II.A.3.2

Böden/Vegetation

Permafrost und Klimawandel – das große Tauen in der Arktis

Dr. Heidrun Kiegel, Köln

Foto: Sepp Friedhuber/E+

© RAABE 2021

VORSCHAU

Permafrost nimmt bis zu einem Viertel der Landoberfläche vor allem auf der nördlichen Nordhalbkugel ein. Auf dem permanent gefrorenen Boden bildet sich im Sommer eine Auftauschicht. Als Folge des Klimawandels tauen Teile des Permafrosts vollständig. Dadurch gelangen große Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre und verstärken die Erderwärmung. Das Tauen des Permafrosts betrifft somit nicht nur das Leben der Menschen vor Ort, sondern durch den Einfluss auf das Weltklima die gesamte Erde.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	Sek. II
Dauer:	9 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	Fotos auswerten, Profil verorten und auswerten, Klimatabellen auswerten, Grafiken interpretieren, Mindmap und Wirkungsgefüge erstellen, Präsentation und Erklärvideo erstellen, Podiumsdiskussion durchführen, Reportage und Pressemitteilung verfassen, Szenario erstellen, Karikatur auswerten, Wandzeitung erstellen
Thematische Bereiche:	Permafrost, polare und subpolare Zone, Frostmusterböden, Thermokarst, Erdöl- und Erdgasförderung, Klimawandel, Treibhausgase, Rückkopplung, Kipppunkt
Medien:	Karten, Grafiken, Diagramme, Fotos, Farbseiten, Texte, Internet

netzwerk lernen

zur Vollversion

M 2 Was ist Permafrost?

Bis zu einem Viertel der Landoberfläche wird von Permafrost eingenommen.

Aufgaben

1. Nennen Sie die Rahmenbedingungen für das Entstehen von Permafrost.
2. Beschreiben Sie die Lage von Permafrostgebieten.
3. Erklären Sie die Unterschiede zwischen kontinuierlichem (geschlossenem) und diskontinuierlichem (unterbrochenem) Permafrost.
4. Bestimmen Sie mithilfe der Angaben in der Grafik die Lage des Profils. Nutzen Sie einen Atlas.

Permafrost

Als Permafrost bezeichnet man einen Zustand von Dauerfrost, bei dem der Boden ständig gefroren ist. Permafrost liegt vor, wenn die Temperatur in den Böden mindestens zwei Jahre in Folge unter dem Gefrierpunkt liegt. Solche klimatischen Verhältnisse herrschen in Gebieten mit einem langen Winter und einem kurzen, kühlen Sommer. Wenig Schneefall und eine geringe Vegetationsbedeckung sind weitere Voraussetzungen dafür, dass sich Dauerfrost bis in große Tiefen des Bodens ausbreiten kann. Der Untergrund von Permafrost kann aus Gestein, Sedimenten oder Erde bestehen und somit unterschiedliche Mengen an Eis enthalten.

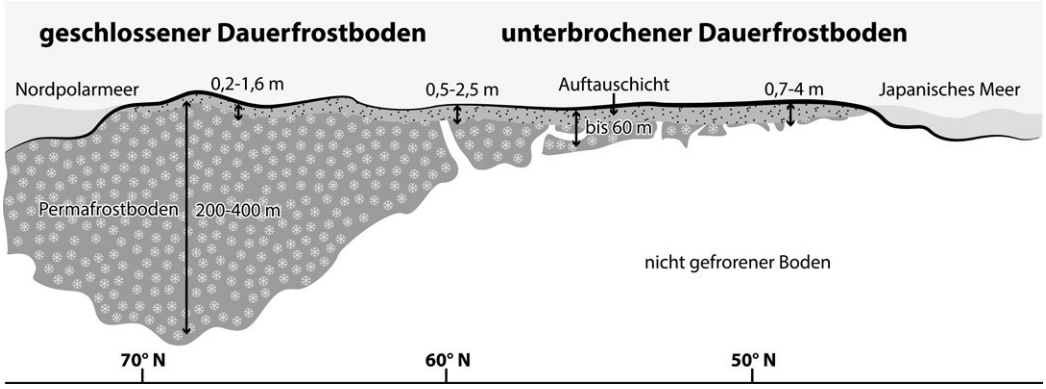
Die größten Vorkommen von Permafrost liegen in Sibirien, Kanada, Alaska und Nordskandinavien. Weitere, begrenzte Vorkommen gibt es in Hochgebirgen wie den Alpen. In Sibirien bildet der Dauerfrost eine Mächtigkeit von bis zu 1500 m aus. Mit zunehmendem Abstand von den Polen bzw. abnehmender Höhenlage in Gebirgen verringert sich die Mächtigkeit des Permafrostes.

Aufbau eines Permafrostbodens

Ein typischer Permafrostboden besteht aus zwei Schichten: einer oberen aktiven und einer unteren gefrorenen Schicht. Die aktive Schicht taut im Sommer auf und gefriert im Winter wieder. Die Mächtigkeit dieser Auftauschicht hängt von der jeweiligen Höhenlage und geografischen Breite ab. Während die Auftauschicht in Nordgrönland nur einen halben Meter mächtig ist, reicht sie in Kanada bis in zwei Meter Tiefe. In der Auftauschicht spielen sich die meisten biologischen und biochemischen Aktivitäten im Permafrostboden ab.

(Autorentext, verschiedene Quellen)

Schnitt durch die Permafrostzone Ostsibiriens



Zeichnung: Silvana Timmer

VORSCHAU

© RAABE 2021

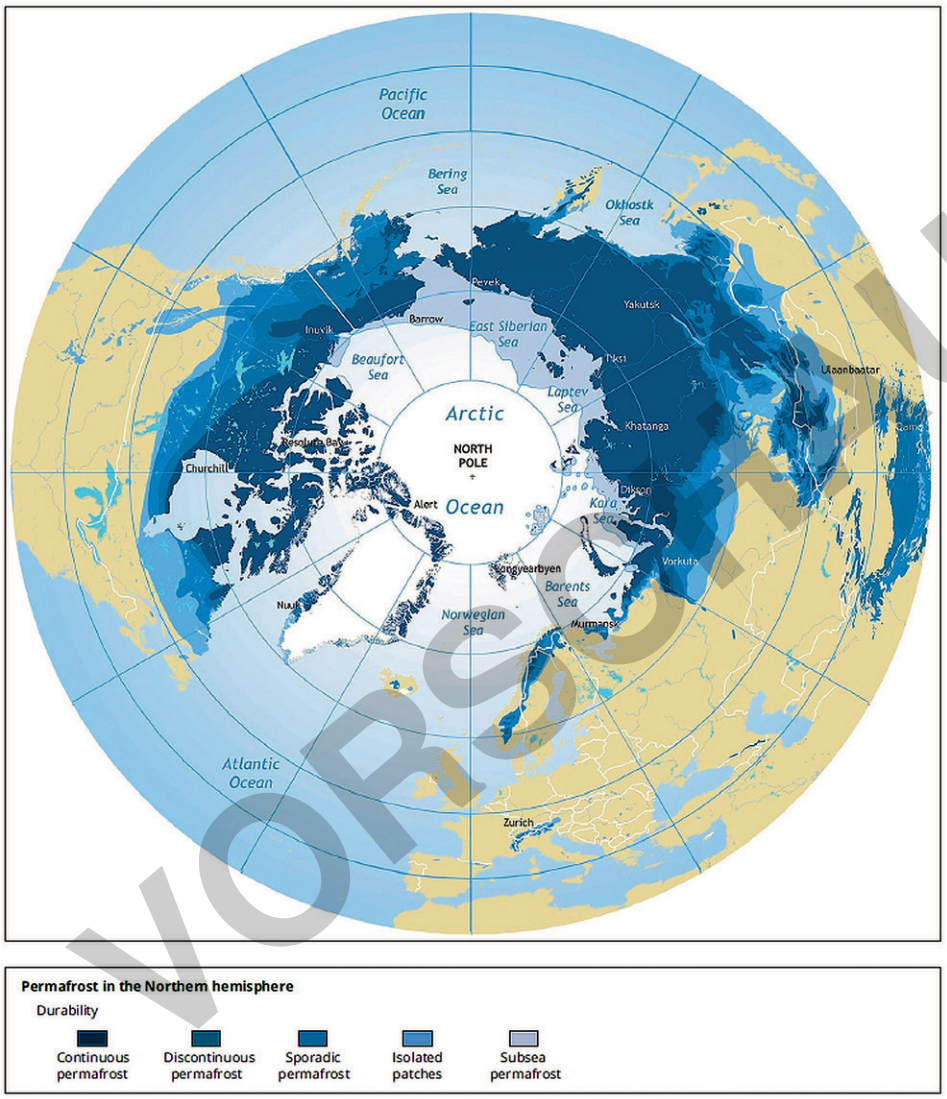
netzwerk lernen
zur Vollversion

Verbreitung von Permafrost auf der Nordhalbkugel M 3

Auf der Nordhalbkugel mit ihren großen Landmassen ist Permafrost weit verbreitet.

Aufgaben

1. Beschreiben Sie die Verbreitung der verschiedenen Arten des Permafrosts.
2. Untersuchen Sie mithilfe des Atlasses, in welche Klimazonen das Verbreitungsgebiet des Permafrosts fällt.



Quelle: EEA Report No 7/2017: The Arctic environment. European perspectives on a changing Arctic. S. 42.
https://www.eea.europa.eu/publications/the-arctic-environment

Continuous permafrost (kontinuierlicher Permafrost): Permanent und komplett gefrorener Boden, nur durch einzelne aufgetaute Stellen wie unter großen Seen unterbrochen
Discontinuous permafrost (diskontinuierlicher Permafrost): Gefrorener Boden ist von ungefrorenem Boden umgeben
Sporadic permafrost (sporadischer oder saisonaler Permafrost): Boden nur an einzelnen Stellen gefroren, wo Rahmenbedingungen gegeben sind; Unterboden taut im Sommer auf
Isolated patches: isolierte Vorkommen; *Subsea permafrost*: submariner Permafrost unter dem Meer

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen

zur Vollversion

Vegetation in Permafrostgebieten

M 5

Auf Permafrostboden gedeiht eine Vegetation mit besonderen Schutzmechanismen gegen die Kälte.

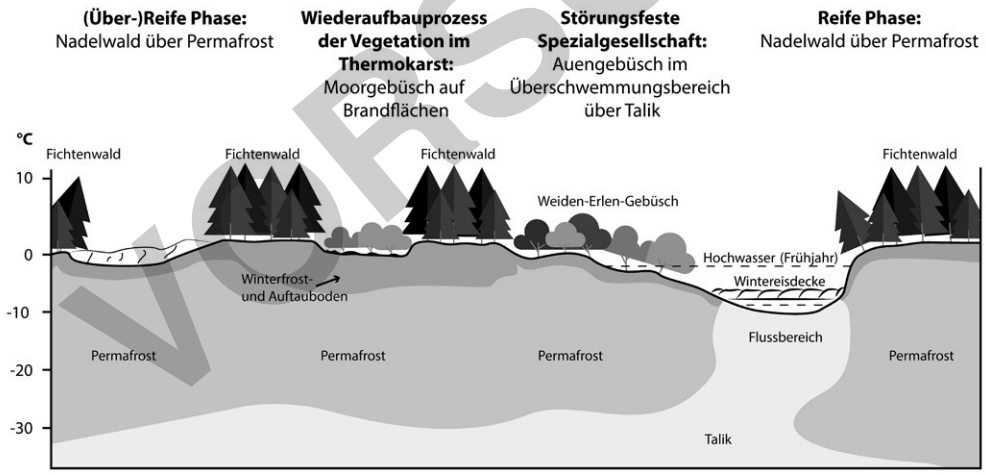
Aufgaben

1. Bestimmen Sie mithilfe der Karte **M 3** und des Atlasses, in welchen Vegetationszonen Permafrost auftritt.
2. Nennen Sie die verschiedenen Vegetationsgesellschaften auf Permafrostboden.
3. Erläutern Sie das ökologische Problem für das Pflanzenwachstum in Permafrostgebieten.
4. Recherchieren Sie im Internet die Standortansprüche der beiden auf Permafrost dominierenden Baumarten. Stellen Sie Ihre Ergebnisse in einer Kurzpräsentation vor.

In einem so extremen Lebensraum wie in Permafrostgebieten ist für die Verbreitung der Vegetation die Anpassung entscheidend. Die Artenvielfalt ist gering. In Mittel- und Ostsibirien dominiert die Lärche, in Nordamerika zudem die anspruchslose Schwarzfichte. Aufgrund der niedrigen Temperaturen können Pflanzenreste nur in geringem Maße von Bakterien zersetzt werden und bleiben meist auf dem Boden liegen. Deswegen sind für neues Pflanzenwachstum kaum Nährstoffe verfügbar. Nur wenige Spezialisten können in einer solchen Umgebung überleben.

Foto: Evgenii Mitrochin/iStock Getty Images Plus

Permafrostverteilung unter einem Vegetationsprofil



Zeichnung: Silvana Timmer

Talik = Niefrostboden unterhalb des Permafrostbodens
Thermokarst (= Kryokarst) = Vertiefung durch Auftauen des Permafrostes

Merke: Nadelbäume sind optimal an die Kälte angepasst. Bei Temperaturen unter 0 °C gefriert das Wasser im Boden. Bäume können dadurch über ihre Wurzeln kein Wasser mehr aufnehmen. Doch die Nadeln der Nadelbäume verdunsten wegen ihrer kleinen Oberfläche nur sehr wenig Wasser. Die wachsartige Schicht der Cuticula schützt die Nadeln außerdem vor Kälteschäden.
In Gebieten mit Permafrost führen geringer Niederschlag, lange Kältephasen und geringe Sonneneinstrahlung zu einem sehr langsamen Pflanzenwachstum. Deswegen benötigen Nadelbäume dort zwischen 200 und 500 Jahre, bis sie eine Wuchshöhe von 25 m und mehr erreichen.

© RAABE 2021

VORSCHAU
netzwerk lernen
zur Vollversion

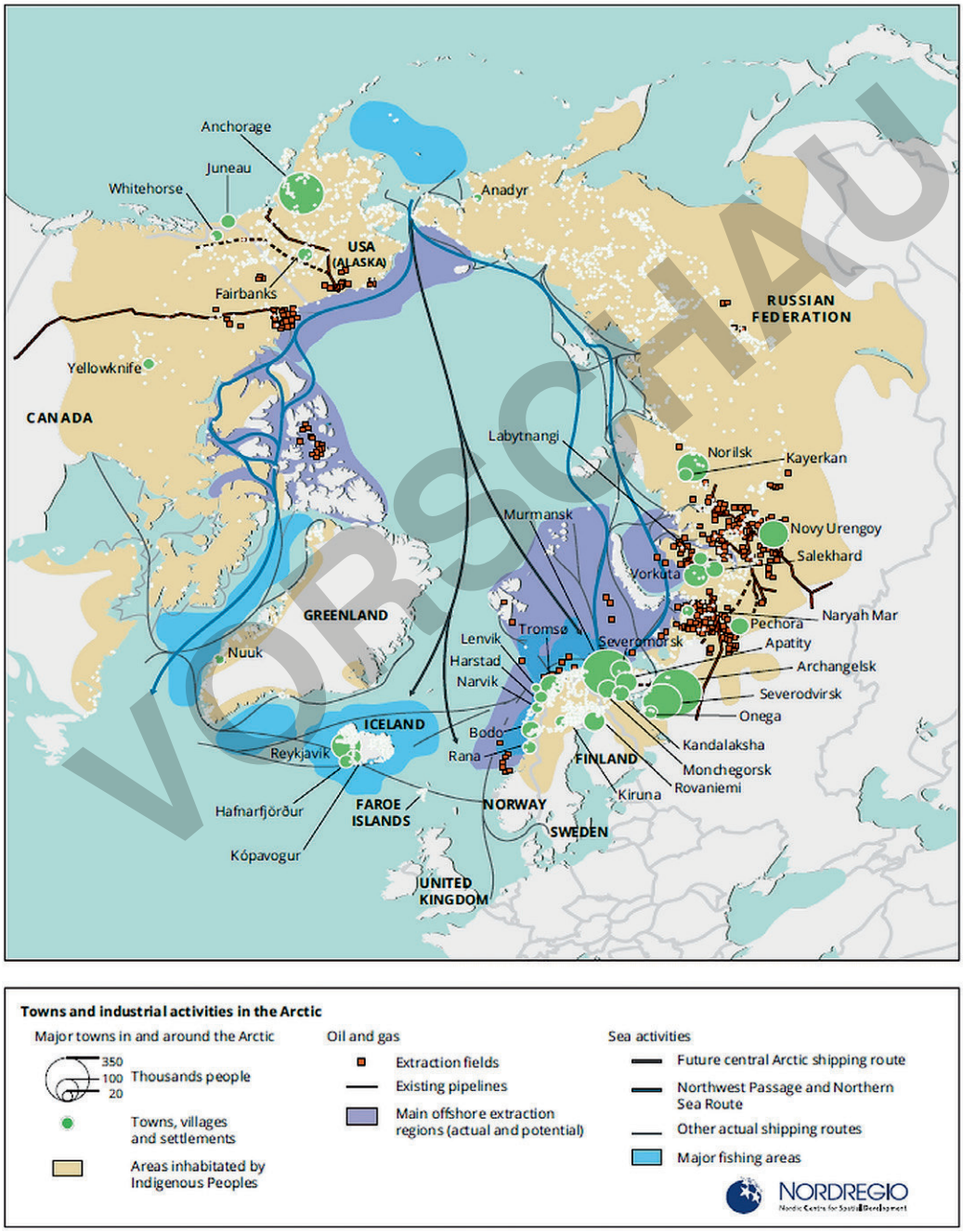
Besiedlung und Nutzung der Arktis

M 7

Trotz der schwierigen natürlichen Bedingungen nutzt der Mensch die Gebiete des Permafrosts.

Aufgaben

1. Nennen Sie die sieben größten Städte in der Arktis und beschreiben Sie deren Lage.
2. Recherchieren Sie, welche indigenen Völker in der Arktis leben. Erstellen Sie in Gruppen eine Präsentation zu einem dieser Völker.
3. Erstellen Sie eine Mindmap zur Besiedlung und Nutzung der Arktis.
4. Erläutern Sie mögliche Schwierigkeiten bei der Förderung von Erdöl in der Arktis. Berücksichtigen Sie dabei auch die natürlichen Rahmenbedingungen.



Quelle: EEA Report No 7/2017: The Arctic environment. European perspectives on a changing Arctic. S. 18.
https://www.eea.europa.eu/publications/the-arctic-environment

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Pipelines im Permafrostboden

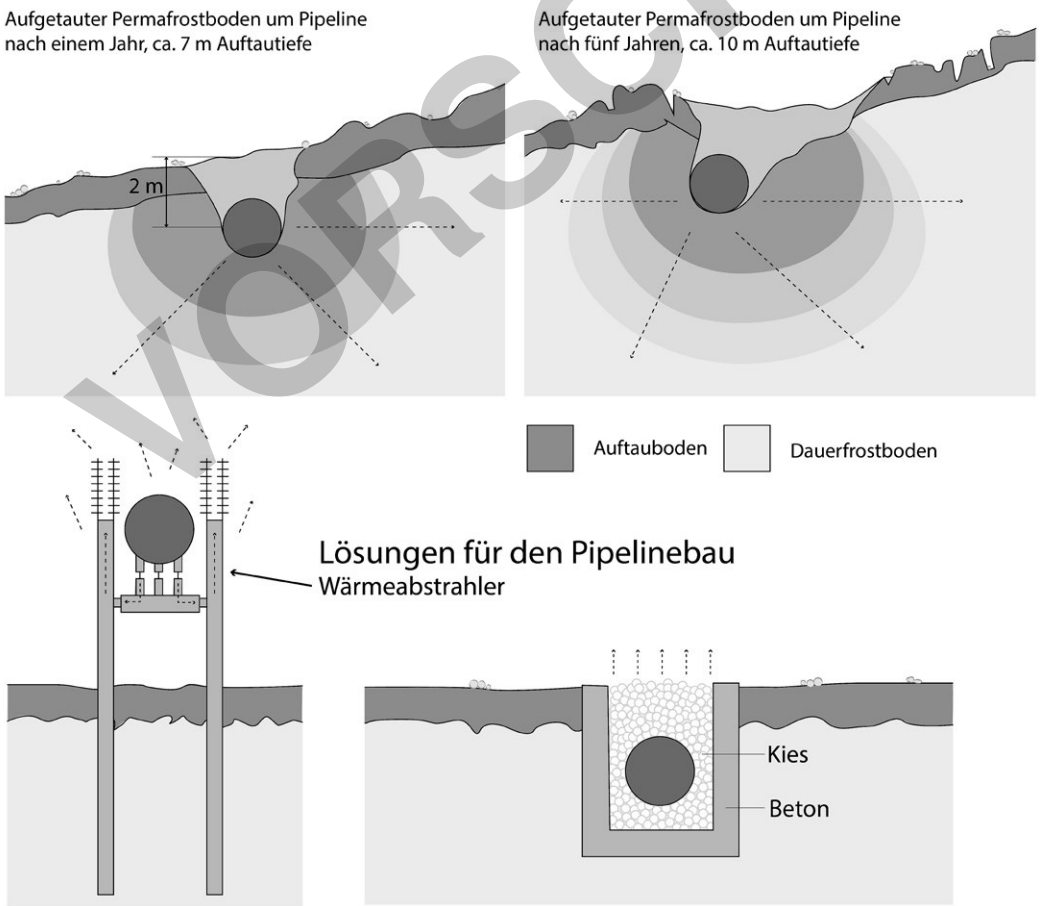
M 9

Wie können Pipelines im Dauerfrostboden verlegt werden?

Aufgaben

1. Nennen Sie Probleme, die bei der Verlegung von Pipelines im Dauerfrostboden auftreten.
2. Erörtern Sie die aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten.
3. Ein russisches Erdölunternehmen plant eine weitere Pipeline in Sibirien. Organisieren Sie eine Podiumsdiskussion zum Thema. Teilnehmer sind Vertreter des Bauunternehmens, der Regierung, Umweltschützer und indigene Bewohner einer Region, durch die die Pipeline führen soll.

Foto: Sarkophoto/iStock Getty Images Plus



Zeichnung: Silvana Timmer

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Hitzewelle in Sibirien nur durch Klimawandel erklärbar

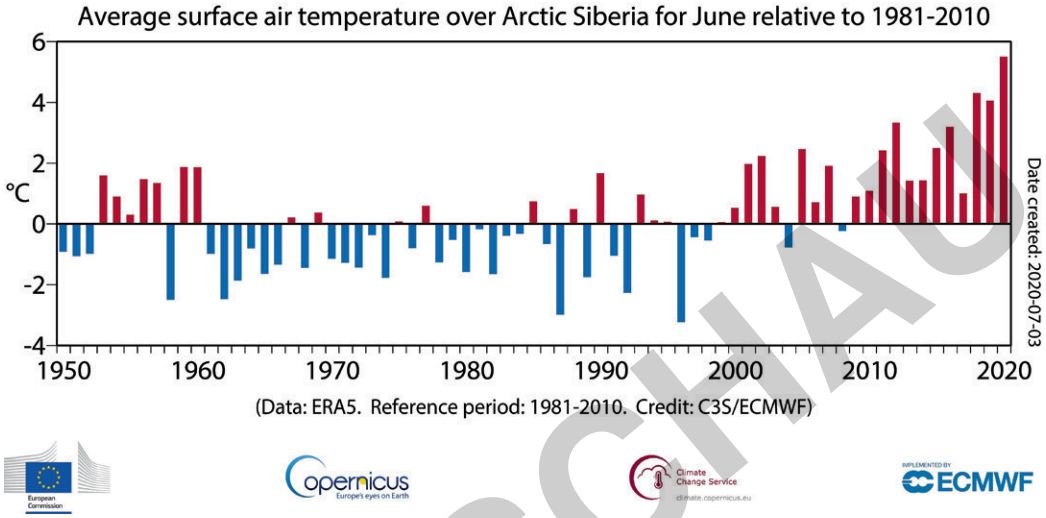
M 11

Wie hängt die Hitzewelle in Sibirien mit dem Klimawandel zusammen?

Aufgaben

1. Beschreiben Sie die Entwicklung der Junitemperaturen in Sibirien seit 1950.
2. Untersuchen Sie das Wetter in Sibirien im Sommer 2020.
3. Erarbeiten Sie ein fiktives Interview mit einem Wissenschaftler der World Weather Attribution zum Thema „Klimawandel in Sibirien". Notieren Sie mögliche Fragen und Antworten.

Temperaturen im arktischen Sibirien im Juni im Vergleich zu 1981–2010



Quelle: https://atmosphere.copernicus.eu/temperature-records-siberia-while-wildfires-arctic-surpass-last-years-activity

Seit Monaten ist es in Sibirien deutlich wärmer als normal. Eine Hitzewelle herrscht, die sich auch Forscher kaum erklären können. […]

Die Stadt Werchojansk im Osten Sibiriens gilt als eine der kältesten Städte der Welt. Bislang. Doch am 20. Juni [2020] schrieb Werchojansk Klimageschichte: Die Temperaturen stiegen auf 38 Grad Celsius – so warm war es nördlich des Polarkreises noch nie seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Grund für diese Rekordtemperaturen waren südliche Winde. „Damit kam tropische Luft in die Region, wir hatten ein großes Hochdruckgebiet und als Ergebnis hatten wir dann diesen Rekordwert von 38 Grad Celsius." (Olga Zolina, Shirshov-Institut für Ozeanologie.)

Doch damit ist noch nicht erklärt, warum weite Teile Sibiriens schon seit Monaten eine Hitzewelle erleben: Von Januar bis Mai dieses Jahres sei es in Sibirien etwa sieben Grad wärmer gewesen als sonst, sagt Anders Levermann vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. […]

Neue Studie

Am 15. Juli veröffentlichte eine Gruppe europäischer Wissenschaftler der World Weather Attribution die Ergebnisse einer Untersuchung verschiedener Klimamodelle zum derzeitigen Klimageschehen in Sibirien. Ihr Fazit ist eindeutig: „Die beobachteten Temperaturen in diesem Zeitraum sind quasi unmöglich ohne menschlichen Einfluss – also ohne die Erwärmung, die sich aus dem menschlichen Einfluss aufs Klima ergibt." (Andrew Ciavarella, britischer Wetterdienst UK Met Office und Mit-Autor der Studie der World Weather Attribution). […]

Quelle: BR 16.07.2020, https://www.br.de/nachrichten/wissen/hitze-hitzewelle-sibirien-klimawandel-klimaforscher,S3b3RLi

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

M 12 So schnell erwärmen sich die Dauerfrostböden der Welt

Eine internationale Studie hat untersucht, in welchem Ausmaß sich Permafrostböden weltweit bereits erwärmt haben.

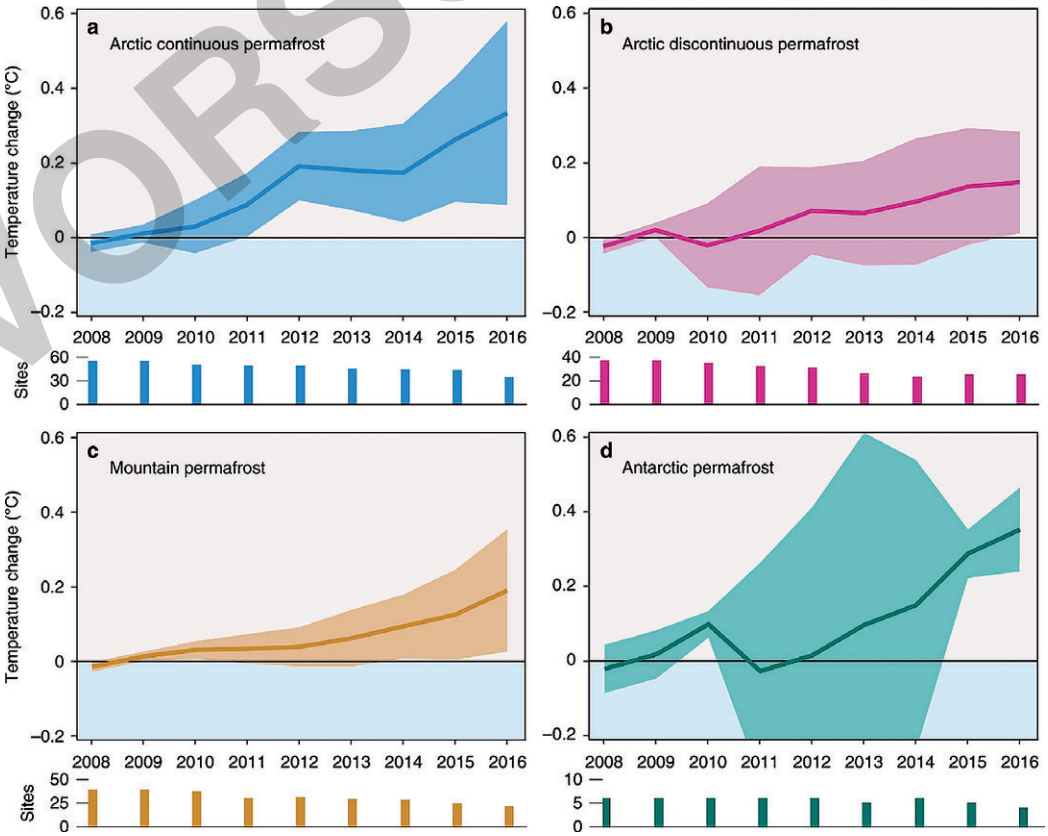
Aufgaben

1. Werten Sie die Informationen dieser Seite mit W-Fragen aus: Wer, wie, was, wo, wann, warum?
2. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Studie in der Arktis, dem Hochgebirge und der Antarktis.
3. Erarbeiten Sie eine Pressemitteilung, in der die Forscher ihre Ergebnisse präsentieren.

[…] Eine neue Vergleichsstudie des internationalen Permafrost-Netzwerks (GTN-P – Global Terrestrial Network for Permafrost) zeigt nun erstmals, in welchem Ausmaß sich die Permafrostböden der Welt bereits erwärmt haben. Dafür haben die Forscher zehn Jahre lang die Bodentemperatur in Bohrlöchern in der Arktis, der Antarktis und in verschiedenen Hochgebirgen der Welt gemessen und ausgewertet. Die Daten wurden in mehr als 10 Metern Tiefe erhoben, sodass der Einfluss saisonaler Temperaturschwankungen ausgeschlossen werden konnte.

Der komplette Datensatz umfasst 154 Bohrlöcher, von denen 123 Aussagen über ein Jahrzehnt zulassen, während der Rest die Berechnung zu den jährlichen Abweichungen verfeinert. Die Ergebnisse legen offen, dass sich in den zehn Jahren von 2007 bis 2016 der Permafrostboden an 71 der 123 betrachteten Messstellen erwärmt hat. In fünf dieser Bohrlöcher taute der Permafrost in der Tiefe sogar auf. An zwölf Bohrlöchern sank die Bodentemperatur dagegen, u. a. vereinzelt in Ost-Kanada, im südlichen Eurasien und der antarktischen Halbinsel, an 40 Bohrlöchern blieb sie nahezu unverändert. […]

Quelle: Alfred Wegener Institut (AWI): So schnell erwärmen sich die Dauerfrostböden der Welt; www.awi.de/ueber-uns/service/presse-detailansicht/presse/so-schnell-erwaermen-sich-die-dauerfrostboeden-der-welt.html



Quelle: Nature

VORSCHAU

© RAABE 2021

netzwerk lernen
zur Vollversion

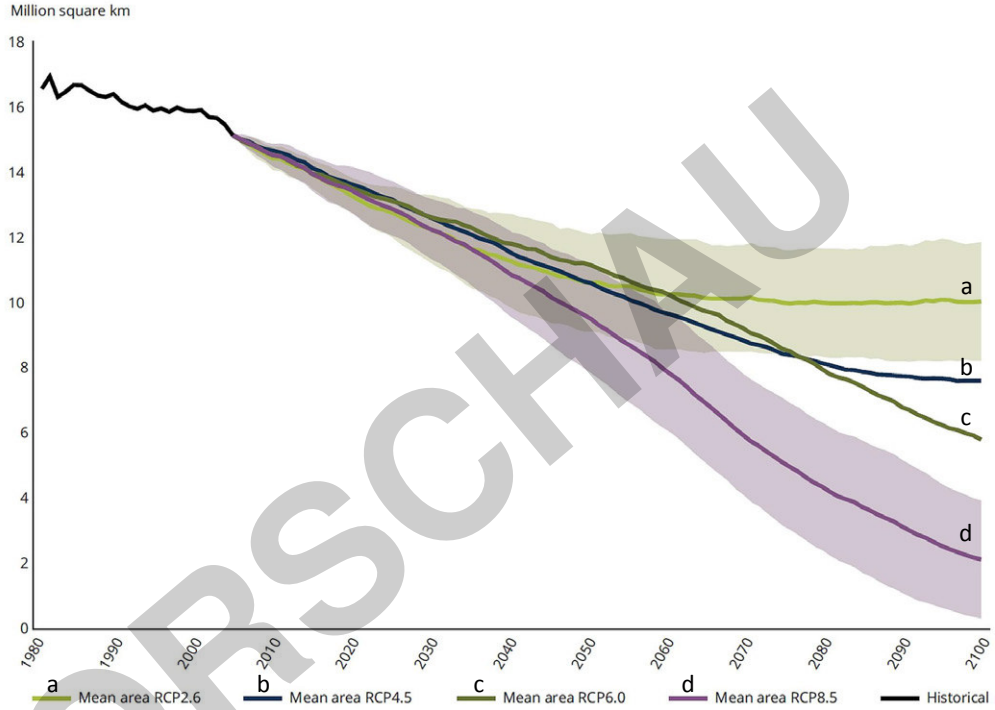
M 14 Entwicklung der Fläche mit Permafrost bis 2100

Die Fläche mit Permafrost wird sich weiter verkleinern. Das birgt Chancen und Risiken.

Aufgaben

1. Vergleichen Sie die Flächen, die nach den verschiedenen Prognosen im Jahr 2100 von Permafrost eingenommen werden. Finden Sie Staaten mit ähnlich großen Staatsflächen.
2. Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die positiven und negativen Auswirkungen des Auftauens von Permafrost gegenüberstellen.

Ausbreitung von oberflächennahem Permafrost auf der Nordhalbkugel 1980–2100



Quelle: EEA Report No 7/2017: The Arctic environment. European perspectives on a changing Arctic. S. 43.

Mögliche Auswirkungen des Auftauens von Permafrost in der Arktis

- An der arktischen Infrastruktur und an den Verkehrssystemen sowie Öl- und Gaspipelines, Straßen, Häusern und Start- und Landebahnen werden zunehmend Schäden festzustellen sein.
- Das Auftauen von Permafrost verändert Ökosysteme, Vegetationsarten und die daran angepasste Tierwelt sowie Migrationsmuster bestimmter arktischer Arten.
- Das Auftauen von Permafrost ist eine bedeutende Quelle von Treibhausgasen (CO_2 und Methan). Tundra-Waldbrände erhöhen die Treibhausgasemissionen zusätzlich.
- Auftauender Permafrost kann jahrtausendealte Ablagerungen von Krankheitserregern freisetzen, die in älteren Eisschichten gefroren wurden (Beispiel Milzbrand 2016 in Russland).
- Flächen mit abnehmendem Permafrost können in Ackerland oder forstwirtschaftliche Flächen umgewandelt werden, wenn Entwässerungs- oder Hangbedingungen günstig sind.
- Das Auftauen von Permafrost kann zu einer Erhöhung der Verfügbarkeit von Trinkwasser führen.
- Teile der derzeitigen Infrastruktur müssten umgebaut oder verstärkt werden. Dadurch ergeben sich wirtschaftliche Vorteile für die Bauwirtschaft.

Zusammenstellung aus verschiedenen Quellen

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen

zur Vollversion

Zusammenhang zwischen Vegetation und Permafrost

M 17

Wie beeinflusst die Vegetation den Permafrost?

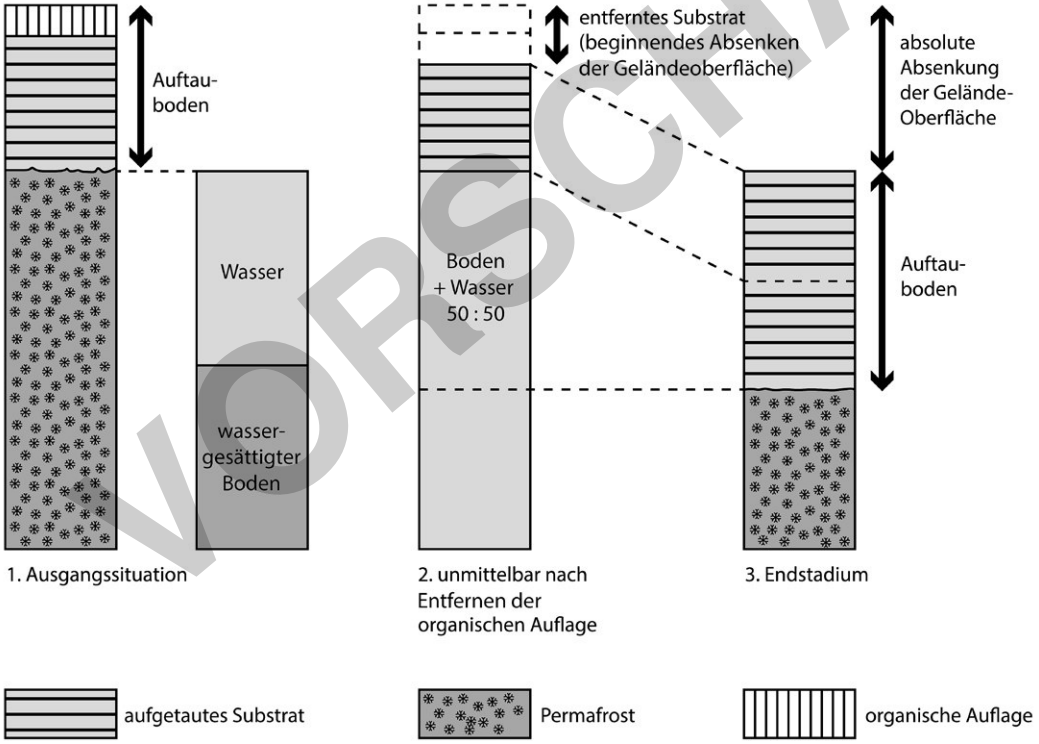
Aufgaben

1. Erklären Sie die schützende Wirkung von Vegetation auf Permafrostböden.
2. Erläutern Sie in Kleingruppen den Zusammenhang zwischen Vegetation und Permafrost beim Auftauen des Permafrosts.

Die Vegetation auf dem Permafrostboden schützt diesen vor dem Auftauen. Wird die Vegetation bzw. die organische Auflage entfernt, kann es zur Bildung von Thermokarst kommen.

Taut Permafrostboden infolge des Klimawandels auf, hat das zwei gegenteilige Effekte auf die Vegetation. Auf der einen Seite verstärkt das Auftauen der gefrorenen Erdschichten die Zersetzungsprozesse im Boden, wodurch höhere CO_2-Emissionen freigesetzt werden. Auf der anderen Seite nimmt mit den höheren Temperaturen das Pflanzenwachstum zu, wodurch weiteres CO_2 gespeichert wird. Allerdings kann dieser zweite Effekt den ersten auf Dauer nicht ausgleichen.

Entstehung von Thermokarst im Permafrost durch Entfernung der organischen Auflage



Zeichnung: Silvana Timmer

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

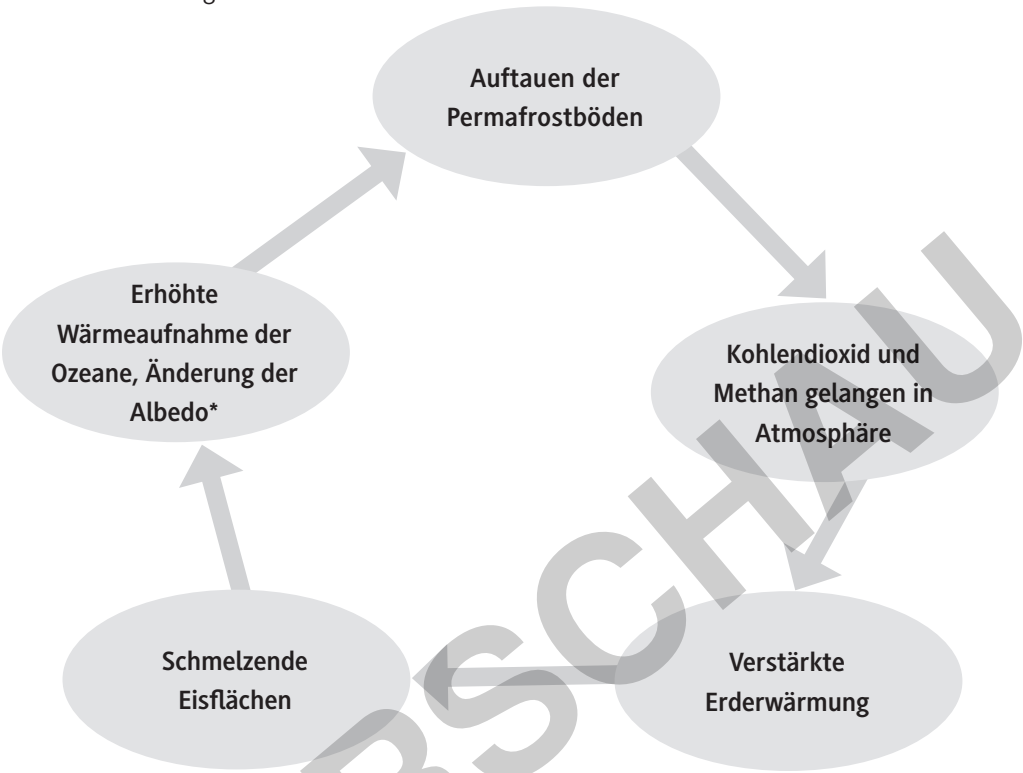
Rückkopplungseffekt beim Auftauen von Permafrost

M 19

Wie verstärkt das Auftauen von Permafrost den Klimawandel?

Aufgaben

1. Erläutern Sie den positiven Rückkopplungseffekt beim Auftauen von Permafrost.
2. Eine Zeitung schreibt: „Wenn es in Sibirien taut, ist das Weltklima in Gefahr". Nehmen Sie Stellung zu dieser Aussage.



*Albedo = Rückstrahlvermögen der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche; die Albedo von Eis ist wesentlich höher als die von Meerwasser; durch das Abschmelzen von Eis nimmt das Meerwasser mehr Wärme auf, wodurch die Erderwärmung beschleunigt wird.

Modellrechnung von Klimaforschern – Tauender Permafrost

Nach Berechnungen von Wissenschaftlern könnte der Ausstoß von Treibhausgasen aus tauendem Permafrost bis zum Ende des Jahrhunderts zu einem zusätzlichen Temperaturanstieg von bis zu 0,29 °C führen. Bis zum Jahr 2300 könnte er mehr als 0,40 °C betragen.

Foto: Boris Radosavljevic/Wikimedia/cc by sa 2.0

© RAABE 2021

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion