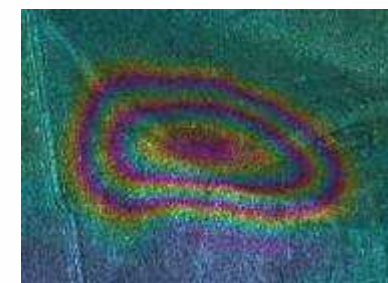
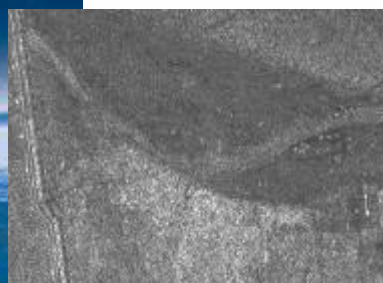


6. ALLSAT OPEN
Hannover, 18. Juni 2009

**„Satellitengestützte SAR-
Interferometrie und GNSS-
Referenzmessungen zur Überwachung
flächenhafter Bodenbewegungen“**

Präsentiert von
Dr. Lutz Petrat, Infoterra GmbH



Inhalt

1. **Infoterra GmbH**
2. **Radarsatellit TerraSAR-X**
3. **Prinzipien Satellitengestütztes Bodenbewegungsmonitoring**
4. **Einsatzbeispiele**
 - 4.1 Flutung eines stillgelegten Bergwerks, Deutschland
 - 4.2 Ölproduktion, Oman
 - 4.3 Ölproduktion, Kuwait
 - 4.4 Geothermiebohrung, Staufen
 - 4.5 Aktiver Steinkohlenbergbau, Deutschland
 - 4.6 Lösungsbergbau, Niederlande
5. **Schlussfolgerung**
6. **Diskussion**



* France, Germany, UK, Spain, Netherlands

Radarsatellit TerraSAR-X

Erster kommerzieller Radarsatellit mit hoher räumlicher Auflösung (1 m)

- Start: 15 Juni 2007,
- weltweite, wetterunabhängige Datenaufnahme,
- Verlässliche Komplementierung optischer Satelliten- und Flugzeugdaten,
- Bereitstellung weiterer Geoinformationsprodukte,
- Folgeprojekt 2009: hochgenaue Erstellung digitaler Geländemodelle durch Nutzung eines zweiten Satelliten – TanDEM-X.



Prinzipien Satellitengestütztes Bewegungsmonitoring

Flächenhafte 2D Differentielle Radarinterferometrie (DInSAR)

- Flächenhafte Bestimmung von relativer Geländehöhe und Bodenbewegung
- Vorteile:
 - Flächendeckende Aussagen zu Bodenbewegungen
- Nachteile:
 - Keine oder unzureichende Aussagemöglichkeiten in vegetationsreichem Gelände
 - Eingeschränkte Möglichkeiten, zeitlich variable Bewegungssignale aufzulösen



Abbildung: DInSAR Ergebnis
Bergbauinduzierter
Bodenbewegungen

Prinzipien Satellitengestütztes Bewegungsmonitoring

Punktbasierte Persistent Scatterer Radarinterferometrie (PSI)

- Punktweise Bestimmung von relativer Geländehöhe und Bodenbewegung
- Punkte: Starke Radarstreuer (Klippen, Gebäudekanten, künstl. Cornerreflektoren)
- Vorteile:
 - Analysen zu zeitlich variablen Bodenbewegungssignalen möglich
 - Bei ausreichender Verfügbarkeit von Punktstreuern
→ Aussagen in vegetationsreichem Gelände

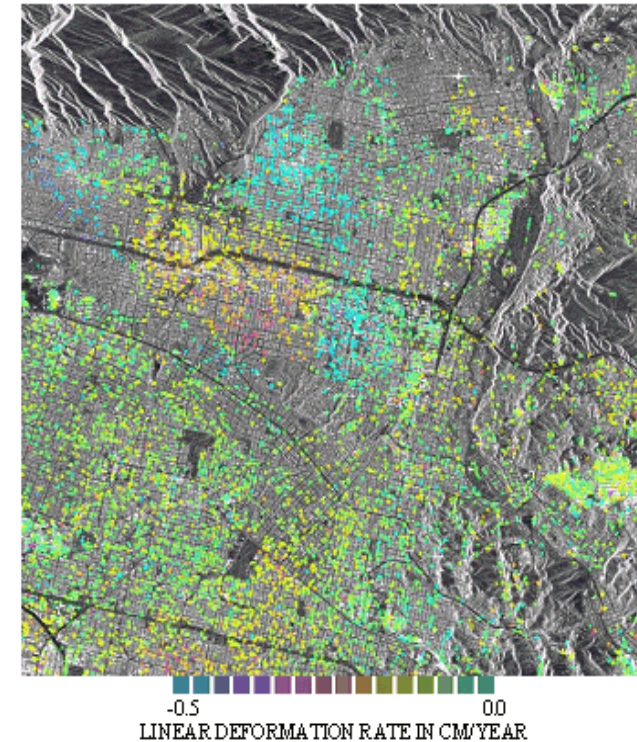
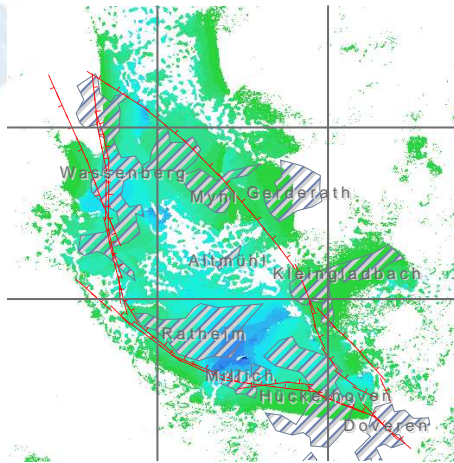


Abbildung: PSI Ergebnis - Beispiel
(Quelle: GAMMA Remote Sensing,
Switzerland)

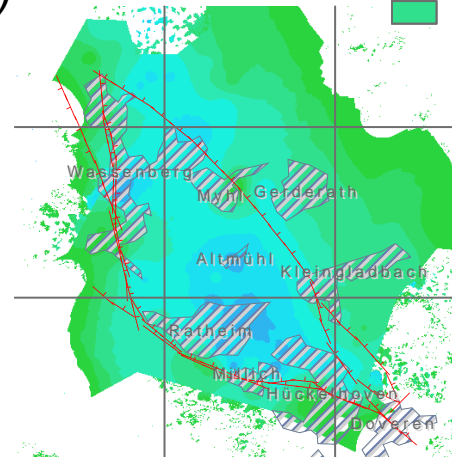
Einsatzbeispiele

Flutung eines stillgelegten Bergwerks, Deutschland

(a)



(b)



Legende

— Tektonische Störungen

Bodenbewegungsrate [m/Jahr]

0,000 - 0,005

0,006 - 0,01

0,011 - 0,015

0,016 - 0,02

0,021 - 0,025

0,026 - 0,03

0,031 - 0,035

0,036 - 0,04

0,041 - 0,045

0,046 - 0,05

0,051 - 0,055

0,056 - 0,06

Abbildung: Bodenbewegungen infolge der Flutung eines stillgelegten Bergwerks –
(a) DInSAR, (b) high precision optical levelling [Petrat et al., 2005]

Einsatzbeispiele

Flutung eines stillgelegten Bergwerks, Deutschland

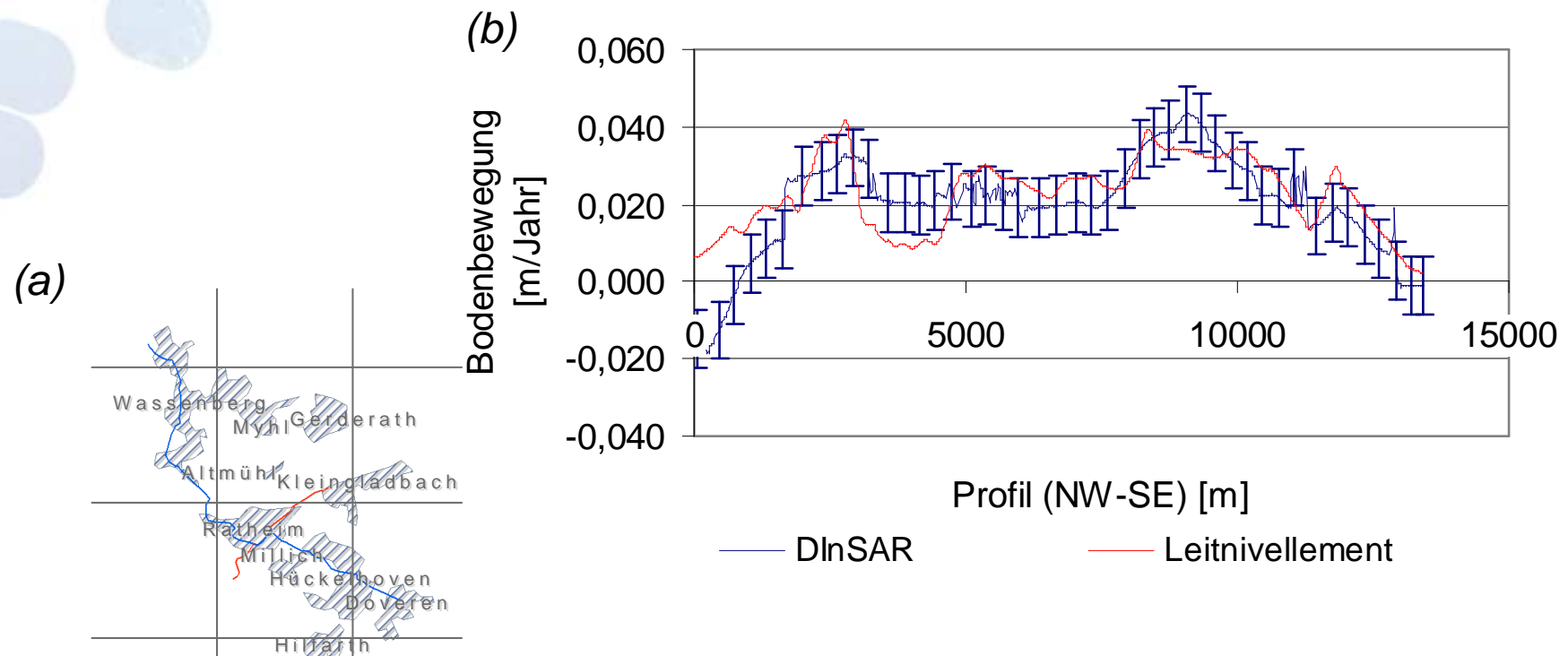
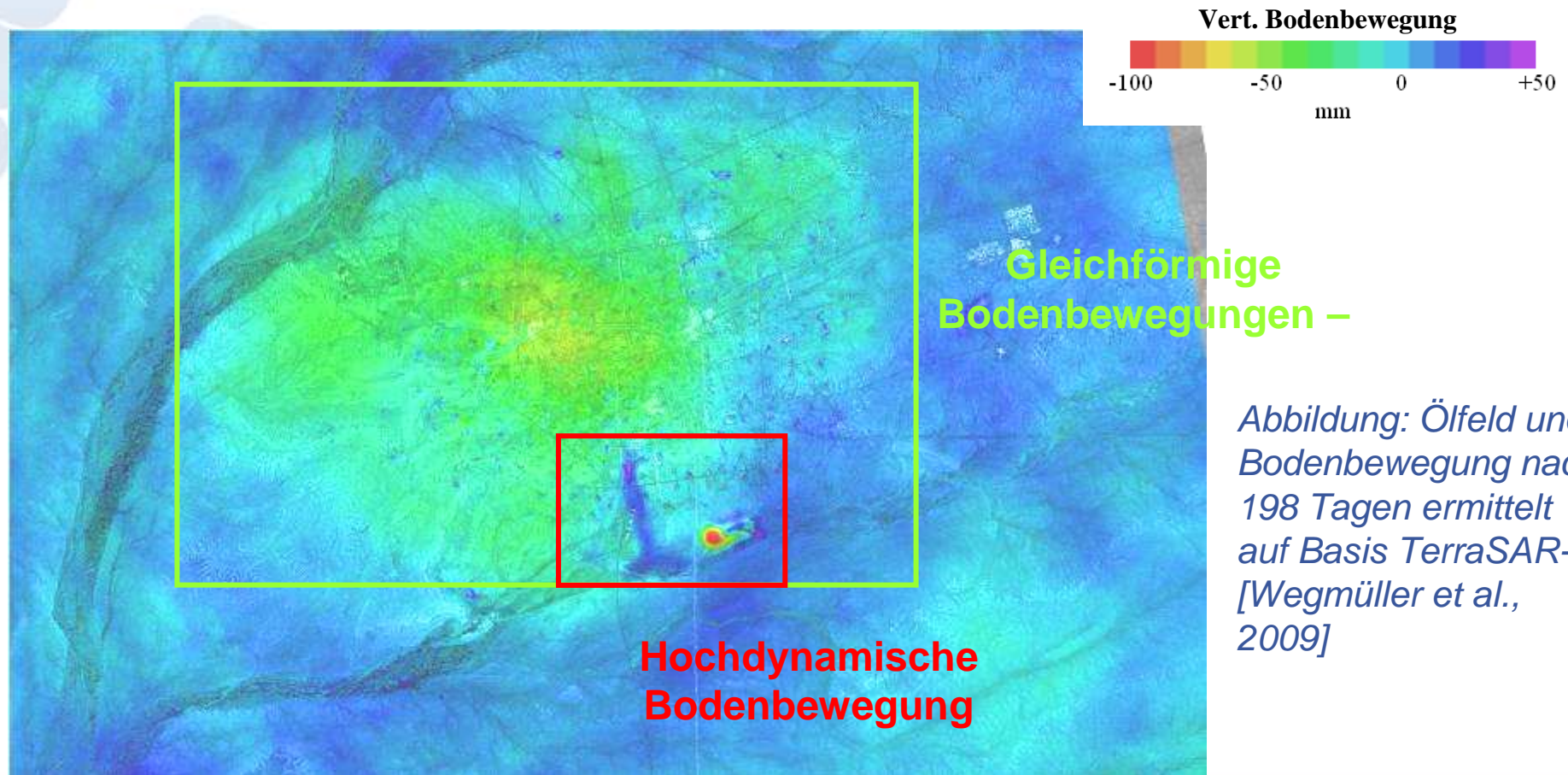


Abbildung: Bodenbewegungen infolge der Flutung eines stillgelegten Bergwerks – (a) Profilüberblick, (b) Vergleich von DInSAR und Nivellement [Petrat et al., 2005]

Einsatzbeispiele

Ölproduktion, Oman



*Abbildung: Ölfeld und
Bodenbewegung nach
198 Tagen ermittelt
auf Basis TerraSAR-X
[Wegmüller et al.,
2009]*

Einsatzbeispiele

Ölproduktion, Oman

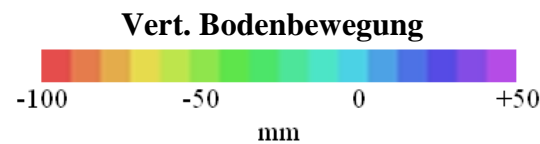
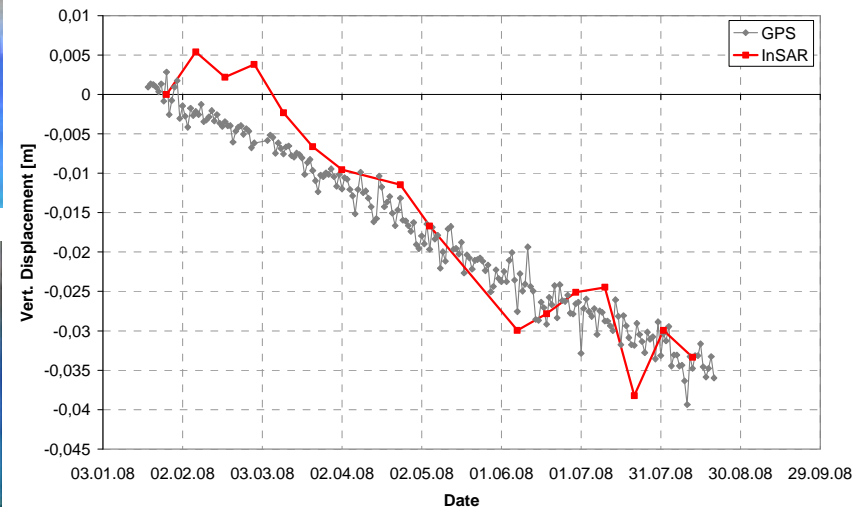
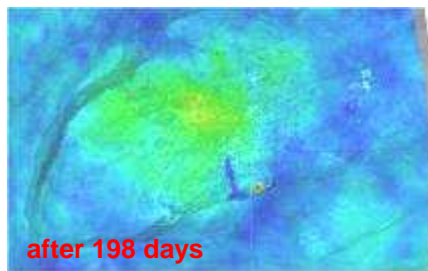
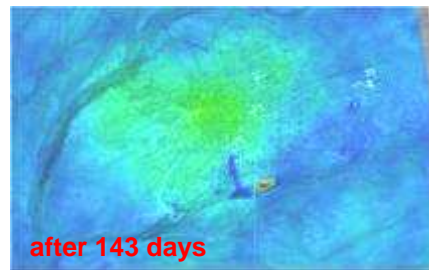
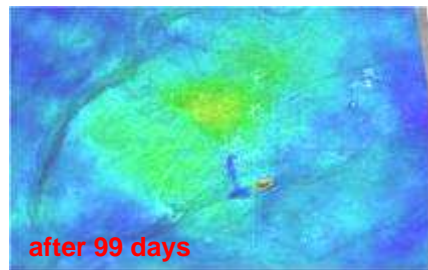
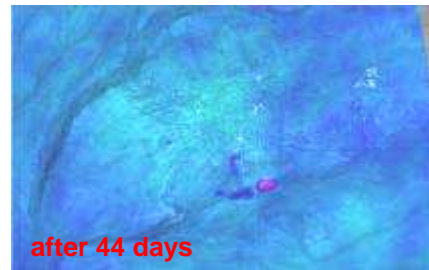
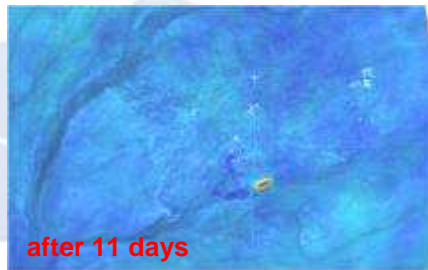
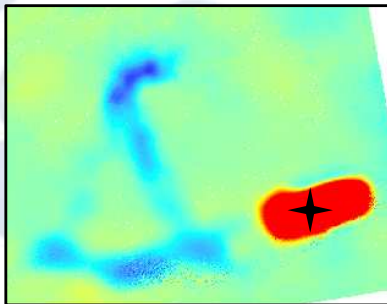


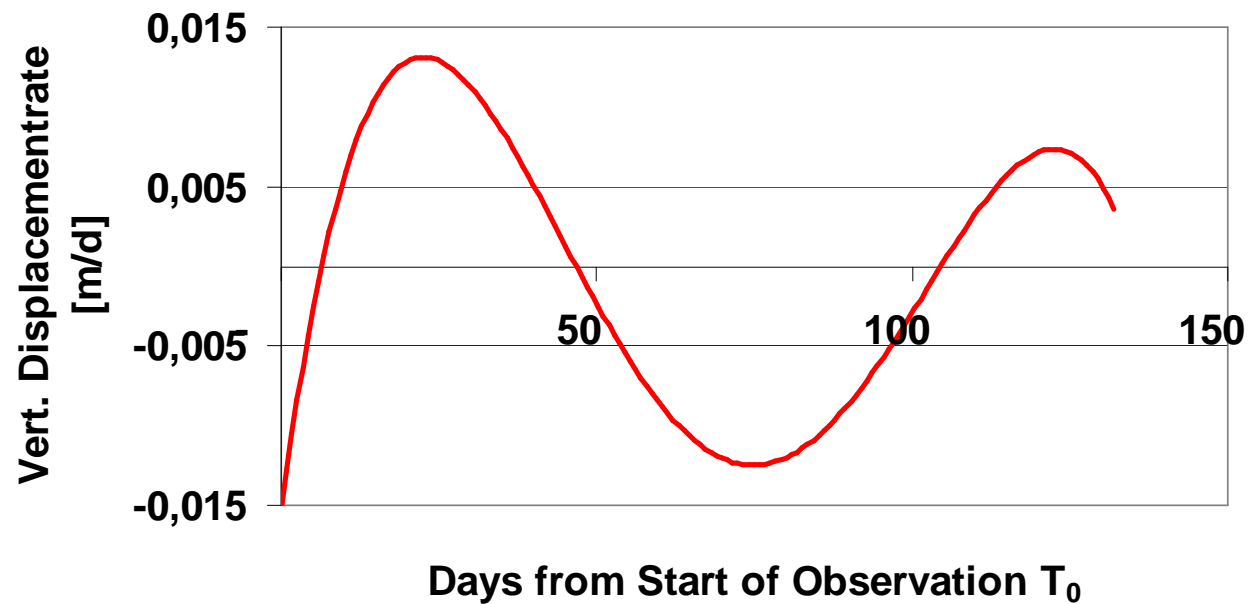
Abbildung: Zeitliche Entwicklung großräumiger Subsidenz auf Basis TerraSAR-X [Wegmüller et al., 2009]

Einsatzbeispiele

Ölproduktion, Oman



from day 0 to day 11



Legend

11 Days - Vert. Displacement [m]

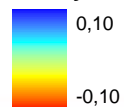


Abbildung: Zeitliche Entwicklung kleinräumiger Subsidenz auf Basis TerraSAR-X

Einsatzbeispiele

Ölproduktion, Kuwait

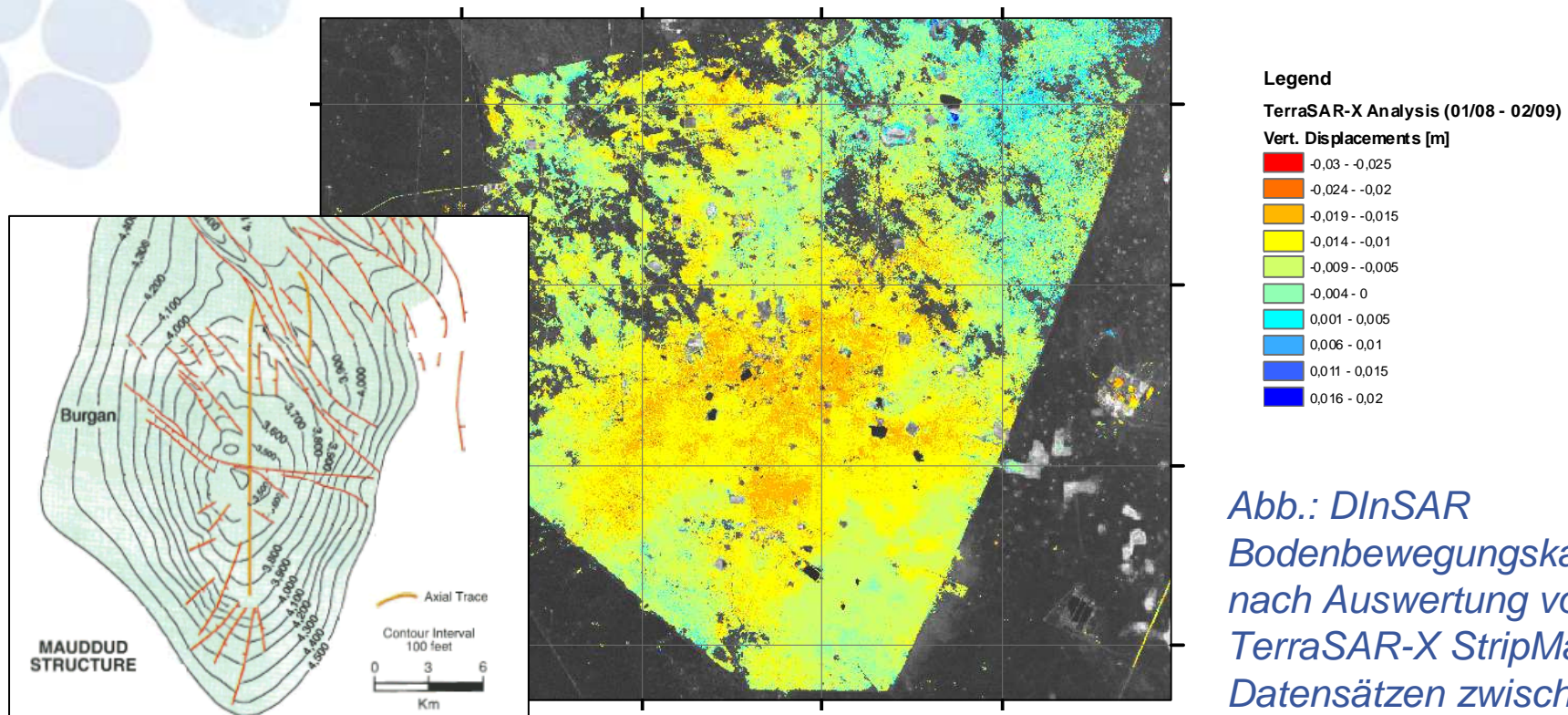


Abb.: DInSAR
Bodenbewegungskarte
nach Auswertung von 23
TerraSAR-X StripMap
Datensätzen zwischen
01/2008 und 02/2009

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen

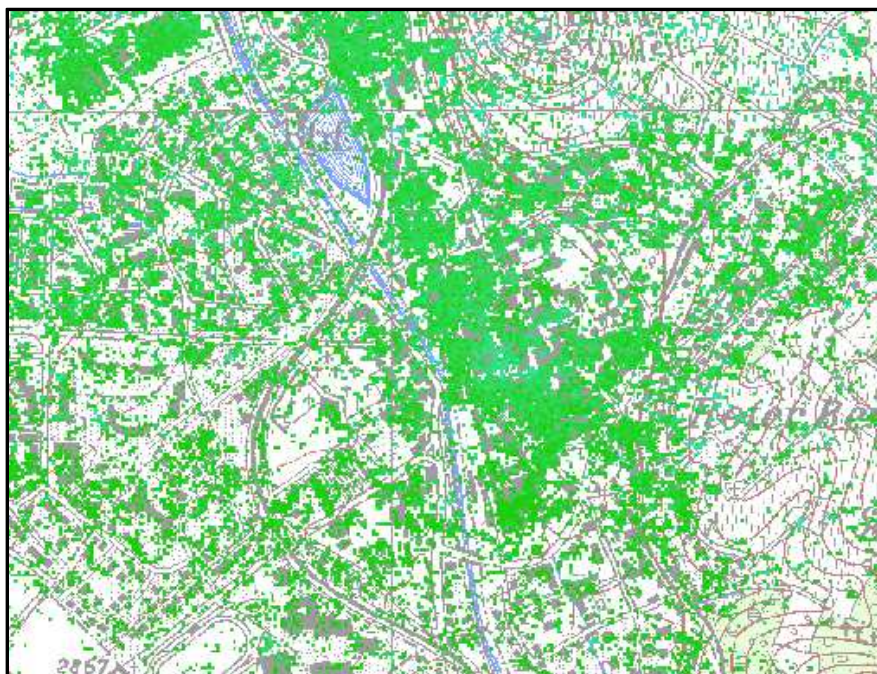


Abbildung: Stadtgebiet von Staufen im Breisgau ^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

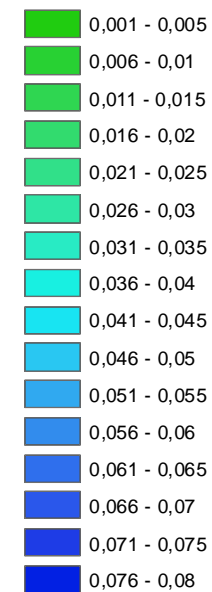
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



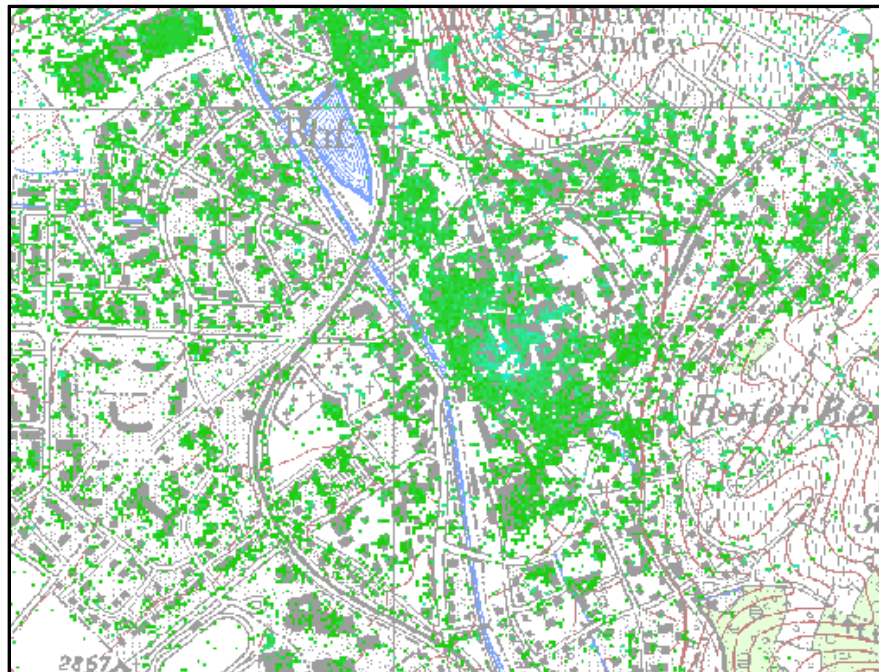
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 29/10/2008^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

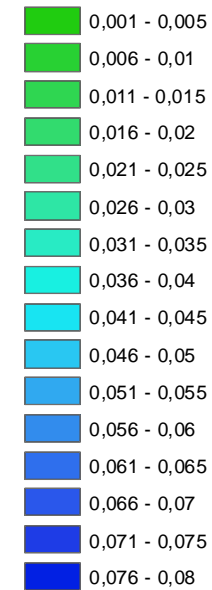
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



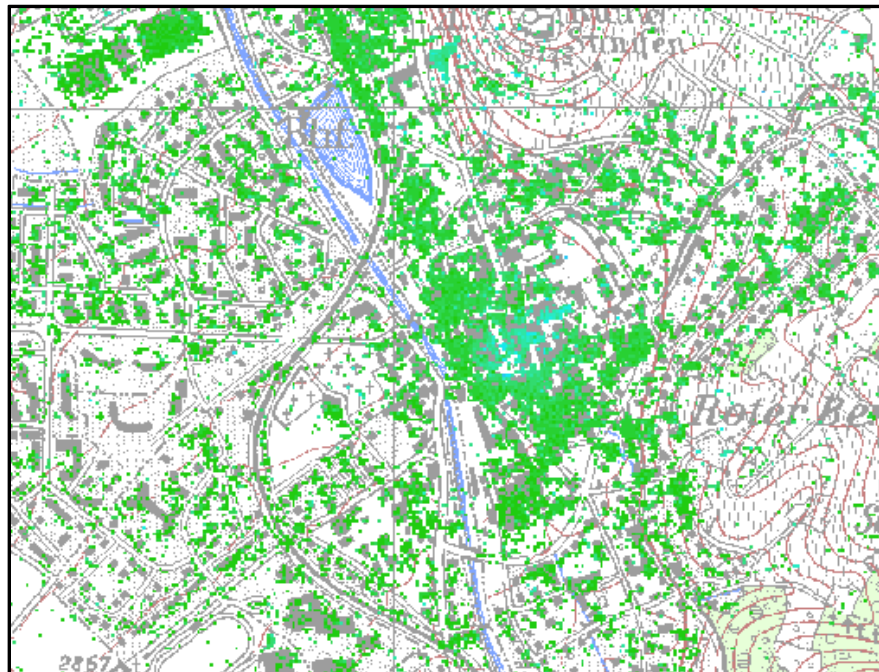
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 20/11/2008^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



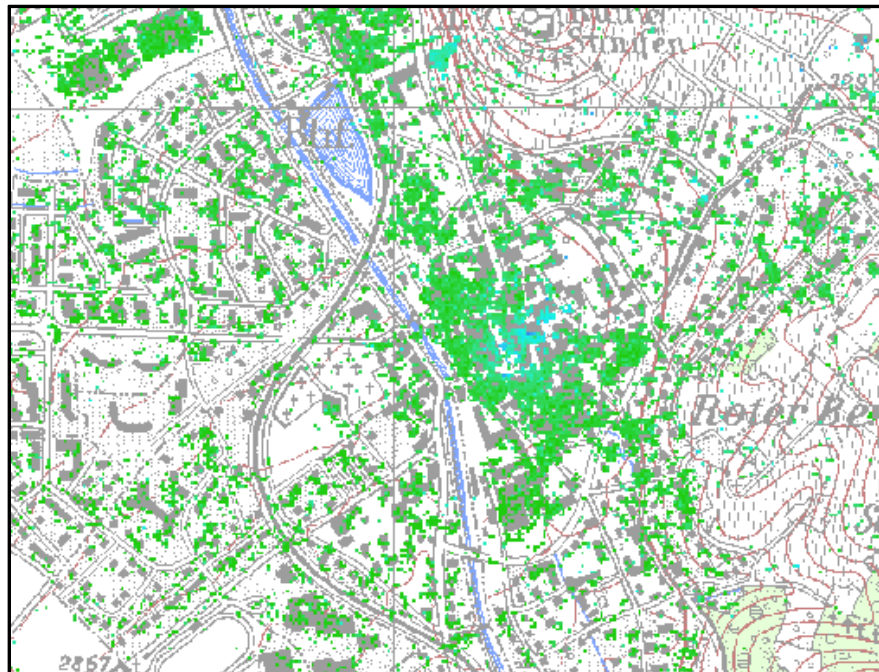
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 01/12/2008^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

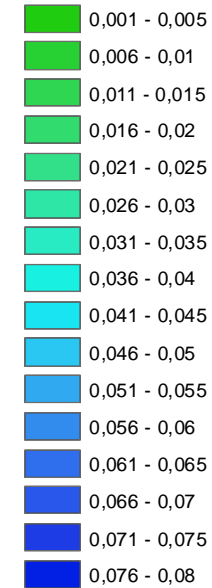
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



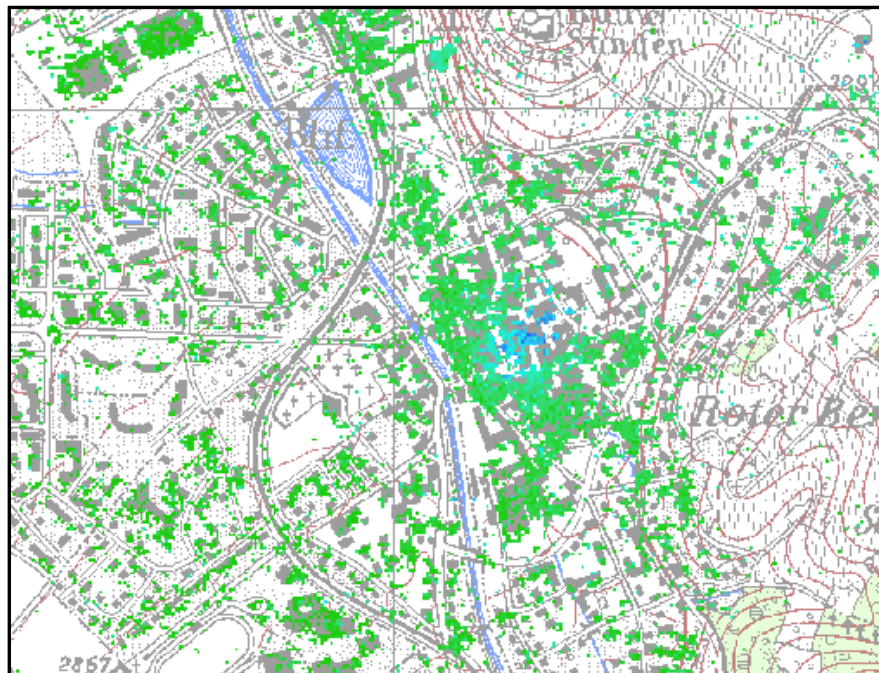
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 12/12/2008^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

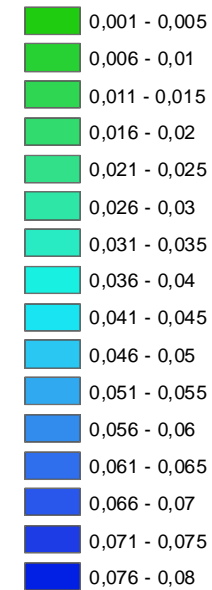
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



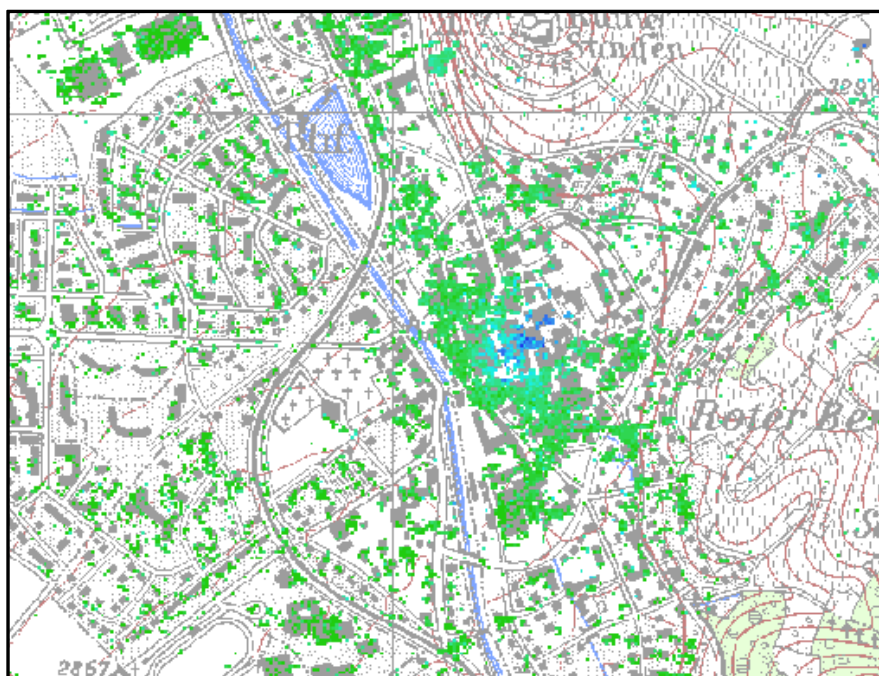
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 03/01/2009^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

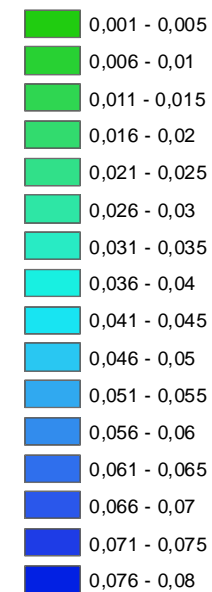
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



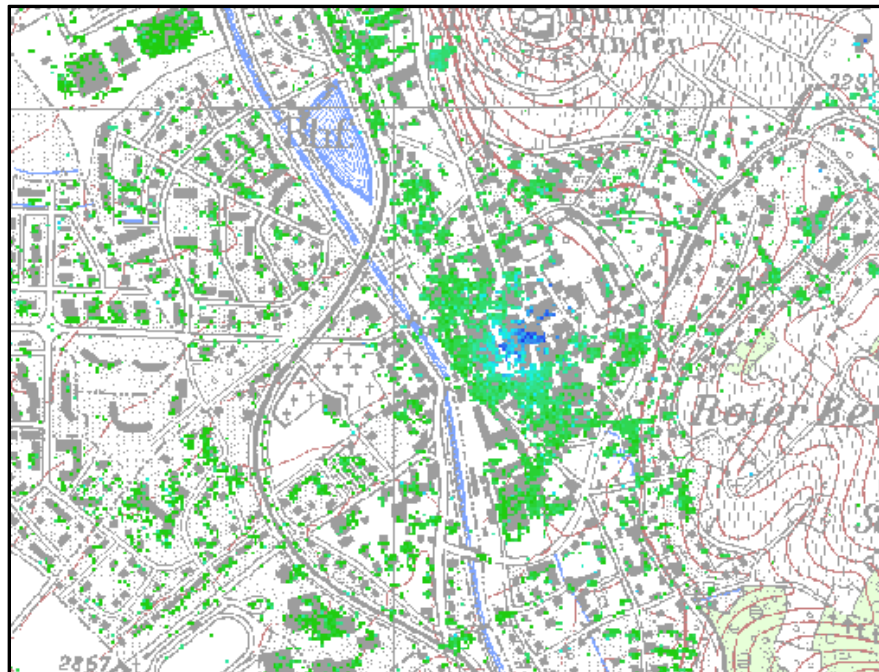
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 14/01/2009^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

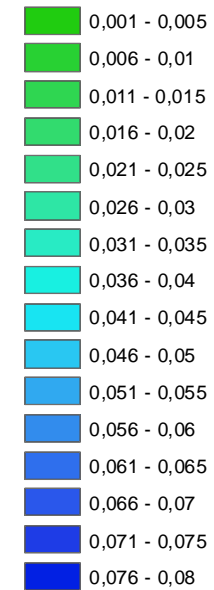
Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]



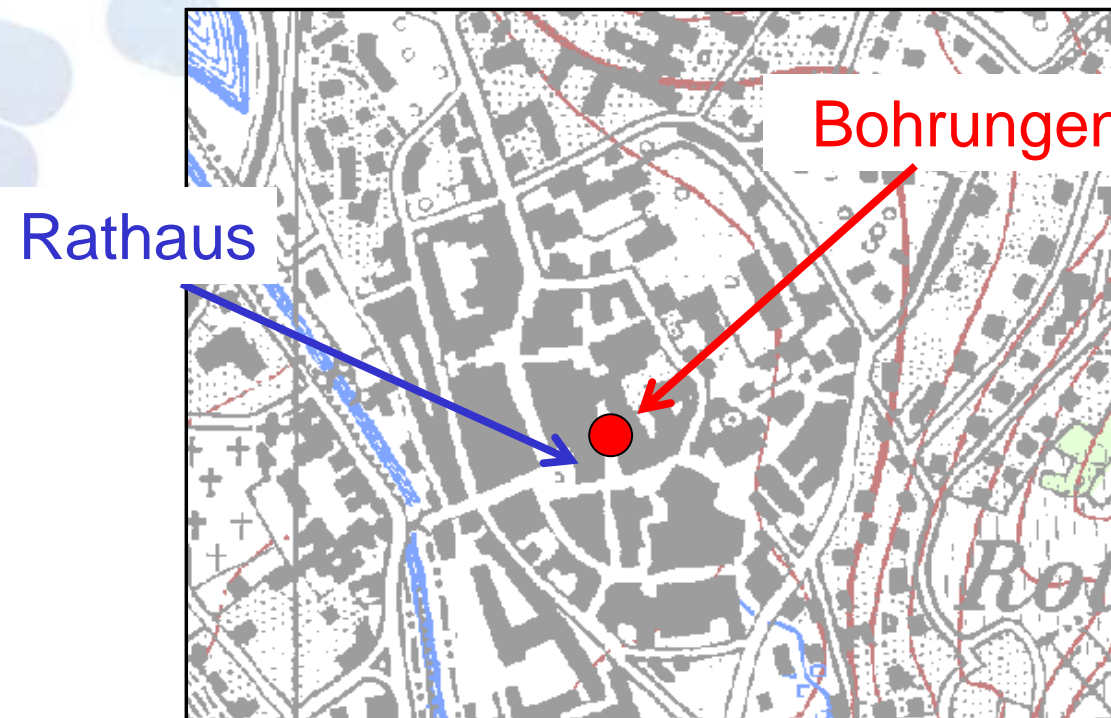
Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09

Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 25/01/2009^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]

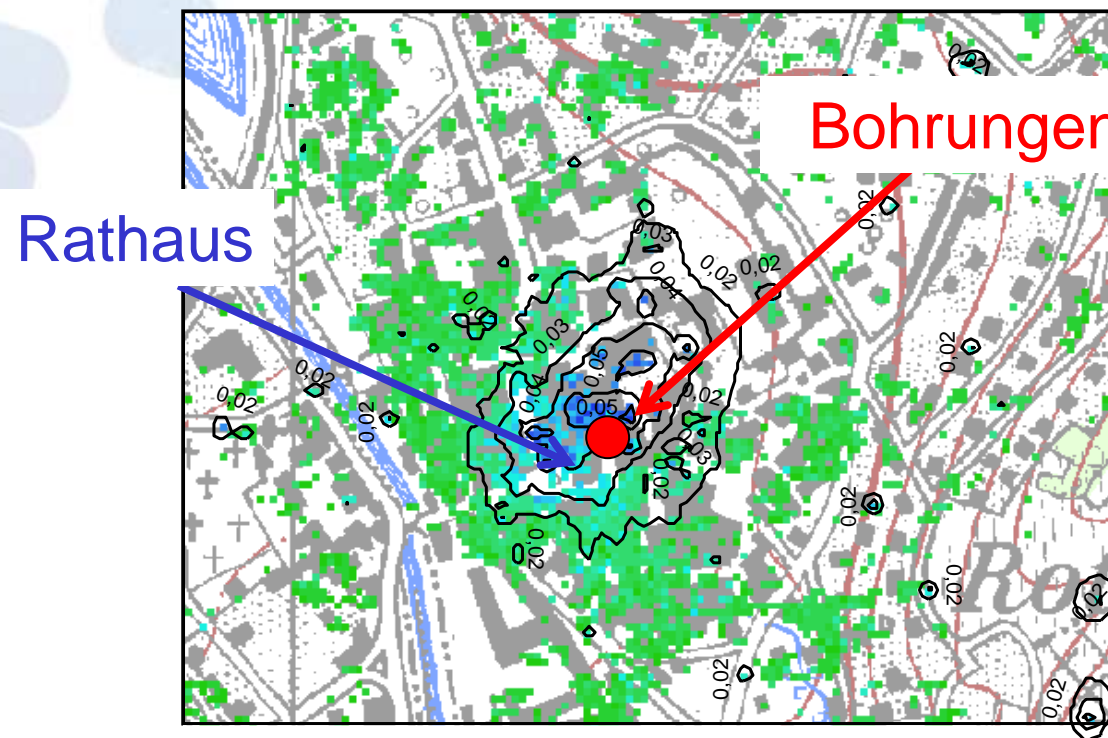
0,001 - 0,005
0,006 - 0,01
0,011 - 0,015
0,016 - 0,02
0,021 - 0,025
0,026 - 0,03
0,031 - 0,035
0,036 - 0,04
0,041 - 0,045
0,046 - 0,05
0,051 - 0,055
0,056 - 0,06
0,061 - 0,065
0,066 - 0,07
0,071 - 0,075
0,076 - 0,08

Abbildung:
Detailbetrachtung –
Überblick^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Legend

Vert. Bodenbewegung [m]

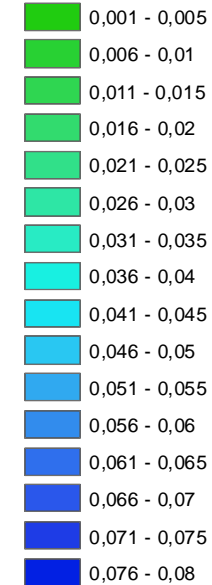


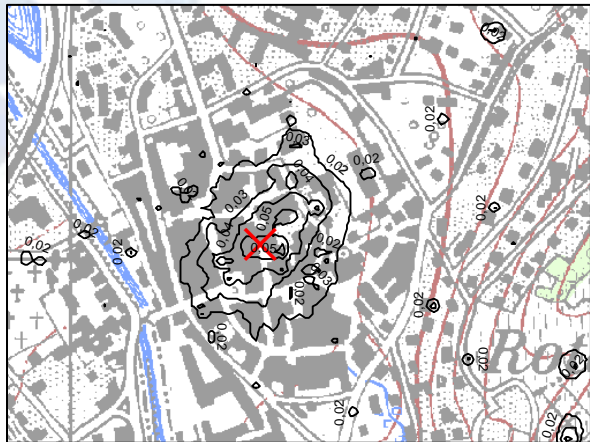
Abbildung: Bodenbewegung
22/07/2008 – 25/01/2009;
Isolinien ermittelt durch
Interpolation^a

Jul '08	Aug '08	Sep '08	Okt '08	Nov '08	Dez '08	Jan '09
[Bar chart showing data for each month]						

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen



Bewegungsrate: ca. 12 mm/Monat

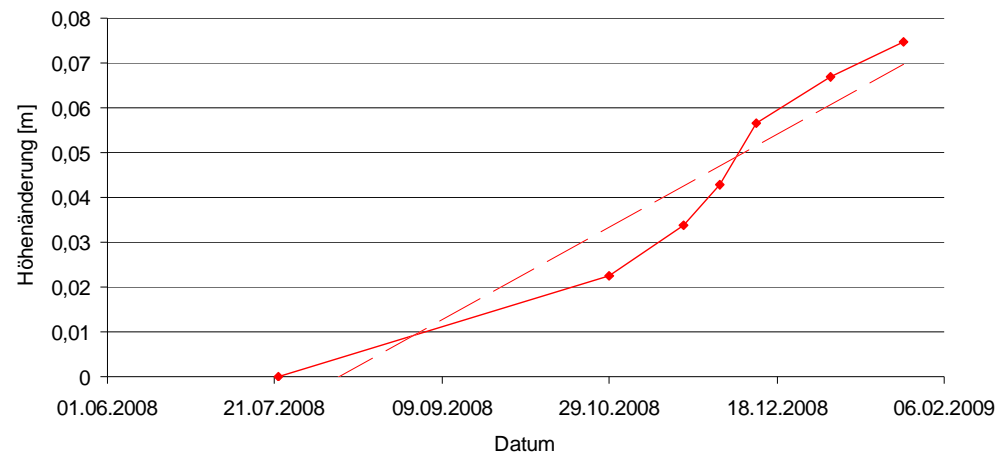


Abbildung: Zeitreihendarstellung Analysepunkt 3^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen

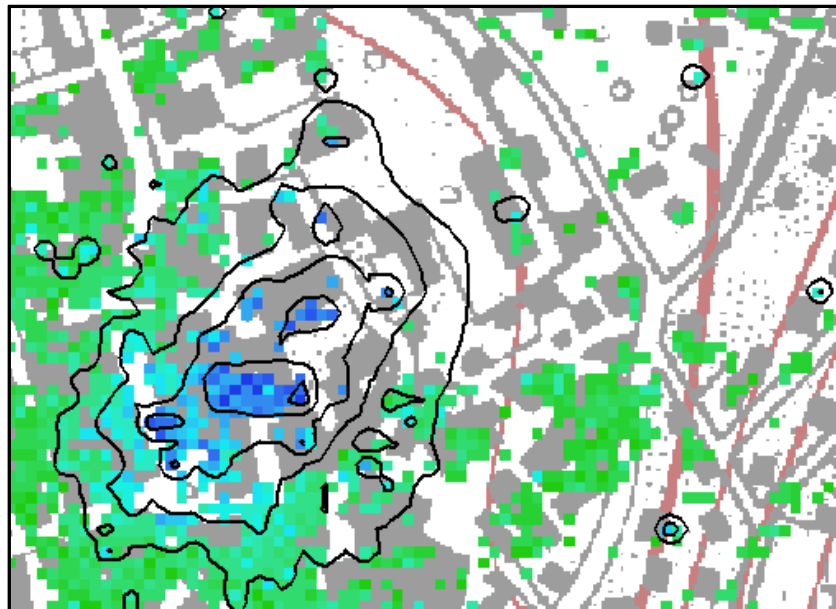


Abbildung: Radarinterferometrisches Ergebnis mit interpolierten Isolinien ^a

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Geothermiebohrung, Staufen

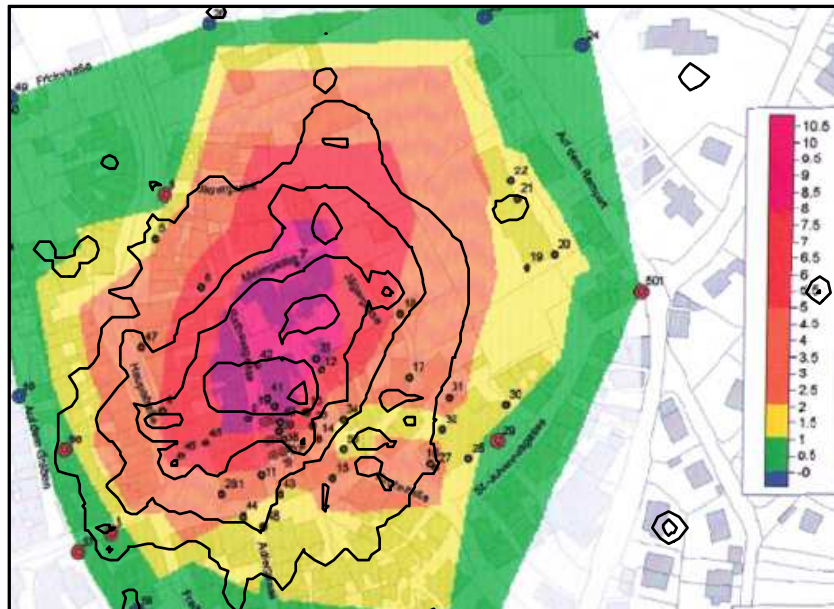


Abbildung: Vergleich Radarinterferometrie (Isolinien) / terrestrisches Nivellement (farbig – Quelle: Stadt Staufen) ^a:

^a Topographische Karte: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de), vom 24.02.2009, Az.:2851.2-D/6865

Einsatzbeispiele

Aktiver Steinkohlenbergbau, Deutschland

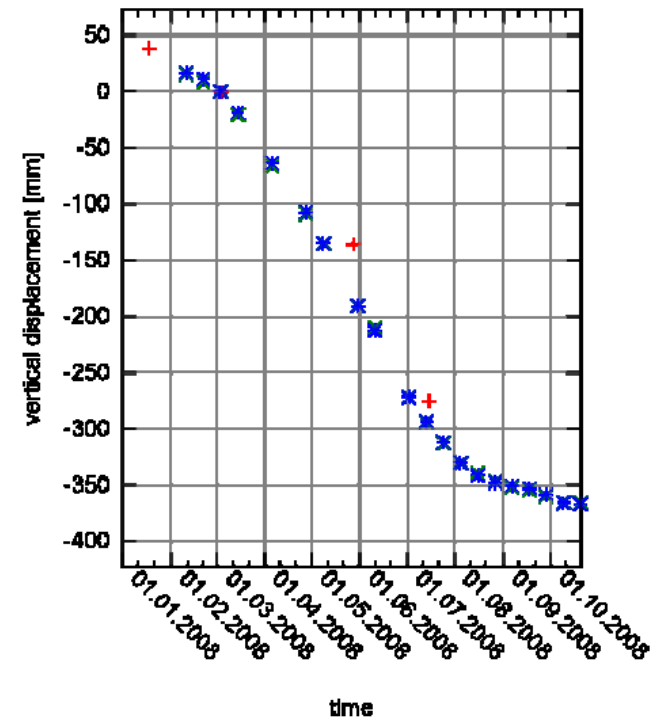
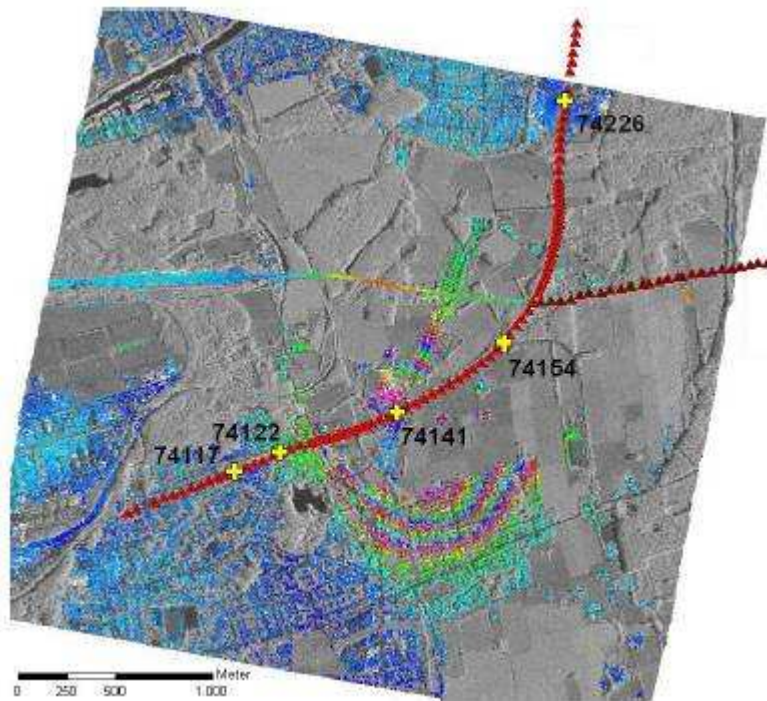


Abbildung: PSI Prozessierungsergebnis in einem Bergbaubereich in NRW –
Links: Gesamtergebnis (Fringedarstellung); Rechts: Zeitserie der Bodenbewegungen am
Nivellementpunkt 74141 im Vergleich zu terrestrischen Nivellements [Wegmüller et al., 2008]

Einsatzbeispiele

Lösungsbergbau, Niederlande

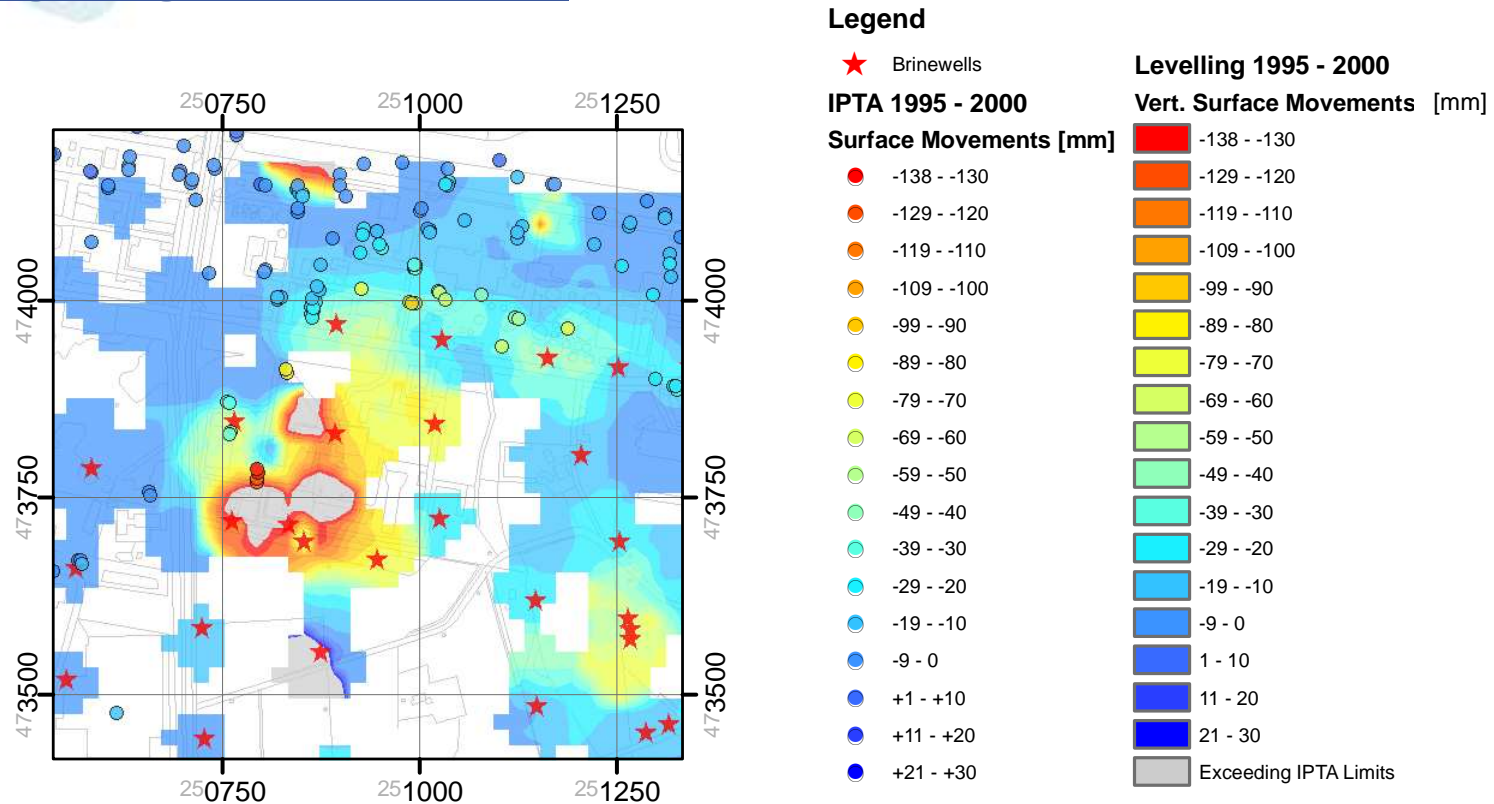


Abb.: Bestimmung von Bodenbewegungen im Bereich von Solkavernen – Vergleich Interferometric Point Target Analysis (IPTA) / terrestrisches Nivellement [Petrat und Paar, 2006]

Schlussfolgerung

- DGNSS Vermessung:

- hochgenaue Information über Bodenbewegungen an einzelnen, zuvor ausgewählten Punkten
- Detaillierte Vorinformation über Bewegungsphänomen oder flexibles Vorgehen notwendig

- Satellitengestützte Radarinterferometrie:

- flächenhafte Bewegungsinformation bzw. punktbezogene Bewegungsdaten für große Anzahl von Punkten
- sehr gute Grundlage für Konzeption eines optimierten DGNSS Messnetzes oder eigenständig einsetzbar

- Satellitengestützte Radarinterferometrie und DGNSS Vermessung

- **kein** Wettbewerb
- zielführend **komplementär** einsetzbar!

Diskussion

Dr. Lutz Petrat
Infoterra GmbH
Friedrichshafen, Germany
Phone: +49 7545 8 3389
Email: lutz.petrat@infoterra-global.com