

# Monitoring

Univ.-Prof. Dr. habil. Marco Bohnhoff

Hannover, 24. Juni 2013

Einsatz von mikroseismischem

# Monitoring

zur geomechanischen Charakterisierung von Reservoiren und  
zur Detektion potenzieller Leckagen

Univ.-Prof. Dr. habil. Marco Bohnhoff

Hannover, 24. Juni 2013

Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Worum geht es?

Warum tritt Induzierte Seismizität bei Fracking oder Reservoir-Stimulation auf?

Wie lässt sich Fracking mikroseismisch überwachen?

Worin besteht der Nutzen von Induzierter Seismizität?

---

**GFZ** Monitoring Induzierter Seismizität **HELMHOLTZ**  
GEMEINSCHAFT

Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Induzierte Seismizität = Erdbeben?

Erdbebenmagnitude (Richterskala)

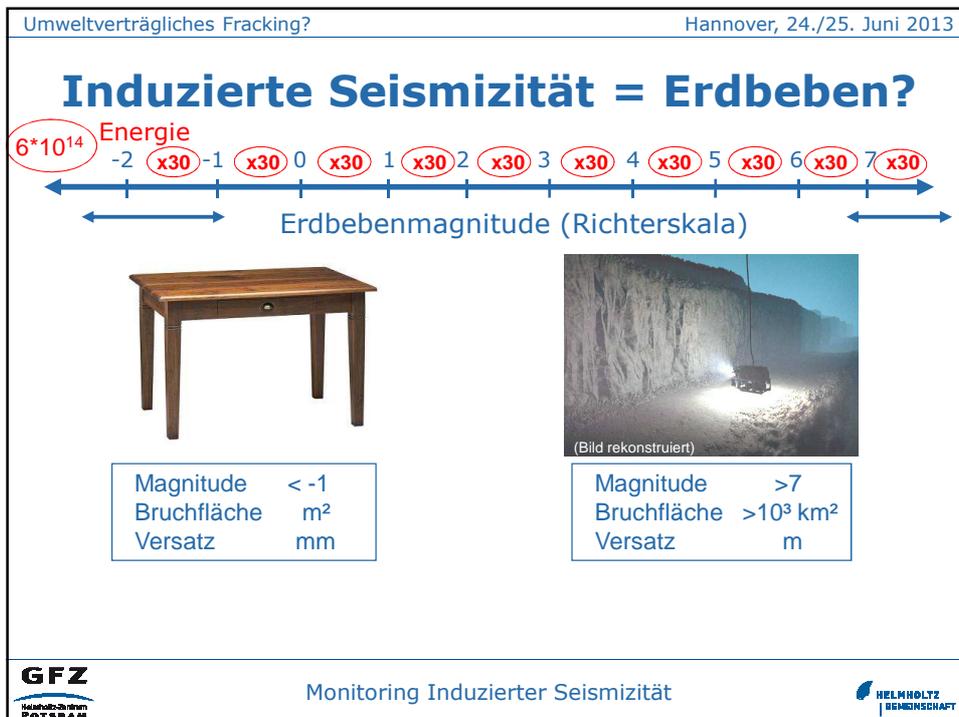
Magnitude	< -1
Bruchfläche	m <sup>2</sup>
Versatz	mm

(Bild rekonstruiert)

Magnitude	> 7
Bruchfläche	>10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>
Versatz	m

---

**GFZ** Monitoring Induzierter Seismizität **HELMHOLTZ**  
GEMEINSCHAFT



Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Induzierte Seismizität = Erdbeben?

**Energie**

6\*10<sup>14</sup> -2 (x30) -1 (x30) 0 (x30) 1 (x30) 2 (x30) 3 (x30) 4 (x30) 5 (x30) 6 (x30) 7 (x30)

←————— Erdbebenmagnitude (Richterskala) —————→



Magnitude	< -1
Bruchfläche	m <sup>2</sup>
Versatz	mm



(Bild rekonstruiert)

Magnitude	>7
Bruchfläche	>10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>
Versatz	m

Ja, aber in fast allen Fällen weder spürbar noch messbar!



Monitoring Induzierter Seismizität



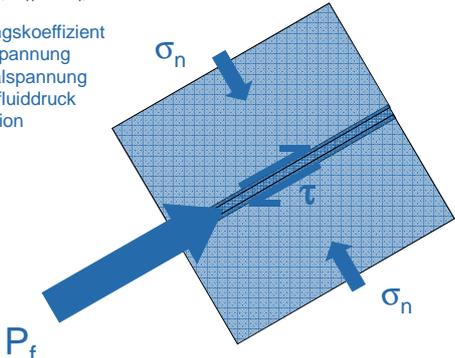
Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Ursache Induzierter Seismizität

$\tau = C + \mu (\sigma_n - P_f)$

$\mu$  = Reibungskoeffizient  
 $\tau$  = Scherspannung  
 $\sigma_n$  = Normalspannung  
 $P_f$  = Porenfluiddruck  
 $C$  = Kohäsion

Erhöhung Porenfluiddruck





Monitoring Induzierter Seismizität



Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Ursache Induzierter Seismizität

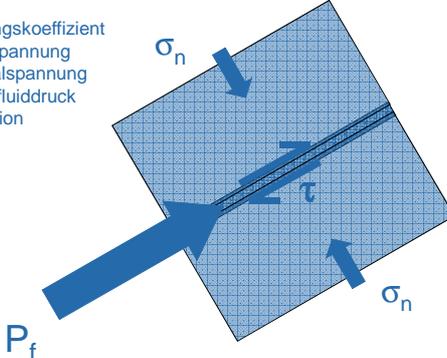
$\tau = C + \mu (\sigma_n - P_f)$

$\mu$  = Reibungskoeffizient  
 $\tau$  = Scherspannung  
 $\sigma_n$  = Normalspannung  
 $P_f$  = Porenfluiddruck  
 $C$  = Kohäsion

Erhöhung Porenfluiddruck

↓

Erniedrigung Normalspannung





Monitoring Induzierter Seismizität



Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Ursache Induzierter Seismizität

$\tau = C + \mu (\sigma_n - P_f)$

$\mu$  = Reibungskoeffizient  
 $\tau$  = Scherspannung  
 $\sigma_n$  = Normalspannung  
 $P_f$  = Porenfluiddruck  
 $C$  = Kohäsion

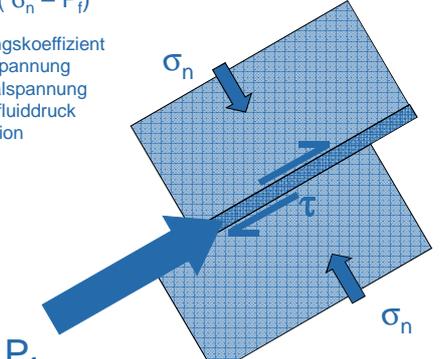
Erhöhung Porenfluiddruck

↓

Erniedrigung Normalspannung

↓

Reaktivierung Bruchfläche





Monitoring Induzierter Seismizität



Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Ursache Induzierter Seismizität

$\tau = C + \mu (\sigma_n - P_f)$

$\mu$  = Reibungskoeffizient  
 $\tau$  = Scherspannung  
 $\sigma_n$  = Normalspannung  
 $P_f$  = Porenfluiddruck  
 $C$  = Kohäsion

Erhöhung Porenfluiddruck

↓

Erniedrigung Normalspannung

↓

Reaktivierung Bruchfläche

↓

Abbau Scherspannung

Monitoring Induzierter Seismizität

Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Nutzen von Bohrlochgeophonen

M ~ 1 Detektionsgrenze Oberfläche

1 MIN

M ~ -2 gesehen in 2.7 km Tiefe

M ~ -1 gesehen in 2.7 km Tiefe

(P. Malin, pers. comm.)

Monitoring Induzierter Seismizität

## Analyse Induzierter Seismizität

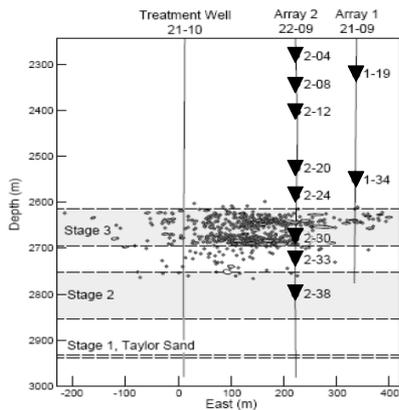
Mikroseismische Überwachung von geologischen Reservoiren vor, während und nach Fracking oder Stimulation dient dem Ziel ...

- ... der Ortung und Größenabschätzung (ggf. auch Wachstum) des hydraulischen Risses (hydro-frac)
- ... einer geomechanischen Charakterisierung von Schiefer-Gas-Reservoiren oder auch Gas-Speicherhorizonten
- ... der Überwachung potenzieller Leckagen entlang von (Alt-) Bohrungen und im Deckgestein

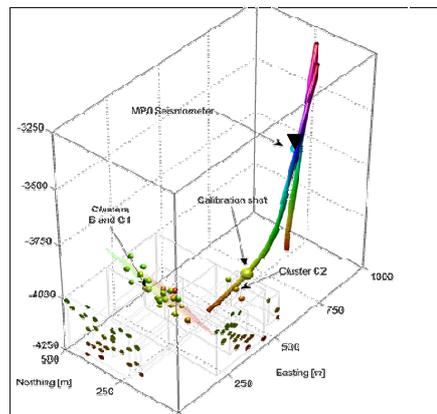
Ansatz: Anwendung von in der Grundlagenforschung etablierten seismologischen Verfahren auf Fragestellungen der Reservoir-Geomechanik.

## Monitoring von Reservoir-Stimulation

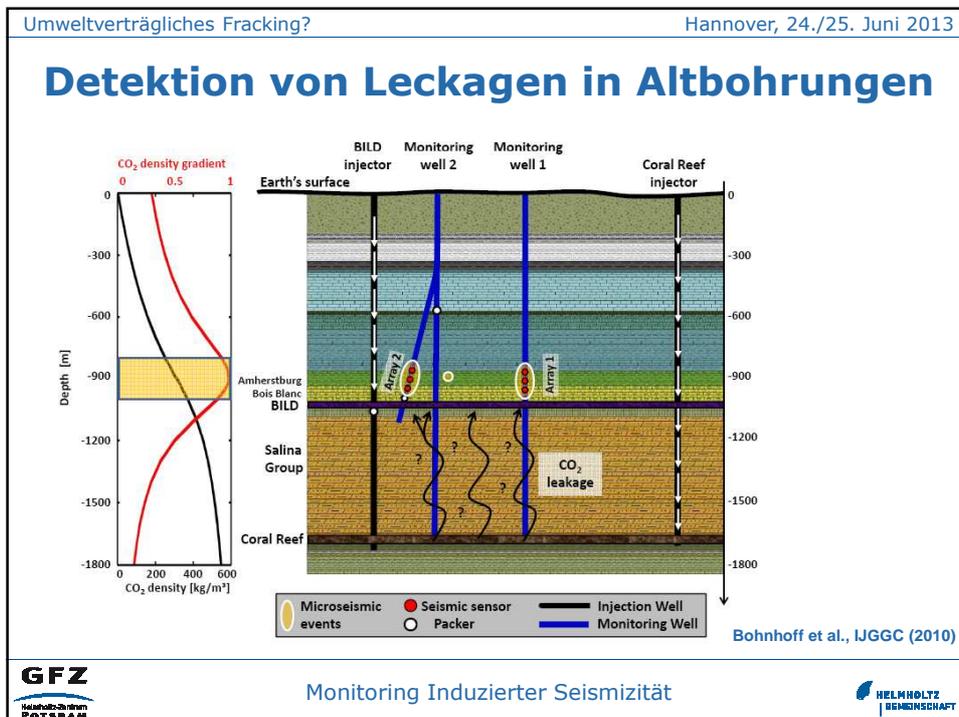
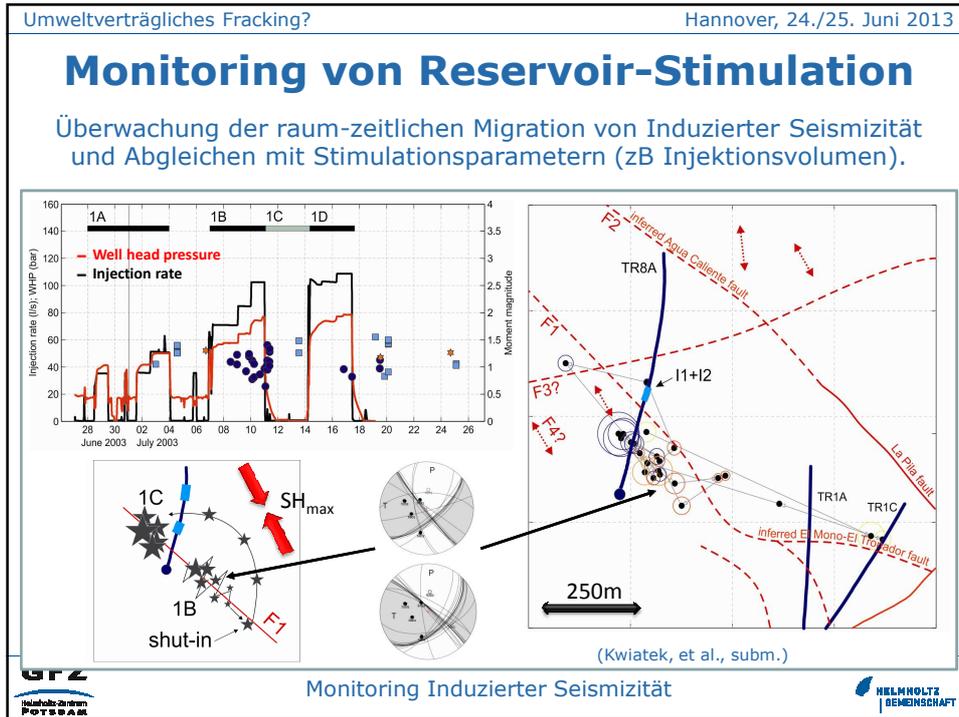
Meist Kurz-Einsatz von Bohrloch-Geophon-Ketten in einer oder wenigen Überwachungsbohrung(en) zur Überwachung von Frack-Operationen in Kohlenwasserstoff-, Geothermie- oder Schiefergas-Reservoiren.



(Rutledge et al., BSSA, 1998)



(Kwiatek, Acta Geophys., 2010)



Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Detektion von Leckagen in Altbohrungen

**Quellsignal:**  
Volumenzunahme von CO<sub>2</sub> während des Aufstiegs Richtung Oberfläche entlang von Bohrungen.

**Resonator:**  
Wassergefüllte Risse in der Formation und/oder Hohlräume und Defekte in der Zementierung hinter der Verrohrung.

(Bohnhoff & Zoback, JGR, 2010)

GFZ  
Geophysikalisches  
Zentrum  
Potsdam

Monitoring Induzierter Seismizität

HELMHOLTZ  
GEMEINSCHAFT

Umweltverträgliches Fracking? Hannover, 24./25. Juni 2013

## Take-Home Message

- ➔ Der weitaus größte Teil Induzierter Seismizität stellt ein Nutzsignal dar, durch das eine Überwachung von Fracking-Prozessen erst möglich wird.
- ➔ Durch den gezielten Einsatz von Bohrlochgeophonen kann die Größe und Ausbreitung des hydraulischen Risses abgebildet werden.
- ➔ Bohrlochseismologische Registrierungen liefern ergänzende Hinweise auf mögliche Leckagen entlang von (Alt-)Bohrungen und im Deckgestein.

GFZ  
Geophysikalisches  
Zentrum  
Potsdam

Monitoring Induzierter Seismizität

HELMHOLTZ  
GEMEINSCHAFT

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!