

“Dem Puls der Erde auf der Spur“

SCHULPROJEKT IN DER CARL-BENZ-GESAMTSCHULE – WÖRTH
DR. JÉRÔME AZZOLA, DR. JUDITH BREMER

PROJEKTBERICHT

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel und Projektrahmen.....	3
2	Das Projektteam	4
3	Programm.....	4
3.1	Modul 1 –27. Mai 2025 – 9:30 bis 11:15 Uhr	4
3.2	Modul 2 –28. Mai 2025 – 13:00 bis 16:00 Uhr	7
3.3	Selbstständiges Arbeiten	9
3.4	Modul 3 – 26. Juni 2025 – 8:45 bis ~11:15	9
4	Geophysikalische Beobachtungen	9
4.1	„Quality-Check“ des Datensatzes	9
4.2	Datenverarbeitung.....	10
4.3	Vergleich der Messstellen.....	11
5	Projektevaluation oder „ <i>Mich hat überrascht, dass unsere Region so energetisch nutzbar ist</i> “	13
5.1	Demographische Angaben.....	14
5.2	Gefühlsbezogene Imagination („Affective Imagery“)	14
5.3	Informiertheit und Wissen zu Seismologie.....	16
5.4	Informiertheit und Wissen zu Geothermie	16
5.5	Wahrnehmung der Geothermie	17
5.6	Motivation für das Projekt.....	17
5.7	Bewertung im Rückblick	18
6	Fazit	20
7	Danksagung.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Plug-and-Play-Seismometer, wie er im Rahmen des Projekts verwendet wurde: der Raspberry Shake 3D (Indoor-Version). Bilder: https://raspberrysshake.org/	3
Abbildung 2: Lernstation mit Experimentierkoffer, Raspberry Shake und Visualisierung der Messwerte von Bodenerschütterungen sowie Bohrkern mit Kluft. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG	6
Abbildung 3: Kennenlernen der Raspberry Shakes. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG	7
Abbildung 4: Messstellen auf dem Schulgelände, die von den Schülern ausgewählt wurden, und erster Qualitätscheck. Fotos: Jens Arnold, Daimler Truck AG	8
Abbildung 5: Einführung in die Benutzung der Skripts. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG	8
Abbildung 6: Datensätze jeder Station / RS3D. Jede RS3D zeichnet auf 3 Kanälen auf. Die Datenerfassung während der Projektlaufzeit wird durch die blaue Linie dargestellt. Eine Unterbrechung der Datenspeicherung wird durch eine rote Linie/ein rotes Feld dargestellt.	10
Abbildung 7: Wellenformen (Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von der Zeit), aufgezeichnet auf der vertikalen Komponente Z der Seismometer während der dreitägigen Datenerfassung.	11
Abbildung 8: Illustration der Berechnung von I95 in einem Fenster mit Umgebungsgeräuschen.....	12
Abbildung 9: Violin Plot (statistische Darstellung) der I95-Werten, berechnet anhand sukzessiver Fenster, die in den Aufzeichnungen der vertikalen Komponente jedes RS3D definiert sind. Die Werte werden nach Filterung der Daten im Frequenzbereich von 5 bis 40 Hz berechnet. Die Ränder des Diagramms zeigen die Verteilung der Werte an. Die blaue Linie zeigt den Durchschnitt und die rote, den Medianwert.	12
Abbildung 10: Gleiche Werte wie in Abbildung 5, jedoch mit zeitlicher Variation der I95-Werte und Angabe, ob das Fenster während der Nacht (schwarze Punkte, zwischen 7:00 und 19:00) oder während des Tages (rote Punkte) genommen wurde.	13
Abbildung 11: Wortwolke mit spontanen Einfällen der Schülerinnen und Schüler zum Begriff „Tiefe Geothermie“.	14
Abbildung 12: Histogramm der Wortnennungen in den identifizierten Kategorien vor dem Projekt ..	15
Abbildung 13: Worтеinfälle nach dem Projekt	15
Abbildung 14: Histogramm der Wortnennungen in den identifizierten Kategorien nach dem Projekt	16
Abbildung 15: Einschätzung der Risiken verschiedener Energieträger und CCS im Vergleich.	17
Abbildung 16: Einstufung der Interessen der SuS an bestimmten Aspekten des Projekts (Angabe vor dem Projekt).	18
Abbildung 17: Vor dem Projekt formulierte Erwartungen und Wünsche an das Projekt	18
Abbildung 18: Verteilung der Antworten (n = 13) auf den Fragebogen zur Bewertung des wissenschaftlichen Verständnisses, der praktischen Erfahrungen und der wahrgenommenen Lerngewinne. Jede horizontale Violin-Darstellung zeigt die Verteilung der Antworten zu einer Frage auf einer 6-stufigen Likert-Skala (1 = „Ich stimme nicht zu“, 6 = „Ich stimme zu“). Rote Rauten markieren den Mittelwert, blaue vertikale Striche den Median. Breitere Bereiche der Violine entsprechen häufigeren Antworten.	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zitate der SuS aus dem Fragebogen.....	20
---	----

1 Ziel und Projektrahmen

Ziel des Vorhabens war die Wissensvermittlung im Schulumfeld zur Tiefengeothermie im Oberrheingraben und zur seismischen Überwachung von Geothermie-Projekten. Des Weiteren sollte den Schülerinnen und Schülern der Carl-Benz-Gesamtschule Wörth (IGS Wörth) ein praktisches und angewandtes Verständnis der Seismizität und damit verbundener Konzepte sowie der Arbeit von Seismologen vermittelt werden. Dadurch wird das Verständnis für geothermische Energiesysteme und seismische Überwachung, auch mit für Laien geeigneten Seismometern, in der breiteren Öffentlichkeit und eine faktenbasierte Meinungsbildung gefördert. Ein gewisser Multiplikatoreffekt bzgl. des Wissenstransfers in der Gemeinde Wörth, einem Geothermie-Projektstandort, ist zu erwarten.

Der vorliegende Projektbericht umfasst die Entwicklung und Durchführung des im Sommer 2025 durchgeführten Schulprojekts für Schüler der Oberstufe zum Thema „Tiefengeothermieprojekte und seismische Messungen“. In 3 Lerneinheiten erlangten und festigten die Schüler interaktiv grundlegende Kenntnisse in Geowissenschaften und Geophysik. Sie erwarben praktische Erfahrungen zu den Methoden und Verfahren der seismischen Überwachung in Geothermie-Projekten, insbesondere mit Hilfe von Plug-and-Play-Seismometern (Raspberry-Shakes 3D, [RS3D](https://raspberrypshake.org/), siehe Abbildung 1). Dies umfasste die Installation der Sensoren, die Durchführung seismischer Messungen, die Datenverarbeitung, die Analyse und Interpretation der Ergebnisse.

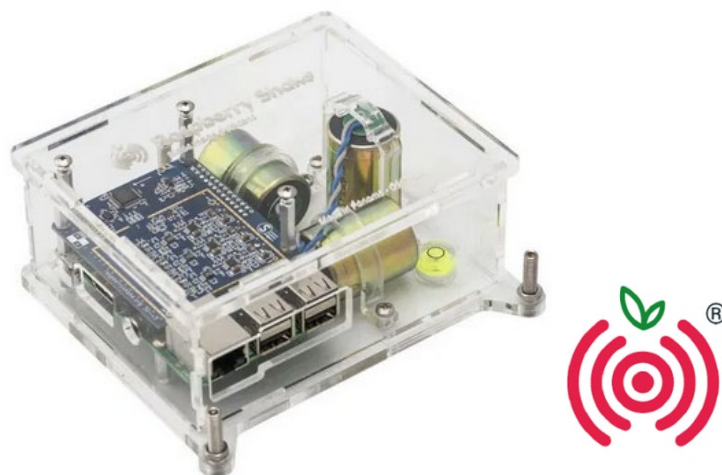


Abbildung 1: Plug-and-Play-Seismometer, wie er im Rahmen des Projekts verwendet wurde: der Raspberry Shake 3D (Indoor-Version). Bilder: <https://raspberrypshake.org/>

Dieses Projekt ist Teil einer „Hands-on“-basierten Kommunikationsstrategie rund um die Geothermie und Seismologie und stellt einen wichtigen Schritt für die Akzeptabilität der Geothermie dar¹.

¹ Azzola J, Bremer J (2025) Applied geophysics in schools to raise knowledge and awareness about geothermal energy and seismology. Societal Impacts 5:100116. <https://doi.org/10.1016/j.socimp.2025.100116>

2 Das Projektteam

Das Projektteam setzte sich zusammen aus Experten der Geothermieforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und aus dem Lehrkörper der IGS Wörth.

Dr. Jérôme Azzola ist Geophysiker und spezialisiert auf die Anwendung und Entwicklung innovativer seismischer Methoden zur Überwachung und Charakterisierung geothermischer Reservoirs, auch mit Hilfe partizipativer Konzepte.

Dr. Judith Bremer ist Geoökologin und koordiniert das Geothermie-Programm sowie die Kommunikation der Geothermie-Forschungsinfrastrukturprojekte des KIT. Sie hat sich auf dialogorientierte und partizipative Konzepte spezialisiert.

Andrea Huber ist Lehrerin für Geographie und Deutsch an der IGS. Sie leitet den Geografie-Leistungskurs, der an diesem Geothermie-Projekt teilnahm.

Paul König ist Lehrer an der IGS für Mathematik, Physik und Informatik und koordiniert die IT.

3 Programm

Im Vorfeld des Projekts stimmten Jérôme Azzola, Judith Bremer und Andrea Huber die inhaltliche Gestaltung des Lernangebots gemeinsam ab. Dabei wurden Lernziele, wissenschaftliche Schwerpunkte, der regionale Kontext, der Wissensstand und die Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler sowie die Anforderungen des Lehrplans miteinander verzahnt. Zur Vorbereitung des Kurses vermittelte Andrea Huber im Unterricht grundlegende Kenntnisse zur Geothermie im Rahmen einer Unterrichtseinheit zu erneuerbaren Energien.

Das Projekt wurde in drei Modulen von insgesamt etwa 7,5 Stunden im Zeitraum vom 27. Mai 2025 bis zum 26. Juni 2025 durchgeführt.

Alle im Rahmen des Projekts verwendeten Lernmaterialien – einschließlich der drei Poster zu seismischer Überwachung, geothermischen Technologien sowie natürlichen und induzierten Erdbeben, sämtlicher “Spickzettel”, Arbeitsanleitungen, Begleithefte und des Glossars – sind diesem Bericht beigelegt.

3.1 Modul 1 –27. Mai 2025 – 9:30 bis 11:15 Uhr

Zu Beginn wurde ein Fragebogen zur Projektevaluierung ausgefüllt (ca. 15 Minuten). Anschließend erfolgte eine Einführung in die zentralen Themen des Projekts – natürliche und induzierte Seismizität, seismische Überwachung sowie Tiefengeothermie – im Rahmen von drei thematisch strukturierten Workshops, unterstützt durch Poster und kurze interaktive Aufgaben.

Ablauf der Einführung:

- Begrüßung, Vorstellung des Betreuungsteams, Überblick über das Schulprojekt und das Programm (ca. 10 Minuten)
- Rotation durch drei Lernstationen in drei Gruppen
Dauer: 25 Minuten pro Station + 5 Minuten Wechselzeit
Material: Je ein Poster, Lernmaterialien wie verschiedene Seismometertypen, anschauliche Experimente, Übungsmaterial, Internetadressen für verlässliche Informationen, und begleitendes Handbuch mit Erläuterungen der wichtigsten Fachbegriffe
- Abschlussrunde (5 Minuten) mit Möglichkeit für Fragen sowie Ausblick auf Session 2

Poster 1: Seismische Überwachung

Vermittelte Inhalte:

Grundlagen der seismischen Überwachung: Zweck, Einsatzgebiete, Funktionsweise von Messnetzen und Instrumenten. Ablauf einer Überwachungskette – *Messen* → *Verarbeiten* → *Informieren* → *Rückmelden*.

Praktische Elemente:

- Vorstellung verschiedener Messgeräte zur Erfassung seismischer Daten; Funktionsweise eines Seismometers und Analyse eines Geophons
- Demonstration eines Raspberry Shake; Diskussion, welche Signale aufgezeichnet werden können
- Aufgabe: Erdbeben von anderen Erschütterungsquellen unterscheiden (Zuordnung von Ereignissen zu Plots)
- Einführung in Online-Datenplattformen (z. B. Station View, Data View) und Visualisierung von Livesignalen. Beispiele: RS3D-Netzwerk, Weitere internationale Erdbeben-Visualisierungsportale
- Interaktive Aufgabe: Gibt es Messstationen in der Nähe des eigenen Wohnorts oder aus dem Urlaub?

Poster 2: Die geothermischen Technologien.

Vermittelte Inhalte:

Überblick über verschiedene geothermische Technologien und deren Unterschiede. Funktionsweise geothermischer Reservoirs, Voraussetzungen für Wärmegewinnung und Stromerzeugung, geologisches Potenzial (u. a. Deutschland). Einführung in relevante Gesteinseigenschaften wie Porosität.

Praktische Elemente:

- Virtuelle Besichtigung einer Geothermieranlage

- Einsatz von Experimentierkoffern zur Demonstration von Porosität und weiteren Gesteinseigenschaften
- Untersuchung verschiedener Gesteinsproben
- Interaktive Aufgabe mit Tablet und der GEOTIS-Datenbank zur Darstellung geothermischer Potenziale

Poster 3: Natürliche und induzierte Erdbeben und ihre Messung.

Vermittelte Inhalte:

Entstehung von Erdbeben, Messmethoden und wesentliche Parameter (Magnitude, Hypozentrum etc.). Unterscheidung zwischen natürlichen und induzierten Ereignissen sowie deren Entstehungsmechanismen.

Praktische Elemente (Abbildung 2):

- Anschauungsmaterial wie ein Bohrkern zur Darstellung von Störungsstrukturen mit Klüften
- Visualisierung von Live-Daten eines vor Ort installierten RS3D (z. B. seismische Signale durch Springen)
- Demonstration von P- und S-Wellen (Video und praktische Übung)
- Interaktive Aufgaben zur Erdbebenlokalisierung und Magnitudenschätzung; Nutzung webbasierter Lernmodule und Simulationen



Abbildung 2: Lernstation mit Experimentierkoffer, Raspberry Shake und Visualisierung der Messwerte von Bodenerschütterungen sowie Bohrkern mit Kluft. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG

3.2 Modul 2 –28. Mai 2025 – 13:00 bis 16:00 Uhr

In dieser Einheit wurden der Raspberry-Shake-Sensor und seine Nutzung eingeführt. Ständig vorhandenes seismisches Hintergrundrauschen und seine Bedeutung bei der seismischen Überwachung von Geothermie-Projekten wurden erklärt. Für dieses Hintergrundrauschen sollte durch eigene Messungen ein Gefühl entwickelt werden. Raspberry Shakes wurden durch die Schüler selbst installiert und die ersten Daten erhoben.

Einführung (ca. 20 Minuten):

- Begrüßung, Rückblick auf Session 1
- Vorstellung des Wettbewerbs: *Welche Gruppe findet den Standort mit dem stärksten bzw. geringsten seismischen Hintergrundrauschen / Umgebungsschwingung?*
- Definition von Standortkriterien („Geräuschpegel“, Zugang zu Strom und GPS-Signal, keine Behinderung von Wegen etc.)
- Einweisung in die Benutzung der Raspberry Shakes (Abbildung 3)



Abbildung 3: Kennenlernen der Raspberry Shakes. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG

Installation (4 Gruppen, jeweils 1 RS3D + 1 Laptop):

Vier Gruppen wurden gebildet. Diese suchten sich eigenständig Orte in den Schulgebäuden zur Installation ihrer Raspberry Shakes (Abbildung 4). Bei Fragen stand das Projektteam zur Verfügung.

- Aufstellen und Ausrichten des Sensors
- Dokumentation (Koordinaten, RS3D-ID, IP-Adresse)
- Überprüfung der Netzwerkverbindung

IT-Einführung:

- Laden und Übertragen der ersten Daten gemäß Spickzettel
- Einführung in grundlegende Routinen (Datenübertragung, Qualitätskontrolle; Abbildung 5)
- QC-Check mittels bereitgestellter Programme/Skripts (Python/ObsPy)



Abbildung 4: Messstellen auf dem Schulgelände, die von den Schülern ausgewählt wurden, und erster Qualitätscheck. Fotos: Jens Arnold, Daimler Truck AG



Abbildung 5: Einführung in die Benutzung der Skripts. Foto: Jens Arnold, Daimler Truck AG

3.3 Selbstständiges Arbeiten

Die RS3D-Messgeräte nahmen im Zeitraum zwischen Session 2 und 3 kontinuierlich Daten auf.

Aufgaben der Schülergruppen:

- Wöchentlicher Vor-Ort-Check der Station (Funktionskontrolle anhand der LEDs)
- Alle zwei Wochen: Datenübertragung gemäß Anleitung

3.4 Modul 3 – 26. Juni 2025 – 8:45 bis ~11:15

In dieser abschließenden Einheit wurden sämtliche Daten erfasst, geprüft und ausgewertet.

Ablauf:

- Einführung, Einsammeln der Datensätze und Durchführung eines QC-Checks
- Jede Gruppe erhielt ihren vollständigen Datensatz
- Datenverarbeitung gemäß vorgegebenen Spickzetteln: Datenauswertung, Ergebnisinterpretation und Vorstellung
- Bestimmung der Gewinnergruppe des Wettbewerbs

Projektabschluss:

- Gemeinsames Fotoshooting
- Übergabe der Teilnahmeurkunden im Beisein der Geschäftsführung von WärmeWerk Wörth und des Bürgermeisters
- Abschließende Durchführung des Evaluationsfragebogens

4 Geophysikalische Beobachtungen

4.1 „Quality-Check“ des Datensatzes

Ein Problem bei der Datenerfassung ist in Abbildung 6 zu erkennen. Bei drei der vier installierten Stationen hat der Datenlogger einige Stunden nach der Installation aufgehört, Daten zu speichern. Diese Unterbrechung des Datenloggers kann durch das Fehlen einer Internetverbindung verursacht werden, insbesondere wenn der RS3D ohne Verbindung zu einem Router betrieben wird. Dies ist bei dem hier vorgeschlagenen Experiment mit der Schule der Fall, bei dem beschlossen wurde, die Daten direkt auf der SD-Karte des Geräts zu speichern, anstatt sie über einen Router auf einen Remote-Server zu übertragen.

Die Datenspeicherung wurde erst am Montag, dem 23. Juni, wiederhergestellt. Bei einer Station sind in regelmäßigen Abständen Stromausfälle während der Nacht zu beobachten.

Um dieses Verhalten zu vermeiden, empfehlen wir, den „OFF LINE“-Modus des Raspberry Shake zu testen, wenn dieser nicht mit einem Router installiert ist. Wir empfehlen, das RS3D zukünftig mit einem Internetnetzwerk/VPN-Server zu verbinden, um das Gerät aus der Ferne überprüfen zu können.

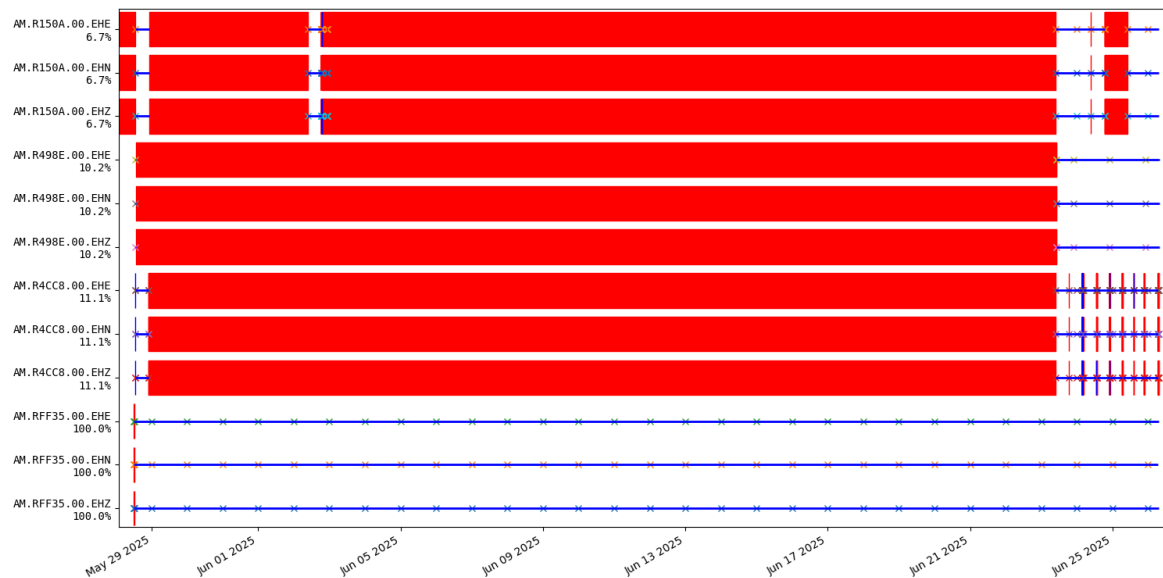


Abbildung 6: Datensätze jeder Station / RS3D. Jede RS3D zeichnet auf 3 Kanälen auf. Die Datenerfassung während der Projektlaufzeit wird durch die blaue Linie dargestellt. Eine Unterbrechung der Datenspeicherung wird durch eine rote Linie/ein rotes Feld dargestellt.

Aufgrund des technischen Problems bei der Datenerfassung konzentrieren wir die vergleichende Analyse auf einen Zeitraum von etwa 3 Tagen gleichzeitiger Datenerfassung (Abbildung 7).

4.2 Datenverarbeitung

Für die Datenverarbeitung und die Bewertung des „Geräuschpegels“ des seismischen Hintergrundrauschens gibt es zwei Möglichkeiten. Diese Ansätze werden mithilfe von zwei Python-Skripten umgesetzt, die den Schülern zur Verfügung gestellt werden.

Zum einen können wir die Zeitreihen (Entwicklung der aufgezeichneten Bodenvibrationsamplitude im Laufe der Zeit) betrachten und Muster erkennen. Wir können zeitabhängige Veränderungen (z. B. Tag vs. Nacht) oder den Einfluss bestimmter Umgebungen (Sportunterricht in der Turnhalle) analysieren.

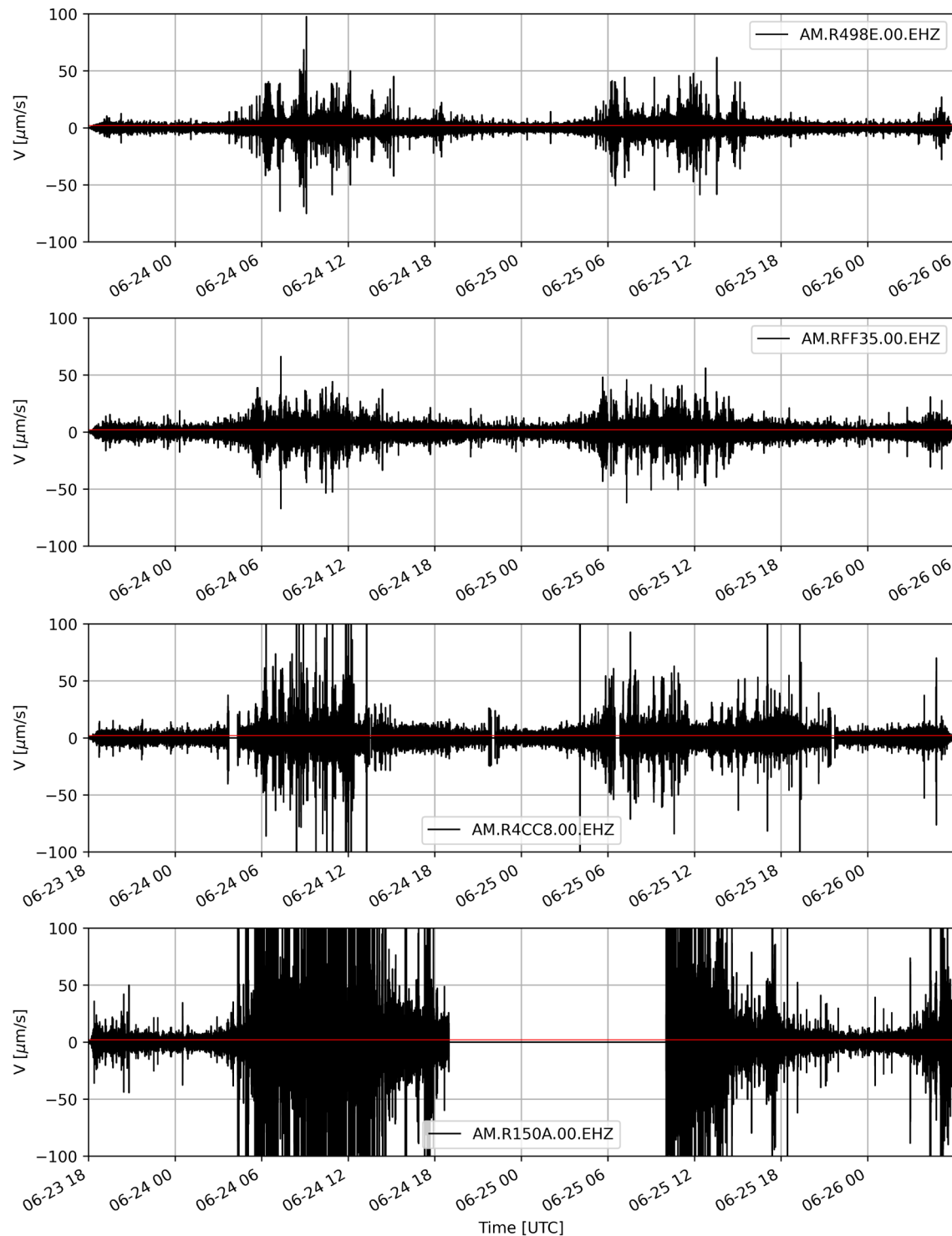


Abbildung 7: Wellenformen (Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von der Zeit), aufgezeichnet auf der vertikalen Komponente Z der Seismometer während der dreitägigen Datenerfassung.

4.3 Vergleich der Messstellen

Zum anderen können wir Lärmpegel auf der Grundlage von Indikatoren schätzen und bewerten, um einen konsistenteren Vergleich des seismischen Hintergrundrauschens an den getesteten Standorten zu ermöglichen.

Um das Verhalten an verschiedenen Standorten zu vergleichen, schätzen wir einen Indikator in Zeitfenstern (I95) und analysieren die Werte statistisch.

Wir analysieren jedes 5-Minuten-Fenster hinsichtlich der Amplitude der Bodenvibrationen.

In jedem Fenster schätzen wir den I95-Wert, der die folgende Frage beantwortet: Wie breit ist das Intervall, das 95 % der aufgezeichneten Amplituden umfasst? Dies wird in der folgenden Abbildung 8 veranschaulicht.

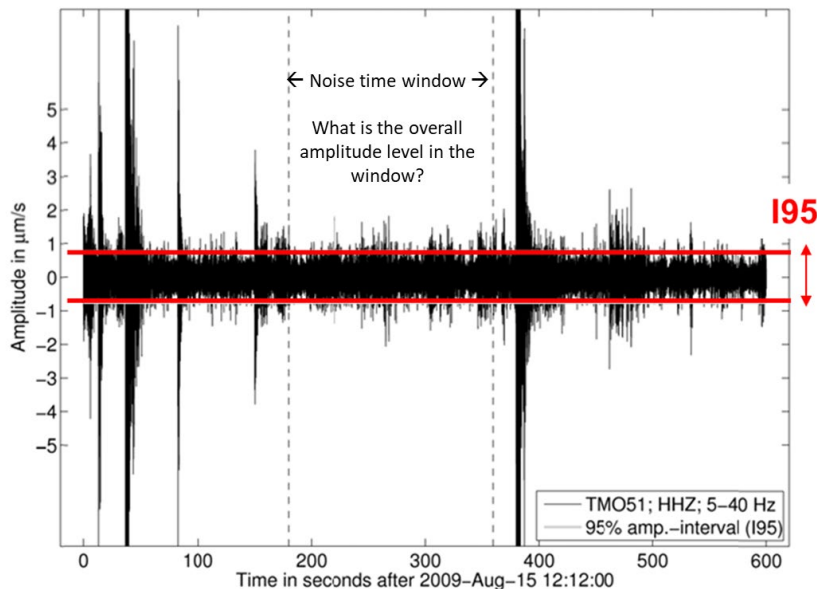


Abbildung 8: Illustration der Berechnung von I95 in einem Fenster mit Umgebungsgeräuschen.

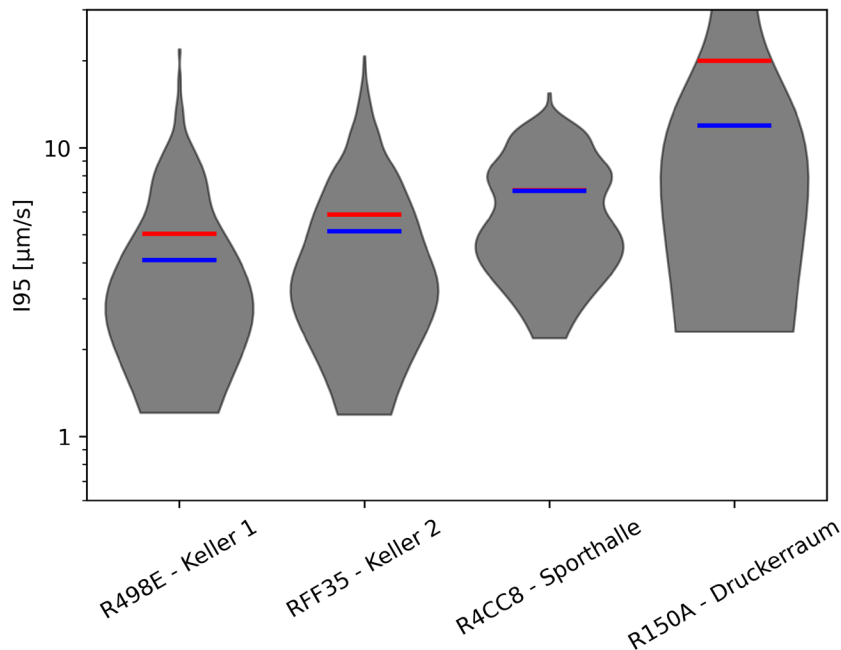


Abbildung 9: Violin Plot (statistische Darstellung) der I95-Werten, berechnet anhand sukzessiver Fenster, die in den Aufzeichnungen der vertikalen Komponente jedes RS3D definiert sind. Die Werte werden nach Filterung der Daten im Frequenzbereich von 5 bis 40 Hz berechnet. Die Ränder des Diagramms zeigen die Verteilung der Werte an. Die blaue Linie zeigt den Durchschnitt und die rote, den Medianwert.

Anschließend können wir alle in 30-Minuten-Fenstern berechneten Werte statistisch analysieren (Abbildung 9). So können wir auf einen Blick erkennen, dass eine Station im Durchschnitt „lauter“ ist als eine andere, also ein größeres seismisches Hintergrundrauschen aufweist.

Die Abbildung 10 zeigt die statistische Verteilung der I95-Werte für den gesamten analysierten Zeitraum, wobei der Medianwert rot und der Mittelwert blau dargestellt ist. Der Violin-Plot erstreckt sich vom Minimal- bis zum Maximalwert.

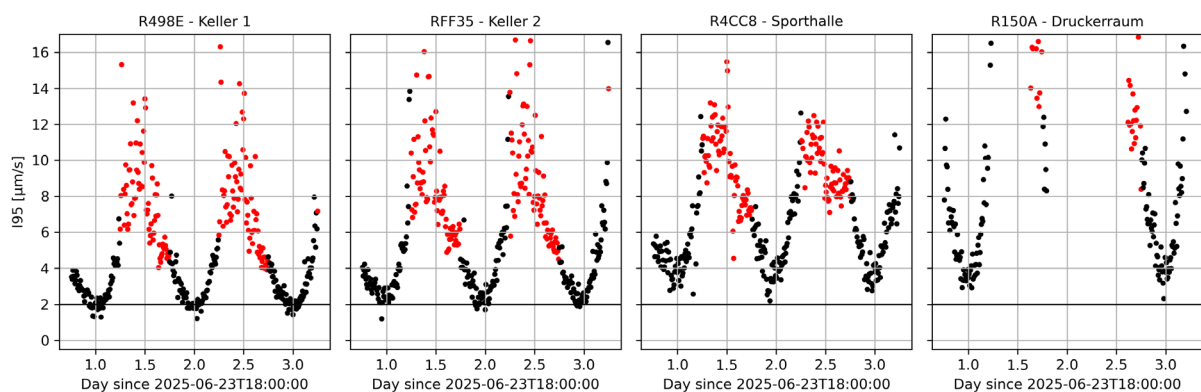


Abbildung 10: Gleiche Werte wie in Abbildung 5, jedoch mit zeitlicher Variation der I95-Werte und Angabe, ob das Fenster während der Nacht (schwarze Punkte, zwischen 7:00 und 19:00) oder während des Tages (rote Punkte) genommen wurde.

Die Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung der I95-Werte, wobei rote Werte die tagsüber durchgeführten Messungen und schwarze Werte die nachts durchgeführten Messungen hervorheben. Die Abbildung zeigt einen deutlichen Kontrast und einen deutlichen Tag-Nacht-Rhythmus.

5 Projektevaluation oder „*Mich hat überrascht, dass unsere Region so energetisch nutzbar ist*“

Um den Lernerfolg und die Wirkung des Workshops zu erfassen – auch im Hinblick auf eine inhaltliche und pädagogische Weiterentwicklung der Lernmodule – wurde das Projekt durch eine Vorher-Nachher-Befragung der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler (SuS) begleitet. Die Evaluation ermöglicht eine Einordnung, inwiefern das Projekt zu seismischen Messungen und Geothermie seine Ziele erreicht hat. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung des inhaltlichen Wissens, der Veränderung von Einstellungen gegenüber Geothermie sowie der Einschätzung, wie praxisnahes Arbeiten und der Bezug zur geplanten Geothermie-Anlage das Interesse der Lernenden geweckt hat. Der Fragebogen deckt mehrere Aspekte ab, sollte aber in diesem Schulprojekt-Rahmen auch nicht zu lang werden. Die Befragung hat deshalb nicht den Anspruch, ein allumfassendes Bild zu zeichnen. Sie will Tendenzen für Wirkungen des Projekts zeigen und Anstöße für eine Weiterentwicklung geben. Vor und nach dem Projekt nahmen jeweils 13 SuS teil.

5.1 Demographische Angaben

Die SuS gaben alle an 17 oder 18 Jahre alt zu sein.

5.2 Gefühlsbezogene Imagination („Affective Imagery“)

Die SuS wurden vor dem Projekt (aber nach den einführenden Unterrichtseinheiten im regulären Unterricht) gebeten, die ersten drei Worte, die ihnen zum Thema „Tiefe Geothermie“ spontan in den Sinn kamen, aufzuschreiben. Bei jedem Wort sollten sie anschließend auf einer sechsstufigen Skala festhalten, ob sie damit ein positives oder negatives Gefühl verbanden.

Zur Einordnung der Worтеinfälle (Abbildung 11) wurden folgende Kategorien identifiziert: Energie und Energieform, Nachhaltigkeit, Geologie, Technologie & Infrastruktur und Erdbeben & Überwachung. Vor dem Projekt standen die Themen Energie und Energieform im Fokus, gefolgt von Technologie & Infrastruktur und Geologie (Abbildung 12). Die positiven Gefühle bzgl. der genannten Worte überwogen bei einem Mittelwert von 4,3 auf einer Skala von 1 (sehr negativ) bis 6 (sehr positiv) (siehe Abbildung 12). Die Anzahl der positiv besetzten Begriffe überwog (28 positiv zu 11 negativ besetzten).



Abbildung 11: Wortwolke mit spontanen Einfällen der Schülerinnen und Schüler zum Begriff „Tiefe Geothermie“.

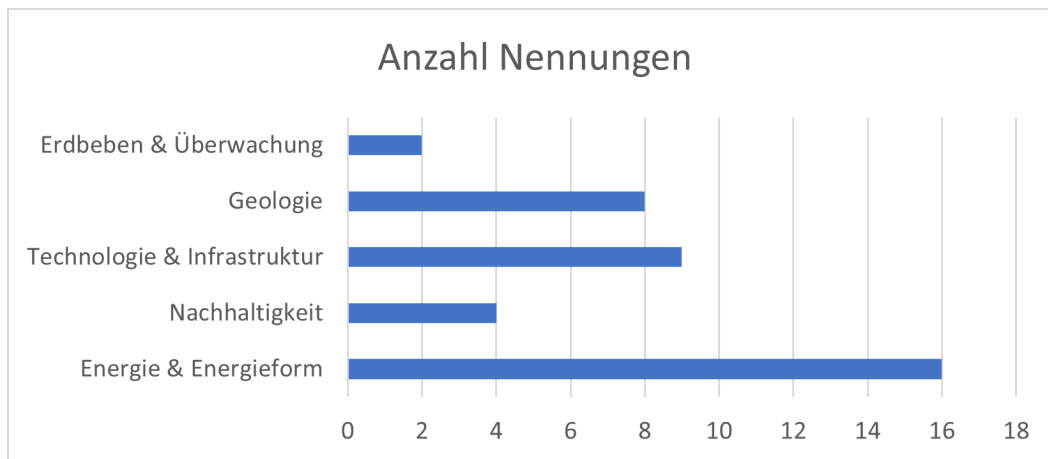


Abbildung 12: Histogramm der Wortnennungen in den identifizierten Kategorien vor dem Projekt

Nach dem Projekt waren weiterhin die meisten Nennungen mit Energie & Energieformen assoziiert, aber die Worteinfälle waren nun deutlich mehr mit den Projekthinhalten Seismizität und Überwachung (abgebildet durch die Kategorie „Erdbeben und Überwachung“) verknüpft (Abbildung 13). Obwohl man annehmen könnte, dass dies negative Emotionen hervorruft, wurden die genannten Begriffe positiver als zuvor wahrgenommen und angegeben (Mittelwert von 4,6; 32 positiv besetzte zu 7 negativ besetzten Begriffen). Die aktive Beschäftigung auf sachlicher Ebene mit einem sonst eher negativ besetzten Thema, scheint in diesem Fall eher positive Wirkungen auf emotionaler Ebene gehabt zu haben.



Abbildung 13: Worteinfälle nach dem Projekt

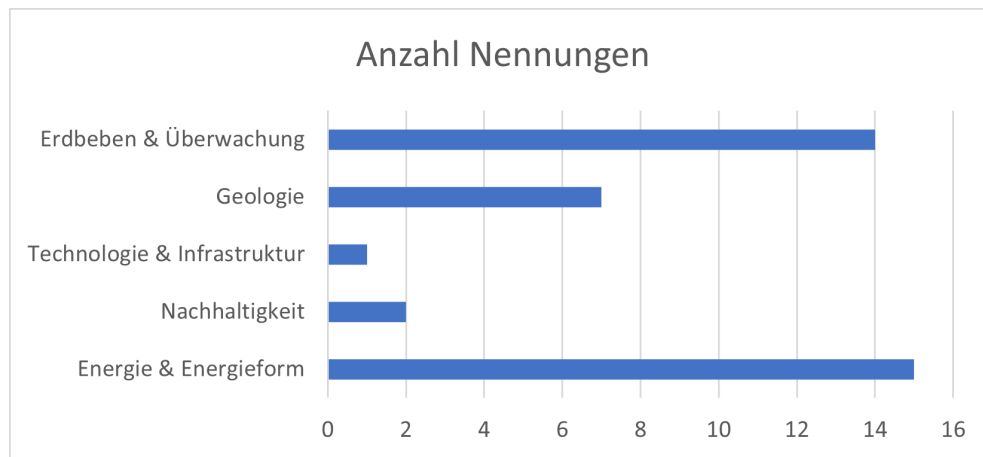


Abbildung 14: Histogramm der Wortnennungen in den identifizierten Kategorien nach dem Projekt

5.3 Informiertheit und Wissen zu Seismologie

Mithilfe von vier kurzen Fragen sowie einer *Multiple Choice*-Frage zum Themenfeld Seismologie sollte ein grobes Bild davon erstellt werden, wie gut die SuS sich über Seismologie informiert fühlen und welches Vorwissen sie haben.

Die Befragung vor dem Projekt zeigt schon eine recht hohe Vorbildung im abgefragten Themenbereich. Die SuS fühlen sich zu Bodenerschütterungen und Erdbeben relativ gut informiert. Selbst Bodenerschütterungen wahrgenommen hatten die wenigsten. Auch Kenntnisse zur Arbeit eines Seismologen hatten sie eher weniger.

In allen abgefragten Bereichen ist nach dem Projekt ein Wissenszuwachs zu verzeichnen. Besonders ihr Wissen und Wahrnehmung zu den zwei Aspekten Bodenerschütterungen und Arbeit eines Seismologen werden nun höher eingestuft. Die Wissensfrage wurde schon vor dem Projekt nur zweimal falsch beantwortet, nach dem Projekt nur noch einmal.

5.4 Informiertheit und Wissen zu Geothermie

Bei diesem Frageblock wurde abgefragt, wie gut sich die SuS über Geothermie informiert fühlen und ob es vor dem Projekt schon Berührungspunkte zur Technologie gab.

In diesem Bereich schätzen die SuS ihre Informationen geringer ein als bei der Seismologie. Vom Projekt WärmeWerk Würth hatten die meisten vor dem Projekt nichts bis wenig gehört (Modalwert: 1 – „trifft gar nicht zu“). Die Fragen zur Geothermie wurden überwiegend richtig beantwortet (Fehlerquote von 14%). Nach dem Projekt nahm die Fehlerquote mit 6% nochmals ab. Bei den Wissensfragen zu den geothermischen Besonderheiten der Region wie der Wärmeanomalie ist auch ein Wissenszuwachs zu verzeichnen; die Fehlerquote fiel von 26% auf 17%.

5.5 Wahrnehmung der Geothermie

Im nächsten Frageblock wollten wir einen Eindruck davon gewinnen, welche Chancen und Risiken der Tiefen Geothermie von den SuS gesehen werden.

Insgesamt waren die beteiligten SuS positiv gegenüber der Geothermie eingestellt, und zwar sowohl auf allgemeiner Ebene als auch bezogen auf die Region. Während die allgemeine Einstellung zur Geothermie vor und nach dem Projekt ungefähr gleich blieb, stieg die positive Einstellung zum regionalen Nutzen („Geothermie-Nutzung in unserer Region hat mehr Vor- als Nachteile“) nach dem Projekt noch etwas an (Modalwert 4 vor dem Projekt, Modalwert 5 nach dem Projekt auf einer Skala von 1 bis 6).

Zu den Vorteilen, die die SuS für besonders relevant hielten, gehörten insbesondere „CO₂-neutral“, „lokale Energiegewinnung“ und „schadstoffarm“. Im Risikovergleich per drag-and-drop für verschiedene Energietechnologien und CCS auf einer relativen Skala von 0 (kein Risiko) bis 1000 (extrem hohes Risiko) ergab sich ein relativ niedriger Wert für die Geothermie (Abbildung 15).

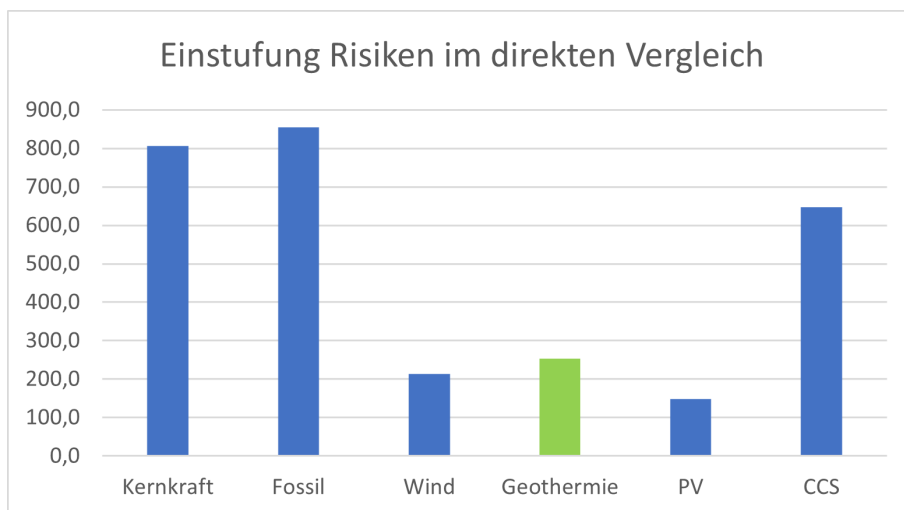


Abbildung 15: Einschätzung der Risiken verschiedener Energieträger und CCS im Vergleich.

Auf die Frage, welche Überwachung beim Betrieb einer Geothermieranlage den SuS besonders wichtig wäre, stuften die SuS die Überwachung möglicher Bodenerschütterungen als am wichtigsten ein, gefolgt von der Grundwasserüberwachung und der Kontrolle der Leistung der Anlage.

5.6 Motivation für das Projekt

Wir fragten die SuS vor dem Projekt, was sie am meisten motiviert und für was sie sich am meisten interessieren. Dieser Geografie-Leistungskurs schien an allen Aspekten interessiert und insgesamt motiviert zu sein. Das zeigte sich nicht erst im Projekt selbst, sondern schon vor dem Projekt: Alle Aspekte wurden relativ hoch bewertet. Am meisten reizte die SuS die Arbeit mit Wissenschaftlern, die Datenanalyse und Interpretation, das Workshop-Format und das

Seismologie-Thema (Abbildung 16). Abbildung 17 zeigt vor dem Projekt formulierte Erwartungen und Wünsche an die kommenden Module.

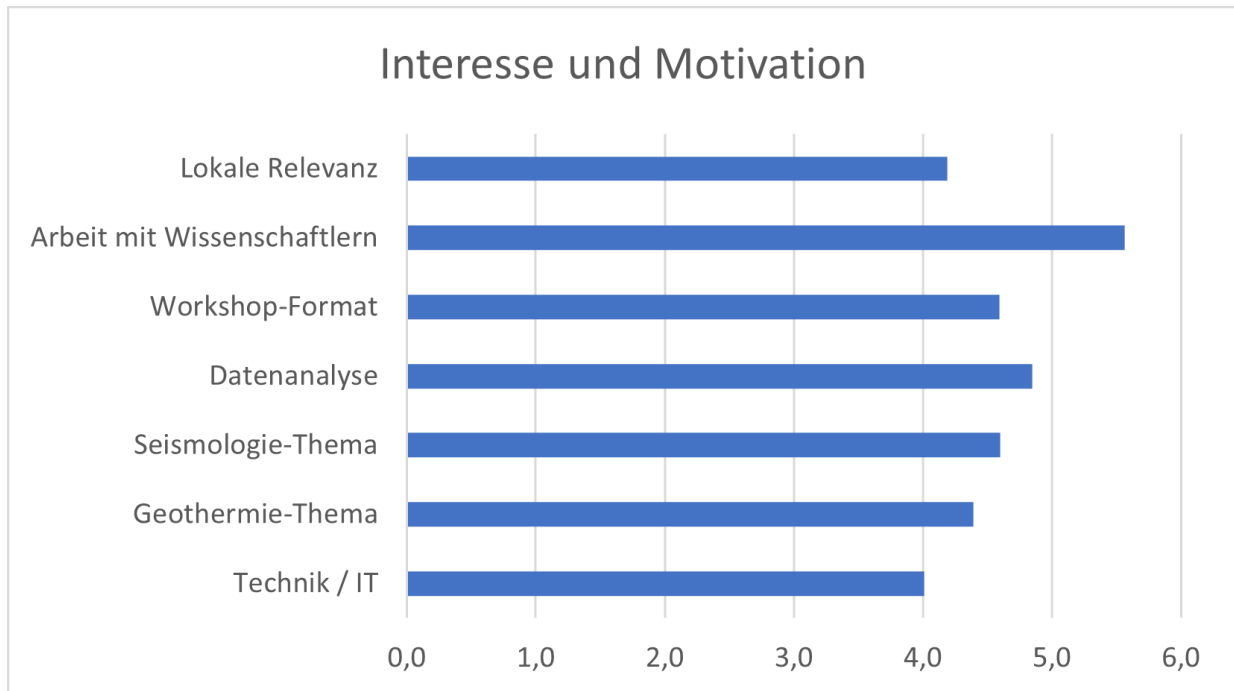


Abbildung 16: Einstufung der Interessen der SuS an bestimmten Aspekten des Projekts (Angabe vor dem Projekt).

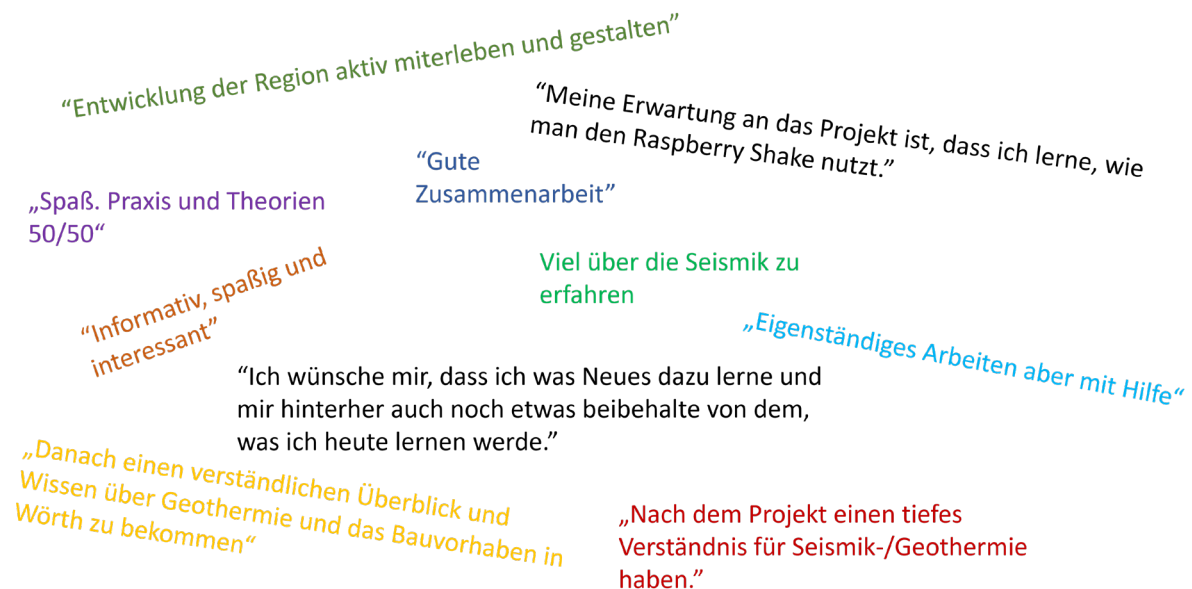


Abbildung 17: Vor dem Projekt formulierte Erwartungen und Wünsche an das Projekt

5.7 Bewertung im Rückblick

Die meisten SuS bestätigten, dass sie neue Erkenntnisse erworben haben (Modalwert 5 in einer Skala von 1 bis 6). Der Aussage, dass sie das Projekt neugierig auf Wissenschaft gemacht hat, stimmten sie eher zu. „Etwas Praktisches zu tun“ war den SuS insgesamt und deutlich am

Wichtigsten gewesen. Sie stufen ihr Verständnis von Tiefer Geothermie im Vergleich zu vor dem Projekt als höher ein. Sie bestätigten auch, dass sie ein besseres Verständnis und "Gefühl" für Bodenvibrationen gewonnen haben. Den Lerninhalten bescheinigten sie eine verständliche Darstellung. Sie hatten nicht das Gefühl, dass die Lerninhalte zu komplex gewesen waren. Die SuS konnten überwiegend ihre Fähigkeiten und Ideen in das Projekt einbringen; für weniger Technikbegeisterte traf dies aber eher nicht zu. Letzteres schlug sich auch in der Bewertung wieder, ob das Projekt Spaß gemacht. Für die überwiegende Zahl der Befragten traf dies gemäß der Erhebung aber zu (Abbildung 18).

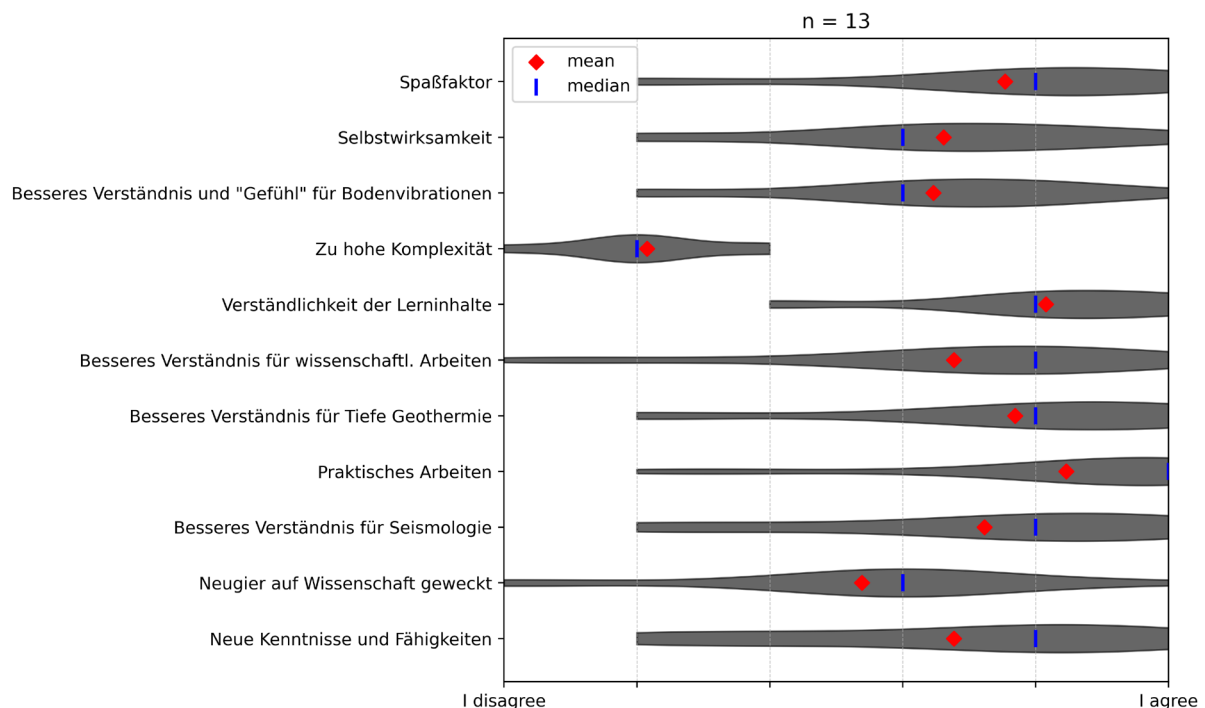


Abbildung 18: Verteilung der Antworten (n = 13) auf den Fragebogen zur Bewertung des wissenschaftlichen Verständnisses, der praktischen Erfahrungen und der wahrgenommenen Lerngewinne. Jede horizontale Violin-Darstellung zeigt die Verteilung der Antworten zu einer Frage auf einer 6-stufigen Likert-Skala (1 = „Ich stimme nicht zu“, 6 = „Ich stimme zu“). Rote Rauten markieren den Mittelwert, blaue vertikale Striche den Median. Breitere Bereiche der Violine entsprechen häufigeren Antworten.

Bei dieser abschließenden Projektbewertung durch die SuS selbst ist zu beachten, dass aus Zeitgründen die Befragung nicht wie geplant direkt nach dem Projekt stattfinden konnte, sondern erst nach den darauffolgenden Sommerferien. Dies hatte den Nachteil, dass nicht mehr alle Erinnerungen nach den langen Ferien ganz frisch waren. Aber dass Wissensfragen trotz dieses langen Zeitraums noch richtig beantwortet wurden und auch freie Kommentare sich teilweise auf Details bezogen, zeigt – unbeabsichtigt – eine gewisse Nachhaltigkeit der Wirkung des Projekts.

In der folgenden Tabelle werden die frei formulierten Gedanken zum Projekt dargestellt: Was war am besten, was am schlechtesten und was war überraschend? Auch hier wurde das praktische Arbeiten hervorgehoben. Zwei Kommentare freuen uns besonders: „Ich dachte, dass es ziemlich trocken und langweilig wird, aber es ist ziemlich cool.“ Und in Bezug auf die Geothermie: „Mich hat überrascht, dass unsere Region so energetisch nutzbar ist.“

Tabelle 1: Zitate der SuS aus dem Fragebogen

Was war am besten?	Was war am schlechtesten?	Was war überraschend?
Das praktische Installieren der Raspberry-shakes.	Ich hatte wenig Ahnung von Technik und konnte beim Auslesen nicht viel beitragen.	Die Ergebnisse der Sporthalle und des Druckerraumes waren sehr überraschend.
Die Auswertung am Ende von allen Gruppen	Ich glaube es gab nicht wirklich, was ich schlecht fand, aber ist bisschen unlucky dass die RaspberryShakes abgestürzt sind (niemand konnte etwas dafür)	Ich dachte dass es ziemlich trocken und langweilig wird, aber es ist ziemlich cool. Besonders bei der Vorbereitung habe ich gedacht, dass es zu trocken wird, aber viele Sachen wurden mit Beispielen (Bilder, Modelle, Programme, usw.) dargestellt, was gut war.
Praktische Gruppenarbeit	---	Endergebnisse
Das praktische Arbeiten und das selbstständige Auswerten der Messungen		
Das wir auch selber gemessen haben		
Das man eigenständig die Seismographen bedienen durfte	Wie die Programme, die helfen sollten die Daten auszuwerten waren sehr unübersichtlich	Hab es mir eigentlich so vorgestellt
Das Praktische Arbeiten	Keine	Interessant
Einen Ort für den RaspberryShake zu suchen		
Bildliche Darstellungen mit verschiedenen Stationen, die es besser verständlich gemacht haben	Dafür konnte keiner was, aber dass viele Gruppen keine Messdaten aufzeichnen konnte	Ich dachte es wäre vom Inhalt viel trockener
Ich fand am besten, dass man mit den gleichen Mitteln wie richtige Forscher arbeiten konnten. Na klar, unser Rasperry Shake war jetzt keine hochwertige Sonde, aber für unsere Zwecke haben die Minicomputer vollkommen ausgereicht.	Fällt mir spontan nichts ein.	Mich hat überrascht, dass unsere Region so energetisch nutzbar ist.

6 Fazit

Das Schulprojekt „Dem Puls der Erde auf der Spur“ ermöglichte den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern einen strukturierten Einblick in grundlegende geowissenschaftliche Themen und die Tiefengeothermie sowie in Methoden der seismischen Messung und Datenanalyse. Die Kombination aus kurzen thematischen Einführungen, praktischer Arbeit mit Raspberry-Shake-Sensoren und anschließender Auswertung der Messdaten ermöglichte einen detaillierten Einblick in den Zusammenhang zwischen Tiefer Geothermie und seismischer Überwachung.

Die begleitende Befragung zeigt Veränderungen im Wissensstand sowie in einzelnen thematischen Assoziationen. Die Rückmeldungen der Lernenden liefern zudem Hinweise zur Verständlichkeit der Materialien und zur Gestaltung zukünftiger Lernmodule. Für eine

mögliche Wiederholung oder Ausweitung des Formats könnten insbesondere technische Aspekte der Datenerfassung sowie eine noch klarere Strukturierung der Auswertungsschritte weiter optimiert werden.

Das Projekt zeigt das Potenzial praxisnaher Lernformate in Kommunikationskonzepten, um junge Menschen für geowissenschaftliche Fragestellungen zu begeistern und ihnen zugleich ein grundlegendes Verständnis für die Prinzipien und Techniken moderner Energietechnologien und ihrer Überwachungsmethoden zu vermitteln.

7 Danksagung

Wir danken herzlich der Carl-Benz-Gesamtschule Wörth sowie den beteiligten Lehrerinnen und Lehrern, insbesondere Andrea Huber und Paul König, für die Organisation auf der Schulseite und die engagierte Unterstützung bei der Durchführung des Projekts. Unser Dank gilt ebenfalls den Schülerinnen und Schülern für ihre motivierte Teilnahme und die bereitgestellten Rückmeldungen. Wir möchten uns bei Daimler Truck, insbesondere bei Alice Kirr, für die Organisation des Kommunikationsrahmens und der Abschlussveranstaltung bedanken. Wir danken Thomas Kölbel und Robin Seithel von der EnBW für die Ermöglichung des Projekts, nicht zuletzt durch die Bereitstellung der Raspberry Shakes. Für die Aufnahme und Bereitstellung der Fotos danken wir Jens Arnold von der Daimler Truck AG. Unser Dank gilt außerdem der Geschäftsleitung von WärmeWerk Wörth und der Stadt Wörth für ihr Interesse und ihre Unterstützung bei der Abschlussveranstaltung.

Karlsruhe, Dezember 2025

