

## Bestimmung von auswaschungsinduzierten Oberflächendeformationen mit GNSS in innerstädtischen Bereichen

- Geodätische Woche 2016 -

*Session Angewandte Geodäsie und GNSS*



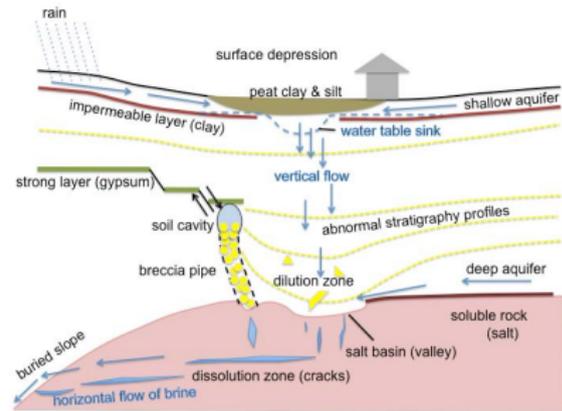
**T. Kersten & S. Schön**

Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover

## Motivation - Erdfall-Forschung und Prozesskomponenten



© MDR/Robert Müller



© Krawczyk und Dahm (2014)

### Erdfallkollaps in Nordhausen (21. Februar 2016)

- ▶ Erdfallkollaps in Tiefe von 100-150 m
- ▶ Auswaschung und Interaktion löslichen Materials (Gipse, Anhydrite)
- ▶ ≈ 70 000 Tonnen Erdmaterial durch Kollaps bewegt
- ▶ Geometrie: 30 m Durchmesser und 50 m tief

## SIMULTAN - Interdisziplinäres und mehrskaliges Forschungsprojekt

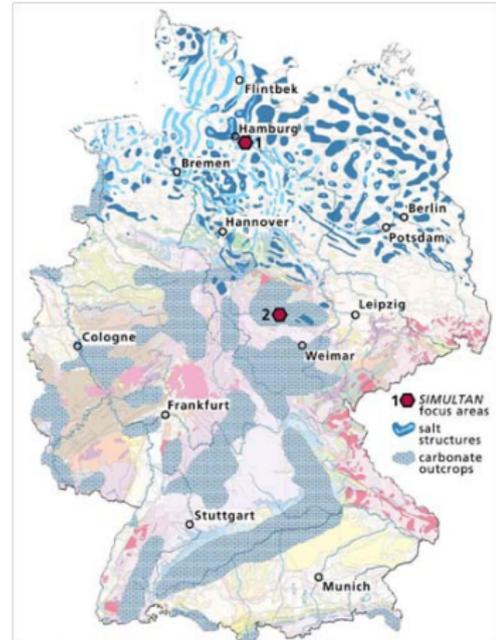
### SIMULTAN

Sinkhole Instability: Integrated **MULTI**-scale Monitoring and **AN**alysis



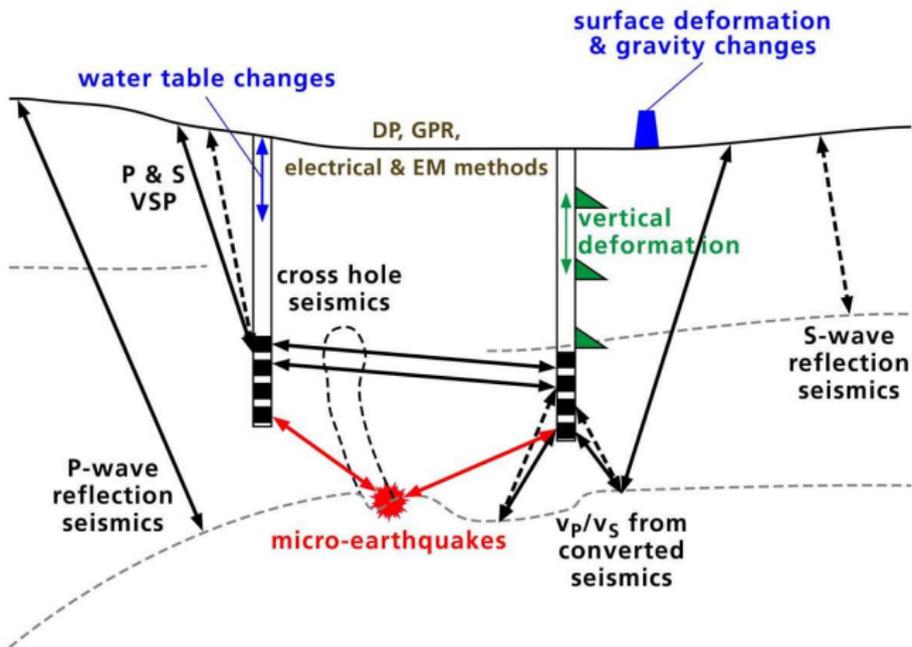
### Zielsetzungen und Schlüsselparameter

- ▶ **frühzeitige Erkennung** (unterschiedliche Skalen: Zeit, räuml. Ausdehnung & Tiefe)
- ▶ **systematische Kombination** (Modelle, Datensätze: geophysikalisch, geodätisch, geologisch, hydrologisch)
- ▶ **Interaktion + Kombination** von Deformationen und Mechanik: gemeinsame / identische Messpunkte
- ▶ **Innovative, urbane Überwachungsmethoden** (geodätisch, geophysikalisch)



© Krawczyk et al. 2015

## Komplexe Interaktion verschiedener Prozesse



© Krawczyk und Dahm (2014)

## Komplexe Interaktion verschiedener Prozesse

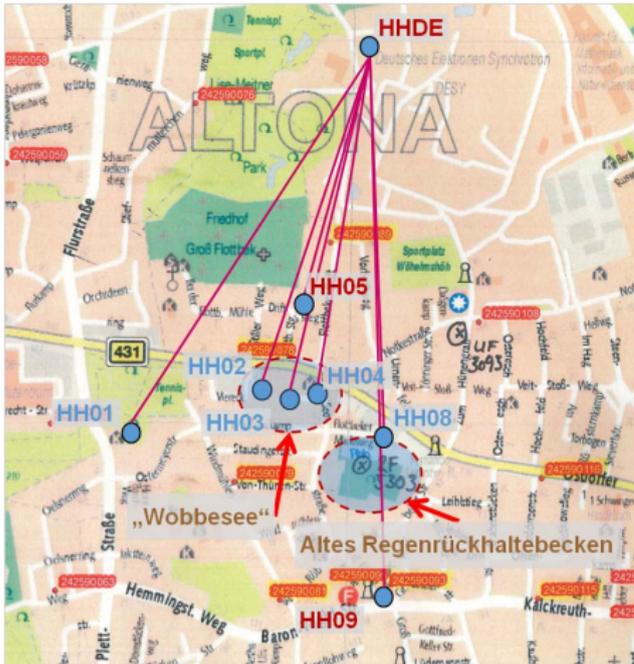
### Arbeitsfelder und Arbeitspakete des Forschungsprojektes

- ▶ WP1: Schlüsselparameter kritischer Zonen in Erdfällen (LIAG)
- ▶ WP2: seismische Überwachung und Charakterisierung und Strukturerkundung (UHH, GFZ, LIAG)
- ▶ **WP3: Oberflächendeformationen und Massenbewegungen (LUH, GGL, LIAG)**
- ▶ WP4: Interaktion Gestein-Wasser-Boden (TU Berlin, UFZ)
- ▶ WP5: Entwicklung von Hohlräumen und Kollapserdfällen (GFZ, FU Berlin)
- ▶ WP6: Protokolle und Entscheidungsprozess BSU, TULG, LLUR)

### Mehrskalige Beobachtungsmethoden (geodätisch & geophysikalisch)

- ▶ Nivellement (pro Quartal) **LIAG**
- ▶ relative Gravimetrie (pro Quartal), **LIAG**
- ▶ Mikro-Gravimetrie, **GGL**
- ▶ **GNSS-Überwachungsmessungen** (halbjährlich), **LUH**
- ▶ absolute Gravimetrie (jährlich), **LUH**

## Konzept - lokales GNSS-Monitoringnetz



### Hamburg (Groß Flottbek)

- ▶ GNSS-Netz aus 8 (von 67) Punkten,
  - ▶ 5 kombinierte Punkte Nivellement, Gravimetrie, GNSS
  - ▶ 3 reine GNSS-Punkte
- ▶ sternförmig von HHDE (DESY<sup>1</sup>)
- ▶ seit Oktober 2015 drei Kampagnen erhoben

### Voranalysen - Zielstellung

erwartete Senkungsrate: 1.5-2 mm/a

<sup>1</sup>DESY: Deutsches Elektronen-Synchrotron

## Kampagnen - lokales GNSS-Monitoringnetz

### Ausrüstung

- ▶ **Empfänger:** Breitband-, Mehrkanal- und Multi-System-Empfänger (GPS, GLONASS, Galileo)
- ▶ **Antennen:** breitbandige Referenz- und Roverantennen (individuelle Roboter-Kalibrierung am IfE)
- ▶ **Atmosphärische Daten:** zur internen Qualitätssicherung und Prüfung

### Messplanung / Durchführung

- ▶ 6 Sessions á 4 Stunden Beobachtungsdauer
- ▶ 8 GNSS-Stationen, 4 Mitarbeiter, 3 Tage
- ▶ GPS-only und GPS/GLONASS kombinierte Netzwerklösung (final: **GPS/GLONASS**)



Monitoring-Punkt HH09, © LUH



Referenz HHDE © LUH



SFD-Unterbau © LUH

## Auswerteparameter, Epochenvergleiche und Sicherung

### Lokales GNSS-Monitoringnetz

- ▶ sternförmig (lokale Referenz fixiert, GNSS-L1 Lösung)
- ▶ Bernese 5.2 - GPS sowie GPS/GLO Auswertung, ESA Orbits/Clocks, Ozean- und Atmosphärischen Auflastungen
- ▶ Batch-Kombination individueller Session-Lösungen pro Epoche, anschließende Epochenvergleiche

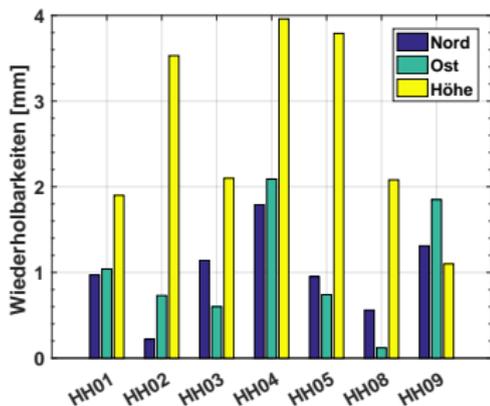
### Sicherung des lokalen GNSS-Monitoringnetzes

- ▶ IGS-Realisierung regionaler, umliegender SAPOS<sup>®</sup>-Stationen [Stade](#), [Lüneburg](#), [Buchholz](#) (GNSS L3-Lösung)
- ▶ Epochenvergleiche der lokalen Referenz als Qualitätssicherung
- ▶ Verifizierung mit begleitendem Nivellement (GNSS-Niv vs. geom. Niv.)

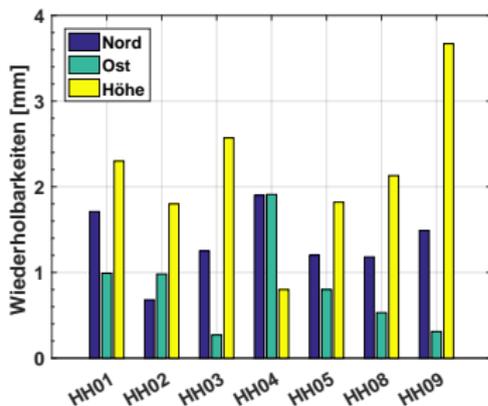
### zusätzliche Herausforderungen

- ▶ Satelliten-Sichtbarkeiten herausfordernd, dynamische und adaptive Elevationsmasken hilfreich (L. Icking et al., 2016), GLONASS bietet Stabilisierung
- ▶ Galileo-Beobachtungen & Doppeldifferenzen unter Revision, (F. Ruwisch et al., 2016)

## Lösungen der Nullepoche (GPS vs. GPS/GLO)



(a) GPS only

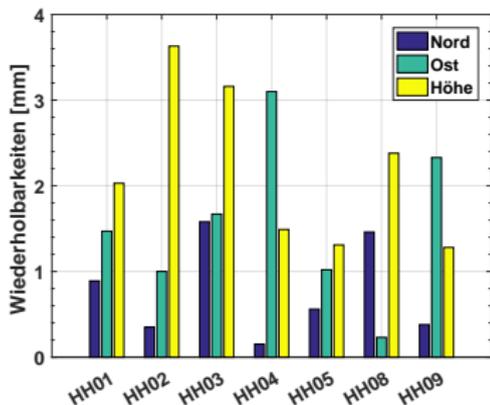


(b) GPS+GLONASS

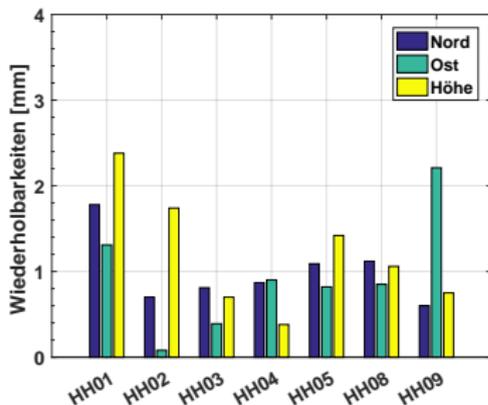
### Verbesserung durch Kombination von GPS und GLONASS

- ▶ pro Standpunkt 40-50% mehr Beobachtungen vorhanden
- ▶ eingeschränkte GPS-Sichtbarkeit durch GLONASS (höhere Inklination) reduziert
- ▶ deutliche Verbesserung der Höhen-Komponente erreichbar

## Lösungen der Wiederholungsmessungen



(a) 04/2016, GPS+GLONASS



(b) 09/2016, GPS+GLONASS

### Realisierungen und Epochenvergleiche

- ▶ Lage auf  $\approx 2$  mm realisierbar, Höhe abhängig von urbaner Umgebung
- ▶ Epochenvergleiche zeigen bisher keine Lage- oder Höhenänderungen (**vorläufige Ergebnisse**, Testkriterien:  $\alpha = 5\%$ ,  $1 - \beta = 80\%$ )
- ▶ weitere Analysen mit simultan erhobenen Messmethoden/Ergebnissen notwendig

## Zusammenfassung und Ausblick

---

### GNSS-Überwachungsnetz

- ▶ Wiederholbarkeiten: Lage: 0.8-1.5 mm, Höhe: 2-4 mm
- ▶ lokale Referenz zeigt stabile Wiederholbarkeiten (L3 GNSS-Lösung)
- ▶ Epochenvergleiche zeigen derzeit keine signifikanten Senkungen und /oder Verschiebungen, weitere Analysen / Rückkopplungen anderer Methoden notwendig (Signifikanztest in Bezug auf Nivellement, Gravimetrie, etc.)

### Herausforderungen und zukünftige Arbeiten

- ▶ herausfordernde Empfangsbedingungen für GNSS (Reflexion, Beugung, Mehrwegefehler) fordern neue Ansätze (Ruwisch et al. 2016; Icking et al. 2016)
- ▶ laufende Überwachungsmessungen notwendig, um Prozesse und signifikante Signale zu trennen (stationspezifische Auswertungen)
- ▶ Kombination der GNSS-Daten mit weiteren geophysikalischen Informationen (Gravimetrie, Nivellement, Seismik)

**Tobias Kersten & Steffen Schön**

**Institut für Erdmessung**

Schneiderberg 50

D-30167 Hannover, Germany

phone + 49 - 511 - 762 5711

fax + 49 - 511 - 762 4006

web <http://www.ife.uni-hannover.de>

mail [kersten@ife.uni-hannover.de](mailto:kersten@ife.uni-hannover.de)



## Danksagung

Diese Arbeiten werden finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03G0843D.