

# DMT – Fachstelle für Erschütterungsmessungen

**Dr. R. Fritschen**

**Dipl.-Geophys.**

**Leiter der DMT Fachstelle für Erschütterungsmessungen**

**DMT GmbH & Co. KG**

**Exploration & Geosurvey**

**Am Technologiepark 1**

**45307 Essen**

**Tel.: 0201 172 1944**

# GTV Richtlinie 1101: Seismizität bei Geothermieprojekten

## Blatt 1: Seismische Überwachung

### Gliederung

- Zielsetzung, fachliche Verantwortung und fachliche Basis
- Hintergrund
  - Induzierte Seismizität
  - Messung induzierter Seismizität
  - Gutenberg-Richter Beziehung
- Messtechnische Erfassung induzierter Seismizität (GTV Richtlinie 1101 – BL.1)
  - Messgenauigkeit
  - Betrieb eines Messnetzes
  - Datenintegration
  - Transparenz

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Zielsetzung

### Ziel der Richtlinie

- Qualitätssicherung bei der Erfassung, Auswertung und Beurteilung induzierter Seismizität bei Geothermieprojekten
- Formulierung von Mindeststandards zu Unterstützung von Betreibern, Dienstleistern und Behörden

### Vorgehen

- Orientierung an der Position des FKPE e.V. zur Induzierten Seismizität
- Orientierung am aktuellen Stand der Technik

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Verantwortlichkeit, Fachliche Basis

### Verantwortung

- GtV-Bundesverband Geothermie e.V.

### Fachliche Basis

- FKPE Arbeitsgruppe Seismizität ([www.fkpe.org](http://www.fkpe.org))

Sprecher: Prof. Dr. Manfred Joswig (Universität Stuttgart)

#### **Milestone „Seismische Überwachung“**

Dr. Stefan Baisch, Q-con GmbH, Bad Bergzabern

Dr. Ralf Fritschen, DMT GmbH & Co. KG, Essen

Dr. Jörn Groos, Karlsruher Institut für Technologie, Geophysikalisches Institut

Dr. Toni Kraft, Schweizer Erdbebendienst, Zürich

Dr. Thomas Plenefisch, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Priv.-Doz. Dr. Joachim Ritter, Karlsruher Institut für Technologie, Geophysikalisches Institut

Dr. Joachim Wassermann, Ludwig-Maximilians Universität, München

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Inhalt der Richtlinie

- Messgenauigkeit
  - Detektionsschwelle
  - Zeitbasis
  - Instrumentierung
- Betrieb des Netzwerkes
  - Messkonfiguration
  - Erreichbare Ortungsgenauigkeit
  - Datenübertragung
- Datenintegration
  - Integration von Messdaten nach DIN 4150
  - Integration verschiedener seismologischer Messnetze

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Induzierte seismische Ereignisse

- Sind Bruchvorgänge im Untergrund
- Können immer dann entstehen, wenn das Spannungsfeld im Untergrund verändert wird
- Entstehen dann, wenn die Festigkeit des Gesteins (bzw. die Reibung auf existierenden Bruchflächen) überschritten wird
- Beispiele
  - Talsperren
  - Tunnelbau
  - Bergbau
  - Erdöl- und Erdgasförderung
  - CO<sub>2</sub> Speicherung
  - Tiefe Geothermie



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Messung induzierter Seismizität - Motivation

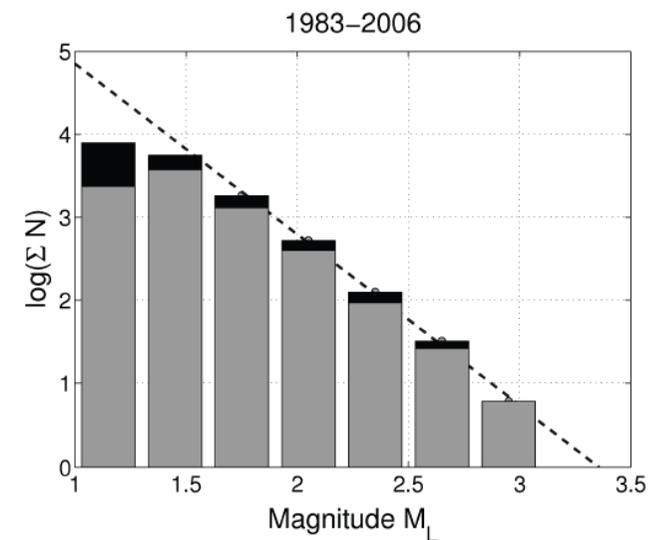
- Steinkohlenbergbau
  - Beweissicherung (können Schäden eingetreten sein?)
  - Zuordnung zu Abbaubetrieben (Verursacher)
  
- Geothermie
  - Beweissicherung (können Schäden eingetreten sein?)
  - Unterscheidung zwischen natürlichen Erdbeben und induzierten Ereignissen
  - Vermeidung von potentiell schädigenden Ereignissen
  - Vermeidung von spürbaren Ereignissen!
  - Untersuchung der Reservoireigenschaften
  
- GTV Richtlinie 1101  
Sichere Erfassung aller induzierten Ereignisse, die eine Größenordnung schwächer als die Spürbaren sind

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Induzierte seismische Ereignisse

Gutenberg-Richter Beziehung:  $\log(N_{>M}) = a - b \cdot M$

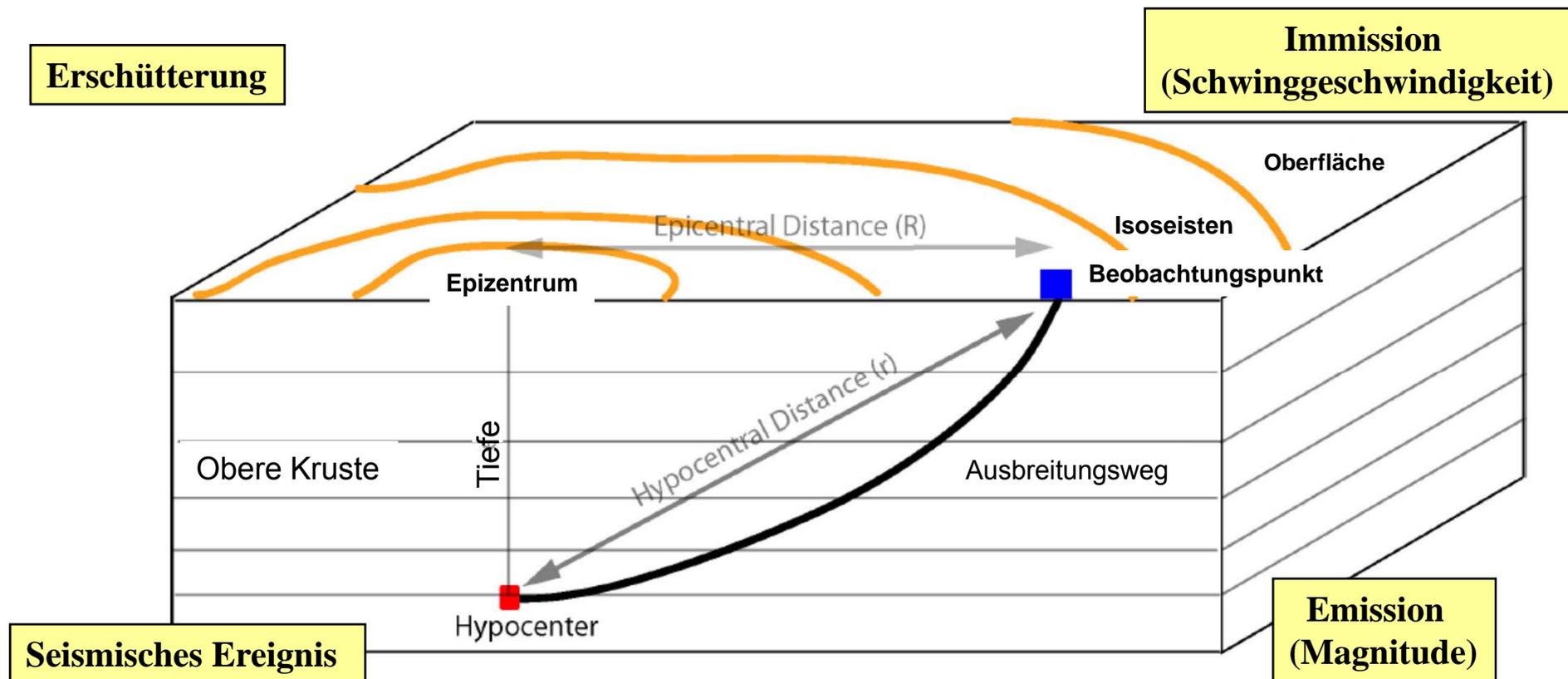
- Für jedes seismisches Ereignis einer bestimmten Magnitude gibt es eine vielfache Zahl von Ereignissen, deren Magnitude kleiner ist
- Kurve ist zu großen M durch die maximal mögliche Magnitude begrenzt (im Ruhrgebiet wurde die Magnitude 3,3 seit über 100 Jahren nicht überschritten)
- Kurve ist zu kleinen M durch die Empfindlichkeit der Seismographen begrenzt
- Zusammenhang wird beobachtet im Labor, bei natürlichen Erdbeben und bei induzierten Ereignissen



Induzierte Seismizität im Ruhrgebiet  
Quelle: Ruhruniversität Bochum

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

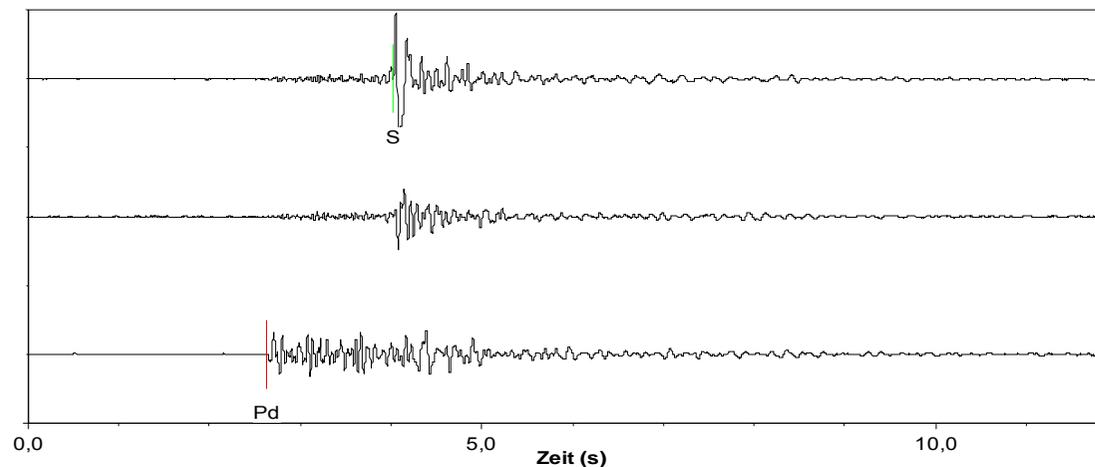
## Unterschied zwischen Emission und Immission



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Messgenauigkeit: Detektionsschwelle

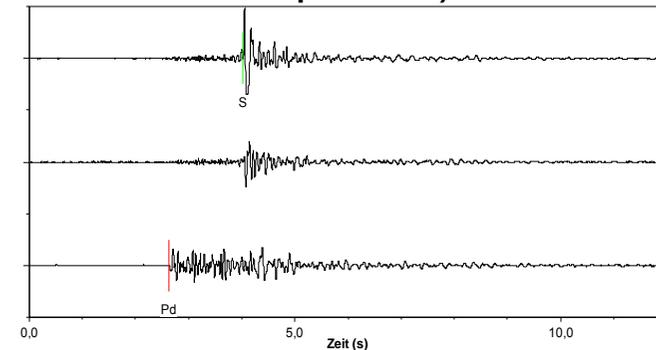
- Erfassung und Auswertung aller seismischen Ereignisse, deren Magnitude um eins kleiner als das kleinste spürbare Ereignisse ist
- Spürbarkeit etwa ab Schwinggeschwindigkeit  $v > 0,3$  mm/s (entspricht  $M \sim 1,0$  bei Herdtiefe um 2-5 km in Sedimentbecken)
- Eine Magnitude kleiner:  $v = 0,03$  mm/s (ca. 10fach kleinere Amplitude)



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Messgenauigkeit: Detektionsschwelle

- Erfassung und Auswertung aller seismischen Ereignisse, deren Magnitude um eins kleiner als das kleinste spürbare Ereignisse ist
- Spürbarkeit etwa ab Schwinggeschwindigkeit  $v > 0,3 \text{ mm/s}$   
(entspricht  $M \sim 1,0$  bei Herdtiefe um 2-5 km in Sedimentbecken)
- Eine Magnitude kleiner:  $v > 0,03 \text{ mm/s}$  (ca. 10fach kleinere Amplitude)
- P-Wellen müssen ablesbar sein (wg. Ortung)  
 $v > 6 \text{ }\mu\text{m/s}$  (da Amplitude der P-Wellen oft um Faktor 0,2 kleiner als die der S-Wellen)
- Signal/Stör-Verhältnis soll  $> 3$  sein
- **Detektionsschwelle  $2 \text{ }\mu\text{m/s}$  (Bezugsgröße I95)**

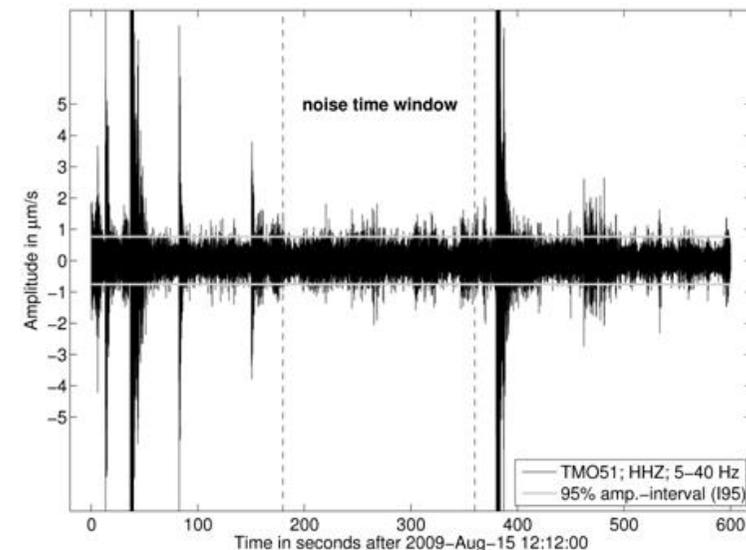


# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Noisemessungen

- Vor Installation eines seismischen Netzes sollten Testmessungen durchgeführt werden
- Detektionsschwelle  $2 \mu\text{m/s}$  bedeutet: 95% der Amplitudenwerte müssen im Frequenzintervall von 5 Hz bis 40 Hz kleiner als  $2 \mu\text{m/s}$  sein (Bohrloch bis 80 Hz)
- Dominierende Frequenz der Wellen, die von einem Bruchvorgang (seismisches Ereignis, Erdbeben) abgestrahlt werden

$M_i = 2$	->	$f = 15 \text{ Hz}$
$M_i = 3$	->	$f = 4,7 \text{ Hz}$
$M_i = 4$	->	$f = 1,5 \text{ Hz}$
$M_i = 6$	->	$f = 0,1 \text{ Hz}$



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

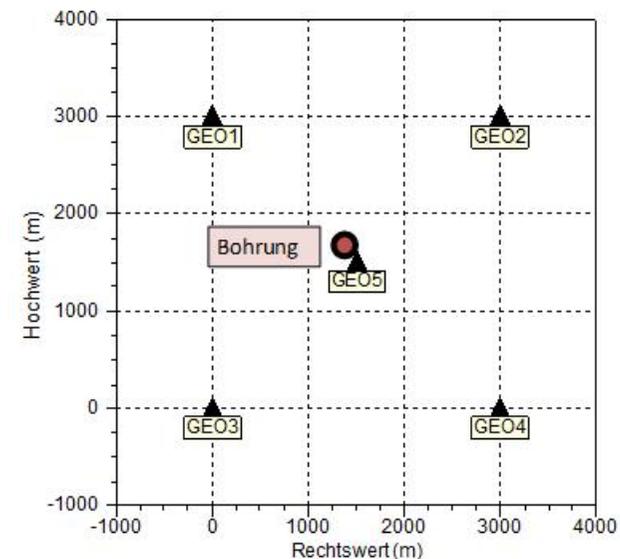
## Messgenauigkeit / Betrieb eines Messnetzes

- Sensor:                      Eigenfrequenz  $\leq 4,5$  Hz
- Zeitbasis:                     $\leq 1$  ms (GPS)
- Abtastrate:                  $\geq 100$  Hz
- Datenübertragung:      kontinuierlich in Echtzeit
- Datenformat:              SEED / miniSEED / GSE2  
(zumindest Schnittstellen hierzu)
  
- Konfiguration (Abhängig von Zielsetzung)
  - Detektion von Einzelereignissen (eine Messstation)
  - Präzision der Hypozentralparameter (Messnetz, ggf. Nutzung benachbarter Netze)

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Betrieb eines Messnetzes: Lokalisierung

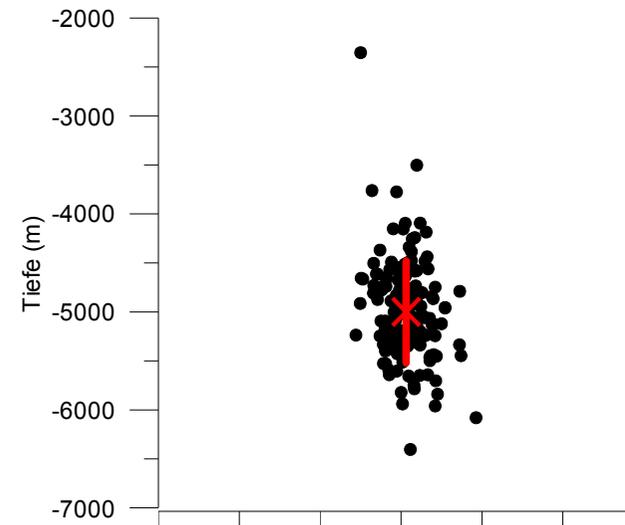
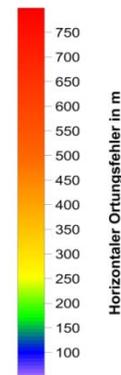
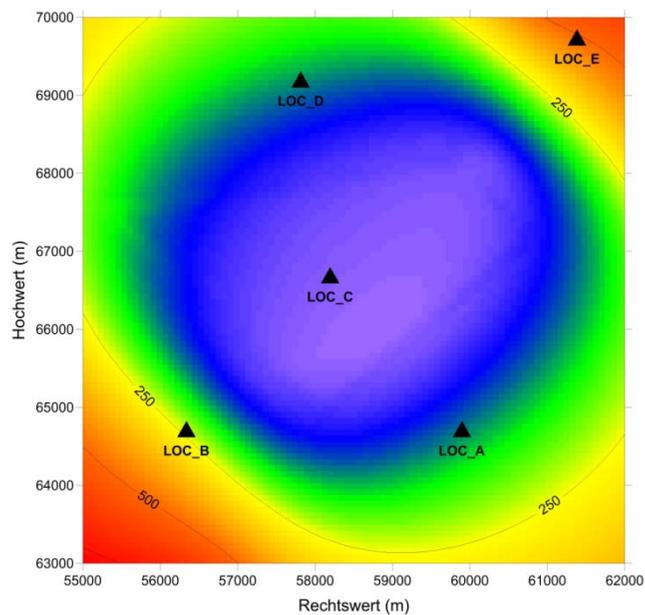
- Angestrebte Lokalisierungsgenauigkeit ( $2\sigma$ )
  - ±500 m im Epizentrum
  - ±2000 m in der Tiefe
- Mindestens 5 Messstationen (ggf. zusätzliche Redundanz)
- Nicht alle Stationen in gleicher Herdentfernung
- Offener Azimutbereich  $\leq 90^\circ$
- Kalibriertes Geschwindigkeitsmodell
  - Sonic / Full-Wave-Sonic
  - VSP Messung
  - Kalibrationsschüsse
  - Auswertung von Stimulationseignissen



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Betrieb eines Messnetzes: Lokalisierung

- Nachweis der erreichbaren Ortungsgenauigkeit durch numerische Modellierungen



# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Datenintegration, Transparenz

- Hinzunahme von Messungen nach DIN 4150
  - DIN Messungen müssen seismologisch verwertbar sein (präzise Zeitsynchronisation, hohe Empfindlichkeit der Messsensorik)
  - Teilweise nur für stärkere Ereignisse möglich, da DIN Messung in Gebäuden mit oft höherem Noise erfolgen
- Zugriff staatlicher Institutionen auf ausgewählte seismologische Betreiberdaten bzw. Offenlegung ausgewählter Daten
- Verwendung seismologischer Messdaten von staatlichen Diensten durch die Betreiber von Geothermieanlagen

# GTV Richtlinie 1101 – BL 1 „Seismische Überwachung“

## Datenintegration, Transparenz

- **Hinzunahme von Messungen nach DIN 4150**
  - DIN Messungen müssen seismologisch verwertbar sein (präzise Zeitsynchronisation, hohe Empfindlichkeit der Messsensorik)
  - Teilweise nur für stärkere Ereignisse möglich, da DIN Messung in Gebäuden mit oft höherem Noise erfolgen
- Zugriff staatlicher Institutionen auf ausgewählte seismologische Betreiberdaten bzw. Offenlegung ausgewählter Daten
- Verwendung seismologischer Messdaten von staatlichen Diensten durch die Betreiber von Geothermieranlagen

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**