

# Potential der satellitengestützten Überwachung von Straßenbauwerken

Copernicus Forum  
Workshop D.2 - Copernicus für Verkehrs- und  
Mobilitätsanwendungen

Dr. Michael Riedmann, Dr. Oliver Lang  
5. November 2015

## Projektübersicht - 1

- Ziel: Untersuchung des Potentials des satellitengestützten Monitorings für die Erfassung der Bewegungen von Straßenbauwerken
- Projektlaufzeit: 01. Februar 2013 – 31. August 2015
- Projektteilnehmer: Airbus DS (Hauptauftragnehmer), Ruhr Universität Bochum – Lehrstuhl für Verkehrswegebau (vor Ort Texturmessungen), Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr - regionaler Geschäftsbereich Oldenburg (terrestrisches Nivellement)

Diesem Bericht liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 07.0263/2012/PRB durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.

## Projektübersicht - 2

### Zwei Fragestellungen:

1. Wann erzeugt eine Straße ausreichend Messpixel für eine satellitengestützte Bewegungsmessung?
2. Erprobung der Anwendung von Bewegungsmonitoring mittels Radarinterferometrie an einem Dammbauwerk

## Verwendung von Daten des deutschen TerraSAR-X Satelliten

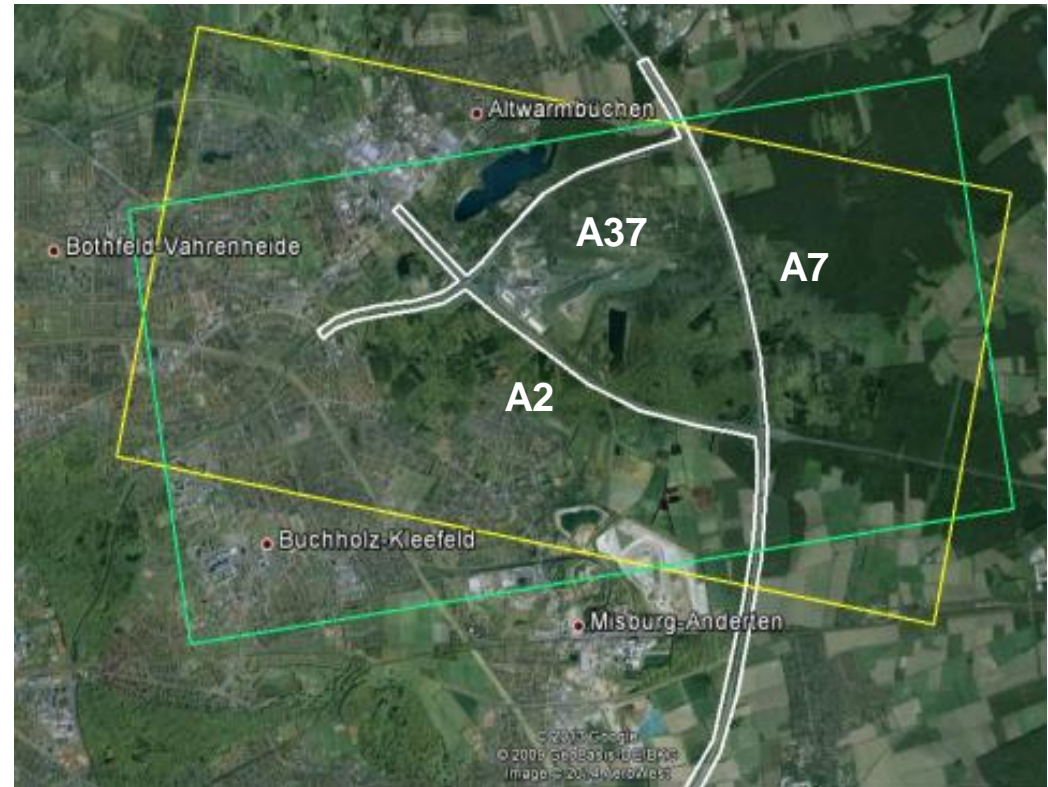
- Wellenlänge 3,1cm (X-Band)
- 11 Tage Wiederholrate
- Einfallswinkel im Bereich von  $20^\circ$  bis  $55^\circ$
- Hochauflösende Aufnahmemodi wurden benutzt (1m und 25cm Auflösung)



# Fragestellung 1

## Testgebiet 1: Autobahnkreuze im Nordosten von Hannover, Niedersachsen

Autobahn	Material	Größtkorn (mm)	Gestein
A2	Splittmastix-Asphalt (SMA)	8	Gabbro und / oder Diabas
	Offenporiger Asphalt (PA)	11	
	Offenporiger Asphalt (PA)	8	
A7	Waschbeton	8	
	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Gabbro und / oder Diabas
	Grindingbeton	8	
A37 (B3)	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Gabbro und / oder Diabas



Hintergrundbild © Google Earth 2014

© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 1

## Testgebiet 2: Autobahn BAB A24 bei Neuruppin, Brandenburg

Testfeld	Material	Größtkorn (mm)	Art der groben Gesteinskörnung	Rüttelstreifen
1	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Granodiorit	Ja
2	Splittmastix-Asphalt (SMA)	8	Granodiorit	Ja
3-6	Offenporiger Asphalt (PA)	8	Eolit	Ja
7-8	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Granodiorit	Ja
9	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Granodiorit	Ja
10-11	Offenporiger Asphalt (PA)	8	Eolit	Nein
12-15	Offenporiger Asphalt (PA)	8	Eolit	Ja
16	Splittmastix-Asphalt (SMA)	11	Granodiorit	Ja
17-18	Lärmoptimierter Gußasphalt (PMA)	5	Granodiorit	Ja
19	Lärmoptimierter Gußasphalt (PMA)	5	Eolit	Nein



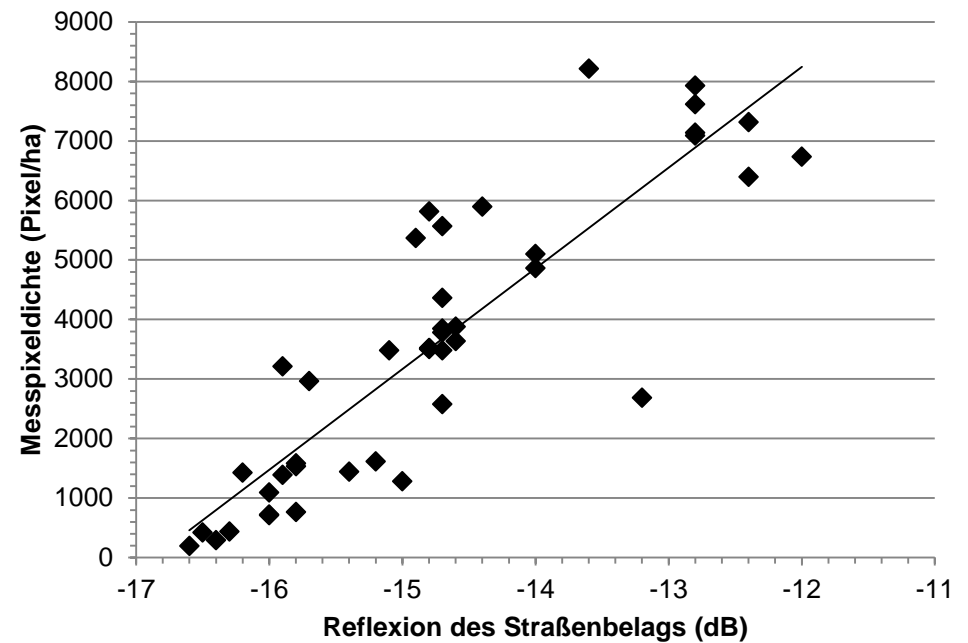
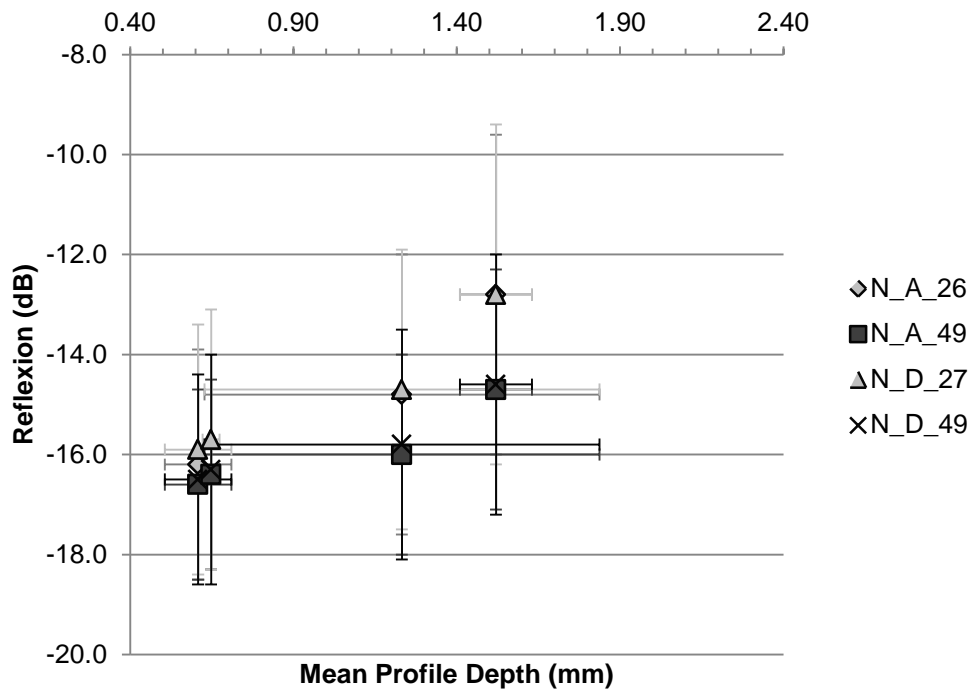
Hintergrundbild © Google Earth 2014

© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 1

## Ableitungen – Beispiel Testgebiet 2

- Plot Rauigkeits- (MPD) Werte gegen Reflexionswerte
- Plot Reflexion versus Messpixeldichte



- Je höher der MPD Wert (Rauigkeit), desto höher der Rückstreuwert.
- Je steiler (kleiner) der Einfallswinkel, desto höher die Reflexion.

- Starker linearer Zusammenhang (Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0,77)

# Fragestellung 1

## Zusammenfassung der Ergebnisse

### Optimale Parameter für Satellitenaufnahmen für ein Bewegungsmonitoring von Fahrbahnoberflächen

- VV-Polarisation
- möglichst hohe räumliche Auflösung, um Mischpixel von Straße mit umliegender Vegetation zu vermeiden (mindestens TerraSAR-X HS Modus)
- mittlerer Einfallswinkel von etwa 35° bis 40°
- Blickrichtungszimut ausschlaggebend nur bei Baumbewuchs am Straßenrand: soweit als möglich entlang der Fahrbahnausrichtung
- keine nasse Fahrbahnoberfläche, da sonst Veränderung der Reflexion der Straßenoberfläche
- Aufnahmezeitpunkt bei möglichst geringer Verkehrsdichte



# Fragestellung 1

## Zusammenfassung der Ergebnisse

### Eignung unterschiedlicher Fahrbahnoberflächen für ein Bewegungsmonitoring mit TerraSAR-X Daten

- Rauigkeit des Fahrbahnbelags mit einem MPD Wert (Rauigkeit) von mindestens 0,4 mm
- Rüttelstreifen und Arten der groben Gesteinskörnung des Fahrbahnbelags unerheblich
- Neigung der Fahrbahn nur in Fahrtrichtung und bei mehr als 5° zu berücksichtigen
- Stabile Rückstreuer wie z.B. Schutzplanken entlang der Fahrbahn stellen wünschenswerte Messpixel dar

Priorität	Straßenbelag	MPD-Wert (mm)	Eignungsklasse
1	PA 11	1,88	Geeignet
2	PA 8	1,32	Geeignet
3	SMA 11	1,23	Geeignet
4	SMA 8	0,68	Geeignet
5	PMA 5	0,61	Geeignet
6	Waschbeton	0,50	Weniger Geeignet
7	Grindingbeton	0,38 / 0,77	Weniger Geeignet

# Fragestellung 1

## Potentielle Messpixeldichte - Beispiel

- Beispiel Messpixeldichte BAB A7: SMA 11 und Grindingbeton



© DLR e. V. 2014 und © Airbus DS / Infoterra GmbH 2014



Hintergrundbild © Google Earth 2014

## Fragestellung 2

### Testgebiet 3: Neubautrasse B212 Ortsumgehung Berne, Niedersachsen

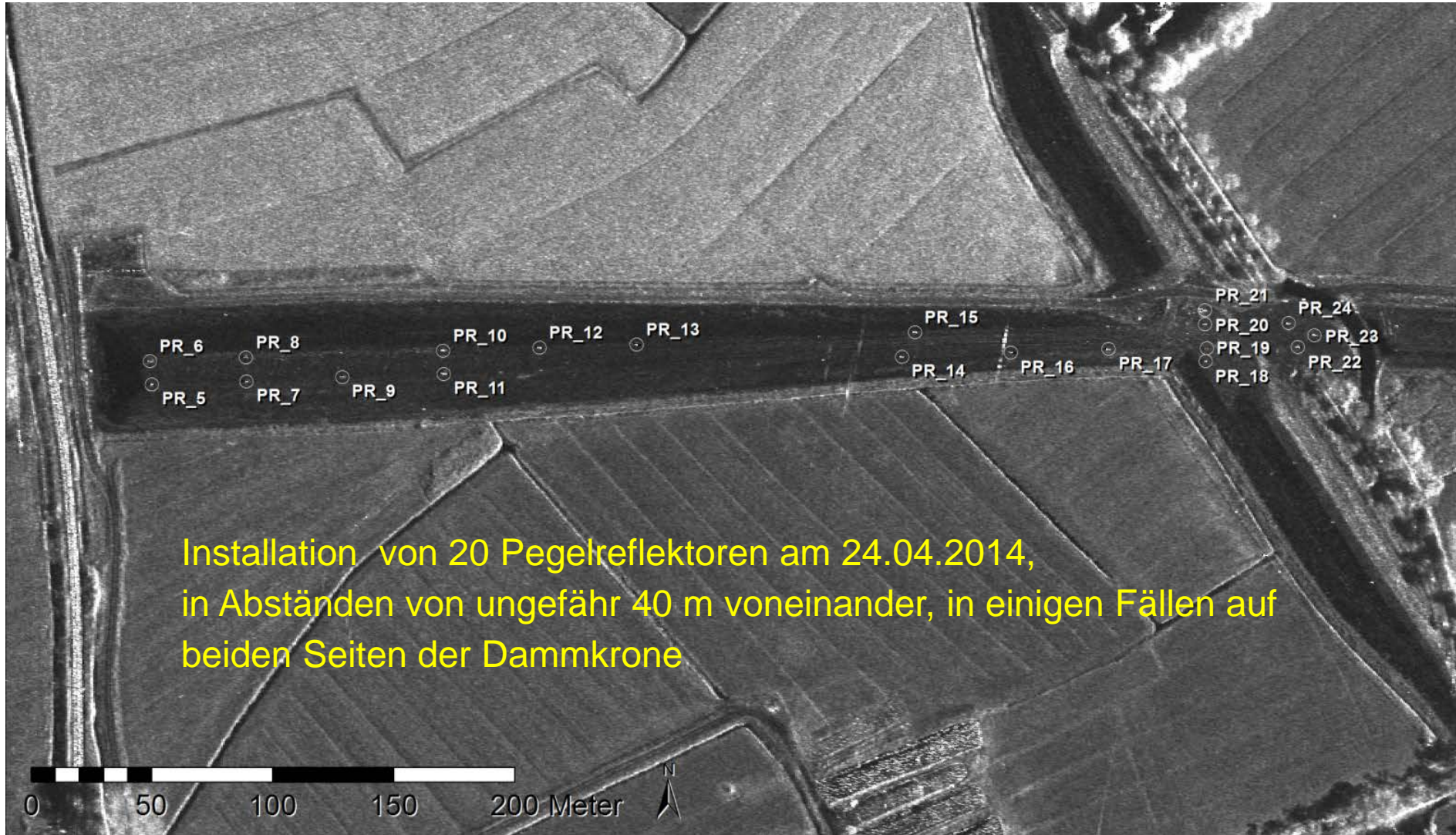
- Test von Bewegungsmonitoring mittels Radarinterferometrie an einem Dammbauwerk
- Überschüttdamm auf wenig tragfähigem Untergrund (Schlick- oder Torfboden)
- Oberflächenmaterial i.d.R. Sand -> Installation künstlicher ‚Pegel‘-Reflektoren



Foto © BAST 2014

# Fragestellung 2

## Pegelreflektor-Installation



Gemittelttes TerraSAR-X Amplitudenbild, © DLR e.V. 2014-2015, Distribution Airbus DS Geo GmbH

© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 2

## Pegelreflektor-Installation



Foto © BASI 2014

# Fragestellung 2

## Pegelreflektor-Installation



Foto © BASI 2014

© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 2

## Pegelreflektor-Installation



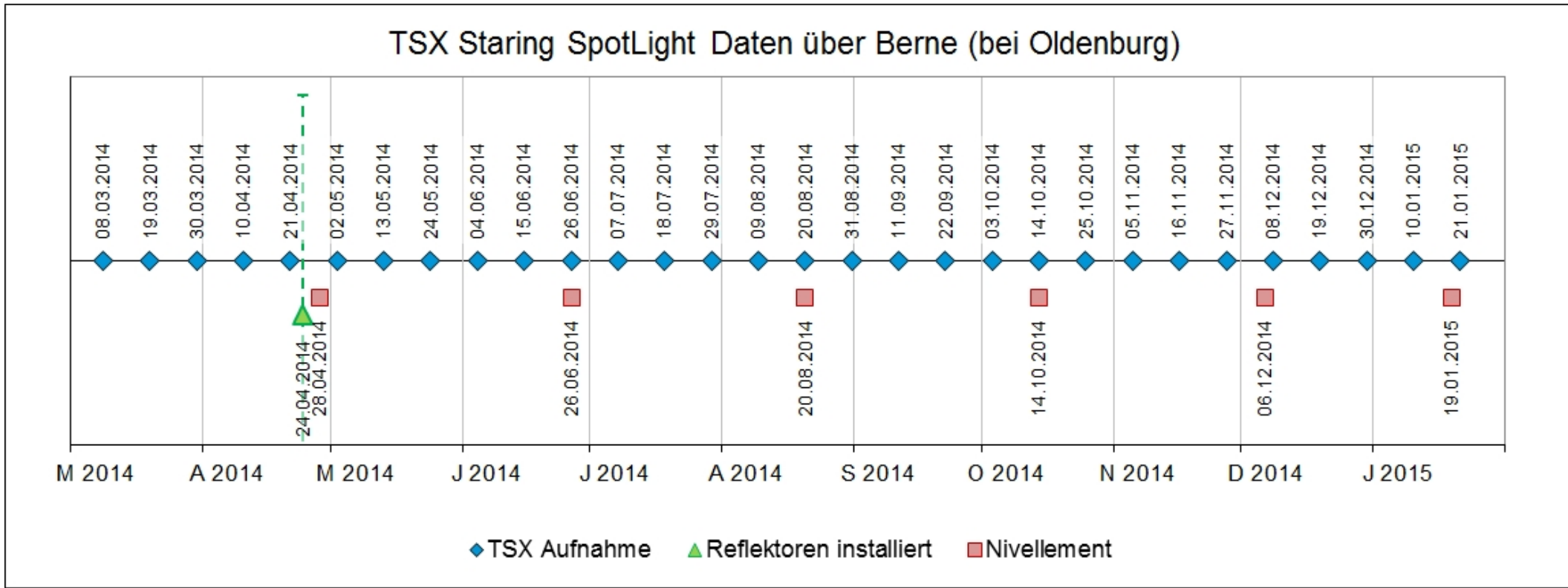
Foto © BASI 2014

© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 2

## Datenaufnahme

- Terrestrisches Nivellement der Pegel-Reflektoren und Pegelstangen in regelmäßigen Abständen von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, regionaler Geschäftsbereich Oldenburg (NLStBV-rGB OI)

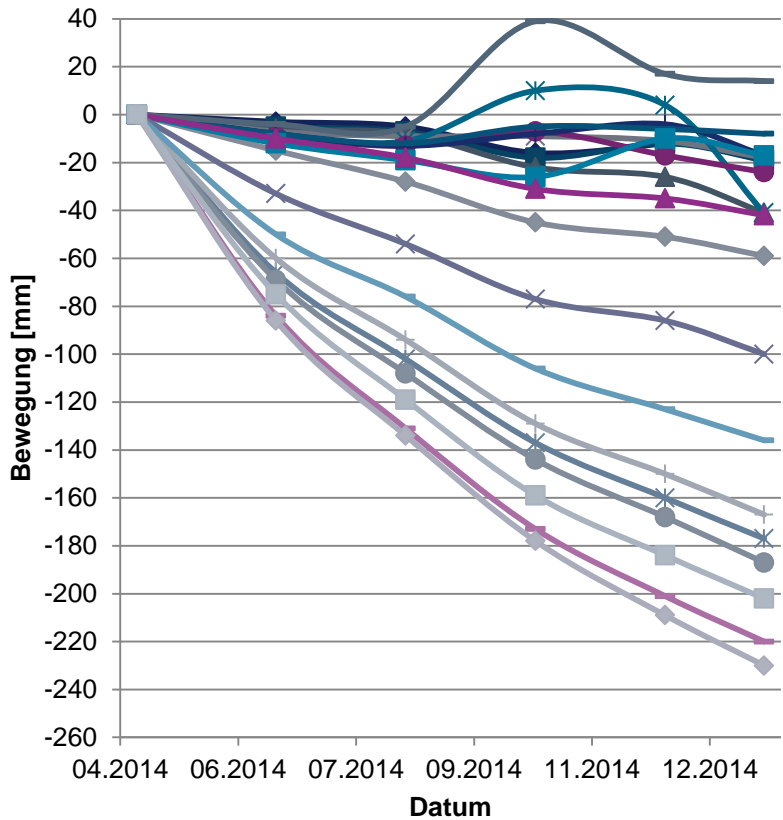




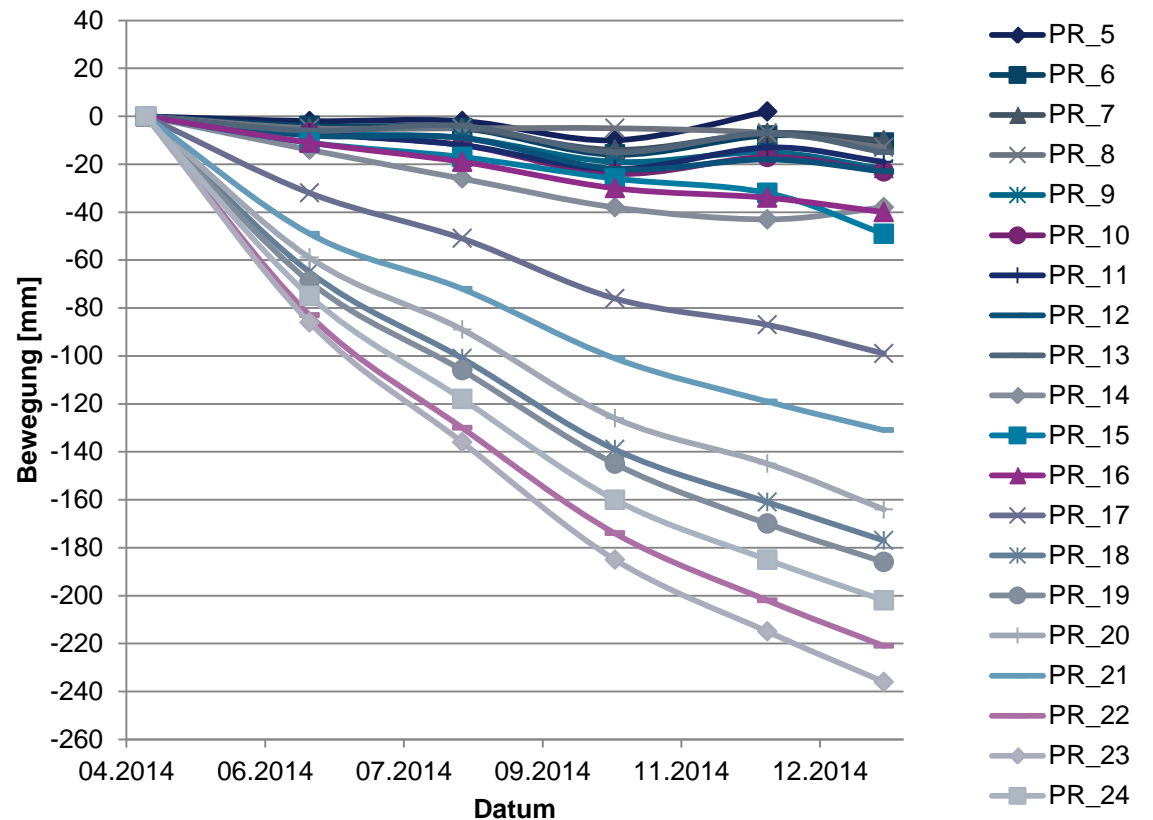
# Fragestellung 2

## Nivellement

Nivellement Pegelreflektor



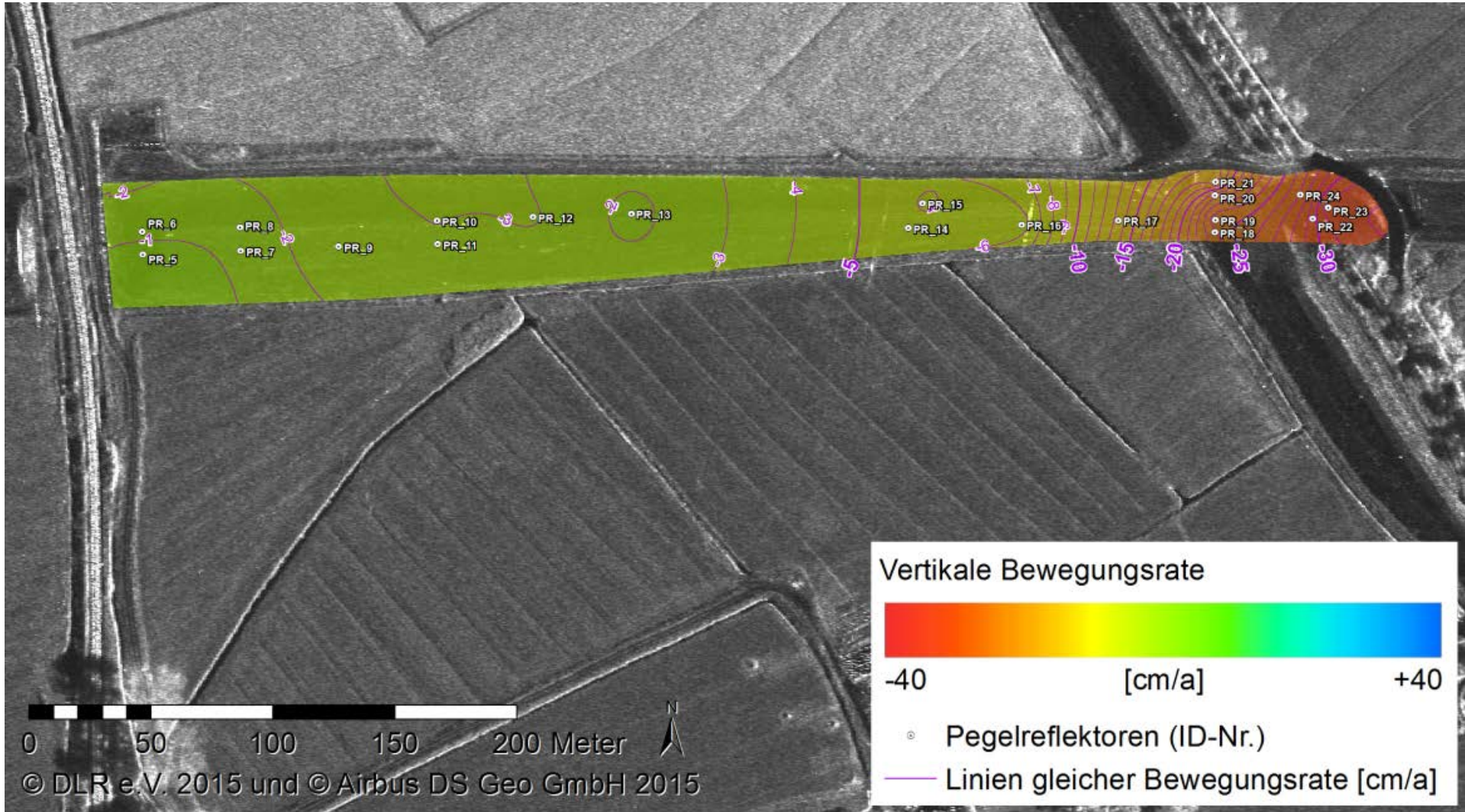
Nivellement Pegelstange



Abweichungen ab Messzeitpunkt 14.10.2014 wegen Sandabtransporten beim Rückbau des Schüttdammes (Reflektoren wurden z.T. verschüttet, schief gestellt oder in ihrer Höhe verändert).

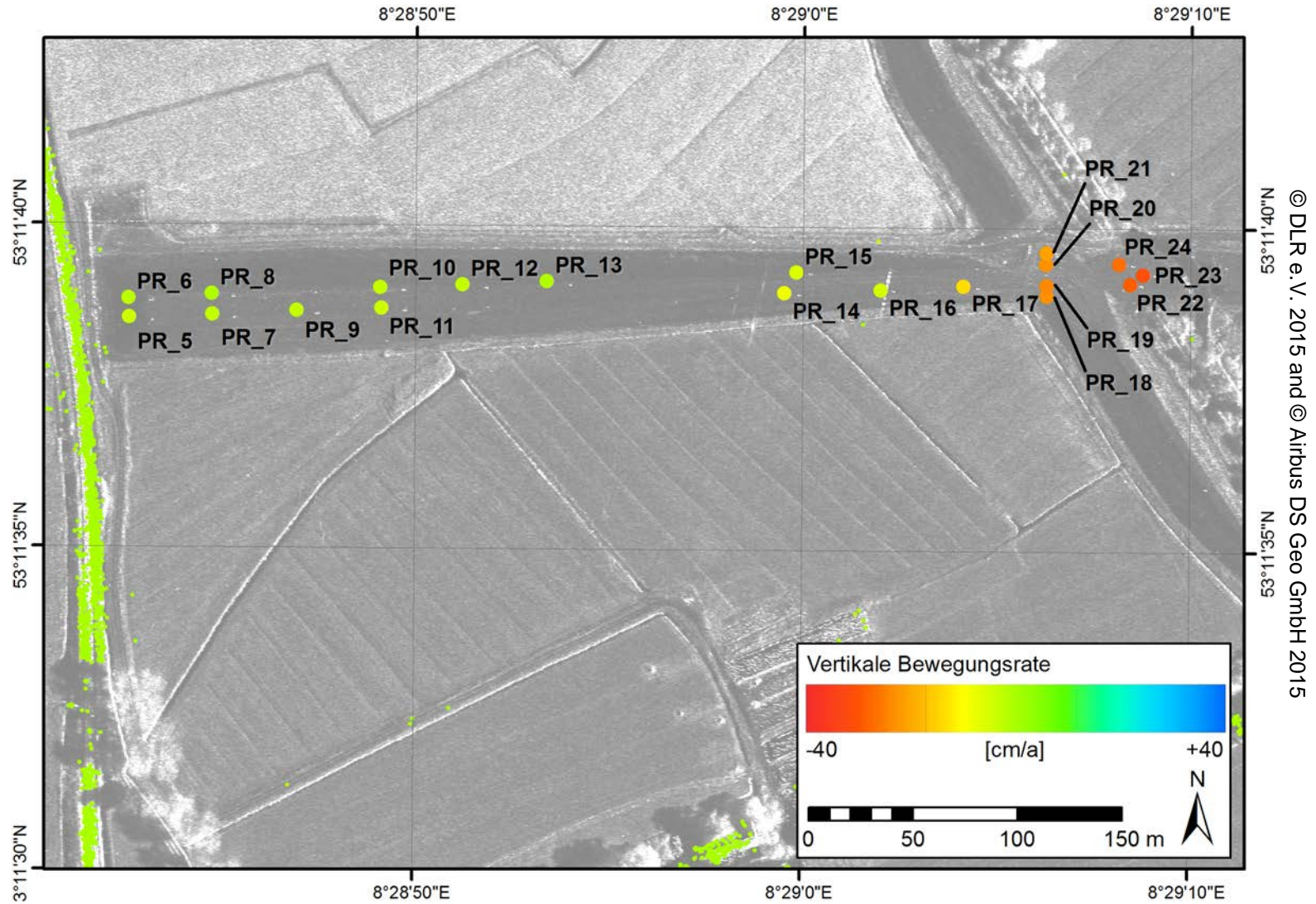
# Fragestellung 2

## Nivellement - Pegelstangen



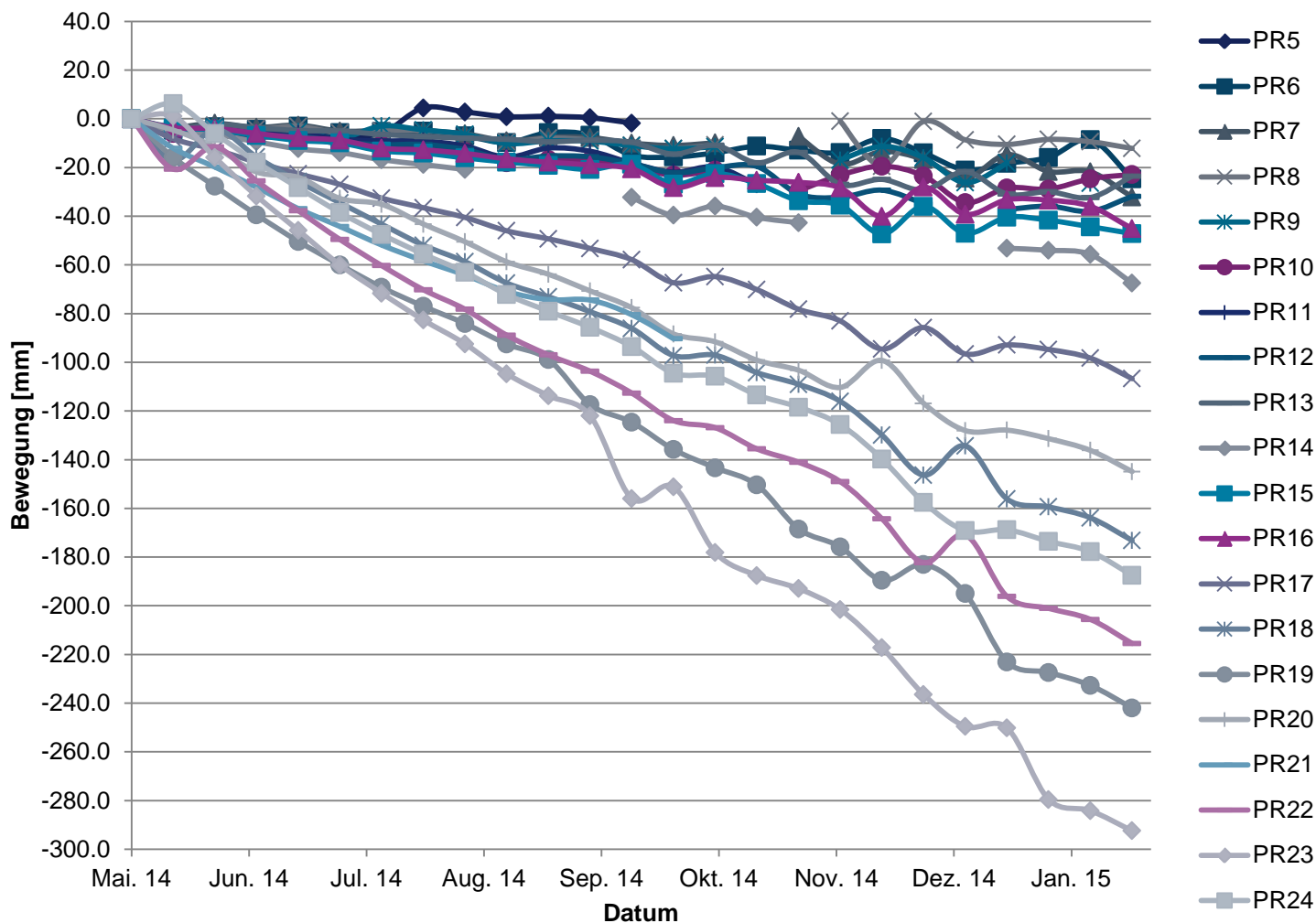
# Fragestellung 2

## Bodenbewegungskarte



# Fragestellung 2

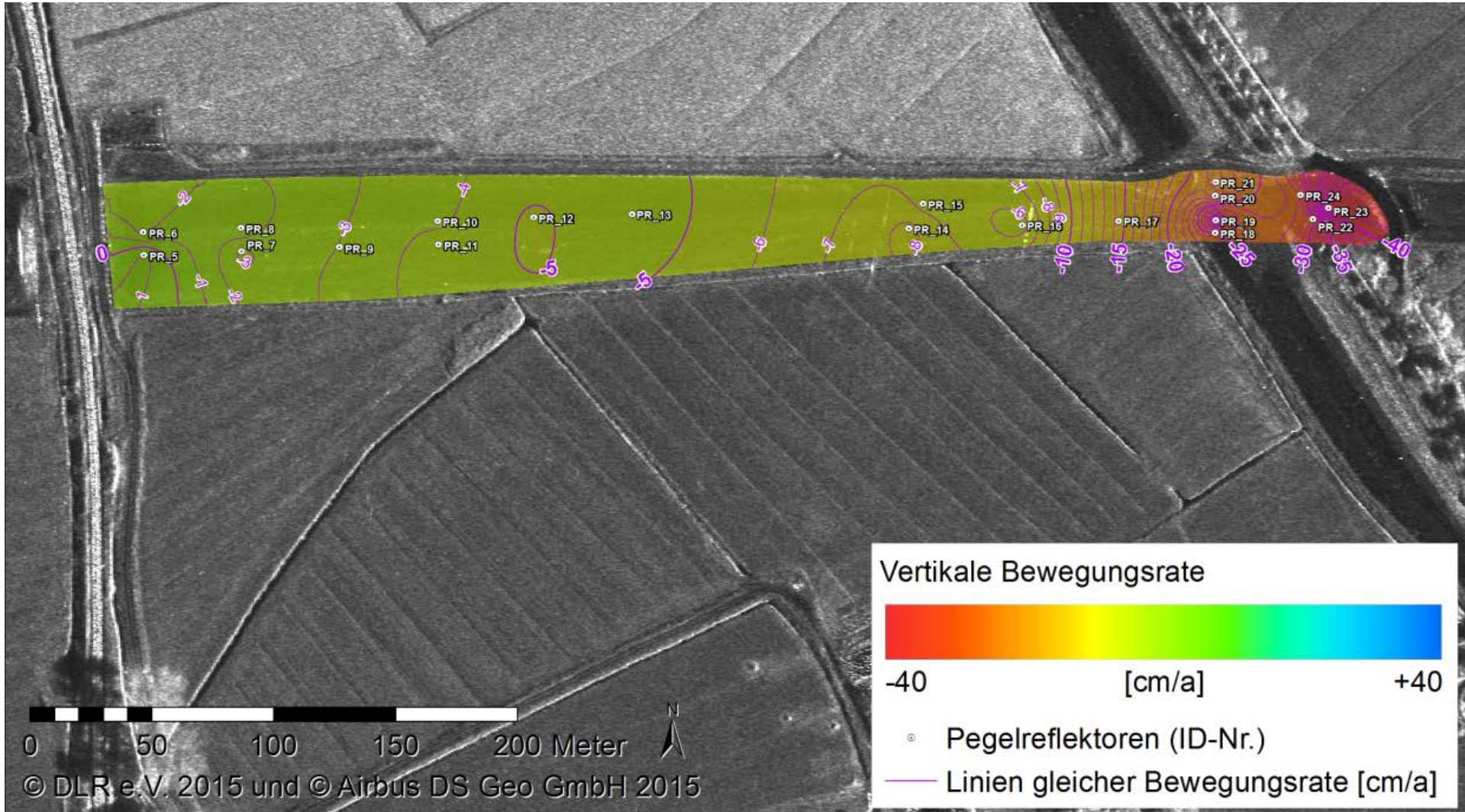
## Bewegungszeitserien Pegelreflektoren aus Satellitendaten



© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 2

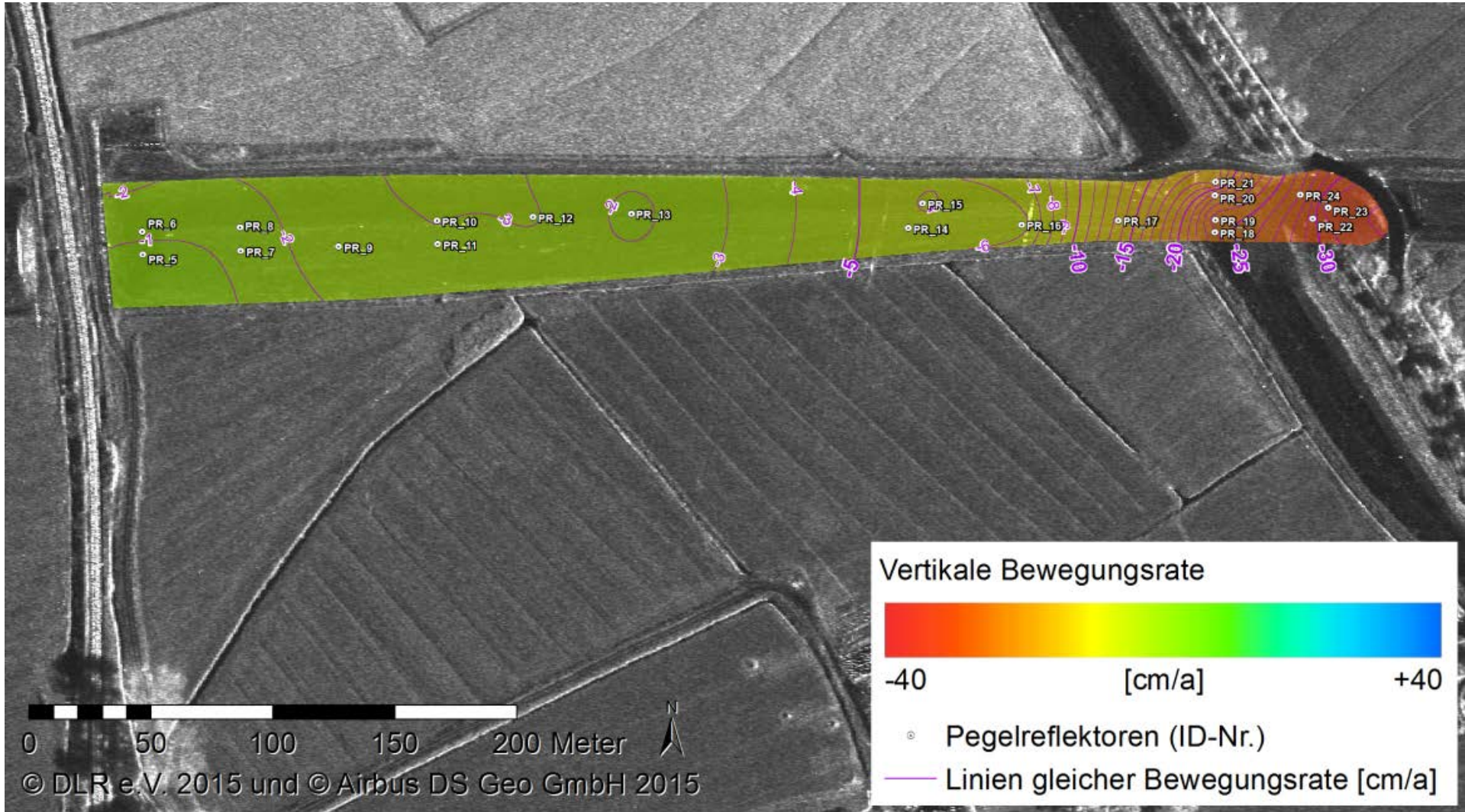
## Satellitengestützte Messungen



© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

# Fragestellung 2

## Nivellement - Pegelstangen



© 2014 Airbus Defence and Space - All rights reserved. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

## Terrestrisches Nivellement <> Satellitenüberwachung

- Terrestrisches Nivellement: hochgenaue und absolute Höhenmessungen, kann bei zunehmender Größe des Gebietes und Häufigkeit der Messungen kostenintensiv werden.
- Satellitenüberwachung: Abdeckung kilometergroßer Messgebiete, berührungslos mit einem niedrigen oder keinem Personaleinsatz vor Ort, viele mögliche Messpixel auf Straßen, weniger bis keine in Gebieten mit viel Vegetation -> dann Installation von Reflektoren. Einschränkung: messbar sind hauptsächlich langsame und konstante Bewegungen, z.B. kriechende Setzungserscheinungen oder sich langsam absenkende Dolinen (nicht z.B. ein plötzlich eintretender Erdfall oder Tagesbruch). Erstauswertung braucht mindestens 16 Aufnahmen um millimeter-präzise Bewegungsinformationen ableiten zu können.

# Herausforderungen zur operationellen Nutzung von Satellitenmessungen

- Aufnahme eines langfristigen Datenstapels: kommerzielle Missionen (z.B. TerraSAR-X) -> Konflikte mit anderen Nutzern; öffentliche Missionen (z.B. Sentinel-1) -> kein Einfluss auf Aufnahmen (möglicherweise sich ändernde Aufnahmeparameter)
- Für kleinräumige Bewegungsphänomene: Satellitenmethoden momentan teurer als terrestrische Vermessung. Beispiel hier: Kosteneinsparung durch die Satellitenmessung erst wenn der zu vermessende Dammabschnitt länger als 1800 m ist.
- Verständlichkeit der Technik – Anwendbarkeit ist abhängig von vielen Faktoren (Daten, Bewegungssignal, Methode, Nutzer), die oftmals nur durch eine Möglichkeitsstudie abgeschätzt werden können -> Beispiele für alle möglichen Anwendungsbereiche schaffen



## Nutzbarkeit von Sentinel-1 Daten

Bei der Wahl räumlich gröber aufgelöster Sentinel-1 C-Band Daten (5 m x 20 m):

- Bewegungsmonitoring von Straßen nur sehr eingeschränkt möglich (Mischpixel)
- Monitoring von Überschüttdämmen mittels Pegelreflektoren hingegen möglich, da sie etwa 50% mehr Bewegung eindeutig abbilden können als X-Band Satelliten bei gleichbleibender Aufnahmefrequenz, eventuell wirtschaftlich (da Satellitendaten kostenlos), größere Pegelreflektoren wären notwendig

## Konkrete Empfehlungen

- Datenaufnahme: Aufbau langfristiger Datenstapel unterstützen
- Straßenüberwachung: Testen von großräumigem Bewegungsmonitoring von Fahrbahnoberflächen mit hochaufgelösten X-Band Daten
- Straßenplanung: Berechnen von Bodenbewegungen im geplanten Trassenverlauf mittels Archivdaten unterschiedlicher Satelliten (bis in das Jahr 1992), v.a. in Gebieten mit Hangrutschen, (Alt)-Bergbau oder Erdfällen.
- Tunnelbau: Bewegungsmonitoring für eine langfristige Beweissicherung und Dokumentation der Bewegungen des betroffenen Gebiets.

## Forschungsbedarf

- Kombination punktueLLer und seltener terrestrischer Vermessung mit großflächiger und häufiger satellitengestützter Bodenbewegungsmessung
- Bodenbewegungsmonitoring mit Sentinel-1 Daten (Probleme wie Burst Synchronisation & Atmospheric Phase Screening)
- Kombination von phasenbasiertem Bewegungsmonitoring mit amplitudenbasierten SAR Geodesy bei starken horizontalen Bewegungen

# Danksagung

Airbus DS bedankt sich

- bei der Bundesanstalt für Straßenbau (BASt) für die Finanzierung und Zusammenarbeit während des Forschungsprojekts,
- bei den Projektpartnern Ruhr Universität Bochum – Lehrstuhl für Verkehrswegebau (vor Ort Texturmessungen),
- insbesondere bei der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (regionale Geschäftsbereiche Oldenburg und Hannover) und dem Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, sowie
- bei allen anderen beteiligten Straßenbehörden der Länder, wie z.B. dem Regierungspräsidium Freiburg (Abteilung Straßenwesen und Verkehr), der Bayrischen Straßenbauverwaltung und dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen.

## Kontakt

**Dr. Michael Riedmann**

Application Development Manager, Geo-Intelligence  
Airbus Defence and Space

Platz der Einheit 14, 14467 Potsdam, Germany

T +49 331 237 484 22

F +49 331 237 484 27

Email [ITD-SMM@airbus.com](mailto:ITD-SMM@airbus.com)

[www.airbus-geo.com](http://www.airbus-geo.com)