

# **Erdrotationsparameter als Randbedingungen für globale dynamische Modelle**

**Florian Seitz, Stephanie Kirschner**

Earth Oriented Space Science and Technology (ESPACE)

IAPG, TUM

Bad Kötzting, 25.6.2010

# Beobachtung der Erdrotation und ihre Bedeutung

Die Geodäsie beobachtet die Rotation der Erde seit vielen Jahrzehnten mit hoher Genauigkeit

Aus den Beobachtungen der Orientierung der Erdachse und der Rotationswinkelgeschwindigkeit werden Zeitreihen der Erdrotationsparameter abgeleitet

Die Kenntnis zeitlicher Variationen der Erdrotation ist

**fundamental**, u.a.

- für die Realisierung von Zeitsystemen
- für die hochgenaue Berechnung von Referenzsystemen
- um die Beziehung zwischen erdfestem und raumfestem Koordinatensystem herzustellen
- für die Navigation

**interessant** für viele Geowissenschaften, da sich dynamische Prozesse im Erdsystem in den Erdrotationsparametern abbilden

- ☞ Die Analyse der Zeitreihen der Erdrotationsparameter erlaubt Rückschlüsse auf Vorgänge und Veränderungen im Erdsystem

# Erdrotationsparameter

## - integrale Größen des Erdsystems

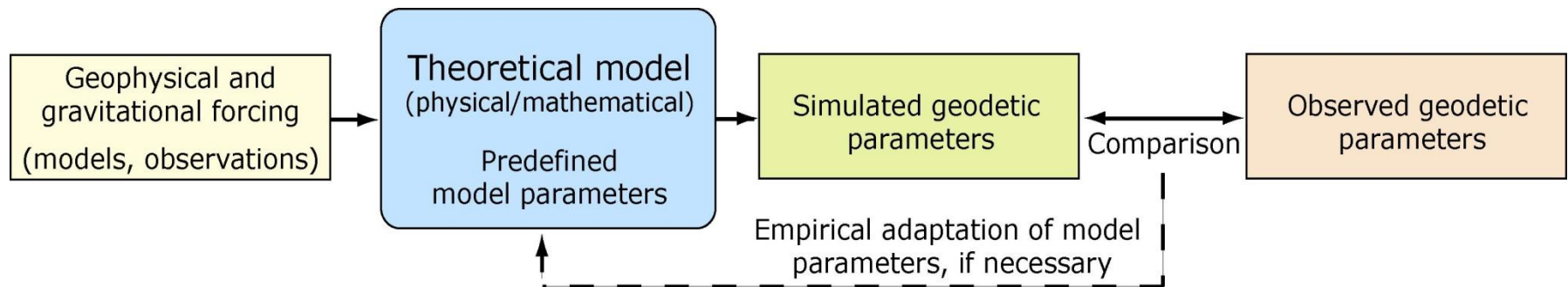
Erdrotationsparameter sind integrale Größen:

- Ihre Variationen spiegeln eine Vielzahl unterschiedlicher einander überlagerter Prozesse im Erdsystem wider
- Zeitreihen der Parameter erlauben i.A. keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Beiträge einzelner Systemkomponenten bzw. einzelner Prozesse
- ☞ Erklärung einzelner Effekte / charakteristischer Signalanteile über theoretische und numerische Modelle
- ☞ Bilanzierung von Einzeleffekten und Vergleich mit dem gemessenen Signal
- ☞ Entwicklung eines physikalisch konsistenten und möglichst vollständigen Erdsystemmodells zur Simulation der Rotation der Erde

# Modellkonzepte (1)

**Vorwärtsmodell:** Simulation der Effekte geophysikalischer Prozesse und extraterrestrischer gravitativer Kräfte auf Erdrotationsparameter

- Modell beinhaltet die Transferfunktionen  
Erdsystemprozesse → Erdrotationsschwankung
- Validierung der Modellergebnisse durch Vergleich mit Beobachtungen
- Empirische Anpassung von Modellparametern
- Vorwärtsmodell erlaubt Prädiktion

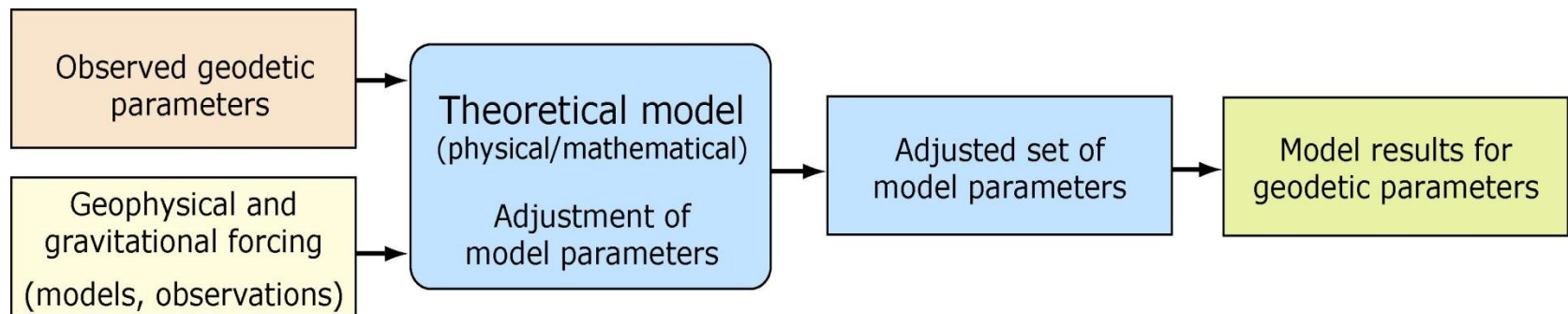


## Modellkonzepte (2)

**Inverses Modell:** Zeitreihen geodätischer Parameter als Eingangsdaten für ein theoretisches Modell

- Schätzung unbekannter Modellparameter (Ausgleichung)
- Modellverbesserung im Sinne einer optimalen Nachbildung der geodätischen Beobachtungen

Voraussetzung: Genauigkeit von Antrieben und Beobachtungen



# Drehimpulsbilanzierung im Erdsystem

Modellansätze zur Erdrotation beruhen auf der Drehimpulsbilanz im rotierenden Bezugssystem der Erde (Euler-Liouville-Gleichung):

$$\frac{d}{dt} \mathbf{H}(t) + \boldsymbol{\omega}(t) \times \mathbf{H}(t) = \mathbf{L}(t)$$

mit dem Drehimpuls  $\mathbf{H}(t) = \mathbf{I}(t) \boldsymbol{\omega}(t) + \mathbf{h}(t)$

$\mathbf{I}(t)$ : Trägheitstensor der Erde (Anordnung der Massenelemente im System)

$\mathbf{h}(t)$ : Drehimpulse aufgrund der Bewegung der Massenelemente im System

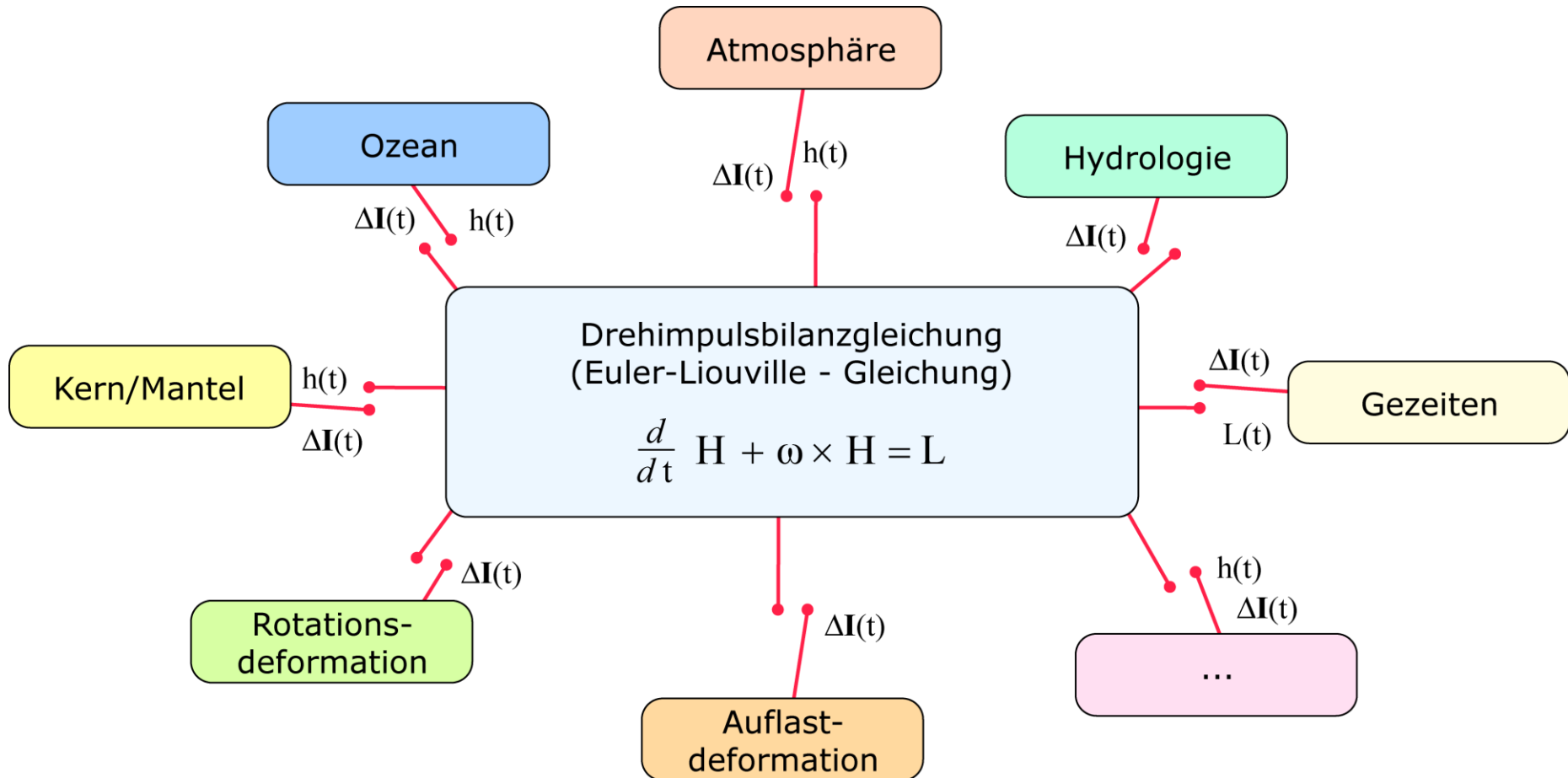
$\boldsymbol{\omega}(t)$ : Erdrotationsvektor

$\mathbf{L}(t)$ : externe Drehmomente

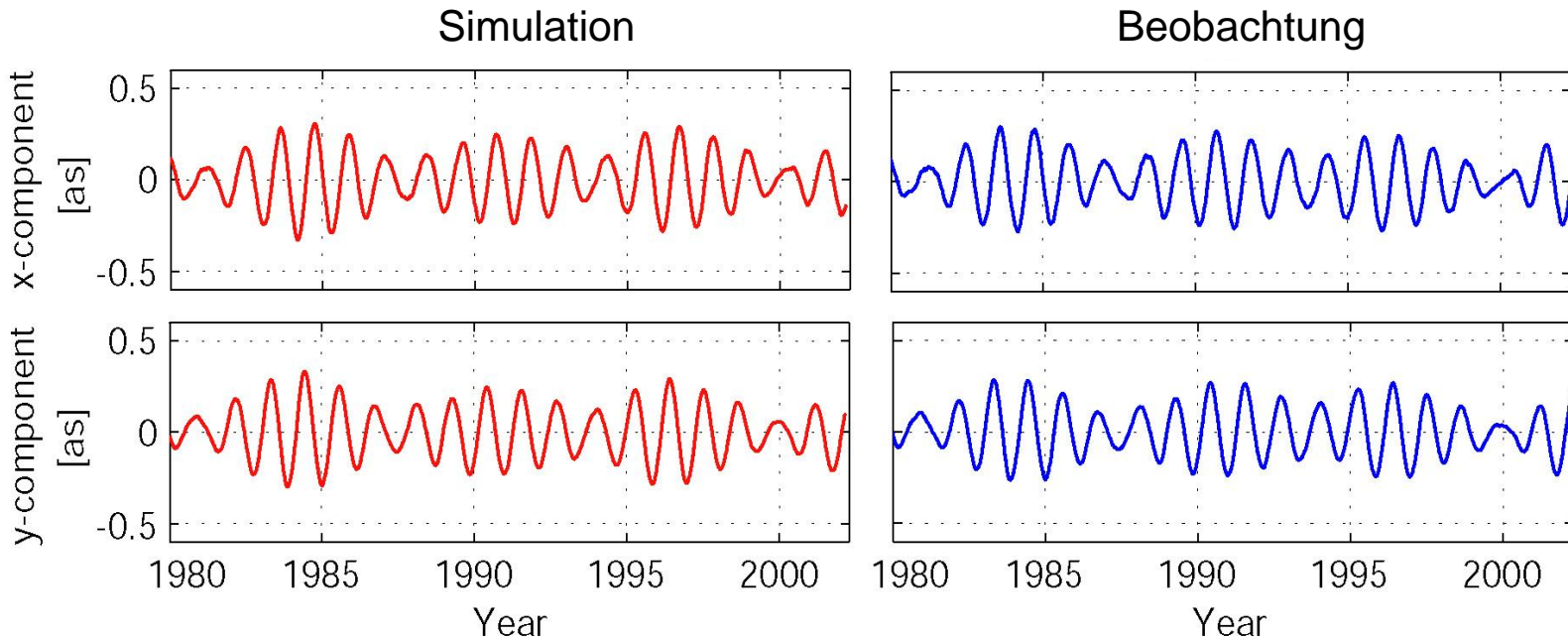
☞ Lösung nach  $\boldsymbol{\omega}(t)$  liefert Variationen der Erdrotation (Vorwärtsmodell)

☞ Einführung von  $\boldsymbol{\omega}(t)$  ermöglicht die Schätzung von Prozessen / Parametern

# Dynamisches Erdsystemmodell



# Beispiel: Vorwärts modellierte Polbewegung



x-Komponente:                   Korr.: 0,98;    RMS: 29,5 mas  
y-Komponente:                   Korr.: 0,99;    RMS: 23,3 mas

# Prädiktion: Szenarienläufe über 200 Jahre

$\Delta\mathbf{I}(t)$  und  $h(t)$  aus dem vollständig gekoppelten Atmosphären-Hydrosphärenmodell (**ECOCTH**) des MPI für Meteorologie in Hamburg

Simulationen der atmosphärisch-hydrosphärischen Drehimpulsvariabilität über einen Zeitraum von 200 Jahren (1860-2059)

- ECOCTH wurde auch für Simulationen des 4. IPCC AR verwendet (Antrieb mit A1B Szenario)
- vollkommen freies Modell
- absolute Konsistenz: Erhaltung von Masse, Energie und Impuls
- ☞ Wertvolle Erkenntnisse über die Interaktion von angeregter und freier Polbewegung (Chandlerschwingung)
- ☞ Studien zum Anregungsmechanismus der Chandlerschwingung: Identifikation des atmosphärischen Hintergrundrauschens in der Bewegungskomponente  $h(t)$  (Wind) als dominierender Anteil

[Hense et al., 2009; Seitz & Drewes, 2009; Winkelkemper et al., 2008]

**Bad Kötzting, 25.6.2010**



# Inverse Modellierung

Aktuelle Forschungsarbeiten  
im Rahmen der DFG-  
Forschergruppe

**Erdrotation und globale  
dynamische Prozesse  
(FOR584)**

Teilprojekt P9:

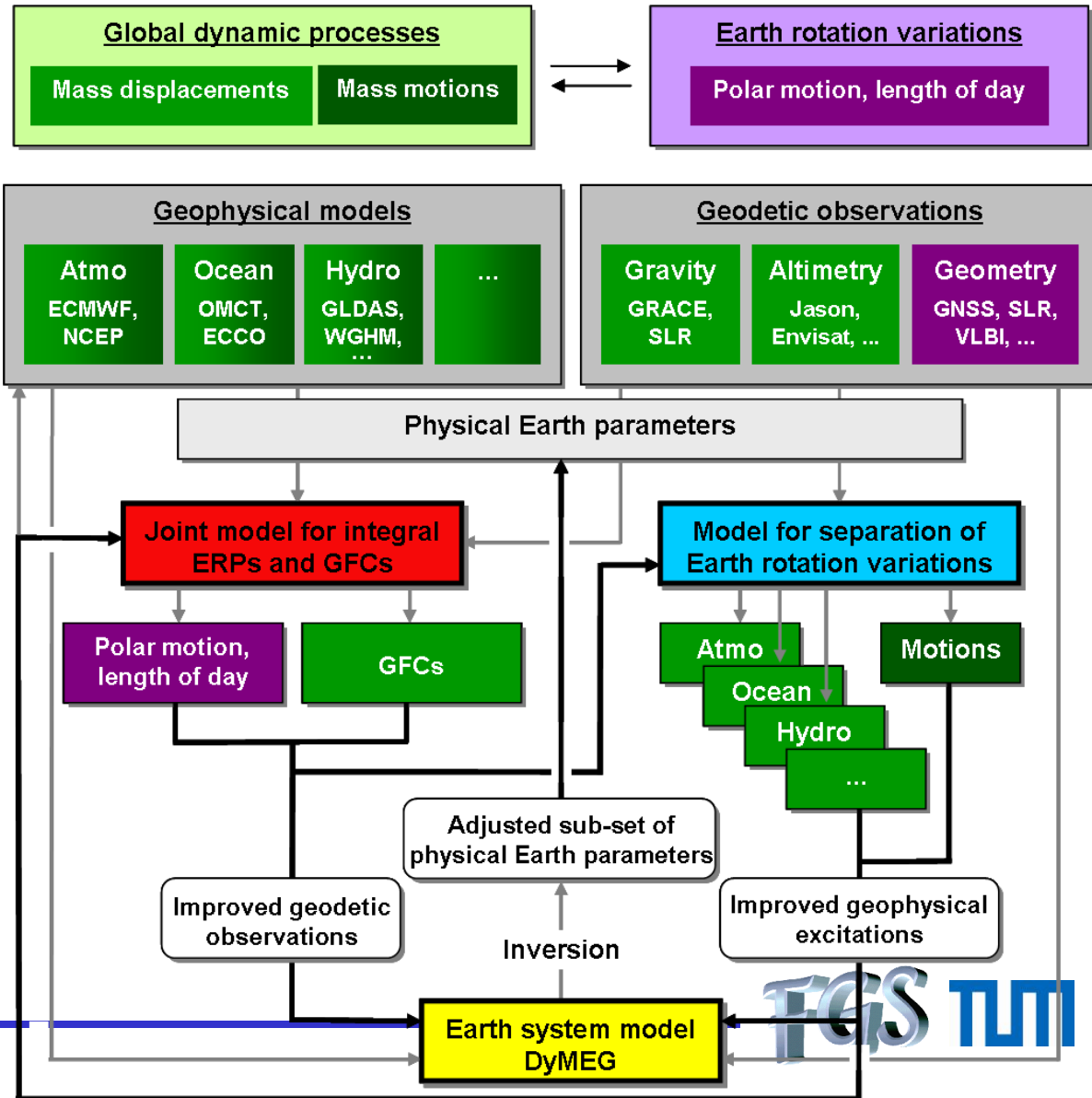
**Rot:**



**Türkis:**



**Gelb:**



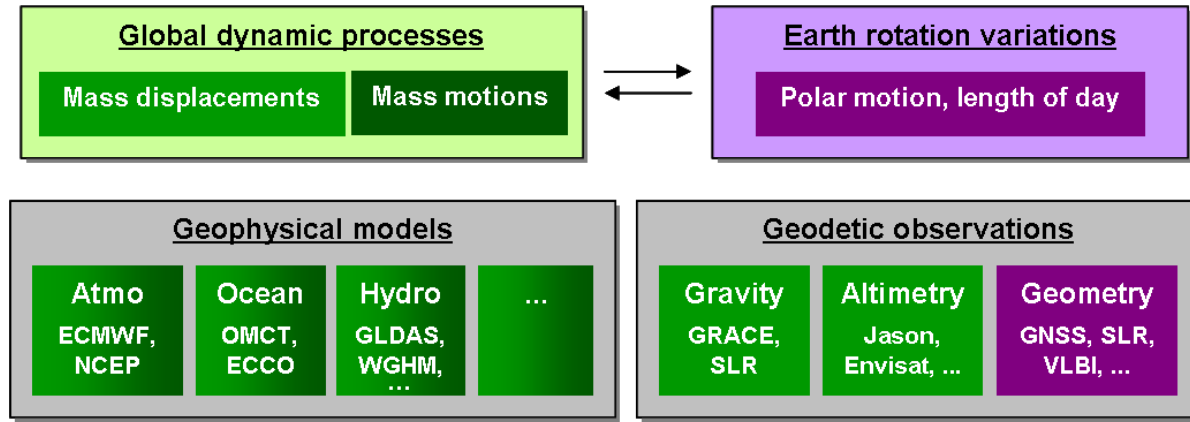
Bad Kötzting, 25.6.2010



# Inverse Modellierung

Aktuelle Forschungsarbeiten  
im Rahmen der DFG-  
Forschergruppe

***Erdrotation und globale  
dynamische Prozesse  
(FOR584)***



## Siehe Poster:

- Kutterer et al.:** Combined analysis of Earth rotation models and observations
- Göttl & Schmidt:** Earth rotation mechanisms derived from geodetic space observations
- Kirschner & Seitz:** Estimation of sensitive Earth parameters from an inverse dynamic model

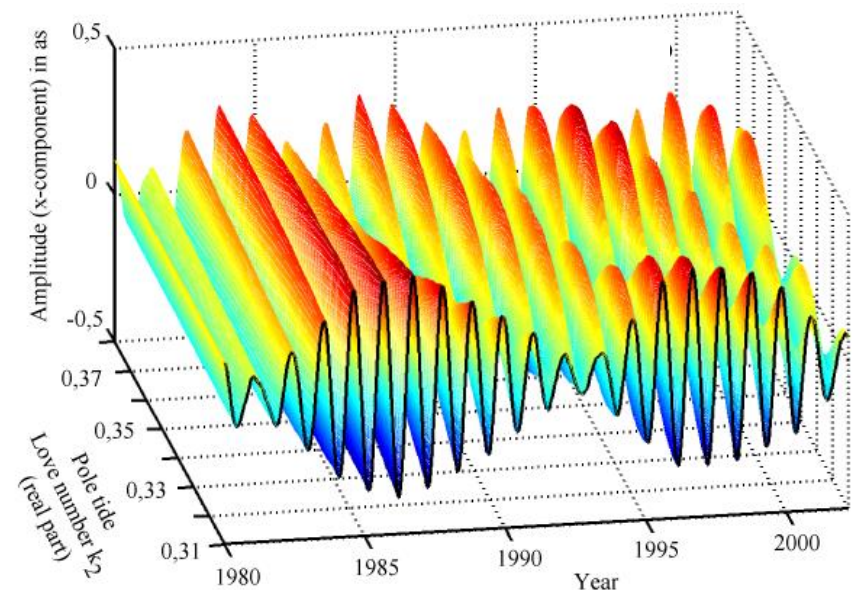
# Beispiel: Schätzung physikalischer Erdparameter aus Beobachtungen der Polbewegung

- Modelle basieren auf einer Vielzahl von physikalischen Parametern
- Die Parameter sind teilweise nur sehr ungenau bestimmbar oder werden (z.T. mit unbekannter Genauigkeit) aus anderen Modellen abgeleitet
- Fehlerhafte Parameter können einen starken Einfluss auf Modellergebnisse haben (Sensitivitätsanalyse)

Kritischer Parameter für die Modellierung der Erdrotation:

## Lovezahl $k_2$

- ☞ beschreibt die Deformation des Erdkörpers aufgrund von Rotationsvariationen
- ☞ Unmittelbarer Einfluss auf die Chandlerschwingung



# Beispiel: Schätzung physikalischer Erdparameter aus Beobachtungen der Polbewegung

Rückkopplungseffekt der Polbewegung auf die Deformation des Erdkörpers:

$$\Delta C_{21} = -\frac{\Omega^3 a^3}{3GM_E} (\Re(k_2) \cdot \omega_1 + \Im(k_2) \cdot \omega_2)$$

$$\Delta S_{21} = -\frac{\Omega^3 a^3}{3GM_E} (\Re(k_2) \cdot \omega_2 - \Im(k_2) \cdot \omega_1)$$

$$\Delta \mathbf{I} = f(\Delta C_{21}, \Delta S_{21})$$

Ansatz:

- Schätzung der Lovezahl  $k_2$  aus Beobachtungen der Polbewegung
- Methoden: Gauss-Helmert-Modell, Kalmanfilter,...

Weitergehende Untersuchungen zur Sensitivität der Modellergebnisse auf andere Parameter, deren Schätzbarkeit und Trennbarkeit.

Da die Beobachtungen der Polbewegung hochgenau sind, ist eine signifikante Verbesserung der Modellparameter zu erwarten

# Zusammenfassung und Ausblick

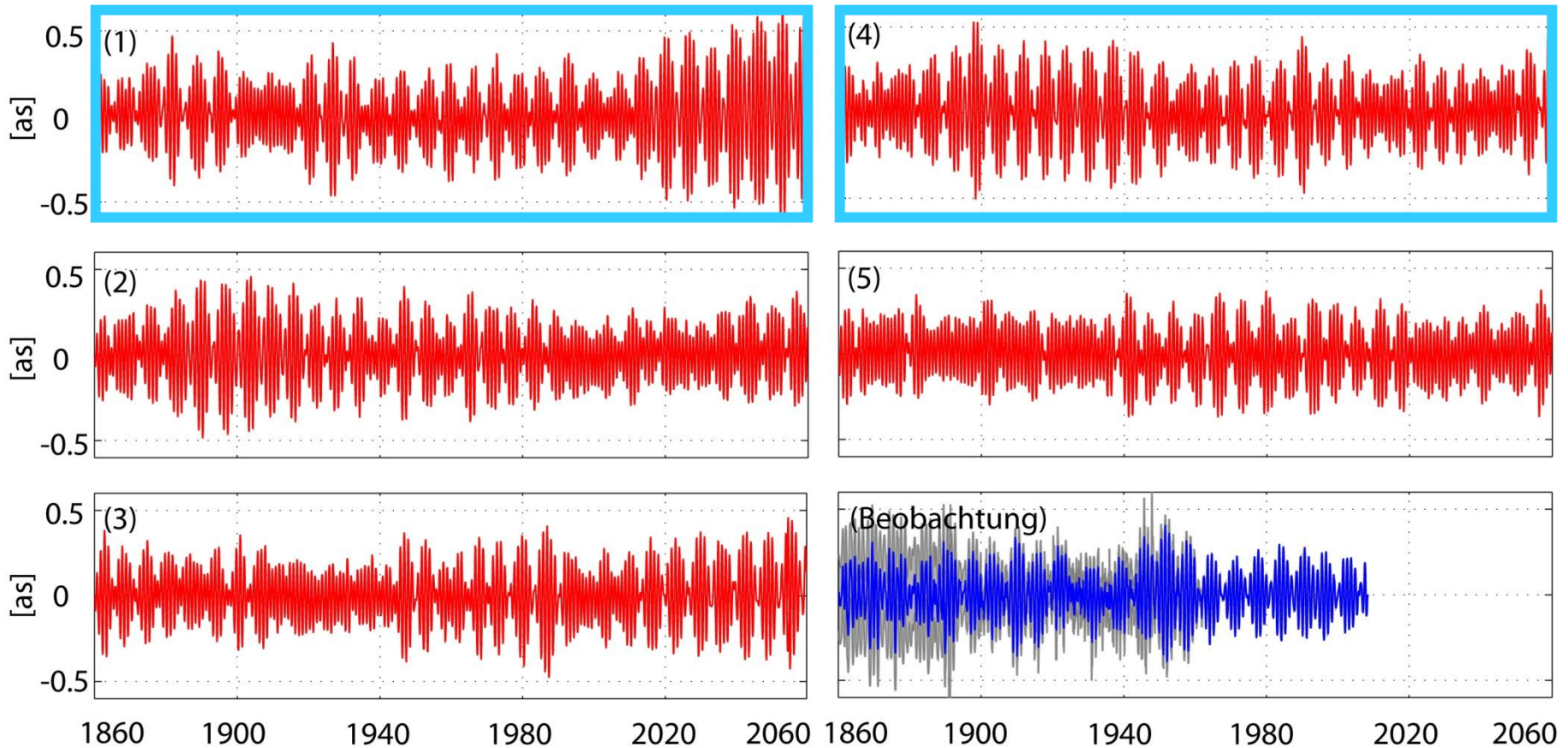
- Erdrotationsparameter enthalten wichtige Informationen über dynamische Prozesse im Erdsystem
- Sie dienen als „rechte Seite“ der Drehimpulsbilanz im Erdsystem
- Erdrotationsparametern erlauben die Bestimmung/Verbesserung physikalischer Erdparameter

## Forschungsthemen für künftige Arbeiten:

- Berücksichtigung weiterer Systemkomponenten und ihrer Wechselwirkungen (z.B. Kern-Mantel-Kopplung)
- Unabhängige Bestimmung von Massenverlagerungen/-bewegungen aus komplementären Missionen/Datenquellen (GRACE, SLR, Altimetrie)
  - ☞ Schließung von Lücken in der Drehimpulsbilanz?
- Inverse Modellierung: Erweiterte Schätzung von unbekanntem Modellparametern aus geodätischen Beobachtungen



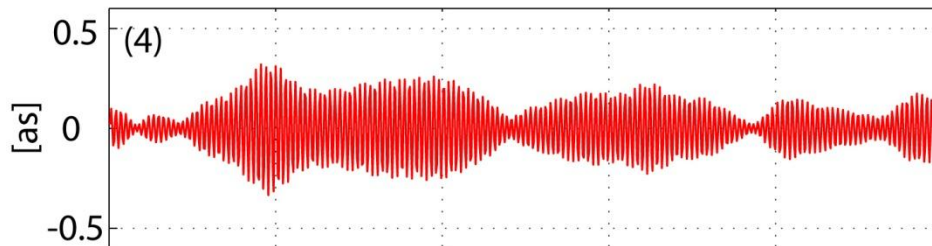
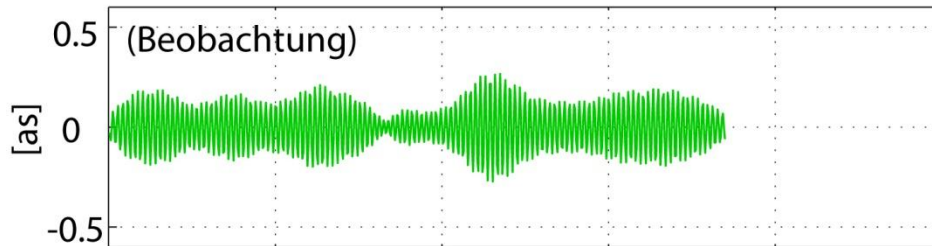
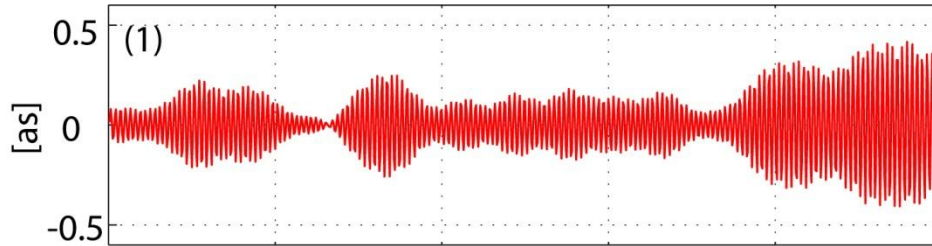
# Simulationen über 200 Jahre (1860-2059)



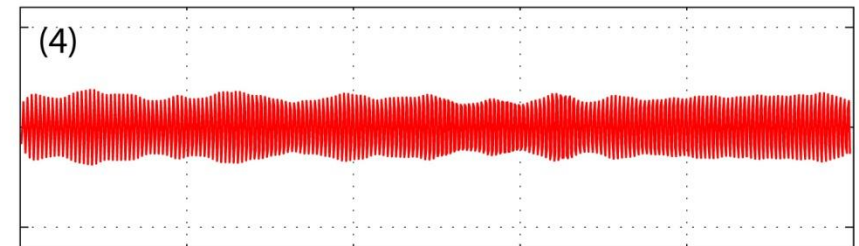
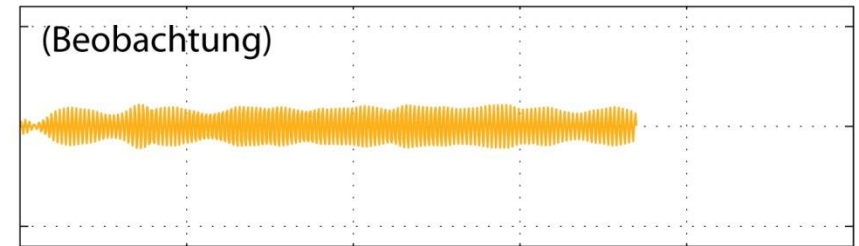
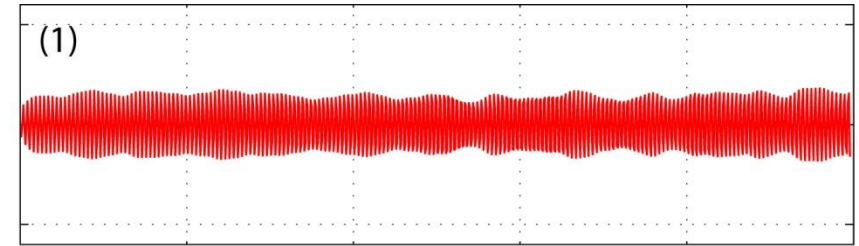
☞ Signalcharakteristik (Schwebung) ähnelt der Beobachtung

# Simulationen über 200 Jahre (1860-2059)

## Chandlersignal



## Jahressignal



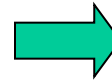
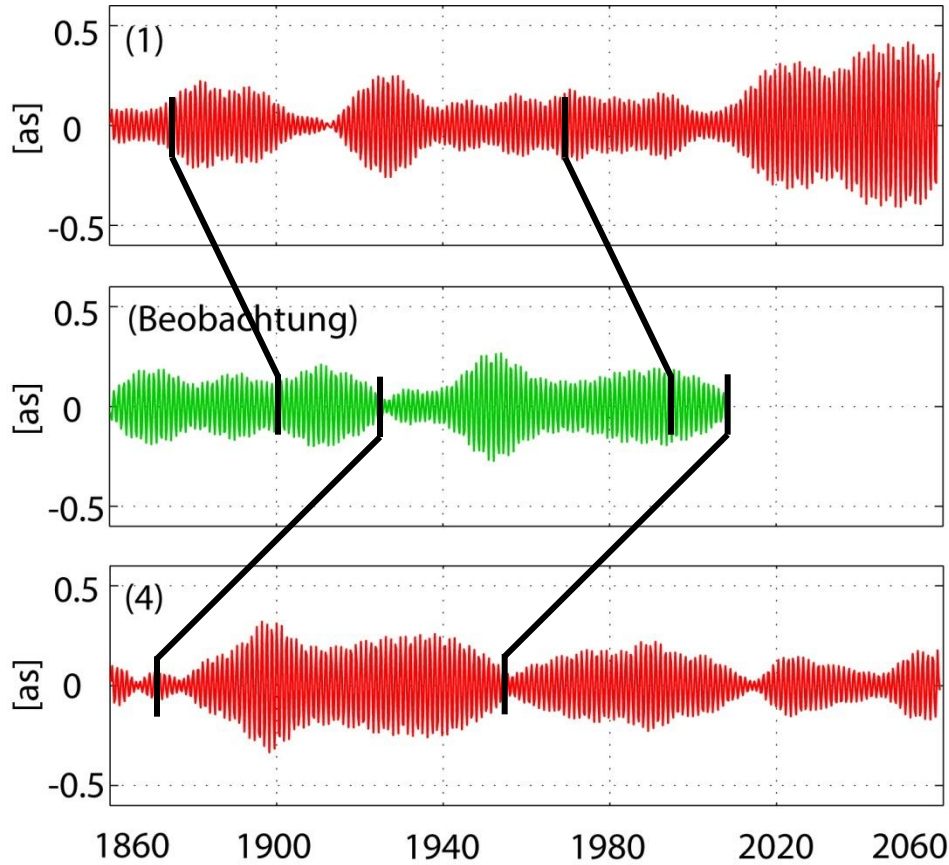
1860 1900 1940 1980 2020 2060 1860 1900 1940 1980 2020 2060

➡ Ähnliche Jahressignale - leider doppelt so hoch wie beobachtet

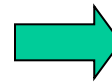
➡ Chandlerschwingungen sehr unterschiedlich

# Simulationen über 200 Jahre (1860-2059)

## Chandlersignal



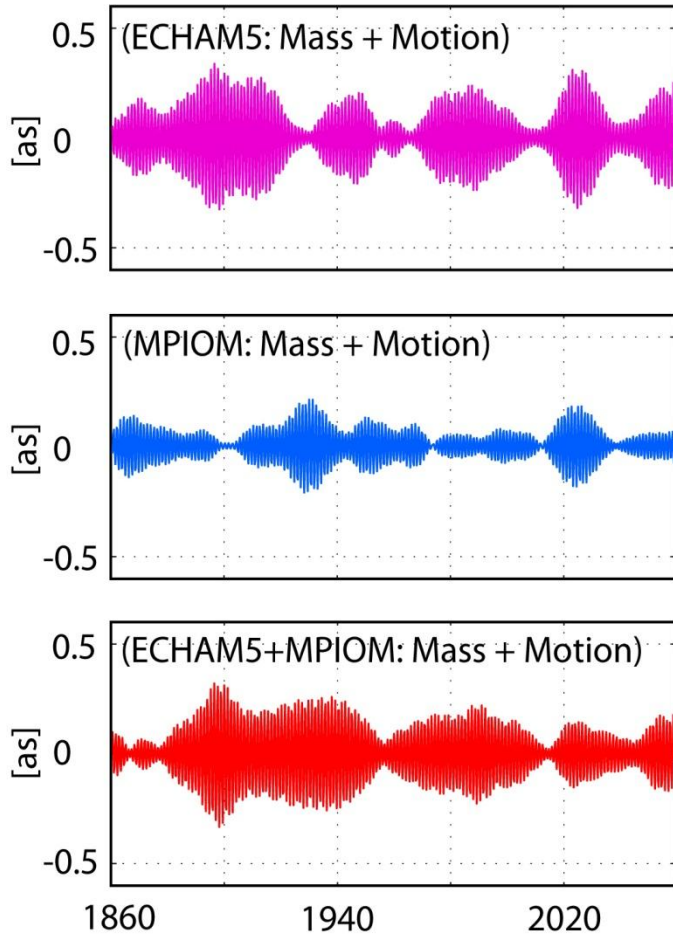
Korr.:  
0.74



Korr.:  
0.92

+54 a

# Anregungsmechanismus der Chandler-Schwingung?



- ☞ Atmosphäre etwas stärker als Ozean
- ☞ Motion deutlich stärker als Mass

☞ Wind dominiert

# Atmosphärischer und ozeanischer Antrieb

Konsistente Kombination aus

- atmosphärischen Reanalysen NCEP
  - ozeanisches Zirkulationsmodell ECCO (Simulation)
- NCEP assimiliert atmosphärische Beobachtungen
  - freies Modell ECCO wird durch NCEP-Felder angetrieben (berücksichtigt windgetriebene und thermohaline Zirkulation)
  - 1980 ... 2002 (23 Jahre)
  - Auflösung der Daten: täglich, 2° x 2°-Gitter

## **Antriebe für DyMEG:**

- Variationen des Trägheitstensors
- Drehimpulsvariationen aufgrund von Winden und Strömungen
- Oberflächenluftdruck, ozeanischer Bodendruck