



Unterrichtsmaterialien zum Thema

Vulkane unterm Radar

JAHRGANGSSTUFE 7-10

Material für LehrerInnen

Projektinformation

Diese Unterrichtsmaterialien sind im Rahmen der Projekte „Fernerkundung in Schulen“ (FIS) und EO College entstanden. Beide Projekte werden von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50EE1703 bzw. 50EE1924B gefördert. Das übergeordnete Projektziel besteht in der Erarbeitung eines umfassenden Angebots an digitalen Lernmaterialien für den Einsatz im Schulunterricht.

Dieses Angebot umfasst interaktive Lernmodule, sowie Recherche- und Analysetools, die über ein umfassendes und internetgestütztes Lernportal zur Verfügung gestellt werden.

Für dieses Lehrermaterial, die dazugehörige App und Schülermaterial gilt: © FIS (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

<http://www.fis.rub.de>



Übersicht

Jahrgangsstufe **7** **8** **9** **10**

Niveau **● ● ● ● ●**

Zeitbedarf **2-4 Stunden**

Autoren Claudia Lindner,
Frederike Krahn

Ziele

Die Schüler/Innen sollen...

- die Entstehung eines Vulkans beschreiben und verschiedene Vulkantypen darstellen,
- die Funktionsweise von Radarfernerkundung als Wissenschaft einordnen und anwenden,
- Interferometrie-Abbildungen erklären und analysieren,
- Geothermie als erneuerbare Energiequelle erörtern und in einer Diskussion beurteilen.

Themen

- Vulkanismus
- Radarfernerkundung
- Interferometrie
- Geosiken/Geothermie
- Elektromagnetische/s Spektrum/Wellen
- Italien: Campi Flegrei (Caldera), Pozzuoli
- Geothermie-Kraftwerke und Tiefbohrungen

Medien & Material

- Arbeitsblatt „Vulkane unterm Radar“
- Material für LuL „Vukane unterm Radar“
- App „Columbus Eye“ – Part „Vulkane unterm Radar“



URL zur App:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ColumbusEye.Main>

Didaktische Anmerkungen

Thematische Einbindung in den Lehrplan nach Bundesländern

Bundesland	Klasse	Thema
Baden-Württemberg	7-10	Teilsystem Erdoberfläche, Endogene Prozesse, Optik
Bayern	7-10	Vulkanismus und Erdbeben, Optik, Wellenlehre
Berlin	7-10	Leben in Risikoräumen, Optik, Astronomie
Brandenburg	7-10	Leben in Risikoräumen, Optik, Astronomie
Bremen	7/8	Planet Erde, Wechselseite Beeinflussung von Mensch und Natur, Sehen, Licht und Farben
Hamburg	8-10	System Erde: Endogene und Exogene Prozesse, Licht und Materie
Hessen	7/8	Naturfaktoren in ihrer Bedeutung für den Menschen, Optik
Mecklenburg-Vorpommern	7-10	Die Erde – ein unruhiger Planet, System Erde
Niedersachsen	7/8	Naturgeographische Phänomene und Prozesse
Nordrhein-Westfalen	7-10	Naturbedingte und anthropogen bedingte Gefährdung von Lebensräumen, Aufbau und Dynamik der Erde, Optische Instrumente, Informationsübertragung: Sensoren
Rheinland-Pfalz	7-10	Planet Erde – Lebensraum in Veränderung, Optik
Saarland	7-10	Das Relief der Erde und seine Entstehung, Umgang mit Katastrophen und Konflikten, Optik
Sachsen	7	Geodynamische Prozesse
Sachsen-Anhalt	7-10	Veränderung der Gestalt der Erde, Die Erde als Mensch-Umwelt-System, Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Astronomie
Schleswig-Holstein	7-10	Naturgeographische Strukturen in Räumen, Geosystem Erde, Naturrisiken, Weltkunde
Thüringen	7-10	Die Erde als Naturraum, Optik

Didaktische Anmerkungen

Vorbereitung

Für die Matheaufgaben in Baustein 2 bietet es sich an, die Tipp- und Aufgabenkarten vorab auszuschneiden und zu laminieren. Zur schnellen Zuordnung der Schwierigkeitsstufen können Sie farbiges Papier verwenden oder mit einem Stift farbige Punkte aufmalen.

Es bietet sich an, eine interdisziplinäre Kooperation zwischen dem Mathe- und Geographieunterricht zu bilden, um die Elemente im jeweiligen Fach zu behandeln.

Stundenplanung

Phase 0: Beim Verteilen der vorbereitenden Hausaufgabe kann die App als stummer Impuls vorgeführt werden (hier bietet es sich an, den Bildschirm mit einem Beamer zu duplizieren). Anschließend erarbeiten sich die SuS selbst das neue Thema, indem sie ihre Beobachtungen und Vermutungen äußern. Seite 2 des Arbeitsblattes enthält die vorbereitenden Hausaufgabe, Seiten 3-5 wird nur benötigt, wenn das Thema Vulkane bisher noch nicht behandelt wurde.

Vor Beginn der eigentlichen Stunde bearbeiten die Schülerinnen und Schüler (SuS) die vorbereitende Hausaufgabe und je nach Bedarf den Baustein 1 zu Hause.

Die Hausaufgabe beinhaltet u.a. den Download der App „Columbus Eye“. Hierzu kann der Link verschickt, der QR-Code (auch auf dem Arbeitsblatt vorhanden) verwendet, oder beim Google Play Store in die Suchleiste einfach „Columbus Eye“ eingegeben werden. Der eigentliche Download sollte, um niemandes Datenvolumen zu belasten, von den SuS im heimischen WLAN durchgeführt werden.

Sobald die App heruntergeladen ist, müssen noch die Daten für den Part „Vulkane unterm Radar“ hinzugeladen werden.

Hinweis: Möglicherweise funktioniert die App nicht auf allen Smartphones, was mit deren Betriebssystemen und -versionen zusammenhängt. Dies stellt jedoch kein Problem dar. Solange jede Kleingruppe in der späteren Bearbeitung des Arbeitsblattes über ein Smartphone mit funktionierender „Columbus Eye“-App verfügt, können die Aufgaben problemlos durchgeführt werden.

Die im Arbeitsblatt genannten Videos auf der Seite www.fis.rub.de/node/16982 sollten von den SuS ebenfalls daheim betrachtet werden, da ihre Dateigröße vergleichsweise hoch ist und die drei Videos zusammen ca. 15 min lang sind. Hinzu kommt die Recherche der Begriffe, die nicht verstanden wurden.

Anschließend bearbeiten die SuS die dazugehörigen Aufgaben und bereiten sich ggf. mit dem Baustein 1 auf die Lerneinheit „Vulkane unterm Radar“ vor.

Phase 1:

Zu Beginn der Stunde wird im Plenum gearbeitet. Die Fragen zu den Videos werden besprochen. Spätestens jetzt benötigen die SuS den Baustein 2 (Arbeitsblatt-Seiten 6-8) und Gruppenweise den Marker „Erdrhorizont“. Nach erfolgreicher Einführung in das Thema lesen die SuS den Infotext in Baustein 2 und starten mit den Mathe-Aufgaben. Zur Differenzierung können Gruppen in „Einfach“ und „Schwierig“ eingeteilt werden, abhängig vom Vorwissen der SuS (bspw. ob Sinus und Kosinus schon behandelt wurden). Zusätzlich stehen Tippkarten bereit. Mithilfe dieser bearbeiten sie in Kleingruppen die Matheaufgaben.

Auch, wenn keine/r der SuS in der Lage ist, die schwierige Version zu bearbeiten, lohnt es sich, die genauen Zahlen mit den SuS anzusehen. Die millimetergenaue bzw. tausendstel-sekundengenaue Bestimmung der Satellitenposition, des Orbits und des Verlaufs der Erdoberfläche sind wichtig, wenn später Bodenbewegungen millimetergenau ausgemessen werden.

Besonders schlaue SuS kommen vielleicht darauf, dass hier die Erdkrümmung unterschlagen wird und diese bei 700 km Bahnhöhe wichtig wäre. Damit haben sie Recht. Leider sind die notwendigen Formeln erst Teil eines Geodäsie-, Astrophysik-, oder Raumfahrtingenieurstudiums o.Ä. – ermutigen Sie die SuS gern zu diesen!

Phase 2:

Während der Berechnung der Signallaufzeit, Bahnlänge und Geschwindigkeit setzen sich die SuS tiefgehend mit der Radarfernerkundung auseinander. Im Anschluss soll das Untersuchungsgebiet mittels Interferometrie genauer erforscht werden. Dazu lassen Sie die SuS mit der App zunächst die Region erkunden und dann die Geographie-Aufgaben bearbeiten, in denen sie zu der Erkenntnis kommen werden, dass es

sich um einen Supervulkan in Italien handelt.

Phase 3:

Nach Identifikation des Supervulkans wird im letzten Baustein 3 (Seiten 9/10 und 11) auf die Geothermie als eine Form der erneuerbaren Energie eingegangen, bei der heißer Dampf aus der Erde in Strom umgewandelt wird. Das Thema wird beispielhaft in einem aktuellen Projekt in Italien erarbeitet und sensibilisiert SuS für das Konfliktpotenzial von Bohrungen an Vulkanen. Weiterhin fordern Sie die SuS auf, einen Zusammenhang zwischen Satellitenbildern und gesellschaftlichen Konflikten zu ziehen.

Das Lesen des Informationstextes und Recherchieren weiterer Informationen kann als Hausaufgabe aufgegeben werden. Seite 9 und 10 sind identisch bis

auf die Sprache der Zitate aus dem Nachrichtenartikel. Sofern das notwendige Sprachverständnis bereits entwickelt ist, können die SuS Seite 10 mit den Original-Zitaten verwenden, ansonsten Seite 9 mit den übersetzten.

Phase 4:

In einer abschließenden Diskussionsrunde lassen Sie die SuS verschiedene Rollen übernehmen und auf diese Weise alle Erkenntnisse und Inhalte der Lerneinheit in die Argumente einfließen. Angeschlossen an die Diskussionsrunde können die SuS ihre Rolle und die der anderen reflektieren und das Thema sowie die Lerneinheit beurteilen. Besprechen Sie auch, inwiefern die SuS den Einsatz der App hilfreich fanden und wo sich Probleme ergeben haben.

Lösungen zur vorbereitenden Hausaufgabe

a) Erkläre die Begriffe kurz:

Wellenlänge: Abstand zwischen zwei Wellenbergen oder -tälern

Frequenz: Anzahl der Wellendurchgänge pro Sekunde

Phase: Abschnitt auf der Welle

b) Erkläre den Unterschied zwischen einem aktiven und einem passiven Aufnahmesystem.

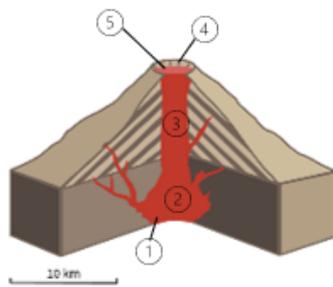
Ein passives Aufnahmesystem nutzt die an der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung, um Bilder aufzunehmen. Ein aktives Aufnahmesystem sendet selbst elektromagnetische Strahlung aus, welche Ebenfalls an der Erdoberfläche reflektiert wird, und nimmt diese wieder auf.

c) Die Wellenlänge des Sensors in den Zwillings-Satelliten Sentinel-1A und -1B beträgt 5,6 cm. Finde das Radar-Band, zu dem diese Wellenlänge gehört.

C-Band (4-8 cm)

Lösungen zu Baustein 1: Vulkane – ein kalkulierbares Risiko?

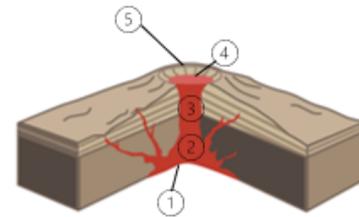
1. Schau Dir die Abbildungen genau an und beschrifte sie. Der Text hilft Dir dabei. Stelle anschließend Vermutungen an, welche den Schildvulkan und welche den Schichtvulkan darstellt.



Schichtvulkan

- 1) Magma
- 2) Magmakammer
- 3) Schlot
- 4) Krater
- 5) Lava

optional zu ergänzen Asche,
Gesteinsbrocken und Gase



Schildvulkan

2. Stelle Recherchen zu den beiden Vulkantypen an. Nutze dazu den Atlas, Dein Geografiebuch, ein Lexikon oder das Internet. Fertige einen kurzen Steckbrief zu einem der Vulkane an.

Name: *Mauna Loa, Hawaii, USA*

Typ: *Schildvulkan*

Höhe: *4170 m ü. M. (9200 m)*

Durchmesser: *120 km*

Aufbau: *schildförmig*

Schichten: *Lavaschichten*

Ausbruchsart: *effusiv, ausfließend*

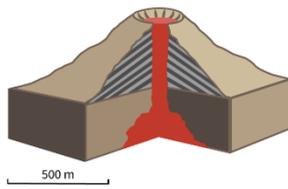
Zähflüssigkeit der Lava: *dünnflüssig*

Letzter Ausbruch: *15. April 1984*

Besonderheit: *Größter aktiver Feuerberg der Erde*

3. Vergleiche die Steckbriefe der Vulkane mit den Abbildungen. Was passt zusammen? Schneide aus und klebe auf!

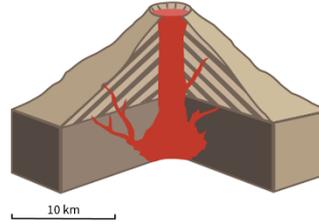
Asche- und Schlackekegel



- GELÄNDEFORM**
- ▲ kegelförmig
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☾ zähflüssige Lava
 - ☀ explosiver Ausbruch

BEISPIELE: **Paricutin** Mexiko | häufigste Vulkanform der Erde | auch an Hängen anderer Vulkanformen z. B an den Flanken des **Ätna**, Italien

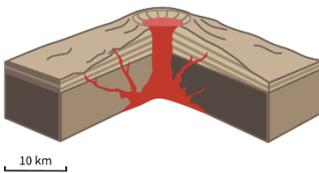
Strato- oder Schichtvulkan



- GELÄNDEFORM**
- ▲ kegelförmig
 - steile Hänge
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☾ zähflüssige Lava
 - ☀ explosiver Ausbruch

BEISPIELE: **Fujiyama** Japan | **Ätna** Italien | **Mount St. Helens** USA

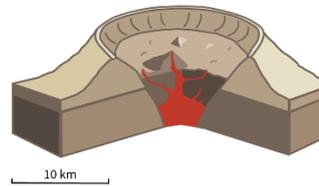
Schildvulkan



- GELÄNDEFORM**
- ◐ schildförmig
 - flache Hänge
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☾ dünnflüssige Lava
 - ☾ Lavafontänen
 - I lange Eruptionen

BEISPIELE: **Mauna Loa** Hawaii, USA

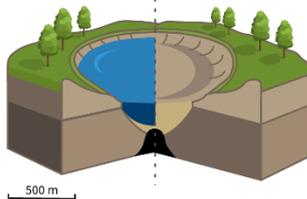
Caldera



- GELÄNDEFORM**
- ▲ trichterförmig
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☾ zähflüssige Lava
 - ☀ explosiver Ausbruch
 - ☑ Krater-Einsturz

BEISPIELE: **Yellowstone** USA | **Pinatubo** Philippinen | **Campi Flegrei** Italien

Maar | Tuffring



- GELÄNDEFORM**
- ◐ wannen- oder trichterförmig
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☀ phreatomagmatische Explosion durch Kontakt mit Wasser

BEISPIELE: **Eifel** Deutschland

Spalte



- GELÄNDEFORM**
- ▬ Spalte
 - flache Hänge
- TYPISCHE ERUPTIONSFORMEN**
- ☾ dünnflüssige Lava
 - ☾ Lavafontänen

BEISPIELE: **Laki** Grimsvötn, Island | **Tarawera** Neuseeland | tritt auch an Hängen anderer Vulkanformen auf

Vereinfachte Darstellung, nicht maßstabsgerecht

fachliche Beratung: Karen Strehlow, Geomar | Grafik: eskp.de/CC BY 4.0

Lösungen zu Baustein 2: Der Satellit und sein Radarsignal

Inhaltliche Ergänzungen zur Infobox

Orbit/Position

Die natürlichen Abweichungen in der Satellitenbahn entstehen zum einen durch die Restatmosphäre in 800 km Höhe, die den Satelliten ganz langsam ausbremst. Zum anderen ist die Erde keine perfekte Kugel, sondern ein [Geoid](#). Durch die unterschiedliche Masseverteilung wird der Satellit an sehr „schweren“ Regionen beschleunigt, an „leichteren“ Regionen verlangsamt, und ist an manchen Abschnitten seiner Bahn um bis zu 10 km näher an der Erdoberfläche oder weiter entfernt. (Für Interessierte: Das [GRACE-Satellitenpaar](#) hat sich diesen Effekt zu Nutze gemacht für eine genaue Vermessung der Erde.)

In seltenen Fällen müssen Satelliten auch Weltraumschrott ausweichen – Raketenstufen, Teile kaputter Satelliten, verlorene Werkzeuge von Astronauten brauchen teils Jahrzehnte, bis ihre Umlaufbahnen sie tief genug in die Atmosphäre bringen, um zu verglühen.

Ausrichtung

Gyroskope werden auch [Kreiselinstrumente](#) genannt. Erstaunlicherweise kennen sich viele SuS gut damit aus, da sie als Spielzeuge benutzt werden, und in fast jeder Klasse finden sich SuS, die es erklären können. Gyroskope sind Kreisel, die sich in einem beweglichen Lager drehen. Sie funktionieren auf Basis der Drehimpulserhaltung, sodass sie sich selbst immer in die gewünschte Richtung ausrichten. Dies funktioniert auch im Orbit.

Signal

In den folgenden Matheaufgaben ist es wichtig, dass die Angaben bis in jeweilige Nachkommastelle nur möglich sind aufgrund der exakten Positions- und Ausrichtungbestimmung des Satelliten. Nur aus hochpräzisen Messwerten lassen sich hochpräzise Ergebnisse berechnen.

In der Praxis muss in die Signalwege und -Winkel auch die Erdkrümmung, sogar die lokale Erdkrümmung auf dem Geoid, einberechnet werden – dies würde jedoch die Matheaufgaben in diesem Arbeitsblatt zu stark verkomplizieren.

Table 1: Benötigte Daten für die Lösungen

	einfach	schwierig
Erdradius r [m]	6.371.000	6.369.273,328
Bahnhöhe h [m]	700.000	701.040,507
Umlaufzeit t [min]	97,5	97,52914
Lichtgeschwindigkeit c [m/s]	300.000.000	299.792.458,0
Einfallswinkel α_{min} [°]	--	29,1
Einfallswinkel α_{max} [°]	--	46
Wellenlänge λ [m]	0,056	0,056

a) Berechne die Laufzeit t_s des Signals, d.h. wie lange das Signal vom Satelliten zur Erdoberfläche und zurück braucht.

Einfach	Schwierig	
Die Signal-Laufzeit berechnet sich aus der zu überbrückenden Entfernung und der Geschwindigkeit des Signals. Die Entfernung entspricht der Bahnhöhe des Satelliten auf Hin- und Rückweg.	Die Entfernung entspricht der Hypotenuse im rechtwinkligen Dreieck zwischen Satellit – Bodenspur – Zielgebiet. Diese muss zuerst aus der Bahnhöhe und dem Cosinus jedes Einfallswinkels berechnet werden.	
	$s_{min} = \frac{h}{\cos(\alpha_{min})}$	$s_{max} = \frac{h}{\cos(\alpha_{max})}$
	$s_{min} = \frac{701.040,507 \text{ m}}{\cos(29,1)}$	$s_{max} = \frac{701.040,507 \text{ m}}{\cos(46)}$
	$s_{min} = 802,314,938 \text{ m}$	$s_{max} = 1.009.187,446 \text{ m}$
$t = 2 \cdot \frac{h}{c}$	$t_{min} = 2 \cdot \frac{s_{min}}{c}$	$t_{max} = 2 \cdot \frac{s_{max}}{c}$
$t = 2 \cdot \frac{700.000 \text{ m}}{300.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$	$t_{min} = 2 \cdot \frac{802,314,938 \text{ m}}{300.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$	$t_{max} = 2 \cdot \frac{1.009,187,446 \text{ m}}{300.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$
$t = 0,004667 \text{ s}$	$t_{min} = 0,00535247 \text{ s}$	$t_{max} = 0,00673257 \text{ s}$

b) Berechne die Bahnlänge l und Geschwindigkeit v von Sentinel-1A, wenn er 97min 31s braucht, um die Erde auf seiner Bahn einmal zu umkreisen.

Einfach	Schwierig	
Die Bahnlänge ist der Umfang eines Kreises mit dem Durchmesser der Entfernung zwischen Erdmittelpunkt und Satellit. Zum Vergleich: Der Umfang der Erdkugel beträgt ca. 40.075 km.	(Gleich wie Einfach) Info: Da die Erde keine gleichmäßige Kugel ist, sondern ein Geoid, weicht die Entfernung zwischen Erdmittelpunkt und Erdoberfläche teils um mehrere Kilometer vom Durchschnitt ab. Dies hat auch Auswirkungen auf die Umlaufbahnen bzw. Bahnhöhen von Satelliten.	
$l = 2\pi \times (r + h)$		
$l = 2\pi \cdot (6.371.000 \text{ m} + 700.000 \text{ m})$	$l = 2\pi \cdot (6.369.273,328 \text{ m} + 701.040507 \text{ m})$	
$l = 44.428.000 \text{ m}$	$l = 44.424092,005 \text{ m}$	
Die Bahngeschwindigkeit wird aus der so errechneten Bahnlänge und der Umlaufzeit des Satelliten berechnet.		
$v = \frac{l}{t}$		
$v = \frac{44.428.000 \text{ m}}{97 \cdot 60\text{s} + 31\text{s}}$	$v = \frac{44.424092,005 \text{ m}}{97 \cdot 60\text{s} + 30,755\text{s}}$	
$v = 7.593 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = 7.592,856 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	

c) **Berechne, wie weit sich der Satellit in der Laufzeit des Signals auf seiner Bahn fortbewegt hat.**

Einfach	Schwierig	
Die zu durchlaufende Entfernung wurde in Aufgabe a) und die Laufzeit des Signals in Aufgabe b) berechnet.	(Gleich wie Einfach, jeweils mit „schwierigen“ Ergebnissen) Info: In der Realität kommen die ausgesendeten Signale zeitversetzt am Satelliten an. Dies wird bei der Umwandlung der Radar-Signale zu Bildern mathematisch berücksichtigt.	
$s_{Sat} = v \cdot t$	$s_{Sat} = v \cdot t_{min}$	$s_{Sat} = v \cdot t_{max}$
$s_{Sat} = 7.593 \frac{m}{s} \cdot 0,004667 s$	$s_{Sat} = 7.592,856 \frac{m}{s} \cdot 0,00535247 s$	$s_{Sat} = 7.592,856 \frac{m}{s} \cdot 0,00673257 s$
$s_{Sat} = 35 m$	$s_{Sat} = 40,641 m$	$s_{Sat} = 51,119 m$

d) **Wenn du einen Atlas zur Hand hast, finde Neapel auf einer Karte des Mittelmeerraumes und von dort aus, wo sich der Satellit zum Aufnahmezeitpunkt aus befinden haben könnte. Der Einfallswinkel von Sentinel-1A nach Neapel betrug ca. 30°.**

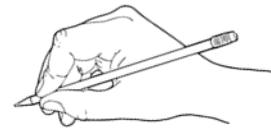
Die Entfernung ist die Gegenkathete im rechtwinkligen Dreieck Satellit – Bodenspur – Zielgebiet und wird daher aus der Ankathete (Bahnhöhe) und dem Tangens des Einfallswinkels berechnet. Eine hohe Genauigkeit ist hier nicht notwendig.
$s_{Sat-Nap} = h \cdot \tan(31)$
$s_{Sat-Nap} = 700.000 m \cdot \tan(31)$
$s_{Sat-Nap} = ca. 421 km$
Aus dem Aufgabentext ist ersichtlich, dass der Satellit östlich an Italien vorbeigeflogen ist, bzw. während der Aufnahme östlich an Neapel. In der berechneten Entfernung in dieser Richtung befindet sich die Albanische Mittelmeerküste. Hiermit soll lediglich die Distanz zwischen Erde und Satellit verdeutlicht werden. Die tatsächliche Position des Satelliten war über 39,0879°N, 20,8503°E. Aus den gegebenen Informationen lässt sich dies nicht berechnen, bei Verfügbarkeit bietet es sich jedoch an, dies mit bspw. Google Earth zu verdeutlichen.

Tippkarten zu Baustein 2: Der Satellit und sein Radarsignal

Die folgenden Aufgaben- und Tippkarten können zur Differenzierung während der Bearbeitung der Mathe-Aufgaben zur Verfügung gestellt werden. Sie beinhalten kleine Hilfen sowie grundlegende Hinweise für eine erfolgreiche Vorbereitung auf die Aufgabenbearbeitung.

Zur schnelleren Zuordnung können die Karten beispielweise auf farbiges Papier geklebt werden (rot=schwere Aufgaben, gelb= kleine Hilfen, grün = grundlegende Hilfen). Sollte dieses nicht vorhanden sein, bietet es sich auch ein, einen farbigen Punkt auf die Karte zu malen oder den Rand farbig nachzuziehen. Weiterhin ist es empfehlenswert, die Karten mehrfach auszudrucken und zu laminieren, um sie mehrfach verwenden zu können. Mit einem wasserlöslichen Folienstift können darüber hinaus noch Anmerkungen ergänzt oder Teilaufgaben gestrichen werden.

Tippkarte 1



- a) Fertige eine Skizze der Erde an.
- b) Ergänze die Umlaufbahn* von Sentinel 1A.

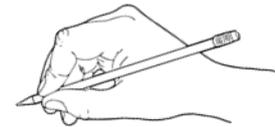
* Eine Umlaufbahn ist der Weg, den ein Objekt um einen bestimmten Punkt im Weltall nimmt, zum Beispiel der Weg des Mondes um die Erde. Jeder Satellit wird in der für seine spezielle Mission am besten geeigneten Umlaufbahn platziert. Dort können sie die Erde in wenigen Stunden einmal umkreisen und detaillierte Bilder der Erdoberfläche aufnehmen.

Tippkarten zu Baustein 2: Der Satellit und sein Radarsignal

Tippkarte 2

- a) Markiere alle wichtigen Angaben im Text.

Du kannst dazu auch verschiedene Farben benutzen.



Der Satellit und sein Radar-Signal

Der Satellit Sentinel-1A umkreist die Erde in einer Höhe von etwa $h = 700$ km über der Erdoberfläche, die im Durchschnitt $r = 6.371$ km über dem Erdmittelpunkt liegt. Der Satellit sendet ein Radar-Signal aus, das sich mit der Lichtgeschwindigkeit $c = 300.000$ km/s fortbewegt. Das Signal wird gerade nach unten zu Erde gesendet und dort reflektiert.

Er braucht eine Umlaufzeit $t_0 = 97$ m 31 s, um die Erde einmal umrunden.

- b) Ergänze die Höhe h und den Radius r in deiner Skizze.
c) Welche Angaben brauchst du für Aufgabe a) ?

Tippkarte 3

- a) Die Bahnlänge kannst du mit der Formel

für den Kreisumfang berechnen: $U = 2 \cdot \pi \cdot r$

- b) Bedenke, dass der Satellit Sentinel 1A nicht direkt über dem Boden fliegt!



Tippkarten zu Baustein 2: Der Satellit und sein Radarsignal

Tippkarte 4 π – eine unendliche Geschichte



3.1415926535 8979323846 2643383279 5028841971 6939937510 8209749...

π – gesprochen „Pi“ – ist eine irrationale Zahl und besitzt von daher weder eine endliche noch eine periodische Dezimaldarstellung.

Als elementarer Bestandteil der Umfang und Flächenformeln für Kreise wird π oft auch als Kreiszahl bezeichnet.

Das Pi-Symbol π steht für den sechzehnten Buchstaben des griechischen Alphabets.

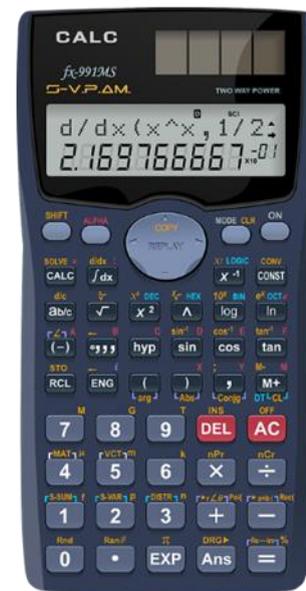
Tippkarte 5

Beachte!

Für diese Aufgaben brauchst du SIN, COS und TAN im Gradmaß. Stelle deinen Taschenrechner auf DEG um, falls er auf RAD steht.

DEG = Degree, benutzt du für Winkel im Gradmaß

RAD = Radian, benutzt du für Winkel im Bogenmaß



Tippkarten zu Baustein 2: Der Satellit und sein Radarsignal



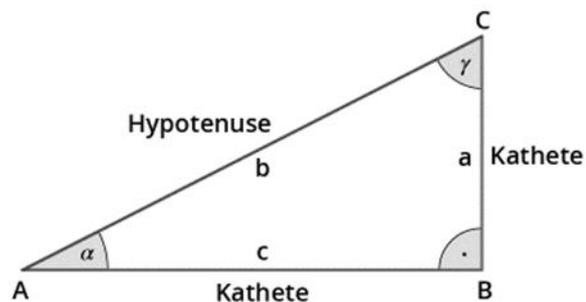
Tippkarte 6 Sinus, Cosinus und Tangens

Im rechtwinkligen Dreieck gilt:

$$\sin(\alpha) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$



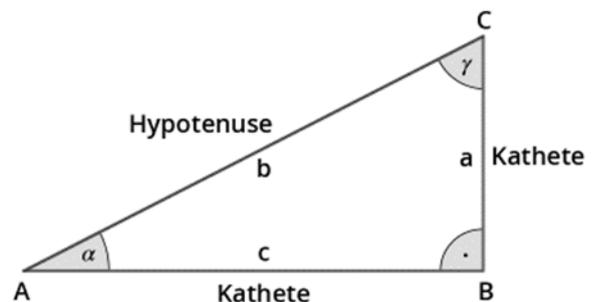
Tippkarte 7 Das rechtwinklige Dreieck

Die längste Seite im rechtwinkligen Dreieck liegt dem rechten Winkel gegenüber. Sie heißt **Hypotenuse**.

Die beiden übrigen Seiten heißen **Katheten**.

Die Kathete, die dem Winkel α gegenüber liegt, heißt **Gegenkathete** von α .

Die Kathete, die am Winkel α anliegt, heißt **Ankathete** von α .



Lösungen und Zusatzinformationen zu Baustein 3: Geographie

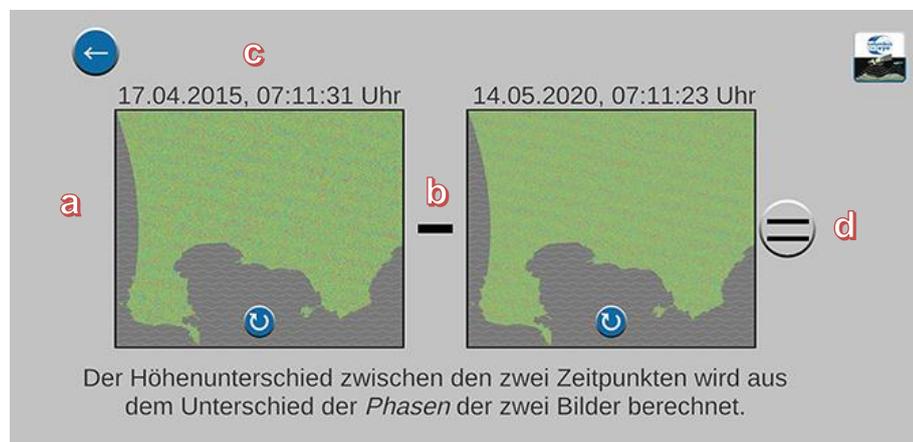
Hinweis: Die Funktionsweise der App wird in den beiliegenden Videos gezeigt.

1. Das Untersuchungsgebiet (Video: VUR_1_model_intro)

- Bei den Campi Flegrei handelt es sich um eine Caldera. Sie enthält mehr als 50 Eruptionsherde in Form verschiedener Krater und eines Mares. Sie werden zu den Supervulkanen gezählt; der letzte derart große Ausbruch liegt allerdings schon 39.000 Jahre zurück. Seitdem gab es mehrere kleinere Ausbrüche auf dem Gebiet, die Vulkankegel hinterlassen haben. „Campi Flegrei“ ist der italienische Name. Im Deutschen heißen sie Phlegräische Felder, von Altgriechisch „brennen“.
- Im Bereich des Bildausschnittes leben rund 350.000 Menschen. Der größte Teil davon lebt auf dem Stadtgebiet von Neapel, dessen Randbezirke bis in die beiden großen, östlichen Krater hineinreichen und das insgesamt fast 1 Mio. Einwohner zählt. Die Stadt Pozzuoli, die flächenmäßig den größten Anteil an den Campi Flegrei hat, zählt etwa 80.000 Einwohner.
- Der Hafen von Pozzuoli ist direkt neben der Markierung und gut an den Molen und den vielen Booten zu erkennen. Von hier aus fahren Fähren die vorgelagerten Inseln an.
- Das Gelände hat sich im Verlauf der Jahrhunderte so weit abgesenkt, dass die Säulen 6,30 m unterhalb des Meeresspiegels standen. Gleichzeitig waren sie teilweise bis zu einer Höhe von 3,50 m verschüttet. Später hat sich das Gelände wieder gehoben, sodass sie heute auf Höhe des Meeresspiegels stehen. Das Gelände unterliegt durch die Auf- und Abbewegungen also ständigen Schwankungen, die mal mehrere Meter binnen weniger Monate, mal wenige cm binnen Jahrzehnten betragen können. Der Grund hierfür liegt in der Magmakammer unter den Campi Flegrei, die sich mal füllt, mal auf explosive, meist aber auf ruhige Weise wieder entleert.



2. Der Satellit und sein Radar-Signal (Video: VUR_2_takeimage)



- Auf dem Bild ist nichts Sinnvolles zu erkennen. Mit einer einzelnen Aufnahme der Phase lässt sich nicht viel anfangen, es braucht ein zweites Bild.
- Erneut ist auf dem Bild nicht viel zu erkennen. Erst voneinander abgezogen ergibt sich ein sinnvolles Bild.
- Oberhalb der Bilder stehen die Daten und wurden auch im Aufnahmemodus eingeblendet. Es liegen 5 Jahre und 1 Monat dazwischen.
- Über den =-Button ganz rechts kommen die SuS in den Simulationsmodus.

3. Die Untersuchung

(Video: *VUR_3_interferometryEX*)

- a. Jeder Durchlauf der Farbskala stellt eine Wellenlänge Höhenänderung zwischen den beiden Zeitpunkten und zwischen zwei Punkten dar. Bei einer Höhenänderung um mehr als eine Wellenlänge werden diese „von außen nach innen“ aufaddiert. So kann an jedem Punkt bestimmt werden, wie groß die Änderung im Vergleich zum Umland ist.
- b. Nutzungshinweis:
 Um den Pfeil-Button unten rechts zu aktivieren, muss der Regler links ganz nach oben geschoben werden.



Um das Input-Feld zu aktivieren, muss der Regler einmal ganz nach oben verschoben werden. Die Eingabe muss zwischen 173.6 und 190.4 liegen, um als richtig zu gelten. Dies entspricht ca. 3,1 - 3,4 Wellenlängen.



Hier soll auch vermittelt werden, dass die Technologie Unterschiede im Millimeterbereich feststellen kann – aber nur, da auch die Satellitenposition und –ausrichtung mit vergleichbarer Genauigkeit bestimmt wurde, wie in den schwierigen Matheaufgaben.

Das Interferogramm ist nun die Differenz zwischen den beiden zuvor unkenntlichen Bildern in der Aufnahmen-Ansicht. Es sind ringähnliche Strukturen erkennbar, aber auch wildes Durcheinander an Farben. Dieses Durcheinander sind Waldstücke, bei denen die Radaraufnahme eher Unterschiede in den Kronen feststellen würde als im unterliegenden Gelände. Die Radaraufnahmen brauchen also möglichst feste Oberflächen, bspw. Dächer und Straßen oder felsiges Gelände.

- c. (Video: *VUR_4_interferometryDATA*)

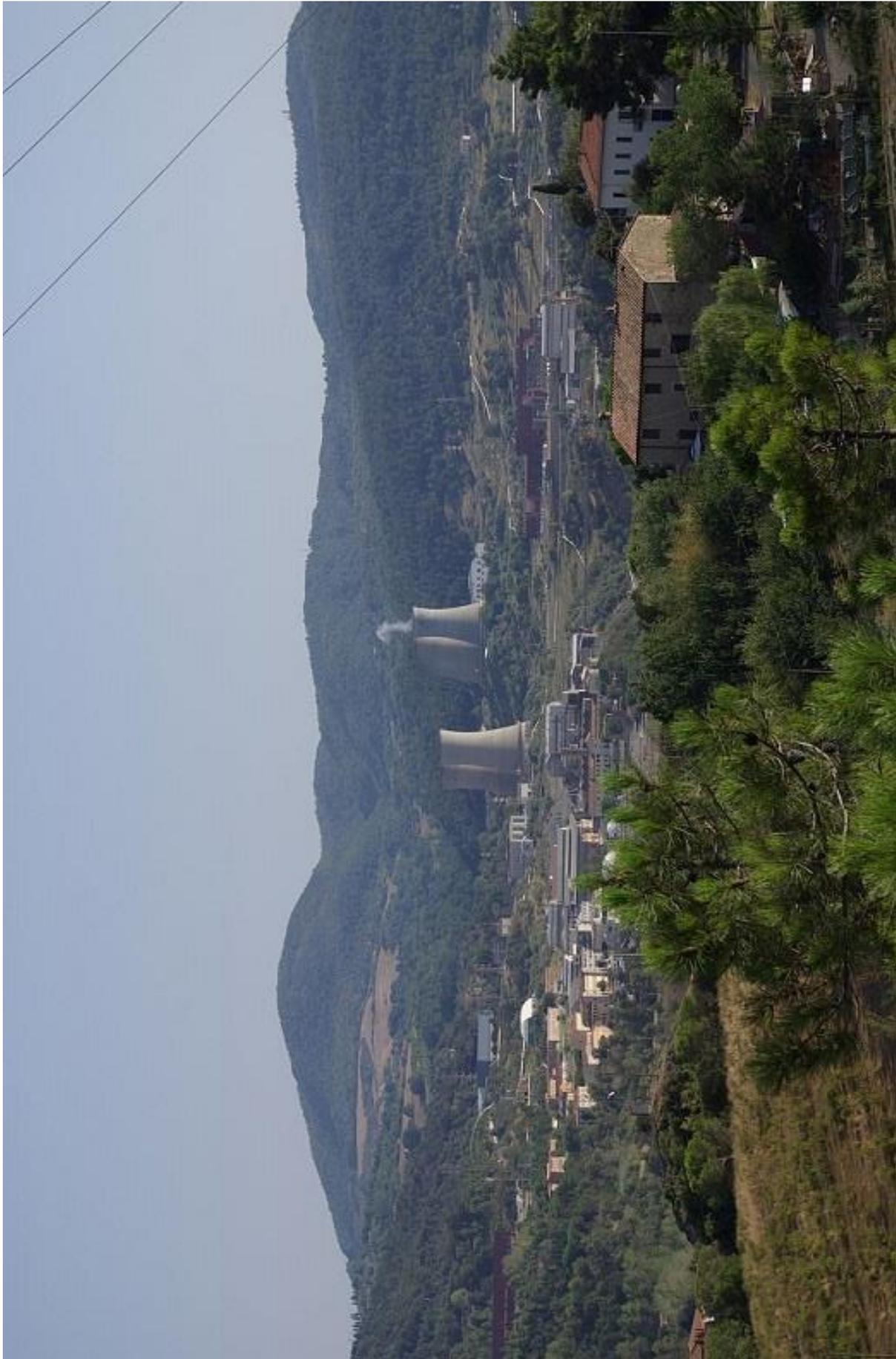
Die Ringe zu zählen, kann schwierig sein, da sie immer wieder unterbrochen sind. Es sind 10 Ringe von außen bis zum Zentrum, was bedeutet, dass die dortige Hebung im Zeitraum von 61 Monaten ca. 56 cm betrug – also mehr als 1 cm pro Monat. Dies ist nicht nur die durchschnittliche Hebung, sondern auch die tatsächliche, da die Hebungsrage in dem Zeitraum relativ konstant war.

- d. Das Zentrum der Hebung ist knapp östlich des Hafens von Pozzuoli, wo auch die des Macellums Säulen aus Aufgabe 1d) stehen.

Die Kraterstruktur der Region deutet darauf hin, dass explosive Ausbrüche in der Region schon häufig vorgekommen sind. Die Hebung könnte also auf einen baldigen Ausbruch hindeuten. Die Säulen des Macellums hingegen stehen auch nach rund 2000 Jahren noch und haben in dieser Zeit einiges an Absenkung und Hebung durchgemacht – mind. 6,3 m ab- und wieder aufwärts. Die derzeitige Hebung könnte also auch auf einen ganz normalen Teil dieses Zyklus' hinweisen. Da das Hebungszentrum so nah am Hafen ist, könnte dieser bald zu flach sein, als dass die Fähren anlegen könnten. Die Bereiche für die kleinen Boote sind sehr flach und könnten bald oberhalb des Meeresspiegels liegen. Baumaßnahmen müssten durchgeführt werden, um den Hafen zu vertiefen oder zu verlagern.

Im Untergrund existiert viel Infrastruktur, u.a. die Wasserversorgung. Diese nutzt auch das natürliche Gefälle – kann also trotz der Hebung das Abwasser noch abfließen? Auch Straßen und Schienen können durch die lokale Hebung verformt und dadurch instabil werden. Sollten sich Hinweise auf einen baldigen Ausbruch mehren, müsste die Bevölkerung evakuiert werden, mindestens im Hebungszentrum, möglicherweise aber auch ganz Neapel.

Material zu Baustein 4: Geothermie – eine erneuerbare Energie



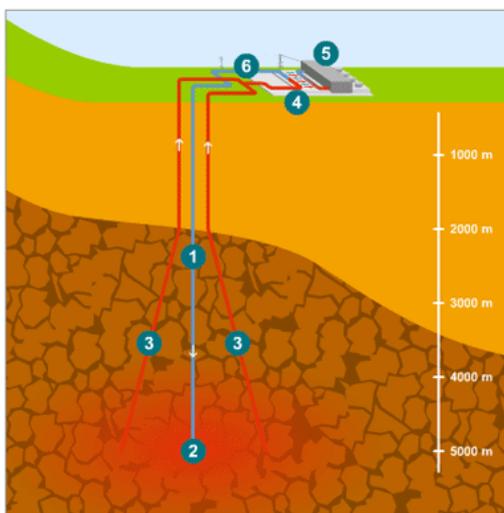
Bildquelle:
<https://www.power-technology.com/features/oldest-geothermal-plant-larderello/>

Zur Einführung in den letzten Baustein kann das Bild des ältesten Geothermie-Kraftwerks in Larderello, Italien, gezeigt werden. Es bietet sich an, das Bild groß auszudrucken und an die Tafel zu hängen oder digital mit einem Beamer an die Wand zu werfen. Fordern Sie die SuS auf, einen Zusammenhang zwischen Vulkanen und dem Kraftwerk zu finden.

Lösungen zu Baustein 4: Geothermie

1. Wie funktioniert ein Geothermie-Kraftwerk? Schau Dir Abb. 1 genau an und beschreibe die Funktionsweise stichpunktartig. Erkläre sie dann deiner Sitznachbarin/ deinem Sitznachbarn.

Geothermie-Kraftwerke wandeln heißen Dampf aus der Erde in Strom um. Dieser heiße Dampf wird durch 5-10 km tiefe Bohrungen in den Boden gewonnen. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Erdkruste dünn ist und eine vulkanische Aktivität in der Umgebung herrscht.



- ① Wasser wird durch Rohre in eine Tiefe von 5 km - 10 km geleitet
- ② Wasser wird durch die Erdwärme erhitzt und verdampft
- ③ Wasserdampf wird durch zwei weitere Rohre zurück nach oben befördert
- ④ Transformator wandelt thermische Energie in Strom um
- ⑤ siehe 4
- ⑥ abgekühlter Wasserdampf wird als Flüssigkeit wieder in die Tiefe befördert und Prozess beginnt erneut

2. Lies Dir die Zitate genau durch. Warum sind einige Wissenschaftler gegen das Projekt? Welche Aussagen verteidigen die Bohrungen? Was sagen Anwohner, die auf dem Pulverfass sitzen?

Die Zitate stammen alle aus dem Artikel „The bold and controversial plan to drill into a supervolcano“, geschrieben von Jonathan Frochtz wajg und veröffentlicht am 02.09.2016 auf www.bbc.com.¹ Der Beitrag thematisiert die große Kontroverse über die Bohrungen in Italiens Supervulkan und schildert die Positionen verschiedener Wissenschaftler. Die zentrale Fragestellung lautet dabei, inwiefern Wissenschaft betrieben werden darf und ob neue Erkenntnisse das Risiko eines Vulkanausbruchs und die Gefährdung Millionen von Menschen wert ist. Sollte genug Zeit sein und die SuS über genügend Kenntnisse der englischen Sprache verfügen, kann der Originalartikel gemeinsam gelesen und diskutiert werden. Hilfreich ist es, den SuS Hintergrundinformationen zu den einzelnen Personen an die Hand zu geben, wenn über die Zitate gesprochen wird. Dies kann vorab geschehen oder auch nachdem die SuS Vermutungen angestellt haben.

„If science is not certain of a certain activity, that activity must not be done“. Mit dieser Aussage positioniert sich Benedetto De Vivo (Professor für Umweltgeochemie an der Universität Neapel) sehr stark gegen das Projekt. Trotz vieler Forschungen kann nie eine zuverlässige Aussage über die Bohrungen und deren Folgen getroffen werden, d.h. es gibt immer ein gewisses Risiko eines Vulkanausbruchs. Überspitzt drückt die Tageszeitung Neapels dies wie folgt aus: „If you touch the volcano Naples will explode.“ (Tageszeitung Il Mattino).

Auf der anderen Seite stehen die Projektbeteiligten, wie Stefano Carlino (Forscher auf dem Gebiet der Vulkanologie und Geothermie am Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in Rom), der sich wie folgt äußert: „Our project was evaluated by a committee of the most important and experienced scientists [...] We are sure that there is no risk for the population.“ Als öffentlich interviewter Wissenschaftler des Projekts hat er die Aufgabe, die Bohrungen in den Medien als wichtiges Vorhaben zu präsentieren und stützt sich dabei auf die Forschungen und Meinungen renommierter Wissenschaftler. Einer ist Christopher R. J. Kilburn (Professor für Vulkanologie am University College London), der ebenfalls zitiert wurde: „If someone says,

¹ online abrufbar unter: <https://www.bbc.com/future/article/20160902-the-bold-and-controversial-plan-to-drill-into-a-supervolcano> (02.09.2020)

'you have to guarantee, 100%, that nothing will go wrong,' well, you can't do that [...] But that's not because you're worried something will go wrong. It's just that nature is such that it is." Er betont die Unberechenbarkeit der Natur und dass die Menschheit nie zuverlässige Aussagen treffen kann, sondern nur verschiedene Szenarien diskutieren und Vorkehrungen für einzelne Fälle treffen kann.

Dem gegenüber steht jedoch die Meinung Giuseppe Mastrolorenzo (Vulkanologe am Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in Rom): „If we are not able to make provisions, we must assume the precautionary principle².“ Er unterstützt die Kontrahenten und betont, dass ohne Vorkehrungen und mangelnde Sicherheiten das Vorbeugeprinzip herrschen sollte, d.h., dass keine Bohrungen stattfinden sollten und Gefahren wie ein möglicher Vulkanausbruch von vornerein vermieden werden sollten.

Insgesamt sind die Wissenschaftler also geteilter Meinung und lassen sich in zwei Lager einteilen. Projektbeteiligte wie Stefano Carlino aber auch Wissenschaftler wie Christopher R. J. Kilburn stehen hinter dem Vorhaben und stützen sich auf die bisherige Forschung. Sie sind zuversichtlich, dass der Mehrwert der Bohrungen überwiegt und ausreichend Vorkehrungen getroffen wurden, um das Risiko eines Vulkanausbruchs zu minimieren. Für jene Wissenschaftlicher stellt das Projekt die Gelegenheit, neue Daten und Erkenntnisse über die Region zu erhalten, einen großen Fortschritt in ihrem Fachgebiet dar.

Das andere Lager setzt sich ebenfalls aus Wissenschaftlern wie Benedetto De Vivo und Giuseppe Mastrolorenzo sowie einheimischen Reportern zusammen. Diese sehen die Bohrungen als Eingriff in die Natur und befürchten schlimme Konsequenzen wie einen Vulkanausbruch. Sie sind wütend, dass sich andere Menschen das Recht herausnehmen, eine Region vermeidbarer Gefahren auszusetzen und versuchen mithilfe von Medien die Aufmerksamkeit bisher unbeteiligter MitbürgerInnen zu wecken. Jedoch haben sie damit nicht bei allen Erfolg.

Für viele gehört der Vulkan zu ihrer Heimat dazu und sie machen sich keine Gedanken über das potentielle Risiko, das mit ihrem Wohnort auf oder an einem Vulkan tagtäglich besteht. Stefano Carlino beschreibt es sogar wie folgt: „I think it's beautiful to live beneath volcanoes.“ Die einmalige Landschaft mit den Kratern und Gipfeln sowie heißen Quellen ist seine Heimat. Er wuchs mit der Aussicht auf den Vesuv auf und beschreibt in dem Artikel, dass viele Einheimische über die Vor- und Nachteile eines Lebens am bzw. auf einem Vulkan nachgedacht haben, dass sie jedoch kein Risiko sehen würden, da seit dem Ausbruch des Vesuvs 1944 keine Anzeichen für einen erneuten Ausbruch gegeben habe.

3. Wie können die Satellitendaten dabei helfen, die Bohrungen sicherer zu machen?

Mit Satellitendaten können flächendeckende Beobachtung eventueller Bewegungen angestellt werden. Durch diese Methode können auch an unerwarteten Stellen, bzw. wo kein GPS-Stationsnetzwerk ist, Prozesse erkannt werden. Es gibt folglich keine Möglichkeit, ungeplante Bewegungen zu verstecken, da jeder mit GIS-Kenntnissen die Satellitendaten zur Überprüfung nutzen kann und so eine Transparenz gegeben ist.

4. Bereitet gemeinsam in der Klasse eine Diskussionsrunde vor. Die TeilnehmerInnen können z.B. WissenschaftlerInnen und AnwohnerInnen spielen. Überlegt euch, welche Position die einzelnen Personen einnehmen und welche Argumente für sie wichtig sein könnten. Wer profitiert von den Bohrungen? Wer hat Angst auf dem Pulverfass zu sitzen? Berücksichtige dabei auch deine Diskussionsergebnisse aus Geographie-Aufgabe 3d.

Individuelle Lösungen

² Mehr Informationen zum Vorsorgeprinzip auf der Internetseite des Umwelt Bundesamt. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/umweltverfassungsrecht/vorsorgeprinzip> (02.09.2020).