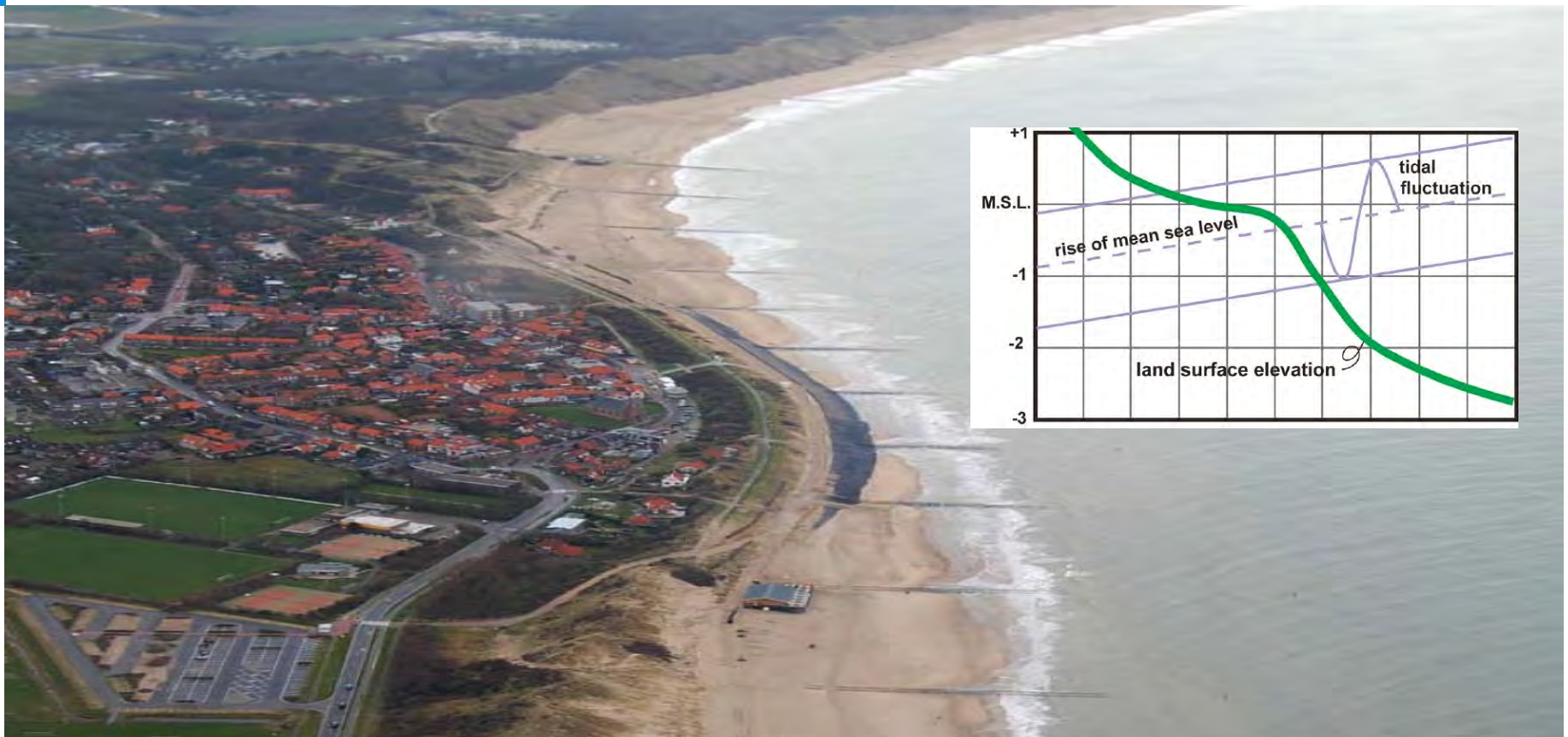
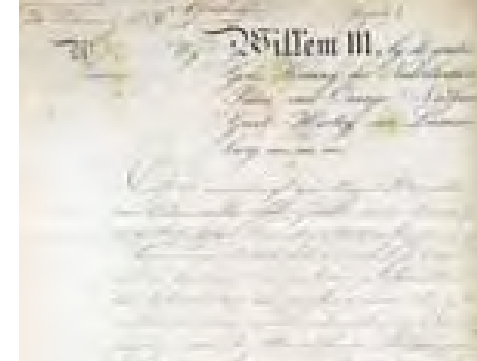


Bodembeweging in Nederland

Ramon Hanssen, Delft University of Technology



Rijkscommissie voor graadmeting en waterpassing



- Lewis Cohen Stuart (1827-1878):
 - 1864: 1e HL/Rector van Polytechnische School
 - 1875: Cornelis Lely studeert af bij Cohen Stuart
 - 1875-1885: leiding 1e nauwkeurigheidswaterpassing
 - Het overlijden van Cohen Stuart (waterpassing) en hoge leeftijd van Stamkart (triangulatie) noopte de regering tot het instellen van:
- 20 februari 1879 (Koninklijk Besluit) Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing
 - 1e nauwkeurigheidswaterpassing na 1878 voortgezet door Cornelis Lely (1854-)

1875, (1e) Nauwkeurigheidswaterpassing Nederland





ir. C.W. Lely
Boulevard Heuvelink 173
6828 KM Arnhem

Dr. ir. R. Hanssen
Faculteit Luchvaart-
en Ruimtevaarttechniek
Kluuyvenweg 1
2629 HS Delft.

Arnhem 14-2-2007

Geachte heer Hanssen

Maandag heb ik met genoegen geleusterd aan
U en de andere sprekers bij de Cornelis Lely
lezing in Lely stad.

U had zich goed verdiept in het begin van de
carrière van mijn overgrootvader, oa bij de
waterpassering in de jaren 1875 en 1876

De foto die U daarbij liet zien staat ook
in het boek van mr K Jansma "Lely, de bedrager
der Zuiderzee". Ik slecht een copie van de foto
uit het boek hierbij. In het boek is aangegeven
dat de jongensfiguur met platte witte hoed
mijn overgrootvader is (no. 2). Dat klopt m.i.
goed met zijn uiterlijk als 21 jarige, nog
zonder snor, sik (of baard), die pas na 1880
voorkomen. De man met hoge zwarte hoed
en vergrootglas zou de baas van de meetploeg
kunnen zijn, naar men mij eens heeft verteld.

De tweede periode waarin Koningheids waterpassen
was het van juni 1881 - augustus 1883 als chef
van het district van Leiden. Daarom kan ik geen
foto's. U kunt al deze gegevens vinden in het
boek van Jansma.

Met vriendelijke groet,


...dat de jongensfiguur met
de platte witte hoed mijn
overgrootvader is. Dat klopt
m.i. goed met zijn uiterlijk
als 21-jarige, nog zonder
snor, sik (of baard) die pas
na 1880 voorkomen. De
man met de hoge zwarte
hoed en "vergrootglas" zou
de baas van de meetploeg
kunnen zijn, naar men mij
eens heeft verteld....

1875, (1e) Nauwkeurigheidswaterpassing Nederland



Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat De



DE EERSTE NAUWKEURIGHEIDSWATER-
PASSING VAN NEDERLAND
(1875 - 1885)

Delta committee ('Plan Veerman')

- Sustainability of Netherlands against climate change consequences: water safety
- Sea level rise assumptions are
 - 65-130 cm up to 2100 and
 - 200 tot 400 cm up to 2200.

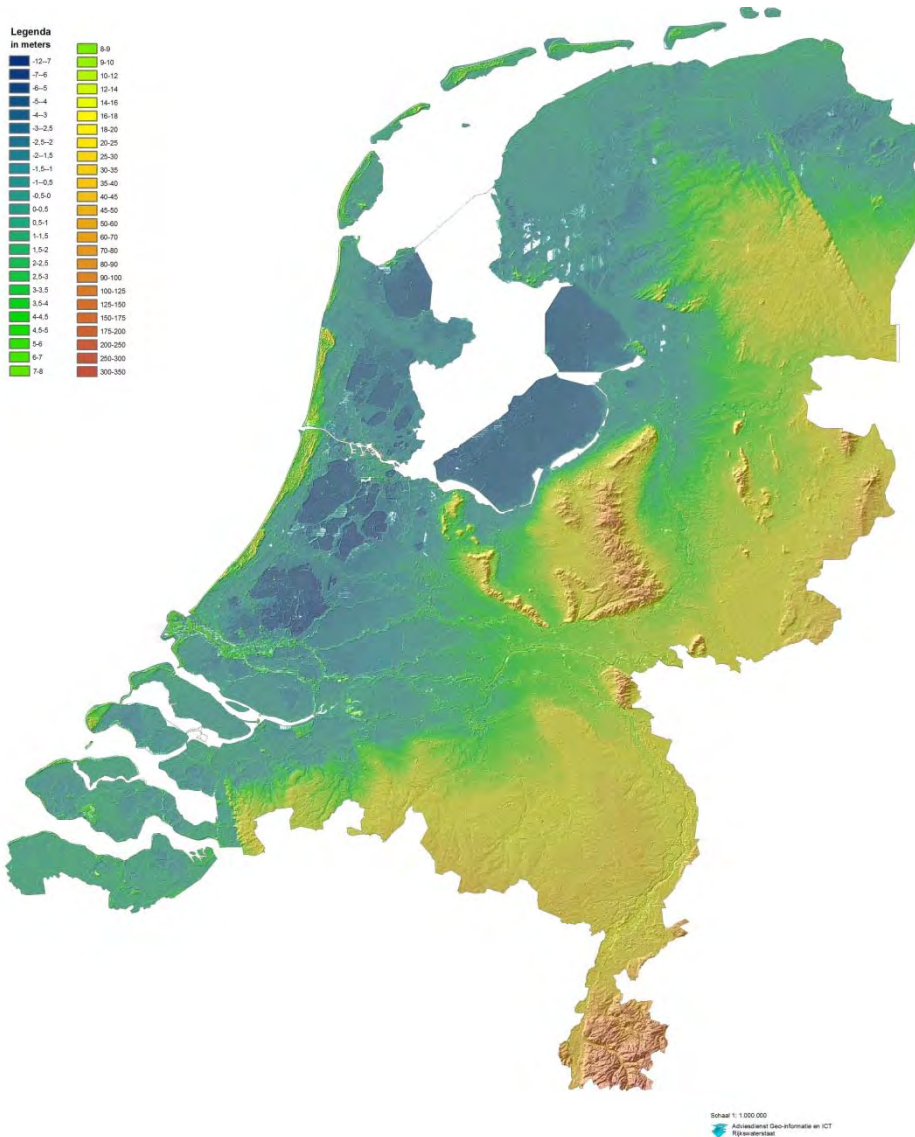
Cost /year	2010-2100
Delta program	1,2-1,5 x 10 ⁹ Euro



Land surface elevation

- $H(t) = H(t_0) + dH(dt) dt$
- Elevation at time epoch $t =$
 - Elevation at initial time t_0 , plus
 - Elevation change as a function of time $(t-t_0)$





AHN-1/2 Lidar DEM
 ~4 pts/m²
 ~5 cm noise
 ~5 cm systematic

AHN; Probably one of
 the best, nationwide,
 digital elevation
 models in the world...

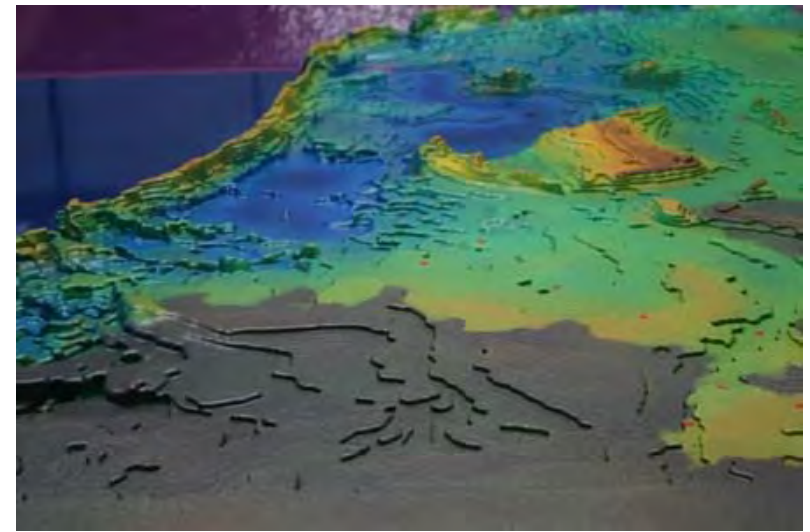
...but is it stable?

The Dynamic DEM

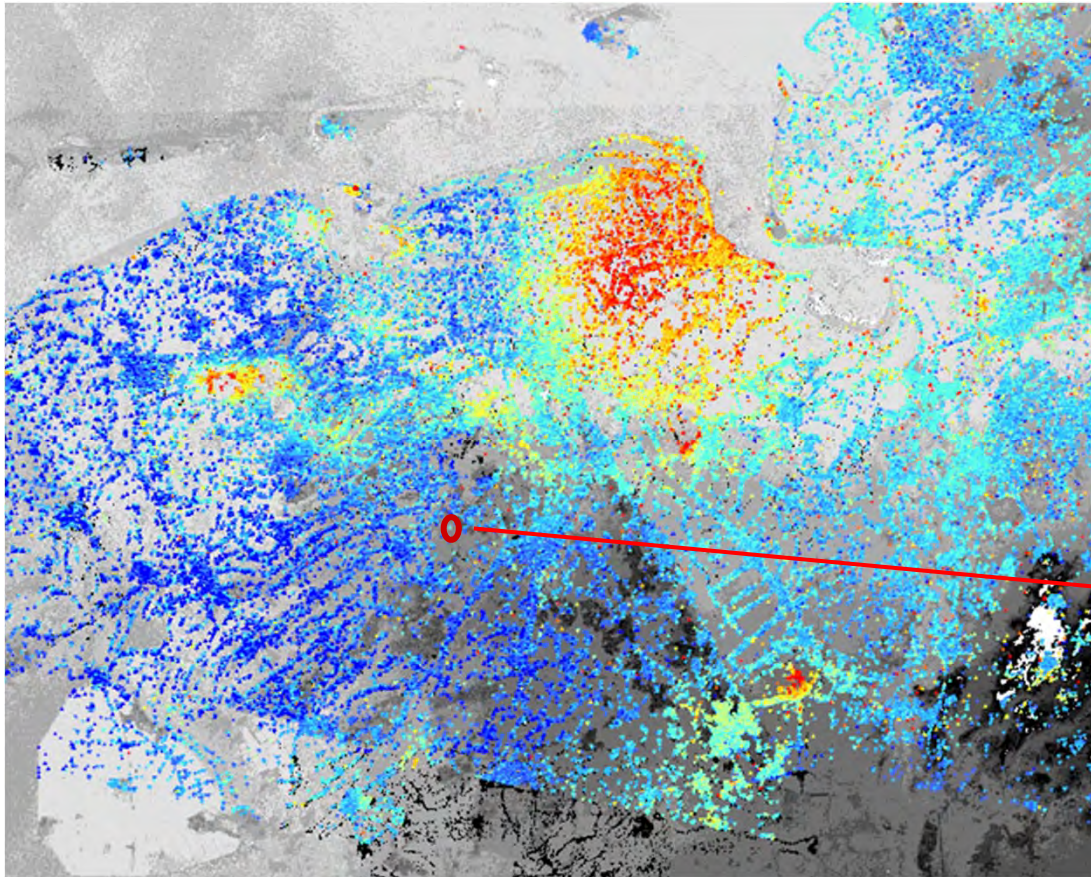
- Definition: Elevation for an (x,y) location as a function of time (t)
- “estimate the best (absolute) time series of elevation, of a pre-defined signal, w.r.t. ETRS89, given all available data, for a given location”
- Determine the signal of interest:
 - Dynamic DEM is a DTM (no houses/vegetation)
 - explicitly define expectations of the spatio-temporal signal
- Dynamic DEM needs to be:
 - defined in a common geodetic datum, and
 - accompanied with appropriate quality metrics

Two parts of the Dynamic DEM

1. **Contemporary part** (based on quantitative geodetic observations, including quality metrics)
2. **Prospective part** (based on (geo)physical understanding of the driving mechanisms, including quality metrics)



The datum-problem of Satellite Radar Interferometry

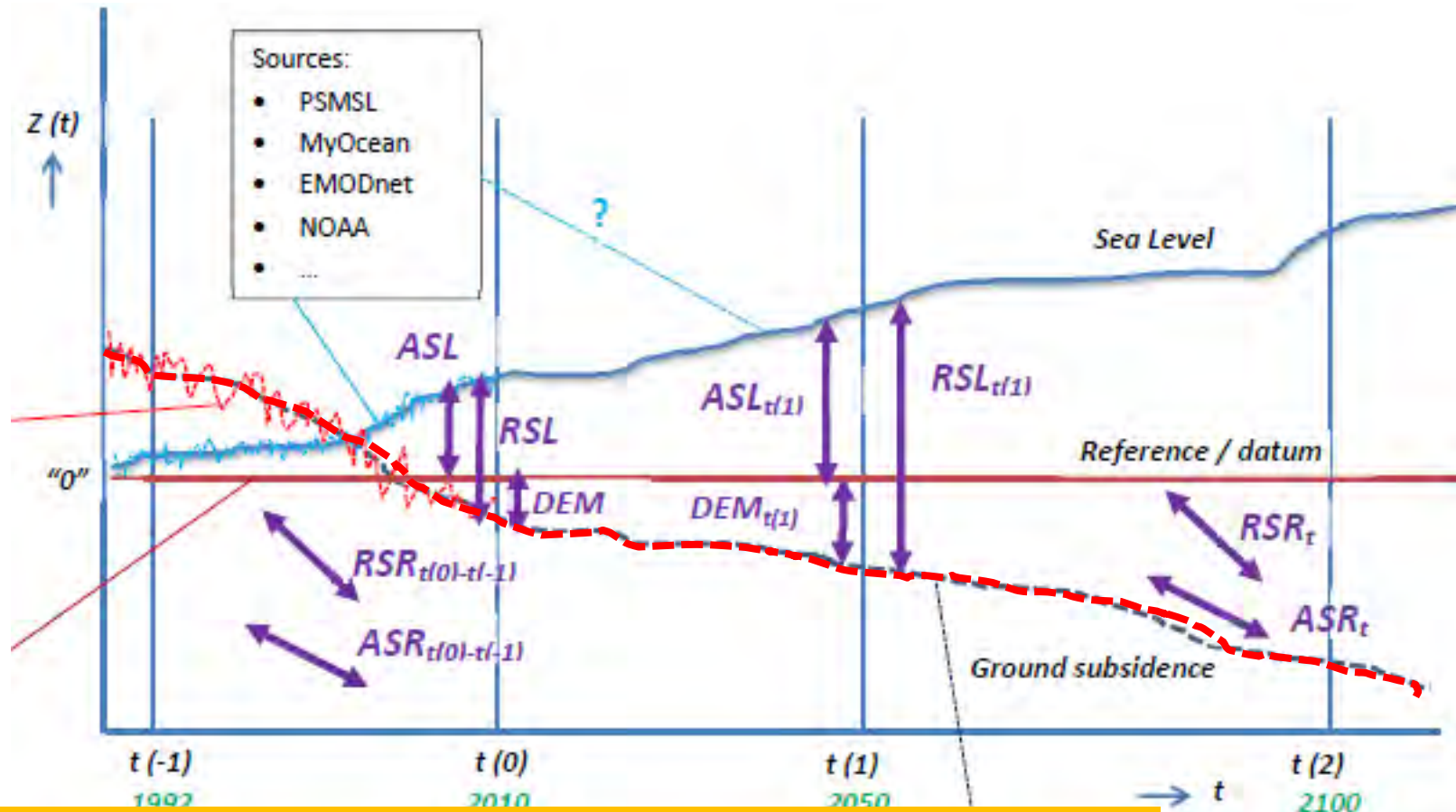


The “Reference point”

Vertical datum connection

We want this:

But we measure this with InSAR:



Bottom line: This is all because we need **absolute** data in stead of relative data, or better: data in a properly defined geodetic datum



Dutch nation wide subsidence map(-ping)



Data

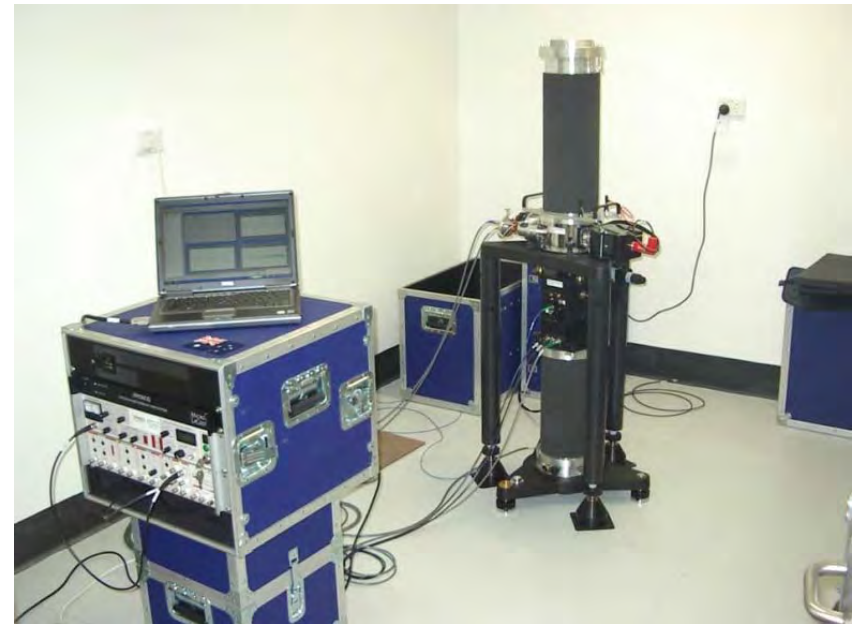
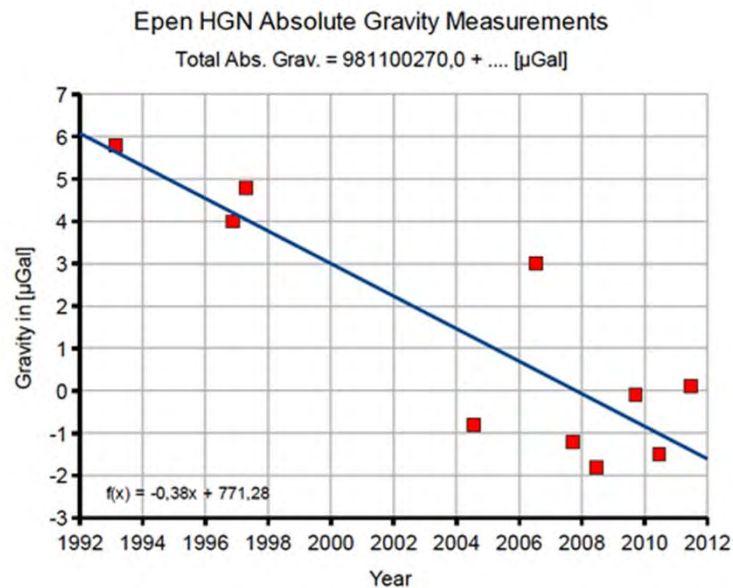
Mantra: 'use everything we have'

Combination of:

- Absolute gravimetry
- Leveling
- GPS
- Radar interferometry (InSAR)

Absolute gravimetry

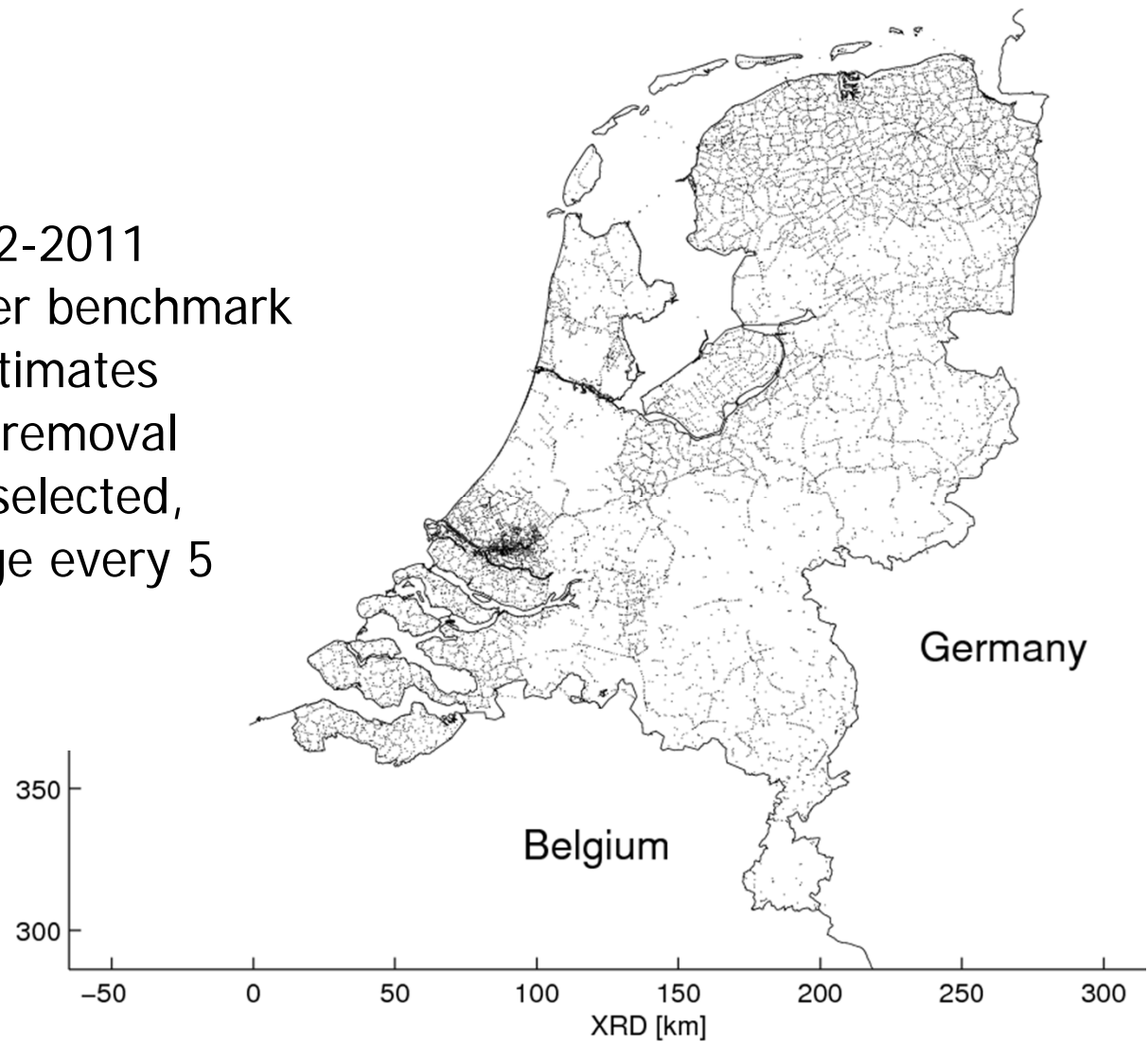
- 5 stations around the Netherlands
- Observations between 1991 and 2011
- Conversion from $\mu\text{Gal}/\text{y}$ to mm/y



Leveling

- Historic heights 1992-2011
- Minimal 3 heights per benchmark
- Deformation rate estimates [mm/y] with outlier removal
- 17000 benchmarks selected, measured on average every 5 years

Leveling benchmarks (1992 – 2010)



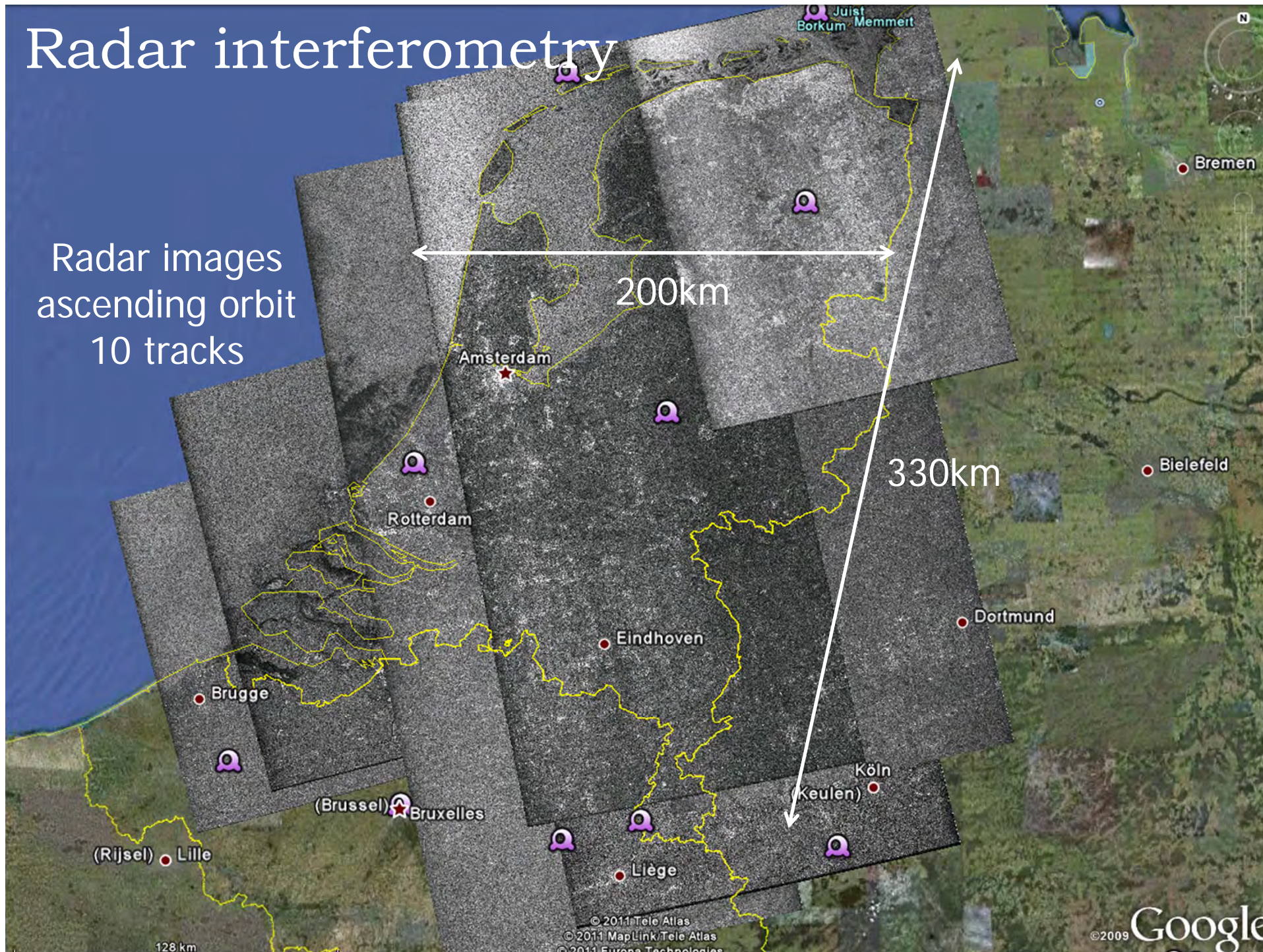
GPS

- 15 continuous GPS stations in and around the Netherlands used
- Linear vertical deformation rates [mm/y] estimated taking a periodic effect with period of 1 year into account



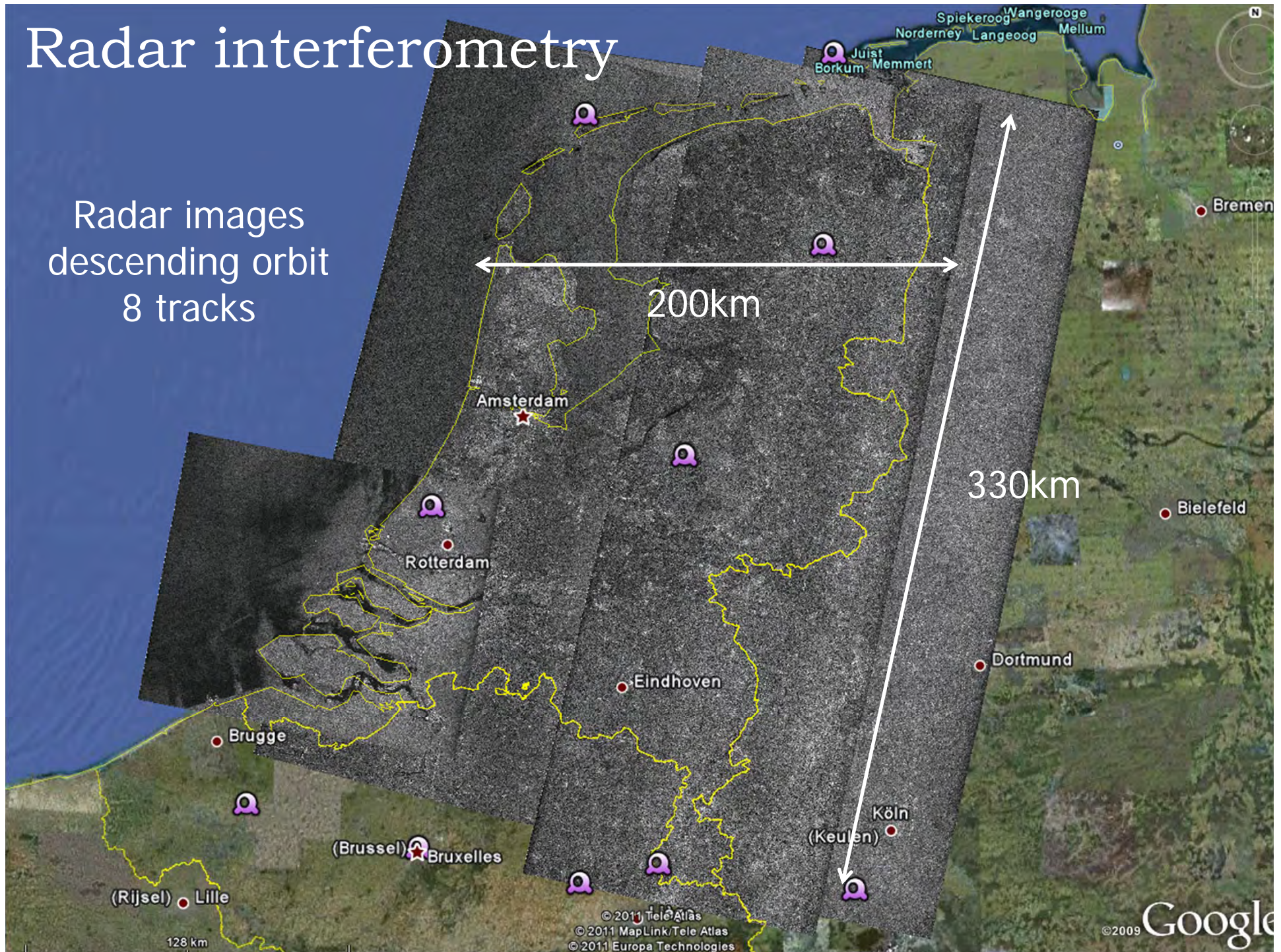
Radar interferometry

Radar images
ascending orbit
10 tracks



Radar interferometry

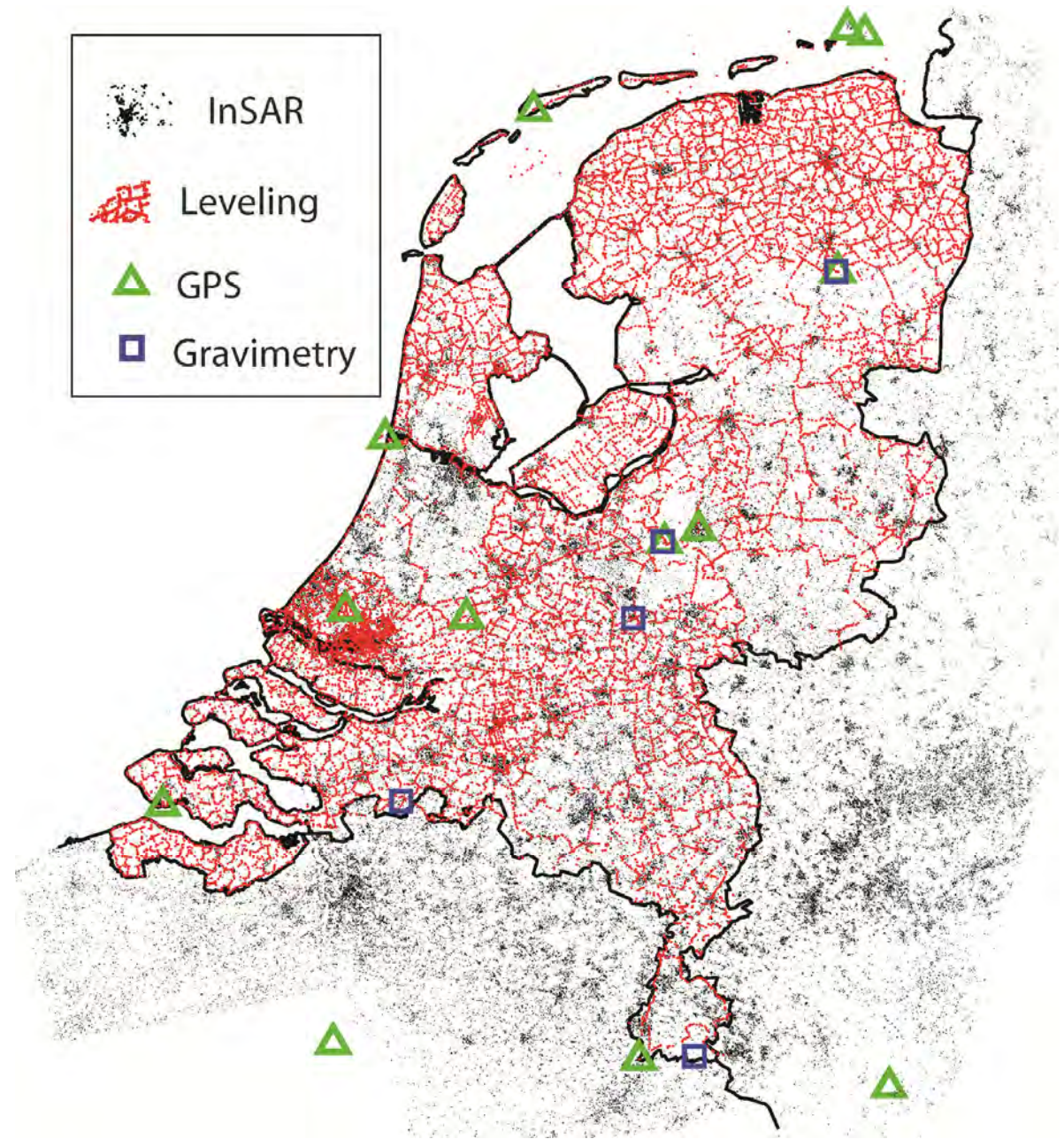
Radar images
descending orbit
8 tracks



Radar interferometry

- ERS-1/2 radar images, 1992-2001, 6 ascending and 5 descending tracks
- Envisat radar images, 2003-2010, 5 ascending and 3 descending tracks
- 600 images
- 6 million PS detected
- On average 100 PS/km²

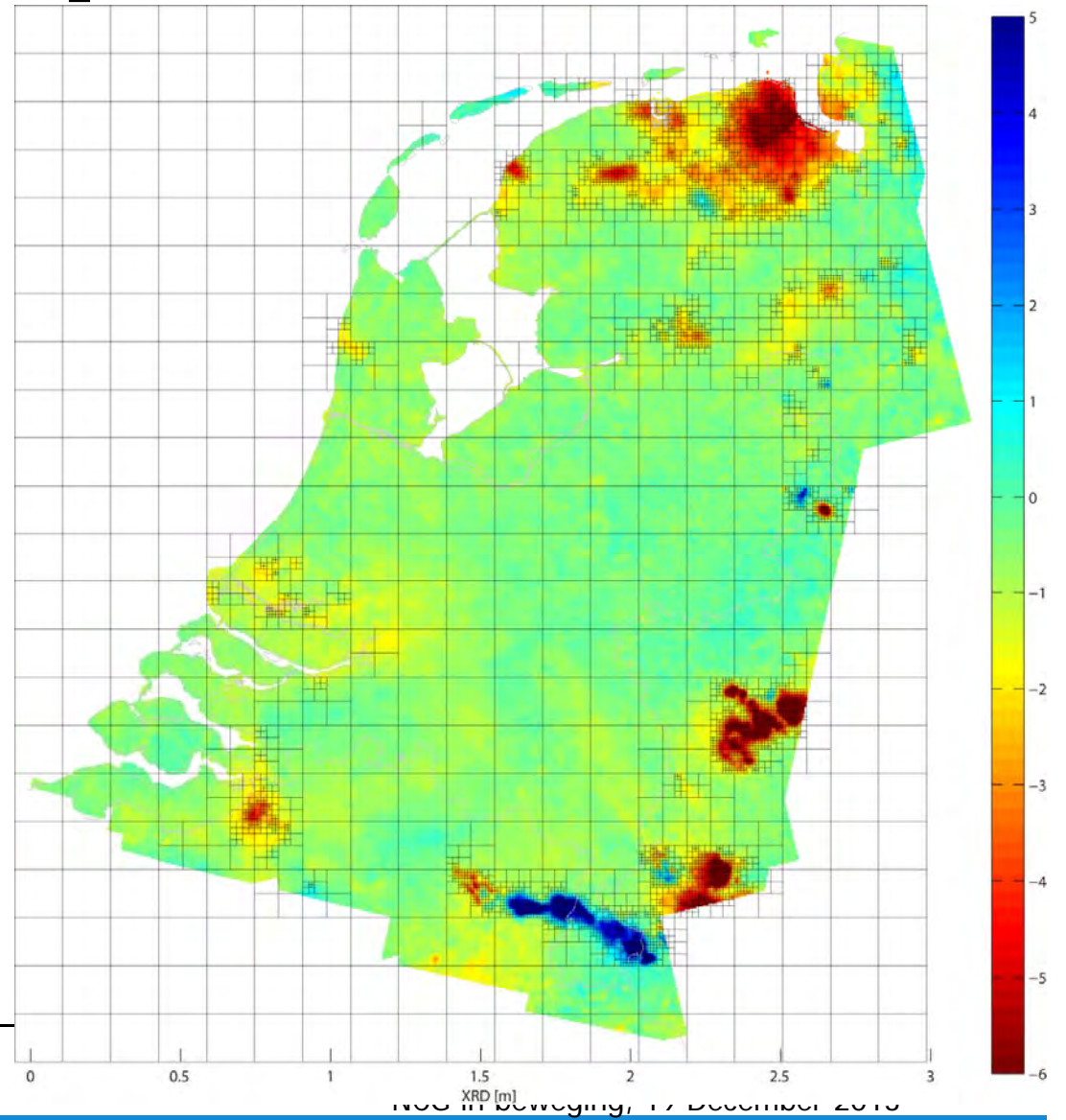
Total set

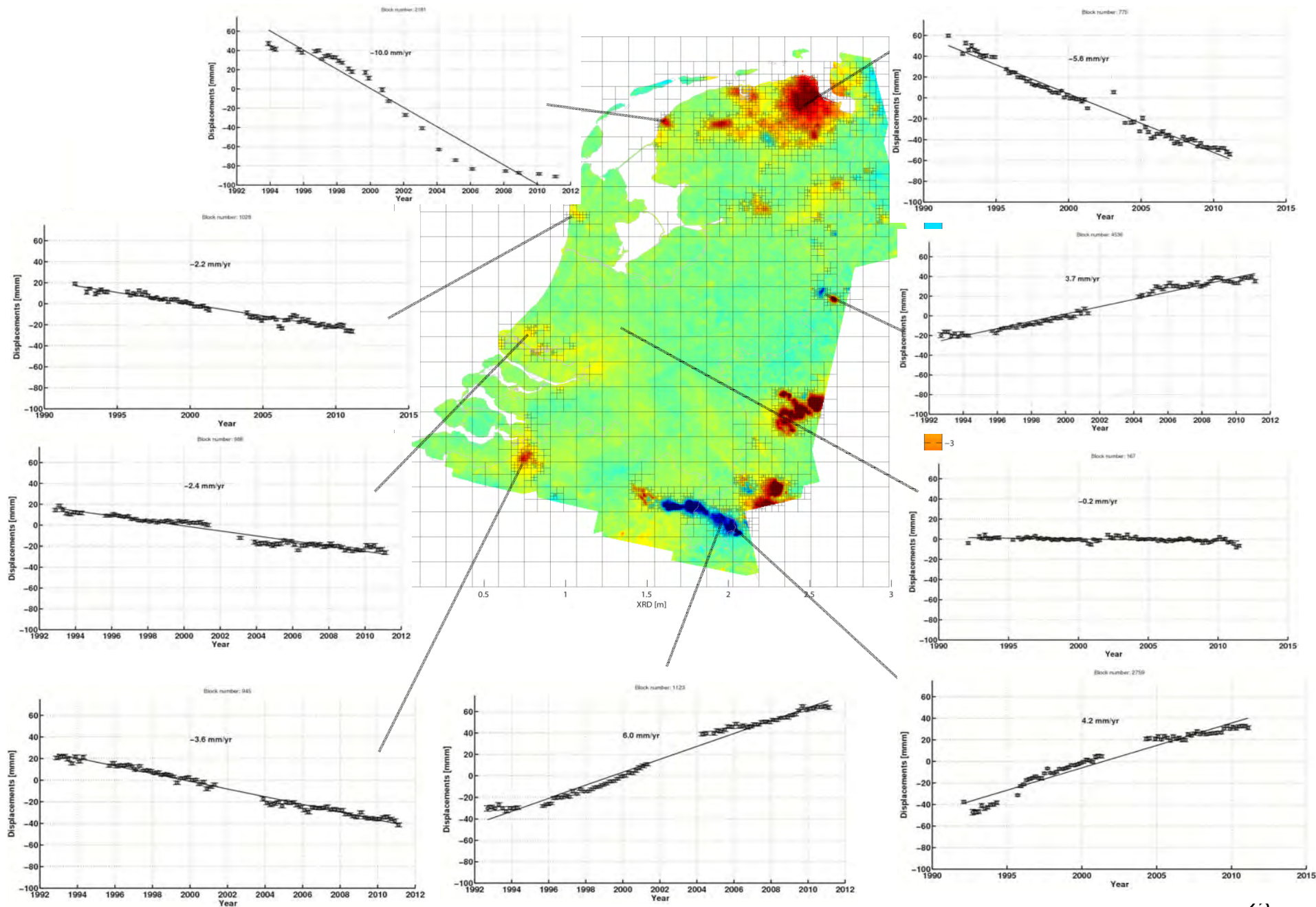


Data combination

- Estimated rates referenced to the same reference frame.
- We select leveling reference system (the Dutch Datum known as NAP)
- We apply a quadtree decomposition to reduce the amount of data (especially the number of Persistent Scatterers)
- The quadtree enables a joint estimation of the final deformation model, including error propagation

Quadtree decomposition





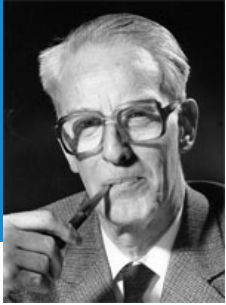
Joint estimation

Example deep deformation

$$E \begin{Bmatrix} y_{InSAR} \\ y_{lev} \\ y_{GPS} \\ y_{grav} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{InSAR}^{Up} & A_{InSAR}^{East} & A^{orb} & A_{InSAR}^{ref} & 0 & 0 \\ A_{lev}^{Up} & 0 & 0 & 0 & A_{lev}^{ref} & 0 \\ A_{GPS}^{Up} & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{GPS}^{ref} \\ A_{grav}^{Up} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v^{Up} \\ v^{East} \\ v^{orb} \\ v_{InSAR}^{ref} \\ v_{lev}^{ref} \\ v_{GPS}^{ref} \end{bmatrix}$$

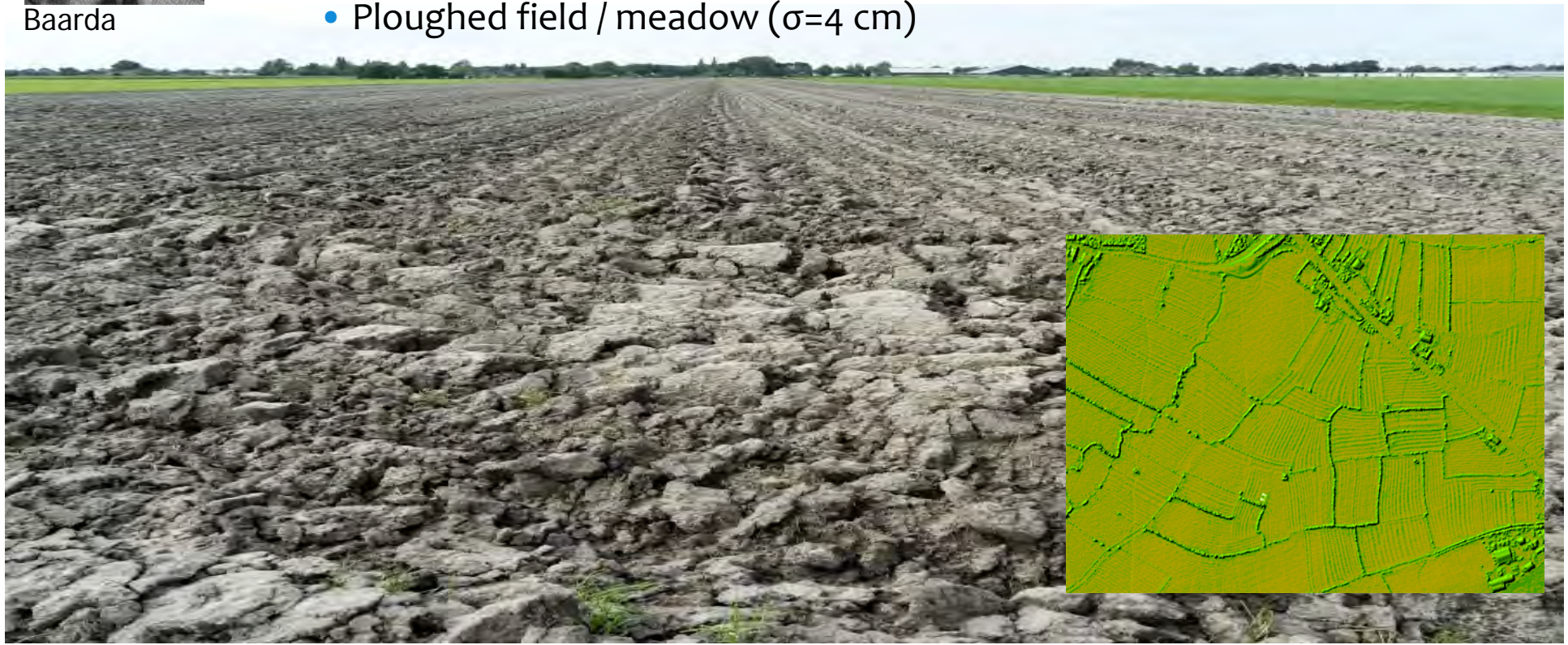
$$Q_y = \begin{bmatrix} Q_{InSAR} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_{lev} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q_{GPS} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{grav} \end{bmatrix},$$

Intermezzo: Idealization precision



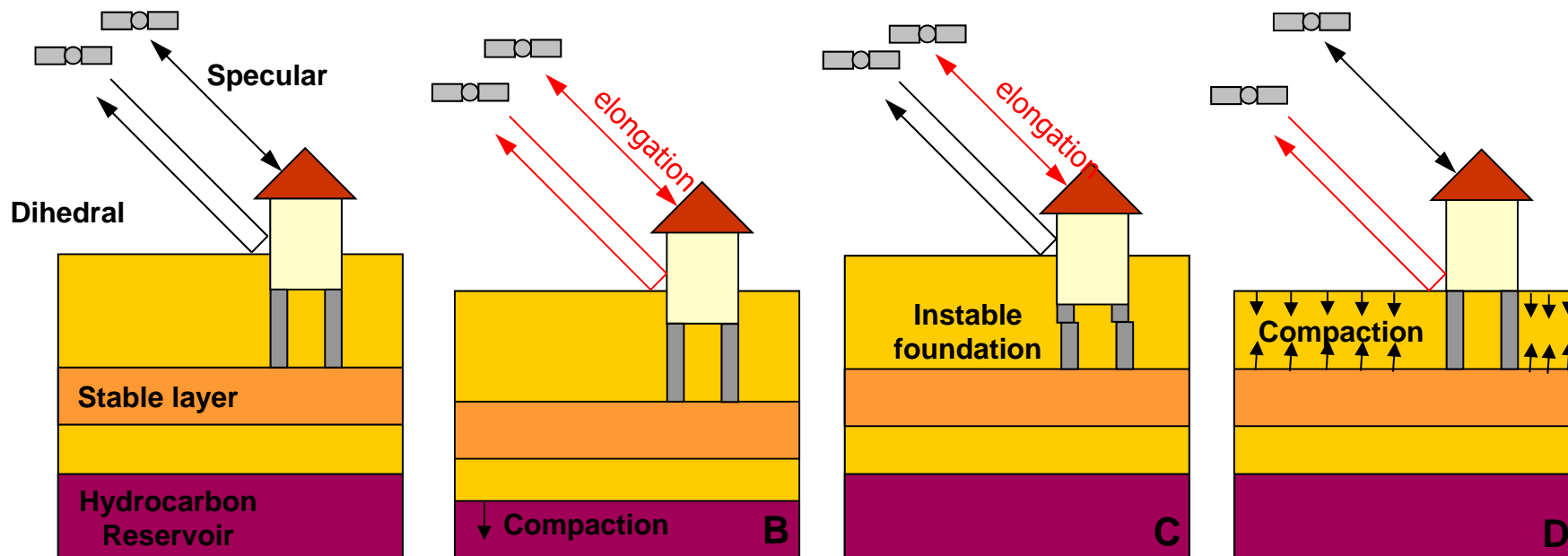
Baarda

- Idealization precision: how well can we determine a measurement location in the terrain
- Edge of a wall: good idealization precision ($\sigma=1$ cm)
- Ploughed field / meadow ($\sigma=4$ cm)



Idealization precision, e.g. 'Autonomous' behaviour

- Autonomous motion is uncorrelated with the signal of interest and often not spatially correlated
- Can heavily depend on reflection characteristics (specular/dihedral)



Deformation regimes

- In fluvial deltas, compaction of the top (Holocene) layers can be a large contribution to subsidence.
- This is not always observed with techniques working with benchmarks on deep foundations
- Therefore, we separate deep and shallow processes in subsidence, both for PSI and leveling.



Municipal infrastructure (Diemen)



Municipal infrastructure (Diemen)



Municipal infrastructure



Courtesy: Hansje Brinker

Tanthof area, Delft

Buildings



Ground level

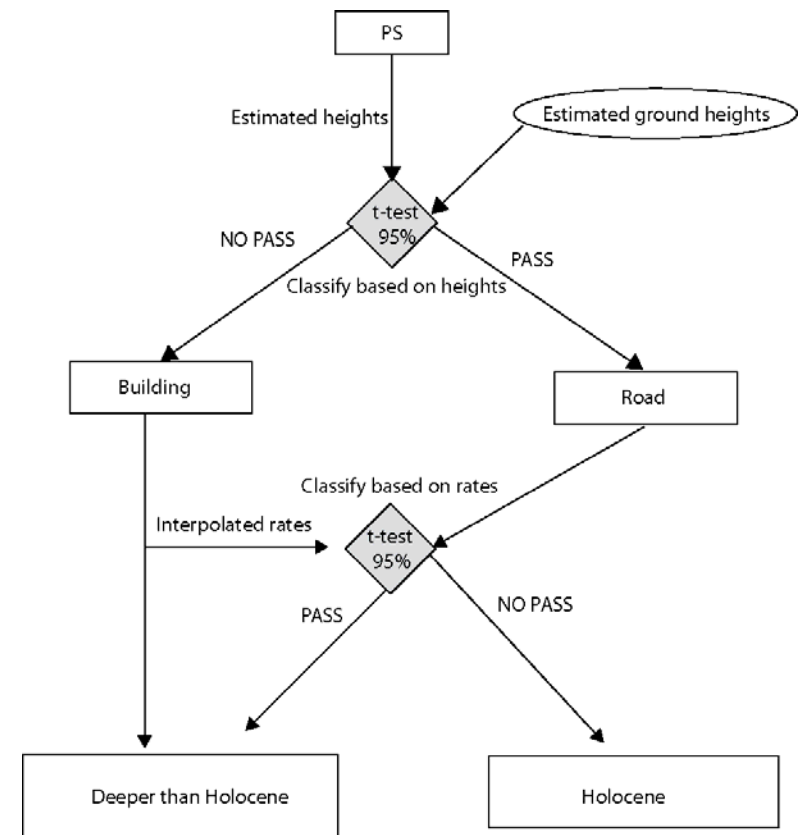


Options:

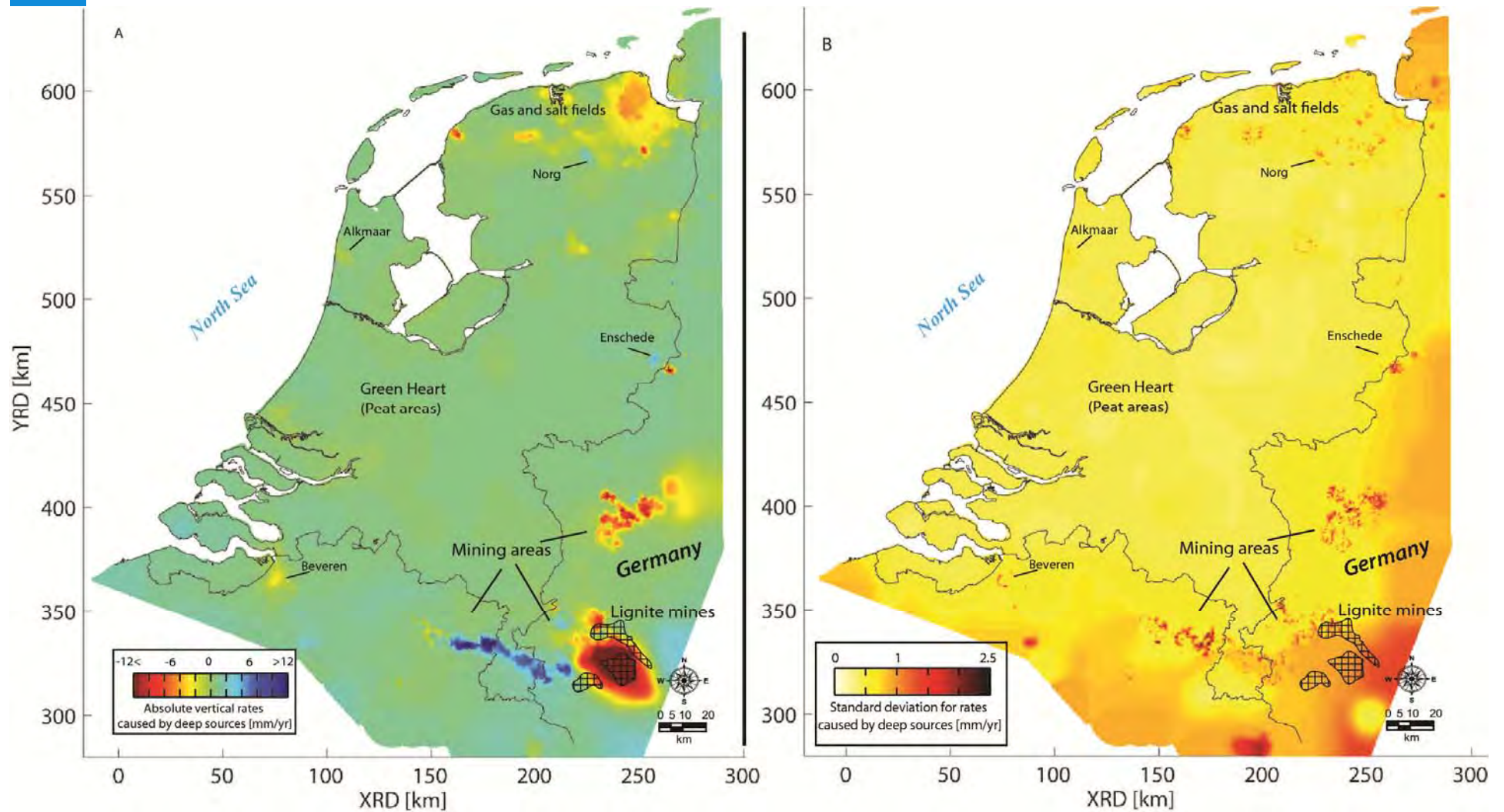
- What is our message: stable or subsiding?
- Ignore it? → consequence: average? → underestimation by 2-3 mm/y → extrapolation error for 2100 is
- Build in this decision in the data processing

PS classification: Shallow / Deep

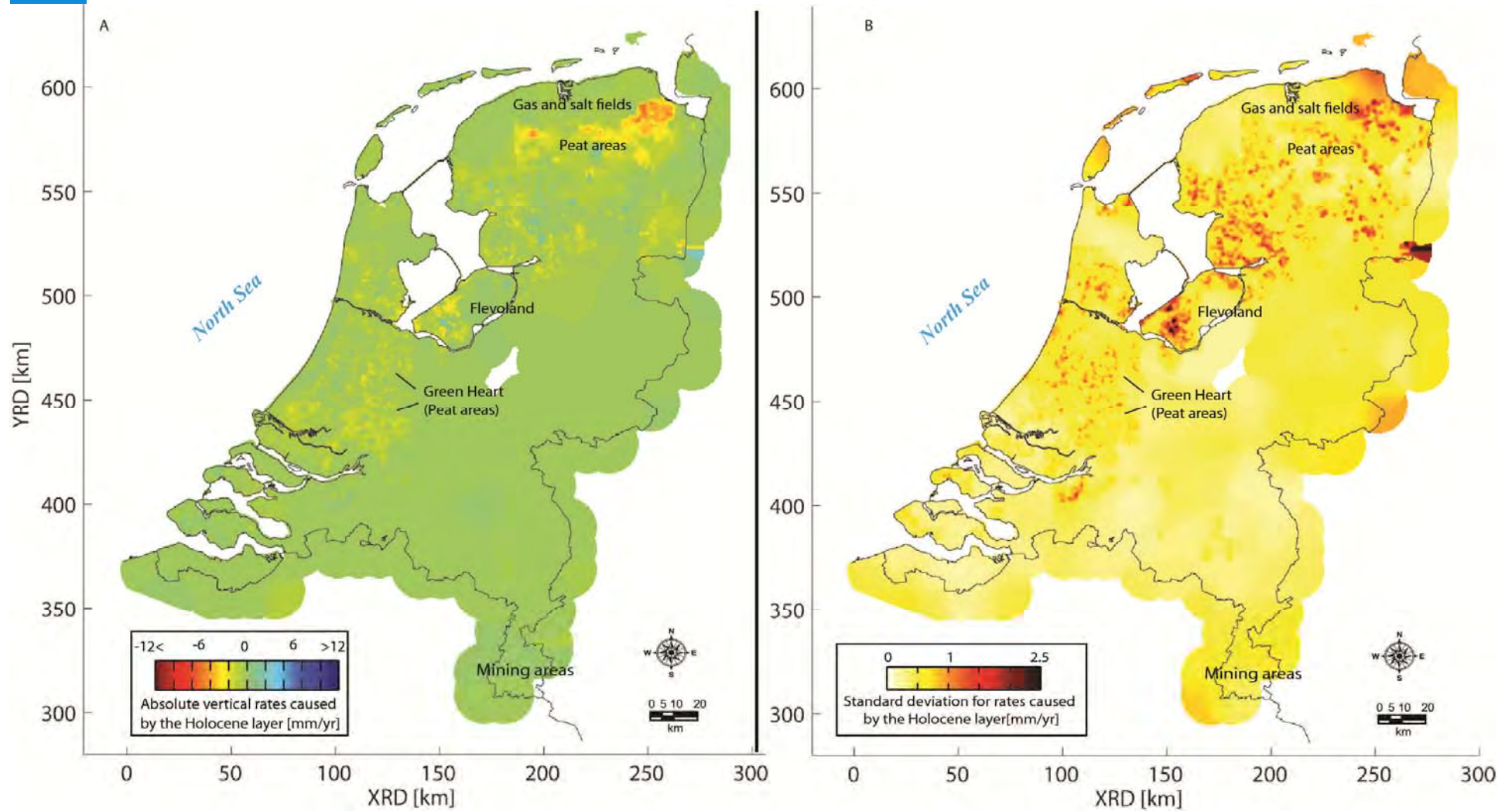
- Classification necessary between shallow and deep founded scatterers
- Finding Curb-to-Wall dihedrals
(Dheenathayalan&Hanssen,2011)



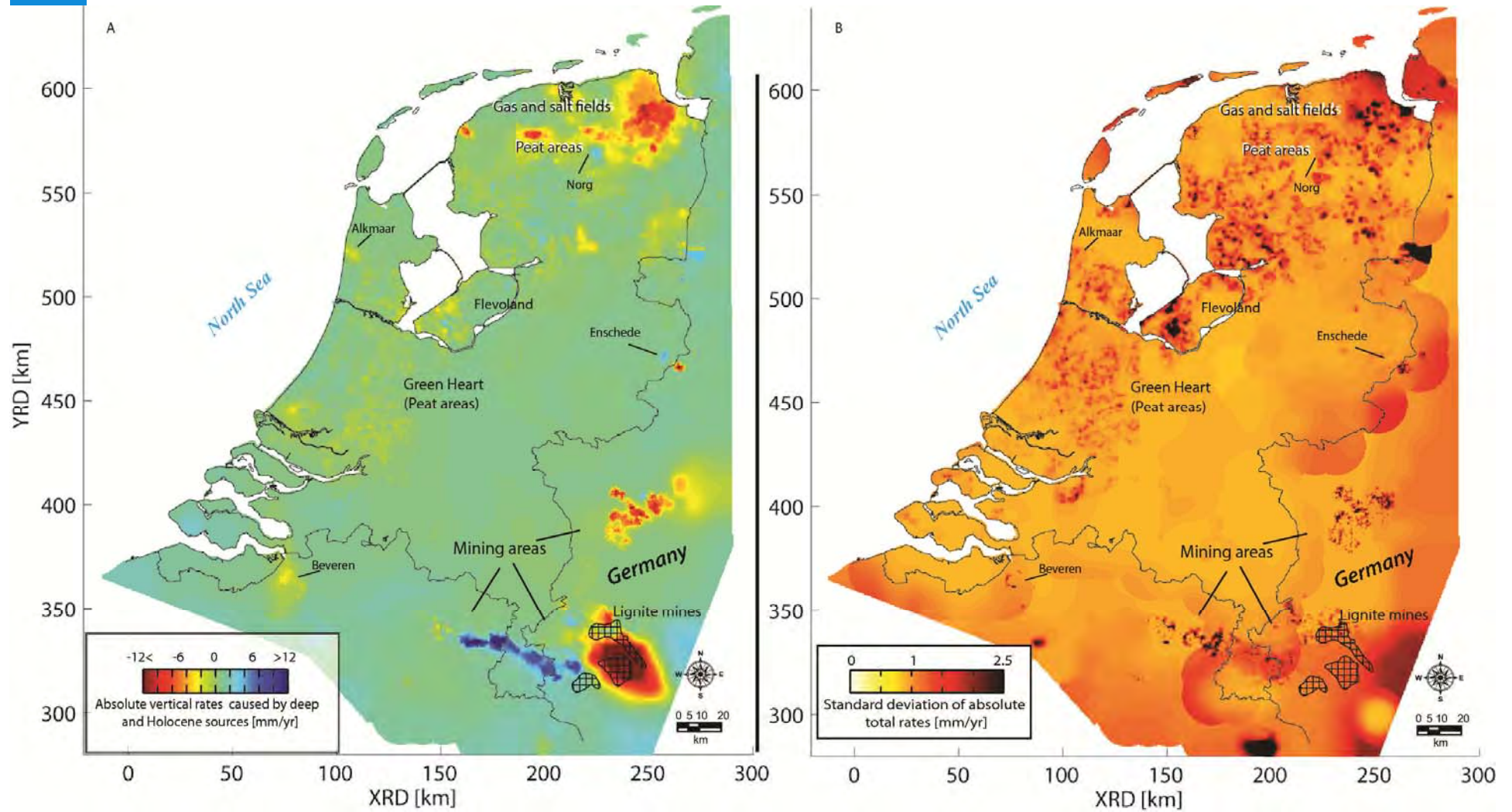
Deformation deep processes



Deformation shallow processes



Total deformation

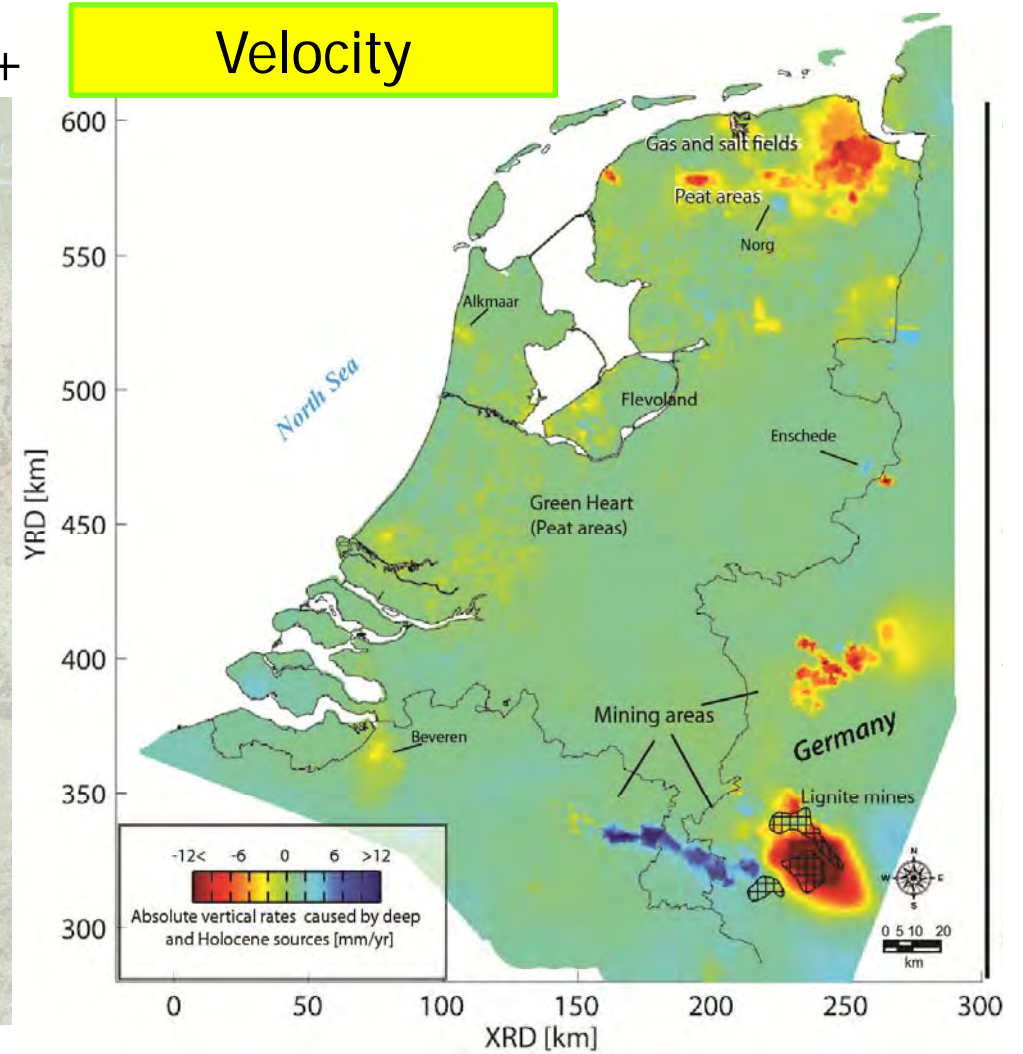


Dynamic DEM

Elevation

+

Velocity



Slotopmerkingen

- Het werk van de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing zit er nog niet op...
- De belangen zijn hoog (1.2-1.9 miljard/jaar tot 2100)
- Dit vereist een nauwe samenwerking tussen de beheersorganisaties, kennisontwikkeling en –borging op universiteiten, kennisinstituten, bedrijfsleven, en een sterke link tussen deze groepen.
- Het Nederlands Centrum voor Geodesie en Geo-informatica kan deze handschoen oppakken...
- ... maar het gaat niet vanzelf! Verdere hervormingen zijn noodzakelijk, o.a. binnen het nieuwe NCG