

Sekundarstufe
14-16



Bildungsressourcenpaket

URBANE HOTSPOTS

Lehrerhandbuch und Arbeitsblätter
für Schüler*innen



URBANE HOTSPOTS: Überblick	Seite 3
Zusammenfassung der Aktivitäten	Seite 5
Die Webanwendung <i>Climate from Space</i>	Seite 8
Warme Städte: Hintergrundinformationen	Seite 9
Aktivität 1: URBANE HOTSPOTS	Seite 11
Aktion 2: STRAHLUNG UND TEMPERATUR	Seite 13
Aktivität 3: STADT UND LANDSCHAFT	Seite 16
Schüler*innen (SuS) Arbeitsblatt 1	Seite 19
SuS - Arbeitsblatt 2	Seite 20
SuS - Arbeitsblatt 3	Seite 23
Informationsblatt 1: URBANE HOTSPOTS	Seite 26
Merkblatt 2: STRAHLUNG UND TEMPERATUR	Seite 29
Links	Seite 31

Klimawandel-Initiative Bildungsressourcenpaket – URBANE HOTSPOTS
<https://climate.esa.int/de/educate/>

Aufgabenkonzepte entwickelt von der University of Twente (NL) und
National Centre for Earth Observation (UK)

Das ESA-Climate Office begrüßt Feedback und Kommentare

<https://climate.esa.int/de/helpdesk/>

Erstellt vom ESA Climate Office
Copyright © European Space Agency 2020-2021

URBANE HOTSPOTS: Überblick

Schnelle Fakten

Fächer: Geographie, Wissenschaft, Physik, Geowissenschaften

Altersspanne: 14-16 Jahre

Typ: Lesen, mathematische Untersuchung, Online-Recherche

Komplexität: mittel bis fortgeschritten

Erforderliche Unterrichtszeit: 4 Stunden

Kosten: gering (5-20 Euro)

Ort: drinnen

Hilfsmittel: Internet, Tabellenkalkulationssoftware

Stichworte: elektromagnetische Energie, Schwarzer Körper oder Schwarzer Strahler, Spitzenstrahlung, Emissionsgrad, Satellitenbeobachtung, Landoberflächentemperatur, Helligkeitstemperatur oder Strahlungstemperatur, Hitzewelle, städtische Wärmeinsel, Stadtplanung

Kurzbeschreibung

Bei dieser Reihe von Aktivitäten lernen die SuS, wie die bebaute Umwelt zum städtischen Wärmeinseleffekt führt und wie die Erdbeobachtung zur Überwachung dieses Effekts und zur Unterstützung von Versuchen eingesetzt werden kann, um ihn zu verringern.

Bei der ersten Aktivität untersuchen die SuS visuelle Temperaturdaten einer Stadt und nutzen sie, um einige der Ursachen für städtische Wärmeinseln zu ermitteln.

Die zweite Aktivität führt in die Grundsätze der Messung der Oberflächentemperatur ein und wendet diese auf die Berechnung der Auswirkungen der Verwendung verschiedener Materialien in Städten an.

Bei der letzten Aktivität nutzen die SuS die Webanwendung *Climate from Space* - Klima aus dem Weltraum und heruntergeladene Daten, um Temperaturen und Trends einer städtischen und ländlichen Umgebung miteinander zu vergleichen.

Lernziel

Nach Durchführung der Aktivitäten werden SuS in der Lage sein:

- den städtischen Wärmeinseleffekt zu beschreiben und einige seiner Folgen zu benennen.
- Aspekte der bebauten Umwelt, die den städtischen Wärmeinseleffekt verstärken oder verringern zu ermitteln.
- das Verhalten dieser Aspekte auf die Physik der Wärmeübertragung zu beziehen.
- Berechnungen durchzuführen, um zu zeigen, wie Messungen der Wärmestrahlung in Temperaturwerte umgewandelt werden können.

- den Emissionsgrad einer Reihe von Materialien, die in Städten verwendet werden, mit der Helligkeitstemperatur in Beziehung zu setzen.
- Daten aus einem großen Datensatz unter Zuhilfenahme einer Tabellenkalkulation zu analysieren und zu präsentieren.
- einen Bericht zu erstellen, um die aus den analysierten Daten gezogenen Schlussfolgerungen zusammenzufassen und zu erläutern.

Zusammenfassung der Aktivitäten

	Titel	Beschreibung	Aufgaben und Ergebnisse	Vorkenntnisse	Zeit
1	Urbane Hotspots	Lesen und Bildanalyse	Beschreibt den städtischen Wärmeinseleffekt und benennt einige seiner Folgen. Ermittelt die Aspekte der bebauten Umwelt, die den städtischen Wärmeinseleffekt verstärken oder verringern. Bezieht das Verhalten dieser Aspekte auf die Physik der Wärmeübertragung.	Wärmeübertragung durch Leitung, Konvektion und Strahlung	Andert-halb Stunden
2	Strahlung und Temperatur	Berechnungen auf der Grundlage von Gleichungen für die Strahlung Schwarzer Körper (mit Hilfe von Tabellenkalkulationen)	Führt Berechnungen durch, um zu zeigen, wie Messungen der Wärmestrahlung in Temperaturwerte umgewandelt werden können. Setzt den Emissionsgrad einer Reihe von Materialien, die in Städten verwendet werden, mit der Helligkeitstemperatur zueinander in Beziehung.	Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, Berechnungen in Standardform, Dezimal-Präfixe (SI prefixes)	Eine Stunde
3	Stadt und Land	Analyse von numerischen Daten mit Hilfe einer Tabellenkalkulation	Analysiert und präsetiert Daten aus einem großen Datensatz mithilfe einer Tabellenkalkulation. Erstellt einen Bericht, um die aus den analysierten Daten gezogenen Schlussfolgerungen zusammenzufassen und zu erläutern.	Tätigkeit 1	Andert-halb Stunden

Die angegebenen Zeiten gelten für die Hauptübungen, wobei ein vollständiger IT-Zugang und/oder die Verteilung der sich wiederholenden Berechnungen und Diagramme in der Klasse vorausgesetzt werden. Sie geben genügend Zeit für den Austausch von Ergebnissen, aber nicht für die Präsentation der Ergebnisse, da dies von der Größe der Klasse und der Gruppen abhängt. Alternative Ansätze können mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Praktische Hinweise für Lehrer

Das für jede Aktivität **benötigte Material** wird zu Beginn eines jeweiligen Abschnitts zusammen mit Hinweisen zu den eventuellen Vorbereitungen aufgeführt, die über das Kopieren von Arbeitsblättern und Informationsblättern hinausgehen.

Die **Arbeitsblätter** sind für die einmalige Verwendung bestimmt und können schwarz-weiß kopiert werden.

Die **Informationsblätter** können größere Bilder enthalten, welche Sie bei Ihren Präsentationen im Klassenzimmer miteinbeziehen können. Diese enthalten zusätzliche Informationen oder Daten für die SuS und deren Arbeiten. Diese Arbeitsmittel werden am besten in Farbe gedruckt oder kopiert und können wiederverwendet werden.

Alle **zusätzlichen Tabellen, Datensätze oder Dokumente**, die für die Übung benötigt werden, können mit folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Erweiterungsideen und Vorschläge zur **Differenzierung** sind an geeigneten Stellen in der Beschreibung jeder Aktivität enthalten.

Arbeitsblattantworten und Beispielergebnisse für praktische Übungen sind zur Unterstützung der **Auswertung** enthalten. Im entsprechenden Teil der Aktivitätenbeschreibung sind die Möglichkeiten zur Verwendung lokaler Kriterien zur Bewertung von Kernkompetenzen, wie Kommunikation oder Datenverarbeitung, aufgeführt.

Gesundheit und Sicherheit

Es wird vorausgesetzt, dass bei der Durchführung aller Aktivitäten die regulären Verfahren bei der Verwendung von Geräten (einschließlich elektrischer Geräte wie z. B. Computer) und bei Bewegung innerhalb der Lernumgebung, beim Stolpern und Verschütten, einschließlich der Erste Hilfe Maßnahmen usw. eingehalten werden. Da die Notwendigkeit dieser Maßnahmen allgemeingültig ist, aber im Detail bei ihrer Umsetzung sehr unterschiedlich ist, werden diese nicht jedes Mal erneut aufgelistet. Stattdessen werden die Gefahren hervorgehoben, die für eine bestimmte praktische Tätigkeit besonders wichtig sind, um das jeweilige Risiko einzuschätzen.

Einige dieser Aktivitäten verwenden die Webanwendung *Climate from Space*. Es ist möglich, von hier aus zu anderen Teilen der Website der ESA CLIMATE CHANGE INITIATIVE und von dort aus zu externen Websites zu gelangen. Falls Sie die Seiten, die sich die SuS ansehen können, nicht einschränken können oder möchten, weisen Sie sie auf die lokalen Regeln zur Internetsicherheit hin.

Die Webanwendung *Climate from Space*

ESA Satelliten spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Klimawandels. *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum* (cfs.climate.esa.int) ist eine Online-Ressource, die anhand von illustrierten Geschichten zusammenfasst, wie sich unser Planet verändert und die Arbeit von ESA-Wissenschaftlern hervorhebt.

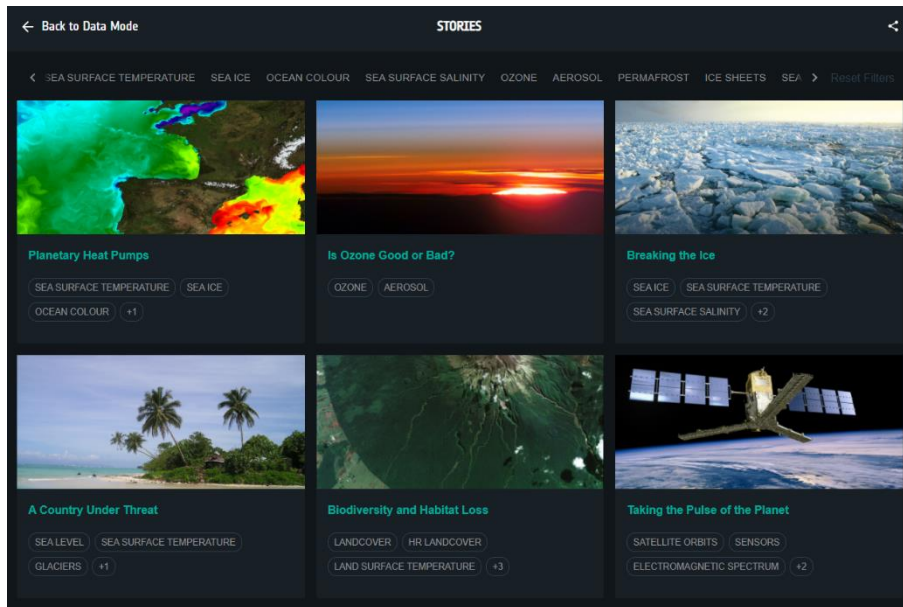


Abbildung 1: Geschichten in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

Das Programm CLIMATE CHANGE INITIATIVE der ESA erstellt zuverlässige globale Aufzeichnungen einiger wichtiger Aspekte des Klimas, die als wesentliche Klimavariablen (ECVs, Essential Climate Variables) bekannt sind. Die Webanwendung *Climate from Space* ermöglicht es euch, mehr über die Auswirkungen zu erfahren, indem ihr diese Daten selbst untersucht.

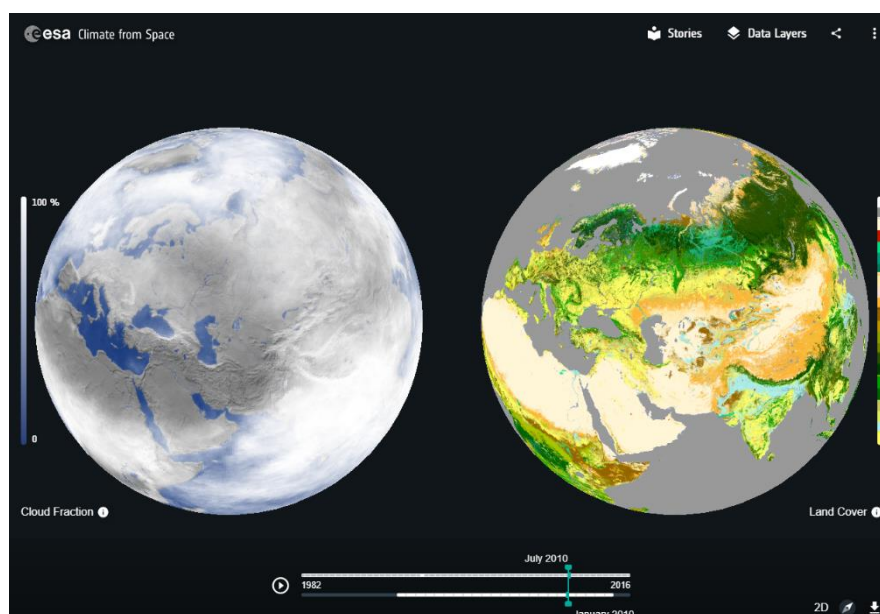


Abbildung 2: Vergleich von Wolken und Landbedeckung in der Webanwendung *Climate from Space* (Quelle: ESA CCI)

Warme Städte: Hintergrundinformationen

Der städtische Wärmeinseleffekt ist ein Phänomen, welches dazu führt, dass in den Städten oft höhere Temperaturen herrschen, als in den umliegenden ländlichen Gebieten. Dieser Effekt wird durch Hitzewellen noch verstärkt, da die für die Gestaltung der bebauten Umwelt verwendeten Materialien eine hohe Wärmekapazität besitzen und die nächtliche Abkühlung dadurch gedrosselt wird.

Durch die wachsende Stadtbevölkerung und die Auswirkungen des Klimawandels werden in den kommenden Jahrzehnten immer mehr Menschen davon betroffen sein.

In einigen Städten nutzen viele Menschen Klimaanlage, um die Innentemperaturen zu senken, hier handelt es sich um eine Lösung, die im Freien nicht nur nicht umsetzbar ist, sondern das Problem durch den Einsatz von Energie, welche zu einem großen Teil immer noch aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird, auch noch verschärft. Ein nachhaltiges Temperaturmanagement in einer Stadt beruht auf passiveren Lösungen, welche die Wärmekapazität und die Oberflächeneigenschaften der verwendeten Materialien auf architektonischen Strukturen, welche die natürliche Zirkulation kühlerer Luft fördern und durch eine Stadtplanung zur Reduzierung von Emissionen beiträgt, berücksichtigen.

Man kann nach Möglichkeiten suchen, um eine Stadt klimaresistent zu machen und Pflanzen in die städtische Umwelt einbringen. Ein Beispiel dafür sind die begrünten Dächer in Arnheim in den Niederlanden. Ein anderer Ansatz, der in Los Angeles erprobt wurde, ist der Anstrich dunkler Asphaltstraßen mit einer Schicht aus hellerem Material. Diese Maßnahme hat zu einem lokalen Temperaturrückgang von 5 °C geführt, und Modellrechnungen zeigen, dass bei großflächiger Anwendung die Temperatur der gesamten Stadt um 1 °C gesenkt werden könnte. Dies geschieht einfach deshalb, weil dunkle Farben die Strahlung absorbieren, während helle Farben die Energie reflektieren.

Städtische Wärmeinseln und einzelne Gebiete innerhalb dieser Inseln sind auf satellitengestützten Bildern der Landoberflächentemperatur deutlich erkennbar. Diese zeigen viel detailliertere Temperaturdaten, welche allein durch Oberflächennmessungen nicht erfassbar wären. Deshalb ist die Erdbeobachtung für die Analyse und Planung sehr nützlich.

Die Aktivitäten dieses Pakets konzentrieren sich darauf, auf welche Weise solche Daten gesammelt werden und wie der Wärmeinseleffekt nachwiesen werden kann. Neben der Untersuchung von Daten in visueller und numerischer Form lernen die SuS, wie Wärmestrahlungswerte in Temperaturdaten umgewandelt werden, die zur Überwachung der städtischen Hitze und zur Unterstützung der Gestaltung klimaresistenter Städte verwendet werden können. Dies erfordert eine Betrachtung der Strahlung Schwarzer Körper, und obwohl dieses Konzept wahrscheinlich Teil eines weiter fortgeschrittenen Lehrplans ist, sind die wichtigsten Punkte, die zur Ausführung der Arbeit benötigt werden, auf Informationsblatt 2 beschrieben und leicht verständlich. Die erforderliche Mathematik ist anspruchsvoller und daher

können die SuS bei ihren Berechnungen das begleitende Arbeitsblatt zur Hilfe nehmen.

Aktivität 1: URBANE HOTSPOTS

Diese Aktivität liefert eine Einführung in den städtischen Wärmeinseleffekt und befasst sich mit den potenziellen Auswirkungen in einer sich erwärmenden Welt, die zunehmend urbanisiert wird. Die SuS untersuchen eine Wärmekarte einer Stadt und wenden das Gelernte an, um eine hypothetische Wärmekarte einer lokalen städtischen Umgebung zu erstellen. Diese Aktivität kann teilweise oder vollständig als Hausaufgabe verwendet werden.

Arbeitsmaterial

- Informationsblatt 1 (2 Seiten, zweite Seite optional – s. Schritt 3)
- SuS-Arbeitsblatt 1
- Internetzugang
- Übersichtskarten eines lokalen Stadtgebiets (fakultativ)
- Bildbearbeitungssoftware oder Buntstifte
- Große Papierbögen (optional – s. Schritt 5)
- Webanwendung *Climate from Space: Geschichte der städtischen Hotspots* (optional)

Vorbereitung

Falls die SuS Schritt 5 auf Papier ausfüllen sollen, müssen Sie Umrisskarten eines lokalen Stadtgebiets ausdrucken. Reduzieren Sie nach Möglichkeit die Druckstärke vor dem Ausdrucken, um Farbböcke zu entfernen und graue Umrisse zu erhalten.

Übung

1. Führen Sie das Thema ein, indem Sie die SuS auffordern, über ihre persönlichen Erfahrungen mit Hitzewellen zu berichten. Die SuS können an dieser Stelle darüber sprechen, welche Auswirkungen die Umgebung auf die Hitzewelle hat und wie sie die Hitze empfinden, indem sie sich möglicherweise auf ihren Urlaubsort, bestimmte Gebäude oder bestimmte Teile der örtlichen städtischen Umgebung beziehen.
2. Bitten Sie die SuS, das Informationsblatt 1.1 zu lesen und mit einem Partner oder einer Partnerin eine Sache, die sie aus der Geschichte gelernt haben und eine Frage, die sie dazu stellen möchten, zu teilen.
Sollte dies innerhalb der gesamten Klasse erfolgen, können Sie den Text mit Material aus der Webanwendung *Climate from Space* zum Thema "Urbane Hitze" ergänzen.
3. Fordern Sie ihre SuS auf, die Fragen 1-4 auf dem Arbeitsblatt 1 zu bearbeiten. Dafür können sie eine elektronische Kopie der Wärmebildkarte von Madrid verwenden, um die Anzahl der Farbkopien zu reduzieren. Das Bild kann unter dem folgendem Link heruntergeladen werden:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/07/AHS-observed_relative_temperatures_of_Madrid_Spain#.X9ouo5WBoXk.link

4. Diskutieren Sie mit den SuS die Antworten zu den Fragen auf dem Arbeitsblatt sowie alle Fragen, welche die SuS beim Lesen des Informationsblatts gefunden haben und die nicht durch die Aktivität beantwortet wurden.
5. Fordern Sie ihre SuS auf, eine theoretische Wärmekarte eines lokalen Stadtgebiets zu erstellen. Dazu können sie Schichten oder Farbböcke zu einem Screenshot einer Online-Karte hinzufügen oder eine Papierkarte ausmalen. In Schritt 6 des Arbeitsblatts werden die SuS aufgefordert, ihre Karte zu kommentieren. Dazu können sie Textfelder, Sticker oder Aufklebeetikette benutzen. Eine klare Darstellung kann dadurch erzielt werden, indem die Karte in der Mitte eines größeren Blattes Papier oder einer Leinwand platziert wird und man den Rand mit einem Text versieht.
6. Die SuS können ihre Karten im Plenum oder, wenn dieser Teil der Aktivität als Hausaufgabe verwendet wird, in einer späteren Unterrichtsstunde diskutieren und gemeinsam bewerten.

Arbeitsblattantworten

Die Ausführlichkeit, mit der die SuS die Aufgabe lösen, hängt von ihren Vorkenntnissen ab, so dass ihre Antworten möglicherweise nicht alle unten aufgeführten Punkte und/oder andere stichhaltige Verbindungen enthalten.

1. Straßen bestehen aus dunklem Beton oder Asphalt, der Wärme gut absorbiert und nachts wieder abstrahlt. Außerdem hat er eine höhere Wärmekapazität als Luft und speichert daher viel Wärme. Die Reibung zwischen der Straße und den Reifen der darauf fahrenden Fahrzeuge erzeugt zusätzliche Wärme, die auf die Straße übertragen und von ihr gespeichert wird.
2. Das weiße Tribünendach ist ein schlechter Absorbierer für Wärme. Durch die offene Bauweise des Stadions wird die heiße Luft nicht im Inneren eingeschlossen, sondern strömt durch Konvektion nach außen. Wenn an diesem Tag kein Spiel stattgefunden hat, werden sich nur wenige Menschen im Stadion aufgehalten haben, und selbst ein ruhender menschlicher Körper gibt Energie in Höhe von etwa 100 W ab.
3. In der Gegend gibt es verschiedene Parks und Spielplätze, aber einer der auffälligsten Kontraste ist der Kreisverkehr an der Plaza de la Republica Argentina.
4. Die Gebäude sind um eine Reihe von Innenhöfen herum angeordnet. Hier handelt es sich um ein architektonisches Merkmal, das in heißen Klimazonen seit der Antike wegen des Schattens, den sie spenden, und wegen des passiven Kühleffekts, den sie erzeugen, ausgiebig genutzt wurde. Die Dacheindeckung ist heller als die Ziegel, die in vielen umliegenden Gebäuden verwendet werden. Die SuS können auch darauf hinweisen, dass es Mitternacht war, als das Bild aufgenommen wurde, so dass die Klimaanlage, die tagsüber in Betrieb waren, keine Wärme an die Umgebung abgeben.

Die Antworten auf die übrigen Fragen werden unterschiedlich ausfallen.

Aktivität 2: STRAHLUNG UND TEMPERATUR

Diese Aktivität zeigt, wie die Intensität der Wärmestrahlung gemessen werden kann, um die Temperatur der Landoberfläche zu bestimmen, indem die Eigenschaften eines Schwarzen Körpers berücksichtigt werden. Die SuS lernen die relevanten Gleichungen kennen und führen mit Hilfe einer Tabellenkalkulation Berechnungen durch.

Arbeitsmaterial

- Informationsblatt 2
- SuS-Arbeitsblatt 2 (2 Seiten)
- Taschenrechner
- Arbeitsblatt Urbane Hotspots - Aktivität 2

Vorbereitung

Sie können das Arbeitsblatt "Urbane Hotspots - Aktivität 2" aus dem Abschnitt "Urbane Hotspots" der ESA-Webseite "Klima für Schulen" (<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>) an einen Ort herunterladen, auf welchen Ihre SuS ohne Internetzugang zugreifen können.

Die SuS benötigen möglicherweise auch Zugang zu einem Diagramm, das die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums zeigt, falls diese Arbeit nicht im Rahmen eines verwandten Themas durchgeführt wird. (s. z. B. das begleitende Unterrichtsressourcenpaket *Taking the Pulse of the Planet – Dem Planeten auf den Puls fühlen* (Sekundarstufe I), welches unter der oben genannten Internetadresse aufgerufen werden kann.

Aktivität

1. Stellen Sie Ihren SuS die Aufgabe, Methoden und Instrumente zur Temperaturmessung aufzulisten und unter Umständen die Diskussion auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Instrumente auszuweiten. Fahren Sie mit der Überlegung fort, welche dieser Instrumente für die Fernmessung der Temperatur verwendet werden könnten. Zum Beispiel könnten Thermoelemente oder andere elektronische Thermometer an einen Sender angeschlossen werden, um Daten an einen anderen Ort zu übermitteln. Erklären Sie, dass wir mehr über die Funktionsweise von Wärmebildkameras herausfinden werden und einige der Berechnungen durchführen werden, die ihrer Funktionsweise zugrunde liegen.
2. Sie könnten die SuS einfach bitten, das Informationsblatt zu lesen und die Berechnungen auf dem Arbeitsblatt mit Hilfe des Arbeitsblatts auszuführen. Da die Gleichungen jedoch einiges an Wissen abverlangen, wäre es vielleicht besser, einen Abschnitt des Informationsblatts durchzulesen, die dazugehörigen Berechnungen durchzuführen und diese Antworten zu überprüfen, bevor man zum nächsten Abschnitt übergeht. So können Sie überprüfen, ob ihre SuS die Aufgabe verstanden haben, und bei Bedarf Ihre Unterstützung anbieten.

3. Sie können die SuS auffordern, ihre Erkenntnisse, welche sie aus dieser Aktivität gewonnen haben, mit denen am Ende der Aktivität 1 erstellten Karten zu kombinieren. Anhand dieser Karten haben sie die Möglichkeit spezifische Änderungen vorzuschlagen, die in dem von ihnen untersuchten Gebiet vorgenommen werden könnten, um den städtischen Wärmeinseleffekt zu reduzieren.

Arbeitsblattantworten

1. 2. Es ist möglich, dass den SuS die Unterteilungen des infraroten Teils des Spektrums, welche in der Erdbeobachtung und Fernerkundung verwendet werden, bekannt sind, oder auch nicht. Falls Sie es wünschen, können Sie diese einführen. (NIR = Nahes Infrarot; SWIR = Kurzwelliges Infrarot.)

	Temperatur		Peak-Wellenlänge		Bereich des elektromagnetischen Spektrums
	/ K	/ °C	/ m		
Sonne	5795	5522	$5,00 \times 10^{-7}$	500 nm	sichtbar (grün)
geschmolzenes Glas	1700	1427	$1,70 \times 10^{-6}$	1,70 μm	Infrarot (NIR)
Lava	1500	1227	$1,93 \times 10^{-6}$	1,93 μm	Infrarot (SWIR)
heißer Beton	333	60	$8,70 \times 10^{-6}$	8,70 μm	Infrarot (thermisch)
Erde (Durchschnitt)	300	27	$9,66 \times 10^{-6}$	9,66 μm	Infrarot (thermisch)
kühler Beton	283	10	$1,02 \times 10^{-5}$	10,2 μm	Infrarot (thermisch)
Erde (niedrigste Temperatur)	184	-89	$1,57 \times 10^{-5}$	15,7 μm	Infrarot (thermisch)

3. a. $1,50 \times 10^7 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$ b. $9,65 \times 10^6 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$ c. $7,38 \times 10^6 \text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-3}$

4.

Oberfläche	Emissionsgrad	Helligkeitstemperatur / Kat 10,85 μm und 27°C
Wasser	0,99	23,1
Rauher Beton	0,94	22,3
Tarmac (Asphalt)	0,93	22,1
Eichenbäume	0,885	21,4

5. Bäume haben eine geringere Helligkeitstemperatur. Das bedeutet, dass ihre Oberfläche weniger Energie an die Atmosphäre abgibt. Aus diesem Grund erwärmen sie die umgebende Luft nicht in demselben Maße wie Wasser, Beton oder Asphalt.

Außerdem spenden sie Schatten, wodurch verhindert wird, dass der Boden unter ihnen Energie von der Sonne absorbiert und so die Energie, die der Boden abgibt, reduziert. Sie geben durch Transpiration Wasser in die Atmosphäre ab. Die Energie für die Verdunstung an der Blattoberfläche wird der Atmosphäre entzogen, was sich kühlend auf die Atmosphäre auswirkt.

Aktivität 3: STADT UND LANDSCHAFT

Bei dieser Aktivität verwenden die SuS die Webanwendung *Climate from Space*, um die Landbedeckungstypen zu identifizieren, die mit zwei zusammengehörenden kontrastierenden Orten verbunden sind. Des Weiteren analysieren sie die heruntergeladenen Temperaturdaten. Sie festigen ihr Wissen in Bezug auf dieses Thema, indem sie einen Bericht erstellen, in welchem sie die gefundenen Muster mit Informationen über das Strahlungsverhalten verschiedener Oberflächen und unter Umständen auch mit anderen Klimavariablen zueinander in Beziehung setzen.

Arbeitsmaterial

- Internetzugang
- Webanwendung *Climate from Space*
- SuS-Arbeitsblatt 3 (2 Seiten)
- Arbeitsblatt "Urbane Hotspots Aktivität 3"
- Tabellenkalkulations- und Textverarbeitungssoftware

Vorbereitung

Sie können das Arbeitsblatt "Urbane Hotspots Aktivität 3" aus dem Abschnitt "Planetare Wärmepumpen" der ESA-Webseite "Klima für Schulen" (<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>) an einen Ort herunterladen, an welchem Ihre SuS ohne Internetzugang darauf zugreifen können.

Aktivität

1. Erinnern Sie Ihre SuS daran, dass sie sich damit beschäftigt haben, wie wir die Temperatur der Landoberfläche vom Weltraum aus messen können und wie diese in einer Stadt variiert, aber, dass sie bisher noch keine Beweise für den städtischen Wärmeinseleffekt betrachtet haben. Das werden wir in dieser Übung durchführen, indem wir Daten eines städtischen Gebietes mit denen eines ländlichen Gebiets vergleichen.
2. Bitten Sie Ihre SuS, den Anweisungen zu folgen und die Fragen auf dem Arbeitsblatt 3 zu beantworten.
Die SuS benötigen möglicherweise zusätzliche Unterstützung in den folgenden Bereichen:
 - Der Schlüssel für die Bodenbedeckung in der Webanwendung *Climate from Space* ist recht detailliert. Ermutigen Sie die SuS, nach breiteren Kategorien zu suchen: Städtische Gebiete sind rot, kahle Felsen und spärliche Vegetation sind blass, Wälder und bewaldete Gebiete sind grün, andere Vegetationsarten sind gelb usw.
 - Einige SuS benötigen möglicherweise Hilfe bei der Bestimmung eines geeigneten Diagramms für die Darstellung. Es könnte hilfreich sein, zusammengesetzte Beschriftungen für die *x-Achse* wie im Beispiel zu erstellen.
 - Der schnellste Weg, die durchschnittlichen Temperaturen für jeden Monat für Frage 4 zu ermitteln, ist die Verwendung der Funktion SUMIF.

3. Sie könnten SuS, die zügig vorankommen, bitten, eine oder mehrere der folgenden Aufgaben zu bearbeiten:
 - Vergleichen Sie die Temperaturentwicklung im Winter und im Sommer für jeden Ort (z. B. Januar und Juli). Verändern sich diese in der gleichen Weise wie der jährliche Trend? Falls dies nicht der Fall sein sollte; welche Unterschiede sind zu erkennen?
 - SuS mit besseren Statistikenkenntnissen könnten auch die Schwankungen an den einzelnen Standorten quantifizieren. Sie können dies entweder über den gesamten Zeitraum oder für bestimmte Zeiträume durchführen, und prüfen, wie gut die Beweise die von ihnen beschriebenen Trends unterstützen.
 - Die SuS können sich auch andere Datenebenen in der Webanwendung *Climate from Space* ansehen, von denen sie annehmen, dass sie einen Einfluss auf die Temperatur an den einzelnen Orten haben könnten, wie zum Beispiel die Bodenfeuchtigkeit und Wolken.
4. Die letzte Aufgabe auf dem Arbeitsblatt 3.2 besteht darin, einen Bericht zu erstellen, in welchem die Ergebnisse zusammengefasst und erläutert werden. Dieser Bericht kann verwendet werden, um den Lernerfolg der SuS in Bezug auf das Thema als Ganzes sowie ihre Kommunikations- und Datenverarbeitungsfähigkeiten anhand lokaler Kriterien zu bewerten.

Arbeitsblattantworten

1. Heathrow - städtisch; Waddington (englische Ortschaft) - Ackerland.

2. Entfernen Sie die Daten vor 2009 aus dem Heathrow-Datensatz; Berechnen Sie die Durchschnittstemperaturen für Heathrow.

3. Siehe Abb. 3

Gemeinsamkeiten: Höchst- und Tiefsttemperaturen treten an beiden Standorten jedes Jahr zur gleichen Zeit auf (Januar bzw. Juli); die Spanne zwischen Höchst- und Tiefsttemperaturen ist an beiden Standorten ähnlich (etwa 20 °C).

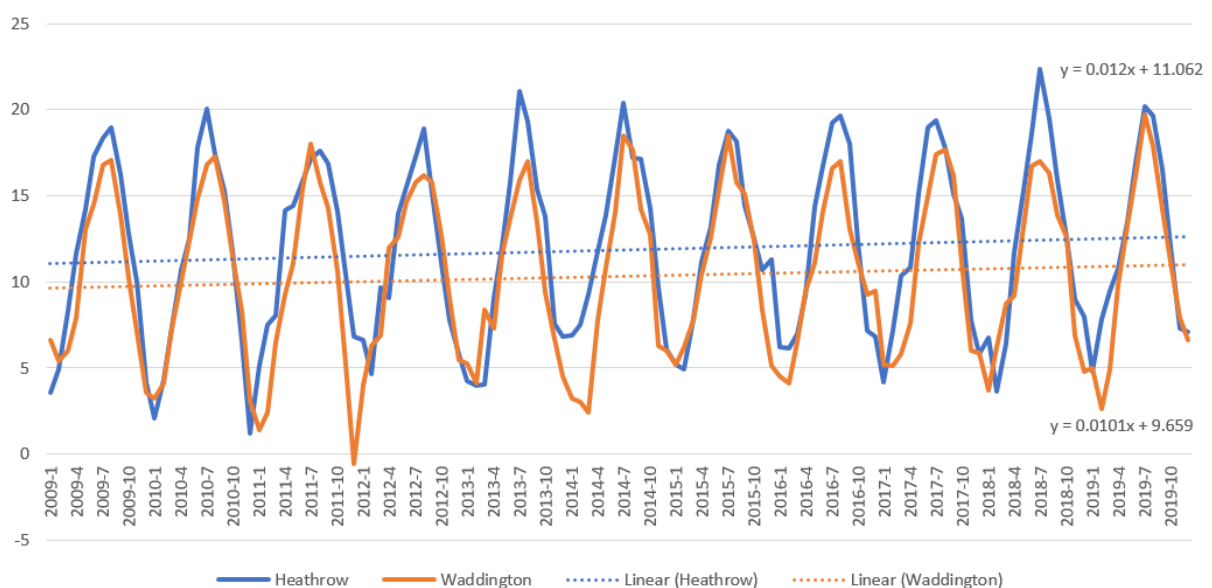


Abbildung 3: Durchschnittliche monatliche Temperaturen für Heathrow und Waddington, Großbritannien (Quelle: climate-data.org)

Unterschiede: Im Allgemeinen sind die Temperaturen in Heathrow höher als in Waddington. Im Winter sind die Temperaturen in Waddington etwa in jedem dritten Jahr deutlich niedriger als in Heathrow. Im Sommer sind die Temperaturen in Heathrow fast jedes Jahr deutlich höher als in Waddington.

4.

Durchschnitts-temperatur /°C	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Heathrow	5,1	5,7	8	10,9	13,9	17	19,5	18,6	16	12,8	8,5	6,4
Waddington	4,3	4,5	6,5	9,2	12,2	14,9	17,4	16,9	14,4	11,4	7,4	4,9

5. Diese Daten bestätigen die Schlussfolgerung, dass es in Heathrow generell wärmer ist als in Waddington. Ein Vergleich der monatlichen Durchschnittswerte zeigt, dass dieser Unterschied in den Sommermonaten am größten ist.

6. Siehe Abb. 3

Die Temperaturen steigen an beiden Orten; in Heathrow jedoch schneller als in Waddington.

Die Raten betragen $0,010^{\circ}\text{C}/\text{Monat} = 0,12^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$ in Waddington und $0,012^{\circ}\text{C}/\text{Monat} = 0,14^{\circ}\text{C}/\text{Jahr}$ in Heathrow.

Numerische Daten für diese Aktivität wurden unter folgenden Links heruntergeladen:

www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/stationdata/heathrowdata.txt

und

www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/stationdata/waddingtondata.txt

Arbeitsblatt 1: URBANE HOTSPOTS

Finde einen Straßenplan und/oder Luft- oder Farb-Satellitenbilder von dem Teil Madrids, der auf dem nächtlichen Bild auf Informationsblatt 1.2 zu sehen ist.

Nutze dies, um die folgenden Fragen zu beantworten.

1. Das Straßennetz ist auf dem Bild deutlich zu erkennen. Warum?

2. Auch das Bernabéu-Stadion (Estadio Santiago Bernabéu) ist deutlich erkennbar. Warum?

Im Text auf dem Informationsblatt 1.1 werden mehrere Maßnahmen genannt, die dazu beitragen können, Städte kühl zu halten, darunter die Wiederbegrünung, die Verbesserung der Luftzirkulation in Gebäuden und in ihrer Umgebung sowie die Verwendung unterschiedlicher Materialien oder Farben.

3. Ermittle einen Ort, der kühler zu sein scheint als die Umgebung, weil es dort Begrünung gibt.

4. Die Reihe von Regierungsgebäuden, die im Ausschnitt rechts eingekreist ist, scheint kühler zu sein als einige andere. Welche architektonische(n) Eigenschaft(en) könnte(n) dies erklären?

Unterstütze deine Antwort durch Bezugnahme auf kontrastierende Gebäude.



Wie würde eine ähnliche Karte eines Teils deiner Stadt oder des nächstgelegenen Stadtgebiets aussehen?

5. Male einen Kartenausschnitt aus, um zu zeigen, was du denkst. Vergiss nicht, einen Schlüssel beizufügen.
6. Füge Beschriftungen hinzu, um deine Entscheidungen für mindestens vier Merkmale oder Orte zu erläutern.
7. Vergleiche deine Karte mit der, die von deinen Mitschüler*innen erstellt wurde. Stimmen sie überein? Falls dies nicht der Fall sein sollte, diskutiert die Unterschiede und versucht, einen Konsens zu finden.

Arbeitsblatt2: STRAHLUNG UND TEMPERATUR

Für einige dieser Fragen könnt ihr das Arbeitsblatt "Urbane Hotspots Aktivität 2" zur Hilfe nehmen. Eure Lehrkraft wird euch erklären, wie ihr diese findet. Achtet bei allen Berechnungen auf die Verwendung der richtigen Einheiten.

Temperatur und Spitzenwellenlänge (Peak-Wellenlänge)

Die Spitzenintensität der Sonnenstrahlung liegt bei 500 nm.

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

1. Verwende das Wien'sche Gesetz, um die Temperatur der Sonne zu schätzen.

Trage deine Antwort in die nachstehende Tabelle ein.

2. Berechne nun mit Hilfe des Wien'schen Gesetzes die Wellenlänge der Spitzenstrahlung der in der Tabelle aufgeführten Dinge. Gib deine Antwort sowohl in der Standardform als auch unter Verwendung eines geeigneten Präfixes an und gib an, in welchem Teil des elektromagnetischen Spektrums sich die Strahlung befindet.

	Temperatur		Peak-Wellenlänge		Bereich des elektromagnetischen Spektrums
	/ K	/ °C	/ m		
Sonne			5.00×10^{-7}	500 nm	sichtbar (grün)
geschmolzenes Glas	1700				
Lava	1500				
heißer Beton	333				
Erde (Durchschnitt)		27			
kühler Beton		10			
Erde (niedrigste Temperatur)		-89			

Die Ausstrahlung bei anderen Temperaturen

Der Sensor auf einem Erdbeobachtungssatelliten erfasst Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge von 10,85 μm .

3. Trage die entsprechenden Daten in der Tabellenkalkulation ein, um mit Hilfe der Planckschen Formel für die Strahlung Schwarzer Körper die Strahlungsintensität von Beton bei den unten angegebenen Temperaturen zu berechnen.

$$L_{BB}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}$$

Denk daran, die Temperaturen in Kelvin umzuwandeln, bevor du die Formel anwendest.

a. 60°C (heiß)

b. 27°C (durchschnittlich)

c. 10°C (kalt)

Helligkeitstemperaturen

Städtische Oberflächen sind keine Schwarzen Körper, daher muss hier der Emissionsgrad berücksichtigt werden.

4. Trage die entsprechenden Daten in die Kalkulationstabelle ein, um die Helligkeitstemperatur von Wasser, Beton, Asphalt und Eichenbäumen bei einer Temperatur von 27 °C zu berechnen.

$$T_b = \frac{hc}{\lambda k_B \ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon(\lambda)} \left[\exp\frac{hc}{\lambda k_B T} - 1\right]\right)}$$

Die Emissionsgrade sind in der Tabelle verzeichnet, welche ihr auch zum Eintragen eurer Antworten verwenden könnt. Es ist davon auszugehen, dass der Sensor die gleiche Wellenlänge wie in Frage 3 erfasst.

Oberfläche	Emissionsgrad	Helligkeitstemperatur / Kat 10,85 µm und 27°C
Wasser	0,99	
Rauher Beton	0,94	
Tarmac (Asphalt)	0,93	
Eichenbäume	0,885	

5. Inwiefern unterstützen deine Antworten auf die Frage 4 die Auffassung, dass die Vegetation dazu beitragen kann, den städtischen Wärmeinseleffekt zu verringern?
Kannst du noch andere Möglichkeiten nennen, auf welche Weise sie diesen Effekt verringert?

Arbeitsblatt 3: STÄDTE UND LÄNDER

Öffnet die Webanwendung *Climate from Space* (cfs.climate.esa.int).

Klickt auf das Symbol DATA LAYERS (oben rechts) und wählt *Land Cover*.

Spielt die Animation mehrmals durch, um zu überprüfen, ob ihr versteht, wie die Steuerelemente auf dem Bildschirm euch dabei unterstützen, bestimmte Orte oder Zeiten genauer zu betrachten.

Klickt auf die Schaltfläche ⓘ unten links, um den Schlüssel zu sehen. Prüft, ob die für die verschiedenen Bodennutzungskategorien verwendeten Farbtypen für euch erkennbar sind.

Ihr werdet die Temperaturen an zwei Orten im Vereinigten Königreich untersuchen.

- Heathrow, London.
- Waddington, Lincolnshire.

Findet diese Orte auf einer Online-Karte, damit ihr wisst, wie ihr sie in der Webanwendung *Climate from Space* ermitteln könnt.

1. Welche Art von Bodenbedeckung zeigt sich in und um jeden Ort?
Hat sie sich im Laufe Zeit, in der die Daten wurden, erheblich verändert?

Heathrow _____

Waddington _____

Für die nächsten Schritte benötigt ihr das Arbeitsblatt "Urbane Hotspots Aktivität 3". Eure Lehrkraft wird euch erklären, wie ihr es finden könnt.

Datenharmonisierung

Die Tabelle enthält monatliche Temperaturaufzeichnungen für jeden Ort. Bevor ihr sie vergleichen könnt, müsst ihr die Datensätze aufeinander abstimmen.

2. Was bedeutet dies, dass ihr tun müsst?

Macht eine Kopie des Blattes und gleicht die beiden Datensätze miteinander ab.

Prüfung der Daten

Stellt beide Datensätze in einem einzigen Diagramm dar, mit dem Datum auf der *x-Achse* und der Temperatur auf der *y-Achse*.

3. Vergleicht den Jahreszyklus der Temperaturschwankungen an jedem Ort und belegt eure Schlussfolgerungen mit Zahlen.

Übereinstimmungen:

Unterschiede:

4. Berechnet die Durchschnittstemperatur für jeden Monat an jedem Ort. Ihr könnt auch eine entsprechende Darstellung dieser Daten erstellen.

Durchschnittliche Temperatur /°C	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt.	Nov	Dez
Heathrow												
Waddington												

5. Liefert dies neue Informationen oder bestätigt oder widerspricht es einer der Schlussfolgerungen, die ihr aus der vollständigen Darstellung gezogen habt? Erläutert eure Antwort.

Fügt zu eurem vollständigen Diagramm eine lineare Trendlinie für jeden Datensatz hinzu und zeigt die Gleichungen für jede Linie im Diagramm an.

6. Was sagen uns diese Linien und ihre Gleichungen über die Temperaturen in Heathrow und Waddington? Sucht auch hier nach Übereinstimmungen und Unterschieden und verwendet Zahlen zur Unterstützung eurer Beschreibungen.

Bericht über Eure Schlussfolgerungen

Schreibt auf der Grundlage dieser Daten einen kurzen Bericht. Euer Bericht muss folgende Punkte enthalten:

- eine Beschreibung der Standorte und der verwendeten Daten
- eine Bestätigung der Datenquelle
- Mindestens eine Karte
- eine Beschreibung der wichtigsten Muster oder Trends
- eine Erklärung für jedes Muster oder jeden Trend auf der Grundlage dessen, was ihr zu diesem Thema gelernt habt.

Euer Bericht kann auch Folgendes enthalten:

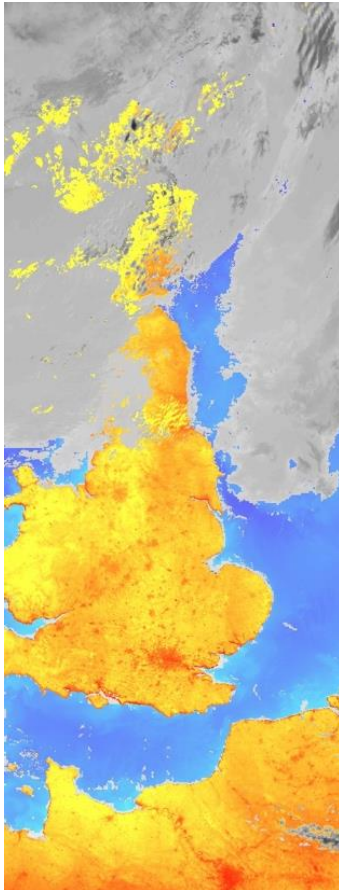
- zusätzliche Tabellen, Karten, Diagramme oder Abbildungen

- unterstützende Daten aus anderen Quellen, die korrekt referenziert sind
- Maßnahmen, die ergriffen werden könnten, um Trends, die Probleme verursachen oder in Zukunft verursachen könnten, zu verringern
- Vorschläge für weitere Untersuchungen, u. a. welche Daten ihr benötigt und wie ihr sie verwenden würdet.

Euer Bericht sollte einschließlich Anmerkungen und Bildunterschriften, ausgenommen der Referenzen, nicht mehr als 1000 Wörter enthalten.

Informationsblatt 1: URBANE HOTSPOTS

Für die Neujahrsfeierlichkeiten 2020 in Moskau musste Kunstschnee erzeugt werden. In der russischen Hauptstadt, die eigentlich für ihre kalten, harten Winter bekannt ist, hatten die Temperaturen 5,4 °C erreicht. Das war die höchste Dezembertemperatur seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1879. Bei einer Snowboard-Veranstaltung wurde "Schnee" verwendet, der von der Oberfläche einer nahe gelegenen Eisbahn abgekratzt wurde. Kinder spielten Fußball in Höfen, in denen normalerweise Eishockeyspiele stattfinden.



Eine nächtliche Wärmekarte von Nordwesteuropa. Die grauen Bereiche sind Wolken, und das rot dargestellte Land ist wärmer als das gelb dargestellte Land. (Quelle: ESA)

Hitzewellen kosteten im Jahr 2003 europaweit 70 000 Menschen das Leben. In 2010 starben aus diesem Grund allein in Russland 55 000 Menschen. Die extremsten Temperaturen wurden in den Städten gemessen. Wenn immer mehr Menschen in ein städtisches Gebiet ziehen, ersetzen Straßen und Gebäude die Vegetation. Da die dafür verwendeten Materialien eine viel höhere Wärmekapazität besitzen als Pflanzen und Bäume, speichert die bebaute Umwelt Energie und die Temperaturen steigen rasch an. Städte entwickeln sich zu "städtischen Wärmeinseln", die bis zu 7 °C wärmer sein können als das Umland. Wie deutlich sich bebaute Gebiete abheben, ist auf dem Satellitenbild links zu erkennen, auf welchem die Temperatur der Landoberfläche bei Nacht gezeigt wird.

Nahezu 2 % der Erdoberfläche sind von Städten bedeckt, in denen mehr als 55 % der 7,7 Milliarden Einwohner der Welt leben. Bis 2050 werden voraussichtlich 75 % der 9,5 Milliarden Menschen in Städten leben, was zu Folge haben wird, dass in Zukunft noch für viel mehr Menschen die Auswirkungen des Wärmeinseleffekts spürbar werden.

Wie stark ein städtisches Gebiet von diesem Effekt betroffen ist, hängt u. a. von der Anzahl, Art und Anordnung der Gebäude und Straßen sowie von deren Material ab. Die Wiederbegrünung der Städte, die Anordnung von Gebäuden zur Verbesserung der Luftzirkulation und die Verwendung von Materialien und Farben, die weniger Wärme speichern als die derzeit

verwendeten, könnten verhindern, dass die Temperaturen in den Städten in dieser Stärke ansteigen. Aber genügen diese Maßnahmen, um unsere wachsenden Städte zu kühlen?

Messungen der Landoberflächentemperatur (Land Surface Temperature -LST) aus dem Weltraum können zeigen, wie Hitzewellen die Temperatur beeinflussen. Wissenschaftler*innen, die von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) finanziert werden, haben LST-Karten erstellt, die eine Momentaufnahme der

Temperaturen am Boden darstellen und detailliert genug sind, um die wichtigsten Merkmale einer Stadt wie London zu zeigen. Der Vergleich mit genauen Langzeitaufzeichnungen ermöglicht es Forschern*innen und Planern*innen, die Auswirkungen von Hitzewellen und Veränderungen in der städtischen Umwelt zu untersuchen. Informationen auf der Ebene eines einzelnen Stadtblocks, oder sogar eines Stadtteils, können Stadtplaner*innen dabei unterstützen, die Gestaltung von Städten zu verbessern, indem sie vorschlagen, wo Begrünungen vorgenommen werden, welche Materialien verwendet und wie die Gebäude ausgerichtet werden sollten, um die Kühlung zu maximieren.

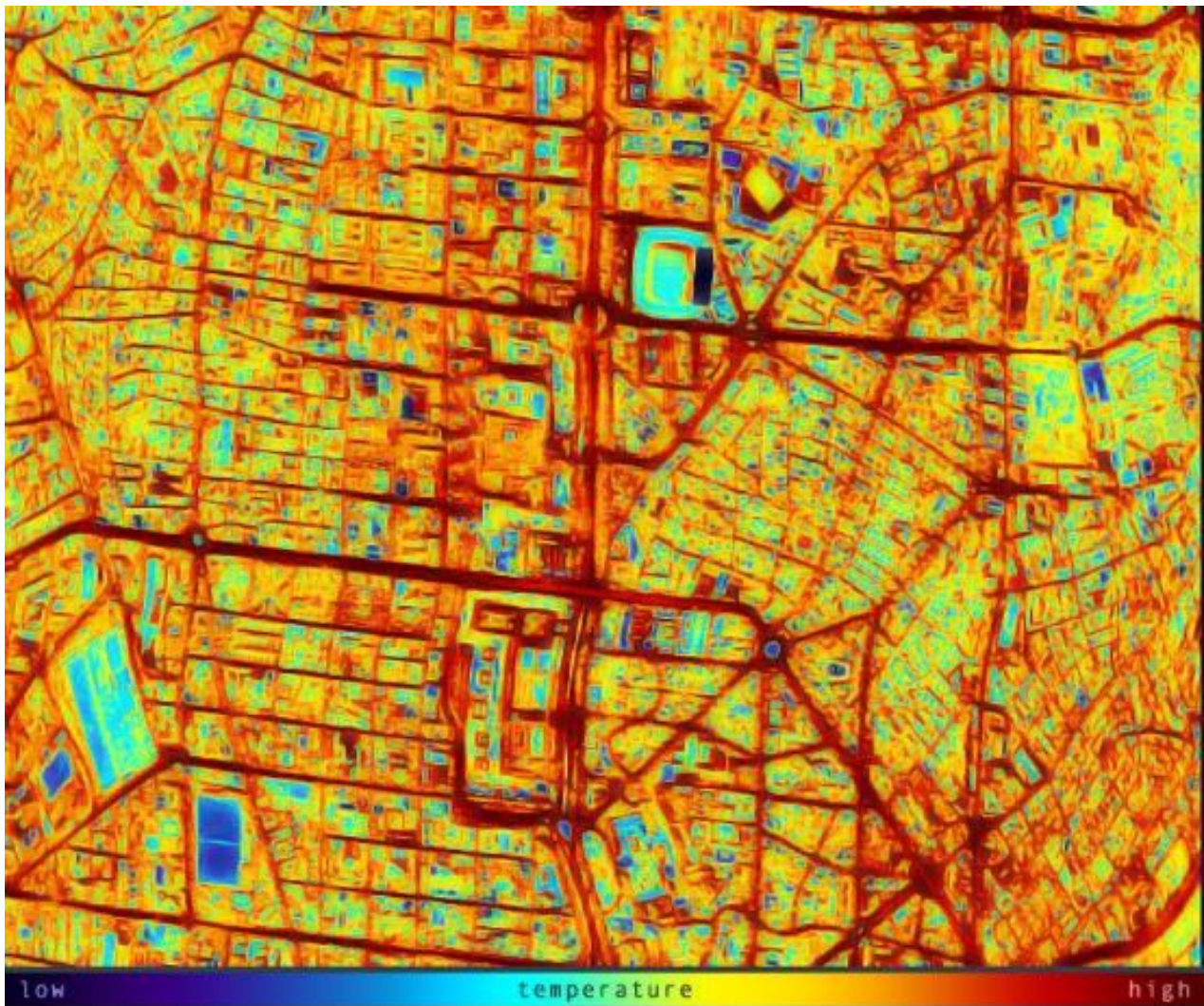
Eine andere Gruppe von ESA-finanzierten Wissenschaftlern*innen nutzt Satellitendaten, um detaillierte Karten der Landbedeckung zu erstellen. Diese können wir zusammen mit LST-Informationen nutzen, um die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur zu erforschen und zu untersuchen, wie der Klimawandel diese Wechselwirkungen beeinflusst. Die ESA-Teams erstellen Datensätze für eine ganze Reihe von Größen, die als wesentliche Klimavariablen (ECV) bekannt sind und dazu beitragen, zu beschreiben und zu erklären, wie sich der Klimawandel auf unseren Planeten auswirkt. Landbedeckung und LST sind nur zwei dieser ECVs, die uns helfen zu verstehen, wie wir für eine bessere Zukunft planen können.

Identifizierung von Hotspots

Dieses Bild von Madrid wurde aus Daten erstellt, welche von einem Instrument gesammelt wurden, das sich am 1. Juli 2008 um Mitternacht über der Stadt im Luftraum befand.

Eine hochauflösende Kopie des Bildes zur Verwendung in Aktivität 1 kann unter dem folgenden Link heruntergeladen werden:

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/07/AHS-observed_relative_temperatures_of_Madrid_Spain#.X9ouo5WBoXk.link



(Quelle: ESA)

Merkblatt 2: STRALUNG UND TEMPERATUR

Schwarze Körper

Jedes Objekt, das wärmer als der absolute Nullpunkt (0 K oder -273°C) ist, gibt elektromagnetische Strahlung ab. Sogenannte Schwarze Körper sind perfekte Strahler. Sie emittieren ein kontinuierliches Spektrum, und die Menge der Strahlung, die sie bei jeder Wellenlänge abgeben, hängt nur von ihrer Temperatur, T , ab, die gewöhnlich in Kelvin (K) angegeben wird.

Ein Schwarzer Körper emittiert die größte Strahlungsmenge bei der Spitzenwellenlänge λ_{max} . Das Gesetz nach Wilhelm Wien besagt: je heißer das Objekt ist, desto kürzer ist die Spitzenwellenlänge.

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b}{T}$$

T ist die Temperatur in Kelvin und b ist die Wiensche Konstante, die einen Wert von 0,00290 m.K (Meter Kelvin) hat.

Strahlungskurven des schwarzen Körpers

Mit der Planckschen Formel lässt sich berechnen, wie viel Strahlung* ein Schwarzer Körper einer bestimmten Temperatur bei einer bestimmten Wellenlänge aussendet. Diese Größe wird als Strahldichte, L , (L_{BB}), bezeichnet. Die Formel sieht kompliziert aus, aber das Wichtigste ist, dass alle Terme in der Gleichung außer der Temperatur

$$L_{BB}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}$$

T und der Wellenlänge λ Konstanten sind:
 h = Plancksche Konstante, $6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$
 c = Vakuumlichtgeschwindigkeit, $2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 k_B = Boltzmannkonstante, $1,38 \times 10^{-34} \text{ J K}^{-1}$

Die Suche nach Temperaturen

Die Plancksche Gleichung kann wie jede andere umgestellt werden. Wenn wir also die L_{BB} für eine bestimmte Wellenlänge kennen, können wir die Temperatur des Schwarzen Körpers berechnen, der die Strahlung abgegeben hat. Auf diese Weise funktioniert eine Wärmekamera: Der Sensor erkennt Infrarotstrahlung auf die gleiche Weise wie der Sensor Ihrer Kamera sichtbares Licht, und die Software wandelt die "Helligkeit" jedes Pixels in eine Temperatur um, die sie in einer bestimmten Farbe anzeigt.

Die meisten Objekte sind jedoch keine Schwarzen Körper: Die Menge der Strahlung, die sie bei jeder Wellenlänge aussenden, hängt von mehr als der Temperatur ab. Um die Temperatur zu ermitteln, müssen wir die Gleichung daher leicht anpassen und neu anordnen.

$$T_b = \frac{hc}{\lambda k_B \ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon(\lambda)} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right] \right)}$$

Der zusätzliche Term, der Emissionsgrad ϵ , hat keine Einheiten, da er das Verhältnis der Strahlung, die das Objekt bei einer bestimmten Wellenlänge

aussendet, zu der Strahlung eines ähnlichen Schwarzen Körpers angibt.

Diese Oberflächentemperatur, T_b , wird als Helligkeitstemperatur bezeichnet. Sie entspricht zwar nicht der Temperatur des Objekts als Ganzes, aber sie zeigt, wie das

Objekt Wärme an die Umgebung abstrahlt, und ist daher nützlich, wenn wir die Auswirkungen verschiedener Arten von Landbedeckung auf die Atmosphäre betrachten wollen.

—

* Streng genommen die Energiemenge, die pro Sekunde und pro Kubikmeter in eine bestimmte Richtung abgestrahlt wird; die Einheit ist also $W \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-3}$

Links

ESA Quellen

Webanwendung *Climate from Space - Klima aus dem Weltraum*
<https://cfs.climate.esa.int>

Klima für Schulen
<https://climate.esa.int/de/educate/climate-for-schools/>

Lehren durch Weltraum
http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

Die Strahlung Schwarzer Körper
<https://sci.esa.int/web/education/-/48986-blackbody-radiation>

ESA-Raumfahrtprojekte

ESA-Klimabehörde
<https://climate.esa.int/>

Raum für unser Klima
http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Die Erdbeobachtungsmissionen der ESA
www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Erforscher der Erde
http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers

Kopernikus Sentinels - Wächter
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Zusätzliche Informationen

Die Messung der Erdtemperatur mit Satelliten
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Taking_Earth_s_temperature

Hitzewellen, urbane Hotspots und Wärmeinseln
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Satellites_predict_city_hot_spots

Weitere Videos zur Erde aus dem Weltraum
http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA-Kinder
https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change