



MSL_ABSOLUT

UNTERSUCHUNGEN ZUM ABSOLUTEN MEERESSPIEGELANSTIEG AN DER DEUTSCHEN NORD- UND OSTSEEKÜSTE (03KIS116, 03KIS117)



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen, Universität Siegen
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Niemeier, TU Braunschweig

Projektpartner

Universität Siegen

Prof. Jürgen Jensen

Dr. Sönke Dangendorf



Kooperationspartner

Old Dominion University/ NASA Sea Level Team

Prof. Benjamin Hamlington

Institute Mediterrani d'Estudis Avancats (IMEDEA)

Dr. Marta Marcos

Technische Universität Braunschweig

Prof. Wolfgang Niemeier

Dr. Dieter Tengen

Dipl.-Math. Christine Schottmüller



Kooperationspartner

Technische Universiteit Delft

Prof. Ramon Hanssen

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen (AdV), Arbeitskreis Raumbezug

Dr. Cord-Hinrich Jahn

Hintergrund

Sonnabend, 8. Juni 1985 Cellesche Zeitung – Seite 9

Meeresspiegel alarmierend angestiegen – Bedrohung für die Deichsicherheit

In 25 Jahren 16 Zentimeter: Sind von Menschen verursachte Klimaveränderungen der Grund?

KIEL/BRAUNSCHWEIG (Ini). – Der Meeresspiegel an der deutschen Nordseeküste hat sich in den vergangenen 25 Jahren dramatisch erhöht. In der Deutschen Bucht ist das mittlere Hochwasser in diesem Zeitraum um 16 Zentimeter angestiegen. Mit dieser für die Deutschen alarmierenden Beobachtung ist jetzt der Wasserbauingenieur Professor Alfred Führböter vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig an die Öffentlichkeit getreten.

Bislang hatten Küsteningenieure und Deichbauer einen mittleren Meeresspiegelanstieg von etwa 25 Zentimetern in 100 Jahren bei der Berechnung der Kronenhöhe der Landes- schutzdeiche zugrunde gelegt. Der jetzt auf einer Fachtagung in Kiel bekannt gewordene Wert von 16 Zentimetern in 25 Jahren wirft jedoch alle Sicherheitsberechnungen über den

Haufen. Er bedeutet, daß bereits heute die Sicherheitsreserve, die für die Bemessung der Deichhöhen gültig ist, zu mehr als zwei Dritteln aufgezehrt ist.

Professor Führböter stützt seine Beobachtungen auf die Auswertung von zehn Pegelstationen an der deutschen Nordseeküste. Drei liegen auf den Inseln Borkum, Nordsee- und Vögeland, zwei auf der Halbinsel Jade- haven und drei in den Hafenorten Büsum, Husum und Dagebüll. Das Zahlenmaterial reicht zurück bis in die 1950er Jahre.

Die über 50 Jahre schützenswerten Wasserstände bestätigen zwar den alten Wert von 25 Zentimetern pro Jahrhundert, Führböter fand jedoch gerade für die letzten 25 Jahre vor 1983 (bis dahin reichen seine Meßreihen) den starken Meeresspiegelanstieg. Diese Entwicklung weist eine steigende Tendenz auf.

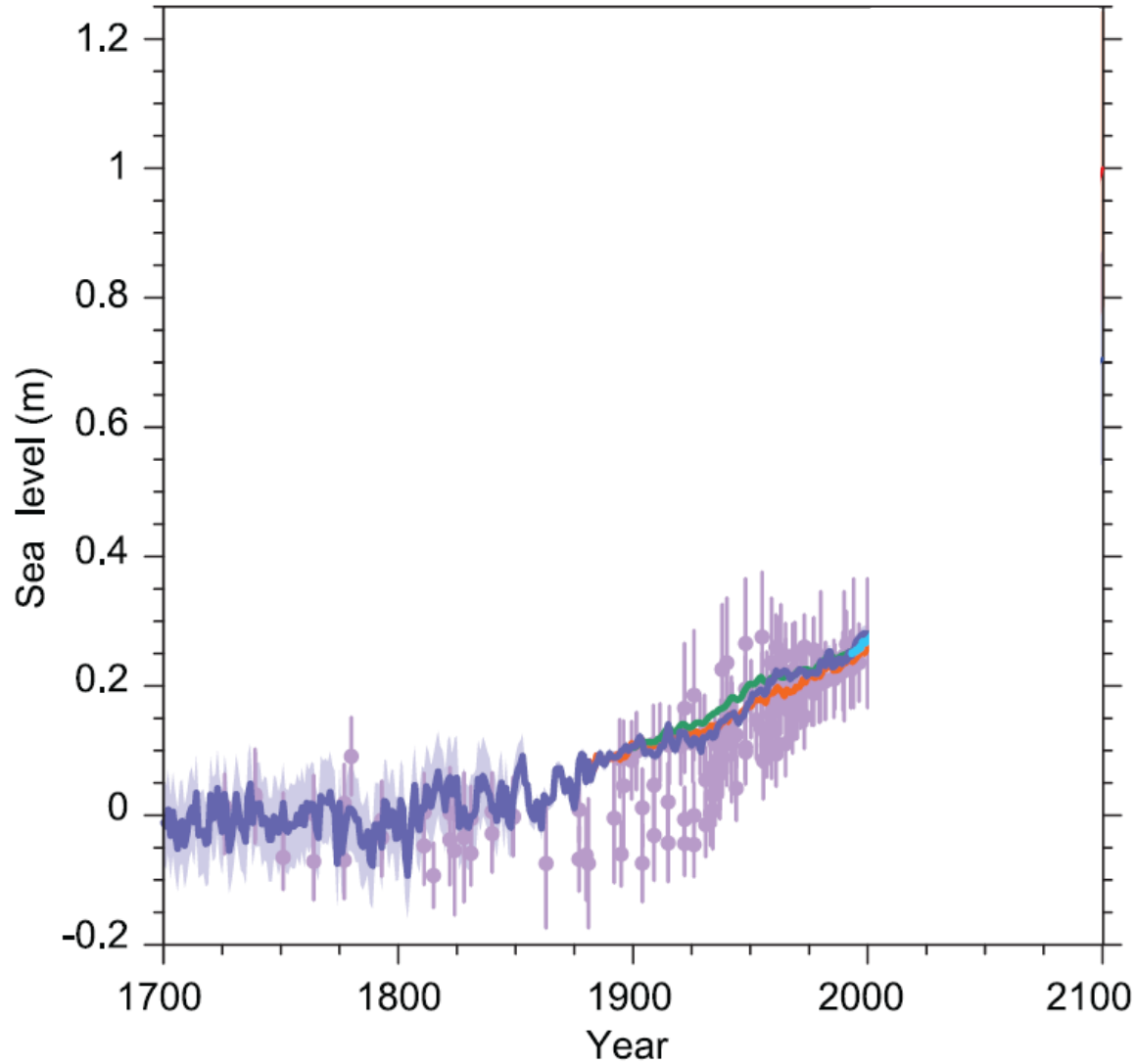
Das jetzt von Professor Führböter vorgelegte Zahlenmaterial legt die Frage nahe, „in welchem Maße die natürlichen Entwicklungen von anthropogenen (vom Menschen ausgelösten) Einflüssen überlagert werden.“

Ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels in der von Führböter festgestellten Größenordnung hätte nicht nur gravierende Auswirkungen auf die Deichsicherungen, sondern würde auch den Sockel zahlreicher Inseln angreifen und großflächige Erosionen im Wattenmeer nach sich ziehen. Auf der Kieler Tagung legte er Zahlen vor, wonach sich der Küstenrückgang auf Sylt seit 1950 etwa verdreifacht habe. Die Kliffabbrüche hätten von durchschnittlich 0,5 Metern auf 1,5 Metern pro Jahr zugenommen. Die Küstenlinie sei um 10 bis 20 Meter gefährdeter als bisher bis zum Deich vordringen und unabsehbare Schäden anrichten. Die größeren Wassermengen vor der Küste führen in den Prielen und Schiffschiffsrinnen zu höheren Strömungsgeschwindigkeiten, die eine unerwünschte Verlagerung und Ausräumung der Wasserstraßen bewirken können. Die Abnahme des Niedrigwassers würde Schiffe mit großem Tiefgang behindern.

Führböter stellte fest, daß Jahren mit hohen Wasserständen an der Nordsee im allgemeinen auch Jahren mit hohen Wasserständen in der Ostsee entsprechen. Das bedeutet nach seinen Worten, „daß die langfristigen Änderungen der mittleren Wasserstände an der Nordsee nicht allein den Raum der Deutschen Bucht erfassen, sondern großräumig über Skagerrak und Kattegat bis in die Ostsee hinein wirken“.

Ein Meeresspiegelszenario von bis zu **60 cm Anstieg des MThw in 100 Jahren** (JENSEN 1984, FÜHRBÖTER und JENSEN 1985) wird damals als Überschätzung abgelehnt!

Hintergrund



CHURCH ET AL., 2013

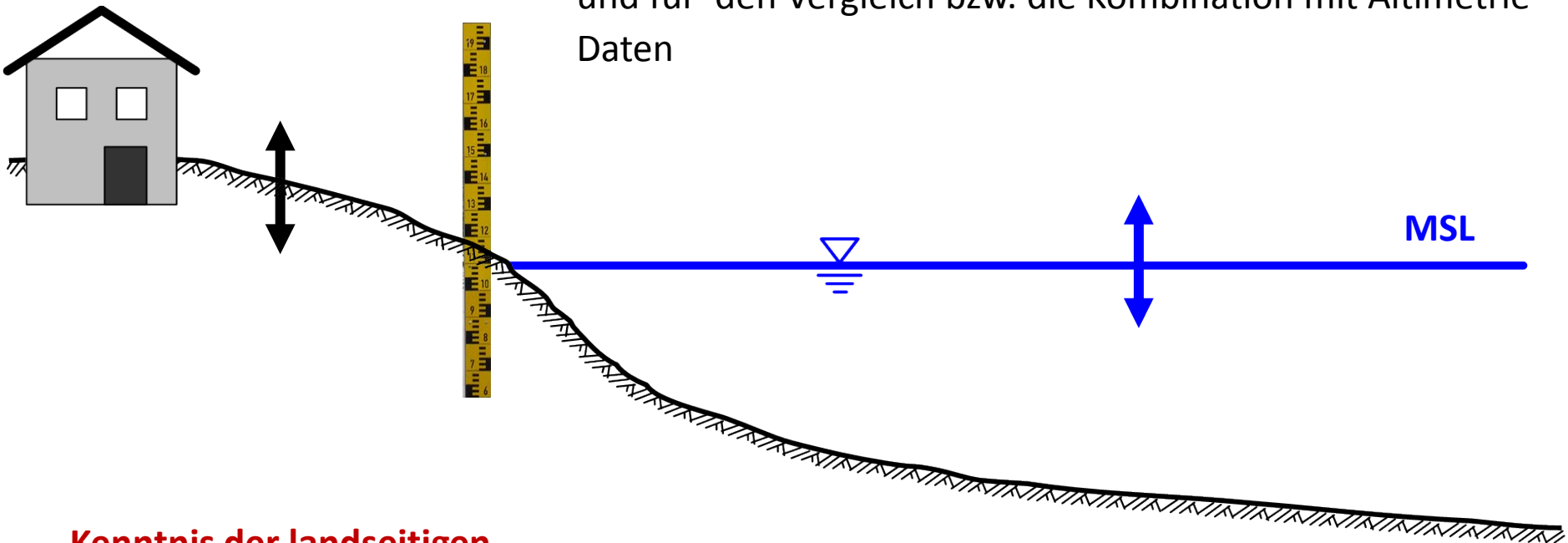
Fragestellungen

Relativer MSL:

wichtigster Parameter für viele Aufgaben im Bereich des Küsteningenieurwesens

Absoluter MSL:

wichtiger Parameter für die Verifikation von Klimamodellen und für den Vergleich bzw. die Kombination mit Altimetrie-Daten



**Kenntnis der landseitigen
Vertikalbewegungen!**

Schwerpunkt für TU Braunschweig: Nachweis der landseitigen Vertikalbewegungen

Sensorik und verfügbare Datenbasis

1. Nivellementsdaten

Wenige wiederholte Messungen in Epochen,
hochgenaue linienhafte Bestimmung von Höhen

2. GNSS Zeitreihen

Punktuelle zeitkontinuierliche Informationen,
z.B. SAPOS und an Pegelstationen
Zeitreihen z.T. erst über 10 Jahre verfügbar

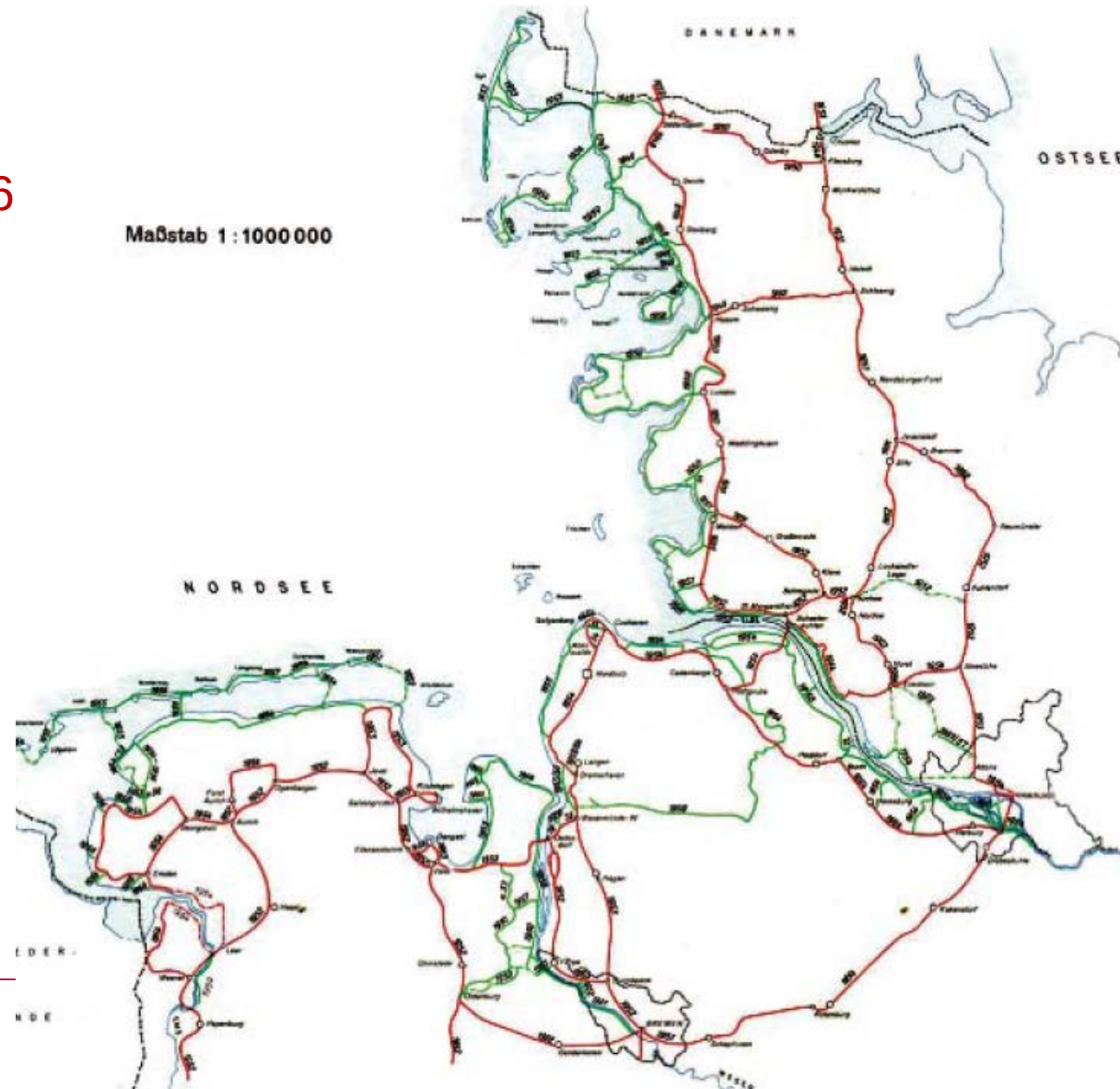
3. Radar-Szenen

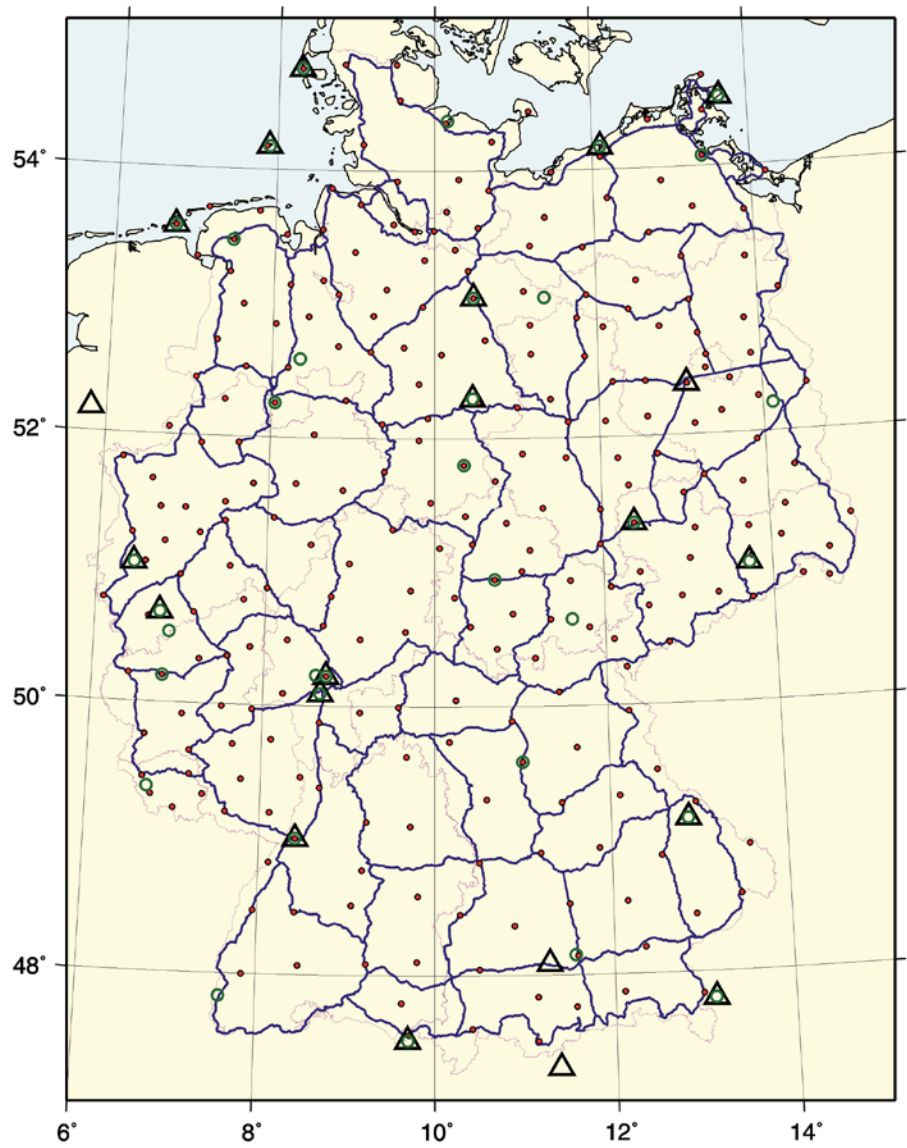
Auswertung nach Methoden der Radarinterferometrie:
DInSAR, SBAS, PSI
Hohe Genauigkeit, grundsätzlich flächenhafte Information,
allerdings sind Probleme bei Vegetation zu erwarten.

Wiederholte Ausmessung von Nivellementsnetzen

NKN I, II und III sowie
Erneuerung des DHHN2016

Küstenlinien sind erfasst im
NKN I (1925-30) und
NKN II (1955-60),
**später nur sporadisch
nachgemessen.**





— Netzentwurf DHHN (Stand 05.01.05)

— Grenzen der Bundesländer

• SAPOS - Stationen (Stand 30.11.04)

○ GREF - Stationen (Stand 30.03.05)

△ IGS/EPN - Stationen (Stand 30.03.05)

Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes 2006-2011

Messungen :

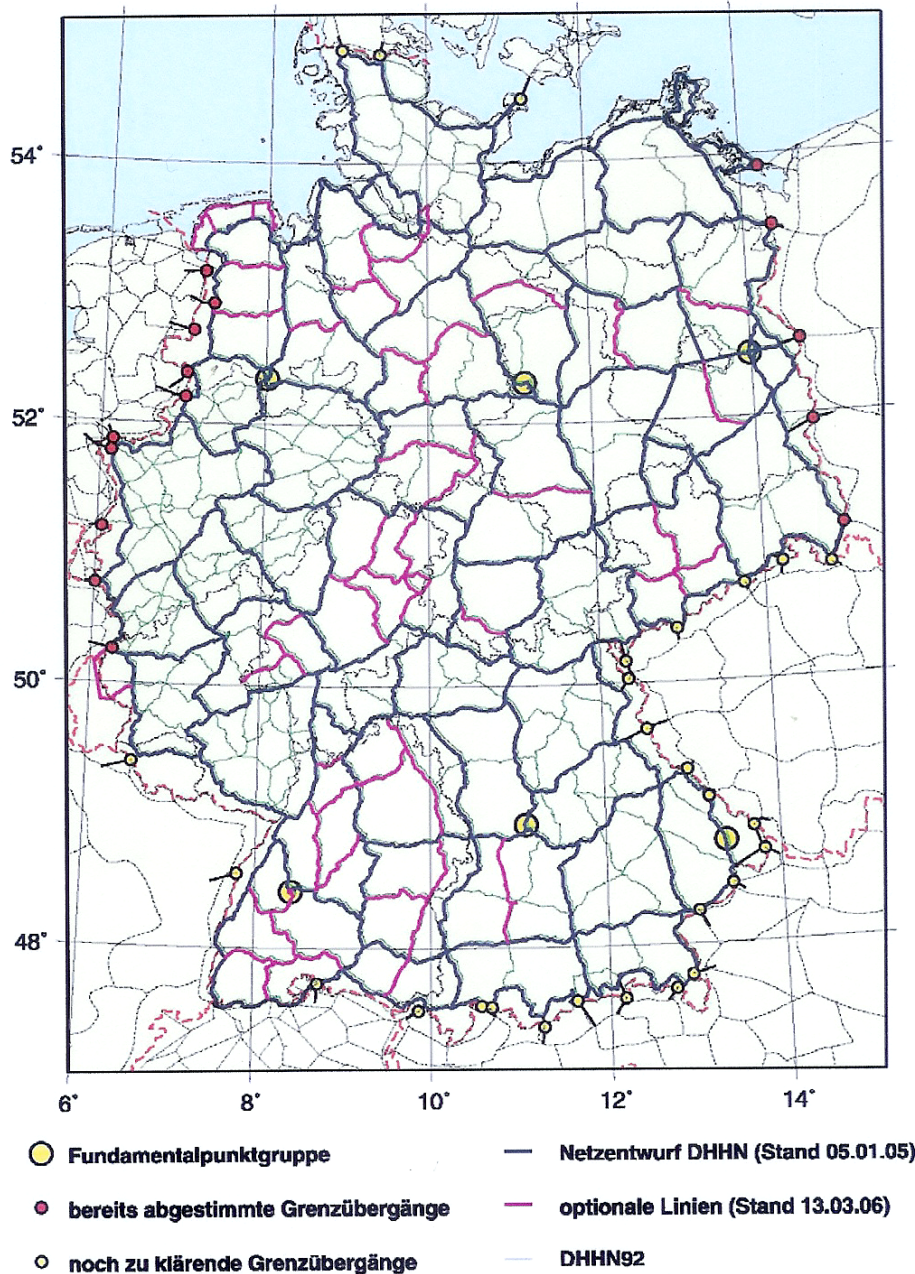
14.000 km Nivellement

GNSS Kampagne mit ca. 250 Punkten :
geometrischer Bezug zum Nivellement

SAPOS-Daten

Absolutschweremessung
auf GNSS Punkten

Netzentwurf mit optionalen Linien



Optionale Verdichtung des DHHN

Ländersache :

Linienführung entspricht
dann DHHN92

Grenzübergänge :

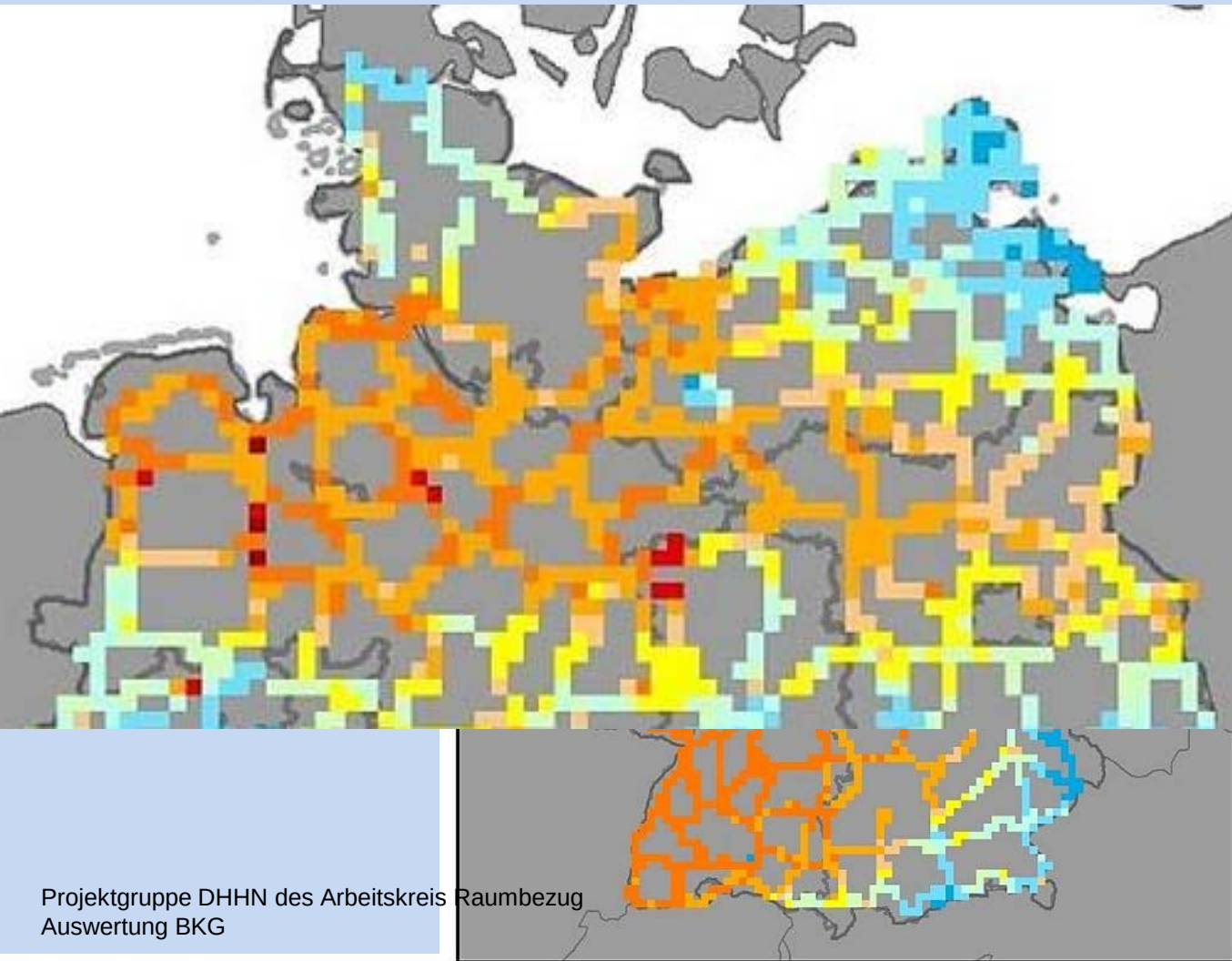
Einbindung in
Europäisches Netz



Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland

Raumbezug, DHHN-Erneuerung

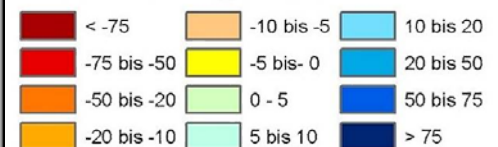
- zukünftige Entwicklungen (kinematische Betrachtung)



**Höhenänderungen
1992 vs. 2006-2012**

**Höhenänderungen
SAPOS®-Monitoring
Niedersachsen**

Höhenänderung in mm



Projektgruppe DHHN des Arbeitskreis Raumbezug
Auswertung BKG

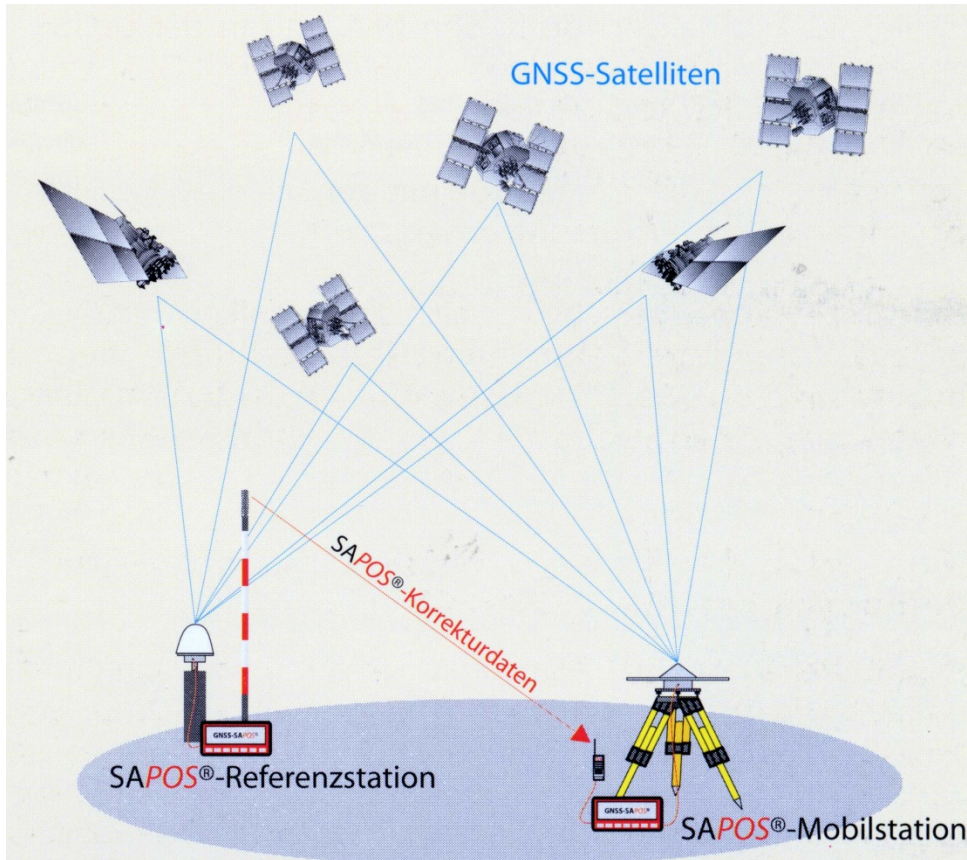
Zeitreihen für GPS (heute GNSS) Permanentstationen

Ab ca. 1996 stehen Zeitreihen
für GNSS-Stationen
der Landesvermessung
(SAPOS-System)
zur Verfügung.

In Schleswig-Holstein
erst ab ca. 2004, daher
im KFKI-Projekt IKÜS
nicht berücksichtigt.



Satellitenpositionierungsdienst in Deutschland



Zur Zeit sind in Deutschland ca. 280 GNSS-Referenzstationen in Betrieb

SAPOS umfasst vier Servicebereiche.

Mit differentielllem GNSS, werden hohe Genauigkeiten (cm, mm?) erreicht.

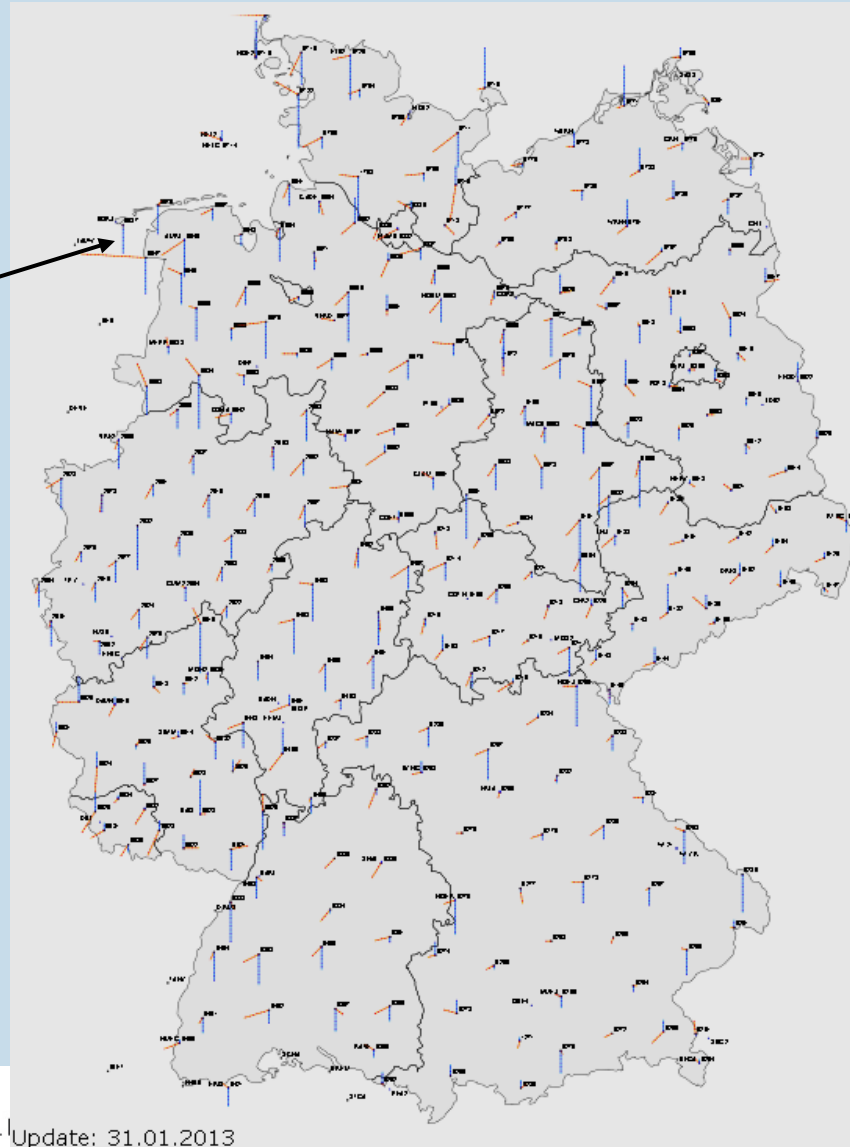
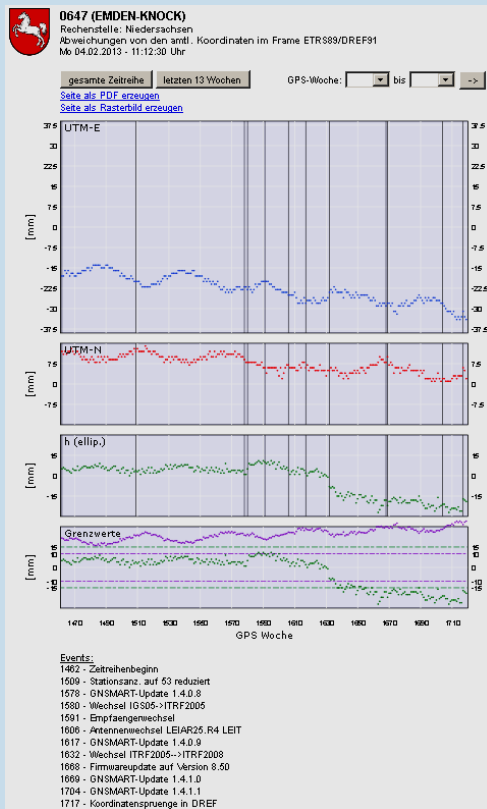
SAPOS ermöglicht satellitengestützte Positionsbestimmung in einem einheitlichen Bezugssystem



Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland

SAPOS® - Qualitätssicherung - Koordinatenmonitoring

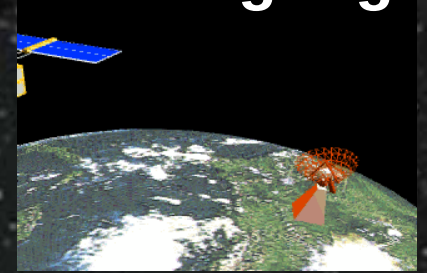
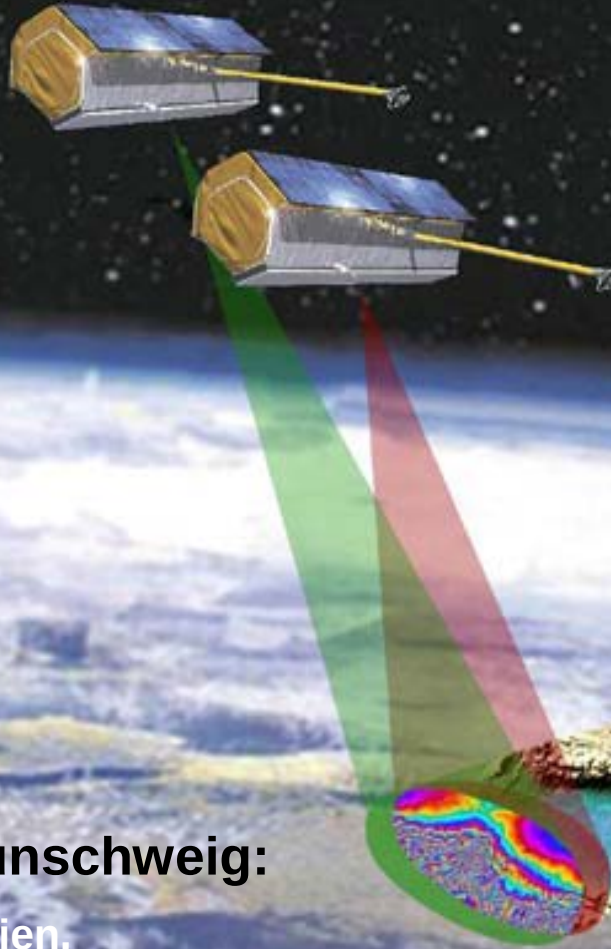
Amtl. Koord. ETRS89/DREF91
vs.
SAPOS®-Wochenlösungen
über DREF-Online nach
ETRS89/DREF91



Landseitige Vertikalbewegungen |
Niemeier | 10.11.16 |

AMTL. Update: 31.01.2013

Radar Interferometrie zum Nachweis von Bodenbewegungen



Erfahrungen an der TU Braunschweig:

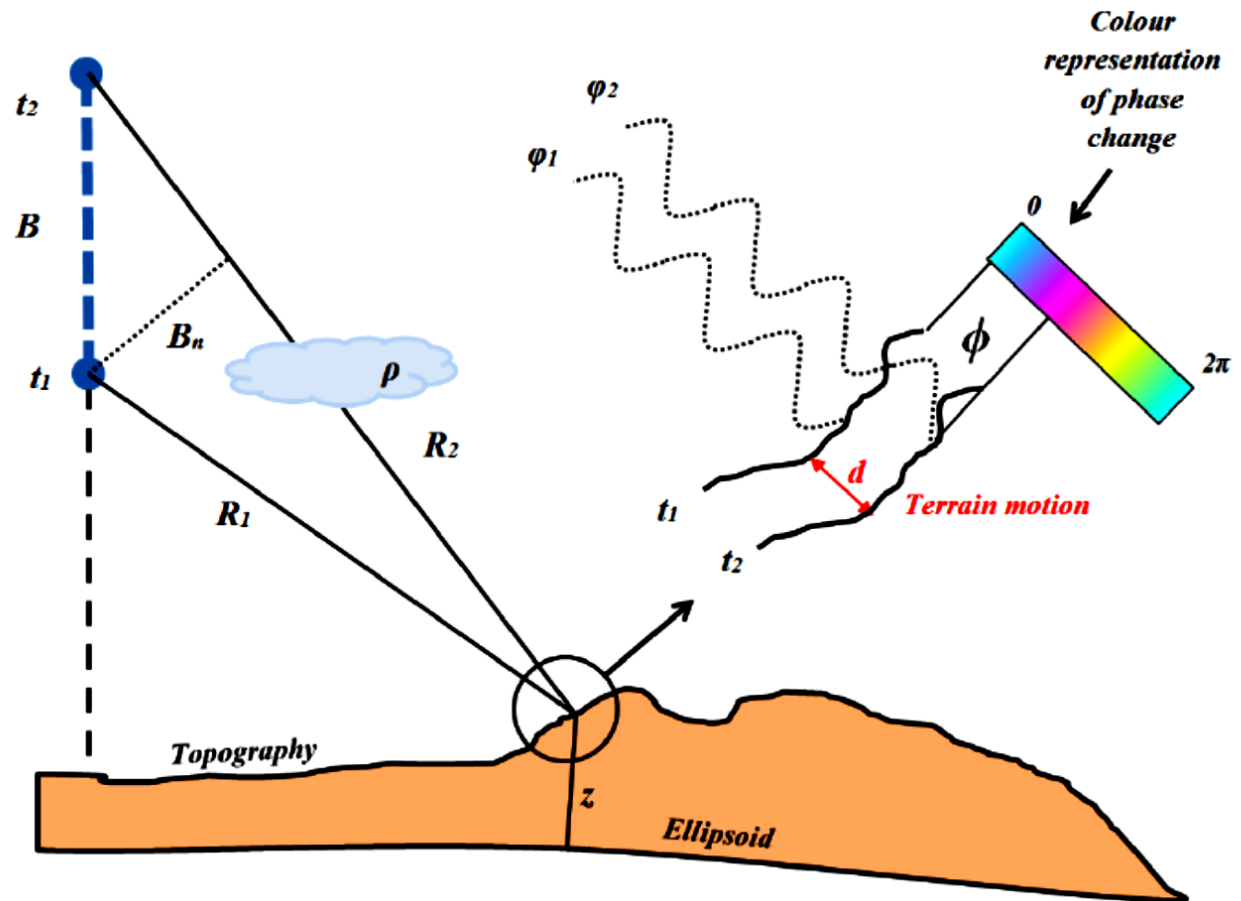
- Rutschungsgebiete in China, Italien, Griechenland, Ungarn, Rumänien
- Setzungsuntersuchungen in der Innenstadt von Düsseldorf, für Lüneburg, etc
- Setzungen im Küstenbereich Ensenada/Mexico

Radar-Fernerkundung

Flächenhafte Erfassung Höhenänderungen

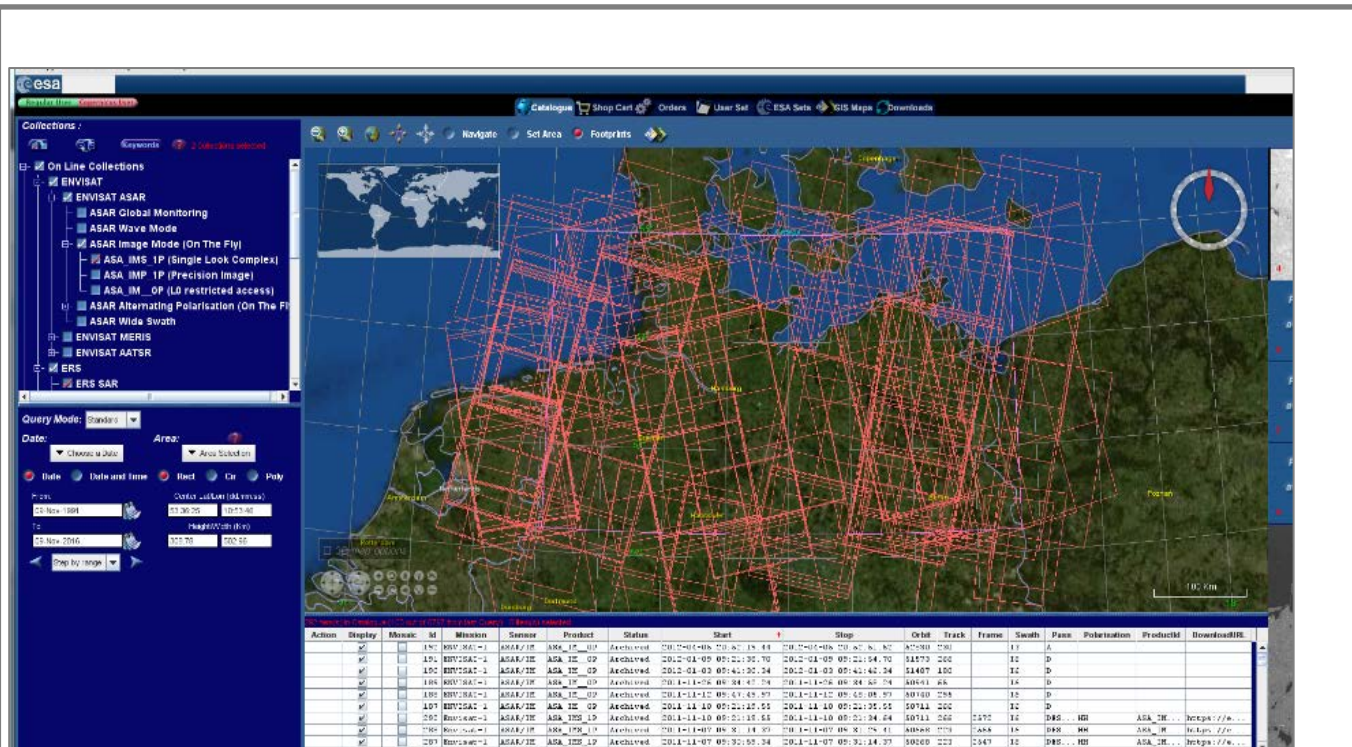
Ab ca. 1992 existieren Radar-Satelliten, die für den großflächigen Nachweis von Höhenänderungen genutzt werden können

- ERS 1 und 2
- ENVISAT
- TerraSAR-X
- Sentinel 1A



Gemessen werden Differenzen in der Phasenlage bei mehreren Messungen; Wellenlängen von 3 bis 5 cm ermöglichen eine Auflösung von mm für Veränderungen.

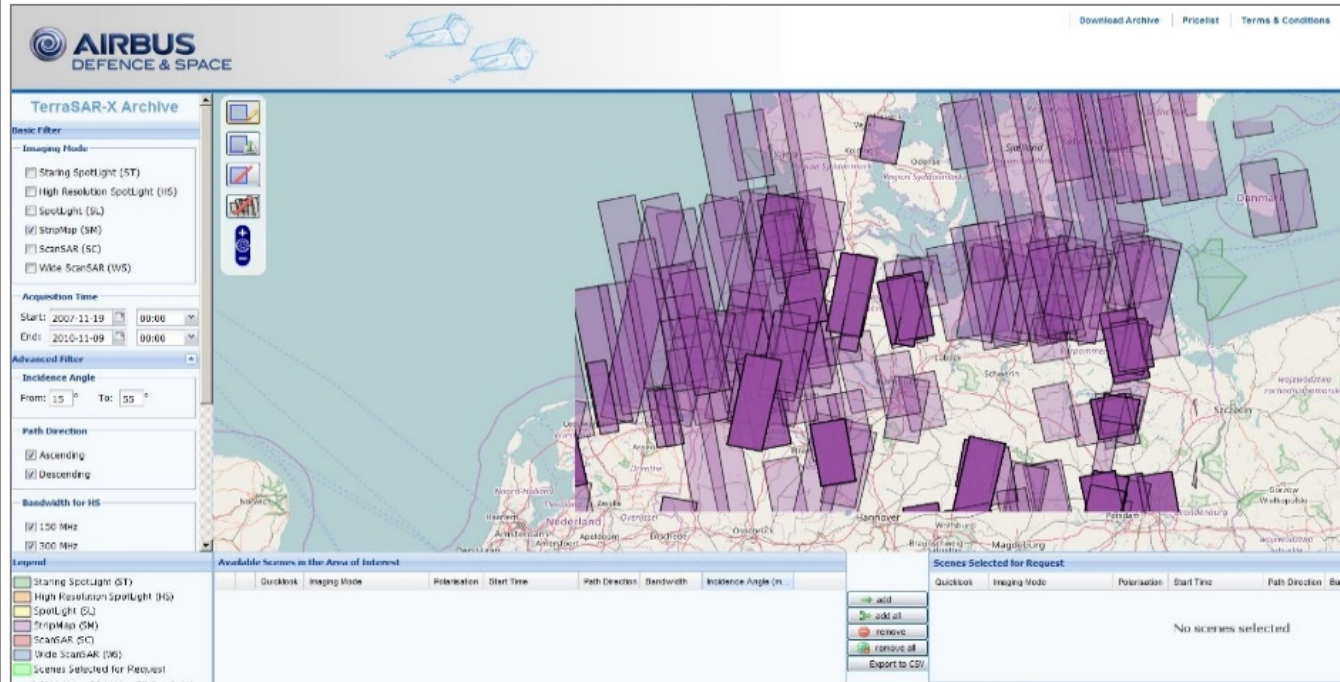
Radar Fernerkundungsdaten Verfügbarkeit



ENVISAT | Zeitraum 2002-2009 | 6797 Szenen

ERS 1/2 | Zeitraum 1992-2002 | 2917 Szenen

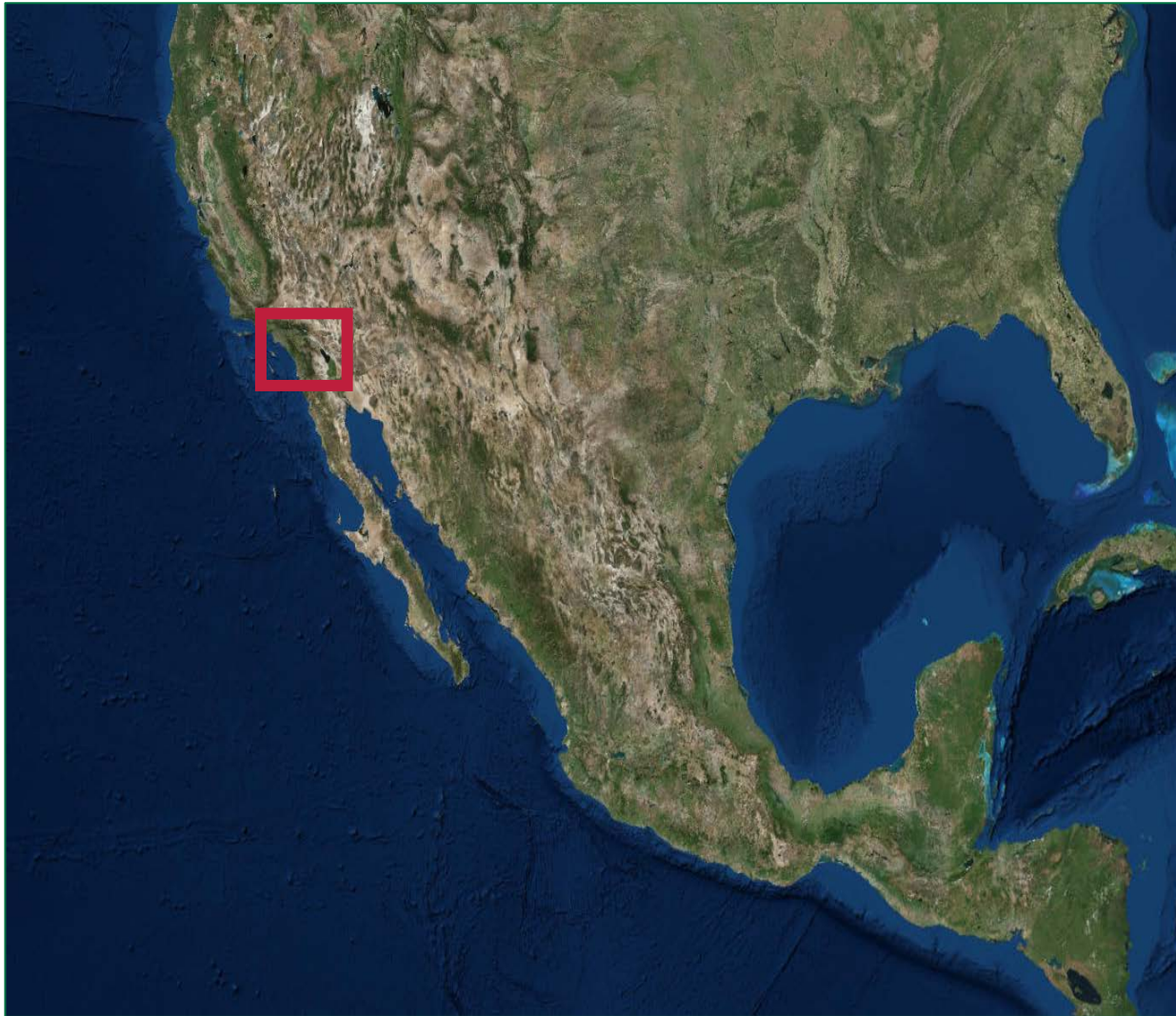
Radar Fernerkundungsdaten Verfügbarkeit



TerraSAR-X | Zeitraum 2007 -2010 (in dieser Darstellung)

Sentinel 1A | seit 2014 | Überflug alle 12 Tage
Sentinel 1B | seit 4.2016 | Überflug alle 6 Tage

Study area: Ensenada, Mexico

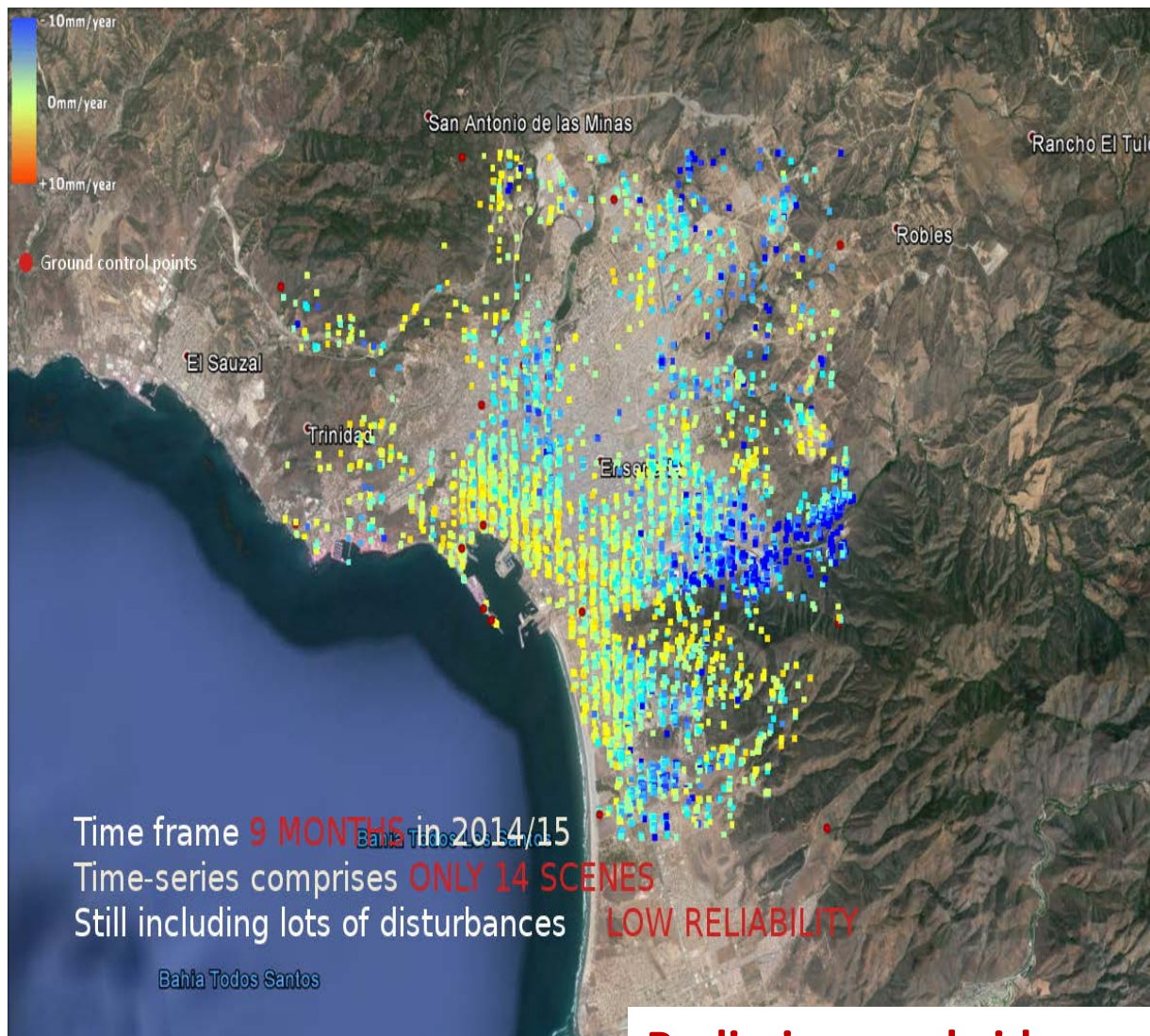


Ensenada
Baja
California



Technische
Universität
Braunschweig

Vorläufige Ergebnisse der Radar-Interferometrie mit Sentinel-Daten



- Detection of earth surface changes with mm-accuracy
- High resolution topographic mappings
- Soil moisture assessment for flood forecasting

Preliminary subsidence signals 2016.



Auswerte-Methodik:

Kombination der verschiedenen geodätischen Datenquellen

1.) Mathematisch-statistisches Modell der Flächenapproximation unter Nutzung von Radialen Basisfunktionen.

Erlaubt die Bestimmung eines Geschwindigkeitsfeldes mit nichtlinearen Anteilen (weiterentwickelt aus den IKÜS-Ansätzen)

2.) Geostatistisches Modell der Zusammenfassung von Einzelinformationen, d.h. direkte Kombination der Informationen über Vertikalbewegungen.

Erlaubt ebenso die Bestimmung von nichtlinearen und lokal unterschiedlichen Bewegungen (ggf. bessere Berücksichtigung von anthropogenen Effekten).

Anbindung der Pegelmessungen

Bereitstellung von Zeitreihen für Höhenänderungen im Bereich der Pegelstationen

Parametrisierung von Höhenänderungen

$H(t) - H(t_0) = (H(t_0) = \text{Referenzhöhen zu einer Ausgangsepoch } t_0)$

+ $\Delta H(t - t_0)$ Bewegungstrend :
linear oder höhere Funktion ?

+ S Saisonale Effekte, :
Periodische Funktionen

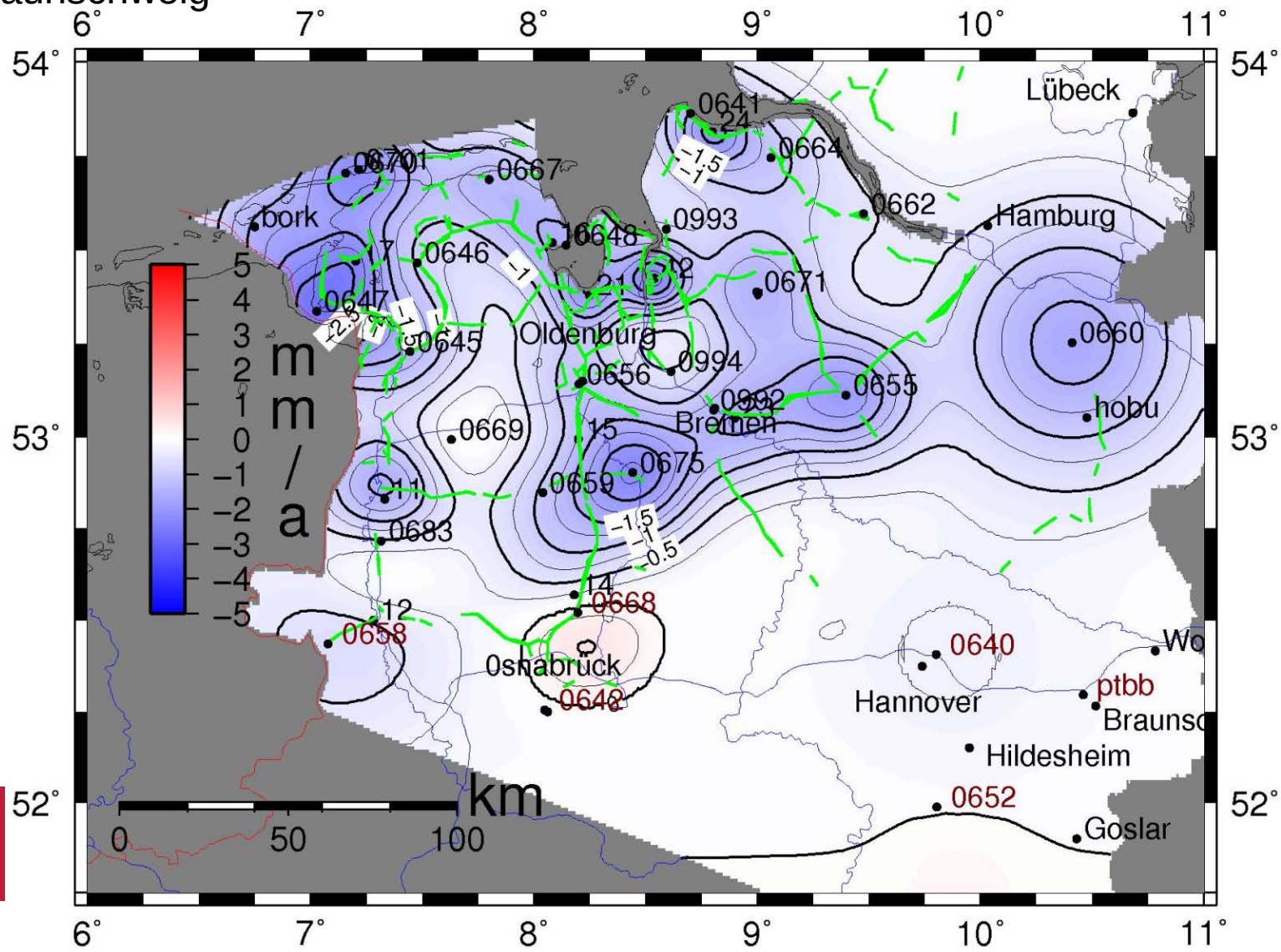
+ T Technogene Einflüsse:
Erdöl-, Erdgasentnahme, Bergbau,
Grundwasserabsenkung, ...

+ N Nachbarschaft : Gleichartiges
Verhalten in benachbarten Bereichen

+ E Weitere Effekte und Restfehler

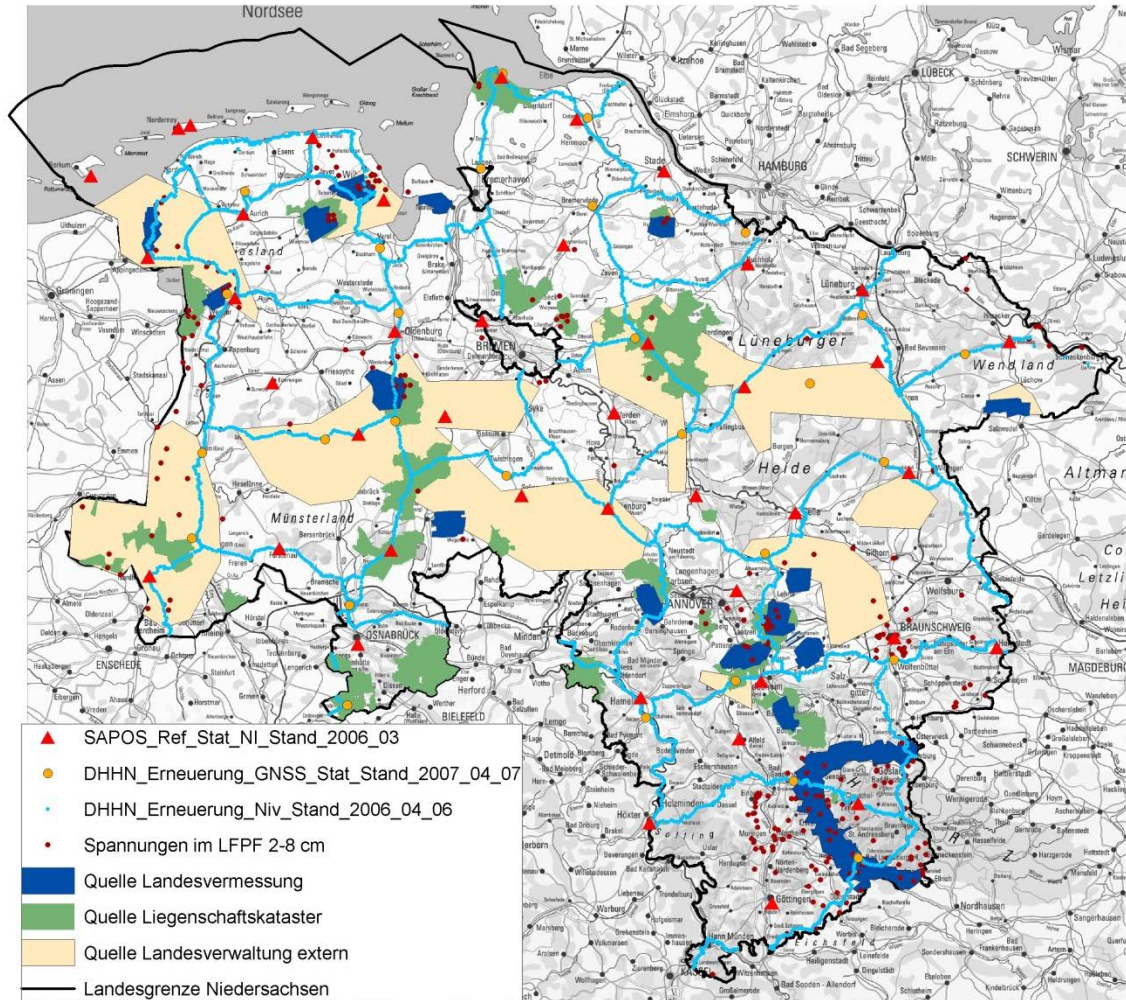
Ergebnisse der Kombination von Nivellement und GPS (KFKI-Projekt IKÜS, abgeschlossen 2008)

Auswertemodell, Programmierung und Berechnung:
IGP, TU Braunschweig



Beitrag zum Monitoring der festen Erde

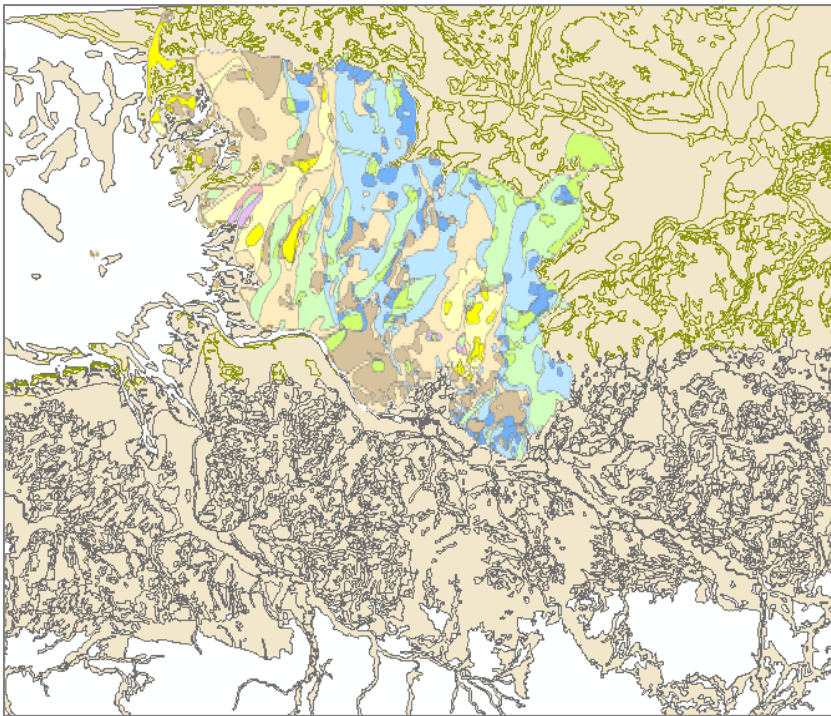
- Bodenbewegungen am Beispiel NI
Stand: 2/2007
- Bis zu 30% der Landesfläche zeigen Bewegungen bis zu 1 cm pro Jahr



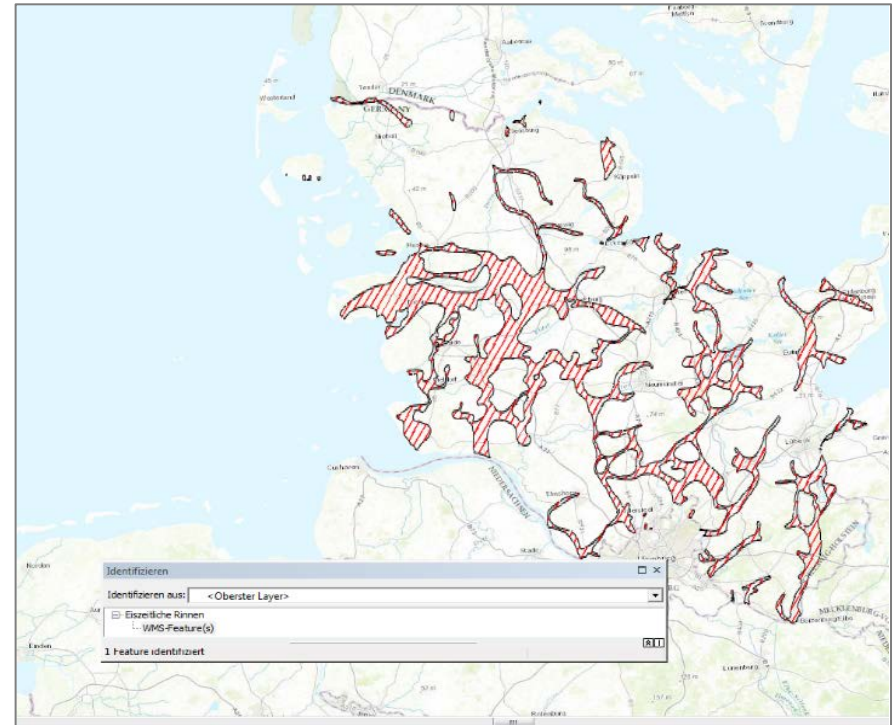
Aufbau einer georeferenzierten Projektdatenbank | GIS- Schnittstelle

Beispiele relevanter Datenarten

Hydrologie



Hydrogeologische Profiltypen

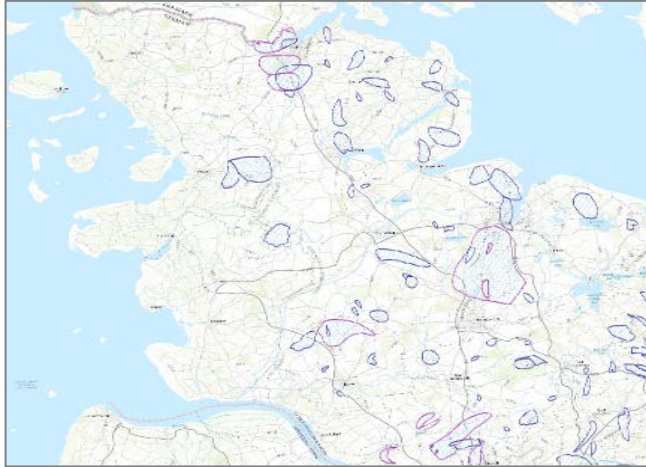


Eiszeitliche Rinnen

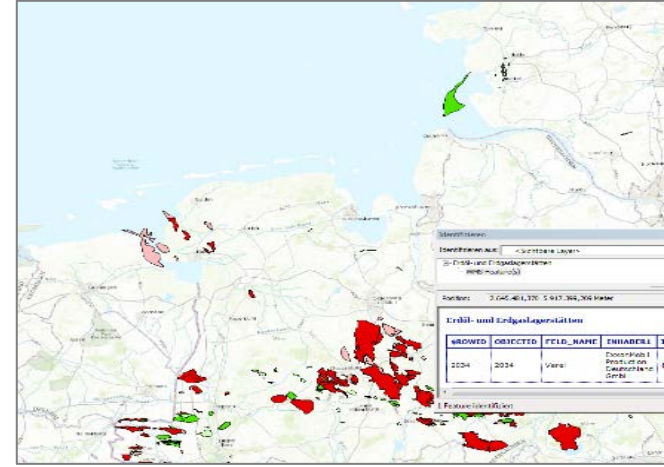
Aufbau einer georeferenzierten Projektdatenbank | GIS- Schnittstelle

Beispiele relevanter Datenarten

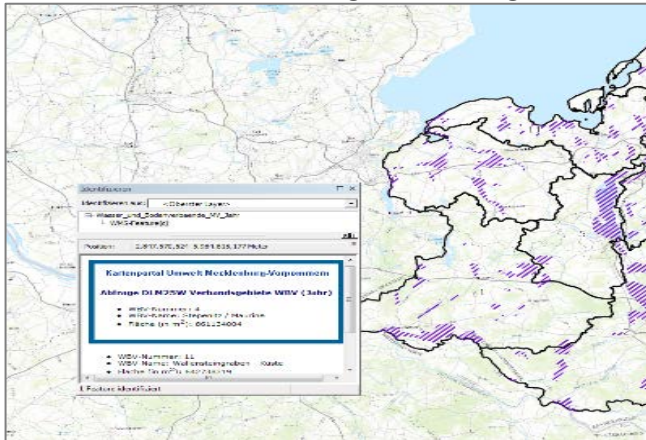
Bodennutzung | Anthropogene Effekte



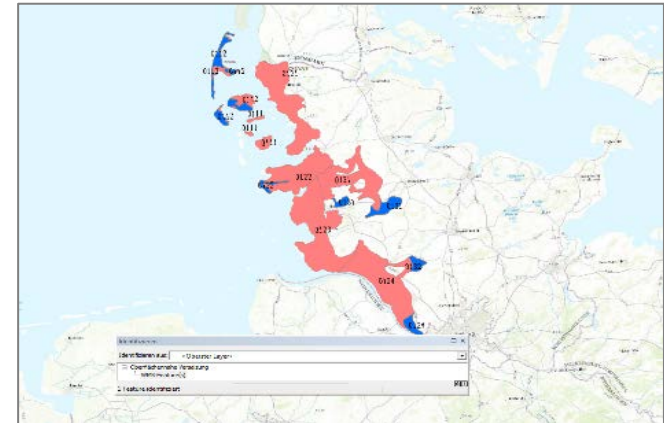
Trinkwassergewinnung



Erdöl- und Erdgaslagerstätten

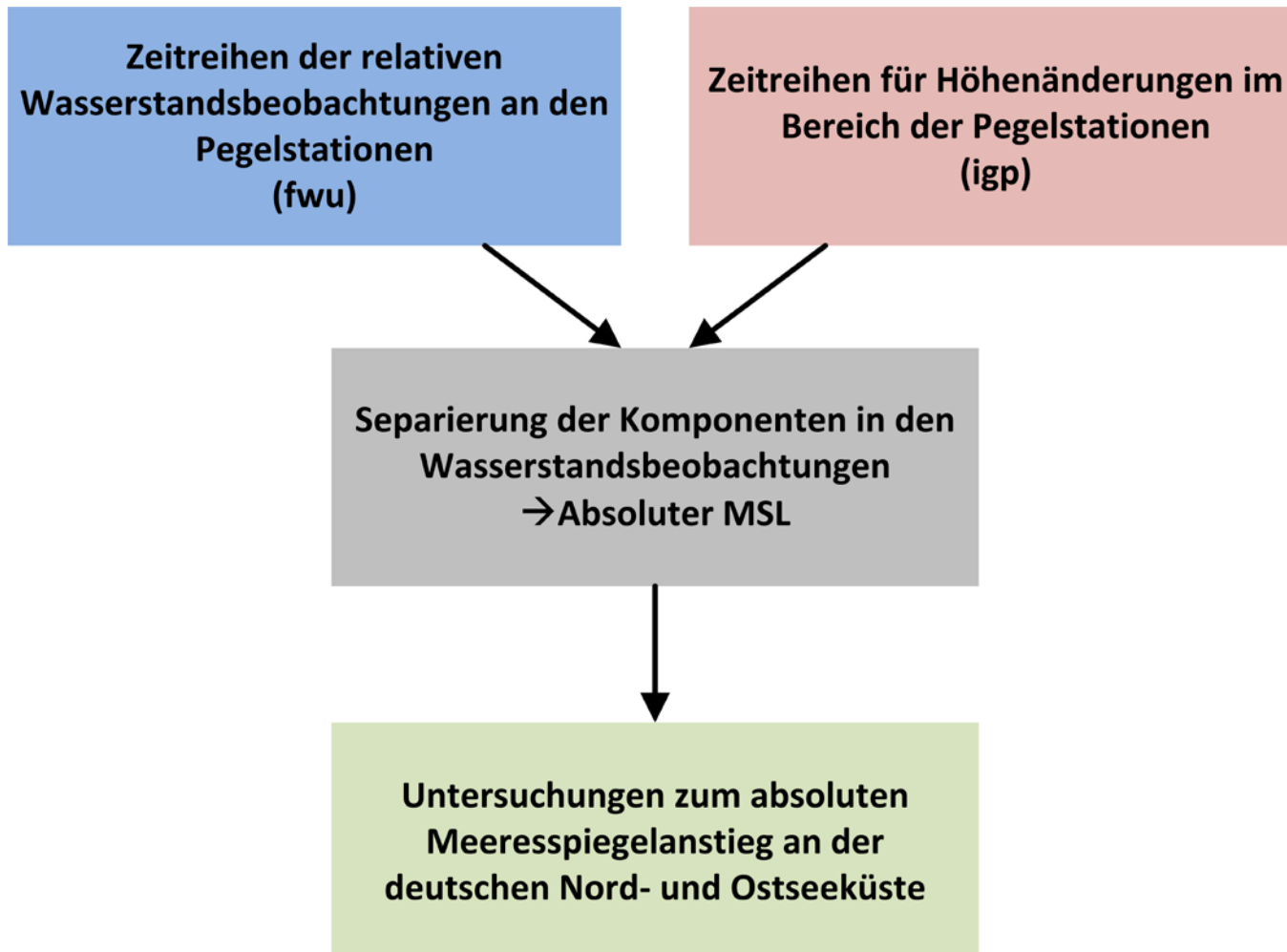


Wasser- und Bodenverbände



Versalzung

Zusammenführen der Ergebnisse



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



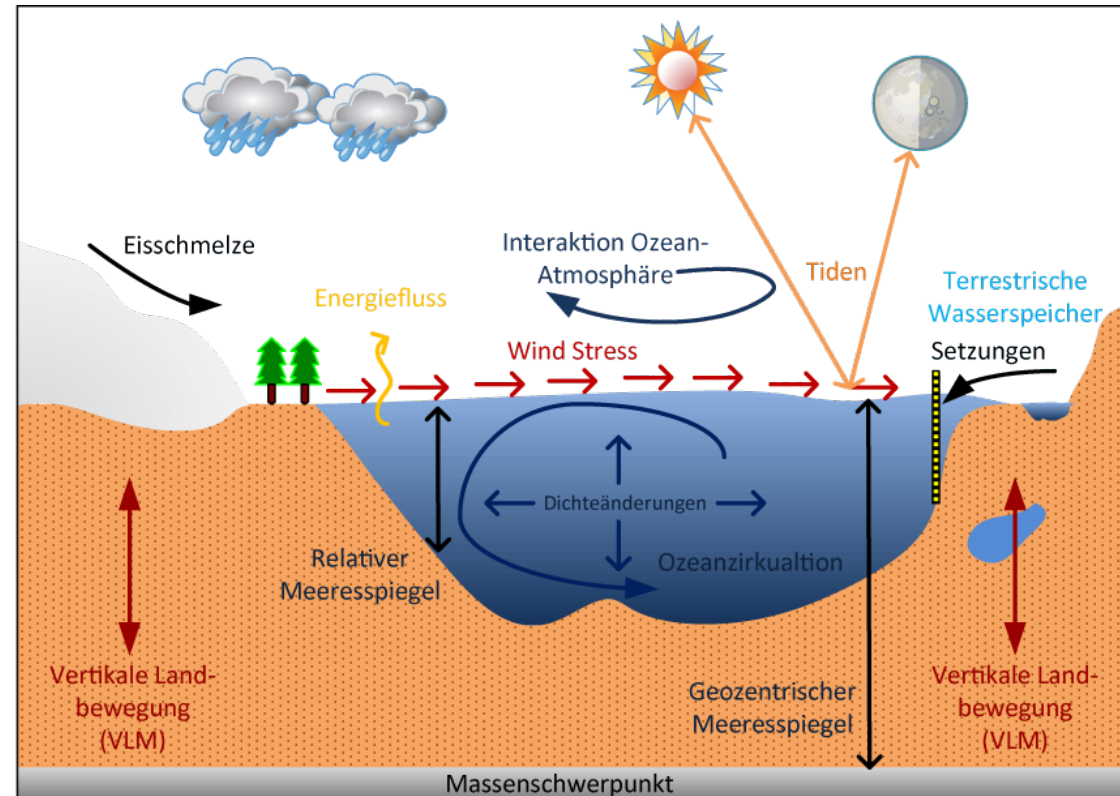
Univ.-Prof. Dr. -Ing. Jürgen Jensen
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57076 Siegen
Tel.+49 (0) 271 740-
Fax +49 (0) 271 740-2722
Juergen.jensen@uni-siegen.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Niemeier
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Pockelsstr. 3 (Okerhochhaus)
38106 Braunschweig
Tel. +49 (0) 531 391-94574
Fax +49 (0) 531 391-94599
w.niemeier@tu-bs.de

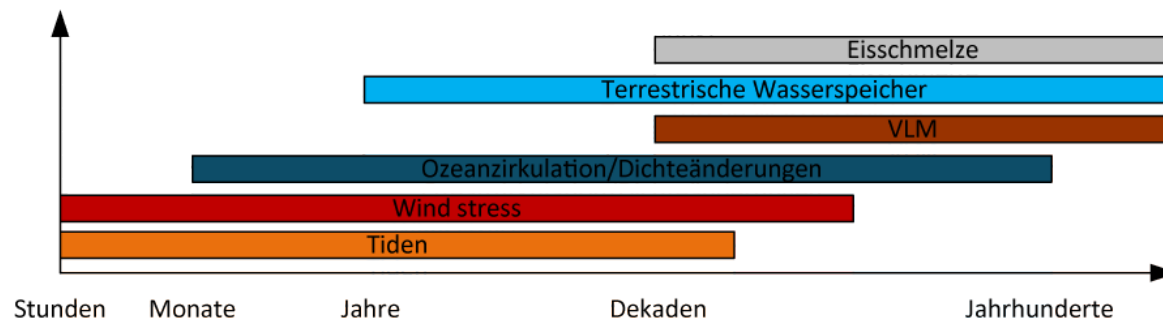
Literatur

- Dangendorf, S.; Marcos, M.; Müller, A.; Zorita, E.; Riva, R.; Berk, K.; **Jensen, J.** (2015): Detecting anthropogenic footprints in sea level rise. Nat. Commun. 6:7849 doi: 10.1038/ncomms8849.
- Jensen, J.**, Dangendorf, S., Wahl, T. und Steffen, H.: Meeresspiegeländerungen in der Nordsee: Vergangene Entwicklungen und zukünftige Herausforderungen, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HyWa, Heft 6, 2014.
- Jensen, J.**, Frank, T. und Wahl, T.: Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste (AMSeL), Die Küste, 2012.
- Niehüser, S., Wahl, T., Dangendorf, S., **Jensen, J.** und Hofstede, J.: Zum Einfluss möglicher Setzungserscheinungen am Leuchtturm Cuxhaven auf die langjährigen Wasserstandsaufzeichnungen am Pegel Cuxhaven Steubenhöft. Die Küste, submitted.
- Siles, G.L., Alcerreca-Huerta, J.C., Lopez-Quiroz, P and **Niemeier, W.**: Long Term Subsidence Analysis and Soil Fracturing Zonation Based on InSAR Time Series Modelling in Northern Zona Metropolitana del Valle de Mexico. Remote Sensing, 2015, 7, 6908-6931; doi:10.3390/rs70606908, 2015.
- Tengen, D.*: Kombination von Nivellement- und GPS-Messungen zur Bestimmung von Höhenänderungen im Bereich der niedersächsischen Nordseeküste, Dissertation TU Braunschweig, 2010.
- Wahl, T., Haigh, I., Dangendorf, S. and **Jensen, J.**: Inter-annual and long-term mean sea level changes along the North Sea coastline, Journal of Coastal Research, 65, 1987-1992, 2013.
- Wahl, T., Haigh, I., Woodworth, P.L., Albrecht, F., Dillingh, D., Jensen, J., Nicholls, R., Weisse, R. and Wöppelmann, G.: Observed mean sea level changes around the North Sea coastline from 1800 to present, Earth-Science Reviews, Volume 124, Pages 51-67, <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.00>, 2013.
- Wanninger, L., **Niemeier, W.**, Jahn, C. H. und Sudau, A: Aufbau eines integrierten Höhenüberwachungssystems in Küstenregionen durch Kombination höhenrelevanter Sensorik (IKÜS), Abschlussbericht, Dresden, KFKI Projekt 03KIS055-058, 2008.
- Wanninger, L., Rost, Ch., Sudau, A., Weiss, R., **Niemeier, W.**, *Tengen, D.*, Heinert, M., Jahn, C.-H., Horts, S., Schenk, A.: Bestimmung von Höhenänderungen im Küstenbereich durch Kombination geodätischer Messtechniken. In. „Die Küste“, Heft 76, S. 121 – 180, 2009.

Prozesse

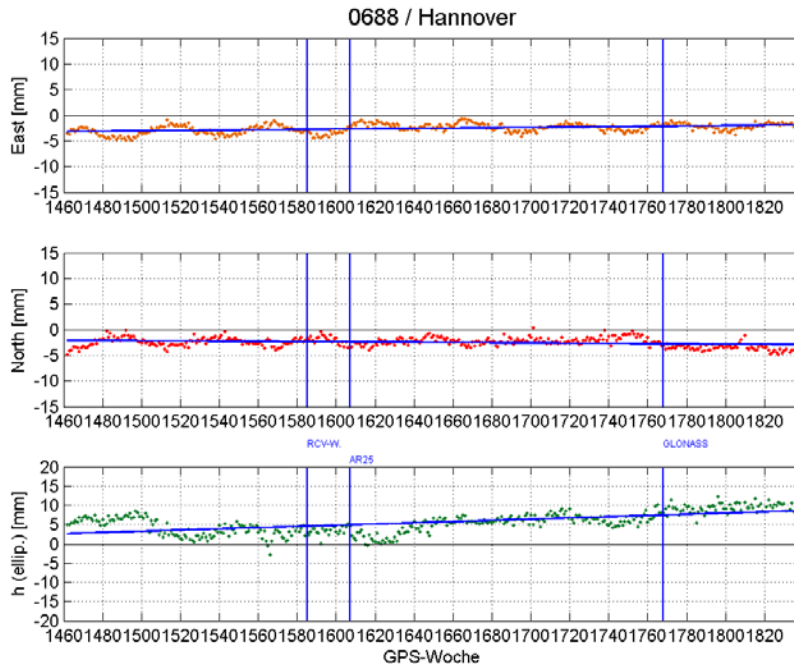


JENSEN, J. ET AL.:
Meeresspiegeländerungen in der Nordsee: Entwicklungen und Herausforderungen, HyWa, 2014

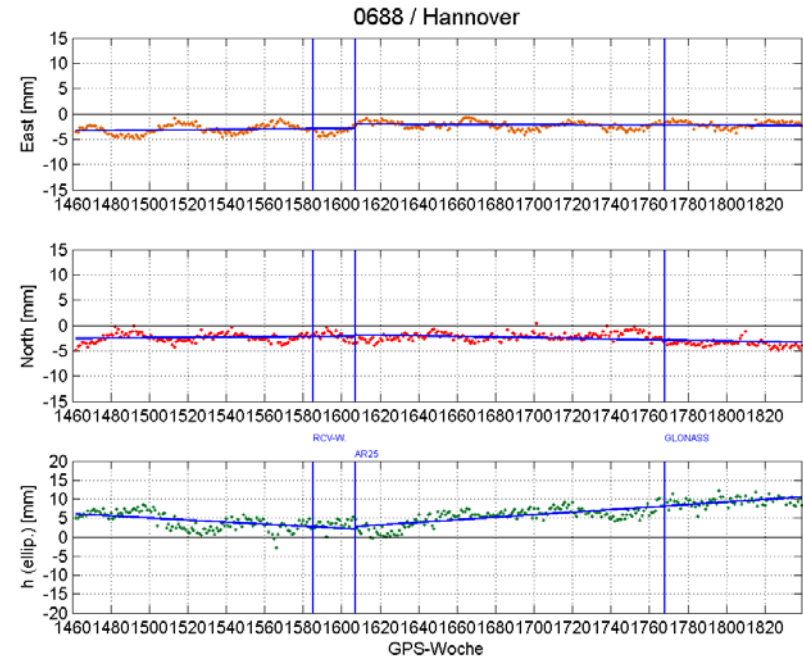


Mögliche Effekte in freien Koordinatenlösungen

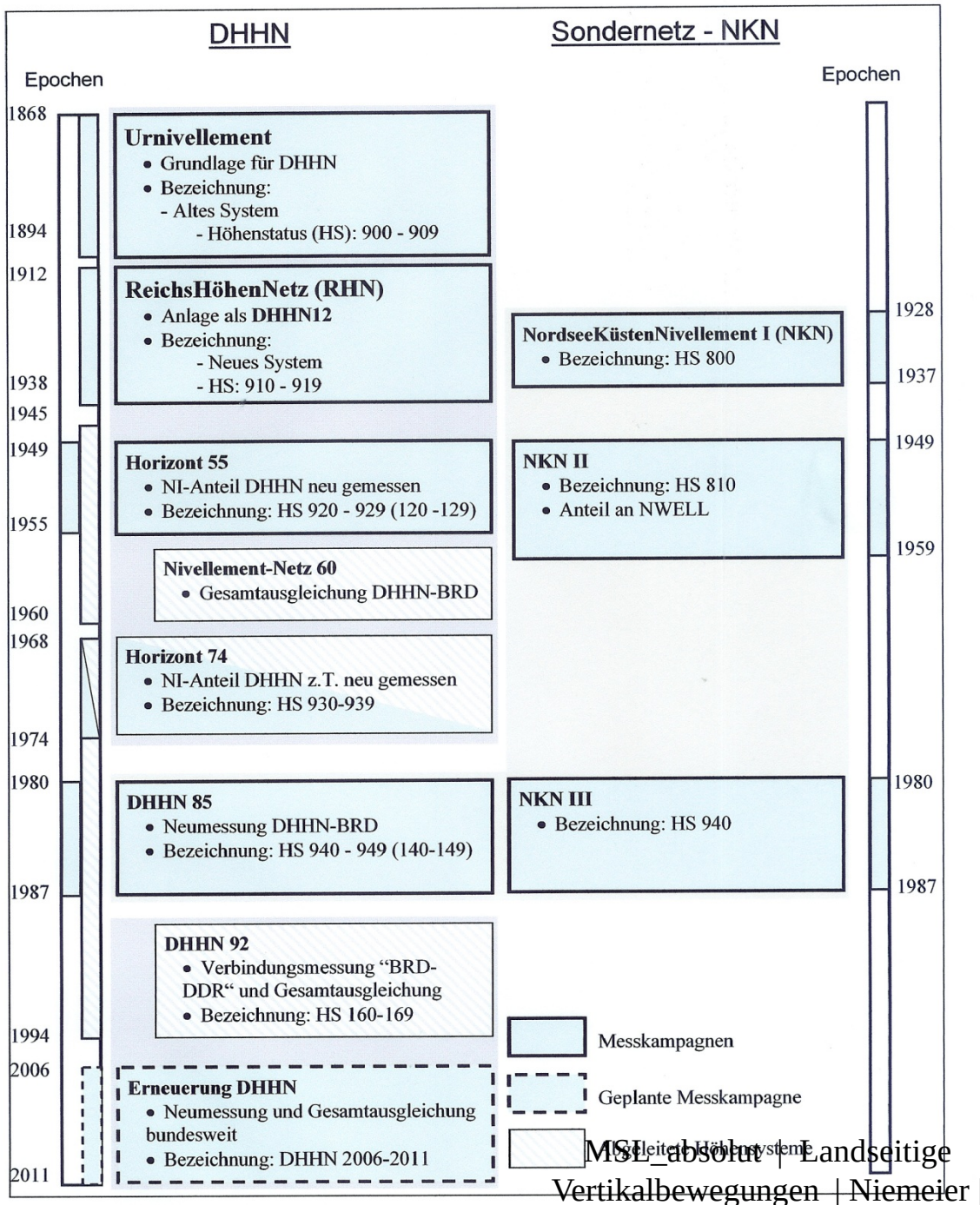
Keine Berücksichtigung der Events



Mit Berücksichtigung der Events



- Berechnung von **unterschiedlichen Geschwindigkeiten**
- Zusammenspiel mehrerer Einflüsse benötigen zur Interpretation umfangreiches geodätisches Fachwissen



**Vorhandene
Nivellements-
Informationen**
(aufbereitet bei der
LGN in Hannover)

Werden mit
Oberflächen-
schwerewerten
umgerechnet in
**Geopotentielle
Koten**

VALIDATION WITH
ground truth of Subsidence
Extensometric logs
Piezometric logs
Monitoring Well Logs

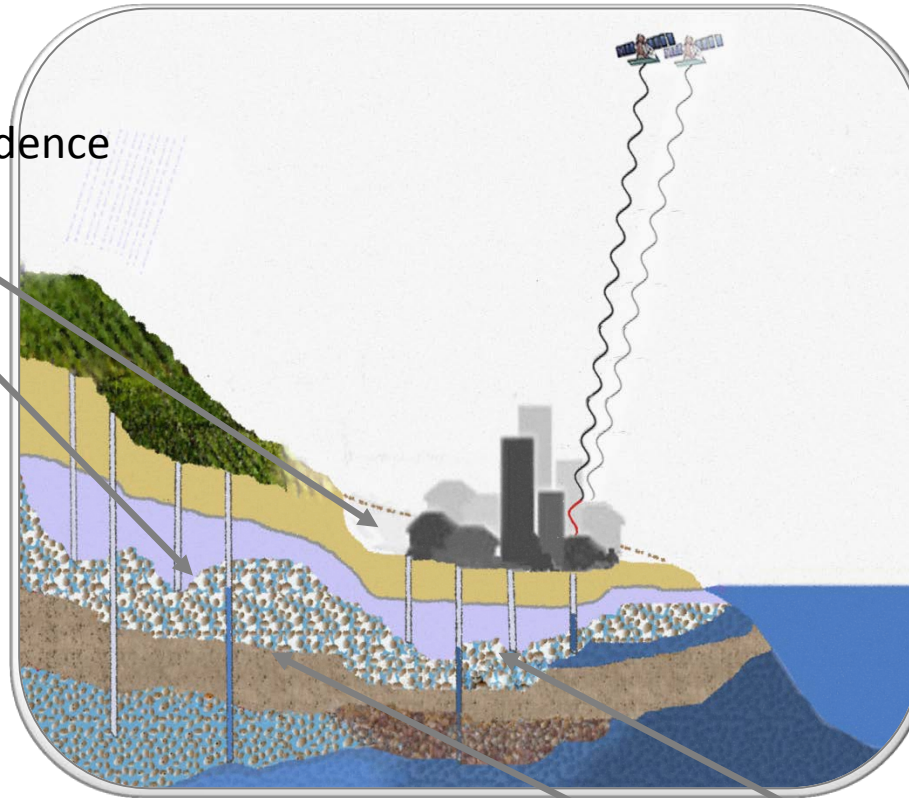


TABLE – Output variable
Subsidence velocity
and magnitude
from radar working
package

COMPARISON WITH
non-linear time-delayed flow
processes in Aquifer System with
existing descriptive Groundwater
Flow Models

CORRELATION WITH
Geology and
Tectonics
Pumping Well
Locations
Soil Structure and
Mechanics