlernen.</p> | Plenum<br>Aufstellung  | 2 Schnüre                                                                                                       |
| 15 | <b>Erarbeitung Texte zu planetaren Grenzen</b>       | <p>Die Mod. teilt die TN in 9 Gruppen ein verteilt jeder Gruppe pro TN einen Text zu einer der planetaren Grenzen (M3).</p> <p>Die TN lesen zunächst einzeln den Text. Anschließend notieren die Gruppen folgende Aspekte auf MKs:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ursachen für die Grenzüberschreitung</i></li> <li>• <i>Aktueller Stand des Indikators</i></li> </ul>                                                                                                                                                                                               | Einzeln/<br>Gruppen    | M3 Texte<br>Moderations-karten                                                                                  |
| 15 | <b>Präsentation zum Stand der planetaren Grenzen</b> | <p>Die TN versammeln sich kreisförmig um die auf dem Boden ausgelegten Infoblätter zu den planetaren Grenzen (M2).</p> <p>Jede Gruppe präsentiert die planetaren Grenze, zu welcher sie im vorherigen Abschnitt den Text (M3) gelesen hat. Sie sollen dabei insbesondere auf die Ursachen und den aktuellen Zustand eingehen und ihre beschrifteten MK auf den Boden zu ihrem Bereich legen.</p>                                                                                                                                                                                      | Plenum<br>Präsentation | (M2, beschriftete Karten)                                                                                       |

## 10 Meinungen und Diskussion - Positionsbarometer

Die TN verteilen sich zu folgenden Fragen auf den Karten (M2) und werden teilweise dazu aufgefordert, ihre Begründungen zu nennen und dazu zu diskutieren:

Plenum

M2 Infoblätter

- *Bei welchem Bereich / Grenze habt ihr den größten Aha-Effekt?*
- *Welche hat euch überrascht oder war neu für euch?*
- *Welche Grenze macht euch am meisten Sorgen?*
- *Auf welche Grenze habt ihr am meisten Einfluss? Wie?*

## 5 Abschluss / Puffer

## 90 Summe der gesamten Zeit in Minuten

## VARIANTEN

### VARIANTE 1

Derzeit noch keine weitere Variante.

### VARIANTE 2

Derzeit noch keine weitere Variante.

## ANSCHLUSSMODULE

### 07 Allmende und andere Güterformen

Mit einem Fischerspiel erleben die TN das Phänomen der Übernutzung gemeinsamer Güter.

Danach wird die Unterscheidung von Privat-, Club-, Gemein- und Öffentlichen Gütern herausgearbeitet.

Anschließend ordnen die TN verschiedene Güter zu und diskutieren anhand von Beispielen inwiefern sich die Variablen (Rivalität, Ausschluss) und damit die Einordnung der Güterart verändern können, bzw. sozial beeinflusst werden können.

### 08 BIP und Gemeinwohl

Zum Einstieg werden verschiedene Aspekte eines guten Lebens abgefragt. Zudem wird in diesem Kontext die hohe politische Bedeutung von einem Wachstum des Bruttoinlandsprodukt eingeführt.

Mit einem Quartett erfahren die TN spielerisch die Schwachpunkte am Bruttoinlandsprodukt (BIP) und werten diese gemeinsam aus.

Anschließend sammeln die TN in Gruppen Aspekte zur Messung von Gemeinwohl und lernen reale Ansätze wie den Better-Life-Index kennen.

Alle Bildungsmaterialien zur Gemeinwohl-Ökonomie findest du unter: [germany.econgood.org/bildung](https://germany.econgood.org/bildung)  
Dort findest du eine ausführliche Sachanalyse. Das ist eine Einführung in die thematischen Hintergründe.

Wir freuen uns sehr über Ihre Fragen, Erfahrungen und Anregungen: [bildung@econgood.org](mailto:bildung@econgood.org)

## Hinweis zu den Nutzungsrechten und den Creative Commons (CC):

### Nutzungsrechte:

Dieses Produkt steht unter einer „Creative Commons BY-SA 4.0. International Lizenz“:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> Das heißt, Sie dürfen das Material unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten, remixen, verändern und darauf aufbauen: Namensnennung der\*des Urheber\*in, Angabe von Änderungen, Weitergabe unter gleichen Lizenz-Bedingungen.



**Version:** V01 | Stand: 02/2026 | Online unter: [germany.econgood.org/bildung](https://germany.econgood.org/bildung)  
**Herausgebende:** AK Bildung der Gemeinwohl-Ökonomie  
**Rechtlicher Träger:** Gemeinwohl-Ökonomie Deutschland e.V. (gemeinnützig)  
**Infos:** [germany.econgood.org](https://germany.econgood.org) | **Kontakt:** [bildung@econgood.org](mailto:bildung@econgood.org)



**Unterstützung:** Wir freuen uns, wenn Sie unsere Arbeit mit einer Spende unterstützen!  
Spendenkonto: Gemeinwohl-Ökonomie Deutschland e.V. (gemeinnützig) | Verwendungszweck: AK Bildung  
IBAN: DE 7243 0609 6713 1853 7400 | BIC: GENODEM1GLS | Bank: GLS Gemeinschaftsbank e.G.

# Kipppunkte im Erdsystem

## 1) Eisflächen

Dass viele Gletscher und die Eisdecken an den Polen durch den Klimawandel zunehmend abschmelzen, ist den meisten bekannt. Denn Eis schmilzt nun mal bei steigenden Temperaturen.

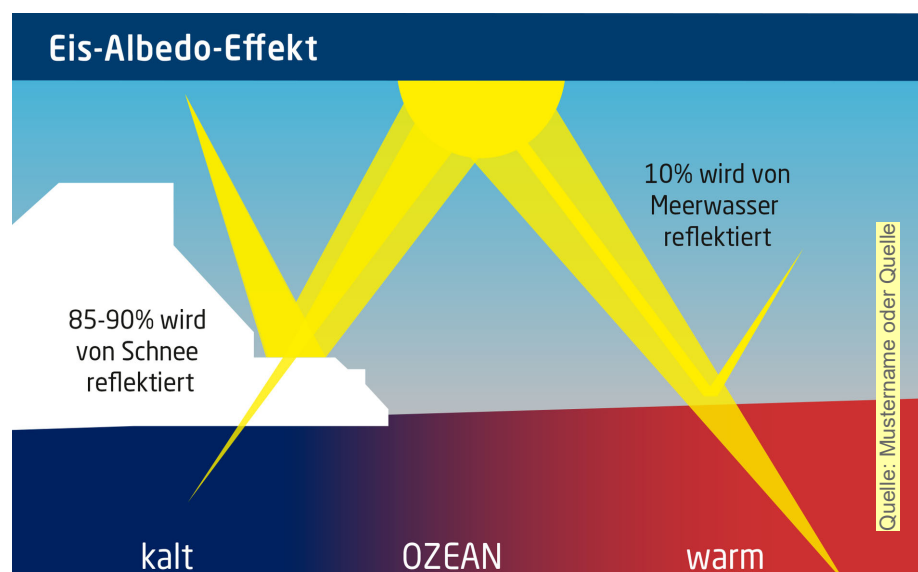
Dagegen ist den meisten weniger bewusst, dass die Wirkung auch andersherum gilt: je weniger Eisbedeckung es an der Erdoberfläche gibt, desto schneller steigt die Temperatur. Das hat mit der weißen Farbe von Eis zu tun. Denn weiße (Eis-) Flächen spiegeln einen großen Teil der Sonnenstrahlen direkt zurück ins Weltall, ohne dass durch die Sonne Wärme entsteht.

Wenn die Sonnenstrahlen anstatt auf die Eisoberfläche auf dunkle Felsen oder auf das dunklere Meerwasser treffen, wird nur noch ein kleinerer Teil der Sonnenstrahlen zurückgespiegelt. Ein größerer Teil der Sonnenstrahlung wird dagegen von diesen dunkleren Materialien absorbiert (aufgenommen) und in Wärme umgewandelt. Diesen Effekt kennen wir alle, wenn wir auf von der Sonne gewärmte Straßen oder andere dunkle Flächen berühren.

So bleibt wiederum mehr Wärme im Erdsystem und es beginnt ein Teufelskreis aus steigender Temperatur und schmelzendem Eis. Bis zu einem gewissen Punkt kann das durch andere Mechanismen ausgeglichen werden. Bisher waren die Jahreszeiten diese ausgleichenden Mechanismen. Jeden Winter wurden die sommerlichen Schmelzprozesse wieder von Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt ausgeglichen.

Aber derzeit steigen die Temperaturen weltweit und besonders stark an den Polkappen. Ab einem gewissen Punkt können diese positiven Rückkoppelungen (gegenseitige Verstärkung) zwischen steigender Temperatur und abnehmenden Eisflächen dann nicht mehr ausgeglichen werden.

Wissenschaftler\*innen gehen davon aus, dass zum Beispiel ab einer gestiegenen Temperatur (seit 1850) von 3-4 Grad, alle Gletscher von Grönland langsam schmelzen werden. Mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit werden solche Prozesse aber auch schon bei 1-2 Grad Erwärmung angestoßen, das kann man mit Sicherheit erst im Nachhinein sagen. Und derzeit haben wir schon eine Erwärmung von ca. 1,5 Grad Celsius erreicht, in Bereiche der Arktis sind es bereits weit über 2°C.



# Kipppunkte im Erdsystem

## 2) Permafrost

Hast du schon einmal versucht, im kalten Winter deinen Garten umzugraben? Dann wirst du wissen, dass die Erde bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sehr hart ist.

Bei uns in den mittleren Breiten und gemäßigten Klimazonen tauen die Böden im Frühling wieder auf. Anders ist das in den arktischen und subarktischen Zonen. In Sibirien und Alaska zum Beispiel gibt es in der Tiefe von 50cm Eisschichten im Boden, welche selbst im Sommer nicht auftauen. Dafür ist der Sommer dort im Norden zu kurz. Diesen permanenten (dauerhaften) Frost im Boden nennt man: Permafrost.

Wenn die Temperaturen steigen, schmilzt auch dieser Permafrost zunehmend. Das Interessante und Gefährliche daran ist: die Wirkung gilt auch andersherum. Je mehr von den Permafrostböden schmelzen, desto stärker erwärmt sich das Klima.

Für diese gegenseitige Verstärkung, auch positive Rückkoppelungen genannt, gibt es einen einfachen Grund. In den Permafrostböden sind aus früheren Zeiten viele natürliche Materialien gebunden, sowie auch Gase, welche durch die Zersetzung von Pflanzen und Tieren entstanden sind. Solange die Böden gefroren sind, sind die darin enthaltenen Gase und Materialien fest darin gebunden.

Doch sobald die Böden auftauen, entweichen diese Gase. Größtenteils handelt es sich um Methangas, welches als starkes Treibhausgas wirkt. Das heißt, es trägt wiederum zum Klimawandel bei. Solange sich die Temperaturen in den Permafrostböden von z.B. -10 auf -5 Grad Celsius erwärmt haben, war das kein Problem. Doch je näher die Permafrostböden in den Auftaubereich bei 0 Grad Celsius oder mehr kommen, desto gefährlicher wird es.

Ab einem gewissen Punkt ist ein Prozess in Gang gesetzt, der sich dann nicht mehr aufhalten lässt: da die Temperatur steigt, schmelzen die Permafrostböden tiefer, damit entweichen die Methangase, die den Treibhauseffekt und damit die Erderwärmung verstärken weshalb mehr Permafrost taut und so weiter.



# Kipppunkte im Erdsystem

## 3) Regenwald

Wer war eigentlich zuerst da? Die Henne oder das Ei? Über diese Frage haben schon viele Menschen nachgedacht. Mit Sicherheit kann man sagen: sind alle Eier weg, werden bald auch alle Hennen weg sein. Andersherum gilt dasselbe: ohne Hennen, keine Eier. Es ist ein Beispiel für einen ökologischen Kreislauf, der sich über Jahrmillionen etabliert hat und für immer verschwindet, wenn man ihn einmal unterbricht.

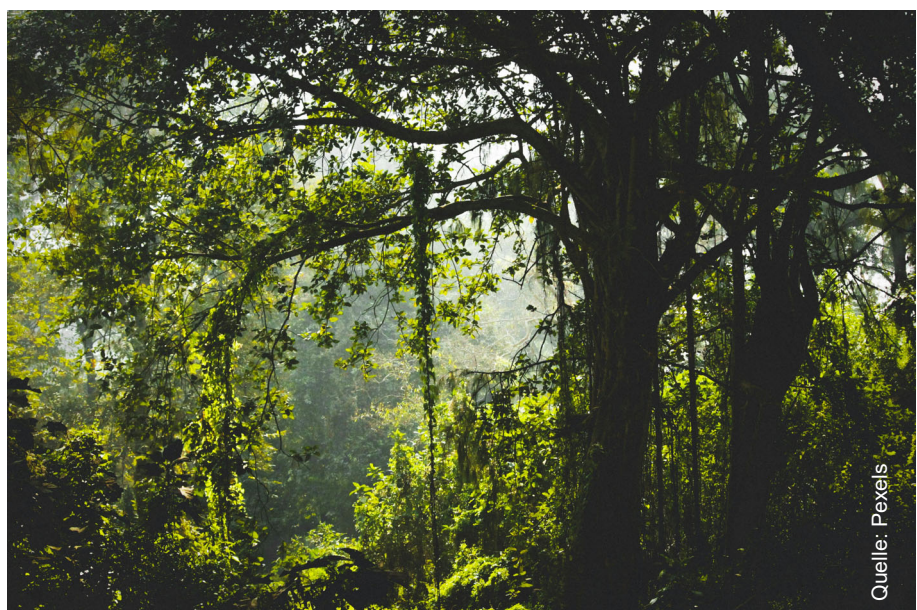
Als ein ähnliches Beispiel kann man den Regenwald betrachten. Zunächst einmal denken die meisten Menschen: es braucht den Regen, damit der Wald wachsen kann. Andersherum sollte man nicht unterschätzen, welche Rolle der Wald für die Entstehung des Regens spielt.

Denn Regen entsteht durch Verdunstung von Wasser, welches mit (von der Sonne gewärmten) Luft in Berührung kommt und dadurch als unsichtbarer Wasserdampf in die Luft übergeht. Kühlt diese feuchte Luft dann in großer Höhe (zum Beispiel Abends) wieder ab, kondensiert das Wasser. Das heißt, es bilden sich kleine Tröpfchen, die immer größer werden und irgendwann als Regen herunterfallen.

Und jetzt kommt der Wald ins Spiel. Die Bäume speichern Unmengen an Wasser in ihren (Ästen?) Gefäßen, vor allem in den Blättern und geben dieses über ihre Blätter an die Luft ab. Der Kreislauf schließt sich.

Holt man einen einzelnen Baum ab, ändert sich daran nichts. Holt man aber riesige Flächen ab, verdunstet dort plötzlich weniger Wasser. Folgerichtig gibt es dort (oder je nach Windrichtung in der Umgebung) auch weniger Regen. Ab einem gewissen Punkt ist der sensible Kreislauf aus Regen – Wald – Verdunstung – Regen unterbrochen. Dann entsteht dort eine trockene Savanne (Graslandschaft) oder im schlimmsten Fall sogar eine Wüste.

Dieser Prozess bzw. dieser Verlust ist dann erst einmal nicht mehr umkehrbar. Oder man müsste die Bäume wieder mit extrem hohem Aufwand neu pflanzen und jahrelang künstlich bewässern.



Quelle: Pexels

# Klimawandel

## Menge der Treibhausgase in der Atmosphäre



# Artenvielfalt/Biosphäre

Anzahl der jährlich aussterbenden Arten



# Ozonloch

Menge der Treibhausgase in der Atmosphäre



Quelle: Pixabay. Urheber: Gerd Altmann

# Versauerung der Ozeane

## Kalkgehalt des Meereswassers



# Düngemittel/Biochemische Kreisläufe

Menge der Düngemittel, die in den natürlichen Kreislauf gelangt



# Wälder / Landnutzungsänderungen

Anteile von intakten Wäldern an gesamten Erdoberfläche



# Nutzung von Süßwasser

Entnahme von Wasser aus Flüssen, Seen und Grundwasser



# Luftverschmutzung

Optische Durchlässigkeit der Luft durch Feinstaub



# Chemikalien in der Umwelt

Anzahl neuer Substanzen, die in die Umwelt gelangen



Doch wo liegen die Grenzen des Planeten? Wie viele menschliche Eingriffe verkraftet er? Und welche Faktoren haben einen so entscheidenden Einfluss auf unsere Erde, dass sie ihr ganzes System ins Wanken bringen können? Wissenschaftler\*innen haben 9 globale Prozesse erkannt, welche die Belastungsgrenzen des Planeten ausmachen. Werden diese Grenzen überschritten, sind die uns angenehmen Lebensbedingungen auf dem Planeten nicht mehr gesichert. Aktueller Stand im Jahr 2024 lautet: Der Mensch greift in die eng vernetzten Prozesse ein und sechs der neun Grenzen sind bereits überschritten. Drei davon befinden sich bereits im sogenannten Hochrisikobereich!



# 1. Klimawandel



## AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Je mehr Treibhausgase (CO<sub>2</sub> oder Methangas) in der Luft sind, desto größer ist der „Treibhauseffekt“. Damit wärmt sich die Temperatur in der Atmosphäre auf. Eine steigende Lufttemperatur beeinflusst wiederum das ganze Klimasystem. Das heißt auch die Winde, Meeresströmungen und Niederschläge.



Quelle: Pixabay. Urheber: Enrique

Treibhausgase wie entstehen vor allem durch die Verbrennung von Kohle (Stromproduktion), Erdöl (Verkehr) und Erdgas (Wärme, Strom). Das Treibhausgas Methan entsteht vor allem durch Viehhaltung. Die Konzentration dieser Treibhausgase wird als Parts per Million (PPM) angegeben, das heißt Anteile von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen pro Million Luftpartikel. Denn hier reichen schon kleine Mengen für große Effekte:

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                       | Wert im Jahr 1750       | Grenze der Sicherheit      | Grenze zu Hochrisiko       | Stand 2024                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Treibhausgaskonzentration</b> (CO <sub>2</sub> ) in der Atmosphäre, gemessen in „Parts per Million“ (deutsch: Millionstel). | 280 ppm                 | 350 ppm                    | 450 ppm                    | 420 ppm                    |
| Zusätzlicher <b>Strahlungsantrieb</b> an der oberen Atmosphäre (im Vergleich zu vorindustriellem Niveau)                       | 0 Watt / m <sup>2</sup> | +1,0 Watt / m <sup>2</sup> | +1,5 Watt / m <sup>2</sup> | 2,91 Watt / m <sup>2</sup> |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Seit der Industrialisierung hat die Menschheit enorme Mengen Treibhausgase ausgestoßen. Vor der Industrialisierung, d.h. im Jahr 1750 lag die Konzentration bei circa 280ppm. Inzwischen ist sie auf 420ppm gestiegen. In der Folge ist die Durchschnittstemperatur um über 1,2° Celsius gestiegen. Die Zahl der extremen Wetterschwankungen (Dürren, Taifune, Überschwemmungen) ist deutlich gestiegen, genauso der Meeresspiegel. Im Klimavertrag von Paris (2015) wurde das 1,5°-Ziel formuliert, mit welchem die schlimmsten Folgen verhindert werden sollen. Das entspräche ca. einer Treibhausgas-Konzentration von 350-450ppm. Wenn die Menschheit so weitermacht werden es eher 3°-6° globale Erwärmung.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** der Meeresspiegel steigt im schlechteren Fall um mehrere Meter, weil sehr viel mehr Eis in Grönland und in der Antarktis (Südpol) schmelzen. Auch die Erwärmung des Wassers führt dazu, dass es sich ausdehnt und der Wasserspiegel steigt. In diesem Fall müssen viele Küstenbewohner fliehen. Wetterextreme wie Stürme, Dürreperioden oder intensive Niederschläge nehmen zu. Die Zahl der Ernteauffälle und hungernden Menschen nimmt drastisch zu.

Das Abschmelzen von Gletschern gefährdet zudem die Trinkwasserversorgung vieler Millionen Menschen. Denn in trockenen Regionen werden die Flüsse im Sommer aus den langsam schmelzenden Gletschern gespeist. Werden diese im Winter nicht mit Schnee und Eis aufgefüllt, bleibt es im Sommer trocken. Zudem verschieben sich durch die Klimaveränderungen die Lebensräume von Tieren und Pflanzen. Viele Tier- und Pflanzenarten sterben dadurch vermutlich für immer aus, weil sie sich nicht so schnell anpassen können.

## 2. Biosphäre / Artenvielfalt



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Das Leben auf der Erde besteht aus mindestens zwei Millionen verschiedenen Pflanzen und Tierarten. Dadurch entstehen Ökosysteme mit einem natürlichen Gleichgewicht. Beispielsweise hängen Fleischfresser von den Pflanzenfressern ab und diese wiederum von den Pflanzen und diese wiederum von anderen Pflanzen und Gewässern. Je vielfältiger ein System ist, desto stabiler ist es bei Belastungen, wie zum Beispiel Krankheiten. Wenn eine Art einmal ausstirbt ist sie für immer verschwunden. Wenn andere Arten von der ausgestorbenen Art abhängen, hat das Kettenwirkungen.



Quelle: Pixabay. Urheber: Jeyaratnam Caniceus

Für die Artenvielfalt sind die verfügbaren Lebensräume wie z.B. Wälder, Wiesen oder Küsten entscheidend. Werden diese mehr von Menschen genutzt, wird es schwieriger für das ökologische Gleichgewicht.

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                                 | Wert im Jahr 1750             | Grenze der Sicherheit      | Grenze zu Hochrisiko       | Stand 2023           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>Genetische Vielfalt / Unversehrtheit:</b><br>Aussterberate, das heißt jährlich aussterbende Tier- und Pflanzenarten pro 1 Mio. Arten. | 1<br>pro Million<br>(0,0001%) | 10<br>pro Mio.<br>(0,001%) | 100<br>pro Mio.<br>(0,01%) | 100-1000<br>pro Mio. |
| <b>Funktionale Unversehrtheit von Lebensräumen:</b><br>Anteil der von der Natur produzierten Biomasse, die von Menschen verbraucht wird. | 1,90 %                        | 10,00 %                    | 20,00 %                    | 30,00 %              |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Und von den bislang untersuchten Arten sind rund 23.000 bedroht. Wenn ihrer Lebensräume durch Abholzung, Klimaerwärmung oder Siedlungen weiter so gefährdet werden, würden sie früher oder später wahrscheinlich aussterben. Pro Jahr sterben derzeit bereits 100-1000 Arten aus. Damit ist die natürliche Grenze von 10 aussterbenden Arten pro Mio. pro Jahr weit überschritten.

Dies hängt damit zusammen, dass die Menschen immer mehr Flächen für Weideland, Ackerbau oder Holzverbrauch beanspruchen. So beansprucht die Menschheit jährlich circa 30% der Biomasse (Pflanzen, Holz, etc.).

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Durch aussterbende Arten geraten Umweltsysteme aus dem Gleichgewicht und können wichtige Funktionen nicht mehr bieten. Ein Beispiel ist das Aussterben von Insekten. Dadurch werden weniger Blüten bestäubt, sodass die Pflanzen keine Früchte mehr tragen. Sterben auf der anderen Seite bestimmte Vogelarten aus, werden bestimmte Insekten nicht mehr gefressen. Wenn es Pflanzenschädlinge sind, wird das zum Problem für die Pflanzen. Wenn ansteckende Krankheiten auftreten, gibt es meistens Arten, welche eine bessere Immunität gegen diese Krankheiten aufweisen. Gibt es aber z.B. von Obstsorten nur noch eine Art, dann sterben quasi alle Bäume, sobald eine Baumkrankheit auftritt. So werden Ökosysteme mit sinkender Artenvielfalt anfälliger gegenüber Krankheiten und Katastrophen.

# 3. Ozonschicht in der Atmosphäre



## AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Ozon ist ein Gas in der oberen Atmosphäre in rund 30 km Höhe, das wie ein Filter wirkt. Konkret hält es den gesundheitsschädlichen Teil der Sonnenstrahlung zurück, nämlich das sogenannte UV-Licht.

Durch bestimmte Chemikalien, vor allem durch von der chemischen Industrie erfundenen Fluorkohlenwasserstoffe (=FCKW), wird das Ozon in der Atmosphäre reduziert. Dann dringt das schädliche UV-Licht bis zur Erdoberfläche durch und verursacht gesundheitliche Schäden auf der Haut von Mensch und Tier.



| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                                               | Wert im Jahr 1750                                                      | Grenze der Sicherheit           | Grenze zu Hochrisiko             | Stand 2023                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Stratosphärischer Ozonabbau:</b><br>Konzentration des Gases „Ozon“ in der Atmosphäre in 15-50 km Höhe (Stratosphäre). Gemessen in Dobson Unit (DU). | 290 DU<br>(entspricht 0,01mm Schicht reines Ozon an der Erdoberfläche) | ~ 276 DU<br>(wenn 5% Reduktion) | ~ 261 DU<br>(wenn 10% Reduktion) | 284,6 DU<br>(punktuell in Antarktis bei 200 DU) |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** In den 1980er Jahren hat die Ozonschicht rasant abgenommen, da bis dahin die Fluorkohlenwasserstoffe breitflächig verwendet wurden. Diese wurden vor allen im Kühlschränken als Kühlmittel eingesetzt oder in Spraydosen. Nachdem sich das als großes Umweltproblem herausstellte, wurden diese ozonschädlichen Chemikalien im Jahr 1987 weltweit verboten.

Daraufhin erholt sich die Ozonloch tatsächlich langsam wieder. Bis 2050 sollten es vermutlich kein Problem mehr darstellen. Ausnahme: rund um den Südpol ist die Ozonschicht besonders dünn.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Sollten die Grenzwerte überschritten werden und die Ozonschicht wieder dünner werden, erreichen die gefährlichen, krebserregenden Teile der Sonnenstrahlen die Erdoberfläche und damit die Lebensformen. Die menschliche Haut und Gesundheit ist davon besonders schwer betroffen. UV-Strahlung kann in erster Linie zu Augenentzündungen und Sonnenbrand führen. Langfristig kann es mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zu Krebserkrankungen führen.

## 4. Ozean-Versauerung



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Ein Großteil des von uns ausgestoßenen Treibhausgases Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) landet nicht in der Atmosphäre (Luft), sondern wird von den Weltmeeren aufgenommen. Dadurch wird das Wasser saurer. Oder in chemischen Fachbegriffen ausgedrückt: dadurch sinkt der pH-Wert des Wassers.

Das hat vor allem Einfluss auf die unzähligen kalkhaltigen Schalentiere im Ozean (Schnecken, Muscheln, Korallen etc.). Denn die Säure im Wasser löst die Kalkschalen potentiell auf, je höher der Säuregehalt ist. Dann verlieren diese Schalentiere ihre Schutzhüllen, können sie nicht mehr nachbilden und können sich nicht mehr fortpflanzen.

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                                                                           | Wert im Jahr 1750 | Grenze der Sicherheit                        | Grenze zu Hochrisiko                       | Stand 2023   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|
| <b>Carbonat-Ionen (Aragonit) Konzentration</b> an der Ozeanoberfläche im globalen Durchschnitt.<br><br>Dies zeigt quasi den pH-Wert oder auch Säuregrad des Oberflächenwassers an. | 3,44<br>(100%)    | 2,75<br>(≥ 80% des vor-industriellen Wertes) | 2,4<br>(<70% des vor-industriellen Wertes) | 2,8<br>(84%) |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Die Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) sind seit Beginn der Industrialisierung im Jahr 1750 stetig gestiegen. Entsprechend ist auch der Anteil in den Weltmeeren stetig gestiegen. So nimmt die Versauerung der Weltmeere auch stetig zu und nähert sich langsam einer kritischen Grenze. In den letzten zwei Jahrhunderten wurde das Wasser bereits um rund 20% saurer. Dadurch sind schon ein Großteil der Korallenriffe akut bedroht und teilweise schon abgestorben. Bis zum Jahr 2100 wird das Wasser wohl um 100-150% saurer werden.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Viele Lebewesen im Ozean können aussterben, wenn das Wasser zu sauer wird. Das betrifft in erster Linie alle Schalentiere (Muscheln, Schnecken, Korallen, etc.). Aber auch Korallenriffe sind davon massiv beeinträchtigt. Konkret sterben einige Korallenriffe dadurch einfach ab. Dadurch sind ganze Nahrungsketten und Umweltsysteme gestört. Das entzieht wiederum weiteren Lebewesen die Lebensgrundlage, wie zum Beispiel Algen, Fischen und letzten Endes auch uns Menschen.



Quelle: Pixabay

## 5. Düngemittel/Biochemische Kreisläufe



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** In der Landwirtschaft werden seit der Industrialisierung viele künstliche Dünger eingesetzt (v.a. Phosphor und Stickstoff). Auch durch die Massentierhaltung entstehen große Mengen an überflüssigen Gülle- und Mistmengen mit viel Nitrat. Wenn diese Stoffe im Übermaß im Boden sind, gelangen sie auch in Gewässer.



Bei Phosphor ist zum einen der Verlust das Schlimme, denn es handelt sich um eine sehr knappe Ressource. Zudem führt viel Phosphat in Gewässern zu einem übernatürlichem Pflanzenwachstum (z.B. Algen). Das führt zu einem schnellen Verbrauch des Sauerstoffs im Wasser, wodurch andere Lebewesen an Sauerstoffmangel sterben (z.B. Fische). Ähnlich ist es bei Stickstoff. Hierbei können außerdem beim Abbau sogenannte Nitrite entstehen, welche für einige Lebewesen sehr giftig und damit tödlich sind.

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                               | Wert im Jahr 1750 | Grenze der Sicherheit | Grenze zu Hochrisiko | Stand 2023 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|------------|
| Globaler <b>Phosphorfluss</b> von Frischwassersystemen in den Ozean (Pro Jahr) - (Tg = Terragramm = 1 Mrd. Kilo = 1 Mio. Tonnen)       | 0 Tg              | 11 Tg                 | 100 Tg               | ~ 22,6 Tg  |
| Regionaler <b>Phosphorfluss</b> von Dünger in „erosive“ Böden (Ackerland) - (im globalen Durchschnitt, heruntergerechnet für Regionen) | 0 Tg              | 6,2 Tg                | 11,2 Tg              | ~ 17,5 Tg  |
| Global: industrielle (aus der Luft) und absichtliche biologische (v.a. Tierhaltung) Bindung von <b>Stickstoff</b>                      | 0 Tg              | 62 Tg                 | 82 Tg                | ~190 Tg    |

**Aktueller Zustand:** Der Verbrauch der Kunststoffdünger hat in den letzten Jahrzehnten zugenommen. So gelangen die Stoffe zunehmend in Gewässer. Der Phosphorverlust liegt aktuell bei dem doppelten der planetaren Grenze. Die Stickstoff-Entnahme aus der Atmosphäre liegt ebenfalls mehr als 2 mal so hoch, wie die planetare Grenze.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Zu viel Stickstoff in den Böden und in den Gewässern, bringt natürlichen Kreisläufe durcheinander. Zunächst einmal wird das Grundwasser dadurch gefährdet. Außerdem können Gewässer für manche Lebewesen unbewohnbar werden. Nährstoffarme Pflanzen werden verdrängt und sterben aus, langfristig nimmt die natürliche Bodenfruchtbarkeit ab.

## 6. Veränderung Landnutzung / Waldflächen



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Wälder sind unverzichtbar für das Leben auf der Erde. Sie bieten Lebensraum für unzählige Arten von Pflanzen und Tieren. Zudem reinigen Sie die Luft und speichern viel CO<sub>2</sub> in ihrem Holz. Durch die Wasserverdunstung über die Blätter sind sie ein wichtiges Teil des Kreislaufes aus Niederschlag und Verdunstung und gleichen Schwankungen von (hohen) Temperaturen mit aus. Vor allem höhere Temperaturen werden durch die kühlende Wirkung ausgeglichen. Zu guter Letzt sind Wälder natürlich eine wichtige Holzressource.



| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht. | Wert im Jahr 1750 | Grenze der Sicherheit | Grenze zu Hochrisiko | Stand 2023    |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|---------------|
| <b>Waldfläche</b> in % der ursprünglichen Fläche                         | 100 %             | 75 %                  | 54 %                 | 60 %          |
| gewichteter Durchschnitt zwischen verschiedenen Wald-Ökosystemen         |                   |                       |                      |               |
| - Tropischer Regenwald (Amerika, Afrika, Asien)                          | 100%              | 85%                   | 60%                  | 84%, 54%, 38% |
| - gemäßigter Mischwald (Amerika, Europa, Asien)                          |                   | 50%                   | 30%                  | 51%, 34%, 38% |
| - Borealer Nadelwald (Amerika, Eurasien)                                 |                   | 85%                   | 60%                  | 57%, 70%      |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Für den steigenden Verbrauch an Fleisch (z.B. Getreide- und Sojaanbau als Tierfutter), aber auch für palmöhlhaltige Lebensmittel (Schokolade, Fette, etc.) wurden in den letzten Jahrzehnten große Waldflächen gerodet. Genauso für die Ausweitung von Siedlungsflächen.

Derzeit bestehen nur noch 60% der ursprünglichen Wälder. Damit ist die Grenze von 75% bereits überschritten, bzw. unterschritten. Und in einigen Gebieten ist der Waldschwund immer noch dramatisch.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Viele Tier- und Pflanzenarten werden aussterben, wenn die Wälder als Lebensräume verloren gehen. Dies bedroht wiederum die Artenvielfalt und Stabilität von Ökosystemen. Außerdem wird die Luftqualität schlechter und ungesünder. Wenn die gerodeten Wälder durch Verbrennung entstehen, verstärkt sich zudem der Klimawandel, weil das CO<sub>2</sub> nicht mehr im Holz gebunden ist, sondern in die Atmosphäre entweicht. Zudem werden sich regionale Niederschläge und Temperaturen drastisch verändern. Wenn der Kreislauf aus Regenwald und Regen einmal unterbrochen ist, wird sich dort vermutlich langfristig Savanne oder Wüste ausbreiten.

## 7. Veränderung in Süßwasser-Systeme



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Ohne Süßwasser könnten die wenigsten Arten überleben. Süßwasser befindet sich in einem Kreislauf aus Verdunstung, Niederschlag und Gewässern. Dieser Kreislauf von Süßwasser braucht seine Zeit.



Quelle: Pixabay. Urheber: Penny

Je nachdem, wo sich Wasser in diesem Kreislauf befindet, wird in blaues und grünes Wasser unterschieden. Blaues Wasser ist alles Frischwasser, wie wir es aus Flüssen, Seen oder auch dem Grundwasser kennen. Grünes Wasser ist das im Boden gespeicherte Wasser, welches Pflanzen mit ihren Wurzeln aufsaugen.

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                                                                                                                                                                                           | Wert im Jahr 1750          | Grenze der Sicherheit | Grenze zu Hochrisiko                        | Stand 2023          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| <b>Blaues Wasser</b> – Veränderungen<br>Gemessen in Landoberflächen, bei denen die Menge der Wasserströme stärker abweicht, als die üblichen Schwankungen in der vorindustriellen Zeit im Jahr 1750.                                                                               | 9,4%<br>übliche Abweichung | 10,2%<br>Abweichung   | 50%<br>Abweichung<br>(vorläufig definiert!) | 18,2%<br>Abweichung |
| <b>Grünes Wasser (=Bodenfeuchtigkeit)</b><br>von Menschen verursachte Störungen des für Pflanzen verfügbaren Wassers. Gemessen in % der Landflächen, bei denen die Bodenfeuchtigkeit sich stärker verändert, als es den üblichen Schwankung vor der industriellen Zeit entspricht. | 9,8%<br>übliche Abweichung | 11,%<br>Abweichung    | 50%<br>Abweichung<br>(vorläufig definiert!) | 15,8%<br>Abweichung |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Durch einen steigenden privaten Wasserverbrauch, durch eine intensivierte Landwirtschaft und durch einen hohen Wasserverbrauch in der industriellen Produktion ist in den meisten Regionen der Erde der Süßwasserverbrauch in den letzten zweihundert Jahren stark gestiegen und nimmt immer noch zu. Die Veränderungen sind natürlich regional sehr unterschiedlich. Die Bodenfeuchtigkeit hängt zum einen stark mit dem Klima zusammen. Aber auch mit der Art und Weise, wie das Ackerland und die Wälder in der größeren Umgebung bewirtschaftet werden.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Zunächst führt die Überschreitung der Grenze zu Wassermangel in den entsprechenden Regionen. Wird die Grenze von grünem Wasser überschritten, können Pflanzen auf Grund der geringen Bodenfeuchtigkeit schlechter oder überhaupt nicht mehr wachsen. Dies kann fatale Kettenwirkungen nach sich ziehen. Denn ohne Wasser kein Leben. So können ganze Landstriche unfruchtbar werden.

## 8. Aerosolbelastung/Luftverschmutzung



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Die Verschmutzung der Atmosphäre mit sogenannten Aerosolen (kleine Teilchen in der Luft) wird vor allem durch die Feuer ohne Filter (Motoren, Industrie, private Feuer) oder durch Wind über unbewachsenen, staubigen Bodenflächen verursacht. Auch natürliche Aktivitäten wie Vulkanausbrüche können dazu führen. Dieser Feinstaub führt zu zahlreichen gesundheitlichen Schäden und vorzeitigen Todesfällen. Außerdem führt die verringerte Sonneneinstrahlung zu klimatischen Verschiebungen, wie zum Beispiel, dass der Monsun in Südasien mit seinen wichtigen Niederschlägen geringer ausfällt.



| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                              | Wert im Jahr 1750 | Grenze der Sicherheit | Grenze zu Hochrisiko | Stand 2023 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|------------|
| Global <b>Aerosol Optische Dicke</b> (AOD), d.h. die Lichtdurchlässigkeit der Atmosphäre, unabhängig vom Sonnenstand. | 0,03              | 0,1                   | 0,25                 | 0,076      |
| Regionale Fallstudie Südasien (da die Daten teilweise noch nicht global vollständig vorliegen)                        |                   |                       |                      | 0,30       |

**Hintergrund:** Die Verschmutzung der Atmosphäre mit sogenannten Aerosolen (kleine Teilchen in der Luft) wird vor allem durch die Feuer ohne Filter (Motoren, Industrie, private Feuer) oder durch Wind über unbewachsenen, staubigen Bodenflächen verursacht. Auch Vulkanausbrüche können dazu führen. Dieser Feinstaub führt zu gesundheitlichen Schäden und vorzeitigen Todesfällen. Außerdem führt die verringerte Sonneneinstrahlung zu klimatischen Verschiebungen, wie zum Beispiel, dass der Monsun in Südasien mit seinen wichtigen Niederschlägen geringer ausfällt. (Exakte Wiederholung des letzten Satzes des vorhergehenden Kapitels?! Absicht??)

**Entwicklung und aktueller Zustand:** Durch den motorisierten Verkehr und die industrielle Produktion hat der Anteil von Feinstaub in der Atmosphäre deutlich zugenommen. Dank Luftfiltern werden in vielen Ländern die Feinstaubemissionen immerhin besser kontrolliert und minimiert. Es gibt starke regionale Unterschiede. Das heißt, es gibt Regionen mit starker Luftverschmutzung und Regionen mit sehr geringer Luftverschmutzung.

**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** die erhöhten Feinstaubwerte verursachen gesundheitliche Schäden in den Atemwegen (Lunge) und können langfristig Krankheiten wie Krebs oder auch Herzinfarkte begünstigen. Zudem führt Staub in der Luft dazu, dass weniger Sonnenlicht bis zur Erdoberfläche gelangt. Damit ist es ein Eingriff ins Klimasystem, das heißt, dass sich Temperatur und vor allem Niederschläge verändern können. Da die Umwelt in der Regel an das jeweilige Klimasystem angepasst ist, führen solche schnellen Veränderungen teilweise zur Gefährdung von Ökosystemen durch Vertrocknung, Überhitzung oder Überschwemmung. Konkret könnte ab einem bestimmten Level der Luftverschmutzung z.B. der indische Monsunregen beeinflusst werden.

## 9. Neue Stoffe / chemische Verschmutzung



### AUFGABE

Text lesen und Karten beschriften:

- Ursachen für (mögliche) Grenzüberschreitung
- Aktueller Stand Indikator / Grenzüberschreitung

**Hintergrund:** Der Mensch hat durch chemische Prozesse bereits über 100.000 neue Substanzen entwickelt, die in dieser Verbindung in der Natur nicht / kaum vorkommen. Prinzipiell besteht hier immer die Gefahr, dass durch solche Substanzen Lebewesen und ganze Ökosysteme geschädigt werden.

| An diesen konkreten Messwerten (Indikatoren) wird das Thema festgemacht.                                        | Wert im Jahr 1750 | Grenze der Sicherheit | Grenze zu Hochrisiko           | Stand 2023                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Anteil der synthetischen/ künstlichen Chemikalien, welche ohne passende Sicherheitstest in die Umwelt gelangen. | 0                 | 0                     | Bisher nicht genauer definiert | Überschritten (einige 100.000) |

**Entwicklung und aktueller Zustand:** bisher war es für Wissenschaftler\*innen sehr schwierig einen eindeutigen Indikator und Messmethode definieren. Klar ist, dass schon viele schädliche Substanzen von Menschen erzeugt wurden. Zum Beispiel Asbest, Fluorkohlenwasserstoffe, Benzin, Pflanzenschutzmittel und viele andere mehr. Beispielsweise wurden 80% der in der EU registrierten Chemikalien für inzwischen über 10 Jahre benutzt, ohne dass angemessene Sicherheitstests dazu durchgeführt wurden. Weltweit beläuft sich das auf einige 100.000 chemische Substanzen.



**Gefahren bei Grenzüberschreitung:** Je mehr Substanzen in die Umwelt gelangen, desto höher das Risiko, dass Lebewesen dadurch in ihrer Gesundheit beeinträchtigt werden. Zum Beispiel wurde lange Zeit der Stoff Asbest in Gebäuden verbaut. Irgendwann hat man festgestellt, dass dieser hochgradig krebserregend ist, wenn er eingeatmet wird. Auch sogenannte Pestizide / Pflanzenschutzmittel sind darauf ausgelegt, schädliche Insekten zu töten. Dabei haben Sie auch schädliche Wirkungen auf andere Tiere, wie zum Beispiel Vögel. Aktuell wird auch immer deutlicher, dass Plastik in der Natur zu sogenanntem Mikroplastik zerkleinert wird und von allen Lebewesen einschließlich dem Menschen aufgenommen wird. Dies führt teilweise zu verringertem Wachstum und Schwierigkeiten bei der Fortpflanzung bis zur Unfruchtbarkeit.

**Karikatur:**



QR – Video: Keine Macht



**QR – Video: Code Planetare Grenzen**

