

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

MAGS

MAGS EP6:

THM:C gekoppelte Untersuchungen zu Mechanismen und freigesetzten Deformationsenergien der seismischen Ereignisse in der Reservoirstimulations- und Betriebsphase

-

Stand der Arbeiten

Tobias Kracke

Lei Zhou

Michael Z. Hou

Xuerui Wang

in Zusammenarbeit mit EP4: Jürgen Kopera, Wilhelm Morales-Avilés, Jörg Schlittenhardt, Thomas Spies

Goslar, 17. April 2013

Inhalt

- Erstellung eines synthetischen seismischen Katalogs in Kooperation mit EP4
- gemeinsame erste Bewertung der numerischen Simulationsdaten zum GeneSys-Projekt anhand eines synthetischen seismischen Katalogs
- gemeinsame erste Bewertung der numerischen Simulationsdaten zum DeepHeatMining-Projekt anhand eines synthetischen seismischen Katalogs
- Vergleich der beiden Standorte und Zusammenfassung
- Status und Ausblick

Bestimmungsmethoden induzierter Seismizität infolge hydraulischer Stimulation in FLAC3D^{plus} – kinetische Energie und & Lokalmagnitude

Theorie der dynamischen Berechnungen in FLAC3D^{plus}:

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + G) \frac{\partial e}{\partial x} + G \nabla^2 u - \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= 0 \\ (\lambda + G) \frac{\partial e}{\partial y} + G \nabla^2 v - \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= 0 \\ (\lambda + G) \frac{\partial e}{\partial z} + G \nabla^2 w - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

FDM

Verschiebung:
 u_x, u_y, u_z
Geschwindigkeit:
 v_x, v_y, v_z
Verzerrung:
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$
Spannung:
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$

$$e = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad \text{Laplace Operator}$$

i : Gitterpunkt

n : Anzahl Gitterpunkte

m_i : Masse

$v_{i,x,y,z}$: richtungsabhängige Geschwindigkeit

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i (v_{ix}^2 + v_{iy}^2 + v_{iz}^2)$$

$$\log E = 3,81 + 1,64 M_L$$

Ahorner & Sobisch (1988)

**Anwendung auch bei
sehr kleinen
Magnituden möglich?**

Bestimmungsmethoden induzierter Seismizität infolge hydraulischer Stimulation in FLAC3D^{plus} – seismisches Moment & Momentenmagnitude

Seismisches Moment M_0 :

$$M_0 = G \cdot \bar{D} \cdot A$$

G = Shear modulus in Pa

A = Area of shear failure in m^2

\bar{D} = Average displacement of shear area

**für Zugbruch dominierte Bedingungen -
wie bei GeneSys – gilt dies nicht!**

M_0 wird in FLAC3D^{plus} zeitabhängig über eine implementierte FISH-Funktion berechnet:

$$M_0 = \sum_{i=1}^n G_i \cdot \Delta \bar{D}_i \cdot A_i$$

$\Delta \bar{D}_i$: durchschnittliche Verschiebung der Scherfläche pro Sekunde

daraus ergibt sich die Momentenmagnitude M_w :

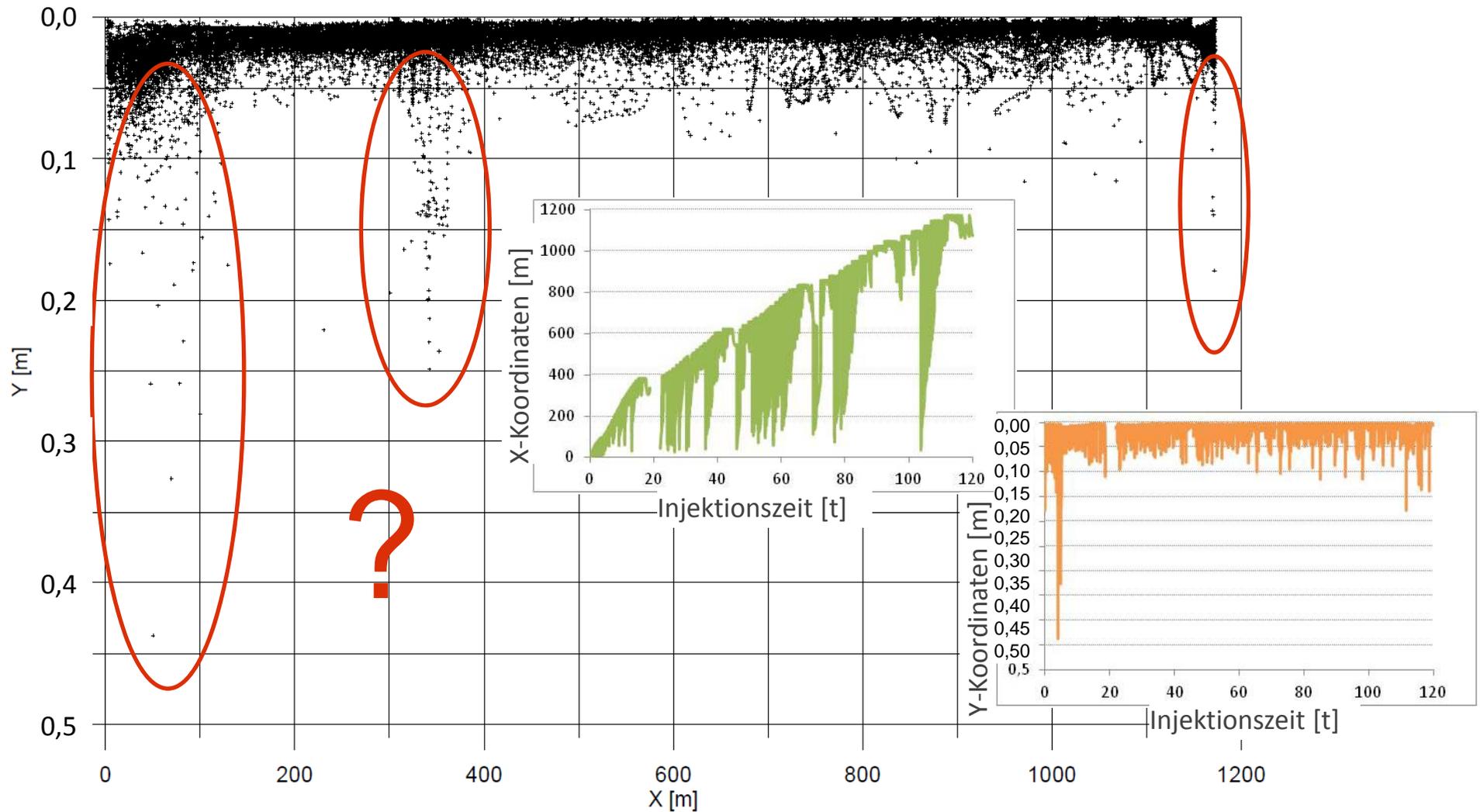
$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6,07$$

Katalogparameter

1. laufende Nummerierung und Zeiterfassung (relativ und Echtzeit)
2. Lokalisierung (X, Y, Z)
3. M_L und kinetische Energie
4. kumulativ gespeicherte Deformationsenergie
5. resultierende Gitterpunktgeschwindigkeit und Masse
6. Berechnungsintervall
7. M_0 und M_w , Bruchfläche, Dislokationsvektor
8. Schermodul
9. pro Zeitschritt aufgenommene Deformationsenergie
10. Anzahl der Bruchelemente
11. durchschnittliche Rissweite

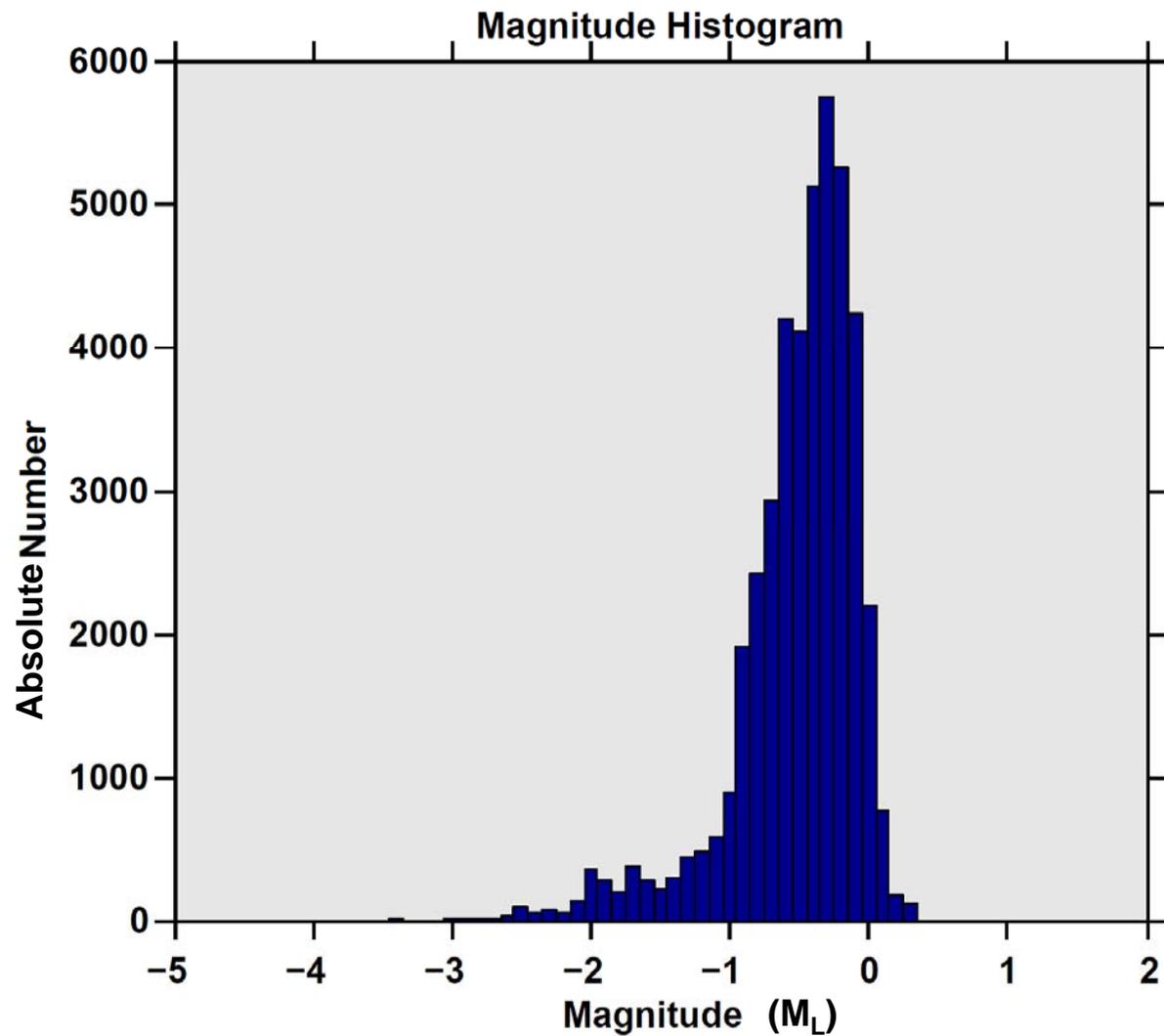
**=> Verständnis und Verifizierung der Simulation
+ Input für Gefährdungsabschätzung**

Räumliche Verteilung der simulierten Ereignisse



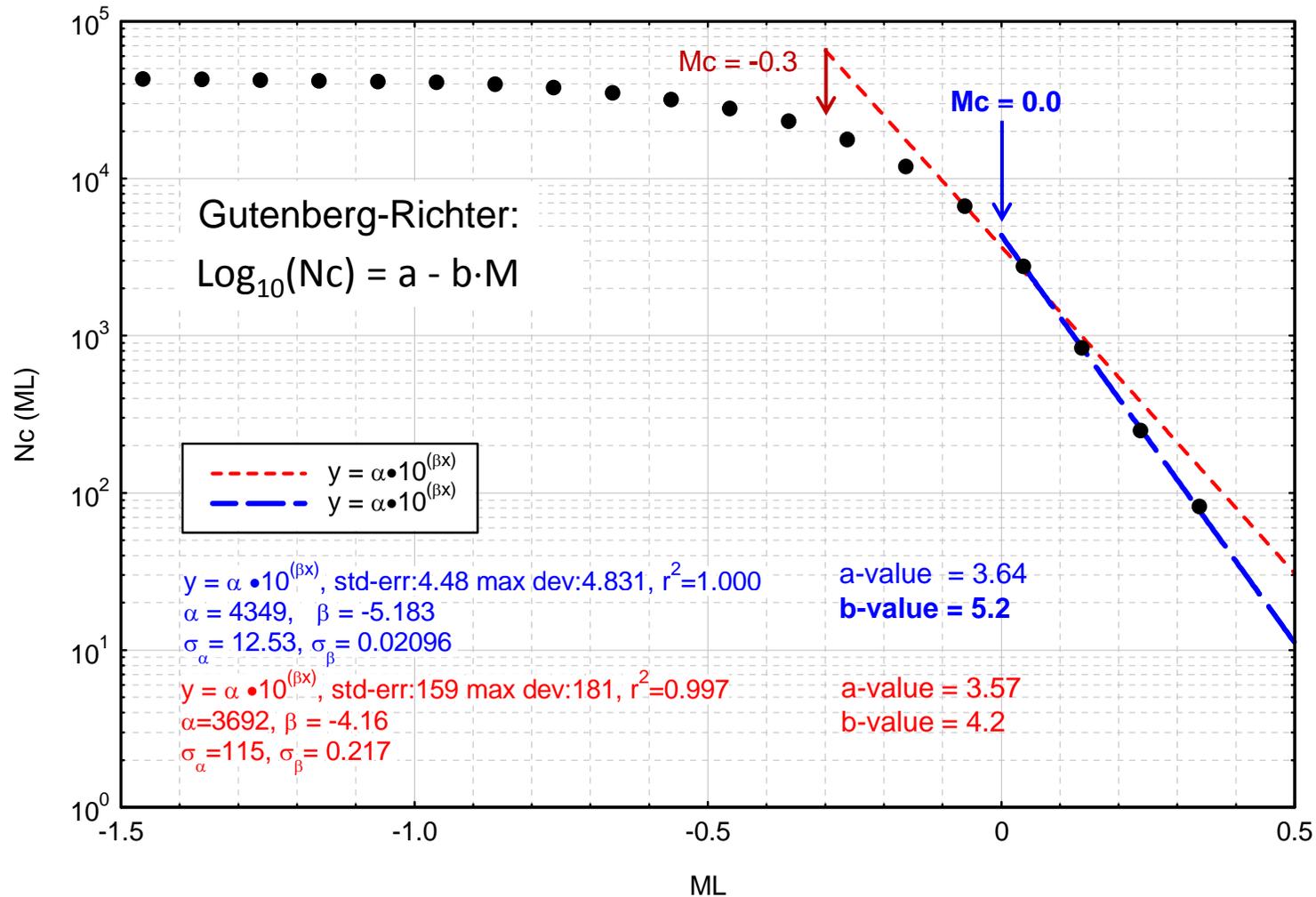
Darstellung als $\frac{1}{4}$ - Modell

GeneSys – Seismizität (1-120h)

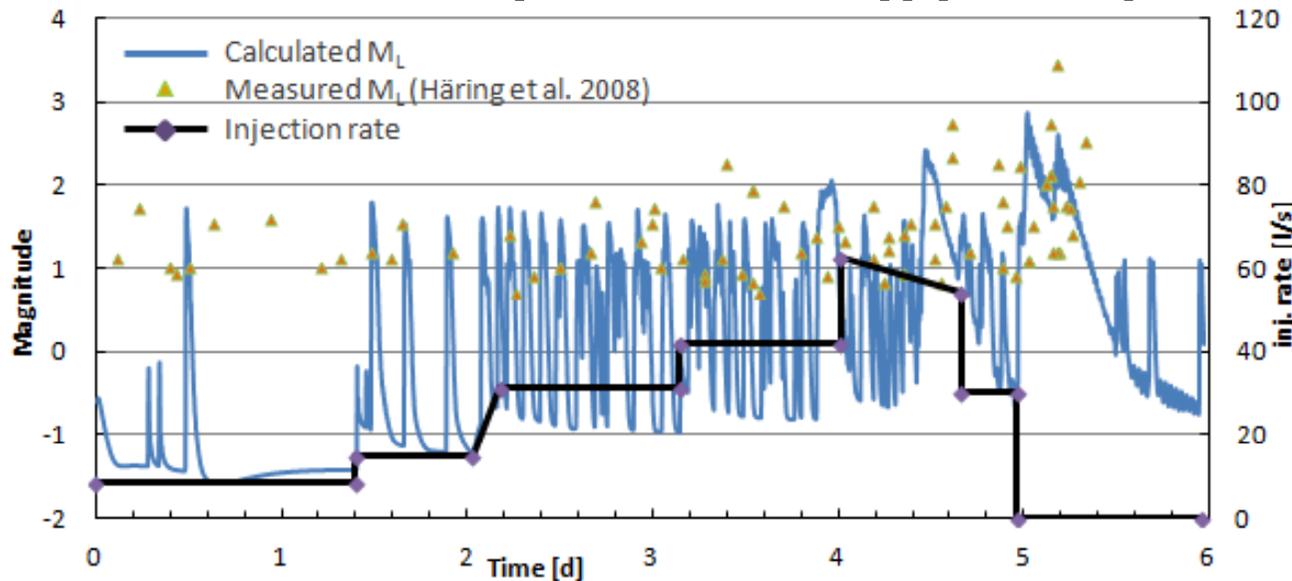


GeneSys – Seismizität (1-120h)

kumulative Magnitude – Häufigkeitsverteilung

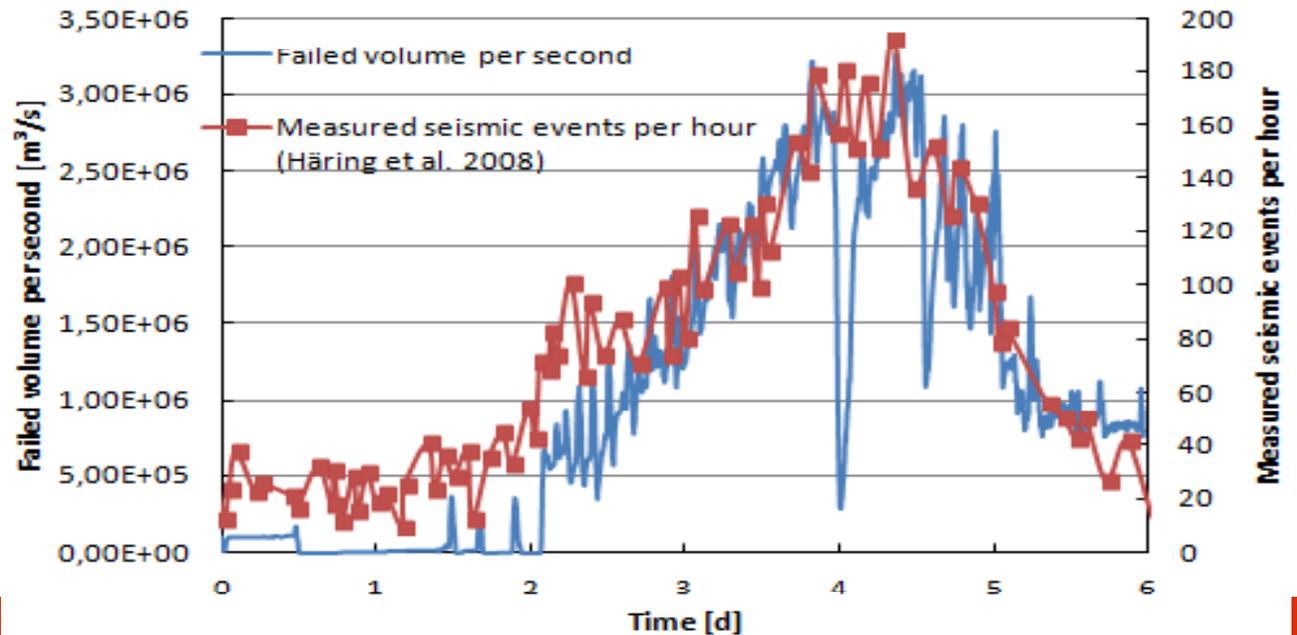


DeepHeatMining (Basel) – Seismizität

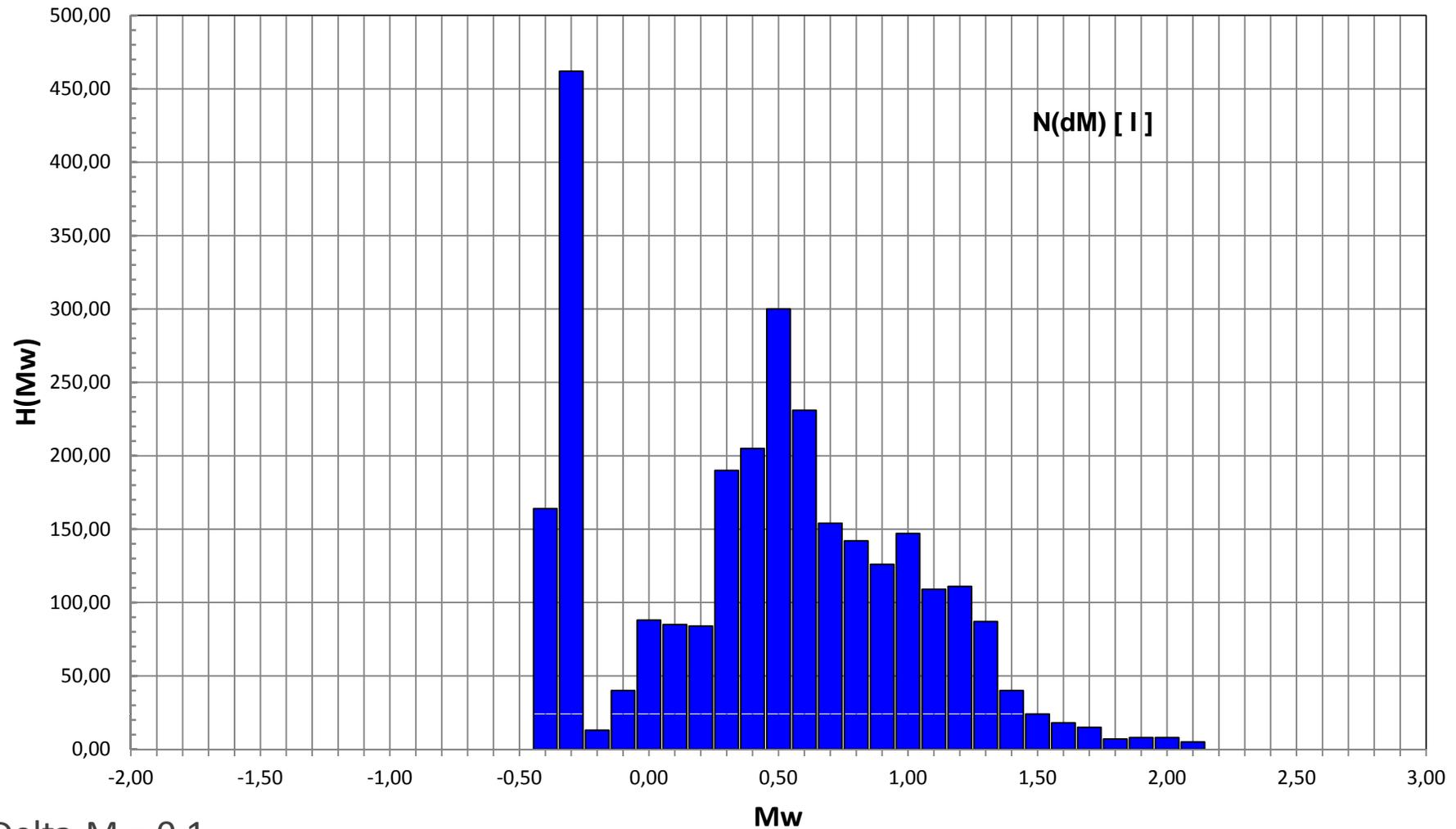


Vergleich zwischen gemessener und numerisch berechneter Lokalmagnituden

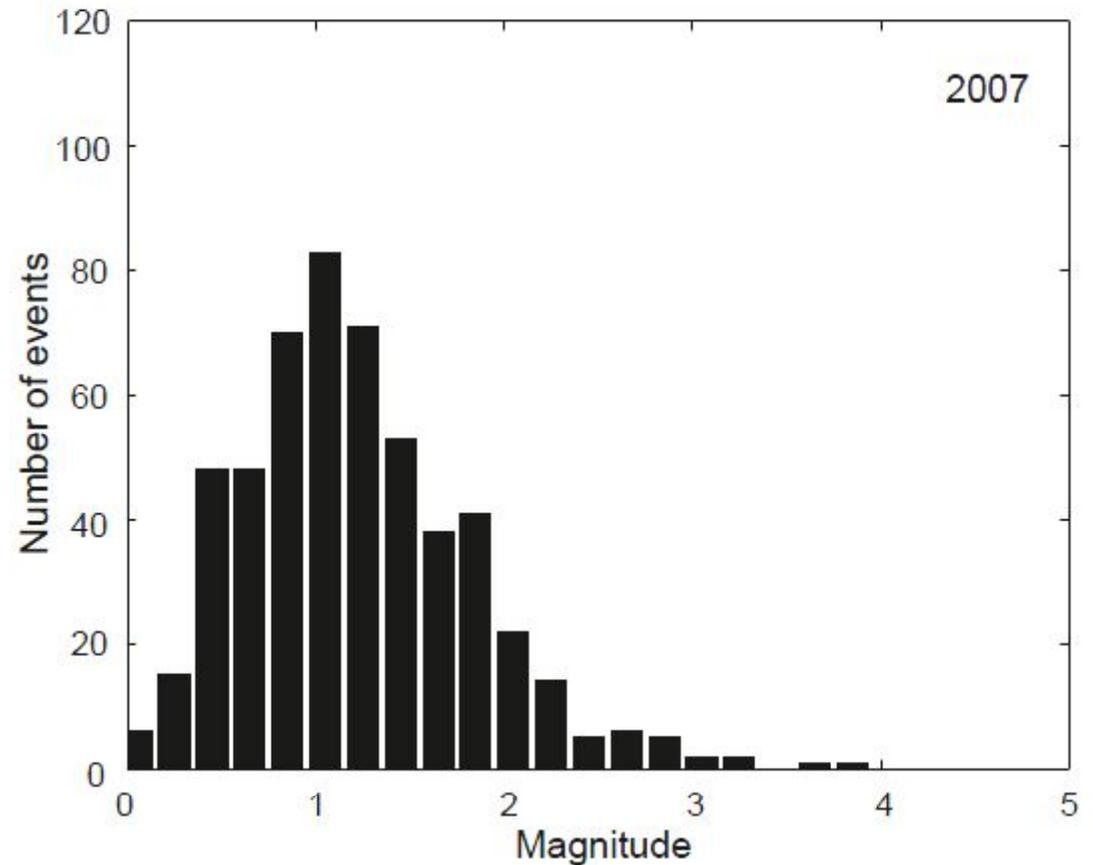
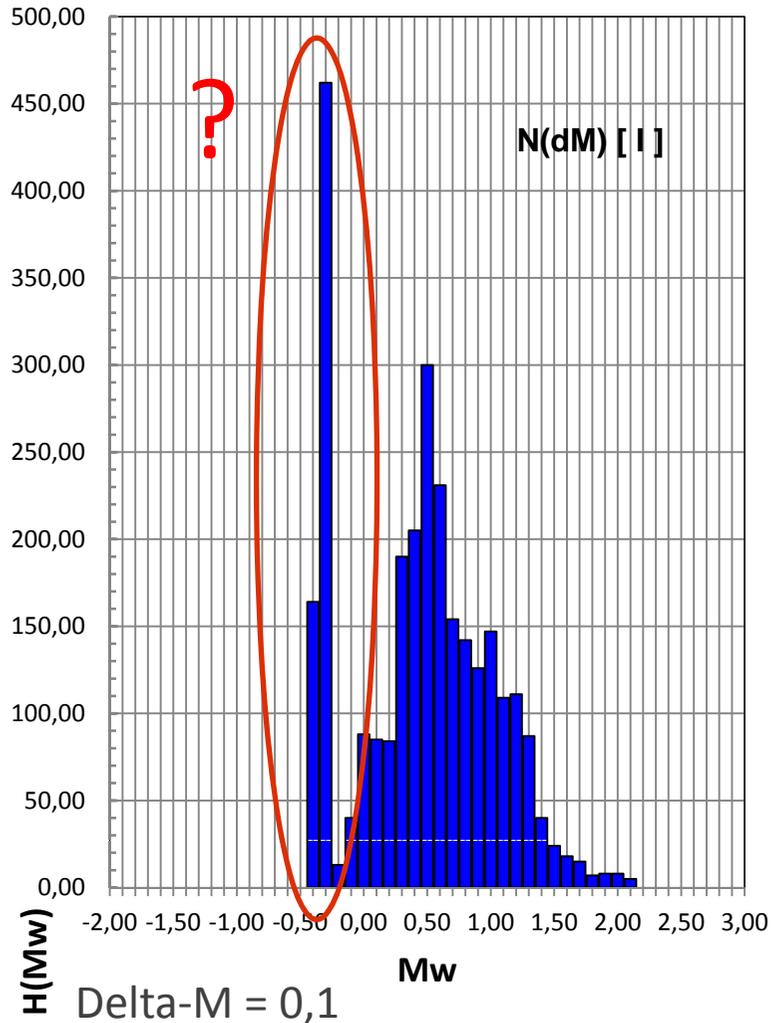
Korrelation zwischen den gemessenen seismischen Ereignissen und dem berechneten Bruchvolumen



DeepHeatMining (Basel) – Seismizität

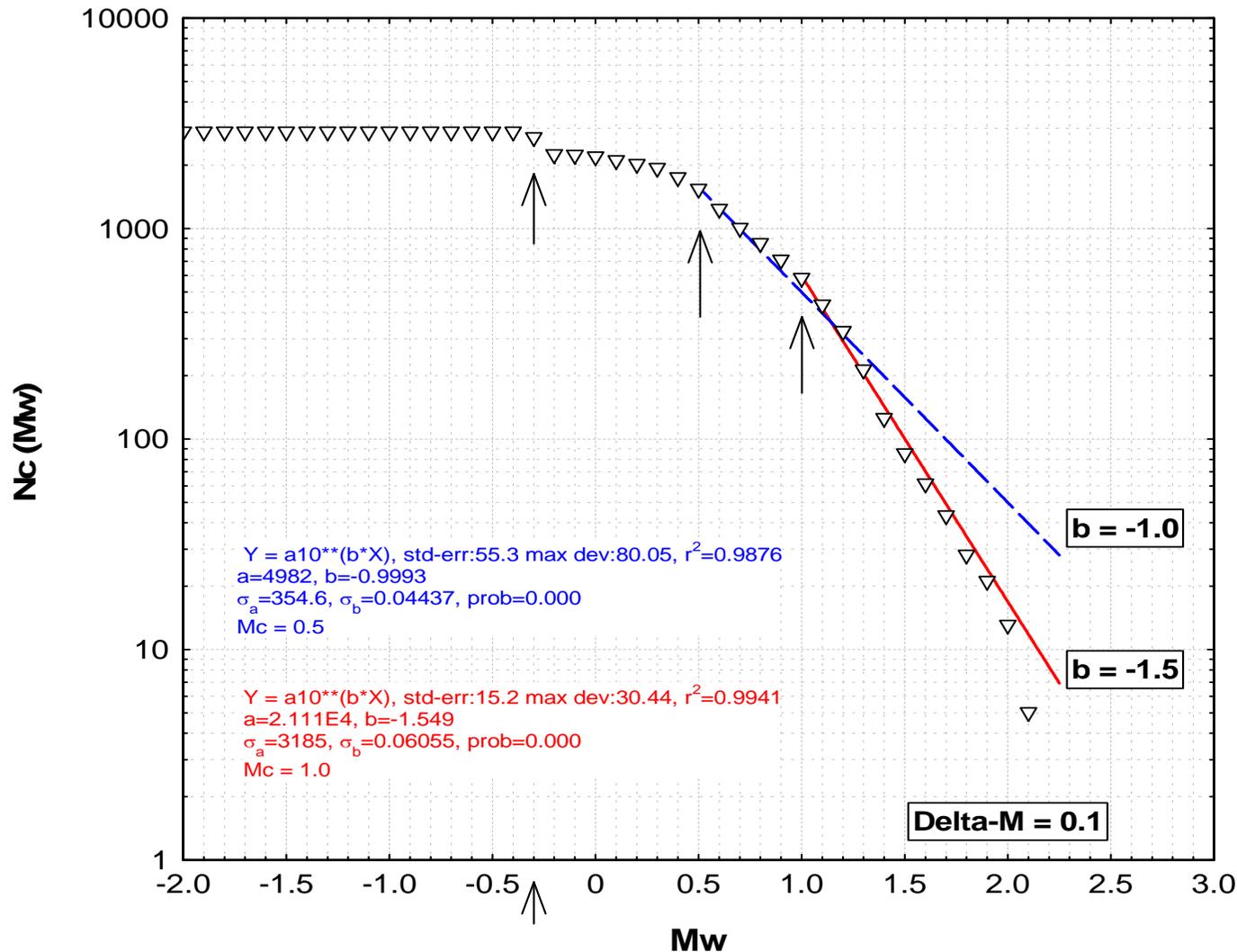


DeepHeatMining (Basel) - Seismizität



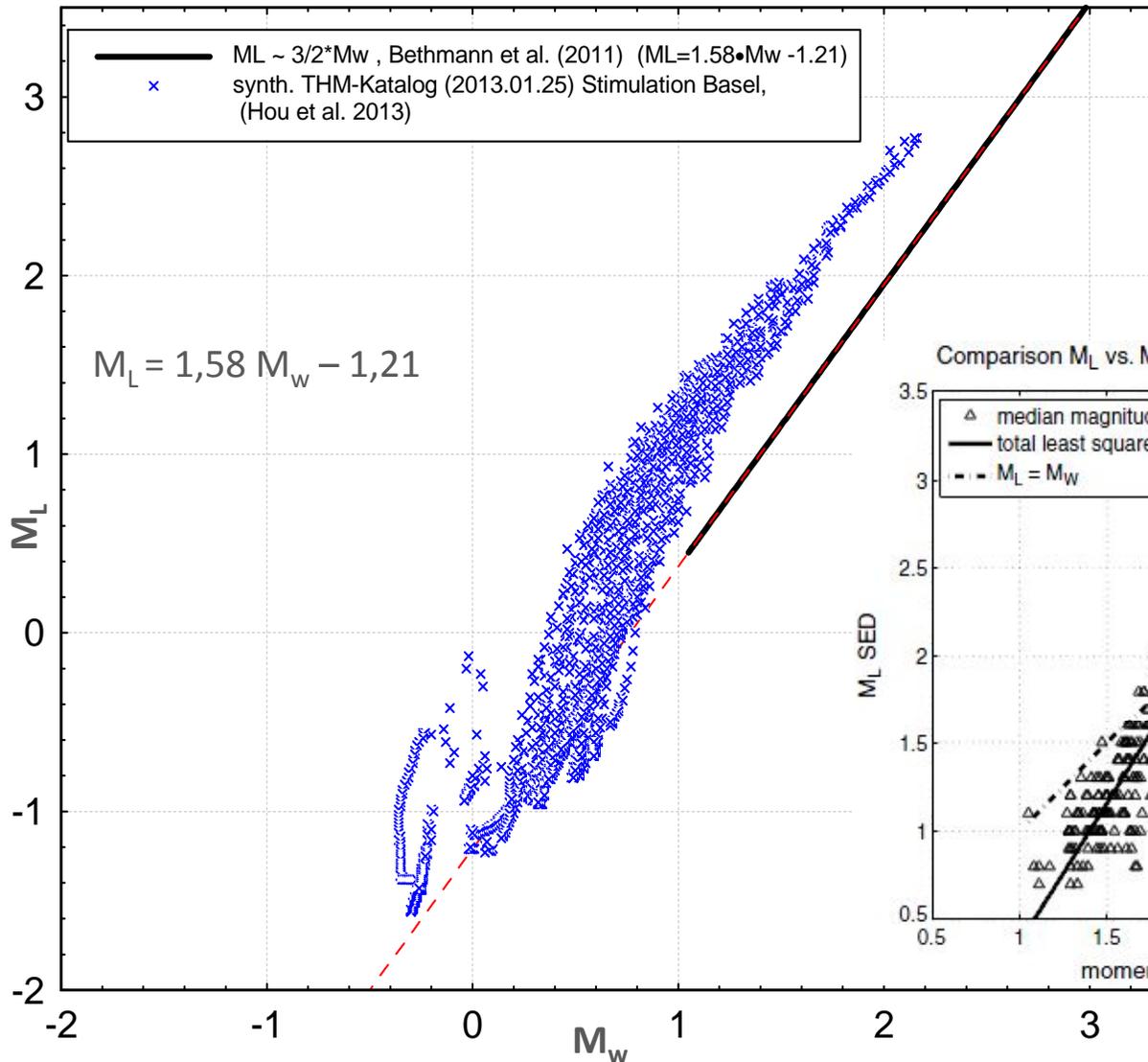
Deichmann et al. 2008

DeepHeatMining (Basel) – Seismizität kumulative Magnitude – Häufigkeitsverteilung

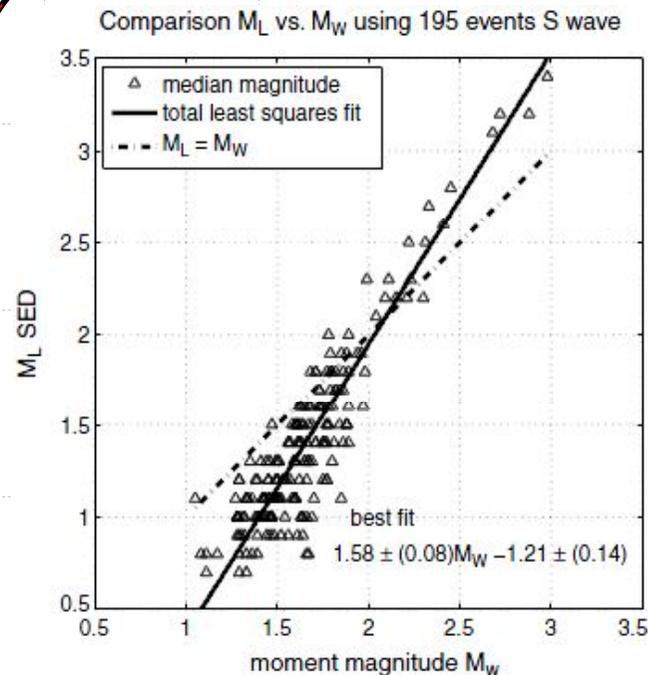


im Vergleich zu
GeneSys realistische
b-Werte

DeepHeatMining (Basel) – Seismizität



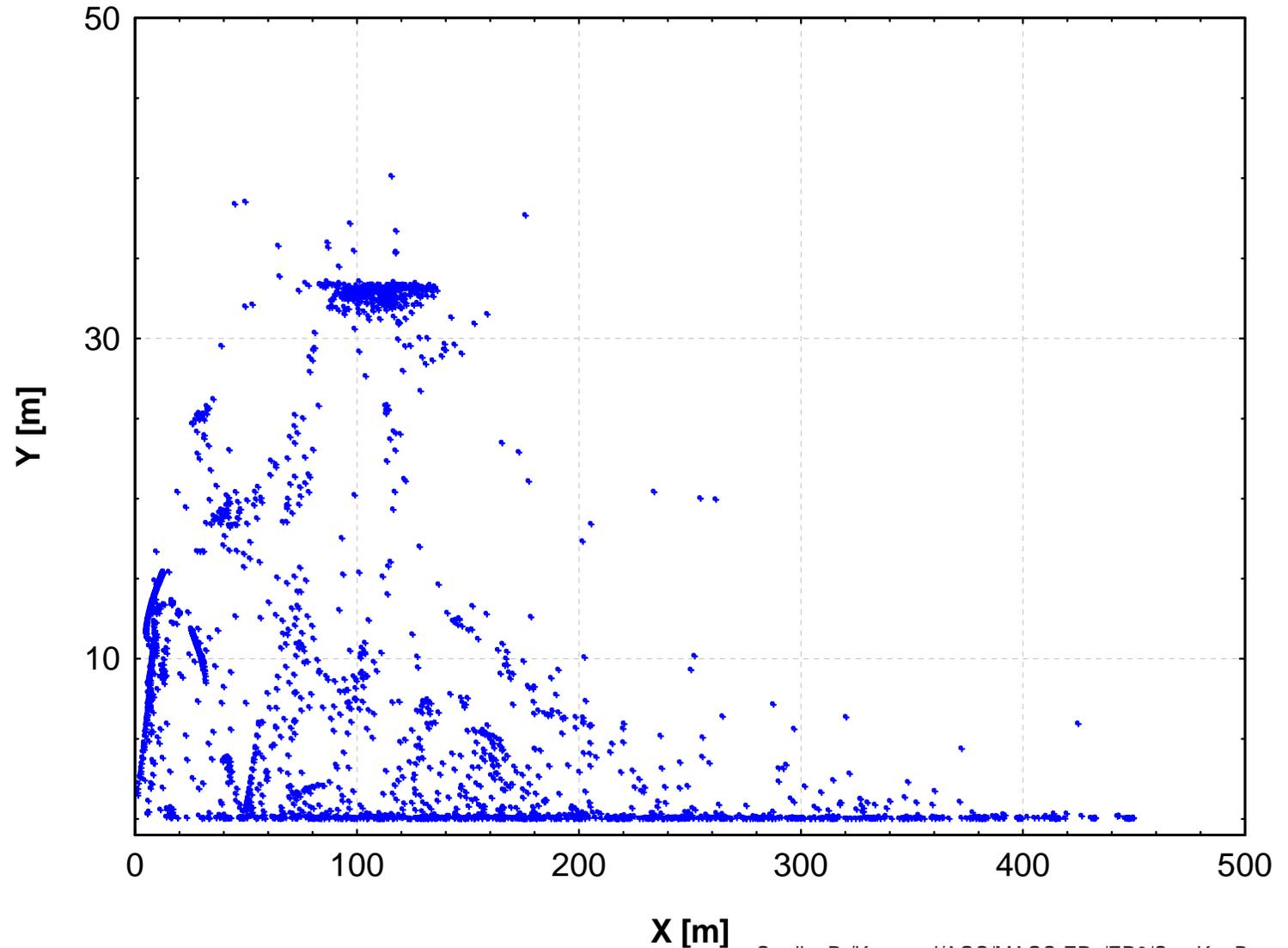
Bethmann et al. 2011
 haben für M_L (zwischen 0,7 bis 3,4) ein Verhältnis von $M_L \sim 1,5 M_w$ bestimmt



Vergleichbarkeit
 der berechneten
 Magnituden mit
 realen
 Messdaten
 gegeben!

DeepHeatMining (Basel) – Seismizität

im Vergleich zur GeneSys-Simulation kann hier eine breite Scherzone abgeleitet werden



Darstellung 1/4 - Modell

GeneSys

Vergleich

DeepHeatMining

Sandstein

Reservoirgestein

Granit

20.000m³

Injektionsvolumen

12.000m³

-

gemessene M_{Lmax}

3,4

0,3

berechnete M_{Lmax}

2,9

extensional

Spannungsregime

kompRESSIV

Zugbruch

vorherrschender
Bruchmechanismus

Scherbruch

keine

Tektonik/Störungen

vorhanden

- **Spannungsregime (Bruchmechanismen), Tektonik/ Störungen, Gesteinstyp und Deformationsverhalten/ Energiefreisetzung**

Zusammenfassung

- Die numerisch gekoppelte THM-Modellierung hat das Potential, synthetische Magnituden von Mikrobrüchen aufgrund einer Reservoir-Stimulation in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen zu berechnen
- Damit könnte künftig die Bewertung des seismischen Gefährdungspotentials eines geplanten Geothermiestandortes bereits im Genehmigungsprozess (also vor Bohrbeginn) vorgenommen werden
- Die synthetisch berechneten Magnituden bedürfen allerdings der Verifizierung durch real gemessene Daten:
 - die Datengrundlage für das DHM-Projekt (Basel) gewährleistet dies
 - bei GeneSys konnte diese Verifizierung aufgrund fehlender Messdaten nicht erfolgen

Status und Ausblick

aktuell:

- Verbesserung des 3D-Animationsmodells für das GeneSys-Projekt
- Anpassung der erstellten synthetischen seismischen Kataloge in Zusammenarbeit mit EP4
- Vervollständigung und Bearbeitung des Datensatzes aus Unterhaching -> Modellaufbau bzw. Implementierung des LIAG 3D-Modells
- Bearbeitung der Datensätze aus Landau/ Insheim -> Modellaufbau

Ausblick:

- numerische Analysen zu induzierter Seismizität bei Zirkulationsprozessen anhand Unterhaching
- numerische Analysen zu induzierter Seismizität des Standortes Landau/ Insheim

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Danke dem BMU und dem Pt-J für die
Finanzierung und Begleitung des MAGS-
Projektes!

Danke dem Einzelprojekt 4 für die gute
Zusammenarbeit!

Das Verbundprojekt **MAGS** - Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund - wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.

Förderkennzeichen: 0325191A-F

Projektträger für



**Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit**