

Klimabewusste Kakaoproduktion



Unterrichtsmaterial Sek II

Herausgeber

Pädagogische Hochschule Luzern

Autoren:

Evelin Vogler, Armin Rempfler, Brigitte Kürsteiner

Lektorat:

Jacqueline Rainoni

Pädagogische Hochschule Luzern

Institut für Fachdidaktik Natur, Mensch, Gesellschaft

Pfistergasse 20

6000 Luzern 7

Schweiz

Tel. +41 41 203 02 11

brigitte.kuersteiner@phlu.ch

<https://sas4sd.ethz.ch/education/educational-material.html>

CC by University of Teacher Education Lucerne, Dezember 2020

Klimabewusste Kakaoproduktion

Zur Entstehung der Unterrichtseinheit

Die vorliegende Unterrichtseinheit entstand im Rahmen des von Swissuniversities finanzierten Projekts SAS4SD («Science Action in Schools for Sustainable Development», siehe <https://sas4sd.ethz.ch>). Verschiedene Institutionen der Schweiz (PH Luzern, Universität und ETH Zürich, BFH-HAFL Zollikofen) entwickelten gemeinsam und in Partnerschaft mit Bildungsinstitutionen aus Ghana und Kamerun Lehrprogramme für naturwissenschaftlichen und geographischen Unterricht mit dem Ziel, das Wissen und Verständnis der Schülerinnen und Schüler für wissenschaftliche Fragestellungen, Daten und Anwendungen zu verbessern und gleichzeitig das Bewusstsein für die Ziele der nachhaltigen Entwicklung und die Wege zur Erreichung dieser Ziele zu schärfen. In enger Zusammenarbeit mit den Partnern aus dem Süden entstand u.a. die Unterrichtseinheit «Climate Smart Cocoa Production». Um diese Einheit auch schweizerischen Schulen insbesondere der Sekundarstufe II verfügbar zu machen, wurde sie in Deutsche übersetzt.

Zusammenfassung

Die Unterrichtseinheit zielt im Kern auf die Beantwortung der folgenden Leitfrage: Wie muss Kakao angebaut werden, damit der Anbau sowohl hohe Erträge bringt als auch klimafreundlich und nachhaltig ist? Kapitel 1 konfrontiert die Schülerinnen und Schüler mit dieser Leitfrage.

Um die Leitfrage beantworten zu können, bedarf es zunächst einiger Grundkenntnisse über Kakaopflanzen (Kapitel 2) und den Klimawandel (Kapitel 3).

- Inhalte Kapitel 2: Der Ursprung der Kakaopflanzen liegt in Mittel- und Südamerika. Um 1600 gelangte die Kakaobohne nach Europa und erst im 19. Jahrhundert nach Ghana. Von dort aus verbreitete sich die Pflanze in andere afrikanische Länder (z.B. Kamerun). Es gibt mehrere Arten von kultivierbaren Kakaobäumen. In Westafrika ist der *Forastero* am weitesten verbreitet. Grundbedingungen für das Wachstum von Kakao sind warme und feuchte Klimabedingungen. Es sind grundsätzlich zwei Anbausysteme zu unterscheiden: Monokultursysteme bestehen nur aus Kakaobäumen. In Agroforstsystemen hingegen werden Kakaobäume mit anderen Bäumen gemischt, wobei letztere u.a. als Schattenbäume dienen.
- Inhalte Kapitel 3: Um über klimabewussten Kakaoanbau zu sprechen, ist es zunächst wichtig, den Unterschied zwischen Wetter und Klima zu verstehen. Das Wetter bezieht sich auf den aktuellen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit. Im Gegensatz dazu bedeutet Klima das «Durchschnittswetter» einer Region, in der Regel über 30 Jahre gemessen. Betrachtet man die Jahresmitteltemperatur Kameruns über viele Jahre, so erkennt man in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Temperaturanstieg.

Quellen:

- Van Himmer, M., & Snoek, J. (2001). Beverage and stimulant crops. In R. H. Raemaekers (Ed.), Crop production in tropical Africa. Directorate General for International Co-operation (DGIC). Brussels, Belgium.
- Arntzen & Ritter (1994). Encyclopaedia of Agricultural Science, Vol. 1

Um Kakaoplantagen in Monokultur- und Agroforstsystemen vergleichen zu können, müssen bestimmte Parameter im Detail analysiert werden. In Kapitel 4 geschieht dies mit den Parametern Temperatur, Licht, Bodenfeuchtigkeit und Biomasse bzw. Kohlenstoffspeicherung.

Kapitel 4 bezieht sich im Wesentlichen auf folgende Inhalte:

- *Temperatur:* Grosse Unterschiede in der Lufttemperatur bestehen nicht nur zwischen sonnigen und schattigen Standorten, sondern auch auf Flächen mit oder ohne Vegetation. Übertragen auf den Kakaoanbau bedeutet dies, dass Agroforstsysteme in der Regel niedrigere Lufttemperaturen aufweisen als Monokultursysteme. Im Hinblick auf die globale Erwärmung bedeutet dies, dass Schattenbäume hilfreich sind, weil sie die Kakaobäume vor Temperaturextremen schützen können.
- *Licht:* Je nach Baumart fällt mehr oder weniger Sonnenlicht auf die Bodenoberfläche. Wie viel Licht auf den Boden fällt, hängt nicht nur von der Baumart, sondern auch von der Anzahl der Bäume ab. In Kakaopflanzungen zeigt sich folgendes Bild: Je grösser die Fläche der Baumkronen der Schattenbäume ist, desto weniger Licht dringt zu den kleineren Kakaobäumen durch. Zu viel Schatten reduziert jedoch das Wachstum der Kakaobäume. Es stellt sich somit die Frage, wie viele Schattenbäume optimal sind.
- *Bodenfeuchtigkeit:* Bäume haben einen Einfluss auf die Bodenfeuchtigkeit. Einerseits beeinflusst die Tiefe und Reichweite der Wurzeln die Bodenfeuchte, andererseits benötigen nicht alle Bäume die gleiche Menge an Wasser. In Kakaopflanzungen haben nicht alle Schattenbäume den gleichen Einfluss auf die Bodenfeuchtigkeit unter ihrem Kronendach. Je nach Schattenbaumart kann der Einfluss positiv oder negativ für die Kakaobäume sein.
- *Biomasse bzw. Kohlenstoffspeicherung:* Die Biomasse eines Baumes kann anhand seiner Höhe und seines Umfangs auf Brusthöhe abgeschätzt werden. Mit Hilfe der Biomasse kann auch die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs berechnet werden. In Agroforstsystemen wird etwa viermal mehr Kohlenstoff gespeichert als in Monokultursystemen.

Quellen:

- <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>

- Blaser et. al. (2018). Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nature Sustainability*, vol. 1, 234–239

Das in den Kapiteln 2-4 erarbeitete Grundlagenwissen wird benötigt, um schliesslich die Leitfrage in Kapitel 5 differenziert beantworten zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass komplexe Probleme wie die Frage nach einer klimabewussten Kakaoanbau vielschichtig sind. Es ist deshalb unumgänglich, die wesentlichen Faktoren, welche das Problem beeinflussen, zu berücksichtigen. Welche Faktoren als wichtig erachtet werden, ist eine normative Setzung, die durchaus diskutiert werden kann. Die Leitfrage der vorliegenden Unterrichtseinheit zielt auf einen Kakaoanbau ab, der ertragreich und gleichzeitig klimafreundlich und nachhaltig ist. Um dieses Ziel zu erreichen, hat ein Team der ETH Zürich eine Studie in Ghana durchgeführt, in der auf Kakaofeldern verschiedenste Parameter gemessen wurden, wobei jeweils Agroforst- und Monokultursysteme miteinander verglichen wurden. Die gemessenen Parameter waren bspw. «Vogelreichtum», «Ernteverluste durch Krankheiten» oder «Ernteertrag». Zudem wurden klimarelevante Variablen wie «Temperatur», «Bodenfeuchtigkeit» und «oberirdischer Kohlenstoff» untersucht. Unter Berücksichtigung all dieser Parameter fanden die Wissenschaftler heraus, dass Agroforstsysteme mit Blick auf die definierten Zielsetzungen besser sind als Monokultursysteme. Idealerweise sollte die Fläche eines Agroforstfelds zu 30-50% aus Schattenbäumen bestehen.

Quelle:

Blaser et. al. (2018). Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nature Sustainability*, vol. 1, 234–239

Klimabewusste Kakaoproduktion

Überblick über die Unterrichtseinheit

Leitfrage:

«Wie muss Kakao angebaut werden, damit der Anbau sowohl hohe Erträge bringt als auch klimafreundlich und nachhaltig ist?»

1 Einstieg in die Unterrichtseinheit (Konfrontationsaufgabe)

2 Der Kakaobaum

Vorbereitende Hausaufgabe

- A) Geschichte
- B) Botanische Merkmale
- C) Ökologie im Kakaoanbau

3 Klimawandel – Temperaturentwicklung

- A) Einführung
- B) Monatliche Durchschnittstemperaturen
- C) Jährliche Durchschnittstemperaturen in Kamerun
- D) Jährliche globale Durchschnittstemperaturen
- E) Exkurs: Treibhauseffekt

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau (→ Messungen auf dem Schulgelände und Datenanalyse)

- A) Temperatur
- B) Licht
- C) Bodenfeuchtigkeit
- D) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

- A) Lesen einer Grafik
- B) Interpretation von Grafiken
- C) Synthese und Gewichtung

6 Abschlussaufgabe

1 Einstieg in die Unterrichtseinheit (Konfrontationsaufgabe)

Ziel

- Einführung in die Unterrichtseinheit

Überblick

- In einem *Concept Cartoon* werden verschiedene Aussagen zum Thema «Schattenbäume in Kakaofeldern» gezeigt. Diese Aussagen verweisen auf die verschiedenen Themen in der Unterrichtseinheit.
- Die übergeordnete Leitfrage und der Ablauf der Unterrichtseinheit werden aufgezeigt.

Zeitbedarf

- 30 Minuten

Material

- Bild des *Concept Cartoons*

Lehrpersonenkommentar

Didaktische Hinweise:

Was ist ein *Concept Cartoon*?

Ein *Concept Cartoon* ist eine Zeichnung, in der verschiedene Personen über eine alltägliche Situation diskutieren. *Concept Cartoons* haben in der Regel nicht eine einzige «richtige Antwort». Sie sollen Diskussionen anregen, die wissenschaftliches Denken fördern. *Concept Cartoons* eignen sich gut als Einführung in eine neue Unterrichtseinheit, denn einerseits helfen sie das Interesse der Schülerinnen und Schüler (SuS) zu wecken. Andererseits vergegenwärtigen die SuS mithilfe des *Concept Cartoons* ihre Vorstellungen und Präkonzepte. Durch *Concept Cartoons* realisieren die SuS, dass es verschiedene Meinungen zu einem Thema gibt und dass mehr Wissen benötigt wird, um die unterschiedlichen Meinungen fundiert bewerten zu können.

Im *Concept Cartoon* in dieser Unterrichtseinheit werden bereits die Themen angesprochen, welche die SuS in den kommenden Lektionen bearbeiten werden.

Ablauf:

- Die Frage und die Aussagen im *Concept Cartoon* werden im Klassenunterricht gelesen.
- Die SuS erhalten kurz Zeit, um über die Aussagen nachzudenken.
- Gruppenbildung; jede Gruppe erhält fünf leere A₄-Blätter.
- Die SuS versuchen die Leitfrage des *Concept Cartoons* in den Gruppen zu beantworten, indem sie die verschiedenen Aussagen diskutieren. Dazu erhalten sie den Auftrag, jede Aussage als richtig oder falsch einzustufen. Sie notieren und begründen ihre Entscheidung pro Aussage auf einem separaten Blatt.
- Im Anschluss an die Gruppenarbeitsphase folgt eine Diskussion zum *Concept Cartoon* im Klassenunterricht.
- Abschliessend teilt die Lehrperson den SuS mit, dass die kommenden Lektionen helfen werden, die Aussagen im *Concept Cartoon* besser einschätzen zu können.

- Die übergeordnete Leitfrage der gesamten Unterrichtseinheit (siehe Anhang) wird im Klassenzimmer aufgehängt. Idealerweise bleibt sie während allen Lektionen zum Thema aufgehängt, so dass immer wieder darauf Bezug genommen werden kann.
- Am Ende der Lektion werden die Blätter mit den Begründungen eingesammelt. Die Blätter werden am Ende der Unterrichtseinheit wiederverwendet, um den Lernfortschritt zu veranschaulichen.

Fachliche Hinweise:

Die folgenden Fragen können helfen, die Diskussion in der Klasse anzuregen.

«Schattenbäume sollten nicht gefällt werden, weil dadurch das Klima wärmer wird».

Warum wird das Klima wärmer?

Was ist Biomasse? Was ist Kohlenstoffdioxid?

Was ist der Zusammenhang zwischen Biomasse und Klima?

«Schattenbäume mindern den Kakaoertrag, weil die Kakaobäume weniger Licht für die Photosynthese erhalten».

Was bedeutet Kakaoertrag? Was bedeutet Photosynthese?

Welchen Effekt hat Licht auf die Photosynthese?

Was ist der Zusammenhang zwischen Photosynthese und Kakaoertrag?

«Schattenbäume schaden, weil sie dem Boden das Wasser entziehen, welches die Kakaobäume brauchen».

Was ist Bodenwasser? Woher kommt es? Warum fließt das Bodenwasser nicht weg?

Wie kann ein Schattenbaum einem Kakaobaum Wasser entziehen?

«Schattenbäume sind wichtig für die Biodiversität».

Was bedeutet Biodiversität?

Warum sollten Schattenbäume gut sein für die Biodiversität?

«Mit Schattenbäumen gibt es weniger Schädlinge, somit kann mehr Kakao geerntet werden».

Welche Schädlinge können Kakaobäume befallen?

Welchen Einfluss können Schattenbäume auf Schädlinge haben?

Sind Schattenbäume* auf Kakaoplantagen nützlich?

* Bäume, die gepflanzt werden, um Schatten zu spenden

Concept Cartoon

© designed by Ddraw - Freepik.com
and <https://www.pngfly.com/png-4w9udw/>

Schattenbäume sollten nicht gefällt werden, weil dadurch das Klima wärmer wird.

Mit Schattenbäumen gibt es weniger Schädlinge, somit kann mehr Kakao geerntet werden.



Joe



Alice



Sam



Schattenbäume mindern den Kakaoertrag, weil die Kakaobäume weniger Licht für die Photosynthese erhalten.

Schattenbäume sind wichtig für die Biodiversität.



Sara

Schattenbäume schaden, weil sie dem Boden das Wasser entziehen, welches die Kakaobäume brauchen.



Tina

Leitfrage:

Wie muss Kakao angebaut werden, damit der Anbau sowohl hohe Erträge bringt als auch klimafreundlich und nachhaltig ist?

2 Der Kakaobaum

Ziele

- Die SuS können die Geschichte des Kakaobaums schildern.
- Die SuS können botanische Merkmale von Kakaobäumen benennen.
- Die SuS können Faktoren beschreiben, welche für das Wachstum von Kakaobäumen wichtig sind.
- Die SuS können Krankheiten und Schädlinge des Kakaobaums aufzählen.

Überblick

- Historisches, botanisches und ökologisches Grundwissen über den Kakaobaum

Zeitbedarf

- 90-135 Minuten

Material

- Ausgedruckte Bilder «Geschichte des Kakaobaums»
- Kakaofrucht (oder ein Bild davon)
- Bilder eines Kakaobaums
- Arbeitsblätter für die SuS

Lehrpersonenkommentar

Ablauf:

Vorbereitende Hausaufgabe

- Die SuS informieren sich selbstständig über Wachstumsbedingungen, Schädlinge und Krankheiten des Kakaobaums. Die Resultate werden in Teil C) *Ökologie im Kakaoanbau* verwendet.

A) Geschichte

- Die Lehrperson zeigt eine Kakaofrucht (bzw. ein Bild davon) und fragt, wo der Kakaobaum seinen Ursprung hat. Die Vermutungen der SuS können z.B. auf einer Weltkarte eingezeichnet werden.
- Es werden Zweiergruppen gebildet. Jede Gruppe erhält ein Bild zur Geschichte des Kakaobaums.
- An der Wandtafel wird eine Zeitleiste gezeichnet (4000 v. Chr. bis heute). Jede Gruppe bespricht kurz, was ihr Bild darstellen könnte, was es mit der Geschichte des Kakaobaums zu tun hat und wie es zeitlich einzuordnen ist.
- Die Gruppen präsentieren ihr Bild und das Ergebnis ihrer Diskussion. Anschliessend ordnen sie das Bild auf der Zeitachse an der Wandtafel ein.
- Die Reihenfolge der Bilder an der Wandtafel wird im Klassengespräch diskutiert und allenfalls korrigiert. Die wichtigsten Informationen zu den Bildern werden an die Tafel notiert, die SuS ergänzen die Informationen auf ihrem Arbeitsblatt.

B) Botanische Merkmale

- Mithilfe verschiedener Bilder und des Internets informieren sich die SuS über die botanischen Merkmale des Kakaobaums, zeichnen eine Skizze und beschriften die Teile.

C) Ökologie im Kakaoanbau

- **Aufgabe 1:** Die Ergebnisse der vorbereitenden Hausaufgabe werden gesammelt und diskutiert.
- Die Aufgaben 2-5 können nach dem *Think-Pair-Share Prinzip* bearbeitet werden. Die SuS sollen die Aufgaben zunächst individuell lösen (*think*). Danach sollen sie sich zu zweit darüber austauschen (*pair*). Schliesslich werden die Ergebnisse in der Klasse diskutiert (*share*).
Nachfolgend werden die Ziele der Aufgaben auf den Arbeitsblättern kurz beschrieben.

Aufgabe 2: Die SuS können Faktoren beschreiben, welche für das Wachstum von Kakaobäumen wichtig sind.

Aufgabe 3: Mithilfe der Weltkarte und der Angabe der weltweit grössten Kakaoanbauländer erfahren die SuS, in welchen Ländern bzw. Klimazone Kakao angebaut wird.

Aufgabe 4: Basierend auf regionalen Klimadaten und den Ergebnissen aus Aufgabe 2 beurteilen die SuS, wo Kakao aus klimatischer Sicht angebaut werden kann und wo nicht.

Aufgabe 5: Die SuS lernen, dass Kakao in verschiedenen Anbausystemen angebaut werden kann. Diese Information ist wichtig, weil die beiden in dieser Aufgabe gezeigten Anbausysteme im Verlauf der Unterrichtseinheit immer wieder vorkommen. Die Ergebnisse dieser Aufgabe sollen im Unterricht diskutiert werden.

Wichtiger didaktischer Hinweis: Der Zweck dieser Aufgabe besteht darin, erste Ideen der SuS zu sammeln. Die Antworten müssen noch nicht richtig sein.

Möglicher Abschluss der Lektion


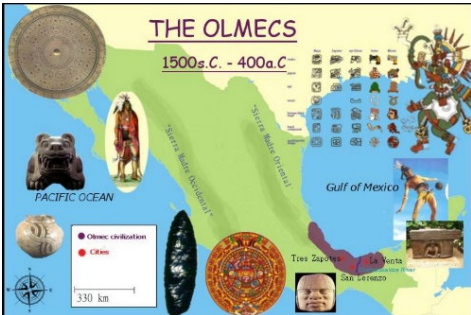

Die SuS erhalten folgenden Auftrag:

«Stellt euch vor, ihr kommt nach Hause, und eure Mutter oder euer Vater fragt, was ihr heute Neues gelernt habt. Was werdet ihr ihnen sagen?»?

Der Auftrag kann wiederum nach dem *Think-Pair-Share Prinzip* bearbeitet werden (s. oben).

Fachliche Hinweise (Hintergrundinfos für Lehrperson):

A) Geschichte

Bilder und Beschreibung	Weitere Informationen
<p>3300 v. Chr.: Erste Spuren in Santa Ana (La Florida), Ecuador, Südamerika</p> 	<p>3300 v. Chr: Herkunft Wo genau der Ursprung des Kakaobaums liegt, ist nicht vollständig geklärt. Spuren von Tongefässen, die in Santa Ana (La Florida) im oberen Teil des Amazonasbeckens im Südosten Ecuadors gefunden wurden, zeigen, dass der Kakaobaum dort seit mindestens 3300 v. Chr. kultiviert wird. Wahrscheinlich hat er dort seinen Ursprung und verbreitete sich später über Mittelamerika. (Quelle: https://www.theobroma-cacao.de)</p>
<p>1500 v. Chr.: Anbau von Kakaobäumen in Zentralamerika durch die Olmeken. Das Wort Kakao, ursprünglich <i>kakawa</i> ausgesprochen, stammt aus der olmekischen Sprache.</p>  <p>(Quelle: https://www.slideshare.net/olmecdragons/the-olmec-culture)</p>	<p>1500 v. Chr.: Olmeken Die Olmeken waren die erste bekannte Hochkultur im heutigen Mexiko (1500 bis 400 v. Chr.). Diese Kultur ist vor allem für ihre kolossalen Steinköpfe bekannt, die wahrscheinlich Herrscher darstellen. Um 1500 v. Chr. begannen die Olmeken, Kakaobäume in Mittelamerika zu kultivieren. (Quellen: https://www.theobroma-cacao.de; OroVerde)</p>
<p>300 – 900 n. Chr.: Die Maya entwickeln ein Bewässerungssystem, um die höchstmöglichen Kakaoerträge zu erzielen. Sie verwenden Kakao als Heilpflanze, als Opfergabe und als Zahlungsmittel.</p>  <p>Abbildung: Maya-Wandgemälde (Quelle: National Museum of Anthropology, Mexico City)</p>	<p>300 – 900 n. Chr.: Maya Die Maya siedelten sich einige Jahrhunderte nach dem Fall der Olmeken in Südmexiko an. Sie bauten den Kakaobaum auf grossen Feldern an und entwickelten Bewässerungssysteme, um möglichst hohe Erträge zu erzielen. Über Handelswege konnten die Kakaobohnen von wenigen geeigneten Anbaugeländen in das gesamte Maya-Reich transportiert werden. Die Maya stellten aus den Kakaobohnen ein Kakaogetränk her. Dies diente als eine Art Weihwasser, um den Übergang der Heranwachsenden ins Erwachsenenalter zu feiern. Kakao wurde auch als Opfer für die Götter und als Heilpflanze verwendet. Er war eine universelle Medizin gegen Durchfall, Masern und Geburtsschmerzen. Die Kakaobohne war ausserdem ein Zahlungsmittel. (Quellen: https://www.theobroma-cacao.de; OroVerde)</p>

1300 – 1500: Die Azteken verwenden Kakao wie die Maya. Sie übernehmen auch das heilige Getränk von den Maya und nennen es *Xocolatl* (xoco = bitter; atl = Wasser).



Abbildung: Azteken bereiten das spezielle würzige Kakaogetränk zu.

(Quelle: <https://onthecocoatrail.com/2012/11/30/the-first-cocoa-recipes/>)

1300 – 1500: Azteken

Zu Beginn des 14. Jahrhunderts begann die Hochkultur der Azteken. Für die Azteken war Kakao ein heiliger Baum, dessen Samen durch den Propheten Quetzalcoatl aus dem Paradies gebracht worden waren. Die Azteken übernahmen die Tradition des heiligen Getränks von den Maya und nannten es *Xocolatl*. Sie benutzten Kakao und Kakaobutter als Medizin, als Geschenk, als Opfer und als Zahlungsmittel. So kostete z.B. ein Truthahn 200 Kakaobohnen und eine Avocado zwischen einer und drei Kakaobohnen.

(Quelle: <https://www.theobroma-cacao>)

1600: Kakaobohnen und das Getränk *Xocolatl* kommen in Europa an.



Abbildung: Schokoladengetränk für die Aristokraten

(Quelle: www.wikipedia.com)

1600: Ausbreitung

Der erste Europäer, der den Kakao kennen lernte, war Christoph Kolumbus im Jahr 1502. Im 16. Jahrhundert gelangten die Kakaobohnen und die notwendige Ausrüstung für die Zubereitung von *Xocolatl* nach Europa. In den Anfängen war Schokolade ein Luxusgut für die Reichen. Doch die Nachfrage der Europäer nach dem Schokoladengetränk stieg enorm an, daher wurden auch die Anbaugebiete erweitert. Grosse Kakaoplantagen wurden in Mittel- und Südamerika sowie auf den Westindischen Inseln angelegt.

(Quelle: <https://www.theobroma-cacao.de>)

1753: Carl von Linné gibt dem Kakaobaum den wissenschaftlichen Namen *Theobroma cacao*. Theobroma ist griechisch und bedeutet «Speise der Götter». Kakao stammt von dem aztekischen Begriff *cacahuatl* (Kakaobohnen) ab.

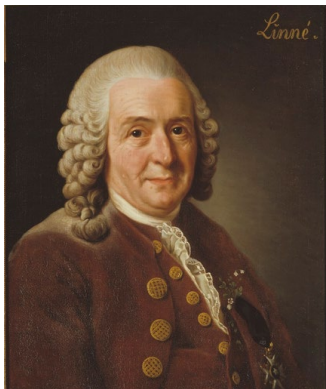


Abbildung: Carl von Linné, 1707-1778

1753: Wissenschaftlicher Name

Der wissenschaftliche Name *Theobroma cacao* stammt 1753 vom Botaniker Carl von Linné, als er ihn in seinem berühmten Buch *Species Plantarum* veröffentlichte.

(Quelle: <https://www.theobroma-cacao.de>)

Carl von Linné war ein schwedischer Naturforscher, der mit seiner binären Nomenklatur (= Zwei-Begriff-Namenssystem) die Grundlagen der modernen botanischen und zoologischen Taxonomie schuf.

1878: Kakaopflanzen werden nach Kontinentalafrika (Ghana) gebracht



Ende 19. Jh.: Ankunft in Westafrika

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts erreichten die ersten Kakaopflanzen den afrikanischen Kontinent. Im Jahr 1878 brachte ein Pflanzenzüchter eine Schote von der Insel Bioko nach Ghana und säte dort die ersten Bohnen. Es wuchsen einige wenige Bäume, aus denen der gesamte afrikanische Bestand hervorging, der sich seither durch seine beträchtliche Homogenität auszeichnet. Bis 1911 wurde Ghana zum wichtigsten Rohkakao-Produzenten der Welt.

Um 1890 wurde Kakao aus Ghana nach Nigeria eingeführt. Die ersten Plantagen in der Elfenbeinküste, die 1905 in den östlichen Regionen angelegt wurden, waren kein Erfolg. Erst ab 1912 wurde diese neue Kulturpflanze nach einem Erweiterungsprogramm der Regierung in grösserem Umfang angebaut. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts führten die Deutschen Kakao in Kamerun ein.

Heute: Die wichtigsten Kakao produzierenden Länder sind die Elfenbeinküste, Ghana, Indonesien, Ecuador und Kamerun.



Abbildung: Wichtigste kakaoproduzierende Länder der Welt

(Quelle: International Cocoa Organization)

Heute:

Die Grafik zeigt die wichtigsten kakao-produzierenden Länder der Jahre 2017/2018.

B) Botanische Merkmale

Die Gattung *Theobroma* umfasst etwa zwanzig Arten, von denen nur *Theobroma cacao L.* von wirtschaftlichem Interesse ist. Dieser Anbau-Kakaobaum wird in drei Grundtypen oder Sorten unterteilt:

- *Forastero* (auch bekannt als *Amelonado*) ist eine robuste Sorte, die hohe Erträge liefert, aber von mittlerer Qualität ist. Diese Sorte macht 90% des weltweiten Kakaoanbaus aus. Sie wird hauptsächlich in Westafrika angebaut.
- *Criollo* liefert qualitativ hochwertigen Kakao, ist aber anfällig für Krankheiten und Schädlinge. *Criollo* macht nur 5% der weltweiten Kakaoproduktion aus. Diese Sorte wird hauptsächlich in Südamerika angebaut.
- *Trinitario* ist eine Kreuzung zwischen *Criollo* und *Forastero*. Der *Trinitario* kombiniert die Robustheit des *Forastero* mit dem Aroma des *Criollo*. Er ist in der Regel selbststeril, weshalb er nur durch Schneiden oder Pfropfen vermehrt werden kann. Wie beim *Criollo* ist der Anteil

des *Trinitario* an der weltweiten Kakaoproduktion eher gering. Diese Sorte wird in Mittel- und Südamerika sowie in vielen afrikanischen und südostasiatischen Ländern angebaut.

Wachstum des Kakaobaums:

Das Wachstum des Kakaobaums lässt sich in drei Phasen unterteilen:

- 1) Die Keimblätter werden einige Zentimeter über den Boden gehoben.
- 2) Vertikale Wachstumsphase: Der Primärtrieb wächst aufgrund der Aktivität einer Terminalknospe, bis die Pflanze 1-2 m hoch ist.
- 3) Bildung einer Jorquette: Etwa fünf Knospen am terminalen Ende des vertikalen Stängels wachsen gleichzeitig seitlich aus, um plagiotrope (= schräg oder fast waagrecht wachsende) Triebe zu bilden. Diese Triebe werden auch Fächerzweige genannt.

Wenn die Endknospe vor dem Jorquettieren beschädigt wird, erzeugen die Knospen im oberen Teil des Stiels vertikale *Choupon*-Triebe. *Choupons* haben, wie alle vertikalen Zweige, eine spiralförmige Anordnung der Blätter. Dies im Gegensatz zu Fächerzweigen, welche eine abwechselnde Anordnung der Blätter aufweisen. Jeder *Choupon* ist in der Lage, am Ende eine Jorquette zu bilden. *Choupons* können auch an der Basis des Stammes entstehen. Das Baumkronendach wird durch vertikale Verlängerung der *Choupons* direkt unterhalb der Jorquettengabel höher und erzeugt eine zweite Etage mit Jorquetten. Die neue Jorquette übernimmt so die Baumkrone, während die vorherige Jorquette abstirbt. Der Vorgang kann mehrmals wiederholt werden, was zu einem noch höheren Baumkronendach führt.

Quelle: Arntzen & Ritter (1994). Encyclopaedia of Agricultural Science, Vol. 1

C) Ökologie im Kakaoanbau

- Das Lösungsblatt listet die wichtigsten Merkmale des Kakaoanbaus und der Ökologie auf. Weitere Informationen sind unter <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html> zu finden.
- Hintergrundinformationen zu Aufgabe 5: Kakao-Monokultur (keine Schattenbäume) vs. Agroforstwirtschaft (mit Schattenbäumen):

Sowohl junge als auch ältere Kakaobäume benötigen ein gewisses Mass an Beschattung, um hohe Erträge zu erzielen. Die Lichtmenge, die ein junger Baum erhält, beeinflusst seine Wuchsform. Bei jungen Bäumen trägt der Schatten dazu bei, eine für den späteren Anbau geeignete Baumstruktur mit langen Zwischenknoten, aber kurzen Ästen zu erzeugen. Wenig Schatten führt zu buschigen Bäumen. Zu viel Licht verzögert bei jungen Bäumen zudem die Kronenbildung, wodurch die Blüte verzögert wird. Ein weiterer Vorteil der Beschattung ist der Windschutz, da junge Kakaoblätter schon bei geringen Windgeschwindigkeiten anfällig für mechanische Schäden durch Verletzungen am Blattgelenk sind.

Zudem schützen Schattenbäume die Humusschicht des Bodens vor dem Austrocknen. Wenn Leguminosen-Bäume als Schattenbäume ausgewählt werden, kann der verfügbare Stickstoff im Boden durch Stickstoff-Fixierung in den Wurzelknöllchen erhöht werden. Ein zusätzlicher Vorteil der Schattenbäume besteht darin, dass ihre Blätter, Zweige und Blüten Streu für die Bildung der organischen Substanz des Bodens bilden.

Quelle: Arntzen & Ritter (1994). Encyclopaedia of Agricultural Science, Vol. 1

2 Der Kakaobaum

Vorbereitende Hausaufgabe

Aufgabe: Recherchiere im Internet die folgenden beiden Fragen:

a) Was benötigt der Kakaobaum für ein günstiges Wachstum?

Notizen:

b) Welche Schädlinge und Krankheiten können einen Kakaobaum befallen?

Notizen:

Der Kakaobaum

Vorbereitende Hausaufgabe

Lösung/Erwartungshorizont

Aufgabe: Recherchiere im Internet die folgenden beiden Fragen:

a) Was benötigt der Kakaobaum für ein günstiges Wachstum?

Notizen:

- Licht
- Wasser / Regen
- Boden
- Kohlendioxid CO₂
- Nährstoffe

Bewirtschaftung:

- Gehölzschnitt
- Schneiden von Choupons
- Unkrautjäten
- Schädlings- und Krankheitsbekämpfung (d.h. Sammeln von kranken Hülsen und deren Verbrennung, Pestizide, ...)
- Entfernung von Misteln und Moos
- Nährstoffmanagement (z.B. Düngen)
- Schatten-Management

b) Welche Schädlinge und Krankheiten können einen Kakaobaum befallen?

Notizen:

Miriden sind die wichtigsten Insekten, die den Kakao weltweit befallen. Die in westafrikanischen Ländern am häufigsten vorkommenden Arten sind *Distantiella theobroma* und *Sahlbergella singularis*. Diese Insekten stechen mit ihrem nadelartigen Mundwerkzeug in die Oberfläche von Kakaostämmen, -ästen und -schoten und saugen den Saft des Kakaobaums auf. Während sie saugen, injizieren sie giftigen Speichel in die Pflanze. Dies führt zum Absterben des inneren Kakaogewebes. Der Befall von Kakaoschoten führt, wenn überhaupt, nur zu geringen direkten Verlusten. Bohnen aus diesen Schoten sind im Allgemeinen nicht befallen, können aber etwas kleiner sein als ohne Befall. Die vielen kleinen Narben auf den Schoten sind jedoch ein leichtes Ziel für den Pilz *Black pod*, der oft mehr Verluste verursacht als die Miride selbst.

Swollen-Shoot-Virus

Dieses Virus, das durch Blattläuse übertragen wird, macht sich durch Anschwellen der Zweige und Blattstiele und ein rötliches Muster auf der Blattoberfläche bemerkbar. Das Virus kann nur durch Entfernen der infizierten Bäume bekämpft werden. Im ersten Jahr führt das Virus zu einem Ernteverlust von 25%, im zweiten Jahr zu einem vollständigen Ernteausfall. Der Kakaobaum stirbt schliesslich ab.

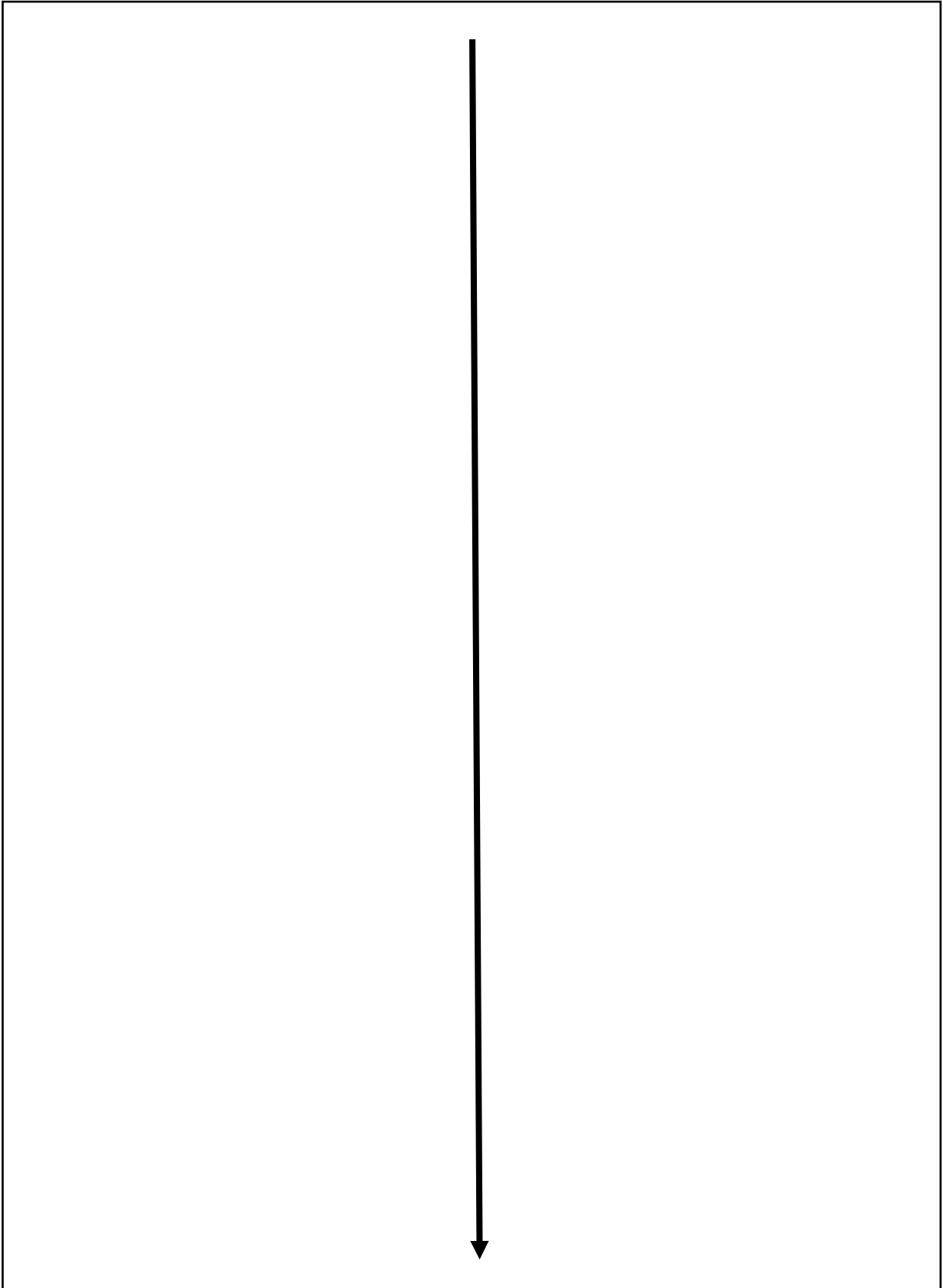
Black Pod

Black Pod ist weltweit die wichtigste Pilzkrankheit des Kakaos. Befallen werden der Stamm, die Blätter, die Blüten und vor allem die Frucht. Das erste Symptom bei einer Frucht ist ein brauner Fleck, der etwa fünf Tage nach der Infektion sichtbar wird, sich rasch vergrößert und schwarz wird. Die Sporen des Pilzes werden durch Regentropfen, Insekten und Wind verbreitet. Sie keimen bei hoher Luftfeuchtigkeit und relativ niedrigen Temperaturen.

Für weitere Informationen über Krankheiten siehe: <https://www.icco.org/about-cocoa/pest-a-diseases.html>

2 Der Kakaobaum

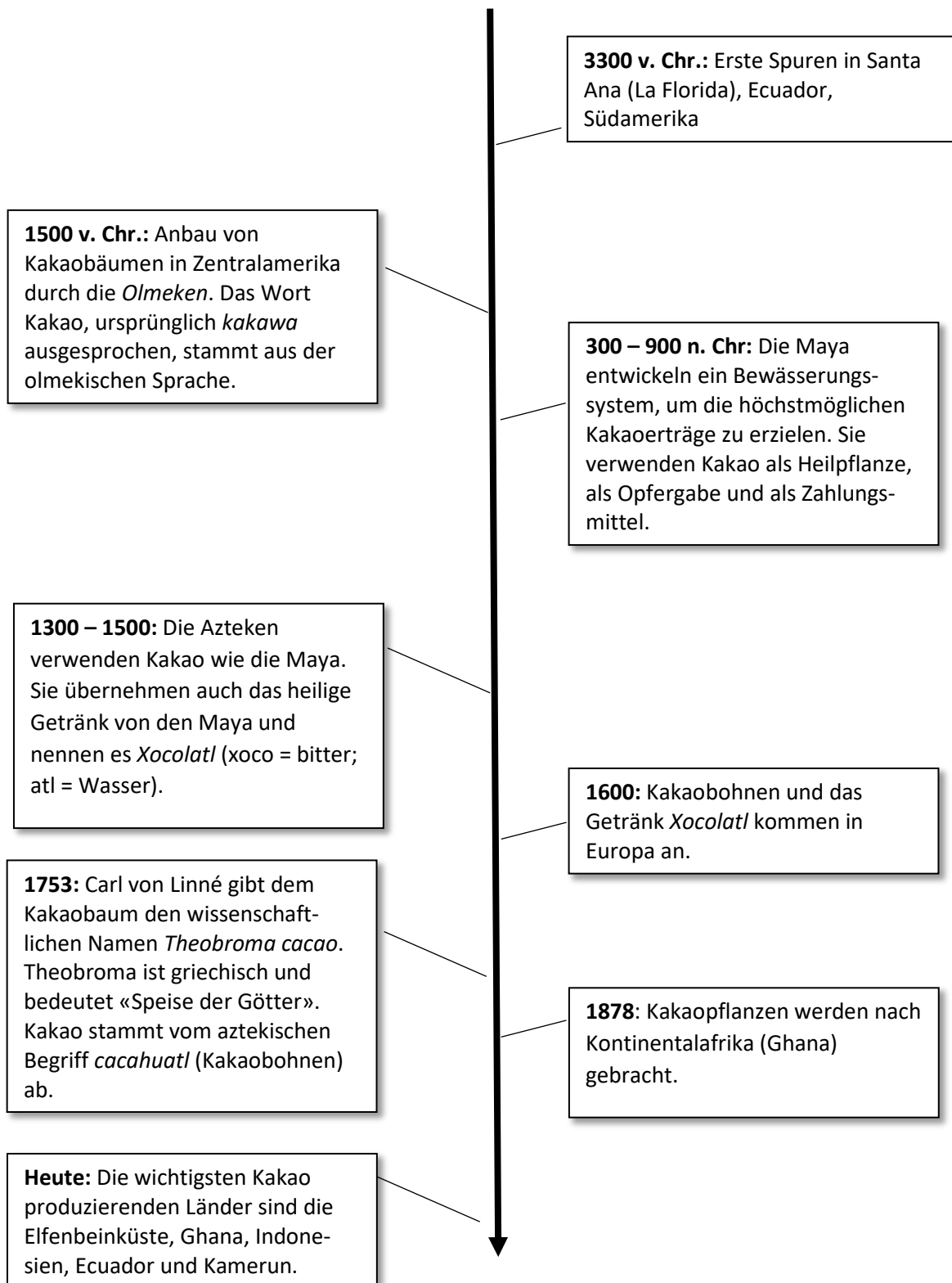
A) Geschichte



2 Der Kakaobaum

Lösung

A) Geschichte



2 Der Kakaobaum

B) Botanische Merkmale

Aufgaben:

- Betrachte die Bilder auf der nächsten Seite und recherchiere im Internet zum Thema «Botanische Merkmale des Kakaobaums».
- Skizziere einen Kakaobaum und benenne die Teile.



Jorquette = der Punkt, an dem sich der vertikale Stängel gabelt und horizontale Triebe erzeugt
Choupon = vertikal wachsender Trieb

- Ergänze den Pflanzensteckbrief.

Name: Kakaobaum

Wissenschaftlicher Name: _____

Familie: _____

Höhe: _____

Wurzeln: _____

Blätter: _____

Blüten: _____

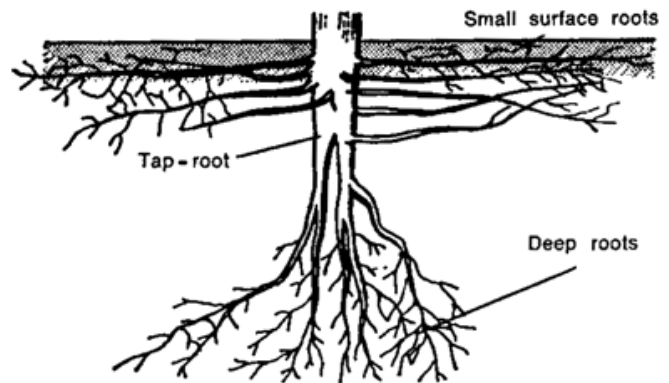
Früchte: _____

Bestäubung: _____

Bilder zum Kakaobaum



(Quelle: Infozentrum Schokolade Leverkusen)



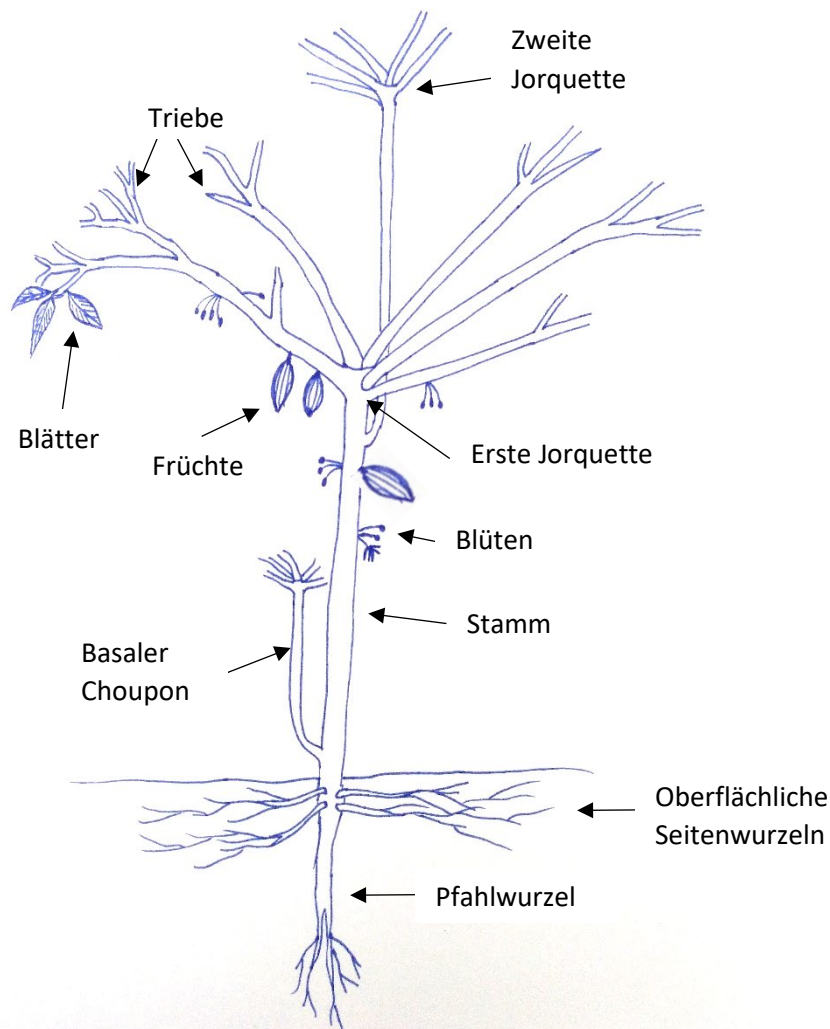
Jorquette = der Punkt, an dem sich der vertikale Stängel gabelt und horizontale Triebe erzeugt

Choupon = vertikal wachsender Trieb

2 Der Kakaobaum

Lösung

B) Botanische Merkmale



Jorquette = der Punkt, an dem sich der vertikale Stängel gabelt und horizontale Triebe erzeugt

Choupon = vertikal wachsender Trieb

Name: Kakaobaum

Wissenschaftlicher Name: *Theobroma cacao* L.

Familie: Malvenartige

Höhe: Bis zu 15 m, werden aber auf 4 m beschnitten (einfacher für die Ernte)

Wurzeln: Pfahlwurzel (erreicht eine Tiefe von 1-1,5 m); Seitenwurzeln (in den oberen 50 cm des Bodens)

Blätter: Lanzettförmig, länglich; 20-30 cm lang, 7-12 cm breit

Blüten: In Büscheln direkt am Stamm und an älteren Zweigen (= Kauliflorie); 7-10 cm lang, fünf Kelchblätter, fünf weiße oder hellrote Blütenblätter; Blüten bilden sich das ganze Jahr über

Früchte: Kakaoschote (20-30 Früchte pro Baum und Jahr, in guten Jahren bis zu 50 Früchte)

- Form: länglich bis kugelförmig, bis zu 30 cm lang; Gewicht: bis zu 500 Gramm

- Farbe: grüngelb bis rot (je nach Sorte)

- Samen: bis zu 50 Samen (allgemein als «Bohnen» bezeichnet), eingebettet in ein weißes Fruchtfleisch

Bestäubung: Von winzigen Fliegen (*Forcipomyia* sp.). Es gibt Tausende von Blüten pro Baum, aber nur 0,5-5% der Blüten werden erfolgreich bestäubt.

2 Der Kakaobaum

C) Ökologie im Kakaoanbau

Aufgabe 1: Besprich die Ergebnisse der vorbereitenden Hausaufgabe im Unterricht. Vervollständige deine Notizen auf dem Hausaufgabenblatt.

Aufgabe 2: Lies den folgenden Text und fasse die wichtigsten Informationen in den Kästen zusammen.

Kakaoanbau

Kakao wächst am besten in einer warmen und feuchten Umgebung. Die Temperatur in den Kakaoanbaugebieten reicht normalerweise von einem Minimum von 18-21 °C bis zu einem Maximum von 30-32 °C. Die ideale Durchschnittstemperatur beträgt 26 °C. Die Niederschläge sollten reichlich und gut über das ganze Jahr verteilt sein, mit einer jährlichen Niederschlagsmenge zwischen 1500 und 2000 mm. Kakaobäume reagieren sehr empfindlich auf Wassermangel. Trockenperioden, bei denen die Niederschlagsmenge weniger als 100 mm pro Monat beträgt, sollten nicht länger als 3-4 Monate dauern.

Der Kakaobaum nutzt vorhandenes Licht optimal aus und wird traditionell im Schatten von anderen Bäumen angebaut. Schatten ist in den ersten Wachstumsjahren eines Kakaobaums unerlässlich. Er schützt die jungen Bäume vor Wind und trägt dazu bei, eine für den späteren Anbau geeignete Baumstruktur zu schaffen. Kakao braucht einen Boden mit grobkörnigen Partikeln und einer angemessenen Menge an Nährstoffen bis zu einer Tiefe von 1.5 m, damit sich ein gutes Wurzelsystem entwickeln kann. Unterhalb dieser Tiefe sollte durchlässiges Material vorhanden sein, so dass überschüssiges Wasser abfließen kann, denn Kakao übersteht Staunässe nur für kurze Zeit. Da der Kakaobaum auch empfindlich auf Wassermangel reagiert, muss der Boden sowohl gute Wasserrückhalte-Eigenschaften als auch eine gute Drainage besitzen. Der Boden sollte einen hohen Gehalt an organischer Substanz aufweisen: mindestens 3,5% in den oberen 15 Zentimetern des Bodens. Gute Kakao-böden haben unter der Humusschicht Ton-, Ton-Lehm- oder Lehmschichten im pH-Bereich von 5,0 bis 7,5.¹

Temperatur

Boden



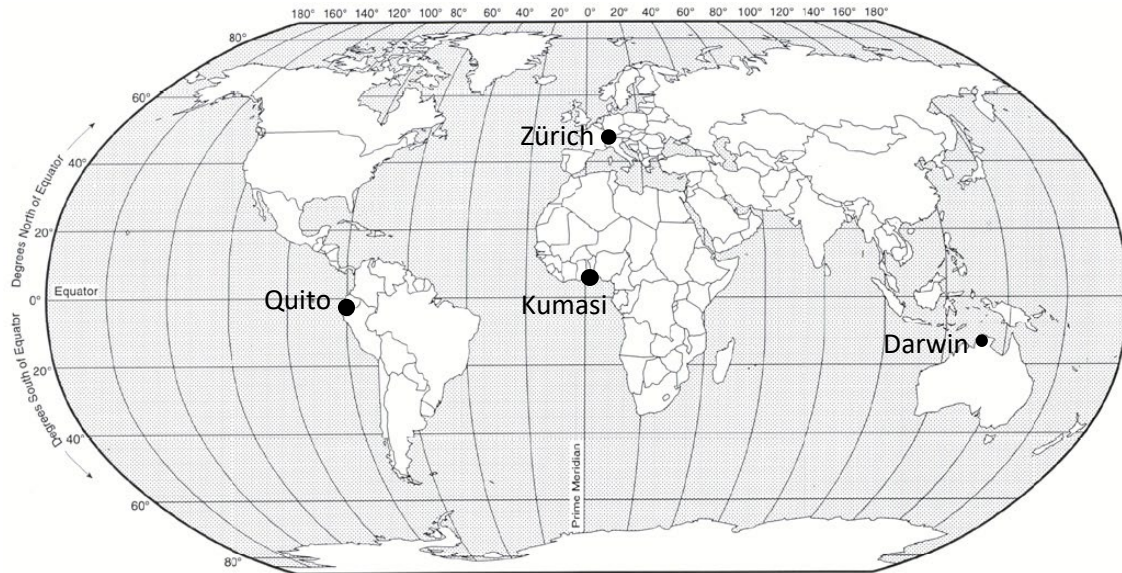
Regen

Licht

¹ <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>

Aufgabe 3: Die weltweit grössten Kakaoproduzenten sind: Elfenbeinküste, Ghana, Indonesien, Nigeria, Kamerun, Brasilien, Ecuador, Mexiko, Peru, Dominikanische Republik, Togo, Papua-Neuguinea, Kolumbien.

a) Markiere die genannten Länder auf der Weltkarte. Was fällt dir in Bezug auf die Breitengrade auf?



b) In welcher Klimazone liegen die markierten Länder?

Aufgabe 4: Vergleiche die Wachstumsbedingungen des Kakaobaums (Aufgabe 2) mit den Klimadaten von Kumasi, Zürich, Quito und Darwin in der folgenden Tabelle. Wo kann man Kakao anbauen und wo nicht? Begründen deine Antwort.

		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Kumasi (GHA)	Ø T (°C)	26.5	27.6	27.9	27.4	27.3	25.8	24.7	24.4	25.4	26	26.8	25.7
	Niederschlag (mm)	8	63	136	150	176	216	133	79	169	190	86	32
Zürich (CH)	Ø T (°C)	0.2	1.7	5.1	8.7	12.9	16.3	18.4	17.6	14.9	10.2	4.7	1.3
	Niederschlag (mm)	5	68	68	89	105	129	119	132	90	68	80	72
Quito (ECU)	Ø T (°C)	14	14	14	13.9	14.1	13.6	13.7	13.8	13.9	14	13.8	14
	Niederschlag (mm)	120	137	163	189	116	56	22	32	84	130	120	104
Darwin (AUS)	Ø T (°C)	28.2	27.9	28.1	28.1	26.7	24.8	24.4	25.6	27.7	29.1	29.2	28.8
	Niederschlag (mm)	426	359	335	86	15	2	1	4	18	76	121	251

Aufgabe 5: Betrachte die zwei Hauptanbaumethoden von Kakao.



Monokultur

Bei dieser Anbaumethode werden nur Kakaobäume gepflanzt. Die Bäume stehen sehr dicht (bis zu 1600 Bäume pro Hektar in einem Abstand von 2,5 m).



Agroforstwirtschaft

Darunter versteht man ein multifunktionales System (= Agro + Forstwirtschaft). Der Kakao wird absichtlich auf der gleichen Fläche wie andere Bäume und/oder Nutzpflanzen angebaut.

a) Welche der beiden Anbauformen ist in der Schweiz üblich?

b) Findest du eine der beiden oben beschriebenen Anbaumethoden besser oder schlechter als die andere? Begründe deine Antwort.

2 Der Kakaobaum

Lösung

C) Ökologie im Kakaoanbau

Aufgabe 1: Besprich die Ergebnisse der vorbereitenden Hausaufgabe im Unterricht. Vervollständige deine Notizen auf dem Hausaufgabenblatt.

Aufgabe 2: Lies den folgenden Text und fasse die wichtigsten Informationen in den Kästen zusammen.

Kakaoanbau

Kakao wächst am besten in einer warmen und feuchten Umgebung. Die Temperatur in den Kakaoanbaugebieten reicht normalerweise von einem Minimum von 18-21 °C bis zu einem Maximum von 30-32 °C. Die ideale Durchschnittstemperatur beträgt 26 °C. Die Niederschläge sollten reichlich und gut über das ganze Jahr verteilt sein, mit einer jährlichen Niederschlagsmenge zwischen 1500 und 2000 mm. Kakaobäume reagieren sehr empfindlich auf Wassermangel. Trockenperioden, bei denen die Niederschlagsmenge weniger als 100 mm pro Monat beträgt, sollten nicht länger als 3-4 Monate dauern.

Der Kakaobaum nutzt vorhandenes Licht optimal aus und wird traditionell im Schatten von anderen Bäumen angebaut. Schatten ist in den ersten Wachstumsjahren eines Kakaobaums unerlässlich. Er schützt die jungen Bäume vor Wind und trägt dazu bei, eine für den späteren Anbau geeignete Baumstruktur zu schaffen. Kakao braucht einen Boden mit grobkörnigen Partikeln und einer angemessenen Menge an Nährstoffen bis zu einer Tiefe von 1.5 m, damit sich ein gutes Wurzelsystem entwickeln kann. Unterhalb dieser Tiefe sollte durchlässiges Material vorhanden sein, so dass überschüssiges Wasser abfließen kann, denn Kakao übersteht Stauässe nur für kurze Zeit. Da der Kakaobaum auch empfindlich auf Wassermangel reagiert, muss der Boden sowohl gute Wasserrückhalte-Eigenschaften als auch eine gute Drainage besitzen. Der Boden sollte einen hohen Gehalt an organischer Substanz aufweisen: mindestens 3,5% in den oberen 15 Zentimetern des Bodens. Gute Kakao-böden haben unter der Humusschicht Ton-, Ton-Lehm- oder Lehmschichten im pH-Bereich von 5,0 bis 7,5.²

Temperatur

Optimale Durchschnitts-
temperatur: 26 °C

Minimum: 18-21 °C

Maximum: 30-32 °C

Regen

Optimum: Zwischen 1500-2000
mm pro Jahr

Trockenperioden mit < 100
mm/Monat sollten nicht länger
als 3-4 Monate dauern



Boden

Bodentiefe > 1.5 m

Unter der Humusschicht Ton-,
Ton-Lehm- oder Lehmschichten

Gute Wasserrückhalte-
eigenschaften und gute
Entwässerung wichtig

pH-Wert von 5.0 - 7.5

Hoher Gehalt an organischer
Substanz

Licht

Der Kakaobaum nutzt
vorhandenes Licht optimal aus.

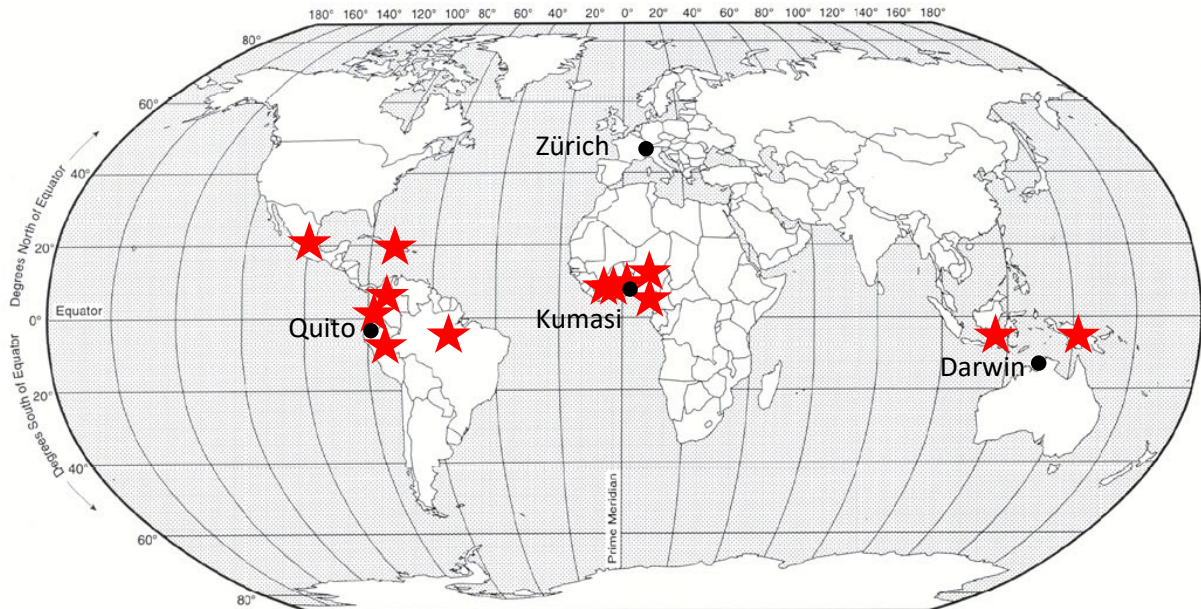
Schatten ist in den ersten
Wachstumsjahren eines
Kakaobaums unerlässlich.

² <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>

Aufgabe 3: Die weltweit grössten Kakaoproduzenten sind: Elfenbeinküste, Ghana, Indonesien, Nigeria, Kamerun, Brasilien, Ecuador, Mexiko, Peru, Dominikanische Republik, Togo, Papua-Neuguinea, Kolumbien.

a) Markiere die genannten Länder auf der Weltkarte. Was fällt dir in Bezug auf die Breitengrade auf?

Kakao wächst in einem schmalen Band ~ 20° nördlich und südlich des Äquators.



b) In welcher Klimazone liegen die markierten Länder?

Sie liegen alle in der tropischen Zone. Kakao wächst nur in der tropischen Zone.

Aufgabe 4: Vergleiche die Wachstumsbedingungen des Kakaobaums (Aufgabe 2) mit den Klimadaten von Kumasi, Zürich, Quito und Darwin in der folgenden Tabelle. Wo kann man Kakao anbauen und wo nicht? Begründen deine Antwort.

		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Kumasi (GHA)	Ø T (°C)	26.5	27.6	27.9	27.4	27.3	25.8	24.7	24.4	25.4	26	26.8	25.7
	Niederschlag (mm)	8	63	136	150	176	216	133	79	169	190	86	32
Zurich (CH)	Ø T (°C)	0.2	1.7	5.1	8.7	12.9	16.3	18.4	17.6	14.9	10.2	4.7	1.3
	Niederschlag (mm)	5	68	68	89	105	129	119	132	90	68	80	72
Quito (ECU)	Ø T (°C)	14	14	14	13.9	14.1	13.6	13.7	13.8	13.9	14	13.8	14
	Niederschlag (mm)	120	137	163	189	116	56	22	32	84	130	120	104
Darwin (AUS)	Ø T (°C)	28.2	27.9	28.1	28.1	26.7	24.8	24.4	25.6	27.7	29.1	29.2	28.8
	Niederschlag (mm)	426	359	335	86	15	2	1	4	18	76	121	251

Kumasi: Möglich. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist optimal (26,3 °C) und es gibt gerade noch genügend Niederschlag (1438 mm).

Zürich: Nicht möglich. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist zu niedrig (9,3 °C) und es gibt zu wenig Niederschlag (1025 mm).

Quito: Nicht möglich. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist zu niedrig (13,9 °C) und es gibt zu wenig Niederschlag (1273 mm).

Darwin: Nicht möglich. Die Jahresdurchschnittstemperatur (27,4°C) und die Gesamtniederschlags-summe (1694 mm) sind zwar gut, aber es gibt zu viele hintereinander liegende Monate mit Niederschlägen < 100 mm.

Aufgabe 5: Betrachte die zwei Hauptanbaumethoden von Kakao.



Monokultur

Bei dieser Anbaumethode werden nur Kakaobäume gepflanzt. Die Bäume stehen sehr dicht (bis zu 1600 Bäume pro Hektar in einem Abstand von 2,5 m).



Agroforstwirtschaft

Darunter versteht man ein multifunktionales System (= Agro + Forstwirtschaft). Der Kakao wird absichtlich auf der gleichen Fläche wie andere Bäume und/oder Nutzpflanzen angebaut.

a) Welche der beiden Anbauformen ist in der Schweiz üblich?

In ackerbaulich genutzten Gebieten der Schweiz ist Monokultur üblich. Mischkulturen finden sich selten.

b) Findest du eine der beiden oben beschriebenen Anbaumethoden besser oder schlechter als die andere? Begründe deine Antwort.

Individuelle Antworten

Wichtig ist hier, dass sich die SuS erste Gedanken zu den beiden Methoden machen, ausgehend von ihrer subjektiven Vorstellung (unabhängig von der «Richtigkeit» der Antwort). In der weiteren Auseinandersetzung im Rahmen der Unterrichtseinheit wird diese Frage zunehmend differenzierter geklärt. Am Schluss der Einheit kann es spannend sein, die Antworten der SuS an dieser Stelle nochmals zu betrachten und mit der abschliessenden Meinung zu vergleichen.

2 Der Kakaobaum

Bilder zum Ausdrucken

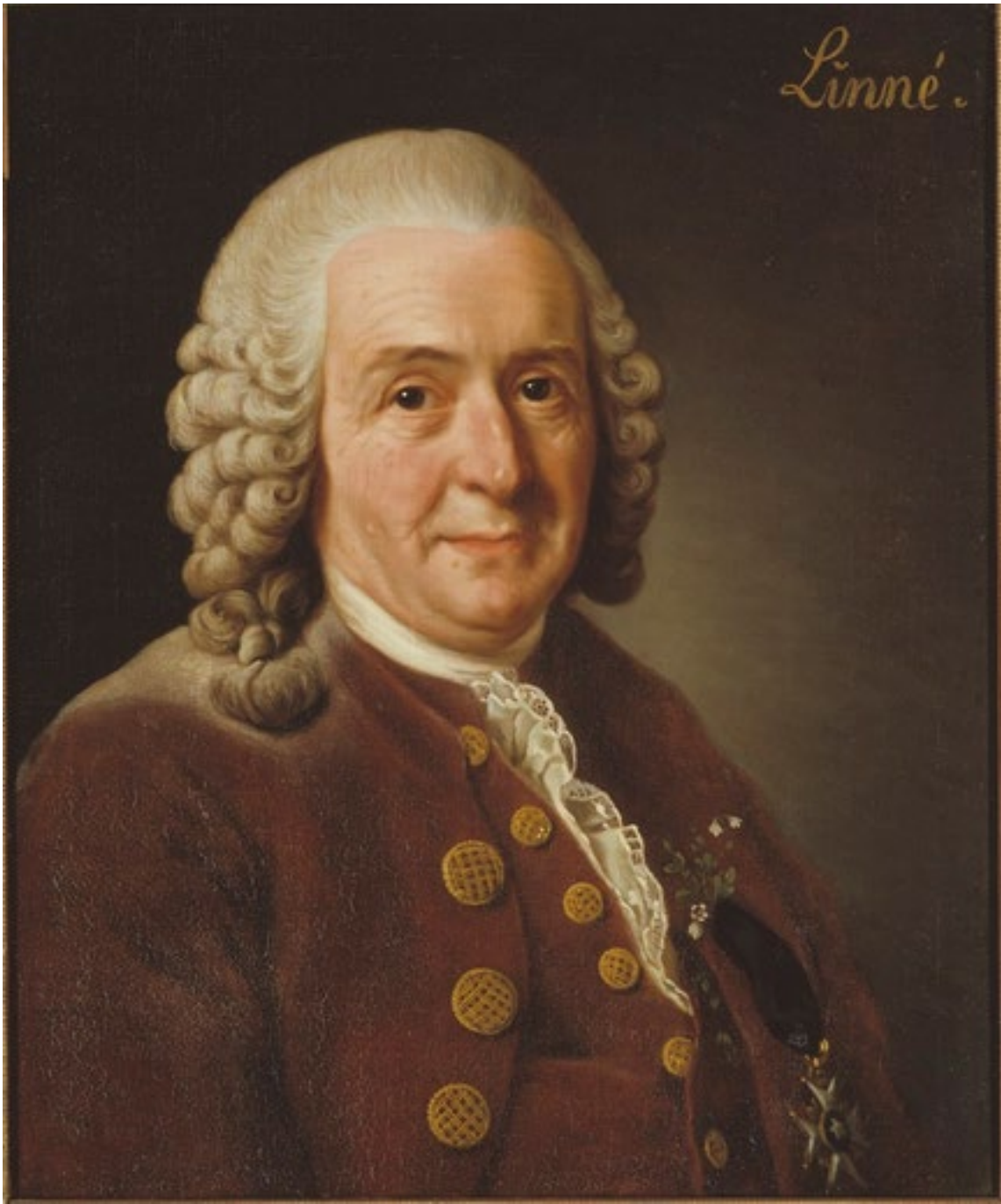
A) Geschichte















3 Klimawandel – Temperaturentwicklung

Ziele

- Die SuS können den Unterschied zwischen Wetter und Klima erklären.
- Die SuS können mithilfe vorgegebener Datensätze regionale und globale Temperaturentwicklungen analysieren.
- Die SuS entwickeln ein Bewusstsein dafür, dass das Klima sich verändert und dass Extremereignisse häufiger auftreten werden.

Überblick

- Analyse der monatlichen und jährlichen Durchschnittstemperaturen von Yaounde (Hauptstadt Kameruns) und weltweit
- Möglicher Exkurs: Treibhauseffekt

Zeitbedarf

- 90-135 Minuten

Material

- Arbeitsblätter für die SuS
- Taschenrechner

Lehrpersonenkommentar

Ablauf:

Die Aufgaben auf den Arbeitsblättern können in Einzelarbeit gelöst werden. Nach der individuellen Arbeit sollen die Aufgaben im Klassengespräch korrigiert und diskutiert werden.

Nachfolgend werden die Ziele, die sich mit den Aufgaben auf den Arbeitsblättern verbinden, kurz beschrieben:

Aufgabe 1: Die SuS kommentieren eine Aussage zur globalen Erwärmung.
(→ Abrufen und evtl. Hinterfragen von Präkonzepten der SuS. In Aufgabe 10 wird diese Konfrontationsaufgabe wieder aufgegriffen.)

Aufgabe 2: Die SuS lernen, wie eine monatliche Durchschnittstemperatur berechnet wird und skizzieren das Vorgehen dafür.
(→ Wissensaufbau)

Aufgaben 3-5: Die SuS schätzen die Temperaturkurve eines Jahres an ihrem Wohnort. Dann vergleichen sie ihre Schätzung mit gemessenen Daten.
(→ Abrufen von Vorkenntnissen und eigenen Erfahrungen, Einführung in die Handhabung von Grafiken)

Um Messdaten aus der eigenen Region zu erhalten, siehe:

-> <https://www.worldweatheronline.com/>

-> Ort in die Suchleiste eingeben

-> Den blauen Button «Avg» anklicken

-> Zur Grafik «Max, Min and Average Temperature» scrollen. Mit der Maus über die gewünschten Monate der «Avg Temp»-Kurve fahren, Werte ablesen und in eigene Tabelle übertragen.

Aufgabe 6: Die SuS kennen den Unterschied zwischen Wetter und Klima.
(→ *Wissensaufbau*)

Aufgabe 7: Die SuS berechnen Jahresmittelwerte und ergänzen eine Grafik.
(→ *Vertiefung des Umgangs mit Daten und Grafiken*)

Aufgabe 8: Die SuS verknüpfen den Begriff «Klima» mit einer Temperaturkurve und analysieren diese.
(→ *Wissensaufbau, Übung des Umgangs mit Daten und Grafiken*)

Aufgabe 9: Die SuS lesen, beschreiben, vergleichen und interpretieren eine Grafik zur globalen Temperaturentwicklung.
(→ *Wissenstransfer der Aufgaben 7 und 8*)

Aufgabe 10: Die Aussage von Aufgabe 1 wird erneut aufgenommen. Mithilfe des neu erworbenen Wissens sollten die SuS nun in der Lage sein, eine fundierte Antwort zu geben.
(→ *Synthese*)

Fachliche Hinweise (Hintergrundinfos für Lehrperson):

Informationen zur globalen Temperaturentwicklung

Die globalen Durchschnittstemperaturen steigen. Der International Panel on Climate Change (IPCC) kam zum Schluss, dass «der größte Teil des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich durch den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht wird».

Die längerfristigen Veränderungen der globalen Temperatur werden von kurzfristigen Schwankungen überlagert. Beispiele hierfür sind:

- Auffällige Temperaturspitzen in den Zeitreihen, wie sie Ende der 1870er Jahre und 1998 auftraten, zeigen die Auswirkungen der alle drei bis acht Jahre wiederkehrenden El Niño-Ereignisse auf die globalen Temperaturen.
- Kurze Einbrüche der globalen Temperatur können mit La Niña-Ereignissen in Verbindung gebracht werden, wie z.B. in den Jahren 1999-2000 und 2008.
- Auch Vulkanausbrüche führen zu einer vorübergehenden Abkühlung der Erdoberfläche. Vulkanausbrüche in der tropischen Zone (wie z.B. der Ausbruch des Mount Agung im Jahr 1963 und des Mount Pinatubo im Jahr 1991) haben grosse Auswirkungen auf die globalen Temperaturen, weil sich das vulkanische Material von der tropischen Zone aus in beide Hemisphären ausbreiten kann.

Quelle: <https://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/climate/surface-temperature>

Der weltweite Temperaturanstieg wurde zwischen 1945-1975 unterbrochen. Diese «Verschnaufpause» des Erwärmungstrends ist mit rund 30 Jahren zu lang, um durch Klimaschwankungen wie das El Niño-Phänomen oder Sonnenzyklen erklärt werden zu können. Eine mögliche Erklärung könnten Aerosole in der Stratosphäre sein, d.h. kleine Tröpfchen oder Staubpartikel, welche die Stratosphäre erreicht haben. Mit einer solchen Verdunkelung der Sonne durch Aerosole liesse sich die leichte Abkühlung in der Mitte des letzten Jahrhunderts erklären. Die wichtigste Rolle spielte dabei wohl die zunehmende Konzentration von Sulfatpartikeln, für die es gemäss Hypothese zwei Ursachen gab:

- Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden die industriellen Aktivitäten wiederaufgenommen, aber die Schornsteine von Kraftwerken oder Industrieanlagen hatten zu diesem Zeitpunkt noch kaum Filter, weshalb der Aerosolgehalt in der unteren Atmosphäre (Troposphäre) zunahm.
- Darüber hinaus gelangten durch mehrere Vulkanausbrüche grosse Mengen Aerosole in die obere Atmosphäre (Stratosphäre). Der erhöhte Aerosolgehalt führte dann zu der beobachteten Abkühlung.

Quelle: <https://www.klimafakten.de/behauptungen/behauptung-trotz-steigender-co2-emissionen-kuehlte-sich-die-erde-von-1945-bis-1975-ab>

3 Klimawandel – Temperaturentwicklung

A) Einführung

Aufgabe 1: Betrachte die Tabelle und lies Sams Aussage.

Monatliche Durchschnittstemperatur in Yaounde	
Februar 2017	29 °C
Februar 2018	27 °C



In Yaounde war die monatliche Durchschnittstemperatur im Februar 2018 zwei Grad tiefer als im Februar 2017. Das ist ein Zeichen dafür, dass das Klima in Yaounde sich abkühlt!

Sam

a) Glaubst du, dass Sam mit dieser Schlussfolgerung Recht hat? ja nein

b) Begründe deine Antwort:

c) Besprich deine Antwort zunächst mit deinem Sitznachbarn/deiner Sitznachbarin und anschliessend in der Klasse.

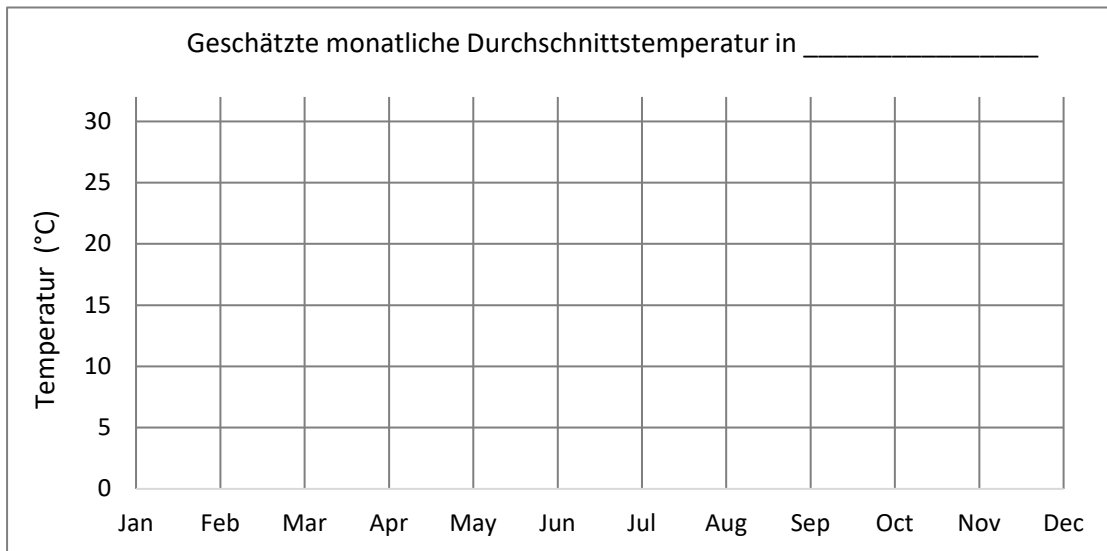
B) Monatliche Durchschnittstemperaturen



Die monatliche Durchschnittstemperatur eines Ortes wird aus den Tagesmittelwerten des jeweiligen Monats berechnet. Der Tagesmittelwert wird berechnet, indem die Lufttemperatur stündlich gemessen und anschliessend der Mittelwert berechnet wird.

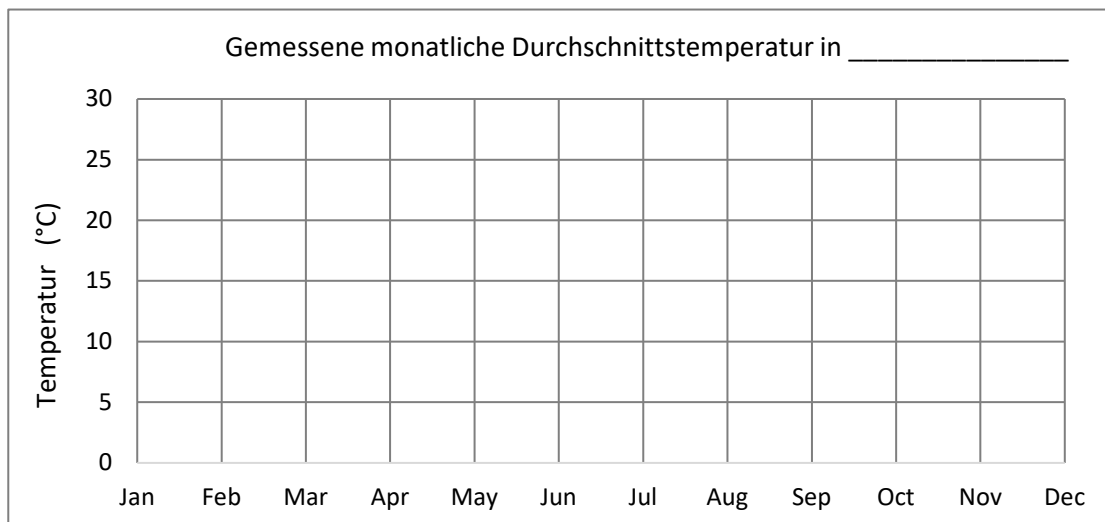
Aufgabe 2: Erkläre anhand einer Zeichnung, wie die monatliche Durchschnittstemperatur eines Ortes berechnet wird.

Aufgabe 3: Schätze die monatlichen Durchschnittstemperaturen an deinem Wohnort. Trage deine Schätzungen jeweils durch einen Punkt in die Grafik ein und verbinde die Punkte durch eine Linie.



Aufgabe 4: Recherchiere im Internet die gemessenen monatlichen Durchschnittstemperaturen an deinem Wohnort (oder in der Nähe) und notiere sie in der Tabelle. Übertrage die Werte anschliessend in die Grafik.

Wohnort	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez



Aufgabe 5: Beschreibe die Temperaturkurve in Aufgabe 4 (z.B. wann treten Maxima auf, wann Minima?). Vergleiche die Kurve mit deiner Schätzung in Aufgabe 3.

C) Jährliche Durchschnittstemperaturen in Kamerun

Aufgabe 6:

a) Lies nachfolgenden Informationstext aufmerksam durch. Fasse anschliessend in einem Satz zusammen, was die Begriffe *Wetter* und *Klima* bedeuten.

Wetter ist das, was wir täglich erleben. Es ist der wahrnehmbare, kurzfristige Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Punkt der Erdoberfläche, der sich als Sonnenschein, Wolken, Regen, Wind, Hitze oder Kälte manifestiert. Der Begriff «Klima» bezieht sich auf das durchschnittliche Wetter über einen längeren Zeitraum an einem bestimmten Ort. Das «Klima» ist also nirgendwo direkt messbar, sondern eine Statistik basierend auf vielen Messungen. Das Gebiet kann klein oder gross sein, eine Stadt oder ein Kontinent oder der ganze Globus. Der Zeitraum muss gross genug für die Bildung eines statistischen Mittelwertes sein. Als Referenzzeitraum für die Bestimmung des Klimas der Gegenwart gelten 30 Jahre, z.B. 1961 – 1990. Falls die Klimavariablen, d.h. Temperatur, Niederschlag, Wind, Verdunstung usw. um einen langjährigen Mittelwert schwanken, bleibt das Klima stabil. Wenn sich der Mittelwert und die Variabilität der Extreme erkennbar verändern, liegt eine Klimaveränderung vor.

Wetter: _____

Klima: _____

b) Entscheide, ob es bei den folgenden Aussagen ums *Wetter* oder ums *Klima* geht. Notiere *W* für Wetter und *K* für Klima.

___ «Morgen kommt ein starker Wind von Westen her auf».

___ «In Grönland gibt es nur im Sommer Temperaturen über 0 °C».

___ «Wegen des starken El Niño-Ereignisses im letzten Jahr gab es an der Westküste Südamerikas viele Überschwemmungen».

___ «Im tropischen Regenwald regnet es das ganze Jahr über gleichmässig».

c) Erfinde neue Aussagen und notiere, ob es dabei ums Wetter (W) oder ums Klima (K) geht.

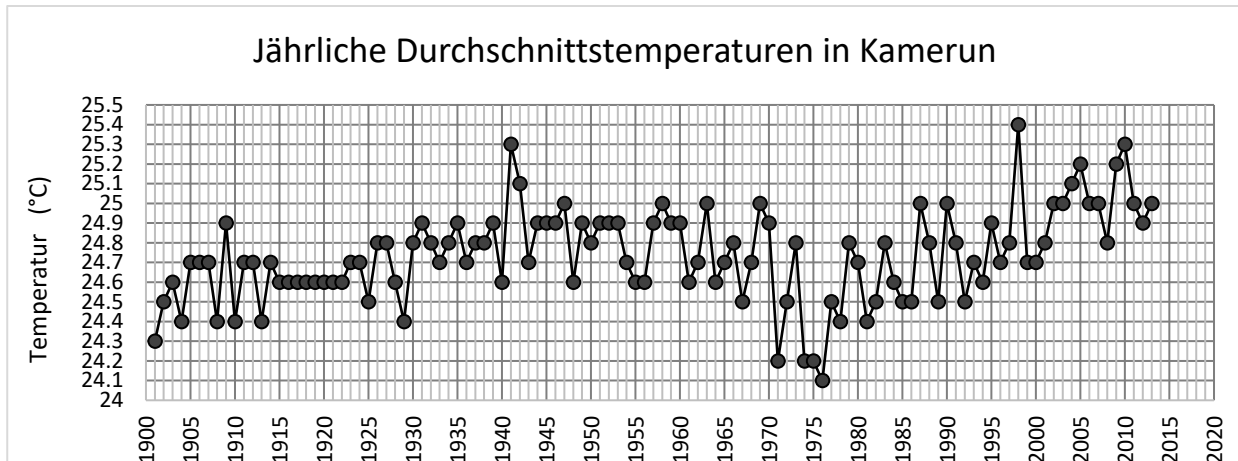
Aufgabe 7:

a) Berechne anhand der Daten in der Tabelle die jährlichen Durchschnittstemperaturen der Jahre 2014 – 2017 in Kamerun.

Jahr	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jährliche Durchschnittstemperatur (°C)
2014	24.9	25.9	26.9	27	25.9	25.3	23.9	23.7	23.9	24.7	24.8	23.8	
2015	24	25.8	27.2	26.9	26.3	24.8	24.5	24	23.9	25.1	24.8	23.3	
2016	24.5	26.4	27.6	27.5	26.1	24.8	23.9	23.8	24.3	25.1	25.2	24.7	
2017	25.1	26	26.1	27	26.1	24.9	23.9	23.7	24.1	24.9	24.6	24.6	

Tabelle 1: Monatliche und jährliche Durchschnittstemperaturen (°C) in Kamerun

b) Füge die berechneten Werte aus a) in folgende Grafik ein.



Aufgabe 8: Die *World Meteorological Organization (WMO)* hat sogenannte *Klima-Normalperioden* festgelegt. Diese beinhalten eine feste Referenzperiode von 30 Jahren. Solche Intervalle dienen u.a. der Vergleichbarkeit der Klimavariablen. Der Zeitraum von 1961-1990 wurde von der WMO als internationale gültige *Referenzperiode* definiert.



a) Berechne die Durchschnittstemperatur in Kamerun für die *Referenzperiode* von 1961-1990 (verwende dafür die jährlichen Durchschnittstemperaturen aus der oberen Grafik). _____

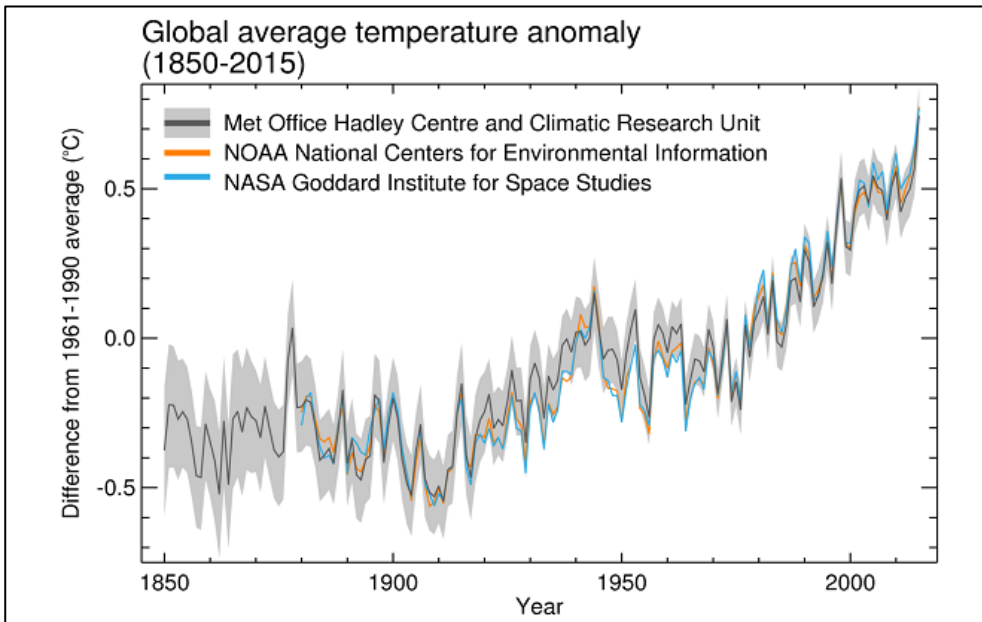
b) Zeichne die Durchschnittstemperatur der Referenzperiode als horizontale Linie in die Grafik oben ein. Färbe alle Punkte oberhalb der Durchschnittstemperatur rot ein, alle Punkte unterhalb der Durchschnittstemperatur blau.

c) Analysiere die Grafik oben:

- Beschreibe, wie sich die Temperatur in Kamerun seit 1900 verändert hat (z.B. Maximum, Minimum, Tendenz, Häufigkeit der Jahre unter/über der Durchschnittstemperatur).
- 1963, 1973 und 1998 waren starke El Niño-Jahre, 1999 und 2008 waren starke La Niña-Jahre. Betrachte die Durchschnittstemperaturen dieser Jahre in der Grafik. Was schliesst du aus den Zahlen?

D) Jährliche globale Durchschnittstemperaturen

Aufgabe 9:



Jährliche globale Durchschnittstemperaturanomalien (relativ zu 1961-1990) von 1850 bis 2015 gemäss verschiedenen Institutionen. Quelle: World Meteorological Organization

a) Beschreibe, was die Grafik zeigt. Achte vor allem auf Titel, Legende sowie x- und y-Achse.

b) Was sagt dir die Grafik in Bezug auf Temperaturschwankungen?

c) Vergleiche die Grafiken *Global average temperature anomaly* (Aufg. 9) und *Jährliche Durchschnittstemperaturen in Kamerun* (Aufg. 7). Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede siehst du?

d) Warum steigt die globale Temperatur auf der Erde? Nutze dein Wissen über den Treibhauseffekt für deine Erklärung.

Aufgabe 10: Sieh dir Sams Aussage noch einmal an. Wie könnte Alice darauf antworten?



Sam

In Yaounde war die monatliche Durchschnittstemperatur im Februar 2018 zwei Grad tiefer als im Februar 2017. Das ist ein Zeichen dafür, dass das Klima in Yaounde sich abkühlt!



Alice

E) Exkurs: Treibhauseffekt

Die meisten Sonnenstrahlen gelangen relativ ungehindert durch die Atmosphäre auf die Erde. Wenn die Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche treffen, erwärmen sie diese. Kurzwellige Sonnenstrahlung wird so in Wärmeenergie umgewandelt. Wir kennen alle den Effekt, dass sich dunkle Gegenstände erwärmen, wenn sie in der Sonne liegen. Die Wärmeenergie wird als langwellige Wärmestrahlung von der Erdoberfläche wieder zurückgestrahlt. Ein kleiner Teil der Sonnenstrahlen wird jedoch nicht in Wärmeenergie umgewandelt, sondern reflektiert, beispielsweise wenn die Sonnenstrahlen auf Eisflächen oder Wolken treffen.

Wenn die gesamte langwellige Wärmestrahlung wieder in den Weltraum gelangen würde, wäre es auf der Erde bitterkalt: Durchschnittlich $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$! Bei solchen Temperaturen wäre auf der Erde kein Leben möglich.

Heute liegt die Durchschnittstemperatur aber bei ungefähr $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das liegt an den sogenannten *Treibhausgasen* in der Atmosphäre (\rightarrow siehe Kasten). Diese halten einen Teil der langwelligen Wärmestrahlung zurück, wodurch sich die Atmosphäre und die Erdoberfläche zusätzlich erwärmen (*siehe Abbildung unten*). Die Treibhausgase tragen diesen Namen, weil sie wie das Glasdach in einem Treibhaus wirken. Den Einfluss der Treibhausgase auf die globale Temperatur nennt man *Treibhauseffekt*.

Aufgabe 1: Im Text wurde der Treibhauseffekt beschrieben. Betrachte die folgende Abbildung und erkläre den Treibhauseffekt schrittweise (1-5) in eigenen Worten.

Was sind Treibhausgase?

Treibhausgase sind gasförmige Bestandteile der Atmosphäre, die den sogenannten Treibhauseffekt verursachen. Beispiele von Treibhausgasen sind:

- Wasserdampf (H_2O)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Methan (CH_4)
- Ozon (O_3)
- Lachgas (N_2O)

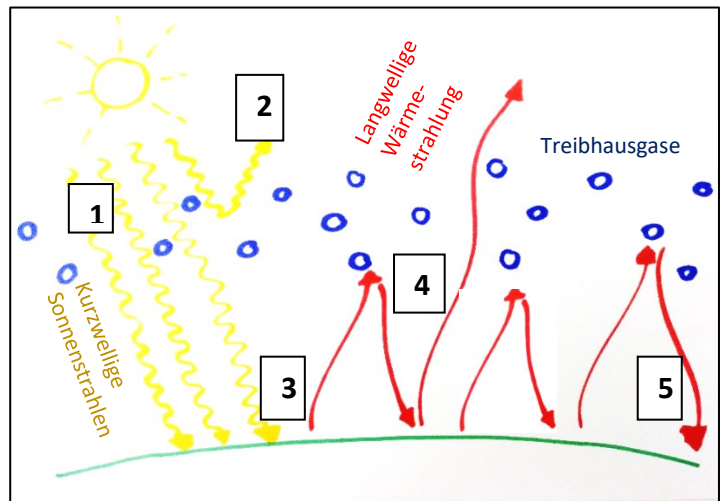
(1) _____

(2) _____

(3) _____

(4) _____

(5) _____



Aufgabe 2: Beantworte nun mit deinem Wissen über den Treibhauseffekt folgende Fragen.


a) Wie wäre der Zustand der Erde ohne den natürlichen Treibhauseffekt?

b) Was geschieht mit der durchschnittlichen Temperatur auf der Erde, wenn sich der Anteil des Kohlenstoffdioxids (CO₂) in der Atmosphäre erhöht?

- Die Temperatur bleibt unverändert.
- Die Temperatur steigt.
- Die Temperatur sinkt.

Begründe deine Antwort anhand einer Skizze.

Skizze:



3 Klimawandel – Temperaturentwicklung

A) Einführung

Lösung

Aufgabe 1: Betrachte die Tabelle und lies Sams Aussage.

Monatliche Durchschnittstemperatur in Yaounde	
Februar 2017	29 °C
Februar 2018	27 °C



Sam

In Yaounde war die monatliche Durchschnittstemperatur im Februar 2018 zwei Grad tiefer als im Februar 2017. Das ist ein Zeichen dafür, dass das Klima in Yaounde sich abkühlt!

a) Glaubst du, dass Sam mit dieser Schlussfolgerung Recht hat? ja nein

b) Begründe deine Antwort:

Individuelle Antworten

Es geht hier um die subjektive Einschätzung der SuS, nicht um deren Richtigkeit. Im Verlauf der weiteren Aufgaben sollte sich diese (allenfalls nicht korrekte) Einschätzung ändern. Umso ergiebiger kann die erneute Auseinandersetzung mit der hier gegebenen Antwort am Schluss dieses Kapitels sein (vgl. Aufgabe 10).

c) Besprich deine Antwort zunächst mit deinem Sitznachbarn/deiner Sitznachbarin und anschliessend in der Klasse.

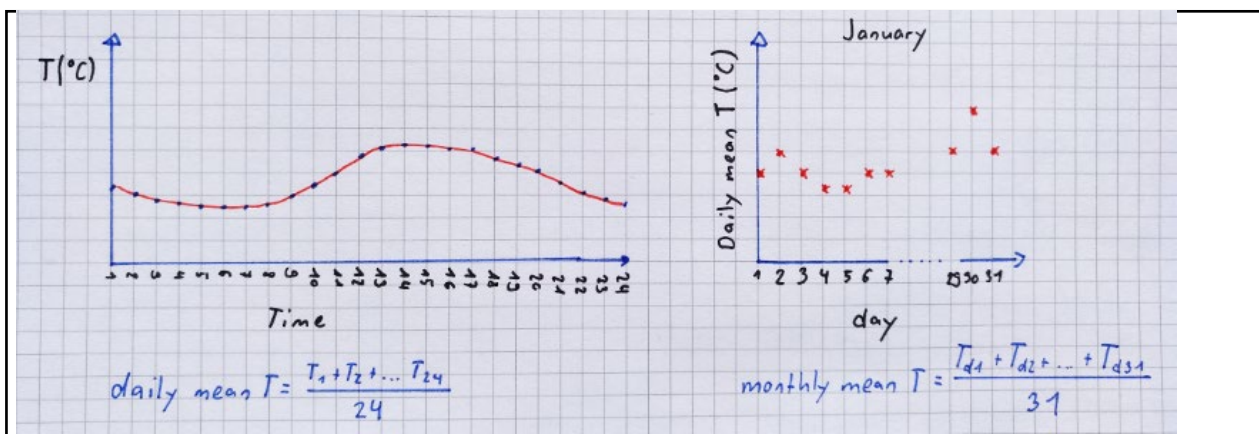
B) Monatliche Durchschnittstemperaturen

Lösung

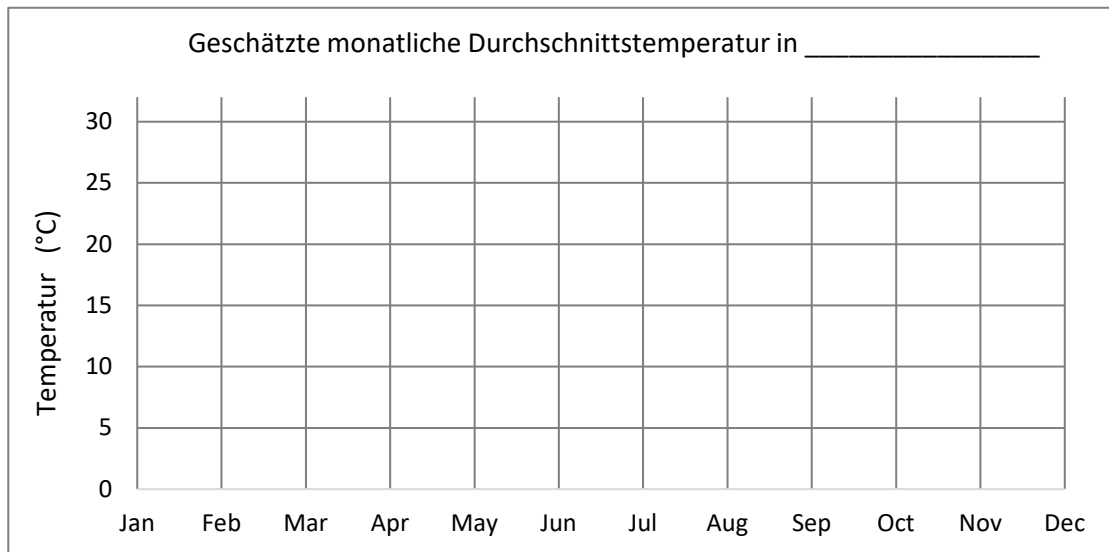


Die monatliche Durchschnittstemperatur eines Ortes wird aus den Tagesmittelwerten des jeweiligen Monats berechnet. Der Tagesmittelwert wird berechnet, indem die Lufttemperatur stündlich gemessen und anschliessend der Mittelwert berechnet wird.

Aufgabe 2: Erkläre anhand einer Zeichnung, wie die monatliche Durchschnittstemperatur eines Ortes berechnet wird.



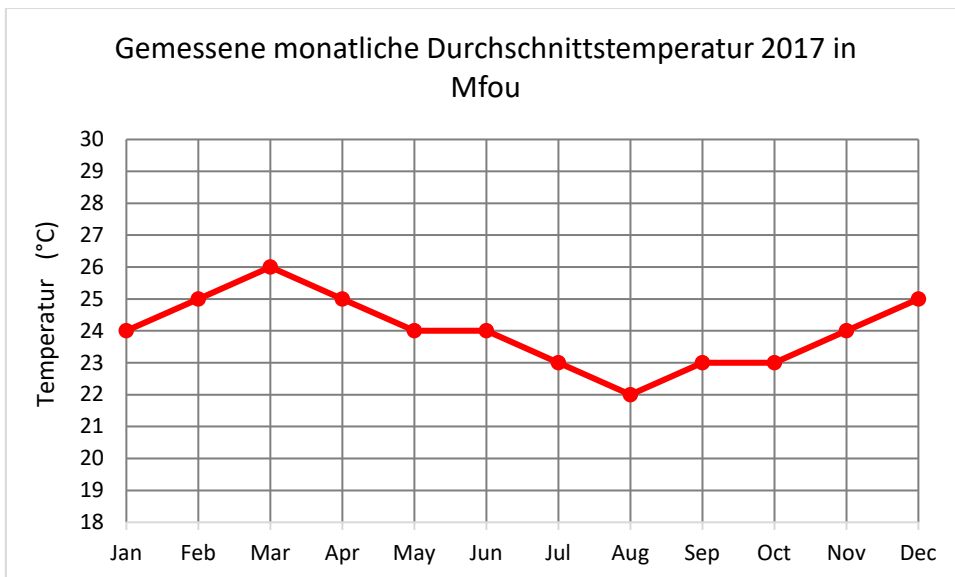
Aufgabe 3: Schätze die monatlichen Durchschnittstemperaturen an deinem Wohnort. Trage deine Schätzungen jeweils durch einen Punkt in die Grafik ein und verbinde die Punkte durch eine Linie. **Individuelle Kurven**



Aufgabe 4: Recherchiere im Internet die gemessenen monatlichen Durchschnittstemperaturen an deinem Wohnort (oder in der Nähe) und notiere sie in der Tabelle. Übertrage die Werte anschliessend in die Grafik.

Wohnort	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ortsabhängige Resultate												

Beispiel Mfou, Kamerun:



Aufgabe 5: Beschreibe die Temperaturkurve in Aufgabe 4 (z.B. wann treten Maxima auf, wann Minima?). Vergleiche die Kurve mit deiner Schätzung in Aufgabe 3.

Beispiel Mfou: Die Höchsttemperatur wird im März erreicht (26°C); die Mindesttemperatur wird im August erreicht (22°C).

Vergleich zu Aufgabe 3: Individuelle Antworten

Aufgabe 6:

a) Lies nachfolgenden Informationstext aufmerksam durch. Fasse anschliessend in einem Satz zusammen, was die Begriffe *Wetter* und *Klima* bedeuten.

Wetter ist das, was wir täglich erleben. Es ist der wahrnehmbare, kurzfristige Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Punkt der Erdoberfläche, der sich als Sonnenschein, Wolken, Regen, Wind, Hitze oder Kälte manifestiert. Der Begriff «Klima» bezieht sich auf das durchschnittliche Wetter über einen längeren Zeitraum an einem bestimmten Ort. Das «Klima» ist also nirgendwo direkt messbar, sondern eine Statistik basierend auf vielen Messungen. Das Gebiet kann klein oder gross sein, eine Stadt oder ein Kontinent oder der ganze Globus. Der Zeitraum muss gross genug für die Bildung eines statistischen Mittelwertes sein. Als Referenzzeitraum für die Bestimmung des Klimas der Gegenwart gelten 30 Jahre, z.B. 1961 – 1990. Falls die Klimavariablen, d.h. Temperatur, Niederschlag, Wind, Verdunstung usw. um einen langjährigen Mittelwert schwanken, bleibt das Klima stabil. Wenn sich der Mittelwert und die Variabilität der Extreme erkennbar verändern, liegt eine Klimaveränderung vor.

Wetter: **beschreibt den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt**

Klima: **meint das "durchschnittliche Wetter" einer Region, gemessen über mindestens 30 Jahre**

b) Entscheide, ob es bei den folgenden Aussagen ums *Wetter* oder ums *Klima* geht. Notiere *W* für Wetter und *K* für Klima.

W «Morgen kommt ein starker Wind von Westen her auf».

K «In Grönland gibt es nur im Sommer Temperaturen über 0 °C».

W «Wegen des starken El Niño-Ereignisses im letzten Jahr gab an der Westküste Südamerikas viele Überschwemmungen».

K «Im tropischen Regenwald regnet es das ganze Jahr über gleichmässig».

c) Erfinde neue Aussagen und notiere, ob es dabei ums Wetter (*W*) oder ums Klima (*K*) geht.

Individuelle Antworten

W: Gestern hat es in Zürich geregnet.

K: In der Antarktis hat es relativ wenige Tiere, weil es ständig sehr kalt ist.

W: Am letzten Sonntag herrschte den ganzen Tag über strahlender Sonnenschein.

K: In Yaounde regnet es im Sommer mehr als im Winter.

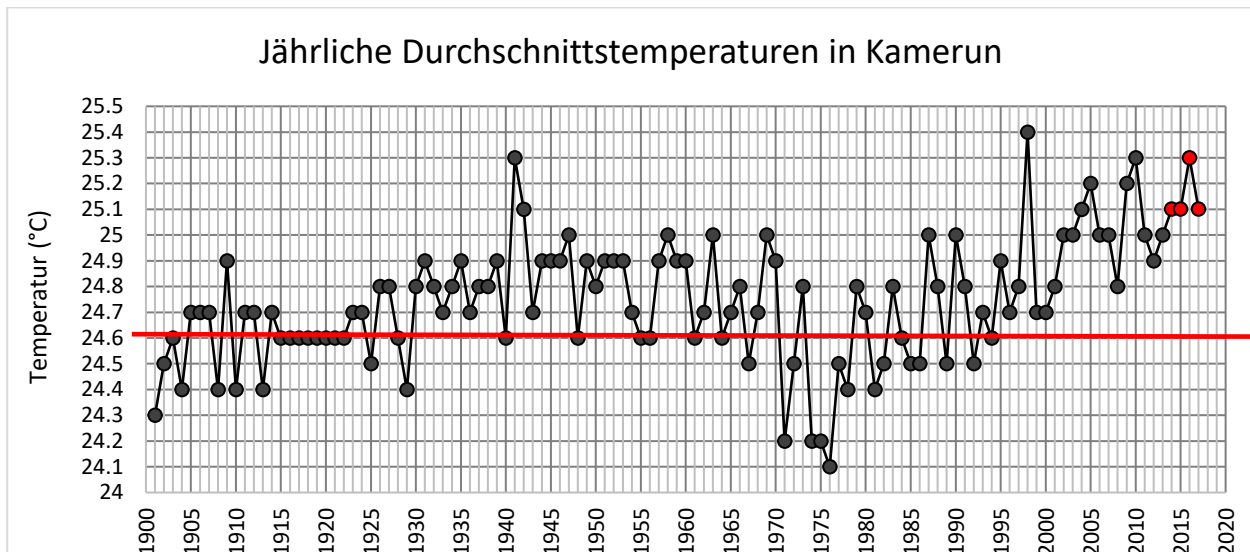
Aufgabe 7:

a) Berechne anhand der Daten in der Tabelle die jährlichen Durchschnittstemperaturen der Jahre 2014 – 2017 in Kamerun.

Jahr	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Durchschnitts-temp. (°C)
2014	24.9	25.9	26.9	27	25.9	25.3	23.9	23.7	23.9	24.7	24.8	23.8	25.1
2015	24	25.8	27.2	26.9	26.3	24.8	24.5	24	23.9	25.1	24.8	23.3	25.1
2016	24.5	26.4	27.6	27.5	26.1	24.8	23.9	23.8	24.3	25.1	25.2	24.7	25.3
2017	25.1	26	26.1	27	26.1	24.9	23.9	23.7	24.1	24.9	24.6	24.6	25.1

Tabelle 1: Monatliche und jährliche Durchschnittstemperaturen (°C) in Kamerun

b) Füge die berechneten Werte aus a) in folgende Grafik ein.



Aufgabe 8: Die *World Meteorological Organization* (WMO) hat sogenannte *Klima-Normalperioden*



festgelegt. Diese beinhalten eine feste Referenzperiode von 30 Jahren. Solche Intervalle dienen u.a. der Vergleichbarkeit der Klimavariablen untereinander. Der Zeitraum von 1961-1990 wurde von der WMO als international gültige *Referenzperiode* definiert.

a) Berechne die Durchschnittstemperatur in Kamerun für die *Referenzperiode* von 1961-1990 (verwende dafür die jährlichen Durchschnittstemperaturen aus der Grafik). = 24.6 °C

b) Zeichne die Durchschnittstemperatur der Referenzperiode als horizontale Linie in die Grafik oben ein. Färbe alle Punkte oberhalb der Durchschnittstemperatur rot ein, alle Punkte unterhalb der Durchschnittstemperatur blau.

c) Analysiere die Grafik oben:

1) Beschreibe, wie sich die Temperatur in Kamerun seit 1900 verändert hat (z.B. Maximum, Minimum, Tendenz, Häufigkeit der Jahre unter/über der Durchschnittstemperatur).

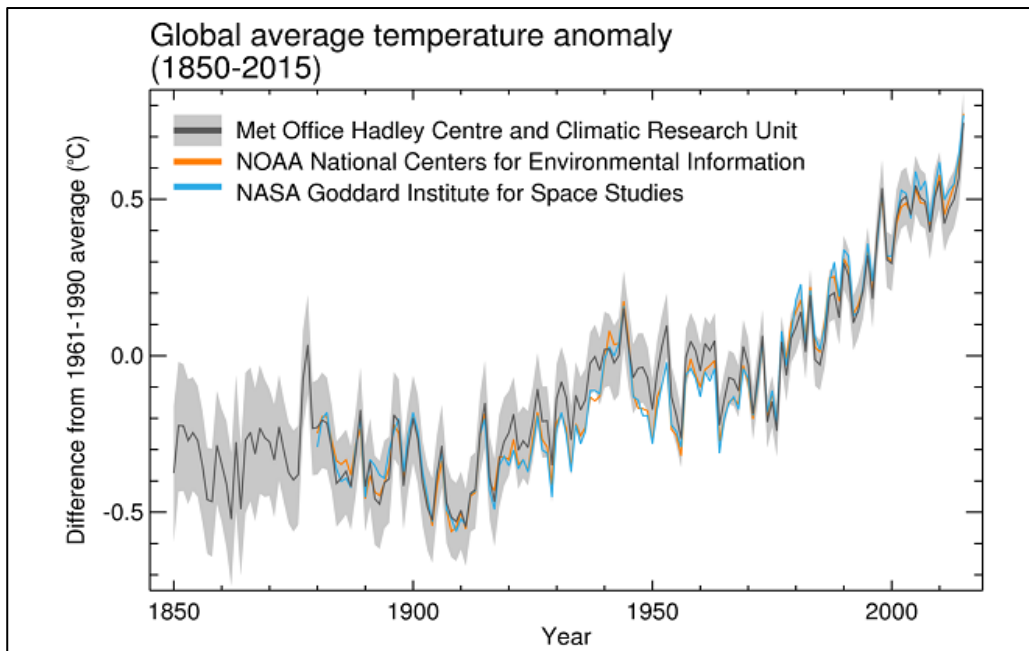
2) 1963, 1973 und 1998 waren starke El Niño-Jahre, 1999 und 2008 waren starke La Niña-Jahre.

Betrachte die Durchschnittstemperaturen dieser Jahre in der Grafik. Was schliesst du aus den Zahlen?

1) Die jährliche Durchschnittstemperatur schwankt ständig. Betrachtet man den gesamten Zeitraum, so lässt sich ein Trend zum Temperaturanstieg erkennen. Zwischen 1930 und 1970 blieb die Temperatur relativ konstant. Nach 1975 stieg sie insgesamt an. Seit 1994 sind die Durchschnittstemperaturen in den meisten Jahren höher als der Durchschnitt der Jahre 1961-1990. Wärmere Jahre scheinen häufiger zu werden.

2) Die Durchschnittstemperaturen sind während starker El Niño-Jahre eher höher und während starker La Niña-Jahre eher tiefer.

Aufgabe 9:



Grafik: Jährliche globale Durchschnittstemperaturanomalien (relativ zu 1961-1990) von 1850 bis 2015 von verschiedenen Agenturen. Quelle: World Meteorological Organization

a) Beschreibe, was die Grafik zeigt. Achte vor allem auf Titel, Legende sowie x- und y-Achse.

Der Begriff Temperaturanomalie bedeutet eine Abweichung von einem Referenzwert oder Langzeitmittelwert. Der in dieser Grafik verwendete Referenzwert ist die Durchschnittstemperatur der Jahre 1961-1990. Eine positive Anomalie zeigt an, dass die gemessene Temperatur höher als der Referenzwert war, während eine negative Anomalie anzeigt, dass die gemessene Temperatur tiefer als der Referenzwert war. Die Grafik zeigt die Ergebnisse von drei Institutionen, die jeden Monat die globale Durchschnittstemperatur berechnen.

Hinweis: Anomalien werden verwendet, weil sie über grosse Gebiete relativ konstant sind, auch wenn die tatsächliche Temperatur an verschiedenen Orten recht unterschiedlich ist. Und sie tragen dazu bei, Verzerrungen zu vermeiden, indem sie die Datensätze weniger empfindlich für fehlende Daten machen. Diese Institutionen arbeiten unabhängig voneinander und verwenden unterschiedliche Methoden der Datensammlung und -verarbeitung für die Berechnung der globalen Durchschnittstemperatur. Die schwarze Linie und die graue Fläche bei den Daten des *Met Office Hadley Centre* repräsentieren den Mittelwert und den Unsicherheitsbereich von 95%.

Für weitere Informationen siehe: <https://www.metoffice.gov.uk/climate-guide/science/temp-records>

b) Was sagt dir die Grafik in Bezug auf Temperaturschwankungen?

- Die globalen Temperaturen schwanken jährlich. Insgesamt steigt die globale Temperatur seit 1900.
- Zwischen 1945 und 1975 stagnierte die Temperatur (wahrscheinlich aufgrund von Aerosolen oder aufgrund der internen Variabilität des Klimasystems, z.B. der Umverteilung von Energie in die Ozeane).

c) Vergleiche die Grafiken *Global average temperature anomaly* (Aufg. 9) und *Jährliche Durchschnittstemperaturen in Kamerun* (Aufg. 7). Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede siehst du?

Gemeinsamkeiten: Die Temperatur steigt bis 1950, dann stagniert sie bis 1980. Danach steigt die Temperatur wieder an.

Unterschiede: Die Grafik für Kamerun verwendet absolute Temperaturen, die Anomalie-Grafik verwendet Temperaturanomalien (Abweichungen vom Durchschnitt der Jahre 1961-1990). Die jährlichen Temperaturschwankungen in Kamerun sind viel stärker als die globalen Schwankungen (weil regionale Schwankungen global kompensiert werden können). Die Auswirkungen von El Niño und La Niña sind in der Grafik von Kamerun deutlicher zu erkennen.

d) Warum steigt die globale Temperatur auf der Erde? Nutze dein Wissen über den Treibhauseffekt für deine Erklärung.

(Wiederholung des Treibhauseffekts. Siehe Arbeitsblatt *Exkurs: Treibhauseffekt*, falls dieses Thema noch nicht im Unterricht behandelt wurde.)

Immer mehr Treibhausgase werden in die Atmosphäre ausgestossen. Dadurch wird mehr langwellige Wärmestrahlung auf der Erde zurückgehalten, was zu einer Erwärmung führt.

Aufgabe 10: Sieh dir Sams Aussage noch einmal an. Wie könnte Alice darauf antworten?



Sam

In Yaounde war die monatliche Durchschnittstemperatur im Februar 2018 zwei Grad tiefer als im Februar 2017. Das ist ein Zeichen dafür, dass das Klima in Yaounde sich abkühlt!



Alice

Ich bin nicht einverstanden.
Es ist normal, dass die Durchschnittstemperatur von Jahr zu Jahr schwankt. Manchmal ist es kälter, manchmal wärmer. Dies ist noch keine Aussage über das Klima. Das Klima bezieht sich nämlich auf die Durchschnittstemperatur über einen längeren Zeitraum, mindestens 30 Jahre. Wenn wir uns die Langzeitdaten ansehen, stellen wir fest, dass die Temperatur insgesamt steigt.

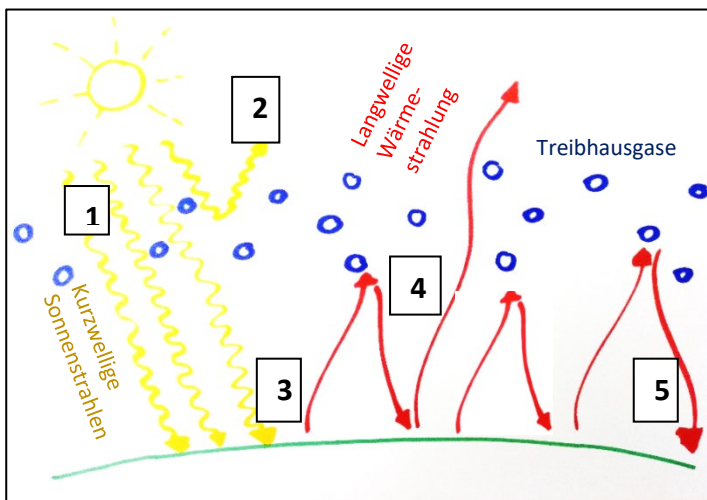
E) Exkurs: Treibhauseffekt

Die meisten Sonnenstrahlen gelangen relativ ungehindert durch die Atmosphäre auf die Erde. Wenn die Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche treffen, erwärmen sie diese. Kurzwellige Sonnenstrahlung wird so in Wärmeenergie umgewandelt. Wir kennen alle den Effekt, dass sich dunkle Gegenstände erwärmen, wenn sie in der Sonne liegen. Die Wärmeenergie wird als langwellige Wärmestrahlung von der Erdoberfläche wieder zurückgestrahlt. Ein kleiner Teil der Sonnenstrahlen wird jedoch nicht in Wärmeenergie umgewandelt, sondern reflektiert, beispielsweise wenn die Sonnenstrahlen auf Eisflächen oder Wolken treffen.

Wenn die gesamte langwellige Wärmestrahlung wieder in den Weltraum gelangen würde, wäre es auf der Erde bitterkalt: Durchschnittlich $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$! Bei solchen Temperaturen wäre auf der Erde kein Leben möglich.

Heute liegt die Durchschnittstemperatur aber bei ungefähr $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das liegt an den sogenannten *Treibhausgasen* in der Atmosphäre (\rightarrow siehe Kasten). Diese halten einen Teil der langwelligen Wärmestrahlung zurück, wodurch sich die Atmosphäre und die Erdoberfläche zusätzlich erwärmen (siehe Abbildung unten). Die Treibhausgase tragen diesen Namen, weil sie wie das Glasdach in einem Treibhaus wirken. Den Einfluss der Treibhausgase auf die globale Temperatur nennt man *Treibhauseffekt*.

Aufgabe 1: Im Text wurde der Treibhauseffekt beschrieben. Betrachte untenstehende Abbildung und erkläre den Treibhauseffekt in eigenen Worten.



Lösung:

- 1) Kurzwellige Sonnenstrahlen durchdringen die Atmosphäre relativ ungehindert.
- 2) Ein Teil der kurzwelligen Strahlen wird reflektiert.
- 3) Sonnenstrahlen werden in Wärmestrahlung umgewandelt und Richtung Weltall zurückgestrahlt.
- 4) Treibhausgase halten einen Teil der Wärmestrahlung zurück.
- 5) Durch den Treibhauseffekt werden Erdoberfläche und Atmosphäre zusätzlich erwärmt.

Was sind Treibhausgase?

Treibhausgase sind gasförmige Bestandteile der Atmosphäre, die den sogenannten Treibhauseffekt verursachen. Beispiele von Treibhausgasen sind:

- Wasserdampf (H_2O)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Methan (CH_4)
- Ozon (O_3)
- Lachgas (N_2O)

Aufgabe 2: Beantworte nun mit deinem Wissen über den Treibhauseffekt folgende Fragen.

a) Wie wäre der Zustand der Erde ohne den natürlichen Treibhauseffekt?

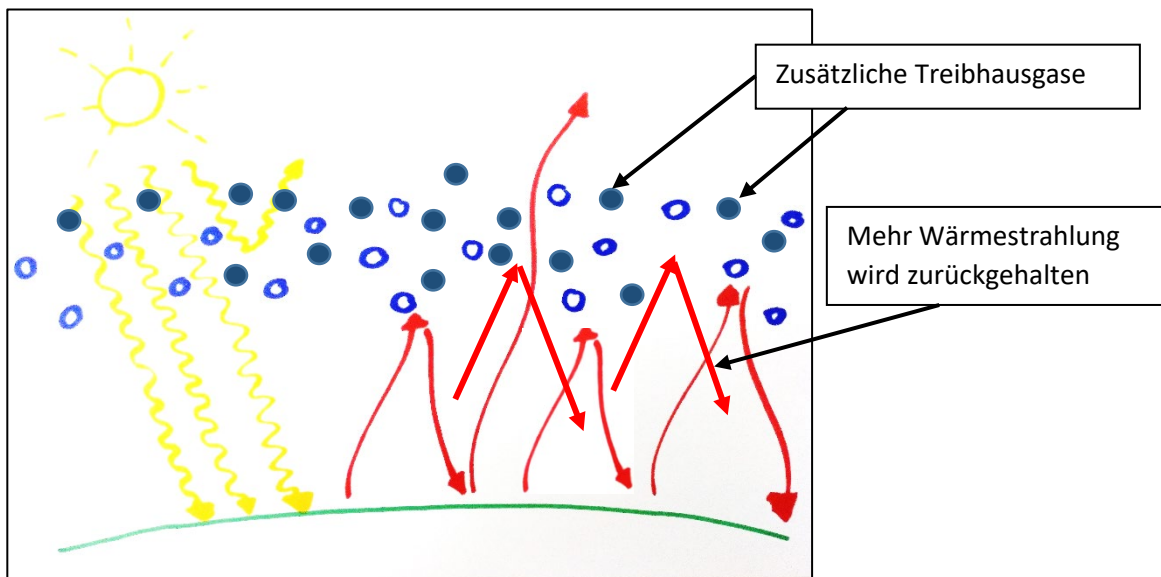
Alles Wasser wäre gefroren, es wäre kein Leben möglich.

b) Was geschieht mit der durchschnittlichen Temperatur auf der Erde, wenn sich der Anteil des Kohlenstoffdioxids (CO₂) in der Atmosphäre erhöht?

- Die Temperatur bleibt unverändert.
- Die Temperatur steigt.
- Die Temperatur sinkt.

Begründe deine Antwort anhand einer Skizze.

Skizze:



4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

Ziele

- Die SuS können Messungen von Umweltfaktoren auf dem Schulgelände durchführen.
- Die SuS können Messdaten dokumentieren, analysieren und interpretieren.

Überblick

- Messung von Temperatur, Licht, Bodenfeuchtigkeit und Biomasse
- Analyse und Interpretation von vorgegebenen wissenschaftlichen Daten

Zeitbedarf

- A) Temperatur: 45 Minuten
- B) Licht: 45 Minuten
- C) Bodenfeuchtigkeit: 45 + 45 Minuten
- D) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: 45 Minuten

Material

- Arbeitsblätter für die SuS
- Thermometer (Anzeigegenauigkeit: 0,1 °C)
- Messband (30m)
- Backformen oder kleine Plastiksäckchen
- Waage (Anzeigegenauigkeit 0,1 g)
- Ofen oder Wärmelampe
- A3 Papier
- Schnur
- Taschenrechner
- Doppelmeter
- Gartenschaufel
- Holzdichte-Liste

Lehrpersonenkommentar

Didaktische Hinweise:

Für den Vergleich von Kakaopflanzungen in Monokulturen und in Agroforstsystemen ist es wichtig, einige Parameter genauer zu analysieren. Um diese Parameter besser verstehen zu können, ist es für die SuS vorteilhaft, wenn sie selbst erfahren, wie diese Parameter gemessen werden. Deshalb werden auf dem Schulgelände vier Messungen durchgeführt. Nach jeder Messung untersuchen und interpretieren die SuS Daten aus einer wissenschaftlichen Studie zu diesem Parameter.

Hinweis: Sollte es nicht möglich sein, die Messungen auf dem Schulgelände durchzuführen, kann auch nur mit den Daten aus der wissenschaftlichen Studie gearbeitet werden. Es wäre aber sinnvoll, in diesem Fall die Messtechniken im Unterricht zu besprechen.

Ablauf:

A) Temperatur

→ Arbeitsblatt A1) Temperatur: Messungen auf dem Schulgelände

- Das Arbeitsblatt wird mit den SuS im Klassenunterricht durchgelesen und Fragen werden geklärt.
- Gruppenbildung: 2-4 SuS pro Gruppe
- Die SuS schreiben zuerst ihre Hypothesen auf und führen danach die Messungen durch.
- Zurück im Klassenzimmer analysieren die SuS ihre Messungen.
- Die Ergebnisse der Gruppen werden im Plenum gesammelt und diskutiert. (→ Wo wurde die höchste/tiefste Temperatur gemessen? Wie stark schwanken die Temperaturen?)
- Fachlich-methodischer Hinweis: Die Temperaturmessung bei voller Exposition (mit einem Standardthermometer) ist in der Wissenschaft keine konsistente Messung, da Strahlungsenergie vom Thermometer absorbiert werden kann und die gezeigte Temperatur somit zu hoch ist.

→ Arbeitsblatt A2) Temperatur: Datenanalyse

Aufgabe 1: Für diese Aufgabe müssen die Temperaturdaten des Vortages zur Verfügung stehen. Temperaturmesswerte von vielen Wetterstationen können abgerufen werden unter:

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/messwerte.html?param=messwerte-lufttemperatur-10min>

Aufgaben 2 und 3: Die Aufgaben können nach dem *Think-Pair-Share-Prinzip* bearbeitet werden. Die SuS sollen die Aufgaben zunächst selbstständig lösen (*think*). Danach sollen sie ihre Lösungen mit einem Partner oder einer Partnerin austauschen (*pair*). Zum Schluss werden die individuellen Ergebnisse präsentiert und in der Klasse diskutiert (*share*), damit die SuS ihre Lösungen ergänzen können.

B) Licht

→ Arbeitsblatt B1) Licht: Messungen auf dem Schulgelände

- Das Arbeitsblatt wird mit den SuS im Klassenunterricht durchgelesen und Fragen werden geklärt. Es sollte sichergestellt werden, dass die SuS die schematischen Darstellungen verstehen (→ Beispiel machen).
- Gruppenbildung: 2-4 SuS pro Gruppe
- Die SuS führen die Messungen durch.
- Zurück im Klassenzimmer analysieren die SuS ihre Messungen.
- Die Ergebnisse der Gruppen werden im Plenum gesammelt und diskutiert. (→ Welche Baumarten spenden viel/wenig Schatten? Wie stark schwanken die Lichtverhältnisse unter einem Baum?)

→ Arbeitsblatt B2) Licht: Datenanalyse

Die Aufgaben können nach dem *Think-Pair-Share-Prinzip* bearbeitet werden. Die SuS sollen die Aufgaben zunächst selbstständig lösen (*think*). Danach sollen sie ihre Lösungen mit einem Partner oder einer Partnerin austauschen (*pair*). Zum Schluss werden die individuellen Ergebnisse präsentiert und in der Klasse diskutiert (*share*), damit die SuS ihre Lösungen ergänzen können.

C) Bodenfeuchtigkeit

→ Arbeitsblatt C1) Bodenfeuchtigkeit: Messungen auf dem Schulgelände

- Die Messung sollte nach mehreren Tagen Trockenheit durchgeführt werden, da sonst kaum Unterschiede in der Bodenfeuchte festzustellen sind.
- Das Arbeitsblatt wird mit den SuS im Klassenunterricht durchgelesen und Fragen werden geklärt.
- Gruppenbildung: 2-4 SuS pro Gruppe
- Es ist wichtig, dass die SuS die versiegelbaren Bodenprobebehälter (Büchsen oder Plastikbeutel) im Voraus wiegen. Jeder Behälter ist mit einer Identifikationsnummer und der Masse zu beschriften (Permanentfilzstift).
- Es ist wichtig, dass die SuS die Anleitung auf dem Arbeitsblatt Schritt für Schritt durchführen.
- Die getrockneten Bodenproben können erst nach einigen Tagen gemessen werden. Dies muss bei der Planung des Unterrichts berücksichtigt werden.
- Wenn alle Messungen abgeschlossen sind, analysieren die SuS ihre Ergebnisse.
- Die Ergebnisse der Gruppen werden im Plenum gesammelt und diskutiert. (→ Gibt es eine Veränderung der Bodenfeuchte entlang eines Transekts? Wie verändert sie sich? Gibt es Unterschiede zwischen den Baumarten?)

→ Arbeitsblatt C2) Bodenfeuchtigkeit: Datenanalyse

Diese Aufgaben können nach dem *Think-Pair-Share-Prinzip* bearbeitet werden. Die SuS sollen die Aufgaben zunächst selbstständig lösen (*think*). Danach sollen sie ihre Lösungen mit einem Partner oder einer Partnerin austauschen (*pair*). Zum Schluss werden die individuellen Ergebnisse präsentiert und in der Klasse diskutiert (*share*), damit die SuS ihre Lösungen ergänzen können.

D) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung

→ Arbeitsblatt D1) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: Messungen auf dem Schulgelände

- Das Arbeitsblatt wird mit den SuS im Klassenunterricht durchgelesen und Fragen werden geklärt.
- Die SuS brauchen Informationen zur Holzdichte der Bäume auf dem Schulgelände. In der Exceldatei *GlobalWoodDensityDatabase.xls* (siehe <https://vdocuments.mx/global-wood-density-database-dryadxls.html>) sind die Holzdichten der häufigsten Bäume (mit lateinischen Namen) zu finden.
- Gruppenbildung: 2-4 SuS pro Gruppe
- Die SuS bestimmen die Biomasse und Kohlenstoffspeicherung von drei verschiedenen Bäumen auf dem Schulgelände.
- Die Ergebnisse der Gruppen werden im Plenum gesammelt und diskutiert.

→ Arbeitsblatt D2) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: Datenanalyse

Diese Aufgaben können nach dem *Think-Pair-Share-Prinzip* bearbeitet werden. Die SuS sollen die Aufgaben zunächst selbstständig lösen (*think*). Danach sollen sie ihre Lösungen mit einem Partner oder einer Partnerin austauschen (*pair*). Zum Schluss werden die individuellen Ergebnisse präsentiert und in der Klasse diskutiert (*share*), damit die SuS ihre Lösungen ergänzen können.

Fachliche Hinweise (Hintergrundinfos für Lehrperson):

Temperatur

Wenn man die Hand direkt in die Sonne oder in den Schatten unter einem Baum streckt, wird man einen Temperaturunterschied feststellen. Wenn die Sonnenstrahlen den Boden direkt erreichen, erwärmt sich der Boden stärker als im Schatten. So ist auch die Lufttemperatur über dem Boden in der Sonne höher als im Schatten.

Abhängig von der Wuchsform der Bäume und der Anzahl der Blätter im Kronendach variiert die Lichtmenge, die tatsächlich durch das Baumdach fällt. Deshalb sind die Temperaturen unter jedem Baum leicht unterschiedlich. Zudem hängt die gemessene Temperatur von der Bodenoberfläche ab. Je dunkler die Oberfläche ist, desto mehr Sonnenstrahlen werden absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Wenn die Oberfläche hell ist, wird mehr Sonnenlicht reflektiert und nicht in Wärmeenergie umgewandelt (= Albedo-Effekt). Daher werden auf einer hellen Oberfläche niedrigere Temperaturen gemessen als auf einer dunklen Oberfläche.

Licht

Die auf dem Arbeitsblatt gezeigte Methode zur Einschätzung der Schattenfläche ist eine qualitative Methode. Um quantitative Werte zu erhalten, kann die Methode der «hemisphärischen Fotografie» angewandt werden (siehe https://en.wikipedia.org/wiki/Hemispherical_photography). Es ist auch möglich, die «photosynthetisch aktive Strahlung» mit einem Sensor zu messen (d.h. wie viel Strahlung vorhanden ist, die für die Photosynthese genutzt werden kann). Die Werte auf dem Arbeitsblatt «Datenanalyse» wurden mit einem solchen Sensor gemessen.

Bodenfeuchtigkeit

Der Boden wirkt wie ein Schwamm, der sich auf der Oberfläche ausbreitet. Er absorbiert Regen, verlangsamt den Abfluss und hilft, Überschwemmungen zu kontrollieren. Das Wasser wird hauptsächlich in Porenräumen zwischen den Bodenpartikeln gespeichert. Ein Teil dieses Wassers steht den Pflanzen zur Verfügung. Wenn verschiedene Pflanzen vorhanden sind, konkurrieren sie um dieses Bodenwasser. Die Menge an Wasser oder Feuchtigkeit in einer bestimmten Bodenmasse ist sehr variabel. Sie kann durch den *gravimetrischen Wassergehalt* oder den *volumetrischen Wassergehalt* ausgedrückt werden.

→ Der gravimetrische Wassergehalt w bezieht die Wassermasse (m_w) auf die Trockenmasse des Bodens (m_d): $w = m_w/m_d$

→ Der volumetrische Wassergehalt Θ bezieht das Wasservolumen (V_w) auf das Gesamtvolumen (V_t):
 $\Theta = V_w/V_t$

Biomasse und Kohlenstoffspeicherung

Der Begriff *oberirdische Biomasse* (= *ABG, Above Ground Biomass*) umfasst alle lebende Biomasse, die sich über der Erde befindet. Bei Bäumen umfasst der Begriff im Allgemeinen Stamm, Stumpf, Äste, Rinde, Samen und Laub. Die oberirdische Biomasse von Bäumen kann mit der Gleichung von Chave et al. 2014¹ geschätzt werden, die für tropische Feuchtwälder entwickelt wurde: $AGB_{tree} = 0.0673 \times (\rho D^2 H^2)^{0.976}$

D entspricht dem Stammdurchmesser auf Brusthöhe (in cm), H ist die Gesamtbaumhöhe (in m) und ρ ist die Holzdichte (in g/cm^{-3}). Der Stammdurchmesser muss in 1,3 m Höhe über dem Boden mit einem Durchmesserband oder einer Schnur gemessen werden. Dabei wird die Länge der Schnur gemessen und anschließend der Durchmesser berechnet. Die Gesamtbaumhöhe kann mit verschiedenen Methoden bestimmt werden. In dieser Unterrichtseinheit kommt die «Stockmethode» zum Einsatz (für andere Methoden siehe <https://de.wikihow.com/Die-H%C3%B6he-eines-Baumes-messen>). Werte für die Holzdichte von Baumarten können aus verschiedenen Datenbanken bezogen werden. Wenn für gewisse Bäume keine artspezifische Holzdichte gefunden wird, kann auch die mittlere Holzdichte der Gattung verwendet werden. Anhand der Biomasse lässt sich berechnen, wie viel Kohlenstoff im Baum gespeichert ist. Der IPCC empfiehlt, die oberirdische Biomasse mal 0,49 zu rechnen. Daraus resultiert eine Schätzung der Kohlenstoffspeicherung.

¹Chave, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20, 3177-3190, (2014).

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

A1) Temperatur: Messungen auf dem Schulgelände

Name der Schule: _____

Name der Gruppenmitglieder: _____

Ort: _____

Jahr: _____ Monat: _____ Tag: _____ Zeit: _____

Frage:

Wie stark schwankt die Temperatur unter verschiedenen Baumarten oder an verschiedenen Orten auf dem Schulgelände?

Hypothese:

<p>Ablauf:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Suche auf dem Schulgelände einen Standort für deine Messung. 2. Beschreibe den Standort in der untenstehenden Tabelle. 3. Halte das Thermometer auf Brusthöhe weg vom Körper. 4. Warte, bis sich die Temperatur auf dem Display während 15 Sekunden nicht mehr ändert. 5. Notiere die gemessene Temperatur in der Tabelle. 6. Suche einen neuen Standort und wiederhole die Schritte 1-5. 	<p>Material:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Schreibzeug <input type="checkbox"/> Thermometer (Anzeigegenauigkeit 0,1 °C)
---	--

Protokoll:

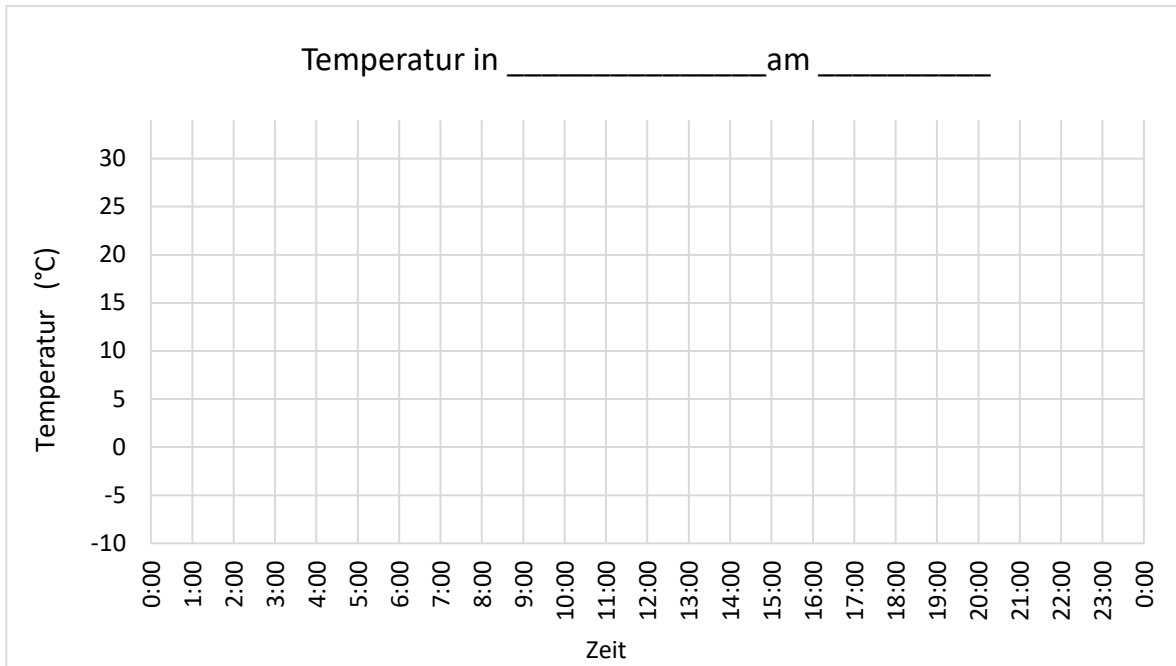
Lage des Standorts (z.B. in einem dichten Wald, unter verschiedenen einzeln stehenden Bäumen, unter direkter Sonneneinstrahlung)	Oberfläche (z.B. Asphalt, Gras)	Messung im <u>Schatten</u> oder in der <u>Sonne</u>	Gemessene Temperatur (°C)

Interpretation:

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

A2) Temperatur: Datenanalyse

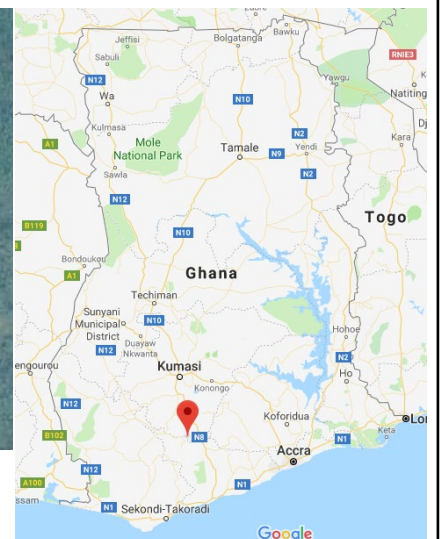
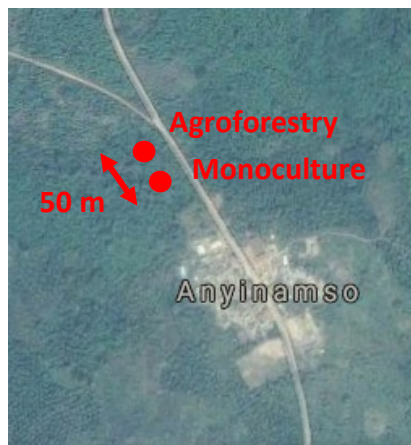
Aufgabe 1: Verwende die Daten einer nahegelegenen Wetterstation, um die Temperaturkurve des vergangenen Tages in die Grafik einzuzeichnen.



Aufgabe 2: Beschreibe die Temperaturkurve in Aufgabe 1 (z.B. Wann war es im Laufe des Tages am wärmsten und wann am kältesten? Warum? Wie gross war der Temperaturunterschied zwischen Minimum und Maximum?).

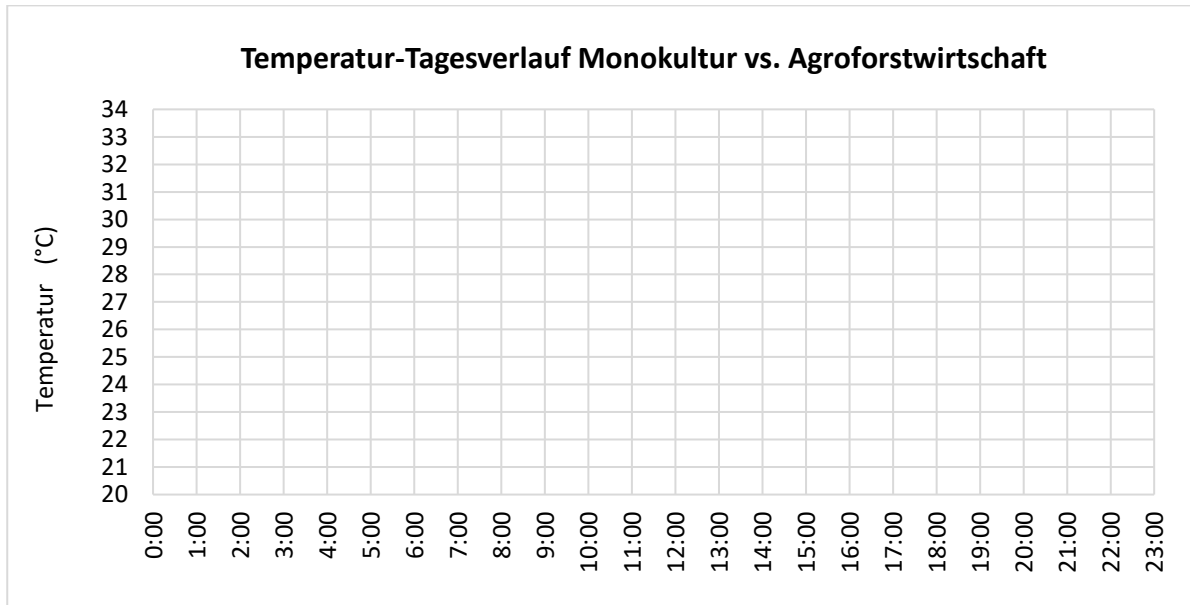
Aufgabe 3: Lies den Informationstext.

In Ghana wurde eine wissenschaftliche Studie über die Unterschiede zwischen Kakao-Monokulturen und Agroforstsystemen durchgeführt. An 20 Standorten wurden 3,5 Jahre lang verschiedene Parameter wie Produktion, Bodenfruchtbarkeit, Krankheitsbefall, Klimavariablen usw. gemessen. Ein Untersuchungsstandort war das Dorf Anyinamso im Distrikt Atwima Nwabiagya (s. Karte). Die untersuchte Kakao-Monokultur (ohne Schattenbäume) und das Agroforstsystem (mit 177 Schattenbäumen pro Hektar) waren 50 Meter voneinander entfernt.



a) Die folgende Tabelle zeigt die gemessenen Temperaturen (Stundenmittel) in der Kakao-Monokultur und im Agroforstsystem in Anyinamso. Übertrage die gemessenen Werte in die Grafik. Verwende je unterschiedliche Farben für die Monokultur und das Agroforstsystem.

Zeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Agroforstwirtschaft T (°C)	23	23	23	22	22	22	22	23	25	27	28	30	31	32	32	31	31	29	27	26	25	24	24	23
Monokultur T (°C)	23	23	22	22	22	22	22	23	25	28	30	31	32	33	33	33	32	30	27	25	24	24	23	23



b) Vergleiche die Temperaturkurven der Kakao-Monokultur und der Agroforstwirtschaft. Worin bestehen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede?

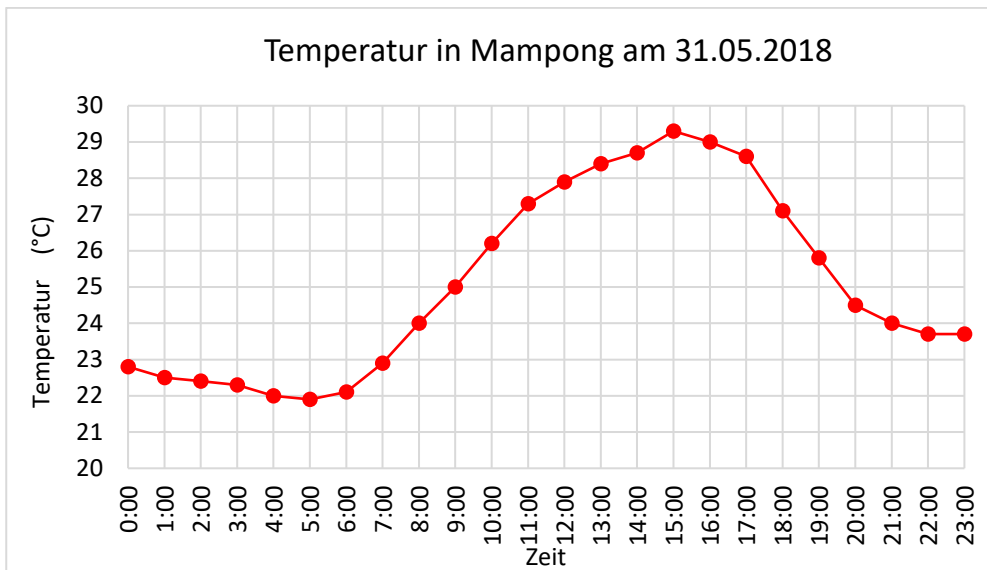
c) Klimaszenarien prognostizieren, dass die globalen Temperaturen steigen werden und es immer mehr extreme Wetterereignisse geben wird. Welches Anbausystem hältst du aufgrund dieser Klimaszenarien und unter Berücksichtigung der Temperatur für besser? Begründe deine Antwort.

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

A2) Temperatur: Datenanalyse

Lösung

Aufgabe 1: Verwende die Daten einer nahegelegenen Wetterstation, um die Temperaturkurve des vergangenen Tages in die Grafik einzuzeichnen. **Beispiel:**



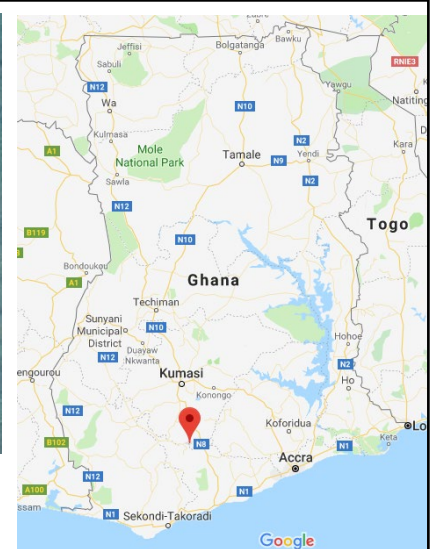
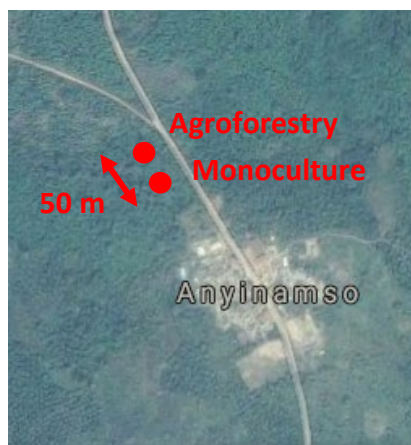
Aufgabe 2: Beschreibe die Temperaturkurve in Aufgabe 1 (z.B. Wann war es im Laufe des Tages am wärmsten und wann am kältesten? Warum? Wie gross war der Temperaturunterschied zwischen Minimum und Maximum?).

Die Höchsttemperatur wurde gegen 15 Uhr erreicht. Während der Nacht kühlte sich die Temperatur ab. Um 5 Uhr wurde die Minimaltemperatur erreicht. Bei Sonnenaufgang begannen die Temperaturen wieder zu steigen. Der Temperaturunterschied zwischen Minimum und Maximum beträgt 7,5 °C.

Hinweis: Die Temperaturen steigen wegen der Sonne. Die von der Sonne kommende kurzwellige Strahlung trifft auf den Boden, wo sie in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt oder reflektiert wird. Der Boden muss sich also erst erwärmen, bevor sich die Luft über ihm erwärmt. Der gesamte Prozess braucht Zeit. Daher ist das Temperaturmaximum nicht um 12-13 Uhr zu finden, wenn die Sonne am höchsten steht, sondern 1-2 Stunden zeitversetzt.

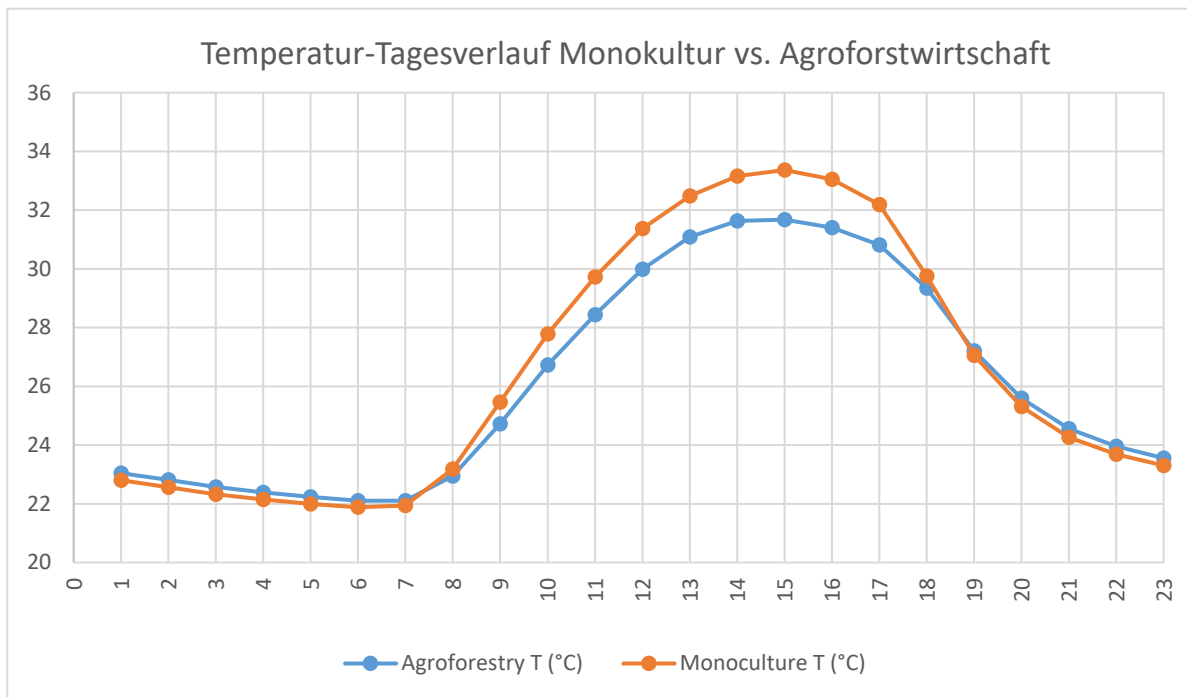
Aufgabe 3: Lies den Informationstext.

In Ghana wurde eine wissenschaftliche Studie über die Unterschiede zwischen Kakao-Monokulturen und Agroforstsystemen durchgeführt. An 20 Standorten wurden 3,5 Jahre lang verschiedene Parameter wie Produktion, Bodenfruchtbarkeit, Krankheitsbefall, Klimavariablen usw. gemessen. Ein Untersuchungsstandort war das Dorf Anyinamso im Distrikt Atwima Nwabiagya (s. Karte). Die untersuchte Kakao-Monokultur (ohne Schattenbäume) und das Agroforstsystem (mit 177 Schattenbäumen pro Hektar) waren 50 Meter voneinander entfernt.



a) Die folgende Tabelle zeigt die gemessenen Temperaturen (Stundenmittel) in der Kakao-Monokultur und im Agroforstsystem in Anyinamso. Übertrage die gemessenen Werte in die Grafik. Verwende je unterschiedliche Farben für die Monokultur und das Agroforstsystem.

Zeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Agroforstwirtschaft T (°C)	23	23	23	22	22	22	22	23	25	27	28	30	31	32	32	31	31	29	27	26	25	24	24	23
Monokultur T (°C)	23	23	22	22	22	22	22	23	25	28	30	31	32	33	33	33	32	30	27	25	24	24	23	23



b) Vergleiche die Temperaturkurven der Kakao-Monokultur und der Agroforstwirtschaft. Worin bestehen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede?

Gemeinsamkeiten: Beide Systeme erreichen die Höchsttemperatur um etwa 14-15 Uhr. Die Mindesttemperatur liegt in den frühen Morgenstunden. Um 8 Uhr beginnt in beiden Systemen der Temperaturanstieg.

Unterschiede: Im Agroforstsystem ist die Höchsttemperatur niedriger als im Monokultursystem. Die Mindesttemperatur ist ähnlich. Daher sind im Agroforstsystem sowohl die täglichen Temperaturschwankungen als auch die Tagesmitteltemperatur geringer.

c) Klimaszenarien prognostizieren, dass die globalen Temperaturen steigen werden und es immer mehr extreme Wetterereignisse geben wird. Welches Anbausystem hältst du aufgrund dieser Klimaszenarien und unter Berücksichtigung der Temperatur für besser? Begründe deine Antwort.

Kakaobäume wachsen am besten in Regionen mit Höchsttemperaturen von 30-32 °C. Wenn die Temperaturen in Zukunft weiter ansteigen, ist Agroforstwirtschaft mit Schattenbäumen sinnvoll, weil sie die Tageshöchsttemperaturen für die Kakaobäume abmildern kann.

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

B1) Licht: Messungen auf dem Schulgelände

Name der Schule: _____

Namen der Gruppenmitglieder: _____

Ort: _____

Jahr: _____ Monat: _____ Tag: _____ Zeit: _____

Frage:

Wie viel Licht erreicht eine Kakaopflanze unter einem Schattenbaum?

Vorgehen:

Dieses Experiment kann nur bei Sonnenschein durchgeführt werden.

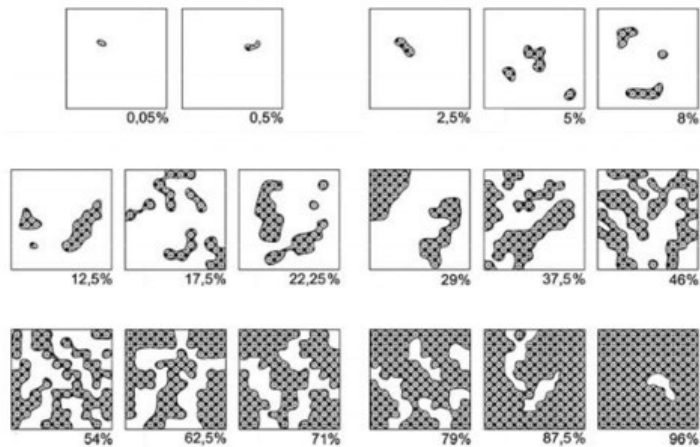
1. Suche auf dem Schulgelände einen Baum. Notiere die Baumart im untenstehenden Protokoll.
2. Wirf einen kleinen Stein in den Schatten des Baumes (nicht zu nah am Stamm, nicht zu nah am Rand des Schattenbereichs). Lege dort, wo der Stein gelandet ist, ein A3-Papier auf den Boden.
3. Schauge den Schatten auf dem A3-Papier an. Verwende folgende Abbildung, um einzuschätzen, wie viel Prozent des Papiers mit Schatten bedeckt ist.
4. Notiere die geschätzte Schattenfläche im Protokoll.
5. Wiederhole den Vorgang an zwei weiteren Stellen unterhalb des gleichen Baums.
6. Wähle zwei weitere Bäume auf dem Schulgelände aus und wiederhole die Schritte 1-5.

Material:

- Schreibzeug
- Kleiner Stein
- A3-Papier

Abb.:

Schematische Darstellung der Abundanzdominanz nach der Braun-Blanquet-Methode



Protokoll:

Baumart	Geschätzte Schattenfläche 1 (%)	Geschätzte Schattenfläche 2 (%)	Geschätzte Schattenfläche 3 (%)

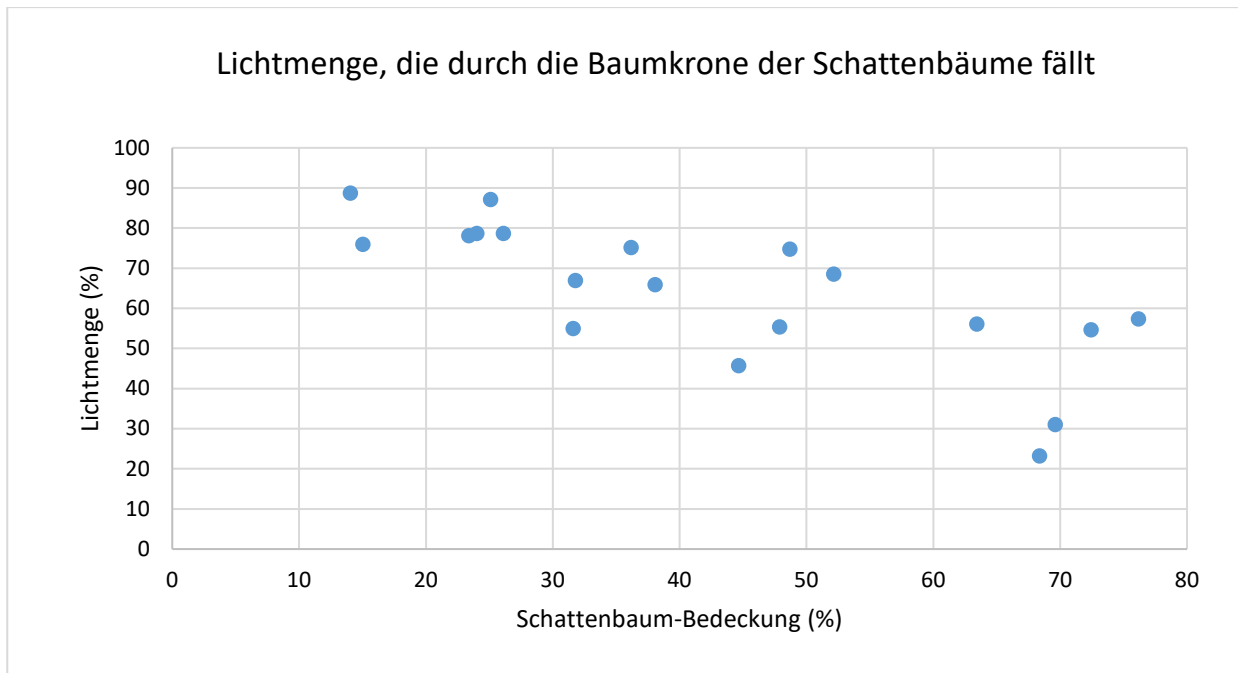
Interpretation:

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

B1) Licht: Datenanalyse

Aufgabe: Lies die folgende Beschreibung einer Studie und betrachte die Grafik.

Eine wissenschaftliche Studie in Ghana untersuchte, wie viel Licht durch die Baumkrone von Schattenbäumen fällt. Für ihre Studie analysierten die Forscherinnen und Forscher 20 Parzellen (mit einer Fläche von jeweils 30m x 30m). Zuerst erstellten sie mit Drohnen Luftaufnahmen der Parzellen und berechneten anhand der Fotos, wie viel Prozent der Flächen von Schattenbäumen bedeckt waren («Schattenbaum-Bedeckung»). Mit einem Sensor wurde gemessen, wie viel Strahlung über und unter den Schattenbäumen vorhanden war. Dann wurde berechnet, wie viel Licht (in %) durch die Kronen der Schattenbäume fiel. Aus 36 Einzelmessungen berechneten die Forscher-/innen einen Mittelwert pro Parzelle.



a) Was zeigt die Grafik? Erkläre, was die x-Achse, y-Achse und die Punkte darstellen.

b) Zeichne eine Gerade durch die Punkte in der Grafik, so dass alle Punkte so nah wie möglich an dieser Geraden liegen.

c) Analysiere die Grafik. Welchen Zusammenhang zwischen Schattenbaum-Bedeckung und Lichtmenge erkennst du?

d) Was bedeutet der Zusammenhang zwischen Schattenbaum-Bedeckung und Lichtmenge für den Ernteertrag von Kakaobäumen in Monokulturen bzw. in der Agroforstwirtschaft?

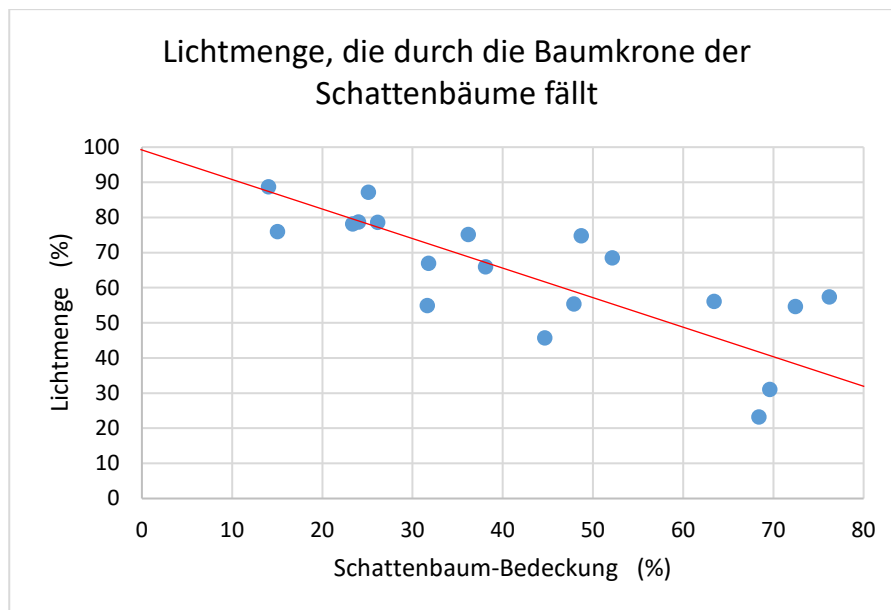
4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

B1) Licht: Datenanalyse

Lösung

Aufgabe: Lies die folgende Beschreibung einer Studie und betrachte die Grafik.

Eine wissenschaftliche Studie in Ghana untersuchte, wie viel Licht durch die Baumkrone von Schattenbäumen fällt. Für ihre Studie analysierten die Forscherinnen und Forscher 20 Parzellen (mit einer Fläche von jeweils 30m x 30m). Zuerst erstellten sie mit Drohnen Luftaufnahmen der Parzellen und berechneten anhand der Fotos, wie viel Prozent der Flächen von Schattenbäumen bedeckt waren («Schattenbaum-Bedeckung»). Mit einem Sensor wurde gemessen, wie viel Strahlung über und unter den Schattenbäumen vorhanden war. Dann wurde berechnet, wie viel Licht (in %) durch die Kronen der Schattenbäume fiel. Aus 36 Einzelmessungen berechneten die Forscher/-innen einen Mittelwert pro Parzelle.



a) Was zeigt die Grafik? Erkläre, was die x-Achse, y-Achse und die Punkte darstellen.

x-Achse: Schattenbaum-Bedeckung in % = Wie viel Prozent der Parzelle (30m x 30m) von Schattenbäumen bedeckt sind

y-Achse: Lichtmenge in % = Berechnung $100 \cdot \frac{\text{Licht unter Schattenbäumen}}{\text{Licht über Schattenbäumen}}$

Punkte: Jeder Punkt stellt einen Mittelwert dar, der angibt, wie viel Licht in einer Baumparzelle durch das Schattenbaum-Kronendach fällt. Beispiel: Der Punkt ganz links steht für Messungen in einer Parzelle, in der Schattenbäume etwa 13 % der Gesamtfläche bedecken und etwa 89 % des Lichts durch das Kronendach fällt.

b) Zeichne eine Gerade durch die Punkte in der Grafik, so dass alle Punkte so nah wie möglich an dieser Geraden liegen.

c) Analysiere die Grafik. Welchen Zusammenhang zwischen Schattenbaum-Bedeckung und Lichtmenge erkennst du?

Je grösser die Fläche der Baumkronen der Schattenbäume ist, desto weniger Licht kommt durch.

d) Was bedeutet der Zusammenhang zwischen Schattenbaum-Bedeckung und Lichtmenge für den Ernteertrag von Kakaobäumen in Monokulturen bzw. in der Agroforstwirtschaft?

Je grösser die Fläche der Kronendächer der Schattenbäume ist, desto weniger Licht dringt zu den Kakaobäumen durch. Für ihr Wachstum und die Fruchtproduktion benötigen Kakaobäume jedoch Licht (\rightarrow Photosynthese). Es kann also davon ausgegangen werden: Je weniger Licht vorhanden ist, desto geringer ist der Kakaoyertrag. Licht ist jedoch nicht der einzige Faktor, der den Kakaoyertrag beeinflusst. Weitere Faktoren sind Wasser, Nährstoffe, Temperatur, Schädlinge und Krankheiten, Pflanzenmanagement usw.

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

C1) Bodenfeuchtigkeit: Messungen auf dem Schulgelände

Frage:

Wie verändert sich die Bodenfeuchtigkeit mit zunehmendem Abstand zum Baumstamm?

Hypothese:

<p>Vorgehen für die Messung der gravimetrischen Bodenfeuchtigkeit¹:</p> <p>Labor:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Kalibriere die Waage nach den Anweisungen des Herstellers.2. Beschrifte die leeren Probenbehälter mit Nummern, miss das Gewicht jedes Behälters und trage es ins Protokoll auf dem Datenblatt ein. <p>Feldarbeit:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Wähle einen Baum aus und notiere die Baumart auf dem Datenblatt.2. Lege dein Messband entlang der Transektlinie aus. Startpunkt ist beim Stamm.3. Definiere die Probenahmepunkte entlang des Transekts in 1m, 5m und 10m Entfernung vom Stamm.4. Entferne das Gras oder andere Bodenbedeckung am Probenahmepunkt.5. Grabe ein Loch von 10-15cm Durchmesser bis auf 5cm Tiefe. Lass den Boden lose im Loch.6. Entferne aus dem losen Material alle Steine grösser als eine Erbse (5mm), Wurzeln, Regenwürmer und andere Tiere.7. Fülle mit der Gartenschaufel den Probenbehälter mit mindestens 100g loser Erde.8. Verschliesse den Probenbehälter sofort, um Feuchtigkeitsverlust zu verhindern.9. Notiere die Distanz zum Startpunkt des Transekts im Protokoll bei der entsprechenden Behälternummer.10. Führe die Schritte 4-9 bei den weiteren Probenahmepunkten durch. <p>Labor:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Miss das Gewicht der Probenbehälter mit dem feuchten Boden.2. Trage das Gewicht neben der entsprechenden Behälternummer im Protokoll ein.3. Öffne den Probenbehälter und trockne ihn, z.B. in einem Trockenofen (Temperatur nicht über 105 °C) oder unter einer Wärmelampe.4. Prüfe, ob die Probe trocken ist, indem du den Probenbehälter wiegst, dann für ein paar weitere Stunden im Ofen lässt und danach erneut wiegst. Wenn sich das Gewicht der Probe nicht ändert, ist sie definitiv trocken. <i>(Die Trocknungszeiten hängen von der Trocknungsmethode und dem Wassergehalt des Bodens ab. Bei Wärmelampen kann es 2-3 Tage dauern, bis der Boden in einem Beutel getrocknet ist. Trockenöfen sollten den Boden über Nacht trocknen können).</i>5. Miss das Gewicht der trockenen Bodenprobe (inklusive Behälter) und trage den Wert neben der entsprechenden Behälternummer im Protokoll ein.6. Führe die Schritte 1–5 mit den anderen Bodenproben durch.7. Berechne die Bodenfeuchtigkeit (siehe Berechnung in der letzten Spalte des Protokolls).8. Der getrocknete Boden sollte zum Standort der Entnahme zurückgebracht werden, um die Löcher im Boden wieder zu füllen.	<p>Material:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Schreibzeug<input type="checkbox"/> 3 Probenbehälter (versiegelbare Beutel oder Büchsen)<input type="checkbox"/> Messband<input type="checkbox"/> Gartenschaufel<input type="checkbox"/> Waage mit 0,1 g Messgenauigkeit<input type="checkbox"/> Ofen oder Wärmelampe
---	---

¹nach GLOBE Protocol «Gravimetric Soil Moisture», leicht verändert

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau
C1) Bodenfeuchtigkeit: Messungen auf dem Schulgelände (Datenblatt)

Name der Schule: _____

Name der Gruppenmitglieder: _____

Ort: _____

Jahr: _____ Monat: _____ Tag: _____ Zeit: _____

Baumart: _____

Beschreibung des Standorts:

Trocknungsmethode: _____ Trocknungszeit (in Stunden/Minuten): _____

Protokoll:

		A	B	C	(B-C) / (C-A)
Abstand zum Stamm (m)	Behälternummer	Masse des leeren Behälters (g)	Masse des feuchten Bodens und Behälters (feuchte Masse) (g)	Masse des trockenen Bodens und Behälters (Trockenmasse) (g)	Gravimetrische Bodenfeuchtigkeit (berechnet) (g/g)

Interpretation:

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

C2) Bodenfeuchtigkeit: Datenanalyse

Aufgabe:

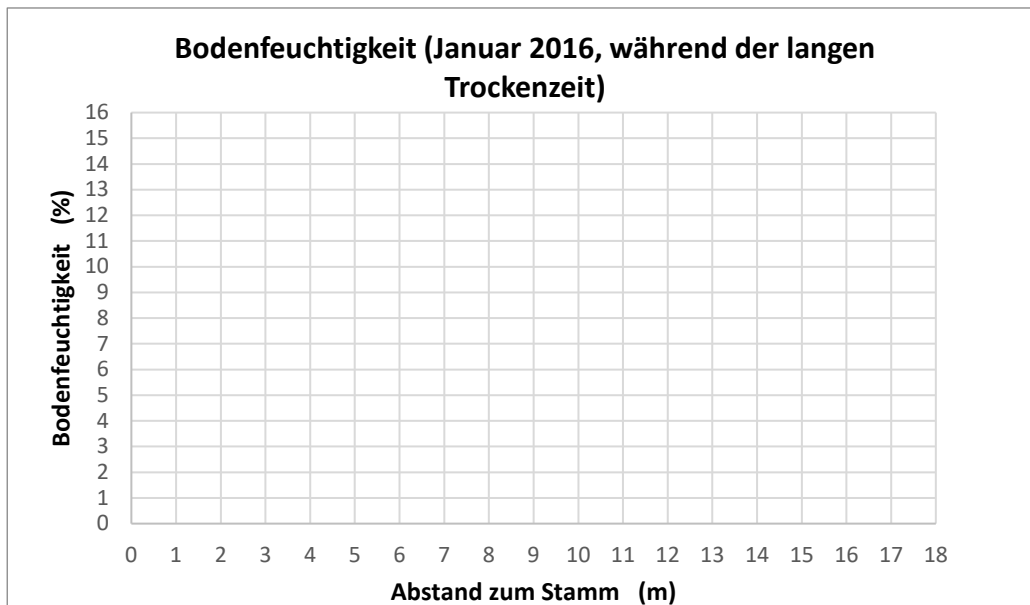
Im Januar 2016 wurde während der langen Trockenzeit in Ghana in einer wissenschaftlichen Studie die Bodenfeuchtigkeit² entlang von Transekten verschiedener Schattenbäume (Feigen-, Orangenbaum) gemessen. Löse hierzu die Aufgaben a) bis d).



a) Die Tabelle zeigt die gemessenen Werte³. Übertrage die Werte in die Grafik. Verwende für jede Schattenbaumart eine andere Farbe.

Baumart	Abstand zum Stamm (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	Bodenfeuchtigkeit (%)	15.1	14.0	14.0	12.7	14.6	13.7	11.4	12.3	10.3	11.6	10.5	10.5	12.2	11.0	9.0	11.0	9.0
B	Bodenfeuchtigkeit (%)	5.6	5.4	5.2	5.6	5.9	8.6	7.2	8.6	9.3	9.1	9.4	8.8	9.8	8.1	6.9	8.7	7.5

A = *Ficus capensis* (Feigenbaum) / B = *Citrus senensis* (Orangenbaum)



b) Vergleiche die Bodenfeuchtekurven von Baumart A (Feigenbaum) und Baumart B (Orangenbaum). Wie beeinflusst die jeweilige Baumart die Bodenfeuchtigkeit?

² Die Studie hat den volumetrischen Wassergehalt in % gemessen (= Wasservolumen/totales Volumen * 100).

³ Blaser et al., noch nicht publiziert. Diese Daten dürfen nur für Lehrzwecke verwendet werden.

c) Wie könnte der unterschiedliche Verlauf der beiden Kurven erklärt werden?
(Berücksichtige bei deiner Antwort die Wurzeln der Bäume und die Breite des Kronendachs (Orangenbaum = 3m, Feigenbaum = 6m)

d) Sind Schattenbäume auf einer Kakaopflanzung in Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit gut oder schlecht für die Kakaopflanzen? Begründe deine Antwort.

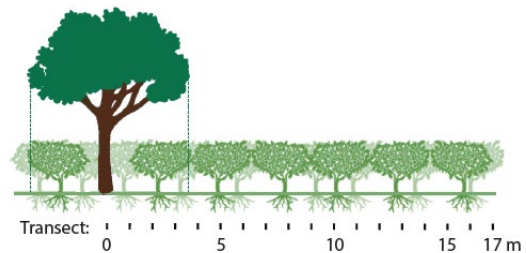
4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

C2) Bodenfeuchtigkeit: Datenanalyse

Lösung

Aufgabe:

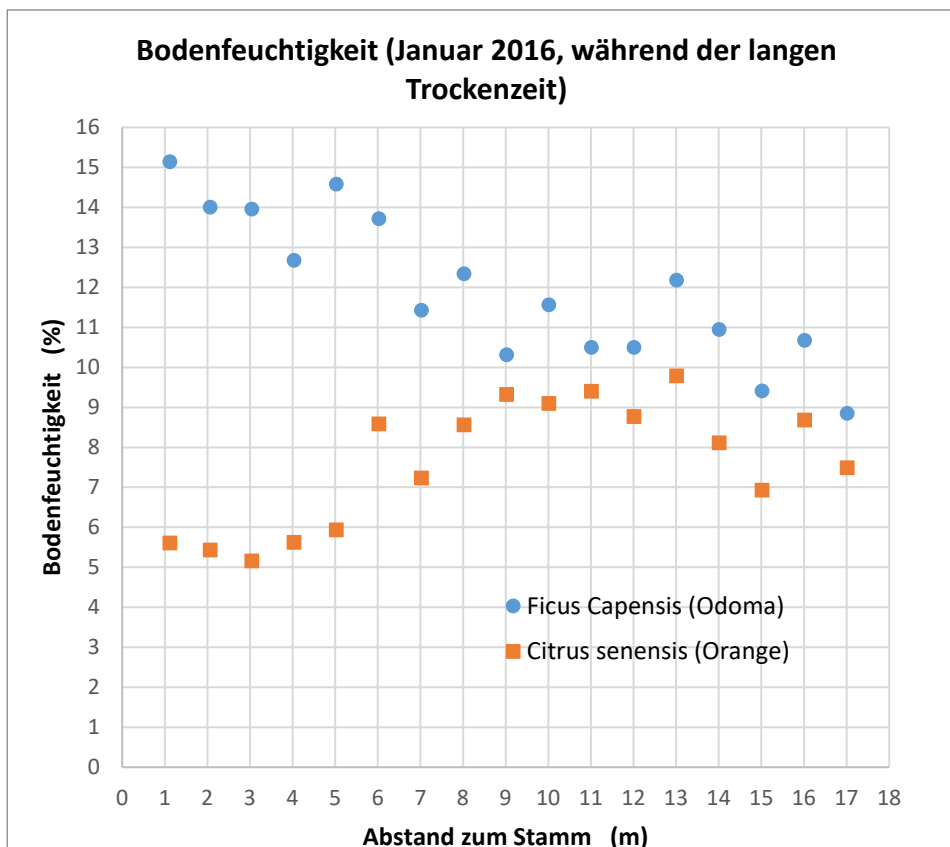
Im Januar 2016 wurde während der langen Trockenzeit in Ghana in einer wissenschaftlichen Studie die Bodenfeuchtigkeit entlang von Transekten verschiedener Schattenbäume (Feigen-, Orangenbaum) gemessen. Löse hierzu die Aufgaben a) bis d).



a) Die Tabelle zeigt die gemessenen Werte. Übertrage die Werte in die Grafik. Verwende für jede Schattenbaumart eine andere Farbe.

Baumart	Abstand zum Stamm (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	Bodenfeuchtigkeit (%)	15.1	14.0	14.0	12.7	14.6	13.7	11.4	12.3	10.3	11.6	10.5	10.5	12.2	11.0	9.0	11.0	9.0
B	Bodenfeuchtigkeit (%)	5.6	5.4	5.2	5.6	5.9	8.6	7.2	8.6	9.3	9.1	9.4	8.8	9.8	8.1	6.9	8.7	7.5

A = *Ficus capensis* (Feigenbaum) / B = *Citrus senensis* (Orangenbaum)



b) Vergleiche die Bodenfeuchtekurven von Baumart A (Feigenbaum) und Baumart B (Orangenbaum). Wie beeinflusst die jeweilige Baumart die Bodenfeuchtigkeit?

Während der Trockenzeit erhöht der Feigenbaum die Bodenfeuchtigkeit unter seinem Kronendach, der Orangenbaum hingegen reduziert die Bodenfeuchtigkeit unter seinem Kronendach. In einem Abstand von etwa 10m ist die Bodenfeuchtigkeit bei beiden Baumarten ähnlich.

c) Wie könnte der unterschiedliche Verlauf der beiden Kurven erklärt werden?

(Berücksichtige bei deiner Antwort die Wurzeln der Bäume und die Breite des Kronendachs (Orangenbaum = 3m, Feigenbaum = 6m)

Der Orangenbaum braucht wahrscheinlich sehr viel Wasser. Weil seine Wurzeln viel Wasser aufnehmen, nimmt der Wassergehalt im Boden ab. Bei den Wurzelenden steigt der Wassergehalt wieder an. Der Feigenbaum braucht wahrscheinlich weniger Wasser als der Orangenbaum, deshalb ist der Wassergehalt im Boden höher.

Eine andere Erklärung könnte sein, dass die Wurzeln des Feigenbaums viel tiefer sind als die des Orangenbaums, daher ist die Bodenfeuchtigkeit im Oberboden höher. Zudem kann der Feigenbaum mit tieferen Pfahlwurzeln Wasser aus tieferen Gebieten per hydraulischem Auftrieb an die Oberfläche transportieren (ein passiver Mechanismus, bei dem Wasser über unterirdische Netze von feuchten zu trockenen Böden transportiert wird).

Ausserdem könnte der Kronenrand eine Rolle spielen. Die Krone des Feigenbaums ist viel breiter und verursacht daher mehr Schatten. Dadurch verdunstet weniger Wasser aus dem Boden, was zu einem höheren Wassergehalt unterhalb des Kronendachs führt.

d) Sind Schattenbäume auf einer Kakaopflanzung in Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit gut oder schlecht für die Kakaopflanzen? Begründe deine Antwort.

Es gibt keine klare Antwort auf diese Frage. Nicht alle Schattenbäume haben die gleiche Wirkung auf die Bodenfeuchtigkeit unter ihrem Kronendach. Der Feigenbaum erhöht während der Trockenzeit die Bodenfeuchtigkeit unter seinem Kronendach, was gut ist. Der Orangenbaum hingegen reduziert die Bodenfeuchtigkeit unter seinem Kronendach. Orangenbäume sind vielleicht nicht die besten Schattenbäume, da sie mit Kakaobäumen stark um Bodenwasser konkurrieren.

Fazit: Der Nutzen von Schattenbäumen in einer Kakaopflanzung hängt von der Schattenbaumart ab.

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

D1) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: Messungen auf dem Schulgelände

Name der Schule: _____

Namen der Gruppenmitglieder: _____

Ort: _____

Jahr: _____ Monat: _____ Tag: _____ Zeit: _____

Vorgehen:

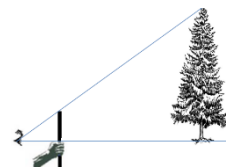
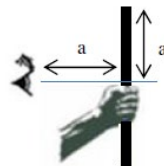
1. Suche auf dem Schulgelände einen Baum. Notiere die Baumart im Protokoll.
2. Miss die Baumhöhe und den Stammumfang mithilfe der untenstehenden Anweisungen.
3. Ermittle mithilfe der Holzdichte-Liste die Dichte der gewählten Baumart.
4. Berechne den Stammdurchmesser auf Brusthöhe, die oberirdische Biomasse und die Kohlenstoffspeicherung mithilfe der Gleichungen ①, ② und ③ unterhalb des Protokolls.
5. Wiederhole die Schritte 1-4 mit zwei weiteren Baumarten.

Material:

- Schreibzeug
- Messband
- Schnur
- Taschenrechner
- Stock oder Doppelmeter

Messung der Baumhöhe:

1. Halte mit ausgestrecktem Arm einen Stock oder Doppelmeter so, dass die Distanzen a gleich lang sind. Um das zu erreichen, kippst du den Stock mit ausgestrecktem Arm, bis er zur Schulter reicht.
2. Entferne dich nun vom Baum und schaue über den ausgestreckten Arm, bis der oberste Teil des Baumes gerade hinter dem oberen Stockende verschwunden ist und der unterste Teil des Baumes hinter der Handoberfläche verschwunden ist.
3. Miss nun die Entfernung zwischen deiner Position und dem Baum. Die Höhe des Baumes ist identisch mit der gemessenen Distanz.



Messung des Stammumfangs auf Brusthöhe:

1. Wickle in 1.30m Höhe eine Schnur um den Baumstamm. Vergewissere dich, dass die Schnur gerade und straff um den Baumstamm gewickelt ist und markiere den Umfang auf der Schnur.
2. Miss die Länge der markierten Strecke auf der Schnur, um den Umfang des Baumes zu ermitteln.

Baumart	C (cm) Umfang des Baumes auf Brusthöhe	H (m) Höhe des Baumes	ρ (g/cm ³) Holzdichte → siehe Holzdichte-Liste	D (cm) Stammdurchmesser auf Brusthöhe → siehe Gleichung ①	AGB (kg) Oberirdische Biomasse → siehe Gleichung ②	CS (kg) Kohlenstoffspeicherung → siehe Gleichung ③

Gleichung ①: $D = C/\pi$

Gleichung ②: $AGB = 0.0673 \times (\rho D^2 H^2)^{0.976}$

Gleichung ③: $CS = AGB \times 0.49$

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

D2) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: Datenanalyse

Aufgabe: Eine wissenschaftliche Studie untersuchte die Biomasse in einer Kakao-Monokultur (nur Kakaobäume) und in einer Kakao-Agroforstwirtschaft (Kakaobäume und weitere Bäume gemischt). Lies die Notizen der Wissenschaftlerin.

<u>System: Kakao-Monokultur</u>
Datum: 20.6.2017
Ort: Anyinamso, Ghana
Fläche: 900m ²
Anzahl Kakaobäume: 140
Totale oberirdische Biomasse (AGB): 2025 kg
Notiz: Kohlenstoffspeicherung = 0.49 x AGB

<u>System: Kakao-Agroforstwirtschaft</u>
Datum: 20.6.2017
Ort: Anyinamso, Ghana
Fläche: 900m ²
Anzahl Kakaobäume: 134
Totale oberirdische Biomasse (AGB) der Kakaobäume: 1846 kg
Anzahl Schattenbäume: 16
Totale oberirdische Biomasse (AGB) der Schattenbäume: 6427 kg

a) Berechne die durchschnittliche oberirdische Biomasse (AGB) eines einzelnen Kakaobaums in beiden Systemen.

b) Berechne die durchschnittliche oberirdische Biomasse (AGB) eines Schattenbaums in der Kakao-Agroforstwirtschaft.

c) Berechne die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs in der Kakao-Monokultur und in der Kakao-Agroforstwirtschaft.

d) Ein natürlicher Wald in der Nähe des Untersuchungsgebiets hat einen Kohlenstoffspeicher von 211 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (1 Hektar = 10'000m²). Vergleiche die Kohlenstoffmenge im natürlichen Wald mit derjenigen in der Kakao-Monokultur und in der Kakao-Agroforstwirtschaft (beachte dabei die Masseinheiten). Was fällt dir auf?

4 Analyse einzelner Faktoren im Kakaoanbau

D2) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung: Datenanalyse

Lösung

Aufgabe: Eine wissenschaftliche Studie untersuchte die Biomasse in einer Kakao-Monokultur (nur Kakaobäume) und in einer Kakao-Agroforstwirtschaft (Kakaobäume und weitere Bäume gemischt). Lies die Notizen der Wissenschaftlerin.

System: Kakao-Monokultur

Datum: 20.6.2017

Ort: Anyinamso, Ghana

Fläche: 900m²

Anzahl Kakaobäume: 140

Totale oberirdische Biomasse (AGB):
2025 kg

Notiz: Kohlenstoffspeicherung = 0,49 x AGB

System: Kakao-Agroforstwirtschaft

Datum: 20.6.2017

Ort: Anyinamso, Ghana

Fläche: 900m²

Anzahl Kakaobäume: 134

Totale oberirdische Biomasse (AGB) der
Kakaobäume: 1846 kg

Anzahl Schattenbäume: 16

Totale oberirdische Biomasse (AGB) der
Schattenbäume: 6427 kg

a) Berechne die durchschnittliche oberirdische Biomasse (AGB) eines einzelnen Kakaobaums in beiden Systemen.

Kakao-Monokultur: 2025 kg/140 Kakaobäume = 14,46 kg pro Kakaobaum

Kakao-Agroforstwirtschaft: 1846 kg/134 Kakaobäume = 13,78 kg pro Kakaobaum

b) Berechne die durchschnittliche oberirdische Biomasse (AGB) eines Schattenbaums in der Kakao-Agroforstwirtschaft.

6427 kg/16 = 401,69 kg pro Schattenbaum

c) Berechne die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs in der Kakao-Monokultur und in der Kakao-Agroforstwirtschaft.

Kakao-Monokultur: 2025 kg * 0,49 = 992,25 kg C (in 900m²)

Kakao-Agroforstwirtschaft: (1846 kg + 6427 kg) * 0,49 = 4053,77 kg C (in 900m²)

d) Ein natürlicher Wald in der Nähe des Untersuchungsgebiets hat einen Kohlenstoffspeicher von 211 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (1 Hektar = 10'000m²). Vergleiche die Kohlenstoffmenge im natürlichen Wald mit derjenigen in der Kakao-Monokultur und in der Kakao-Agroforstwirtschaft (beachte dabei die Masseinheiten). Was fällt dir auf?

Monokultur: 992,25 kg C * (10'000 m²/900m²)/1000 = 11,03 t C/ha (= 5% des natürlichen Waldes)

Agroforstwirtschaft: 4053,77 kg C * (10'000 m²/900m²)/1000 = 45,04 t C/ha (= 21% des natürlichen Waldes)

Schlussfolgerung: In der Kakao-Agroforstwirtschaft ist rund viermal mehr Kohlenstoff gespeichert als in der Kakao-Monokultur. Vergleicht man den gespeicherten Kohlenstoff der Monokultur und des Agroforstsystems mit einem natürlichen Wald, zeigt sich jedoch, dass in beiden Systemen viel weniger Kohlenstoff gespeichert wird als im natürlichen Wald (Agroforstwirtschaft ein Fünftel [21%] und Monokultur ein Zwanzigstel [5%] des Kohlenstoffs, der im natürlichen Wald gespeichert ist).

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

Ziele

- Die SuS können eine Grafik lesen.
- Die SuS können eine anspruchsvolle Grafik interpretieren.
- Die SuS sind sich bewusst, dass viele Faktoren berücksichtigt werden müssen, um einen klimaschonenden und nachhaltigen Kakaoanbau zu erreichen.

Überblick

- Schulung zum Lesen und Interpretieren einer Grafik
- Synthese und Gewichtung verschiedener Einflussfaktoren auf den Kakaoanbau

Zeitbedarf

- 135-180 Minuten

Material

- Arbeitsblätter

Lehrpersonenkommentar

Didaktische Hinweise:

Die Grafiken in diesem Kapitel sind sehr anspruchsvoll. Die SuS müssen sie gut verstehen, um schliesslich auch die Schlüsselbotschaft erkennen zu können. Daher gehen dem Hauptteil C) die zwei Abschnitte A) und B) voraus, die sich mit dem Lesen und Interpretieren von Grafiken befassen. Je nachdem, wie vertraut die SuS bereits damit sind, können die Teile A und B langsamer oder schneller bearbeitet werden.

Ablauf:

A) Lesen einer Grafik

- Es wird empfohlen, die Aufgaben a) bis f) zunächst von allen SuS allein lösen zu lassen. Erst danach sollte der Austausch mit einem Partner/einer Partnerin stattfinden.
- Nach dem Austausch zu zweit ist es wichtig, dass die Ergebnisse in der Klasse diskutiert werden und die Lehrperson Hilfestellung beim Verstehen der Grafik bietet.
- Unter «Fachliche Hinweise» finden sich Hintergrundinformationen zur Erstellung der Grafiken.

B) Interpretation von Grafiken

Aufgabe 1: In Teil A) haben die SuS die einzelnen Komponenten der Grafik gelesen. Daran anknüpfend geht es nun darum, sie zu interpretieren.

Aufgabe 2: Die SuS lesen und interpretieren drei weitere Grafiken mit anderen Parametern.

a) Als Lesehilfe ergänzen die SuS zunächst die Grafiken durch Linien, die sich dadurch auszeichnen, dass alle Punkte einen möglichst geringen Abstand zur gezeichneten Linie haben (= Regressions-

gerade). Es muss darauf hingewiesen werden, dass eine solche Linie eine Annäherung ist und dass sie gerade oder gekrümmt sein kann.

b) Anschliessend werden die drei Grafiken interpretiert.

C) Synthese und Gewichtung

Aufgabe 1: Diese Aufgabe ist eine Anwendungsübung zum Lesen und Interpretieren von Grafiken. Es kommen zwei weitere Parameter zu den in Teil A) und B) analysierten Grafiken dazu. Es empfiehlt sich wiederum, die Aufgabe zunächst allein lösen zu lassen und sich erst dann in Partnerarbeit und im Klassengespräch auszutauschen. Es sollte auch darauf geachtet werden, dass die SuS ihre Schlussfolgerungen begründen.

Aufgabe 2: Um den Blick auf die übergeordnete Leitfrage der Unterrichtseinheit zu schärfen, sollen die diversen Parameter drei grundlegenden Kategorien zugeordnet werden. Hier besteht für die Lehrperson eine Differenzierungsmöglichkeit, indem sie die drei Kategorien als Hilfestellung vorgibt, oder (anspruchsvoller) die SuS zunächst die Kategorien selbst herausfinden und erst dann die Parameter zuordnen lässt.

Aufgabe 3: Diese Aufgabe ist knifflig, weil die Daten aus den Grafiken in eine neue Form umzuwandeln sind. Die Herausforderung ist die Mühe jedoch wert, denn sie zwingt die SuS dazu, die Inhalte der Grafiken tiefgründig zu verstehen. Als Hilfestellung zeigen zwei Beispiele, wie eine solche Umwandlung geht.

Aufgabe 4: Basierend auf Aufgabe 3 (und dem, was die SuS in der gesamten Unterrichtseinheit gelernt haben), gewichten und begründen die SuS nun die verschiedenen Faktoren, um die optimale Schattenbaum-Bedeckung zu bestimmen.

Ziel: Die SuS verstehen, dass komplexe Vorgänge wie die Kakaoproduktion von diversen Faktoren beeinflusst werden und dass alle wichtigen Faktoren entsprechend zu berücksichtigen sind. Welche Faktoren als wichtig erachtet werden, ist ein normativer Rahmen, der diskutiert werden kann. In der vorliegenden Unterrichtseinheit geht es darum, hohe Erträge und gleichzeitig einen klimafreundlichen und nachhaltigen Kakaoanbau zu erreichen.

Fachliche Hinweise (Hintergrundinfos für Lehrperson):

Informationen zur Erstellung der Grafiken in diesem Kapitel

In Ghana wurde eine wissenschaftliche Studie über die Unterschiede zwischen Kakao-Monokulturen und Agroforstsystemen durchgeführt¹. Es ging um die Frage, welche Schattenbaum-Bedeckung für die Kakaokulturen am besten geeignet ist. Für die Studie wurden 20 Parzellen in Kakao-Agroforstsystemen in der Ashanti-Region in Ghana untersucht. Da schattenarme Agroforstsysteme in der Studienregion häufig vorkommen, hätte eine zufällige Auswahl der Felder nur einen einfachen Vergleich zwischen der Präsenz und dem Fehlen von Schattenbäumen ermöglicht. Die Studie wollte jedoch klären, welchen Einfluss unterschiedliche Schattenbaum-Bedeckungen auf die Kakaopflanzen haben. Deshalb paarten die Forscherinnen und Forscher jedes Agroforstsystem (mit ganz unterschiedlichen Schattenbaum-Anteilen) mit einer nahegelegenen Monokulturfläche auf demselben Betrieb. Die gepaarte Probenahme zielte darauf ab, die Variabilität der Parzellen aufgrund unterschiedlicher Böden, des lokalen Klimas, des

¹Blaser WJ, Oppong J, Hart SP, Landolt J, Yeboah E, Six J. (2018). Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nature Sustainability*, vol. 1, 234–239. <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2018/05/optimum-shade-for-cocoa.html>

Alters der Farmen, der Kakaosorten und der Bewirtschaftungspraktiken der Farmen zu kontrollieren. Weil immer ein Agroforstfeld mit einer nahegelegenen Monokultur auf dem gleichen Betrieb verglichen wurde, konnte der Effekt der Schattenbaum-Bedeckung isoliert werden.

Im Folgenden wird das wissenschaftliche Vorgehen am Beispiel einer der 20 Parzellen beschrieben:



Der Untersuchungsstandort befand sich im Dorf Anyinamso im Bezirk Atwima Nwabiagya (s. Karte). Die untersuchte Kakao-Monokultur (ohne Schattenbäume) und das Agroforstsystem (mit 177 Schattenbäumen pro Hektar) waren 50 Meter voneinander entfernt. Mit einer Drohne, die Luftaufnahmen machte, wurde der Anteil der Schattenbäume am Kronendach abgeschätzt. Im Agroforstfeld betrug die Schattenbaum-Bedeckung 63%, in der Monokultur 0%. Dann wurden in der Agroforst- und Monokulturfläche verschiedene Parameter wie Temperatur, Bodenfeuchtigkeit, Vogelreichtum, Ernteertrag usw. gemessen. Die Werte aus dem Agroforstsystem wurden mit denjenigen aus der Monokultur verglichen. Für jeden Wert wurde die relative prozentuale Differenz berechnet.

Beispiel Temperatur:

Die Forscherinnen und Forscher wollten wissen, wie sich die Temperatur im Agroforstfeld von der Temperatur im Monokulturfeld unterscheidet. Während 3,5 Jahren massen sie die Temperaturen in beiden Systemen und berechneten anschliessend die Mittelwerte.

→ Durchschnittstemperatur Agroforstsystem: 25,5 °C

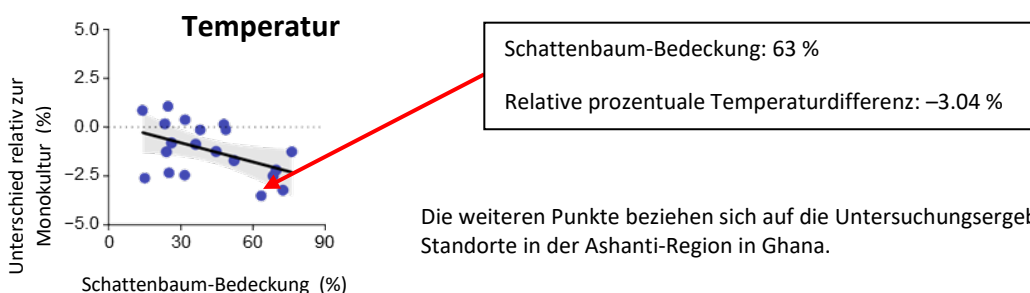
→ Durchschnittstemperatur Monokultur: 26,3 °C

Zur Berechnung der relativen prozentualen Differenz wurde die folgende Gleichung verwendet:

$$\text{Unterschied relativ zur Monokultur (\%)} = \frac{(\bar{\text{Ø-Temp Agroforstsystem}} - \bar{\text{Ø-Temp Monokultur}}) \times 100}{(\bar{\text{Ø-Temp Monokultur}})}$$

In diesem Beispiel beträgt die relative prozentuale Differenz -3.04%

Schlussfolgerung: Am Untersuchungsstandort in Anyinamso weist die Agroforstfläche, die zu 63 % von Schattenbäumen bedeckt ist, eine um $-3,04 \%$ niedrigere Temperatur auf als die Monokulturfläche. Diese Berechnung wird durch einen Punkt in der Grafik dargestellt:

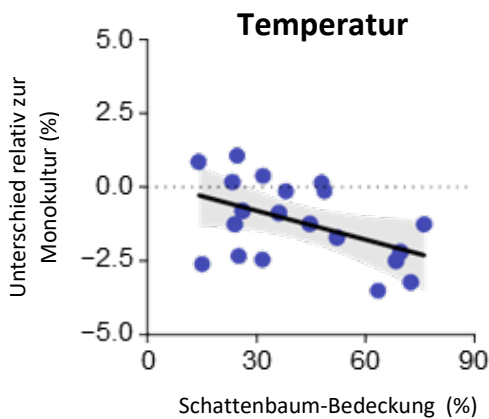


Die weiteren Punkte beziehen sich auf die Untersuchungsergebnisse anderer Standorte in der Ashanti-Region in Ghana.

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

A) Lesen einer Grafik

In der folgenden Grafik geht es um die Lufttemperatur in verschiedenen Kakao-Agroforstfeldern.



Mach dir Gedanken zu folgenden Fragen:

- Was zeigt die x-Achse?
- Was zeigt die y-Achse? Welche Hinweise gibt die Beschriftung der y-Achse?
- Was stellt die gepunktete horizontale Linie in der Grafik dar?
- Warum gibt es so viele blaue Punkte?
- Was bedeutet die schräg verlaufende schwarze Linie?
- Was bedeutet die grau schattierte Fläche, welche die schwarze Linie umgibt?

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

B) Interpretation von Grafiken

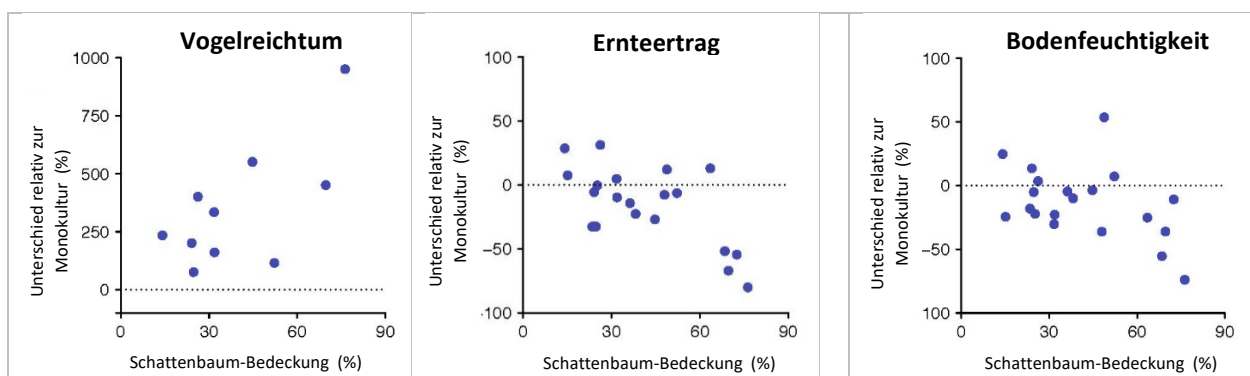
Aufgabe 1:

Du weißt, wie die Grafik aus Teil A) gelesen wird. Interpretiere nun die Grafik aus Teil A).

Aufgabe 2:

Die folgenden Grafiken sind vom gleichen Typ wie die Temperaturgrafik aus Teil A), aber mit anderen Parametern (Vogelreichtum, Ernteertrag, Bodenfeuchtigkeit). Zudem fehlen in diesen Grafiken die schwarzen Linien und die grau schattierten Bereiche.

- Zeichne (wie in der Temperaturgrafik) in allen drei Grafiken eine schwarze Linie. Die Linie soll so gelegt werden, dass alle Punkte in der jeweiligen Grafik den kleinstmöglichen Abstand zur Linie haben.
- Interpretiere die drei Grafiken.



5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

C) Synthese und Gewichtung

Aufgabe 1:

Ordne die Aussagen aus Tabelle 1 den Grafiken in Abbildung 1 zu.

Nicht alle Aussagen passen zu einer Grafik. Es gibt aber Aussagen, die zu mehreren Grafiken passen.

<p>1 Kakao ist am anfälligsten auf hohe Temperaturen und Dürrestress.</p>	<p>2 Agroforstsysteme können im Vergleich zu Monokulturen einen grossen Nutzen für die Biodiversität haben. Und bei einer Schattenbaum-Bedeckung bis zu 30% werden die Kakaoerträge nicht beeinträchtigt.</p>	<p>3 Der Rückgang der Ernteerträge bei zunehmender Schattenbaum-Bedeckung ist wahrscheinlich eine Folge der Konkurrenz zwischen Kakaobäumen und Schattenbäumen um Licht, Wasser und Nährstoffe.</p>	<p>4 Agroforstsysteme (mit einem hohen Anteil an Schattenbäumen) fördern die Artenvielfalt.</p>	<p>5 Die Umwandlung von Kakaofeldern mit vielen Schattenbäumen zu Monokulturen geht mit einem erheblichen Verlust an Kohlenstoffspeicherkapazität einher.</p>
<p>6 Eine grössere Schattenbaum-Bedeckung hat positive Effekte auf den Kohlenstoff, der oberirdisch gespeichert wird.</p>	<p>7 Eine hohe Schattenbaum-Bedeckung verringert die Bodenfeuchtigkeit. Viele Schattenbäume konkurrieren offenbar mit Kakaobäumen um das Bodenwasser.</p>	<p>8 Die Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Biomasse ist besonders wichtig für den Klimaschutz in Regionen mit nur noch wenig Primärwald.</p>	<p>9 Eine grössere Schattenbaum-Bedeckung schützt Kakaobäume vor Temperaturextremen.</p>	<p>10 Es gibt eindeutige Hinweise, dass steigende Temperaturen den Kakao in Westafrika ebenso stark oder noch stärker bedrohen als die Verfügbarkeit von Wasser.</p>
<p>11 Das Potenzial für Klimaschutz durch oberirdische Kohlenstoffspeicherung ist ein grosser Vorteil von Agroforstsystemen gegenüber Monokulturen.</p>	<p>12 Mittlere Schattenbaum-Bedeckungen (30-50%) können die langfristige Produktion von Kakao verbessern, weil Krankheitsverluste minimiert werden.</p>	<p>13 Schattenbäume erhöhen weder den Anteil an Kohlenstoffvorräten noch anderen Bodenfruchtbarkeitsparametern wie Stickstoff oder Phosphor im Boden.</p>	<p>14 Die Anpassungsfähigkeit der Agroforstsysteme an den Klimawandel hängt davon ab, wie sich die klimabedingten Gefahren für die Produktion in einem bestimmten Gebiet konkret entwickeln.</p>	

Tab. 1: Faktoren, die den Anbau von Kakao beeinflussen (basierend auf wissenschaftlicher Forschung)

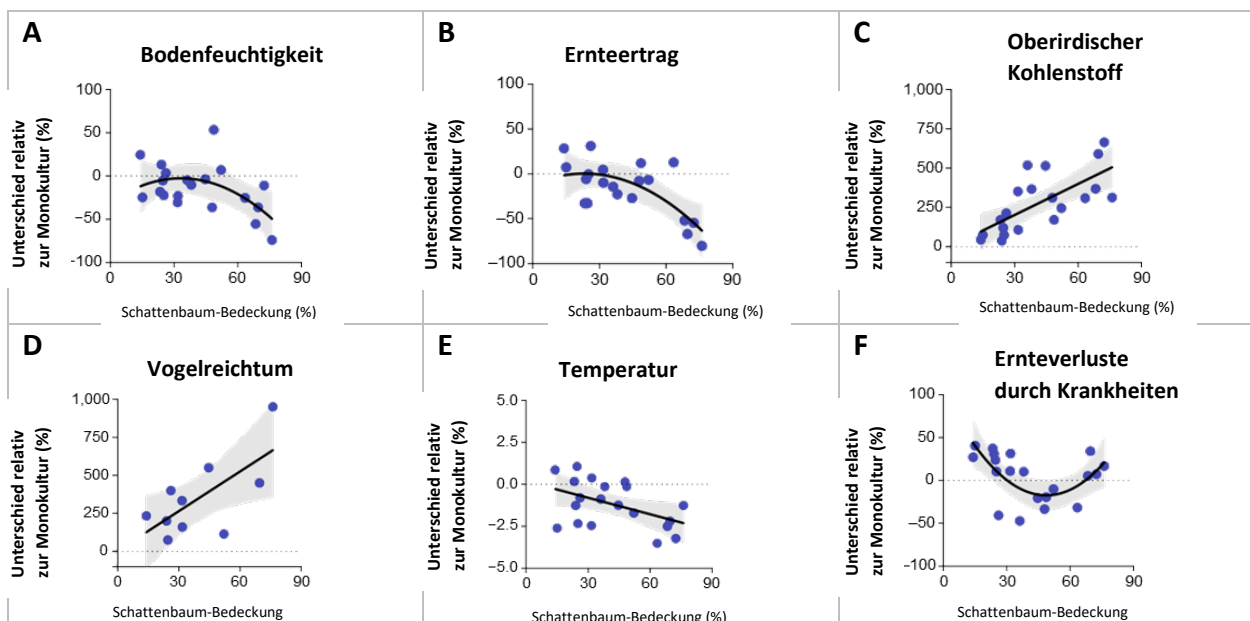


Abb. 1: Auswirkungen der Schattenbaum-Bedeckung in Kakaofeldern auf verschiedene Parameter

Hinweis: Die Studie wurde in der Ashanti-Region in Ghana durchgeführt. 20 Agroforstparzellen mit unterschiedlicher Schattenbaum-Bedeckung wurden ausgewählt (die niedrigste Schattenbaum-Bedeckung lag bei 17%, die höchste bei 76%). Jede Parzelle wurde mit einer nahegelegenen Monokulturparzelle auf derselben Farm verglichen.

Aufgabe 4:

- a) Beantworte anhand der Ergebnisse von Aufgabe 3 die folgende Frage: Wie hoch muss die Schattenbaum-Bedeckung sein, damit sowohl hohe Erträge als auch klimafreundliche Bedingungen und eine möglichst hohe Biodiversität erreicht werden?
- b) Erkläre für jeden Parameter, warum der von dir angegebene Bereich der Schattenbaum-Bedeckung (Aufgabe a) am besten ist.

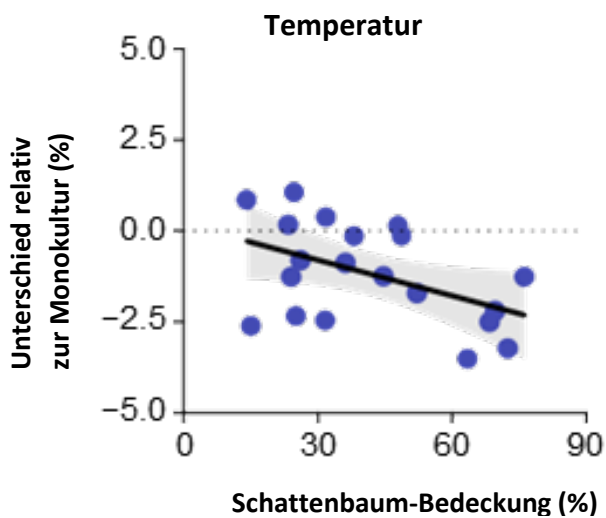
<i>Parameter</i>	<i>Gründe für die optimale Schattenbaum-Bedeckung</i>
Vogelreichtum	
Ernteverluste durch Krankheiten	
Ernteertrag	
Temperatur	
Bodenfeuchtigkeit	
Oberirdischer Kohlenstoff	

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

A) Lesen einer Grafik

Lösung

In der folgenden Grafik geht es um die Lufttemperatur in verschiedenen Kakao-Agroforstfeldern.



Mach dir Gedanken zu folgenden Fragen:

- Was zeigt die x-Achse?
Die x-Achse zeigt die Schattenbaum-Bedeckung in Prozent. Je weiter rechts, desto höher ist der Prozentsatz der Fläche, welche von Schattenbäumen bedeckt ist.
- Was zeigt die y-Achse? Welche Hinweise gibt die Beschriftung der y-Achse?
Die Beschriftung der y-Achse bedeutet, dass Agroforstfelder mit Monokulturfeldern verglichen werden. Werte unter Null bedeuten einen niedrigeren Prozentsatz im Vergleich zu Monokulturen, Werte über Null einen höheren Prozentsatz.
Beispiel: Die mittlere Temperatur in einer Monokultur beträgt 30 °C, im Agroforstfeld 29 °C; die absolute Differenz zur Monokultur beträgt also $29\text{ °C} - 30\text{ °C} = -1\text{ °C}$; die relative Differenz in Prozent beträgt $-1 : 30 \times 100 = -3,3\%$.
- Was stellt die gepunktete horizontale Linie in der Grafik dar?
Sie gibt an, wo keine Unterschiede zwischen Agroforst- und Monokulturfeldern bestehen.
- Warum gibt es so viele blaue Punkte?
Sie stehen für einzelne Messungen. Im vorliegenden Beispiel bezieht sich ein einzelner Punkt auf den Temperaturunterschied zwischen einem Kakao-Agroforstfeld und einer nahe gelegenen Kakao-Monokultur. Die Differenz wird als prozentualer Wert angegeben (z.B. -3,3%, vgl. Aufg. b).
- Was bedeutet die schräg verlaufende schwarze Linie?
Um aus den vielen blauen Punkten ein Muster ablesen zu können, wird aus den einzelnen Werten ein Trend modelliert. Er wird *Regressionsgerade* (bzw. *Regressionskurve*) genannt und zeichnet sich dadurch aus, dass alle Punkte den kleinstmöglichen Abstand zur Geraden (bzw. zur Kurve) haben.
- Was bedeutet die grau schattierte Fläche, welche die schwarze Linie umgibt?
Der grau schattierte Bereich stellt das so genannte *Konfidenzintervall* dar. Einfach ausgedrückt bedeutet das, dass der Wert des Parameters mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im Bereich des grau schattierten Bereichs liegt.

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

B) Interpretation von Grafiken

Lösung

Aufgabe 1:

Du weisst, wie die Grafik aus Teil A) gelesen wird. Interpretiere nun die Grafik aus Teil A).

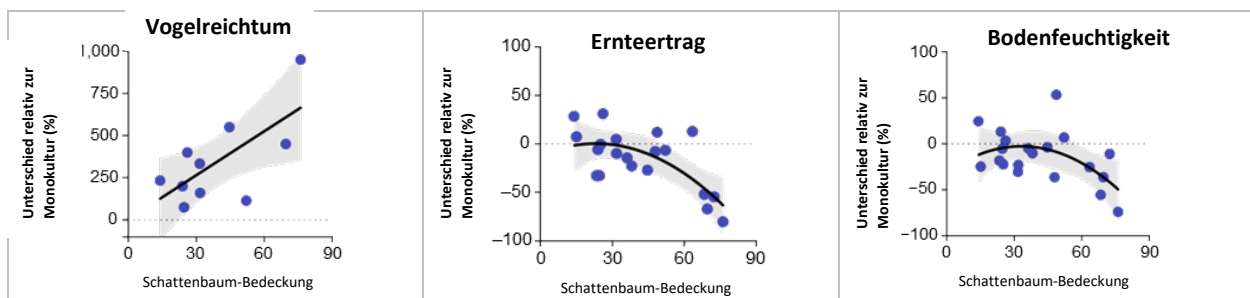
Die Grafik zeigt deutlich, dass die Lufttemperatur in einem Agroforstfeld von Schattenbäumen beeinflusst wird. Bei einer Schattenbaum-Bedeckung von etwa 15-45% können die Temperaturen in einem Agroforstfeld sogar etwas höher sein als in einem Monokulturfeld (blaue Punkte über der gepunkteten horizontalen Linie). Sie können aber auch deutlich niedriger sein. Je grösser die Schattenbaum-Bedeckung ist, desto deutlicher liegen die Temperaturen unter denen der Monokulturen. Wenn die Temperaturen in Zukunft aufgrund des globalen Klimawandels weiter steigen, kann eine höhere Schattenbaum-Bedeckung den Kakao vor Temperaturextremen schützen.

Aufgabe 2:

Die folgenden Grafiken sind vom gleichen Typ wie die Temperaturgrafik aus Teil A), aber mit anderen Parametern (Vogelreichtum, Ernteertrag, Bodenfeuchtigkeit). Zudem fehlen in diesen Grafiken die schwarzen Linien und die grau schattierten Bereiche.

- Zeichne (wie in der Temperaturgrafik) in allen drei Grafiken eine schwarze Linie. Die Linie soll so gelegt werden, dass alle Punkte in der jeweiligen Grafik den kleinstmöglichen Abstand zur Linie haben.
- Interpretiere die drei Grafiken.

a) Grafiken mit Regressionskurven



b) Interpretation

Vogelreichtum

Die Grafik zeigt eine deutliche Abhängigkeit des Vogelreichtums von der prozentualen Schattenbaum-Bedeckung. Sogar in Agroforstfeldern mit geringer Schattenbaum-Bedeckung ist der Vogelreichtum grösser als in Monokulturen. Mit zunehmender Schattenbaum-Bedeckung nimmt der Vogelreichtum deutlich zu. Der Vogelreichtum ist ein Beispiel für Biodiversität. Generell kann gesagt werden, dass Agroforstfelder mit hoher Schattenbaum-Bedeckung eine deutlich höhere Biodiversität aufweisen als Monokulturen.

Hinweis: Die Vögel wurden zwischen Oktober und Dezember anhand visueller und akustischer Untersuchungen erfasst. Die Erhebungen wurden auf jeder Beobachtungsfläche an drei verschiedenen Vormittagen durchgeführt und dauerten jeweils 20 Minuten. Sämtliche Erhebungen wurden von derselben Person durchgeführt. Während jeder Erhebung wurden die Vogelstimmen mit einem Mikrofon aufgezeichnet. Arten, die über das Blätterdach flogen, wurden ausgeschlossen.

Ernteertrag

Bei einer Schattenbaum-Bedeckung von 15-35% ist der Ertragsunterschied zwischen Agroforst- und Monokulturfeldern nicht allzu gross. In einigen Fällen ist der Ertrag in Agroforstfeldern höher als in Monokulturen, in anderen ist er niedriger. Ab ca. 30-35% Schattenbaum-Bedeckung nimmt der Ertrag in Agroforstfeldern im Vergleich zu Monokulturen leicht ab. Bei einer Schattenbaum-Bedeckung von über

60% ist der Ertrag in Agroforstfeldern deutlich geringer als in Monokulturen. Das bedeutet, dass viele Schattenbäume eine starke Konkurrenz für Kakaopflanzen darstellen.

Bodenfeuchtigkeit

Im Bereich von ca. 15-40% Schattenbaum-Bedeckung ist die Bodenfeuchtigkeit in Agroforst- und Monokulturfeldern ziemlich ähnlich. Ab 40% Schattenbaum-Bedeckung nimmt die Bodenfeuchtigkeit in Agroforstsystemen im Vergleich zu Monokulturen deutlich ab. Das bedeutet, dass viele Schattenbäume in Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit mit den Kakaobäumen konkurrieren. Wenn der Trockenstress im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung zunimmt, sollte die Schattenbaum-Bedeckung daher nicht zu gross sein.

5 Synthese und Gewichtung verschiedener Faktoren im Kakaoanbau

C) Synthese und Gewichtung

Lösung

Aufgabe 1:

Ordne die Aussagen aus Tabelle 1 den Grafiken in Abbildung 1 zu.

Nicht alle Aussagen passen zu einer Grafik. Es gibt aber Aussagen, die zu mehreren Grafiken passen.

A = 7

B = 3

C = 5, 6, 11

D = 2, 4

E = 9

F = 12

Die Aussagen 1, 8, 10, 13 und 14 haben keinen Bezug zu den Grafiken.

Aufgabe 2:

Denke nochmals an die Leitfrage der Unterrichtseinheit: *“Wie muss Kakao angebaut werden, damit der Anbau sowohl hohe Erträge bringt als auch klimafreundlich und nachhaltig ist?”* Ordne mit der Leitfrage im Hinterkopf die Aussagen aus Tabelle 1 folgenden drei Kategorien zu:

- **Landwirtschaftliche Produktion** Aussagen: 2, 3, 12
- **Klimawandel, Anpassung und Abschwächung** Aussagen: 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14
- **Erhaltung der Biodiversität** Aussagen: 2, 4

1 Kakao ist am anfälligsten auf hohe Temperaturen und Dürrestress.	2 Agroforstsysteme können im Vergleich zu Monokulturen einen grossen Nutzen für die Biodiversität haben. Und bei einer Schattenbaum-Bedeckung bis zu 30% werden die Kakaerträge nicht beeinträchtigt.	3 Der Rückgang der Ernterträge bei zunehmender Schattenbaum-Bedeckung ist wahrscheinlich eine Folge der Konkurrenz zwischen Kakaobäumen und Schattenbäumen um Licht, Wasser und Nährstoffe.	4 Agroforstsysteme (mit einem hohen Anteil an Schattenbäumen) fördern die Artenvielfalt.	5 Die Umwandlung von Kakaofeldern mit vielen Schattenbäumen zu Monokulturen geht mit einem erheblichen Verlust an Kohlenstoffspeicherkapazität einher.
6 Eine grössere Schattenbaum-Bedeckung hat positive Effekte auf den Kohlenstoff, der oberirdisch gespeichert wird.	7 Eine hohe Schattenbaum-Bedeckung verringert die Bodenfeuchtigkeit. Viele Schattenbäume konkurrieren offenbar mit Kakaobäumen um das Bodenwasser.	8 Die Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Biomasse ist besonders wichtig für den Klimaschutz in Regionen mit nur noch wenig Primärwald.	9 Eine grössere Schattenbaum-Bedeckung schützt Kakaobäume vor Temperaturextremen.	10 Es gibt eindeutige Hinweise, dass steigende Temperaturen den Kakao in Westafrika ebenso stark oder noch stärker bedrohen als die Verfügbarkeit von Wasser.

<p>11 Das Potenzial für Klimaschutz durch oberirdische Kohlenstoffspeicherung ist ein grosser Vorteil von Agroforstsystemen gegenüber Monokulturen.</p>	<p>12 Mittlere Schattenbaum-Bedeckungen (30-50%) können die langfristige Produktion von Kakao verbessern, weil Krankheitsverluste minimiert werden.</p>	<p>13 Schattenbäume erhöhen weder den Anteil an Kohlenstoffvorräten noch anderen Bodenfruchtbarkeitsparametern wie Stickstoff oder Phosphor im Boden.</p>	<p>14 Die Anpassungsfähigkeit der Agroforstsysteme an den Klimawandel hängt davon ab, wie sich die klimabedingten Gefahren für die Produktion in einem bestimmten Gebiet konkret entwickeln.</p>	
--	--	--	---	--

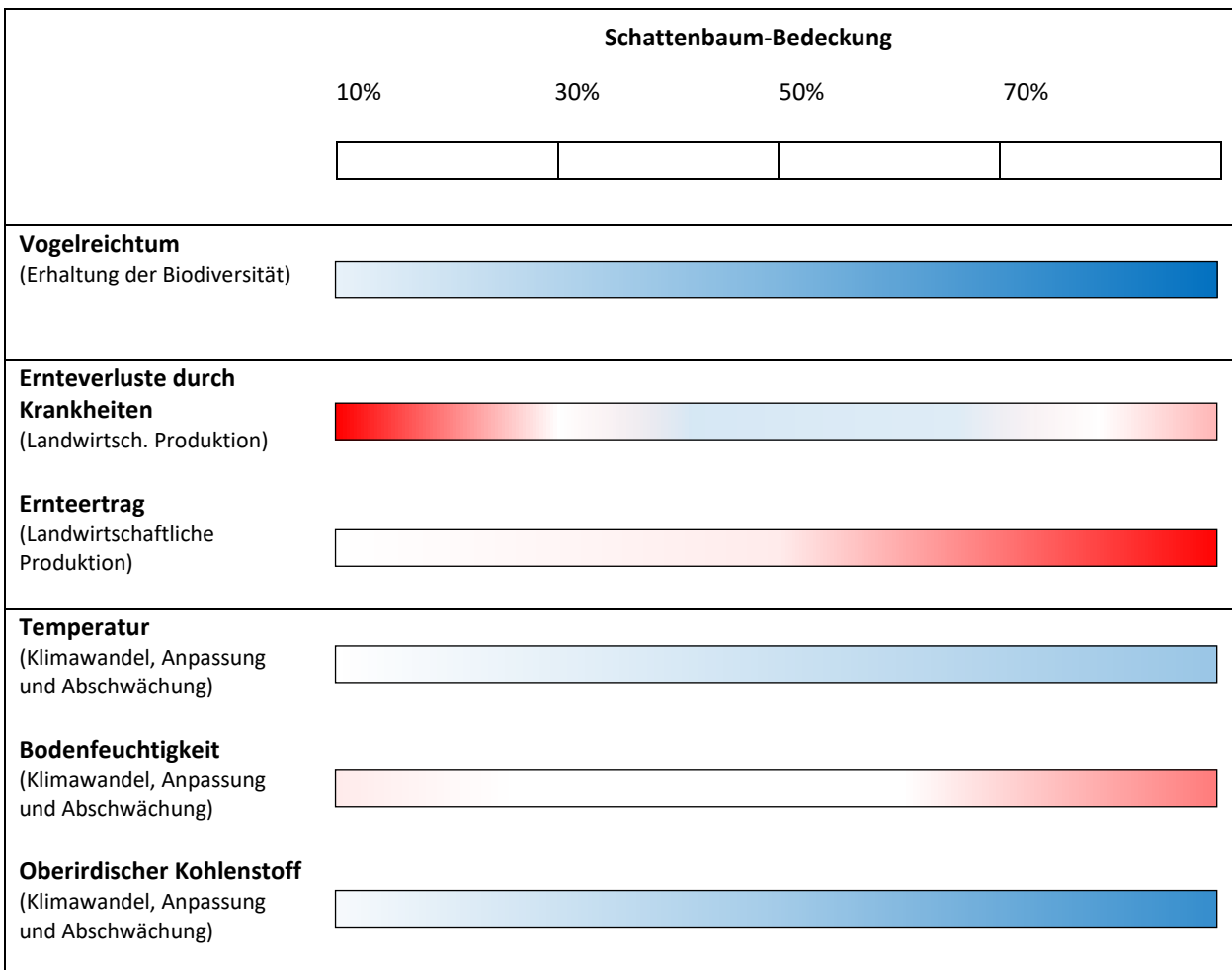
Tab. 1: Faktoren, die den Anbau von Kakao beeinflussen (basierend auf wissenschaftlicher Forschung)

Aufgabe 3:

Zeige die Wirkung von Schattenbäumen auf die verschiedenen Parameter, indem du die Daten der entsprechenden Grafiken aus Abbildung 1 in die Balken unten überträgst.

- Verwende eine blaue Farbe, wenn der Effekt mit Schattenbaum-Bedeckung gegenüber der Monokultur positiv ist.
- Verwende eine rote Farbe, wenn der Effekt mit Schattenbaum-Bedeckung gegenüber der Monokultur negativ ist.

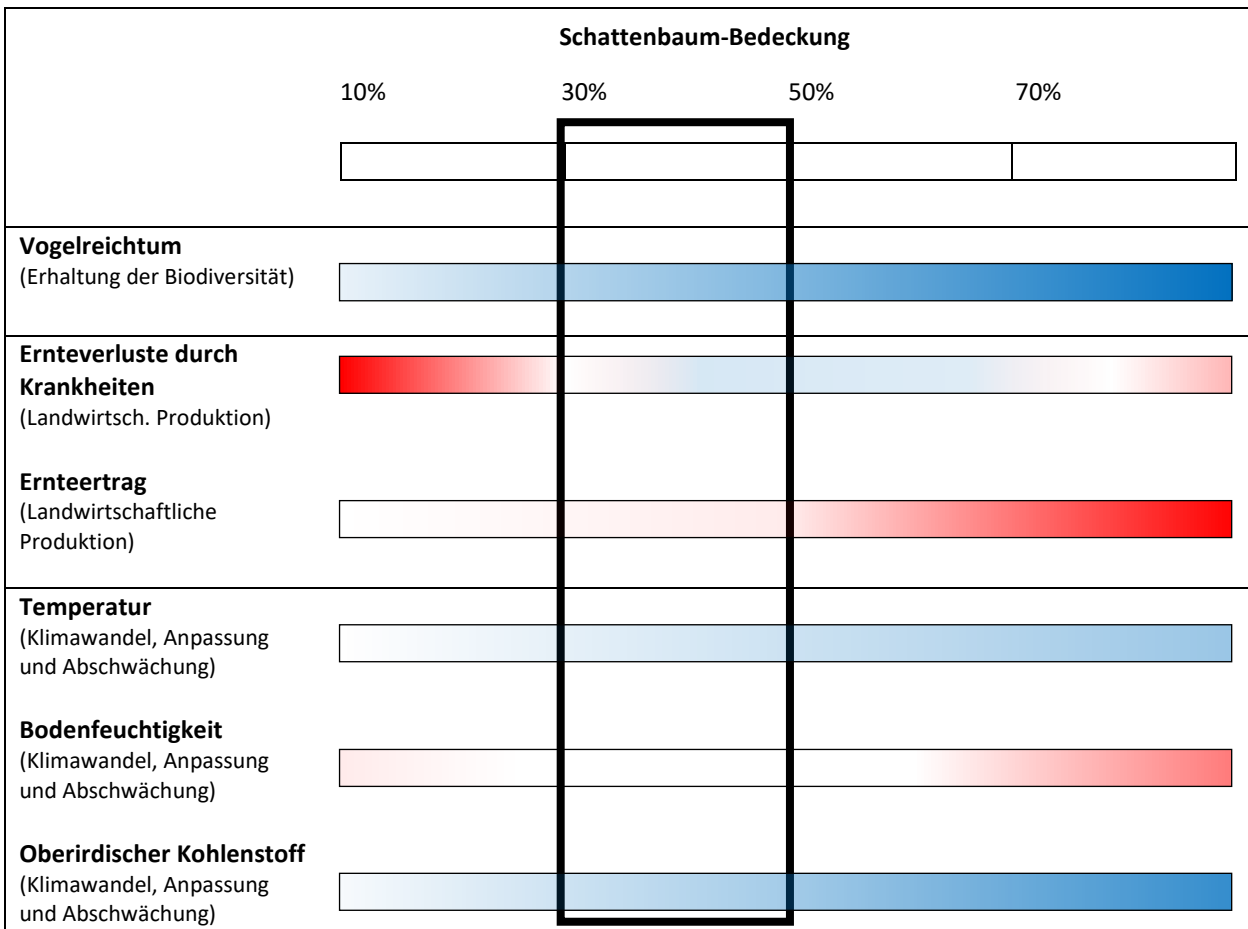
Als Beispiel dienen die Balken *Vogelreichtum* und *Ernteverluste durch Krankheiten*.



Aufgabe 4:

- a) Beantworte anhand der Ergebnisse von Aufgabe 3 die folgende Frage: Wie hoch muss die Schattenbaum-Bedeckung sein, damit sowohl hohe Erträge als auch klimafreundliche Bedingungen und eine möglichst hohe Biodiversität erreicht werden?

Ausgehend von der vorliegenden Studie ist die Bandbreite von 30-50% Schattenbaum-Bedeckung im Kakaoanbau optimal, um hohe Erträge zu erzielen und gleichzeitig klimafreundlich und nachhaltig (im Sinne der Förderung der Biodiversität) zu sein.



Optimale Schattenbaum-Bedeckung = ~ 30-50%

b) Erkläre für jeden Parameter, warum der von dir angegebene Bereich der Schattenbaum-Bedeckung (Aufgabe a) am besten ist.

<i>Parameter</i>	<i>Gründe für die optimale Schattenbaum-Bedeckung</i>
Vogelreichtum	Der Vogelreichtum ist einer von vielen Faktoren, welche die Biodiversität beeinflussen. Je mehr Bäume es gibt, desto höher ist der Vogelreichtum, denn die Bäume bieten ökologische Nischen für Vögel. Da für die Kakaoproduktion aber auch andere Parameter gewichtet werden müssen, liegt dieser nicht im optimalen Bereich.
Ernteverluste durch Krankheiten	Krankheiten in Kakaofeldern treten einerseits bei wenigen Schattenbäumen (→ eher niedrige Luftfeuchtigkeit, hauptsächlich Mirid-Krankheit) und andererseits bei vielen Schattenbäumen (→ hauptsächlich Pilzerkrankung <i>Black Pod</i> wegen höherer Luftfeuchtigkeit) auf. Ein guter Kompromiss zwischen diesen beiden Extremen ist ein Bereich von etwa 30-70% Schattenbaum-Bedeckung.
Ernteertrag	Bei einer Schattenbaum-Bedeckung von weniger als 30% steigt das Krankheitsrisiko der Kakaobäume, was den Ertrag verringert. Bei einer Schattenbaum-Bedeckung von über 55-60% konkurrieren die Schattenbäume zu stark mit den Kakaopflanzen (Konkurrenz vor allem in Bezug auf Licht, Nährstoffe, Wasser). Daher ist eine Schattenbaum-Bedeckung zwischen 30-55% ideal für den Ernteertrag.
Temperatur	Lediglich in Bezug auf die Temperatur zeigt eine hohe Schattenbaum-Bedeckung klare Vorteile, denn Schattenbäume schützen Kakao vor Temperaturextremen. Angesichts des Klimawandels ist dies unbedingt zu berücksichtigen. Da für die Kakaoproduktion aber auch andere Parameter gewichtet werden müssen, liegt dieser nicht im optimalen Bereich.
Bodenfeuchtigkeit	Eine hohe Schattenbaum-Bedeckung (> 45-50%) führt zu einer Reduktion der Bodenfeuchtigkeit, da die Schattenbäume mit den Kakaopflanzen um das Bodenwasser konkurrieren. Dagegen besteht bei sehr geringer Schattenbaum-Bedeckung (< 15%) die Gefahr der Austrocknung durch erhöhte Verdunstung. Der optimale Bereich liegt daher zwischen 15-45%.
Oberirdischer Kohlenstoff	Eine zunehmende Schattenbaum-Bedeckung wirkt sich sehr positiv auf die oberirdische Kohlenstoffbindung aus. Aus der Perspektive des Klimawandels muss der entsprechende Anteil daher so hoch wie möglich gehalten werden. Da für die Kakaoproduktion aber auch andere Parameter gewichtet werden müssen, liegt dieser nicht im optimalen Bereich.

Hinweis: Bei dieser Schlussfolgerung muss berücksichtigt werden, dass es verschiedene Szenarien der Klimaentwicklung gibt und dass sich die optimale Form des Kakaoanbaus entsprechend verändern kann.

6 Abschlussaufgabe

Ziel

- Rückblick auf die Unterrichtseinheit

Überblick

- Erneute Besprechung des *Concept Cartoon* aus Kapitel 1
- Erneute Diskussion der Leitfrage, die den Ausgangspunkt der Unterrichtseinheit darstellt

Zeitbedarf

- 30 Minuten

Material

- *Concept Cartoon*

Lehrpersonenkommentar

Didaktische Hinweise:

Die Unterrichtseinheit startete mit einem *Concept Cartoon*, um das Interesse der SuS am neuen Thema zu wecken und den SuS ihre Ideen und Vorstellungen bewusst zu machen. Durch die intensive Auseinandersetzung mit dem Thema sollten die SuS nun imstande sein, sich fundiert zum *Concept Cartoon* zu äussern.

Aus didaktischer Perspektive ist diese Abschlussaufgabe sehr wichtig, denn die SuS erkennen, was sie während der gesamten Unterrichtseinheit gelernt haben. Zudem wird das in der Unterrichtseinheit erworbene Wissen gefestigt.

Ablauf:

- Das *Concept Cartoon* wird nochmals aufgelegt, im Klassenunterricht werden die verschiedenen Aussagen gelesen.
- Die SuS erhalten kurz Zeit, um über die Aussagen nachzudenken.
- Gruppenbildung (gleiche Gruppen wie in Kapitel 1).
- Die SuS versuchen in ihren Gruppen erneut, die Frage über dem *Concept Cartoon* zu beantworten. Hierfür diskutieren sie in den Gruppen die verschiedenen Aussagen im *Concept Cartoon*. Die SuS erhalten den Auftrag, jede Aussage als richtig oder falsch einzustufen.
- Die SuS erhalten ihre schriftlichen Notizen aus der Konfrontationsaufgabe (Kapitel 1). Die Notizen werden mit den aktuellen Diskussionsergebnissen verglichen. Wo gibt es Gemeinsamkeiten? Wo gibt es Unterschiede?
- Im Anschluss an die Gruppenarbeitsphase folgt eine Diskussion zum *Concept Cartoon* im Klassengespräch.

Fachliche Hinweise (Hintergrundinfos für Lehrperson):

Im Folgenden sind einige Informationen zu den Aussagen im *Concept Cartoon* notiert. Die SuS sollten in der Lage sein, ähnliche Argumente vorzubringen.

«*Schattenbäume sollten nicht gefällt werden, weil dadurch das Klima wärmer wird*».

Kohlenstoff wird in Biomasse und damit auch in Schattenbäumen gespeichert. Je mehr (Schatten-)Bäume es gibt, desto mehr Kohlenstoff ist in der Biomasse gespeichert. Die Umwandlung von Agroforstsystemen zu Monokulturen geht mit einem erheblichen Verlust an Kohlenstoffspeicherkapazität einher. Ein Verlust an Kohlenstoffspeicherkapazität bedeutet, dass der Kohlenstoff stattdessen als CO₂ in der Atmosphäre vorhanden ist und als Treibhausgas wirkt.

«*Schattenbäume mindern den Kakaoertrag, weil die Kakaobäume dadurch weniger Licht für die Photosynthese erhalten*».

Es stimmt, dass durch die Schattenbäume weniger Licht zu den Kakaobäumen gelangt. Wie gross dieser Lichtverlust ist, hängt von der Art, Anzahl und Bewirtschaftung der Schattenbäume ab. Allerdings benötigt Kakao auch ein gewisses Mass an Schatten. Licht ist nur einer von vielen Faktoren, die den Kakaoertrag beeinflussen. Berücksichtigt man andere Einflussfaktoren (z.B. Temperatur, Bodenfeuchtigkeit, Schädlings- und Krankheitsverluste), so zeigt die für diese Unterrichtseinheit verwendete wissenschaftliche Studie in Ghana, dass eine Schattenbaum-Bedeckung von 30-50% einen optimalen Kakao-Ertrag gewährleistet.

«*Schattenbäume schaden, weil sie dem Boden das Wasser entziehen, welches die Kakaobäume brauchen*».

Je nach Schattenbaumart kann es während der Trockenzeit zu einer Konkurrenz um Bodenwasser kommen. Schattenbäume schützen die Kakaobäume aber auch vor direkter Sonneneinstrahlung, was die Verdunstung aus dem Boden und den Blättern vermindert. In der wissenschaftlichen Studie in Ghana wurde gezeigt, dass erst eine Schattenbaum-Bedeckung von mehr als 45-50% einen Nachteil für die Kakaopflanzen darstellt.

«*Schattenbäume sind wichtig für die Biodiversität*».

Es stimmt, dass Schattenbäume einen positiven Effekt auf die Biodiversität haben. Die in der Unterrichtseinheit zitierte wissenschaftliche Studie in Ghana hat beispielsweise gezeigt, dass der Reichtum an Vögeln mit der Anzahl der Schattenbäume steigt. Die Biodiversität wird jedoch auch durch viele andere Faktoren beeinflusst (z.B. durch den Einsatz von Pestiziden).

«*Mit Schattenbäumen gibt es weniger Schädlinge, somit kann mehr Kakao geerntet werden*».

Diese Aussage ist in dieser Vereinfachung nicht korrekt. Es ist häufig so, dass Kakaofelder mit vielen Schattenbäumen eine höhere Luftfeuchtigkeit aufweisen, was die Ausbreitung der Pilzkrankung *Black Pod* begünstigt. In Kakaofeldern mit wenigen oder keinen Schattenbäumen ist die Luftfeuchtigkeit eher tief, was die Ausbreitung von Miriden (Insektenschädlinge) begünstigt. Deshalb ist eine mittlere Schattenbaum-Bedeckung (30-50%) optimal, um Ernteverluste aufgrund von Krankheiten zu vermindern.

Sind Schattenbäume auf Kakaoplantagen nützlich?

**Concept
Cartoon**

Schattenbäume sollten nicht gefällt werden, weil dadurch das Klima wärmer wird.

Mit Schattenbäumen gibt es weniger Schädlinge, somit kann mehr Kakao geerntet werden.



Joe



Alice



Sam

Schattenbäume mindern den Kakaoertrag, weil die Kakaobäume dadurch weniger Licht für die Photosynthese erhalten.

Schattenbäume sind wichtig für die Biodiversität.



Sara

Schattenbäume schaden, weil sie dem Boden das Wasser entziehen, welches die Kakaobäume brauchen.



Tina

