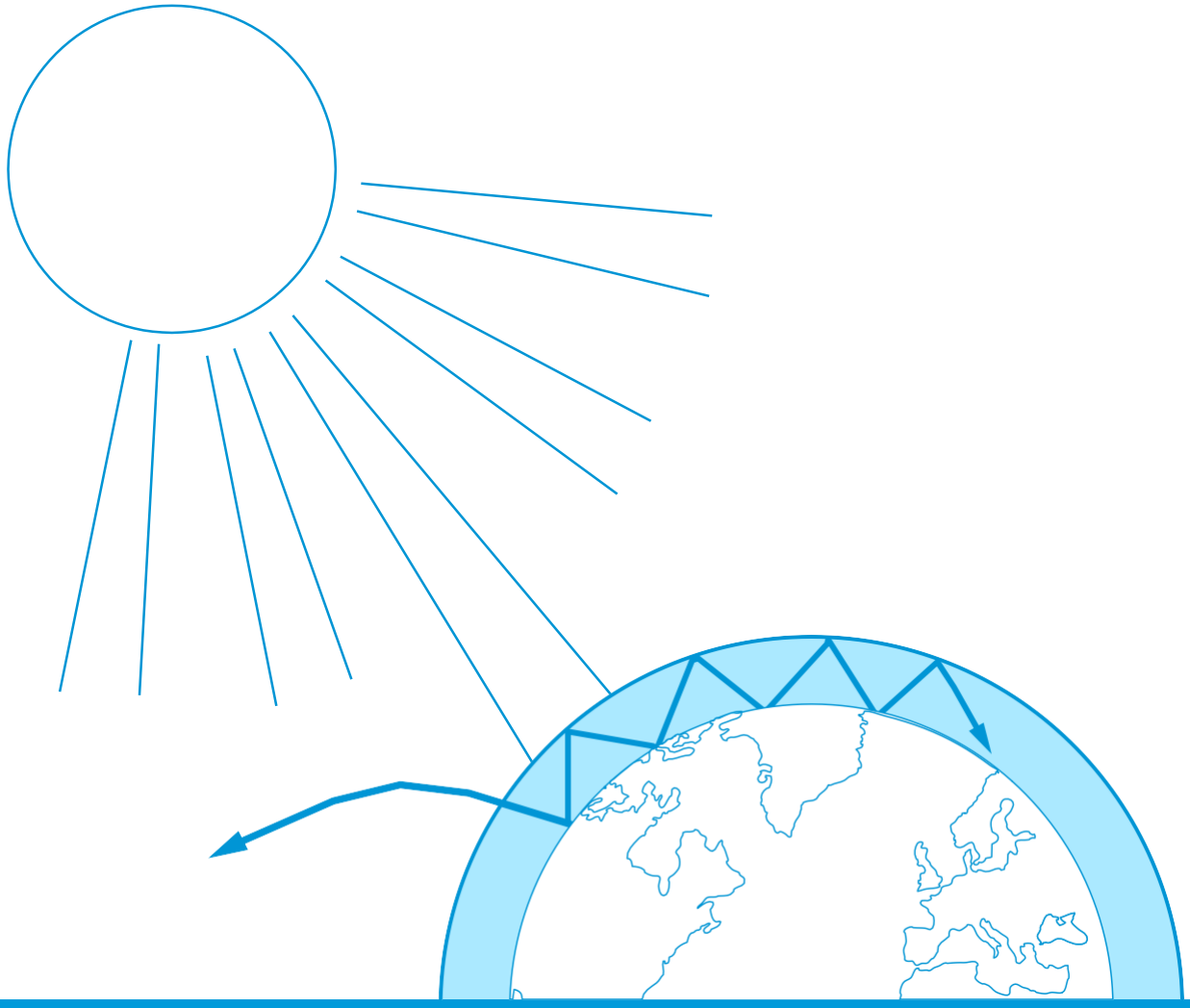
Geographie | G04

Lehren mit Raum

→ AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF LUXEMBURG, ANHAND VON SATELLITENDATEN

Ursachen und Folgen in Luxemburg



European Space Agency

Mit dem Weltraum unterrichten - Auswirkungen des Klimawandels auf Luxemburg, unter Verwendung von Satellitendaten | G04
www.esero.lu

ESERO Luxemburg begrüßt Rückmeldungen und Kommentare
contact@esero.lu

Eine Produktion der ESA Education in Zusammenarbeit mit ESERO Dänemark
Copyright 2021 © ESERO Luxemburg

→ AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF LUXEMBURG, ANHAND VON SATELLITENDATEN

Untersuchung der globalen Erwärmung in Luxemburg

Schnelle Fakten

Thema: Geographie, Physik, Naturwissenschaften

Altersspanne: 15-19 Jahre alt

Typ: Praktische Schüleraktivität

Komplexität: einfach

Erforderliche Unterrichtszeit: 45 Minuten pro Aktivität

Kosten: niedrig

Umfasst die Nutzung von: Computer, Internet

Stichworte: Treibhauseffekt, Globale Erwärmung, Satellitenbilder, Klima, Geographie, Physik, Wissenschaft

Kurzbeschreibung

Im luxemburgischen Kontext umfasst dieses Maßnahmenpaket Aktivitäten zur Interpretation von Satellitenbildern, um die allgemeinen Auswirkungen der globalen Erwärmung in den wichtigsten Treibhausgasquellen des Landes besser zu verstehen.

Lernziele

- Vorschläge für Unterrichtsaktivitäten zur Untersuchung von klimabezogenen Themen in Luxemburg unter Verwendung von Sentinel-Satellitendaten
- Erläutern Sie die derzeit größten Beiträge Luxemburgs zum Klimawandel
- Erläuterung der derzeitigen Maßnahmen Luxemburgs zur Verringerung der Treibhausgasemissionen

→ Einleitung

2019 war das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen und das Ende des wärmsten Jahrzehnts (2010 bis 2019), das jemals aufgezeichnet wurde.

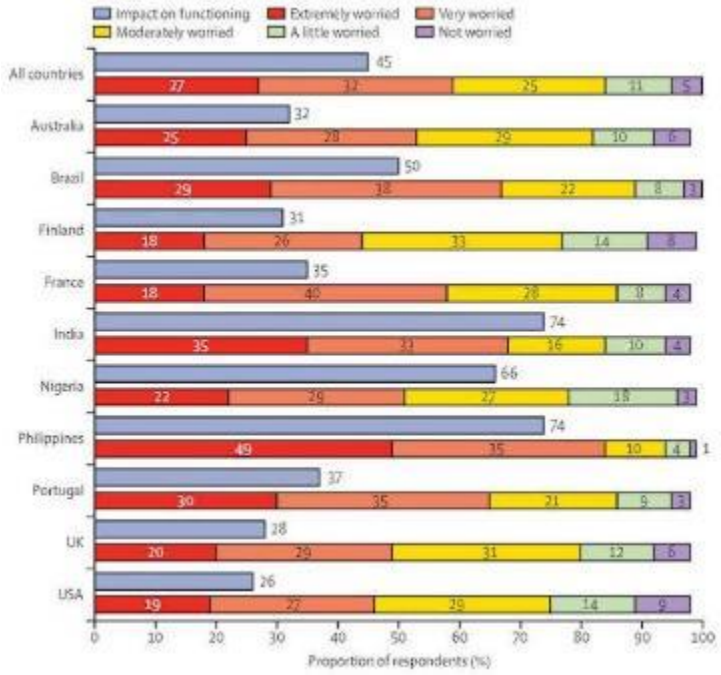
Der Gehalt an Kohlendioxid (CO2) und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre ist 2019 auf neue Rekordwerte gestiegen.

Der Klimawandel wirkt sich auf jedes Land auf jedem Kontinent aus. Er stört die Volkswirtschaften und beeinträchtigt das Leben. Die Wettermuster ändern sich, der Meeresspiegel steigt, und die Wetterereignisse werden immer extremer.

Darüber hinaus wirkt sich dies auf die psychische Gesundheit unserer Kinder aus: Die Klimaangst junger Menschen und ihre Ansichten über die Reaktionen der Regierungen auf den Klimawandel sind ein zunehmend untersuchtes Thema.

In einer im Dezember 2021 in The Lancet Planetary Health veröffentlichten Studie wurden 10 000 junge Menschen zwischen 16 und 25 Jahren in zehn Ländern befragt.

Im Rahmen der Studie wurden die Gedanken und Gefühle der Teilnehmer zum Klimawandel sowie zu den Reaktionen der Regierung auf den Klimawandel erfasst.



Die Befragten in allen Ländern waren über den Klimawandel besorgt: 59 % waren sehr oder äußerst besorgt und 84 % waren zumindest mäßig besorgt. Mehr als 50 % berichteten über jedes der folgenden Gefühle: Traurigkeit, Angst, Wut, Hilflosigkeit, Ohnmacht und Schuldgefühle.

Mehr als 45 % der Befragten gaben an, dass ihre Gefühle bezüglich des Klimawandels ihr tägliches Leben und ihr Funktionieren negativ beeinflussen, und viele berichteten von einer hohen Anzahl negativer Gedanken über den Klimawandel.

Es liegt in der Verantwortung der Bildungsgemeinschaft, mit der neuen Generation objektiv über den Klimawandel zu sprechen, ihr Wissen über das Problem selbst zu erweitern und die effizientesten Lösungen zur Eindämmung der globalen Erwärmung besser zu verstehen.

→ Weltweite Perspektive

Vergangenes und aktuelles Klima

Der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) ist eine Organisation von 195 UN-Mitgliedsstaaten, deren Ziel es ist, regelmäßig und unvoreingenommen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema Klima zu bewerten. Er bringt Tausende von freiwilligen Experten aus der ganzen Welt zusammen, um die zahlreichen wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema zu bewerten, zu analysieren und zusammenzufassen.

Der jüngste IPCC-Bericht beschreibt unser bestes Wissen über die vergangene und zukünftige Klimaentwicklung.

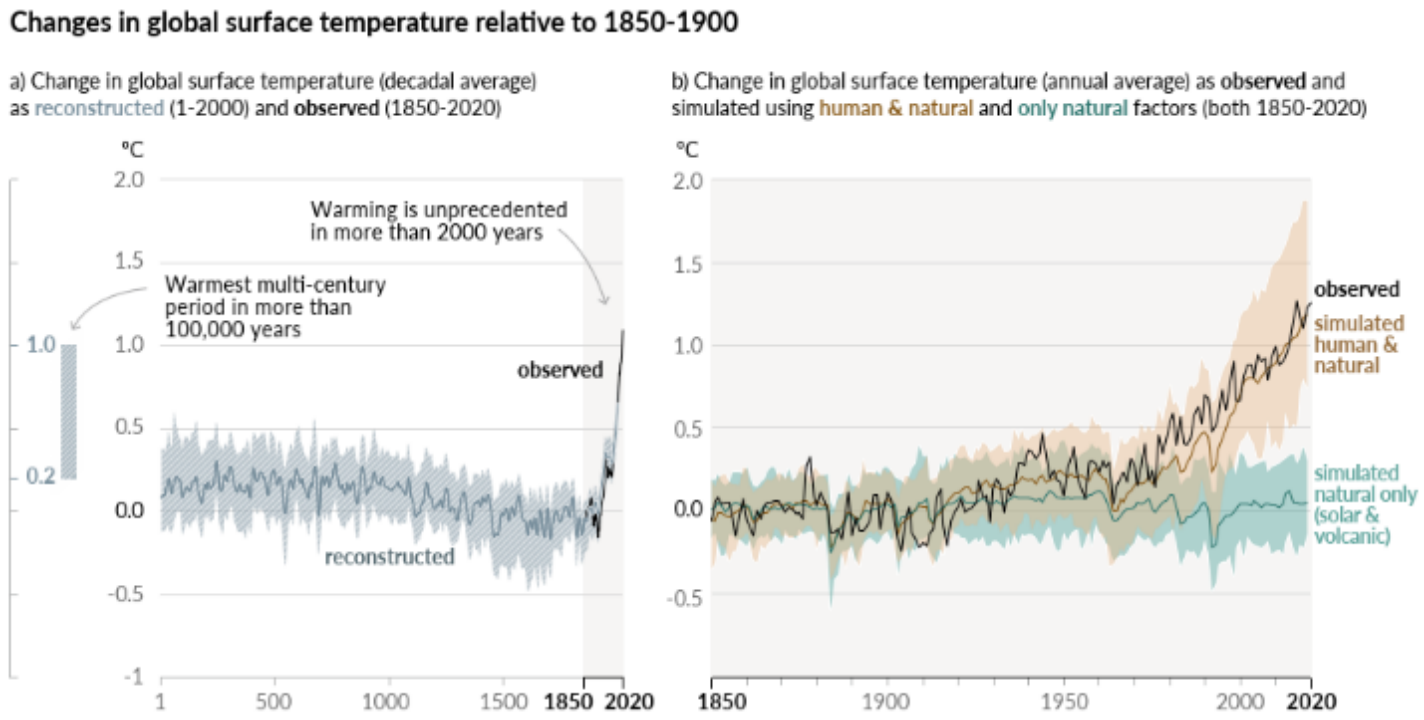


Abbildung 1 - Oberflächentemperatur im Vergleich zum Durchschnitt des Zeitraums 1850-1900.

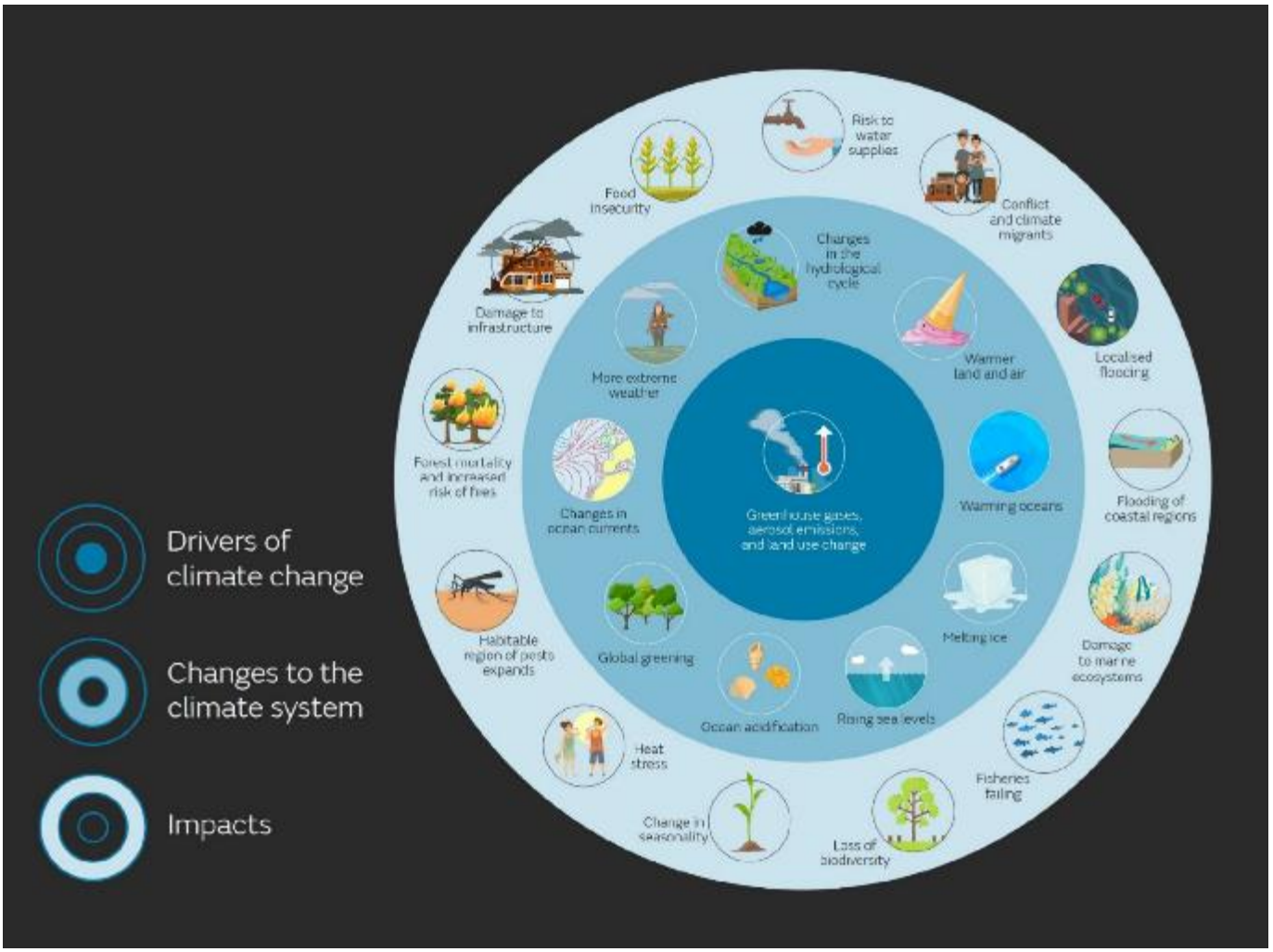
Der Einfluss des Menschen auf die Erwärmung der Atmosphäre, der Ozeane und der Kontinente ist unzweifelhaft. Durch die Emission von Treibhausgasen (THG) hat der Mensch rasche und weitreichende Veränderungen in der Atmosphäre, der Kryosphäre (Land und Meereis), der Biosphäre (Lebewesen) und den Ozeanen verursacht.

Die wichtigsten vom Menschen emittierten Treibhausgase sind Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2 O).
Ein Teil der menschlichen Emissionen wird von den Ozeanen und der Oberfläche der Kontinente aufgefangen. Der Rest wird in der Atmosphäre gespeichert und erhöht deren Konzentration. Diese Konzentration wird in Teilen pro Million (ppm) oder Teilen pro Milliarde (ppb) angegeben.

Von 1750 bis 2019 haben die Konzentrationen der einzelnen Treibhausgase in der Atmosphäre zugenommen:

Gas	Atmosphärische Konzentration (1750)	Atmosphärische Konzentration (1750)
CO2	280	410
CH4	800	1866
N2O	270	322

Obwohl die atmosphärische Konzentration von CH_4 etwa 220 Mal niedriger ist als die von CO_2 , ist CH_4 aufgrund seiner größeren Erwärmungskraft für mehr als ein Viertel der Erwärmung verantwortlich. Das Ausmaß dieser Schwankungen bei CO_2 und CH_4 übersteigt bei weitem die natürlichen Schwankungen zwischen Eiszeiten und Zwischeneiszeiten in den



letzten 800.000 Jahren. Die derzeitige CO_2 Konzentration ist die höchste seit mindestens 2 Millionen Jahren.

Dieser Anstieg der Treibhausgaskonzentration führt zu einer erheblichen Ansammlung von Energie in Form von Wärme an der Erdoberfläche. Von dieser Energie befinden sich 91 % in den Ozeanen, 5 % auf den Kontinentalflächen, 3 % im Eis (das dadurch schmilzt) und nur 1 % in der Atmosphäre.

Abbildung 3 - Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels

Dieser winzige Anteil (1 %) der in der Atmosphäre eingeschlossenen Wärme ist jedoch die Hauptursache für die Erwärmung: Die globale Oberflächentemperatur war im Zeitraum 2011-2020 um 1,09 °C wärmer als im Zeitraum 1850-1900, wobei die Erwärmung über den Kontinenten (+1,59 °C) stärker war als über den Ozeanen (+0,88 °C).

Das Tempo der Erwärmung in den letzten 50 Jahren ist so hoch wie seit mindestens 2000 Jahren nicht mehr. Die derzeitigen Temperaturen übersteigen das Maximum der letzten Warmzeit vor 6500 Jahren und werden wahrscheinlich auch das vorherige Maximum von vor 125 000 Jahren übertreffen (ABBILDUNG 1).

Der Wärmestau im Eis wiederum hat zu einem Rückzug der Gletscher und des arktischen Packeises geführt. Zwischen den Zeiträumen 1979-1988 und 2010-2019 ist die Oberfläche des arktischen Packeises am Ende des Sommers um 40 % zurückgegangen, der niedrigste Wert seit mindestens 1850. Der nahezu gleichzeitige Rückgang der meisten Gletscher der Welt ist ebenfalls ein Novum, zumindest in den letzten 1000 Jahren. Der Einfluss des Menschen auf das Klima ist höchstwahrscheinlich auch für das Abschmelzen des grönländischen Eisschilds in den letzten zwei Jahrzehnten verantwortlich, das in den Jahren 2010-2019 viermal schneller erfolgte als im Zeitraum 1992-1999.
Das Abschmelzen des Kontinentaleises (Gebirgsgletscher, grönländische Eiskappe) ist ebenfalls für 42 % des Anstiegs des Meeresspiegels im Zeitraum 1971-2018 verantwortlich. Hinzu kommt der Effekt der thermischen Ausdehnung: Das

Volumen eines bestimmten Wasserkörpers nimmt zu, wenn seine Temperatur steigt. Dieser Effekt ist für die Hälfte des Meeresspiegelanstiegs verantwortlich.

Der Meeresspiegel ist zwischen 1901 und 2018 um 20 cm gestiegen. Von einer Rate von 1,3 mm/Jahr zwischen 1901 und 1971 beschleunigte sich der Anstieg auf +3,7 mm/Jahr im Zeitraum 2006-2018. Damit ist der Meeresspiegel seit 1900 schneller angestiegen als in jedem anderen Jahrhundert der letzten 3000 Jahre. Im gleichen Zeitraum hat sich auch der Ozean schneller erwärmt als seit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 11 000 Jahren. Neben den Auswirkungen auf die Temperatur und den Meeresspiegel erhöht die Auflösung eines Teils des vom Menschen verursachten CO_2 in den Oberflächengewässern auch den Säuregehalt der Ozeane.

Durch die Störung des Klimas hat der Mensch auch Veränderungen in der Häufigkeit von extremen Wetter- und Klimaereignissen verursacht, die seit 1950 insgesamt häufiger und intensiver geworden sind. Dies gilt für extreme Hitze, deren Häufigkeit sich seit den 1980er Jahren verdoppelt hat, für Starkniederschläge (insbesondere in Nordeuropa), Waldbrände und Überschwemmungen.
Hinzu kommen Dürren in einigen Regionen, insbesondere im Mittelmeerraum, im südlichen und westlichen Afrika sowie im westlichen Nordamerika.

Nach dem Global Warming Index der Universität Oxford beträgt die aktuelle globale Erwärmung seit 1860 +1,24°C.

Die globale Jahrestemperatur ist seit 1880 im Durchschnitt um 0,08 °C pro Jahrzehnt gestiegen, doch hat sich diese Rate seit 1981 mit +0,18 °C pro Jahrzehnt verdoppelt.
Die Land- und Meeresoberflächentemperatur der nördlichen Hemisphäre war 2020 mit +1,28°C über dem Durchschnitt die höchste in der 141-jährigen Aufzeichnung.

Mögliches zukünftiges Klima

Infolge der vergangenen und künftigen Treibhausgasemissionen werden sich die in den letzten Jahrzehnten beobachteten Veränderungen des Klimasystems im 21. Jahrhundert und darüber hinaus fortsetzen. Jahrhundert und darüber hinaus fortsetzen. **Das Ausmaß dieser Veränderungen hängt** jedoch **hauptsächlich von den künftigen Treibhausgasemissionen ab.**

Wenn wir die Treibhausgasemissionen in diesem Tempo fortsetzen, werden die Temperaturen weltweit weiter steigen - an Land im Durchschnitt 1,4 bis 1,7 Mal stärker als im Meer und am Nordpol mindestens doppelt so stark wie anderswo (ABBILDUNG 2). Der Anstieg des Meeresspiegels und die Versauerung der Ozeane werden sich fortsetzen. Hitzewellen, extreme Regenfälle und schwere Wirbelstürme werden häufiger und intensiver werden, während Kälteeinbrüche seltener auftreten werden. Extremereignisse von noch nie dagewesenem Ausmaß werden mit Sicherheit auftreten. Landeis und Permafrost werden weiter schmelzen, und das arktische Meereis wird sich zurückziehen, vor allem im Sommer. Ein fast eisfreier Sommer in der Arktis ist vor 2050 wahrscheinlich, egal was wir tun.

Die Niederschläge werden im Allgemeinen ergiebiger sein, insbesondere in den hohen Breiten, den Tropen und den meisten Monsunregionen, aber auch stärker schwanken, sowohl innerhalb einer Jahreszeit als auch von Jahr zu Jahr. In einigen Gebieten wie dem Mittelmeerraum und einigen subtropischen Regionen wird es jedoch in Zukunft weniger regnen. Im Durchschnitt werden die Niederschlagsereignisse - insbesondere die mit den Monsunen verbundenen - sowie die Dürren intensiver ausfallen, obwohl auch hier erhebliche regionale Unterschiede zu erwarten sind.

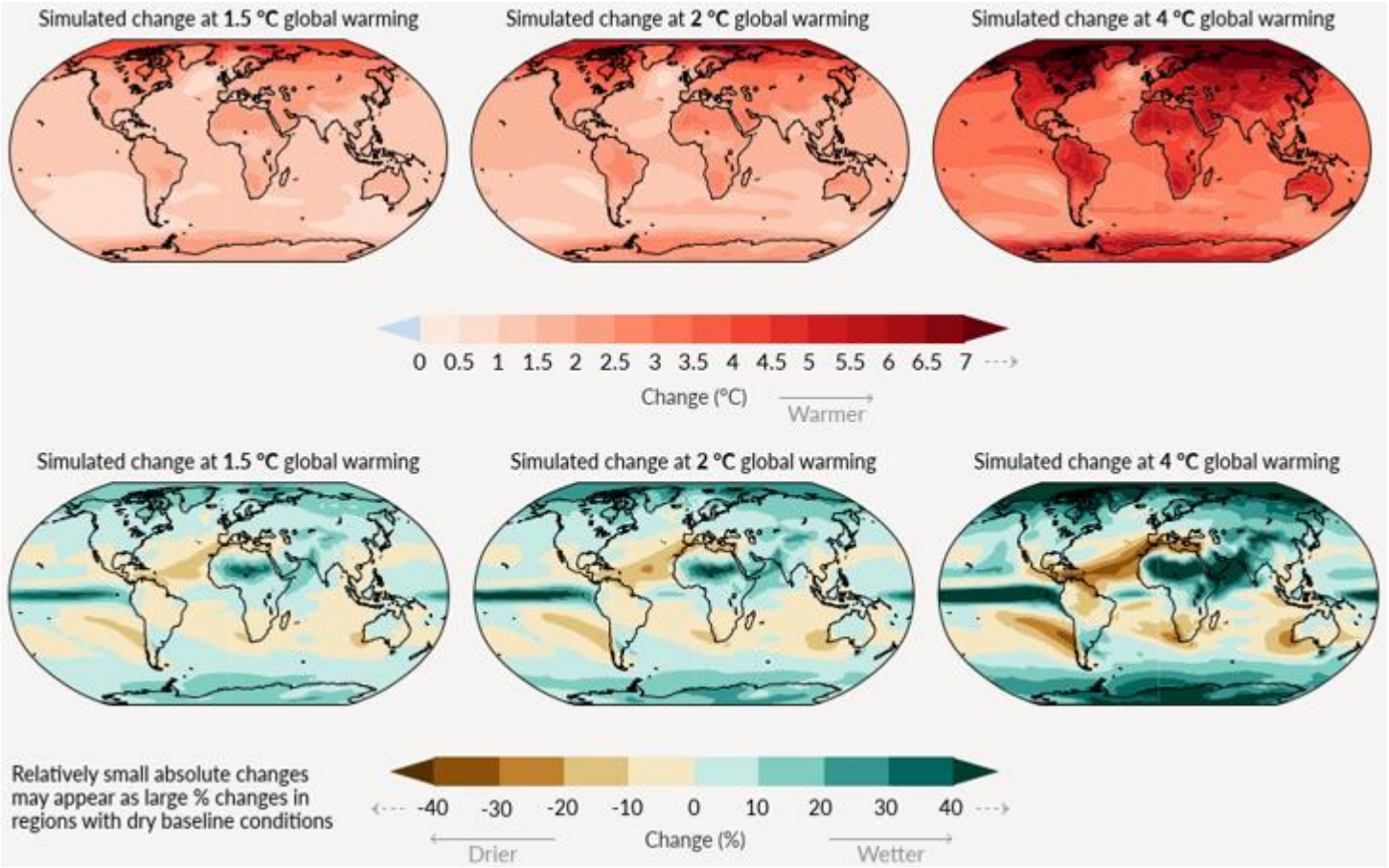


Abbildung 3 - Simulierte Veränderung der Temperatur (°C) und des Niederschlags (%) (Jahresdurchschnitt) im Vergleich zum Zeitraum 1850-1900 für verschiedene Grade der globalen Erwärmung

Da CO_2 im Durchschnitt ein Jahrhundert lang in der Atmosphäre verbleibt, wird die globale Temperatur bis mindestens 2050 weiter ansteigen, unabhängig davon, was wir in den nächsten Jahrzehnten tun.
Selbst bei einer sofortigen Verringerung der Treibhausgasemissionen wird die +1,5°C-Marke erreicht und mit einer 50/50-Wahrscheinlichkeit bis 2040 - also in weniger als 20 Jahren - überschritten werden!
Beachten Sie, dass es sich bei diesen Zahlen um 20-Jahres-Durchschnittswerte handelt - es ist also wahrscheinlich, dass +1,5°C in einigen Fällen weit vor 2040, vielleicht sogar schon 2025, erreicht wird.
Eine rasche Verringerung der Emissionen würde es dennoch ermöglichen, die globale Erwärmung bis zum Jahr 2100 deutlich zu begrenzen, und zwar auf 1,4 bis 1,8°C, während sie in den mittleren Szenarien 2,7 bis 3,6°C und im schlimmsten Fall 4,4°C erreichen würde.
Die +2°C-Marke würde demnach - außer in den optimistischen Szenarien - vor 2060 weitgehend überschritten werden.

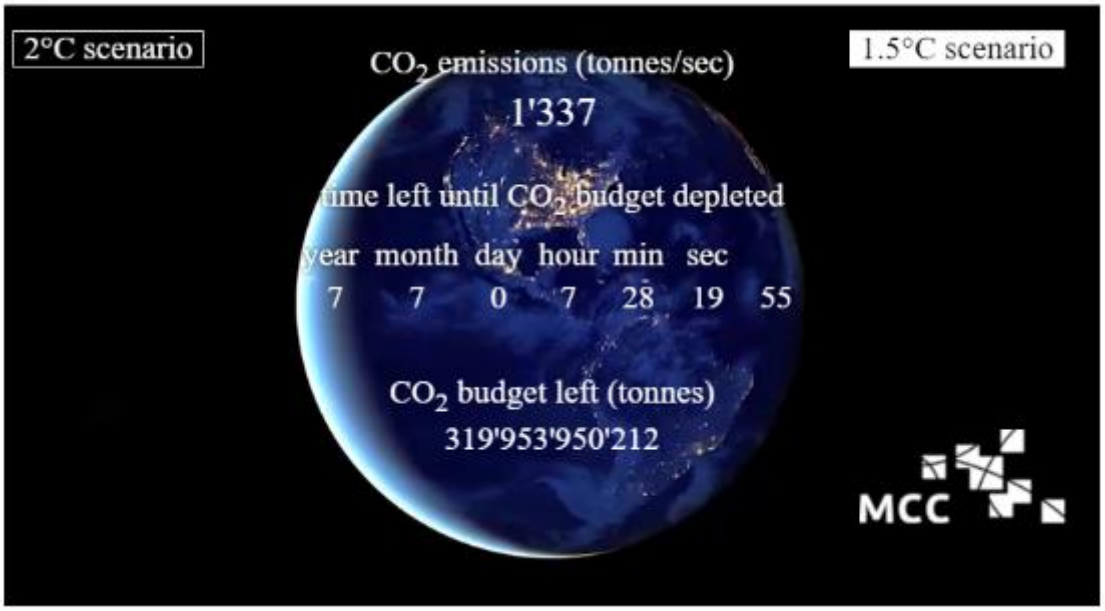
Auch wenn es unbedeutend erscheinen mag, hat ein Unterschied von 0,5 °C bei der globalen Erwärmung große Folgen, insbesondere für extreme Ereignisse. Eine Hitzespitze, die vor einem Jahrhundert einmal alle 50 Jahre auftrat, tritt heute bereits fünfmal häufiger auf, obwohl die globale Temperatur "nur" um 1 °C gestiegen ist. Bei einer Erwärmung um 1,5 °C würde sie fast 9-mal häufiger auftreten, bei +2 °C fast 14-mal häufiger, und bei +4 °C würde sie fast jedes Jahr auftreten. Jede Zunahme der Erwärmung verringert auch die Wirksamkeit der natürlichen Kohlenstoffsenken (Ozeane, Böden, Vegetation).
Selbst wenn es uns gelingt, den Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 auf 1,5 °C zu begrenzen, sind drei große Veränderungen auf Lebenszeit unumkehrbar: die Erwärmung und Versauerung der Ozeane, das Abschmelzen der Gletscher und Polkappen und der Anstieg des Meeresspiegels. Künftige Reduzierungen der Treibhausgasemissionen werden diese Phänomene nur verlangsamen, aber nicht aufhalten, selbst wenn die Oberflächentemperaturen nicht mehr steigen. Der Grund dafür ist, dass die Trägheit der Ozeane und des Landeises viel größer ist als die der Atmosphäre.

Bis 2050 wird der Meeresspiegel unabhängig von den Treibhausgasemissionen voraussichtlich um mindestens 18 cm gegenüber dem Durchschnitt des Zeitraums 1995-2014 ansteigen. Bis 2100 wird der Meeresspiegel in den optimistischsten Szenarien voraussichtlich um 38 cm steigen. Darüber hinaus wird der Pegel weiter ansteigen, da sich die Tiefsee erwärmt und das Landeis schmilzt. Diese Zahlen stimmen mit dem überein, was wir über wärmere Klimazonen in der Vergangenheit wissen.

1,5°C-Schwelle Datum

Nach der jüngsten SPM2-Tabelle des IPCC-Berichts über das 1,5-Grad-Ziel kann die Atmosphäre, gerechnet ab Anfang 2020, nicht mehr als 400 Gigatonnen (Gt) CO_2 aufnehmen, wenn wir unter der 1,5-Grad-Schwelle bleiben wollen.

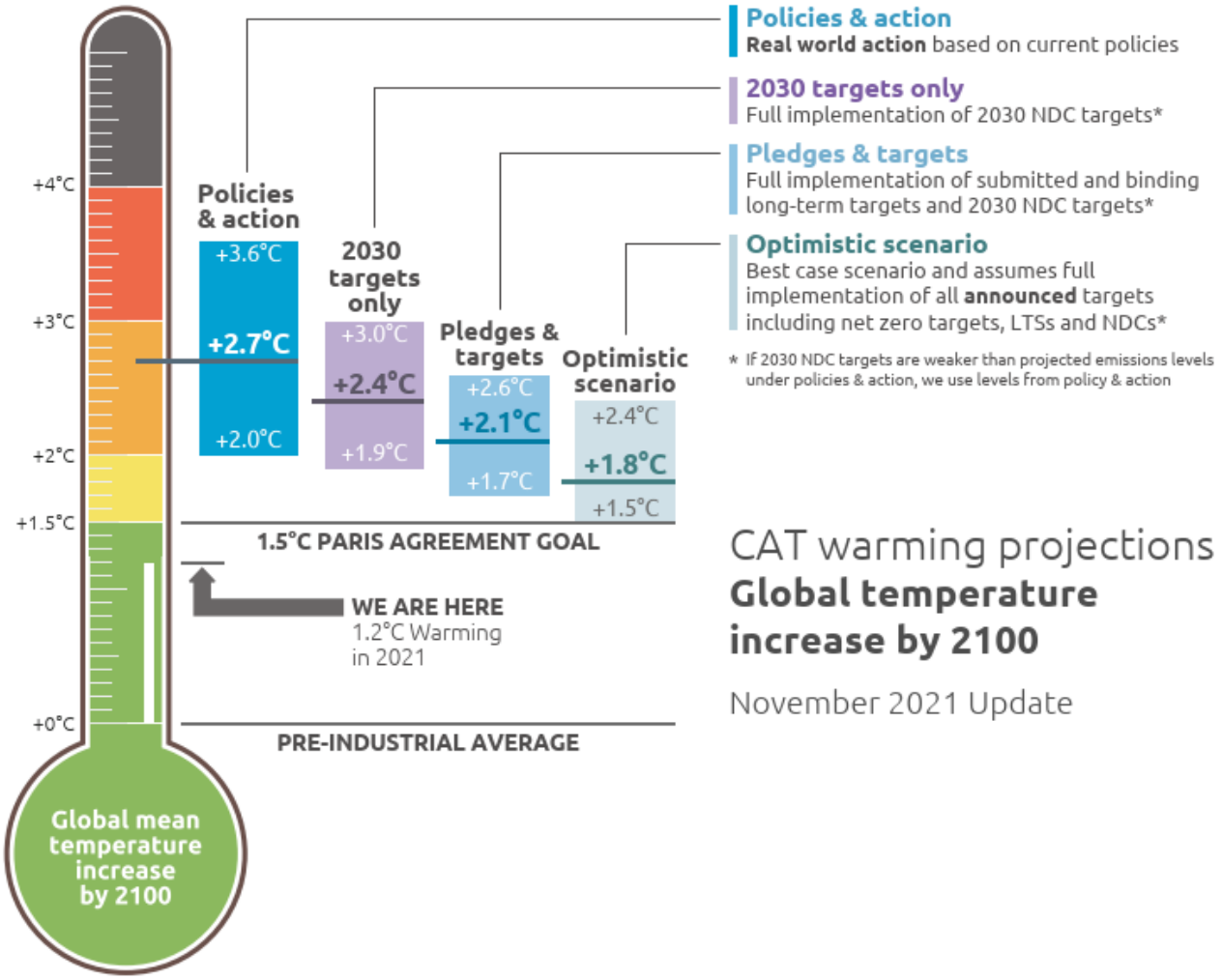
Die jährlichen CO_2 Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, industriellen Prozessen und Landnutzungsänderungen werden auf 42,2 Gt pro Jahr geschätzt. Bei gleichbleibenden Emissionen dürfte das Budget für die Unterschreitung der 1,5°C-Schwelle in weniger als acht Jahren aufgebraucht sein.



Schätzung der Erwärmung bis 2100

Seit dem Pariser Abkommen ist jedes Land verpflichtet, einen national festgelegten Beitrag (Nationally Determined Contribution, NDC) zu leisten und diesen alle fünf Jahre zu aktualisieren. Ein NDC ist ein Klimaaktionsplan zur Reduzierung der Emissionen und zur Anpassung an die Klimaauswirkungen

Dem UN-Emissionslückenbericht und dem Climate Action Tracker zufolge könnten wir die Erwärmung im Jahr 2100 auf 1,8 bis 2,7 °C begrenzen, im schlimmsten Fall auf maximal 3,6 °C, wenn die versprochenen Treibhausgasreduzierungen umgesetzt werden.



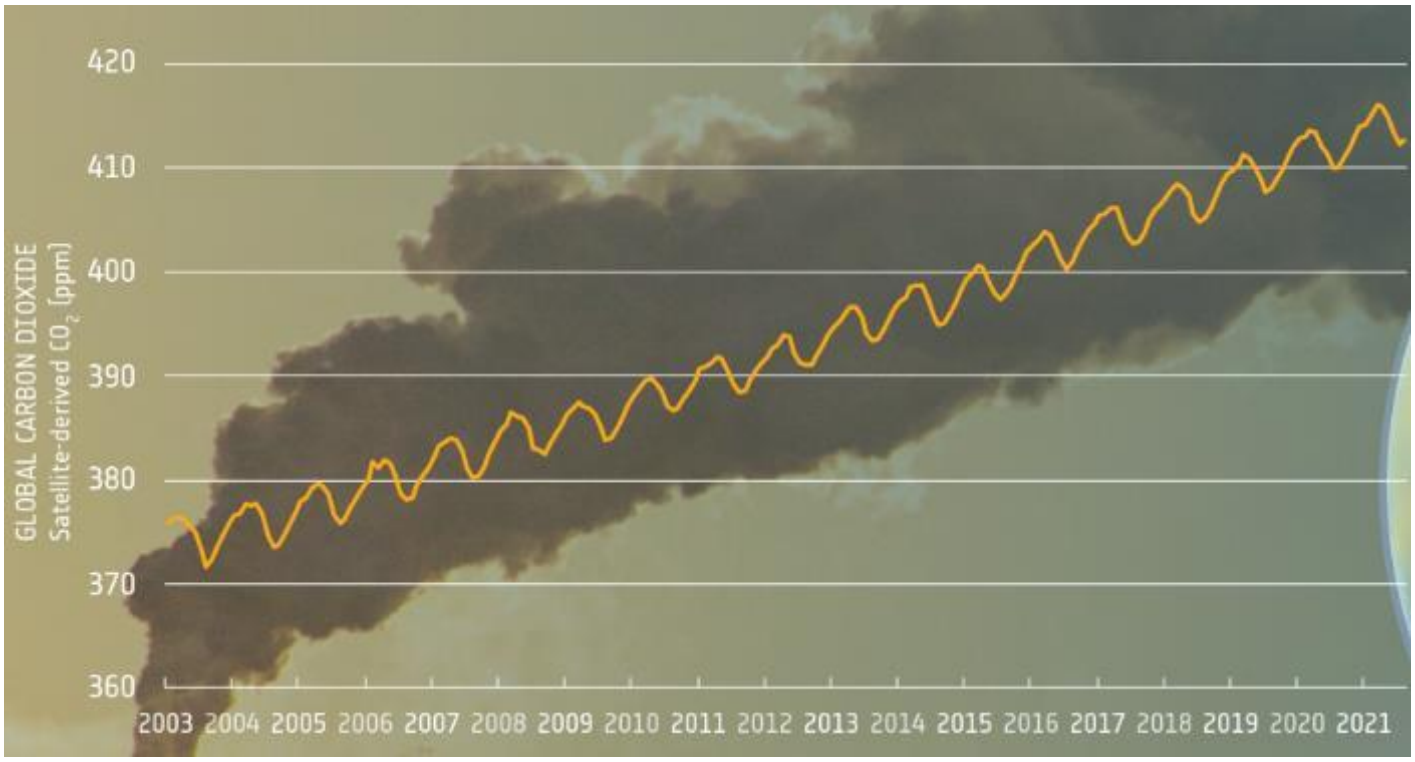
→ Erdbeobachtungssatelliten

Satelliten, die die Erde vom Weltraum aus beobachten, liefern die entscheidenden Anhaltspunkte für das Verständnis unseres sich verändernden Klimas. Sie messen und überwachen unsere riesigen Ozeane, das Land, die Atmosphäre und unwirtliche, schwer zugängliche Gebiete wie die Polarregionen.
Satellitenbeobachtungen liefern Frühwarnungen vor Veränderungen, verbessern die Klimavorhersagen und liefern die harten Fakten, die für wirksame internationale Klimaschutzmaßnahmen erforderlich sind.
Um für die Klimaforschung geeignete Daten zu erhalten, müssen Informationen von mehreren Satellitenmissionen kombiniert werden, um Datensätze zu erstellen, die sich über Jahrzehnte erstrecken.

Die Erdbeobachtung ist mit mehr als 1,5 Milliarden Euro im Jahr 2020 das größte Raumfahrtprogramm der ESA.

Die ESA-Initiative zum Klimawandel erzeugt robuste, langfristige globale Satellitendatensätze für über 21 Schlüsselkomponenten des Erdsystems. Beobachtungen aus dem 40-jährigen Satellitenarchiv der ESA sowie aktuelle Copernicus-Sentinels tragen zu diesen Datensätzen bei.

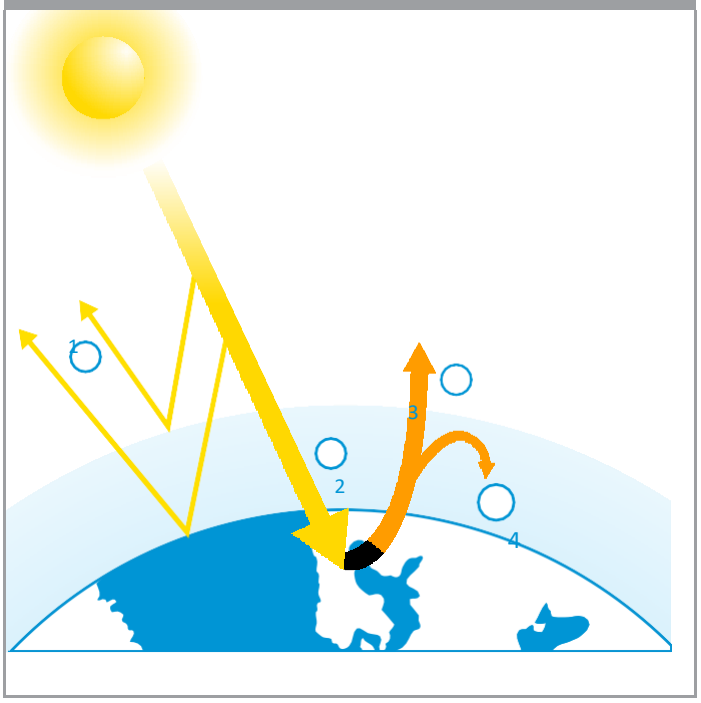
Dieses Beweismaterial bietet
* ein genauer und unparteiischer Maßstab für die Untersuchung von Klimatreibern, Rückkopplungen und Erdsystemzyklen
* liefert die wissenschaftliche Grundlage für robuste Klimamodelle.
* Beitrag zu den wissenschaftlichen Erkenntnissen, die die Berichte des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) untermauern.



→ Hintergrund

Der größte Teil der von der Sonne abgestrahlten Energie ist sichtbares und nahinfrarotes Licht, das aus kurzwelliger Strahlung besteht. Diese Strahlung geht leicht an den Partikeln in der Atmosphäre vorbei. Wenn diese kurzwellige Strahlung auf die Erde trifft, wird ein großer Teil davon in Wärme umgewandelt. Die Temperatur der Erde steigt nicht unendlich an, da die Oberfläche und die Atmosphäre ebenfalls Wärme in den Weltraum zurückstrahlen. Dieser Nettostrom von Strahlung in das und aus dem Erdsystem wird als Strahlungsbilanz der Erde bezeichnet (Abbildung A2). Wärme ist langwellige Strahlung, die im Einzelnen weniger Energie enthält als die kurzwellige Strahlung. Das bedeutet, dass sie mit der Atmosphäre auf eine andere Weise interagiert. Die Erde strahlt tagsüber und nachts Wärme in die Atmosphäre zurück, was zur Abkühlung der Oberfläche beiträgt. Allerdings entweicht nicht die gesamte Wärme in den Weltraum, sondern ein Teil bleibt in den Treibhausgasen der Atmosphäre gefangen. Das Ergebnis ist, dass die Erdatmosphäre wärmer ist als sie es ohne diesen "Treibhauseffekt" wäre.

Abbildung A2



↑ Der Strahlungshaushalt der Erde.
1 - Ein Teil der Strahlung wird von der Atmosphäre, den Wolken und der Erdoberfläche reflektiert.
2 - Ein Teil der Strahlung wird von der Atmosphäre und den Wolken absorbiert, der größte Teil wird vom Land und den Ozeanen aufgenommen und erwärmt die Erde. 3 - Die Infrarotstrahlung wird von der Erdoberfläche abgestrahlt. Ein Teil dieser Strahlung entweicht in den Weltraum.
4 - Ein Teil wird von den Treibhausgasen in der Atmosphäre eingeschlossen.

Gäbe es keine Treibhausgase in der Erdatmosphäre, wäre das Leben, wie wir es kennen, fast unmöglich, da die durchschnittliche Oberflächentemperatur 18 Grad Celsius unter Null liegen würde. Das wichtigste Treibhausgas in der Erdatmosphäre ist Wasserdampf. Er fängt die größte Menge der aus dem Boden kommenden Wärme ab. Die Treibhausgase, über die sich die Klimawissenschaftler mehr Sorgen machen, sind jedoch CO_2 und Methan (CH_4), da dies die wichtigsten Treibhausgase sind, die durch menschliche Aktivitäten freigesetzt werden und deren Anteil in der Atmosphäre seit Beginn der industriellen Revolution zugenommen hat.

→ Luxemburgische Perspektive

Vergangenes und aktuelles Klima

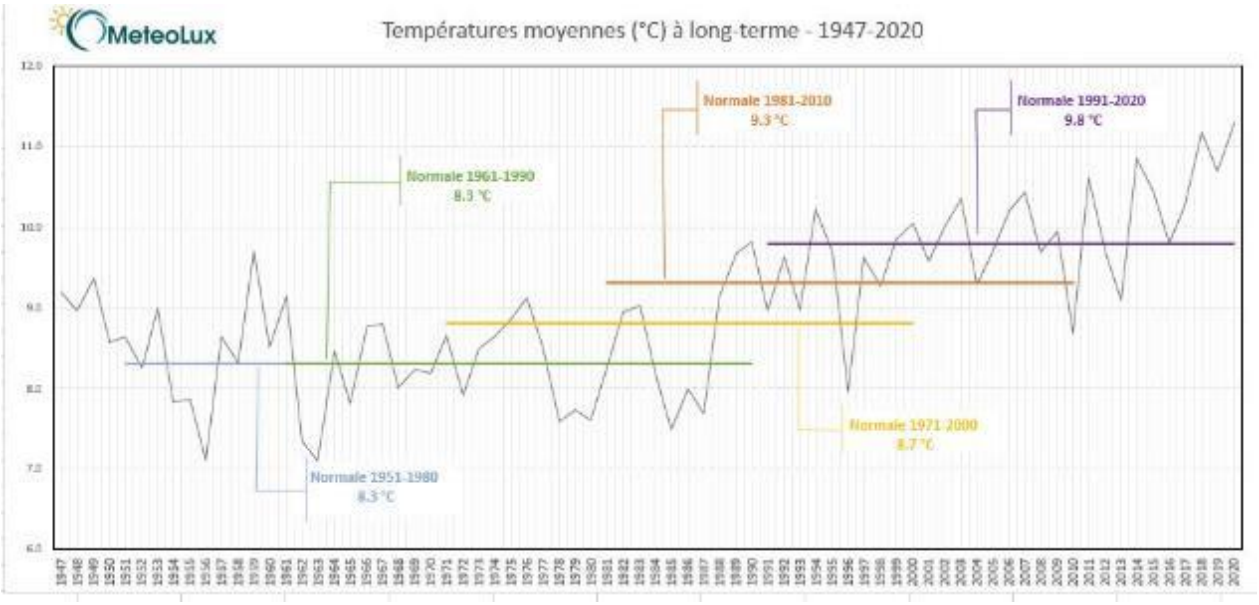
Das Wasser reflektiert einen Großteil der Sonnenenergie zurück in die Atmosphäre, während das Land viel mehr von dieser Energie absorbiert.
Das bedeutet, dass es mehr zusätzliche Wärme braucht, um die Temperatur der Ozeane zu erhöhen, als die Temperatur an Land. Aus diesem Grund findet der größte Teil der heutigen Erwärmung auf den Kontinenten und nicht über den Ozeanen statt.

Der Effekt ist in der Nähe der Pole sogar noch stärker, wo die steigenden Temperaturen große Mengen an Schnee und eisweißen Oberflächen schmelzen lassen, die normalerweise die Sonnenstrahlen zurück in die Atmosphäre reflektieren und die Gebiete, die sie bedecken, kühl halten.

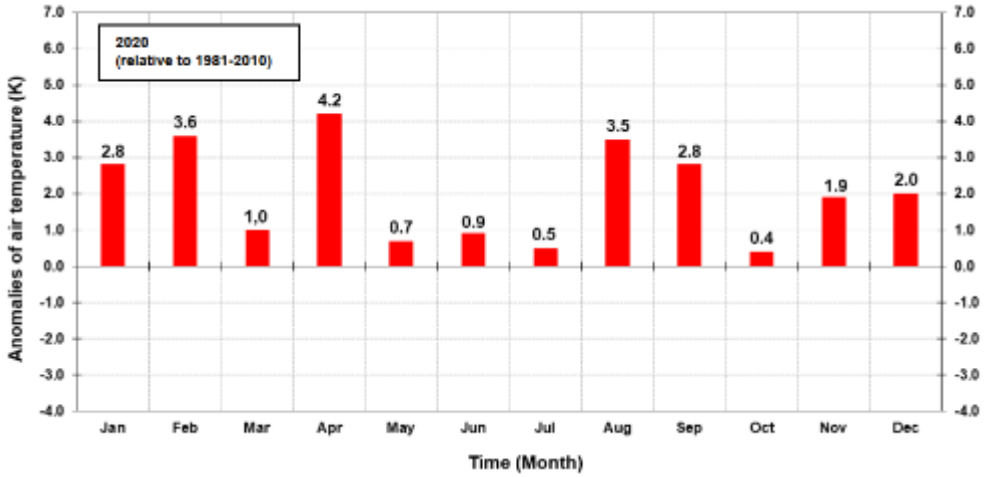
In Luxemburg wurde gemessen, dass die lokale Erwärmung etwa doppelt so schnell verläuft wie der weltweite Durchschnitt.

MeteoLux verfügt über einen meteorologischen Park auf dem Flughafen Findel-Luxemburg mit einer Beobachtungsstation, die seit dem 1. Januar 1947 kontinuierlich verschiedene atmosphärische Parameter misst.

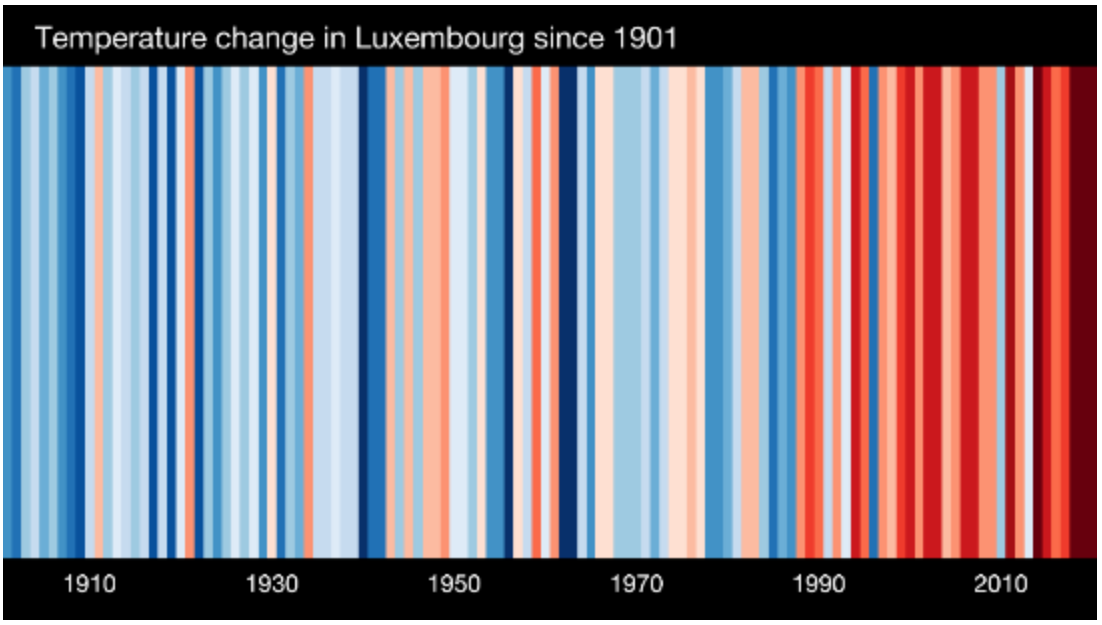
Seit 1950 ist die Durchschnittstemperatur in Luxemburg von +1,5°C gestiegen
Seit 1850 ist die Durchschnittstemperatur in Luxemburg von +2,2°C gestiegen



In seinem Klimabericht 2020 zeigt MeteoLux, dass jeder Monat im Jahr 2020 die Durchschnittstemperatur von 1981-2010 übersteigt.


2020
(relative to 1981-2010)
Anomalies of air temperature (K)
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
2.8
3.6
1,0
4.2
0.7
0.9
0.5
3.5
2.8
0.4
1.9
2.0
Jan
Feb
Mar
Apr
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct
Nov
Dec
Time (Month)

Die folgende Grafik mit den "wärmenden Streifen" ist eine visuelle Darstellung der Temperaturveränderung, die in Luxemburg mindestens in den letzten 100 Jahren gemessen wurde. Jeder Streifen stellt die über ein Jahr gemittelte Temperatur dar.
Die Streifen wechseln von überwiegend blau zu überwiegend rot in den letzten Jahren, was den Anstieg der Durchschnittstemperaturen und die Beschleunigung der Erwärmung in den letzten 30 Jahren verdeutlicht.



Auswirkungen des Klimawandels in Luxemburg

Der IPCC hat eine regionale Synthese des Interaktiven Atlas veröffentlicht, in der Veränderungen der klimatischen Einflussfaktoren (CIDs) in verschiedenen Kategorien wie Hitze und Kälte, Nässe und Trockenheit, Schnee und Eis erläutert werden. Klimatische Einflussfaktoren (CIDs) sind definiert als physikalische Bedingungen des Klimasystems (z. B. Mittelwerte, Ereignisse, Extreme), die sich auf ein Element der Gesellschaft oder der Ökosysteme auswirken.

In dieser Aktivität nutzen die Schüler den interaktiven IPCC-Atlas, um sich über die wichtigsten aktuellen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels in Luxemburg zu informieren:
https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-synthesis

Ziel ist es, auf der linken Seite Variablen
auszuwählen, bei denen die Projektionen mit hoher Wahrscheinlichkeit zunehmen".
Beachten Sie, dass Luxemburg zur Region "West- und Mitteleuropa (WCE)" gehört.

SELECT VISUALIZATION
MAP
REGIONS
COMBINATIONS
1
HEAT AND COLD
2 Mean air temperature
3 Extreme heat
Cold spell
Frost
WET AND DRY
Mean precipitation
4 River flood
5 Heavy precipitation and pluvial flood
Landslide
Aridity
Hydrological drought
Agricultural and ecological drought
Fire weather
WIND
Mean wind speed
Severe wind storm
Tropical cyclone
Sand and dust storm
SNOW AND ICE
Snow, glacier and ice sheet
Mean air temperature
Extreme heat
Heavy precipitation and pluvial flood
River flood
6
WESTERN AND CENTRAL EUROPE (WCE)
7
Mean air temperature
Projections: High confidence of increase
Past trends: Upward trend without attribution
Extreme heat
Projections: High confidence of increase
Past trends: Upward trend with high confidence of attribution
River flood
Projections: High confidence of increase
Past trends: Upward trend without attribution
Heavy precipitation and pluvial flood
Projections: High confidence of increase
Past trends: Upward trend without attribution
Future projections
Increasing
Decreasing
...with confidence
High
Medium
Observed trend
Upward
Downward
...with attribution
High
Low
High
Low

Satellitenbeobachtungen zum Klimawandel in Luxemburg mit EOBrowser

EO Browser ist ein Online-Tool, das einfachen und kostenlosen Zugang zu Satellitenbildern verschiedener EO-Missionen bietet. Sie können das Gebiet, das Sie interessiert, und den gewünschten Zeitpunkt auswählen. Mit dem EO-Browser ist es nicht notwendig, Daten zu verarbeiten, er bietet gebrauchsfertige Satellitenbilder und vorkonfigurierte Visualisierungen. Es war noch nie so einfach. Schauen Sie es sich an und versuchen Sie es selbst!

In dieser Aktivität werden wir unsere Fähigkeiten mit EO Browser anhand von Fallstudien üben:

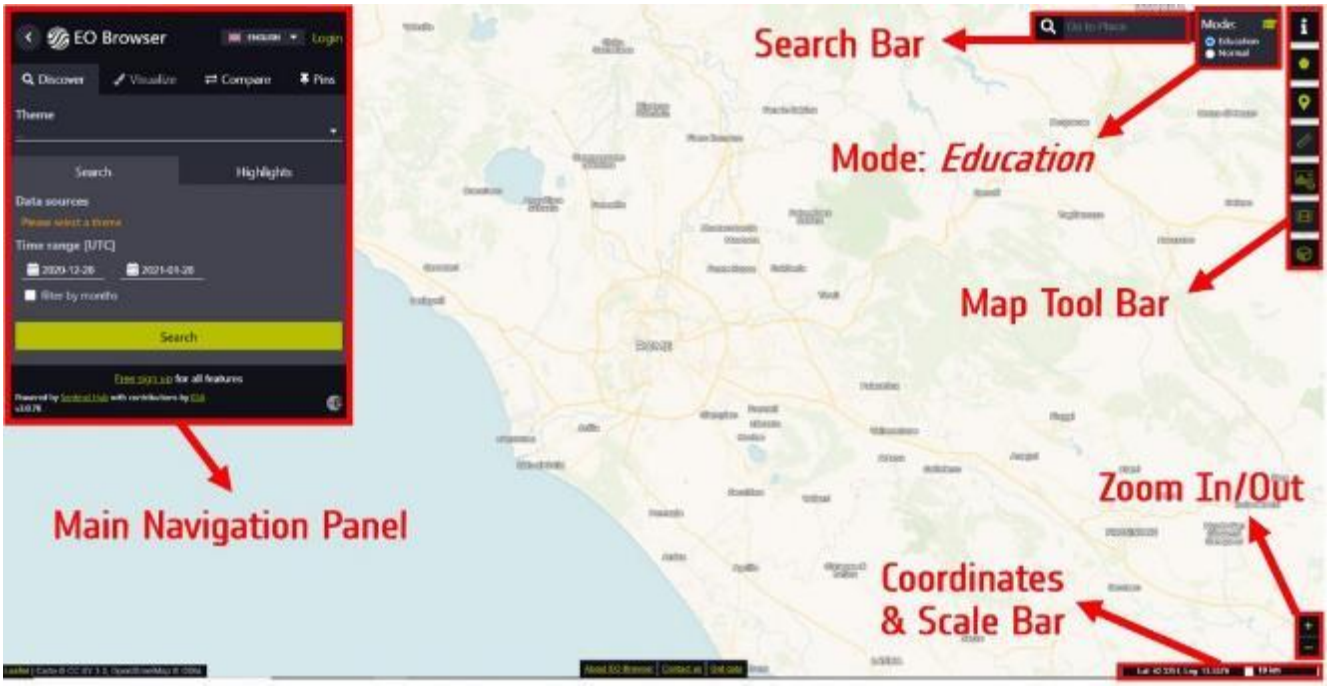
- Die Auswirkungen von Hitzewellen auf das Ökosystem und wie sie das Landschaftsbild verändern.
- Die Auswirkungen von Überschwemmungen auf Flussufer und städtische Infrastruktur

Teil A: Einführung in den EO-Browser-Arbeitsbereich

Aktivität A1: Kennenlernen des EO-Browsers: Layout Bildung

1. Wir werden den EO Browser im **Bildungsmodus** verwenden: **https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/**

2. Klicken Sie in der oberen rechten Ecke Ihres EO-Browser-Bildschirms auf und wählen Sie *Modus: Bildung*



Aktivität A2: Erstellen eines EO-Browser-Kontos (fakultativ)

Klicken Sie oben links in der Hauptnavigationsleiste auf

HINWEIS: Sie können den EO-Browser auch ohne ein Konto verwenden und Satellitenbilder herunterladen. Um jedoch einige der Funktionen der Karten-Symbolleiste für spätere Teile des Minilabors zu nutzen (z. B. Messen und Zeitraffer), müssen Sie eingeloggt sein!

Erstellen Sie Ihr eigenes EO Browser-Benutzerkonto.

Aktivität A3: Wie man Bilder visualisiert

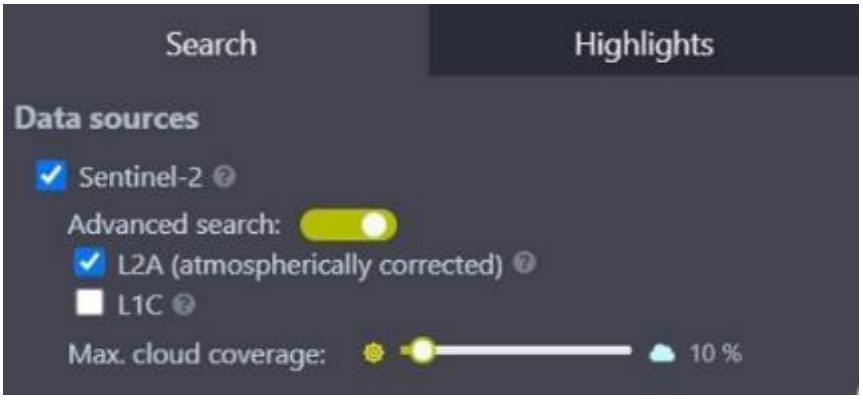
1. Geben Sie in der oberen rechten Ecke des EO-Browser-Bildschirms in der Suchleiste "Luxemburg" ein.

2. Gehen Sie dann zur Hauptnavigationsleiste und wählen Sie das Thema aus: Erkennung von Veränderungen im Laufe der Zeit

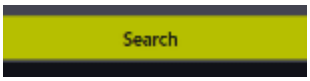
3. Nun wollen wir das ideale Satellitenbild finden, das uns ein wolkenfreies und klares Bild zeigt. Dazu wählen Sie auf der Hauptnavigationsleiste unter Datenquellen die Option Sentinel-2 > Erweiterte Suche > L2A (atmosphärisch korrigiert) > Maximale Wolkenbedeckung (10%)

4. Nun wollen wir das ideale Satellitenbild finden, das uns ein wolkenfreies und klares Bild zeigt. Dazu wählen Sie auf der Hauptnavigationsleiste unter Datenquellen die Option Sentinel-2 > Erweiterte Suche > L2A (atmosphärisch korrigiert) > Maximale Wolkenbedeckung (10%)

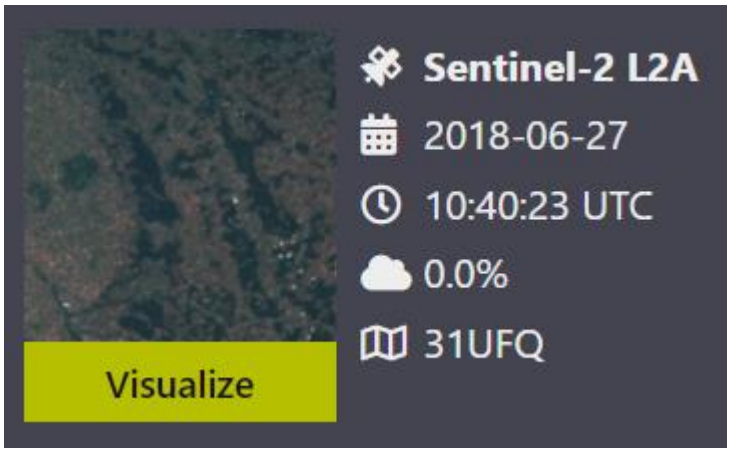
5. Legen Sie dann den *Zeitbereich* von 2018-06-01 - 2018-07-31 fest.



6. Dann stellen Sie bitte den *Zeitbereich* auf 2017-01-01 - 2017-03-31 ein.

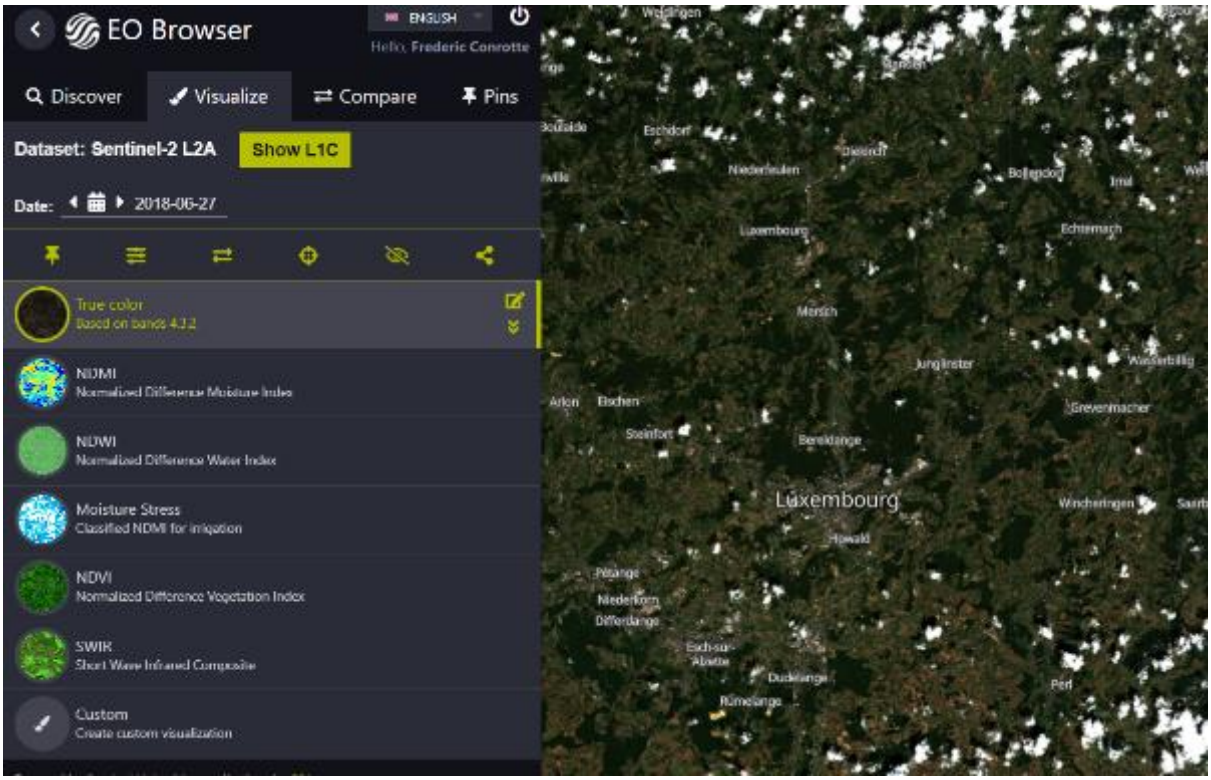
7. Klicken Sie auf *Suchen*. 

8. Wählen Sie das am 27.06.2018 aufgenommene Satellitenbild



9. Klicken Sie auf *Visualisieren* und warten Sie einige Augenblicke, da das Laden einige Zeit dauern kann.

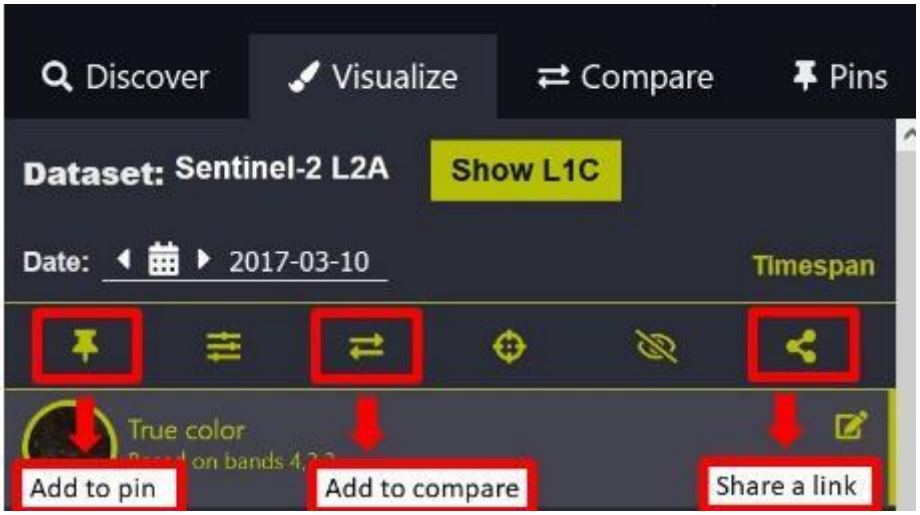
10. Nach einigen Augenblicken sollten Sie nun ein hochauflösendes Bild von Luxemburg in Echtfarbe sehen können. Sie können es vergrößern/verkleinern und sich umsehen!



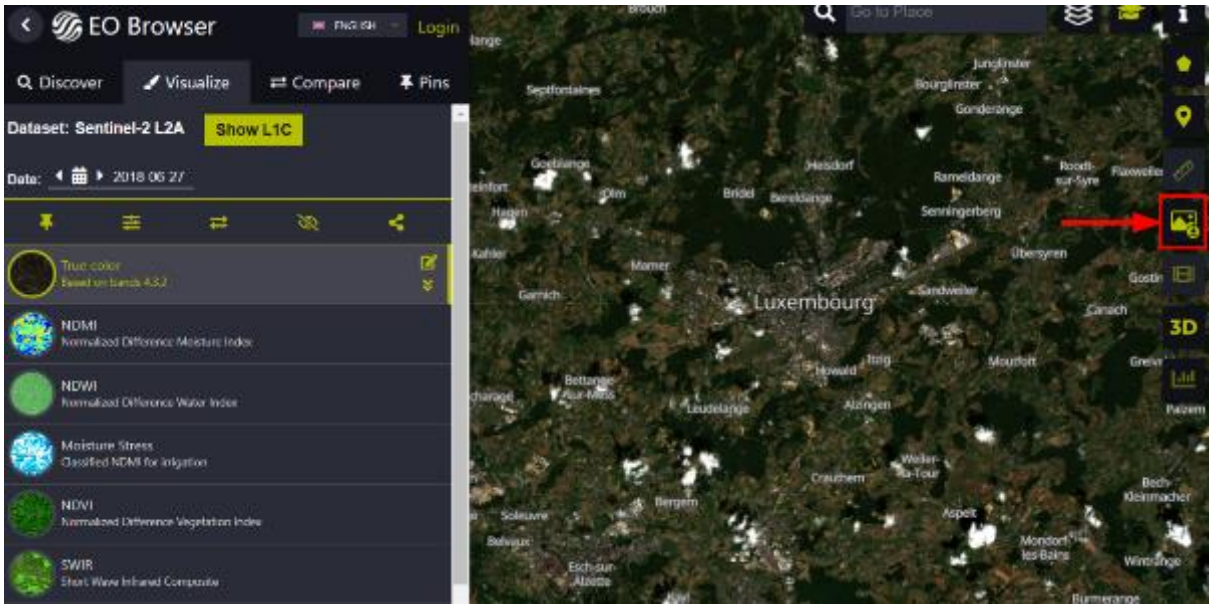
Aktivität A4: Wie man einen Link teilt oder ein Bild herunterlädt

1. TEILEN: Nachdem ein Bild geladen wurde, können Sie genau dieses Satellitenbild mit genau derselben Ansicht/Zoom weitergeben, indem Sie auf die Schaltfläche Teilen im Hauptnavigationsbereich klicken.

Dies ist der genaue Link zum obigen Bild: https://sentinelshare.page.link/XFX1



2. HERUNTERLADEN: Um das Bild im JPG- oder PNG-Format herunterzuladen, gehen Sie zur Karten-Symbolleiste (auf der rechten Seite Ihres Bildschirms) und klicken Sie auf Bild herunterladen .

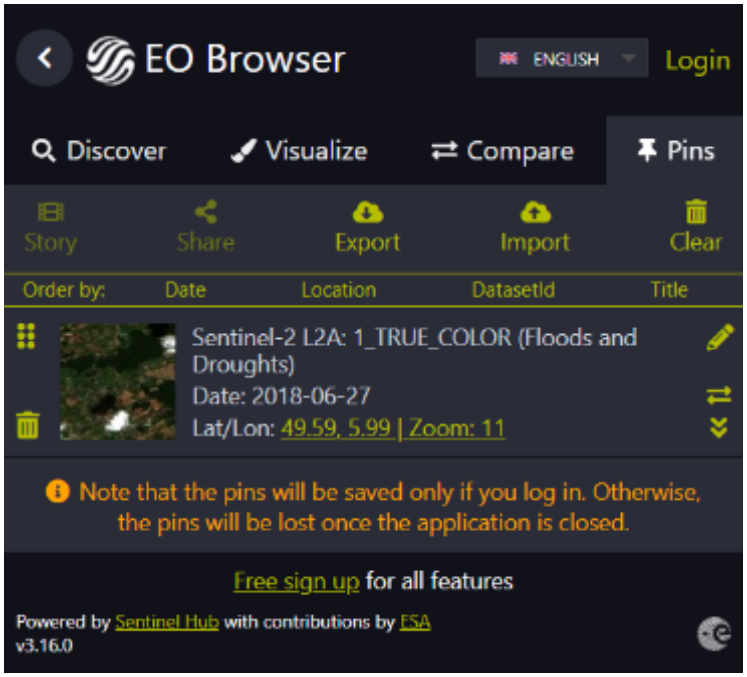


Aktivität A5: Wie man Bilder anheftet oder speichert

1. Jetzt werden wir unser Bild speichern, damit wir es später ansehen können. Dazu klicken wir auf der Hauptnavigationsleiste auf die Schaltfläche Zu Pins hinzufügen.

2. Um zu überprüfen, ob Sie es richtig gespeichert/angeheftet haben, klicken Sie auf den Abschnitt Pins

. Wenn sie richtig angeheftet/gespeichert wurde, sollte sie wie unten dargestellt werden:



Teil B: Beobachtung der Trockenheit anhand von Satellitenbildern

Die Bodenfeuchtigkeit wird durch Dürreperioden beeinträchtigt, und es ist unser Ziel, sie zu bewerten.

Der Sommer 2018 war besonders trocken mit einer Hitzewelle in ganz Europa und auch in Luxemburg.

Die erste Hitzewelle fand zwischen dem 13. und 27. Juli statt (und war damit die fünftlängste Hitzewelle in der Geschichte), die zweite vom 29. Juli bis zum 7. August: mindestens 5 Tage mit Höchsttemperaturen von 25 °C oder mehr, davon 3 Tage mit 30 °C oder mehr

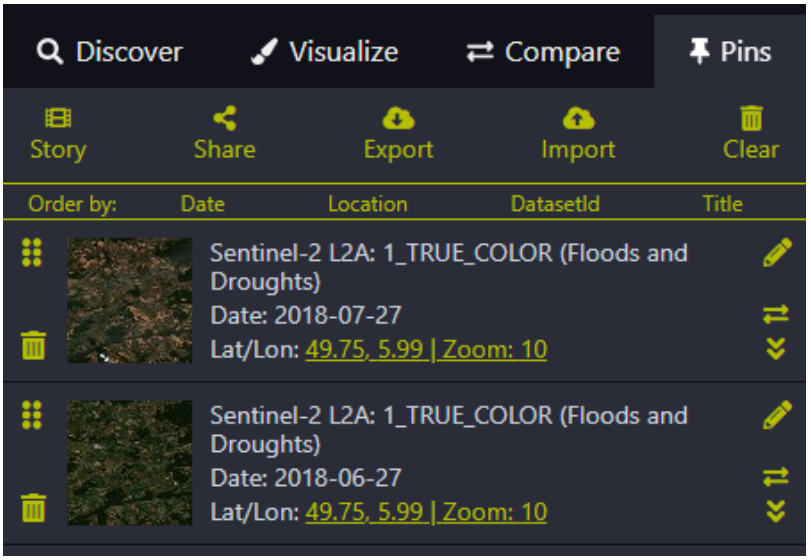
Aktivität B1: Vergleich von Dürre-Satellitenbildern nebeneinander in Echtfarbe

1. Zusätzlich zu dem Bild, das in Aktivität A5 angeheftet wurde, müssen wir ein zweites Satellitenbild der Dürre finden.

2. Wiederholen Sie Aktivität A3, um ein Bild vom Juli 2018 zu suchen.

3. Wählen Sie das Bild 2018-07-27, klicken Sie auf visualisieren.

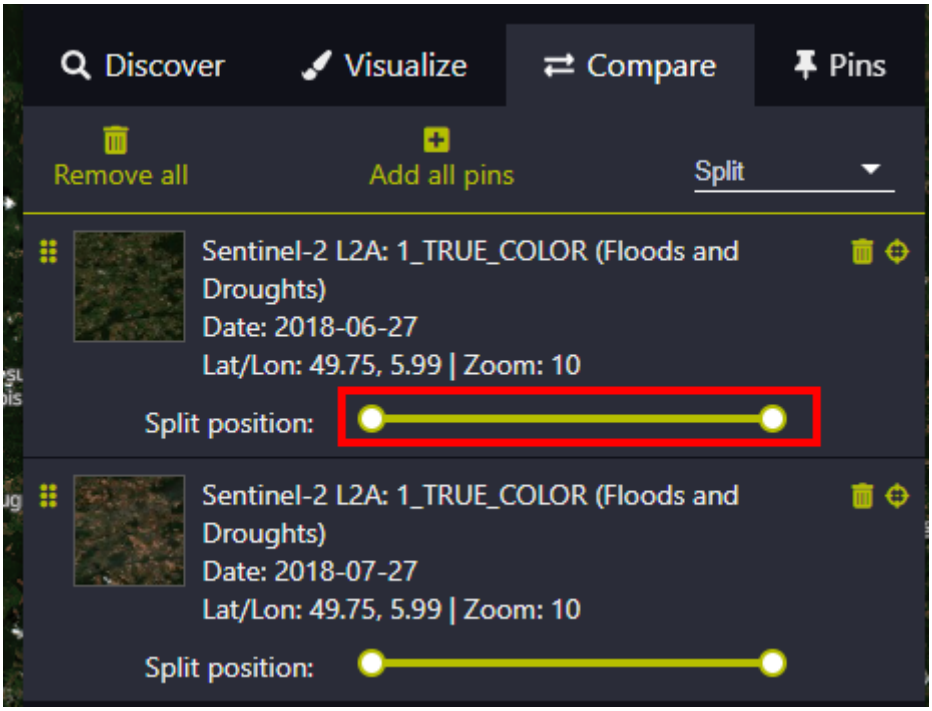
4. Heften Sie Ihr zweites Satellitenbild an Ihren Pins-Bereich an. Sie sollten nun 2 angeheftete Satellitenbilder haben. Eines vom 27.06.2018 und eines mit dem Datum 27.07.2018.



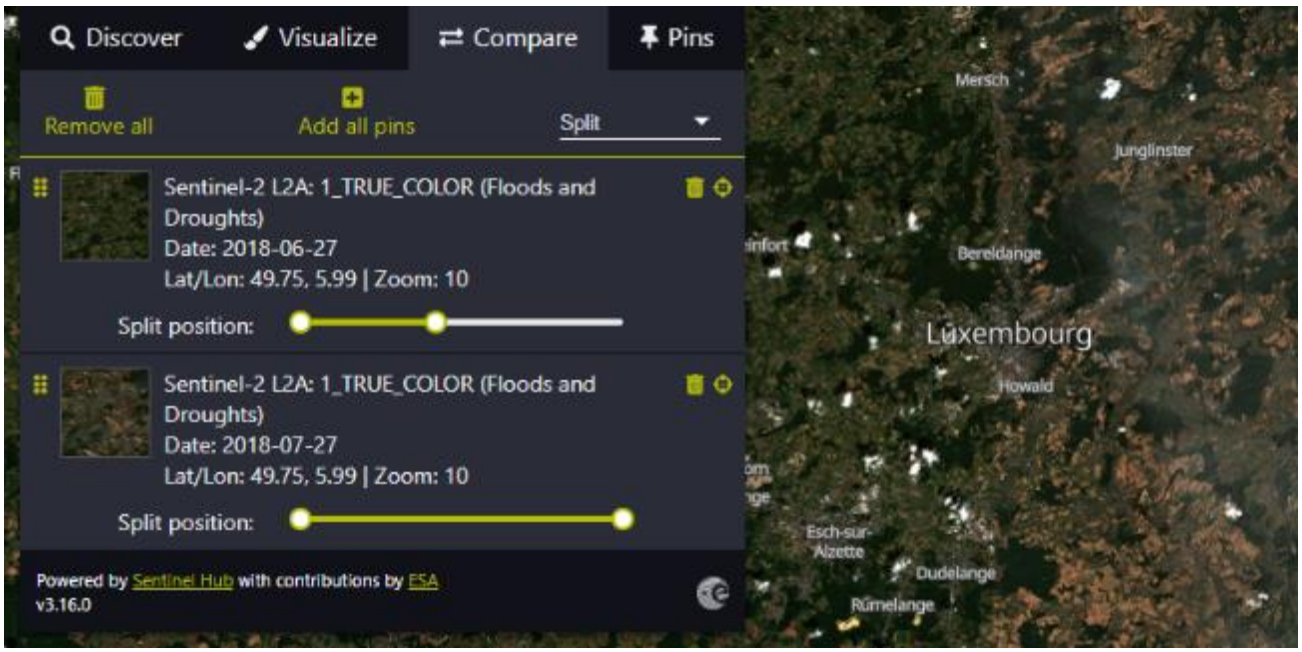
5. Klicken Sie jetzt auf den Vergleichsbutton auf der rechten Seite . Klicken Sie auf die Schaltfläche "Vergleichen" für jedes Bild, das Sie für Ihren Vergleich auswählen möchten. Wählen Sie die beiden Bilder aus. Sie können die Anzahl der ausgewählten Bilder neben dem Feld "*Vergleichen*" überprüfen 2 Compare

6. Gehen Sie nun in den Bereich "Vergleichen" und stellen Sie den Kippschalter "Position teilen" ein, um Ihre beiden Bilder nebeneinander zu vergleichen.

7. Analysieren Sie die Unterschiede zwischen dem Bild mit dem Datum 27.06.2018 und dem Bild vom 27.07.2018 mithilfe des Schiebereglers



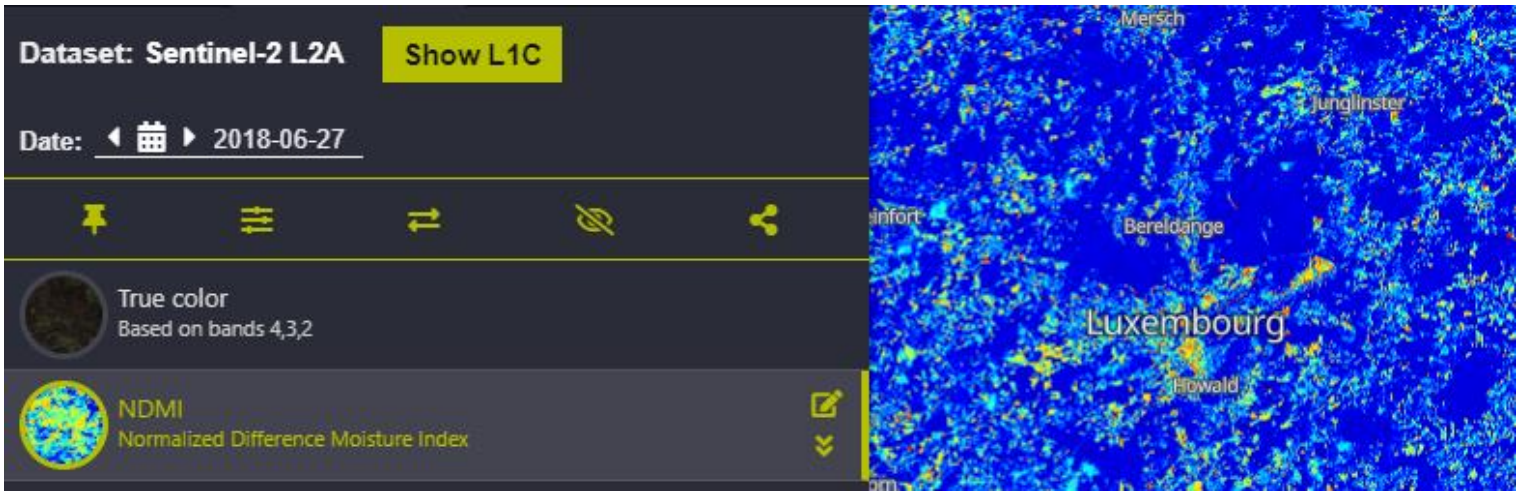
Auf dem Bild vom Juli sehen Sie den Boden viel trockener



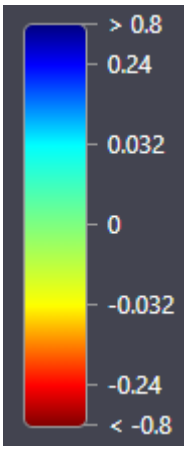
Aktivität B5: Vergleich von Dürre-Satellitenbildern mit Hilfe von NDMI

Der Vergleich von Bildern mit Echtfarben ist interessant, aber nicht präzise genug, um das Ausmaß der Dürre zu messen.

In dieser Übung werden Sie das Satellitenbild beobachten, aber dieses Mal wählen Sie NDMI in der Registerkarte "Visualisieren", kurz bevor Sie das Bild anheften

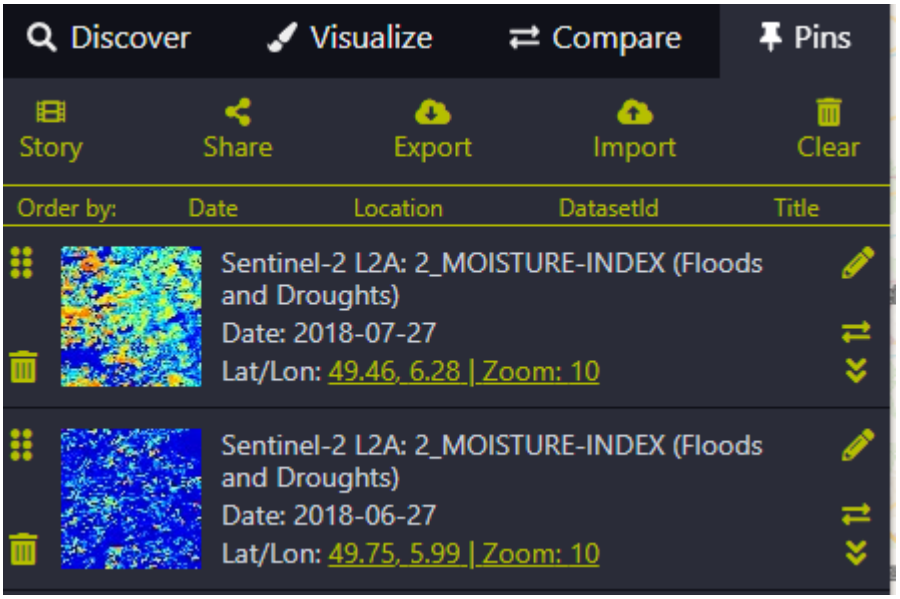


NDMI



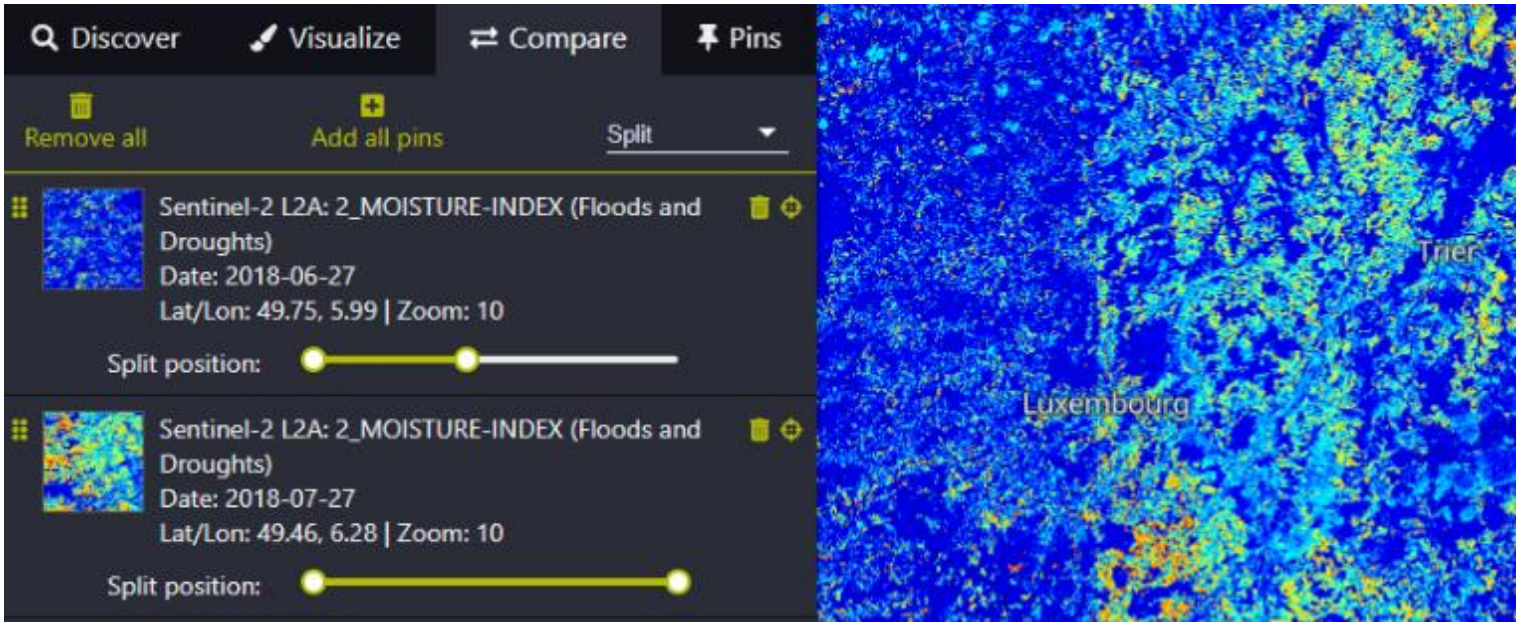
Der normalisierte Differenzfeuchtigkeitsindex (NDMI) verwendet Bilder im sichtbaren und nahen Infrarotbereich zur Bestimmung des Wassergehalts der Vegetation und zur Überwachung von Dürreperioden. Der Wertebereich des NDMI liegt zwischen -1 und 1.

Negative Werte des NDMI (Werte nahe -1) entsprechen unfruchtbaren Böden.
Werte um Null (-0,2 bis 0,4) entsprechen im Allgemeinen Wasserstress.
Hohe, positive Werte stehen für eine hohe Baumkrone ohne Wasserstress (etwa 0,4 bis 1).



Sie sollten die Bilder dann wie folgt anheften können

Dieser Vergleich bietet eine bessere Detailgenauigkeit und Granularität bei Trockenheit.

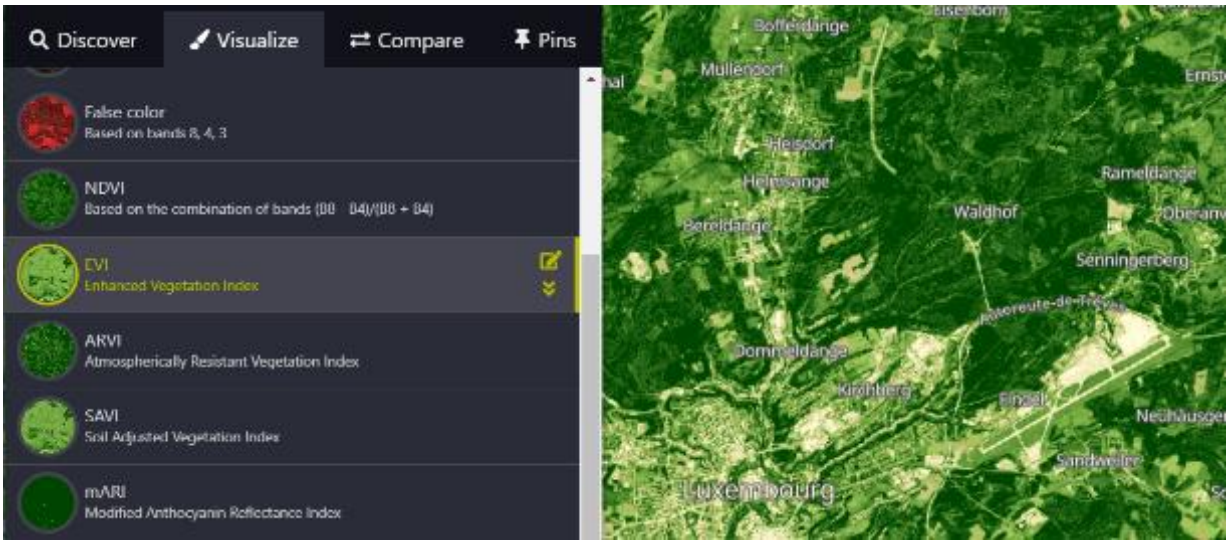


Aktivität B6: Vergleich der Auswirkungen der Dürre auf den Wald anhand des EVI

Aus den Daten von MeteoLux wissen wir, dass im Juli 2017 ein Niederschlagsrekord in Luxemburg verzeichnet wurde, während im Juli 2020 eine der schwersten Dürren der Geschichte herrschte.

Das größte zusammenhängende Waldgebiet in Luxemburg ist der Wald im Nordosten des Landes, in der Nähe des Flughafens Findel

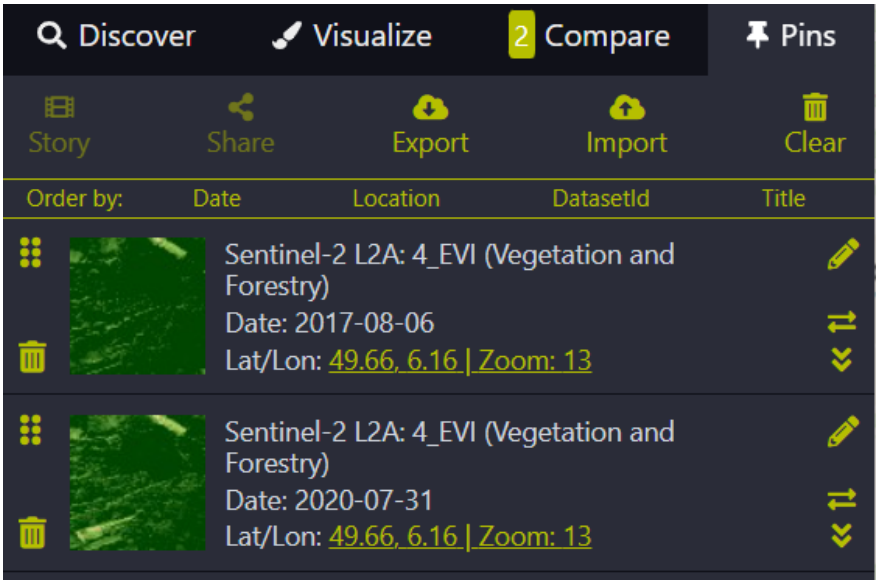
In dieser Übung wiederholen Sie die Aktivitäten B1 bis B4 unter Verwendung desselben Satellitenbildes, wobei Sie dieses Mal den EVI-Index auf der Registerkarte "Visualisieren" auswählen, kurz bevor Sie das Bild anheften



EVI

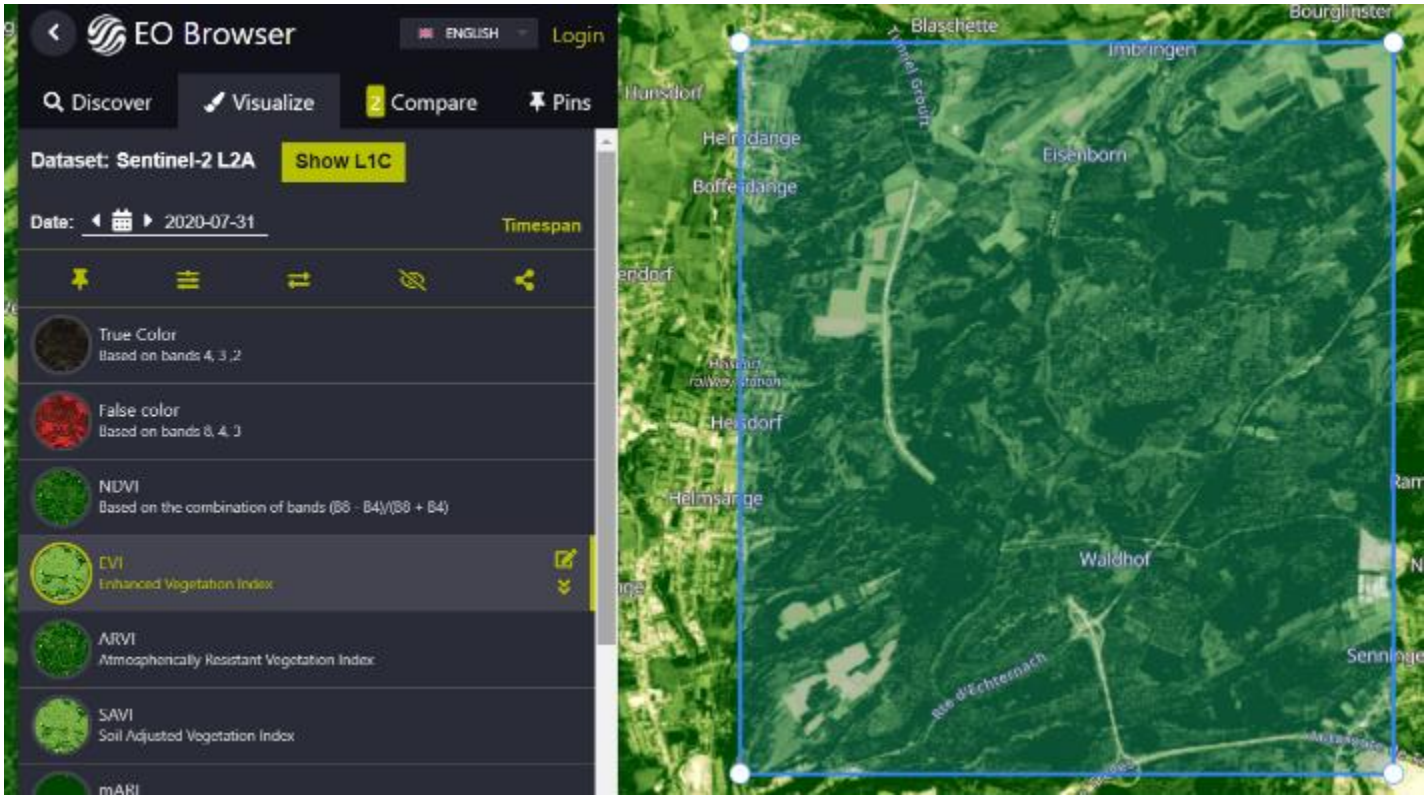
Der erweiterte Vegetationsindex (EVI) ist ein "optimierter" Vegetationsindex, da er Hintergrundsignale des Bodens und atmosphärische Einflüsse korrigiert. Er ist sehr nützlich in Gebieten mit dichtem Waldbestand. Der Wertebereich für

den EVI liegt zwischen -1 und 1, wobei eine gesunde Vegetation im Allgemeinen zwischen 0,20 und 0,80 liegt.
Sie sollten 2 Satellitenbilder von diesem Gebiet anheften. Eines vom 31.07.2017 und eines mit dem Datum 31.07.2020.

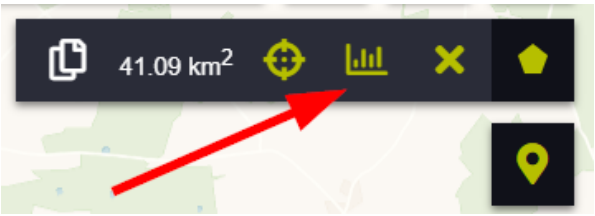


Klicken Sie dann auf das erste Bild und ziehen Sie mit dem "Restangle Tool" rechts ein Rechteck um den Wald.

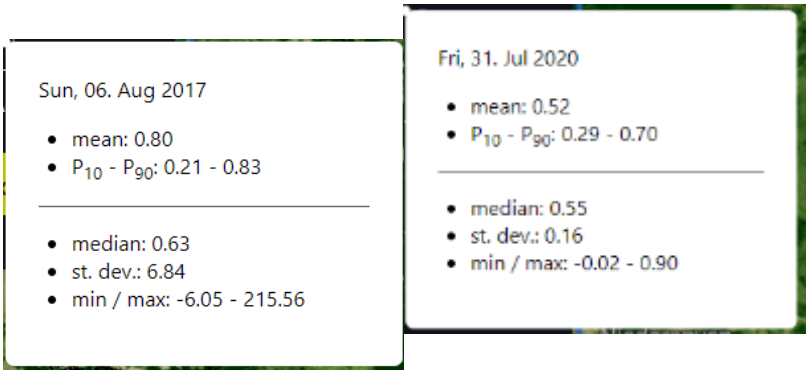
Sie sollten eine Konfiguration wie in der folgenden Abbildung erhalten:



Klicken Sie oben rechts auf die Schaltfläche "Statistik", um die Mittelwerte des EVI-Index für dieses Gebiet zu erhalten.



Sie können dann sehen, dass der mittlere EVI-Wert Ende Juli 2020 niedriger ist als der Wert Ende Juli 2017, was auf einen



Wald hinweist, der unter der Trockenheit leidet.

Dieser Effekt ist sichtbar, da sich dieses Gebiet in der Nähe der luxemburgischen Hauptstadt befindet, wo die Temperatur aufgrund des Phänomens der städtischen Wärmeinseln noch höher ist als im Durchschnitt.

Urbane Wärmeinseln sind städtische Gebiete, die aufgrund menschlicher Aktivitäten und künstlicher Oberflächen deutlich wärmer sind als die sie umgebenden ländlichen Gebiete. Beton zum Beispiel kann etwa 2.000 Mal so viel Wärme speichern wie ein entsprechendes Volumen an Luft.

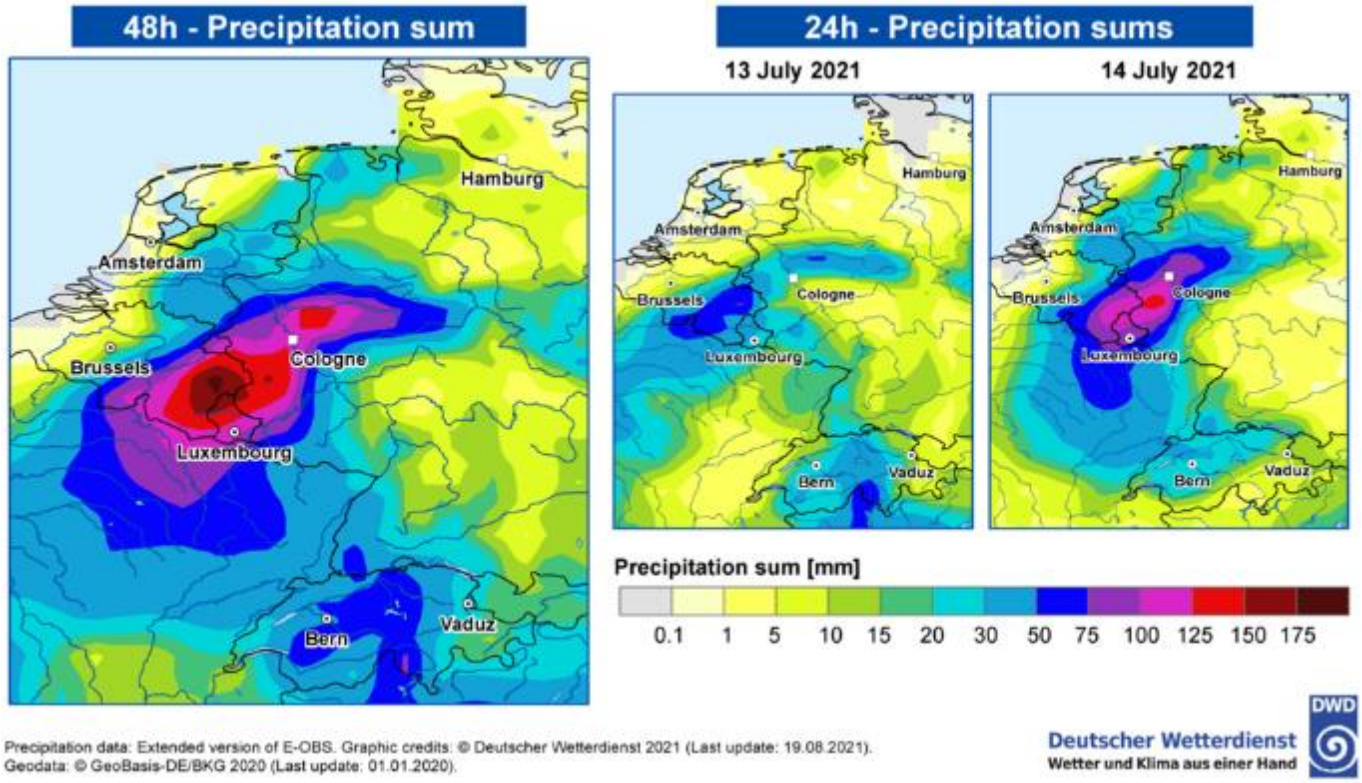
Teil C: Beobachtung von Hochwasser mit Hilfe von Satellitenbildern

Vom 12. bis 15. Juli 2021 führten starke Regenfälle in Verbindung mit einem abgeschalteten Tiefdruckgebiet zu schweren Überschwemmungen in Deutschland, Luxemburg, Belgien und den Niederlanden.

Die Überschwemmungen forderten mindestens 184 Todesopfer in Deutschland und 38 in Belgien und verursachten erhebliche Schäden an der Infrastruktur, unter anderem an Häusern, Autobahnen, Bahnlinien und Brücken sowie an wichtigen Einkommensquellen. Straßensperrungen machten einige Orte tagelang unzugänglich und schnitten einige Dörfer von Evakuierungsrouten und Notfallmaßnahmen ab.

In Luxemburg war Echternach besonders betroffen.

Der vom Menschen verursachte Klimawandel hat die Wahrscheinlichkeit und Intensität eines solchen Ereignisses erhöht, und diese Veränderungen werden sich in einem sich rasch erwärmenden Klima fortsetzen.



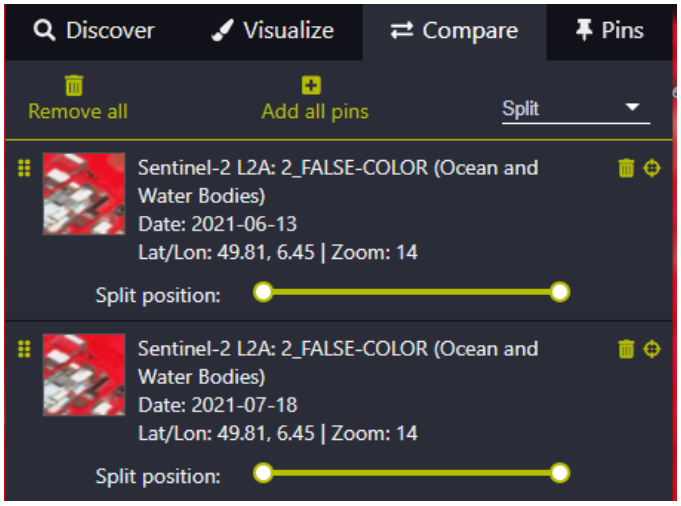
Ein Satellitensensor kann die Erde in verschiedenen Bändern abbilden. Ein Band ist ein Bereich des elektromagnetischen Spektrums.
Ein **Falschfarbenbild** mit nahen Infrarot-, roten und grünen Bändern wird häufig zur Beurteilung der Pflanzendichte und -gesundheit verwendet, da Pflanzen nahes Infrarot und grünes Licht reflektieren, während sie rotes Licht absorbieren.
Städte und offener Boden sind grau oder hellbraun, und Wasser erscheint blau oder schwarz.

Aktivität C1: Vergleichen Sie Satellitenbilder von Überschwemmungen in Falschfarben nebeneinander

1. Wählen Sie das Thema "Ozeane und Gewässer" in der Registerkarte "Entdecken".

2. Bei Verwendung von Satellit 2 und einer Wolkenbedeckung von weniger als 10% suchen Sie nach Bildern rund um Echternach von Anfang Juni bis Ende Juli 2021

3. Pinnen Sie die Bilder vom 2021-06-13 und 2021-07-18 in Falschfarben und fügen Sie sie der Registerkarte



Vergleich hinzu.

4. Vergleichen Sie die 2 Bilder: vor und nach 3 Tagen nach der Überschwemmung

→ Links

ESA-Ressourcen

ESA-Bildungsressourcen zum Klimawandel für den Unterricht
esa.int/Bildung/Klima-Detektive/Klassenzimmer-Ressourcen_für_Klima-Detektive

Climate Change from Space"-Kit, das jahrzehntelange Erdbeobachtungen zusammenfasst:
esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/CLIMATE_KIT.pdf

ESA-Mobil-App "Klima aus dem Weltraum"
esa.int/Unsere_Aktivitäten/Beobachten_der_Erde/Raum_für_unser_Klima/Klima_an_Ihren_Spitzen

ESA-Videos zum Klimawandel
esa.int/ESA_Multimedia/Stichwörter/Beschreibung/Klima_Änderung/(ergebnis_art)/videos

ESA-Raumfahrtprojekte

ESA-Initiative zum Klimawandel (CCI)
http://cci.esa.int

ESA CCI Treibhausgase
http://www.esa-ghg-cci.org

ESA-Erdbeobachtungssatelliten
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions