

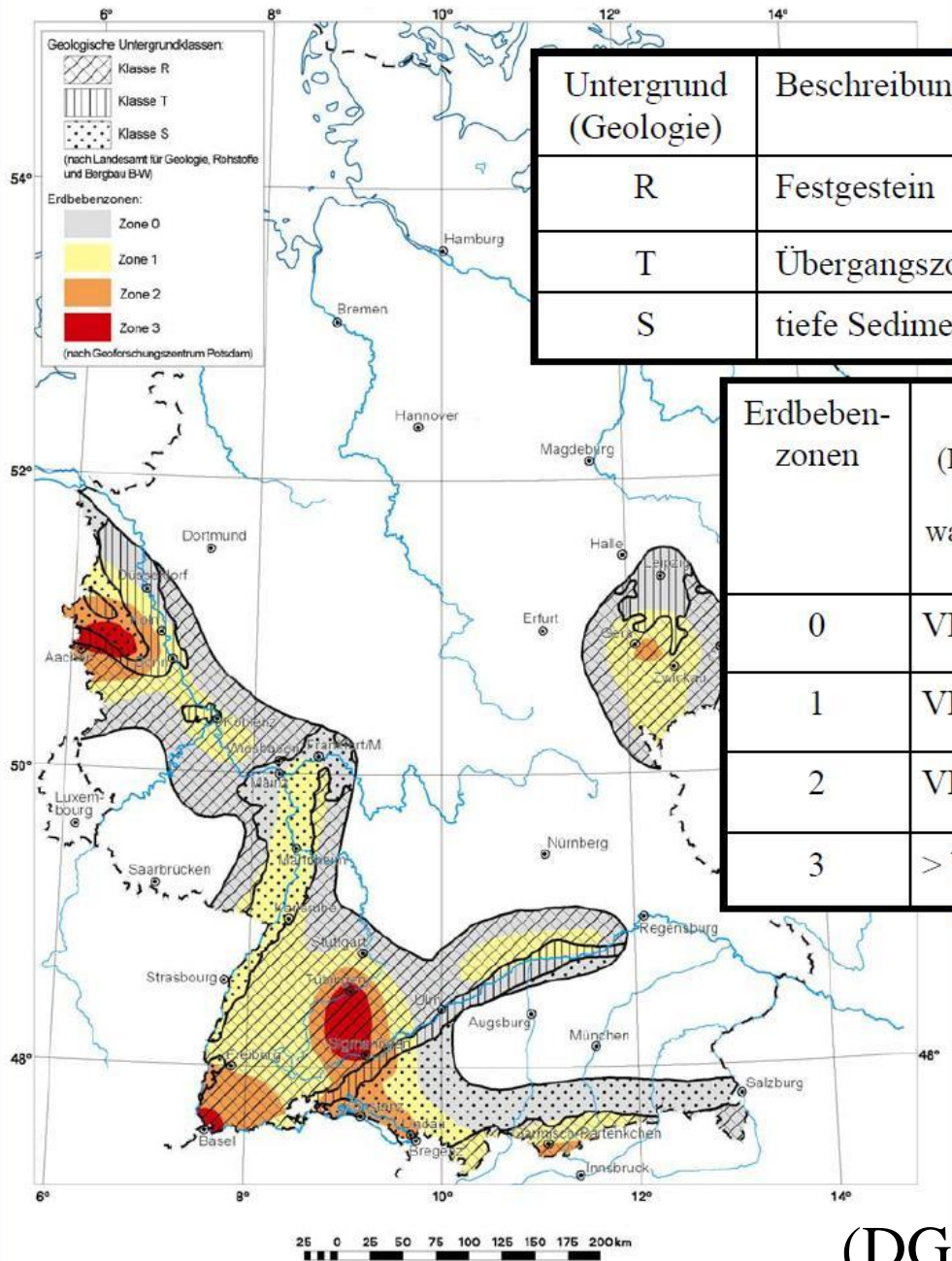
Kein Endlager in Erdbebenzonen – wie genau können wir messen ?

Prof. Dr. Manfred Joswig

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

jetzt: Sonicona GbR, Tübingen

Erdbebenzonen und geologische Untergrundklassen für E-DIN 4149-2004



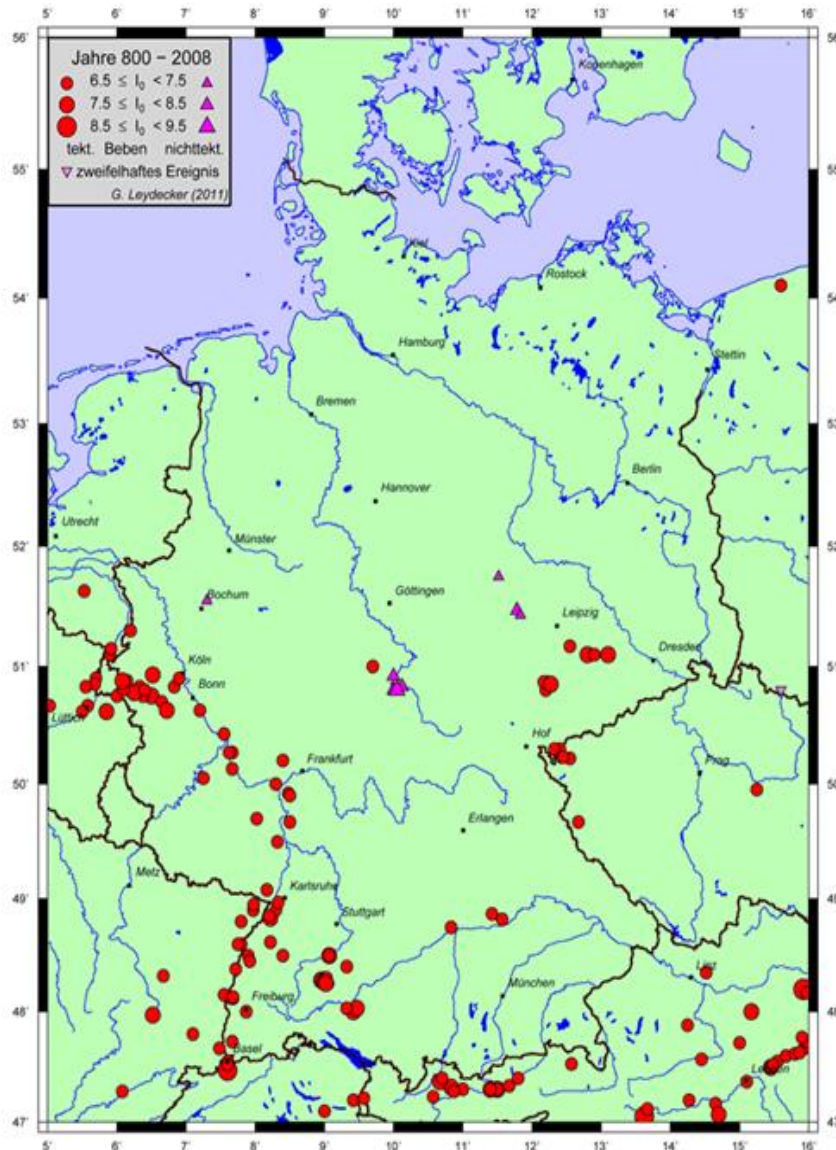
Untergrund (Geologie)	Beschreibung
R	Festgestein
T	Übergangszonen
S	tiefe Sedimentbecken

Erdbebenzonen	Intensität I (EMS-Skala, 10%-Überschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren)
0	VI bis VI-VII
1	VI-VII bis VII
2	VII bis VII-VIII
3	> VII-VIII

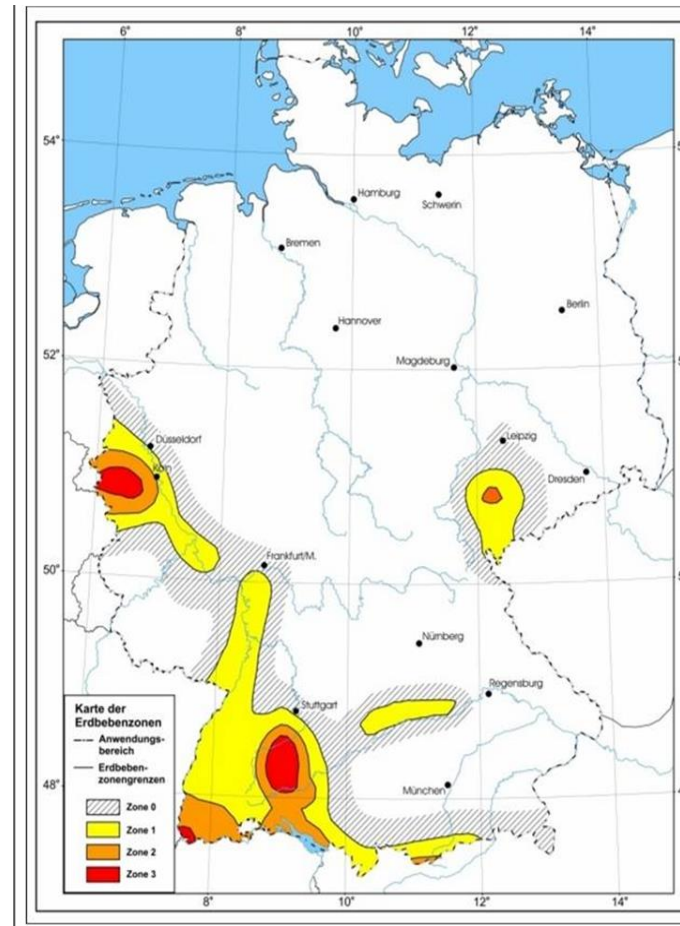
Ausschlusskriterium „seismische Aktivität“:
 Kein Endlager in Erdbebenzonen 2 & 3

(DGEB, 2004)

BGR Earthquakes: 800 bis 2008



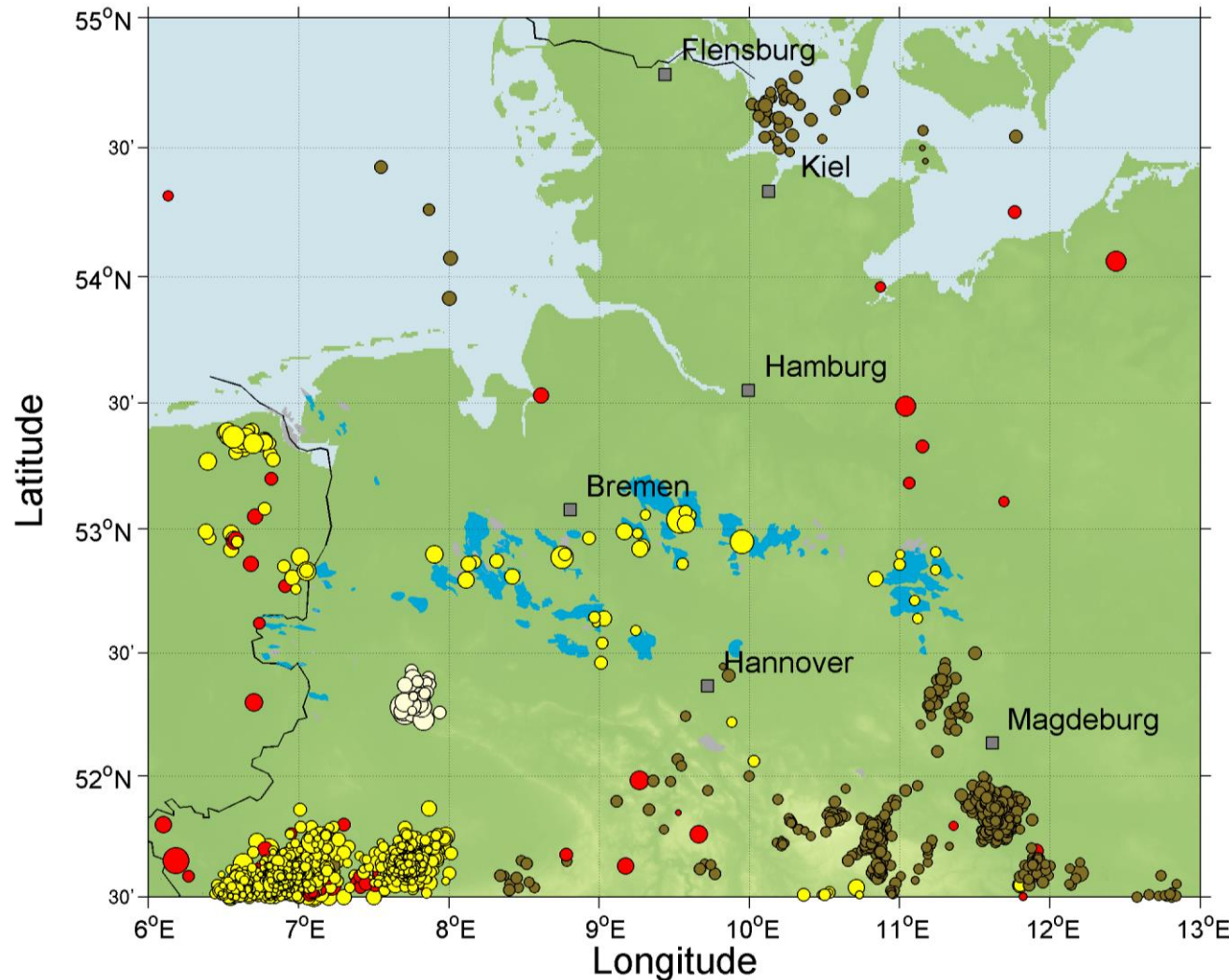
29 ML 5,0 bis 6,8



Basis der Erdbebenzonierung sind die gemessenen und historisch belegten Erdbeben in Deutschland



Seismicity in Northern Germany



Magnitude M_L

- 2.0
- 2.5
- 3.0
- 3.5
- 4.0
- 4.5

- Natural events
- Induced events
- Blasts

■ Gasfield

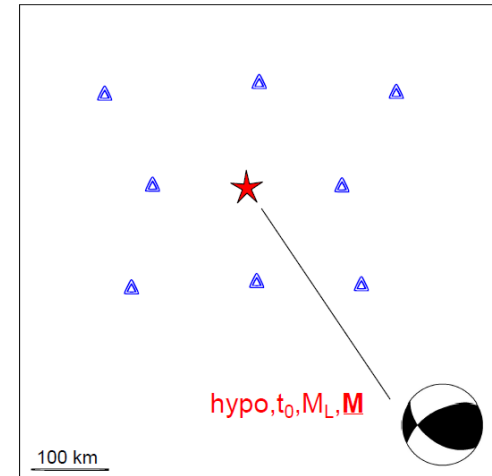
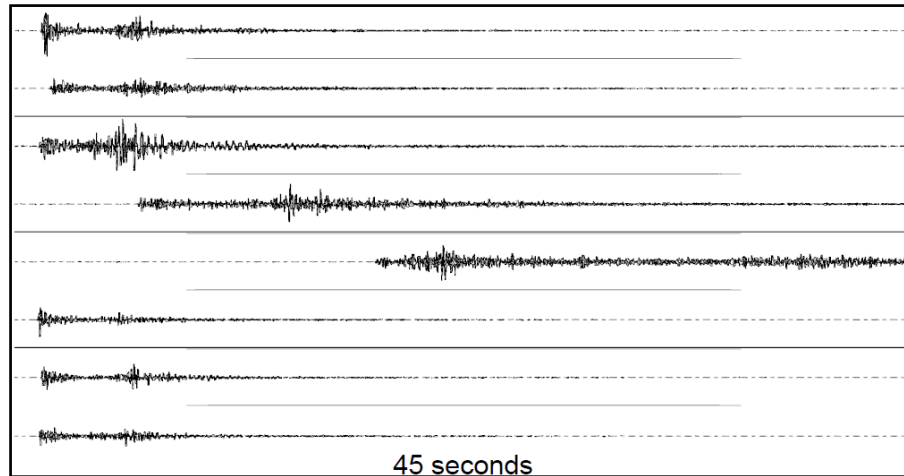
Norddeutschland ist in die Erdbebenzone 0 eingestuft und galt jahrzehntelang als ‚aseismisch‘.

Die seit etwa 1970 trotzdem erfassten Erdbeben wurden zunächst als sog. induzierte Erdbeben ausschließlich der Erdgasförderung zugeschrieben.

Erst seit etwa 20 Jahren werden auch Erdbeben weit unterhalb der Erdgaslagerstätten erfasst, die vermutlich auf postglaziale Ausgleichbewegungen zurück zu führen sind.



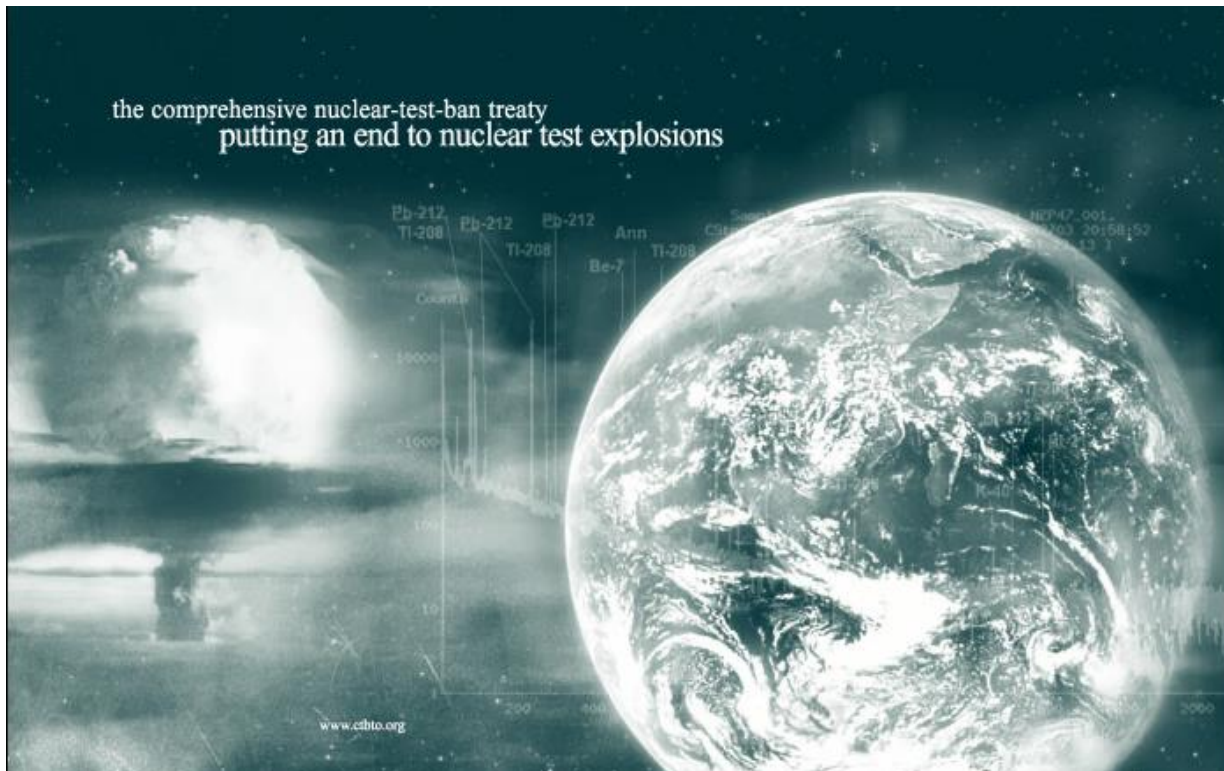
network
SNR 5:1
(15 dB)



Basis der Erdbebenerfassung sind seismische Netze aus einzelnen Erdbebenmessstationen. Sie sind kreisförmig um das zu überwachende Herdgebiet angeordnet. Für die Ortung werden klare Einsätze benötigt, die Empfindlichkeit liegt bei etwa ML 1 deutschlandweit.

On-site inspection (OSI)

- one element of verification within
the Comprehensive Nuclear-test-ban Treaty (CTBT)

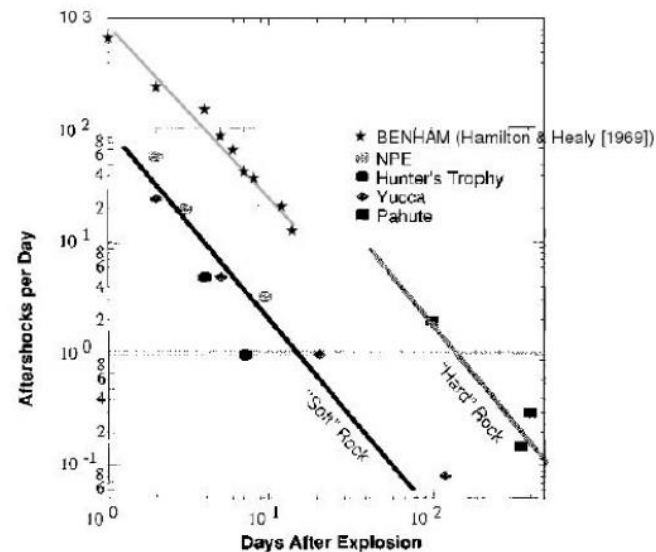
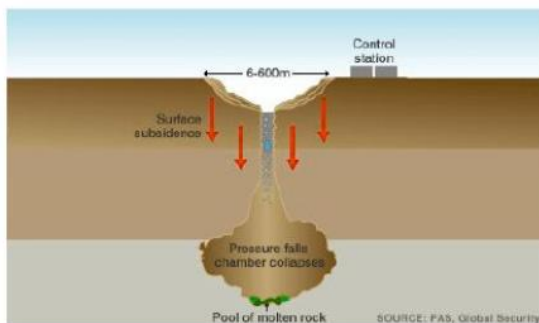
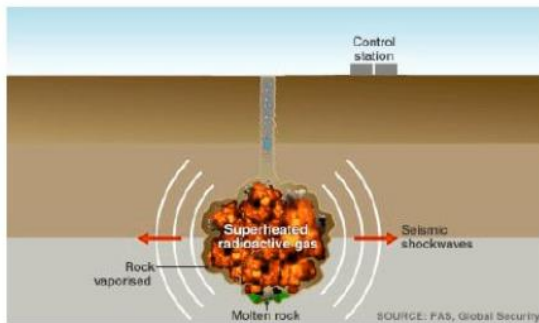


Im Folgenden soll ein Konzept vorgestellt werden, welches für die nukleare Rüstungskontrolle entwickelt wurde. Es basiert auf der Nutzung seismischer Miniarrays zur Messung von Nanoerdbeben (nanoseismic monitoring).

Monitoring von seismischen Nachbeben

Nachbeben einer unterirdischen nuklearen Explosion (UNE):

- Nachbeben entstehen durch herunterfallendes Gestein im Hohlraum und Entspannungsvorgänge in der Umgebung
- Nach 10 Tagen unter Umständen weniger als ein Nachbeben pro Tag (abhängig von Geologie, Größe der UNE)



Aftershock rates Nevada test site, Jarpe et al. (1994)



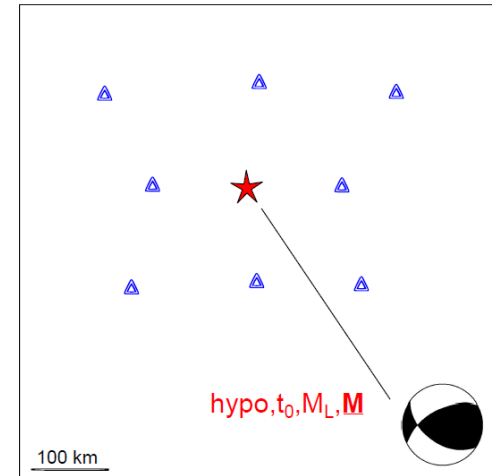
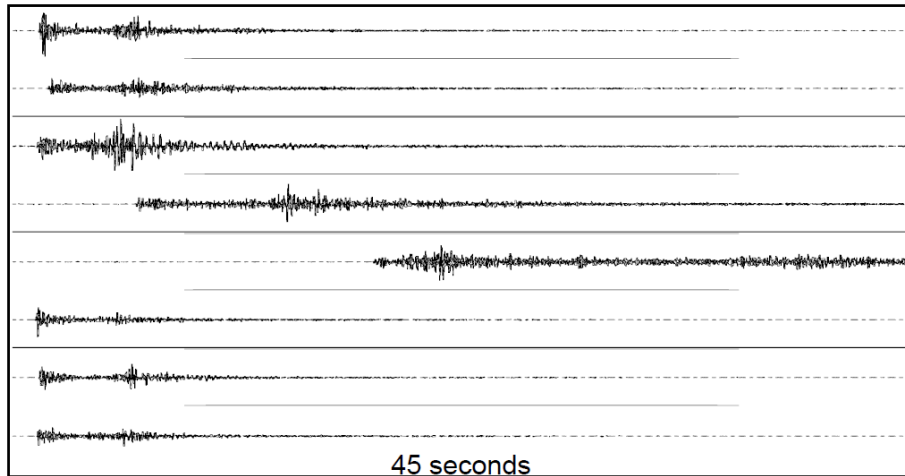
On-Site-Inspection of CTBTO:

In einem Gebiet von 1.000 km² sollen durch Ausbringen von 50 Miniarrays etwa 10 Tage nach der vermuteten Kernexplosion einzelne Nachbeben bis ML -2 entdeckt und geortet werden. Wegen Beschränkungen in Zeit, Teamstärke und Ausrüstung kommen nur oberflächliche Installationen in Frage.

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen wird das Verfahren des nanoseismic monitoring eingesetzt.

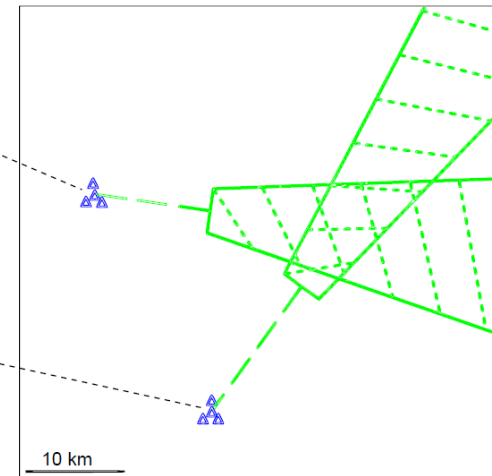
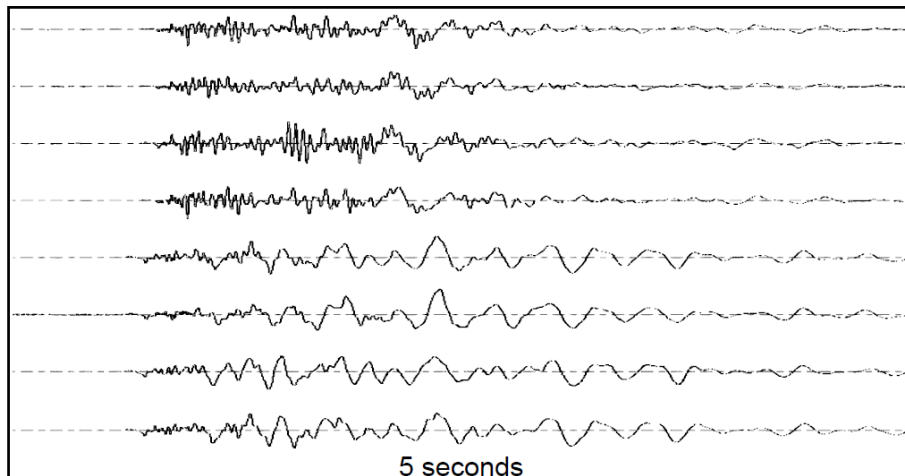


network
SNR 5:1
(15 dB)



Basis der Erdbebenerfassung sind seismische Netze aus einzelnen Erdbebenmessstationen. Sie sind kreisförmig um das zu überwachende Herdgebiet angeordnet. Für die Ortung werden klare Einsätze benötigt, die Empfindlichkeit liegt bei etwa ML 1 deutschlandweit.

mini arrays
SNR 1:1
(0 dB)



Mit dem Konzept von Mini-Arrays können auch schwache Signale erkannt und angepeilt werden. Die Empfindlichkeit erreicht kleinskalig ML -2 trotz Beschränkung auf oberflächliche Stationen. (SNR: Signal-to-Noise-Ratio)

Scaling of Earthquakes

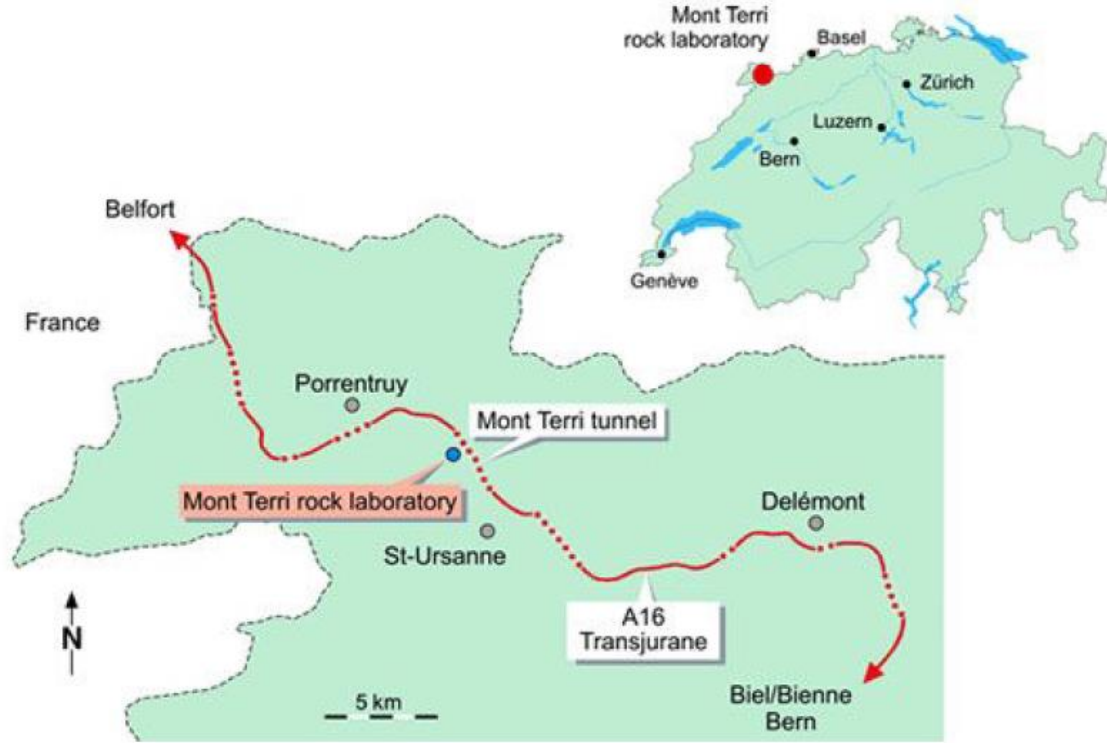


Magnitude	relative Energy	typical effects / examples
9.0	1.000	Sumatra 12/04 (catastrophy of century)
7.0	1	Izmit 08/99 (yearly damage)
5.0	0,001	chimney breaks
3.0	0,000.001	sensed by humany
1.0	0,000.000.001	small quarry blast
-1.0	0,000.000.000.001	
-2.0	0,000.000.000.000.03	

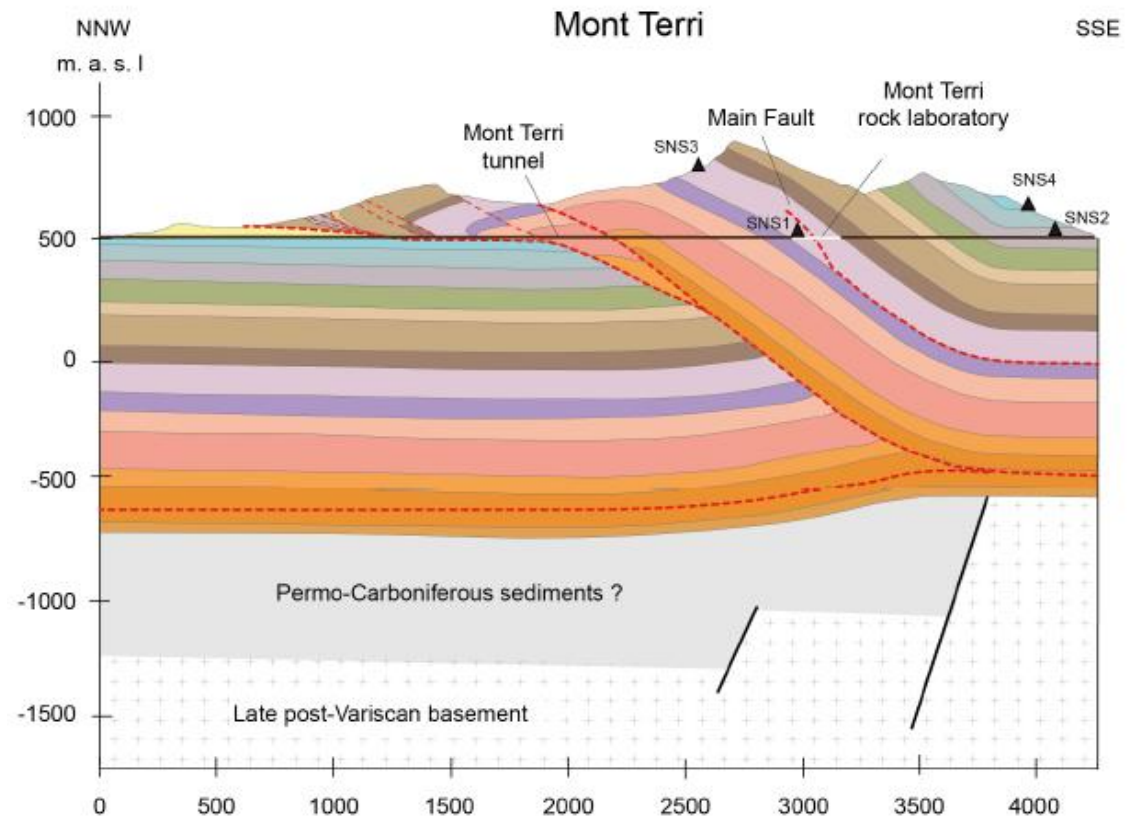
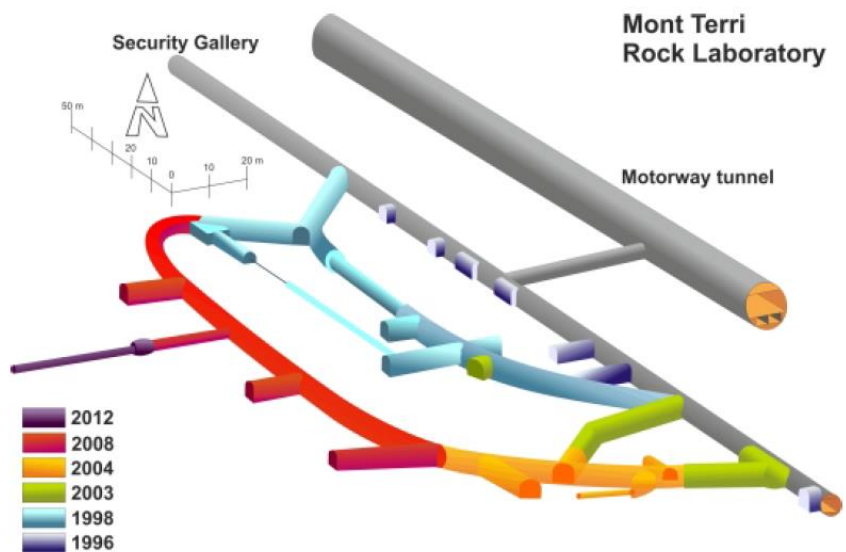
Die Erdbeben-Magnitude (Richter-Magnitude) ist auf logarithmischer Skala ein Maß für die Energie eines Erdbebens. Jeder Schritt um eine Magnitude entspricht einem Faktor 30, also grob gerundet Faktor 1.000 alle zwei Magnitudenstufen.

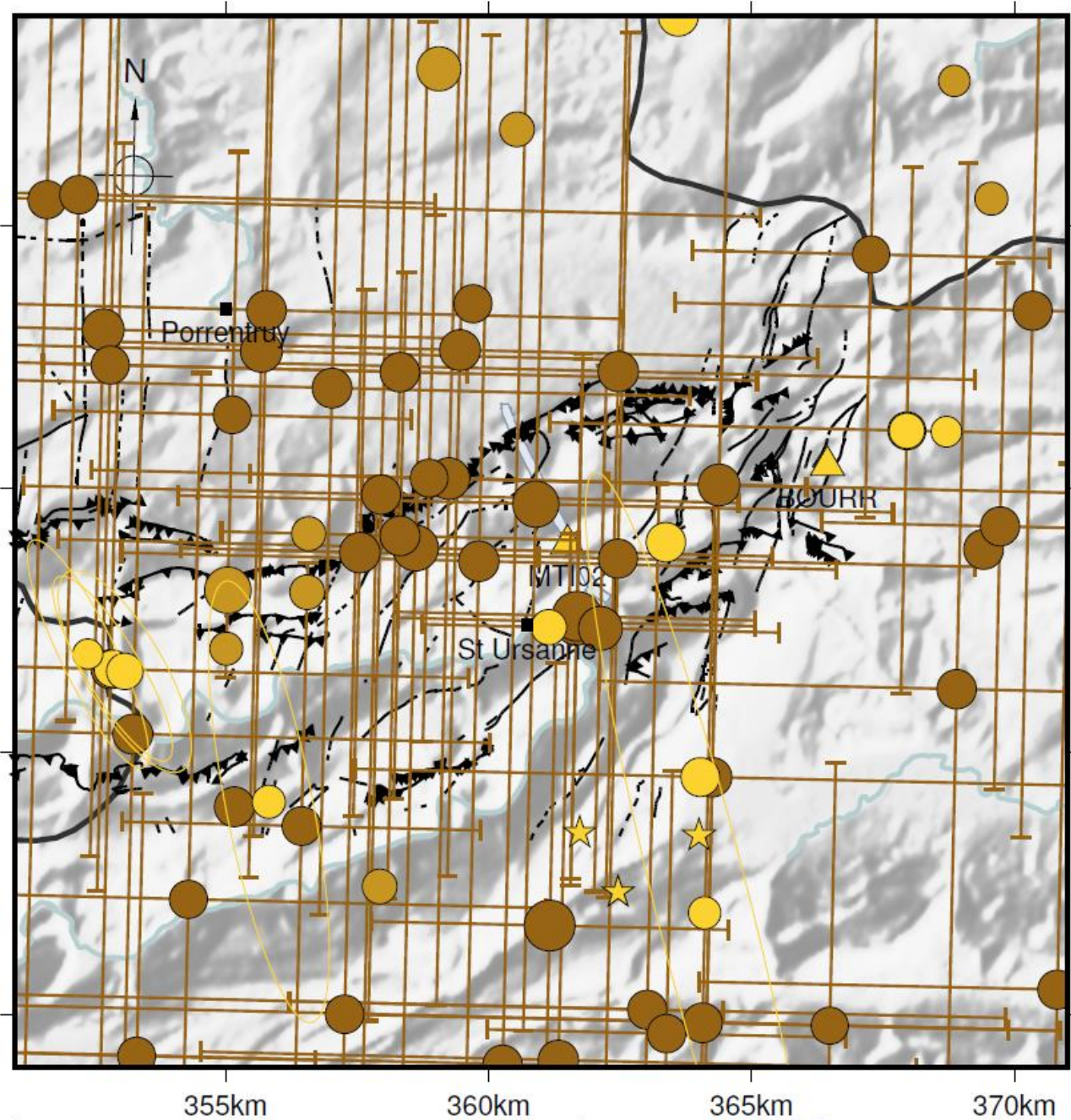
Magnitude	example Repetition rate (outside plate boundaries)	determined by ...
9.0	-	
7.0	100.000 a	paleo-seismology
5.0	1.500 a	historic records
3.0	23 a	strongest measured earthquake
1.0	130 d	catalog of seismic network
-1.0	2 d	field campagne ...
-2.0	6 h !	... of Nanoseismic Monitoring

Die Magnituden-Häufigkeits-Relation beschreibt eine Zunahme der Anzahl von Erdbeben um den Faktor 7 je kleiner werdender Magnitude. Aktive Verwerfungen lassen sich also in kurzer Zeit kartieren, wenn nur empfindlich genug gemessen werden kann.



Die Methode des Nanoseismic Monitoring wurde in einer Doktorarbeit der Uni Stuttgart im Felslabor „Mont Terri, CH“ für nukleare Endlager im Opalinus-Ton eingesetzt. Es sollte festgestellt werden ob Erdbeben in unmittelbarer Nähe des Felslabors vorhanden sind.





regional network
 ▲ SED/RéNaSS 3C

Events

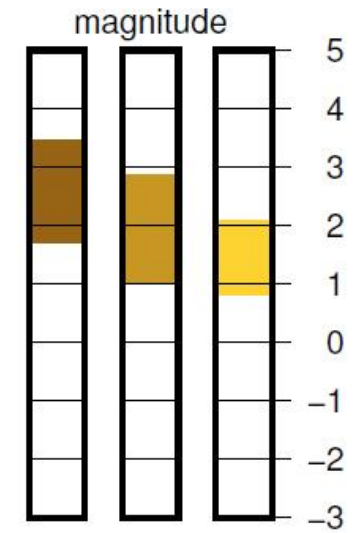
- 49
- 9
- 11

- M 1
- M 2
- M 3

Explosions

- ★ 4 detected

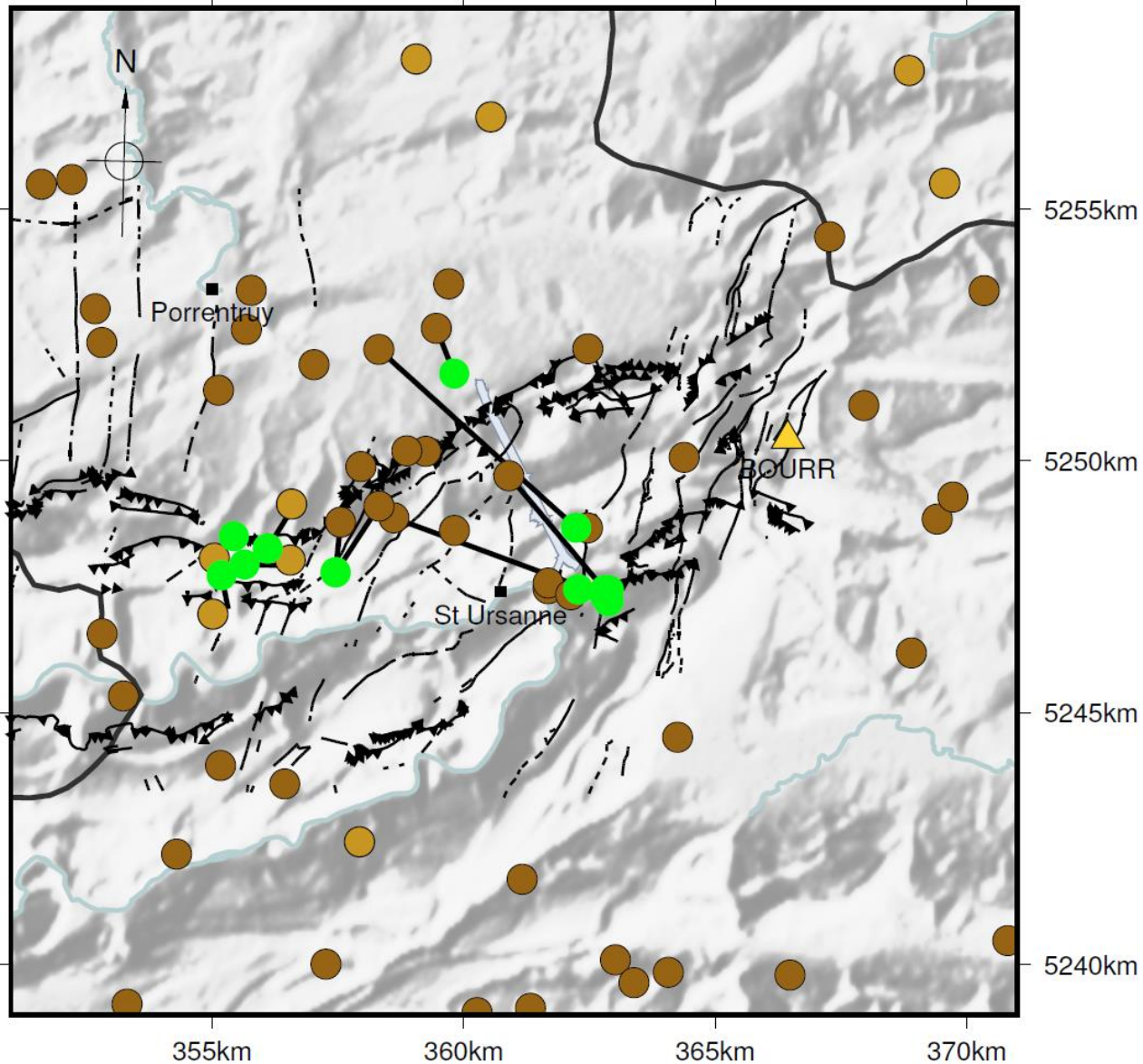
- ☆ M 1
- ☆ M 2



Ausgangspunkt war der Erdbeben-Katalog des Schweizer Erdbeben-dienstes (SED). Die regionale Überwachung ergab 69 Beben bis 2015, wobei erst ab 2010 eine Empfindlichkeit von ML 1 erreicht wurde.

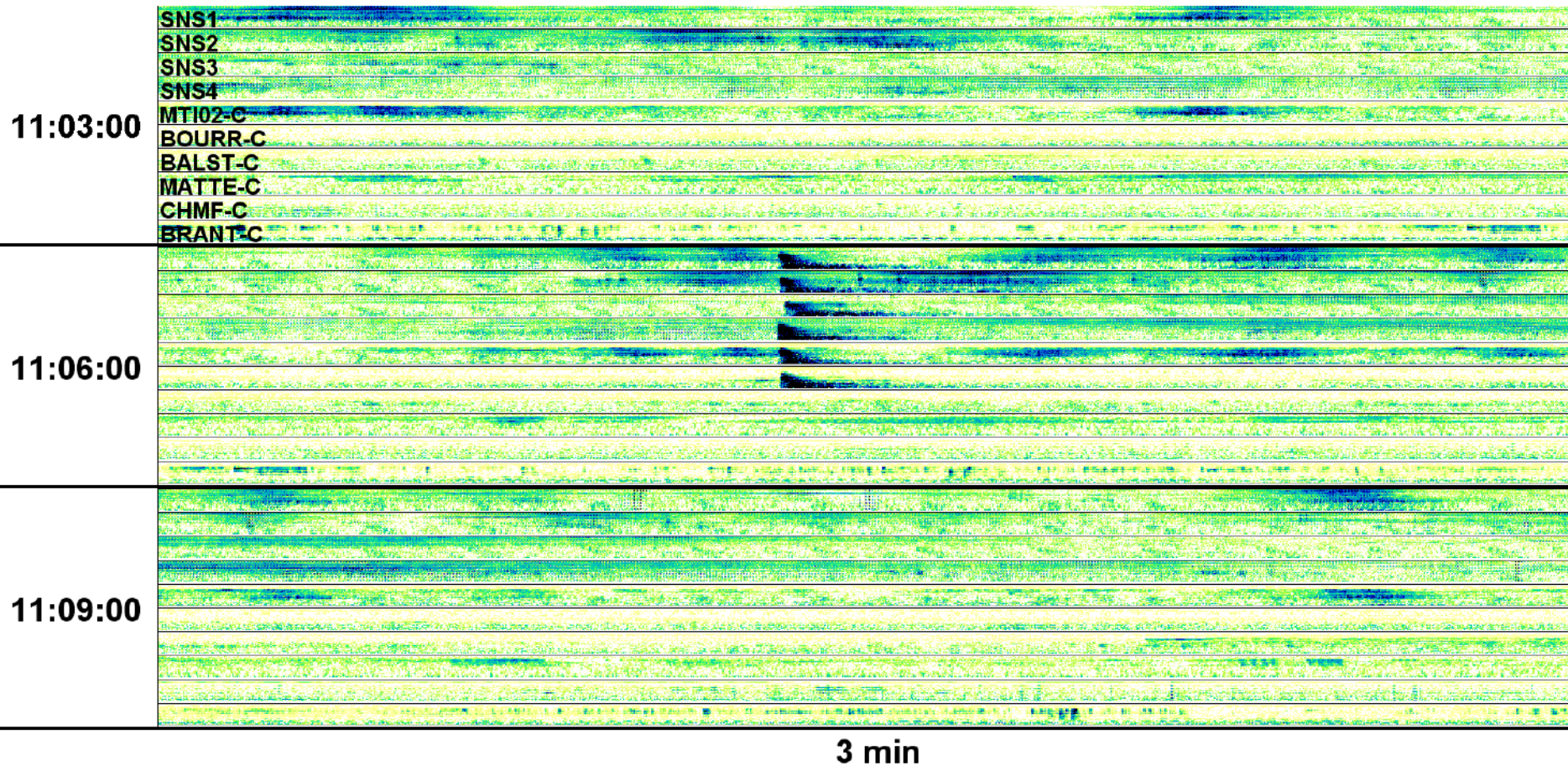
Die Kreuze zeigen die Unsicherheit der Ortung durch die weit entfernten Erdbebenstationen.

Das Feldlabor liegt im Autobahn-Tunnel, der als NNW-SSO Balken in der Mitte der Karte bei MT102 erkennbar ist.



Eine nachträgliche Neuortung mit verbesserter Methodik ergab eine Verschiebung einzelner Beben von *braun* nach *grün*. Dadurch wurde auch das einzige Beben vom Tunnel weggeschoben.

Abbildung 4.9: Relokalisierte Ereignisse (grün) aus (Deichmann et al., 2012), keine Größenskalierung der Magnituden.



Beispiel der Auswertung mittels Nanoseismic Monitoring:

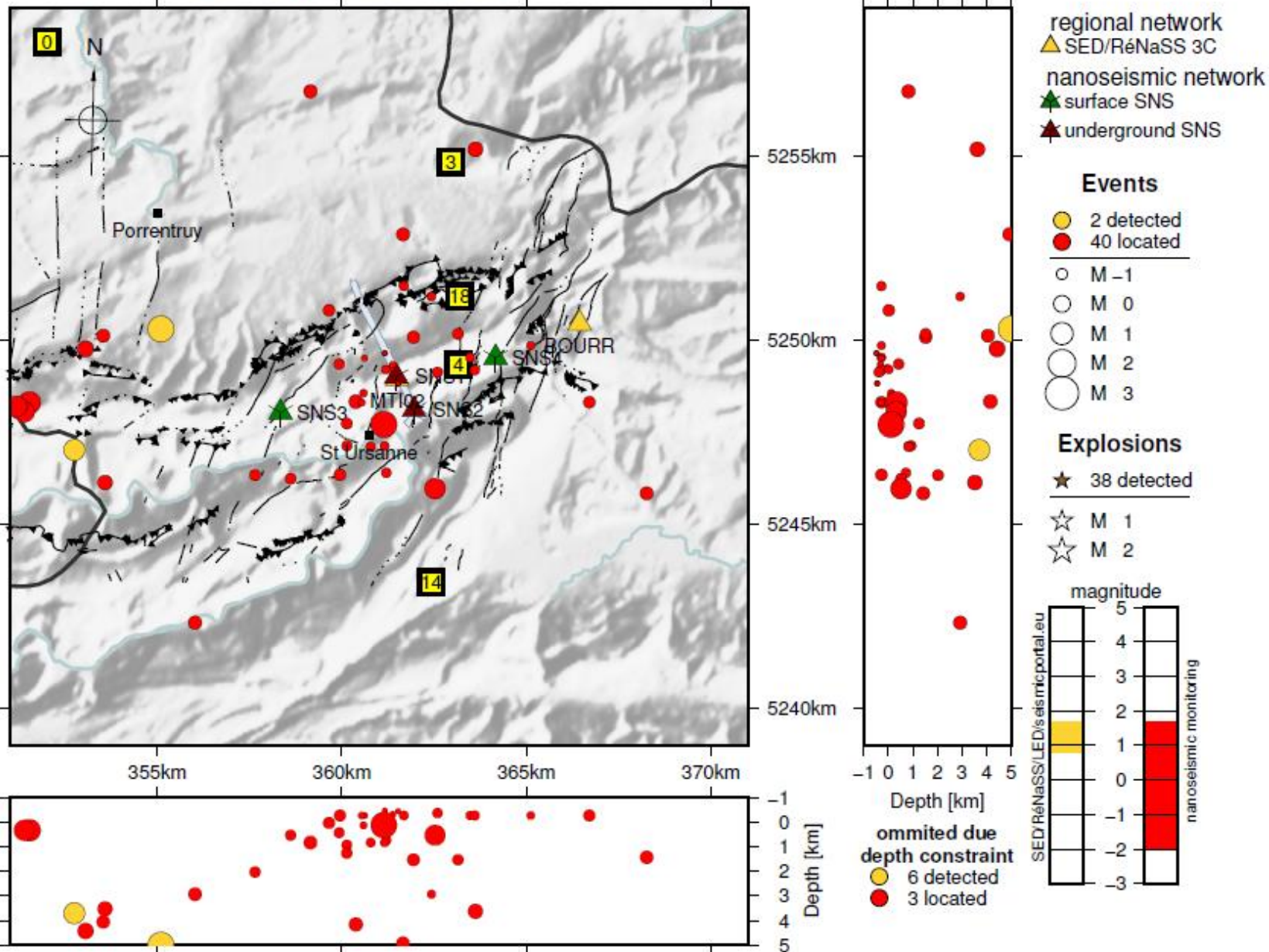
Ein schwaches Beben ist auf herdnahen Stationen SNS1-4, MTI02, BOURR klar zu erkennen, nicht aber auf weiter entfernten Stationen.

Einzelne vorbeifahrende Autos erzeugen die länglichen, zigarrenförmigen Signaturen.

Abbildung 3.10: Screenshot des Programms zur manuellen visuellen Ereignisdetektion (*SonoView*) mit lokalem lokales Ereignisbeispiel, drei Zeitzeilen mit je 3 Minuten zeigen die Supersonogramme der SNS des Mont Terri Netzwerks sowie die Sonogramme der Dreikomponentenstationen benachbarter Regionalnetzstationen.

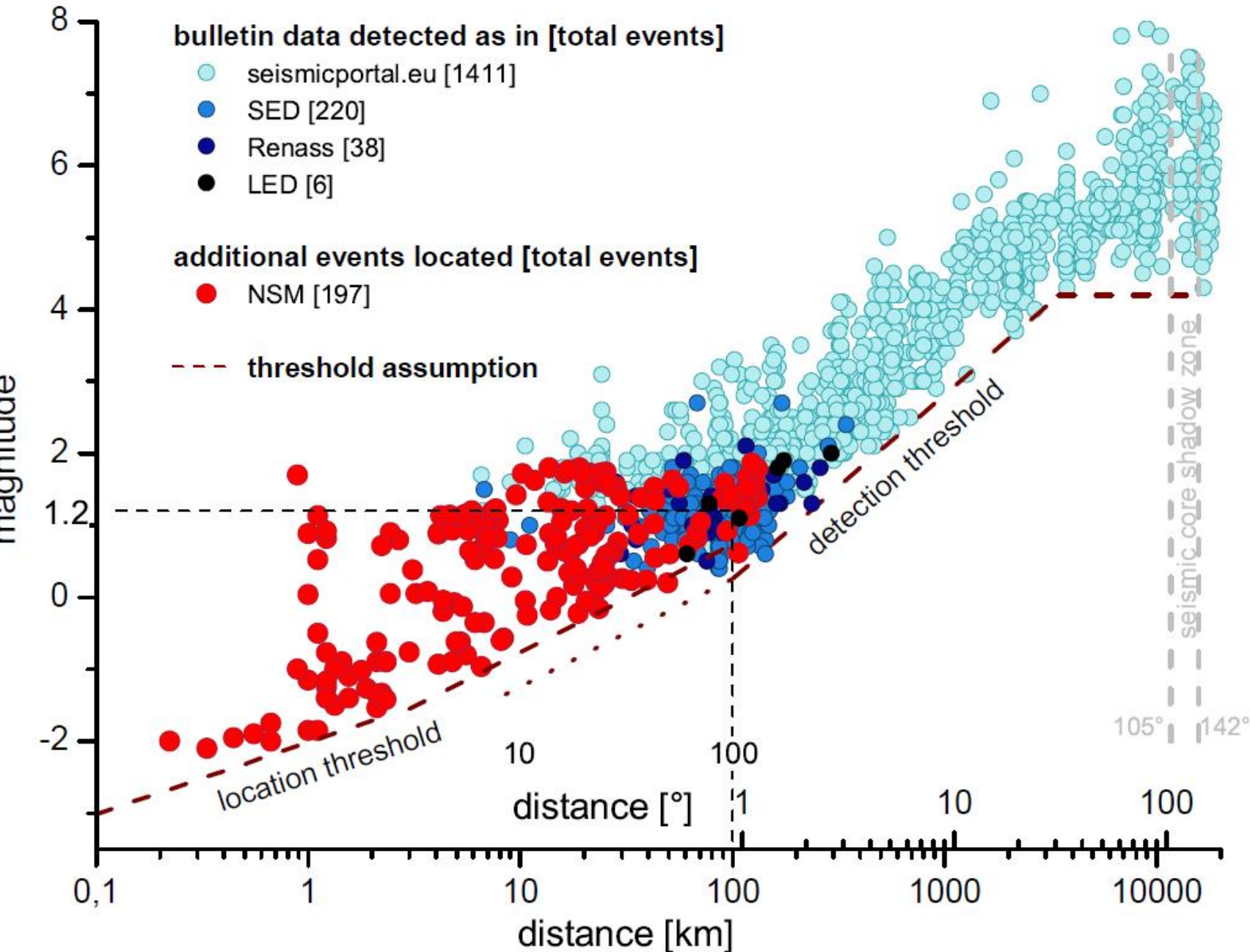


vicinity seismicity all



Ergebnis des Nanoseismic Monitoring für 1,5 Jahre. Den 2 Beben (gelb) aus regionaler Überwachung stehen 40 Kleinstbeben (rot) bis ML -2 gegenüber, die eine Seismizität auch in unmittelbarer Nähe zum Tunnel belegen.

Die numerierten Quadrate bezeichnen Steinbrüche mit Anzahl der zusätzlich erfassten Sprengungen.

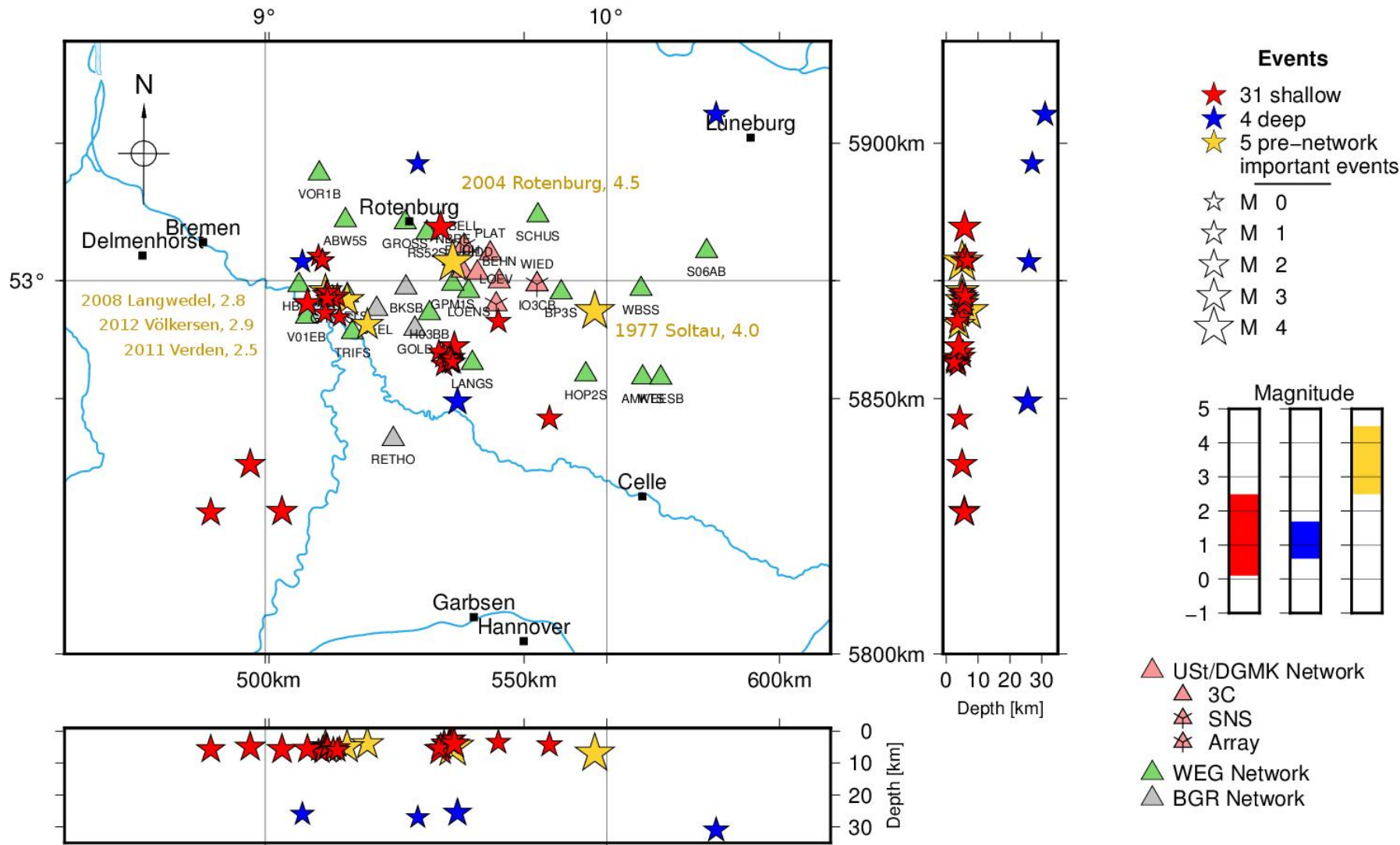


Magnituden-Entfernungs-Relation für die Mont Terri Überwachung.

Es ist klar erkennbar, wie mit zunehmender Entfernung zum Bebenherd die Empfindlichkeit abnimmt, mit der die Beben noch erfasst werden können.



Seismizität in Norddeutschland: 01.03.2013 – 29.02.2016



Auch in Norddeutschland wurde die Seismizität in einem Forschungsprojekt vom Uni Stuttgart/DGMK mittels Nanoseismic Monitoring überwacht.

Wegen hoher Bodenunruhe und größerer Entfernung wurde eine Empfindlichkeit ML 0 erreicht. Neben vielen Beben in der Tiefenlage der Erdgasfelder wurden auch vier tiefe Krustenbeben entdeckt, die nicht im regionalen Monitoring aufgefallen waren.

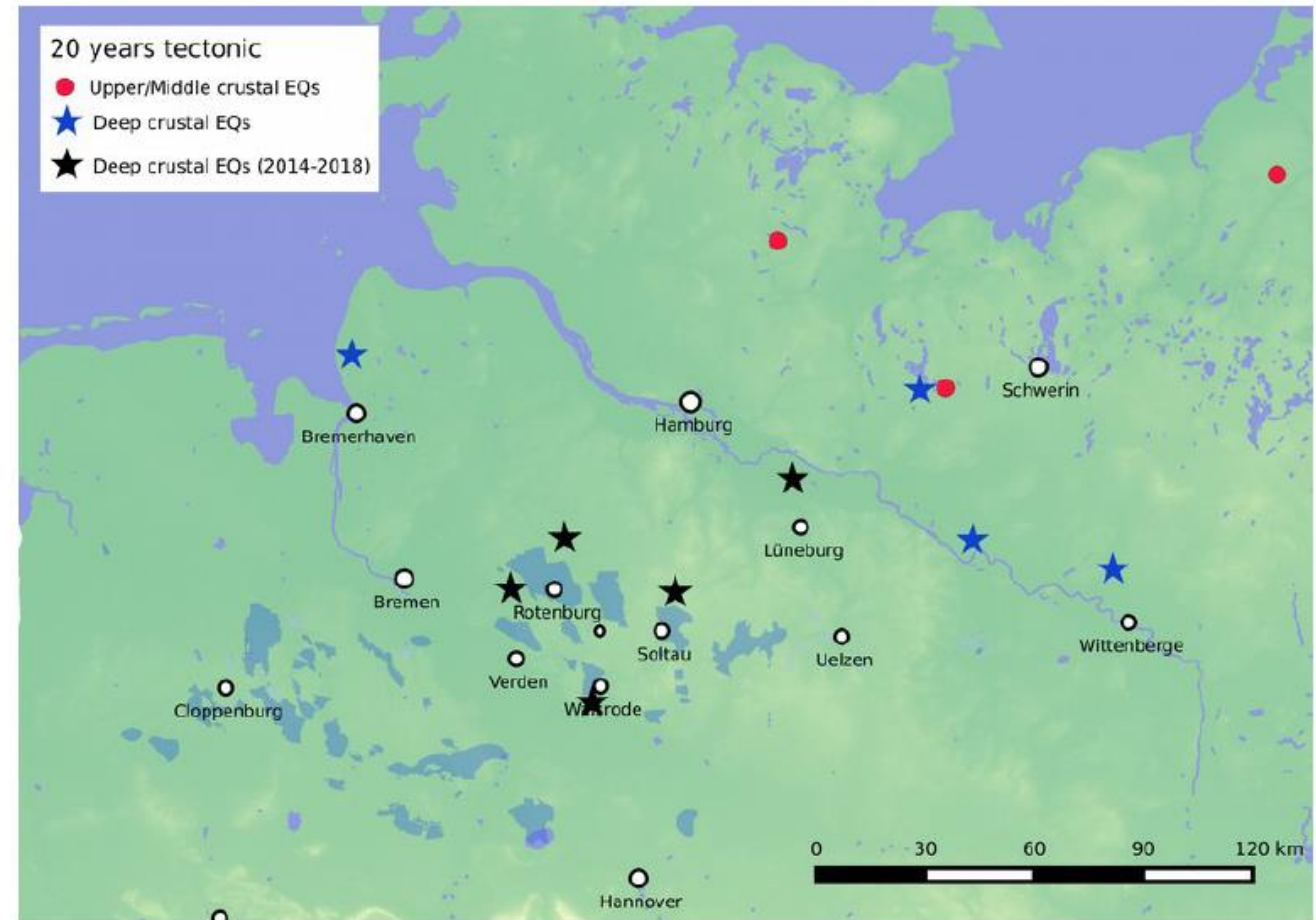


Insgesamt ergab die Auswertung von Uni Stuttgart/DGMK

zusätzliche

Fünf Erdbeben (ML 0.8 – 2.0) in Tiefen zwischen 25 und 30 km innerhalb von vier Jahren Observation.

Teilweise in unmittelbarer Nähe zu den Gasfeldern.



Quelle: Eig. Daten, Leydecker (2011) & BGR

Zusammenfassung



Die Messung und Bewertung aktiver Tektonik muss mit maximal möglicher Empfindlichkeit durchgeführt werden, um auch bisher nicht kartierte Verwerfungen entdecken zu können.

Eine großflächige Messung der Seismizität ist kann nicht mit Bohrlochstationen erfolgen.

Unter diesen Umständen ist maximale Empfindlichkeit nur durch Mini-Arrays wie bei der Überwachung nuklearer Tests (CTBTO-OSI) möglich.

Der Einsatz dieser Technik am Versuchslabor Mont Terri belegt eine Empfindlichkeit bis ML -2.

Für Norddeutschland ergibt sich eine deutlich messbare Komponente tektonischer Beben neben der durch Erdgasförderung induzierten Seismizität.