

UndercoverEisAgenten – dem Permafrost auf der Spur

Einführende Bemerkungen

Das Projekt UndercoverEisAgenten zielt darauf ab, in Zusammenarbeit mit Bürgerwissenschaftler:innen gemeinsam Daten zum arktischen Permafrost zu erheben und zu verarbeiten und so unsere Kenntnisse der Arktis zu vertiefen. Zeitgleich soll das Bewusstsein der beteiligten Akteur:innen für diesen besonderen Naturraum gestärkt werden.

Das vorliegende Basismodul des Projektes UndercoverEisAgenten vermittelt grundlegendes Wissen zum Permafrost und macht zugleich das Konzept der Citizen Science verständlich – also der gemeinsamen Forschung durch Bürgerwissenschaftler:innen und Forschungseinrichtungen.

Das Basismodul ist modular aufgebaut und kann flexibel im Unterricht und in außerschulischen Bildungsprojekten eingesetzt werden. Es bereitet darauf vor, die UndercoverEisAgenten-App zu verwenden, mit deren Hilfe Permafrostregionen klassifiziert werden und so die Verbreitung des Permafrostes erhoben wird.

Zielgruppe

- Schüler:innen ab Klasse 9
- Projektteilnehmer:innen ab 12 Jahren auch in außerschulischen Bildungsprojekten

Zeitumfang

90 Minuten, flexibel gestaltbar

Durchführungsvorschläge

Ziel der Einführung ist die Nutzung der UndercoverEisAgenten-Mapping-App. Am Ende der Sitzung sollte genug Zeit (mindestens 20 Minuten) eingeplant werden, um die Mapping-App auszuprobieren. Der Einleitungstext führt in das Thema ein und sollte von allen Teilnehmer:innen gelesen werden. Die zusätzlichen Materialien M1-M7 vertiefen verschiedene Aspekte und können je nach Lernstand, Zielsetzung und zeitlicher Kapazität flexibel genutzt werden. Die Materialien 6 und 7 sowie die zugehörigen Aufgaben 6 und 7 sollten, da sie konkretes Wissen zur Nutzung der Mapping-App vertiefen, ebenfalls auf jeden Fall bearbeitet werden.

Kontakt

www.undercovereisagenten.org

undercovereisagenten@awi.de

Verwendete Literatur

Wissenschaftliche Literatur

- Ahnert, Frank: Einführung in die Geomorphologie, 5. Auflage, Stuttgart 2015.
- Grosse, Guido/Lenz, Josefine/Strauss, Jens: Permafrostverbreitung und -degradation in den Polarregionen, in: Geographische Rundschau 2018, Heft 11, S. 10-15.
- Schaefer, Kevin et al.: The impact of the permafrost carbon feedback on global climate, in: Environmental Research Letters 9 (2014).
- Schneider von Deimling, T. et al.: Estimating the near-surface permafrost-carbon feedback on global warming, in: Biogeosciences 9 (2012), S. 649-665.
- Zepp, Harald: Geomorphologie. Eine Einführung, 6. aktualisierte Auflage, Paderborn 2014.

Internetquellen

- <https://www.awi.de/im-fokus/permafrost/permafrost-eine-einfuehrung.html> (20.4.22)
- <https://www.deutschlandfunk.de/klimawandel-die-arktis-erwaermt-sich-dreimal-so-schnell-wie-100.html> (20.4.22)

Dem Permafrost auf der Spur

Gefrorener Boden, den man nicht sieht, Moose und Flechten, endlose Tundra, und das alles weit weg von Europa – was hat das mit uns zu tun? Auf den ersten Blick scheint der Permafrost nicht spektakulär, aber wenn er verschwindet, wird das weltweit erhebliche Folgen haben.

Permafrost, also dauerhaft gefrorener Boden, prägt etwa 25 % der Landfläche auf der Nordhalbkugel und damit großen Teile der Polarregion. Der Klimawandel ist hier besonders stark zu spüren: Die Arktis erwärmt sich mittlerweile zwei- bis dreimal so schnell wie die Erde im Durchschnitt. Die steigende Temperatur führt dazu, dass immer größere Permafrost-Bereiche auftauen.

Das Permafrost-Tauen hat schwerwiegende Folgen für die weiten Landschaften der Arktis. Unmittelbar sind dabei die Bewohner:innen der Arktis betroffen: Die Menschen leben seit Jahrhunderten mit dem Permafrost und haben zum Beispiel ihre Behausungen auf tief in den gefrorenen Untergrund gegründete Pfähle gebaut. Taut der Permafrost im Sommer immer länger und tiefer, ändert sich ihre Umwelt: Straßen und Schienen sacken ab oder Häuser werden instabil, weil der Baugrund nachgibt oder die Pfähle nicht mehr im ständig gefrorenen Boden festsitzen. In manchen Regionen geht sogar Landfläche verloren, weil das Permafrost-Tauen die Ufererosion an Flüssen oder an der Küste verstärkt. An der Küste Nord-Alaskas, die besonders schnell erodiert, kann sich die Uferlinie in manchen Jahren bis zu 50 Meter landeinwärts schieben!

Aber auch wir in Europa sind vom Permafrost-Tauen in der Arktis betroffen: Im Permafrost sind abgestorbene Pflanzenreste eingelagert, deren Kohlenstoff im gefrorenen Zustand dem Stoffkreislauf entzogen sind. Tauen diese nun auf, können gewaltige Mengen an Kohlenstoff von Mikroben umgesetzt werden und in Form von Kohlenstoffdioxid und Methan an die Atmosphäre abgegeben werden. Das verstärkt den Treibhauseffekt, was wiederum das Auftauen des Permafrosts verstärkt - ein sich selbst verstärkender Prozess.

Was können wir tun? Auch wir in den mittleren Breiten können unsere Treibhausgas-Emissionen reduzieren und so dazu beitragen, dass sich die Arktis weniger stark erwärmt. Um effektiv handeln zu können, müssen wir aber zunächst einmal in Erfahrung bringen, wie sich der Permafrost verändert. Obwohl die Permafrostgebiete oft schwer zugänglich sind, können wir sie mithilfe von Satelliten- und Drohnenaufnahmen untersuchen.

Dafür erheben Schüler:innen an unseren kanadischen Partnerschulen Fernerkundungsdaten durch Drohnen in ihrer Umgebung, die dann in unserem Projekt verarbeitet werden können.

Gefrorenen Boden kann man aber nicht ohne weiteres von oben erkennen, denn der Permafrost wird von einer Schicht aufgetautem Boden und von Pflanzen verdeckt: Permafrost ist undercover. Aber der Permafrost prägt und formt die Landschaft: Er hinterlässt charakteristische Spuren an der Oberfläche, die sogenannten Frostmusterböden. Mit etwas Hintergrundwissen und Übung kann man diese Strukturen leicht erkennen und Permafrost-Forschende:r werden!

Die Permafrost-Spuren sind auf Luftbildern zu sehen – aber um damit arbeiten zu können, müssen diese erst ausgewertet werden. Das bedeutet, es muss festgelegt werden, wo überall Permafrost-Spuren zu sehen sind und wo sie verschwinden. Da die Datenmengen immens sind, können Wissenschaftler:innen allein diese nicht auswerten.

Dafür brauchen wir Euch! In der UndercoverEisAgenten-App könnt ihr Luftbilder klassifizieren, also einordnen, ob sie Permafrost zeigen oder nicht. Auf diese Weise ist es möglich, anhand großer Datenmengen zu erfassen, wie sich der arktische Permafrost verändert. Mit Eurer Forschungsarbeit helft Ihr, den Permafrost in der Arktis besser zu verstehen!

Fragen und Aufgaben zur Vertiefung

1. Warum stellt das Permafrost-Tauen für die Bewohner:innen der Arktis ein Problem dar?
2. Was hat der arktische Permafrost mit uns zu tun?
 - a. Erläutere die Folgen des Permafrost-Tauens auf uns in Mitteleuropa.
 - b. Diskutiere unsere Möglichkeiten, darauf Einfluss zu nehmen.
3. Wodurch zeichnet sich Permafrost aus? Welche Arten von Permafrost gibt es und was unterscheidet ihn vom Boden in der gemäßigten Zone? Beschreibe die Unterschiede hinsichtlich der Bodentemperatur und erläutere die Folgen für die Flüssigkeit im und auf dem Boden. (M1 und M2)
4. Im Permafrost sind große Mengen Kohlenstoff gespeichert.
 - a. Vergleiche die Kohlenstoffspeicher der Welt (M5) und erläutere die Bedeutung des Permafrostes für das Weltklima.
 - b. Der Permafrost ist wie ein riesiger Gefrierschrank, gefüllt mit Pflanzen und Tieren. Was passiert, wenn ein Gefrierschrank nicht mehr kühlt? Beurteile die Folgen des tauenden „arktischen Gefrierschranks“. (M2, M5)
5. Zu welchen Folgen führt eine Temperaturerhöhung in der Arktis? (M3 und M4)
 - a. Erkläre das Prinzip der „positiven Rückkopplung“ dar. (M3)
 - b. Erläutere die Folgen des Klimawandels mit dem Konzept der „positiven Rückkopplung“.
 - c. Wie wirkt sich das Permafrost-Tauen in der Arktis auf uns in den gemäßigten Breiten aus? Arbeite am Beispiel des Permafrostes die Verbindungen zwischen verschiedenen Weltgegenden heraus.
6. Was sind Frostmusterböden? (M6)
 - a. Beschreibe den Prozess der Entstehung von Frostmusterböden.
 - b. Erläutere die Aussage: Frostmusterböden sind wie Fenster in den Permafrostboden.
7. Warum sammeln wir gemeinsam Forschungsdaten zum Permafrost? (M7)
 - a. Beschreibe das Konzept der „Citizen Science“.
 - b. Welchen Nutzen bringt das Crowdsourcing von Daten für unser Wissen vom Permafrost?
 - c. Finde und erörtere in der Gruppe weitere Beispiele, bei denen der Einsatz Citizen Science sinnvoll sein kann.

M1 – Die verschiedenen Arten des Permafrostes

Ein Viertel der Landfläche auf der Nordhalbkugel ist durch Permafrost geprägt, vor allem in der Arktis. Aber Permafrost ist nicht gleich Permafrost: Er unterscheidet sich unter anderem dadurch, ob in einem Gebiet der gesamte Boden gefroren ist oder nur Teile davon. Sind über 90% der Fläche von Permafrost unterlagert, spricht man von kontinuierlichem Permafrost, bei 50 bis 90% der Fläche von diskontinuierlichem und bei unter 50% von sporadischem Permafrost. Bei unter 10% liegt nur noch isolierter Permafrost vor. Das hat Auswirkungen auf die Landschaft: Wenn der Permafrost kontinuierlich ausgebildet ist, kann kein Wasser mehr versickern (siehe M1) und es bilden sich häufig Seen und Tümpel an der Oberfläche.

Die Karte zeigt die Landmassen der Nordhalbkugel und die Verbreitung des Permafrostes. Etwa 25 % der Landfläche der Nordhalbkugel sind von Permafrost geprägt. Besonders große Flächen mit kontinuierlichem Permafrost befinden sich im Norden Kanadas sowie in Sibirien, wo der Permafrost Mächtigkeiten von mehreren Hundert Metern erreichen kann.

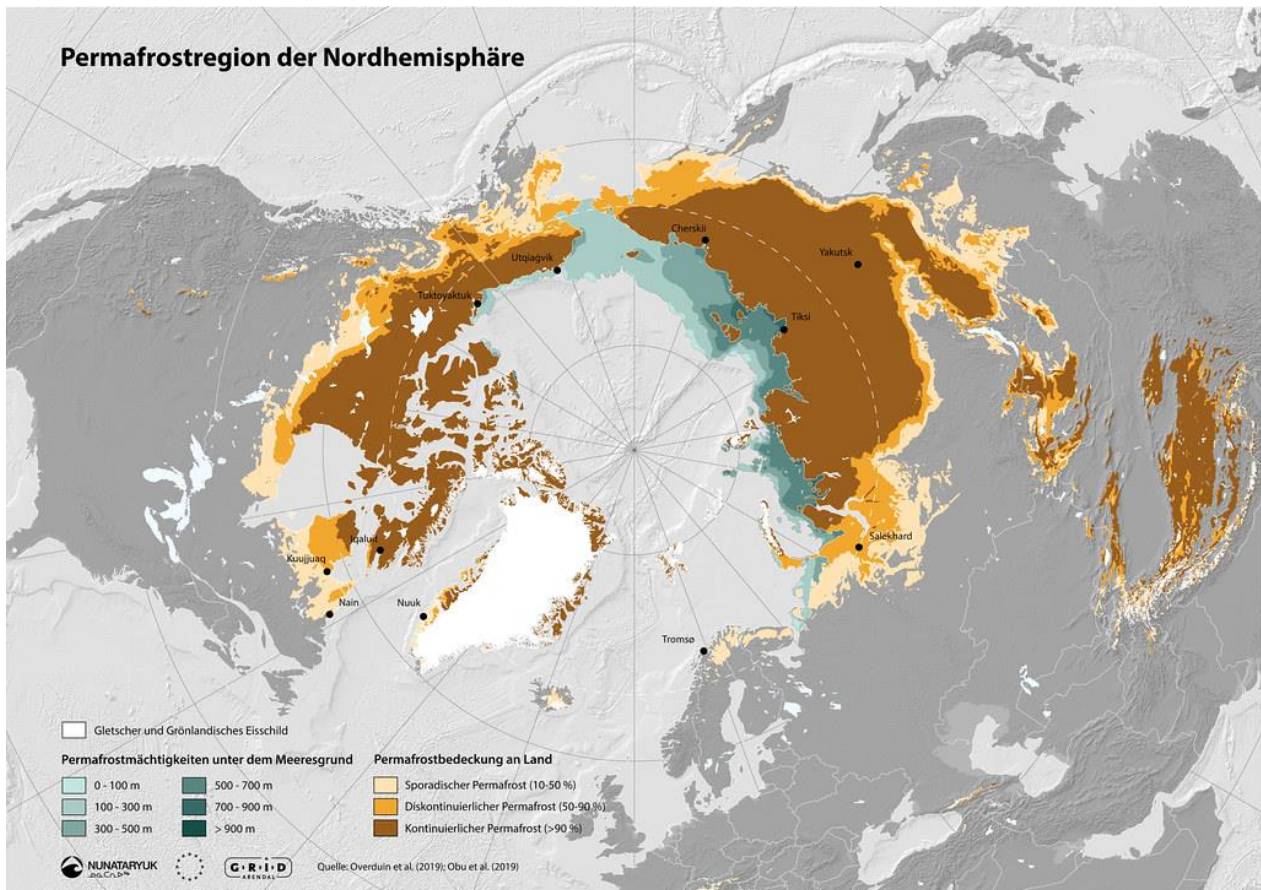


Abbildung 1: Terrestrischer und submariner Permafrost in der nördlichen Hemisphäre

Unter: <https://www.grida.no/resources/13617>. © GRID-Arendal/Nunataryuk

M2 Ein gefrorener Boden

Permafrostböden sind nicht das ganze Jahr durchgängig gefroren. An der Oberfläche taut im Sommer die sogenannte Auftauschicht normalerweise zwischen 0,5 bis 2 Meter tief auf. Darunter liegt der eigentliche Permafrost, der dauerhaft gefrorene Teil des Bodens. Er ist wasserundurchlässig, sodass das Oberflächenwasser im flachen Gelände nicht versickern kann. Es gibt daher Permafrostregionen, vor allem ebene Gebiete mit kontinuierlichem Permafrost, die über und über von Tümpeln und Seen geprägt sind. Bereiche, die dauerhaft auftauen, nennt man Talik (siehe M3). Sie entstehen zum Beispiel unter tiefen Seen oder wenn die Auftauschicht im Winter nicht mehr ganz zurückfriert.

Im Gegensatz zum Permafrostboden ist der Boden in der gemäßigten Zone in der Tiefe nicht gefroren. Seine Temperatur entspricht der Jahresdurchschnittstemperatur, in Heidelberg also beispielsweise etwa 11 ° C.

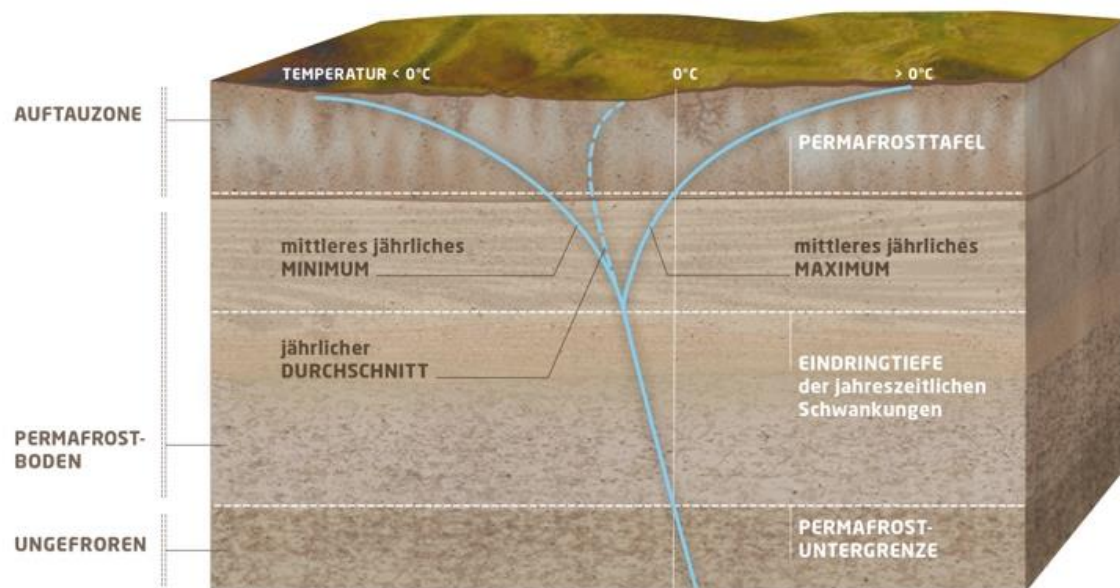


Abbildung 2: Vertikale Gliederung des Permafrostbodens in Bezug zu den Temperaturbedingungen

M3 Klimaerwärmung und Permafrost-Tauen – ein selbstverstärkender Prozess

Im Permafrost sind große Mengen Kohlenstoff in Form von organischem Material, beispielsweise Pflanzen- und Tierreste, gespeichert. Wie in einem Gefrierschrank verhindert der Frost, dass dieses Material zersetzt wird, weil der mikrobielle Abbau reduziert ist.

Durch die Klimaerwärmung aber taut der Permafrost immer tiefer und länger auf (1), und Mikroorganismen können das organische Material verarbeiten. Sie zersetzen das Material (2) und setzen dadurch Methan und Kohlendioxid frei (3). Diese beiden Treibhausgase tragen wiederum zur Klimaerwärmung bei (4), der durch die steigende Landoberflächentemperatur das Auftauen des Permafrostes beschleunigt (5). Dies führt wiederum zu neuer mikrobieller Aktivität, und der Prozess wird zunehmend verstärkt.

Einen solchen sich selbst verstärkenden Wirkungszusammenhang nennt man positive Rückkopplung. Positiv bedeutet nicht, dass die Entwicklung erfreulich ist, sondern lediglich, dass sich verschiedene Prozesse wechselseitig verstärken. Bei einer positiven Rückkopplung schaukeln sich die verschiedenen Faktoren gegenseitig hoch, sodass kleine Änderungen zu Beginn schnell große Wirkungen hervorrufen – der Prozess verstärkt sich selbst. So kann eine kleine Temperaturänderung infolge des Klimawandels einen Prozess wie das Permafrost-Tauen in Gang setzen, der den Klimawandel wiederum verstärkt und zu weiterem Tauen führt.

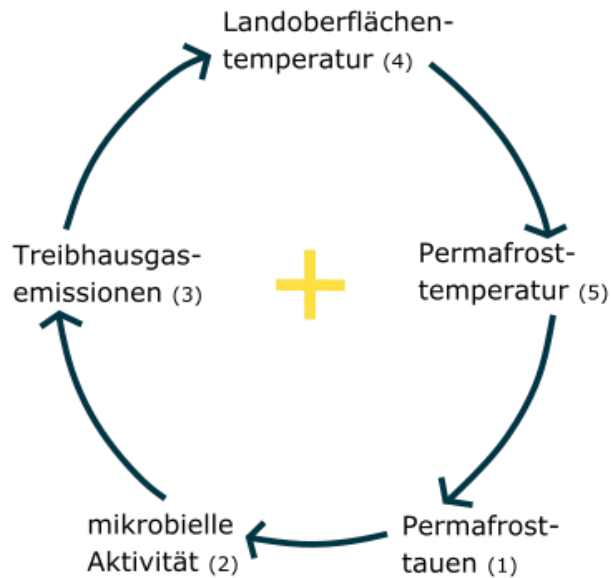


Abbildung 3: Ablauf einer positiven Rückkopplung, Lenz et al.: Permafrost, Abb. 2, S. 12. (abgeändert)

M4 Der Permafrost taut ungleichmäßig

Durch die Klimaerwärmung taut der Permafrost nicht überall gleichmäßig von oben nach unten und mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf. Vielmehr gibt es starke lokale Unterschiede im Auftauverhalten. Dabei spielen eine Reihe Rückkopplungsmechanismen eine Rolle, die das Tauen des Permafrosts erheblich beschleunigen und schwerwiegende Konsequenzen für die betreffende Region mit sich bringen können.

Taut in einer Region der Permafrost lokal auf, beispielsweise durch Waldbrände oder menschliche Eingriffe, senkt sich der Boden an dieser Stelle etwas ab. Im Winter sammelt sich Schnee in der Senke und verhindert als isolierende Schicht das tiefe Gefrieren des darunterliegenden Bodens. Im Sommer taut der Schnee und bildet einen See, der Wärme besonders gut in den Boden leitet. Dies führt zu weiterem Tauen und einer Vertiefung des Sees. Wenn der See tief genug ist, um im Winter nicht mehr ganz durchzufrieren (ab etwa 2 Meter), bildet sich darunter ein sogenannter Talik, ein bis in große Tiefen aufgetauter Bereich. Hier kann auch tief liegendes organisches Material von Mikroorganismen verarbeitet und der darin gebundene Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben werden.

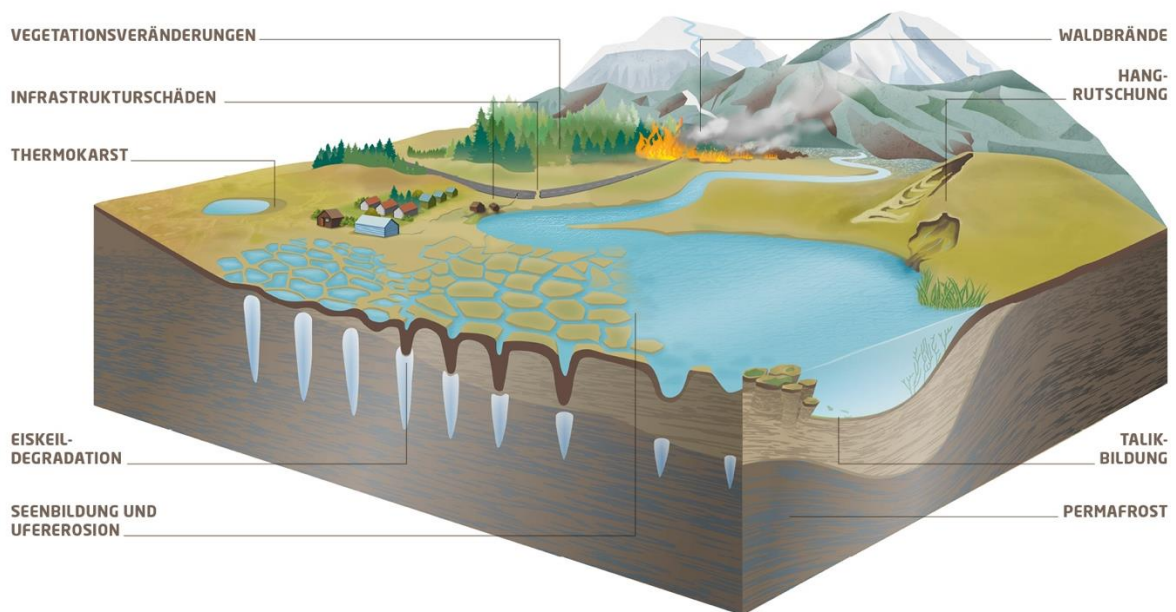


Abbildung 4: Prägung der arktischen Landschaft durch den Permafrostboden

M5 Der Kohlenstoff im arktischen „Gefrierschrank“

Im Permafrost sind große Mengen Kohlenstoff eingefroren und damit dauerhaft der Atmosphäre entzogen. Allein in den dauerhaft gefrorenen Permafrost-Sedimenten sind derzeit etwa 822 Milliarden Tonnen gespeichert. Das entspricht etwa der Menge des Kohlenstoffs, die aktuell in der Atmosphäre vorhanden ist. Betrachtet man die in der gesamten Permafrost-Region vorhandenen Kohlenstoff-Speicher (also auch die ungefrorenen Sedimente in Taliks und in der Auftauschicht), so sind es sogar 1.307 Milliarden Tonnen. Ein Vergleich mit anderen großen Kohlenstoffspeichern der Erde zeigt die Bedeutung, die dem Permafrost zukommt (siehe Grafik). Die Freisetzung von Permafrost-Kohlenstoff würde allein zu einer globalen Temperaturerhöhung von etwa 0,1°C – 0,3°C bis zum Jahr 2100 führen. Der Kohlenstoff im Permafrost wird allerdings nicht auf einmal freigesetzt, sondern gelangt nur langsam in die Atmosphäre. Daher können wir, wenn wir rechtzeitig handeln, die Freisetzung dieses Kohlenstoffspeichers weitgehend verhindern.

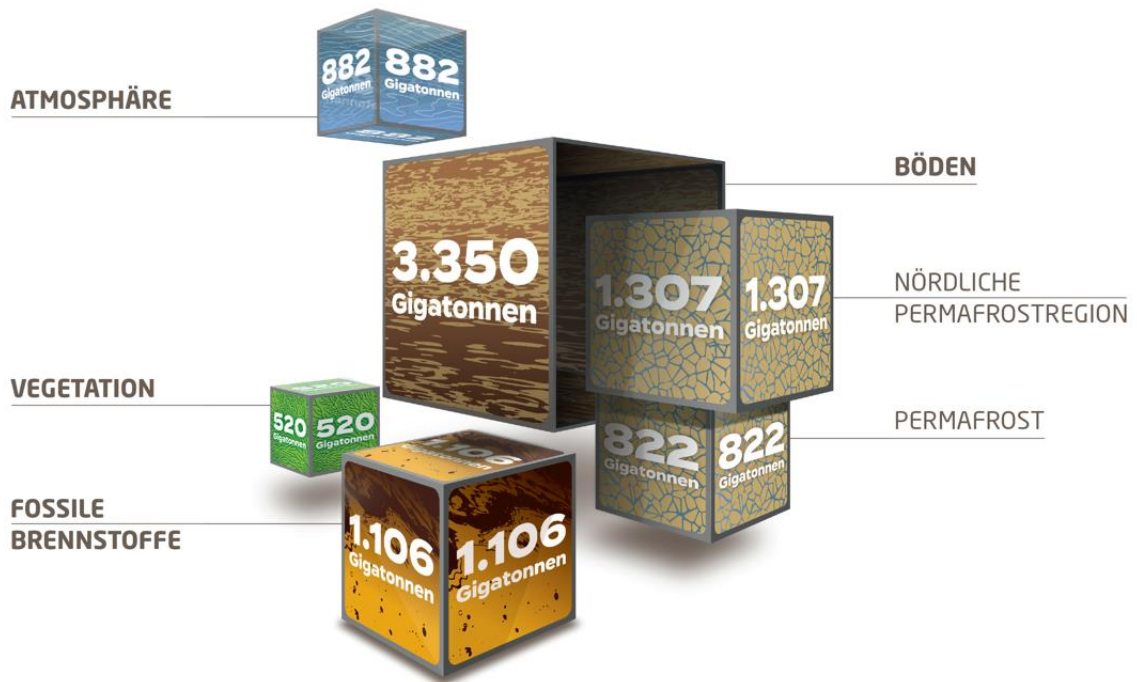


Abbildung 5: Kohlenstoffspeicher im Massenvergleich

M6 Permafrost undercover: Woran lässt sich Permafrost erkennen?

Permafrost kann man an der Landoberfläche nur indirekt erkennen – wie sollte man auch gefrorenen Boden in der Tiefe sehen? Er hinterlässt aber typische Spuren in Form von sogenannten polygonalen, d.h. vieleckigen Eiskeilnetzen. Diese Polygone können bis zu mehreren Metern groß werden und sind auf Drohnen- und Satellitenbildern gut sichtbar.

Die an der Oberfläche sichtbaren Polygone entstehen in Permafrostböden, wenn diese jahreszeitlich abwechselnd tauen und gefrieren. Im kalten Winter zieht sich der Boden bei tiefen Temperaturen zusammen, sodass kleine Risse entstehen. Dort sammelt sich im Frühling das Schmelzwasser des Schnees, da es im Permafrost nicht versickern kann. Wenn der Boden nun im nächsten Winter wieder gefriert, dann entsteht erneut ein Riss, meist an derselben Stelle, in welchem sich im darauffolgenden Sommer erneut Schmelzwasser sammelt. Dieser Gefrierzyklus kann sich über Jahrzehnte und Jahrhunderte wiederholen und damit mehrere Meter breite und hohe Eiskeile im Untergrund entstehen lassen. Da sich Eiskeile häufig in polygonalen Netzen, d.h. in Vielecken, bilden, ist diese Oberflächenform ein typisches Anzeichen von Permafrost im Untergrund.

Polygonale Eiskeilnetze sind die Folge eines Prozesses, der nur in Permafrostböden abläuft. Sie zeigen somit das Vorhandensein von Permafrost an. Daher ist die Kartierung von Eiskeilpolygonen so wichtig, um herauszufinden, wo sich überall Permafrost befindet.

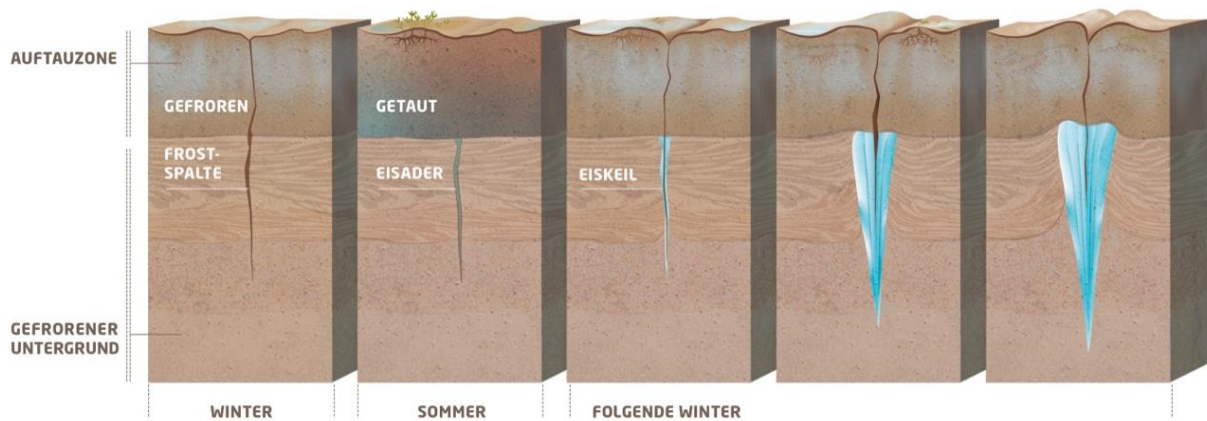


Abbildung 6: Eiskeilbildung im Permafrostboden

M7 Crowdsourcing und Citizen Science: Warum wir gemeinsam forschen

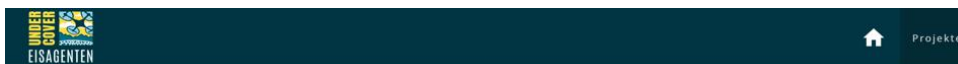
Bei der Citizen Science oder Bürger:innenforschung arbeiten Bürger:innen an wissenschaftlicher Forschung mit. Dies kann durch Beobachtungen, Entwicklung von Fragestellungen oder die gemeinsame Erhebung und Bearbeitung von Daten, dem Crowdsourcing, geschehen.

Im UndercoverEisAgenten-Projekt sind Bürger:innen an verschiedenen Aspekten beteiligt: So erheben Schüler:innen in Kanada Daten, indem sie ihre Umgebung mit Drohnen befliegen und Luftaufnahmen erstellen. Durch diese Satelliten- und Drohnenbilder verfügen wir über hochauflösende Bilder der arktischen Permafrost-Landschaften. Um zu beurteilen, wo Permafrost vorhanden ist, wie sich dessen Verbreitung ändert und wie der Zustand des Permafrosts ist, ist es wichtig, diese Bilder zu klassifizieren. Das bedeutet, es muss festgestellt werden, wo überall Eiskeilpolygone als Anzeichen für Permafrost vorhanden sind. Dafür ist eure Arbeit nötig: Die Satellitenaufnahmen werden in kleine Quadrate aufgeteilt; und jede:r App-Nutzer:in kann eine kleine Anzahl dieser Quadrate untersuchen. Je mehr Leute mitmachen, desto größere Flächen können wir beurteilen, und desto mehr erfahren wir über die Veränderung des Permafrosts in der Arktis.



undercovereisagenten.org/mitmachen/

Werde jetzt Permafrost-Retter:in und hilf uns bei der Detektion von Permafrost. Scanne einfach den QR-Code oder tippe den Link ein und los geht's!



UndercoverEisAgenten - Region 2



Frostmusterböden

Melde Dich zunächst mit Deinen Anmeldedaten an und suche Dir eine Region aus. Bearbeite die Aufgaben entsprechend den Anweisungen. Vielen Dank für Deinen Beitrag zur Forschung!