

---

# **GEODÄSIE UND HYDROLOGIE – GEMEINSAM ZUM ERFOLGREICHEN RESDURCENMANAGEMENT**

Matthias Weigelt

[weigelt@gis.uni-stuttgart.de](mailto:weigelt@gis.uni-stuttgart.de)

18.11.2011

# Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Erholungsraum

Lebensraum



Transportweg

Wirtschaftsgut

Rohstoff



# Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Erholungsraum

Lebensraum



Transportweg

Wirtschaftsgut

Rohstoff

**Zugang zu sauberem Trinkwasser ist ein Menschenrecht**  
(UN-Vollversammlung vom 28. Juli 2010)



# Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Erholungsraum

Lebensraum



**... aber Wasser ist begrenzt**



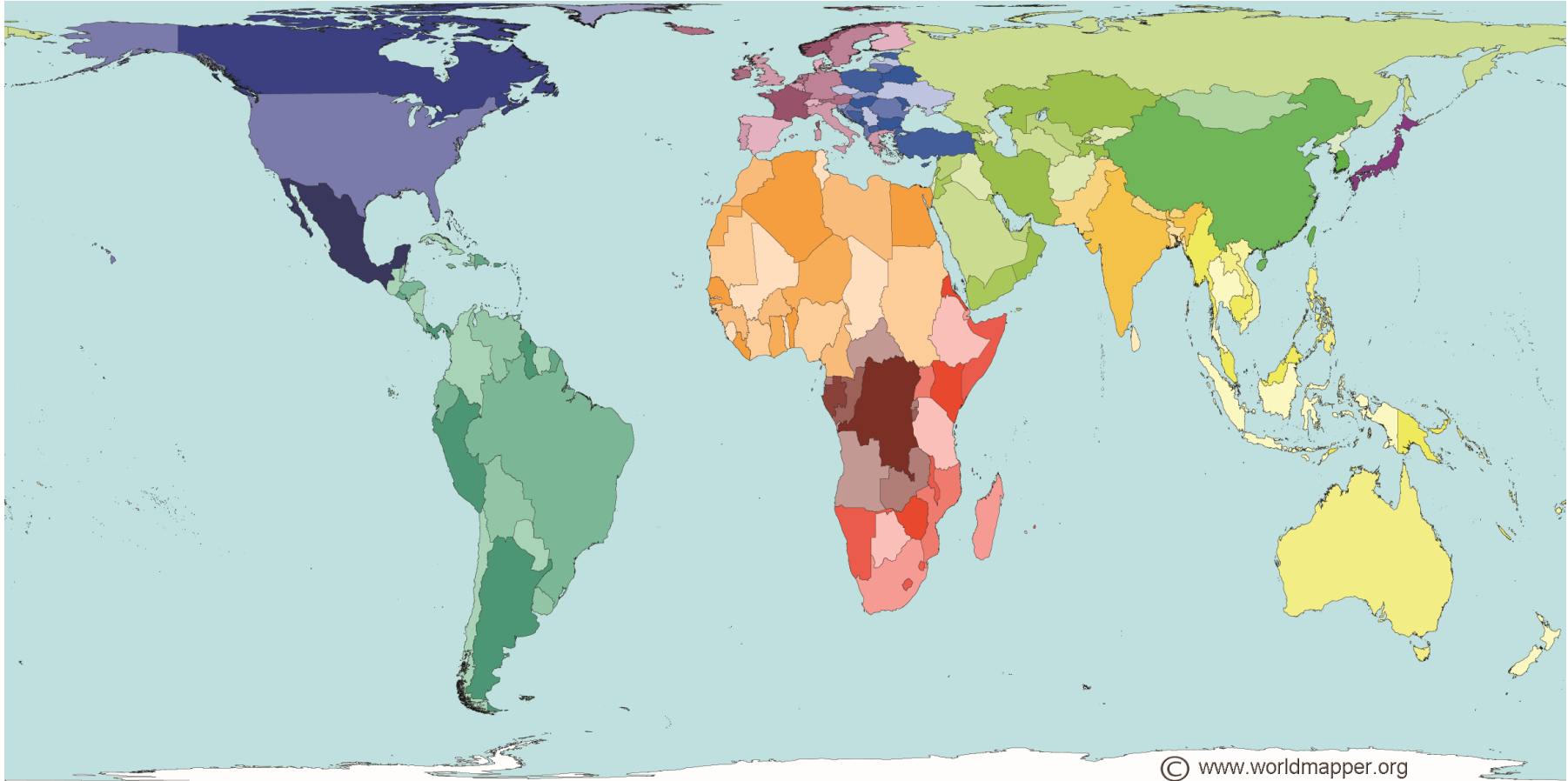
Transportweg

Wirtschaftsgut

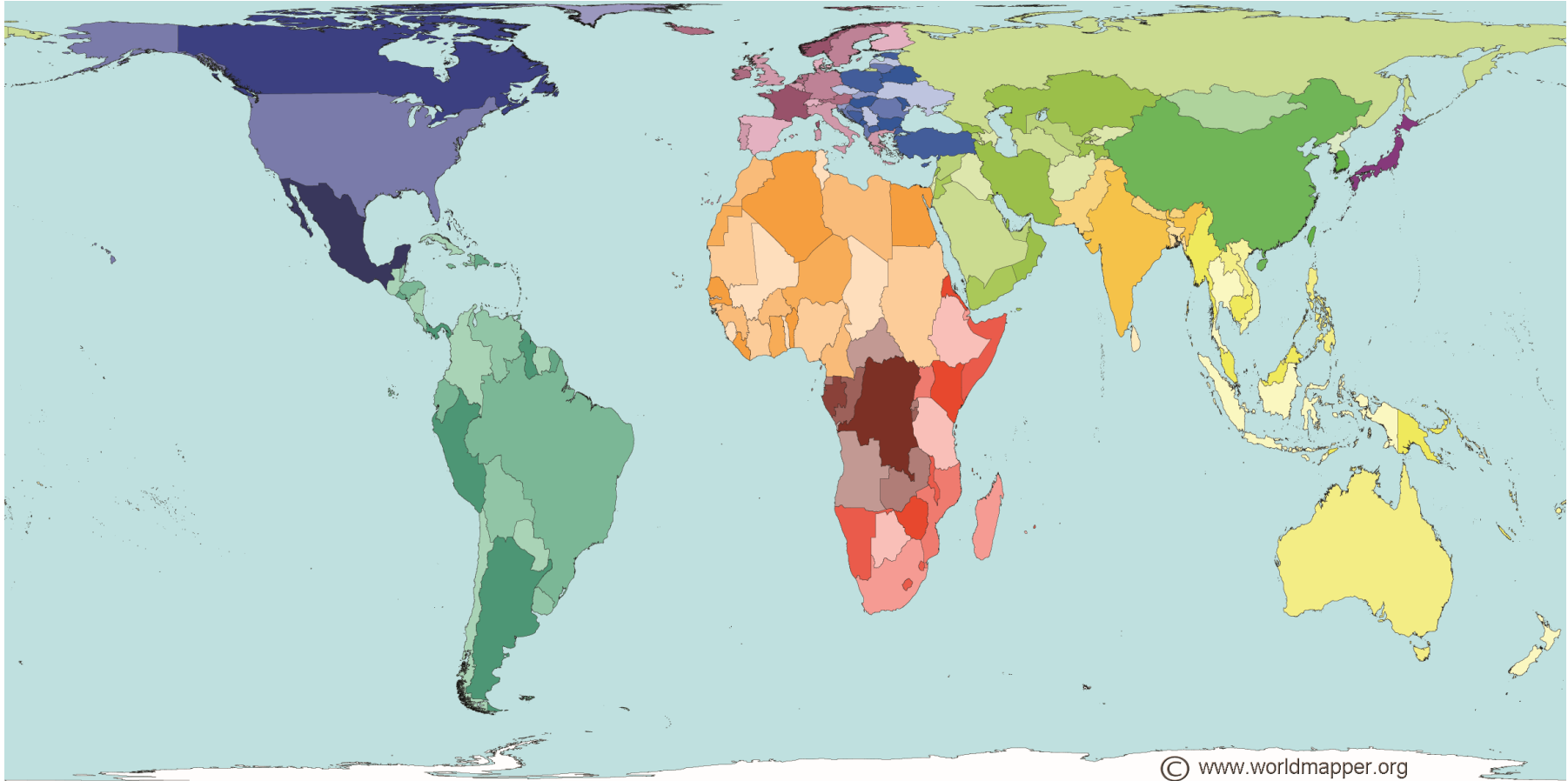
Rohstoff

**Zugang zu sauberem Trinkwasser ist ein Menschenrecht**  
(UN-Vollversammlung vom 28. Juli 2010)

# Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...

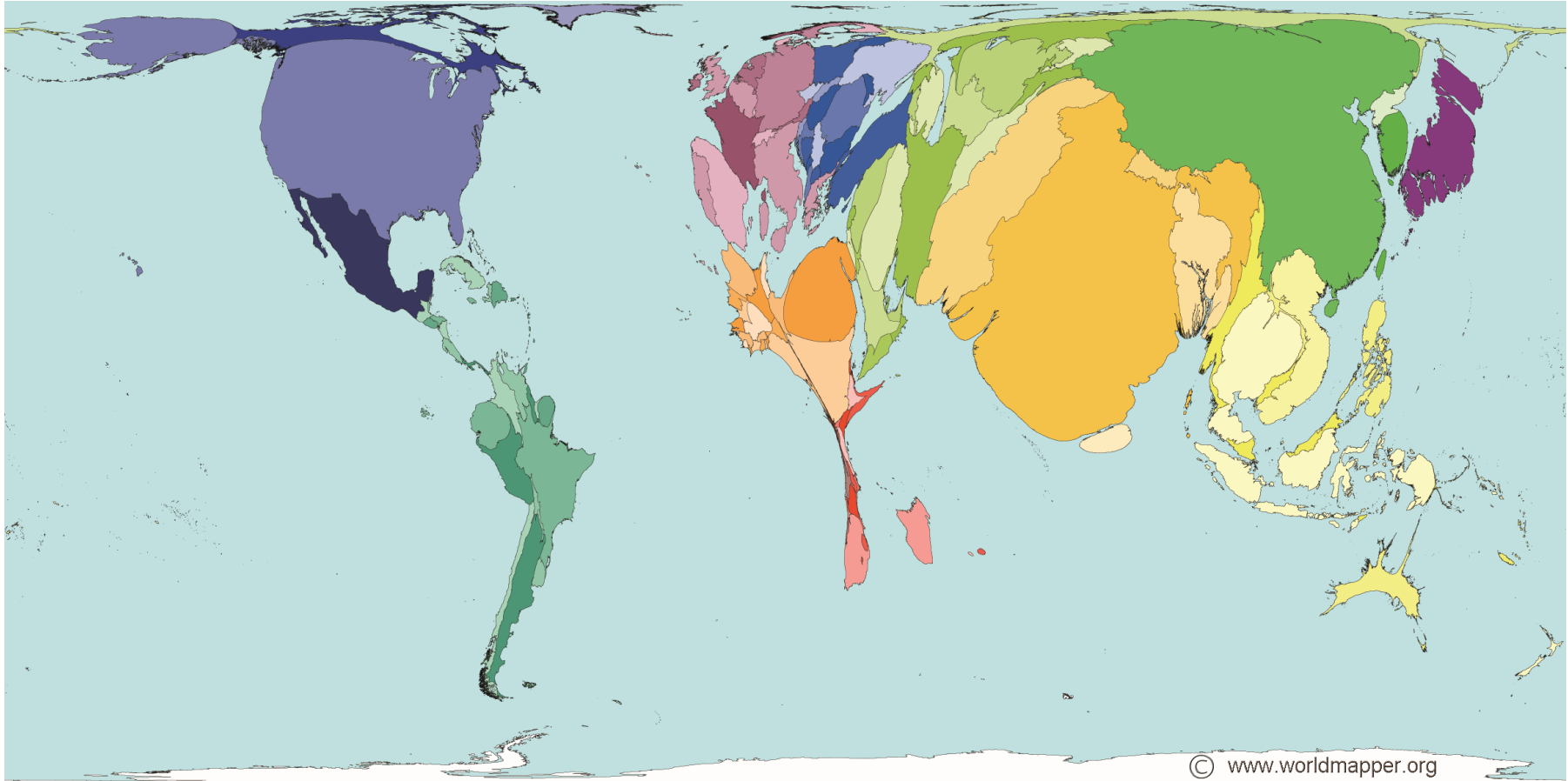


# Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...



Wasserresource

# Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...

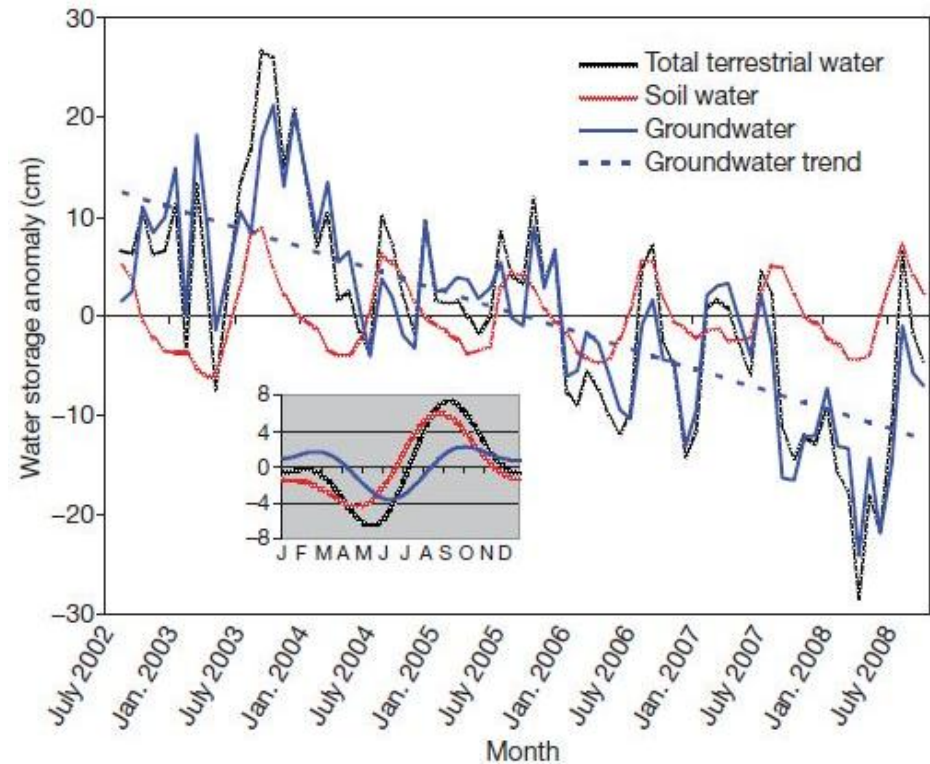
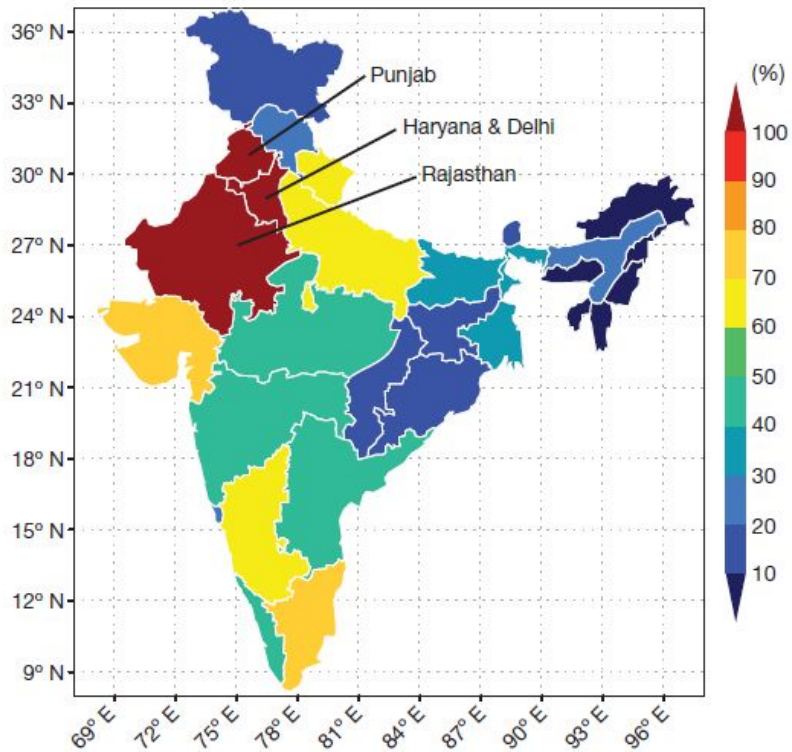


Wasserverbrauch



# Wasser ist gestresst ...

- Wasserbilanz in Indien (Rodell et al., Nature, vol. 460, 2009)





# Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011



Köln 2011

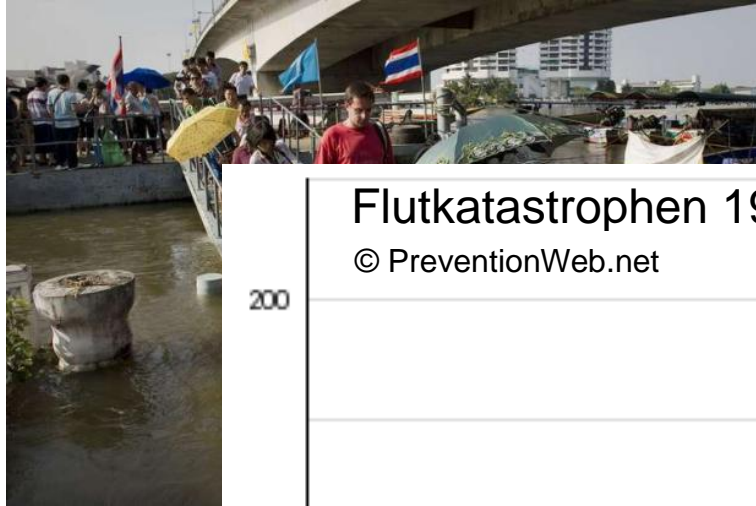


Queensland 2010

New Orleans 2005

# Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011

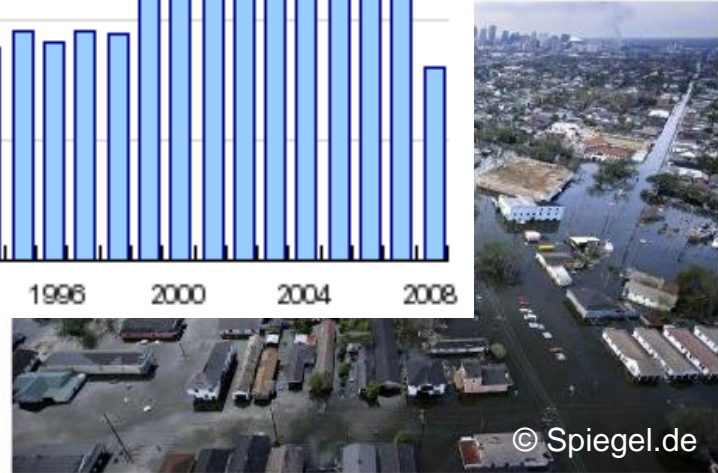
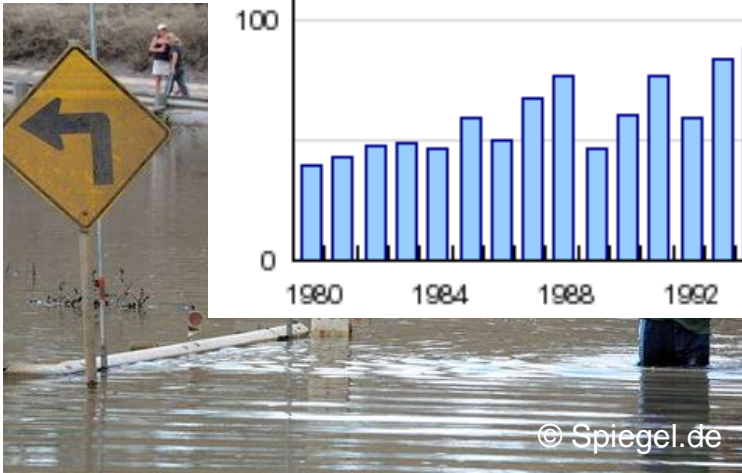
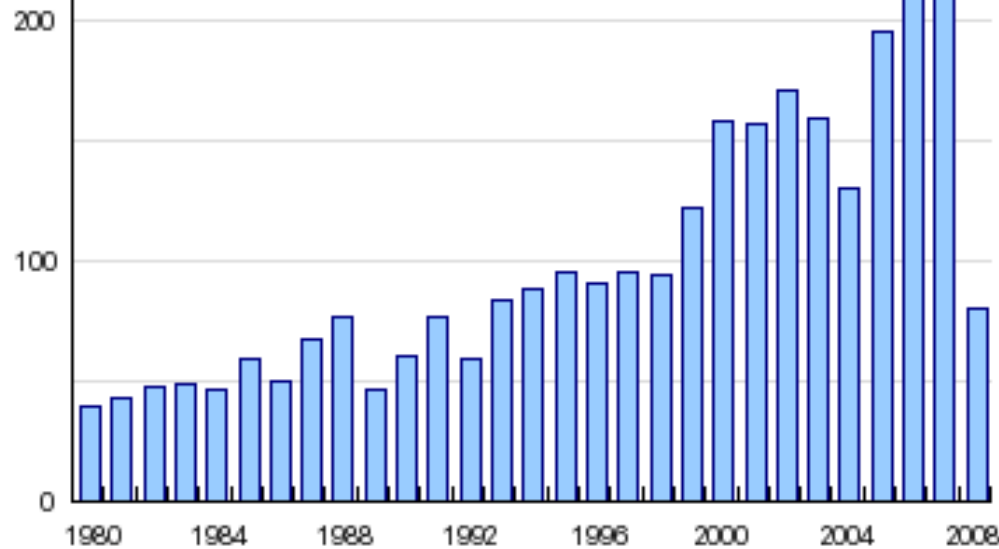


Köln 2011



Flutkatastrophen 1980 – Sept. 2008

© PreventionWeb.net



Queensland 2010

New Orleans 2005



# Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011



Köln 2011



## Wasser hat einen kleinen Kopf



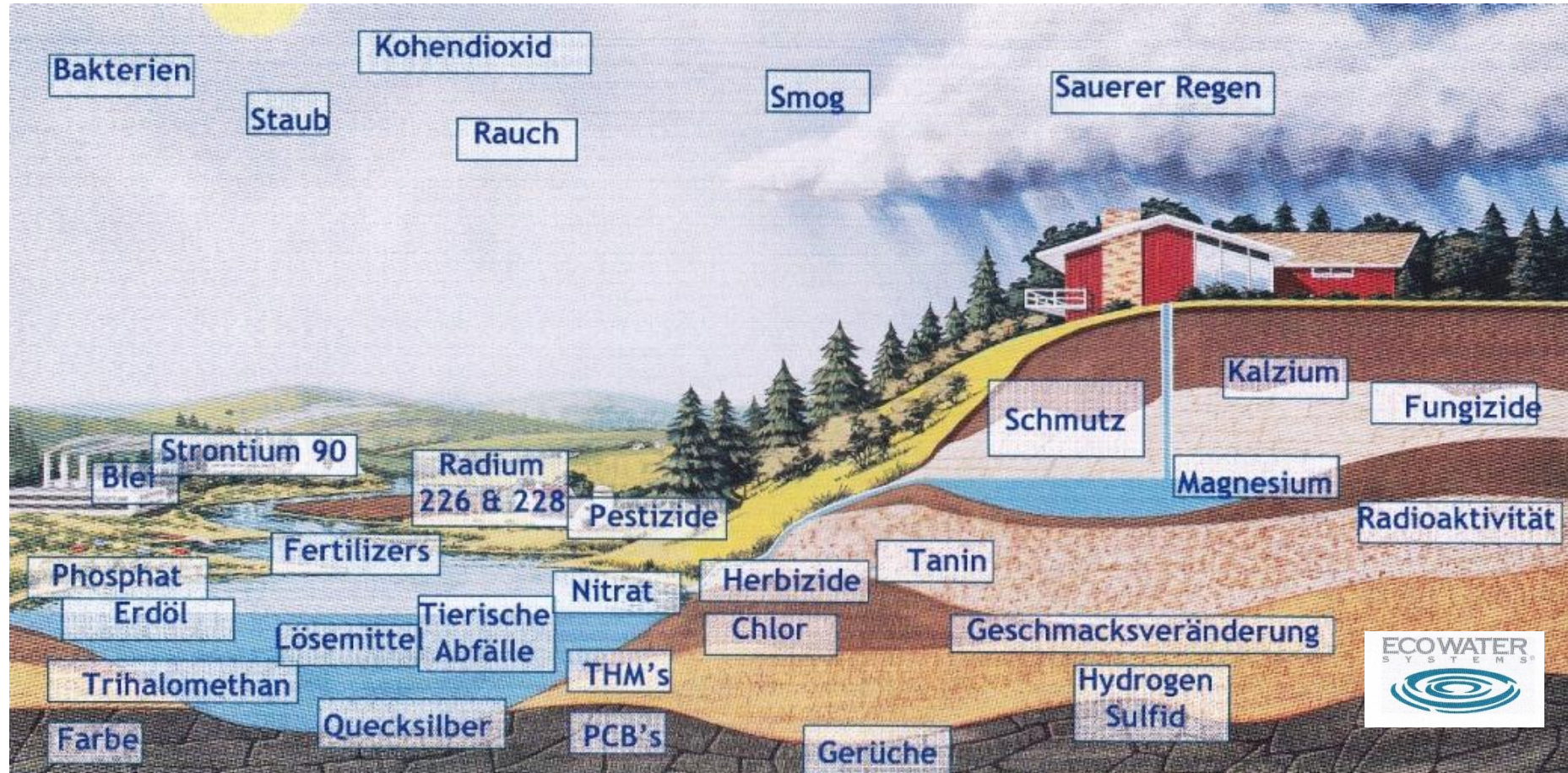
Queensland 2010



New Orleans 2005



# Wasser ist belastet ...



2050 ?

# Water, water everywhere but not a single drop to drink

Samuel Taylor Coleridge - *The Rime of the Ancient Mariner*



# Empfehlungen der EU-Kommission

---

Kommunikée vom 28. Oktober 2011 (K(2011) 7403)

- Verfügbarkeit von Wasser in **ausreichender Menge** und **angemessener Qualität** ist ein Thema von hoher Priorität und eine europa- und weltweite gesellschaftliche Herausforderung.
- Die Wasserverschmutzung gibt Anlass zu gesundheitlichen Bedenken.
- Ziele:
  - Guter ökologischer, chemischer und mengenmäßiger Zustand
  - Nachhaltige Wassernutzung
  - Höhere Versorgungssicherheit
  - Effizientere Bewässerung, Schonung der Grundwasserreserve
  - Führungsrolle der europäischen Wasserindustrie



- Positionierung der Hydrogeodäsie
- Messmethoden: Beispiel GRACE
- Aufgabenstellung

# Positionierung der Hydrogeodäsie

---

Philosophien:

datengestützt

modellgestützt

# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien:

datengestützt

modellgestützt

## benötigt:

- Messungen, Datenverarbeitung
- Grundgleichung:  
z.B. Wasserbilanz

$$P - ET_a - R = \frac{\partial S_M}{\partial t}$$

## Ziele:

- Validierung von Messungen
- Fehlerabschätzung
- Parameterbestimmung



# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien:

datengestützt

benötigt:

- Messungen, Datenverarbeitung
- Grundgleichung:  
z.B. Wasserbilanz

$$P - ET_a - R = \frac{\partial S_M}{\partial t}$$

Ziele:

- Validierung von Messungen
- Fehlerabschätzung
- Parameterbestimmung

modellgestützt

benötigt:

- Modellgleichung(en):  
z.B. Wasserstrom, Speicherprozess
- Klimadaten (Temperatur,...)
- Modellparameter (Vegetation,...)
- Kalibration (Messungen)

Ziele: Zeitreihen

- Wasserspeicherung
- Gesamtabfluss
- Grundwasserspiegel

# Positionierung der Hydrogeodäsie

---

## Philosophien

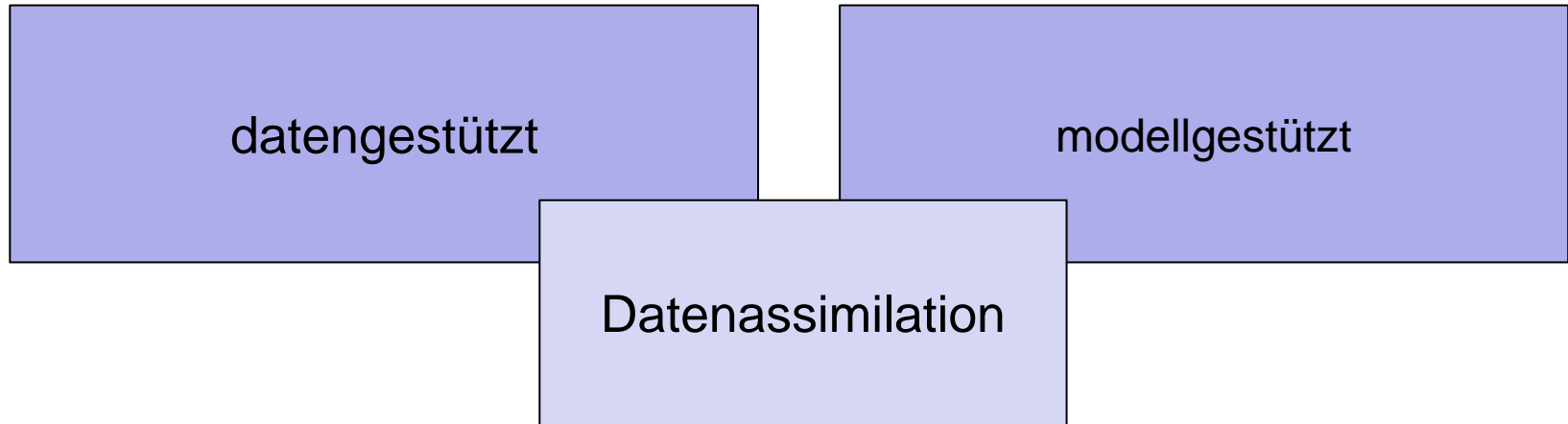
datengestützt

modellgestützt

# Positionierung der Hydrogeodäsie

---

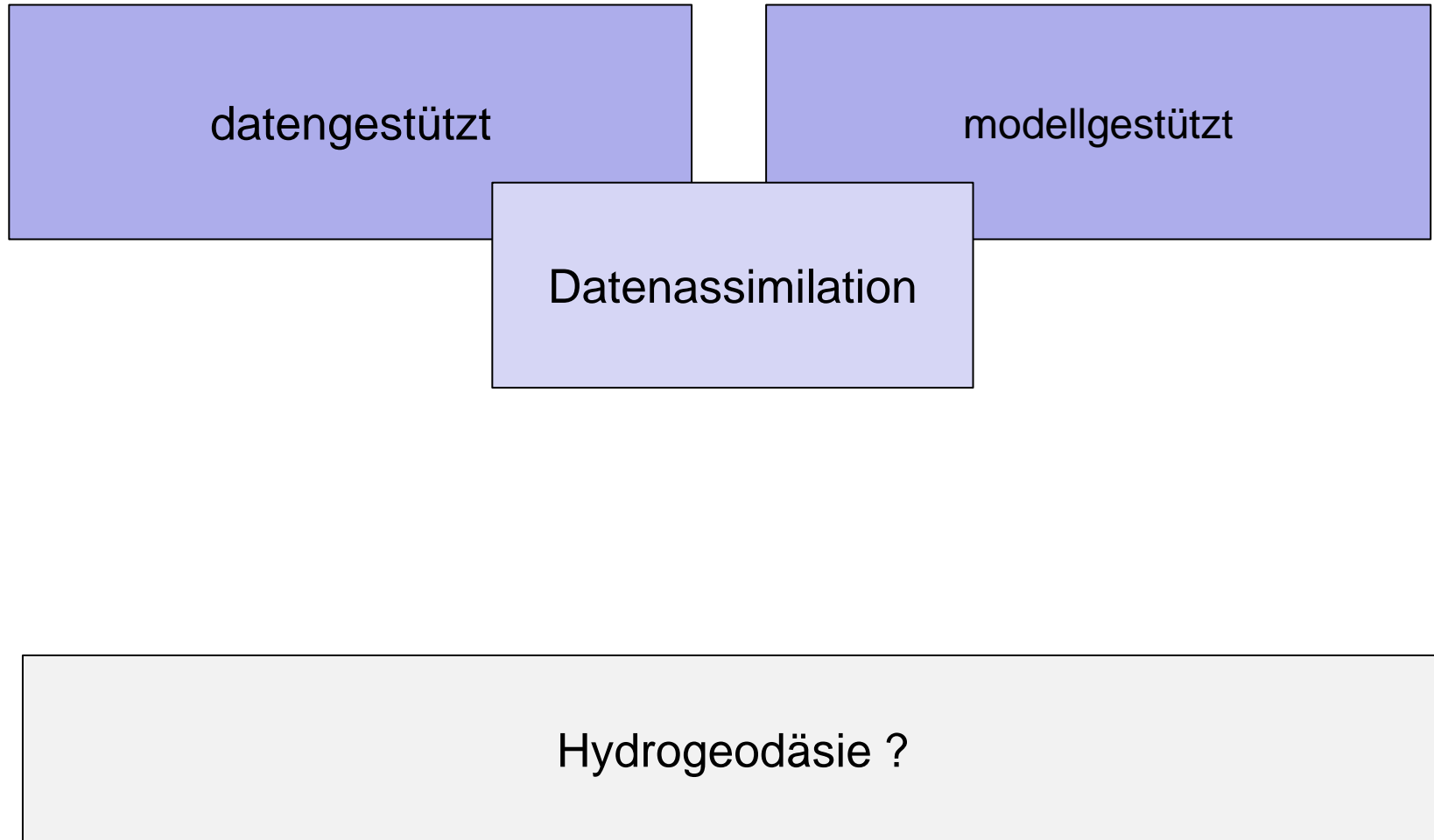
## Philosophien



# Positionierung der Hydrogeodäsie

---

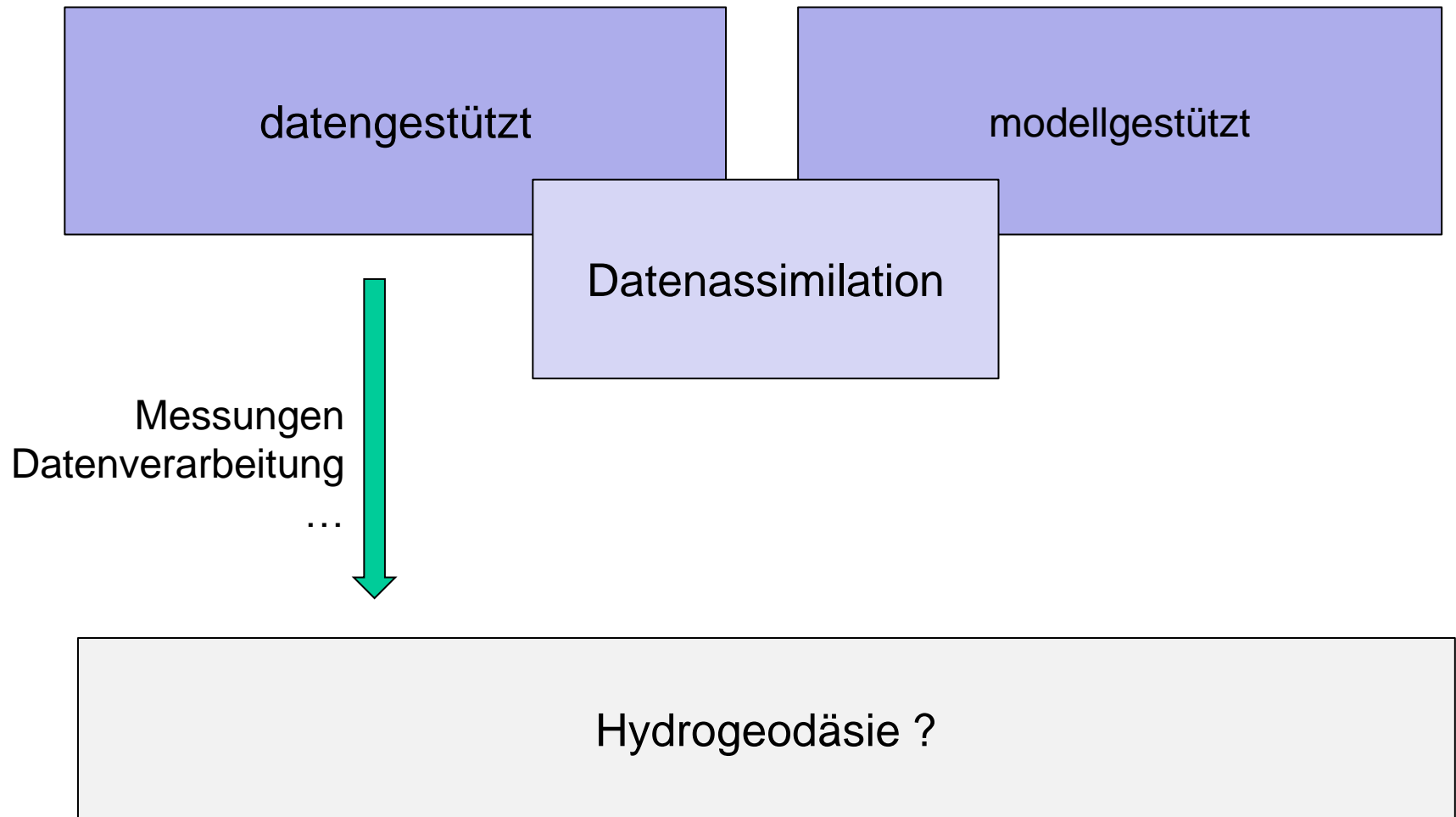
## Philosophien





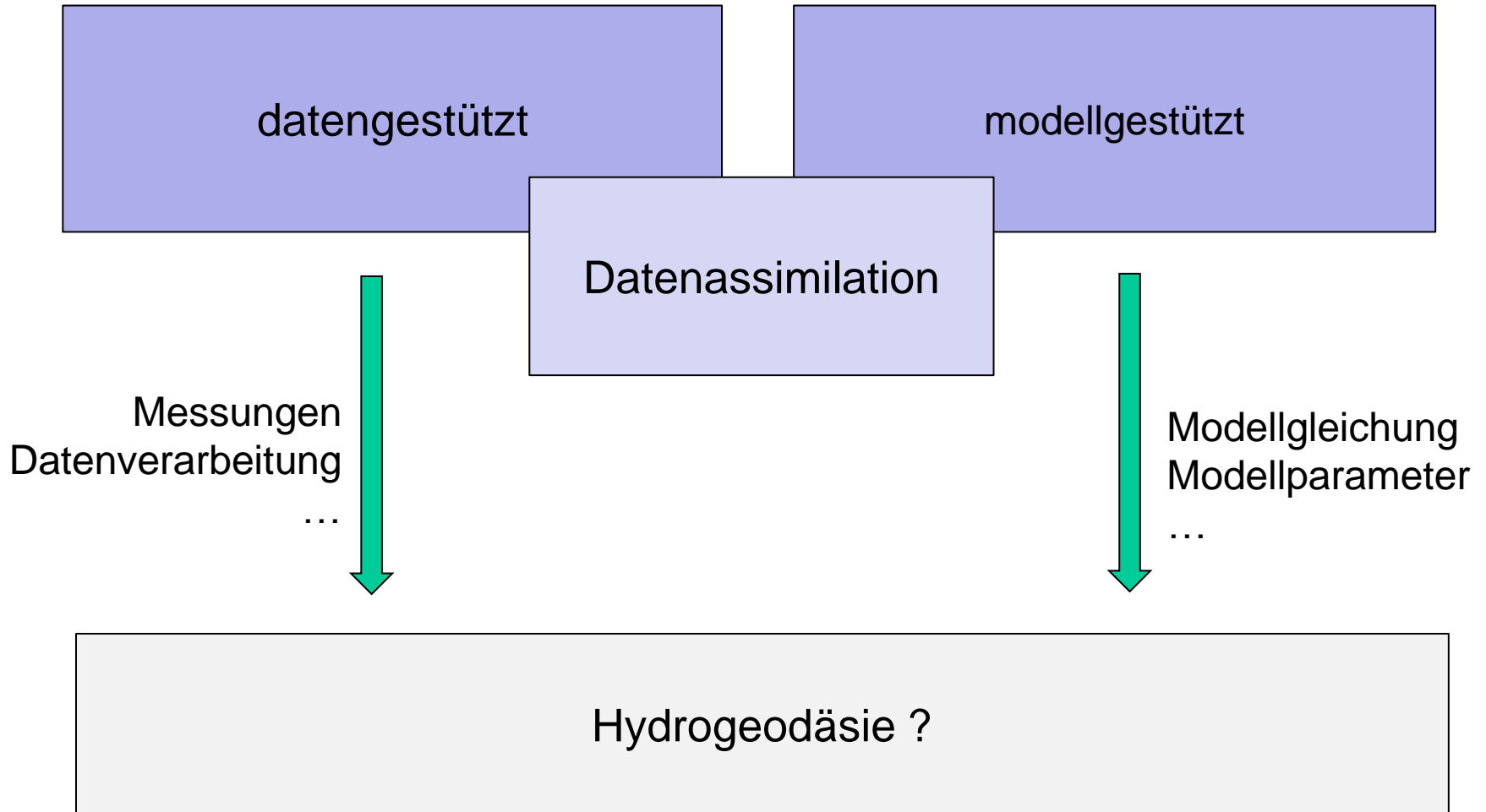
# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien



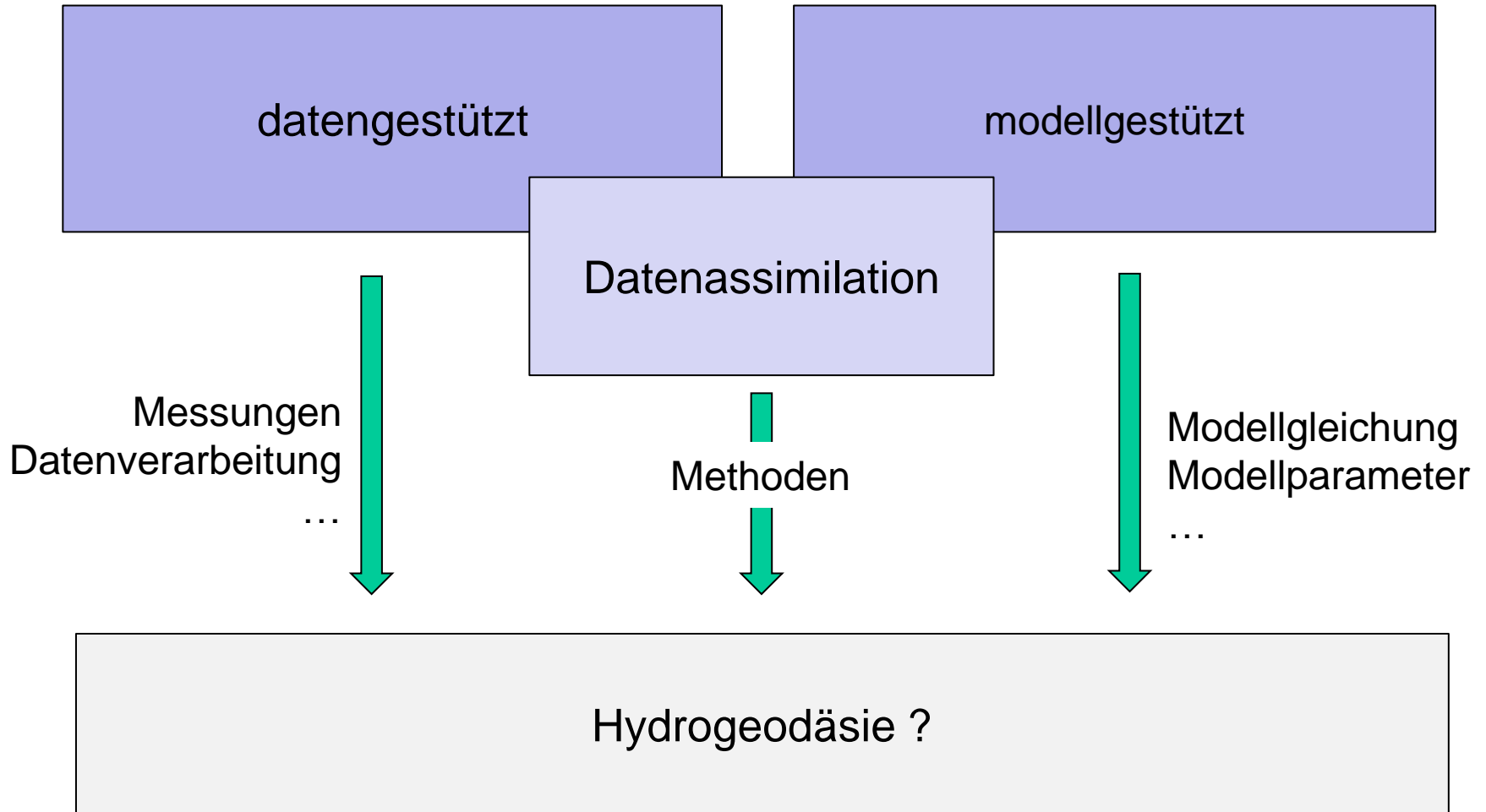
# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien



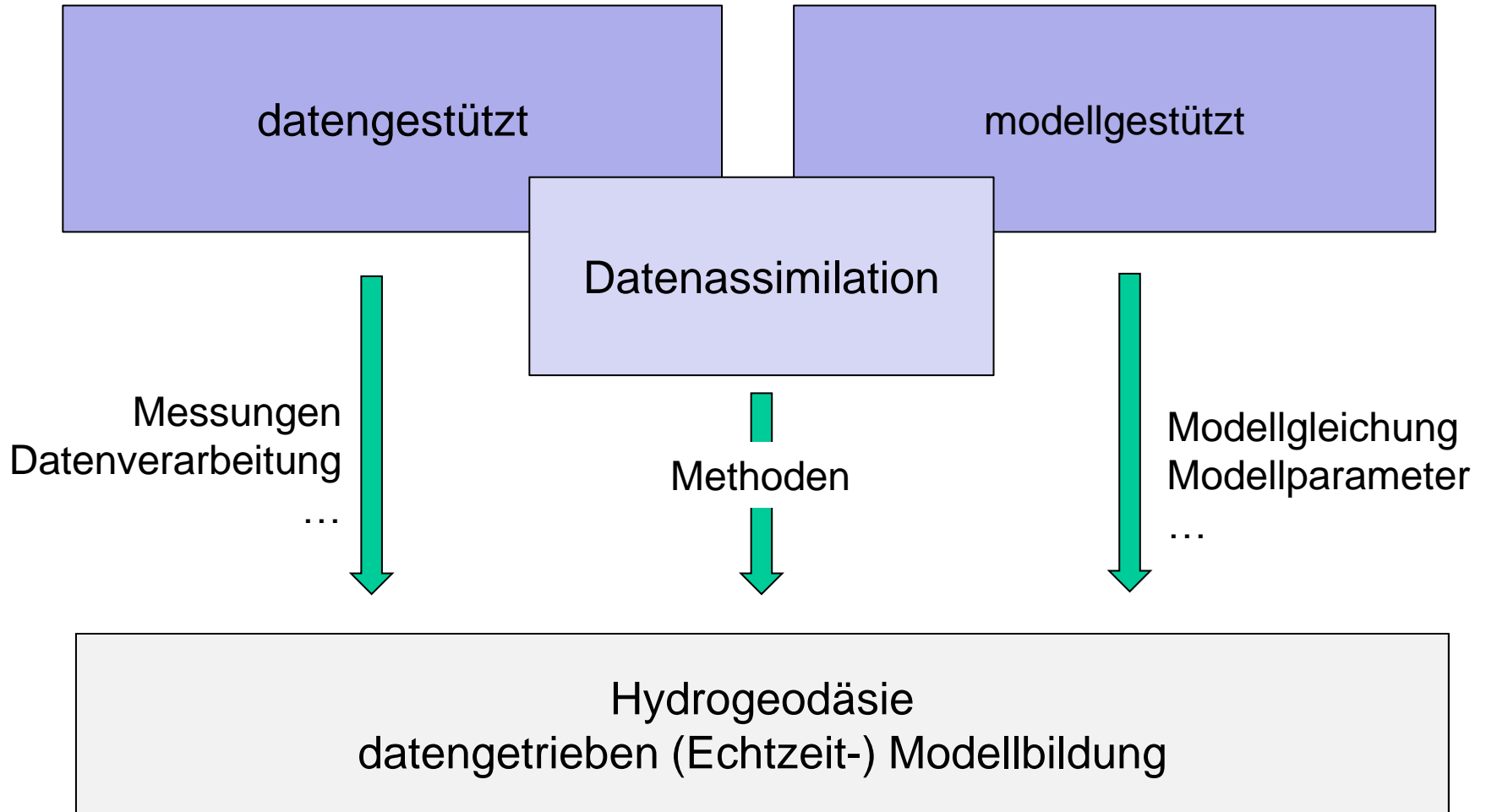
# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien



# Positionierung der Hydrogeodäsie

## Philosophien





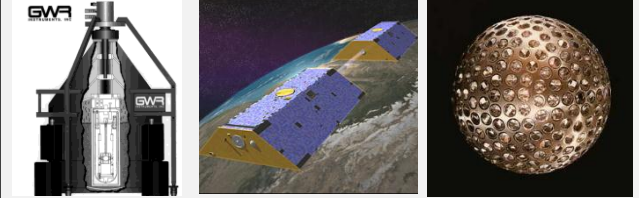
# Datengrundlage

## Geodäsie:

### Geometrie



### Gravimetrie



## Hydrologie:

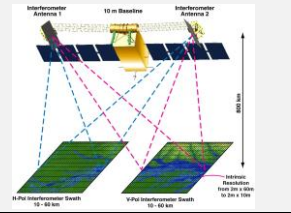
### Niederschlag



### Bodenfeuchte



### Oberfläche



### Luft



### Eis, Schnee



- Messsysteme müssen verstanden werden
- Fehler müssen abschätzbar sein
- Externe Einflüsse müssen identifiziert/bekannt sein

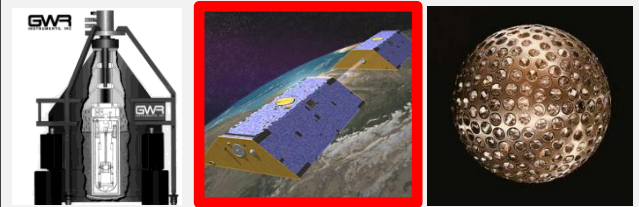
# Datengrundlage

## Geodäsie:

### Geometrie



### Gravimetrie



## Hydrologie:

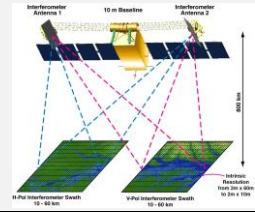
### Niederschlag



### Bodenfeuchte



### Oberfläche



### Luft



### Eis, Schnee



- Messsysteme müssen verstanden werden
- Fehler müssen abschätzbar sein
- Externe Einflüsse müssen identifiziert/bekannt sein

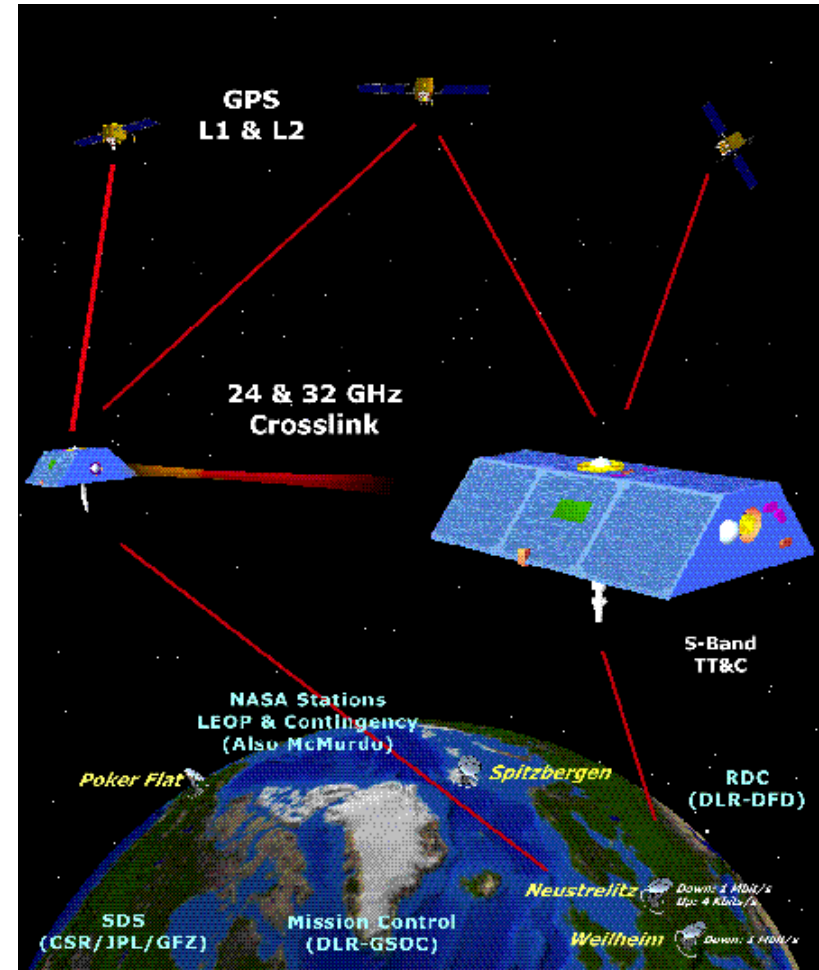
---

**GRACE**

# Satellitensystem GRACE

## GRACE = Gravity Recovery and Climate Experiment

- Orbit(anfangs)höhe: ~ 485 km
- Inklination: ~ 89°
- Schlüsseltechnologien:
  - GPS
  - Beschleunigungsmesser
  - K-Band Ranging System
- Beobachtungsgröße:
  - Distanz (range)  $\rho$
  - Distanzänderung (range rate)  $\dot{\rho}$

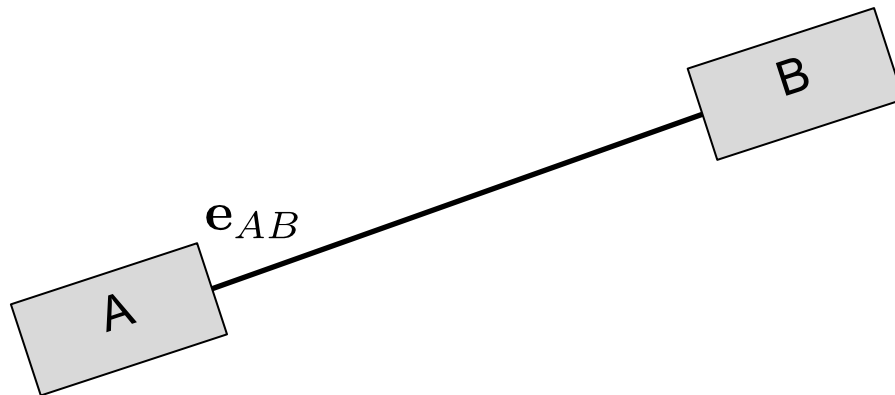


© CSR, UTexas



# Geometrie

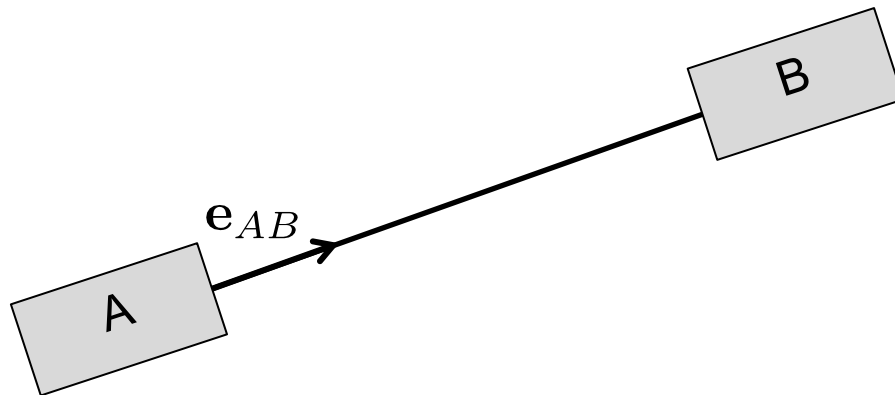
---



Rummel et al. 1978

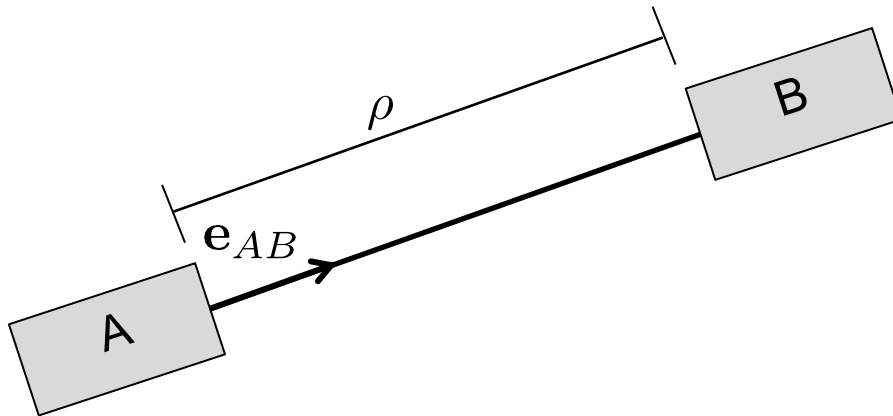
# Geometrie

---



Rummel et al. 1978

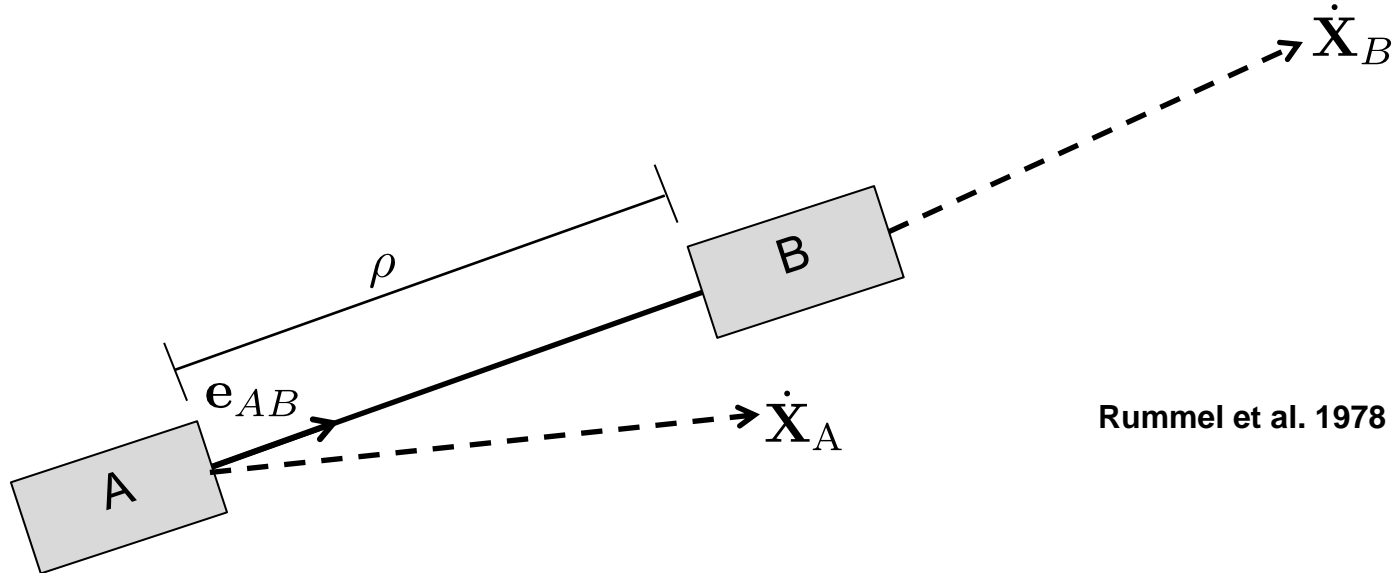
# Geometrie



Rummel et al. 1978

$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

# Geometrie

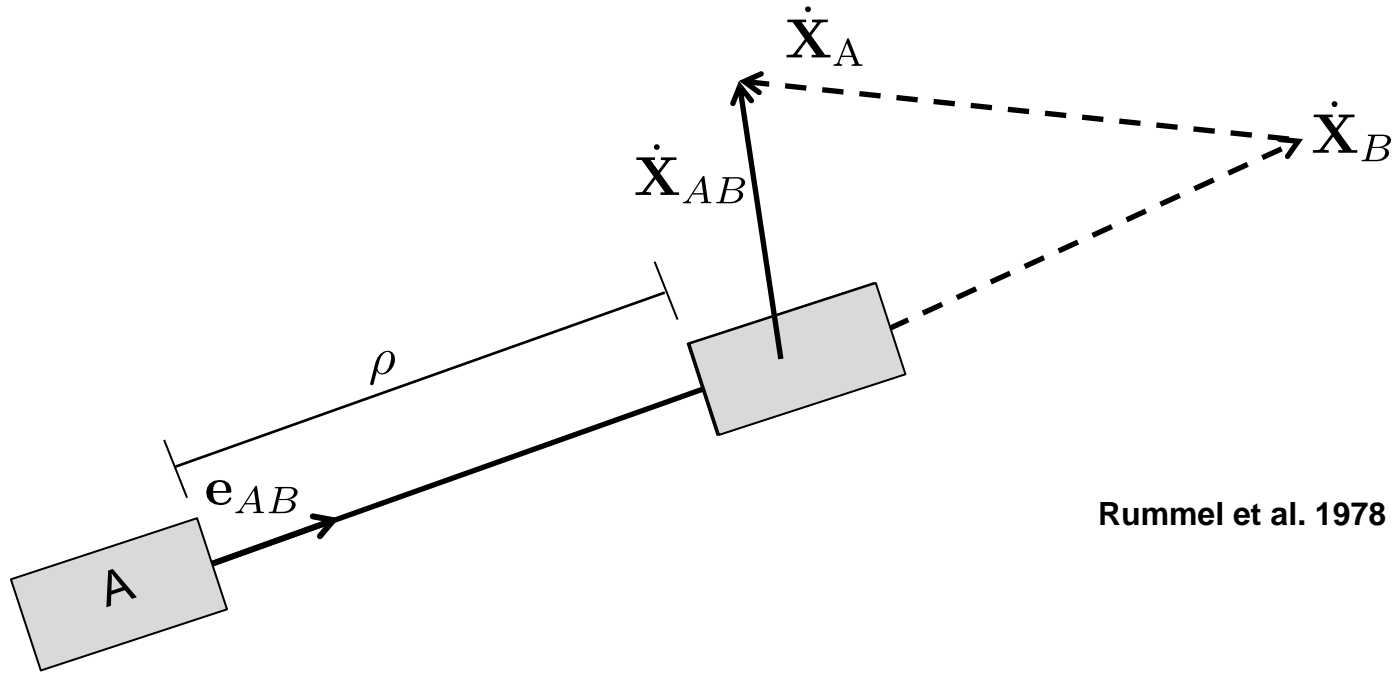


Rummel et al. 1978

$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$



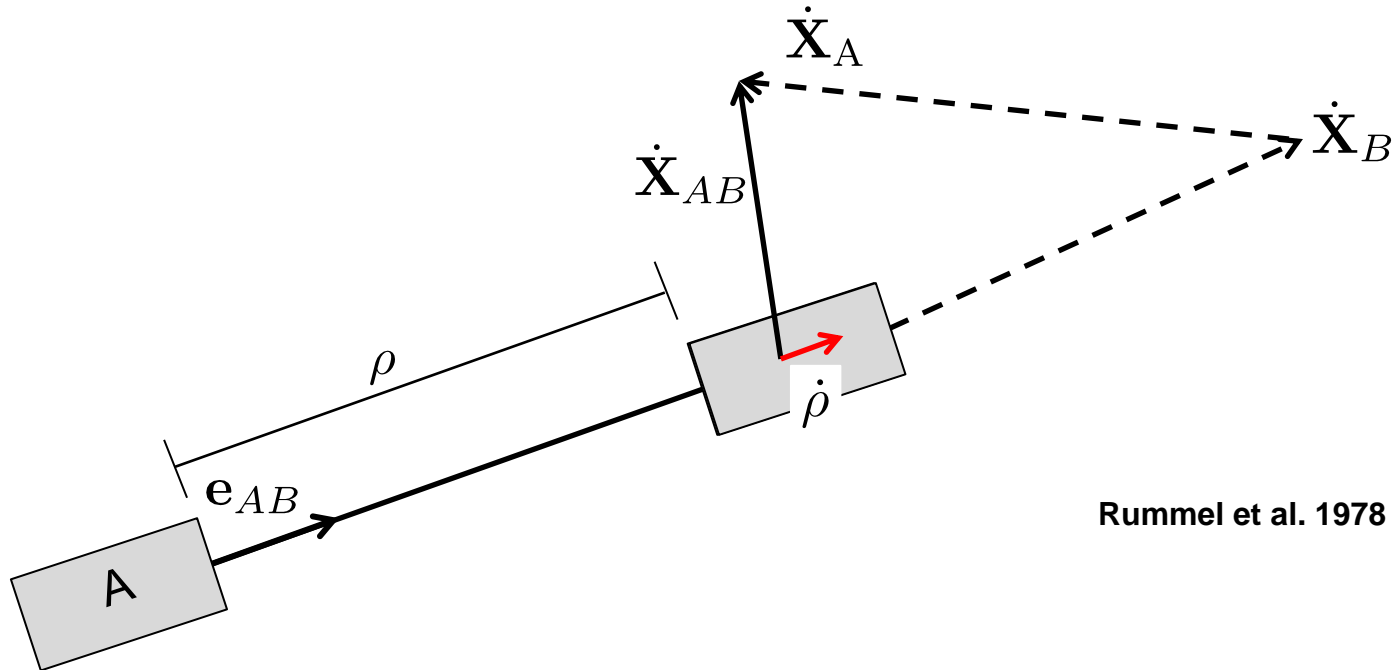
# Geometrie



Rummel et al. 1978

$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

# Geometrie

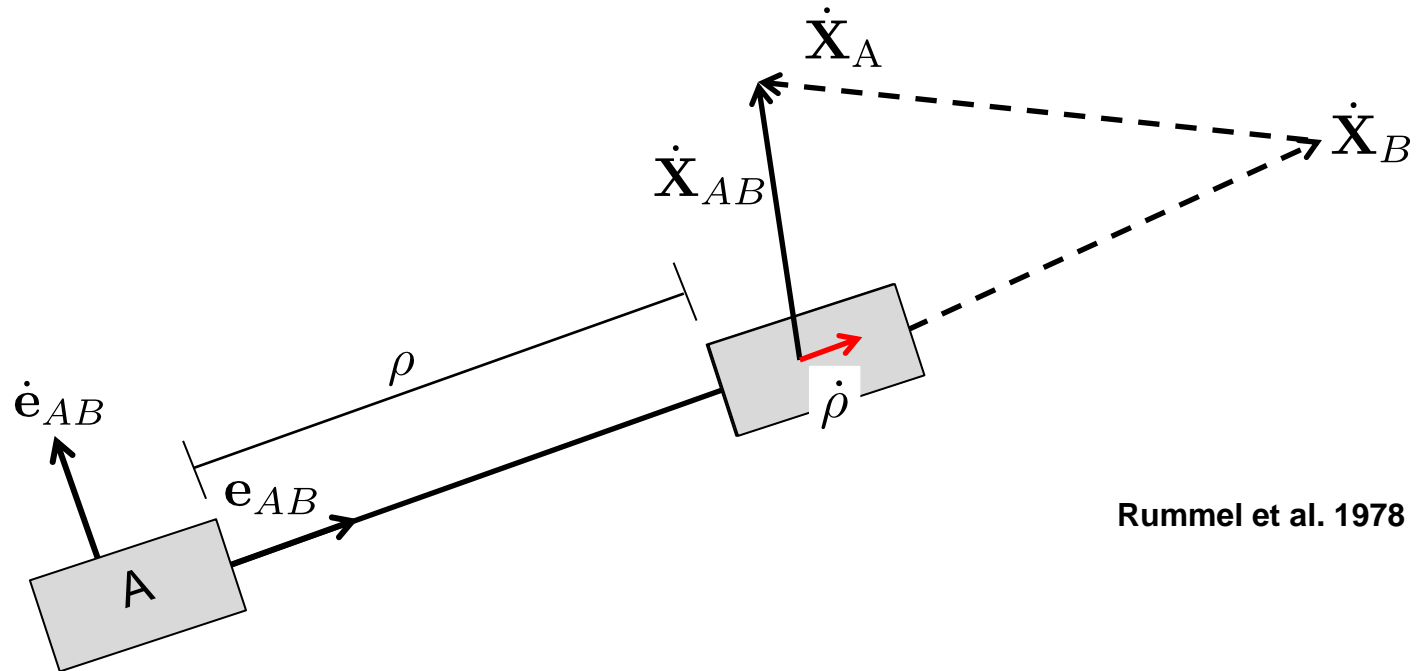


Rummel et al. 1978

$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\dot{\rho} = \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

# Geometrie



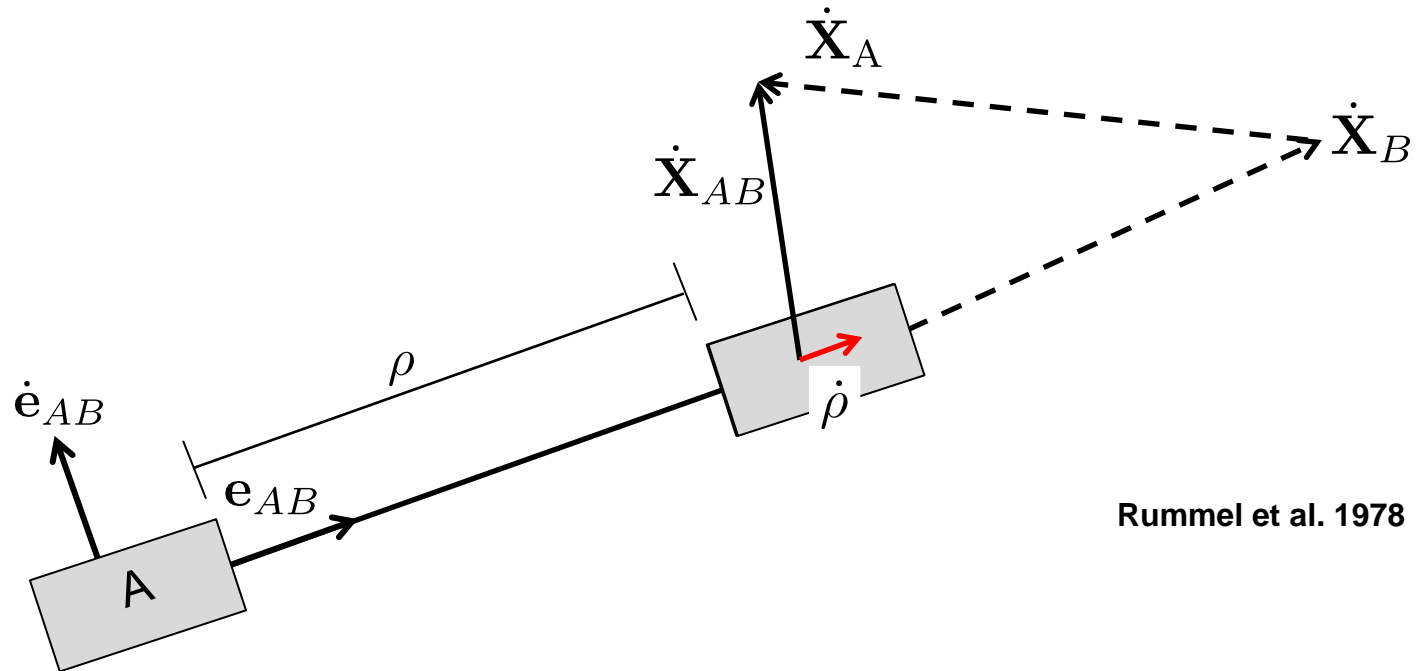
Rummel et al. 1978

$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\dot{\rho} = \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\ddot{\rho} = \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} + \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}$$

# Geometrie



Rummel et al. 1978

**Differentiation**



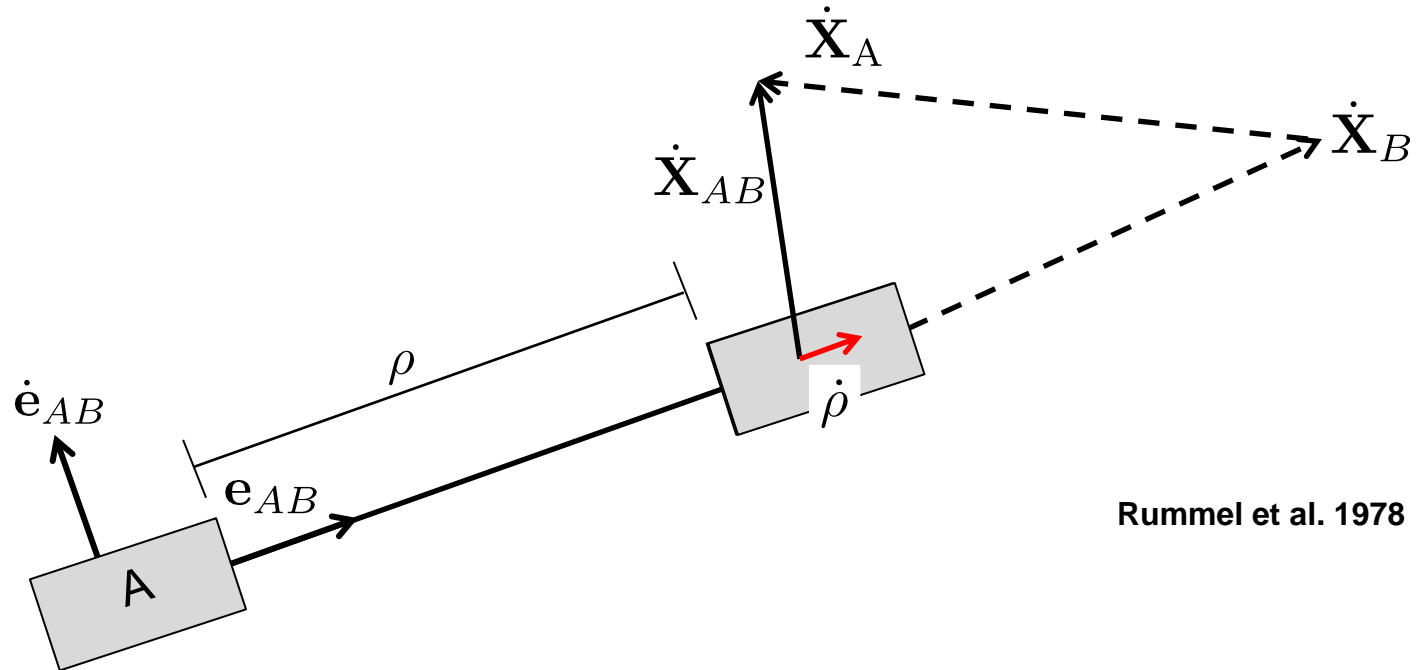
$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\dot{\rho} = \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\ddot{\rho} = \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} + \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}$$



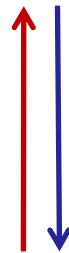
# Geometrie



Rummel et al. 1978

**Differentiation**

**Integration**

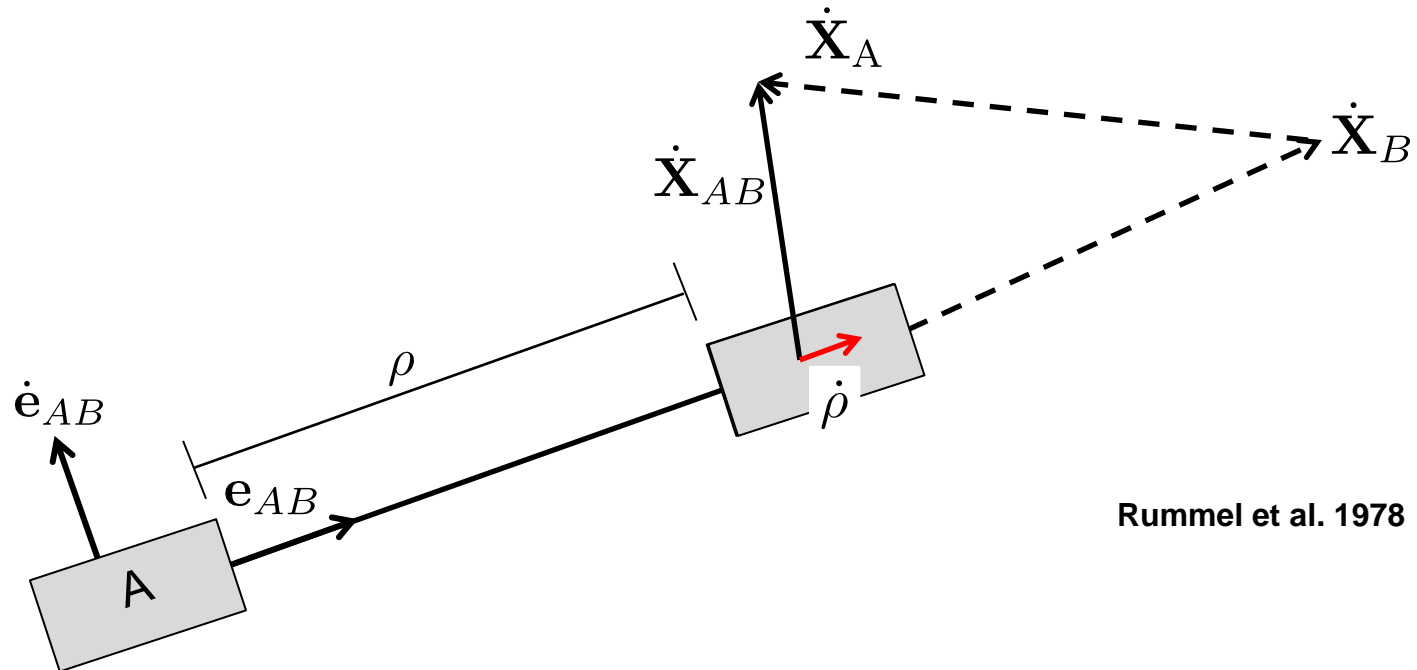


$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\dot{\rho} = \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\ddot{\rho} = \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} + \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}$$

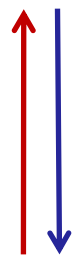
# Geometrie



Rummel et al. 1978

Differentiation

Integration



$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\dot{\rho} = \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

$$\ddot{\rho} = \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} + \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}$$
$$= \nabla V_{AB}$$

# Schwerfeldmodellierung

$$V(\lambda, \theta, r) = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\cos \theta) (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda)$$

with  $GM$  gravitational constant times mass of the Earth

$R$  radius of the Earth

$\lambda, \theta, r$  spherical coordinates of the calculation point

$\bar{P}_{nm}$  Legendre function

$n, m$  degree, order

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$  (unknown) spherical harmonic coefficients

# Lösungsansätze

## Variationsgleichung

### Klassisch

(Reigber 1989, Tapley 2004)

### Methode kurzer Bahnbögen

(Mayer-Gürr 2006)

### Celestial mechanics approach

(Beutler et al. 2010, Jäggi 2007)

...

## In-situ observations

### Energieintegral

(Han 2003, Ramillien et al. 2010)

### Differentielle Gravimetrie

(Rummel 1978, Liu 2010)

### LoS Gradiometrie

(Keller and Sharifi 2005)

...

# Lösungsansätze

## Variationsgleichung

$\rho, \dot{\rho}$

**Klassisch**  
(Reigber 1989, Tapley 2004)

$\rho, \dot{\rho}$

**Methode kurzer Bahnbögen**  
(Mayer-Gürr 2006)

**Celestial mechanics approach**

$\rho, \dot{\rho}, \Delta\rho$  (Beutler et al. 2010, Jäggi 2007)

...

## In-situ observations

**Energieintegral**  
(Han 2003, Ramillien et al. 2010)

$\dot{\rho}$

**Differentielle Gravimetrie**  
(Rummel 1978, Liu 2010)

$\ddot{\rho}$

**LoS Gradiometrie**  
(Keller and Sharifi 2005)

$\ddot{\rho}$

$\rho$

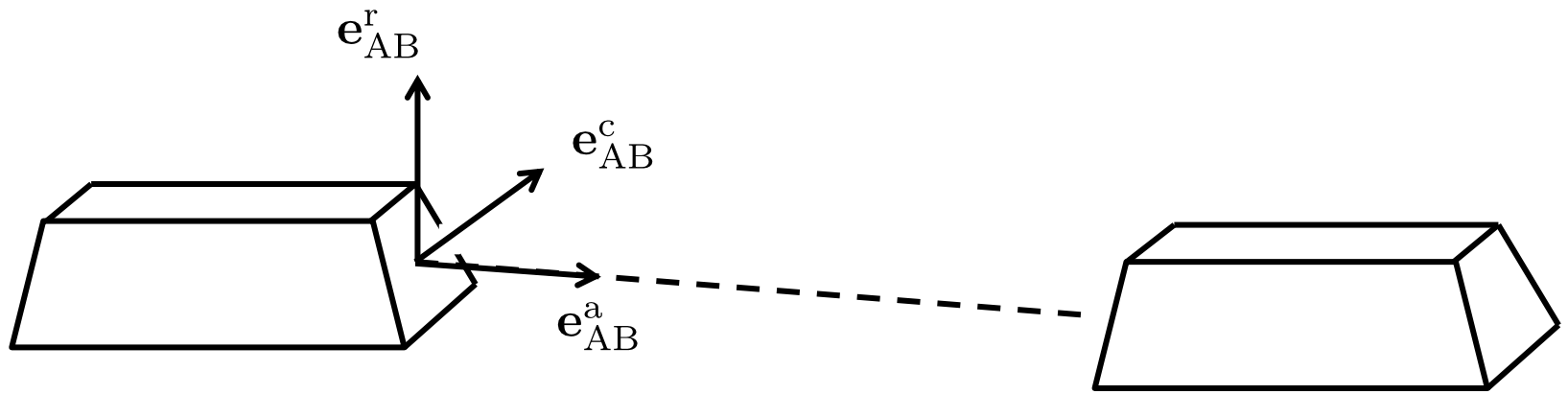
...

---

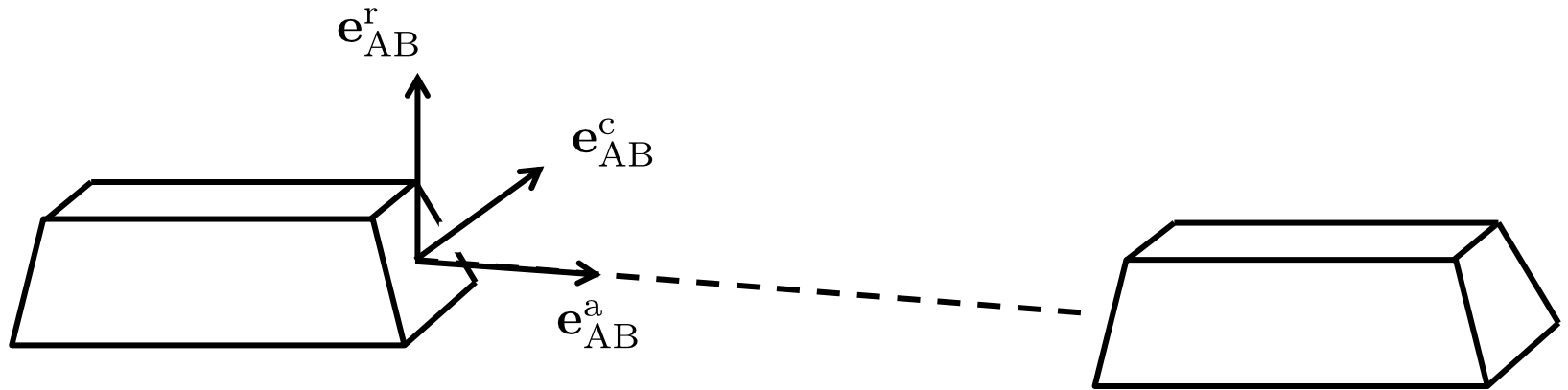
# **DIFFERENTIELLE GRAVIMETRIE**



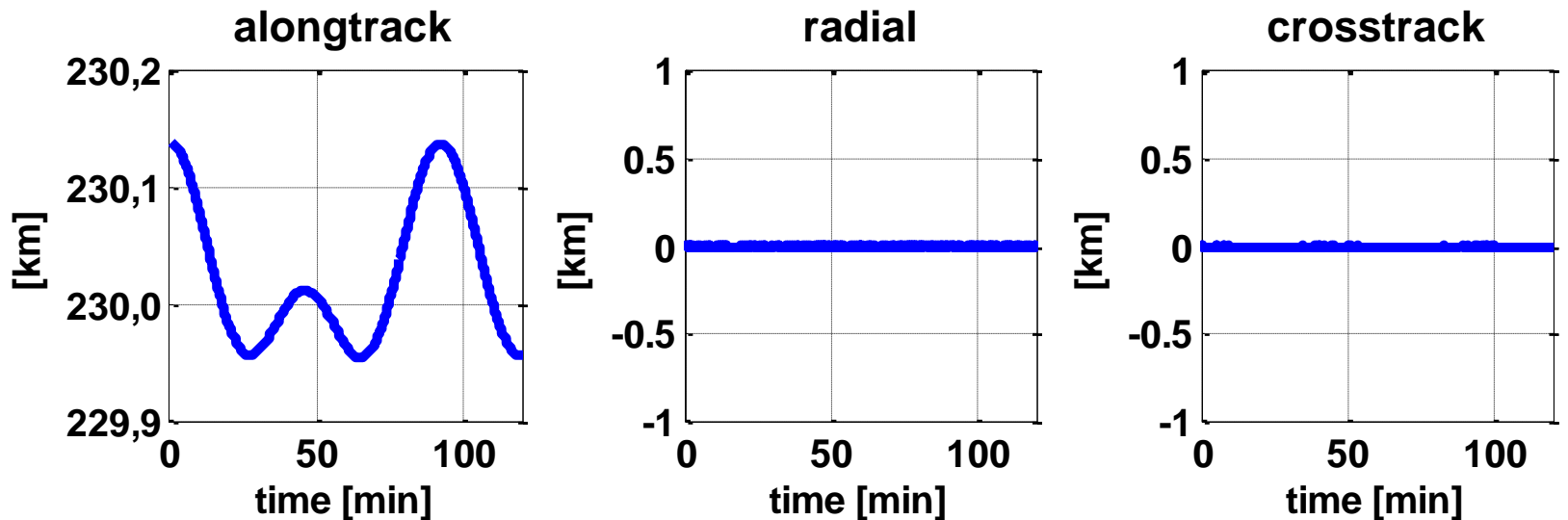
# Instantaneous relative reference frame



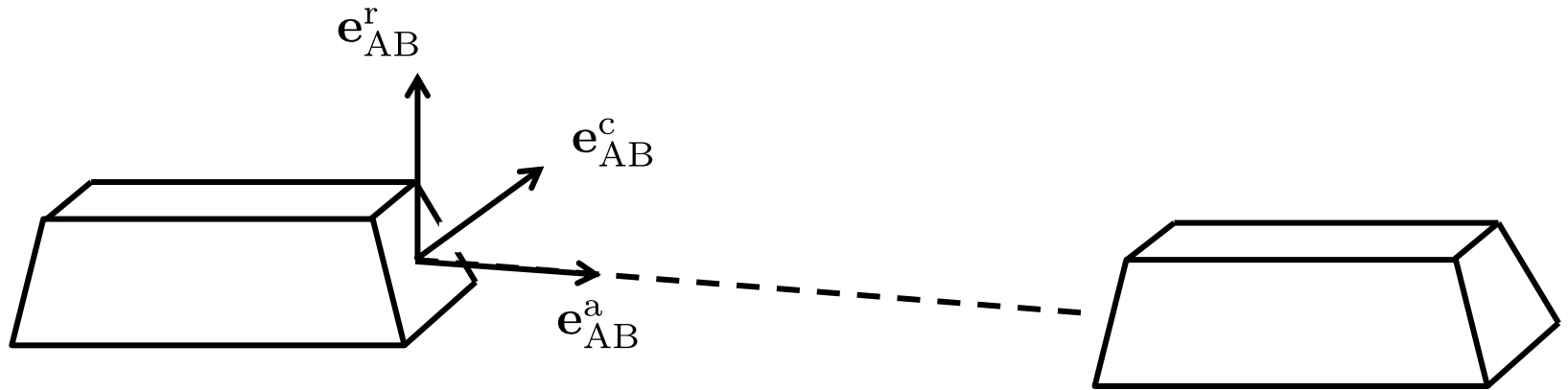
# Instantaneous relative reference frame



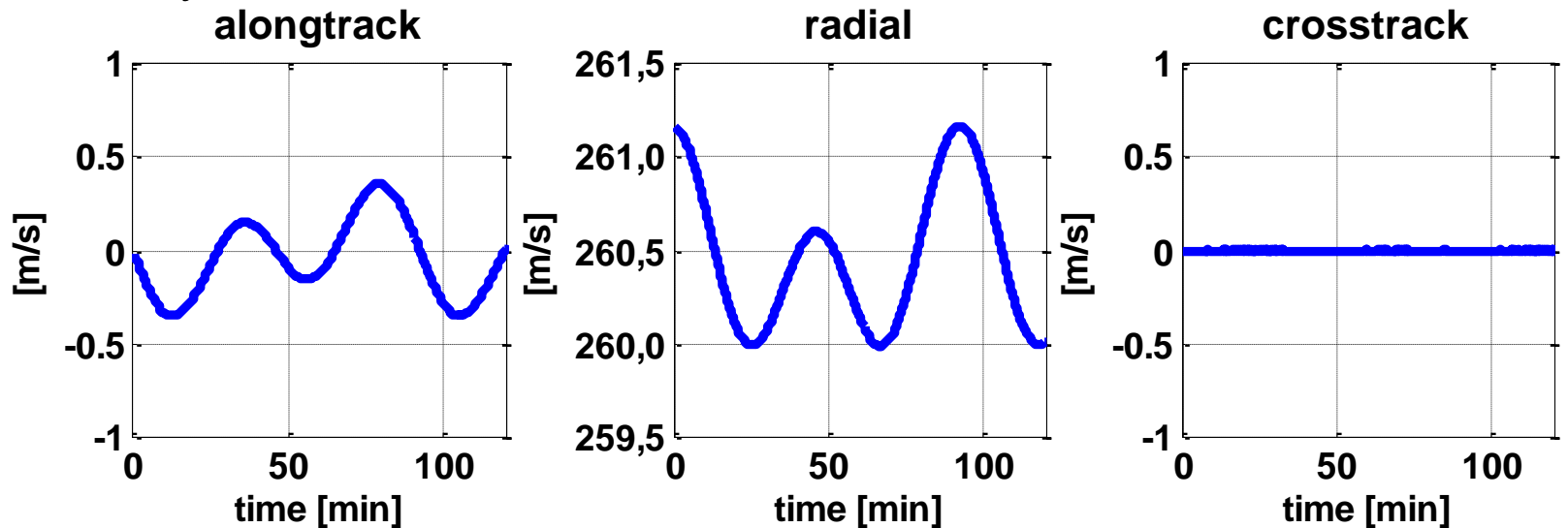
Position



# Instantaneous relative reference frame



Velocity



# In-situ Beobachtungen

---

Distanzbeobachtung:  $\mathbf{X}_{AB} = \rho \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$

# In-situ Beobachtungen

---

Distanzbeobachtung:

$$\mathbf{X}_{AB} = \rho \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

$$\dot{\mathbf{X}}_{AB} = \dot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + \rho \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$

# In-situ Beobachtungen

---

Distanzbeobachtung:

$$\mathbf{X}_{AB} = \rho \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

$$\dot{\mathbf{X}}_{AB} = \dot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + \rho \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} = \ddot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + 2\dot{\rho} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$



# In-situ Beobachtungen

Distanzbeobachtung:

$$\mathbf{X}_{AB} = \rho \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$
$$\dot{\mathbf{X}}_{AB} = \dot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + \rho \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} = \ddot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + 2\dot{\rho} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$

Multiplikation mit Einheitsvektoren:

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a &= \ddot{\rho} + 0 + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a \\ \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^r &= 0 + 2 \cdot \dot{\rho} \cdot \|\dot{\mathbf{e}}_{AB}^a\| + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^r \\ \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^c &= 0 + 0 + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^c\end{aligned}$$

# In-situ Beobachtungen

Distanzbeobachtung:

$$\mathbf{X}_{AB} = \rho \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

$$\dot{\mathbf{X}}_{AB} = \dot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + \rho \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} = \ddot{\rho} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a + 2\dot{\rho} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a$$

Multiplikation mit Einheitsvektoren:

**GRACE**

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + 0 + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^r = 0 + 2 \cdot \dot{\rho} \cdot \|\dot{\mathbf{e}}_{AB}^a\| + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^r$$

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^c = 0 + 0 + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^c$$

# Relativbewegung

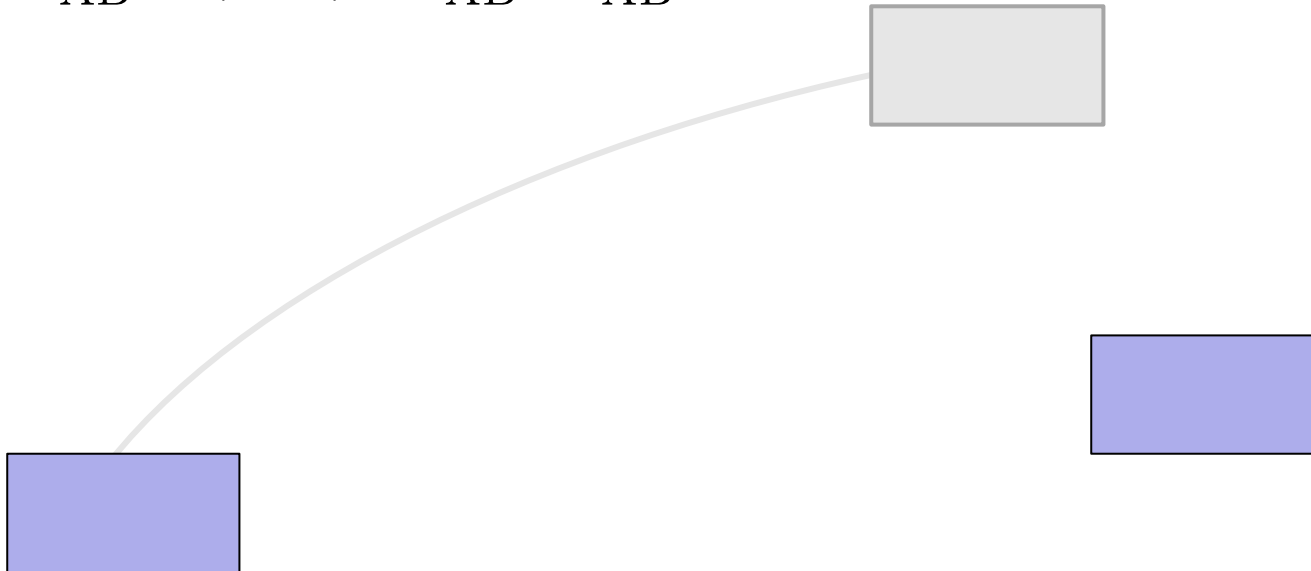
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$



# Relativbewegung

keine Absolutbewegung!

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

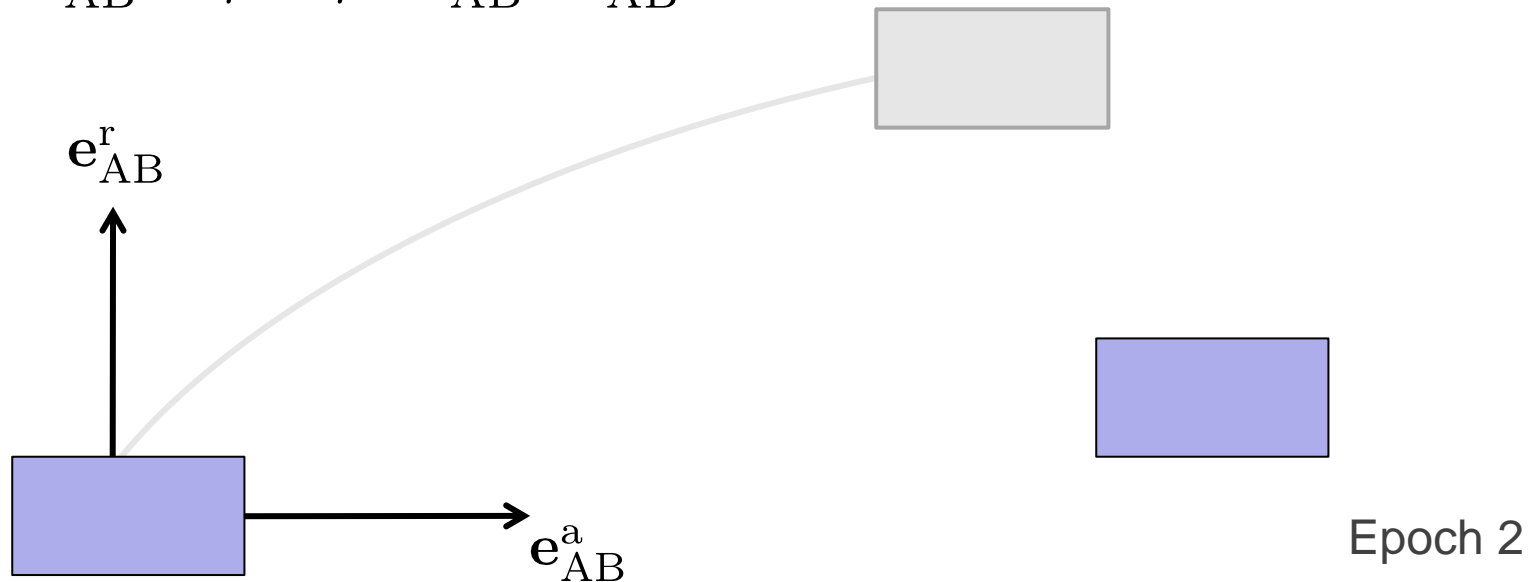


Epoch 2

# Relativbewegung

keine Absolutbewegung!

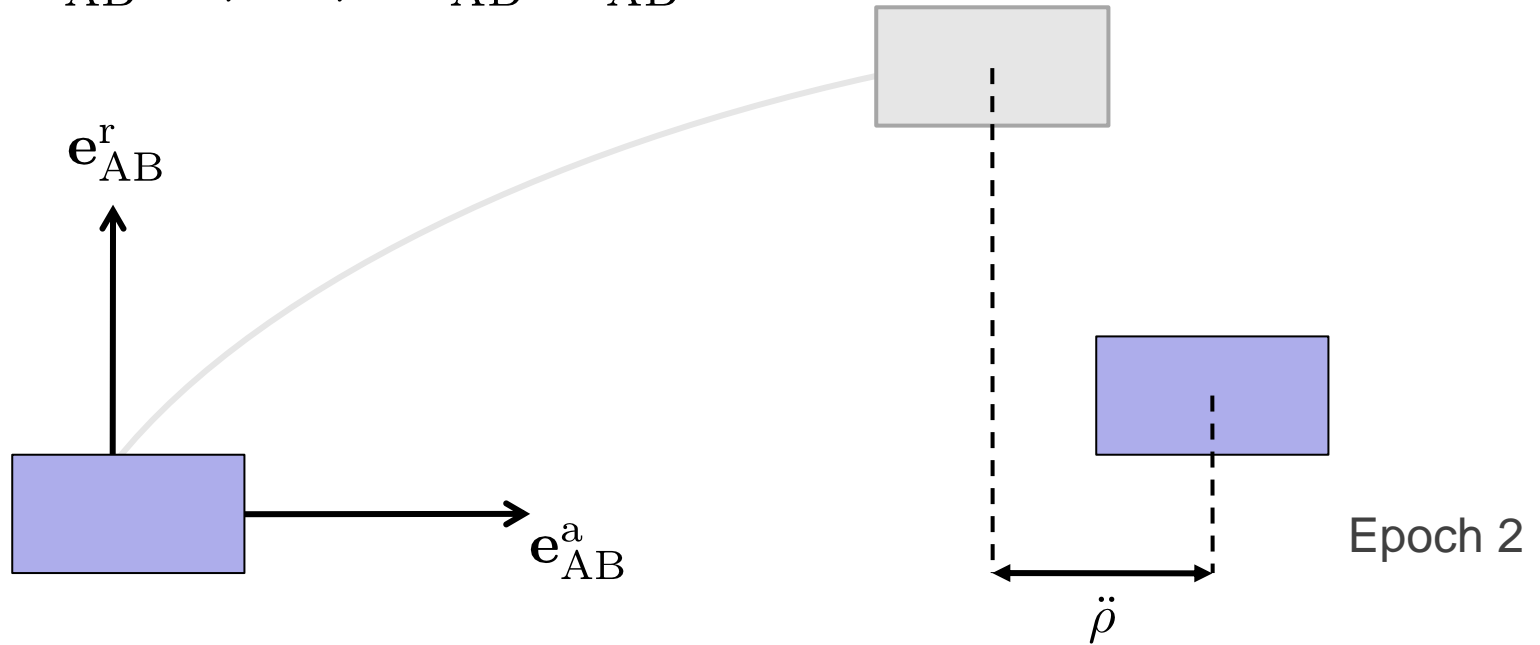
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$



# Relativbewegung

keine Absolutbewegung!

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

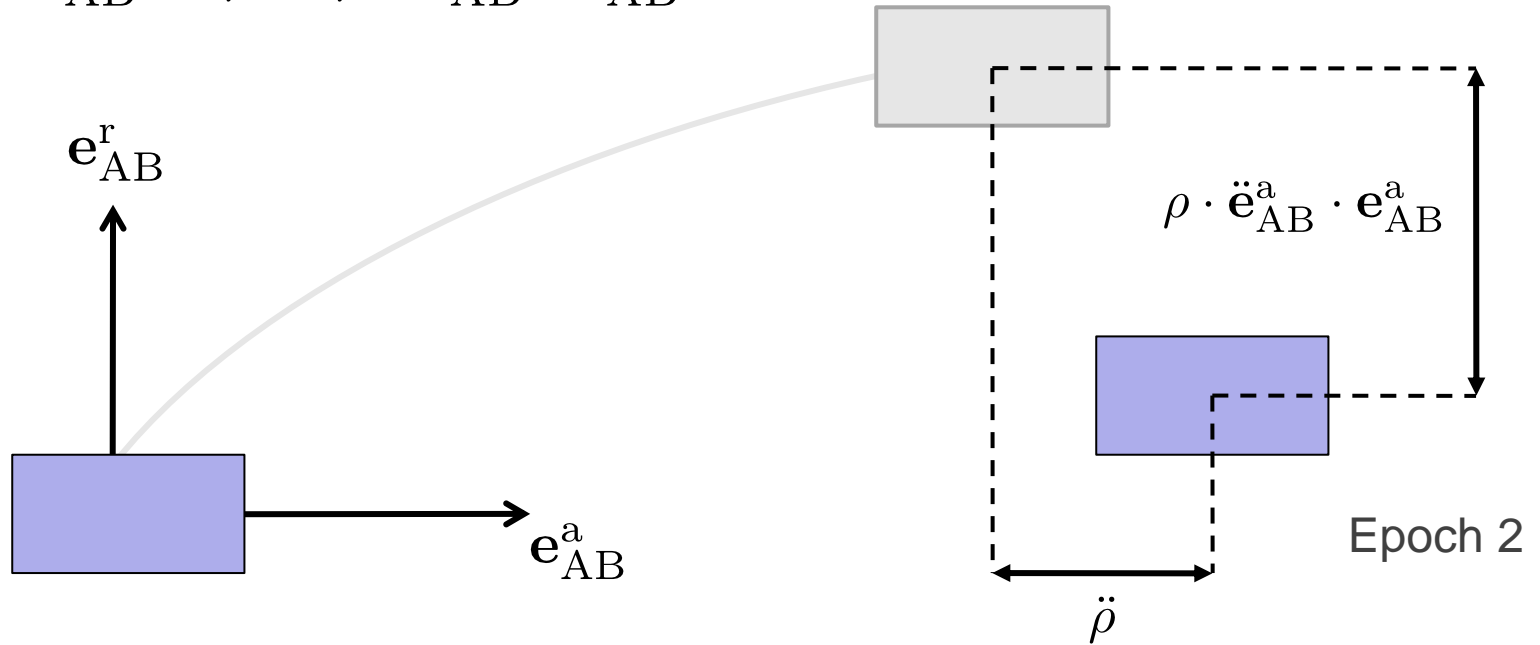




# Relativbewegung

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

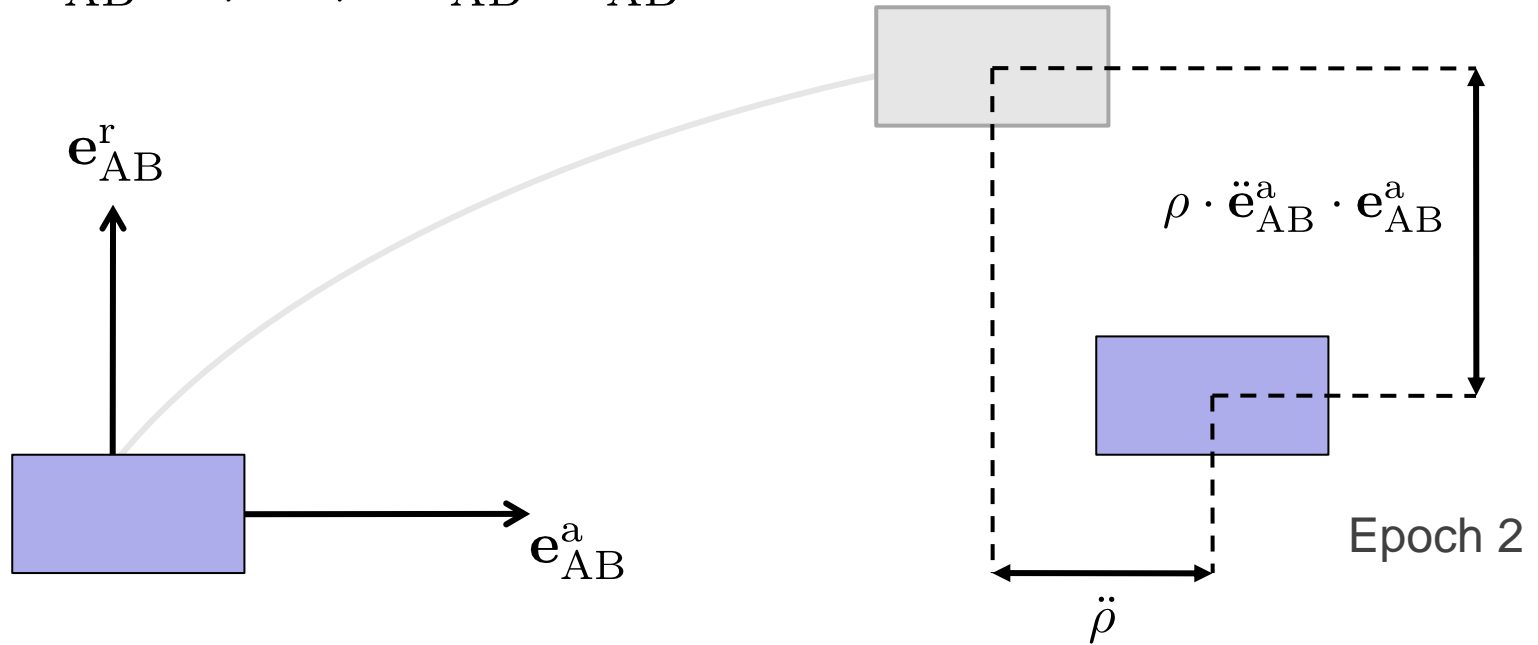
keine Absolutbewegung!



# Relativbewegung

keine Absolutbewegung!

$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

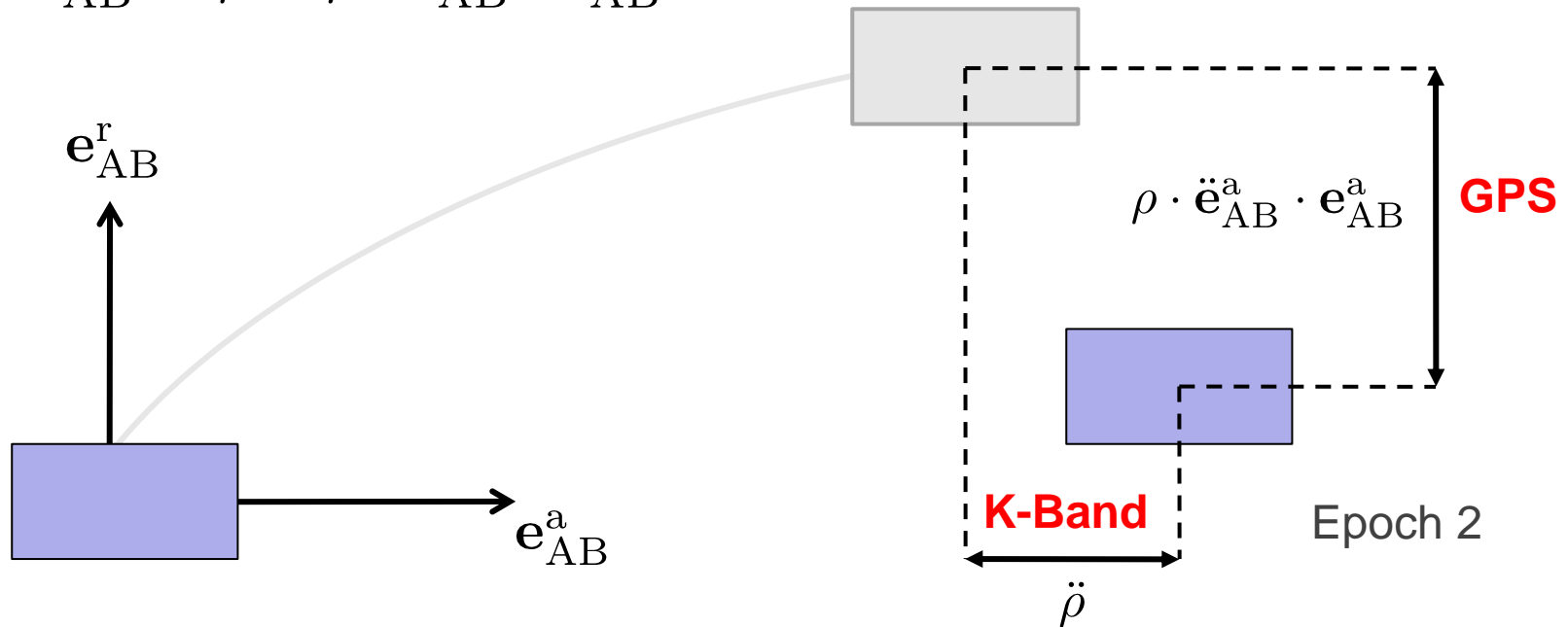


$$\begin{aligned} \rho \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a &= \mathbf{X}_{AB} \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a = -\dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a \\ &= -\dot{\rho} \|\dot{\mathbf{e}}_{AB}^a\|^2 = -\frac{1}{\rho} \left( \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{X}}_{AB} - \dot{\rho}^2 \right) \end{aligned}$$

# Relativbewegung

keine Absolutbewegung!

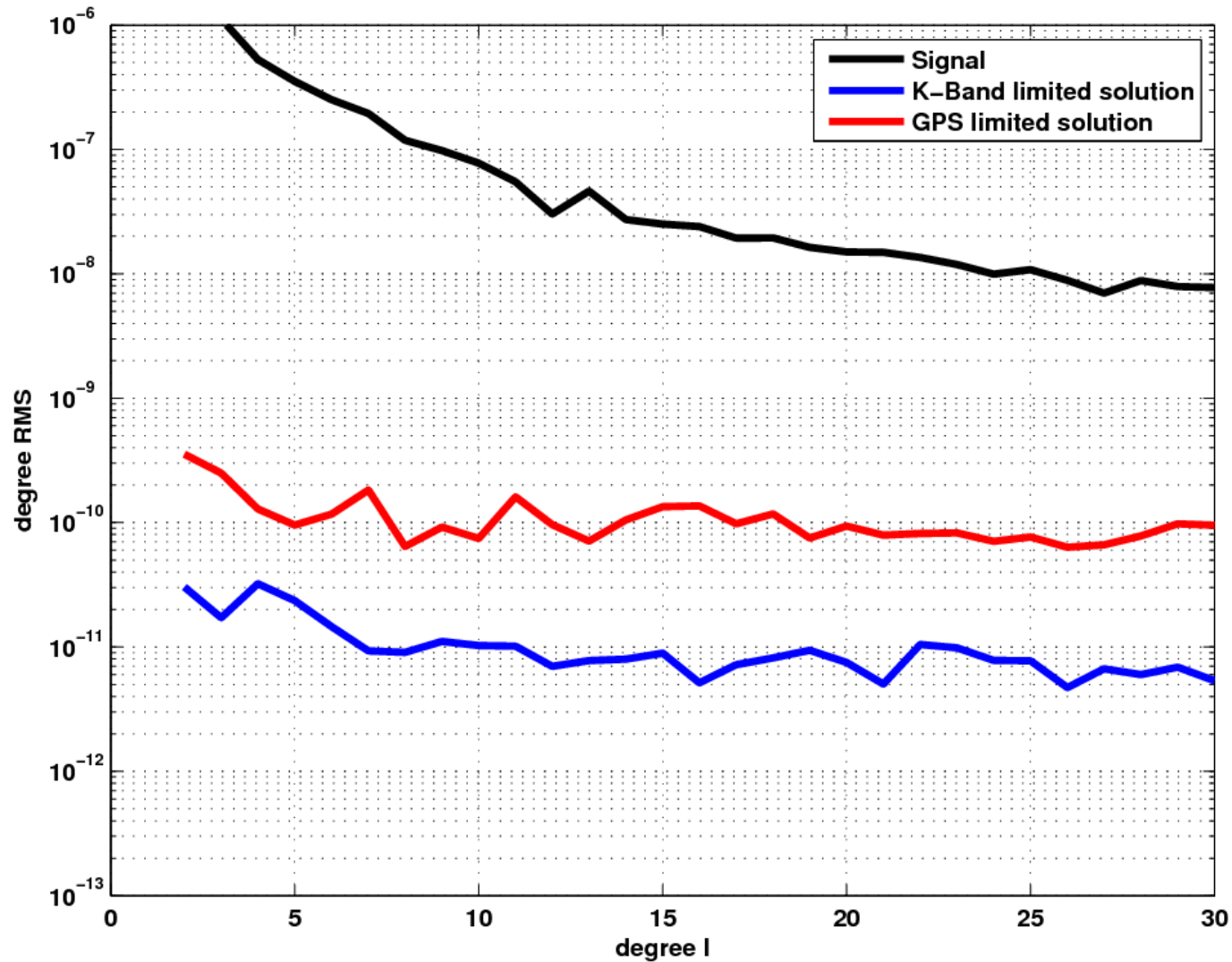
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$



$$\begin{aligned} \rho \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a &= \mathbf{X}_{AB} \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a = -\dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a \\ &= -\dot{\rho} \|\dot{\mathbf{e}}_{AB}^a\|^2 = -\frac{1}{\rho} \left( \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{X}}_{AB} - \dot{\rho}^2 \right) \end{aligned}$$

# Einschränkungen

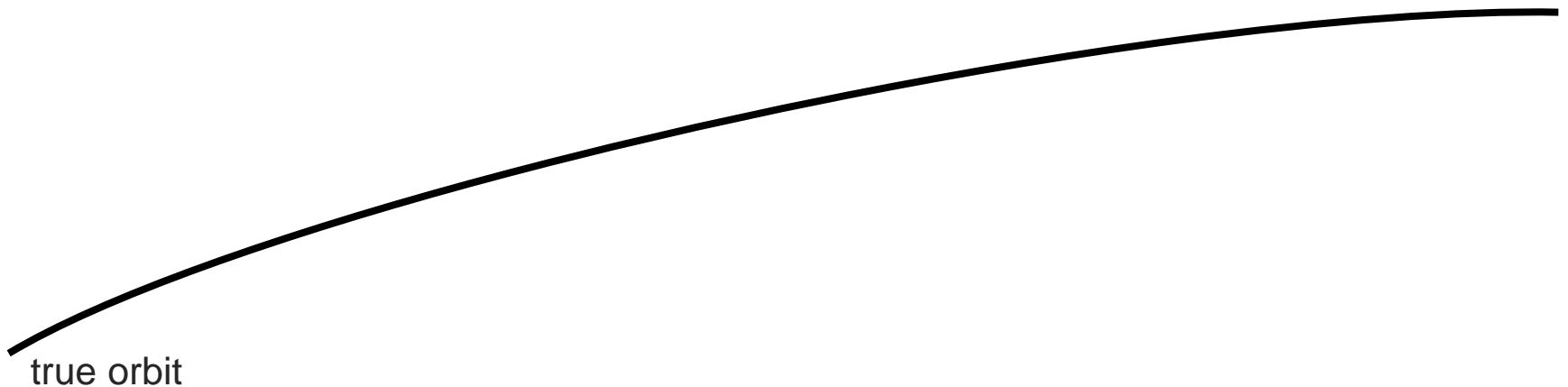
Kombination von hochpräziser K-Band Messung mit GPS notwendig



# Residuale Größen

---

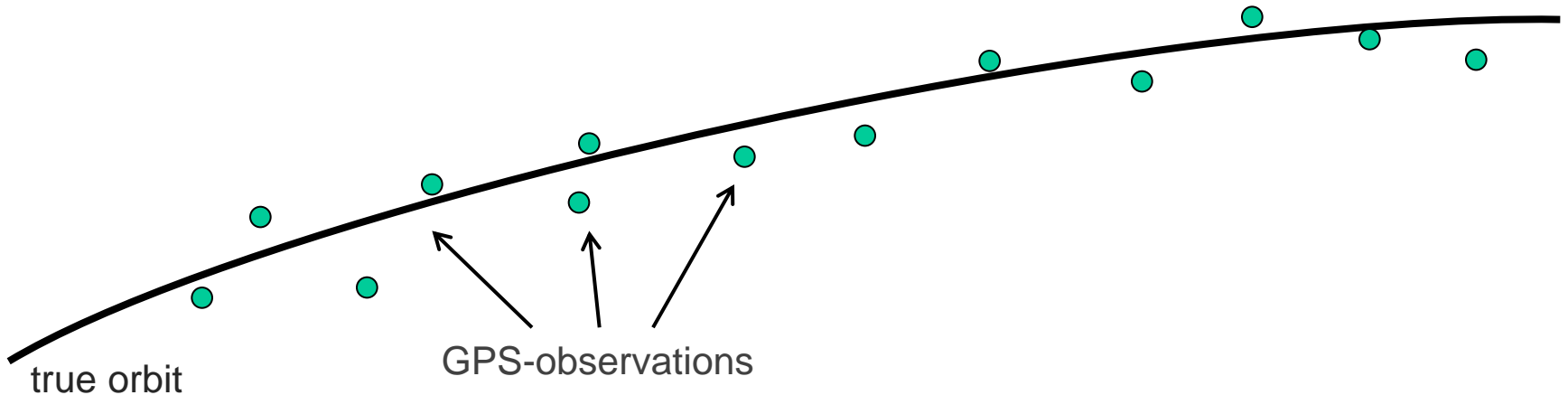
- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes



- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen

# Residuale Größen

- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes

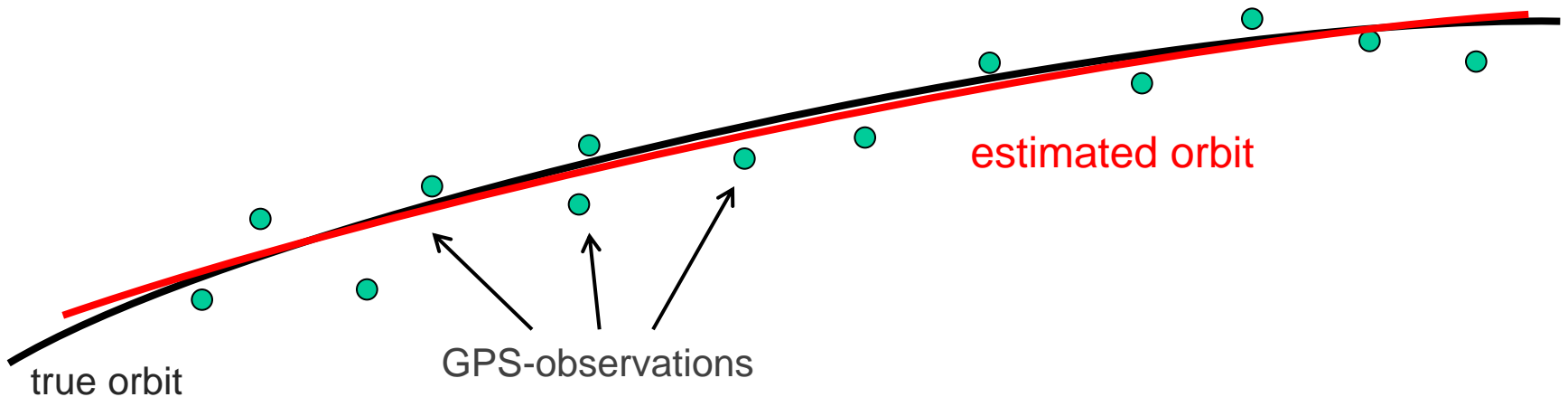


- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen



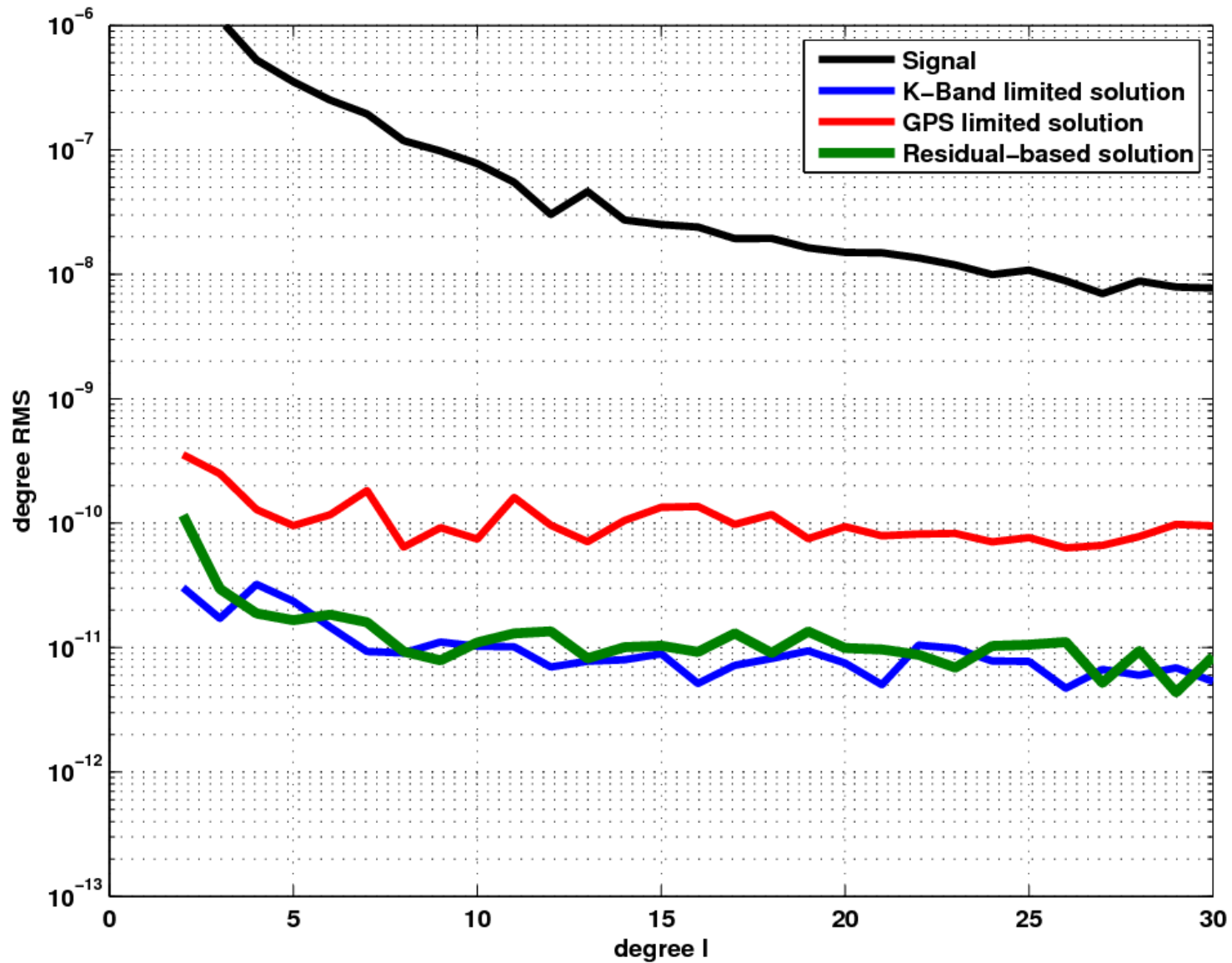
# Residuale Größen

- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes



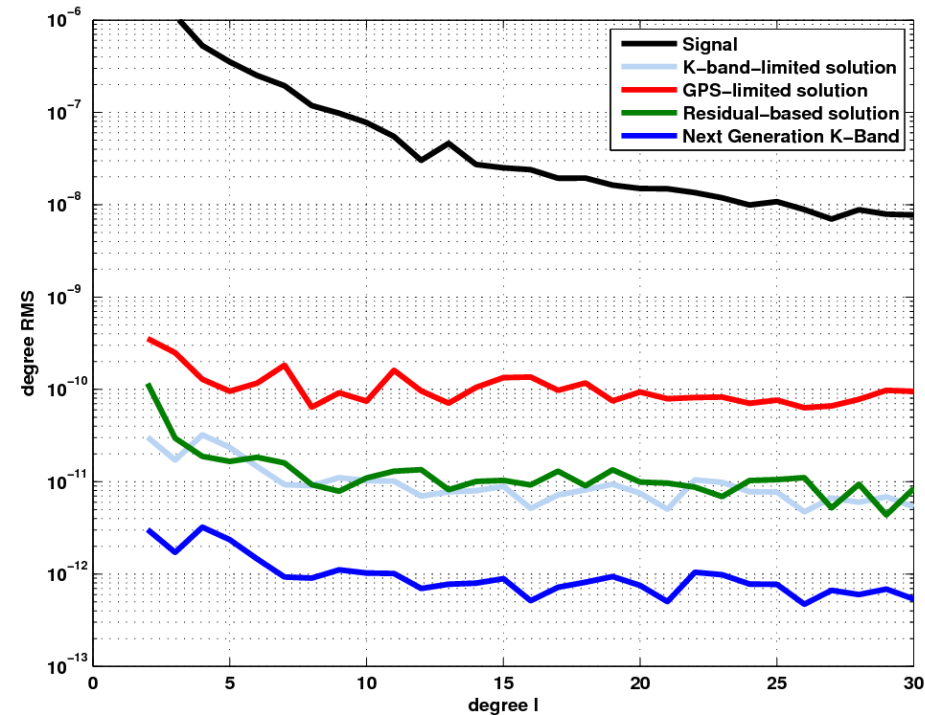
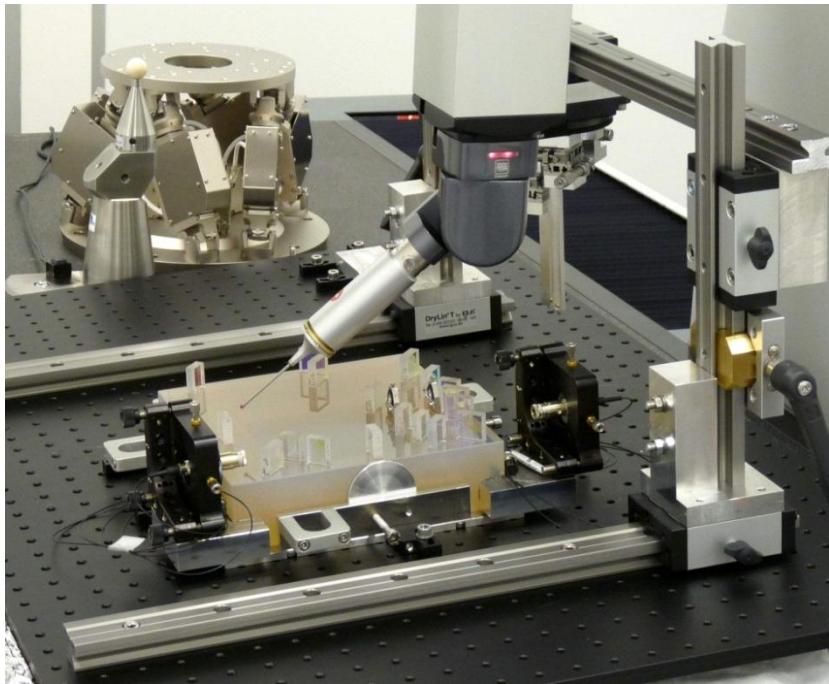
- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen

# Lösungen



# GRACE-follow on Mission

- Distanzmessung mit Laserinterferometrie
- Verbesserung um den Faktor 10-1000 erwartet



Antrag für eine ICCT-Studiengruppe:

*Applicability of current GRACE solution strategies to the next generation of inter-satellite range observations*

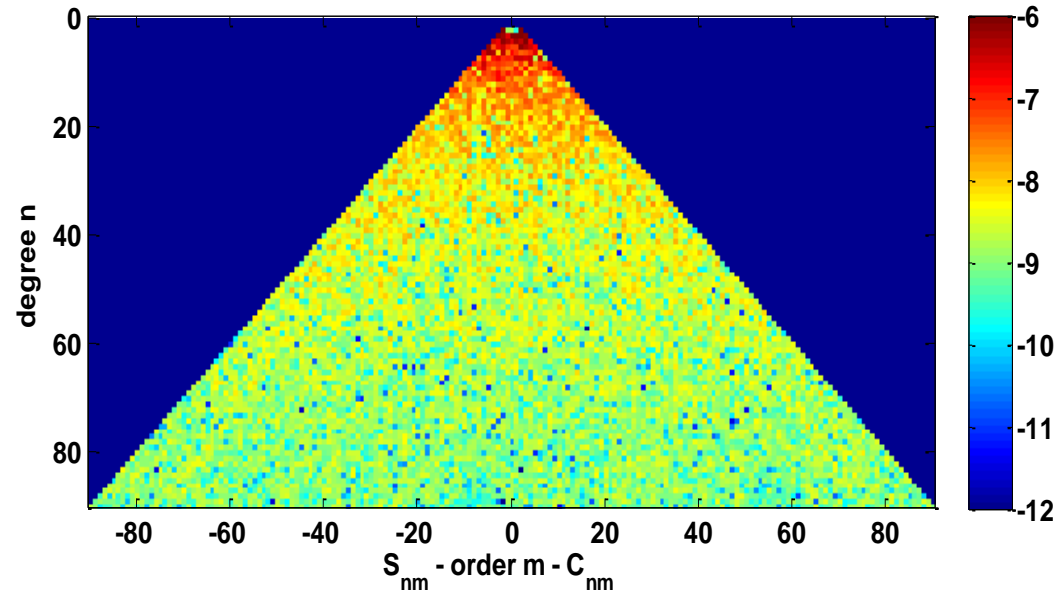
24 Teilnehmer aus 10 Ländern

---

**QUALITÄT?**

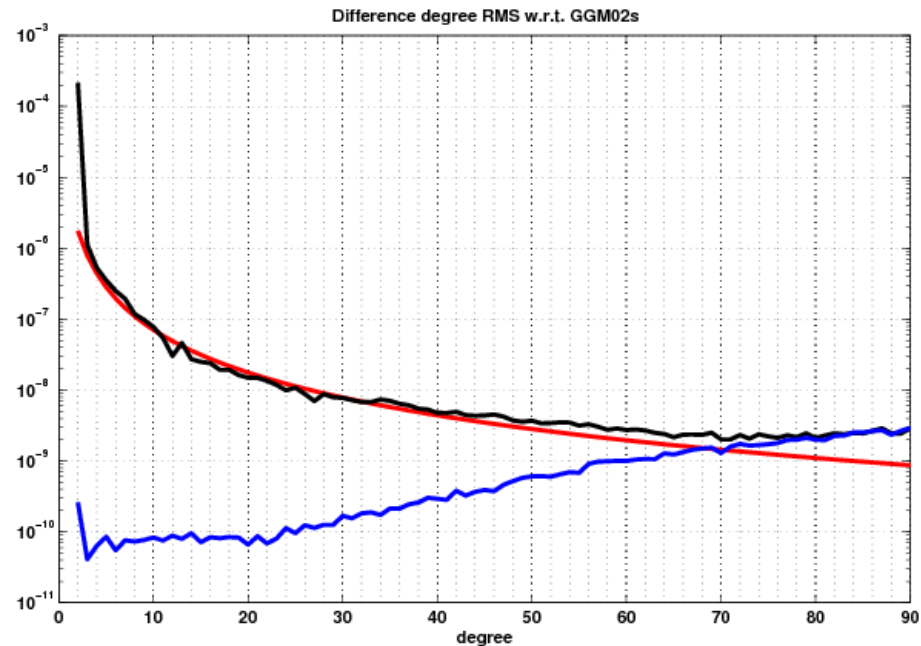
# Spektrale Darstellung

Sphärisch  
harmonische  
Spektrum



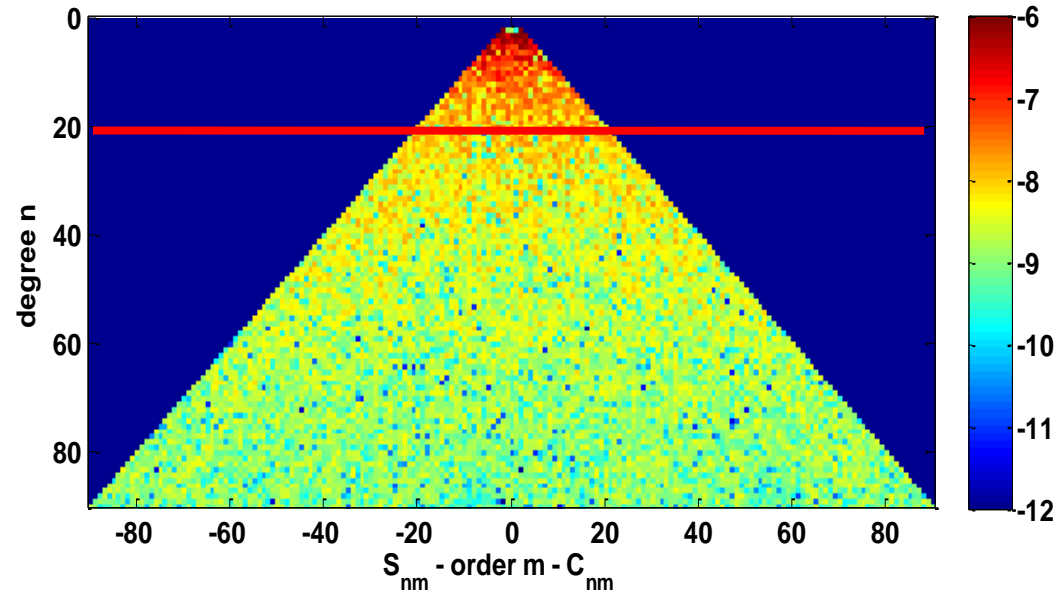
Grad-RMS

$$c_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=0}^n \bar{C}_{nm}^2 + \bar{S}_{nm}^2}$$



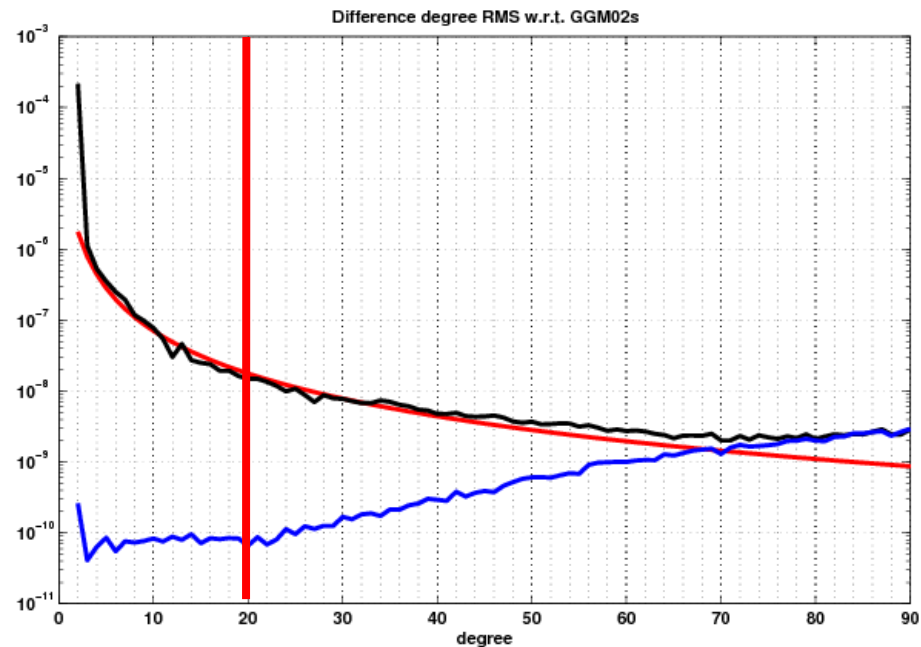
# Spektrale Darstellung

Sphärisch  
harmonische  
Spektrum



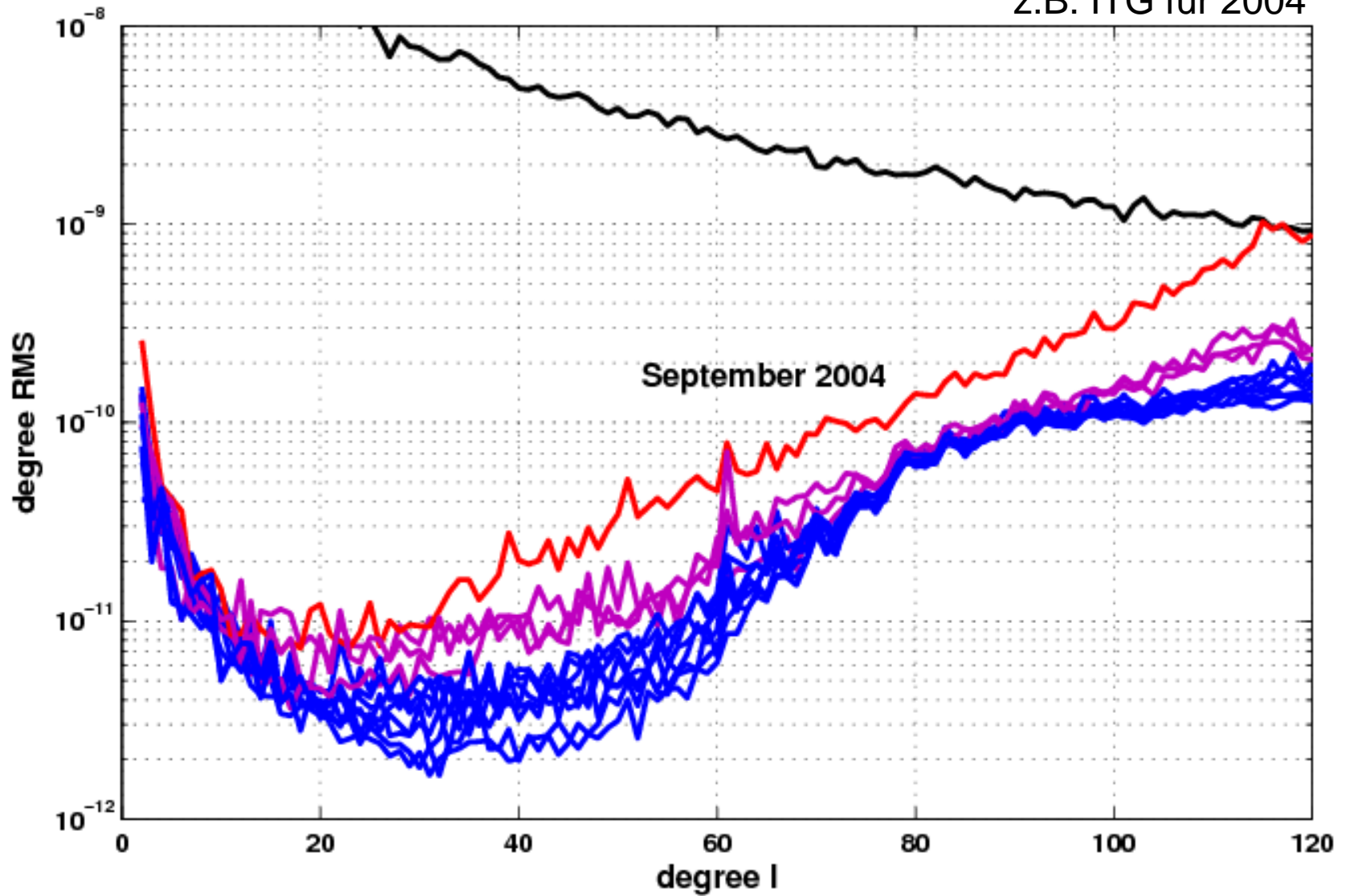
Grad-RMS

$$c_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=0}^n \bar{C}_{nm}^2 + \bar{S}_{nm}^2}$$



# Monatlösungen

z.B. ITG für 2004



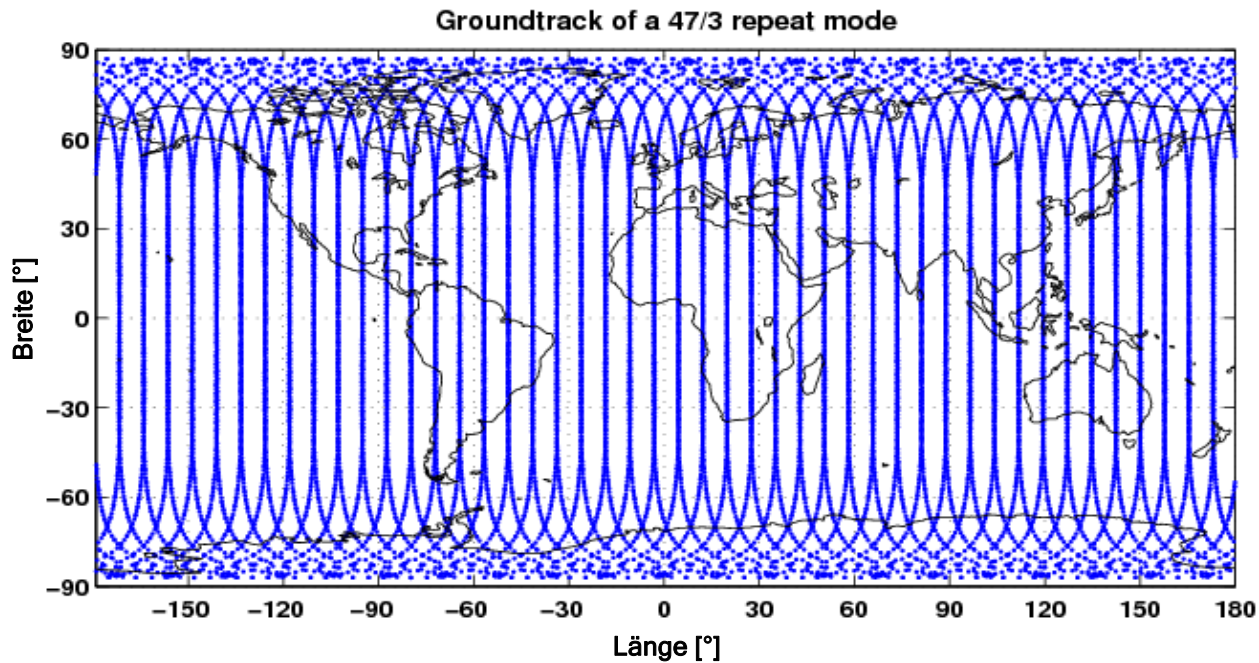
# Colombo Nyquist

Bei einer  $\beta/\alpha$  Wiederholungsbahn

- $\beta$  Umläufen
- $\alpha$  Knotentagen

⇒ Schwerefeldlösung maximal bis Grad  $L = \frac{\beta}{2}$

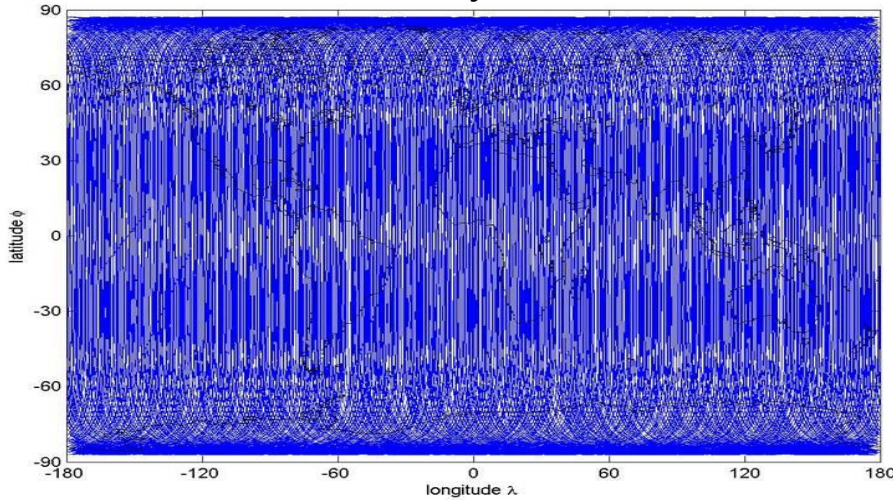
Beispiel:  $\beta = 47$ ,  $\alpha = 3$  ⇒  $L = 23$



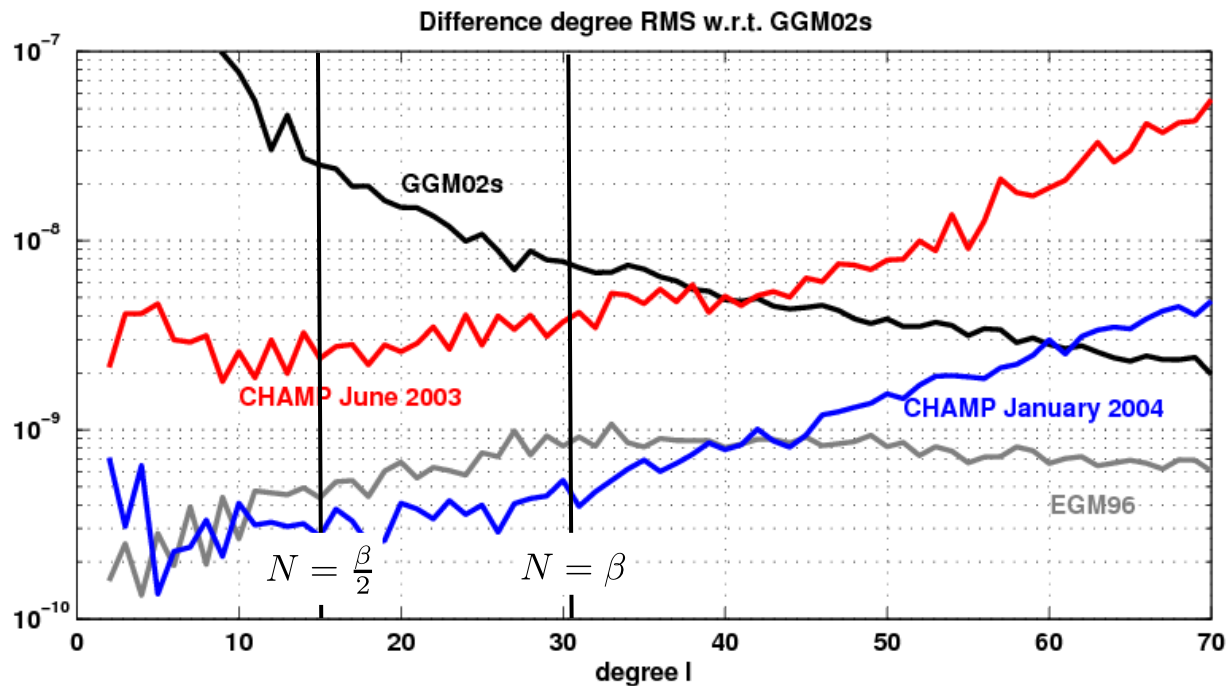
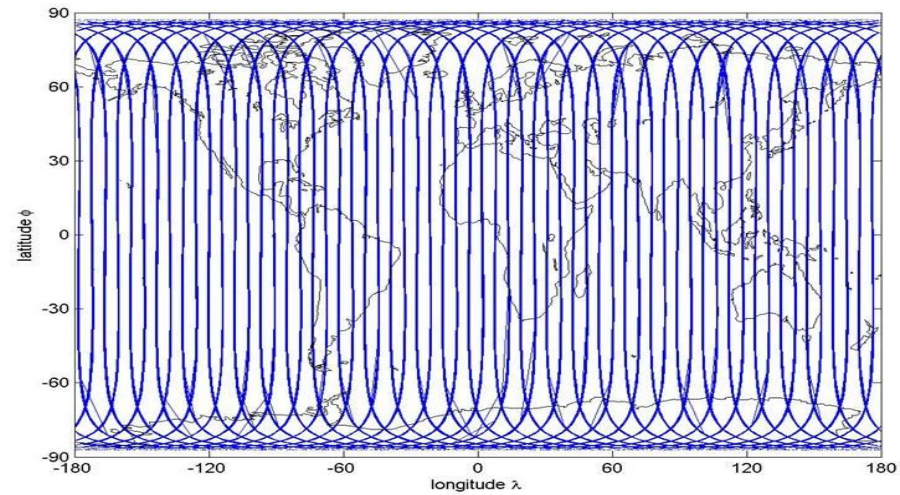


# Jedoch ...

January 2003



June 2003



CHAMP auf  
31/2  
Wieder-  
holungsbahn

- Räumliche sphärisch-harmonische Funktion

$$V(r, \phi, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} K_{nm} P_{nm}(\sin \phi) e^{im\lambda}$$

- Zeitreihe

$$V(t) = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n \sum_{k=-n}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} K_{nm} F_{nmk}(I) e^{i\dot{\psi}t}$$

mit  $\dot{\psi}t = \psi = ku + m\Lambda$

- Bedingung: keine Überlappung von Frequenzen  $\dot{\psi}_{m_1, k_1} \neq \dot{\psi}_{m_2, k_2}$

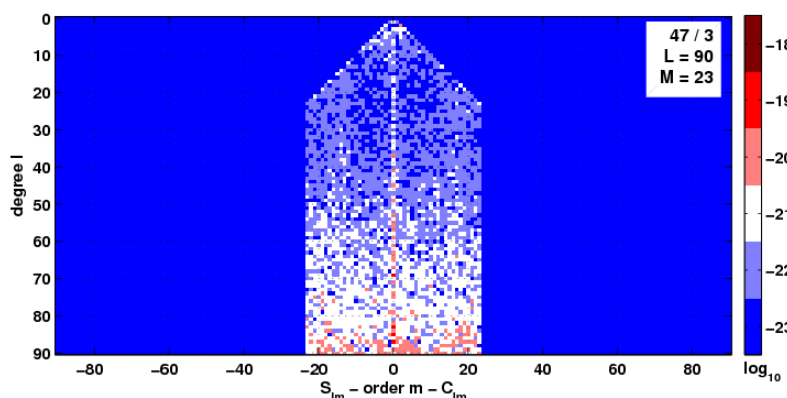
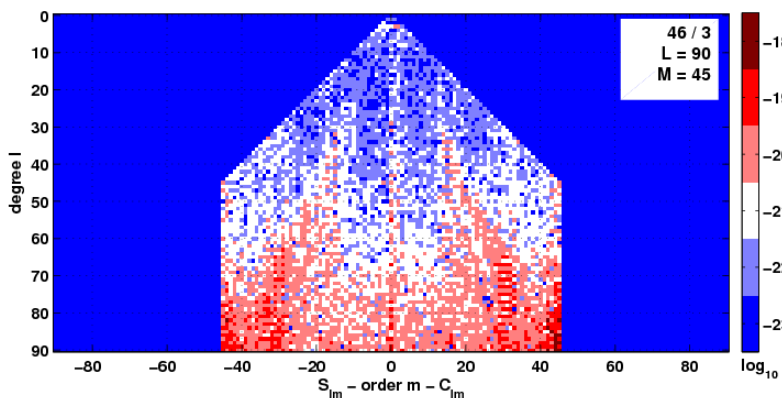
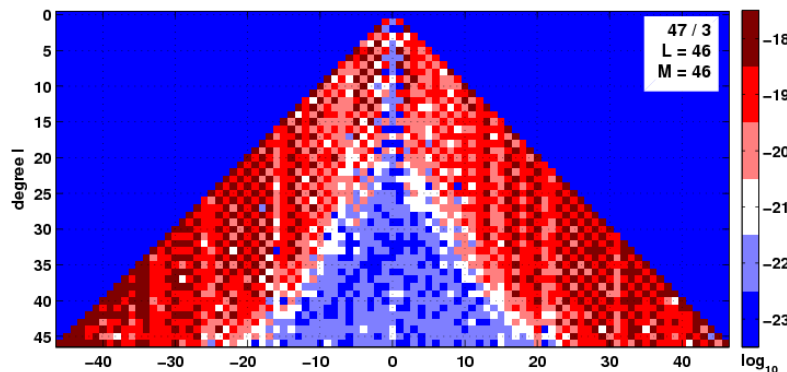
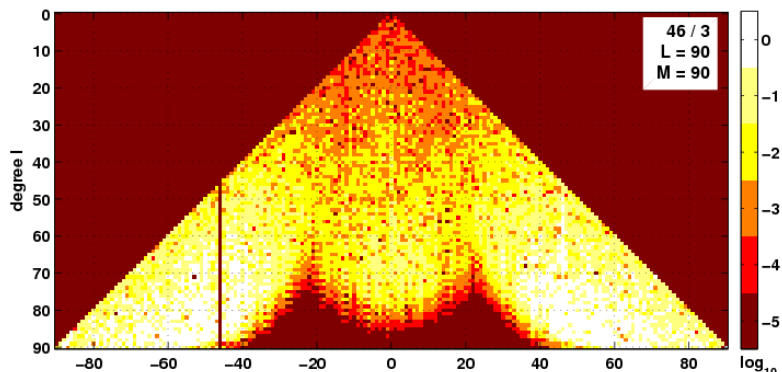
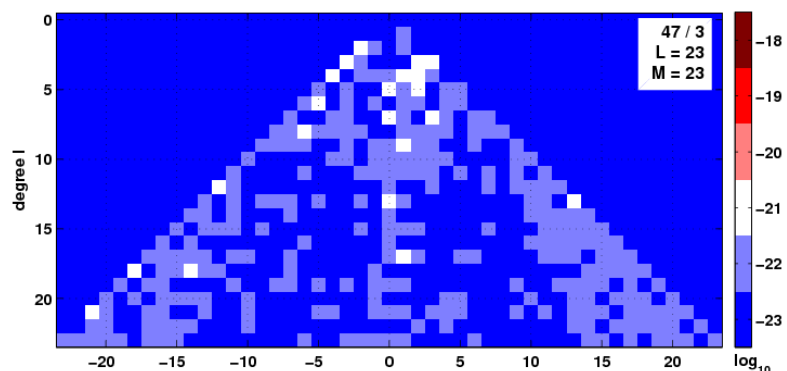
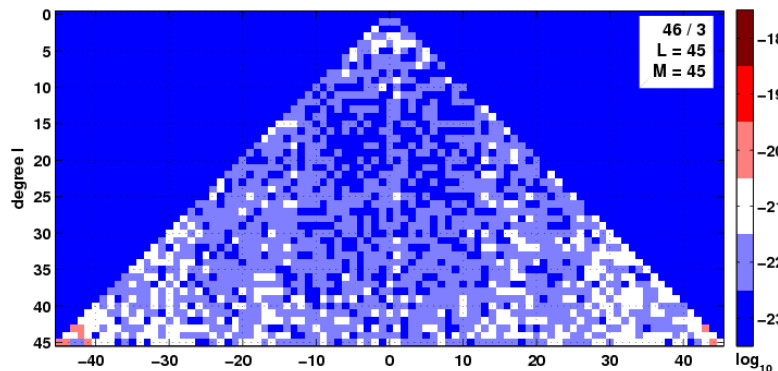
$$\frac{\beta}{\alpha} \neq -\frac{\dot{u}}{\dot{\Lambda}} \neq \frac{m_1 - m_2}{k_1 - k_2} \rightarrow \beta \geq 2M$$

- Abhängigkeit von der Parität:  $\beta - \alpha =$  gerade  $\beta \geq 2M$   
 $\beta - \alpha =$  ungerade  $\beta \geq M$

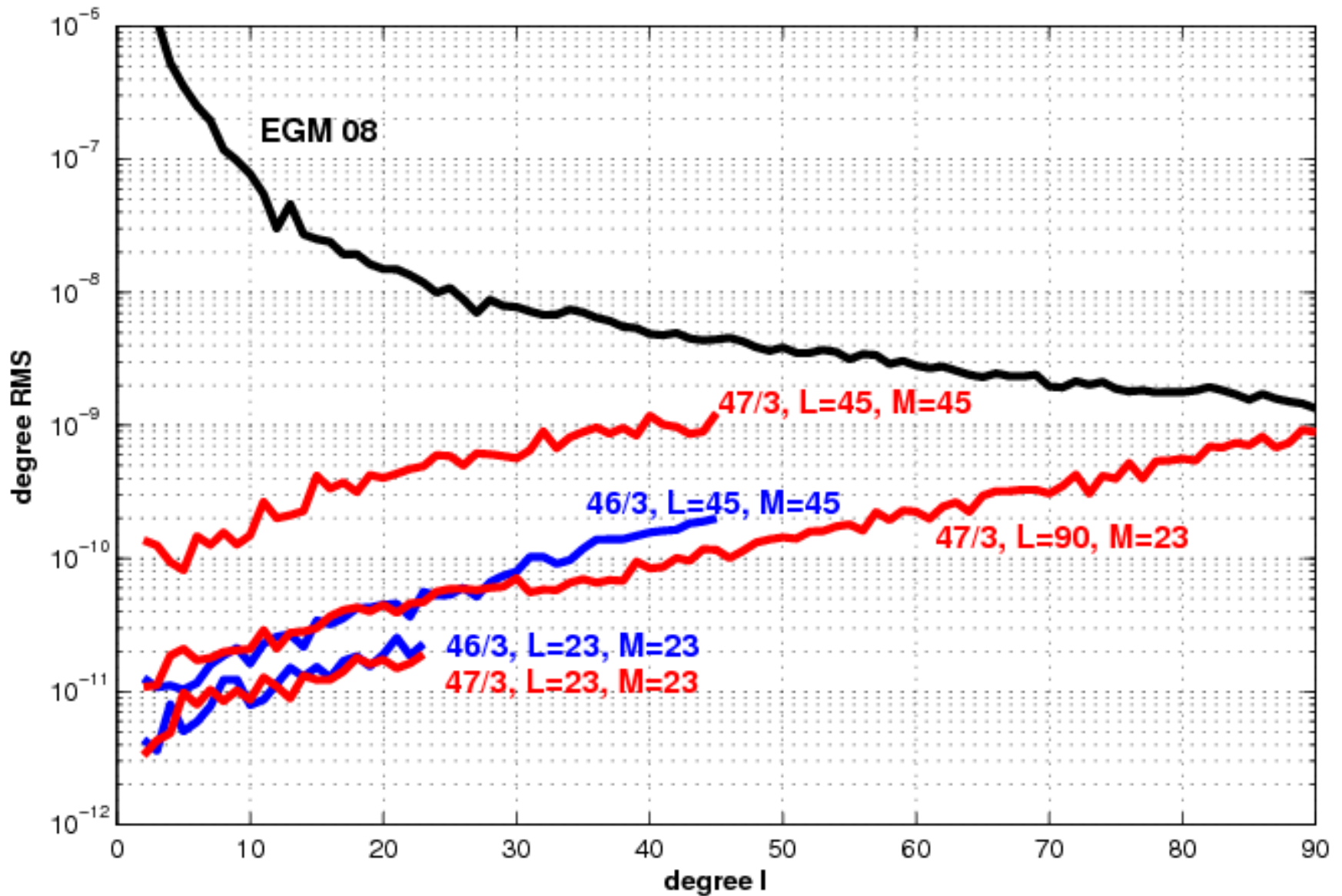
# Simulationsstudie

$\beta - \alpha = \text{gerade}$

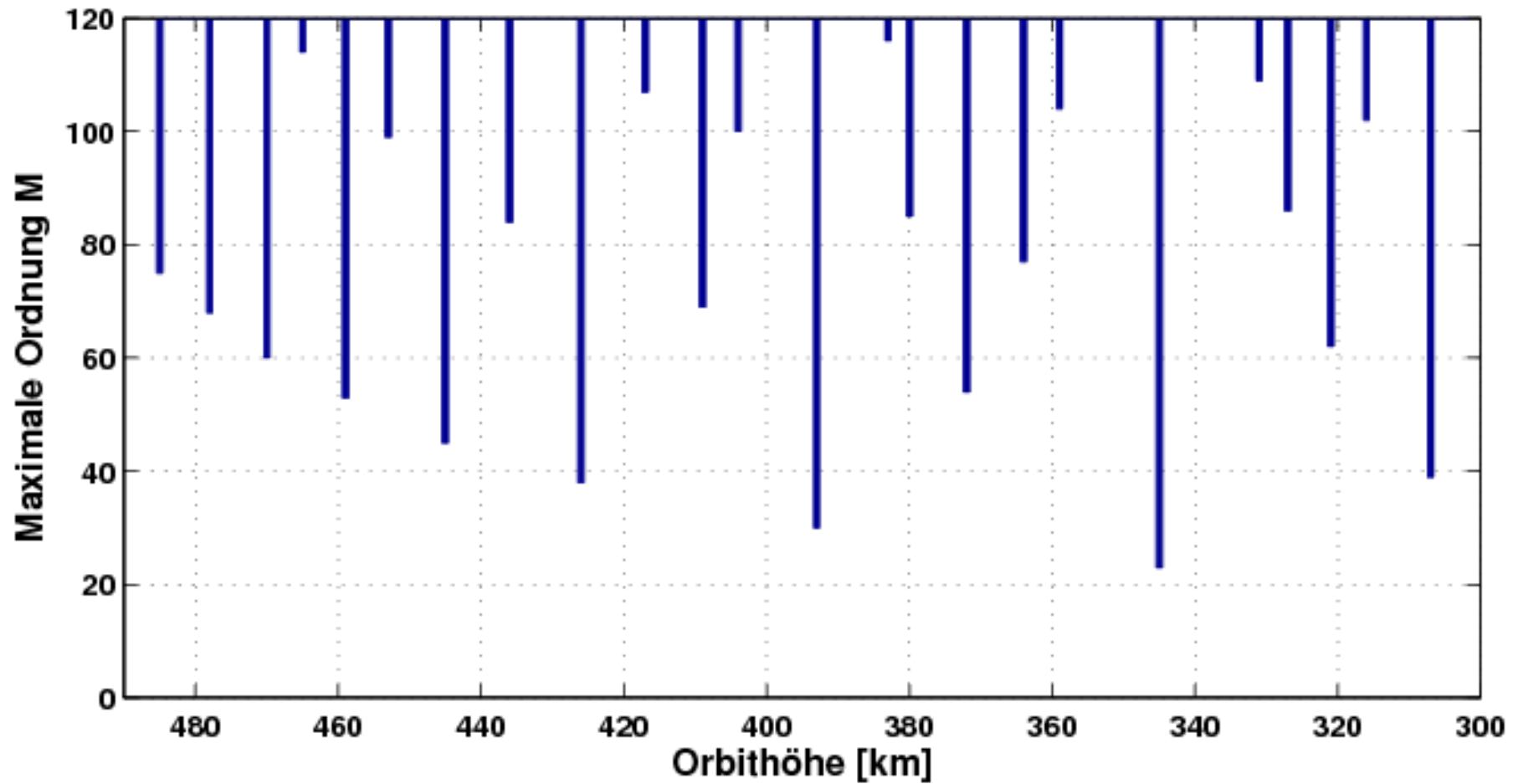
$\beta - \alpha = \text{ungerade}$



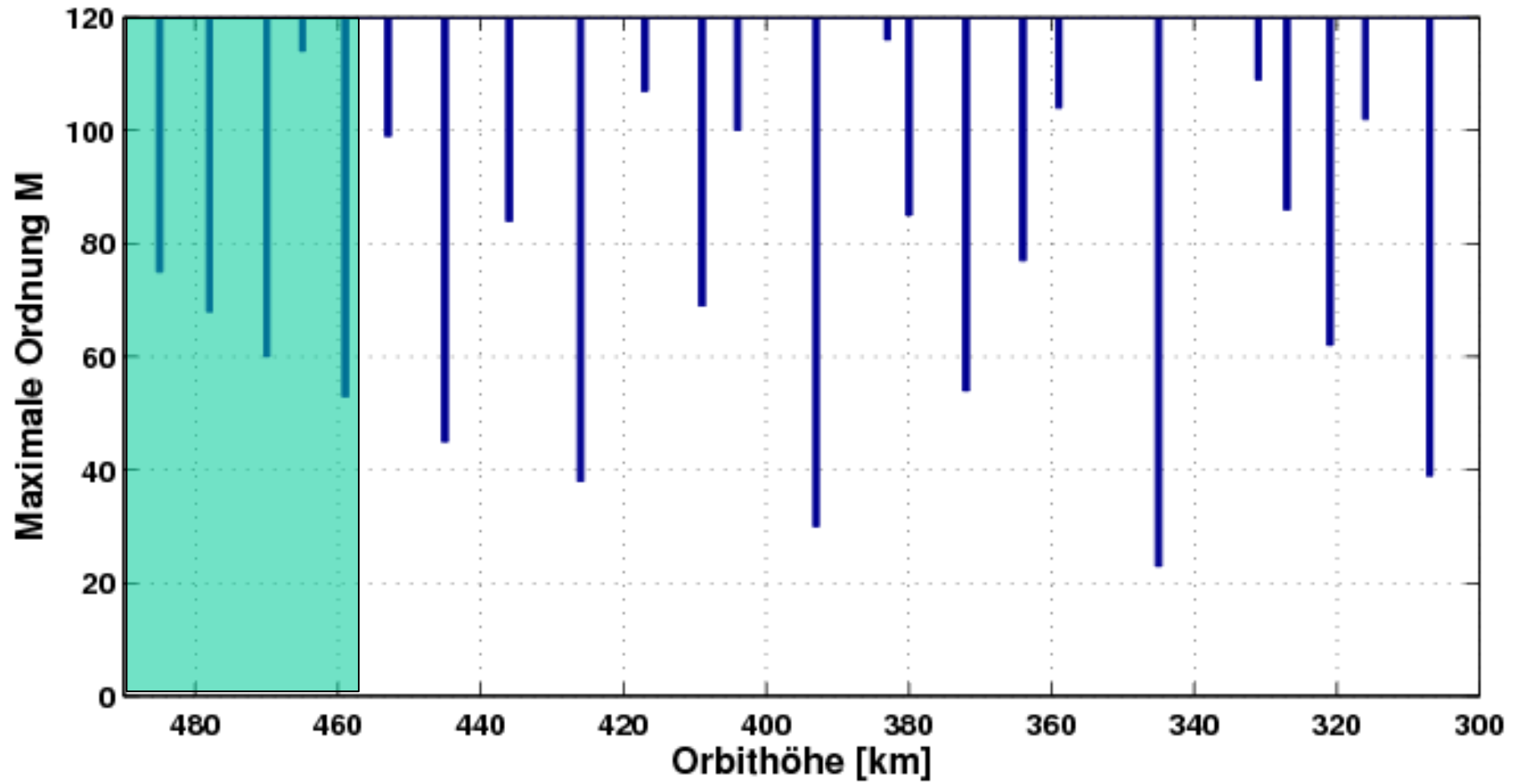
# Simulationsstudie



# GRACE?



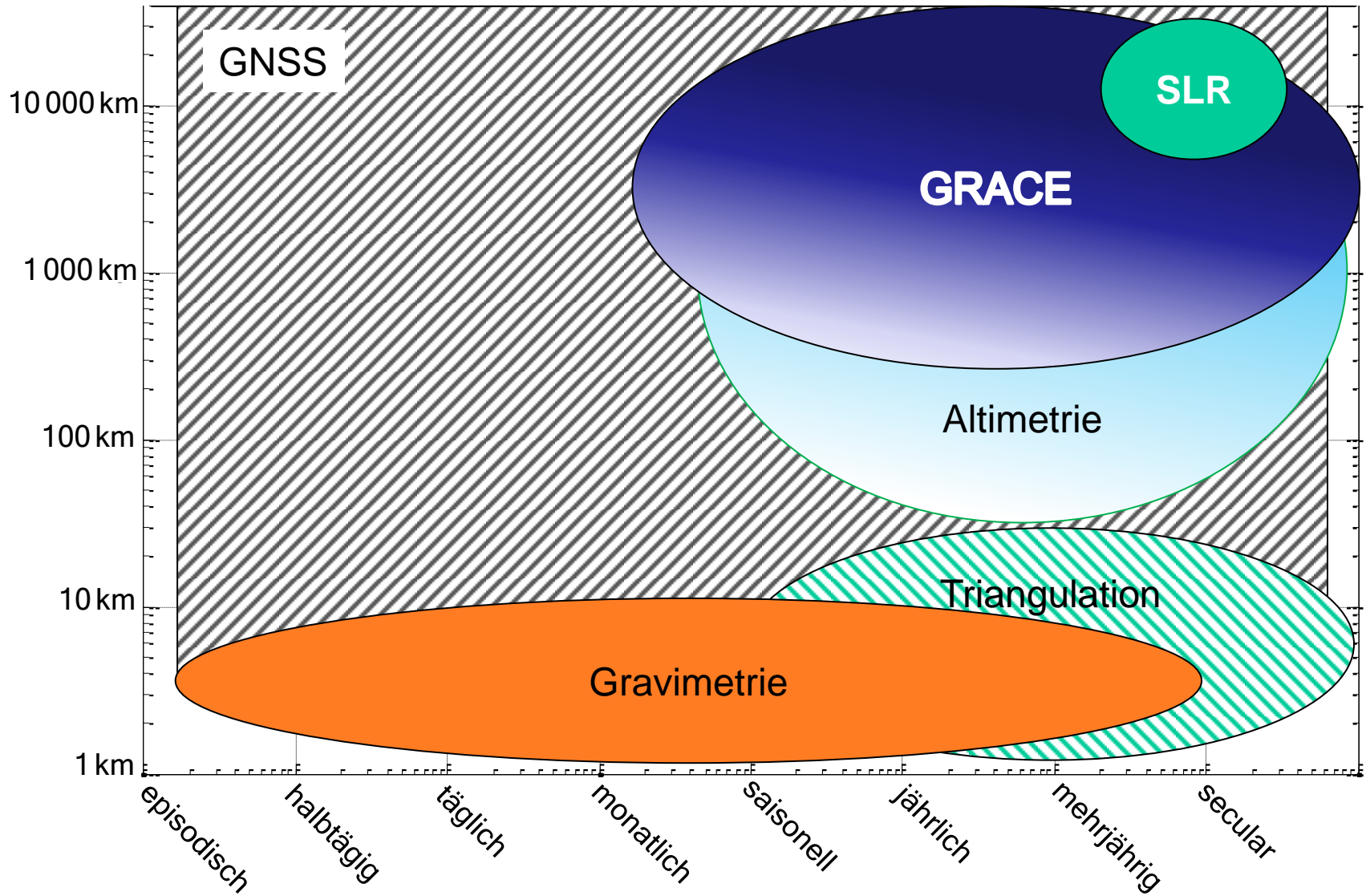
# GRACE?



---

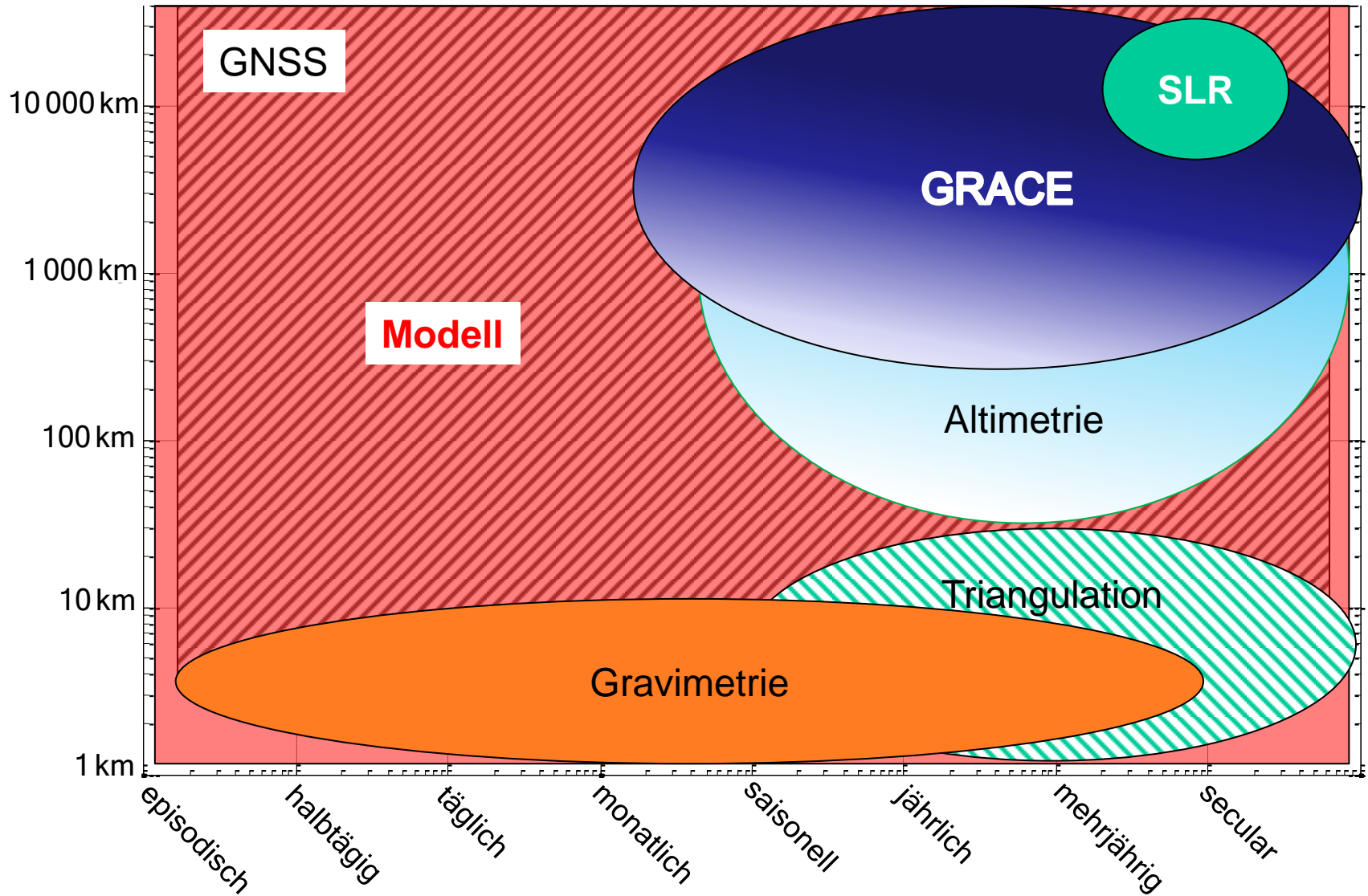
# AUFGABENSTELLUNG

# Raum-Zeit-Skalen

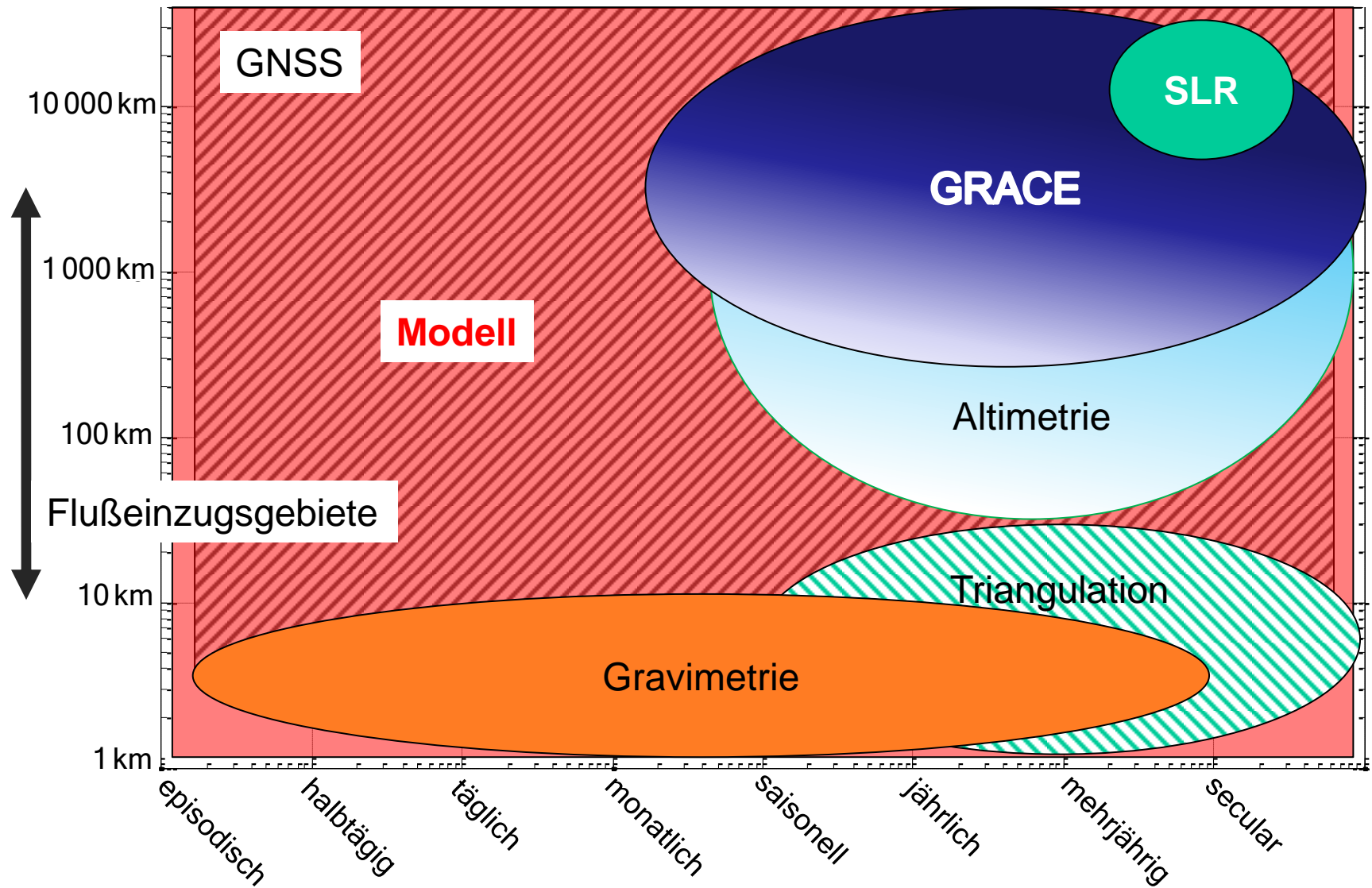




# Raum-Zeit-Skalen

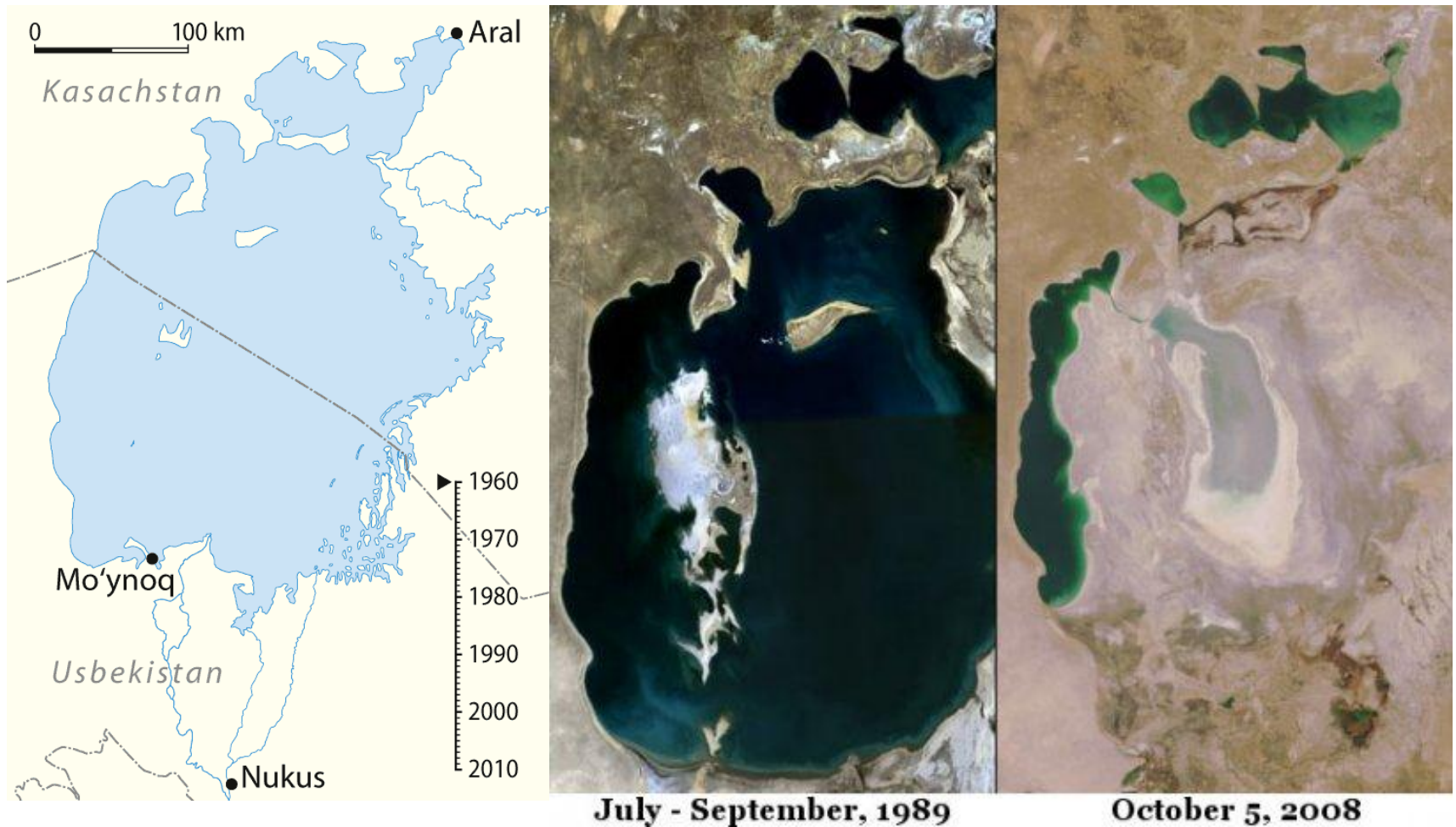


# Raum-Zeit-Skalen



# Europe

## Wasserprobleme können nur beckenbasiert gelöst werden (Robert Kandel – Water from Heaven)



# Lokale Modellierung

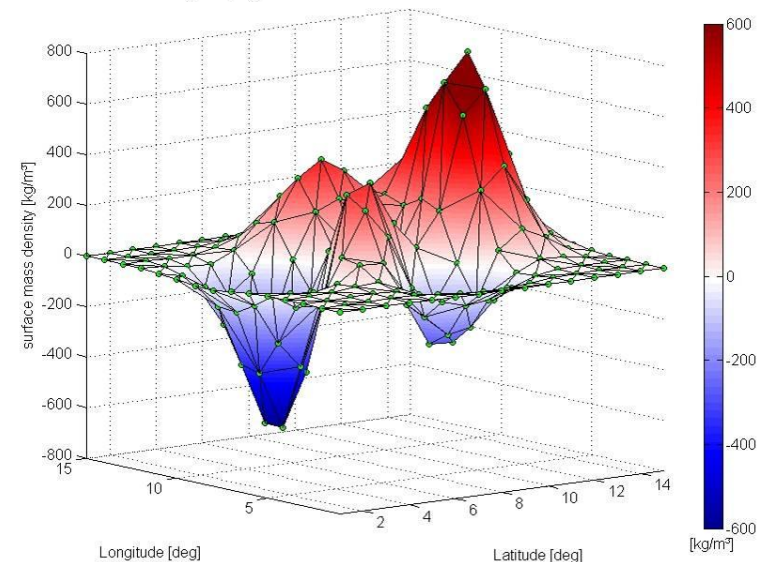
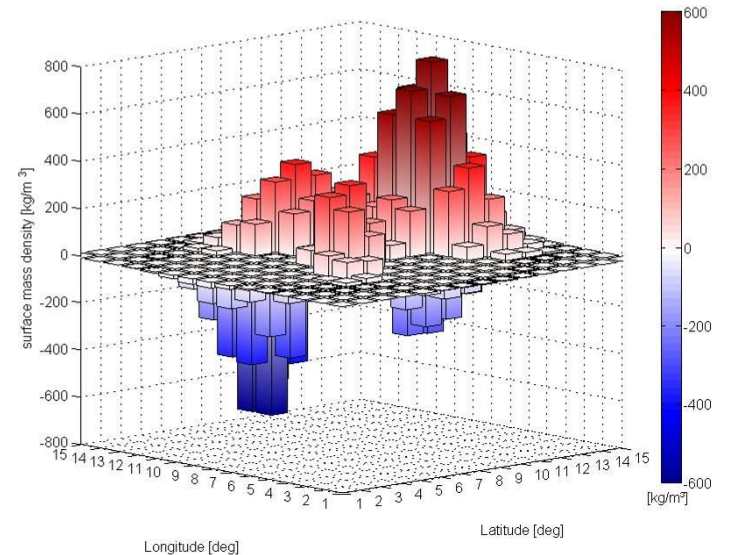
- Randelementemethode

$$V(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{\Omega_i} \frac{1}{\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|} d\Omega_i$$

- Radiale Basisfunktionen
- Slepian
- Wavelets
- Kollokation

Antrag für eine ICCT-Studiengruppe:  
*Methodology of regional gravity field modelling*

14 Teilnehmer aus 6 Ländern



# Datenverarbeitung

---

- Datenaufbereitung
  - Referenzsysteme
  - Outlier
  - Filterung
- Datenassimilation
  - Kalman-Filter, Kalman-Smoother, Ensemble Kalman
  - Wiener Filter
  - 3D-Var, 4D-Var
  - ...
- Gewichtung ???
- ...

# Zusammenfassung

---

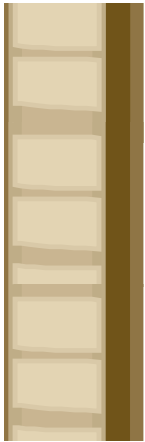
- Wasser - eine begrenzte Resource.
- Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und angemessener Qualität.
- Wasserprobleme  $\leftrightarrow$  Einzugsgebiet
  
- Tiefgreifendes Verständnis für Messsysteme
- Ergänzung von Modellen und Daten
- Hydrogeodäsie als datengetriebene (Echtzeit-) Modellierung

One last thing ...

---

# One last thing ...

---



Erdrotation



Schwere



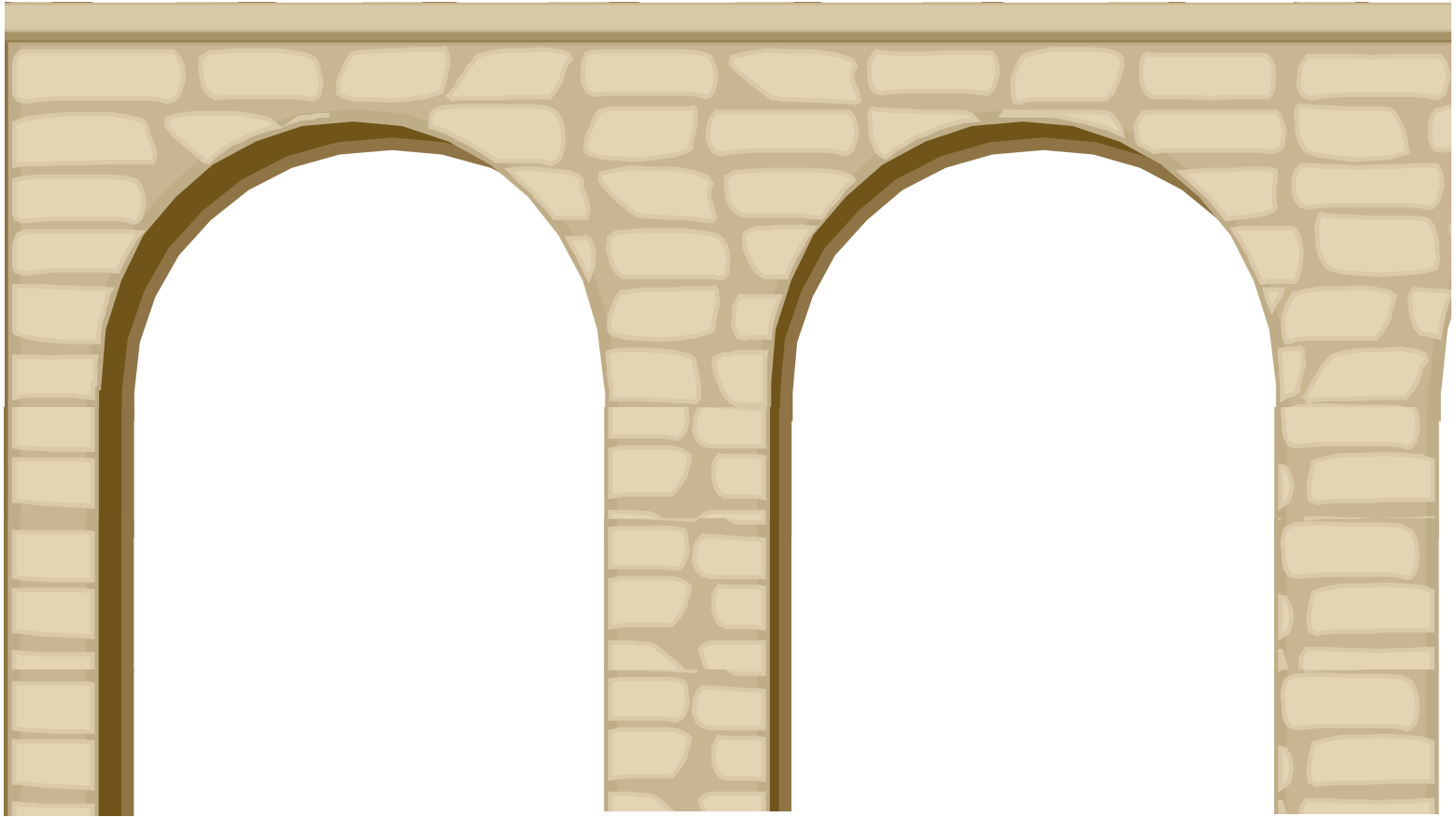
Geometrie



# One last thing ...

---

Hydrologie



Erdrotation

Schwere

Geometrie

Logo?

---

