



Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Bäume zur Kompensation der CO₂-Emissionen
einer Flugreise nach Mallorca



Analoges Lernmodul



Sek. I aller Schulformen



Unterstufe, Mittelstufe, Oberstufe



Biologie, Erdkunde, Mathematik



Längere Sequenz (90-120 min)



Klassenraum, Schulhof/Wald/Park



enthält Schüler*innen-Versuche



vierfache Differenzierung



Berechnung der Kohlenstoffspeichergröße
von Bäumen, Bedeutung der Bäume als
C-Senke

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Inhalt

Da besonders bei Flugreisen hohe Kohlenstoffdioxid (CO_2) Emissionen entstehen, werben Luftfahrtunternehmen, wie die deutsche Lufthansa oder verschiedene Internetplattformen mit der Anpflanzung von Bäumen zur Kompensation dieser CO_2 -Emissionen. Doch wie viele Bäume werden benötigt, um beispielsweise eine Flugreise von Düsseldorf nach Mallorca zu kompensieren? In diesem Lernmodul bestimmen die Schüler*innen wie viel kg CO_2 ein Baum in seiner Lebenszeit bereits aus der Atmosphäre entfernt hat.

Voraussetzungen

Schüler*innen wissen, dass Bäume CO_2 aufnehmen. Schüler*innen kennen die Rolle von CO_2 als Treibhausgas in der Atmosphäre. (Hierzu empfehlen wir Ihnen das Lernmodul »**Die Entstehung der Erdatmosphäre**«).

Anmerkungen

Zum **Einstieg** bieten wir Ihnen einen Foliensatz mit Zeichnungen und thematischer Einführung in die Problemstellung des Lernmoduls (Zusammenhang CO_2 -Emissionen und Erderwärmung). Für die abschließende Diskussion im Plenum und den **Transfer** empfehlen wir Ihnen das Lernmodul »**Lösungsansätze**«.

Achtung

Bitte berücksichtigen Sie für das Ablesen der Menge Kohlenstoffdioxid (CO_2) in kg, die der Baum der Atmosphäre entzogen hat, folgende **didaktische Reduktion**:

Tabelle 1 (AB, S. 6) steht stellvertretend für „Nadelbäume“, basierend auf Werten für eine Fichte. Tabelle 2 (AB, S. 7) steht stellvertretend für „Laubbäume“, basierend auf Werten für eine Buche. In seltenen Fällen konnten bei Testungen des Lernmoduls daher keine Kohlenstoffdioxid-Mengen aus den Tabellen abgelesen werden, z.B. für eine Kastanie.

Wir empfehlen: Testen Sie an ausgewählten Bäumen auf dem Schulhof die Messung zur Kohlenstoffspeicherung. Alternativ können Sie der folgenden Publikation Tabellen für verschiedene Baumarten entnehmen: Klein, D., Schulz, C., (2011). Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. In: Merkblatt 27 der Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. (siehe QR-Code)



Differenzierung

- » Zur Differenzierung in heterogenen Lerngruppen bietet das Lernmodul Hilfekarten, differenzierte Aufgabenstellungen und fakultative Zusatzangebote sowie kooperative Lerneinheiten.



Materialien

- » Einleitungsfolien 1-4
- » Arbeitsheft
- » Zusatzmaterial (Hilfekarten, Tabellen Nadelbaum & Laubbaum)
- » evtl. verschieden lange Stöcke (Armlänge der Schüler*innen)
- » evtl. 30-50 m Maßband



Schüler*innen-Versuche

- » Messen verschiedener Baumparameter an einem Baum

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Lernziele

Hauptziel

Die Schüler*innen erkennen die Bedeutung von Bäumen zur Kompensation des anthropogenen CO₂-Ausstoßes durch die CO₂-Aufnahme der Bäume. Dazu ermitteln die Schüler*innen die Menge an Kohlenstoffdioxid, die ein Baum in seinem Leben der Atmosphäre entzogen hat und vergleichen diese mit den CO₂-Emissionen einer Hin- und Rückflugreise von Düsseldorf nach Mallorca. Daraus leiten sie die Bedeutung des Waldes für das Klima ab.

Indikatoren

Die Schüler*innen...

- » leiten das Prinzip des Försterdreiecks her.
- » bestimmen anhand der Försterdreieck-Methode die Baumhöhe.
- » messen den Baumdurchmesser.
- » bestimmen mit Hilfe ihrer Messdaten und einer Schätztabelle die Menge an CO₂, die der Baum aus der Atmosphäre aufgenommen hat.
- » vergleichen die von Bäumen der Atmosphäre entzogenen Kohlenstoffdioxidmenge mit den Kohlenstoffdioxid-Emissionen in ihrer Lebenswelt (CO₂ Verbrauch einer Flugreise von Düsseldorf nach Mallorca).

Kompetenzbereiche

Umgang mit Fachwissen

Die Schüler*innen können...

- » den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffdioxidemissionen und der Rolle der Bäume bzw. Wälder benennen und erläutern.
- » ihr Wissen zur Kohlenstoffspeicherung eines Baumes anwenden.

Erkenntnisgewinnung

Die Schüler*innen...

- » wenden das Försterdreieck zur Ermittlung der Baumhöhe an.
- » ermitteln und lesen Daten aus Tabellen ab.

Bewertung

Die Schüler*innen erkennen...

- » die umweltschädlichen Auswirkungen einer Flugreise und das Potential von Bäumen, diesem entgegenzuwirken.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Sachanalyse

Der Wald als C-Senke

CO₂ spielt eine entscheidende Rolle im Klimawandel. Bäume und damit Wälder stehen durch die Prozesse der Fotosynthese und Respiration (Atmung) in direktem Gas-Austausch mit der Atmosphäre (Saxe et al., 1998). Unter der Voraussetzung, dass die CO₂-Aufnahme durch die Fotosynthese höher ist als die CO₂-Abgabe, fungieren Wälder als Kohlenstoffdioxidsenken (C-Senke) (Friedlingstein et al., 2021). Die CO₂-Abgabe setzt sich dabei aus verschiedenen Prozessen zusammen, wie beispielsweise der Respiration und Zersetzung sowie tiefgreifenden Störungen, wie Waldbrände, Stürme, Schädlingsbefall (Ciais et al., 2005). Die sogenannte C-Senke der jährlich von Menschen verursachten CO₂-Emissionen durch Wälder beziffert der Global Carbon Project Report 2021 mit ca. 29% (Friedlingstein et al., 2021).

Eine häufige Fehlvorstellung - nicht nur von Schüler*innen - besteht darin, dass Pflanzen CO₂ speichern. Doch lediglich das Kohlenstoffatom C des CO₂ verbleibt als Grundbaustein vieler Biomoleküle in den Organismen. Der so gebundene Kohlenstoff macht fast 50% des Trockengewichts einer Pflanze aus (Toohey, 2018), was bedeutet, dass Pflanzen innerhalb ihrer Lebensdauer CO₂ aus der Atmosphäre entfernen.

Flugreisen und CO₂-Emissionen

Die jährlichen Treibhausgasemissionen pro Kopf in Deutschland liegen laut Umweltbundesamt bei 11,2 Tonnen CO₂-Äquivalente (Umweltbundesamt, 2021). Ein beträchtlicher Anteil der Treibhausgasemissionen fällt in die Sektoren Konsum und Mobilität (Probst, 2020; Umweltbundesamt, 2021). Da besonders bei Flugreisen

hohe CO₂-Emissionen entstehen, werben Luftfahrtunternehmen, wie die deutsche Lufthansa oder verschiedene Internetplattformen mit der Anpflanzung von Bäumen zur Kompensation dieser CO₂-Emissionen.

Da Flugreisen zur Lebenswelt der Schüler*innen gehören, wird in dem entwickelten Lernmodul (Unterrichtseinheit) die Leitfrage gestellt: Wie viele Bäume benötigen wir, um eine Flugreise von Düsseldorf nach Mallorca zu kompensieren?

Wie lässt sich der Kohlenstoffgehalt eines Baumes bestimmen?

Um die durch Bäume aus der Atmosphäre entfernte Menge an CO₂ für Schüler*innen in Relation zu einer Flugreise zu setzen, bedarf es der Bestimmung des Kohlenstoffgehalts eines Baumes.

Eine genaue Messung des Kohlenstoffgehalts, abgeleitet aus der Biomasse eines Baumes, würde die Fällung des Baums erfordern, weshalb in der Regel die Biomasse der Wälder mittels traditioneller Waldinventurverfahren abgeschätzt wird. Hierzu werden meist wenige Daten, wie der Baumdurchmesser auf Brusthöhe, die Baumart und die Baumhöhe benötigt (Muukkonen, 2007; Klein&Schulz, 2011).

Während der Baumdurchmesser einfach zu bestimmen ist, stellt die Höhenmessung eine Herausforderung dar. Für die Ermittlung der Höhe eines Baumes wird die Försterdreieck-Methode herangezogen. Mit den Messergebnissen aus Höhe und Durchmesser kann mit Hilfe einer Schätztabelle die Menge Kohlenstoffdioxid, die der Baum bereits der Atmosphäre entzogen hat, näherungsweise bestimmt werden.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Didaktische Legitimation

Die 17 Nachhaltigkeitsziele – SDGs der UN (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022) zeigen die Bedeutung einer nachhaltigen Entwicklung in allen Bereichen des Lebens. Der Erhalt und Schutz der Umwelt zu Land und zu Wasser als auch der Zugang zu hochwertiger Bildung gehört maßgeblich zu den Zielen. Zum Schutz der Umwelt müssen die Schüler*innen die Zusammenhänge in verschiedenen Lebensräumen verstehen und die Umwelt als schützenswert erkennen. Das Modul „Kohlenstoffspeicherung in Bäumen: Die Försterdreieck-Methode“ zeigt die besondere Bedeutung des Waldes für den Umwelt- und Klimaschutz. Daher hat dieses Lernmodul eine hohe Gegenwartsbedeutung und spielt auch für die Zukunft der Schüler*innen eine wichtige Rolle.

In diesem Lernmodul lernen die Schüler*innen die Försterdreieck-Methode kennen und wenden sie an. Anhand eines Beispiels aus ihrer Lebenswelt lernen die Schüler*innen die Bedeutung von Bäumen und Wäldern als Kohlenstoffdioxidsenken am Beispiel einer Flugreise von Düsseldorf nach Mallorca kennen.

Entsprechend dem Nachhaltigkeitsziel 4, jedem Menschen einen gleichberechtigten Zugang zu hochwertiger Bildung zu ermöglichen, bietet das Lernmodul zur Differenzierung in heterogenen Lerngruppen Hilfekarten, differenzierte Aufgabenstellungen und kooperative Lerneinheiten.

Das vorliegende Lernmodul wurde für den Einsatz in der Unterstufe, Mittelstufe und Oberstufe für alle Schulformen konzipiert.

Die gegenwärtige Relevanz des Klimawandels und die besondere Rolle des Waldes für den Klimaschutz wird mit der direkten Lebenswelt der Schüler*innen gekoppelt. Dabei wenden die Schüler*innen auf ihrem Schulhof, im Park oder im Wald weitgehend selbstständig wissenschaftliche Methoden an und arbeiten zugleich mit all ihren Sinnen. Ziel ist, mit der Realerkundung und örtlichen sowie emotional-persönlichen Nähe zum Untersuchungsgegenstand bei den Schüler*innen das Verständnis für Klimaschutzaspekte zu stärken. Die Schüler*innen lernen, ohne mathematische Vorkenntnisse, mit der Anwendung des Försterdreiecks eine einfache und selbstständig einsetzbare Methode zur Höhenmessung von Bäumen kennen. Mit Hilfe der Baumhöhe, des Baumdurchmessers und der Schätztabelle für Laub- sowie Nadelbäume können die Schüler*innen die Menge Kohlenstoffdioxid, die ein Baum bereits der Atmosphäre entzogen hat, näherungsweise bestimmen. Diese vereinfachten Annäherungswerte ermöglichen eine didaktisch reduzierte Auseinandersetzung mit der Problemfrage.

Die Sammlung der Messergebnisse im Klassenplenum wird hinsichtlich der Kompensation der CO₂-Emissionen sowie der relevanten Klimaschutzaspekte in Bezug gesetzt und diskutiert. Die Schüler*innen erkennen, dass ein einzelner Baum, dem die Schüler*innen im direkten, täglichen Lebensumfeld begegnen, etwas für das Klima beiträgt.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Literatur

Brokaw, N. & J. Thompson, (2000). The H for DBH. Forest Ecology and Management 129: 89-91.

Burns, Russell M., (1990). Silvics of North America: Hardwoods. Vol. 2. United States Forest Service.

Ciais, P., Janssens, I., Shvidenko, A., Wirth, C., Malhi, Y., Grace, J., Schulze, E.D., Heimann, M., Phillips, O.L., Dolman, H., (2005). The potential for rising CO₂ to account for the observed uptake of carbon by tropical, temperate, and boreal forest biomes. Carbon Balance For. Biomes Annu. Meet. Soc. Exp. Biol. April 2003 109–150.

Friedlingstein, P. et al., (2021). Global Carbon Budget 2021, <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2021-386/>.

Klein, D., Schulz, C., (2011). Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. In Merkblatt 27 der Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

Muukkonen, P., (2007). Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. Eur. J. For. Res. 126, 157–166.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022). 17 Nachhaltigkeitsziele - SDGs, <https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/17-nachhaltigkeitsziele-sdgs>.

Toochi EC., (2018). Carbon sequestration: How much can forestry sequester CO₂? Forest Res Eng Int J. 2:148-150.

Probst, W., (2020). Leben und Konsum in Unterricht Biologie - 44. Jahrgang, Heft 457, Friedrich Verlag, Hannover.

Saxe, H., Ellsworth, D.S., Heath, J., (1998). Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. New Phytol. 139, 395–436.

Umwelt Bundesamt (2021). Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfelder>.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Stundenverlauf

Einstieg



Die LP (Lehrperson) präsentiert die Einstiegsfolien und bittet die Schüler*innen einen Zusammenhang zwischen den Bildern herzustellen.

Quelle: Flug Düsseldorf-Mallorca hin und zurück produziert 680 kg CO₂ (<https://www.atmosfair.de/de/mallorca/>)

Medien: Folie oder Beamer

Problemstellung



Die Schüler*innen erarbeiten mit den Folien 2-3 die Problemstellung: "Wie viele Bäume vom Schulhof werden benötigt, um 680 kg Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Luft zu entfernen?"

Medien: Folie oder Beamer

Erarbeitung



Die Schüler*innen lernen das Prinzip des Försterdreiecks zur Höhenermittlung eines Baumes kennen.

Medien: Arbeitsblätter (AB), vierfach differenziert



Die Schüler*innen wenden das Försterdreieck an einem Baum auf dem Schulhof, im Park oder im Wald an und messen den Durchmesser dieses Baumes. Die Schüler*innen dokumentieren ihre Ergebnisse.

Medien: AB, Stock/Stöcke, Maßband



Die Schüler*innen bestimmen mit Hilfe ihrer Messdaten und einer Schätztabelle für Laub- bzw. Nadelbäume die Menge an CO₂, die der Baum bereits aus der Atmosphäre aufgenommen hat.

Medien: AB



Die Schüler*innen ermitteln anschließend wie viele ihres vermessenen Baumes es bedarf, um 680kg CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen.

Medien: AB

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Stundenverlauf (Fortsetzung)

Sicherung



Beantwortung der Fragen im Plenum:

Wie viele Bäume werden benötigt, um die 680 kg CO₂ auszugleichen, die bei einem Hin- und Rückflug zwischen Düsseldorf und Mallorca entstehen?

Die Antworten werden im Plenum ausgetauscht.

Medien: AB

Transfer



Für die abschließende Diskussion im Plenum und den Transfer empfehlen wir Ihnen das Lernmodul »**Lösungsansätze**«.

Hinweise & Tipps

- » Hinweis zu Aufgabe 2 (5.): Die Schüler*innen messen den Baumdurchmesser in Brusthöhe auf 1,30 m über dem durchschnittlichen Boden. Dies entspricht der international standardisierten Höhe auf Brusthöhe ($d_{1,3}$), um den Baumdurchmesser zu bestimmen (Burns, 1990; Brokaw, N. & J. Thompson, 2000)
- » Markieren Sie ggf. vorher auf dem Schulhof einige Bäume, die gerade und auf einer ebenen Bodenfläche gewachsen sind.
- » Falls kein Bandmaß aus dem Sportunterricht zur Verfügung steht, können die Entfernungen auch mit einem Zollstock, der mehrfach hintereinander auf den Boden gelegt wird, gemessen werden. Oder man misst die Schrittlänge eines/r Schüler*in mit einem Zollstock und misst die Entfernungen in Schritten.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Grundsätzliche Informationen zum differenzierten Unterrichtsmaterial des MINT-Bildungsprojekts unserWaldKlima

Ziel des MINT-Bildungsprojekts **unserWaldKlima** ist, Lehrkräften für heterogene Lerngruppen differenziertes Unterrichtsmaterial zur Verfügung zu stellen, um möglichst vielen Schüler*innen Teilhabe zu ermöglichen.

Die verschiedenen Differenzierungsstufen erkennen die Lehrkräfte und Schüler*innen an den Blätter-Icons in der Kopfzeile des Arbeitsmaterials bzw. in der Kopfzeile von Hilfekarten und Zusatzaufgaben:

Blätter-Icons



» **Differenzierungsstufe Grundlagen Förderung+**



» **Differenzierungsstufe Grundlagen**



Das Unterrichtsmaterial der **Differenzierungsstufe Basis** ist für ein Lernniveau entwickelt, das von den meisten Schüler*innen bearbeitet werden kann. Das Unterrichtsmaterial der Differenzierungsstufe Basis dient als Grundbaustein aller Unterrichtsmaterialien.




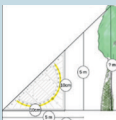



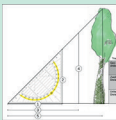

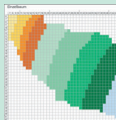




Für Schüler*innen im oberen Leistungsniveau werden Zusatzaufgaben oder alternativ Materialien der **Differenzierungsstufe Erweiterung** angeboten. Hierbei ergänzen einzelne Aufgabenstellungen als Zusatzaufgaben das Unterrichtsmaterial Differenzierungsstufe Basis.

Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Grafischer Stundenverlauf + Differenzierungs-Optionen

	Einstieg	Problem- stellung	Aufgabe	Aufgabe	Auswertung	Sicherung/ Transfer
	Erderwärmung	Flug setzt CO ₂ frei	Messmethode Hilfekarte	Baum vermessen Hilfekarten	Schätztabelle Hilfekarten	Ergebnisse sammeln und beurteilen
Grundlagen Förderung+ 						
Grundlagen 						
Basis 						
Erweiterung 				Zusatzaufgabe (in Material Basis)		

Anmerkungen zur Differenzierung

Zur Differenzierung in heterogenen Lerngruppen bietet das Lernmodul Hilfekarten, differenzierte Aufgabenstellungen und kooperative Lerneinheiten.

Das Unterrichtsmaterial ist für die Aufgabe 1 dreifach differenziert: Basis, Grundlagen und Grundlagen Förde-

rung+. Die Differenzierungsstufe Erweiterung ist als Zusatzaufgabe mit Hilfekarte in das Unterrichtsmaterial der Differenzierungsstufe Basis integriert.



Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die Försterdreieck-Methode | Handreichung für Lehrkräfte

Impressum

Herausgeber

Universität zu Köln

Institut für Biologiedidaktik
Herbert-Lewin-Str. 2
50931 Köln
biologiedidaktik.uni-koeln.de

Geographisches Institut
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln
geographie.uni-koeln.de

Autor*innen: Dr. Andreas Schwarz, Tobias Fuchs, Wibke Niels, Linda Maßon, Dr. Wolfgang Korres

Projektleitung: Prof. Dr. Kirsten Schlüter, Prof. Dr. Jörg Großschedl, Prof. Dr. Karl Schneider, Dr. Meike Mohneke

Redaktion: Wibke Niels

Bildnachweise: Dr. Andreas Schwarz, Titelbild von Dominik Van Opdenbosch über unsplash.com

Layout: Simone Kroll, Anne Germund

Gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft + Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Die Weiterverwendung und Vervielfältigung von einzelnen Abbildungen aus dieser Handreichung für Lehrkräfte ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht gestattet.



50° 55' 39" N
6° 56' 10" E
Geographisches Institut
Universität zu Köln



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

