
GEODÄSIE UND HYDROLOGIE – GEMEINSAM ZUM ERFOLGREICHEN RESOURCENMANAGEMENT

Matthias Weigelt

weigelt@gis.uni-stuttgart.de

18.11.2011

Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Erholungsraum

Lebensraum



Transportweg

Wirtschaftsgut

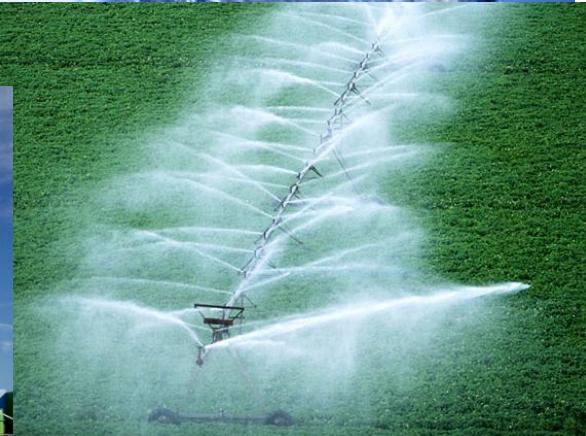
Rohstoff

Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Erholungsraum

Lebensraum



Transportweg

Wirtschaftsgut

Rohstoff

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

Wasser als Lebensgrundlage

Nahrungsquelle

Lebensraum



Erholungsraum



... aber Wasser ist begrenzt



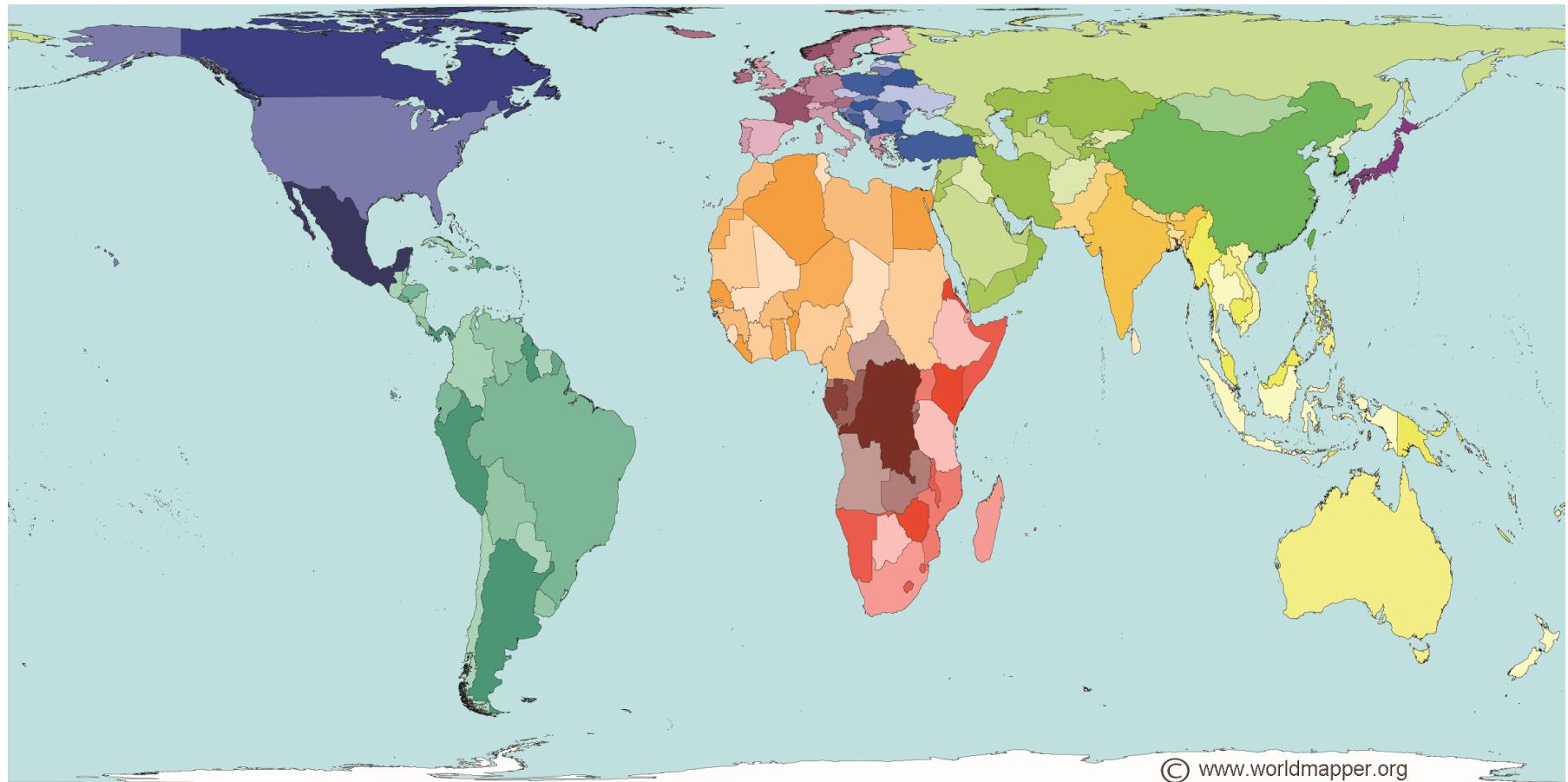
Transportweg

Wirtschaftsgut

Rohstoff

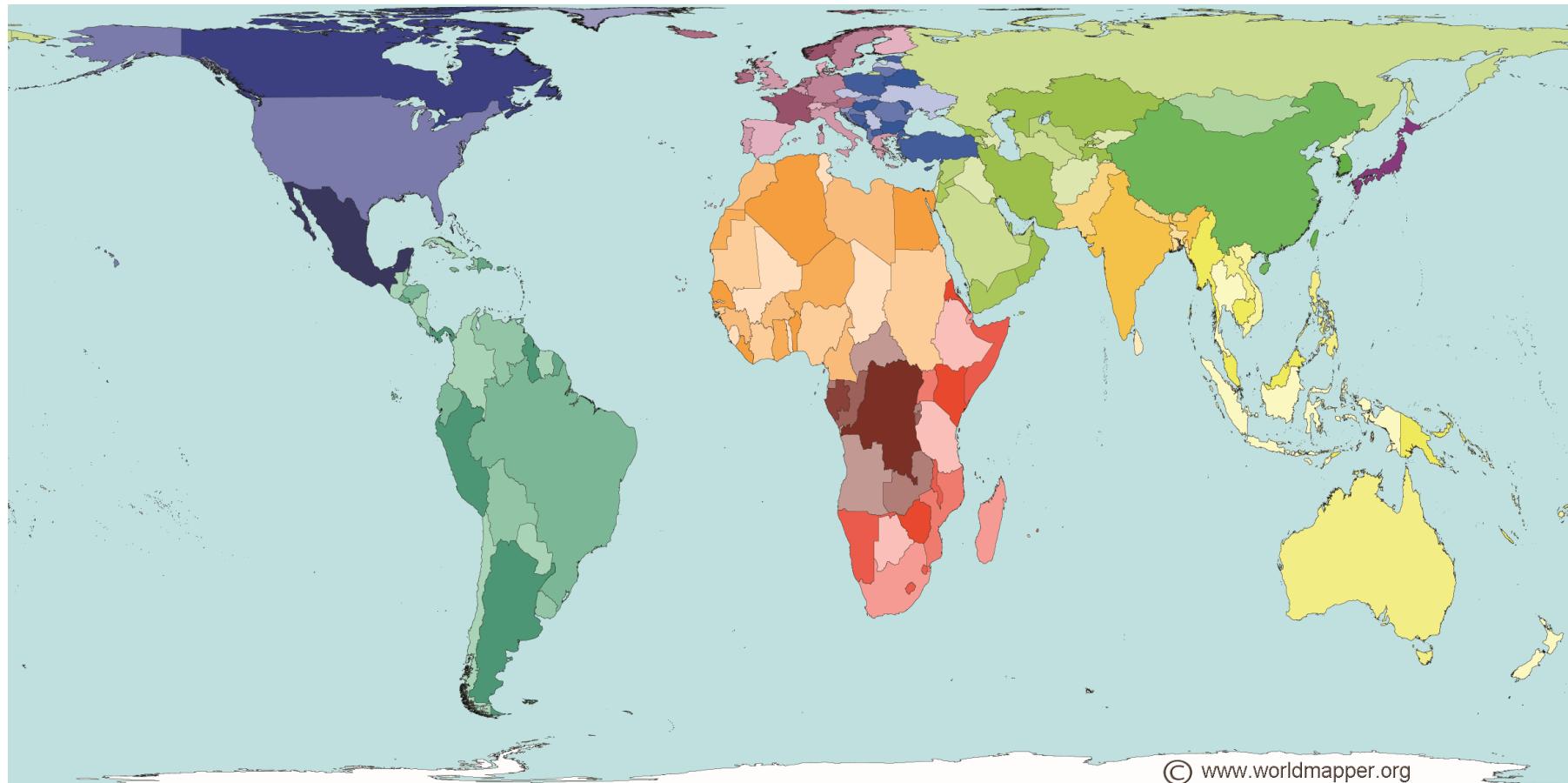
Zugang zu sauberen Trinkwasser ist ein Menschenrecht
(UN-Vollversammlung vom 28. Juli 2010)

Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...



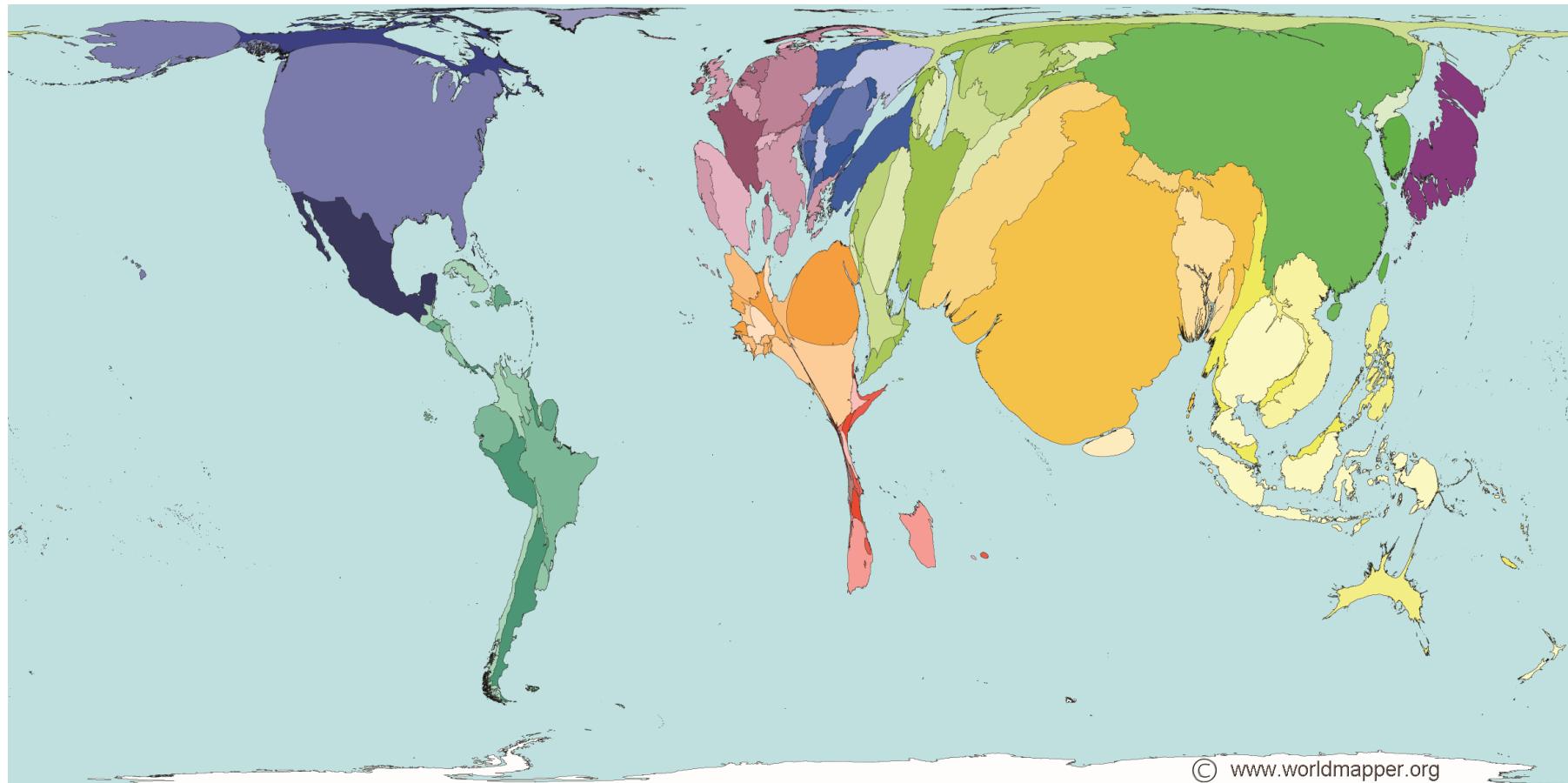
© www.worldmapper.org

Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...



Wasserresource

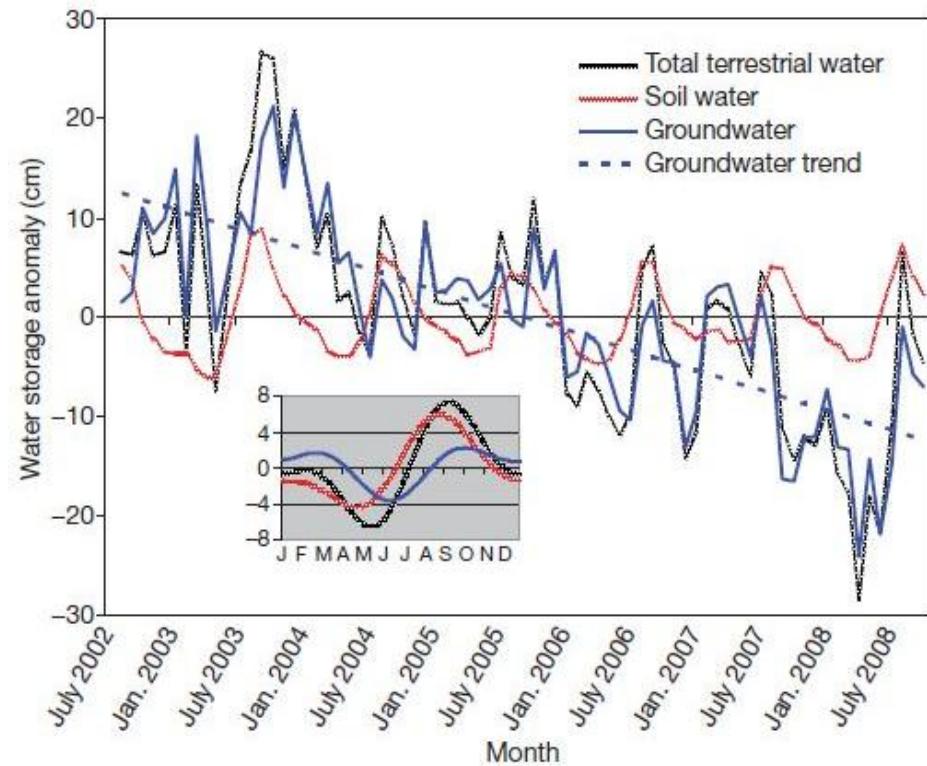
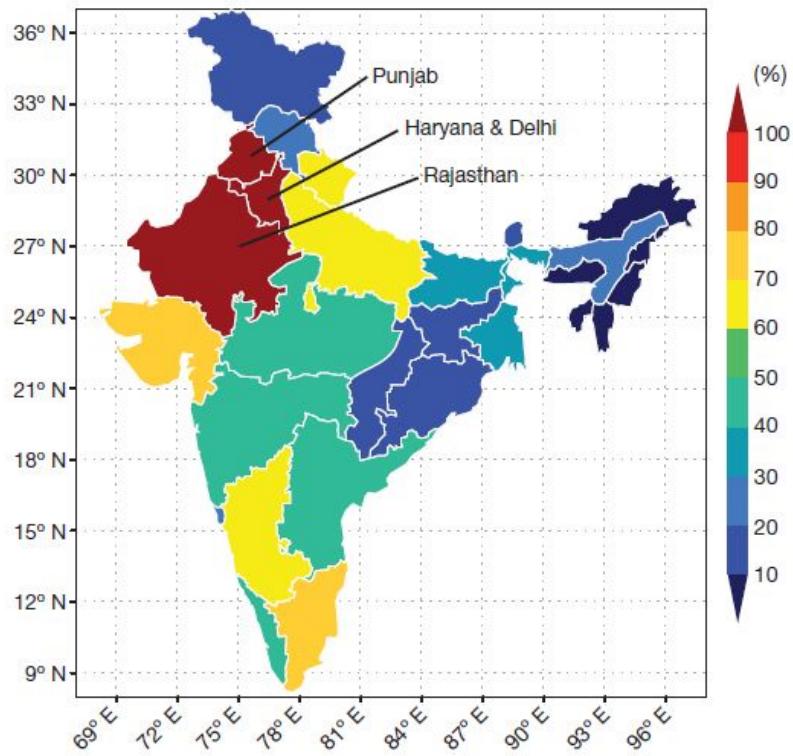
Wasser ist ungleichmäßig verteilt ...



Wasserverbrauch

Wasser ist gestresst ...

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



Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011



Köln 2011



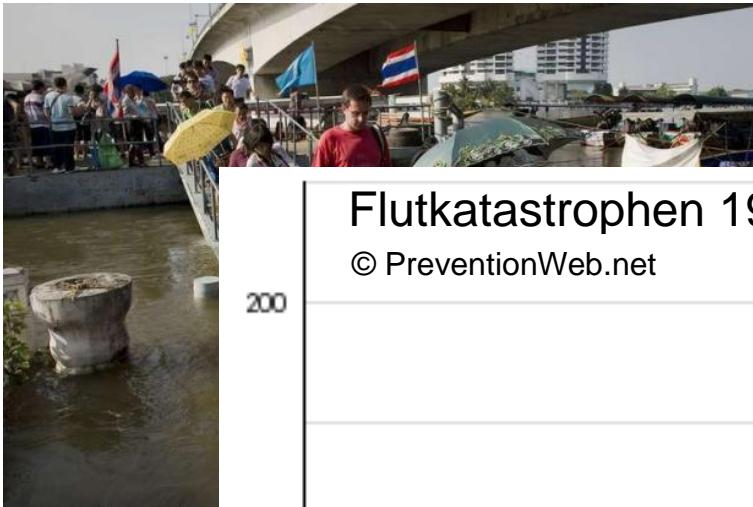
Queensland 2010



New Orleans 2005

Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011

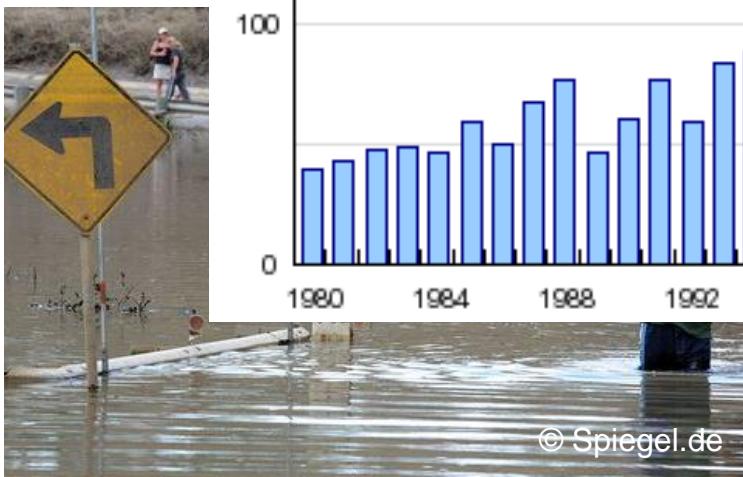
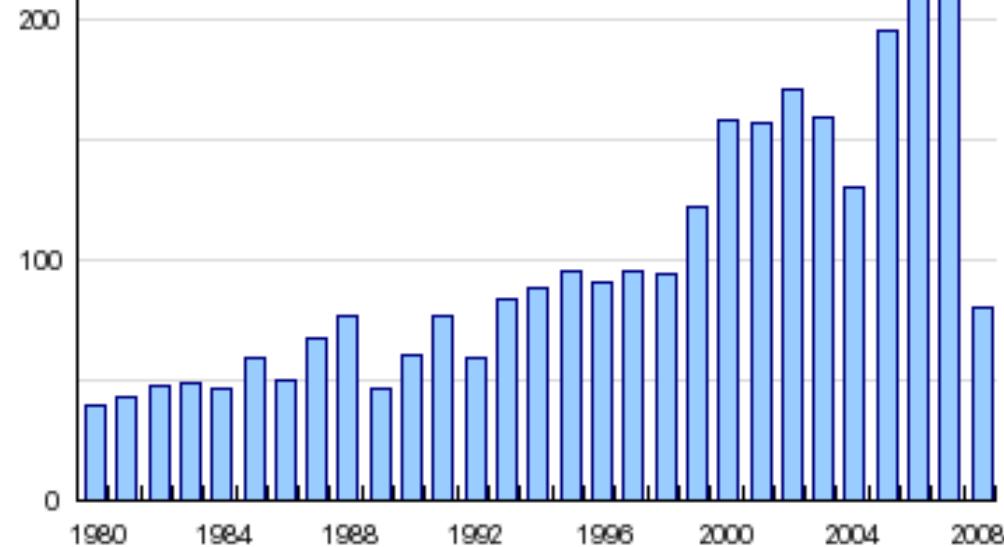


Köln 2011



Flutkatastrophen 1980 – Sept. 2008

© PreventionWeb.net



Queensland 2010



New Orleans 2005

Wasser ist eine Naturgewalt ...

Bangkok 2011



Köln 2011



Wasser hat einen kleinen Kopf



© Spiegel.de

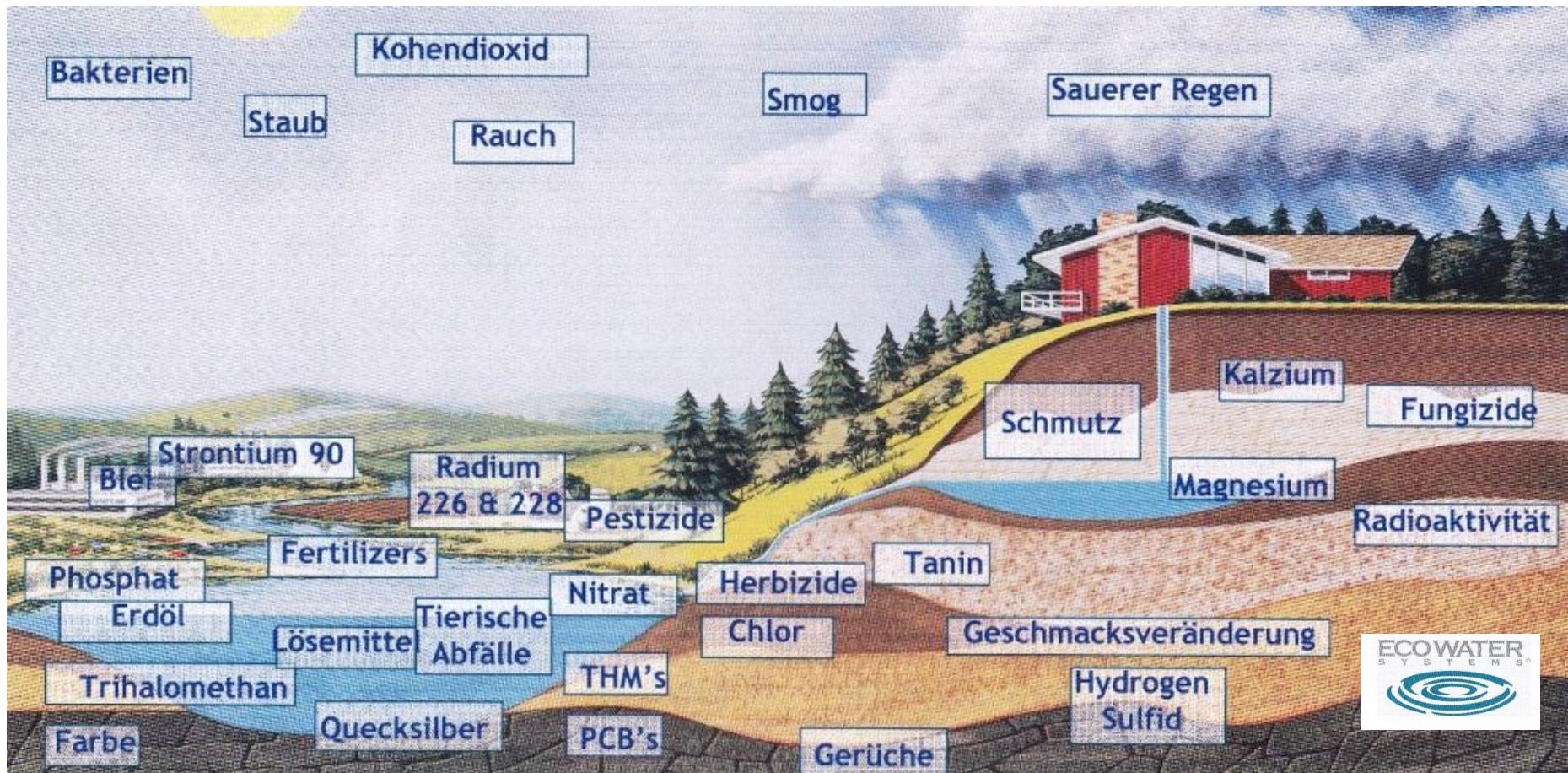
Queensland 2010



© Spiegel.de

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

Kommunikee 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

Outline

- 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:

- Valdierung von Messungen
- Fehlerabschätzung
- Parameterbestimmung

Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien:

datengestützt

modellgestützt

benötigt:

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

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

Ziele:

- Valdierung von Messungen
- Fehlerabschätzung
- Parameterbestimmung

benötigt:

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

Ziele: Zeitreihen

- Wasserspeicherung
- Gesamtabfluss
- Grundwasserspiegel

Positionierung der Hydrogeodäsie

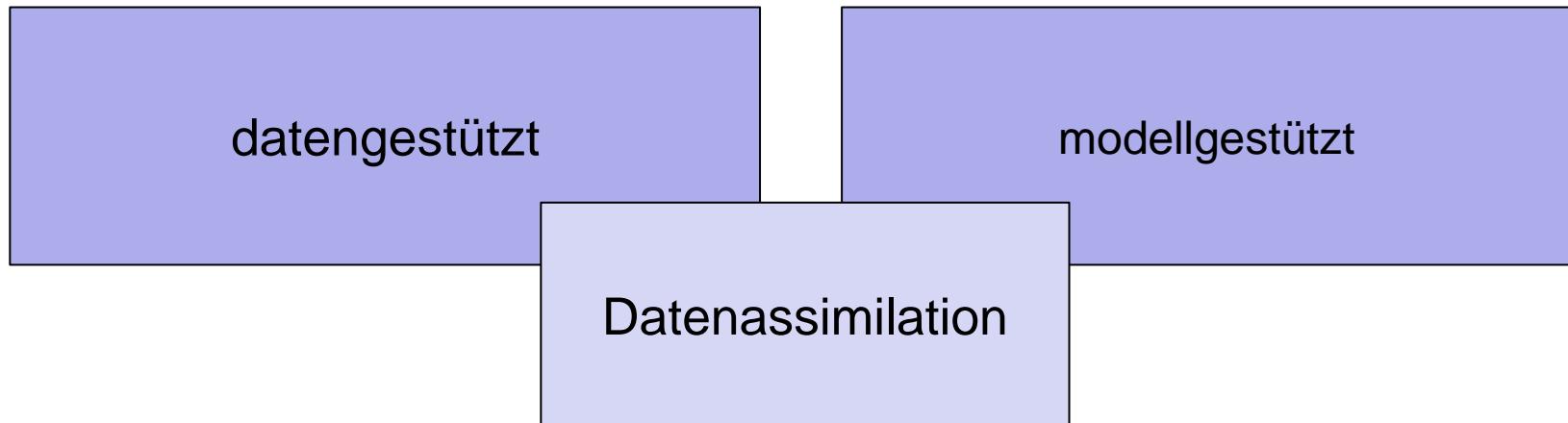
Philosophien

datengestützt

modellgestützt

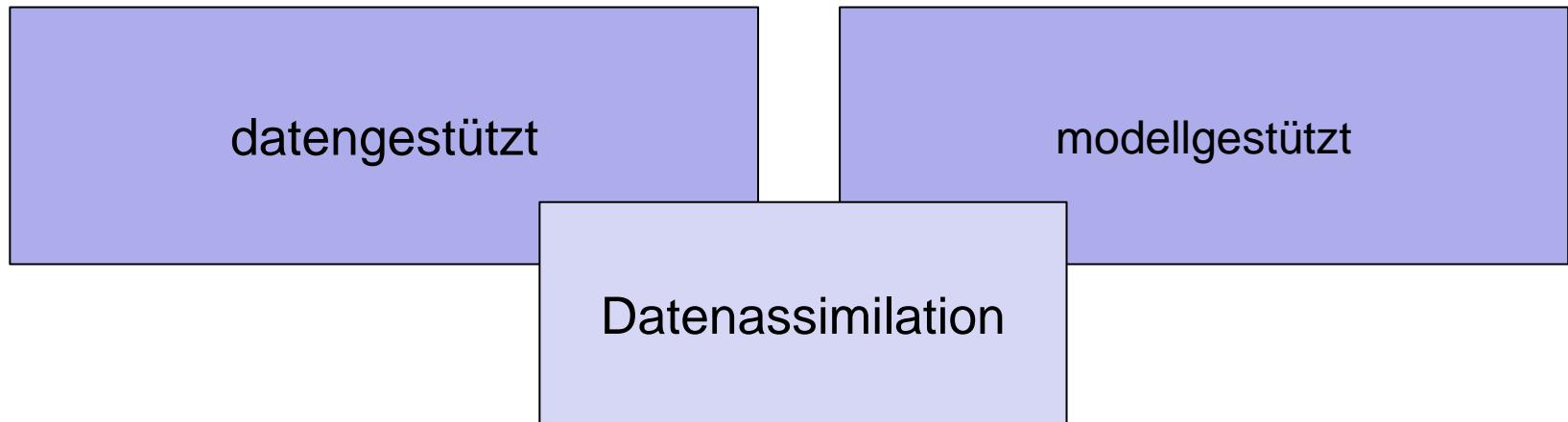
Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien



Positionierung der Hydrogeodäsie

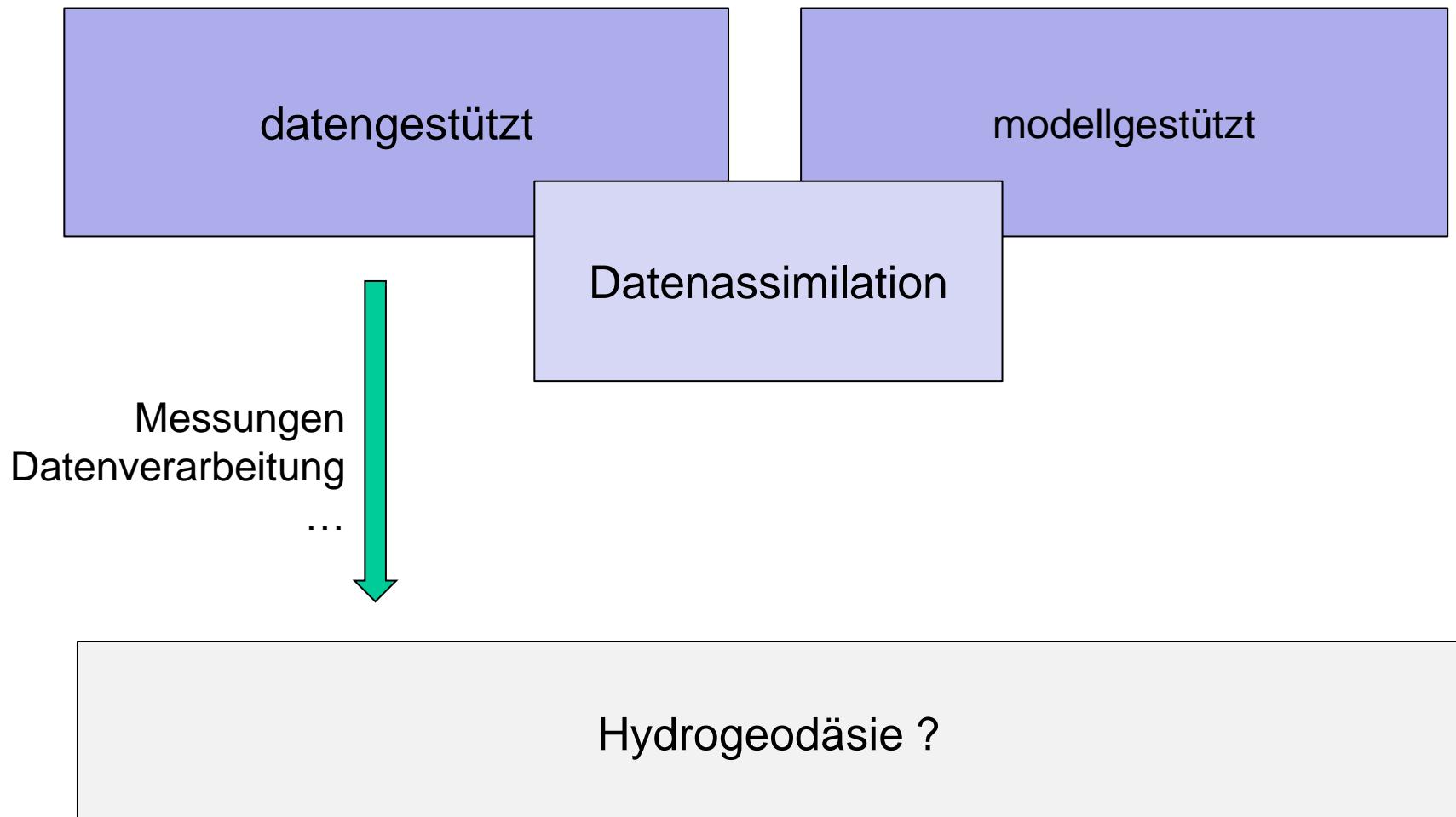
Philosophien



Hydrogeodäsie ?

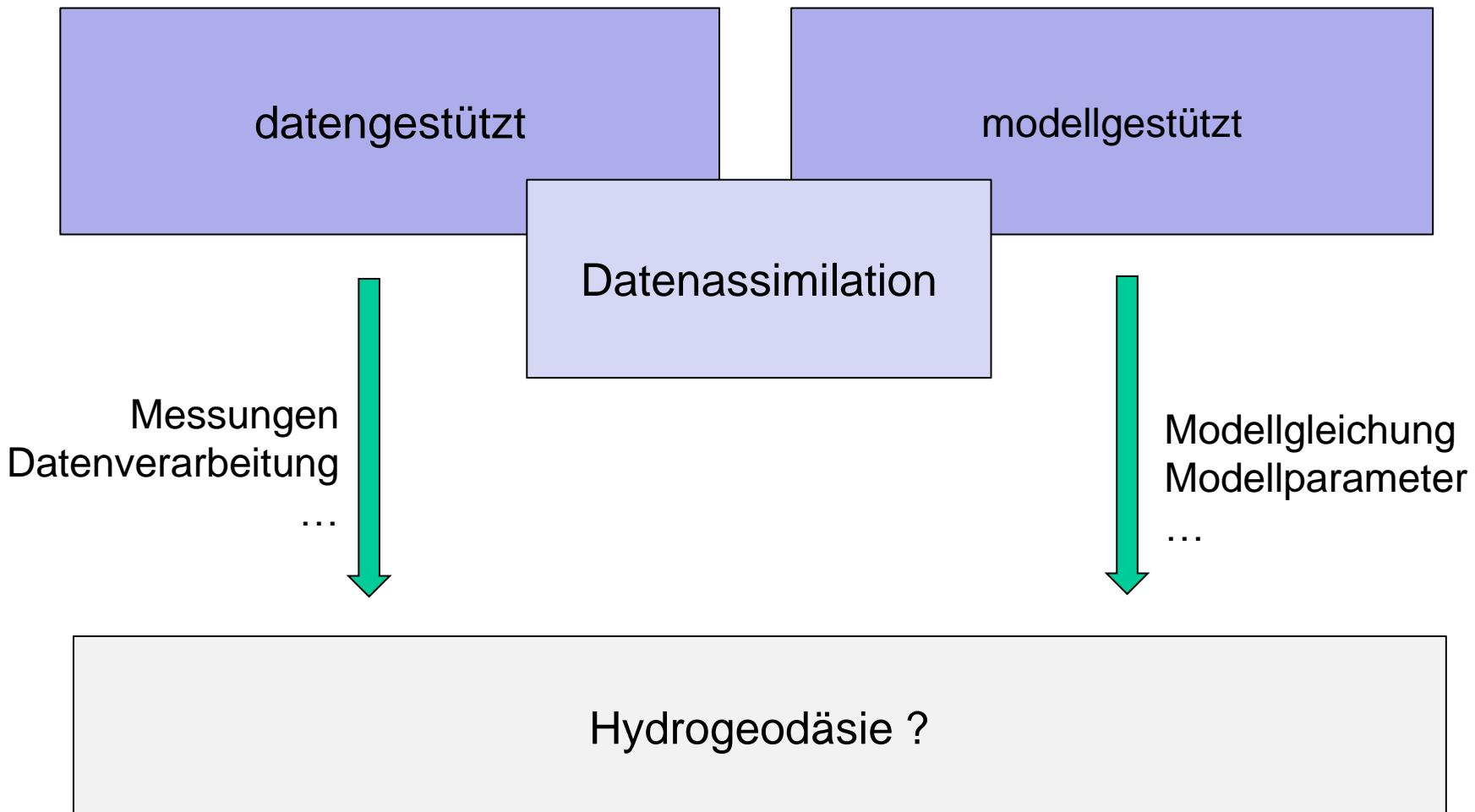
Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien



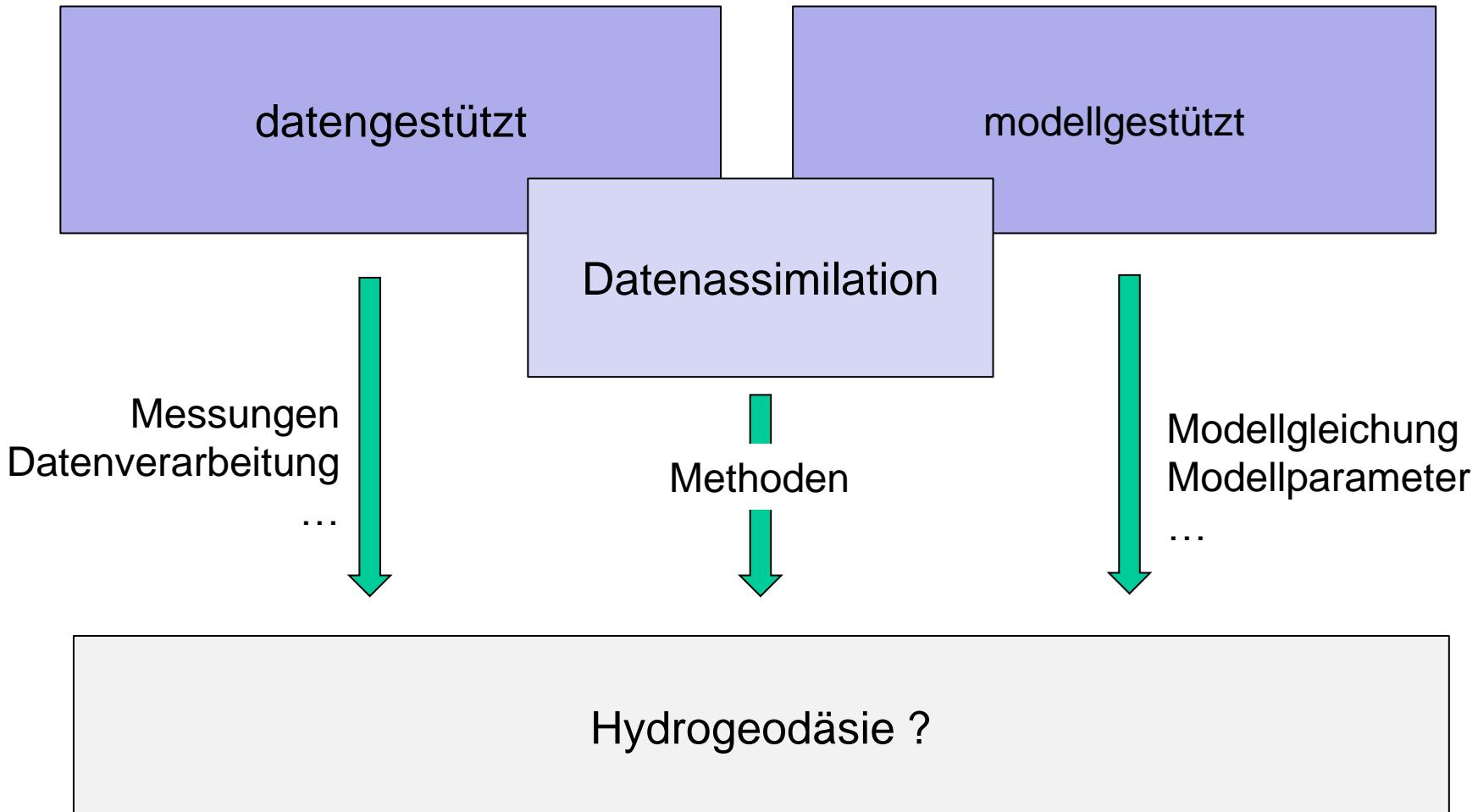
Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien



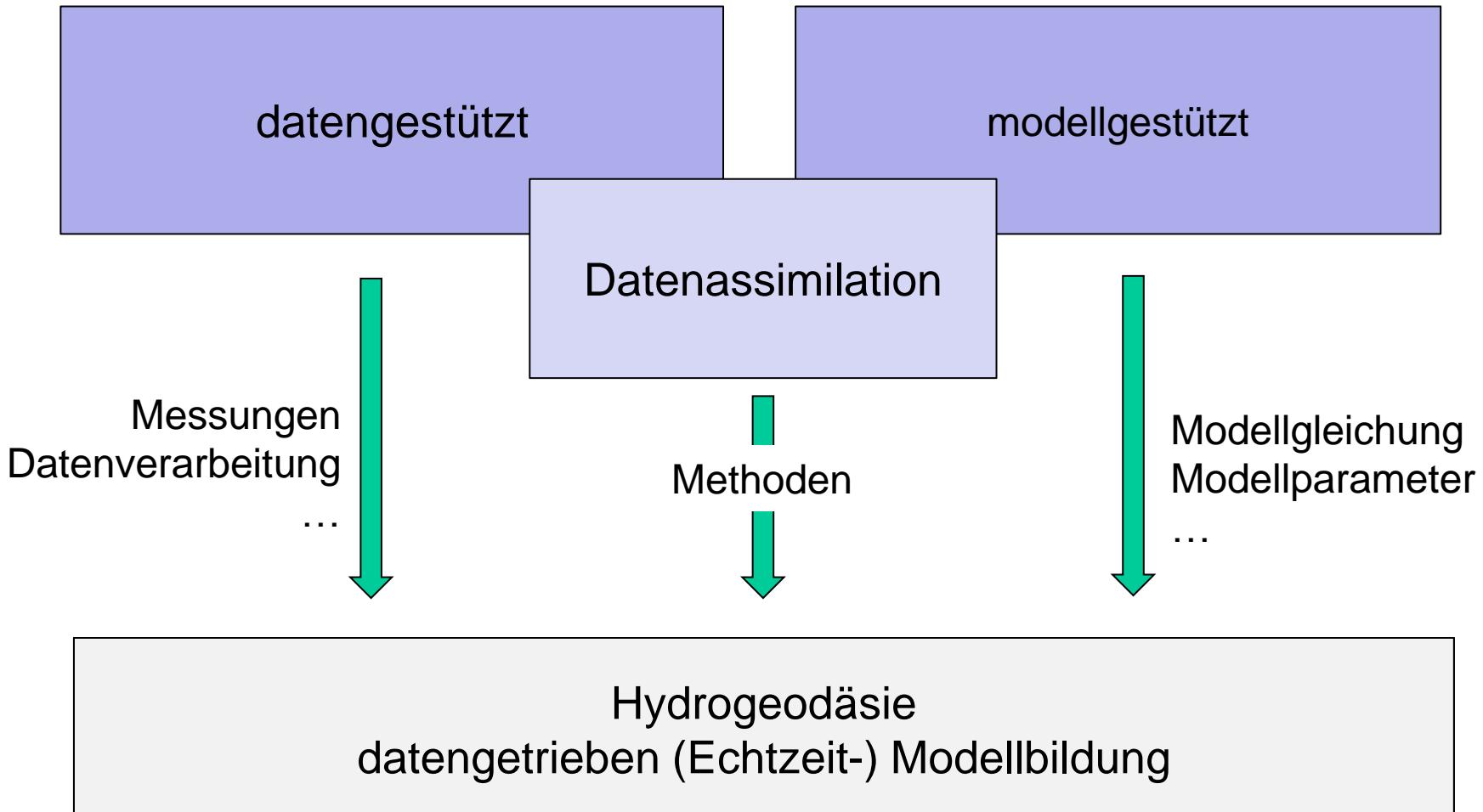
Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien



Positionierung der Hydrogeodäsie

Philosophien



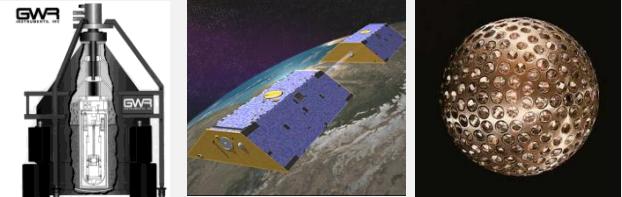
Datengrundlage

Geodäsie:

Geometrie



Gravimetrie



Hydrologie:

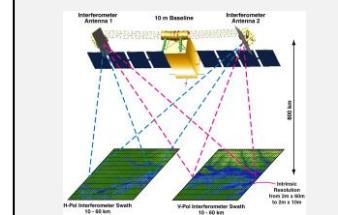
Niederschlag



Bodenfeuchte



Oberfläche



Luft



Eis, Schnee



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

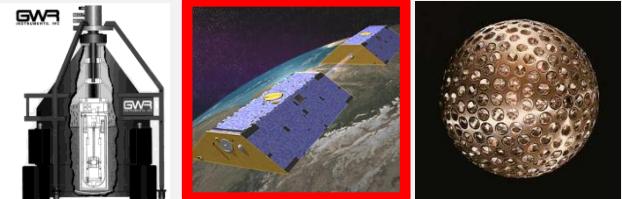
Datengrundlage

Geodäsie:

Geometrie



Gravimetrie



Hydrologie:

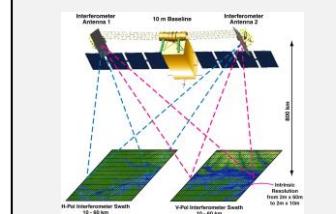
Niederschlag



Bodenfeuchte



Oberfläche



Luft



Eis, Schnee



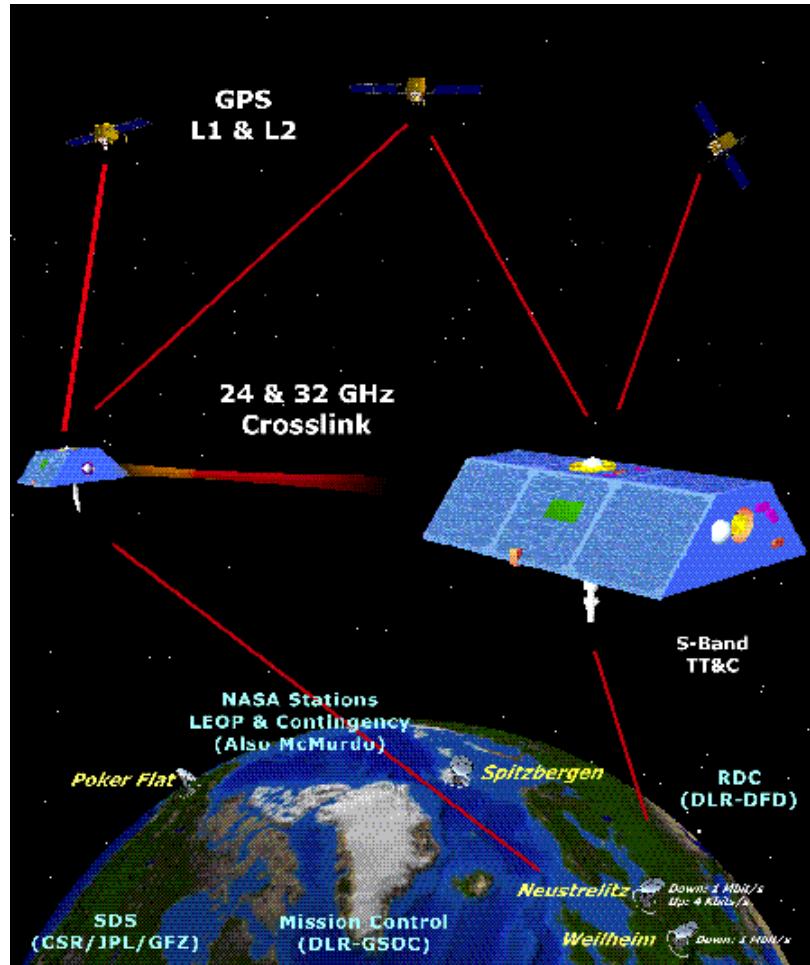
- Messsysteme müssen verstanden werden
- Fehler müssen abschätzbar sein
- Externe Einflüsse müssen identifiziert/bekannt sein

GRACE

Satellitensystem GRACE

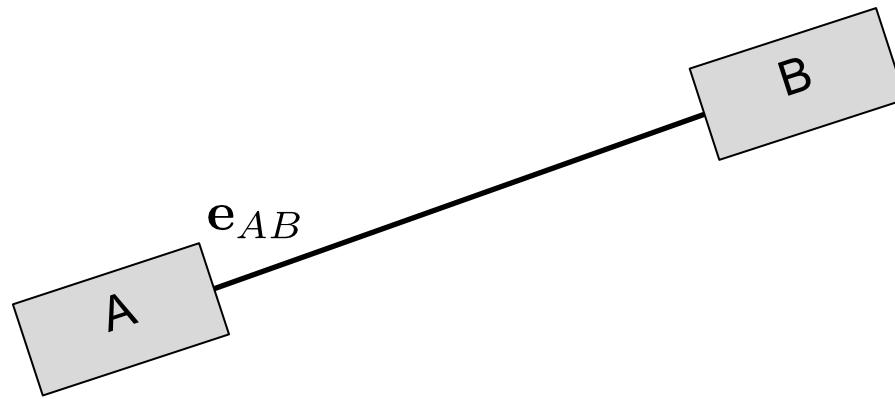
GRACE = Gravity Recovery and Climate Experiment

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



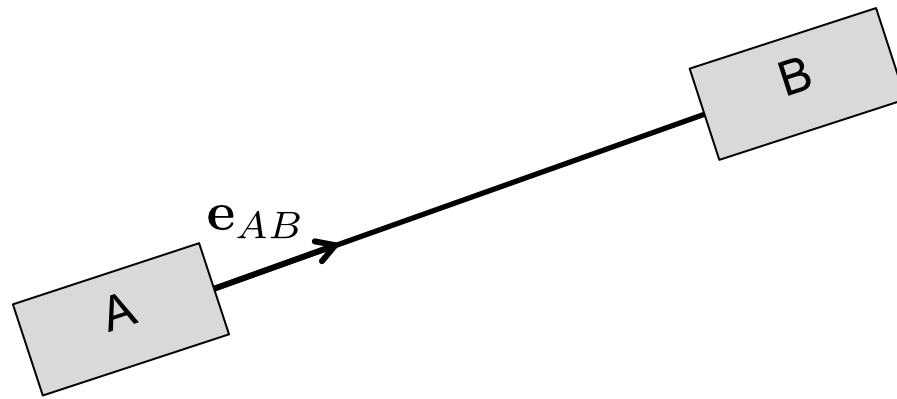
© CSR, UTexas

Geometrie



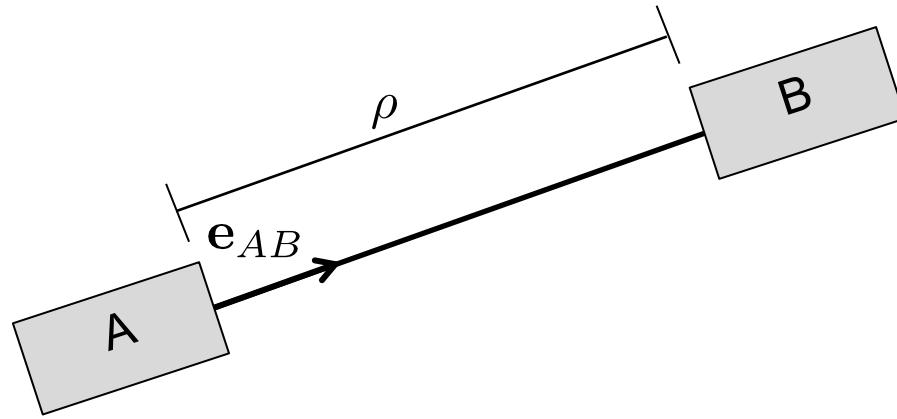
Rummel et al. 1978

Geometrie



Rummel et al. 1978

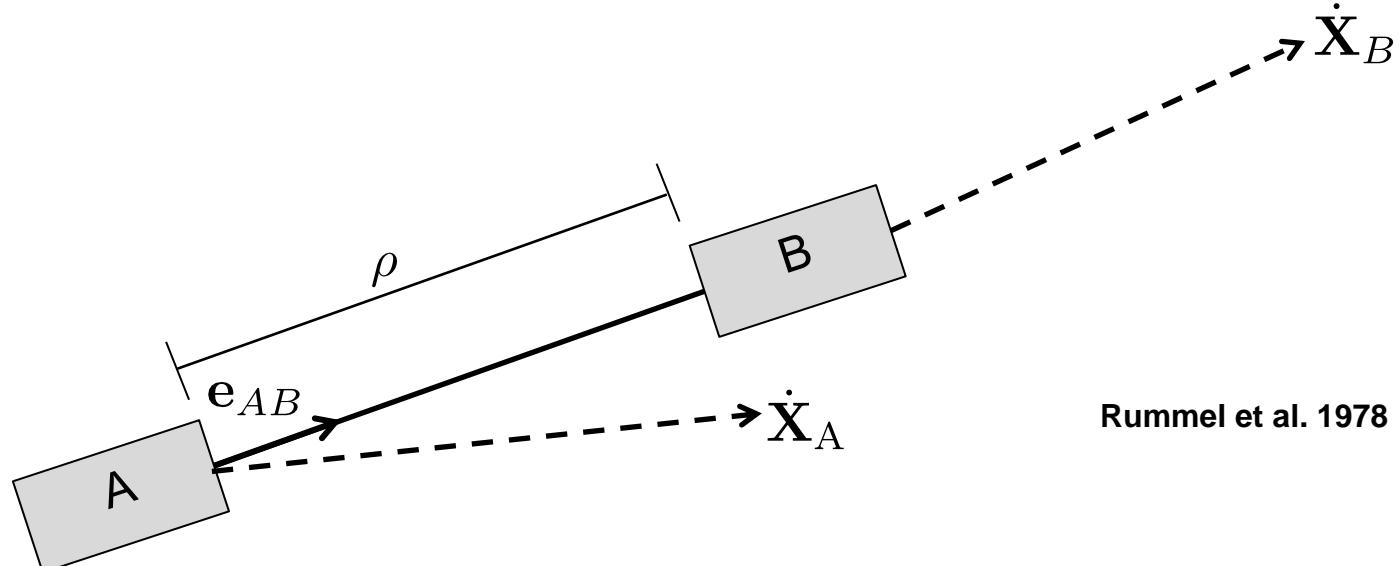
Geometrie



Rummel et al. 1978

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

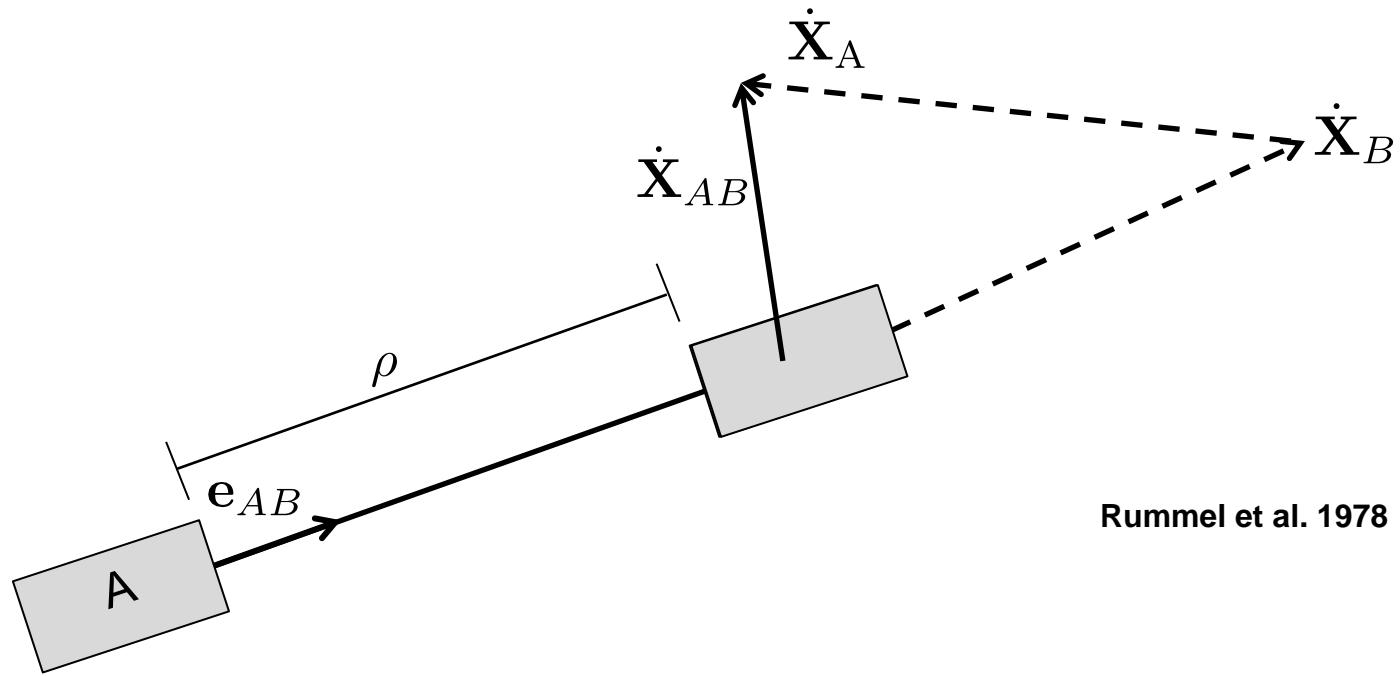
Geometrie



Rummel et al. 1978

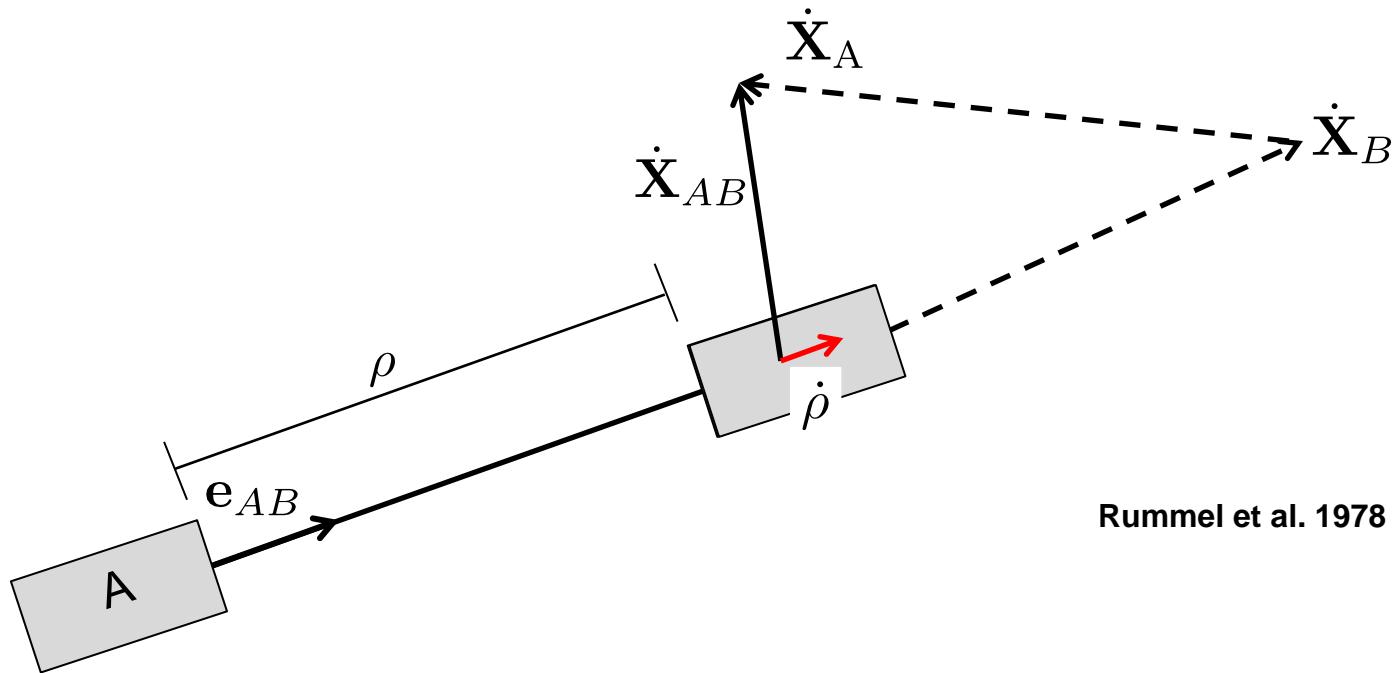
$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

Geometrie



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

Geometrie

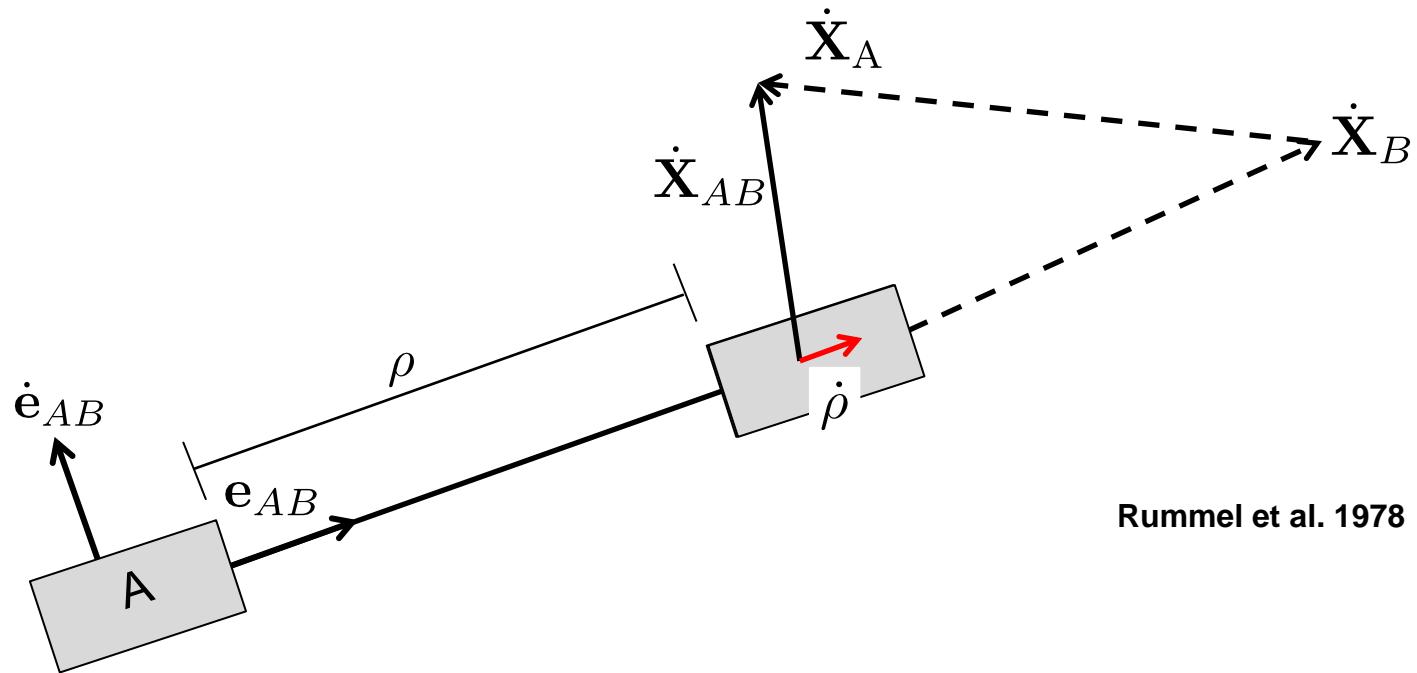


Rummel et al. 1978

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

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

Geometrie

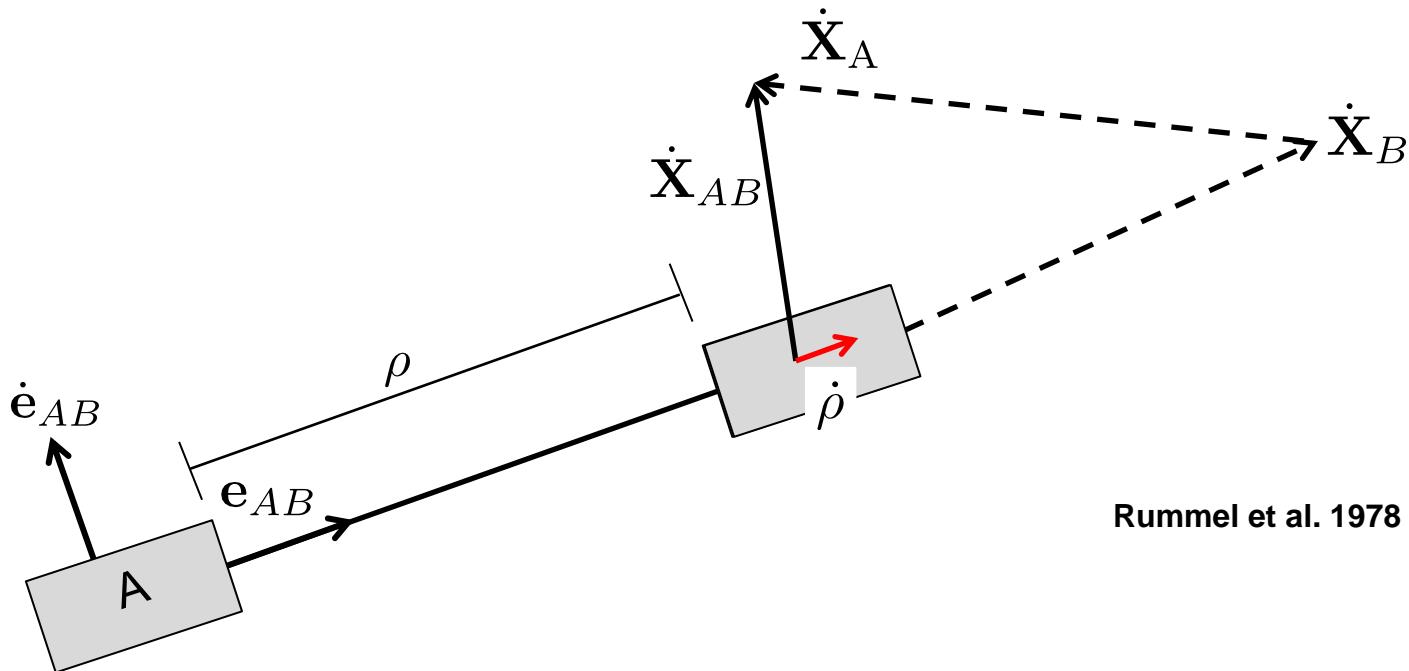


Rummel et al. 1978

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

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

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

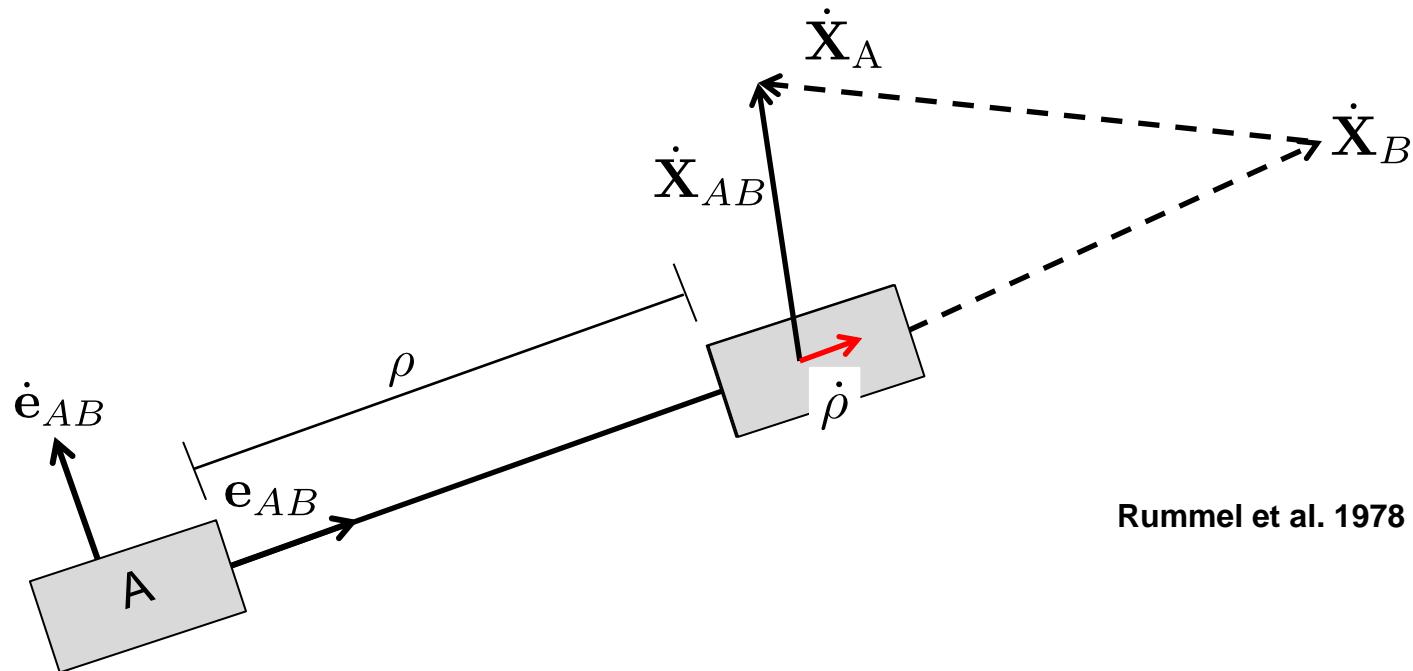


Rummel et al. 1978

Differentiation

$$\begin{aligned}\rho &= \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} \\ \dot{\rho} &= \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} \\ \ddot{\rho} &= \ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB} + \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}\end{aligned}$$

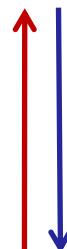
Geometrie



Rummel et al. 1978

Differentiation

Integration

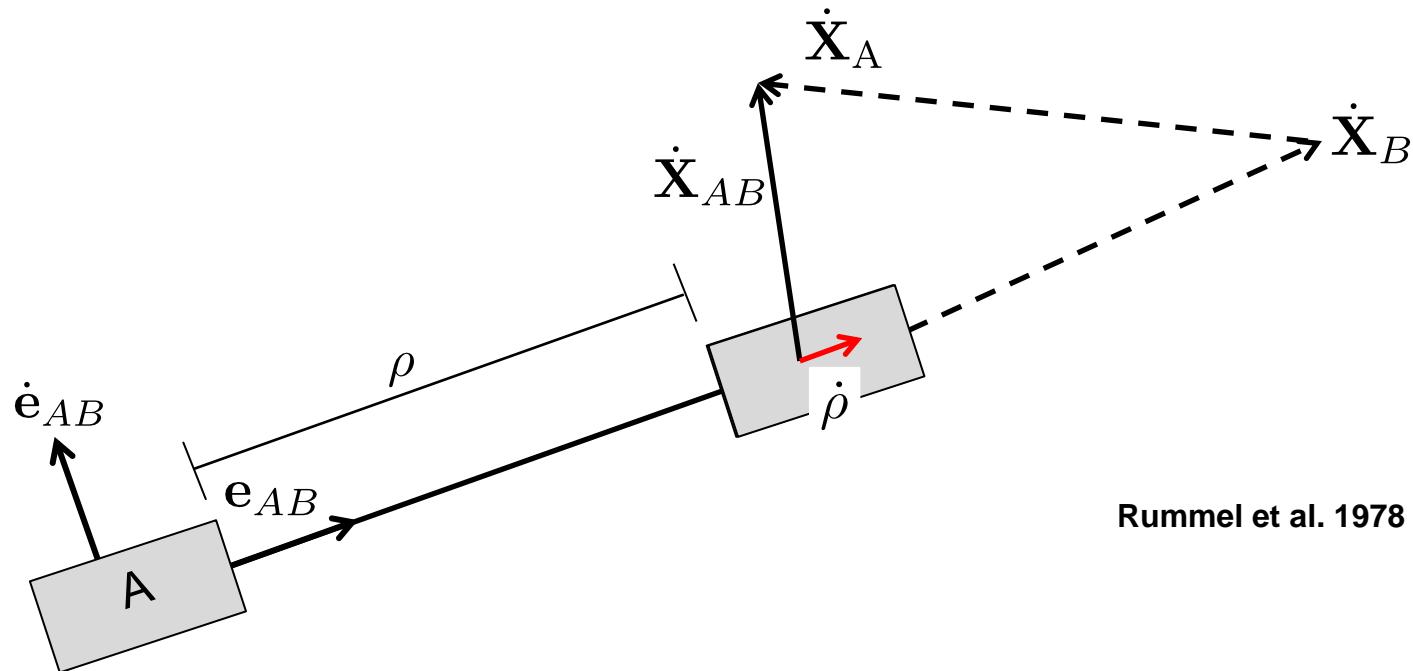


$$\rho = \mathbf{X}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}$$

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

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

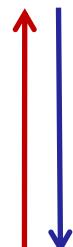
Geometrie



Rummel et al. 1978

Differentiation

Integration



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

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

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

Schwerefeldmodellierung

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

with GM gravitational constant times mass of the Earth

R radius of the Earth

λ, θ, 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)

$\rho, \dot{\rho}, \Delta\rho$

Celestial mechanics approach

(Beutler et al. 2010, Jäggi 2007)

...

In-situ observations

Energieintegral

(Han 2003, Ramillien et al. 2010)

$\ddot{\rho}$

Differentielle Gravimetrie

(Rummel 1978, Liu 2010)

$\ddot{\rho}$

LoS Gradiometrie

(Keller and Sharifi 2005)

$\ddot{\rho}$

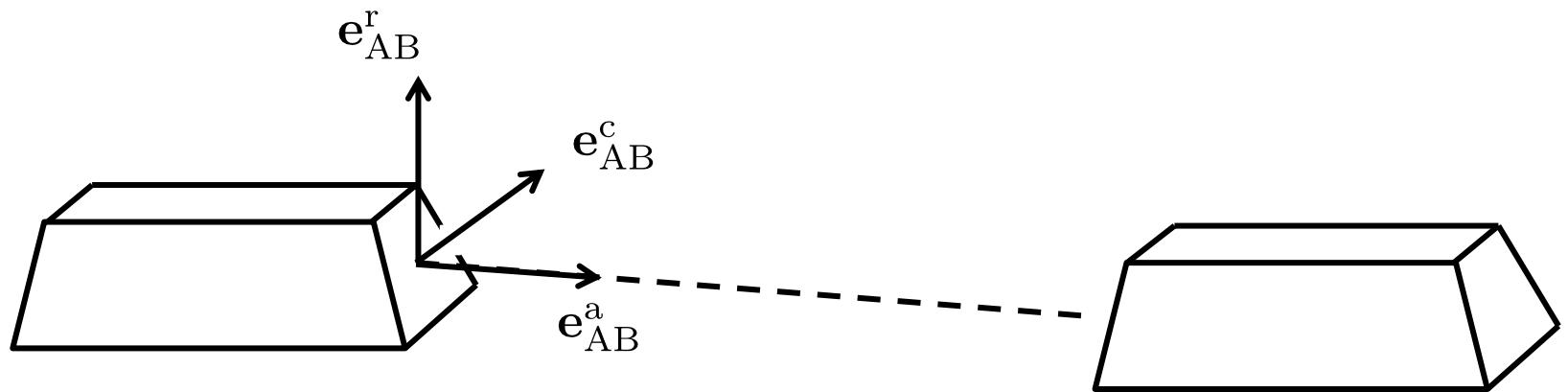
$\ddot{\rho}$

$\ddot{\rho}$

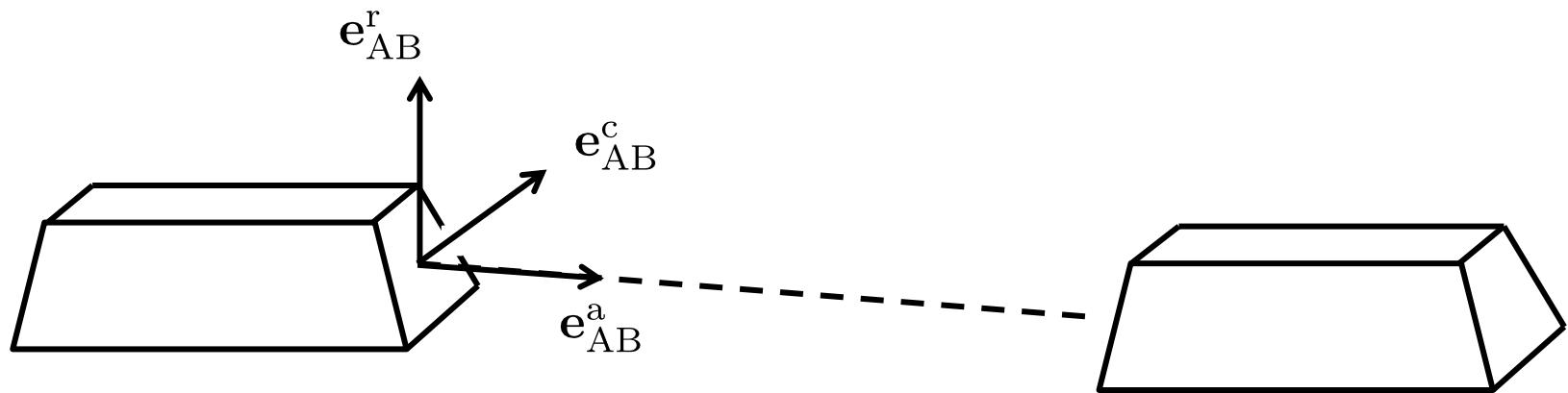
...

DIFFERENTIELLE GRAVIMETRIE

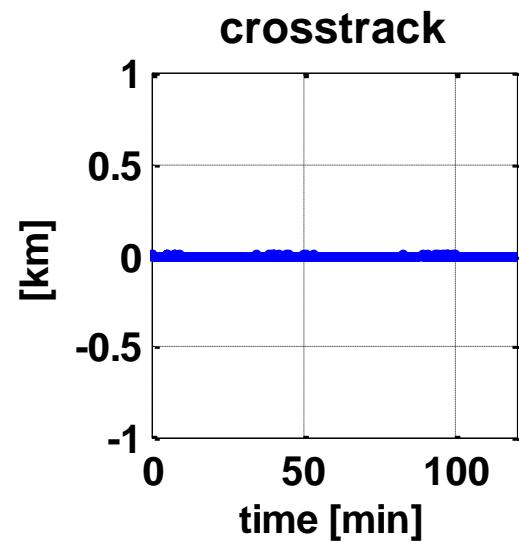
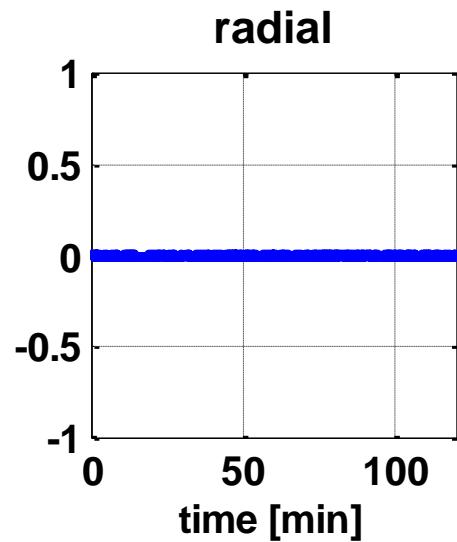
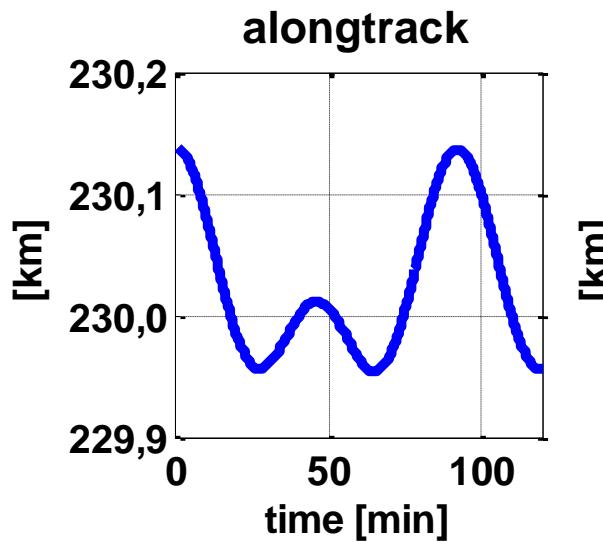
Instantaneous relative reference frame



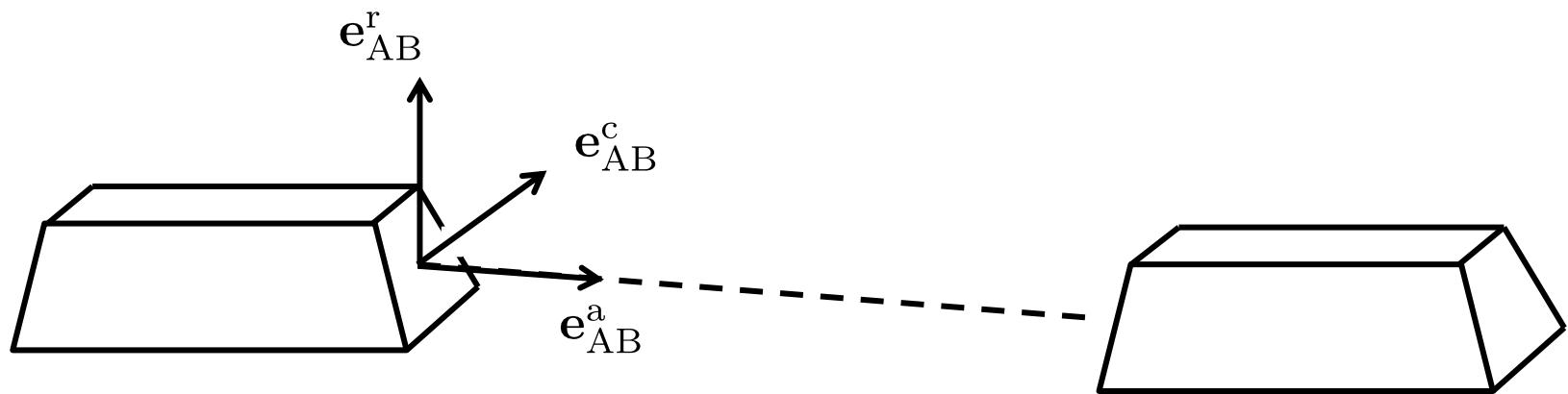
Instantaneous relative reference frame



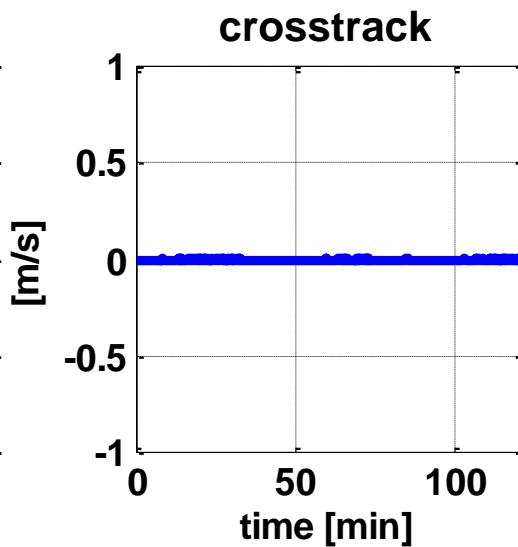
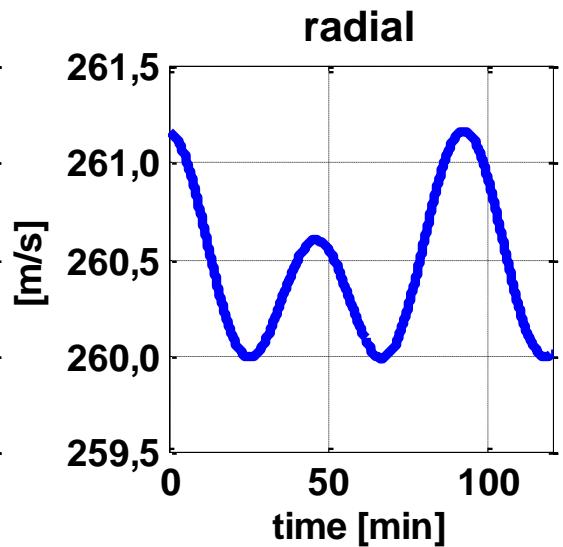
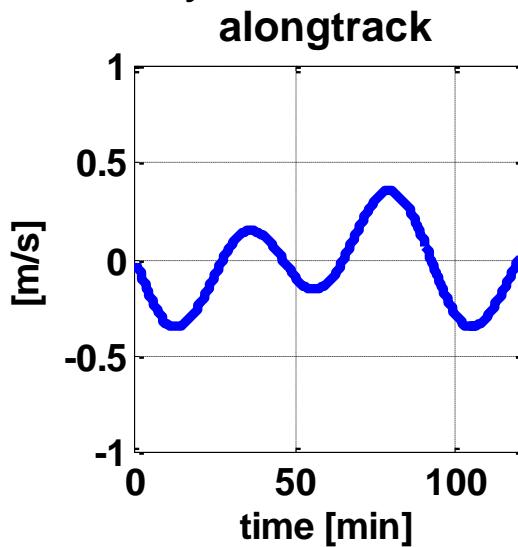
Position



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:

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

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

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

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

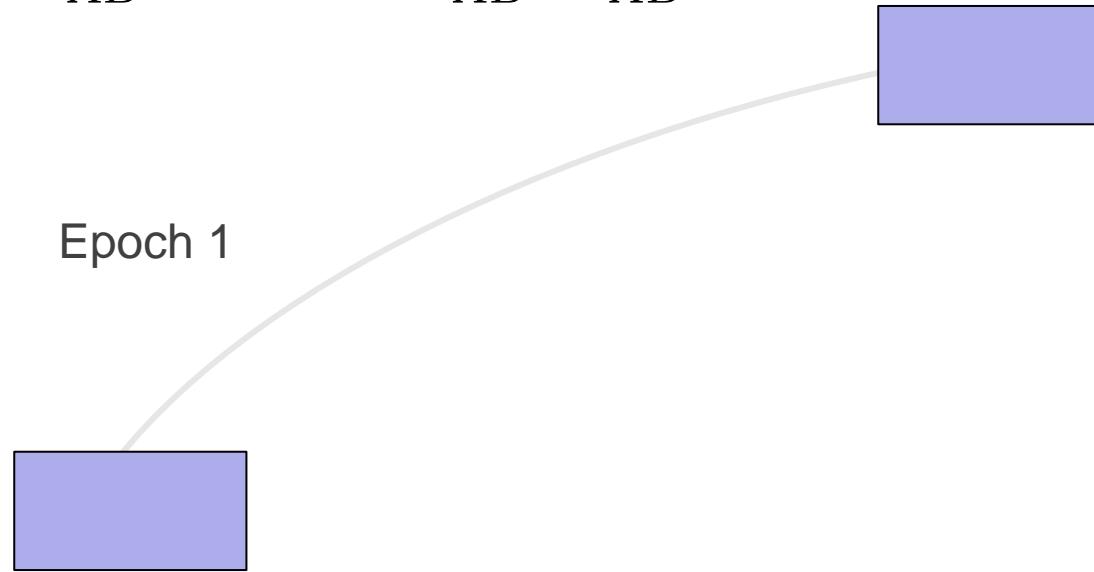
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + 0 + \rho \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$

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

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

Relativbewegung

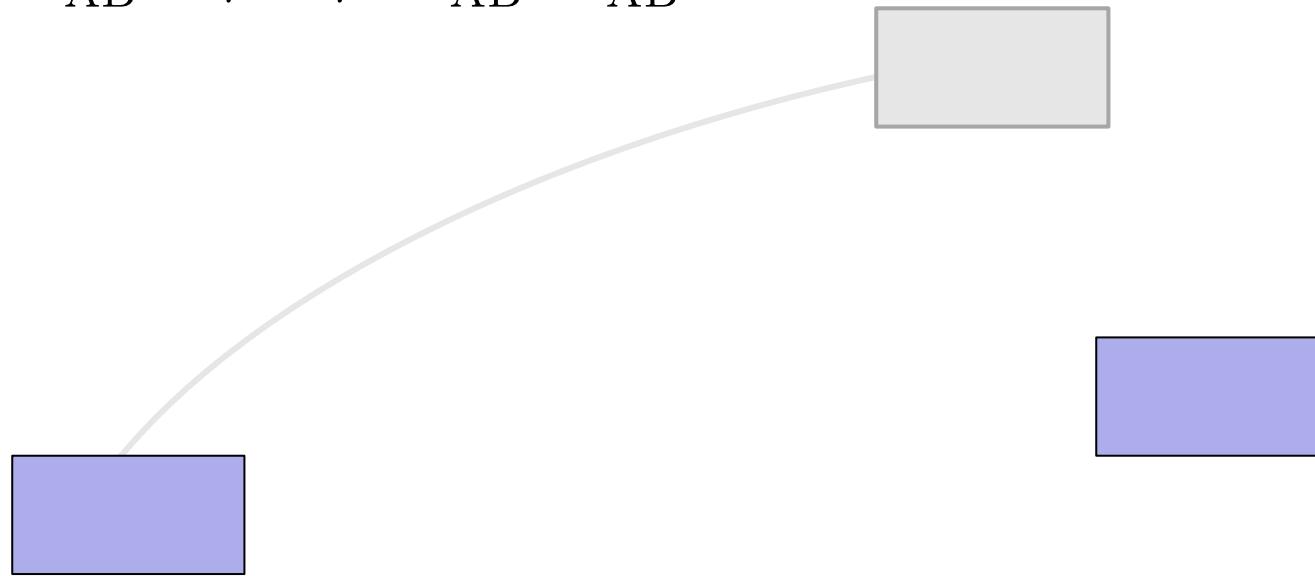
$$\ddot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \mathbf{e}_{AB}^a = \ddot{\rho} + \dot{\rho} \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a$$



Relativbewegung

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

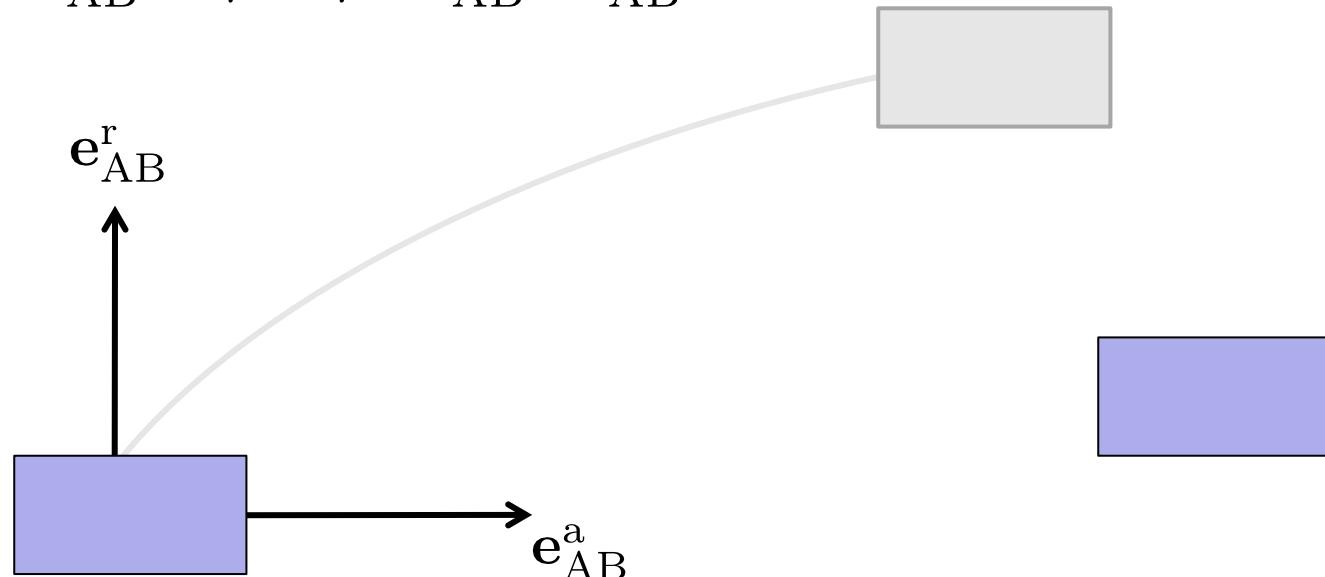
keine Absolutbewegung!



Relativbewegung

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

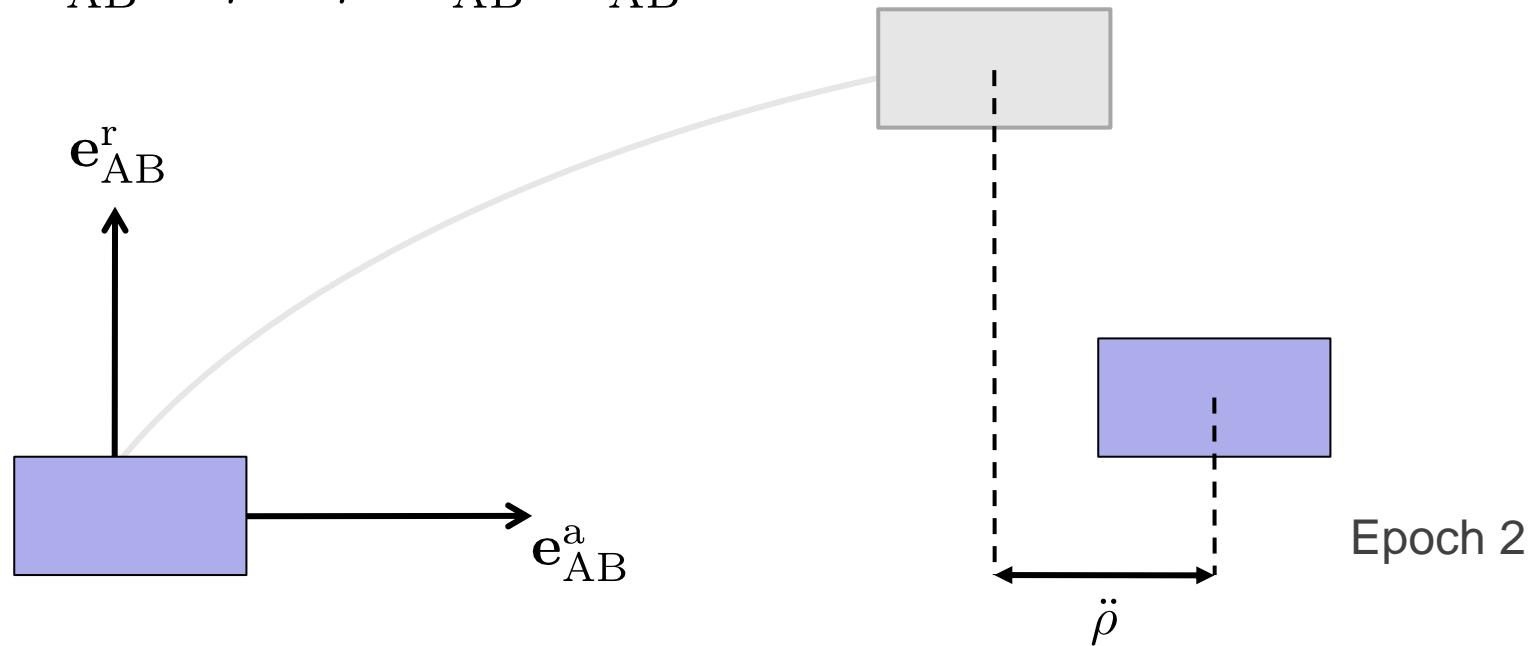
keine Absolutbewegung!



Relativbewegung

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

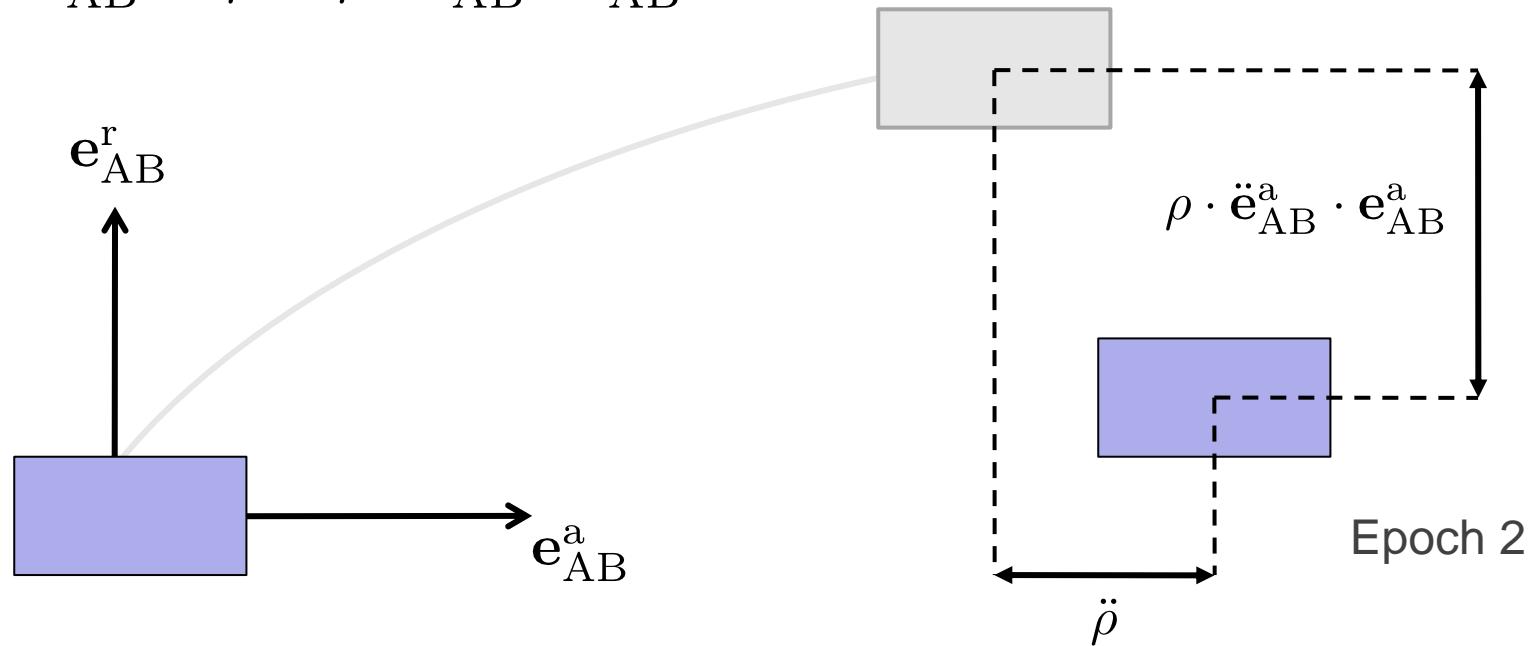
keine Absolutbewegung!



Relativbewegung

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

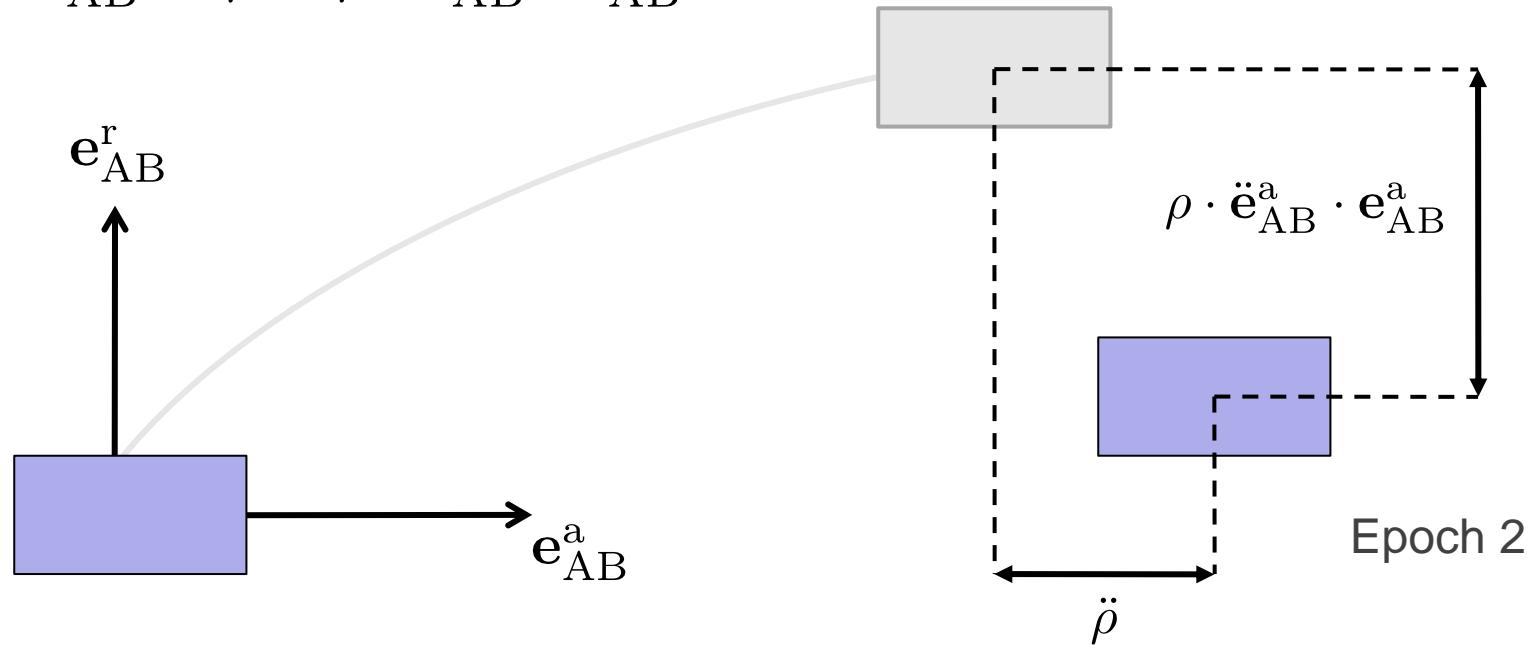
keine Absolutbewegung!



Relativbewegung

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

keine Absolutbewegung!

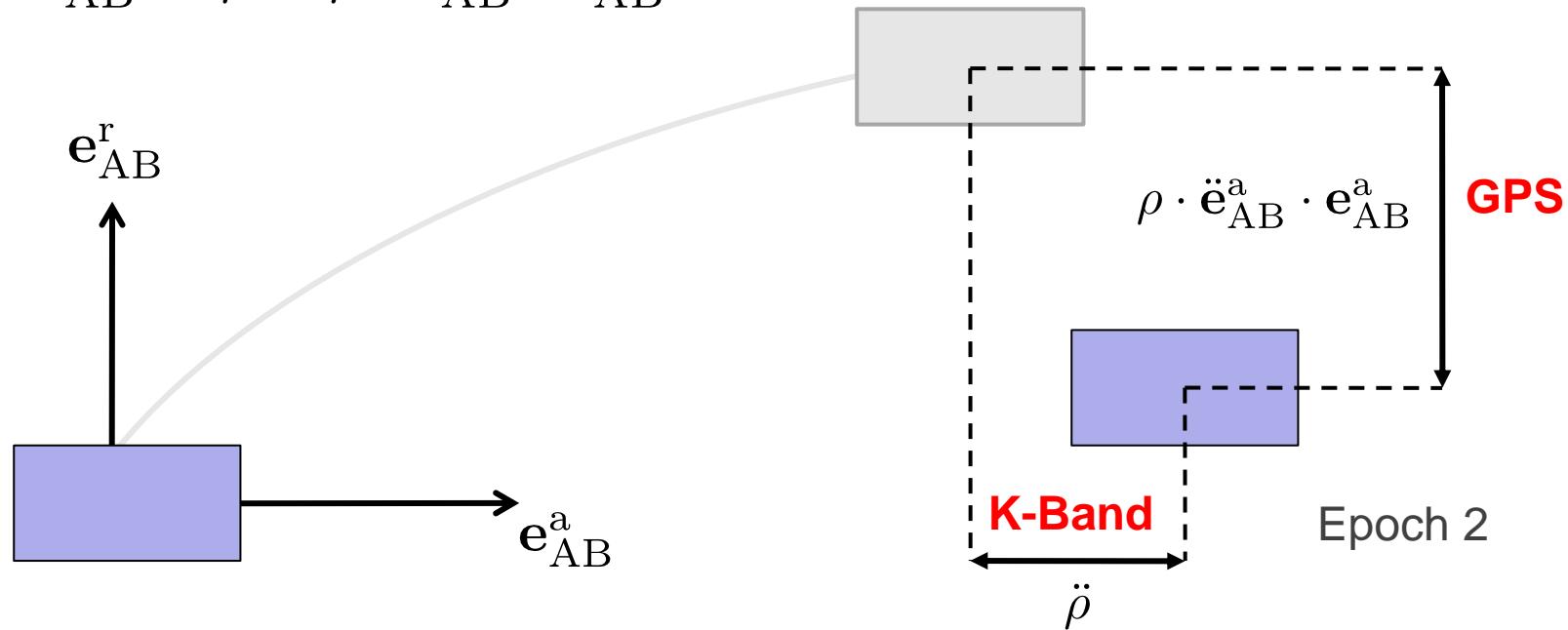


$$\begin{aligned}\rho \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a \cdot \mathbf{e}_{AB}^a &= \dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \ddot{\mathbf{e}}_{AB}^a = -\dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{e}}_{AB}^a \\ &= -\dot{\rho} \|\dot{\mathbf{e}}_{AB}^a\|^2 = -\frac{1}{\rho} (\dot{\mathbf{X}}_{AB} \cdot \dot{\mathbf{X}}_{AB} -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

Relativbewegung

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

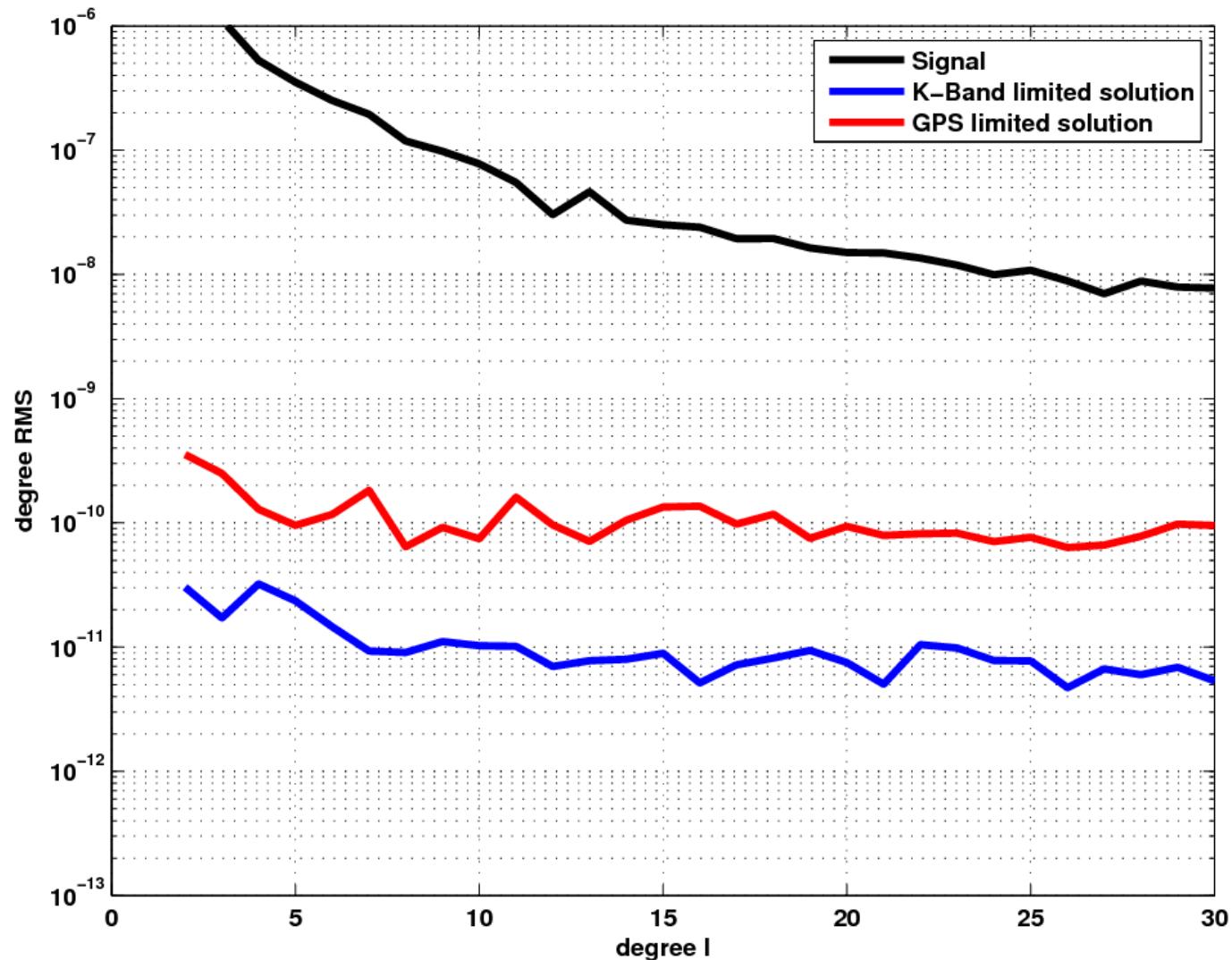
keine Absolutbewegung!



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

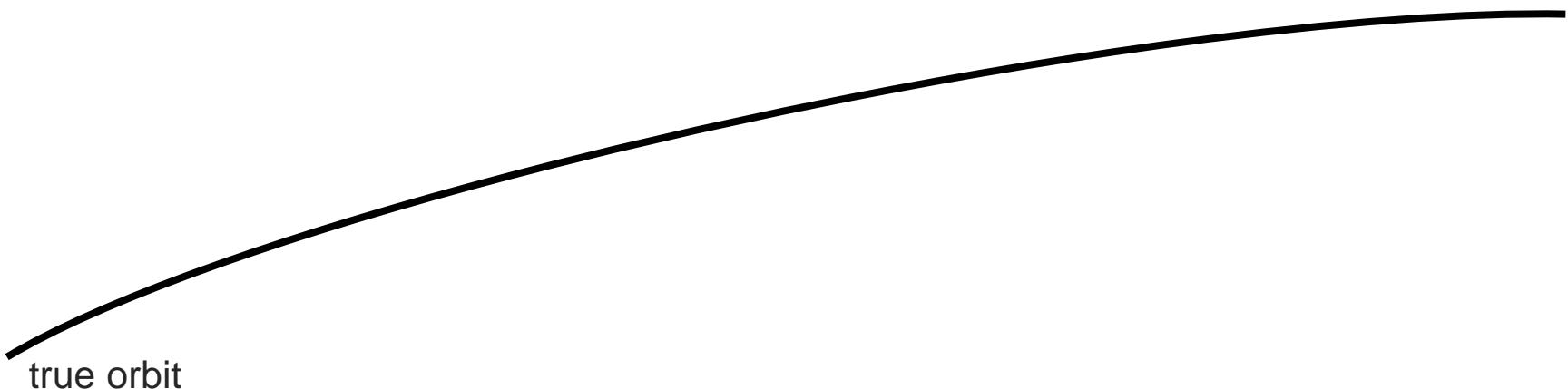
Einschränkungen

Kombination von hochpräziser K-Band Messung mit GPS notwendig



Residuale Größen

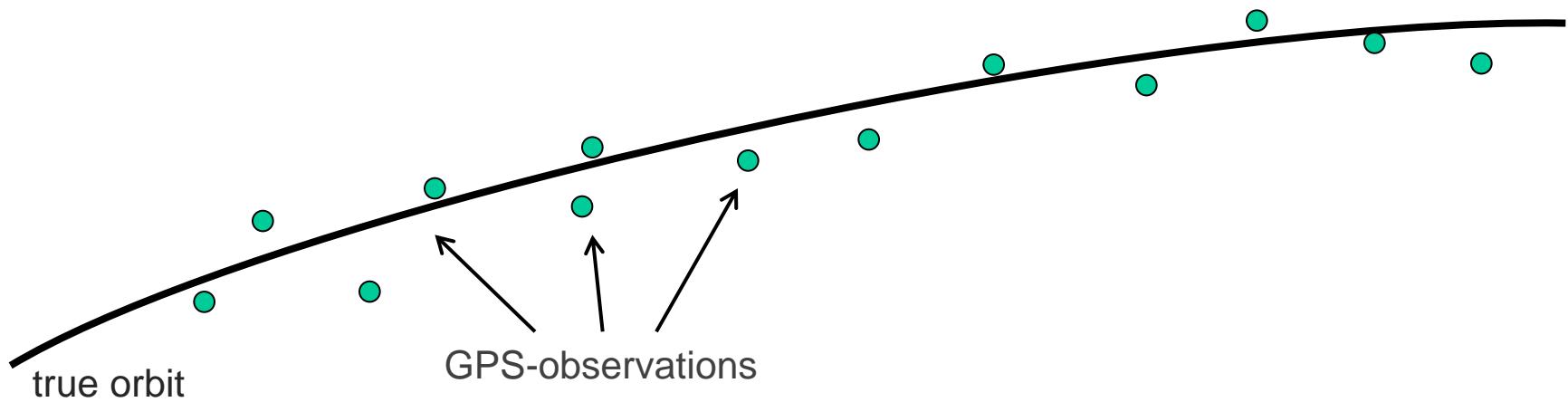
- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes



- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen

Residuale Größen

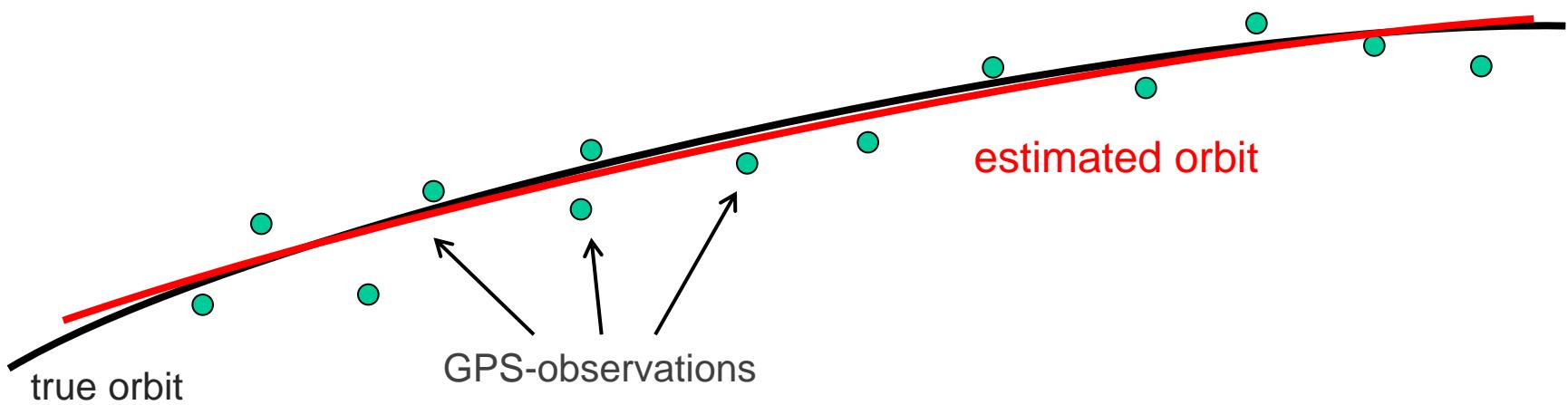
- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes



- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen

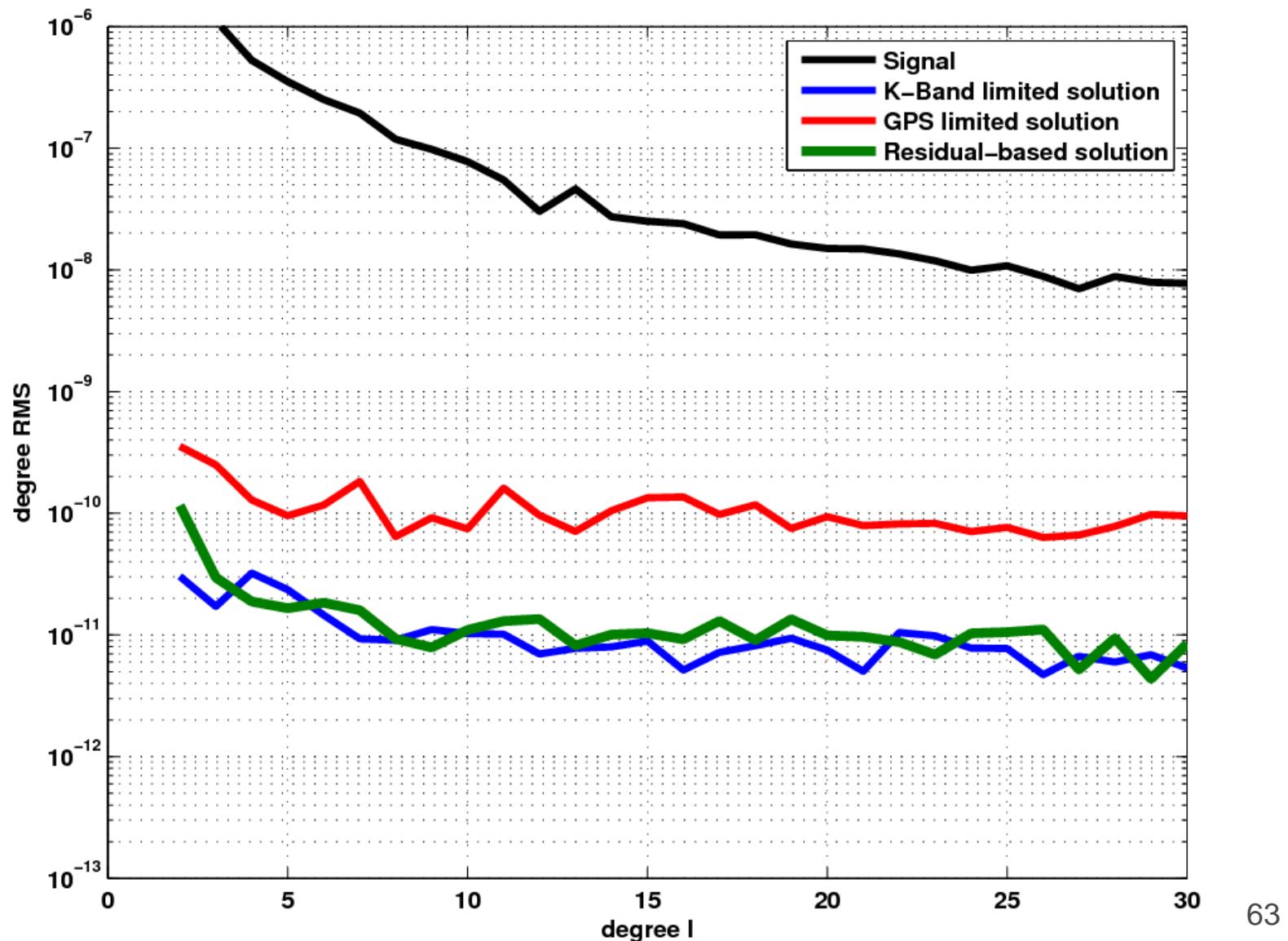
Residuale Größen

- Orbitanpassung mit Hilfe eines a priori Schwerefeldes



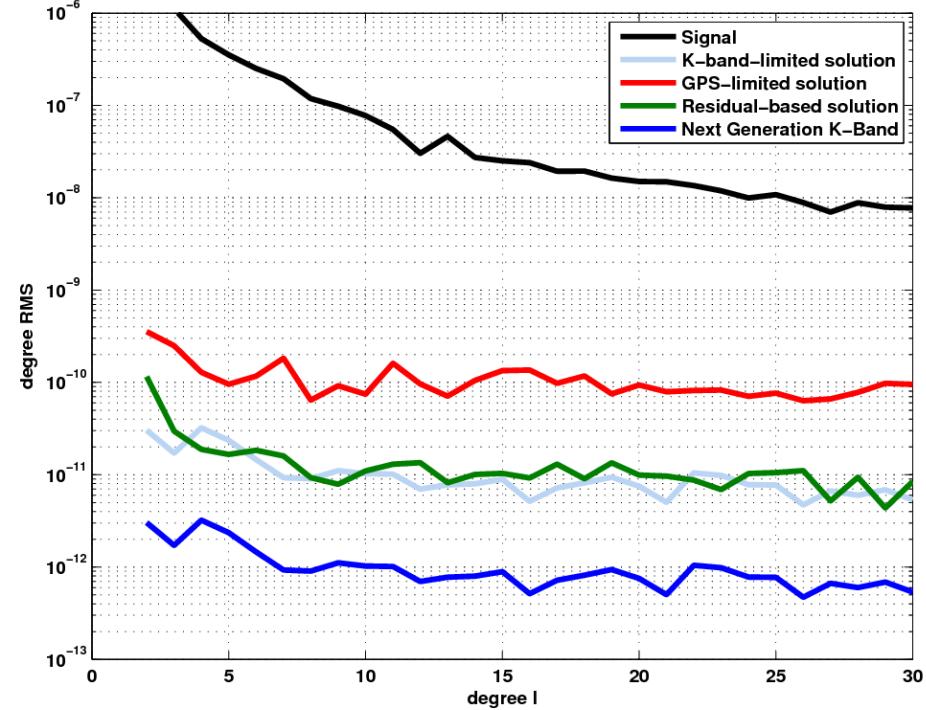
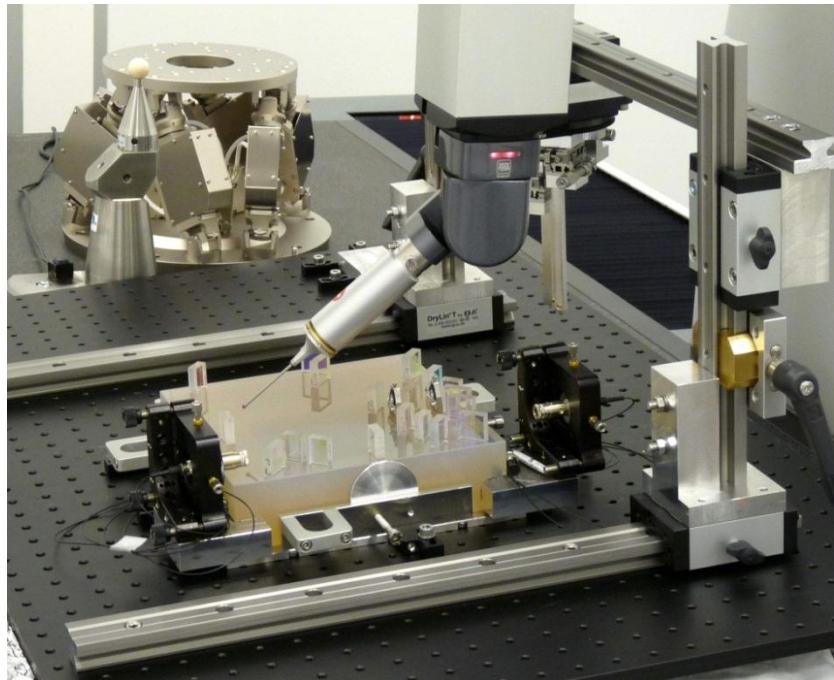
- eventuell Schätzung zusätzlicher empirischer Parameter oder Nutzung von kurzen Bahnbögen

Lösungen



GRACE-follow on Mission

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



Antrag für eine ICCT-Studiengruppe:

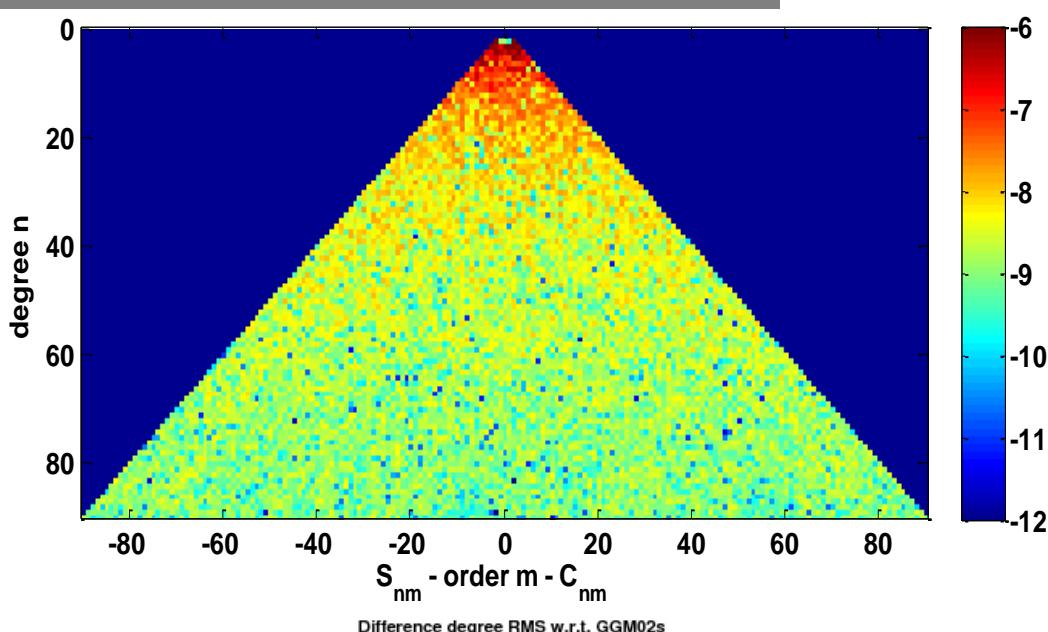
Applicability of current GRACE solution strategies to the next generation of inter-satellite range observations

24 Teilnehmer aus 10 Ländern

QUALITÄT?

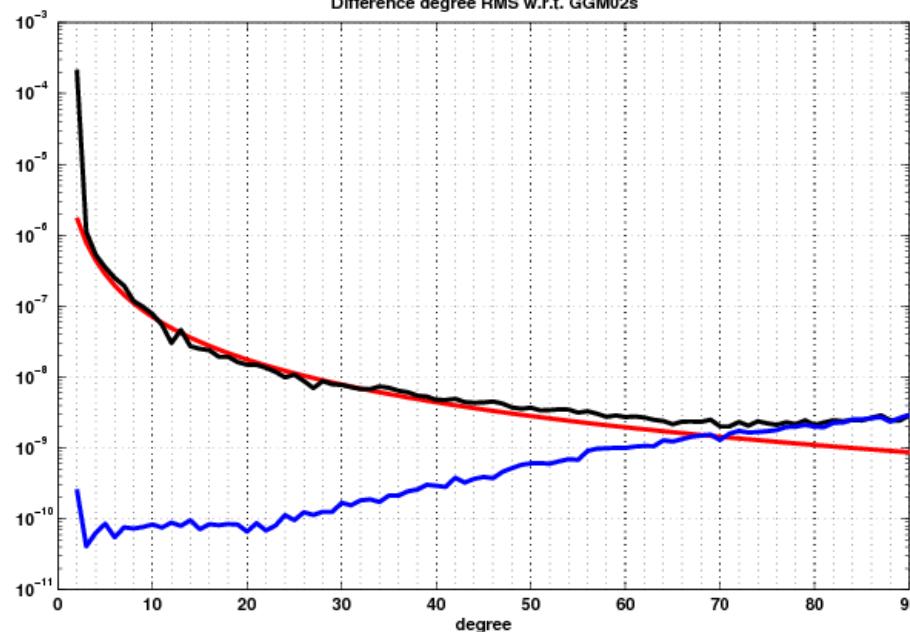
Spektrale Darstellung

Sphärisch
harmonische
Spektrum



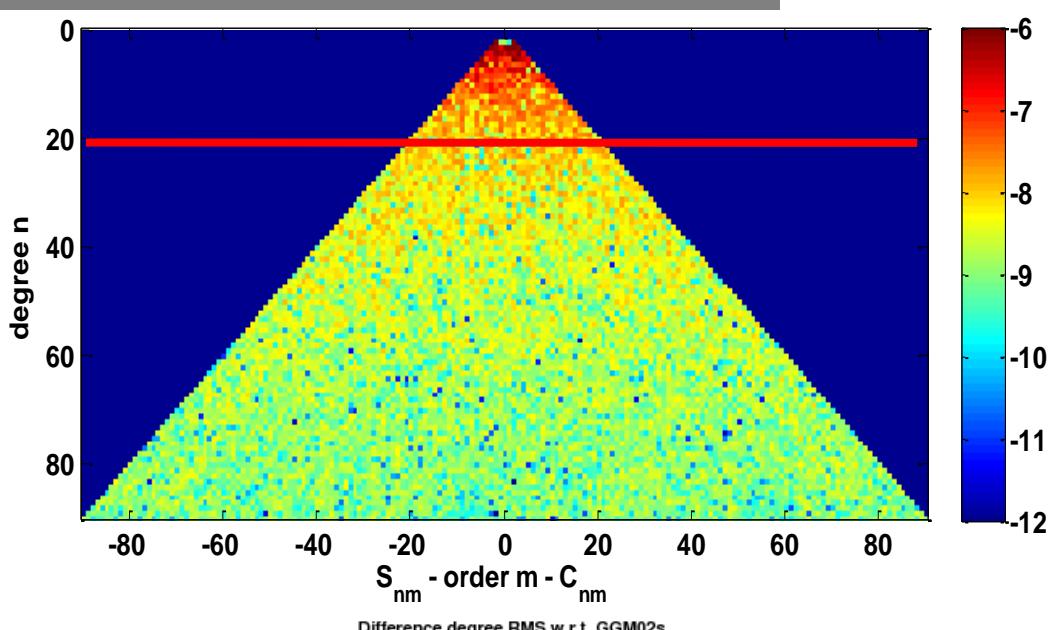
Grad-RMS

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



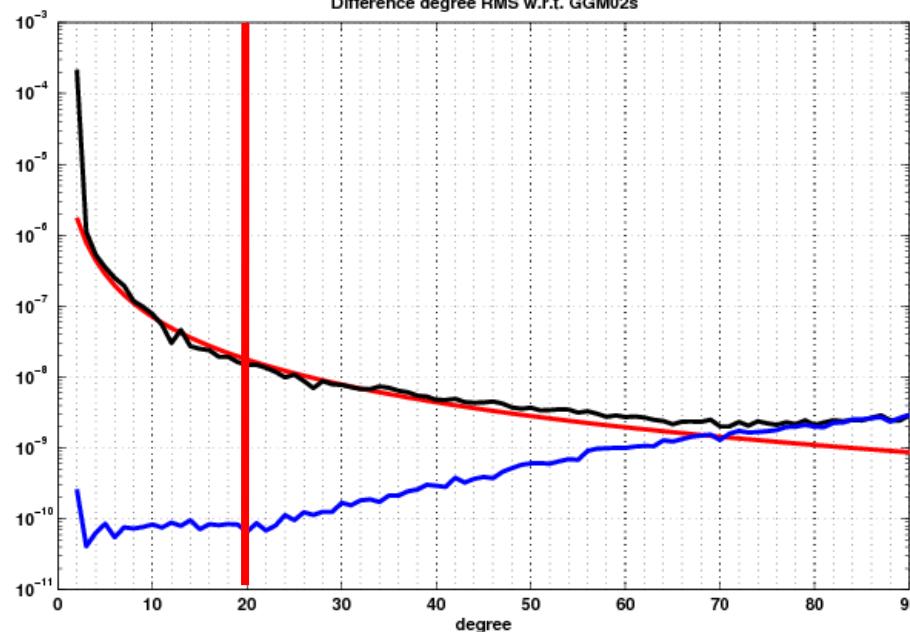
Spektrale Darstellung

Sphärisch
harmonische
Spektrum



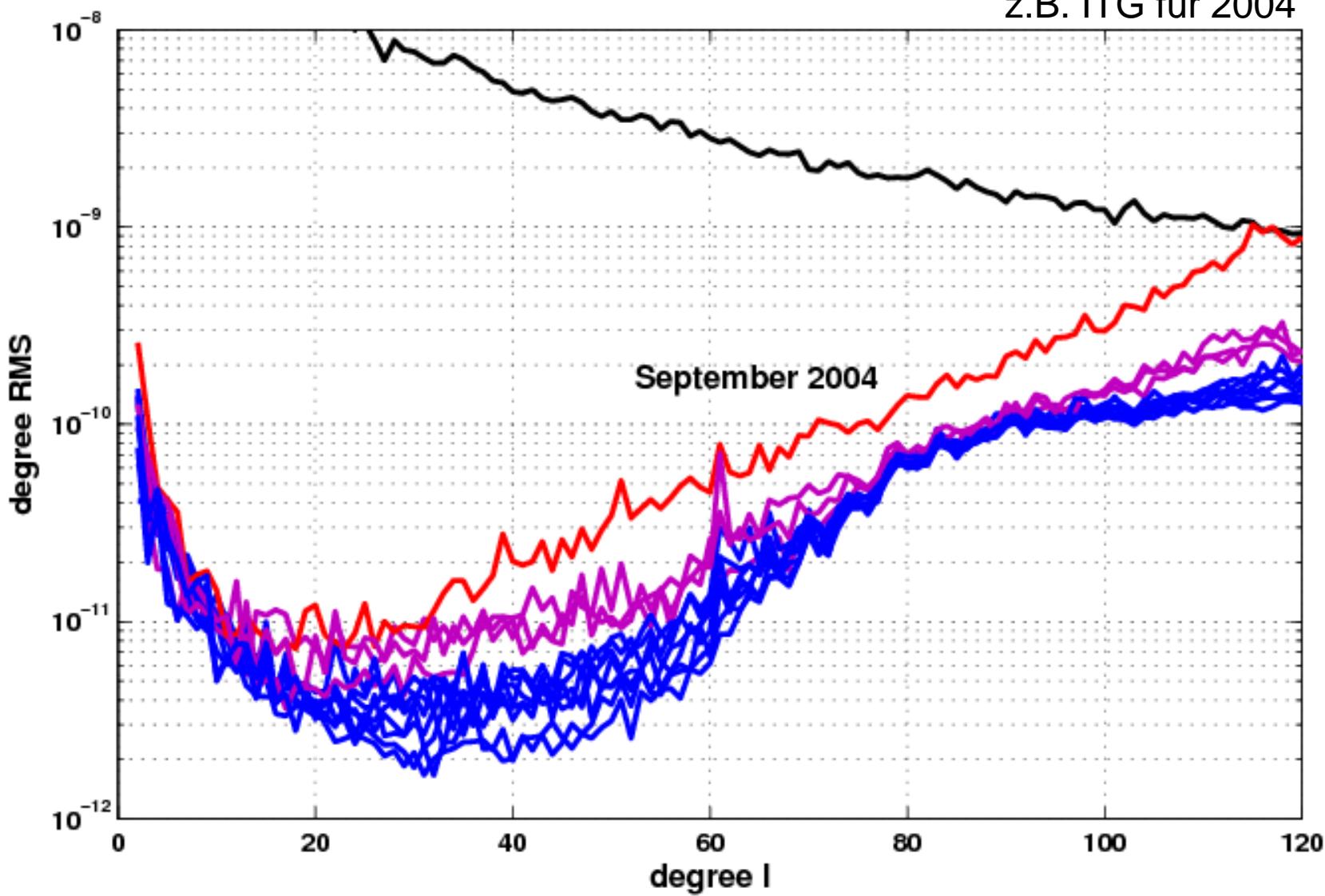
Grad-RMS

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



Monatlösungen

z.B. ITG für 2004



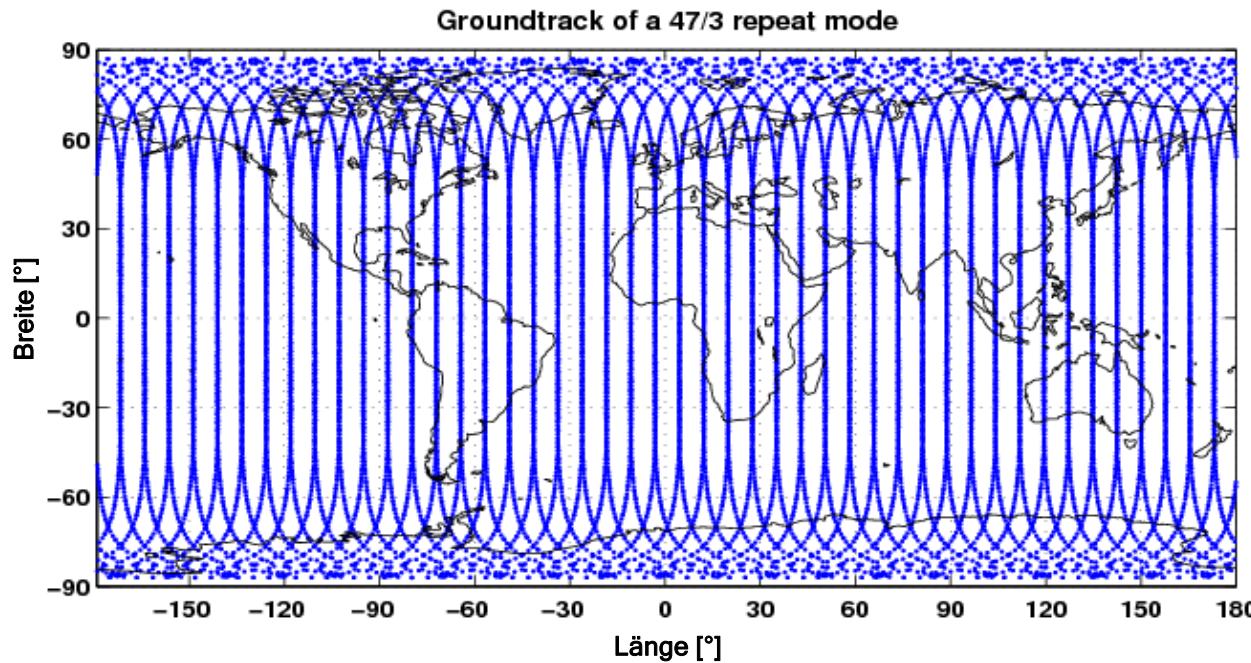
Colombo Nyquist

Bei einer β/α Wiederholungsbahn

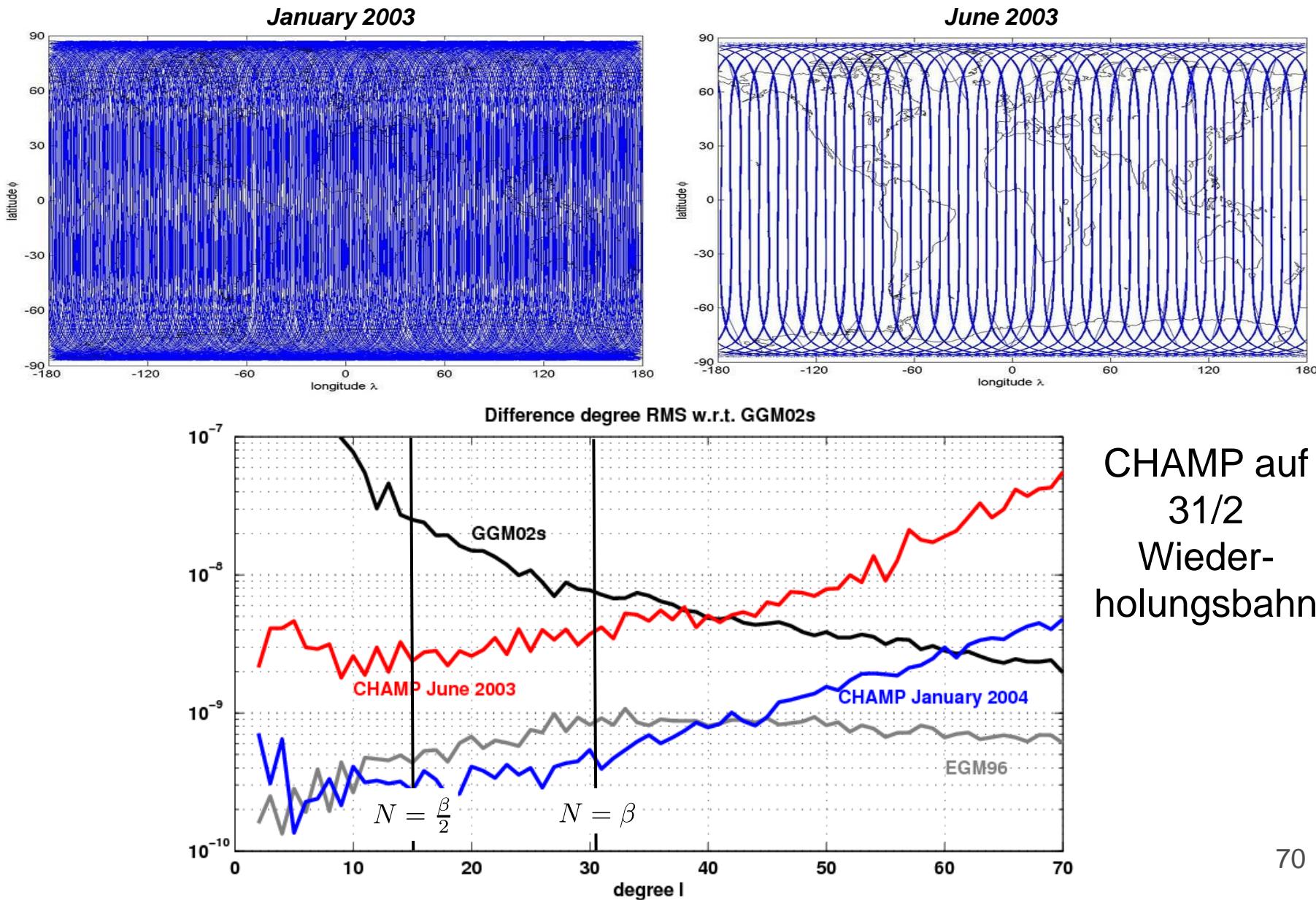
- β Umläufen
- α Knotentagen

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

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



Jedoch ...



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

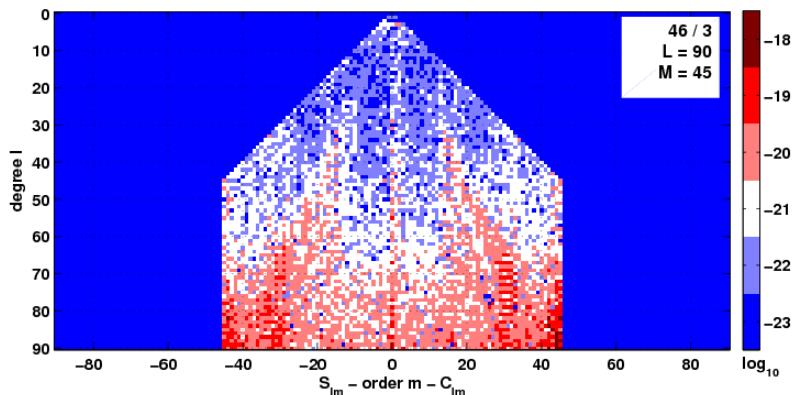
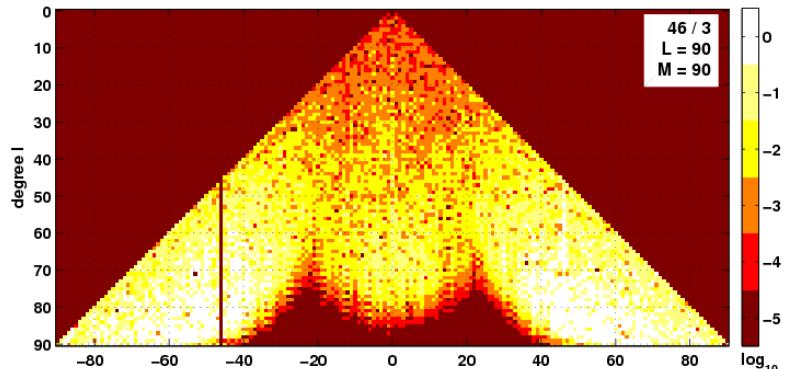
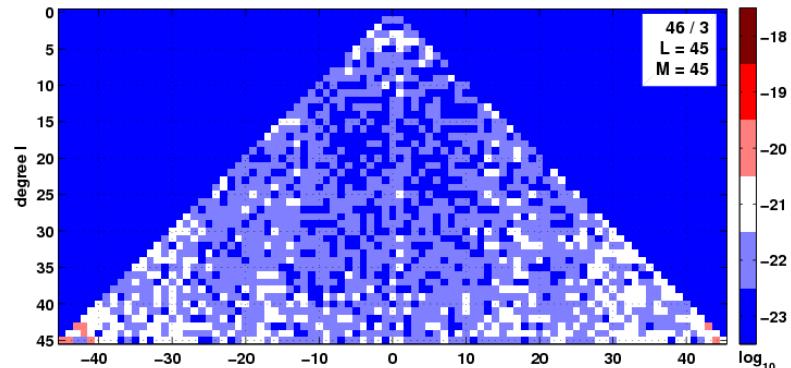
- Bedingung: keine Überlappung von Frequenzen $\dot{\psi}_{m_1, k_1} \neq \dot{\psi}_{m_2, k_2}$

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

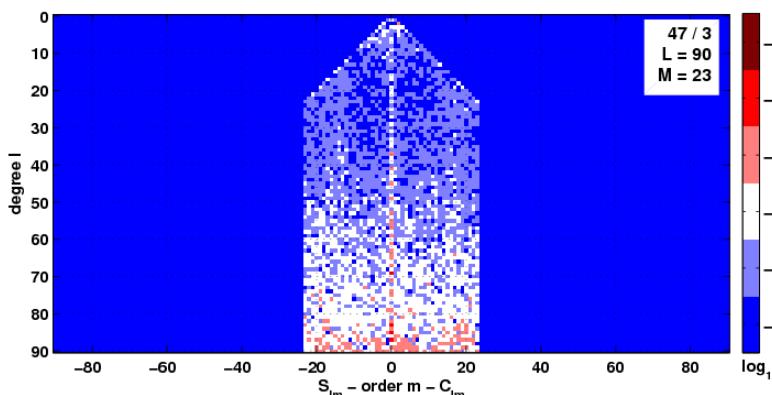
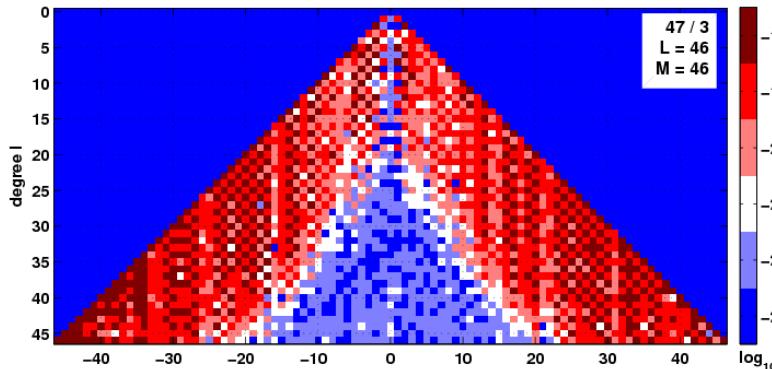
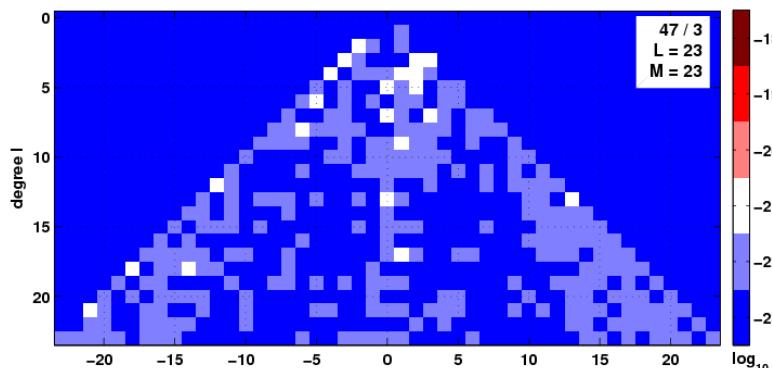
- Abhängigkeit von der Parität: $\beta - \alpha =$ gerade $\beta \geq 2M$
 $\beta - \alpha =$ ungerade $\beta \geq M$

Simulationsstudie

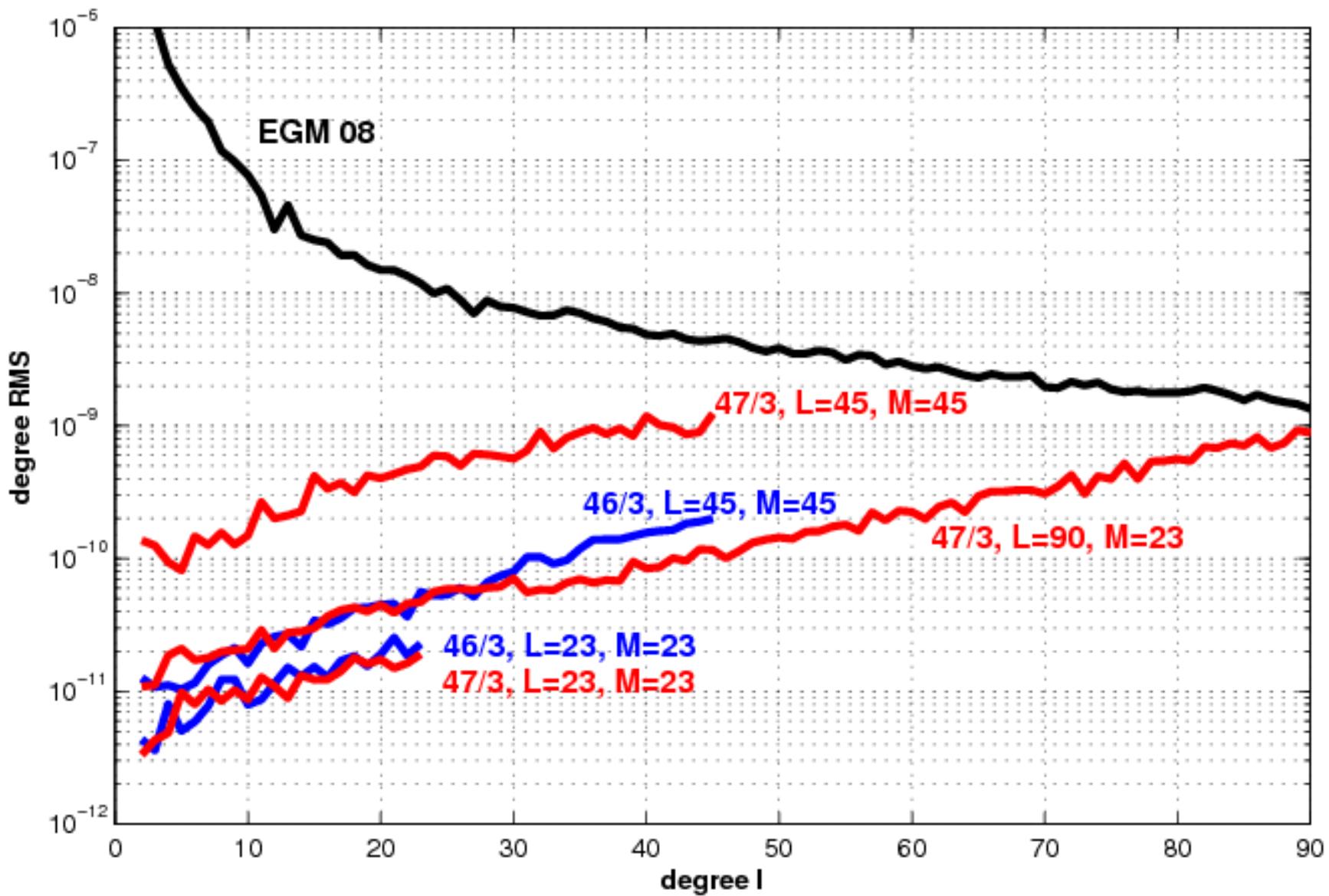
$\beta - \alpha =$ gerade



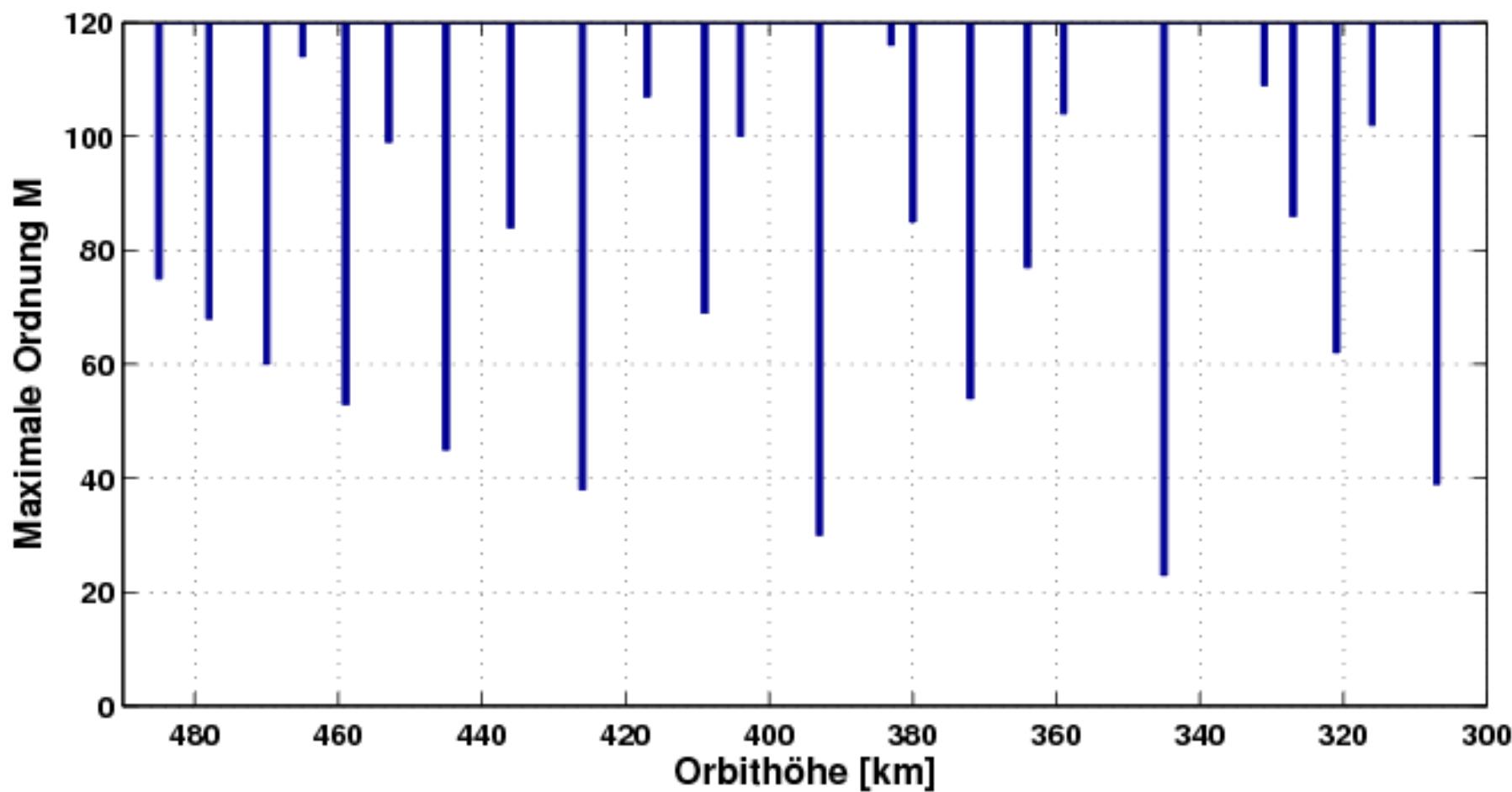
$\beta - \alpha =$ ungerade



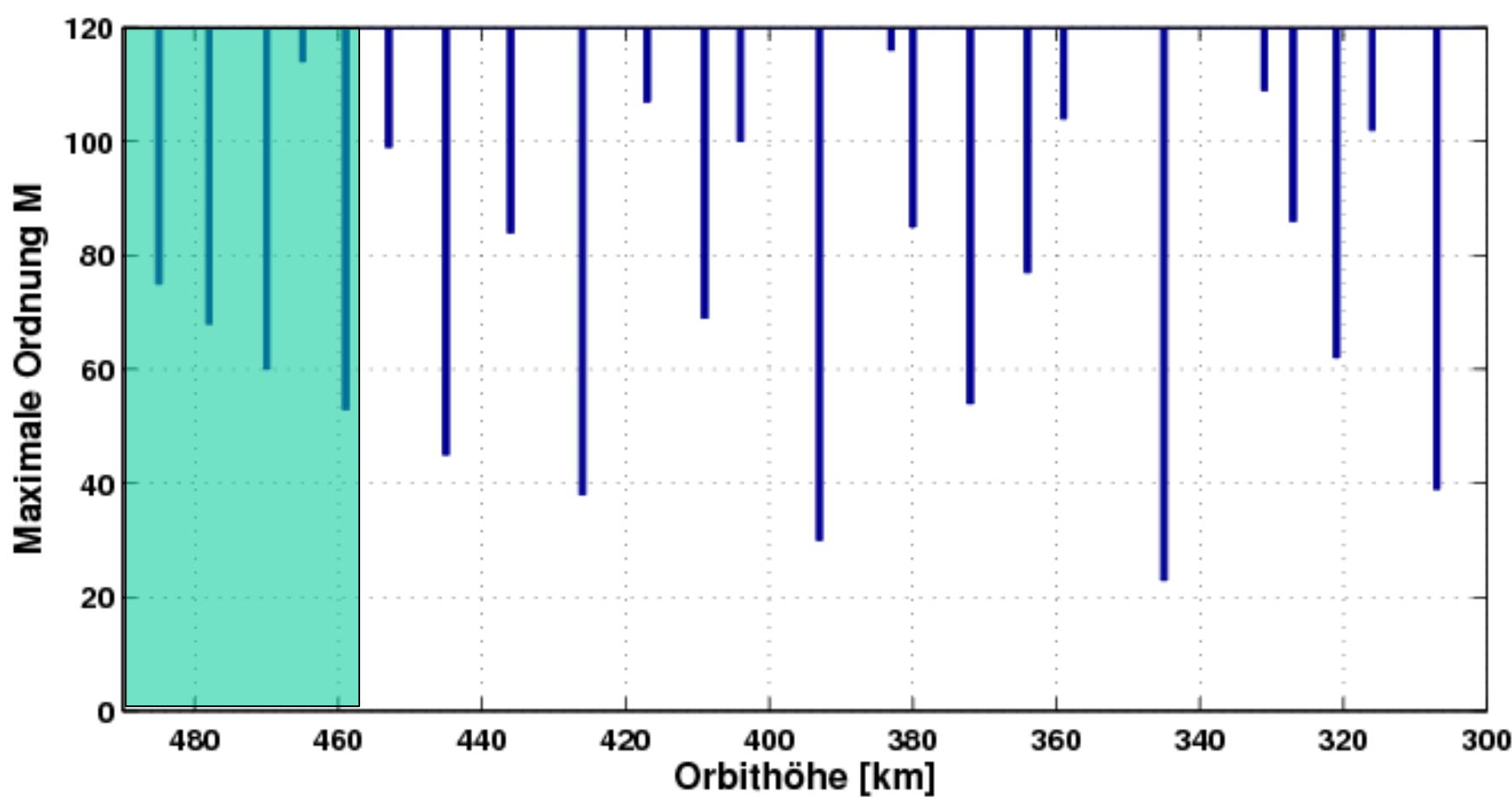
Simulationsstudie



GRACE?

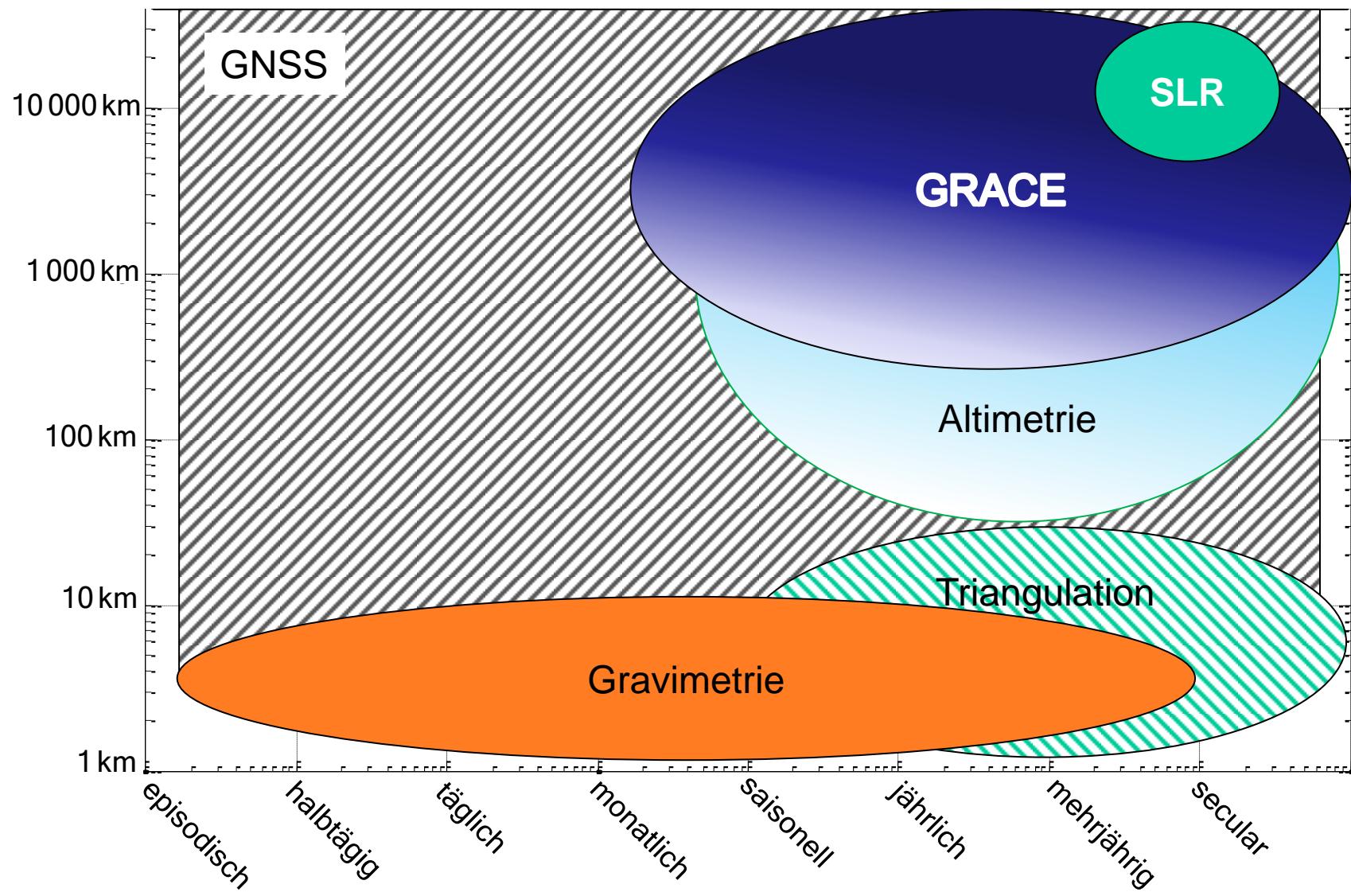


GRACE?

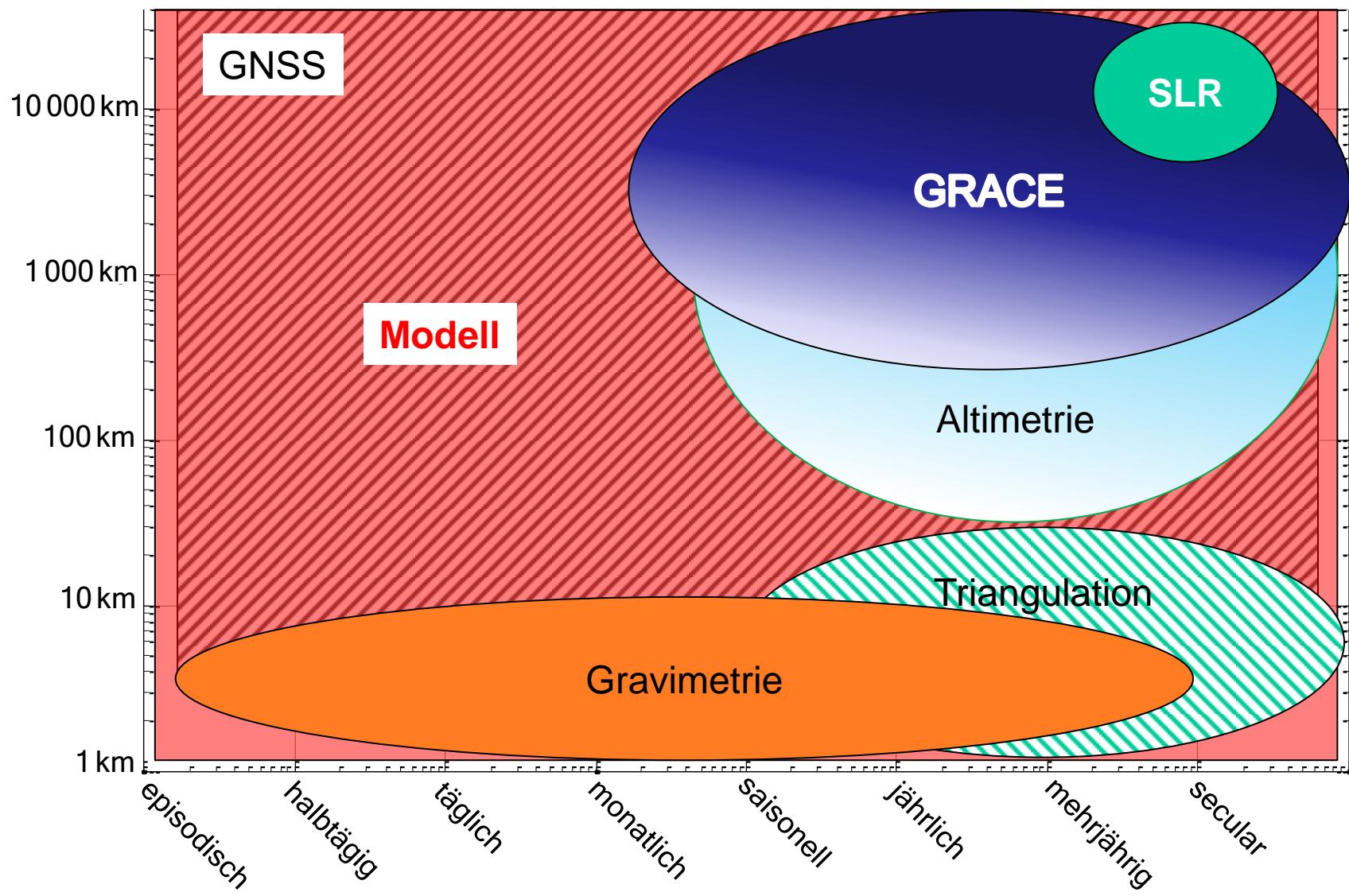


AUFGABENSTELLUNG

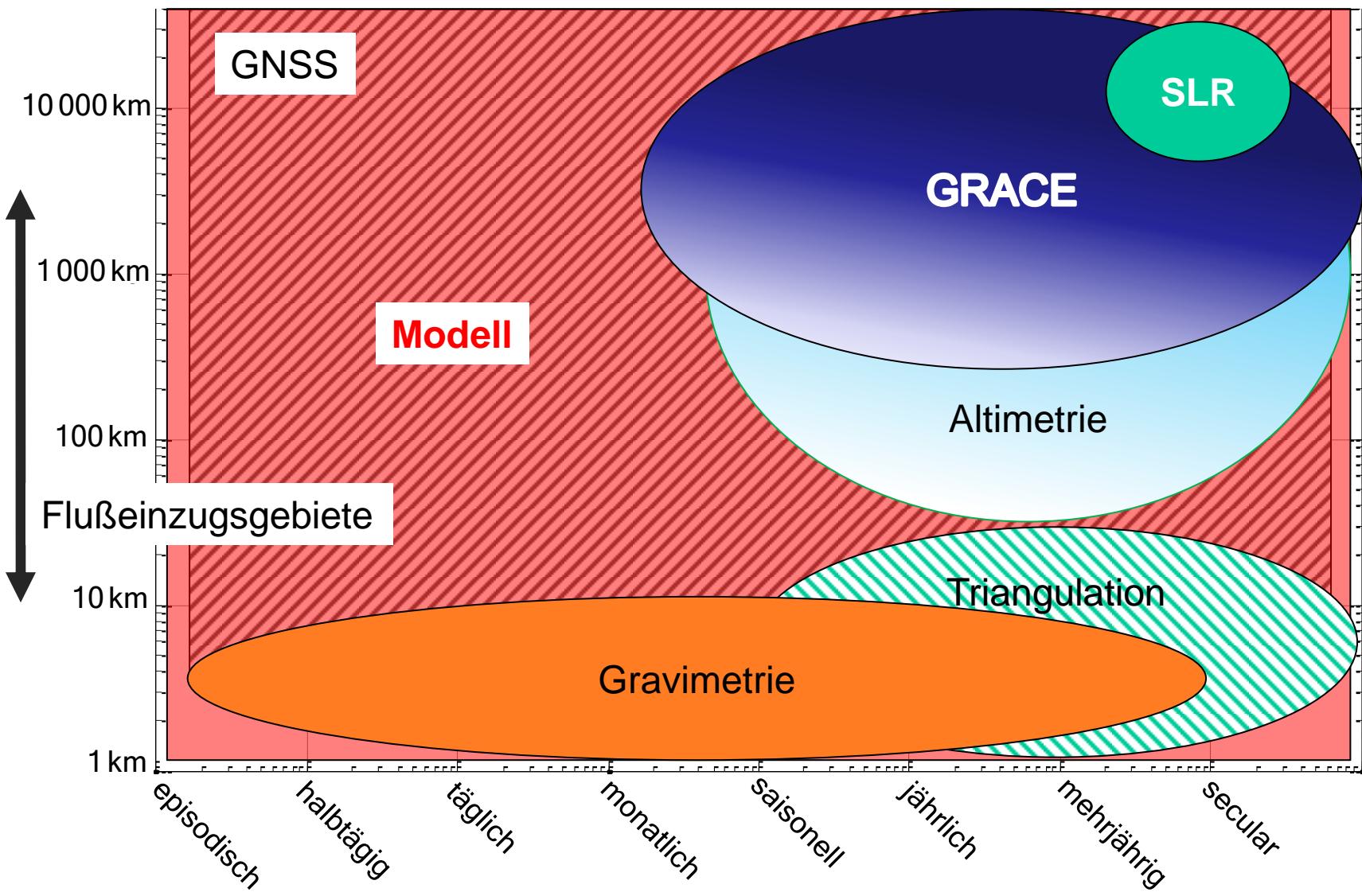
Raum-Zeit-Skalen



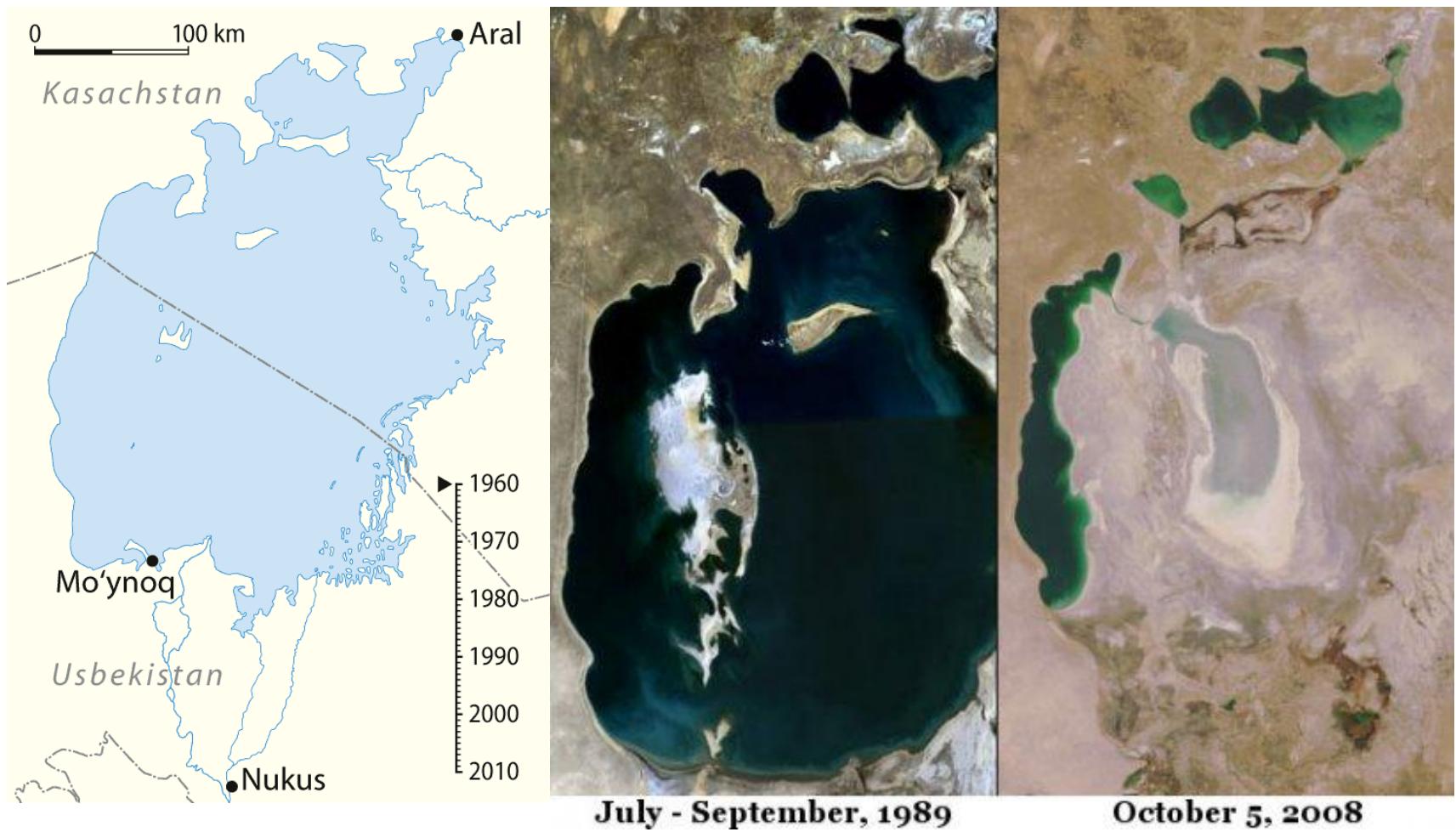
Raum-Zeit-Skalen



Raum-Zeit-Skalen



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



Lokale Modellierung

- Randelementmethode

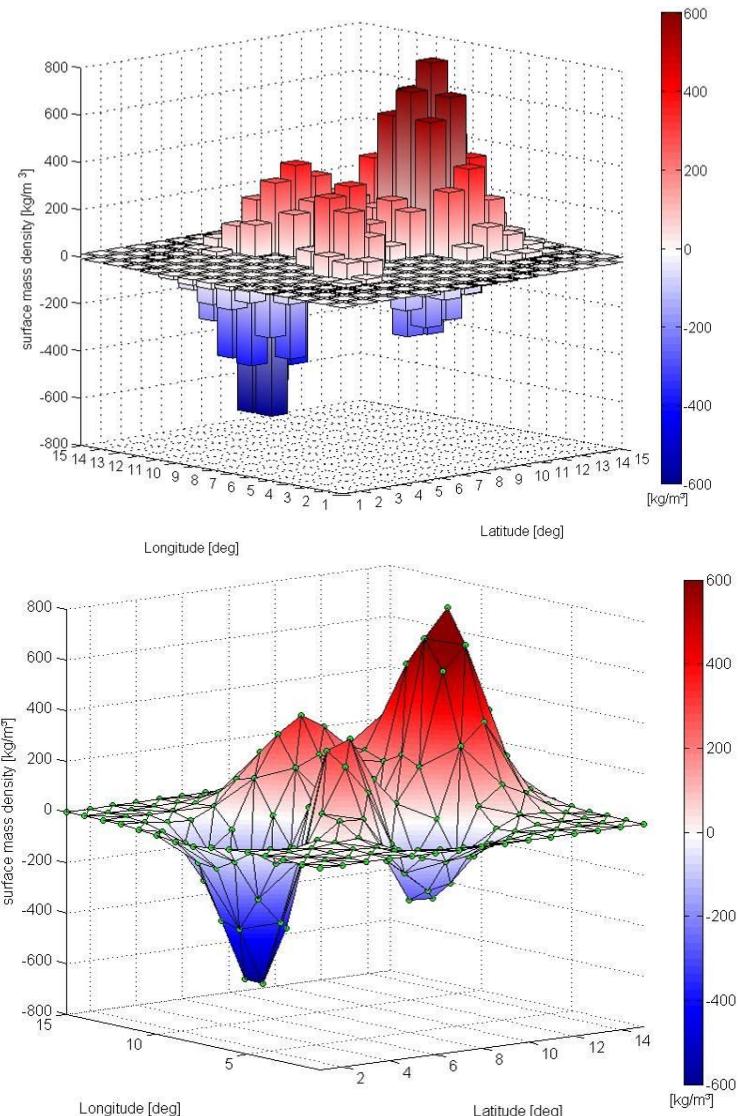
$$V(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{\Omega_i} \frac{1}{\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|} d\Omega_i$$

- 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-Smoothen, Ensemble Kalman
 - Wiener Filter
 - 3D-Var, 4D-Var
 - ...
- Gewichtung ???
- ...

Zusammenfassung

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

One last thing ...

One last thing ...



Erdrotation



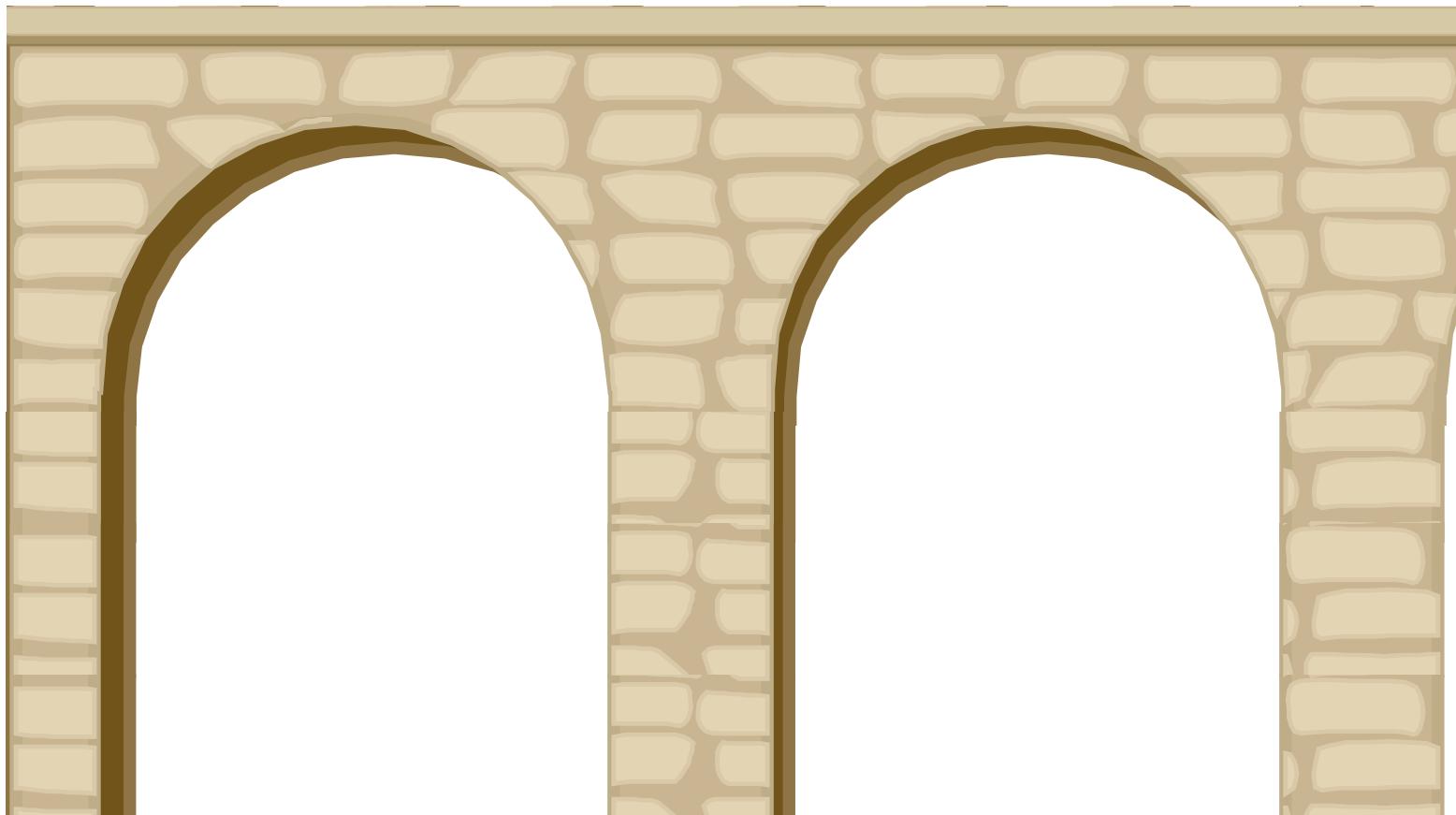
Schwere



Geometrie

One last thing ...

Hydrologie



Erdrotation

Schwere

Geometrie

Logo?

