LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
17. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
17/897

A18, A17

Bundesverband
Bürgerinitiativen Tiefe Geothermie e.V.
www.geobubi.de

Bundesverband Bürgerinitiativen Tiefe
Geothermie e.V.

Vorsitzender: Werner Müller
Werner-Heisenberg-Str. 13,

76829 Landau
Tel: 06341-510-230

25.Oktober 2018

Sitzung des Ausschusses für Wirtschaft, Energie und Landesplanung am
31.Oktober 2018
„Wärmepotentiale nutzen-Einsatz der Geothermie erleichtern“
Antrag der Fraktion der CDU und der Fraktion der FDP, Drucksache 17/2562

Stellungnahme zur Tiefen Geothermie

1.Vorbemerkung

Der Bundesverband vertritt die Interessen der Mitgliedsvereine und deren Mitglieder bundesweit und unterstützt Bürgerinitiativen und Betroffene der Tiefen Geothermie.

Betroffene Anwohner des Geothermie-Kraftwerkes Landau gründeten nach dem ersten Schad- Erdbeben in Landau im Jahre 2009 die Bürgerinitiative Geothermie Landau-Südpfalz e.V. und waren auch Mitbegründer des Bundesverbandes.

Aus den Erfahrungen und Auswirkungen des Geothermie-Betriebes der Geothermie-Kraftwerke in Landau und Insheim, den Fachtagungen der Geothermiebranche, dem Forschungsprojekt MAGS II und vorliegenden Studien ergeben sich die belegbaren Fakten, die wir in unserer Stellungnahme, wegen der Komplexität und Übersichtlichkeit gegliedert in Themenblöcke, zusammenfassen.

Aktuell: Am 30. Oktober besucht eine 23-köpfige Delegation aus Pohang, Südkorea, die Bürgerinitiative Geothermie Landau-Südpfalz e.V. In Pohang gab es Ende 2017 ein zerstörerisches Erdbeben mit Nachbeben in Februar 2018, bei dem ein Schaden von 50 Millionen US-Dollar entstand und mit größter Wahrscheinlichkeit vom Geothermie-Kraftwerk verursacht wurde.
Weitere Informationen hierzu auf www.geothermie-landau.de

2. Stellungnahme

Kann die Tiefengeothermie einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten?

**In Mitteleuropa liegen die Tiefenwasser-Temperaturen bei max. 150°C.
Strom kann nur mittels Transmitter, wie beispielsweise dem hochexplosiven Isopentan, im Energiewandlungsprozess ORC (Organic Rankine Cycle), oder mit dem Kalina Cycle, erzeugt werden. Für die Genehmigungsbehörden in Rheinland Pfalz sind Geothermie-kraftwerke Störfallbetriebe mit entsprechenden Auflagen.
Um ein mittleres Gaskraftwerk zu ersetzen, sind ca. 100 Geothermiekraftwerke erforderlich.
Wenn man die möglichen Standorte im dichtbesiedelten Deutschland betrachtet, den schlechtesten Wirkungsgrad aller Energieerzeugungssysteme einbezieht, die Risiken und Gefahren bewertet, kann Tiefengeothermie keinen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten.**

Akzeptanz

**Aufgrund der Probleme, Gefahren und Risiken, wie beispielsweise in Basel, Landau, Insheim, Poing und dem unakzeptablen, bürgerverachtenden Auftreten von Geothermie-Kraftwerks-Betreibern, schwindet bei der Bevölkerung zunehmend die Akzeptanz.
Dies belegen Umfragen in Landau und Bornheim der Uni Landau, Bürgerentscheide in Lustadt und Westheim im September 2017, sowie in Puchheim bei München im Juli 2018, die mit überwältigender Mehrheit neue Geothermieprojekte ablehnten.
Bürgerbewegungen in Massenheim und Meiningen verhinderten ebenfalls neue Projekte.
Die Stadt Kehl- Neuried und betroffene Bürger lehnen das geplante Geothermiekraftwerk in Neuried ab.**

Induzierte Erdbeben beherrschbar?

Die induzierten Erdbeben von Basel, Landau (1), Insheim (2), Poing und das mit größter Wahrscheinlichkeit bisher stärkste von einem Geothermiekraftwerk ausgelöste Schadbeben in Pohang verdeutlicht, dass induzierten Erdbeben nicht beherrschbar sind.

Gefahren/ Risiken

Induzierte Erdbeben, Landabsenkungen und Hebungen, siehe Anlage (6), Grundwassergefährdung, Umweltbelastungen. Siehe Anlage (1) (2)

Eigenstrombedarf

**In der Regel wird für den Eigenstrombedarf für Pumpen und Rückkühlung der preisgünstige Industriestrom aus Braunkohle- , Atom- oder Gaskraftwerken verwendet.
Aus Industriestrom wird Öko-Strom.**

Wirtschaftlichkeit

Die Geothermie in Grünwald und Unterhaching generiert Verluste in Millionenhöhe
Quelle: Süddeutsche Zeitung
Ohne die überhöhte EEG-Strom- Einspeisevergütung von derzeit ca. 25 €ct pro Kilowattstunde gäbe es die Tiefengeothermie nicht.

Wirkungsgrad

Der Netto-Wirkungsgrad liegt nach einer Studie der Uni Hamburg-Harburg für das Bundeswirtschaftministerium zwischen 3% und 8% und ist damit mit Abstand die schlechteste Technologie zur Energieerzeugung im Vergleich auch zur Sonnen-und Windenergie.

Radioaktivität

Besonders im Rheingraben ist der radioaktive Anteil im Tiefenwasser besonders hoch.
Die radioaktiv kontaminierten Materialien müssen als Sondermüll entsorgt werden.
Durch den Betrieb des Kraftwerk wird das im Untergrund vorhandene Radon zusätzlich an die Oberfläche gerüttelt. Messungen in geschädigten Gebäuden zeigen erhöhte Radon-belastungen. Siehe Anlage (1)

Umweltbelastungen. Klimaschonend?

Bis zu 90% der dem Tiefenwasser entzogenen Energie wird über die Rückkühlung vernichtet und an die Umwelt abgegeben.
Tiefengeothermie- Kraftwerke transportieren mittels Industriestrom Wärmeenergie an die Erdoberfläche, vernichten den größten Energieanteil und pumpen das abgekühlte Tiefenwasser wieder in den Untergrund.
Eine Energievernichtungs- Technologie!

Grundwasser-Gefährdung
Eingriff in ein einzigartiges wie unerforschtes Ökosystem.

Beim Zurückpressen des Tiefenwassers sucht sich das Tiefenwasser über Risse unkontrollierbar Wege und kann auch in die Grundwasserebene gelangen. Wenn Tiefenwasser mit Grundwasser in Berührung kommt, wird unsere existenzielle Lebensgrundlage Wasser zerstört. Auch Temperturerhöhungen im Untergrund bringen das vorhandene Gleichgewicht außer Kontrolle. Siehe hierzu den FAZ-Artikel „ Das Drama zu unseren Füßen“ vom 30. September 2018.

Geschlossener Kreislauf?

Beim Hochfahren des Kraftwerkes wird Tiefenwasserdampf mit unbekannten Inhaltsstoffen in die Umwelt abgegeben.
Landungspunkte der Förder-und Reinjektionsbohrung liegen im Untergrund in einer Tiefe von 3000m bis 6000m bei einem Abstand von ca. 1500m.
Das zurückgepresste Tiefenwasser gelang nur zum Bruchteil wieder zur Förderbohrung. Es werden nur max. 30% der zurückgepressten Tiefenwassermenge an der Förderbohrung gewünscht, um das Temperaturniveau des geförderten Tiefenwassers nicht zu gefährden.
Durch die neue Massenverteilung entstehen im Untergrund neue Spannungen, die zu Erdbeben unbekannten Ausmaß führen können.

Unerschöpfliche Energiequelle aus dem Inneren der Erde?

Die Energie im Untergrund bzw. aus der Erdkruste wird zu 80% durch radioaktive Zerfallsprozesse erzeugt. Im Bereich des Geothermiekraftwerkes nimmt die Tiefenwassertemperatur stetig ab. Für den Standort des Geothermiekraftwerkes ist der Untergrund demnach keine „unerschöpfliche Energiequelle“

Grundlastfähig?

Grundlastfähig sind jene Technologien, die die Kraftwerks- Leistung konstant liefern können. Für nahezu alle Geothermiekraftwerke trifft dies nicht zu: Bei Lufttemperaturen über ca. 25°C muss wegen der Rückkühlung des Transmitters die Leistung, je nach Lufttemperatur, bis auf 50% der Nennleistung reduziert werden. Somit ist Tiefengeothermie nicht unabhängig von externen Einflüssen und daher auch nicht grundlastfähig.

Erneuerbare Energiequelle?

Das Reservoir kühlt nach einer gewissen Betriebszeit ab. Um die ursprüngliche Temperatur wieder zu erreichen, rechnet man mit mehreren hundert Jahren.
Demnach ist die Tiefengeothermie keine „Erneuerbare Energiequelle“ wie beispielsweise die Sonnen-und Windenergie.

Stimulation bzw. Fracking oder „Gesteinsbehandlung“

Um die Bevölkerung nicht zu verunsichern, lässt sich die Branche immer wieder neue Beschreibungen für Fracking einfallen.
Auf den Punkt gebracht: Tiefengeothermie ist ohne Fracking (Aufbrechen) nicht möglich.
Quellen u.a.: BMU, Herr Bruchmann, VDI-Konferenz Joachimsthal März 2012 und KIT Karlsruhe

Flächenbedarf gering?

Der oberirdische Flächenbedarf ist vergleichbar mit beispielsweise Gas- Kraftwerken gleicher Leistung. Der Auswirkungsbereich im Untergrund liegt aber deutlich über 25 Quadrat-Kilometer und ist ohne jegliche Kontrolle oder Einflussnahme durch den Menschen.

Lärm-Emissionen

Der vom Geothermiekraftwerk erzeugte Lärm, wie beispielsweise in Landau, ist trotz Lärmschutzmaßnahmen noch in 600m Entfernung störend.
Besonders der Dauerton, ähnlich einem Tinnitus, ist für die Anwohner- je nach Windrichtung- mehr als belastend.

Unabhängig von fossilen Rohstoffen?

Wärmegeführte- Geothermiekraftwerke nur mit Redundanz-Kraftwerken möglich.
Die Leistungsanpassung des GKW an den Bedarf ist nur eingeschränkt möglich.
Lastspitzen muss das Redundanz-Kraftwerk, meist befeuert mit Gas oder Kohle, abdecken.

Gescheiterte Projekte. Millionen-Verluste. Versenkte Fördergelder.

Geretsried, Trebur, Mauerstetten, Landau, Brühl, Basel, Offenbach (Queich)
Bellheim, St. Gallen, Unterhaching (Stromerzeugung), Hannover, RWTH-Aachen (Super C)

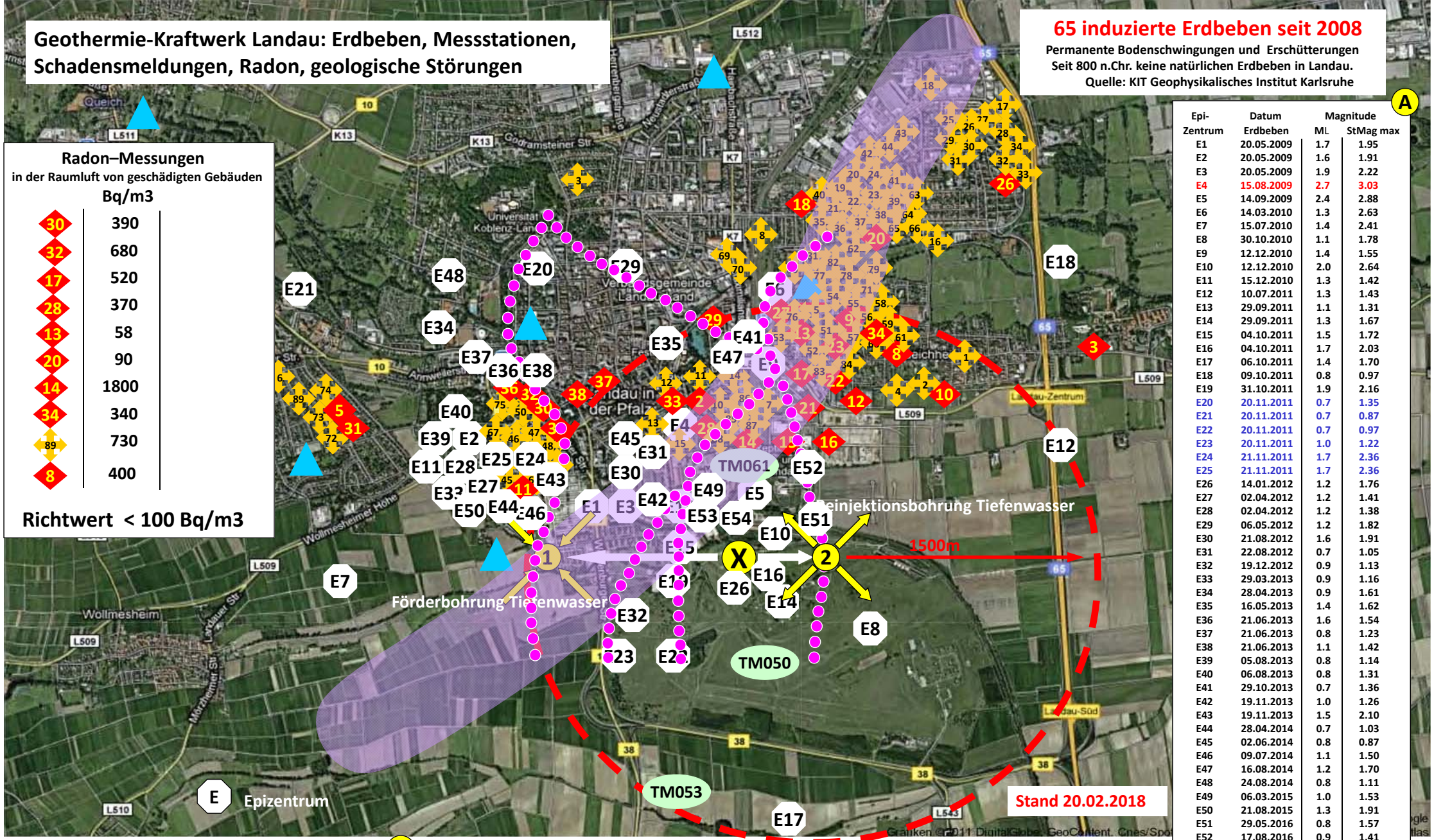
In Insheim wurde nach Angaben des Betreibers Anfang 2018 die Kraftwerks-Leistung reduziert, um induzierte Erdbeben möglichst zu vermeiden.

Anlagen:
(1) Übersicht Landau: Induzierte Erdbeben
(2) Übersicht Insheim: Induzierte Erdbeben
(3) Erfassung der Veränderung der seismischen Gefährdung, Landau und Insheim
(4) Anzahl Detektionen Insheim
(5) Erdbeben Landau: Ein Betriebsbeben
(6) Satellitenbasierte Bodenbewegungsmessung in Landau

Geothermie-Kraftwerk Landau: Erdbeben, Messstationen, Schadensmeldungen, Radon, geologische Störungen

65 induzierte Erdbeben seit 2008

Permanente Bodenschwingungen und Erschütterungen
Seit 800 n.Chr. keine natürlichen Erdbeben in Landau.
Quelle: KIT Geophysikalisches Institut Karlsruhe



A

Epi-Zentrum	Datum Erdbeben	Magnitude ML	Magnitude StMag max
E1	20.05.2009	1.7	1.95
E2	20.05.2009	1.6	1.91
E3	20.05.2009	1.9	2.22
E4	15.08.2009	2.7	3.03
E5	14.09.2009	2.4	2.88
E6	14.03.2010	1.3	2.63
E7	15.07.2010	1.4	2.41
E8	30.10.2010	1.1	1.78
E9	12.12.2010	1.4	1.55
E10	12.12.2010	2.0	2.64
E11	15.12.2010	1.3	1.42
E12	10.07.2011	1.3	1.43
E13	29.09.2011	1.1	1.31
E14	29.09.2011	1.3	1.67
E15	04.10.2011	1.5	1.72
E16	04.10.2011	1.7	2.03
E17	06.10.2011	1.4	1.70
E18	09.10.2011	0.8	0.97
E19	31.10.2011	1.9	2.16
E20	20.11.2011	0.7	1.35
E21	20.11.2011	0.7	0.87
E22	20.11.2011	0.7	0.97
E23	20.11.2011	1.0	1.22
E24	21.11.2011	1.7	2.36
E25	21.11.2011	1.7	2.36
E26	14.01.2012	1.2	1.76
E27	02.04.2012	1.2	1.41
E28	02.04.2012	1.2	1.38
E29	06.05.2012	1.2	1.82
E30	21.08.2012	1.6	1.91
E31	22.08.2012	0.7	1.05
E32	19.12.2012	0.9	1.13
E33	29.03.2013	0.9	1.16
E34	28.04.2013	0.9	1.61
E35	16.05.2013	1.4	1.62
E36	21.06.2013	1.6	1.54
E37	21.06.2013	0.8	1.23
E38	21.06.2013	1.1	1.42
E39	05.08.2013	0.8	1.14
E40	06.08.2013	0.8	1.31
E41	29.10.2013	0.7	1.36
E42	19.11.2013	1.0	1.26
E43	19.11.2013	1.5	2.10
E44	28.04.2014	0.7	1.03
E45	02.06.2014	0.8	0.87
E46	09.07.2014	1.1	1.50
E47	16.08.2014	1.2	1.70
E48	24.08.2014	0.8	1.11
E49	06.03.2015	1.0	1.53
E50	21.08.2015	1.3	1.91
E51	29.05.2016	0.8	1.57
E52	17.08.2016	0.9	1.41
E53	13.10.2016	1.4	1.94
E54	02.11.2017	0.7	0.77

Quelle:LGB-RLP

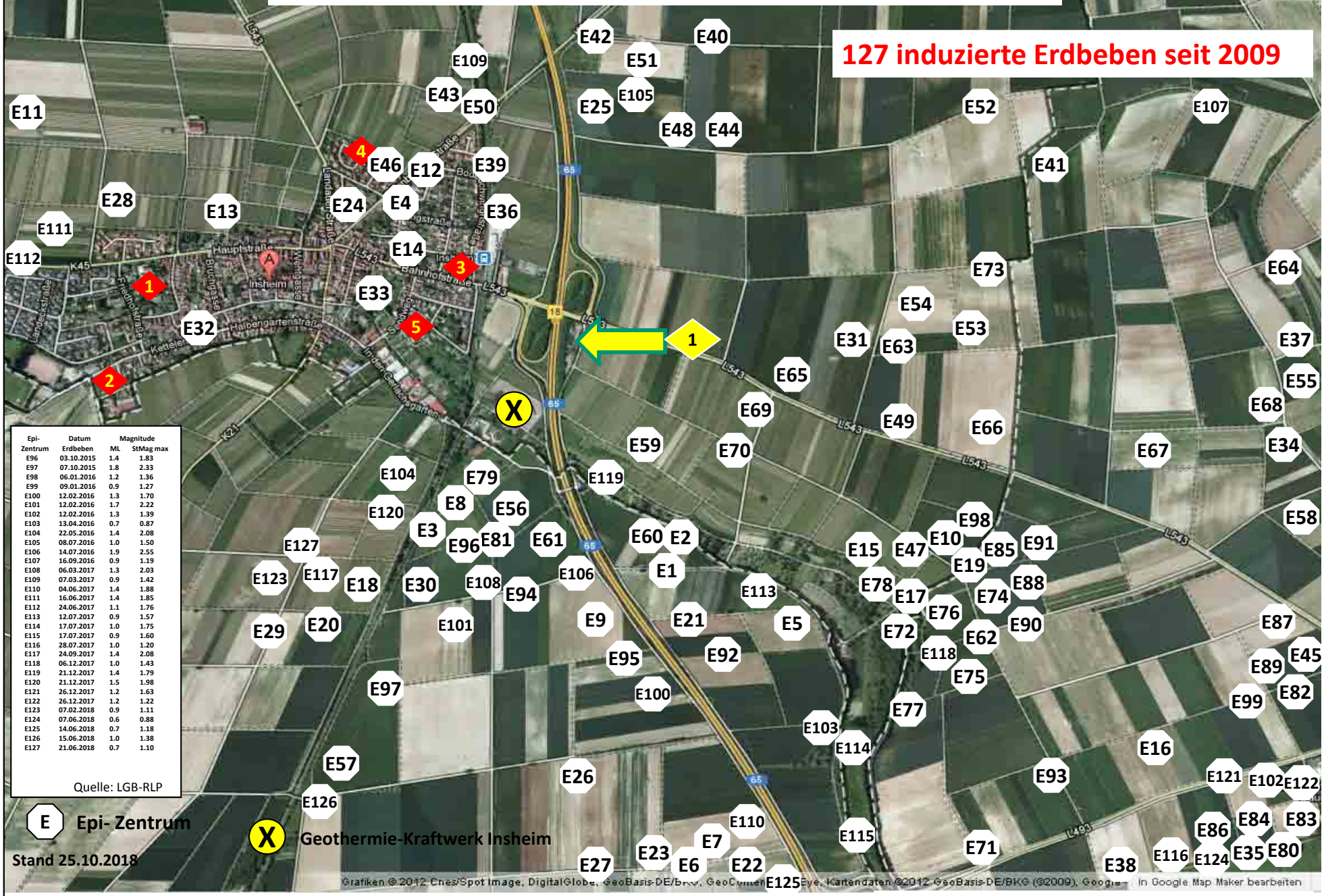
A Die Magnituden geben nicht die Auswirkungen (Schäden) der Beben auf der Erdoberfläche wieder. Auswirkungen werden in Intensitätklassen eingeordnet. Die Magnitude 2,7 vom 15.08.09 ergab Intensität VII gemäß Schadensgutachten

Weitere Informationen: www.geothermie-landau.de

Bürgerinitiative Geothermie Landau- Südpfalz e.V. info@geothermie-landau.de

Geothermie-Kraftwerk Insheim: Erdbeben, Schadensmeldungen

127 induzierte Erdbeben seit 2009



Epi-Zentrum	Datum Erdbeben	Magnitude ML	Magnitude StMag max
E1	08.05.2009	2.0	2.11
E2	08.05.2009	2.1	2.53
E3	08.05.2009	2.0	2.31
E4	08.05.2009	2.0	2.23
E5	18.10.2009	1.5	2.29
E6	07.04.2010	1.6	2.27
E7	07.04.2010	1.7	2.45
E8	09.04.2010	2.4	2.65
E9	09.04.2010	2.2	2.38
E10	15.04.2010	1.6	2.46
E11	28.10.2012	1.0	1.11
E12	31.10.2012	1.1	1.11
E13	31.10.2012	0.9	1.00
E14	01.11.2012	0.9	1.11
E15	01.11.2012	0.9	1.11
E16	08.11.2012	0.9	1.10
E17	08.11.2012	1.3	1.70
E18	08.11.2012	1.4	1.66
E19	08.11.2012	0.8	0.89
E20	10.11.2012	1.4	1.64
E21	12.11.2012	1.8	2.04
E22	12.11.2012	1.4	1.68
E23	12.11.2012	1.5	1.80
E24	19.11.2012	0.8	0.97
E25	19.11.2012	0.5	0.83
E26	23.11.2012	1.1	1.43
E27	23.11.2012	1.3	1.64
E28	01.12.2012	0.8	1.32
E29	04.12.2012	1.1	1.30
E30	09.12.2012	0.9	0.96
E31	14.12.2012	0.9	1.11
E32	16.12.2012	1.4	1.51
E33	18.12.2012	0.8	1.12
E34	13.01.2013	0.7	0.81
E35	16.01.2013	1.1	1.46
E36	26.01.2013	1.8	2.12
E37	05.02.2013	1.0	1.11
E38	14.02.2013	1.2	1.61
E39	17.02.2013	2.0	2.40
E40	23.02.2013	0.8	1.11
E41	27.02.2013	1.0	1.37
E42	07.04.2013	0.8	0.82
E43	04.05.2013	1.4	1.82
E44	29.05.2013	1.1	1.54
E45	05.06.2013	0.8	1.06
E46	08.06.2013	0.8	0.95
E47	09.06.2013	0.7	0.76
E48	13.07.2013	1.4	1.74
E49	06.08.2013	1.1	1.48
E50	02,10.2013	2.1	2.28
E51	02.10.2013	1.0	1.34
E52	05.10.2013	0.8	1.12
E53	10.11.2013	0.8	1.06
E54	10.11.2013	1.1	1.46
E55	12.11.2013	1.0	1.26
E56	17.11.2013	1.2	1.79
E57	18.11.2013	1.5	2.08
E58	19.11.2013	0.8	1.14
E59	19.11.2013	1.1	1.61
E60	20.11.2013	1.3	1.51
E61	21.11.2013	1.9	2.36
E62	23.11.2013	0.9	1.24
E63	27.11.2013	0.8	1.09
E64	03.12.2013	1.1	1.60
E65	03.05.2014	0.8	1.28
E66	03.05.2014	0.7	1.04
E67	04.05.2014	0.7	1.21
E68	16.05.2014	0.8	1.19
E69	08.06.2014	1.4	1.87
E70	09.06.2014	0.8	1.25
E71	26.12.2014	0.9	1.15
E72	17.01.2015	1.2	1.93
E73	23.01.2015	0.9	1.17
E74	07.03.2015	0.9	1.26
E75	07.03.2015	0.9	1.17
E76	07.03.2015	0.9	1.13
E77	07.03.2015	0.9	1.23
E78	28.03.2015	1.1	1.44
E79	28.03.2015	1.1	1.71
E80	02.05.2015	0.8	1.28
E81	20.05.2015	1.5	1.98
E82	15.06.2015	0.9	1.69
E83	29.08.2015	0.8	1.46
E84	02.09.2015	1.0	1.51
E85	02.09.2015	1.0	1.47
E86	05.09.2015	1.1	1.86
E87	05.09.2015	1.1	1.75
E88	07.09.2015	1.1	1.75
E89	11.09.2015	1.2	2.11
E90	11.09.2015	0.9	1.30
E91	12.09.2015	0.9	1.65
E92	16.09.2015	1.6	2.10
E93	17.09.2015	0.9	1.26
E94	26.09.2015	1.2	1.69
E95	29.09.2015	1.3	1.72

Quelle: LGB-RLP

Epi-Zentrum	Datum Erdbeben	Magnitude ML	Magnitude StMag max
E96	03.10.2015	1.4	1.83
E97	07.10.2015	1.8	2.33
E98	06.01.2016	1.2	1.36
E99	09.01.2016	0.9	1.27
E100	12.02.2016	1.3	1.70
E101	12.02.2016	1.7	2.22
E102	12.02.2016	1.3	1.39
E103	13.04.2016	0.7	0.87
E104	22.05.2016	1.4	2.08
E105	08.07.2016	1.0	1.50
E106	14.07.2016	1.9	2.55
E107	16.09.2016	0.9	1.19
E108	06.03.2017	1.3	2.03
E109	07.03.2017	0.9	1.42
E110	04.06.2017	1.4	1.88
E111	16.06.2017	1.4	1.85
E112	24.06.2017	1.1	1.76
E113	12.07.2017	0.9	1.57
E114	17.07.2017	1.0	1.75
E115	17.07.2017	0.9	1.60
E116	28.07.2017	1.0	1.20
E117	24.09.2017	1.4	2.08
E118	06.12.2017	1.0	1.43
E119	21.12.2017	1.4	1.79
E120	21.12.2017	1.5	1.98
E121	26.12.2017	1.2	1.63
E122	26.12.2017	1.2	1.22
E123	07.02.2018	0.9	1.11
E124	07.06.2018	0.6	0.88
E125	14.06.2018	0.7	1.18
E126	15.06.2018	1.0	1.38
E127	21.06.2018	0.7	1.10

Quelle: LGB-RLP

E Epi- Zentrum

X Geothermie-Kraftwerk Insheim

Stand 25.10.2018

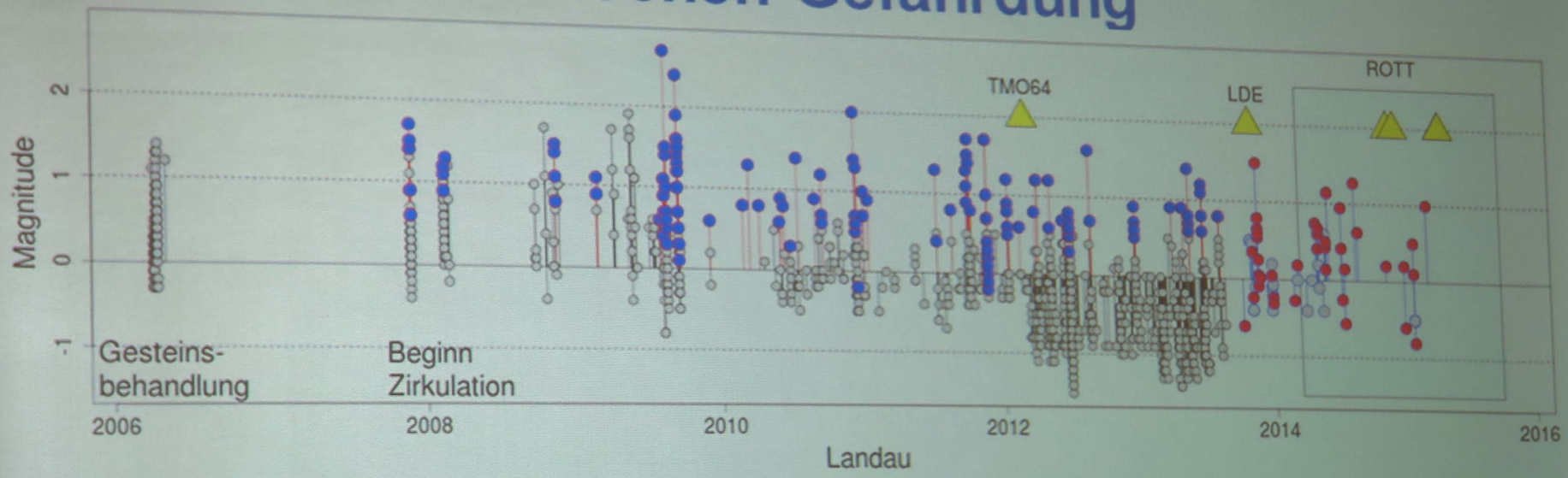
1 Ehemaliger, illegaler Lagerplatz von gebrauchten GKW-Anlagen-Komponenten: Container, Rohre, Filter; Sondermüllplatz für kontaminiertes Material.

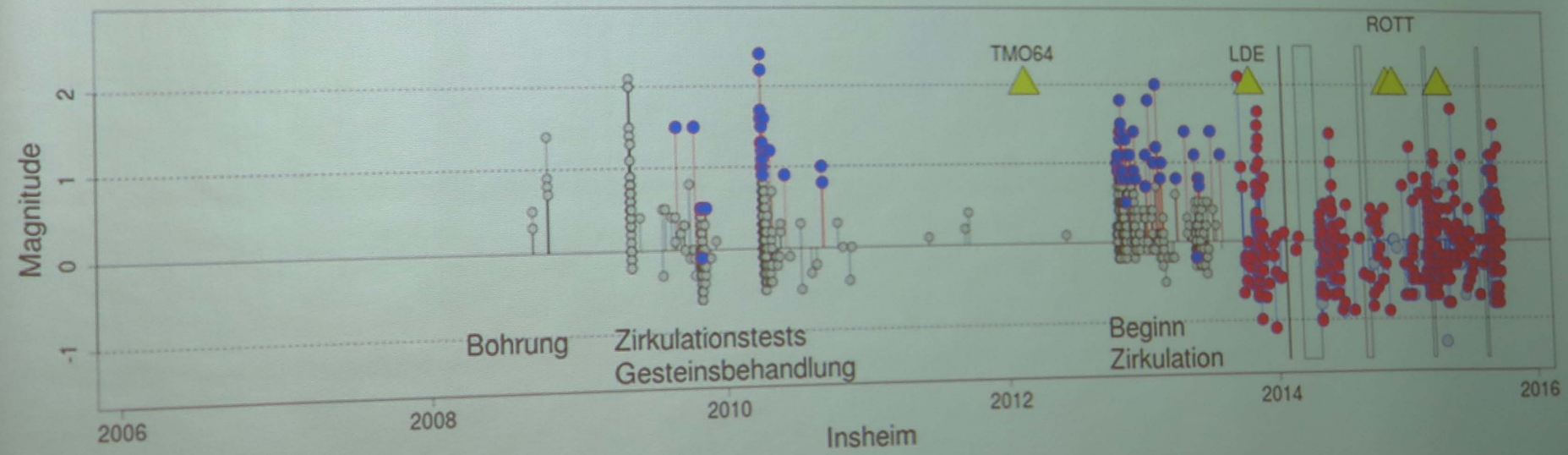
Schadensmeldungen nach Zirkulationstests mit Erdbeben im April 2010.

In Rohrbach sind die Auswirkungen der Beben größer als in Insheim, dies belegen die Schadensmeldungen. Diese Meldungen liegen uns nur teilweise vor und sind hier nicht dargestellt.

Bürgerinitiative Geothermie Landau-Südpfalz e.V.
www.geothermie-landau.de / info@geothermie-landau.de
Bürgerinitiative Energieforum Rohrbach & Insheim e.V.
www.bi-rohrbach-insheim. de
info@bi-rohrbach-insheim.de

Erfassung von Veränderungen der seismischen Gefährdung





MAGS2

Quelle: BGR/KIT

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

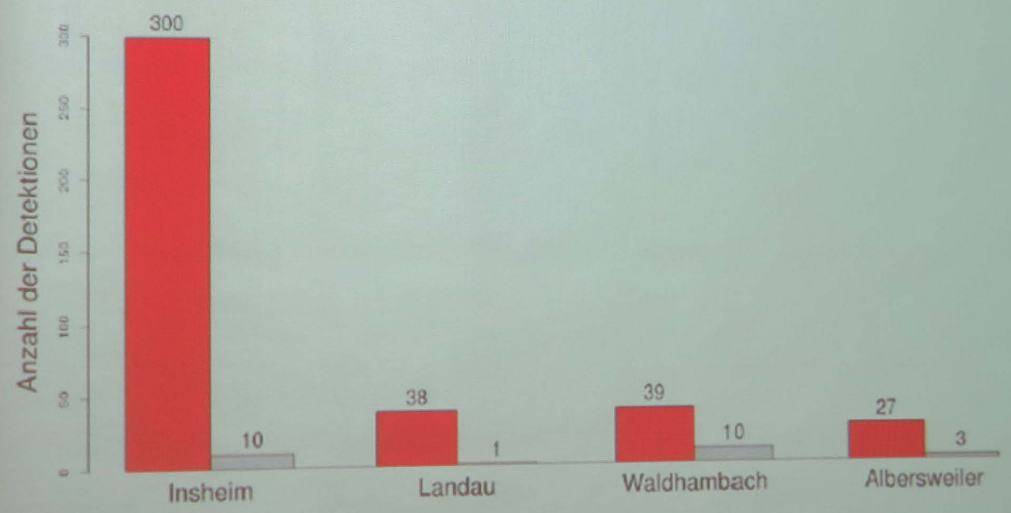
GEOZENTRUM HANNOVER

AP2 - Seismische Messungen und Routineauswertung
Erdbeben-Detektionen ab Oktober 2013

Insgesamt 374 Detektionen

94% richtig detektiert

Fehldetektionen sind tektonische Lokalbeben
im Oberrheingraben & angrenzender Gebiete
(z. B. Mühltal)



MAGS2

Landesamt
für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

BGR
Bundesanstalt f
Geowissenscha
und Rohstoffe
GEOZENTRUM HANNOV

Erdbeben bei Landau: ein Betriebsbeben!

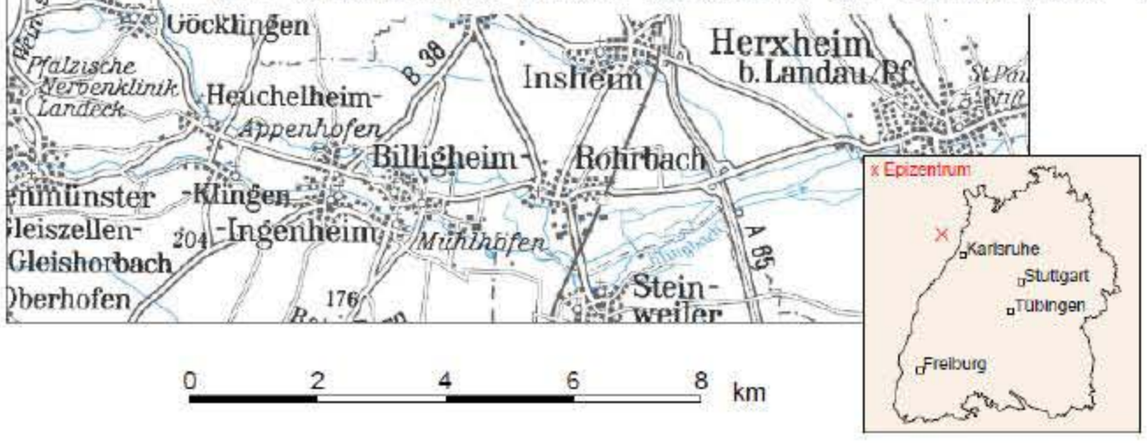
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

LGRB — Baden-Württemberg, REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG

LANDESERDBEBENDIENST

Erdbebenmeldung

ERDBEBEN BEI : Landau in der Pfalz
DATUM/UHRZEIT : am 15.08.2009 um 14:10 Uhr Ortszeit (MESZ)
STÄRKE : 2.7 (Magnitude auf der Richter-Skala)
EPIZENTRUM : 49 Grad 11 Minuten Nord und 8 Grad 7 Minuten Ost
HERDTIEFE : ca 2.5 km unter der Erdoberfläche
WAHRNEHMUNGEN : Im Umkreis von einigen km um das Epizentrum gespürt.
Diese Erdbebenmeldung ist überprüft.
Die Nachricht wurde erstellt am 21.08.2009 um 12:21 Uhr (MESZ).



Betriebsbedingte Erschütterungen sind eine direkte, unvermeidbare und einzukalkulierende Technikfolge!

Satellitenbasierte Bodenbewegungsmessung in Landau in der Pfalz, Deutschland

DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft

z.Hd. Stadtverwaltung Landau

Bericht: Bodenbewegungsanalyse basierend auf TerraSAR-X Daten (2012-2014)

Version I 1.1
15. Mai 2014

Autor:

Dr. Jan Anderssohn

Airbus Defence and Space - Infoterra GmbH

Dokument-Freigabe

Autor:	Dr. Jan Anderssohn, Airbus Defence and Space	
Review:	Dr. Oliver Lang, Airbus Defence and Space	
Quality Management:	Ronny Wenzel, Airbus Defence and Space	
Kunde:	DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft z.Hd. Stadtverwaltung Landau, Deutschland	

Dokument-Veränderungsnachweis

Version	*Datum*	*Seiten*	*Beschreibung*	*Ausgabe*
-	13/05/2014	alle	Dokumenterstellung und Ausgabe	I1.0
I1.0	15/05/2014	5,6,17, 29-31	vom Kunden gewünschte Anpassungen	I1.1

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG 4

2 EINLEITUNG 6

3 TECHNISCHE DETAILS 8
3.1 Datenakquisition und Selektion 8
3.2 Prozessierungsmethode 9
3.3 Prozessablauf 10
3.4 Prozessierungsbedingungen 12
3.5 Digitales Geländemodell 18

4 ERGEBNISSE UND ANALYSE 19
4.1 Allgemeine Diskussion der Ergebnisse 19
4.2 Detailergebnis Geothermiekraftwerk 26

5 GENERELLE ANMERKUNGEN 29
5.1 Präzision und Genauigkeit 29
5.2 Format der digitalen Ergebnisdatei 30

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN 32

ABKÜRZUNGEN 33

REFERENZEN 33

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 34

TABELLENVERZEICHNIS 35

ANHANG 36

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

1 ZUSAMMENFASSUNG

Airbus Defence and Space wurde damit beauftragt, Bodenbewegungen zwischen 2012 und 2014 über Landau in der Pfalz, Deutschland mittels TerraSAR-X Satellitendaten zu bestimmen. Die angewandte Technik der interferometrischen Zeitserienanalyse verwendet Daten vom TerraSAR-X Satelliten, um langzeitige Bodenbewegungen zu bestimmen. Der zur Verfügung stehende TerraSAR-X Datenstapel stellt eine sehr gute Datenbasis dar und ermöglicht eine hohe Ergebnisqualität. Der Zeitraum der Auswertung wurde auf Bitten des Kunden über den vertraglich vereinbarten Endzeitpunkt verlängert und datiert nun bis zum 07.03.2014. Die Bodenbewegungsanalyse wurde über einem größeren Gebiet, als das Stadtgebiet Landau durchgeführt (Abbildung 1). Fehlereinflüsse, zum Beispiel ungenaue Orbitdaten, ungenaue Höheninformationen und Atmosphäreneinflüsse können dadurch statistisch besser bestimmt und entsprechend im Endergebnis minimiert werden.

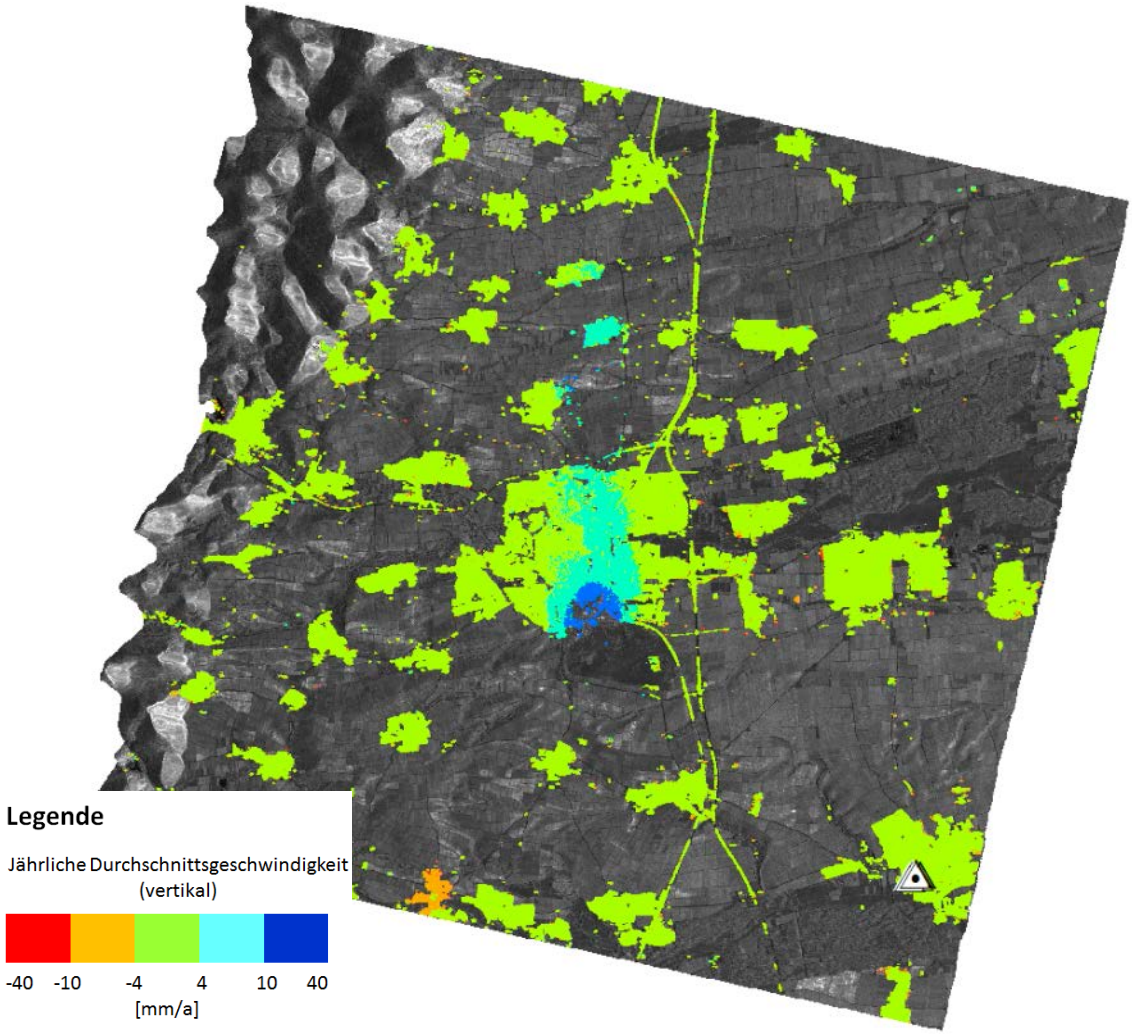


Abbildung 1: Klassifizierungskarte der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit (vertikal) im Untersuchungsgebiet (2012-2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Die notwendigen Höheninformationen sind aus einer vorläufigen Version des WorldDEM™ Höhenmodells extrahiert worden. Dieses sogenannte iDEM (intermediate Digital Elevation Model) steht Airbus Defence and Space exklusiv zur Verfügung.

Die Ergebnisse Bodenbewegungsmessung werden standardmäßig in einer Geschwindigkeitskarte dargestellt und zeigen für jedes Messpixel im Studiengebiet die abgeleitete gleichbleibende Bodenbewegung in der Zeit. Für das betrachtete Studiengebiet führt eine klassifizierte Geschwindigkeitskarte zu einem besseren Verständnis (Abbildung 1), denn in Landau und Umgebung kann zwischen einem starken Hebungsgebiet und schwächeren Hebungsgebiet unterschieden werden. Letzteres ist in einer nicht klassifizierten Karte, bedingt durch den Wertebereich, nur schwer erkennbar (siehe Abbildung 10).

Das Untersuchungsgebiet an sich ist in seiner Grundgesamtheit stabil. Im Stadtgebiet von Landau und gen Norden ausdehnend hebt sich der Boden. Das Gesamthebungsgebiet erstreckt sich im Norden von Roschbach bis zum ehemaligen US Militärstützpunkt im Süden von Landau und hat Ost-West Ausdehnung von ungefähr 1,6 km. Die Ortschaften Roschbach, Walsheim, Nußdorf sowie die Stadt Landau sind von der großflächigen Hebung betroffen. Es kann zwischen schwacher Hebung in den nördlichen Gebieten und stärker Hebung im Stadtgebiet von Landau unterschieden werden. Neben der Unterscheidung schwacher und starker Hebung kann zusätzlich auch zwischen gleichbleibender und einsetzender beschleunigter Hebung unterschieden werden. Mögliche Ursachen für die zwei unterschiedlichen Hebungsverhalten in dem Gesamthebungsgebiete können im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden. Lediglich ist eine räumliche Korrelation zwischen den Ölförderpumpen im nördlichen Gebiet sowie dem Geothermiekraftwerk und dem Bereich der maximalen Hebung im Stadtgebiet Landau ersichtlich.

Die dem Kunden als digitale Datei vorliegende Animation der Bodenbewegung in der Zeit, zeigt deutlich das Einsetzen der starken Hebung im Stadtgebiet von Landau ab ca. August 2013. Danach kam es zu erheblichen Hebungen von bis zu sieben Zentimetern bis März 2014. Die Hebung im nördlichen Bereich verläuft dagegen gleichbleibend in der Zeit, mit bis zu neun Millimeter pro Jahr. Der Beginn dieser Hebung liegt vor dem Untersuchungszeitraum dieser Studie. Aus der dem Bericht beigefügten Animation wird ersichtlich, wie sich beide Hebungsgebiete mit der Zeit zu einem Gesamthebungsgebiet vereinen.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

2 EINLEITUNG

Airbus Defence and Space wurde damit beauftragt, historische Bodenbewegungen über Landau in der Pfalz, Deutschland zu ermitteln. Höhenvermessungen im Stadtgebiet von Landau ab Oktober 2013 ergaben Hinweise auf deutliche Geländeveränderungen. Auch die öffentlich verfügbaren Fotos über Risse an der Erdoberfläche belegen die massiven Bodenbewegungen. Ziel dieser Studie ist es, zu verstehen, ab wann die Hebung einsetzte und wie sie sich zeitlich-räumlich entwickelt hat. Abbildung 2 zeigt das Stadtgebiet von Landau als Untersuchungsgebiet sowie die Abdeckung der TerraSAR-X Daten.

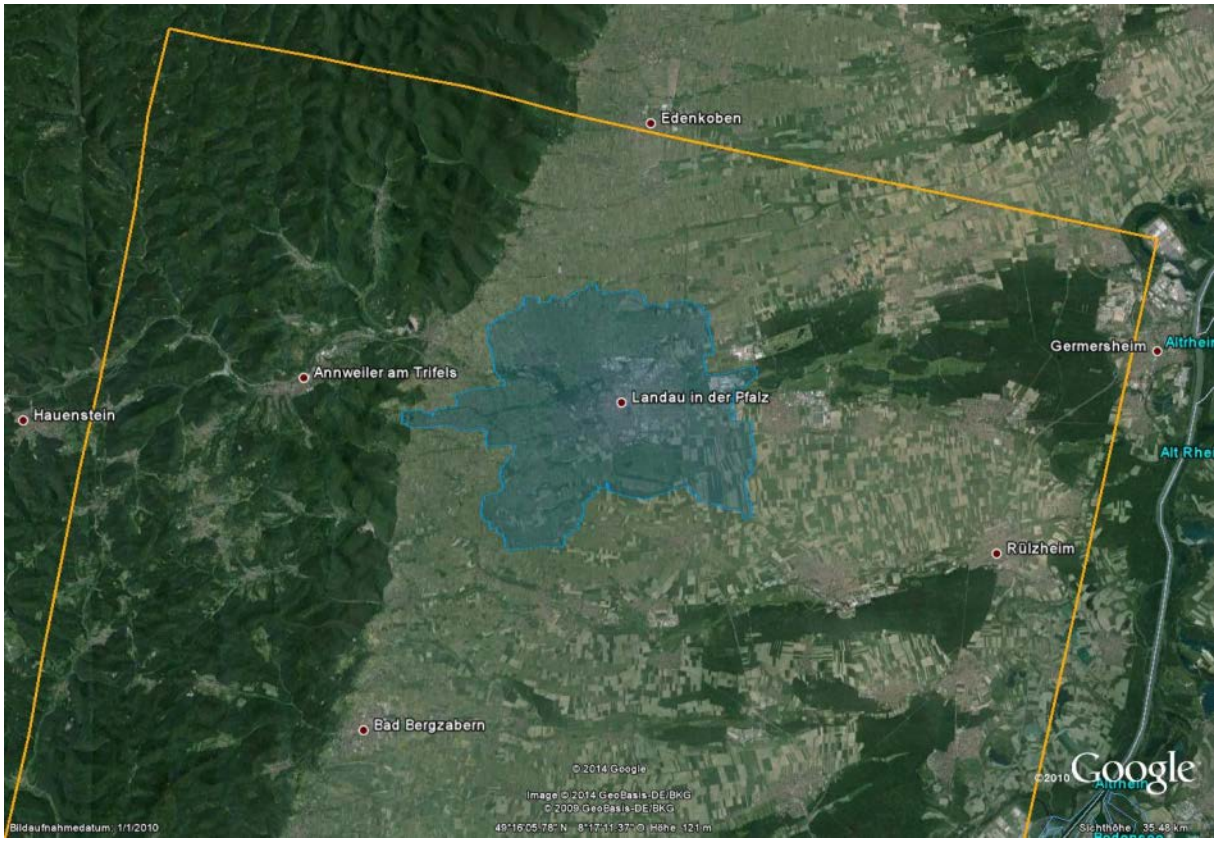


Abbildung 2: Definition des Studiengebietes (blaues Polygon) und Bodenabdeckung der gewählten TerraSAR-X Daten, dargestellt in Google Earth.

Das dargestellte Studiengebiet wird vollständig von den TerraSAR-X Daten abgedeckt. Das Studiengebiet umfasst ein Gebiet von ca. 80 km². Die Beobachtung solch eines großen Gebietes mit ausschließlich terrestrischen Verfahren ist eine große logistische Herausforderung und kostenintensiv. Eine historische Analyse kann mit terrestrischen Daten nicht flächendeckend gewährleistet werden. Mittels der TerraSAR-X Satellitendaten aus dem Archiv von Airbus Defence and Space und der Technik der Radarinterferometrie ist dies möglich. Besonders regionale, großflächige Bodenbewegungen können mit einer Genauigkeit etablierter terrestrischer Messmethoden bestimmt werden.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Dieser Bericht präsentiert die Ergebnisse der radarinterferometrischen Bodenbewegungsmessung basierend auf 57 TerraSAR-X Satellitendaten für das oben beschriebene Studiengebiet. Der Zeitraum der Satellitenaufnahmen reicht von April 2012 bis März 2014.

Das folgende Kapitel 3 diskutiert technische Details bezüglich der Produktion der Bodenbewegungskarte: i) die vorliegenden TerraSAR-X Satellitendaten und deren Selektion, ii) Beschreibung der angewandten Zeitserienanalysemethode und schließlich iii) der interferometrische Prozessablauf.

Kapitel 4 präsentiert die ermittelte Bodenbewegung für das Studiengebiet für den Zeitraum 2012 und 2014. Es adressiert die Besonderheit der einsetzenden Hebung im Stadtgebiet sowie die Ausdehnung gen Nord.

In Kapitel 5 werden generelle Anmerkungen zum Prozess und den Ergebnissen gegeben. Eine generelle Aussage zu Präzision und Genauigkeit der Ergebnisse ist formuliert und eine Erklärung zur Qualitätsanalyse ist gegeben. Am Ende ist das Format der digitalen Lieferung beschrieben.

Kapitel 6 fasst die Schlussfolgerungen dieses Berichtes zusammen.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

3 TECHNISCHE DETAILS

3.1 DATENAKQUISITION UND SELEKTION

Das Studiengebiet wird komplett durch eine StripMap Mode (SM) Aufnahme des TerraSAR-X Satelliten in absteigender (descending) Orbitgeometrie erfasst (Abbildung 2). In Summe wurden 57 Szenen zwischen April 2012 und März 2014 mit einer Horizontal gesendet – Horizontal empfangen (HH) Polarisation aufgenommen und im TerraSAR-X Archiv abgelegt. Alle Daten wurden vor ihrer finalen Verwendung einer Qualitätsanalyse unterzogen. Von dieser Grundgesamtheit an Szenen konnten letztendlich alle Szenen der Prozessierung zugeführt werden.

In Tabelle 1, Tabelle 2 und Abbildung 3 sind Informationen zu den verwendeten TerraSAR-X Szenen zwischen 2012 und 2014 gegeben.

Zur Korrektur des topographischen Einflusses auf die Phasenmessung wurde eine vorläufige Version des WorldDEM™ Höhenmodells verwendet. Dieses sogenannte iDEM (intermediate Digital Elevation Model) steht Airbus Defence and Space exklusiv zur Verfügung.

Tabelle 1: Verwendete TerraSAR-X Szenen.

Nr.	Datum	Nr.	Datum	Nr.	Datum
1	02.04.2012	21	11.12.2012	41	23.09.2013
2	05.05.2012	22	22.12.2012	42	04.10.2013
3	16.05.2012	23	24.01.2013	43	15.10.2013
4	27.05.2012	24	04.02.2013	44	26.10.2013
5	07.06.2012	25	15.02.2013	45	06.11.2013
6	18.06.2012	26	26.02.2013	46	17.11.2013
7	29.06.2012	27	09.03.2013	47	28.11.2013
8	10.07.2012	28	20.03.2013	48	09.12.2013
9	21.07.2012	29	31.03.2013	49	20.12.2013
10	12.08.2012	30	11.04.2013	50	31.12.2013
11	23.08.2012	31	22.04.2013	51	11.01.2014
12	03.09.2012	32	03.05.2013	52	22.01.2014
13	14.09.2012	33	14.05.2013	53	02.02.2014
14	25.09.2012	34	25.05.2013	54	13.02.2014
15	06.10.2012	35	05.06.2013	55	24.02.2014
16	17.10.2012	36	16.06.2013	56	07.03.2014
17	28.10.2012	37	27.06.2013	57	18.03.2014
18	08.11.2012	38	08.07.2013		
19	19.11.2012	39	19.07.2013		
20	30.11.2012	40	30.07.2013		

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Tabelle 2: TerraSAR-X Aufnahmeparameter.

Orbit	Blickwinkel	Polarisation	Modus
Absteigend	~21°	HH	SM

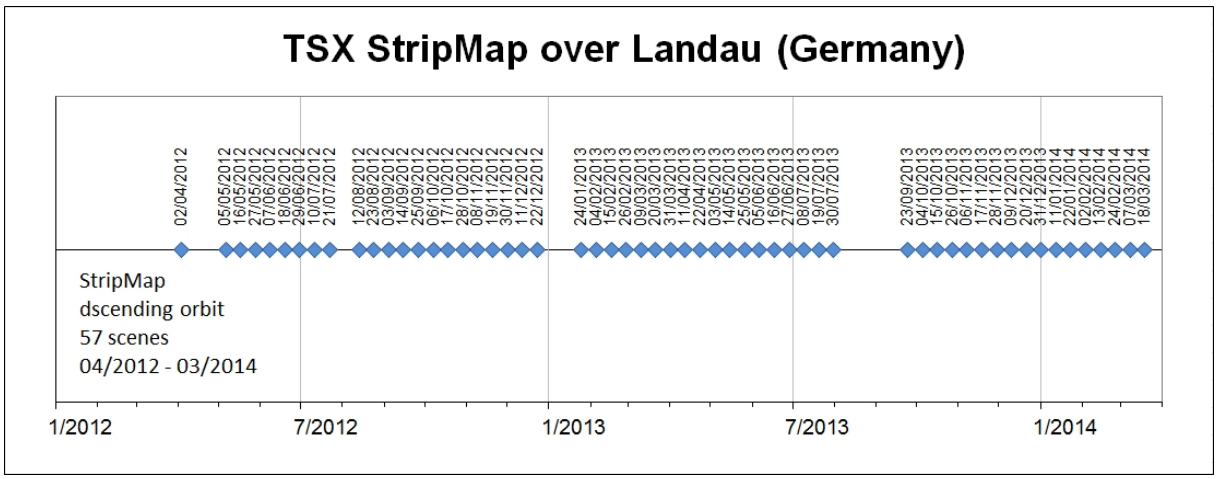


Abbildung 3: Zeitserie der verwendeten TerraSAR-X Szenen zwischen 2012 und 2014.

3.2 PROZESSIERUNGSMETHODE

Die interferometrische Zeitserienanalysemethode nutzt die Phasenmessungen von einer Anzahl von Synthetic Aperture Radar (SAR) Satelliten Daten, um Bodenbewegungen daraus abzuleiten. Ein Netzwerk von Messpixeln über große Gebiete wird somit typischerweise bestimmt.

Die Small Baseline (SBAS) Methode wurde für die Prozessierung der Daten verwendet. Die SARscape Software (Version No. 5.0) von sarmap S.A. wurde für die Prozessierung angewandt. Der SBAS Ansatz [Berardino et al. 2002] erweitert die in [Lundgren et al. 2001] und [Usai S. 2001] präsentierte Technik für den Fall einer Vielzahl von small-baseline (SB) Akquisitionen mittels einer einfachen und effektiven Kombination aller verfügbaren SB Interferogramme. Der Term “small baselines” kann als kleine räumliche Distanz der beiden Satellitenpositionen und als kurzer zeitlicher Abstand zweier Szenen verstanden werden. Die präsentierte Technik erfüllt zwei Hauptanforderungen: Erhöhung der zeitlichen Wiederholrate, durch Nutzung aller Szenen für die SB Interferogramme und das Bewahren der Fähigkeit des Systems zu Erstellung räumlich dichter Bodenbewegungskarten. Letzteres ist eine Kernpunkt der Klassischen Radarinterferometrie (DInSAR) und wird erreicht durch das Einschränken der geometrischen Dekorrelation [Berardino et al. 2002].

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Vergleichbar zur Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technik (z.B. [Feretti et al. 2001]), wird eine Atmosphärenkorrektur durchgeführt und verbesserte Geländehöhen werden bestimmt. SBAS Ergebnisse können auch nicht-lineare Bewegungszeitserien wiedergeben und sie sind geeignet für Gebiete in denen die Kohärenz kurz- bis mittelfristig höher ist als langfristig.

3.3 PROZESSABLAUF

Der Prozessablauf von Airbus Defence and Space *Surface Movement Monitoring Service* besteht aus verschiedenen Prozessierungssektionen und einzelnen Schritten. Der interferometrische Prozessierungskern umfasst verschiedene Zeitserienanalysemethoden (PSI, SBAS …), um für verschieden charakterisierte Studiengebiete optimale Ergebnisse für Bodenbewegungen zu erhalten. In diesem Fall wurde die SBAS Methode verwendet. Das Ablaufdiagram in Abbildung 4 gibt einen Überblick über die hauptsächlichen Sektionen und Schritte des Prozessablaufes.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

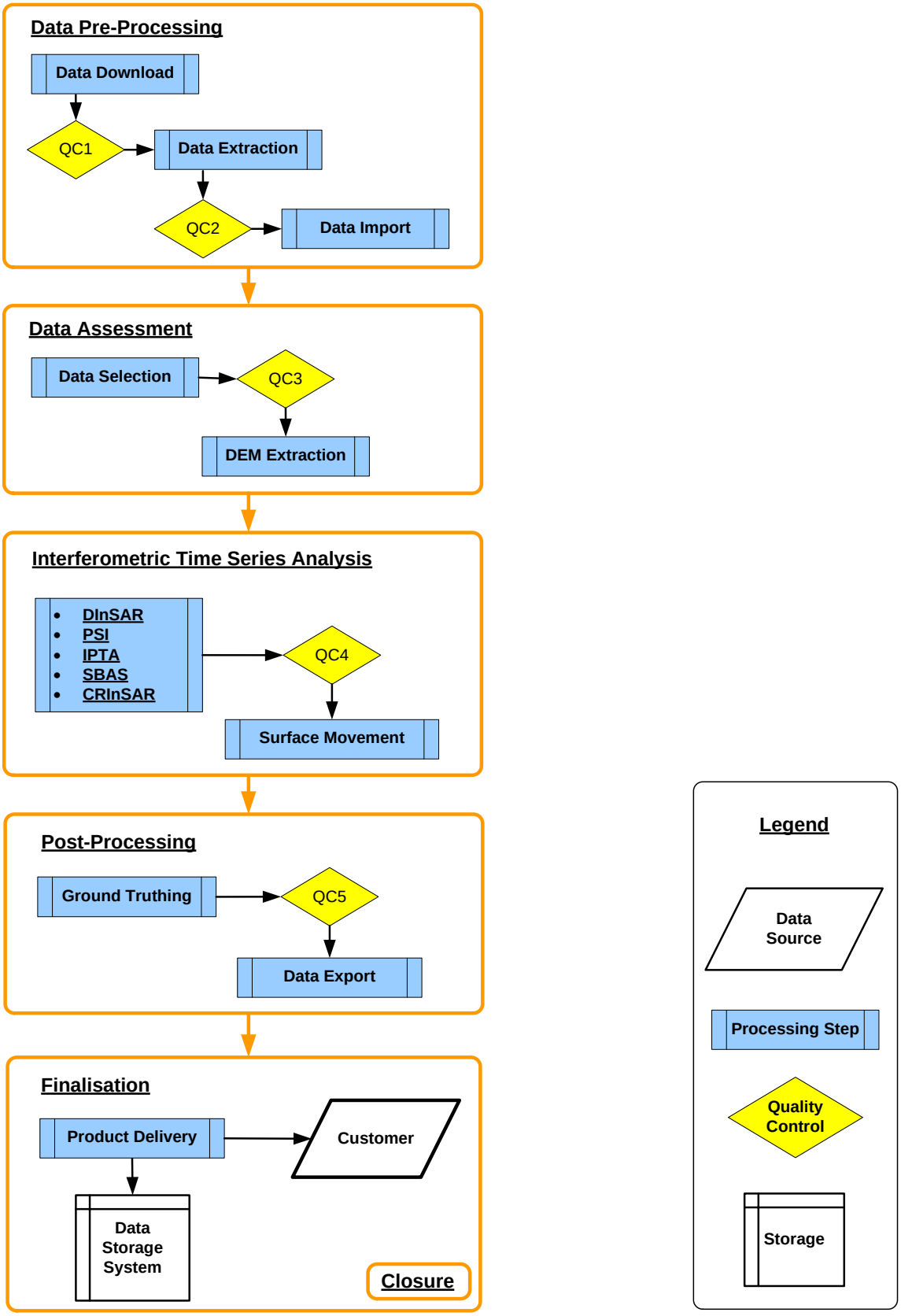


Abbildung 4: Generischer Surface Movement Monitoring Prozessablauf mit Stoppunkten der Qualitätskontrolle.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Primäre Inputdaten werden vom Customer Service bereitgestellt und via ftp-Server heruntergeladen. Nach der Extrahierung der Daten erfolgt das Importieren in das Software-spezifische Datenformat.

Anschließend werden die Daten einer generellen Analyse unterzogen. Alle verwendbaren Szenen, welche frei von Fehlern sind, werden nachfolgend für die weitere Prozessierung verwendet. Ein externes Höhenmodell (DEM) wird in den Prozessablauf einbezogen, um den topographisch bedingten Phasenbeitrag zu minimieren.

Nach dem Pre-Processing können unterschiedliche interferometrische Methoden/Ansätze angewendet werden, um Bodenbewegungen zu bestimmen. In Abhängigkeit der gegebenen Bedingungen des Studiengebietes und der spezifischen Interessen, wird die entsprechende Methode ausgewählt.

In Folge der interferometrischen Prozessierung wird ein Post-Processing durchgeführt, um eine Plausibilitätskontrolle anzuwenden und um verfügbare *in situ* Informationen zu integrieren. Als ein letzter Schritt im Post-Processing werden die Ergebnisse der Bodenbewegungsanalyse in ein kundenspezifisches Format exportiert.

Während der Finalisierung der Bodenbewegungsanalyse werden die Ergebnisse ausgeliefert. Anschließend werden die projektrelevanten Daten für eine Sicherung vorbereitet und final abgespeichert.

Der Prozessablauf der Bodenbewegungsanalyse wird von einer Qualitätskontrolle begleitet, um eine hohe Qualität des Produktes zu gewährleisten.

3.4 PROZESSIERUNGSBEDINGUNGEN

Die Prozessierungsbedingungen für eine interferometrische Zeitserienanalyse, basierend auf den vorliegenden TerraSAR-X Szenen und der interferometrischen Charakteristik des AOIs (Kohärenz), können als gut bis sehr gut bezeichnet werden.

Zwei von den insgesamt 57 TerraSAR-X Szenen mussten von der Prozessierung ausgeschlossen werden. Hauptgrund ist das Überschreiten der maximalen Basislinie (räumliche Trennung der Satellitenpositionen während der Aufnahmen) für diese beiden Szenen.

Für die vegetativen Gebiete im Studiengebiet können keine Messpixel erwartet werden. Dies kann, basierend auf der Erfahrung von einer Vielzahl anderer Projekte, so postuliert werden. Es handelt sich hierbei um eine interferometrisch inhärente Einschränkung. Da das

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Studiengebiet aber viele versiegelte Gebiete aufweist, konnten ausreichend Messpixel für eine zuverlässige Analyse bestimmt werden (siehe Abbildung 1).

In Abbildung 5 ist das gemittelte Intensitätsbild (2012 - 2014) der Radarreflektion dargestellt. Je stärker ein Bodenelement das Radarsignal reflektiert, umso heller wird es abgebildet. Deutlich ist der Unterschied zwischen vegetativen Gebieten (dunkel) und urbanen Gebieten (hell) zu erkennen. Da die Untersuchung sich hauptsächlich auf das städtische Gebiet in Landau bezieht, spielen die schwachen Reflektionen in den ruralen Gebieten eine untergeordnete Rolle.

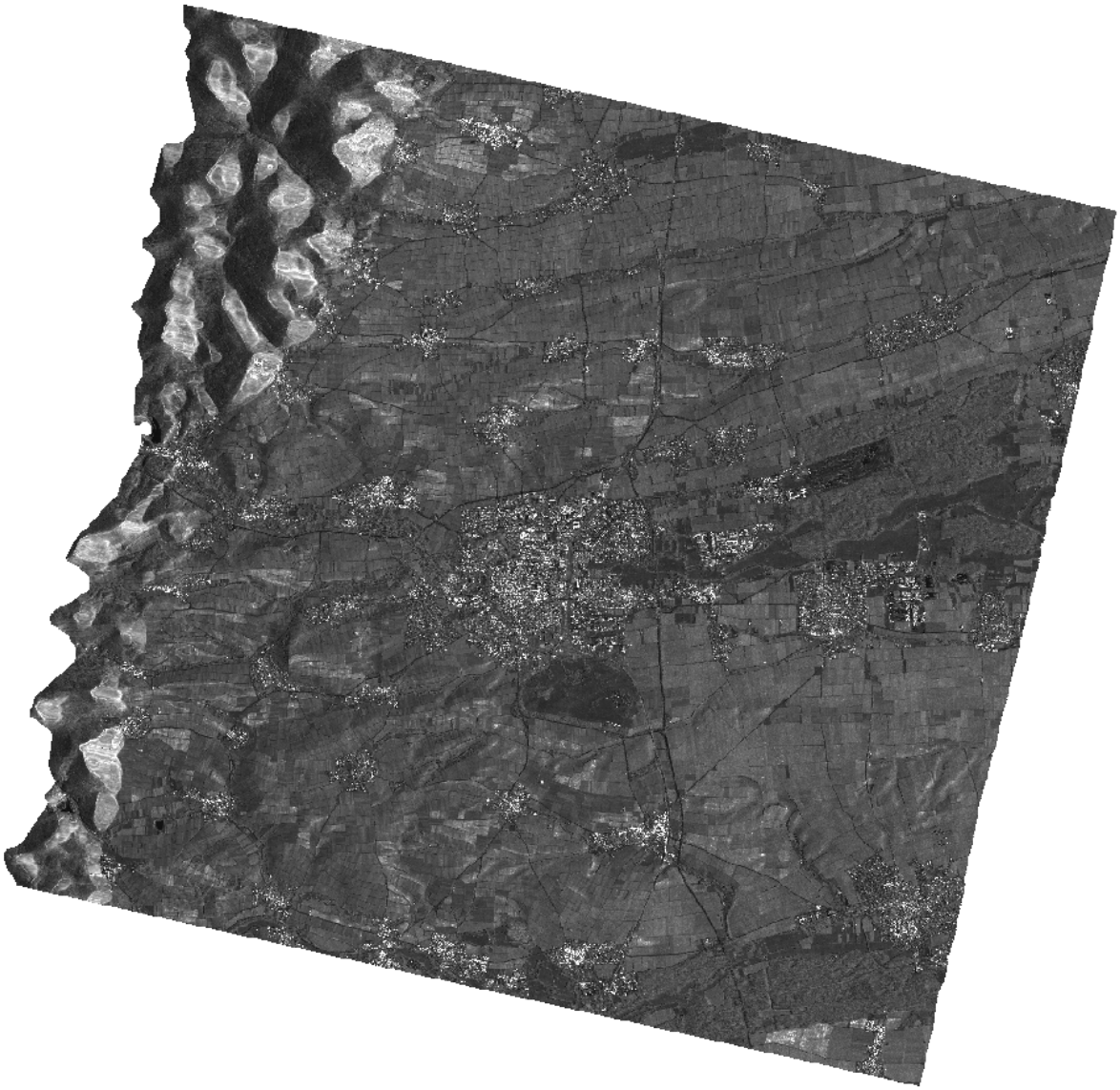


Abbildung 5: Gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild (2012 - 2014) des Studiengebietes in dem die Reflektion des Radarsignals dargestellt wird. Häuser und Gebäudekomplexe reflektieren besonders stark (weiß).

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Ein Schlüsselparameter der interferometrischen Prozessierung ist die interferometrische Kohärenz, welche die Veränderung der physikalischen Reflektionseigenschaft der Oberfläche beschreibt. Zeitliche und räumliche Dekorrelationseffekte (Veränderungen der Reflektionseigenschaft) reduzieren die Kohärenz und konsequenterweise die Qualität des Endergebnisses.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen zwei Kohärenzkarten für ein 11-Tage Interferogramm (2012/08/12 – 2012/08/23) bzw. für ein 121-Tage Interferogramm (2013/11/06 – 2013/07/08). Die Verringerung der Kohärenz, einhergehend mit der Zunahme der Zeitspanne, kann daran deutlich erkannt werden (zeitliche Dekorrelation). Dunkle Pixel stellen Gebiete mit sehr geringer Kohärenz dar, während helle Pixel Gebiete mit guter Kohärenz anzeigen. Gute Kohärenz existiert in Gebieten, die frei von Vegetation sind z.B.: Häuser, Straßen, Plätze, blanke Felsen usw. Nur für solche Gebiete kann über einen langen Zeitraum ein gutes Ergebnis erzielt werden, welches in dieser Studie den Siedlungsgebieten gleichkommt (vergleiche Abbildung 1).

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Abbildung 6: Kohärenzkarte (nicht geokodiert) für ein 11-Tage Interferorgam, welches die kurzfristige zeitliche Dekorrelation repräsentiert.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

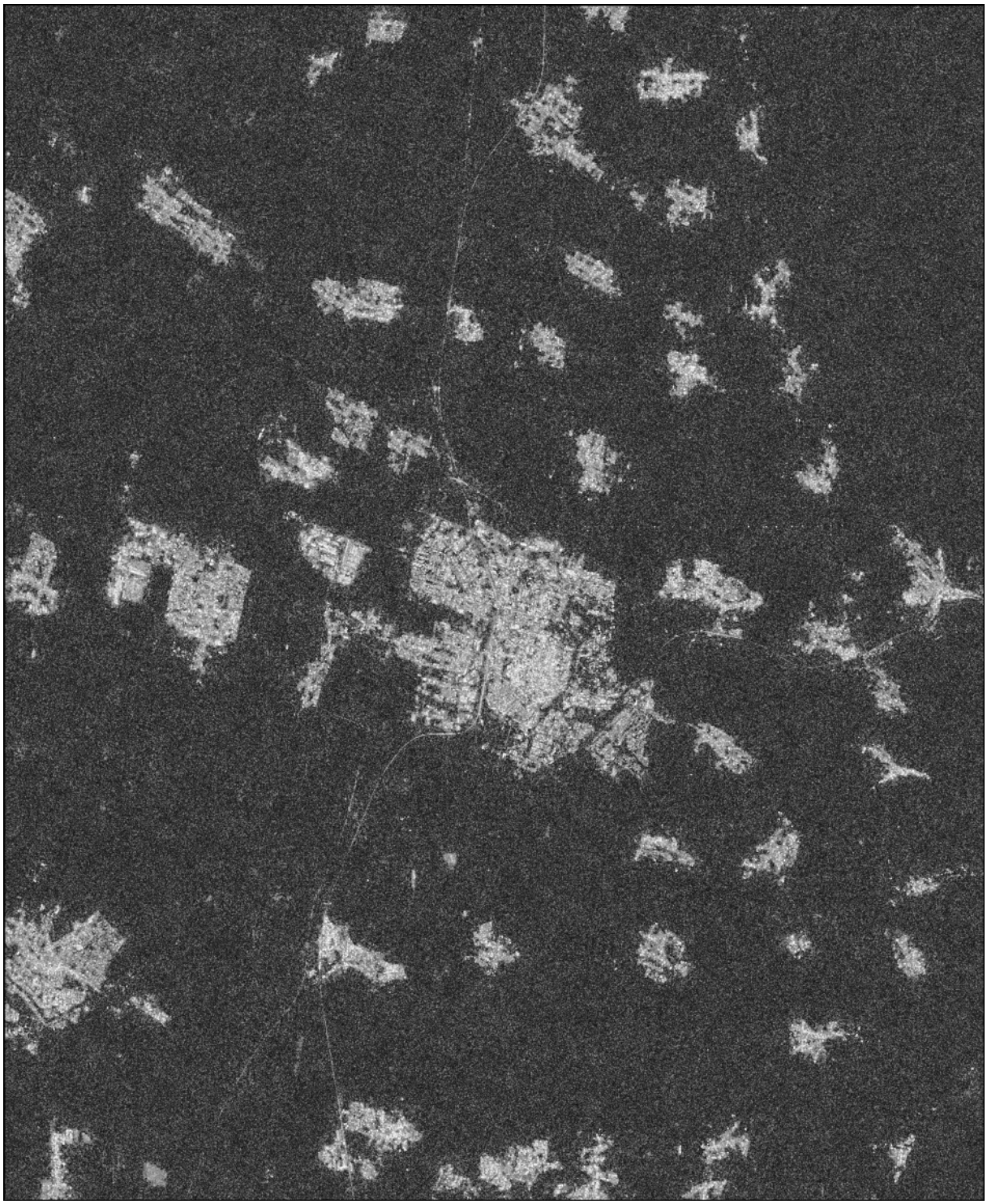


Abbildung 7: Kohärenzkarte (nicht geokodiert) für ein 121-Tage Interferorgam, welches die langfristige zeitliche Dekorrelation repräsentiert.

Tabelle 3 fasst die Parameter der interferometrischen Prozessierung mittels SBAS-Methode zusammen. Diese werden durch die verwendeten Daten bestimmt.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Tabelle 3: Prozessierungsparameter für die verwendeten Daten in Tabelle 1.

Anzahl der Inputdaten	Anzahl der Interferogramme	Maximale räumlich Basislinie [m]	Minimale räumlich Basislinie [m]	Maximale zeitliche Trennung [d]	Minimale zeitliche Trennung [d]
57	272	120	2	121	11

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen eine grafische Darstellung der räumlichen bzw. zeitlichen Trennungen der Satellitenaufnahmen. Die rot dargestellten Aufnahmen konnten nicht im finalen Prozess verwendet werden, bedingt durch zu große räumliche Trennung.

Generell kann gesagt werden, dass die Prozessierungsbedingungen gut bis sehr gut sind und aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden konnten.

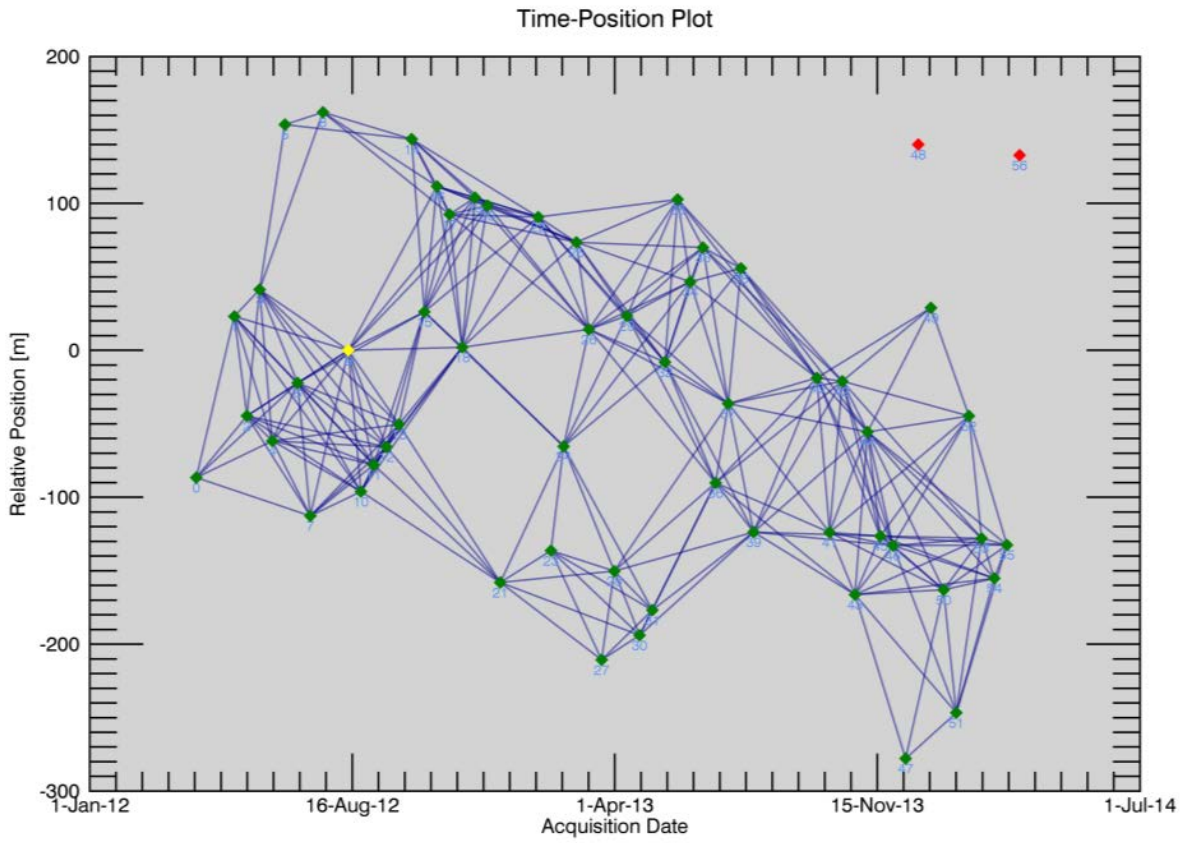


Abbildung 8: Time-Position-Plot der SBAS Netzwerkverknüpfung.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

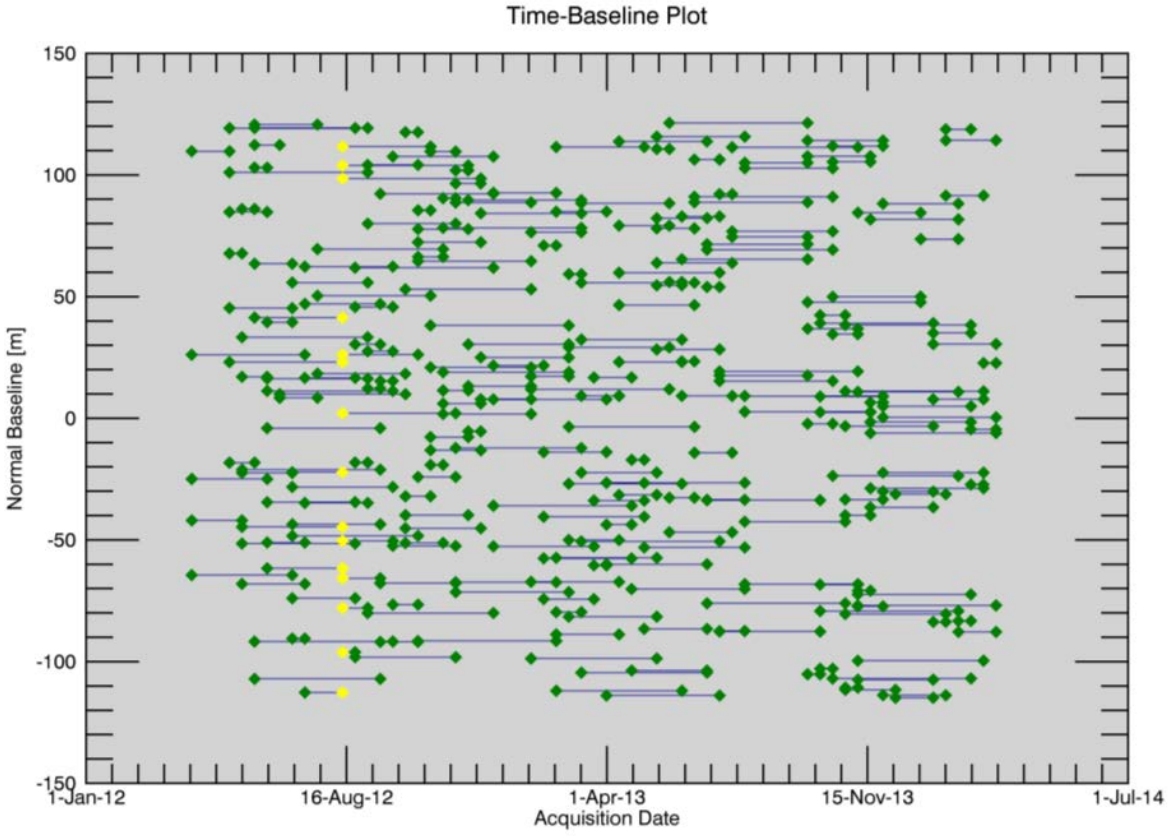


Abbildung 9: Time-Baseline-Plot der SBAS Netzwerkverknüpfung.

3.5 DIGITALES GELÄNDEMODELL

Die notwendigen Höheninformationen zur Reduktion des topographischen Einflusses auf die Phasenmessung sind aus einer vorläufigen Version des WorldDEM™ Höhenmodells extrahiert worden. Dieses sogenannte iDEM (intermediate Digital Elevation Model) steht Airbus Defence and Space exklusive zur Verfügung. Der Vorteil über dem sonst verwendeten Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Model (DEM), liegt in der höheren räumlich Auflösung und hervorragenden Höhengenauigkeit.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

4 ERGEBNISSE UND ANALYSE

4.1 ALLGEMEINE DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der interferometrischen Zeitserienanalyse sind in Abbildung 1, Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt. Die Karten zeigen farblich kodiert die jährliche Geschwindigkeit der Bodenbewegung innerhalb des Beobachtungszeitraumes sowie die Beschleunigung der Bodenbewegung. Die digitale Geschwindigkeitskarte und die Beschleunigungskarte werden separat farblich kodiert und hochauflösend im .pdf und .tif Format geliefert.

Die Bewegungswerte werden ursprünglich entlang der Blickrichtung des Satelliten gemessen, d.h. eindimensional mit einem Einfallswinkel von ~21°. Somit handelt es sich um eine Schrägaufnahme. Die Ergebnisse wurden in reine Vertikalbewegungen transformiert unter der Annahme, dass es sich um reine vertikale Bewegungen handelt. Potentielle horizontale Bewegungen werden daher aus technischen Gründen nicht dargestellt bzw. wurden in die vertikale Bewegungskomponente inkludiert. Die öffentlich verfügbaren Messergebnisse der Lageänderung (horizontal), weisen Werte von bis zu elf Zentimetern nahe dem Geothermiekraftwerk auf (Abbildung 19). Somit führt die Transformation in reine Vertikalbewegung an diesen Stellen zu den größten Fehlern. Mit abnehmender Lageänderung verringert sich auch der Fehler durch die Vertikaltransformation.

Die Bewegungswerte innerhalb der Zeitserie eines jeden Messpixels sind per se keine Absolutwerte, es handelt sich vielmehr um relative Werte. Sämtliche Messungen beziehen sich auf Referenzpunkte (ground control point (GCP)), die unter gewissen Gesichtspunkten wie z.B. hohe Kohärenz, flaches Gelände, räumliche Nähe und unter der Annahme, dass sie frei von Eigenbewegungen sind, ausgewählt werden. Die Auswahl mehrerer GCPs in räumlicher Nähe verringert die Wahrscheinlichkeit, dass ein schlecht gewählter GCP das gesamte Ergebnis verfälscht.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Bodenbewegungsanalyse über dem Studiengebiet analysiert.

Abbildung 10 zeigt die Karte der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet (2012 - 2014). Wie oben erwähnt, ist in dieser Darstellung, bedingt durch den Wertebereich, die Erkennbarkeit der Hebung nur eingeschränkt möglich. Dies ist der Grund warum zusätzlich eine Klassifizierung durchgeführt wurde (siehe Abbildung 1). In dieser klassifizierten Darstellung der Bodenbewegung wird ein Gesamthebungsgebiet ersichtlich, welches über das allgemein bekannte Hebungsgebiet im südlichen Stadtgebiet von Landau hinausgeht. Dieses Gesamthebungsgebiet erstreckt sich im Norden von Roschbach bis zum

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

ehemaligen US Militärstützpunkt im Süden von Landau. Das Gesamthebungsgebiet hat eine annähernd elliptische Form mit einer Länge von ca. 8,5 km und einer Ost-West Ausdehnung von ungefähr 1,6 km. In Summe sind somit die Ortschaften Roschbach, Walsheim und Nußdorf sowie die Stadt Landau von der großflächigen Hebung betroffen. Es kann zwischen schwacher Hebung in den nördlichen Gebieten und starker Hebung im Stadtgebiet von Landau unterschieden werden (siehe Abbildung 1).

Das Untersuchungsgebiet ist stabil in seiner Grundgesamtheit. Das Mittel der Geschwindigkeit beträgt ~1mm pro Jahr. Dies bedeutet jedoch nicht, dass es keine Bodenbewegungen gibt, sondern vielmehr, dass das Gros der Messpixel stabil ist und nur ein kleiner Anteil sich bewegt (Gesamthebungsgebiet). Eine Übersicht der Charakteristik der Ergebnisse ist in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Charakteristik der Ergebnisse.

Studienzeitraum	2012/04/02 – 2014/03/07
Durchschnittliche jährliche Geschwindigkeit	~1 mm/Jahr
Minimale jährliche Geschwindigkeit	-41 mm/Jahr
Maximal jährliche Geschwindigkeit	41 mm/Jahr
Messpixeldichte	~4465 Pixel/km²

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Karte der jährlichen Geschwindigkeit (Abbildung 10) keine Aussage über mögliche Veränderungen der Geschwindigkeit in der Zeit treffen kann, da die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit dargestellt wird. Die mathematische erste Ableitung der Geschwindigkeit ist die Beschleunigung. Anhand dieser kann man erkennen, ob Bewegungen während der Beobachtungszeit beginnen oder enden. Denn im Vergleich zu gleichbleibenden Bewegungen sind einsetzende oder endende Bewegungen durch eine Beschleunigung charakterisiert. In Abbildung 11 ist die Beschleunigungskarte für das Studiengebiet dargestellt. Rötlich gefärbt sind Bewegungen, die eine zunehmende Absenkung erfahren und bläuliche Pixel charakterisieren Bewegungen, die eine zunehmende Hebung oder endende Absenkung erfahren.

Die in Abbildung 1 klassifizierten Bereiche der starken und schwachen Hebung weisen in der Beschleunigungskarte (Abbildung 11) ebenfalls Unterschiede auf. Insbesondere für die Ortschaften Nußdorf, Walsheim und Roschbach zeigen sich keine signifikanten Beschleunigungswerte, für das Stadtgebiet Landau hingegen schon. Es kann somit zwischen beschleunigten Hebungen und gleichbleibenden Hebungen unterschieden werden.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

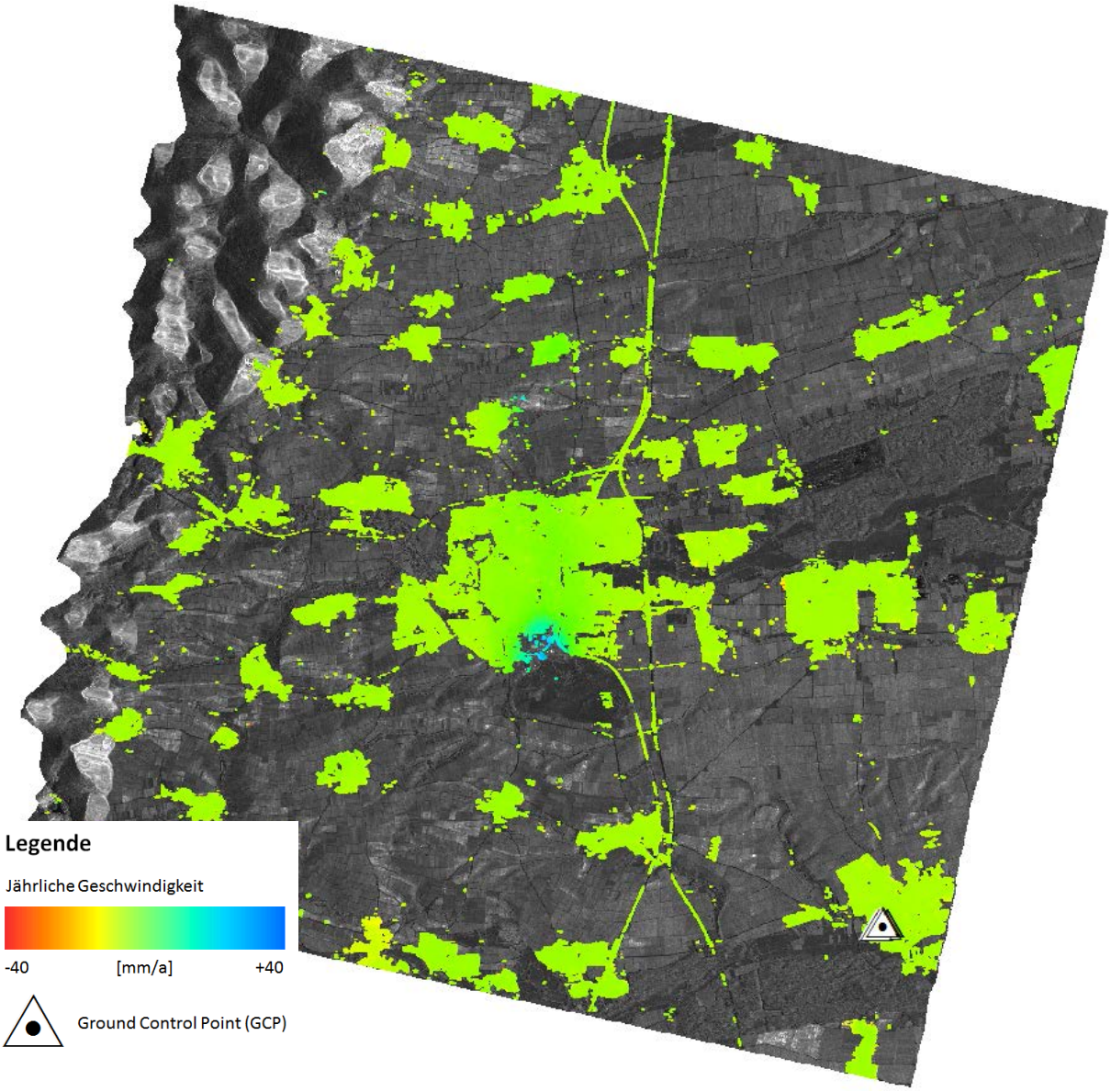


Abbildung 10: Karte der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet (2012 - 2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

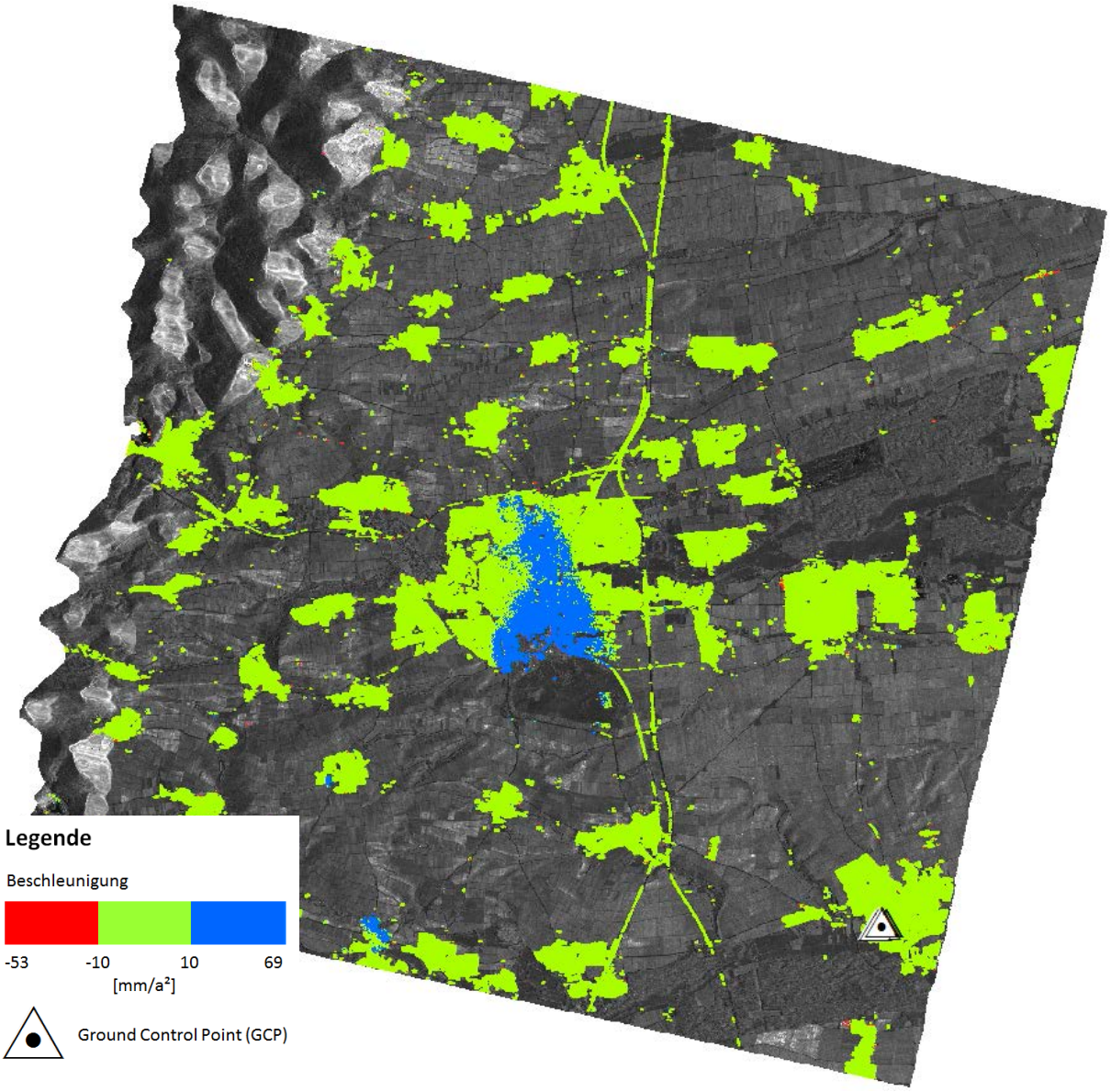


Abbildung 11: Karte der klassifizierten Beschleunigung der Bodenbewegungen im Untersuchungsgebiet (2012 - 2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar.

Da Setzungserscheinungen und Bodensenkungen durch die Schwerkraft begünstigt werden und somit häufiger auftreten, fällt das Gesamthebungsgebiet besonders auf und soll im Folgenden näher analysiert werden. Der klassifizierte Ausschnitt der Geschwindigkeit (Abbildung 12) soll eine Unterscheidung der Hebungsgeschwindigkeit verdeutlichen. Denn es kann zwischen einer schwachen Hebung im nördlichen Bereich und einer starken Hebung im Stadtgebiet von Landau unterschieden werden.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

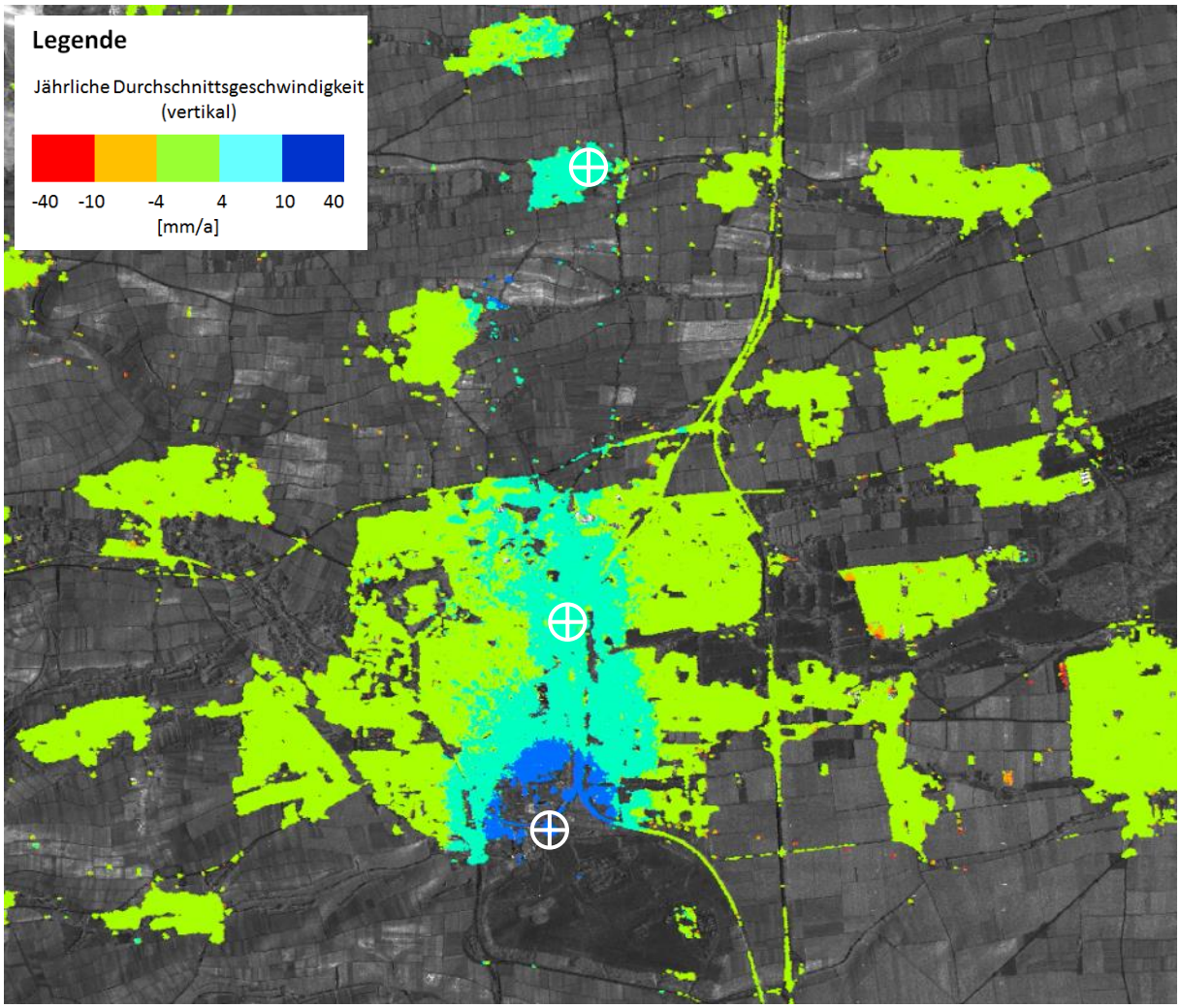


Abbildung 12: Klassifizierter Ausschnitt der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit. Weiße Fadenkreuze symbolisieren die Lokation der Zeitserie in Abbildung 13, Abbildung 14, und Abbildung 15.

Zur bespielhaften Darstellung dieser Unterscheidung sind drei Messpixel an verschiedenen Orten gewählt (siehe Abbildung 12), um die Zeitserien der jeweiligen Hebung zu vergleichen (Abbildung 13, Abbildung 14, und Abbildung 15).

Das gewählte Messpixel in Walsheim (Abbildung 12) zeigt in seiner Zeitserie (Abbildung 13) eine gleichbleibende Hebungsgeschwindigkeit von ca. 9 mm pro Jahr für den vorliegenden Untersuchungszeitraum 2012-2014. Keine signifikante Veränderung der Geschwindigkeit (Beschleunigung) ist in der Zeit ersichtlich. Dies spiegelt sich auch in der Beschleunigungs-karte in Abbildung 11 wider.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

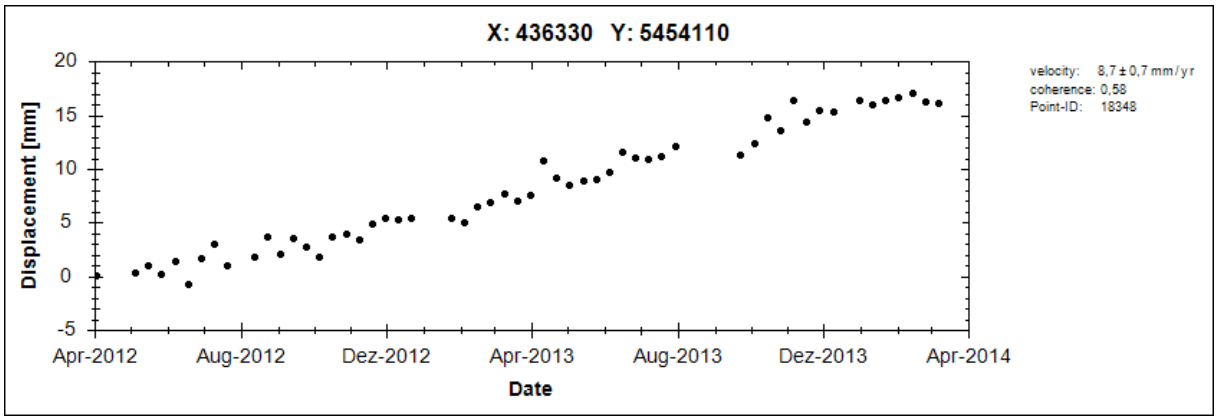


Abbildung 13: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436330 m und 5454110 m: nördliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.

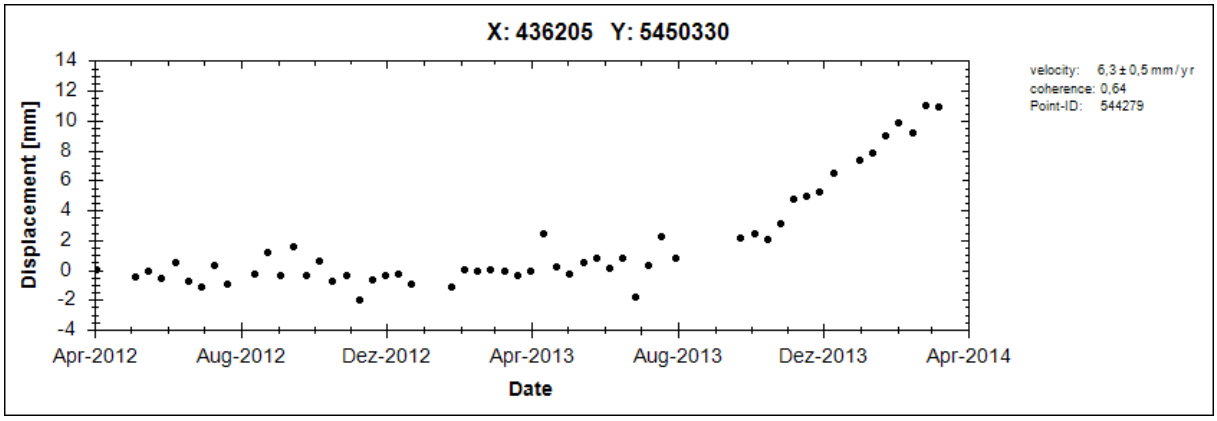


Abbildung 14: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436205 m und 5450330 m: mittleres weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.

Das gewählte Messpixel im Zentrum von Landau (Abbildung 12) zeigt in seiner Zeitserie (Abbildung 14) keine signifikanten Hebung von Beginn des Untersuchungszeitraumes bis August 2013 auf. Anschließend setzt eine deutliche Hebung ein. Zwischen August 2013 und März 2014 hebt sich dieses Messpixel um ca. 12 mm. Dies entspricht einer Hebungsgeschwindigkeit von ca. 20 mm pro Jahr innerhalb dieser sieben Monate. Die Lokalität dieses Messpixels liegt in der Zone signifikanter Beschleunigung (siehe Beschleunigungskarte in Abbildung 11). Somit repräsentieren die Zeitserien in Abbildung 13 und Abbildung 14 zwei unterschiedliche Hebungsarten.

Das gewählte Messpixel im Süden von Landau (Abbildung 12) zeigt in seiner Zeitserie (Abbildung 15) keine signifikanten Hebung von Beginn des Untersuchungszeitraumes bis Juli 2013 auf. Anschließend setzt eine starke Hebung ein. Zwischen Juli 2013 und März 2014 hebt sich dieses Messpixel um ca. 60 mm. Dies entspricht einer Hebungsgeschwindigkeit von ca. 90 mm pro Jahr innerhalb dieser acht Monate. Die Lokalität dieses Messpixels liegt in der klassifizierten Zone der nennenswerten Beschleunigung in der Beschleunigungskarte

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

in Abbildung 11. Somit repräsentiert auch dieses Messpixel eine Region mit deutlich beschleunigter Hebung.

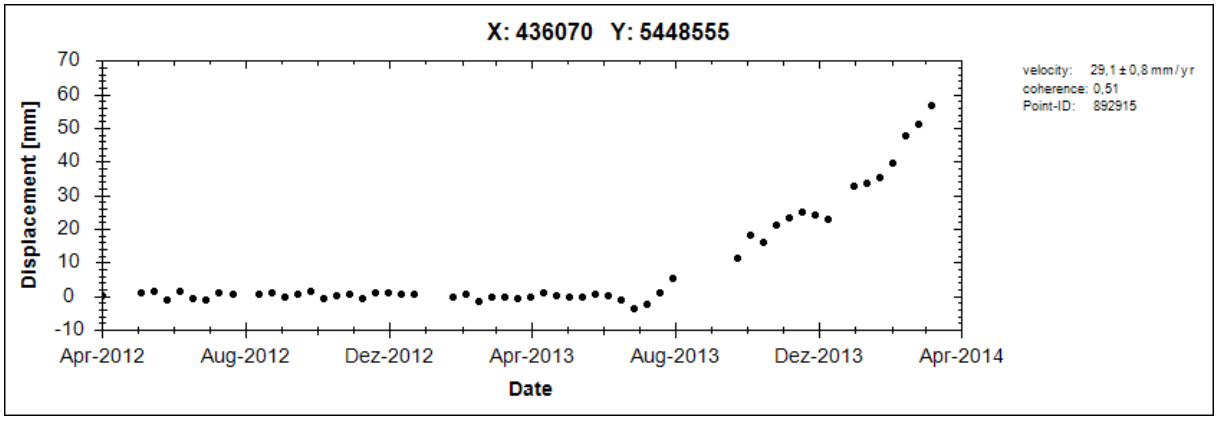


Abbildung 15: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436070 m und 5448555 m: südliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.

Die dem Bericht beigefügte zeitliche Animation der Bodenbewegung zeigt deutlich das Einsetzen der starken Hebung im Stadtgebiet von Landau ab ca. August 2013. Die Hebung im nördlichen Bereich verläuft gleichbleibend in der Zeit und der Beginn dieser Hebung liegt vor dem Untersuchungszeitraum dieser Studie. Aus der Animation wird ersichtlich, wie sich beide Hebungsgebiete mit der Zeit zu dem genannten Gesamthebungsgebiet vereinen. Neben der Unterscheidung von schwacher und starker Hebung kann somit zusätzlich auch zwischen gleichbleibender und einsetzender, beschleunigter Hebung unterschieden werden. Mögliche Ursachen für die zwei unterschiedlichen Hebungsverhalten in dem Gesamthebungsgebiet können im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden. Lediglich ist eine räumliche Korrelation zwischen den Ölförderpumpen im nördlichen Gebiet sowie dem Geothermiekraftwerk und dem Bereich der maximalen Hebung im Stadtgebiet Landau ersichtlich.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

4.2 DETAILERGEBNIS GEOTHERMIEKRAFTWERK

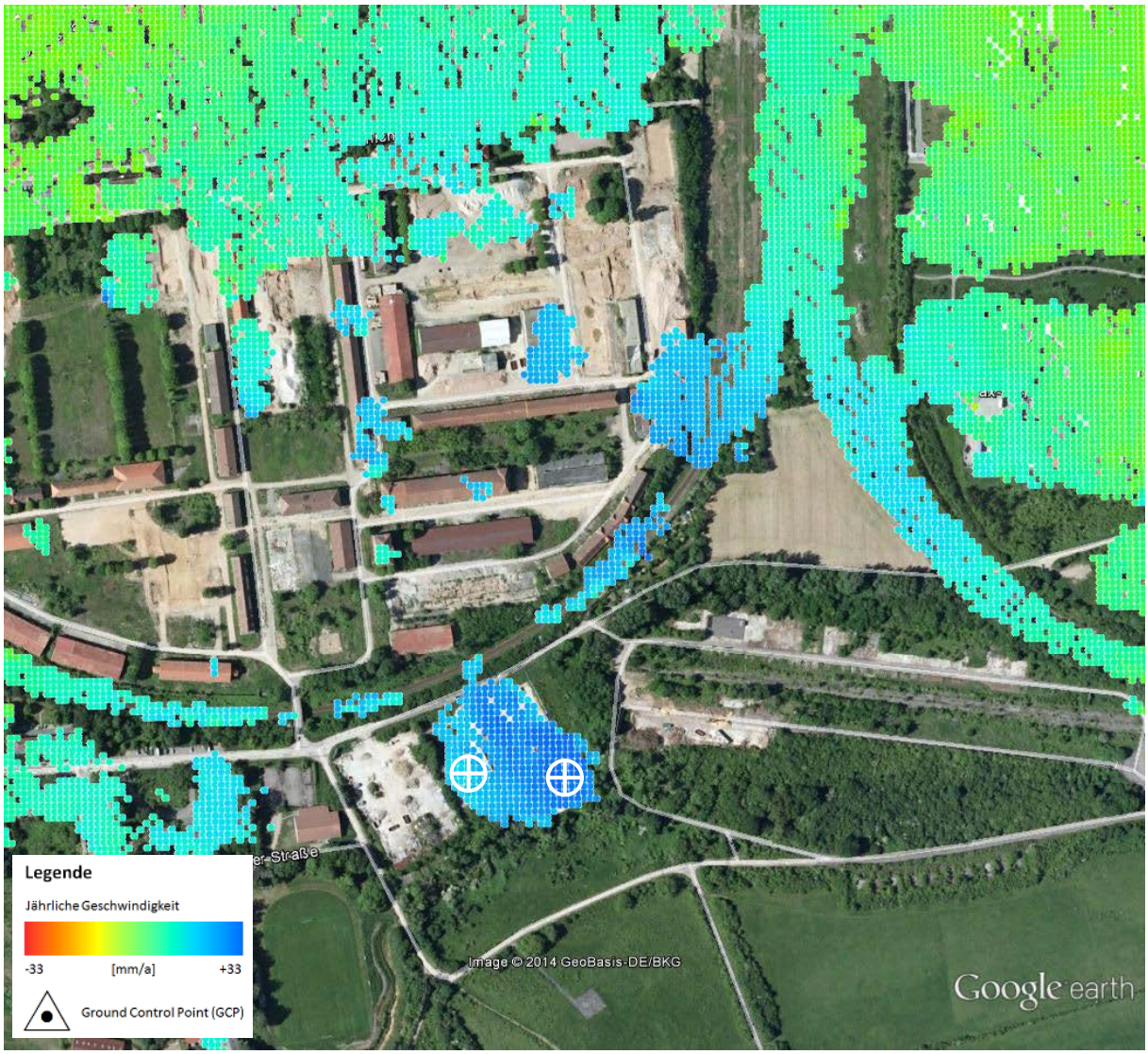


Abbildung 16: Ausschnitt des Gesamtergebnisses dargestellt in Google Earth. Weiße Fadenkreuze symbolisieren die Lokation der Zeitserie in Abbildung 17 und Abbildung 18.

In Abbildung 16 ist ein Ausschnitt der Geschwindigkeitskarte für den Bereich des Geothermiekraftwerks (GKW) Landau in Google Earth dargestellt. Das zu Grunde liegende Luftbild in Google Earth kann nicht datiert werden. Es scheint sich aber um kein aktuelles Luftbild zu handeln, da in jüngeren Luftbildern bereits einige Häuser in diesem Bereich abgerissen wurden und das Gelände stadtplanerisch neugestaltet ist. Bedingt durch diese aktiven Baumaßnahmen im Untersuchungsgebiet sind in diesem Bereich weniger Messpixel vorhanden, als in anderen Gebieten.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

In dem gezeigten Ausschnitt ist zu erkennen, dass die maximalen Hebungsgeschwindigkeiten sich im Betriebsgelände des GKW Landau befinden. Die Hebung innerhalb dieses Betriebsgeländes ist heterogen verteilt. Es kann nicht von einem gleichmäßigen „Hebungsbuckel“ gesprochen werden. Die Lokation des oben genannten Risses an der Oberfläche, durch das Betriebsgelände des GKW Landau, passt zu der Heterogenität der Hebungsgeschwindigkeit, sichtbar in Abbildung 16. Die Zeitserien der beiden gewählten Messpixel in Abbildung 17 und Abbildung 18 verdeutlichen die Heterogenität im Betriebsgelände. Es besteht ein Unterschied in der Hebung bis zum März 2014 von ca. 30 mm zwischen dem westlichen und dem östlichen Bereich des Betriebsgeländes.

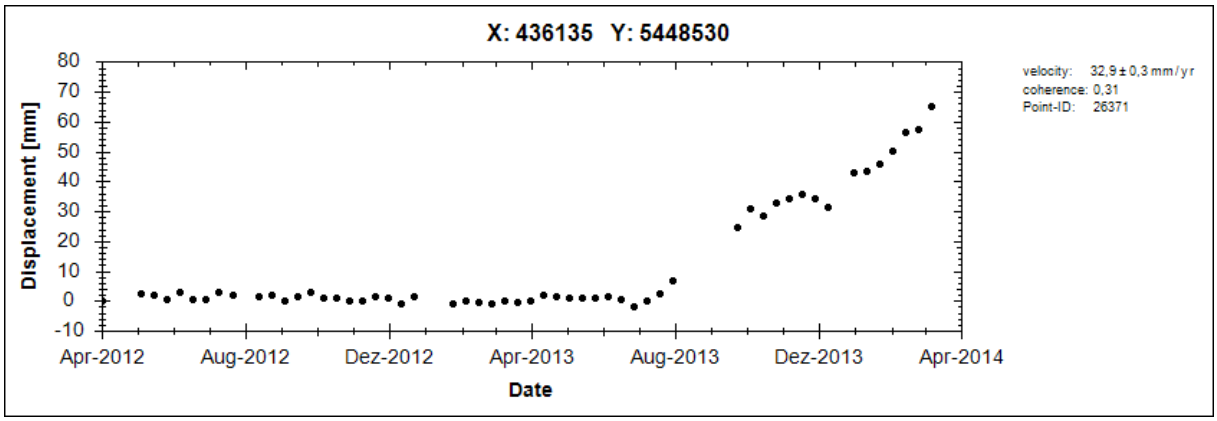


Abbildung 17: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436135 m und 5448530 m: westliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.

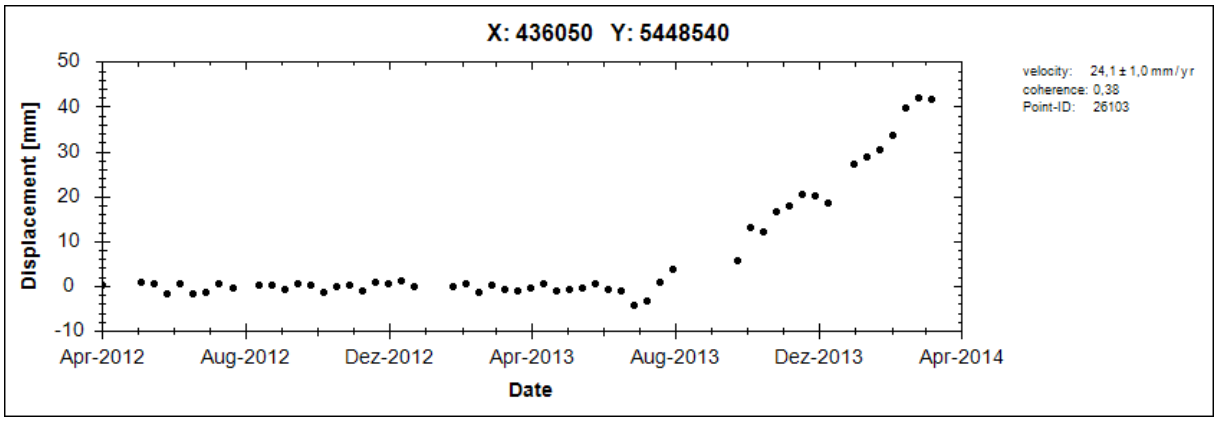


Abbildung 18: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436050m und 5448540m: östliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.

Es gilt aber zu beachten, dass eine Transformation in Vertikalbewegung nur fehlerfrei geschehen kann, wenn keine Horizontalbewegungen existieren. In Abbildung 19 ist die terrestrisch vermessene Lageveränderung (horizontal) zwischen der Nullmessung und Folgemessungen dargestellt. Die rot dargestellten Pfeile symbolisieren die horizontale Bewegung zwi-

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

schen der Nullmessung und der Messung vom 14.03.2014. Da die letzte Satellitenszene vom 07.03.2014 stammt, enden beide Zeiträume im selben Monat und können für nähere Vergleiche herangezogen werden.

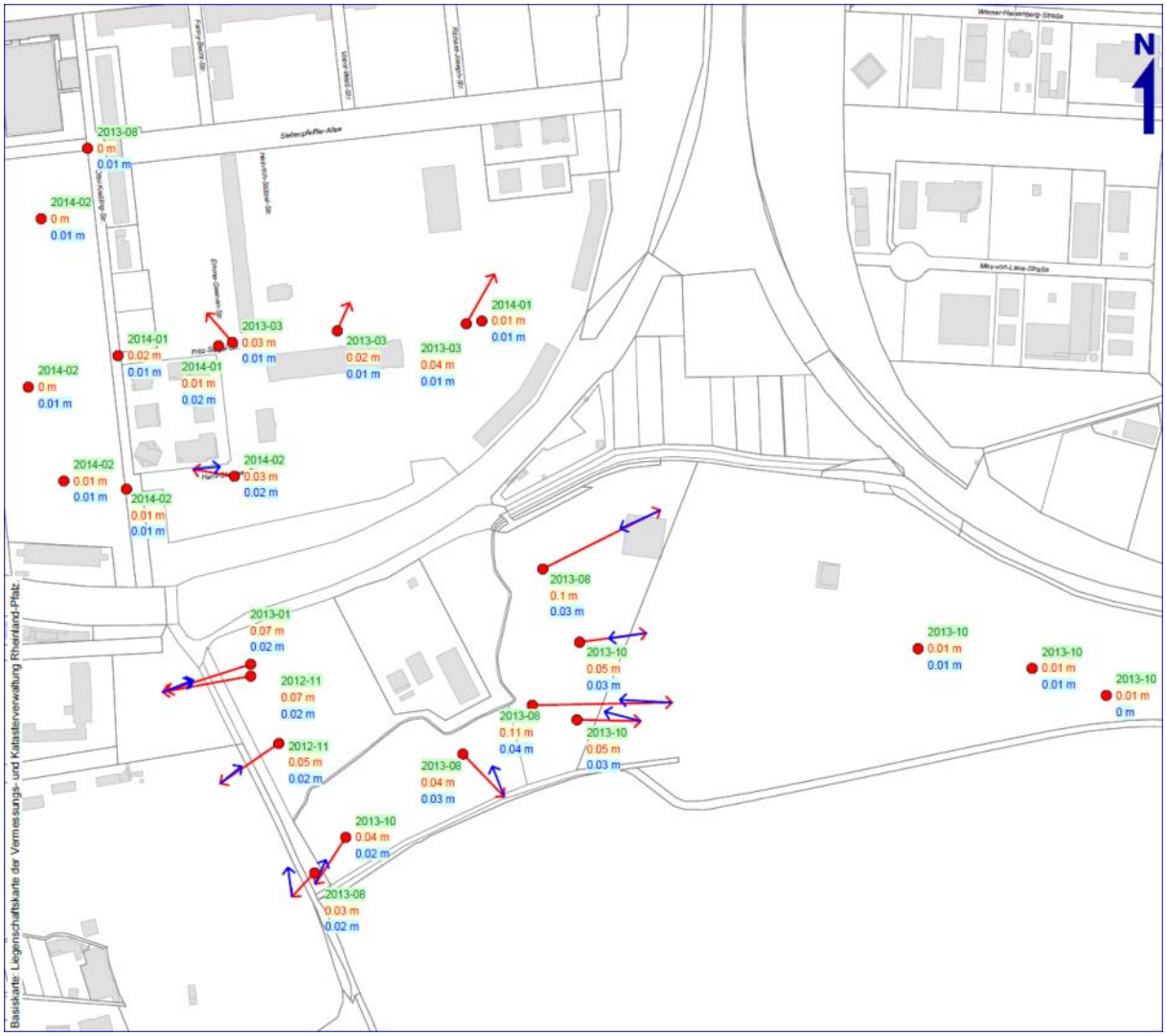


Abbildung 19: Ausschnitt aus der Karte Lageänderung (horizontal). Rote Pfeile stellen die Veränderungen zwischen Nullmessung und 14.03.2014 dar (Quelle: www.bodenhebung-landau.de, Stadt Landau).

Die oben beschriebene Heterogenität der Hebung im Bereich des GKW Landau kann unter der Berücksichtigung dieser terrestrischen Vermessung wie folgt näher analysiert werden. Lageveränderung in Richtung Ost führen im Zuge einer Vertikaltransformation der Satellitenergebnisse zu einer Überhöhung der Hebungswerte. Entgegengesetztes gilt für Lageveränderung gen West. Diese geometrischen Zusammenhänge spiegeln sich direkt in der gezeigten Heterogenität der Hebung im Bereich GKW Landau wider. Der östliche Bereich weist stärkere Hebungen auf als der westliche.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

5 GENERELLE ANMERKUNGEN

Bedingt durch die hohe Dynamik der Hebung im Bereich des GKW Landau musste die maximale Zeitspanne zwischen zwei TerraSAR-X Aufnahmen auf 121 Tage reduziert werden, da bei dem Verfahren der Radarinterferometrie eine Begrenzung für die maximale Deformation innerhalb eines Zeitraumes besteht.

Generell gilt: Messpixel mit geringer Kohärenz und/oder extremem Bewegungswerten sind mit Vorsicht zu bewerten, besonders wenn diese im starken Kontrast zur räumlichen Nachbarschaft auftreten. Dies tritt oft in Gebieten mit starker Variabilität der physikalischen Reflektionseigenschaft der Oberfläche auf, z.B. in angrenzenden Gebieten mit Vegetation.

Messpixel welche lokal abweichende Messwerte aufweisen sind oft auf räumlich begrenzte Bewegungsphänomene zurückzuführen, wie z.B. Strommasten, Verkehrsschilder, Laternen, Schutthaufen und ähnliches.

Bei der Transformation von der eindimensionalen Schrägaufnahme des Satelliten in die Vertikale Raumrichtung können mögliche horizontale Bewegungen nicht berücksichtigt werden. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden. Erwiesenermaßen treten am räumlichen Rand von Hebungs- und Senkungszonen die größten horizontalen Bewegungskomponenten auf. Im Zentrum einer Hebungs- und Senkungszone sind diese dagegen gleich Null.

5.1 PRÄZISION UND GENAUIGKEIT

Die interferometrischen Zeitserienanalyse bestimmt eine durchschnittliche Bewegungsrate (linear), die Geschwindigkeit, basierend auf eine Anzahl von Bewegungswerten innerhalb einer Zeitserie. Die theoretische Präzision, d.h. die Wiederholbarkeit der Messungen, der jährlichen Geschwindigkeit kann mit wenigen Millimetern pro Jahr angegeben werden. Die Präzision der Einzelmessungen der Bewegung in einer Zeitserie kann mit ca. 2-4 mm angegeben werden (bei der Verwendung von TerraSAR-X Daten). Letztere Präzision wird durch Fehlerfortpflanzung basierend auf der Kohärenz und der Wellenlänge bestimmt. Sie hängt unter anderem von den atmosphärischen Bedingungen, Messpixeldichte und Anzahl der verwendeten Szenen ab und variiert somit von Datensatz zu Datensatz. Für jedes Messpixel ist die Präzision der Geschwindigkeit bestimmt und in der Spalte V_Precisio in der digitalen Ergebnisdatei (siehe Tabelle 5) angegeben.

Die Genauigkeit, d.h. der Unterschied zwischen Messergebnis und der Wahrheit, eines Messwertes innerhalb einer Zeitserie hängt von verschiedenen Parameter wie z.B. Datenverfügbarkeit, Reflektionseigenschaft des Oberflächenelements, zeitlich und räumliche Charak-

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

teristik des Bewegungsphänomens, Prozessierungsmethode und gewählte GCPs ab. Die Genauigkeit kann im direkten Vergleich mit angenommenen ‚wahren' Werten, z.B. mit Ergebnissen von terrestrischen Nivellements, bestimmt werden. Ein solcher Vergleich unter optimalen Bedingungen ergab eine Genauigkeit für einen Messwert innerhalb einer Zeitserie von ±3 mm unter Verwendung von TerraSAR-X Daten.

Dies ist der Grund, warum in der Ergebnisdatei nur die Präzision, in der Form von z.B. 8.3 ± 1.7 mm pro Jahr, und nicht die Genauigkeit angegeben werden kann.

In (Casu et al. 2006) wird beschrieben, inwiefern sich die Distanz zwischen Messepixel und gewähltem GCP sich auf die Standardabweichung einer Einzelmessung innerhalb einer Zeitserie auswirkt. Zusammengefasst kann gesagt werden: Je weiter das Messpixel vom GCP entfernt ist, desto so geringer die Präzision des Ergebnisses.

5.2 FORMAT DER DIGITALEN ERGEBNISDATEI

Das interferometrischen Zeitserienergebnis der Bodenbewegung wird als digitaler ESRI shape Datei (.shp) bereitgestellt. Tabelle 5 fasst die gelieferten Informationen dieser Datei zusammen.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Tabelle 5: Spalten und ihre Beschreibung in der ESRI Shape Datei.

Spalten-name	**Datentyp**	**Beschreibung**
FID	Object ID	Identifikationsnummer des Elements in shape Datei
Shape	Point	Geometrie der shape Datei
X	Double	Lokation des Elements: Rechtswert der verwendeten UTM Zone [m]
Y	Double	Lokation des Elements: Hochwert der verwendeten UTM Zone [m]
Z	Double	Lokation des Elements: Höhenwert basierend auf den korrigierten Höhen aus der interferometrischen Prozessierung [m]
Velocity	Double	Durchschnittliche jährliche Geschwindigkeit [mm/Jahr]: - Positiver Wert: Hebung des Messpixels - Negativer Wert: Senkung des Messpixels
Acc	Double	Beschleunigungswerte [mm/Jahr²]
V_Precisio	Double	Präzision der Geschwindigkeit des Messpixels [mm/Jahr]
LOS_In	Double	Line-Of-Sight of satellite (Einfallswinkel) Wurde zur Transformation in die Vertikale verwendet
D_JJJJMMTT	Double	Vertikale Bodenbewegung am Beobachtungszeitpunkt JJJJMMTT (J=Jahr, M=Monat, T=Tag) in Bezug auf den ersten Beobachtungszeitpunkt [mm] - Positiver Wert: Hebung des Messpixels - Negativer Wert: Senkung des Messpixels

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Dieser Bericht präsentiert das Ergebnis einer interferometrischen Bodenbewegungsanalyse basierend auf TerraSAR-X Daten zwischen April 2012 und März 2014 in Landau in der Pfalz, Deutschland.

Generell konnten qualitativ und quantitativ sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Die Messpixeldichte ist hoch, um eine zuverlässige räumliche Information von Bewegungen zu erhalten. Die ungenügende Kohärenz über vegetativen Gebieten entspricht den Erwartungen.

Das auf den ersten Blick sichtbare Gesamthebungsgebiet setzt sich aus zwei unterschiedlichen Hebungsarten zusammen. Ein fortlaufendes Monitoring wird empfohlen, da die hochdynamischen und starken Bodenbewegungen im Bereich des GKW Landau ein anderes Schadenspotential hat, als die gleichbleibende und schwache Hebung in den nördlichen Ortschaften. Dies von einander zu unterscheiden, bedarf es einer zeitlich dichten und flächenhaften Messmethode, wie es nur die Radarinterferometrie bietet.

Für ein weiterführendes Monitoring im Stadgebiet von Landau ist es ratsam über die Verwendung von TerraSAR-X High Resolution Mode Daten nachzudenken. Diese Daten bieten die Möglichkeit, eine höhere Bodenauflösung zu erzielen. Als Konsequenz stehen mehr Messpixel pro Fläche zur Verfügung. Dies erleichtert die Identifikation einer möglichen räumlichen Heterogenität der Bodenbewegung. Die oben erwähnte technische Einschränkung der maximalen Bodenbewegung zwischen zwei Satellitenaufnahmen hängt auch der räumlichen Auflösung der Daten ab. Mit einer höheren Auflösung können stärkere Bodenbewegungen, wie sie Anfang April in Landau auftraten, zuverlässiger gemessen werden.

Der räumliche Zusammenhang zwischen dem Standort des GKW Landau und den auftretenden Hebungen kann mittels des vorliegenden Ergebnisses hergestellt werden. Die Konsequenzen möglicher Gegenmaßnahmen können somit durch ein fortgeführtes satellitengestütztes Monitoring überprüft werden.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

ABKÜRZUNGEN

2D	Zwei-Dimensional
3D	Drei-Dimensional
APS	Atmospheric Phase Screening
DEM	Digital Elevation Model
DInSAR	Differentielle InSAR Technik
GCP	Ground Control Point (Referenzpunkt)
GKW	Geothermiekraftwerk
HH	Horizontal gesendet – Horizontal empfangen Polarisation
InSAR	SAR Interferometrie
PSI	Persistent Scatterer Interferometry
QC	Quality Control
SAR	Synthetic Aperture Radar
SB	Short-Baseline
SBAS	Small BASeline approach
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TSX	TerraSAR-X
WorldDEM™	Globales Höhenmodell (zukünftiges Produkt von Airbus DS)

REFERENZEN

Berardino, P.; Fornaro, G.; Lanari, R. & Sansosti, E. (2002). A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 40, 2375-2383.

Casu, F.; Manzo, M. & Lanari, R. (2006). A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data Remote, Sensing of Environment, 102, 195-210

Ferretti, A.; Prati, C. & Rocca, F. (2001). Permanent Scatterers in SAR Interferometry, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 39, 8-20.

Lundgren, P.; Usai, S.; Sansosti, R.; Lanari, R.; Tesauro, M.; Fornaro, G. & Berardino, P. (2001). Modeling surface deformation observed with SAR Interferometry at Campei Flegrei Caldera, J. Geophysical. Res., 106, 19355-19367.

Usai, S. (2001). A new approach for long term monitoring of deformation by differential SAR interferometry, Ph.D. thesis, Delft Univ. Press, Delft, The Netherlands.

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Klassifizierungskarte der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit (vertikal) im Untersuchungsgebiet (2012-2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar. 4

Abbildung 2: Definition des Studiengebietes (blaues Polygon) und Bodenabdeckung der gewählten TerraSAR-X Daten, dargestellt in Google Earth. 6

Abbildung 3: Zeitserie der verwendeten TerraSAR-X Szenen zwischen 2012 und 2014. 9

Abbildung 4: Generischer Surface Movement Monitoring Prozessablauf mit Stoppunkten der Qualitätskontrolle.....11

Abbildung 5: Gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild (2012 - 2014) des Studiengebietes in dem die Reflektion des Radarsignals dargestellt wird. Häuser und Gebäudekomplexe reflektieren besonders stark (weiß).....13

Abbildung 6: Kohärenzkarte (nicht geokodiert) für ein 11-Tage Interferorgam, welches die kurzfristige zeitliche Dekorrelation repräsentiert. 15

Abbildung 7: Kohärenzkarte (nicht geokodiert) für ein 121-Tage Interferorgam, welches die langfristige zeitliche Dekorrelation repräsentiert. 16

Abbildung 8: Time-Position-Plot der SBAS Netzwerkverknüpfung. 17

Abbildung 9: Time-Baseline-Plot der SBAS Netzwerkverknüpfung. 18

Abbildung 10: Karte der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet (2012 - 2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar. 21

Abbildung 11: Karte der klassifizierten Beschleunigung der Bodenbewegungen im Untersuchungsgebiet (2012 - 2014). Hintergrund: Geokodiertes gemitteltes TerraSAR-X Intensitätsbild. Weiße Dreiecke stellen die Lokalität der Referenzpunkte dar. 22

Abbildung 12: Klassifizierter Ausschnitt der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit. Weiße Fadenkreuze symbolisieren die Lokation der Zeitserie in Abbildung 13, Abbildung 14, und Abbildung 15. 23

Abbildung 13: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436330 m und 5454110 m: nördliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.....24

Abbildung 14: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436205 m und 5450330 m: mittleres weißes Fadenkreuz in Abbildung 12. 24

Abbildung 15: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436070 m und 5448555 m: südliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12. 25

Abbildung 16: Ausschnitt des Gesamtergebnisses dargestellt in Google Earth. Weiße Fadenkreuze symbolisieren die Lokation der Zeitserie in Abbildung 17 und Abbildung 18. ..26

Abbildung 17: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436135 m und 5448530 m: westliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12.....27

Abbildung 18: Zeitserie der Bodenbewegung für die Koordinaten 436050m und 5448540m: östliches weißes Fadenkreuz in Abbildung 12. 27

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

Abbildung 19: Ausschnitt aus der Karte Lageänderung (horizontal). Rote Pfeile stellen die Veränderungen zwischen Nullmessung und 14.03.2014 dar (Quelle: www.bodenhebung-landau.de, Stadt Landau). 28

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Verwendete TerraSAR-X Szenen. 8

Tabelle 2: TerraSAR-X Aufnahmeparameter. 9

Tabelle 3: Prozessierungsparameter für die verwendeten Daten in Tabelle 1. 17

Tabelle 4: Charakteristik der Ergebnisse. 20

Tabelle 5: Spalten und ihre Beschreibung in der ESRI Shape Datei. 31

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH

ANHANG

© 2014 Airbus DS - Infoterra GmbH