

Erdbebengefährdung im Odenwald

Untersuchungen der Untergrundeigenschaften in der Schadensbebenregion um Darmstadt

Kolloquium des Hessischen Landesamtes für
Naturschutz, Umwelt und Geologie

Dr. Lars Krieger

igem@igem-energie.de

06131-39-26594

www.igem-energie.de

Dr. Benjamin Homuth

benjamin.homuth@hlnug.hessen.de

0611-6939-303

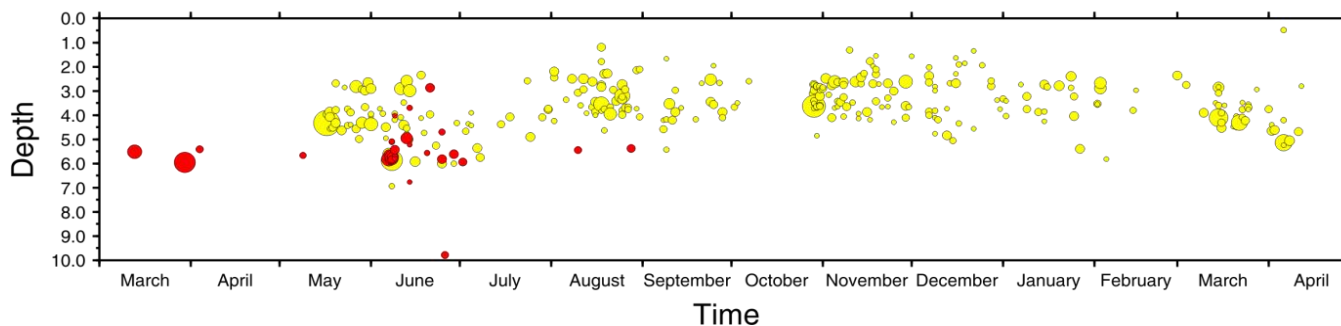
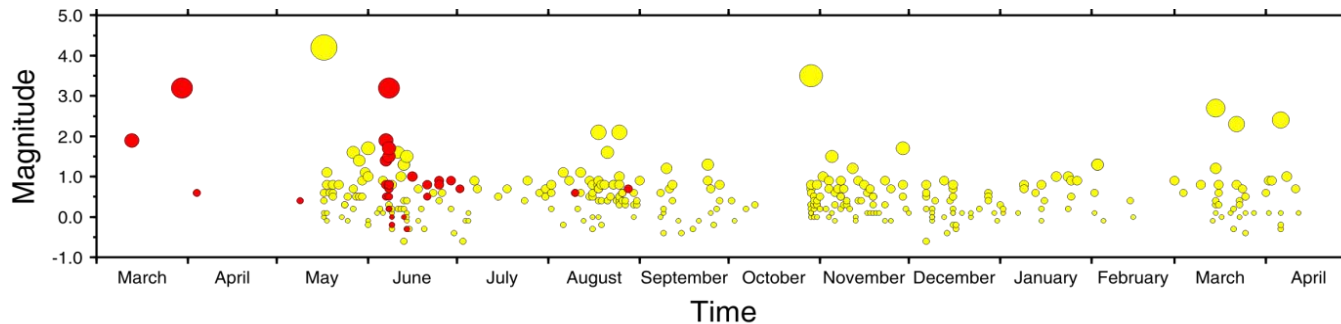
www.hlnug.de

Übersicht

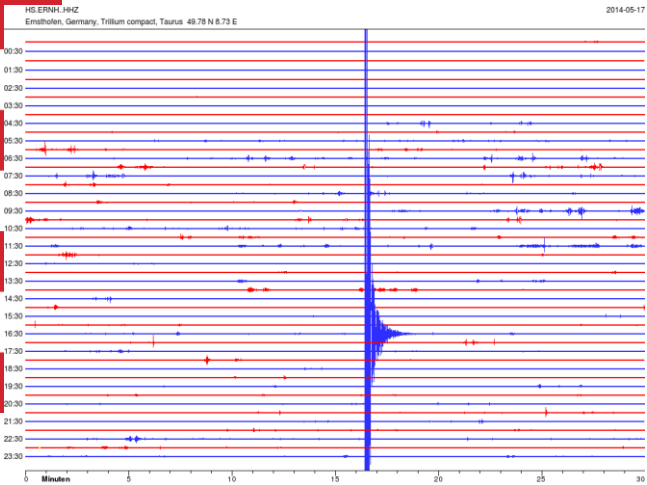
- Erdbebenserie bei Ober-Ramstadt
- Seismologie - Hintergrund
- lokale Informationen: die H/V-Methode
- Projekt *SEUSH*
- Ergebnisse
- Diskussion

Erdbebenserie bei Ober-Ramstadt

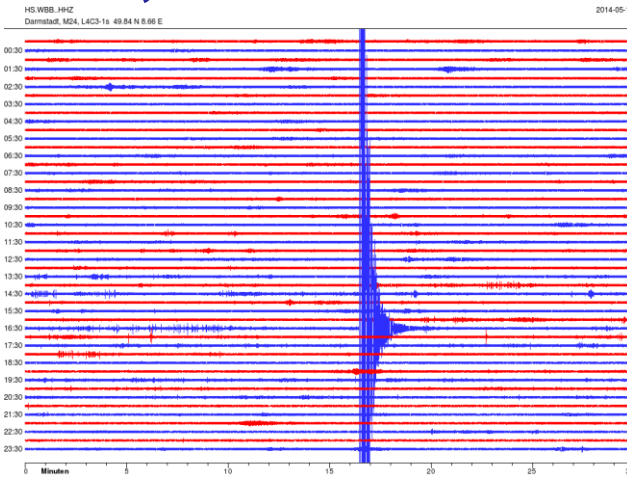
- 371 Erdbeben im Zeitraum März 2014 bis November 2015
- weitere Einzelereignisse in den Jahren 2017 und 2018
- Magnituden: M_L -0,5 bis 4,2
- 17.05.2014: M_L 4,2
 - Schadensbeben mit maximaler Bodenbeschleunigung von $1,5 \text{ m/s}^2$
 - Bodenschwinggeschwindigkeit von über 25 mm/s



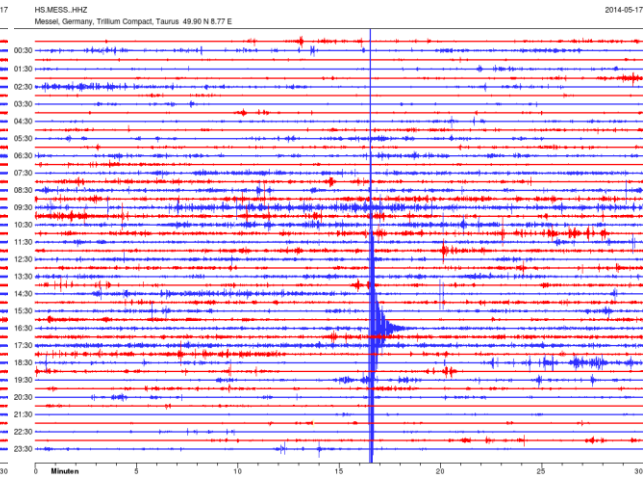
Beben vom 17.05.2014, 16:46 UTC



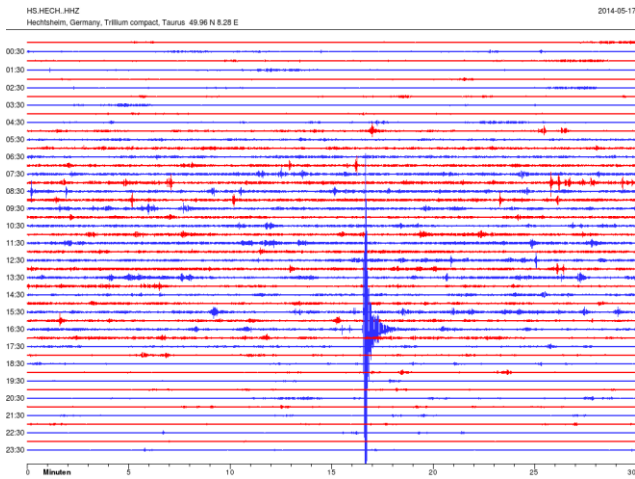
Ernsthofen



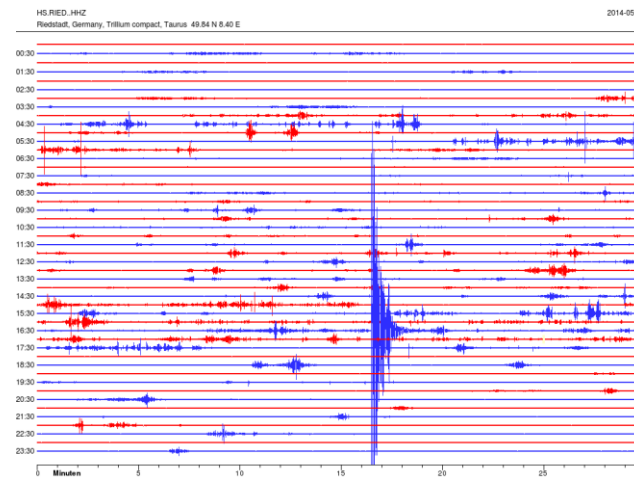
Darmstadt



Messel



Hechtsheim



Riedstadt

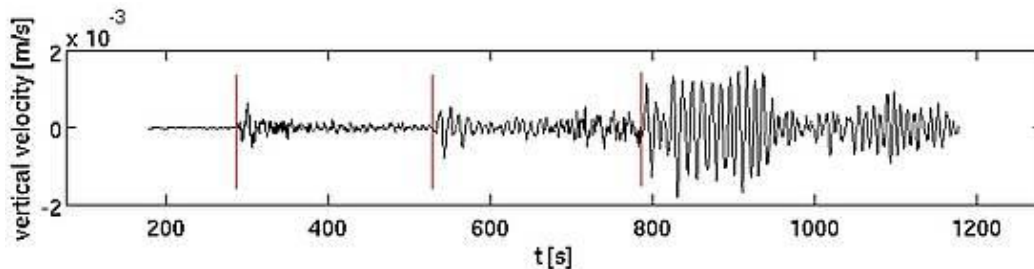
Magnitude
 M_L 4,2

Tiefe
 $4,3 \pm 1,5$ km

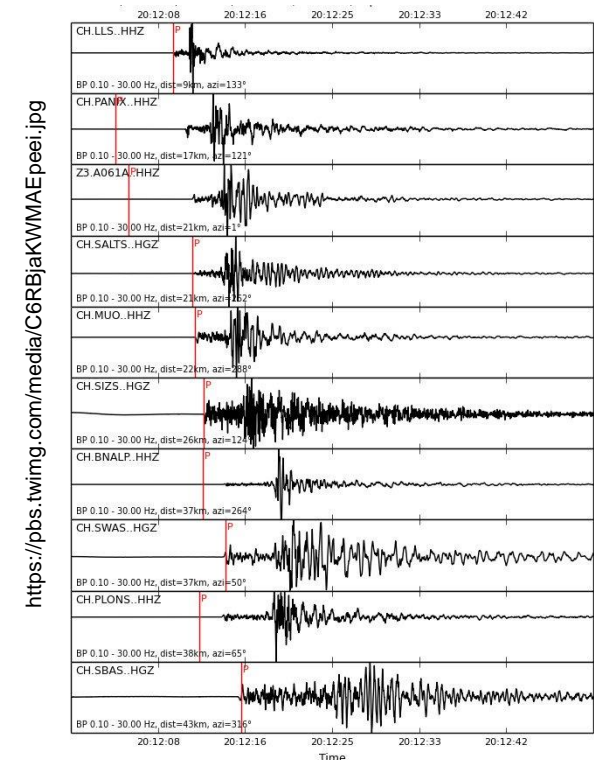
Seismologie

Methoden

1. Isolierte Ereignisse senden in alle Richtungen seismische Wellen aus
2. Die Wellen breiten sich durch die Erde aus
3. An der Oberfläche wird ein Teil der Energie in Oberflächenwellen umgewandelt (Umwandlung von Wellentypen generell an allen Schichtgrenzen)
4. 4 Arten von Wellen werden von Seismometern gemessen
5. „Vergleich“ der seismischen Daten von verschiedenen Seismometern erlaubt Rückschlüsse auf die Quelle...
6. ...und den zurückgelegten Weg



https://www.elitenetzwerk.bayern.de/typo3temp/_processed_/csm_01_3188d9b83b.jpg



Seismometer



http://mnsn.geo.uib.no/eworkshop/uploads/Main/STS-2_5.jpg



<https://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2013/04/streckeisen-sts2-seismometer.png>

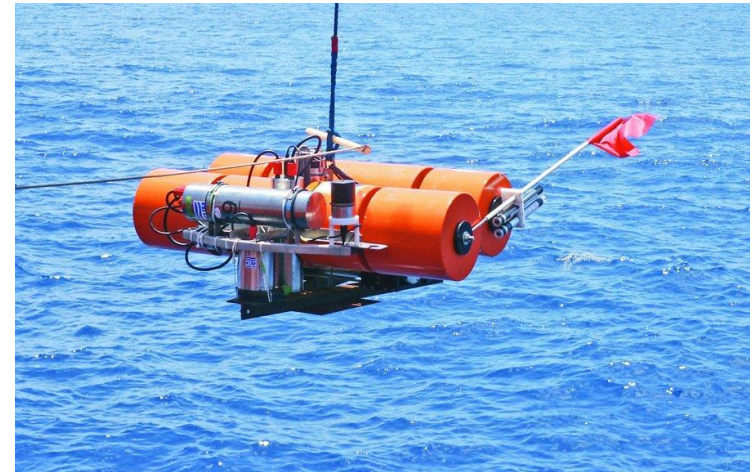


http://www.gfz.hr/sobe-en/photo/Moho_sobe%2002m.jpg

https://www.gfz-potsdam.de/fileadmin/_processed_/1/18/csm_IGURALP-compact_gross_07_b6e90523cb.jpg



<http://http://www.lennartz-electronic.de/images/Photos/Seismometers/LE-3Dlite.jpg>



http://www.waterkant.info/wp-content/uploads/2013/08/geomar_obu2_aus-1024x680.jpg

Seismometer

„optimal“ ...



https://fotos.verwaltungsportal.de/seitengenerator/gross/seismologische_station_heukewalde.jpg

„suboptimal“ ...



Seismometer

„optimal“ ...Langzeitmessungen



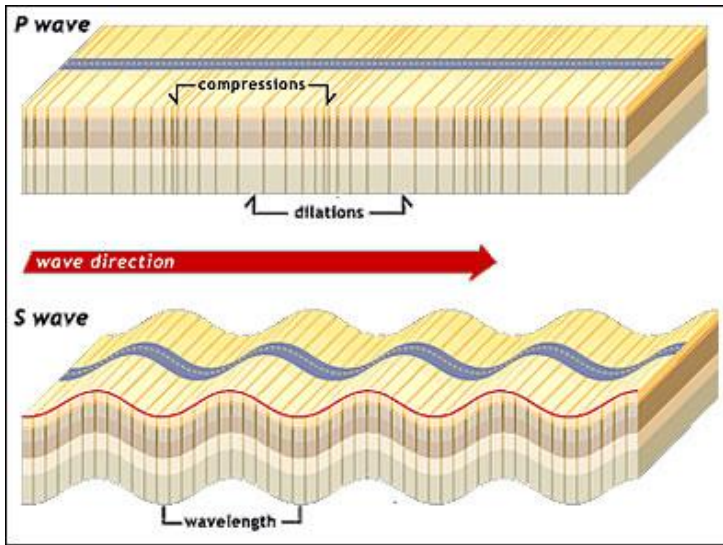
https://fotos.verwaltungsportal.de/seitengenerator/gross/seismologische_station_heukewalde.jpg

„suboptimal“ ...Kurzzeitmessungen



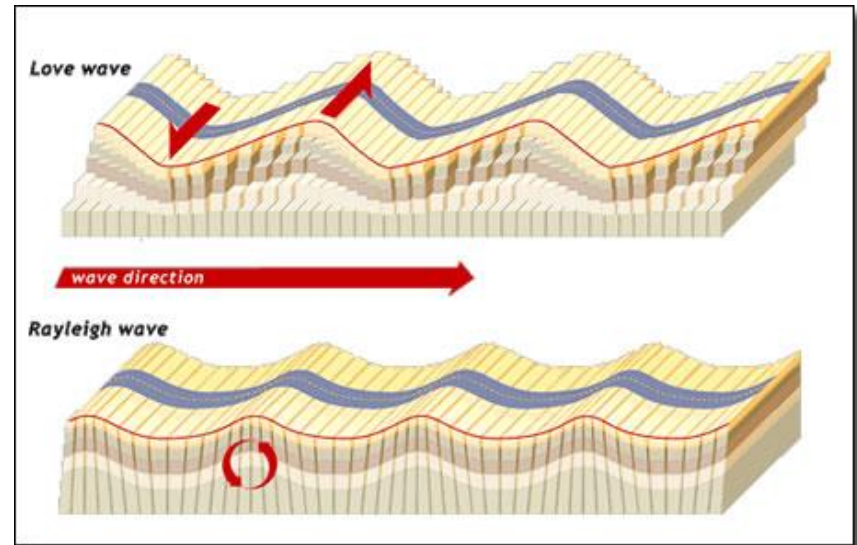
Wellenarten

Raumwellen



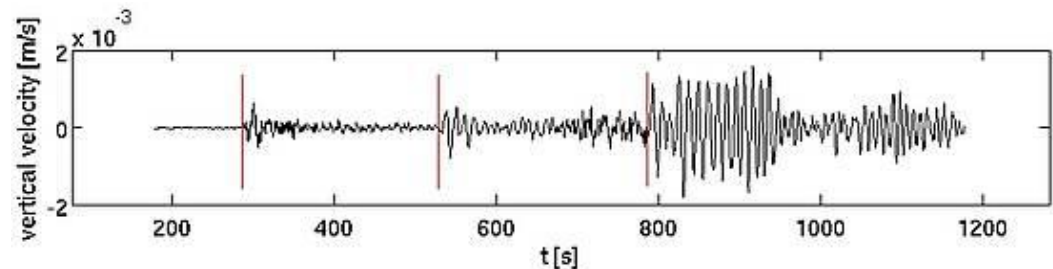
<https://www.sms-tsunami-warning.com/theme/tsunami/img/p-and-s-waves.jpg>

Oberflächenwellen



<https://www.sms-tsunami-warning.com/theme/tsunami/img/love-and-rayleigh-waves.jpg>

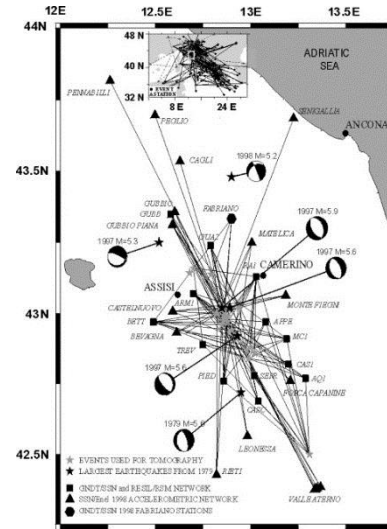
Raum- und Oberflächenwellen in einem Seismogramm



https://www.elitenetzwerk.bayern.de/typo3temp/_processed_/csm_01_3188d9b83b.jpg

Informationen über den lokalen Untergrund

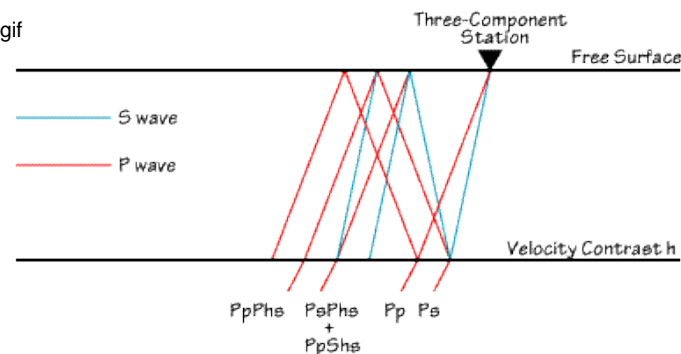
- Lokale und regionale Erdbeben: Spannungsfeld + Strukturen



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031920103001523#FIG1>

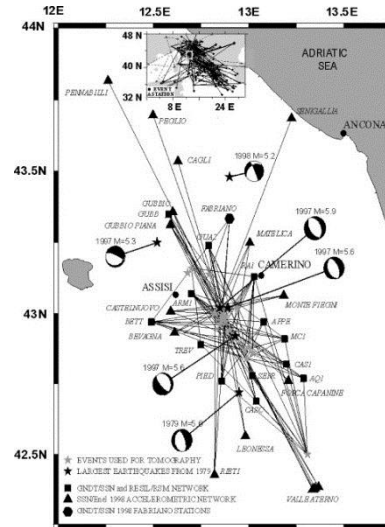
- Feine Unterschiede in Signalen zwischen den Komponenten eines Seismometers bei weit entfernten Signalquellen („receiver functions“)

<http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/RftnDocs/RftnArt/smplrays.gif>



Informationen über den lokalen Untergrund

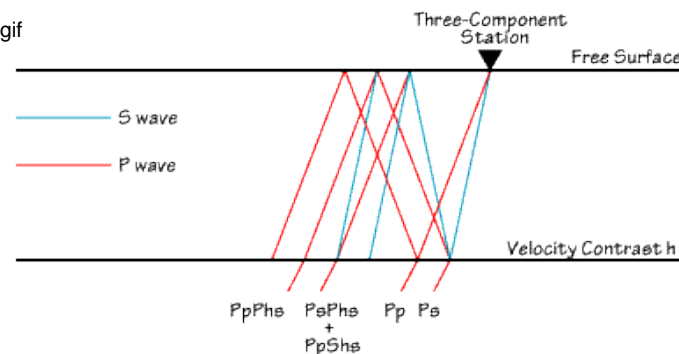
- Lokale und regionale Erdbeben: Spannungsfeld + Strukturen



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031920103001523#FIG1>

- Feine Unterschiede in Signalen zwischen den Komponenten eines Seismometers bei weit entfernten Signalquellen („receiver functions“)

<http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/RftnDocs/RftnArt/smplrays.gif>



- ... H/V-Methode

Theorie

- *Method of horizontal to vertical spectral ratios (HVSR)*
- *Kurz: H/V spectral ratios oder H/V-method*
- *Eher selten:
Methode der horizontal-zu-vertikal-Spektralamplitudenverhältnisse*

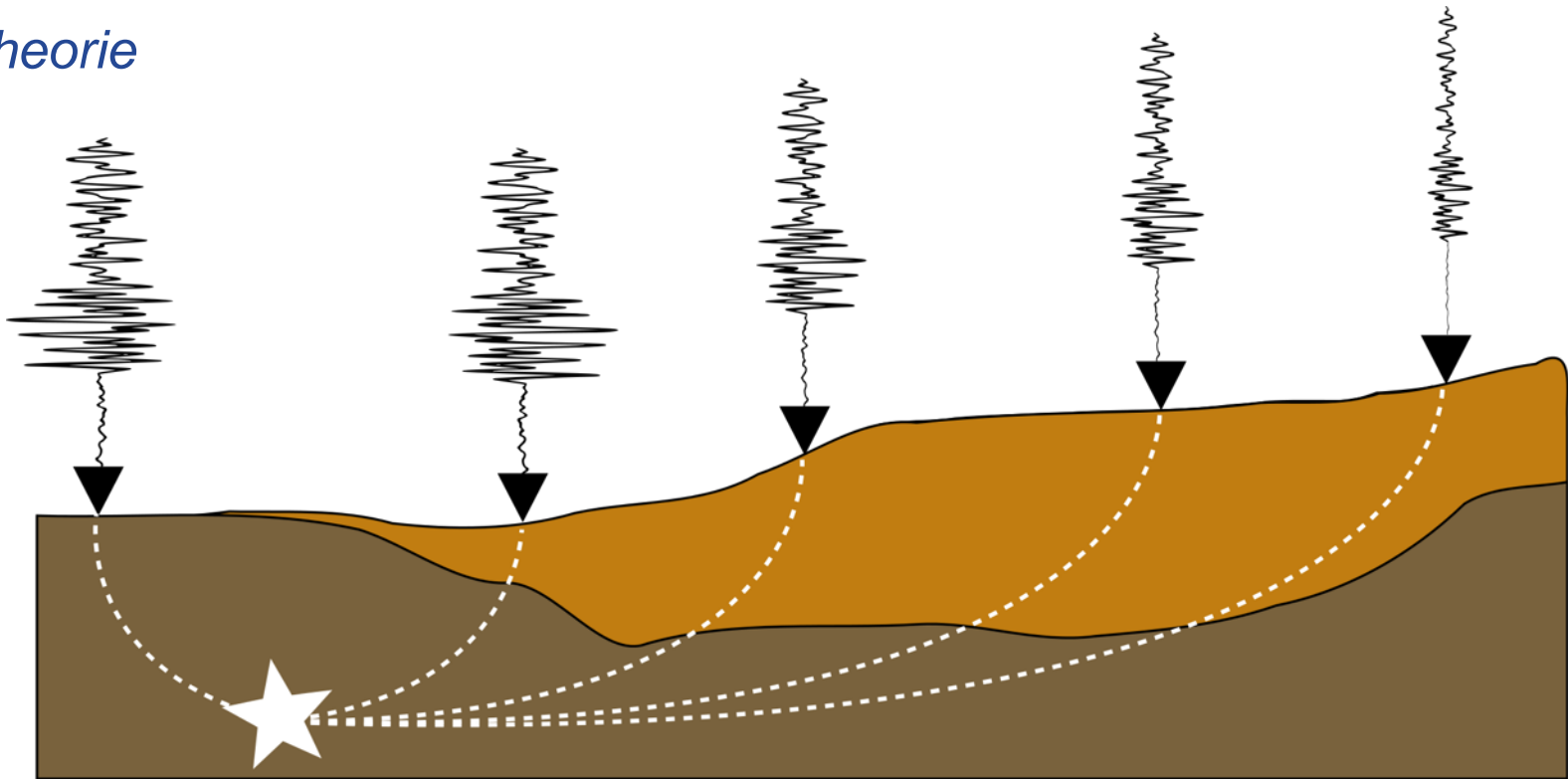
Theorie

- *Method of horizontal to vertical spectral ratios (HVSR)*
- Kurz: *H/V spectral ratios* oder *H/V-method*
- Eher selten:
Methode der horizontal-zu-vertikal-Spektralamplitudenverhältnisse

- Passive Methode
- Kurzzeitmessungen
- **Untersuchung bzgl. des Vorhandenseins von Deckschichten mit geringen seismischen Geschwindigkeiten**
- Sedimentschichten auf Festgestein

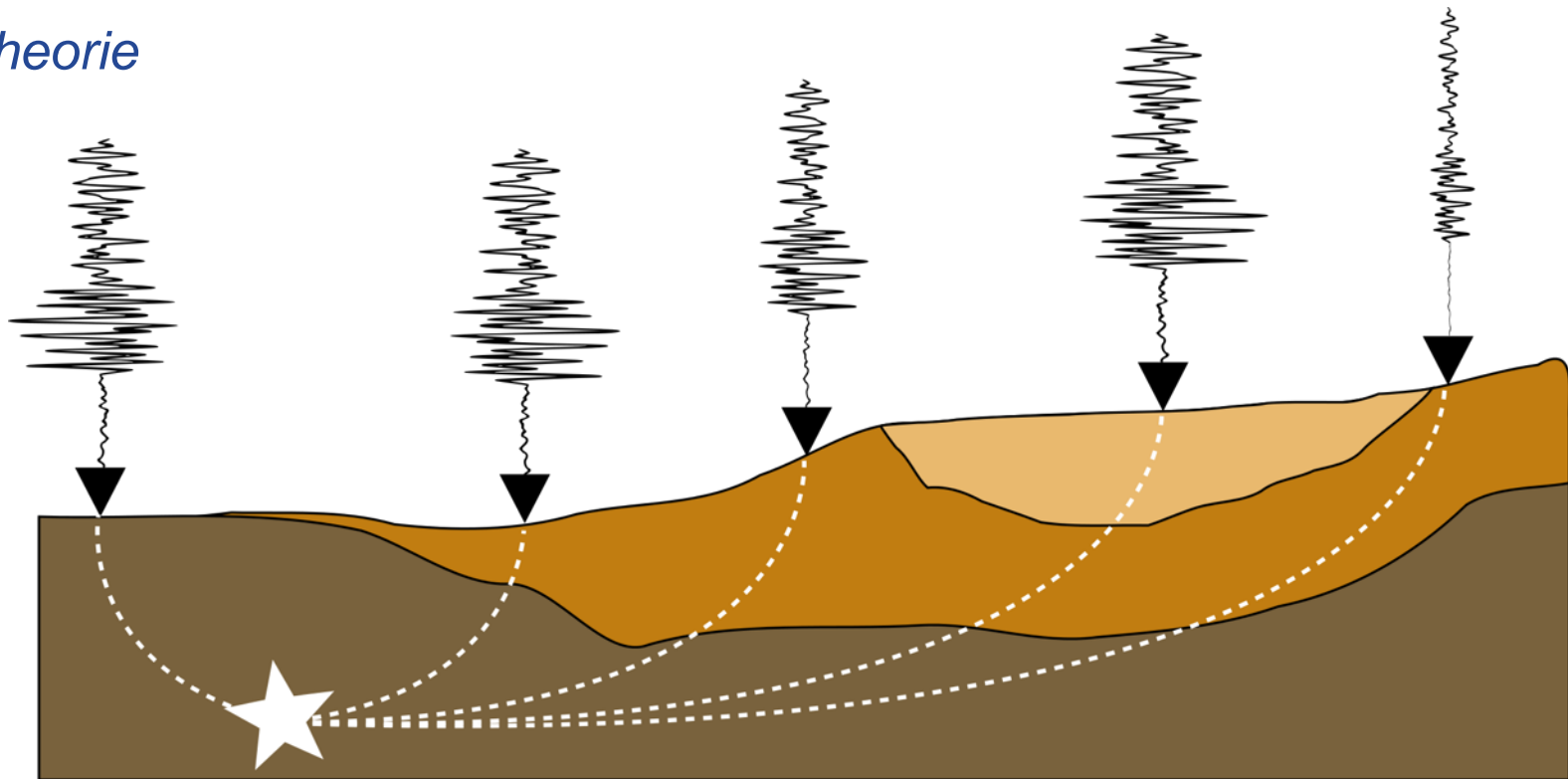
- Günstige und schnelle Messungen
- Geologische/physikalische Interpretationen notwendig (z.B. zur Bestimmung der seism. Geschwindigkeiten)

Theorie



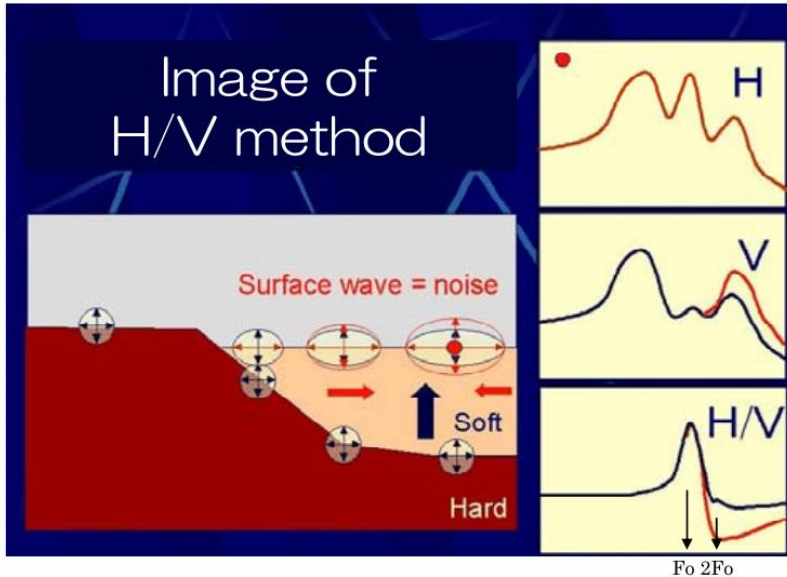
- Signalstärke nimmt i.A. mit der Entfernung ab

Theorie

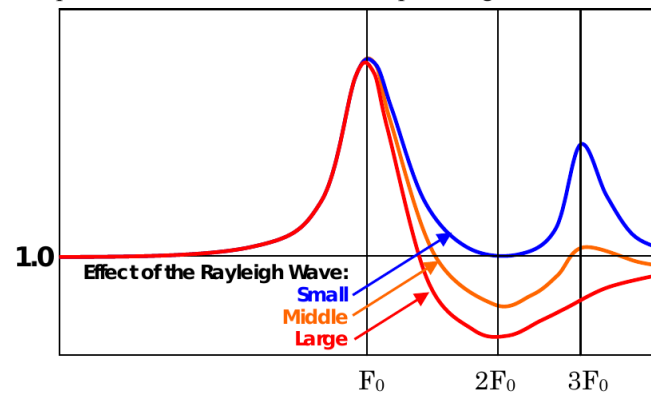


- Signalstärke nimmt i.A. mit der Entfernung ab
- ABER: mögliche lokale Verstärkungen der Signale durch Resonanzen
- „Standort-Effekte“
- Effekte sind geometrieabhängig

Theorie

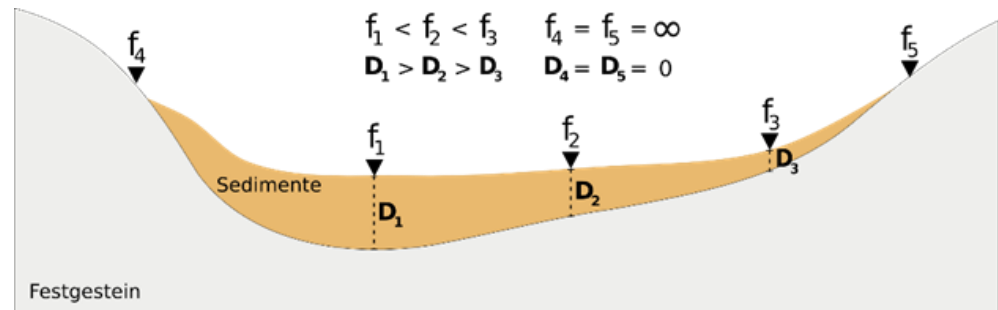


Nakamura, Y.; 2008; On the H/V Spectrum; The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China



Nakamura, Y.; 2008; On the H/V Spectrum; The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China

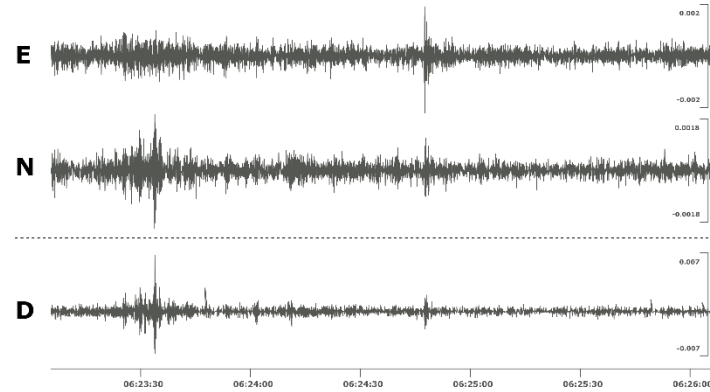
Sedimentdicke <-> Resonanzfrequenzen:



$$v_s = \lambda \cdot f_0 \quad \wedge \quad \lambda = 4 \cdot d \quad \Rightarrow \quad d = \frac{v_s}{4 \cdot f_0} \quad , \quad \text{Wellenlänge } \lambda .$$

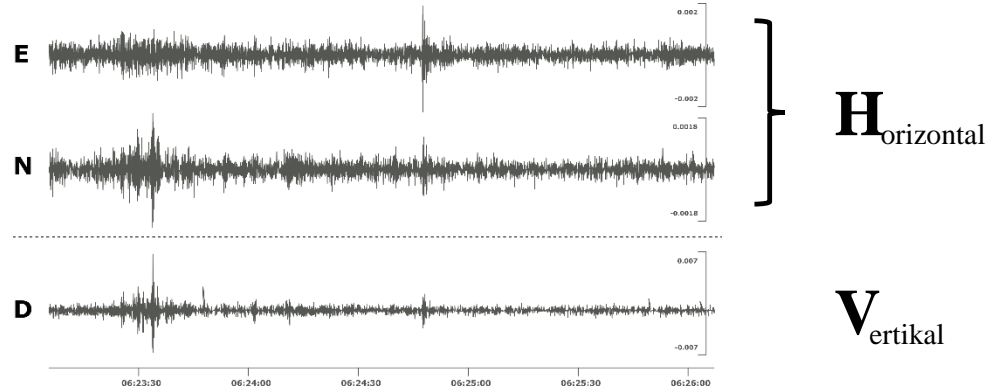
Seismologie – die H/V-Methode

Daten(-verarbeitung)



~ 45 min.

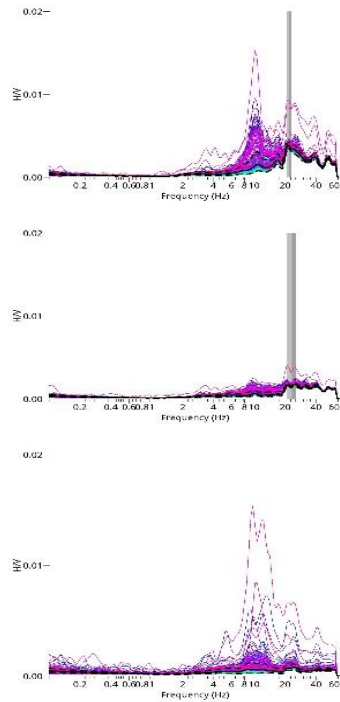
Seismologie – die H/V-Methode



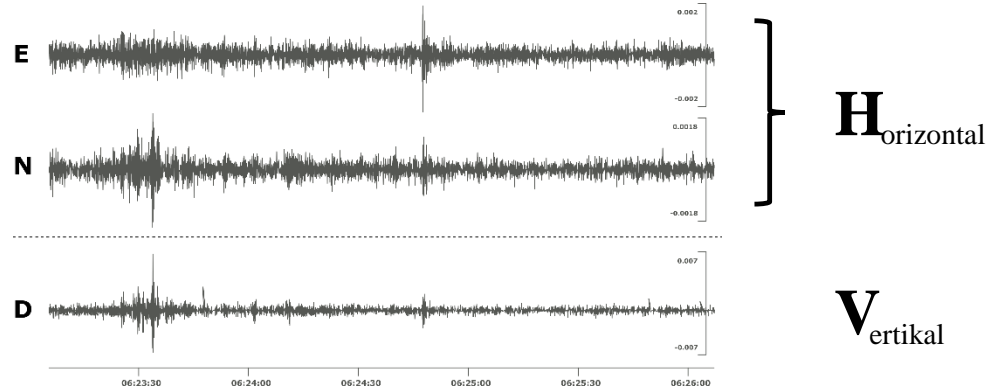
~ 45 min.



Amplitudenspektren



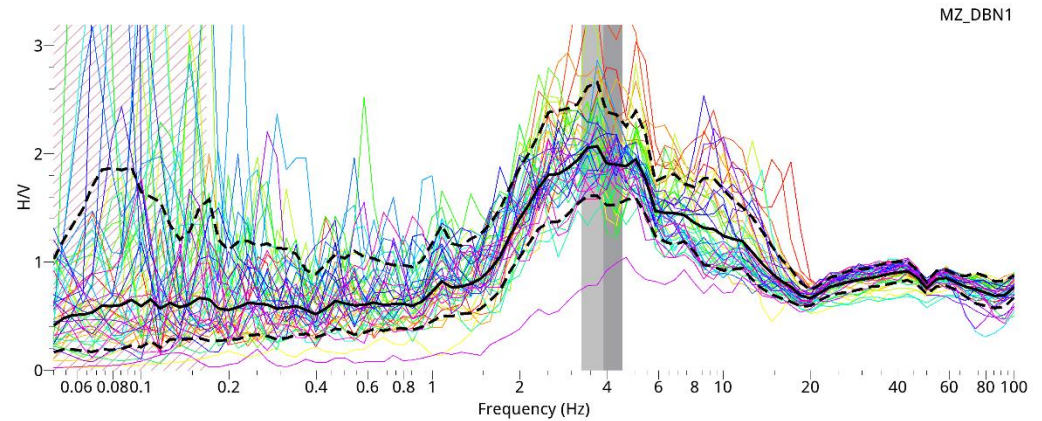
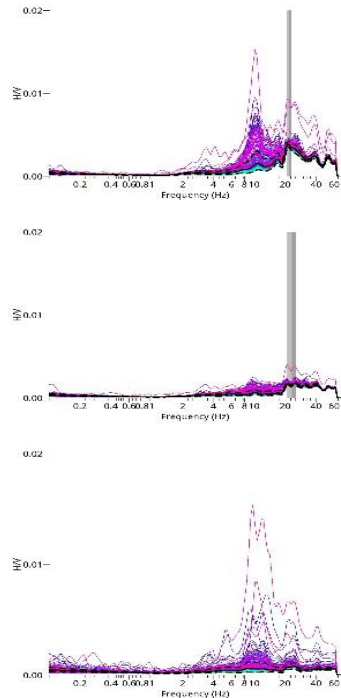
Seismologie – die H/V-Methode



~ 45 min.

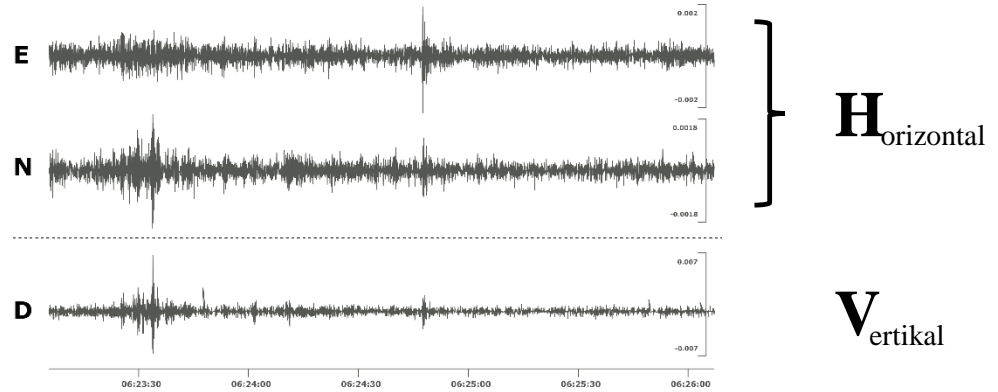


Amplitudenspektren



H/V - Spektrum

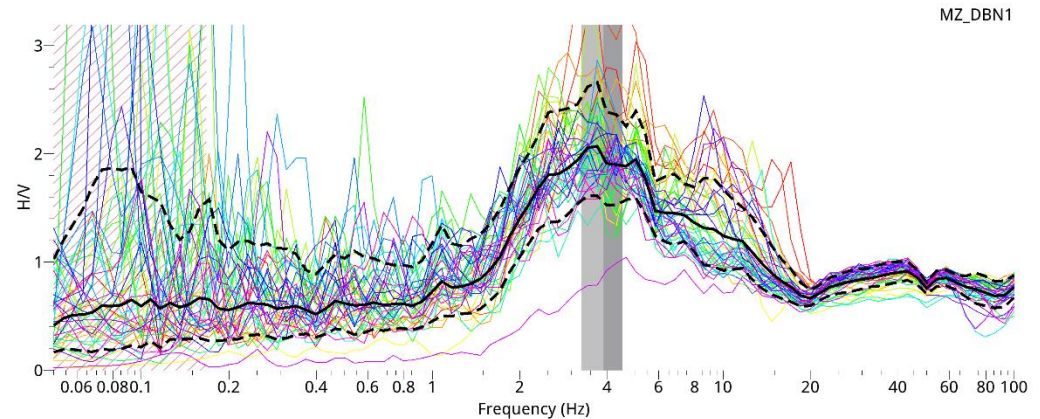
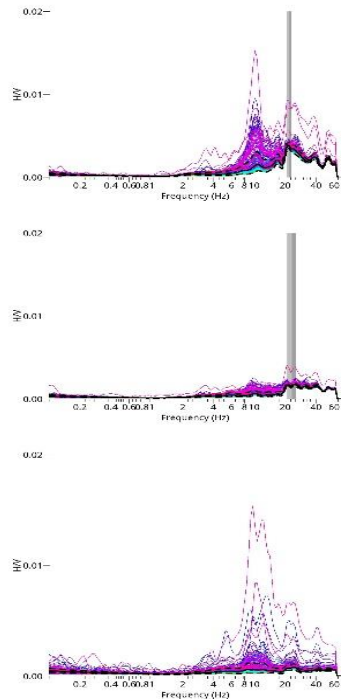
Seismologie – die H/V-Methode



~ 45 min.



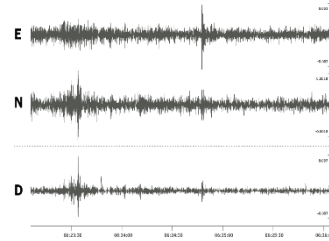
Amplitudenspektren



H/V - Spektrum

Frequenz $f_0 \hat{=} \text{Resonanz}$

Seismologie – die H/V-Methode

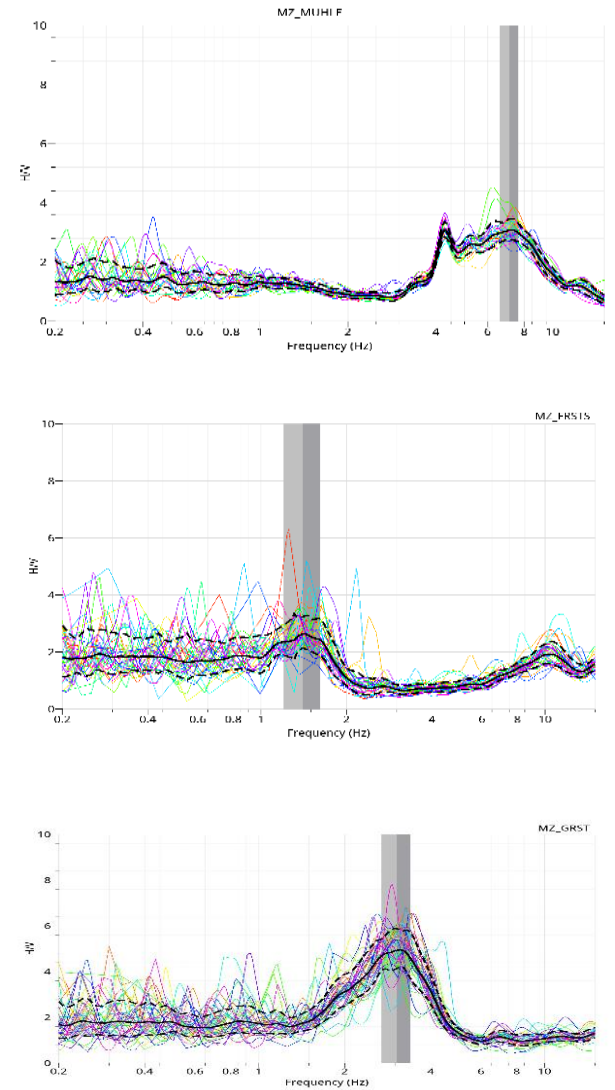
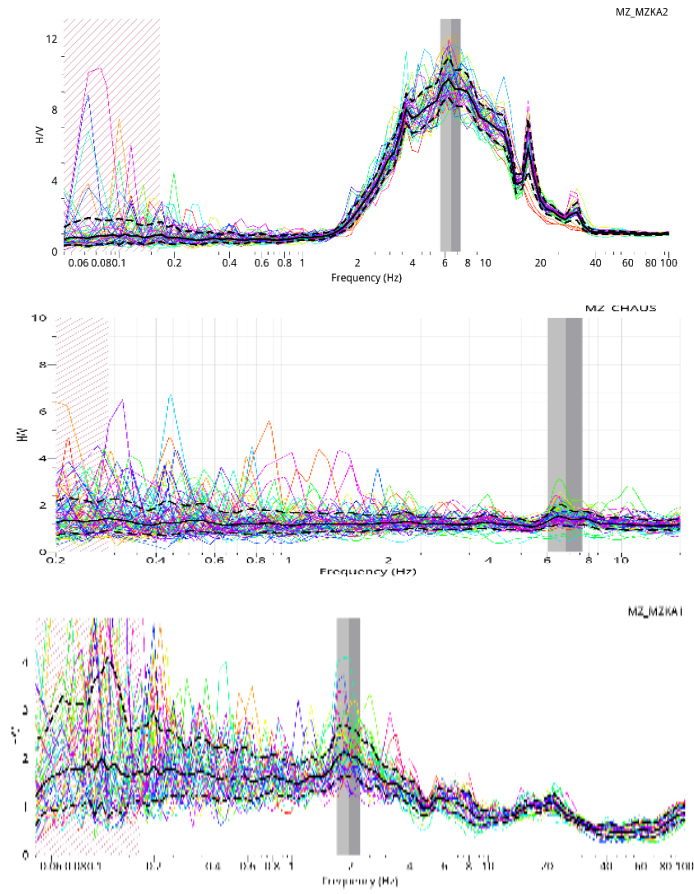


~ 45 min.

The screenshot displays the Geopsy software interface with several key components:

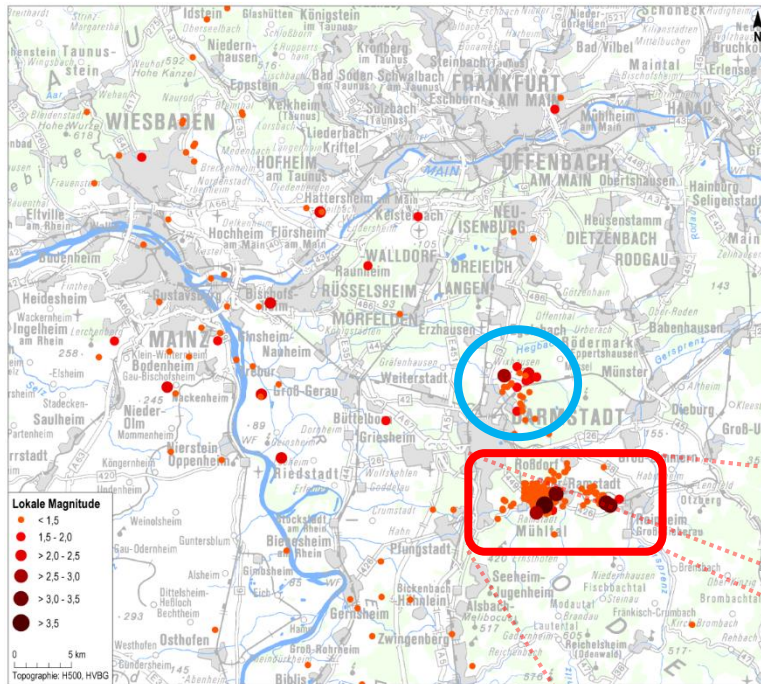
- Graphic - File GZS1.mseed:** A multi-track view of seismic data for stations MZ_GZS1 Z, N, and E. The data is segmented into time windows, each color-coded (e.g., red, orange, yellow, green, cyan, blue, purple, magenta).
- H/V Results - File GZS1.mseed:** A plot showing the H/V ratio versus Frequency (Hz) on a log-log scale. Multiple colored lines represent different time windows, with a vertical grey bar highlighting a specific frequency range.
- H/V toolbox - File GZS1.mseed:** A configuration panel on the right with tabs for Time, Processing, and Output. It includes settings for:
 - Global time range:** From TO (9h23m12.0000s) to To (End) (10h5m11.2000s).
 - Time windows:** Length (At least 5,00 s. to 45,57 s.), Overlap by (5,00 %).
 - General:** Raw signal, Filter, Filtered signal.
 - Bad sample tolerance:** 0,00 s.
 - Bad sample threshold:** 99 %.
 - Anti-triggering:** on raw signal and on filtered signal.
 - Common:** Update, Select, all stations, Number of windows (53).
- Property editor:** A dialog box for the H/V Results plot, showing Scale (Log), Range (Minimum 0.05, Maximum 100), Ticks (Major 2, Minor 0.5), and other visualization options.

Resonanzen



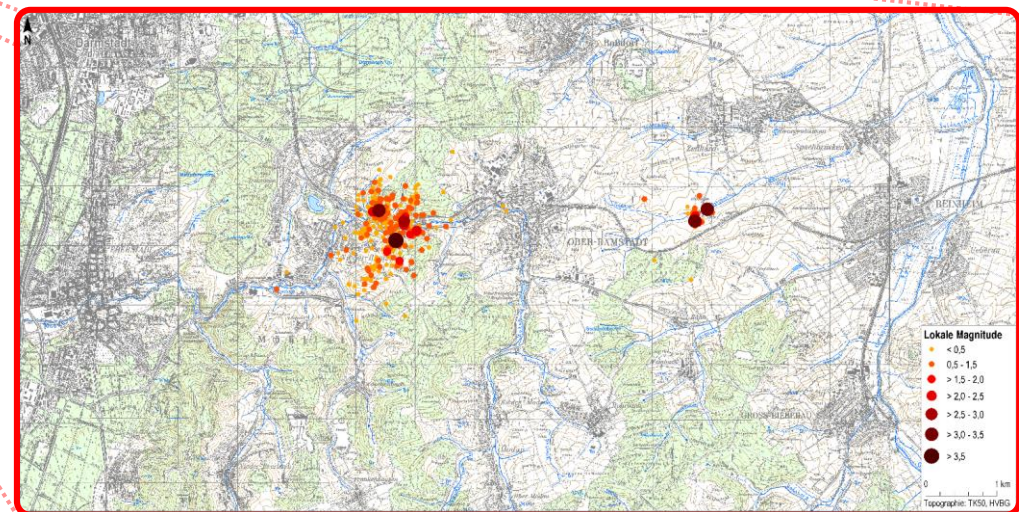
Projekt *SEUSH*

Übersicht – seismische Ereignisse in der Umgebung von Darmstadt



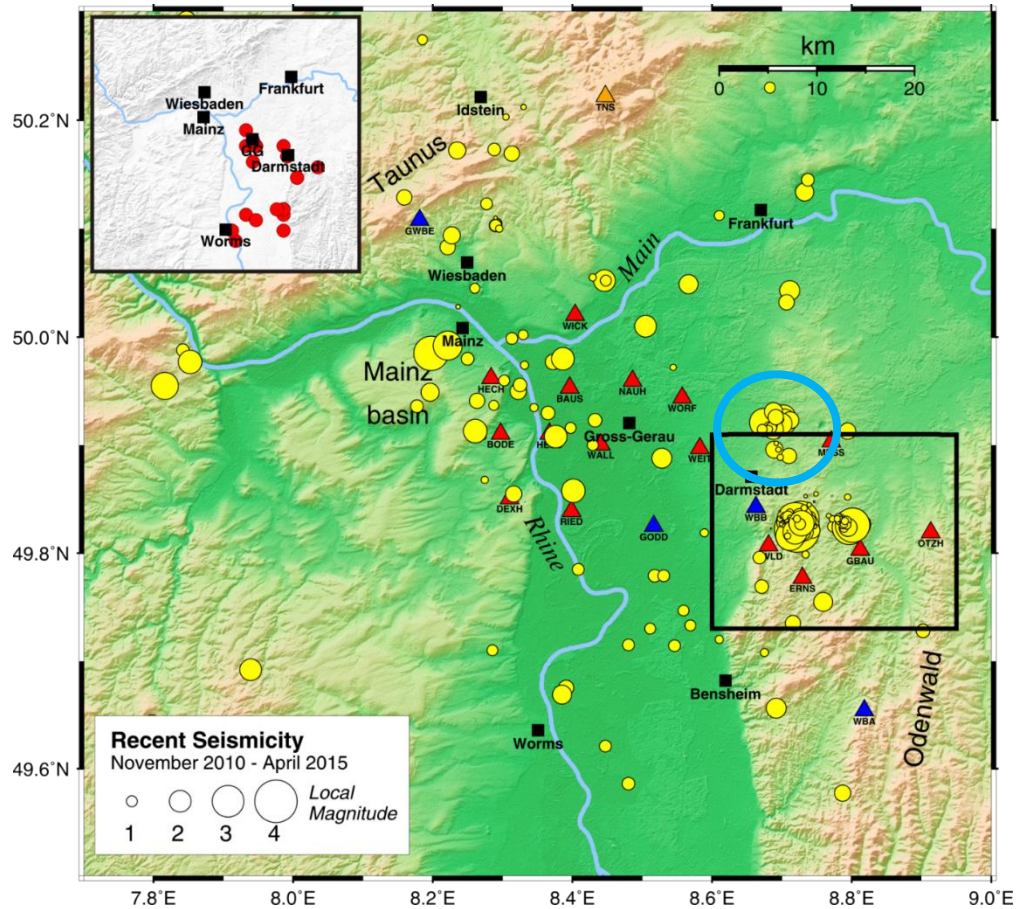
Arheilgen

Ober-Ramstadt



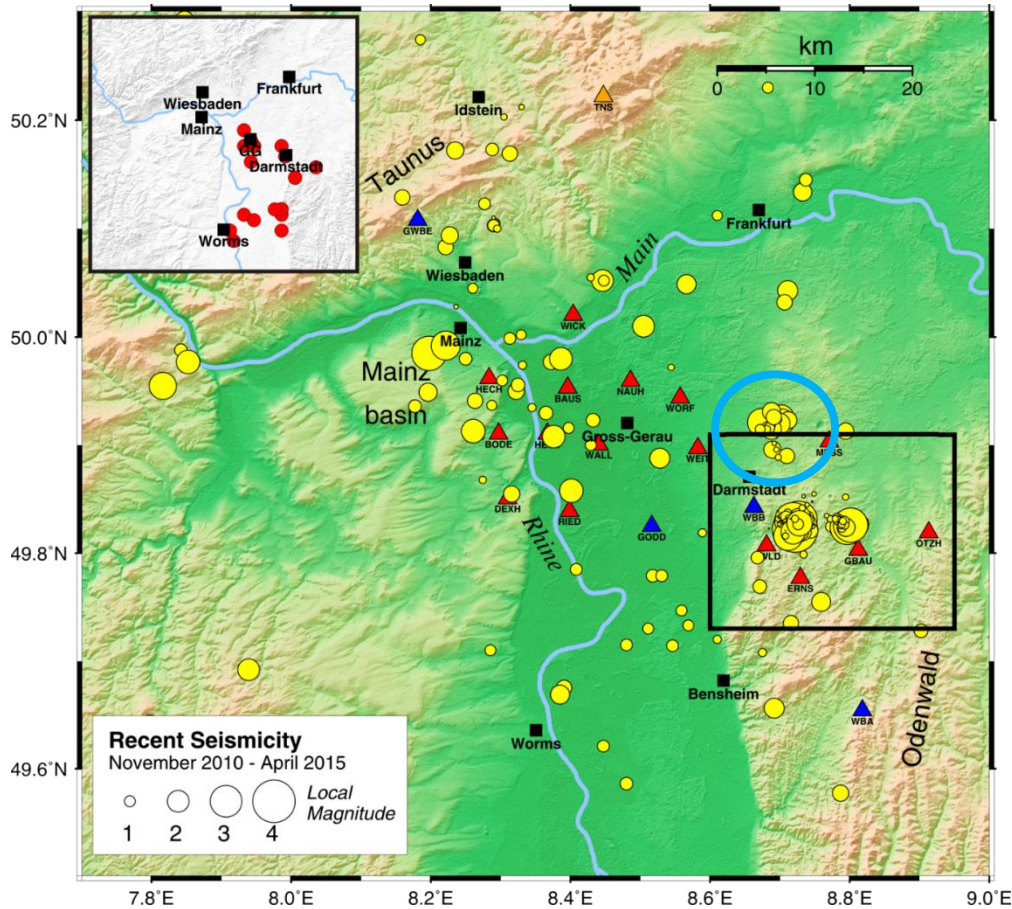
Übersicht – seismische Ereignisse in der Umgebung von Darmstadt

Regionale seismische Ereignisse

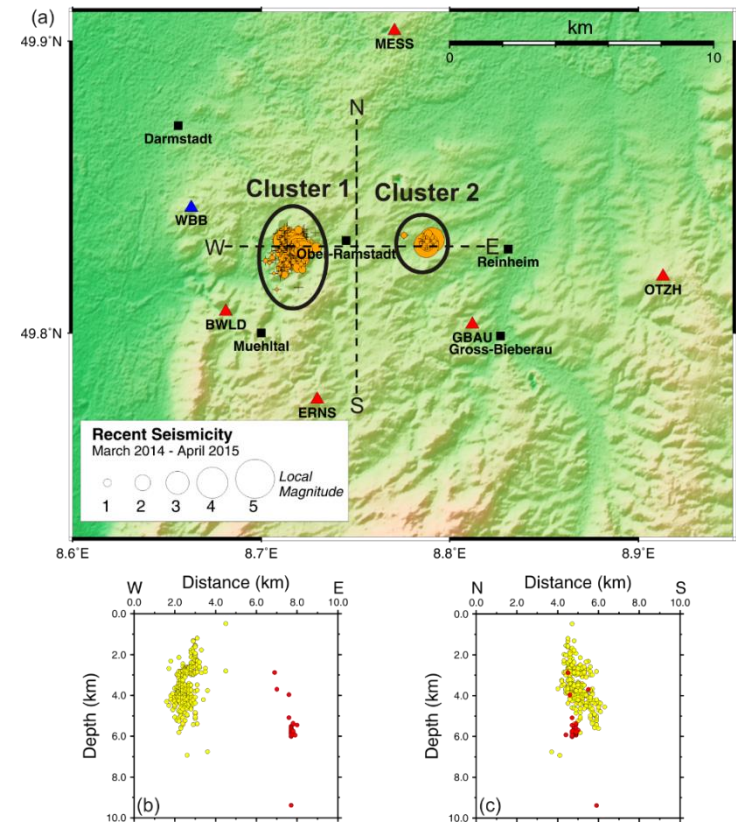


Übersicht – seismische Ereignisse in der Umgebung von Darmstadt

Regionale seismische Ereignisse



Ober-Ramstadt



SEUSH

-

Spektrale *Eigenschaften* des *Untergrundes* in *Süd-Hessen*

Messungen – 1

- Festlegen der ersten Zielgebiete durch HLNUG
- Gebiete Arheilgen (AH) und nördlicher Odenwald (OW)
- Gleichmäßig flächige Vermessung von AH
- OW aufgeteilt in 4 Teilgebiete
 1. Nieder-Beerbach:
3 Profile entlang und quer zum Talverlauf;
Motivation: kleinräumig aufgetretene Gebäudeschäden
 2. Süd: Umgebung von Nieder-Beerbach
 3. Nord: Nieder-Ramstadt und Treisa
 4. Referenzmessungen: östliche Umgebung von Ober-Ramstadt
Motivation: Festlegung eines weiteren Untersuchungsgebiets

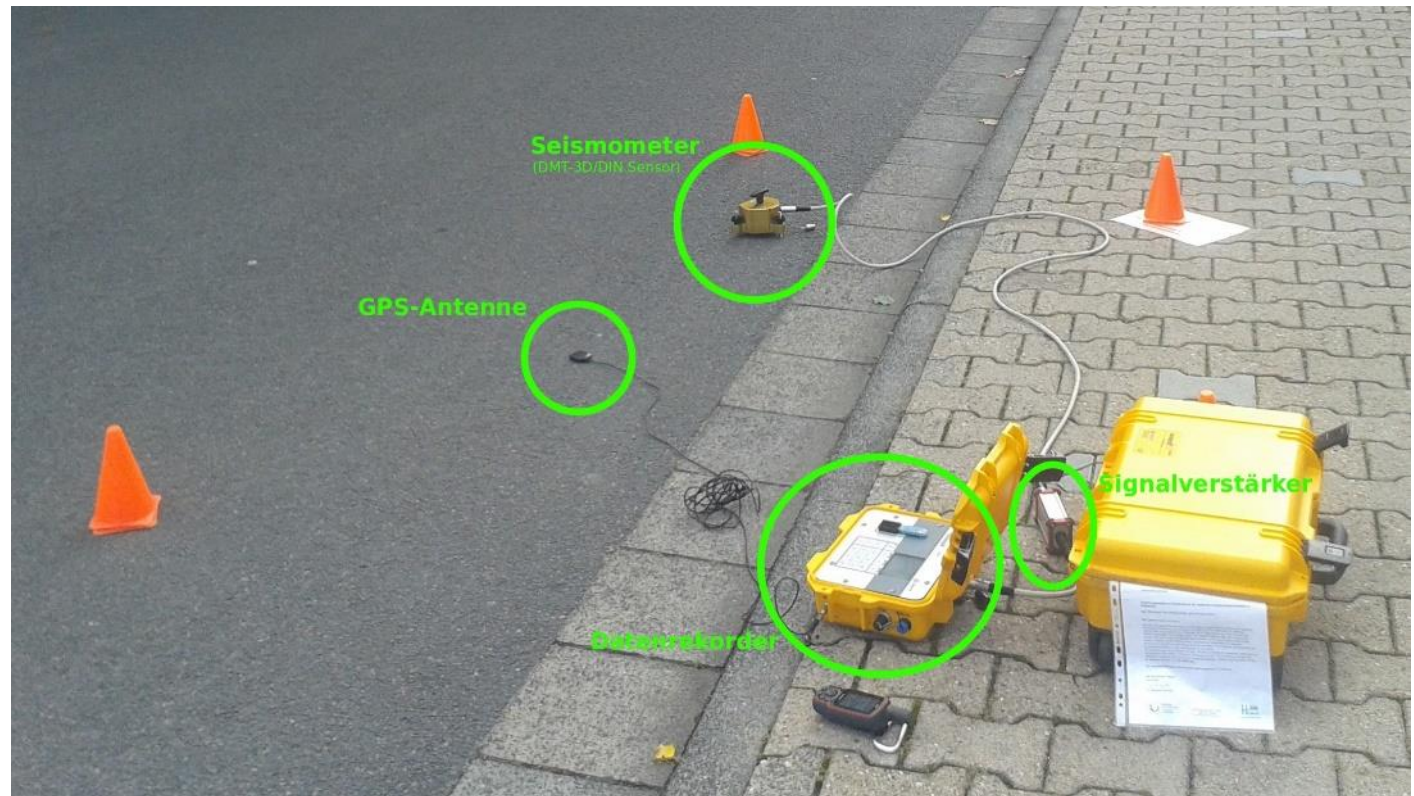
SEUSH

-

Spektrale *Eigenschaften* des *Untergrundes* in *Süd-Hessen*

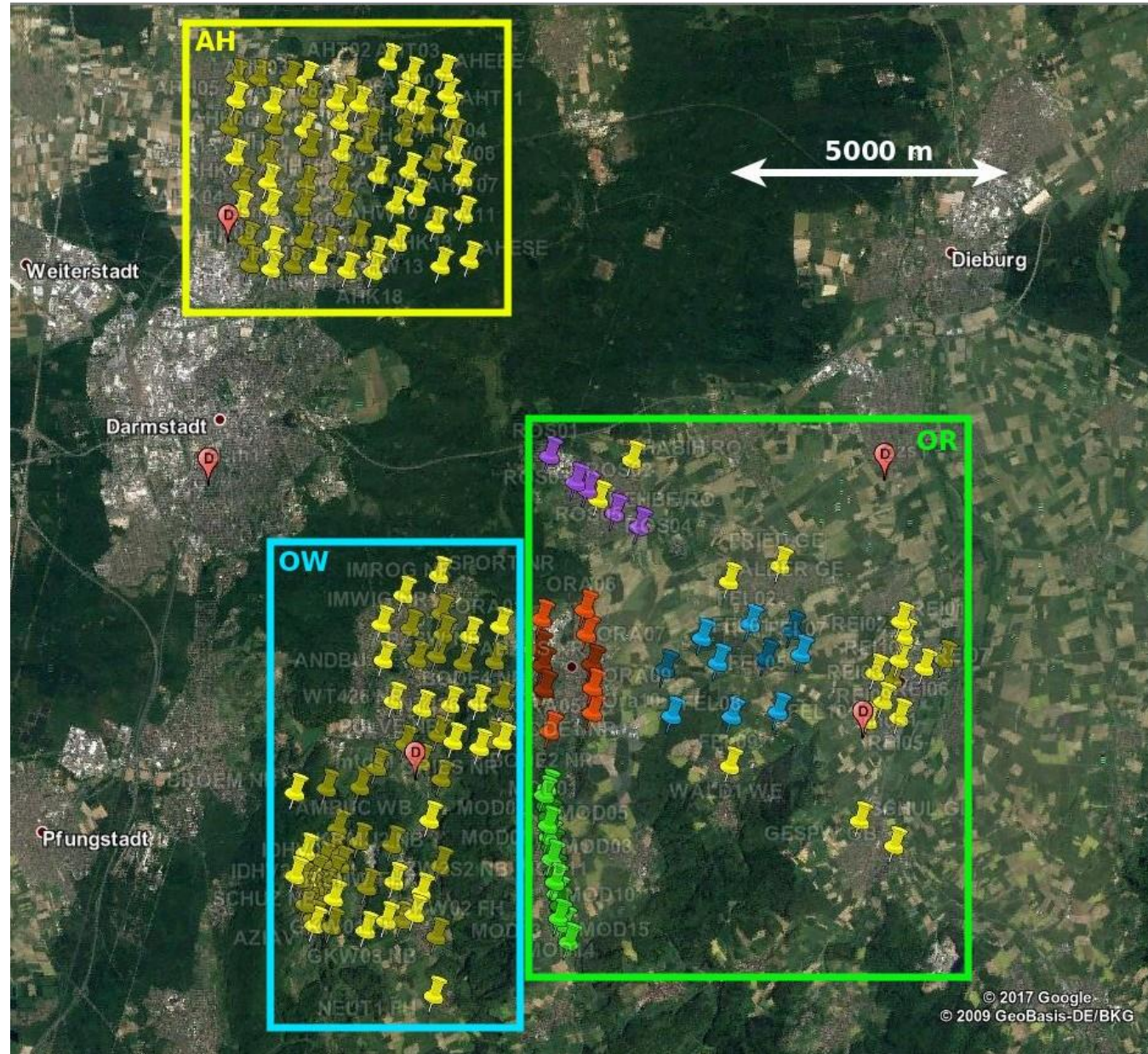
Messungen – 1

- Punktweise Messungen
- Messdauer ca. 45 Minuten
- Fester Untergrund
- Trockenes Wetter



Projekt SEUSH

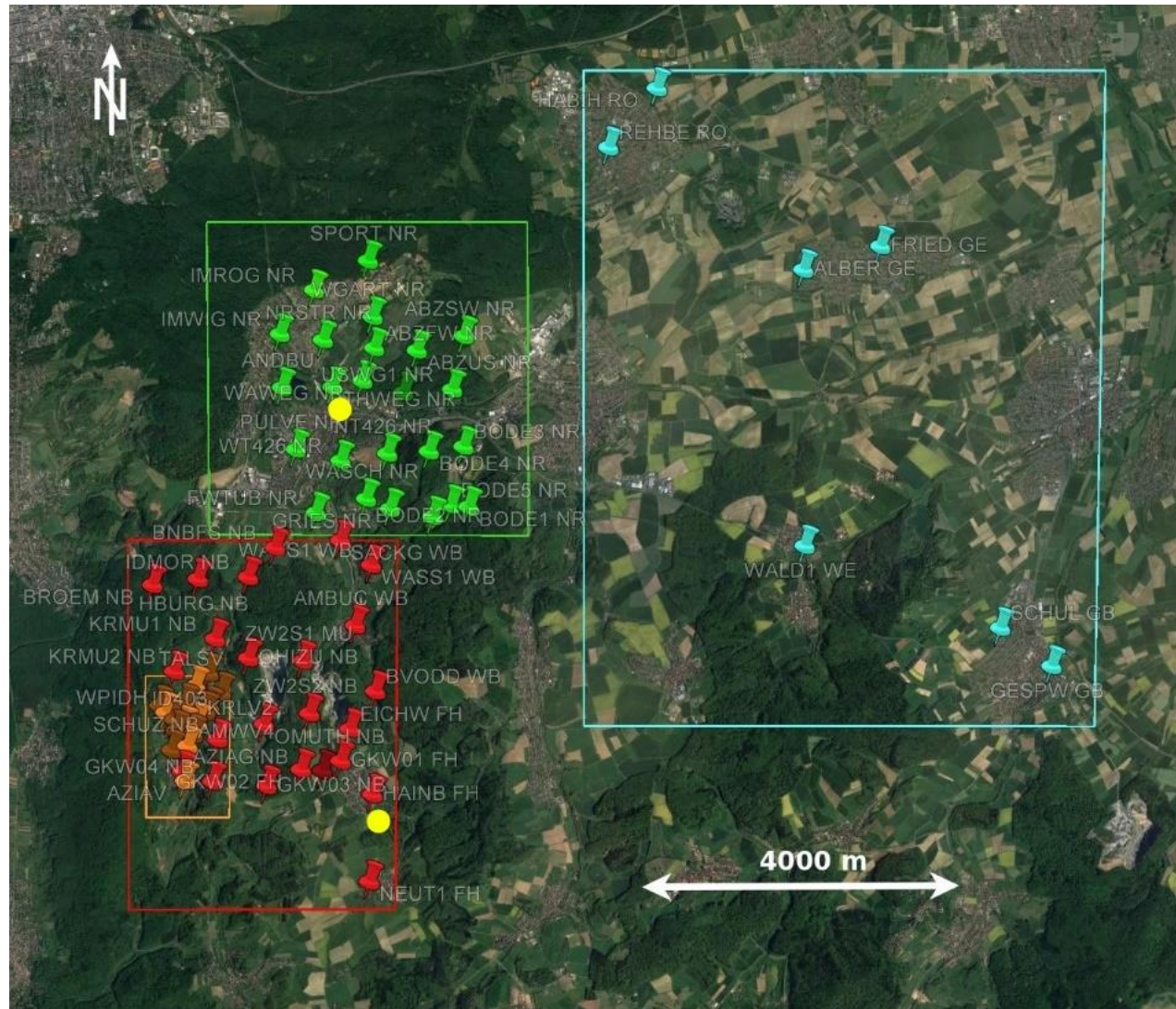
Messungen – 1



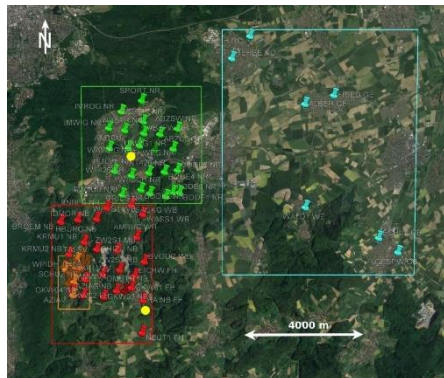
Messungen – 1 – Arheilgen



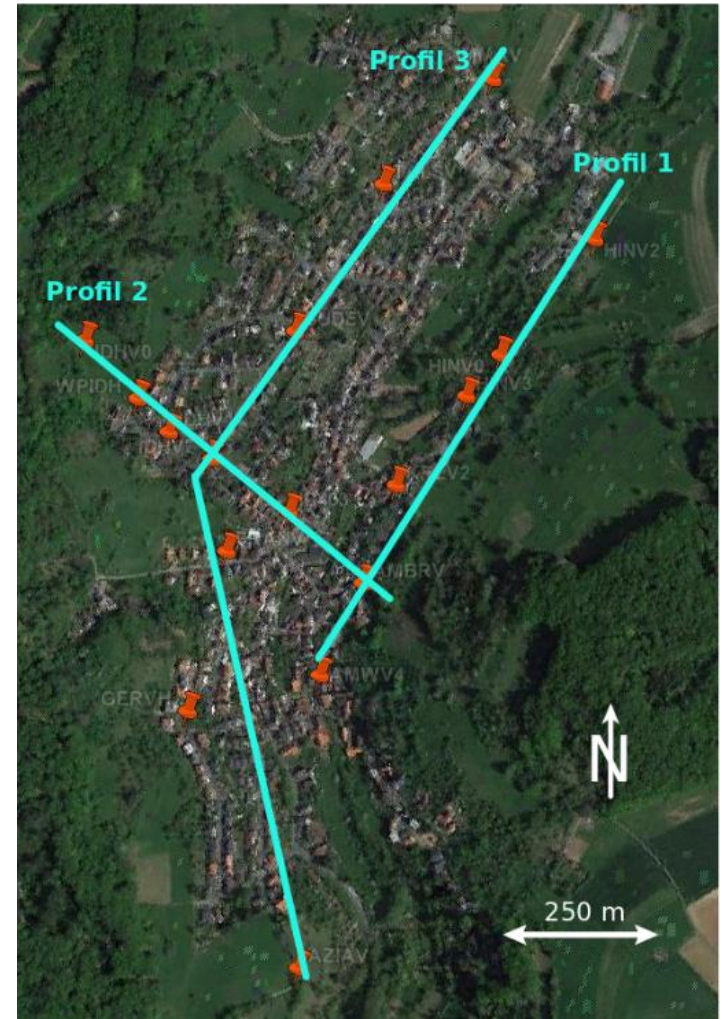
Messungen – 1 – nördlicher Odenwald



Messungen – 1 – nördlicher Odenwald – Nieder-Beerbach

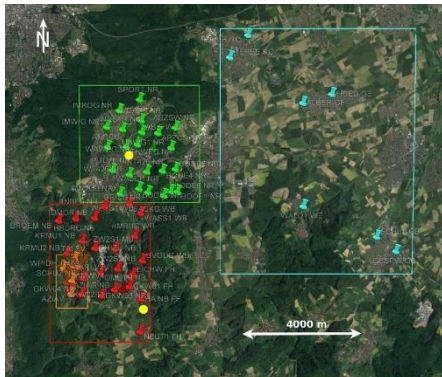
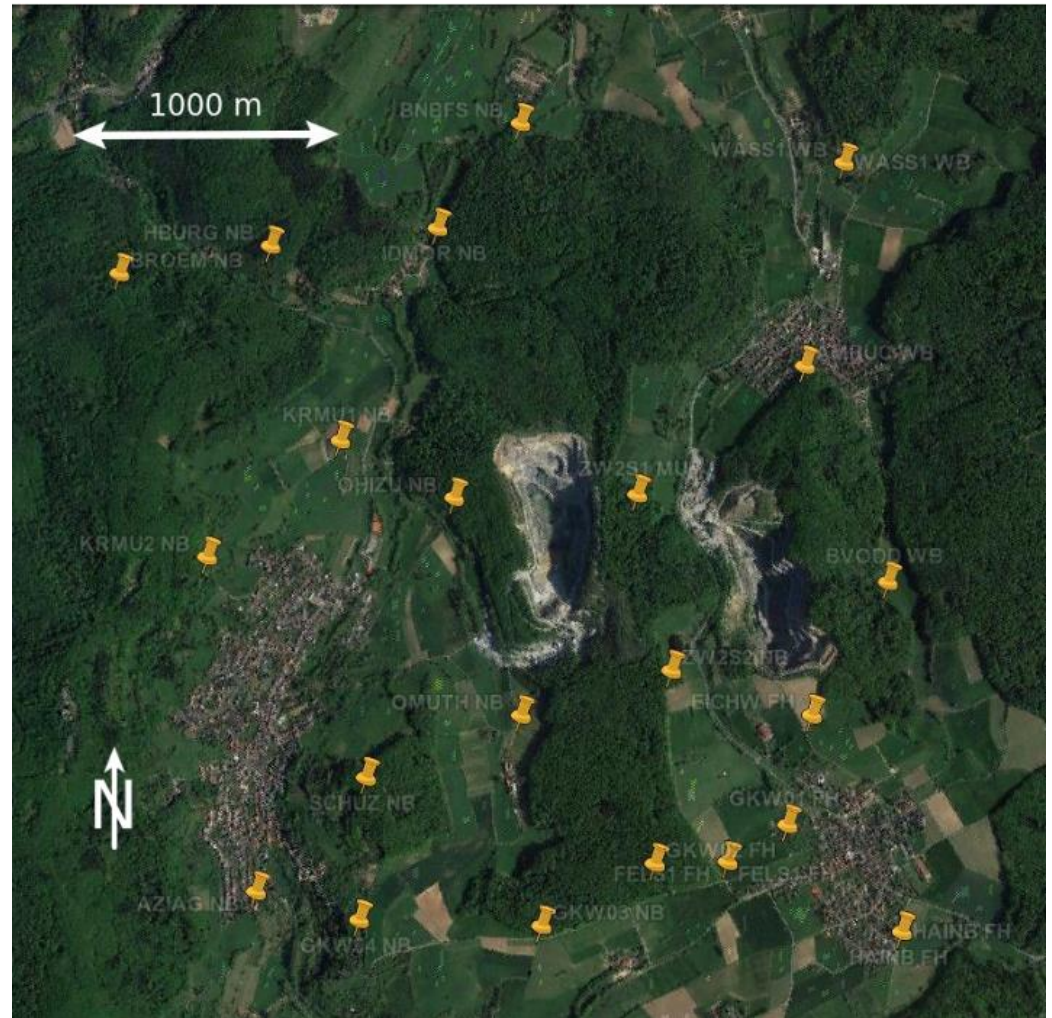


Map: Google Earth



Map: Google Earth

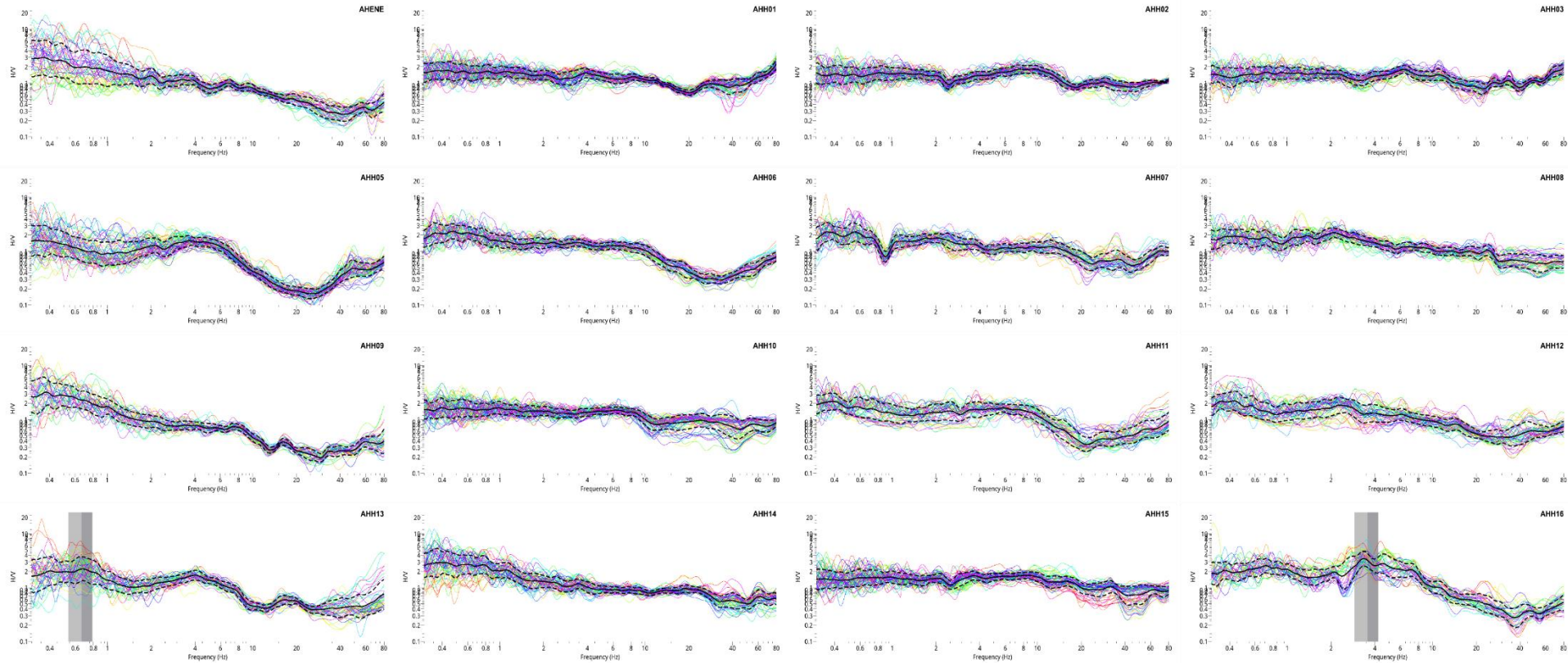
Messungen – 1 – nördlicher Odenwald – Süd



Map: Google Earth

Map: Google Earth

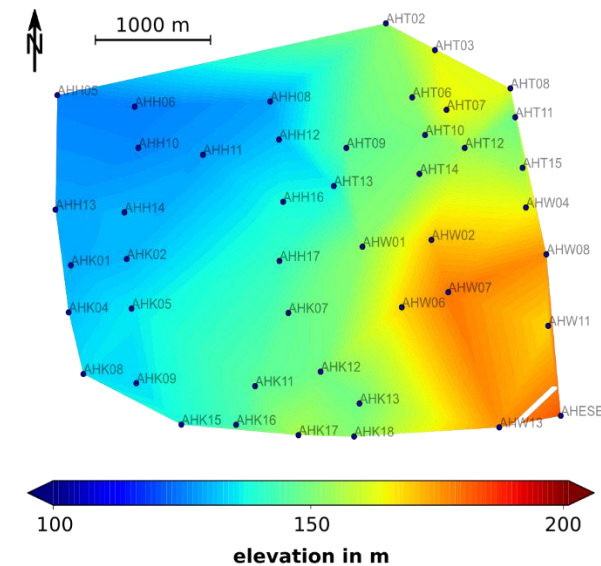
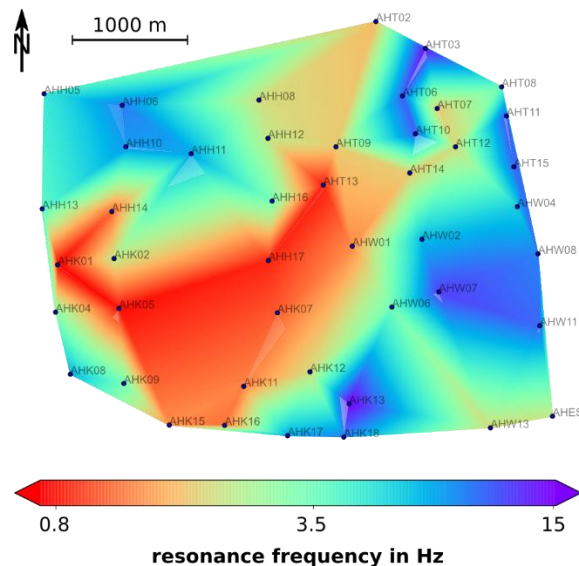
Ergebnisse – 1 – Arheilgen - NW



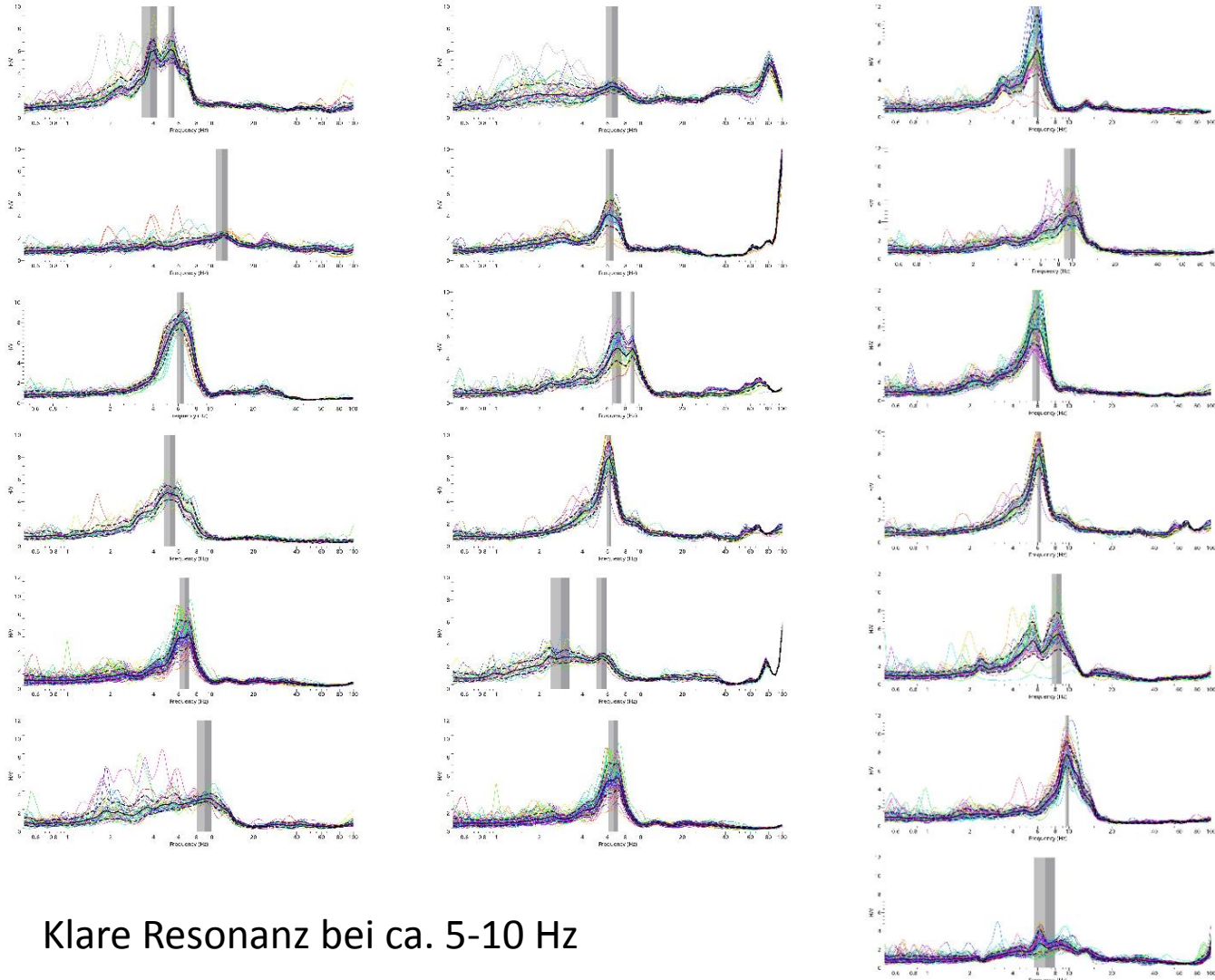
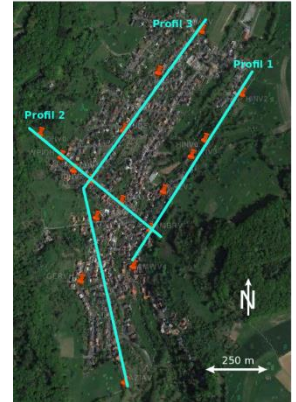


Ergebnisse – 1 – Arheilgen

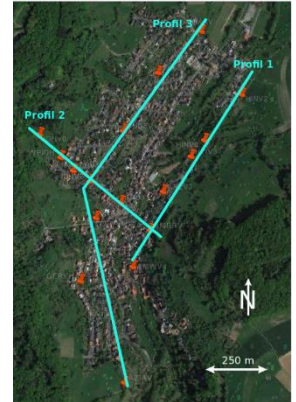
- Heterogene Verteilung von H/V-Kurven – keine regionale Systematik
- Angenommener Verlauf einer Störung kann nicht abgeleitet werden
- Wenige klare Maxima in Kurven
- Signifikante Sedimentüberdeckung aus Bohrprofilen bekannt
- Keine Signalverstärkung im für Wohnhäuser relevanten Frequenzbereich
- Keine Korrelation von Resonanzen und Topographie
- Mögliche Erklärung für geringe Schadensmeldungen trotz lokaler Erdbebenaktivität



Ergebnisse – 1 – OW – Nieder-Beerbach

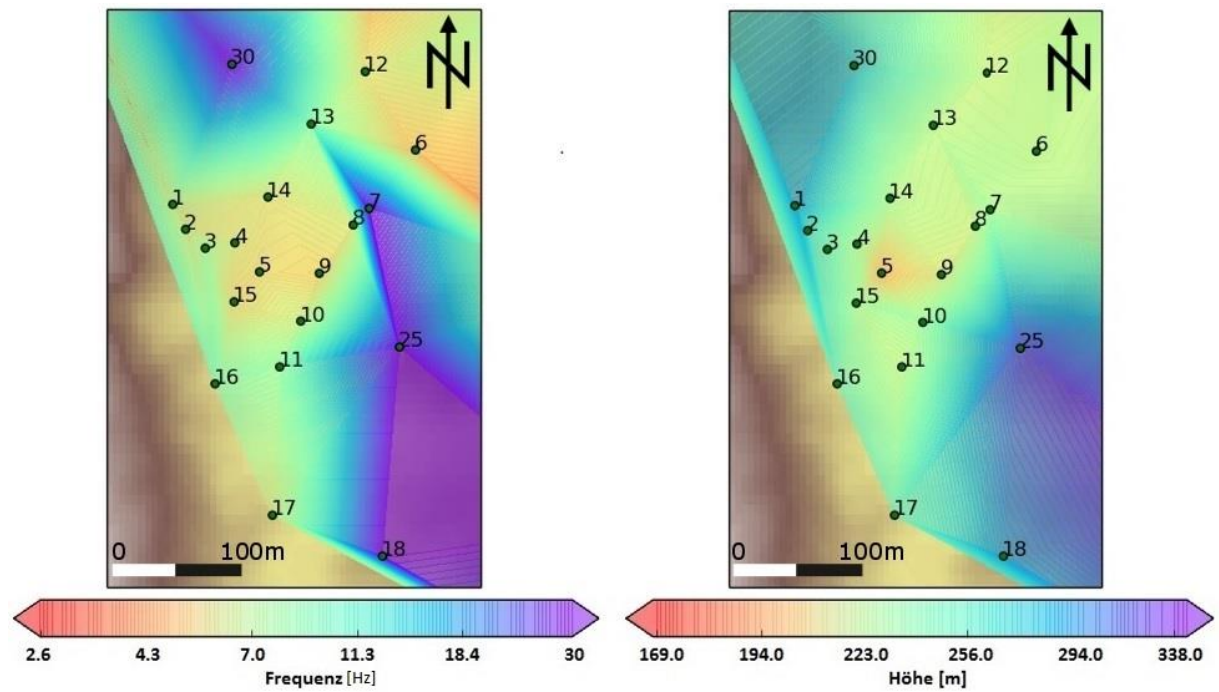


Klare Resonanz bei ca. 5-10 Hz

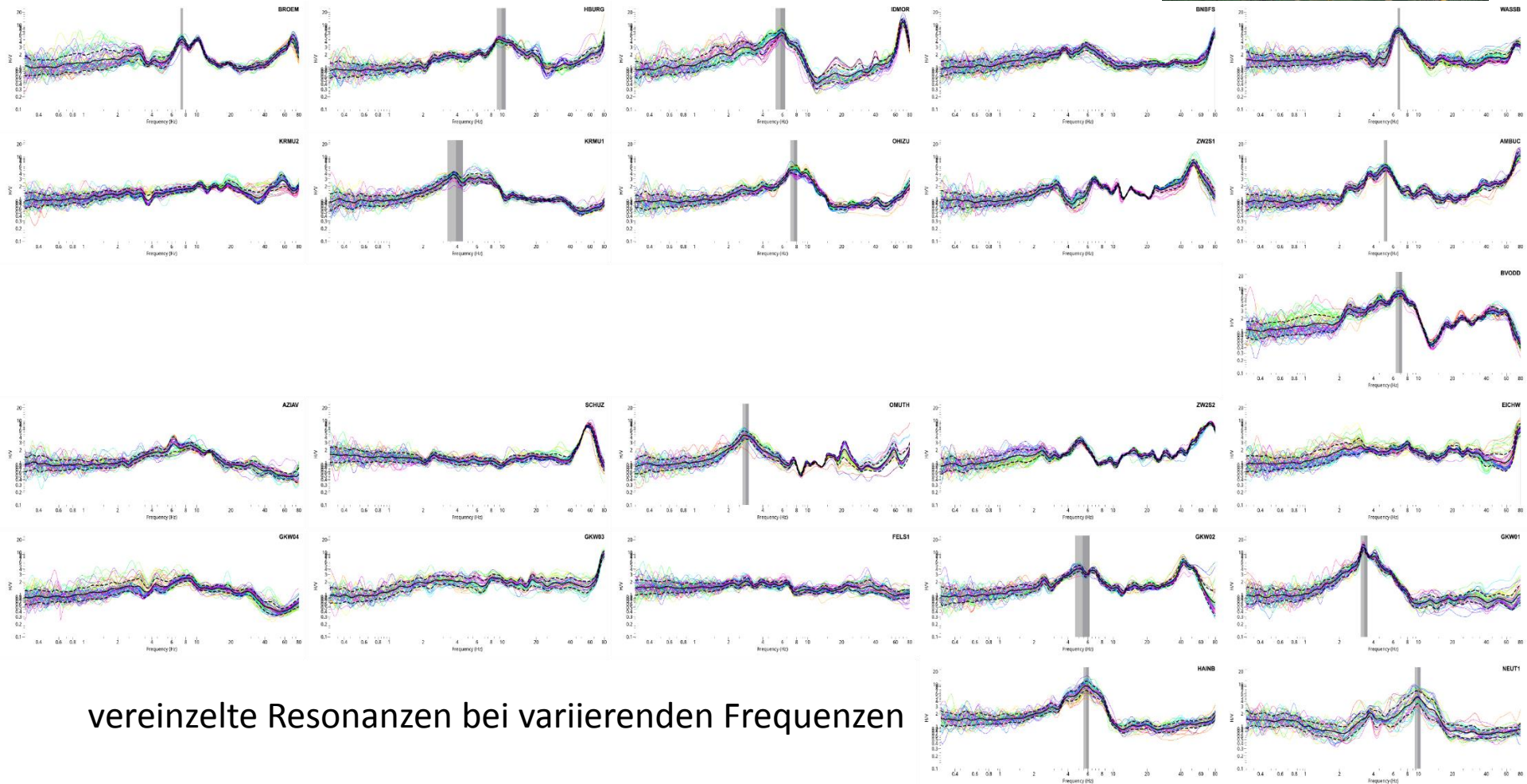
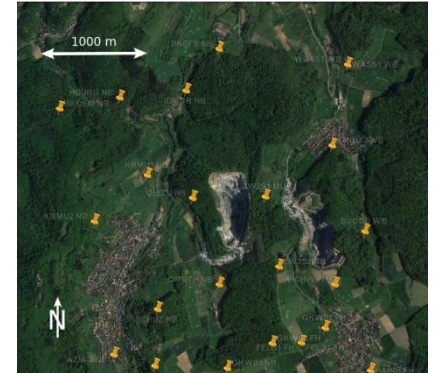


Ergebnisse – 1 – OW – Nieder-Beerbach

- Durchgängige Resonanzen bei 5-10 Hz
- Entspricht Resonanzfrequenz von zweistöckigen Gebäuden
- deutliche Korrelation von Resonanzen und Topographie
- Mögliche Erklärung für hohe Anzahl Schadensmeldungen



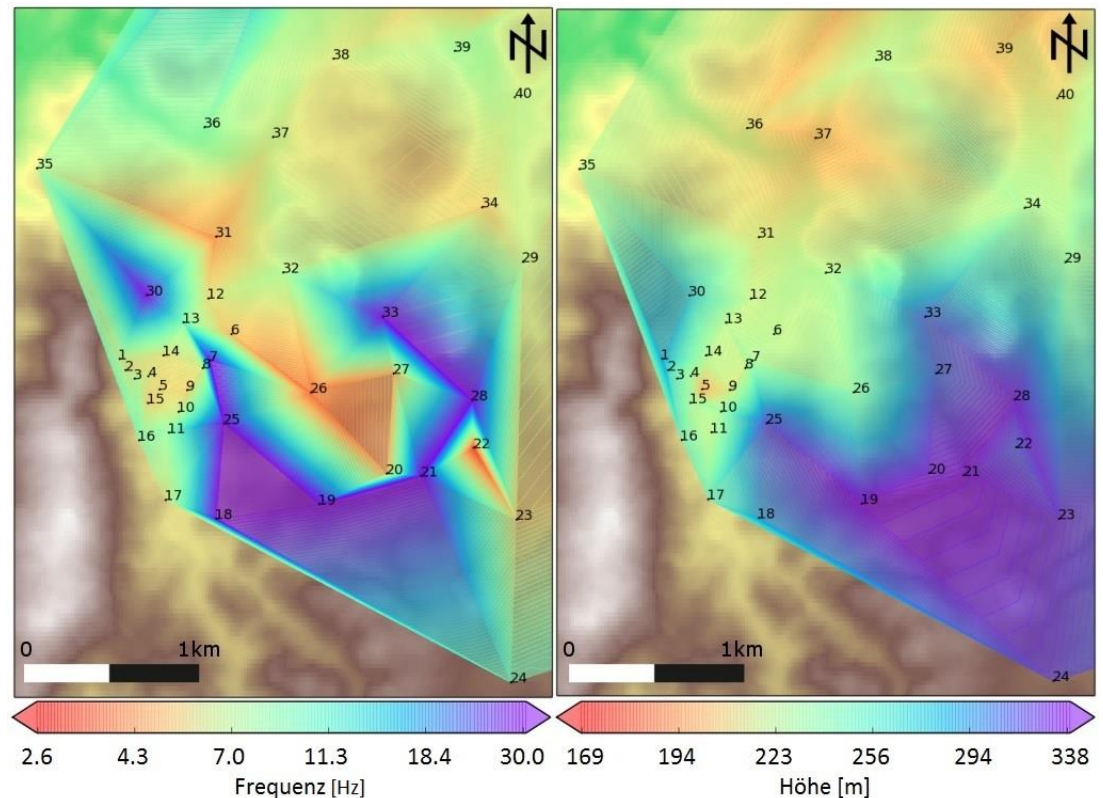
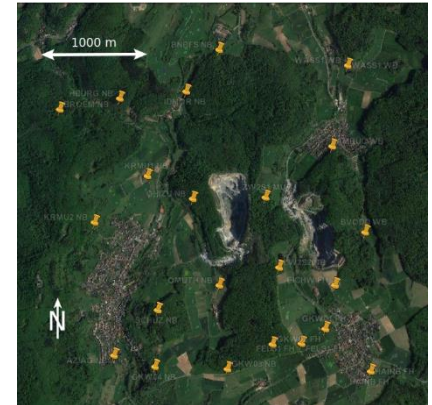
Ergebnisse – 1 – OW – Süd

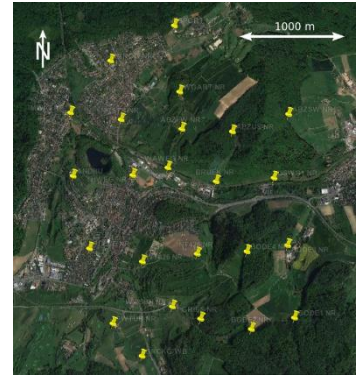


vereinzelte Resonanzen bei variierenden Frequenzen

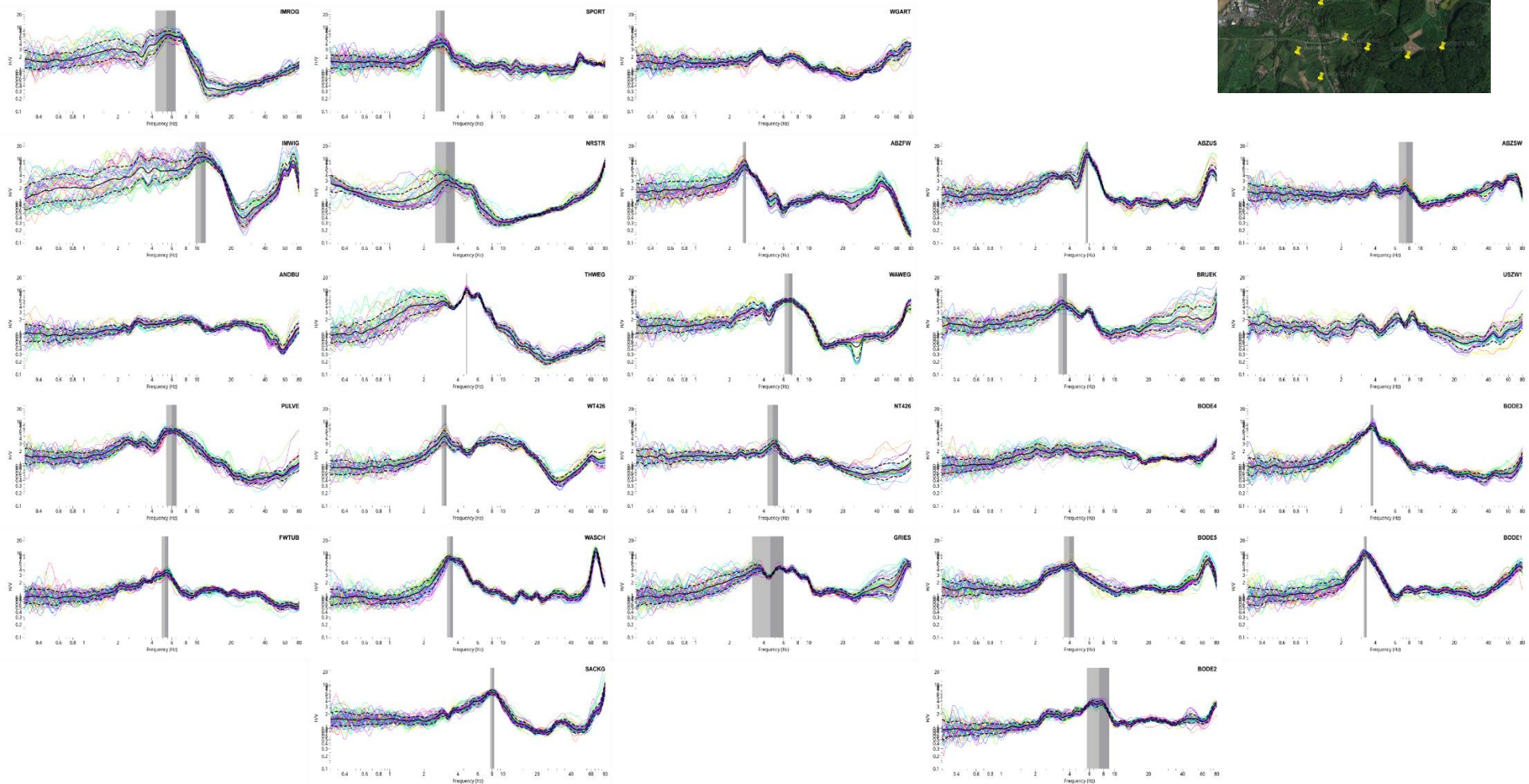
Ergebnisse – 1 – OW – Süd

- Vereinzelt Resonanzen bei 5-10 Hz
- deutliche Korrelation von Resonanzen und Topographie
- Ergebnisse sind konsistent mit Verteilung der Sedimentdecke laut geologischen Karten

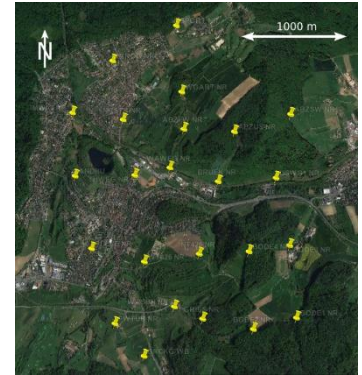




Ergebnisse – 1 – OW – Nord

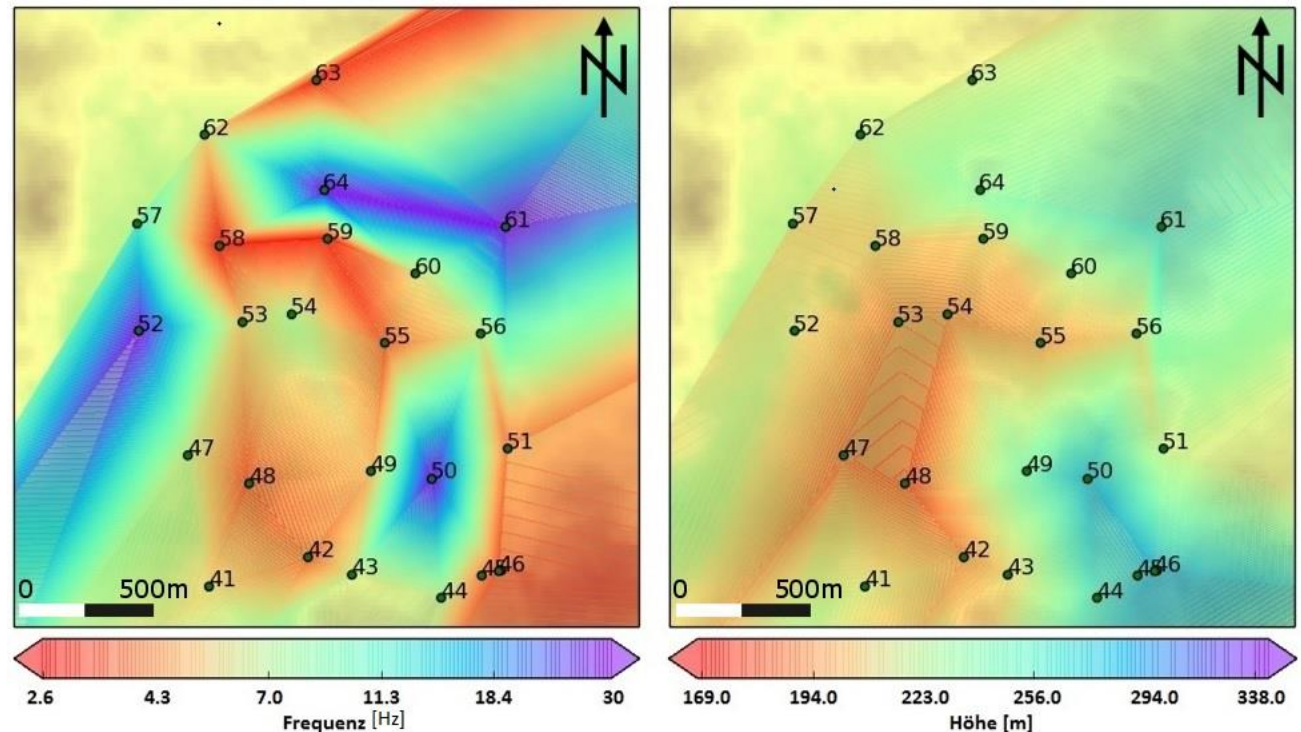


Resonanzen bei ca. 3-7 Hz

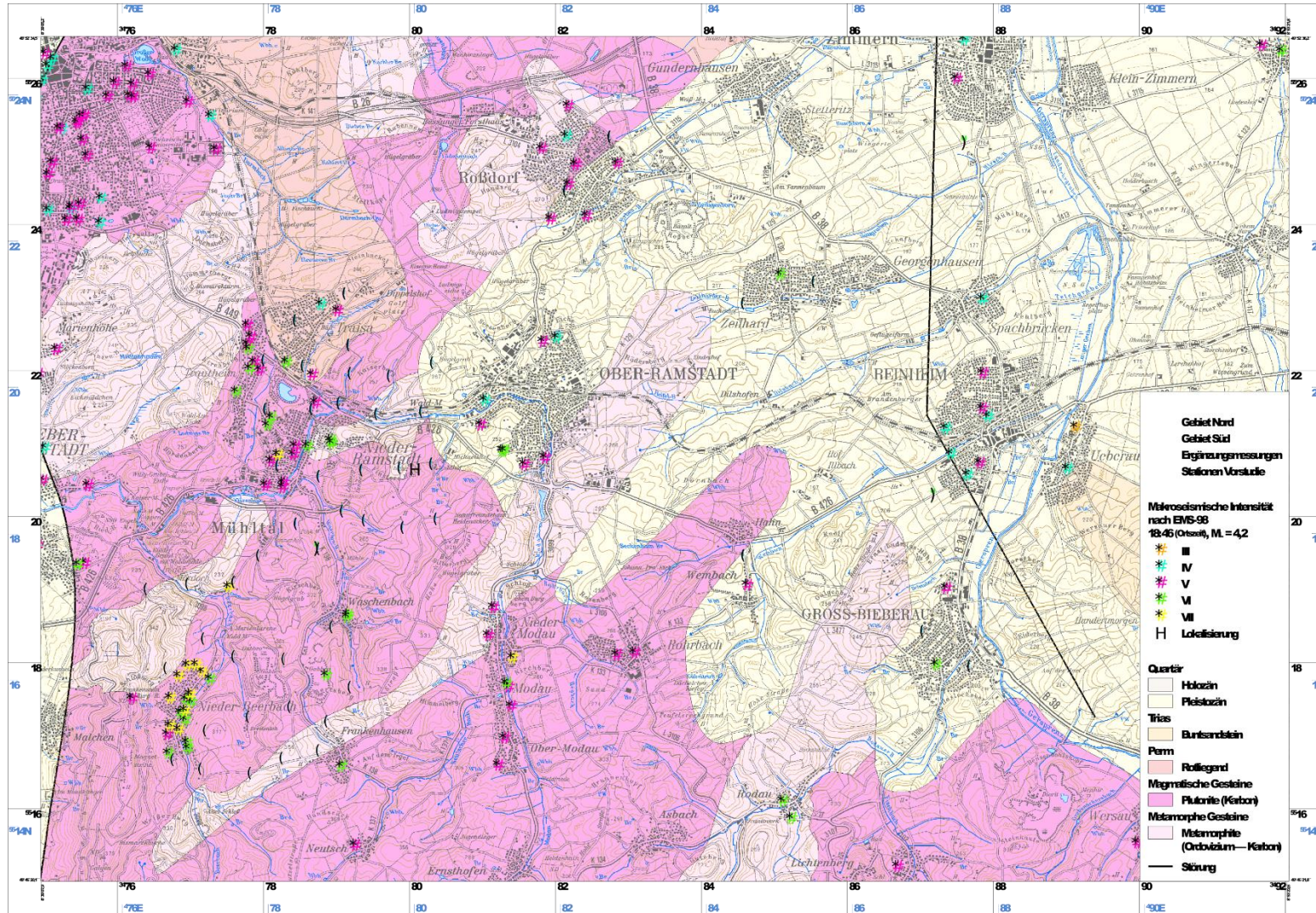


Ergebnisse – 1 – OW – Nord

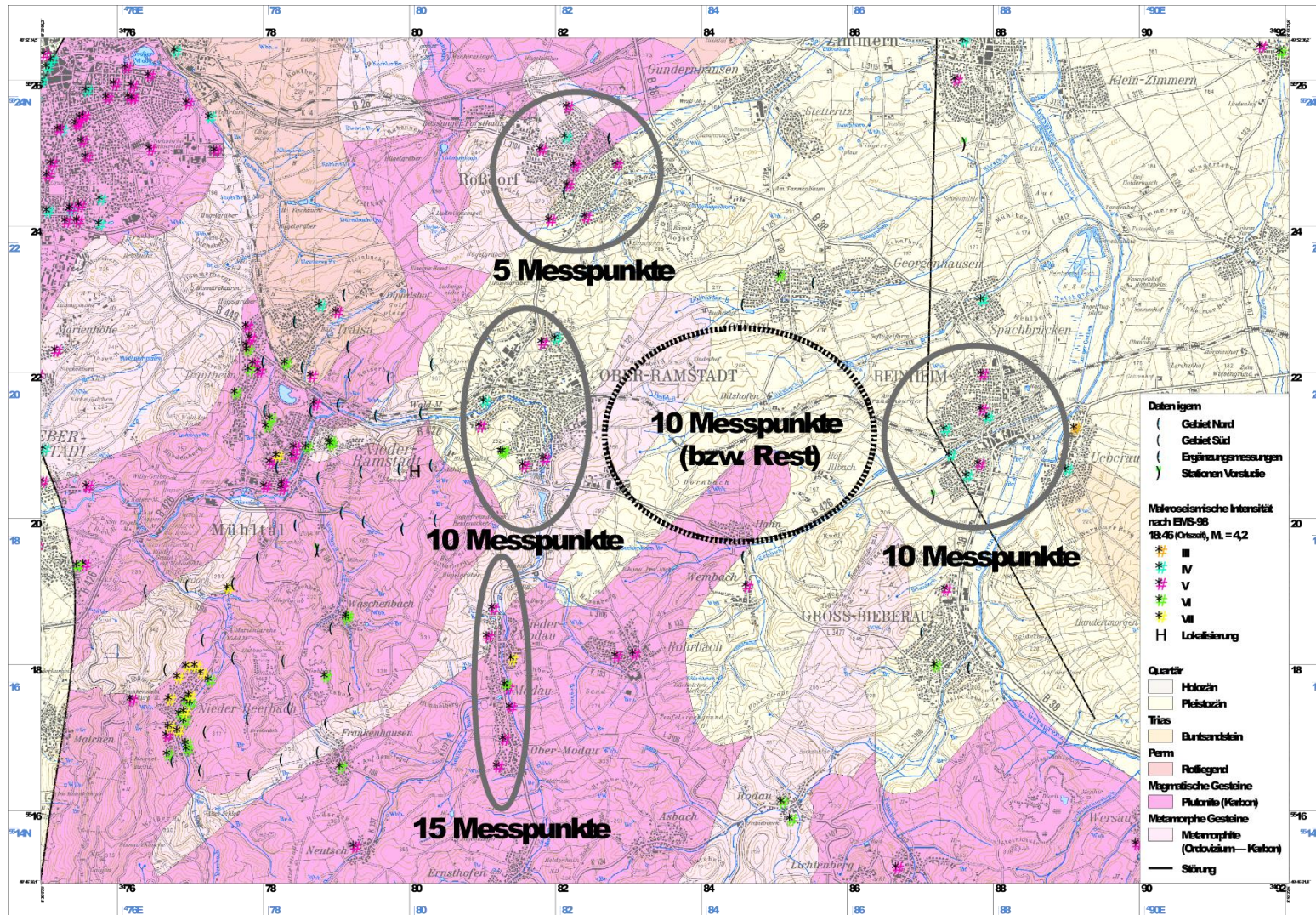
- Resonanzen bei 3-7 Hz
- deutliche Korrelation von Resonanzen und Topographie
- Schlechtere Korrelation möglicherweise durch dichtere Bebauung
- Maxima der Rayleighwellen-Elliptizität modelliert mit realen Bodenparametern bestätigt gemessene Resonanzfrequenzen



Übersicht – geologische Informationen - Gebiet Ober-Ramstadt

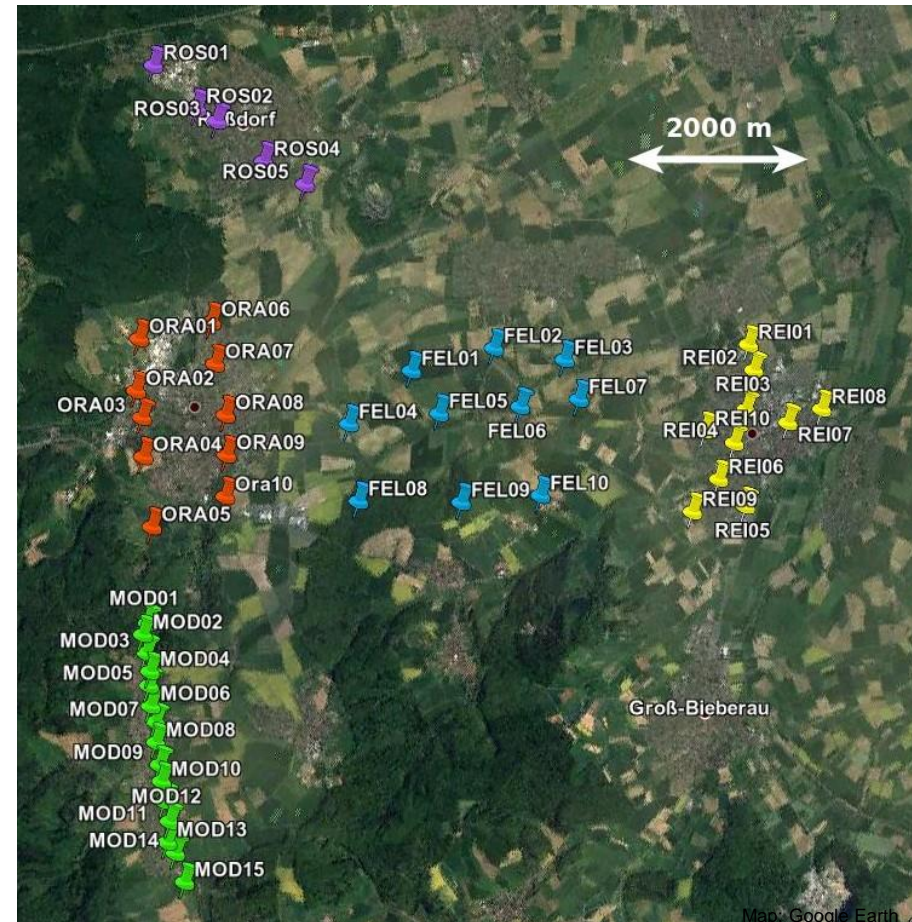
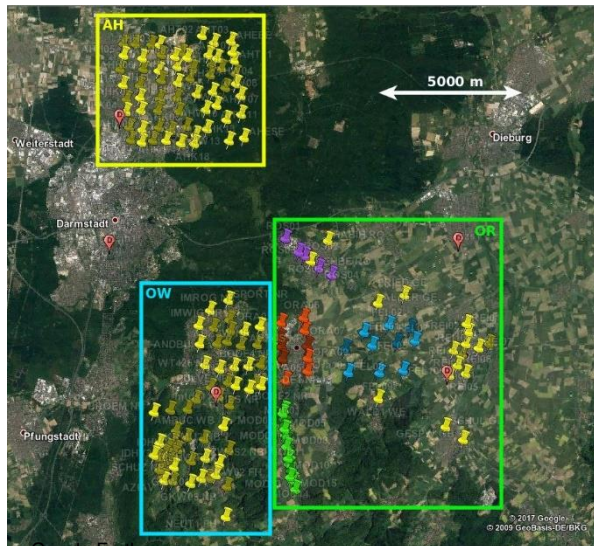


Übersicht – geologische Informationen - Gebiet Ober-Ramstadt

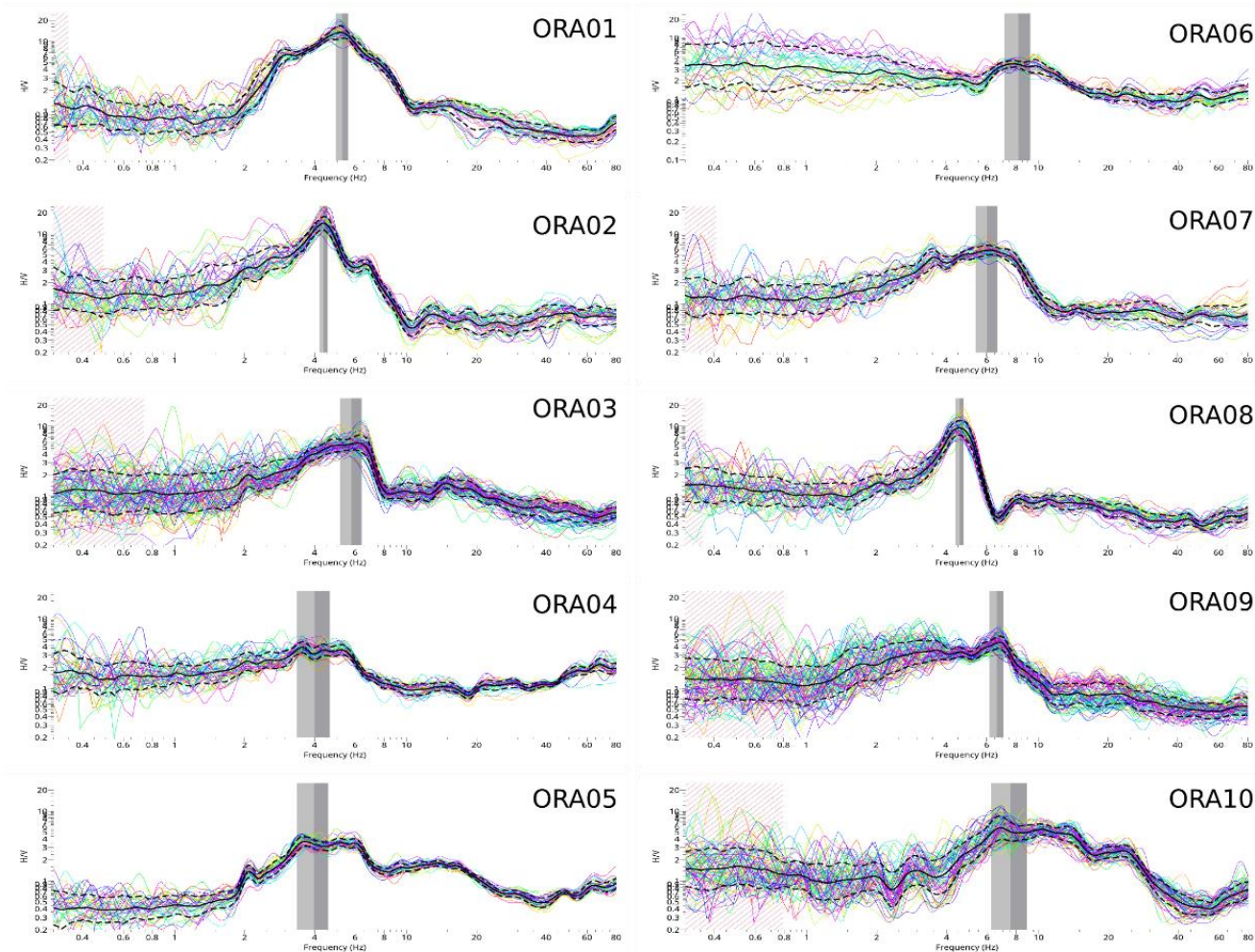


Messungen – 2

- Festlegen der restlichen Zielgebiete basierend auf gewonnenen Erkenntnissen
- Gebiet Ober-Ramstadt (OR)
- 5 Teilgebiete
 1. Ober-Ramstadt – 2 Profile
 2. Modau – 1 Profil
 3. Roßdorf – 1 Profil
 4. Reinheim – 2 Profile
 5. Felder – regelmäßige Verteilung



Ergebnisse – 2 – OR – Ober-Ramstadt



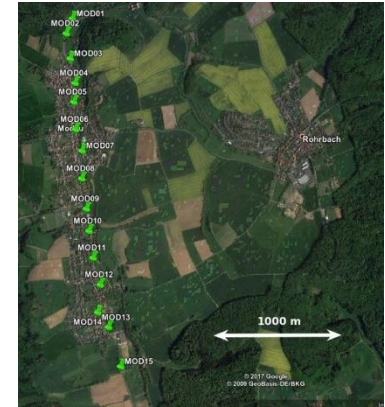
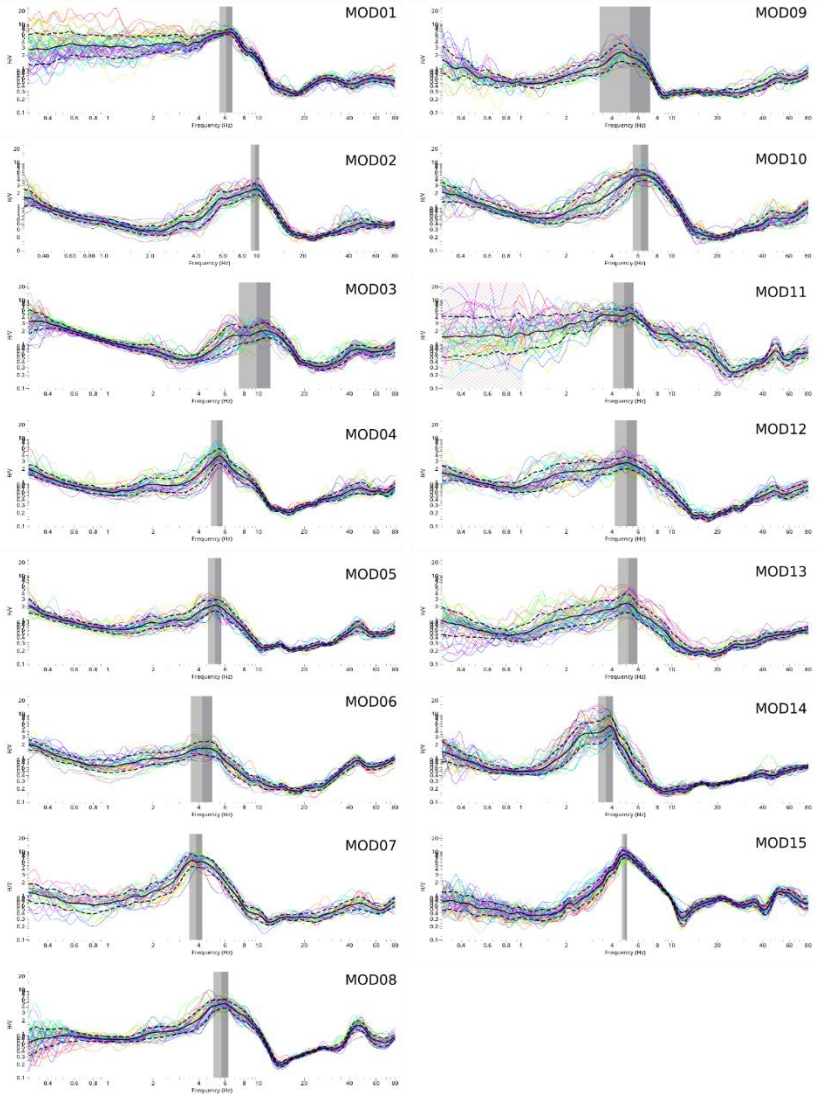
Resonanzen bei ca. 5-6 Hz

Ergebnisse – 2 – OR – Ober-Ramstadt

- Anzahl der Schadensmeldungen/gespürten Erdbebenintensitäten im Vergleich sehr gering
- Untergrund von quartären Ablagerungen dominiert
- Resonanzen bei ca. 5-6 Hz
- Aus den Daten: keine flächendeckenden Schäden durch lokal verstärkte seismische Signale zu erwarten



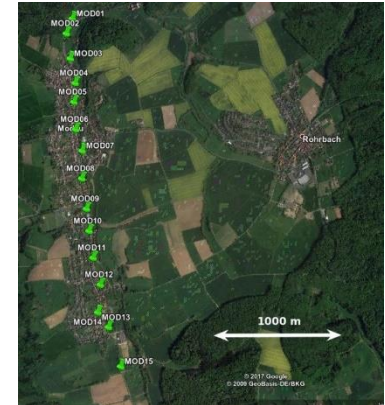
Ergebnisse – 2 – OR – Modau



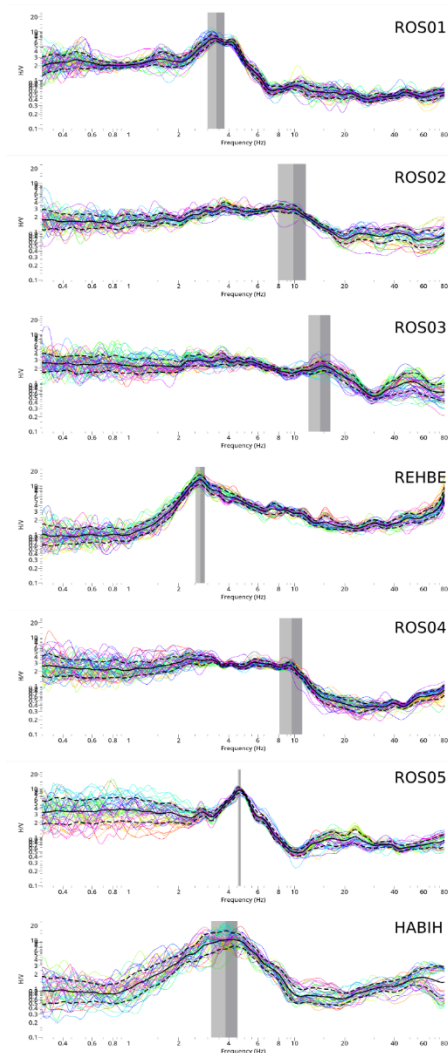
Resonanzen bei ca. 4-5 Hz

Ergebnisse – 2 – OR – Modau

- Ähnlich wie im Teilgebiet Nieder-Beerbach wurde entlang eines Nord-Süd-Profiles gemessen
- Durchgängig Resonanzen zu beobachten
- durchschnittliche Resonanzfrequenz 4.6 ± 0.6 Hz
- unterer Rand des für die Gefährdung von Wohnhäusern relevanten Intervalls
- Mögliche Erklärung für die vergleichsweise geringe Anzahl Intensitäts- und Schadensmeldungen



Ergebnisse – 2 – OR – Roßdorf



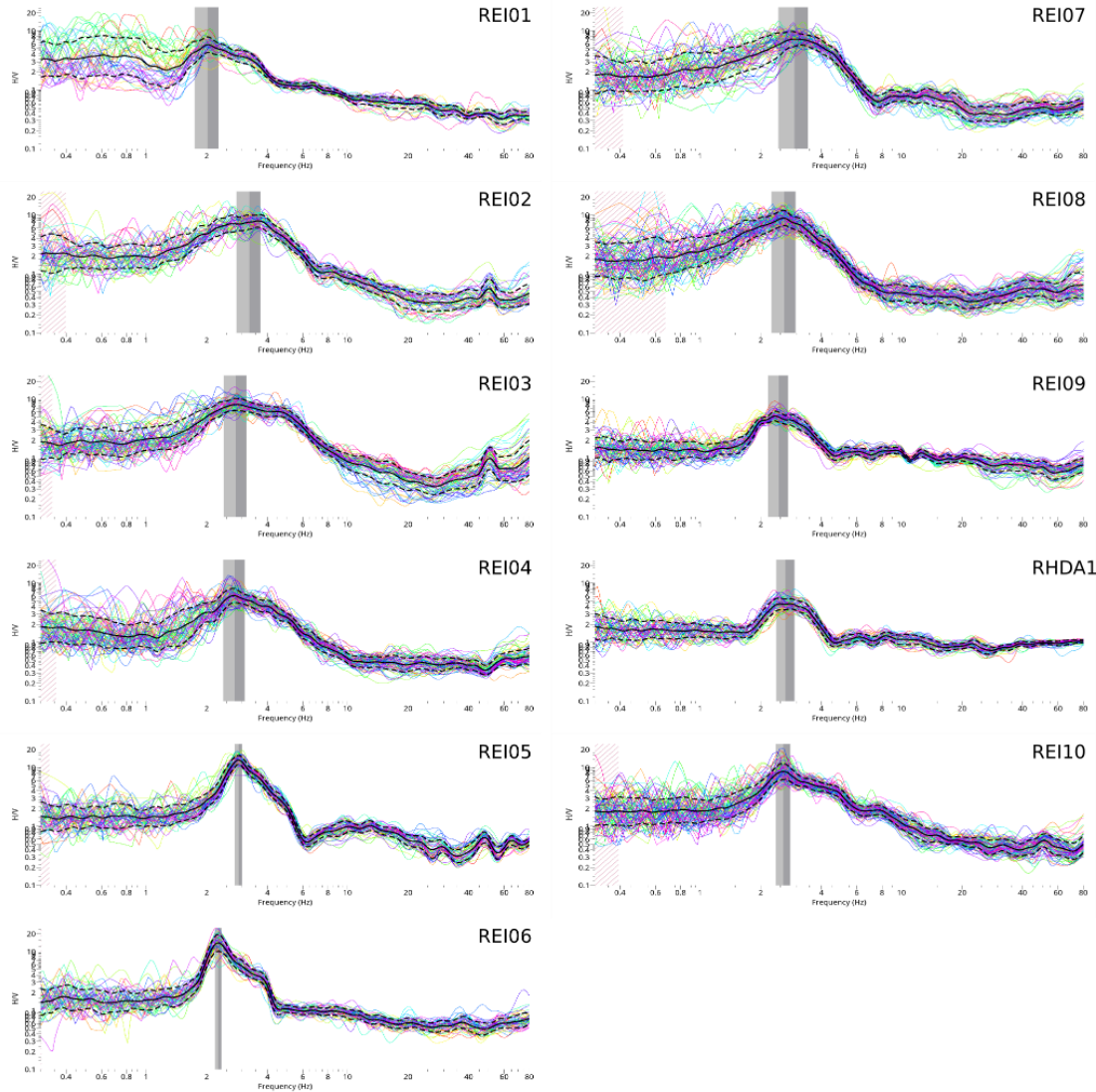
Resonanzen bei ca. 3-7 Hz

Ergebnisse – 2 – OR – Roßdorf

- Innerhalb dieses Profils verläuft der Übergang von metamorphem Gestein in das von quartären Ablagerungen dominierte Reinheimer Becken
- Übergang von Kurven ohne Maximum (Norden) zu klarer Resonanz (Süden)
- Hinweis auf mögliche andere Ausdehnung der Plutonite
- komplexere Untergrundstruktur von Roßdorf lässt keine eindeutige Gefährdungseinschätzung bezüglich der Einwirkung seismischer Signale zu



Ergebnisse – 2 – OR – Reinheim



Resonanzen bei ca. 2-3 Hz

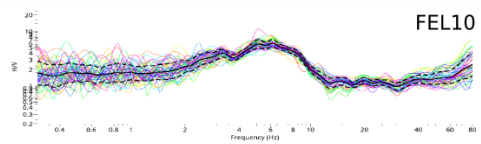
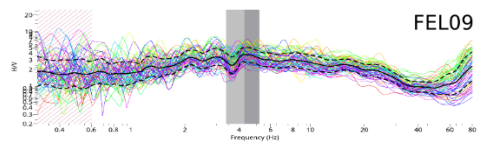
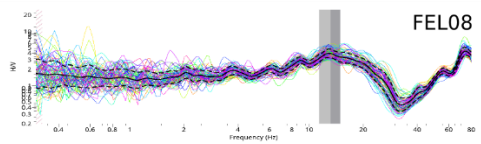
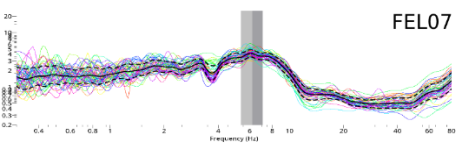
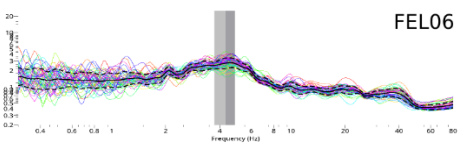
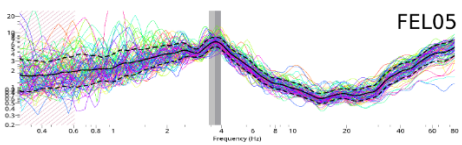
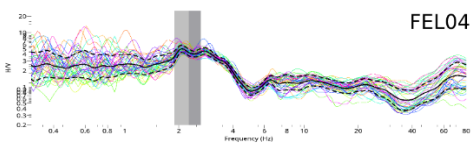
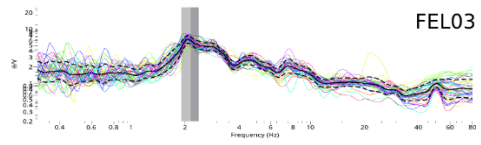
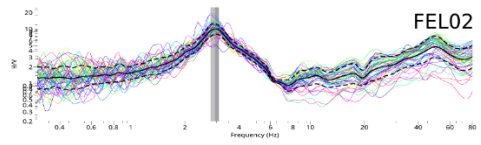
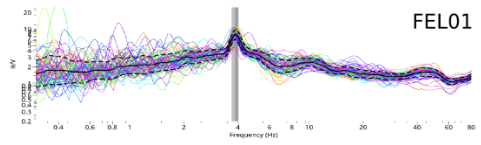
Projekt *SEUSH*

Ergebnisse – 2 – OR – Reinheim

- Verlauf einer Störung vermutet/kartiert
- leicht verbreitertes aber deutliches Maximum bei 2.7 ± 0.5 Hz
- Tiefe der dominierenden aufliegenden Sedimentschicht ca. 10-20 m
- flächendeckendes Auftreten deutlicher Verstärkungswerte in engem Frequenzintervall erklärt das Vorliegen mehrerer Intensitätsmeldungen.
- Resonanzfrequenzen systematisch niedriger als in NB => vergleichsweise niedrigere registrierte Intensitäten und fehlende Schadensmeldungen



Ergebnisse – 2 – OR – Felder



teilweise klare Resonanzfrequenzen sichtbar

Projekt *SEUSH*

Ergebnisse – 2 – OR – Felder

- Hauptsächlich im Reinheimer Becken
- Übergang zu metamorphen Gesteinen im Westen
- Übergang zu Plutoniten im Südwesten
- Teilweise horizontale Sedimentschichtung vermutet
- Aber auch deutliche Anzeichen für Übergänge zwischen Untergrundstrukturen



- 188 Messpunkte
- Durchgehend gute Datenqualität
- Bearbeitungszeitraum: Mai - Oktober 2018
- Messungen geplant von HLNUG und igem
- Messungen und Auswertung ausgeführt vom igem
- Koordination und Absprache in Projekttreffen am HLNUG
- Projektdokumentation in zwei schriftlichen Berichten

- Berechnung der H/V-Spektralverhältnisse mit Geopsy (www.geopsy.org)
- Datenbearbeitung mit Python

- Fragestellungen wurden erfolgreich bearbeitet
- Im Vergleich sehr gute Daten und klare Interpretationen
- Wissenschaftlich hoch interessante und konsistente Ergebnisse
- Wissenschaftliche Publikation in Planung

Gibt es eine geowissenschaftliche Begründung, warum lokale seismische Ereignisse in Arheilgen weniger gespürt/gemeldet wurden als im Randgebiet des nördlichen Odenwaldes?

- eindeutige Maxima in den Kurven H/V-Spektralverhältnisse nicht flächendeckend identifizierbar für AH
- Teilweise 150 m Sedimentdecke (Bohrlochdaten)
- Resonanzfrequenzen nur < 1Hz erwartbar
- Untergrundstruktur wahrscheinlich kleinskalig komplex

JA

Gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen der Struktur des lokalen Untergrundes und den gehäuften Schadensmeldungen in Nieder-Beerbach?

- flacher Untergrund des Siedlungsbereichs in NB durch Sedimentauflagen in einer Talstruktur charakterisiert (lokale geologische Karte)
- H/V-Maxima entsprechen charakteristischen Eigenfrequenzen von Einfamilienhäusern
- Interpretation der H/V-Daten liefert Erklärung für das gehäufte Auftreten von Gebäudeschäden mit Hilfe eines einfachen Modells
- deutliche Korrelation von Resonanzen und Topographie

JA

Sind die spektralen Eigenschaften des Untergrundes konsistent mit den bestehenden kartierten geologischen Strukturen?

- Im Allgemeinen wurden die kartierten geologischen Strukturen bestätigt
- Widersprüche nur in einzelnen Fällen
- Z.B. in AH oder TG Felder:
wahrscheinlich (kleinskalig) komplexerer Untergrund als kartiert
- Keine Untersuchung möglicher Resonanzen $< 1\text{Hz}$ im Rahmen von SEUSH, da nicht gefährdungsrelevant

JA

ITB - Institut für Innovation, Transfer und Beratung

Ziele: „Wissenstransfer“, Verbindung von Industriemit Wissenschaftlichen
Einrichtungen, wissenschaftliche Auftragsarbeiten...

Inhaber: Land RLP, Bankem, Industrie- und Handelskammer
gemeinnützig, finanziert durch Industrieprojekte und Wissenschaftsförderung

TSB (Ingenieure)
Erneuerbare Energien,
Energieeinsparung,
Virtuelle Kraftwerke,
E-Mobilität, Biogene
Werkstoffe

igem Geologen, Geophysiker, Physiker

- **Georessourcen, Geothermie**
- Exploration natürlicher Ressourcen
- Geophysikalische Messkampagnen
(Gravimetrie, Magnetik, MT, Seismologie)
- Simulation von Deformationsprozessen
- Thermohydraulische Simulationen
- Seismologie
- Entwicklung spezieller Softwarelösungen

Tierzucht
(Ingenieure,
Veterinäre)
Futtertests,
Tiergesundheit,
Tierhygiene

Sonstiges

Zusammenfassung

- Ursache für Schadensverteilung in der Erdbebenregion Darmstadt messtechnisch bestätigt
- Damit auch Ursache für frühere Schäden in der Region höchstwahrscheinlich geklärt
- Aufgrund dieser Erkenntnisse und der vorhandenen Baustruktur in Nieder-Beerbach (Schäden vor allem an alten Gebäuden) ist das Erdbebenrisiko erhöht
- Erdbebenzone 1 laut DIN 4149 bestätigt
- Korrelation Topografie und Resonanzen wissenschaftlich höchst interessant
- Hinweise auf kleinräumige geologische Strukturen