

# Korrelation & Kausalität – CO<sub>2</sub>-Budget

## – Lösungshinweis –

### Aufgabe 1: Zusammenhang Temperaturanstieg und CO<sub>2</sub>-Konzentration

Scannen Sie den folgenden QR-Code.



<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/figures/figure-2-1>

- Erklären Sie, welche Informationen den beiden Grafiken *Figure 2.1b*) und *Figure 2.1c*) entnommen werden können. Beschreiben Sie dazu jeweils den Verlauf der Graphen und gehen Sie auf etwaige Schwankungen oder Muster ein.
- Vergleichen Sie den Verlauf des Graphen in *Figure 2.1b*) mit den Verläufen der Graphen in *Figure 2.1c*). Gibt es einen sichtbaren Zusammenhang zwischen den Temperaturanomalien und der CO<sub>2</sub>-Konzentration? Wenn ja, beschreiben Sie diesen.
- Lässt sich die folgende Aussage aus den Daten ableiten? Beachten Sie hierbei den Unterschied der Konzepte *Kausalität* und *Korrelation*.  
„Der Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht einen wesentlichen Anteil der globalen Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts.“

*Hinweis 1: In dieser Aufgabe wird auf den Begriff „Zusammenhang“ statt „Korrelation“ zurückgegriffen und dieser rein graphisch thematisiert. Grundlage dafür ist kein Streudiagramm, sondern Graphen, in denen beide Variablen gegen die Zeit aufgetragen sind. Auf eine formale Berechnung des Korrelationskoeffizienten wird verzichtet.*

- In der Grafik 2.1c) sind die Temperaturanomalien und in Grafik 2.1b) die steigende Konzentration der anthropogenen Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Stickoxid in der Atmosphäre ab 1850 dargestellt. Die linke Grafik in Abbildung 1 zeigt die globale Durchschnittstemperatur von 1850 bis 2022. In den Jahren 1850 bis etwa 1930 ist die Temperatur weitgehend stabil bei einer Abweichung von ungefähr 0°C (+0,2°C) im Vergleich zur Vorindustrialisierung. Zwischen 1930 und 1960 steigt die Temperatur allmählich an. Dieser Anstieg nimmt ab 1970 deutlich bis zu einer Temperaturabweichung von 1,25°C in den Jahren 2015 bis 2022 zu. In der rechten Grafik sind die Konzentrationen der anthropogenen Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Stickoxid in der Atmosphäre in ppm (Parts per Million) von 1850 bis 2022 dargestellt. Bei allen drei Graphen steigen die Konzentrationen zwischen 1850 bis 1930 leicht an. Ab 1930 steigt die Konzentration von Kohlenstoffdioxid und Methan deutlich bis 1990. Ab 1990 flacht der Graph der Methankonzentration etwas ab, wobei diese weiterhin zunimmt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt weiterhin stark, nahezu exponentiell an. Die Konzentration von Stickoxid nimmt ab 2000 etwas stärker zu.
- Vergleicht man die Verläufe der Graphen in den beiden Grafiken, so zeigt sich, dass diese ähnlich verlaufen. In allen Graphen ist der Verlauf zwischen 1850 und 1920 minimal schwankend oder steigend. Ab 1920 erkennt man in den Verläufen einen steigenden Trend. Es lassen sich folglich Parallelen zwischen dem Verlauf der Temperaturanomalien und der anthropogenen Treibhausgaskonzentration feststellen, die einen statistischen Zusammenhang vermuten lassen. Trotz des ähnlichen Verlaufs der beiden Graphen lassen sich auch Unterschiede feststellen. So weist beispielsweise die Kurve der Temperaturanomalien um 1880 einen Ausschlag nach oben auf, der sich so nicht im Graph der CO<sub>2</sub>-Emissionen wiederfindet.

*Hinweis 2: Am Beispiel kann thematisiert werden, dass auch dann ein Zusammenhang bestehen kann, wenn die Graphen nicht „exakt gleich“ verlaufen. Aufgrund statistischer Variabilität können beispielsweise in einem Diagramm Schwankungen vorliegen, die im anderen Diagramm nicht auftauchen.*

- c) Um die in der Aussage erkennbare kausale Beziehung rechtfertigen zu können, müssten wir neben einer Korrelation zwei weitere Bedingungen überprüfen, nämlich zeitliche Reihenfolge und den begrenzten Einfluss von Drittvariablen. Die **erste Bedingung** drückt aus, dass die verursachende Variable zeitlich *vor* der beeinflussten Variable auftreten muss. Damit wird insbesondere auch eine umgekehrte Wirkrichtung zwischen den beiden Variablen ausgeschlossen. Diese naheliegende Eigenschaft verleiht dem Begriff der Kausalität eine zeitliche Dimension. Anhand der gegebenen Graphen lässt sich nicht klar ein zeitlicher Vorlauf identifizieren – ein erster Grund also, nicht von einer Korrelation auf eine Kausalität zu schließen. Die **zweite Bedingung** bedeutet (vereinfacht), dass es keine Drittvariable geben darf, sodass die Beziehung zwischen den beiden ursprünglichen Variablen verschwindet, wenn die Drittvariable kontrolliert wird. Die Beziehung darf sich also nicht nur durch die Drittvariable „erklären“ lassen. Auch hinsichtlich dieser Bedingung kann anhand der beiden Diagramme keine Entscheidung getroffen werden, da etwaige Drittvariablen wie natürliche Einflüsse (Änderung der Sonnenstrahlung oder Vulkanausbrüche) nicht beachtet bzw. dargestellt werden und somit keine Informationen darüber vorliegen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auf dieser Basis allein keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob oder in welchem Maße der Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre einen wesentlichen Anteil der globalen Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts verursacht.

*Hinweis 3: Die Aufgabe soll deutlich machen, dass sich rein aus den Daten keine Kausalität ableiten lässt – auch dann nicht, wenn man auf Basis von Vorwissen o.Ä. eine Kausalität vermutet! Die Daten für sich zeigen lediglich eine Korrelation.*

## **Aufgabe 2: Korrelation oder Kausalität? Ist der menschliche Beitrag zur globalen Erwärmung nicht sehr gering und daher unbedeutend?**

Das Klima verändert sich, seit es die Erde gibt. Klimaänderungen lassen sich auf ein komplexes Zusammenspiel von vier wesentlichen Ursachen zurückführen: die Änderungen der ankommenden Sonnenstrahlung, Änderungen der reflektierten Sonnenstrahlung, Änderungen der in den Weltraum abgegebenen Wärmestrahlung und die interne Variabilität des Klimasystems.

Scannen Sie den folgenden QR-Code. In *Figure SPM.1b*) sind zwei Modellierungen zu Temperaturanomalien dargestellt. Durchgehende farbige Linien zeigen den Mittelwert mehrerer Modelle, und farbige Schattierungen zeigen deren Konfidenzintervalle.



<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1>

- a) Beschreiben Sie den Verlauf des orangenen und des grünen Graphen, sowie der schattierten Bereiche. Vergleichen Sie diesen mit dem schwarzen Graphen und gehen Sie dabei insbesondere auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede ein.
- b) Erläutern Sie, wie diese Modellierungen die Aussage stützen:  
„Der Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht einen wesentlichen Anteil der globalen Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts.“

- a) In der Grafik sind die Temperaturanomalien der letzten 170 Jahre zum Bezugszeitraum 1850–1900 (schwarze Linie) sowie die modellierten Temperaturänderungen dargestellt. Das Ergebnis auf der Basis von menschlichen und natürlichen Faktoren ist in braun dargestellt, das Ergebnis auf ausschließlich natürlichen Faktoren wie Sonnen- und Vulkanaktivität in grün. Die durchgezogenen farbigen Linien stellen den Durchschnittswert der verschiedenen Modelle dar, die farbigen Schattierungen kennzeichnen die Konfidenzintervalle, also den Bereich, in dem die Werte laut Simulation sehr wahrscheinlich liegen werden. Aus der Grafik lässt sich entnehmen, dass die sehr wahrscheinliche Bandbreite auf Basis der beiden Modellierungsgrundannahmen mit und ohne menschlichen Einfluss modellierten Temperaturanomalien bis zum Jahr 1960 mit den gemessenen Temperaturanomalien im Wesentlichen zusammenfällt. Ab dem Jahr 1960 weichen die simulierten Temperaturanomalien ohne menschliche Faktoren von den realen Daten ab. Ab 1970/80 liegen die auf Messwerten beruhenden Daten außerhalb der Bandbreite der simulierten Temperaturanomalien ohne menschliche Faktoren. Dagegen steigen die simulierten Temperaturanomalien, die menschliche und natürliche Faktoren berücksichtigen, wie die gemessenen Werte an und können weiterhin gut mit der simulierten sehr wahrscheinlichen Bandbreite beschrieben werden. Die globale Temperaturänderung kann folglich nur durch die gemittelte Modellierung gut beschrieben werden, bei der die menschlichen Faktoren mit einbezogen werden.
- b) Unter der Annahme, dass ausschließlich ein statistischer und kein kausaler Zusammenhang zwischen der anthropogenen Treibhausgaskonzentration und der Temperaturänderung vorliegt, sollten die beiden Simulationen sowohl bei alleiniger Einbeziehung der natürlichen Faktoren als auch bei der zusätzlichen Einbeziehung der menschlichen Faktoren vergleichbare Ergebnisse liefern. Diese müssen insbesondere auch mit den realen Daten übereinstimmen. Die Modellierungen zeigen zunächst, dass die realen Daten – ab einem gewissen Zeitpunkt – deutlich besser zur zweiten Simulation „passen“ und auch außerhalb des Ungenauigkeitsbereichs der ersten Simulation liegen. Daher ist das Vorhandensein einer Drittvariablen, die auf Temperatur und Treibhausgase wirkt, sowie ein umgekehrter Wirkmechanismus, nahezu auszuschließen. Allerdings könnte noch immer eine intervenierende Drittvariable vorliegen. Unter anderem deshalb kann die gezeigte Modellierung die zu untersuchende Aussage lediglich stützen, aber nicht beweisen.

*Hinweis: Anhand der Aufgabe kann deutlich gemacht werden, dass die Aussage von der Simulation gestützt wird, obwohl der schwarze und der orangene Graph nicht exakt gleich sind. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, bietet sich beispielsweise eine Diskussion der schraffierten Bereiche an, welche die Konfidenzintervalle der simulierten Werte darstellen.*