









Erdbebenüberwachung und Raspberry Shake

Version Juni 2025

Vom Schweizerischen Erdbebendienst an der ETH Zürich entwickeltes Unterrichtsmaterial in Zusammenarbeit mit der Universität Lausanne und dem Bildungszentrum für Erdbebenprävention (CPPS) in Sion.

Datum der Publikation

Öffentlich

Rechtliches

Die vorliegende Unterrichtseinheit darf ohne Einschränkung heruntergeladen und für Unterrichtszwecke kostenlos verwendet werden. Dabei sind auch Änderungen und Anpassungen erlaubt. Der Hinweis auf die Herkunft der Materialien sowie die korrekte Quellenabgabe z. B. bei Grafiken und Bildern darf nicht entfernt werden.

Weitere Informationen

Weitere Informationen zu dieser Unterrichtseinheit und zu weiteren Modulen finden Sie im Internet auf der Webseite des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) an der ETH Zürich auf www.seismo.ethz.ch.



Überblick

Dauer	– 2 x 45 min. (Doppellektion)
Vorwissen	 Seismische Wellen Entstehung von Erdbeben Grundbegriffe
Lernziele (K-Stufen)	 SuS wissen, was Seismometer sind und wie diese funktionieren. (K1) SuS kennen Seismogramme und Spektrogramme und können diese interpretieren. (K3) SuS verstehen und können in eigenen Worten beschreiben, was ein Raspberry Shake Seismometer ist. (K2) SuS wissen, wie Seismologen und Seismologinnen den Ort und die Stärke von Erdbeben bestimmen. (K3) SuS können selbst die verschiedenen seismischen Wellen identifizieren und Erdbeben anhand der Raspberry Shake Daten lokalisieren. (K4)
Benötigtes Material	Laptop oder TabletInternetverbindung
Weiterführende Informationen	 Seismo@school Raspberry Shake Seismo@school Raspberry Shake Schweiz via SED, <u>Stationen</u> Seismo@school Raspberry Shake Schweiz via SED, <u>Rauschen</u> Jupyter Notebook «Raspberry Shake Switzerland» Interaktive Karte für Erdbebenlokalisierung mittels Triangulation Interaktive Erdbebenlokalisierung mittels Bisector oder Grid Search Methode (für Fortgeschrittene) Raspberry Shake (raspberryshake.org) Seiten: ShakeNet App Stationskarte, Webapp: <u>Station View</u> Seismogramme, Webapp: <u>Data View</u> Lokalisierung durch Triangulation, Webapp: <u>Locator</u> Ideen für (Matura) Projekte (Programmieren) Erdbeben weltweit Interaktive Erdbebenkarte von Earthscope Interaktive Erdbebenkarte von US Geological Survey (USGS) Seismische Wellen – Ausbreitungswege und Schattenzonen Interaktive Ausbreitung seismischer Wellen: <u>Seismic Waves Viewer</u>
	 Visualisierung der Untergrundbewegung für ausgewähltes Erdbeben, animiert: <u>Wellenfelder</u> Visualisierung und Herunterladen von <u>Seismogrammen weltweit</u> Erdbeben-Reports für starke Erdbeben (für Schulunterricht): <u>Special Erdbeben-Reports/Links</u> Wellenausbreitung für starke Erdbeben, animiert: <u>ShakeMovie</u>

Aufbau und Inhalt des Moduls

1.	Erdbebenmessen früher und heute	4
1.1	Arten von Seismometern	6
1.2	Seismisches Netzwerk der Schweiz	7
2.	Erdbebenlokalisierung	8
3.	Raspberry Shake	14
3.1	Raspberry Shake Schulnetzwerk der Schweiz	16
3.2	Stationskarte und Echtzeit-Daten	18
3.3	Seismogramm, Spektrogramm und Frequenz	19
3.4	Heliplot – das 24-Stunden-Seismogramm	20
3.5	Seismisches Hintergrundrauschen	24
4.	Jupyter Notebook «Raspberry Shake Switzerland»	25

1. Erdbebenmessen früher und heute

Seit Ende des 19. Jahrhunderts zeichnen Seismometer Erdbeben auf. Anhand dieser Aufzeichnungen können wir herausfinden, wo sich ein Erdbeben genau ereignet hat (**Lokalisierung**) und wie stark es war (**Bestimmung der Magnitude**). Um frühere Erdbeben nachzuweisen, ist die Forschung auf **historische Berichte** zu Beobachtungen und Schäden von Erdbeben angewiesen. Aus solchen Beschreibungen sowie mit Hilfe von statistischen Verfahren lassen sich die Erdbebenparameter (Ort, Stärke, Tiefe) nachträglich abschätzen. Mit dieser Methode können Erdbeben teilweise bis ins erste Jahrtausend zurückverfolgt werden.

Für noch weiter zurückliegende Zeitperioden bieten **«natürliche Archive**» wertvolle Hinweise: etwa abgebrochene Tropfsteine in Höhlen, archäologische Funde oder See-Sedimente, die Rutschungen dokumentieren, welche durch starke Erschütterungen ausgelöst wurden. Das Aufspüren von weit zurückliegenden Erdbeben ist somit meist **nur bei grösseren Ereignissen** möglich, die Schäden hinterlassen haben. Zudem sind diese sogenannten **«paläoseismologischen**» Methoden mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.



Abbildung 1 Beispiel eines natürlichen Archives: Ein Bruch, der durch ein grosses Erdbeben an der San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien entstanden ist, als die organisch reiche Schicht 4 an der Erdoberfläche lag. Die 5. Schlick- und Sandschicht auf der linken Seite der Verwerfung (englisch «fault») ist dicker, weil sie die entstandene Stufe (Bruchkante) auffüllt, die durch die Bewegung an der Verwerfung entstanden ist. (Quelle: <u>USGS</u>, 29.10.2024)

Die Geschichte seismischer Instrumente reicht bis ins Jahr 132 n.Chr. zurück. Damals erfand der chinesische Gelehrte, Zhang Heng, das erste Seismoskop. Die Aussenseite des Gefässes ist mit acht Drachen geziert, die in die acht Himmelsrichtungen schauten. Kam es zu einem Erdbeben, löste sich eine Kupferkugel und fiel aus einem der Drachenmäulern. Es existieren verschiedene Vermutungen rund um die genaue Funktionsweise des Seismoskops von Zhang, da das Original nicht erhalten ist. Ab dem 18. Jahrhundert wurden in Italien verschiedene Geräte entwickelt, darunter ein elektromagnetisches Seismometer von Luigi Palmieri im Jahr 1855, das auch Angaben zur Dauer des Erdbebens machen konnte.

Die ersten **mechanischen Messgeräte**, die auf dem Prinzip der **«trägen Masse**» basierten, wurden Ende des 19. Jahrhunderts erfunden (z. B. von John Milne und Filippo Cecchi). Während des Erdbebens bewegen sich der Boden, die Aufhängung der Ruhemasse («träge Masse») und das Papier mit dem Seismogramm auf und ab. Die Schreibnadel ist mit der Ruhemasse an einer Feder aufgehängt. Sie bleibt wegen ihrer Trägheit am Ort und zeichnet die Bewegung auf das sich vorwärts drehende Papier auf. Die Darstellung der aufgezeichneten Bodenbewegungen über einer Zeitachse nennt man **Seismogramm**. Die Ausschläge in einem Seismogramm, die **Amplituden**, geben die Stärke der Bodenbewegung am Standort des Seismometers an. Je weiter entfernt das Seismometer vom Hypozentrum steht, desto kleiner sind in der Regel die Amplituden.

Das Prinzip eines Seismometers beruht darauf, dass ein schwerer Körper frei aufgehängt wird, so dass er als träge Masse in Ruhe bleibt, wenn der Boden bebt.





Abbildung 2 Seismometer, das senkrechte, d.h. vertikale (auf und ab) Bodenbewegungen aufzeichnet © <u>IRIS</u>.



burch den Vertitalapparat der Erdbebenwarte in Jürich. (Die geraden, parallelen Linien wurden vom Apparat im Juliand der Ruhe vor und nach dem Beben aufgezeichnet, die Jüchadlinien lind durch das Erdbeben verwigach.)

Abbildung 4 Seismogramm des Albstadt-Erdbebens in Süddeutschland (Magnitude 6.1) vom 16.11.1911, aufgezeichnet an der Erdbebenwarte in Zürich (Quelle: Quervain, 1911 in Grolimund, R., & D. Fäh, 2021)



Abbildung 3 Seismometer, das waagrechte, d.h. horizontale (Nord-Süd, Ost-West) Bodenbewegungen aufzeichnet.



Abbildung 5 Damaliger Instrumentenraum der Erdbebenwarte Degenried in Zürich. Links der Vertikalseismograph, rechts der Horizontalseismograph (Quelle: Quervain, 1911 in Grolimund, R., & D. Fäh, 2011).

Die heute verwendeten Seismometer sind hochempfindliche elektromechanische Geräte, die Bodenbewegungen im Bereich von wenigen **Nanometern** (10⁻⁹ Meter) erfassen. Zum Vergleich: ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von ungefähr 70'000 Nanometern!

Neben der Aufzeichnung und Charakterisierung von Erdbeben werden Seismometer heutzutage auch eingesetzt, um beispielsweise unterirdische Magmabewegungen aufzuspüren, die Struktur des Untergrunds für Geothermie-Projekte zu untersuchen, oder Atomtests zu überwachen.

1.1 Arten von Seismometern

Es gibt verschiedene Faktoren, welche die Auswahl des passenden Seismometers beeinflussen. Neben den Kosten und des Standorts ist dabei die Sensitivität des Geräts entscheidend. Je nach Verwendungszweck kann es entscheidend sein, ob das Seismometer auf Geschwindigkeit oder Beschleunigung empfindlicher reagiert, da beide Parameter unterschiedliche seismische Ereignisse (z. B. schwache lokale vs. starke lokale Beben) am besten erfassen.



Abbildung 6 Eine von über 200 Erdbebenstationen, die der Schweizerische Erdbebendienst (SED) in der Schweiz betreibt.



Abbildung 7 Ein hochempfindliches Breitbandseismometer, das geringste Bodenerschütterung (Geschwindigkeiten) registrieren kann. Breitbandseismometer eignen sich besonders gut, um schwache lokale, mittelstarke regionale und mittelstarke bis starke globale Erdbeben aufzuzeichnen.



Abbildung 8 Akzelerometer (Beschleunigungssensor), das vor allem starke Bodenerschütterungen (Beschleunigungen) registrieren kann. Akzelerometer werden eingesetzt, um mittelstarke und starke lokale Erdbeben aufzuzeichnen.



Abbildung 9 Ein preisgünstiges Raspberry Shake-Seismometer vom Typ RS3D, das unter anderem im Rahmen des seismo@school- Programmes an über 40 Schweizer Schulen installiert worden ist © Raspberryshake.org

1.2 Seismisches Netzwerk der Schweiz

Der Schweizerische Erdbebendienst (SED) an der ETH Zürich betreibt ein Netzwerk von über 200 seismischen Stationen in der Schweiz (Abbildung 10). Das nationale Netzwerk der Schweiz (CHNet) umfasst verschiedene Arten von Stationen.



Abbildung 10 Karte aller Echtzeitstationen, die vom Schweizerischen Erdbebendienst (SED) in der Schweiz überwacht werden. Zusätzlich betreibt der SED temporäre Stationen für spezifische Projekte wie zur Überwachung seismischer Aktivitäten bei Bohrungen für Geothermie-Projekte (Stand 20.11.2024).

Die Daten der Erdbebenstationen werden nahezu in Echtzeit an den SED übertragen, wo die Daten zunächst automatisch und kurze Zeit später manuell von Seismologinnen und Seismologen ausgewertet werden. Erdbeben in Grenznähe können auch in der Schweiz Schäden verursachen. Daher sind mehrere Erdbebenstationen in den Nachbarländern installiert, und der grenzüberschreitende Datenaustausch wird gefördert. Je mehr Stationen ein Erdbeben aufzeichnen, desto genauer kann das Beben lokalisiert werden.

2. Erdbebenlokalisierung

Die Triangulation ist eine einfache Methode zur ungefähren Erdbeben-Lokalisierung, also zur Bestimmung des Erdbebenortes: Epizentrum und Hypozentrum¹. Wichtige Faktoren für die Lokalisierung sind die P- und S-Wellen. Sie breiten sich vom Erdbebenherd (=Hypozentrum) mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch den Untergrund aus und erreichen die Erdbebenstation daher zu unterschiedlichen Zeiten.

- Die P-Welle (Primärwelle) hat eine durchschnittliche Geschwindigkeit von circa 5.8 km/s (Kilometer pro Sekunde; entspricht 5'800 m/s) in der Erdkruste und erreicht die Erdbebenstation daher als erste.
- Die S-Welle (Sekundärwelle) ist mit circa 3.4 km/s (entspricht 3'500 m/s) etwas langsamer und erreicht die Station daher erst etwas später.

Der zeitliche Abstand zwischen der Ankunft der S- und P-Welle an einer Station, (**ts-tp**), kann aus dem Seismogramm bestimmt werden und ist charakteristisch für eine bestimmte Entfernung der Station zum Erdbeben (Abbildung 11).



Abbildung 11 Der zeitliche Abstand zwischen der P- und S-Welle ist charakteristisch für die jeweilige Entfernung zwischen Erdbeben und Station.

¹ Hypozentrum: Ursprungsort eines Erdbebens im Erdinnern; Epizentrum: Ort, der senkrecht über dem Hypozentrum an der Erdoberfläche liegt.

Beträgt der zeitliche Abstand zwischen S- und P-Welle beispielsweise 1 Sekunde, dann ist das Beben circa 8.2 km von der Station entfernt. Bei 2 Sekunden sind es 16.4 km, bei 3 Sekunden 24.6 km und so weiter.

Allgemein kann man die Entfernung **D** (in Kilometern) zwischen dem Erdbeben und der Station mittels der Formel **D=8.2*(ts-tp)** abschätzen und in Form eines Kreises mit **Radius D** um die Station einzeichnen (Abbildung 12): Das Erdbeben muss sich auf irgendeinem Punkt auf diesem Kreis ereignet haben. Wiederholt man diese Prozedur an mindestens zwei weiteren Stationen, dann werden sich die Kreise in einem Punkt schneiden. Das heisst, es gibt eine gemeinsame Lösung. Dort im Schnittpunkt der Kreise liegt das Epizentrum des Erdbebens. Um das Hypozentrum des Erdbebens zu bestimmen, braucht man mindestens eine vierte Station. Man berechnet dazu wieder die Entfernungen für alle Stationen, aber diesmal in alle Richtungen – nicht nur auf der Oberfläche (in Form von Kreisen), sondern auch in die Tiefe (in Form von Kugeln). Der Schnittpunkt dieser Kugeln gibt die Position des Hypozentrums an.



Abbildung 12 Das Prinzip der Triangulation zur Erdbebenlokalisierung an der Erdoberfläche (Epizentrum).

Woher kommt diese Formel?

$$T_s - t_p = D / V_s - D / V_p$$
$$= D(1 / V_s - 1 / V_p)$$

Daher

$$D = (t_s - t_p) / (1 / V_s - 1 / V_p)$$

= $(t_s - t_p) / (1 / 3.4 - 1 / 5.8)$
= $(t_s - t_p) 8.2 \, km/s$

- t_p: Ankunftszeit der P-Welle
- ts: Ankunftszeit der S-Welle
- V_p: Durchschnittliche Geschwindigkeit der P-Welle (5.8 km/s)
- Vs: Durchschnittliche Geschwindigkeit der S-Welle (3.4 km/s)
- D: Entfernung zwischen Erdbeben und Station



Abbildung 13 Verschiedene Messstationen in der Schweiz erfassten das Erdbeben im oberen Sihltal (SZ) am 4. Juni 2024, wodurch diese Seismogramme entstanden sind. Die y-Achse zeigt die Entfernung der Stationen vom Epizentrum, während die x-Achse den zeitlichen Verlauf der aufgezeichneten Bodenbewegungen an jeder Station darstellt. Je weiter eine Station vom Epizentrum entfernt ist, desto später treffen dort die P- und S-Wellen ein. Der zeitliche Abstand zwischen der Ankunft der beiden Wellen nimmt aufgrund ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeiten mit zunehmender Entfernung zu.

Aufgabe 1: Erdbeben lokalisieren

Hier siehst Du die Seismogramme, die während eines Erdbebens in der Schweiz von fünf Seismometern aufgezeichnet worden sind. Die roten Striche zeigen die Ankunft der P-Welle und die blauen Striche die der S-Welle.



1. Bestimme für mindestens 3 Stationen die Ankunftszeiten der P- und S-Wellen und fülle die Tabelle aus:

Stationsname Geographische Breite und Länge	Zeitintervall (in Sekunden) ts-tp	Entfernung D (in Kilometern) D=8.2 *(ts-tp)
FUSIO (46.46°N; 8.66°E)		
WIMIS (46.67°N; 7.62°E)		
DAGMA (47.23°N; 8.01°E)		
VDL (46.48°N; 9.45°E)		
WILA (47.42°N; 8.91°E)		

- 2. Gehe nun auf folgende Internetseite: <u>https://dev.iris.edu/app/triangulation</u>
- 3. Klicke oben rechts auf «+Station». Nun sollte unten auf der Seite ein Pop-Up-Fenster aufgehen.
- 4. Trage für jede Station, die Du in der Tabelle oben bestimmt hast, den Namen, die geographische Länge und Breite, sowie die Entfernung D ein.
- 5. Nun sollte ein Dreieck und ein Kreis auf der Karte zu sehen sein. Zoome in die Karte hinein:



Schneiden sich die Kreise an einem Punkt? Dann liegt dort das Epizentrum des Erdbebens. Falls nicht, solltest Du die Berechnungen in der Tabelle oben noch einmal prüfen und das Erdbeben gegebenenfalls neu lokalisieren.

Das Erdbeben ereignete sich am 1. Juli 2021 um 11:11:50 Uhr UTC. Schau nun auf der Webseite des Schweizerischen Erdbebendienstes (<u>www.seismo.ethz.ch</u>), ob du das Erdbeben dort finden kannst. Hast Du das Erdbeben richtig lokalisiert? Suche auf der Webseite nach weiteren Informationen zu dem Erdbeben (Magnitude, ShakeMap, …).

Die Triangulation ist eine einfache, aber ungenaue Methode zur Lokalisierung von Erdbeben, die daher in der Praxis nicht verwendet wird. Der Hauptgrund dafür ist, dass es schwierig ist, den genauen Zeitpunkt der Ankunft von P- und S-Wellen im Seismogramm zu erkennen. Ausserdem breiten sich die Erdbebenwellen im Untergrund auf sehr komplexe Art und Weise aus, weil die verschiedenen Gesteinsschichten unterschiedlich dick sind und sich die Wellen darin unterschiedlich schnell ausbreiten. In der Praxis messen Seismologinnen und Seismologen, beziehungsweise Computer-Programme, meist die Ankunftszeiten der P-Wellen an vielen verschiedenen Stationen. Mit Hilfe von lokalen Untergrundmodellen, die auf vielen Daten aus früheren Erdbeben basieren, können sie den genauen Ort berechnen.

Mehr Informationen

Weitere Tools zur Erdbebenlokalisierung von EarthScope: https://www.iris.edu/app/eg-locate/method

3. Raspberry Shake

Der Raspberry Shake ist ein preiswertes Seismometer, das Bodenbewegungen messen kann. Die Messgenauigkeit des Raspberry Shake ist geringer als die von einem professionellen Seismometer. Wegen seiner geringen Kosten und einfachen Handhabung kann er aber auch von Laien eingesetzt werden.

Der Raspberry Shake (Modell RS1D bzw. RS3D) besteht aus zwei Hauptkomponenten:

- 1 bzw. 3 hochpräzise Sensoren (Geophone)

Sie messen die Bodenbewegung (genaugenommen die Bodengeschwindigkeit), je nach Gerätetyp entweder in vertikaler bzw. vertikaler und horizontaler Richtung.

- 1 Analog-Digital-Wandler

Er wandelt die analog aufgezeichneten Daten von den Sensoren in digitale Signale um, die von Computern verarbeitet werden können.

Bewegt sich ein Magnet durch eine Spule, wird in der Spule ein elektrischer Strom erzeugt (*induziert*). Nach diesem Prinzip funktioniert auch ein **Geophon**. Eine Spule ist an einer Feder aufgehängt, und innerhalb der Spule befindet sich der Magnet. Durch die Bewegungen des Untergrundes bewegt sich auch der Magnet in die Spule, wodurch ein elektrisches Signal erzeugt wird.

Der **Analog-Digital-Wandler** wandelt dieses elektrische Signal in ein digitales Signal um, das von Computern verarbeitet werden kann. Abbildung 15 zeigt eine Übersicht die wichtigsten Komponenten des Raspberry Shake und ihre Funktion.



Abbildung 14 Raspberry Shake RS3D © Raspberryshake.org

ANALOGE DATEN



Der **Sensor** wandelt die Bewegungen des Bodens in elektrische Spannungen um.

Im Sensor steckt ein Magnet in einer Spule. Der Magnet ist mit dem Gehäuse und somit mit dem Boden verbunden. Die Spule ist zusammen mit einem Gewicht (träge Masse) an Federn aufgehängt und umgibt den Magneten ohne ihn zu berühren. Bewegt sich der Boden, verschiebt sich der Magnet innerhalb der Spule, die in Ruhe bleibt. Dadurch wird in der Spule ein elektrischer Strom erzeugt.

DIGITALE DATEN



Der Strom in der Spule wird von einem **Digitalisierer** in ein Signal umgewandelt, das vom Computer verarbeitet und als Seismogramm dargestellt werden kann.



SEISMOGRAMM

Seismogramm (vertikale Komponente) von dem Erdbeben am 5. Oktober 2021 in Arolla (VS) mit einer Magnitude von 4.1, aufgezeichnet auf einem RaspberryShake Seismometer in etwa 30 Kilometer Entfernung vom Epizentrum.

WEBZUGANG



Alle Daten von Raspberry Shake-Seismometern weltweit sind auf der Webseite unter www.raspberryshake.org zugänglich.

Abbildung 15 Übersicht der Funktionsweise eines Raspberry Shake-Seismometers. (Quelle der Bilder: <u>https://edu.raspberryshake.org/wp-content/uploads/2020/01/Lesson-1_-Lets-get-Shaking-Presentation.pdf</u>; 30.12.2024)

3.1 Raspberry Shake Schulnetzwerk der Schweiz

Im Rahmen des seismo@school-Programms haben wir zahlreiche Gymnasien und Kantonsschulen in der Schweiz mit einem Raspberry Shake-Seismometer ausgestattet, welche die Bewegungen der Erde kontinuierlich erfassen. Diese Geräte zeichnen Erdbeben in der Schweiz und weltweit auf. Über die <u>Raspberry Shake-Webseite</u>² können die seismischen Daten von mehr als 2'000 Sensoren weltweit abgerufen werden.



Abbildung 16 Seismisches Schulnetzwerk der Schweiz, das im Rahmen des <u>seismo@school-Projektes</u> ausgebaut wurde. Interaktive Kartenansicht: <u>sas-viewer.ethz.ch</u>.

Nimmt Deine Schule am seismo@school Schweiz Projekt teil? Falls ja, dann findest Du den Stationsnamen des Raspberry Shake-Seismometers von Deiner Schule in der Tabelle auf der nächsten Seite. Für die nachfolgenden Übungen kannst Du aber auch einen beliebigen anderen Raspberry Shake auswählen.



Station	Ort	Station	Ort
RA652	CO d' Anniviers	<u>R5D35</u>	ES Nyon-Marens
<u>S7A06</u>	Ecole de l' Arpille	<u>R19BB</u>	Gymnasium Oberaargau
<u>RB15C</u>	CO Ayent	RDFB5	Gymnasium Oberwil
<u>R65E9</u>	EPS de Begnins – L'Esplanade	S3900	CO Orsières
R0CD2	EPS Bergières	<u>R46E5</u>	ES du Pays-d'Enhaut
<u>S8C09</u>	Gymnasium Biel-Seeland Biel	RA83F	CO des Perraires
<u>RB22F</u>	Bündner Kantonsschule Chur	<u>R7DBB</u>	Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gym- nasium Rämibühl
<u>R8710</u>	EPS Ecublens	<u>R58D2</u>	Kantonsschule Romanshorn
R5BF0	Collège/EPS de l' Elysée	<u>RF726</u>	Kantonsschule Rychenberg , Winterthur
RD3C4	Kantonsschule Enge Zürich	R2D50	CO Savièse
<u>R3B57</u>	EPS Grandson	<u>R05D6</u>	Sion CPPS HES-SO
<u>RB289</u>	CO Hérens	RFE6B	Kantonsschule Solothurn
<u>RE5E7</u>	Kantonsschule Hottingen Zürich	<u>R103E</u>	Kantonsschule St. Gallen
<u>RC23B</u>	Kantonsschule Küsnacht	<u>R7694</u>	CO St-Guérin
<u>RC676</u>	Espace des Inventions Lausanne	R1F5E	ES St-Imier
<u>R8E4D</u>	ES de La Sarraz et environs	R52F7	ES des Trois-Sapins
R3BDC	Collège du Léman	<u>R4335</u>	Gymnasium Unterstrass
RE4DE	EPS Les Ormonts-Leysin	R8F49	Kantonsschule Uri
RA7C7	CO Leytron	<u>RF727</u>	EPSCL Collège du Verney
RE4EF	CO des Liddes	R4AF0	Kantonsschule Wattwil
RDFB5	Gymnasium Liestal	<u>RF726</u>	Kantonsschule Zürcher Oberland, Wetzikon
		R3BE0	Kantonsschule Zug

3.2 Stationskarte und Echtzeit-Daten

Mit wenigen Klicks ist es möglich, die Echtzeit-Daten von einer beliebigen Raspberry Shake-Station abzufragen.

- Gehe zur interaktiven Stationskarte von Raspberry Shake: <u>https://stationview.raspberryshake.org</u>.
- Hier siehst Du eine Karte mit allen öffentlich zugänglichen Raspberry Shake weltweit.
- Klicke im Menü auf «Stations» und gebe den Stationsnamen einer beliebigen Station aus der Tabelle oben ein (z. B. R8710)
- Mit einem Klick auf den Stationsnamen erscheinen nun die aufgezeichneten Daten der Station: Auf der rechten Seite des Browserfensters siehst Du die Bodenerschütterungen, die der Raspberry Shake jetzt gerade (mit einer kleinen Verzögerung) aufzeichnet.



Abbildung 17 So gelangst Du zu den Echtzeit-Daten eines Raspberry Shake-Seismometers über die interaktive Stationskarte von Raspberry Shake (<u>stationview.raspberryshake.org</u>). Die Stationen haben unterschiedliche Symbole: «3D» Seismometer zeichnen alle 3 Richtungen (1 vertikal, 2 horizontal) der Bodenbewegung auf. «1D» Seismometer messen nur die vertikale (d.h. auf und ab) Bewegung.

3.3 Seismogramm, Spektrogramm und Frequenz

Um die Aufzeichnungen in einer vergrösserten Ansicht zu betrachten, klicke auf das Symbol neben «**Live Streaming**». Nun öffnet sich ein neuer Tab im Browser (Abbildung 18).



Abbildung 18 Live-Streaming der Station S8C09 im Webbrowser. Oben ist das Seismogramm und darunter das Spektrogramm abgebildet. Die Zeitachse (hier UTC - Coordinated Universal Time) verläuft von links nach rechts. Auf der linken Seite siehst Du eine Liste aller verfügbaren Raspberry Shakes.

Der obere Teil der Webseite zeigt das **Seismogramm**, der untere Teil das **Spektrogramm**. Diese beiden Darstellungen zeigen, wie sich die **Bodenbewegungen** und deren **Frequenzen** im Laufe der Zeit verändern. Die Zeitachse verläuft von links nach rechts. Mit einem Klick auf die Zeitangabe kann zwischen UTC (Coordinated Universal Time) und mitteleuropäischer Normalzeit (Central European Summer/Winter Time, wie in der Schweiz) hin- und hergewechselt werden.

Die Frequenz misst die Anzahl der (Boden-) Schwingungen pro Sekunde. Je schneller sich der Boden auf- und ab- oder hin- und herbewegt, desto höher ist die Frequenz. Im Spektrogramm werden besonders stark angeregte Frequenzen in hellen Farben hervorgehoben.

Im Beispiel in Abbildung 18 sind Frequenzen von etwa 15 Hertz (Hz) zwischen 13:52:30 Uhr und 13:58:30 Uhr durchgehend angeregt worden. Dies ist durch den horizontalen Strich im Spektrogramm deutlich zu erkennen. «15 Hertz» bedeutet, dass der Boden 15-mal pro Sekunde hin- und herschwingt.

3.4 Heliplot – das 24-Stunden-Seismogramm

Ein sogenannter **Heliplot** zeigt die Bodenbewegungen über ein langes Zeitfenster, z.B., wie in Abbildung 19 gezeigt, von jeweils 30 Minuten (von links nach rechts) zu verschiedenen Uhrzeiten der letzten rund 24 Stunden (von oben nach unten).

UTC	Heliplot	Mitteleuropäische	Normalzeit
ake: RA7C7 - Channel: EHZ M/S 100 sps • Real Time		∀v0∧	♡ 2024-11-29く曲)
4:00	ากกระบบการสาวประชาชาติเป็นกร้างสำนัญชาติผู้สารประวัติเหลือสาวประชาชาติสาวประชาชาติสาวประชาชาติเป็นกร้างสาวประช การประการประการสาวประชาชาติเป็นกร้างสาวประชาชาติเสียงการประชาชาติสาวประชาชาติสาวประชาชาติเสียงการประชาชาติสาวปร		16:00
5.00			17:00
6.00			18:00
200			19:00
9.00			20:00
0.00			21:00
1:00	280 A		22:00
2:00			23:00
3.00			00:00
0:00			01:00
1.00			03:00
2.00			04:00
3.00			05:00
4.00			06:00
5.00			07:00
7.00			08:00
8.00			09:00
9.00	≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈≈	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	10:00
	ĸĸĔĬĸĸŧġħĸĸĸĸĸĸĸŧĸĸĸĸĸĸĸŧġĸĸĸĸĸĸġĸĸĸĸĸĸĸĸĸĸ	nyhään ykselläällä jä täyödettä jannyän tävanan en taitesta tajtä taita na antan taitan taina antan antan antan Lantan ykselmin ja va taitaitaitaitaitaitaitaitaitaitaitaitait	11:00
and an and a second as a second as a second as a second as		Aktuelle Aufzeichnung	12:00
2:00		Actuelle Adizelennung	13:00
3:00			14:00
4:00			15.00
0 5	10 15 Minutes	20 25	30

30 Minuten

Abbildung 19 Heliplot (24-Stunden Seismogramm) der Station RA7C7 vom 29. November 2024.

- 1. Klicke im Livestreaming der ausgewählten Station auf das Symbol 🕒. Dieses befindet sich oben rechts.
- Nun siehst Du auf einen Blick alle Aufzeichnungen (Seismogramm) der letzten 24 Stunden des Raspberry Shake wie im Beispiel in der Abbildung 19.

Am besten orientierst Du Dich an der Zeitachse auf der rechten Seite des Heliplots (Central European Summer/Winter Time, mitteleuropäische Normalzeit). Sie entspricht der lokalen Zeit in der Schweiz. Du kannst auf eine beliebige Stelle im Heliplot klicken, um den ausgewählten Ausschnitt oben vergrössert anzeigen zu lassen. Mit dem Scrollen kannst du hinein- und herauszoomen.

Aufgabe 2: Live-Seismogramm, Spektrogramm und Heliplots

Schau Dir das Live-Seismogramm und Spektrogramm von einem beliebigen Raspberry Shake genau an. Am besten wählst Du eine Station aus dem Raspberry Shake-Schulnetzwerk der Schweiz (siehe Tabelle oben).

1. Beschreibe, was Dir auffällt. Mache dazu einen oder mehrere Screenshots.

2. Wodurch könnten die Erschütterungen, die der Raspberry Shake aufzeichnet, ausgelöst worden sein? Falls Du Dich in der Nähe des Raspberry Shake befindest, kannst Du aufspringen und schauen, ob die Erschütterungen aufgezeichnet werden.

(Achtung: Es gibt eine kleine Zeitverzögerung, bevor Du Deinen Sprung im Live-Streaming sehen kannst. Wenn die Erschütterungen zu stark sind, können die Amplituden «clippen», das heisst, die Messwerte werden den maximalen Messbereich überschreiten und die Bewegung nicht mehr korrekt dargestellt.)

Aufgabe 3: Erdbeben erkennen

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen zwei Heliplots, die von einem Raspberry Shake in der Schweiz am 1. Januar 2024 und 27. Februar 2024 aufgezeichnet wurden.

In beiden Heliplots «versteckt» sich ein Erdbeben.

- 3. Erkennst Du das Erdbeben?
- 4. Wie unterscheiden sich die Aufzeichnungen dieser beiden Erdbeben?



Abbildung 20 Heliplot vom 1. Januar 2024 des Raspberry Shake RFE6B an der Kantonsschule Solothurn (KSSO).



Abbildung 21 Heliplot vom 27. Februar 2024 des Raspberry Shake RFE6B an der Kantonsschule Solothurn (KSSO).

3.5 Seismisches Hintergrundrauschen

Seismische Stationen zeichnen alle Arten von Bodenbewegungen auf, also weit mehr als nur Erdbeben. Dominiert werden die Messungen vom **seismischen Hintergrundrauschen**. Dabei handelt es sich um Schwingungen, die durch weit entfernte Meeresbewegungen, atmosphärische Druckänderungen oder menschgemachte Ereignisse wie Sprengungen in Steinbrüchen, Verkehr, Bauarbeiten oder Explosionen verursacht werden. Dieses Rauschen kann genutzt werden, um den Boden unter uns abzubilden oder um abzuschätzen, inwieweit der lokale Untergrund seismische Wellen verstärken kann.

Schaut man sich diese Daten genauer an, lassen sich teilweise Rückschlüsse auf Ereignisse mit seismischem Fussabdruck ziehen. Das können andere **natürliche Phänomene** sein wie ein Bergsturz aber auch durch **menschliche Aktivitäten** verursache Erschütterungen, beispiels-weise Bauarbeiten, Bahnverkehr oder ein Überschallknall. Ähnliche Spuren haben auch grosse Konzerte oder Fussballspiele in der Vergangenheit in den seismischen Daten hinterlassen, also wenn sich viele Menschen gleichzeitig rhythmisch bewegen.

Abbildung 22 Aufgezeichnete Erschütterungen des Taylor Swift Konzerts in Zürich im Juli 2024 als Spektrogramm.

Aufgabe 4: Was ist das?

Unser Raspberry Shake-Seismometer hat nebst Erdbeben auch viele andere Erschütterungen aufgezeichnet. Erkennst du anhand der Seismogramme und Spektrogramme, um was es sich handelt?

Link zum Quiz: https://forms.office.com/e/r6dY41nqJH

4. Jupyter Notebook «Raspberry Shake Switzerland»

Mithilfe der Webanwendung «Jupyter Notebook Raspberry Shake Switzerland» kannst Du auf die Daten aller Raspberry Shake im Schweizer Schulnetz zugreifen.

Wenn Du bereits Erfahrung mit der Python-Programmierung hast, kannst Du den Code verändern oder erweitern. Anderenfalls kannst Du die Anwendung in einem vereinfachten Modus verwenden, wie unten beschrieben.

Öffne **Jupyter Notebook Raspberry Shake Switzerland** in Deinem Webbrowser: https://mybinder.org/v2/gh/maboese/seismo_at_school/master

Das Laden kann einen Moment dauern, bitte habe etwas Geduld. Auf der linken Seite des Browserfensters stehen verschiedene Notebooks (.ppynb) zur Verfügung.

- 1. Doppelklick auf seismograms.ipynb
- 2. Klicke dann im oberen Menu auf «Run» und danach auf «Run All Cells».
- 3. Nach ein paar Sekunden erscheint ein Menü.

Abbildung 23 Screenshot des Jupyter-Notebooks.

 Im Menü kannst Du nun ein Jahr («year»), eine Region («Region») und eine minimale Magnitude («Min. Magnitude») auf der linken Seite auswählen. Auf der rechten Seite siehst Du unter «Earthquakes», welche Erdbeben jeweils gefunden werden.

- 2. Wähle ein Erdbeben aus dieser Liste.
- 3. Wähle auch einen «Raspberry Shake» auf der linken Seite aus.
- 4. Klicke dann auf «Karte & Seismogramme», um eine Karte und die Seismogramme darzustellen. Wenn Du die Seismogramme von allen Raspberry Shake gleichzeitig sehen möchten, klicke auf «Alle Seismogramme». Hinweis: Manchmal kann es ein paar Sekunden dauern, bis die Karte und Seismogramme erscheinen, weil die Daten erst vom Server heruntergeladen werden müssen.
- 5. Die Karten und Seismogramme werden automatisch als «.png» Dateien abgespeichert. Du kannst die Dateien in der Liste links durch Klicken der rechten Maustaste und Auswahl «Download» herunterladen.

Aufgabe 5: Arbeiten mit dem Jupyter-Notebook

1. Erdbebensuche

Ändere die Such-Parameter und bestimme:

- Das stärkste Erdbeben, das sich 2024 **weltweit** ereignet hat («globales Erdbeben»).
- Das stärkste Erdbeben, das sich 2024 in der **Schweiz** ereignet hat («lokales Erdbeben»).

2. Zusatzaufgabe für Schnelle:

Suche einen beliebigen Raspberry Shake aus und führe die Suche aus, indem du auf «Karte & Seismogramme» und dann auf «Alle Seismogramme» klickst.

Beschreibe in einem kurzen Bericht Deine Beobachtungen zu den beiden Erdbeben

Füge die Abbildungen (Karten, Seismogramme) hinzu

Versuche zudem folgende Fragen zu beantworten:

- Wie unterscheiden sich die Seismogramme f
 ür die beiden Erdbeben in Bezug auf Dauer und Frequenzgehalt?
- Kannst Du die P- und S-Welleneinsätze erkennen?
- Wie unterscheiden sich die Aufzeichnungen der P- und S-Wellen an den Stationen f
 ür das lokale Erdbeben in der Schweiz und das f
 ür das weitentfernte Erdbeben? Hast Du eine Erkl
 ärung daf
 ür?
- Kannst Du die Entfernung des lokalen Erdbebens anhand der P- und S-Welleneinsätze abschätzen?

Weiteres Unterrichtsmaterial

Möchtest Du noch mehr über das Thema Erdbeben wissen? Hier kannst Du mehr erfahren:

Einführung ins Thema Erdbeben Download
Falschinformationen und Medienkompetenz Download
Induzierte Seismizität Download
Erdbebengefährdung und -risiko Download

Weitere Informationen rund um das Thema Erdbeben auf der Webseite des Schweizerischen Erdbebendienstes an der ETH Zürich auf <u>www.seismo.ethz.ch</u>.

Fragen und Anregungen zu den Lernmodulen oder anderen Themen rund um den Erdbebenunterricht in Schulen nehmen wir gerne entgegen.

E-Mail: seismo_at_school@sed.ethz.ch

