

Leben auf einem Wackelpudding

Die Dynamik der Erdoberfläche



Thomas Klügel
GIZ Vortragsreihe, 5. Februar 2004

Erdbeben von 1964 in Niigata (Japan)



Foto: G. Housner, California Institute of Technology

Wieso sind Bewegungen auf der Erdoberfläche für uns relevant?

- Mit zunehmender Anforderung an die Meßgenauigkeit spielen Bewegungen der Erdoberfläche eine zunehmende Rolle
- Meßgenauigkeiten für globale Punktbestimmung:
 - Vor 100 Jahren: 100 m
 - Heute: 3 mm
- Größenordnung: von wenigen mm / Jahr bis einigen dm / Tag

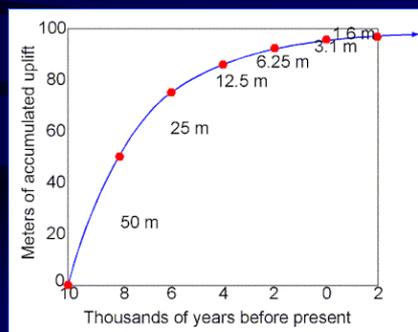
Bewegungen an der Erdoberfläche

- Lokal
 - Erdbeben
 - Vulkanismus
 - Grundwasser
 - Bergbau
- Regional
 - Auflast von Massen
 - Eis: postglaziale Landhebung (mm / Jahr)
 - Wasser: ozeanische Auflast (mm ... cm / Tag)
 - Luft: atmosphärische Auflast (mm / Tag)
- Global
 - Erdzeiten (dm / Tag)
 - Plattentektonik (mm / Jahr)

Bewegungen durch Massenauflast

Postglaziale Landhebung

- Geologische Beobachtung:
 - Strandablagerungen in Skandinavien und Nordamerika (Hudson Bay) bis 250 m über heutigem Meeresniveau
 - Radiometrische Datierung (^{14}C) von Muschelschalen: postglazial

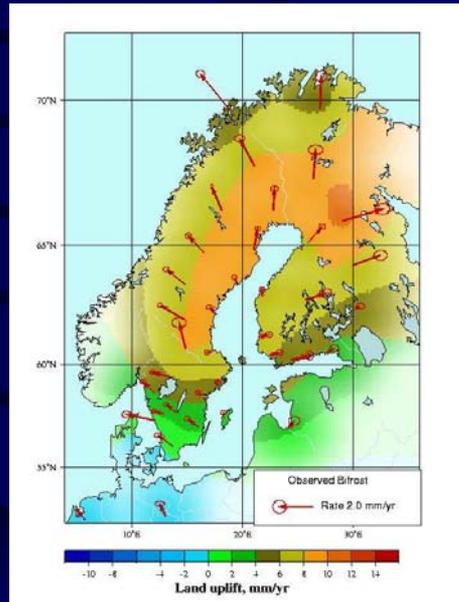


Quelle: Montana State University, Department of Earth Sciences

- Geodätische Beobachtung

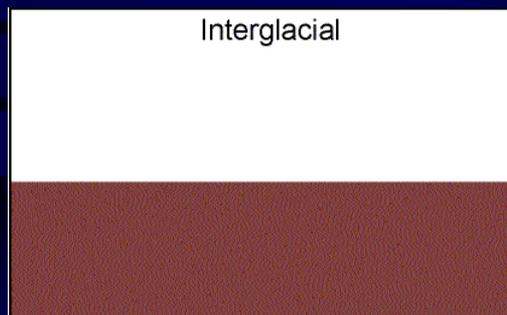
- Projekt BIFROST: GPS-Netzwerk seit 1993
- Hebungsraten bis zu 12 mm / Jahr
- Horizontalbewegungen bis zu 3 mm / Jahr

Quelle: Onsala Space Observatory, Space Geodesy and Geodynamics Group (<http://www.oso.chalmers.se>)



- Ursache

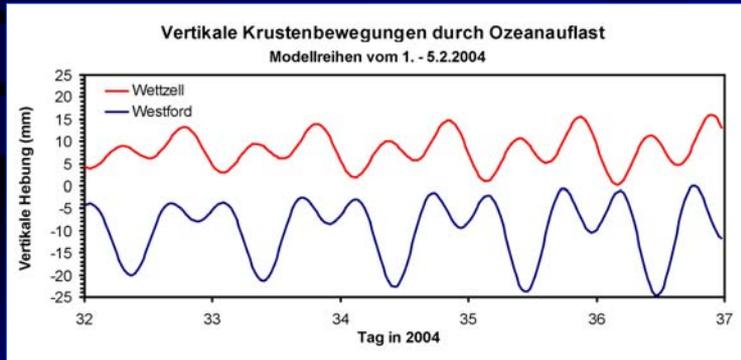
- Einsinken der Erdkruste durch kilometerdicke Eisauflast
- Während und nach Abschmelzen des Eises anhaltende Hebung (viskoses Materialverhalten im oberen Erdmantel)



Quelle: Montana State University, Department of Earth Sciences

Ozeanische Auflast durch Ebbe und Flut

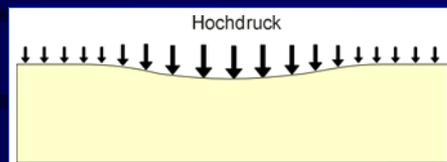
- Wassermassen belasten die Erdkruste im Wechselspiel von Ebbe und Flut
- Hebung/Senkung bis mehrere cm vor allem im Küstenbereich



Auflast durch die Atmosphäre

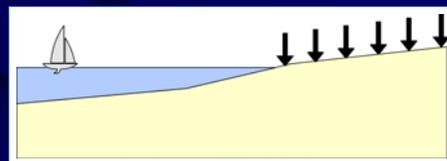
- Vor allem großräumige Luftmassenbewegungen (Hoch-/Tiefdruckgebiete) verursachen vertikale Krustenbewegungen

Größenordnung:
0,3 ... 0,6 mm / hPa



Inverses Barometer?

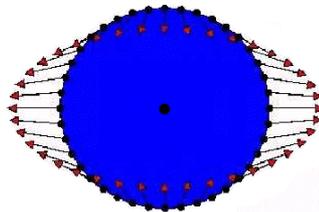
- Großräumige Luftdruckänderungen werden durch den Ozean ausgeglichen (1 cm / hPa)
- Keine Druckänderung auf dem Meeresboden



Globale Bewegungen

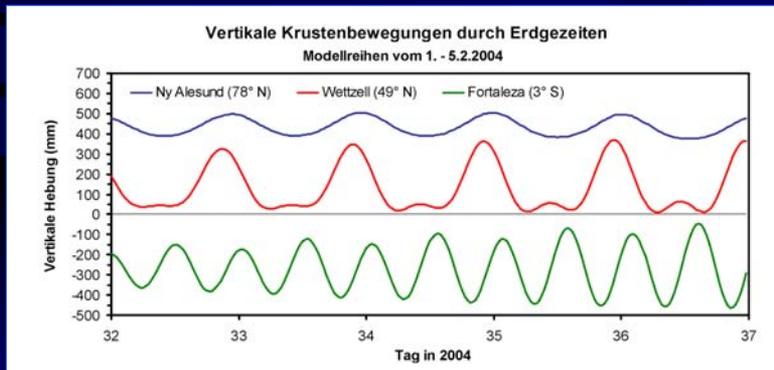
Gezeiten der festen Erde

- Ursache der Erdgezeiten:
 - Zentrifugalkraft der Bahnbewegung der Erde und Anziehungskraft von Sonne und Mond sind im Erdmittelpunkt ausgeglichen
 - Der Sonne/dem Mond zugewandte Seite: Anziehungskraft höher
 - Der Sonne/dem Mond abgewandte Seite: Anziehungskraft niedriger



Newton: $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{d^2}$

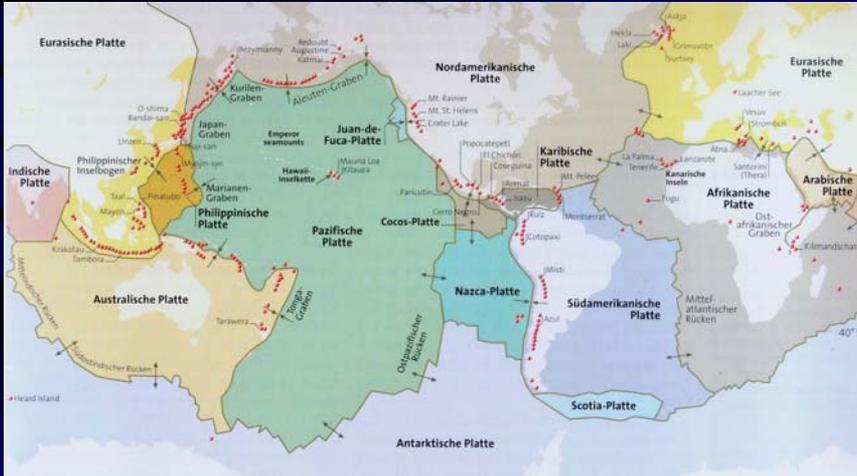
- Beispiele:
 - Bis ca. 40 cm Vertikalbewegung
 - Halbtägige Komponenten: max. am Äquator, Null an Polen
 - Ganztägige Komponenten: Null an Pol und Äquator, max. in mittleren Breiten
- Wichtig: exakte Modellierung!



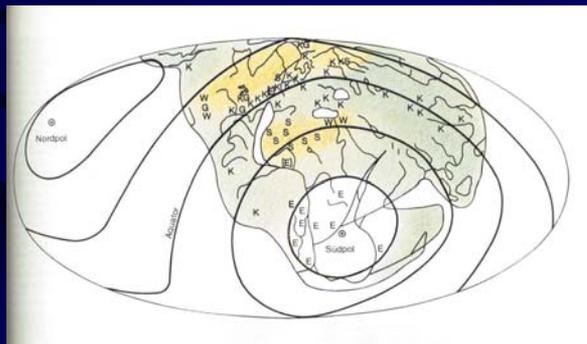
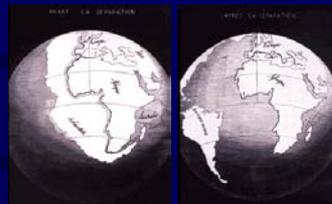
Plattentektonik

- Globales Modell, welches alle Beobachtungen aus den Geowissenschaften miteinander bestmöglich vereint, z.B.:
 - **Geographie:** Konturen der Kontinente
 - **Geologie:** durchgehende Gebirgszüge und Lagerstätten (Kohle, Salz), Vereisung in Südamerika, Afrika, Indien, Australien
 - **Paläontologie:** Divergenz von Fauna und Flora seit dem Jura
 - **Geophysik:** magnetische Streifenmuster
 - **Geochemie:** Alter von kontinentaler und ozeanischer Kruste
 - **Geodäsie:** kontinuierliche Änderung der Basislinie zwischen zwei Radioteleskopen (z.B. Wettzell – Westford 18 mm/Jahr)

Die 15 tektonischen Platten:



- Erste Idee: Antonio Snider (1858)
- Urkontinent Gondwana: Eduard Suess (Ende 19. Jhd.)
- Erstes umfassendes Konzept: Kontinentalverschiebung von Alfred Wegener (1912)



- Mobilisten (A. Wegener): horizontale Verschiebung der Kontinente
 - Kontraktionstheorie zur Erklärung der Gebirgsbildung nicht erforderlich
 - Offene Frage: Mechanismus?
- Fixisten (E. Suess): Absenkung der ozeanischen Becken
 - Kein Schweredefizit über den Ozeanen
 - Widerspricht dem Prinzip der Isostasie

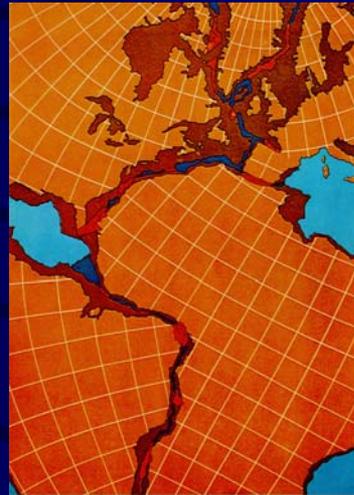
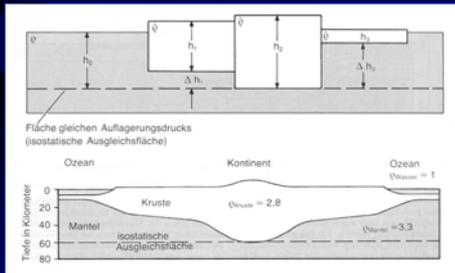
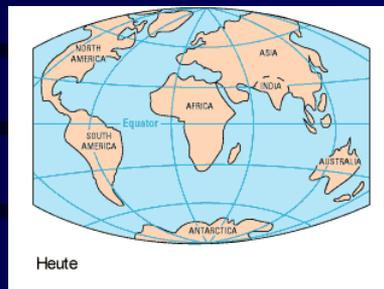


Abb. 2 „Fit“ der Kontinente um den Atlantik (Auswahl). Von Bullard und seinen Mitarbeitern beschriebene „bessere Zusammenfügung“ der Atlantik begrenzenden Kontinente (Länge der 1000 m Tiefseine). Quelle: Bullard, Scientific American 9/1969

Rekonstruktion der Kontinentalverschiebung aus heutiger Sicht:



Wichtige Prozesse der Plattentektonik

- Meeresbodenspreizung (,sea floor spreading‘)
 - An Dehnungszonen (Ozeanische Rücken, ,rifts‘) wird neue Ozeankruste gebildet
 - Speicherung der Magnetisierungsrichtung, Umpolungen des Erdmagnetfeldes führen zu magnet. Streifenmustern
 - Divergente Plattengrenze
 - Beispiele: Mittelatlantischer Rücken, Rotes Meer, Rift Valley?

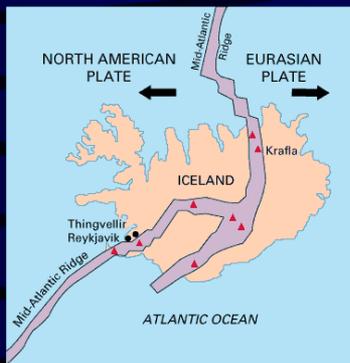
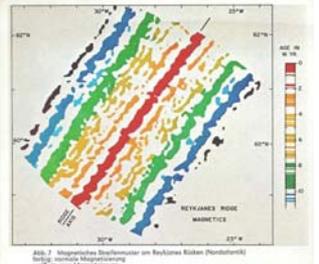
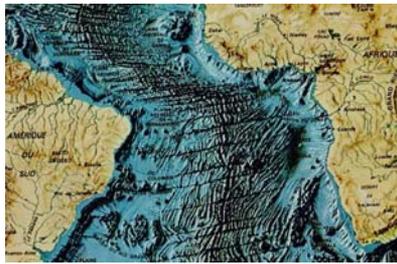
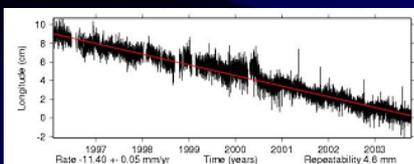


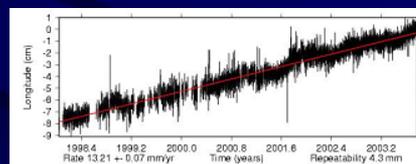
Foto: Uwe Hessels

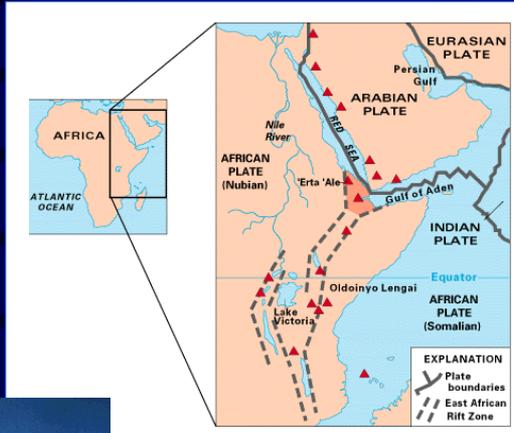
Quelle: US Geological Survey

GPS Time Series Reykjavik



GPS Time Series Höfn



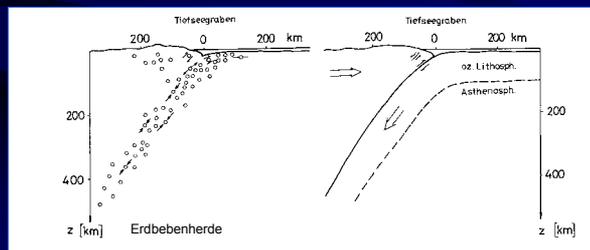


Quelle: US Geological Survey



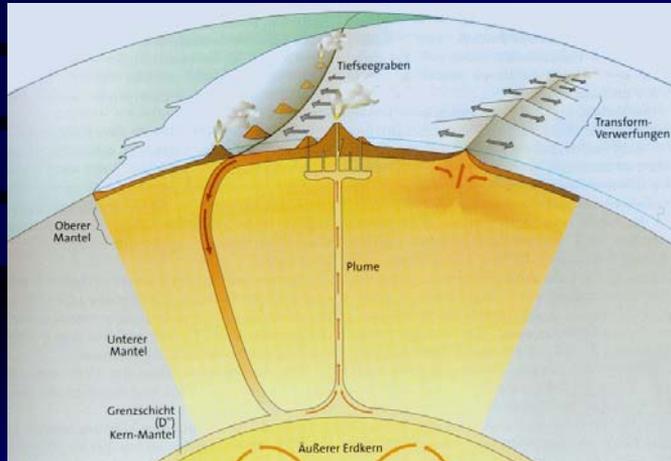
• Subduktion

- Ozeanische Lithosphäre taucht in den Erdmantel ab
 - Lithosphäre: ca. 100 km dick, überwiegend elastisch-spröde
 - Asthenosphäre: viskos
 - Erdbeben im Subduktionsbereich (Benioff-Zone): Lithosphäre noch nicht an Umgebungstemperatur angeglichen
- Konvergente Plattengrenze
- Andockender Kontinent → Kollision, Gebirgsbildung



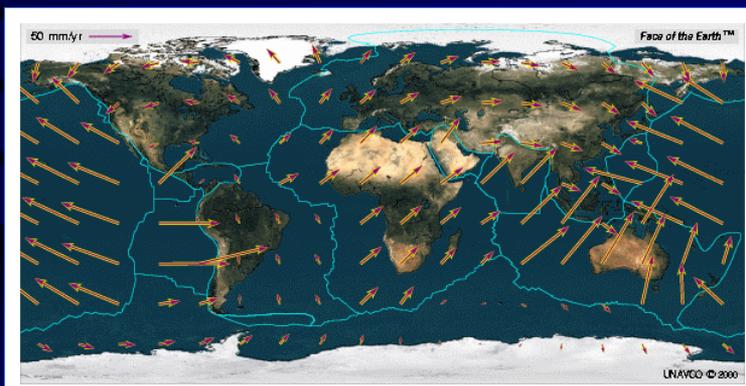
Quelle: R. Meißner & U. Vetter: Großräumige Bewegungsvorgänge auf der Erde.

- Antrieb der Plattenbewegung:
 - Konvektionszellen im Erdmantel
 - Kalte (dichte) ozeanische Lithosphäre sinkt ab
 - heißes Material aus dem Erdmantel steigt nach oben
 - Bewegung wird durch Kriechprozesse ermöglicht



Quelle: U. Schmincke: Vulkanismus

- Durch die geodätischen Raumverfahren (VLBI, SLR, GPS) ist es heute möglich, globale Modelle der Plattenbewegungen zu erstellen



Unser Beitrag als geodätisches Observatorium

- Wissenschaft
 - Besseres Verständnis für geophysikalische Zusammenhänge
 - Grundlage für Modellbildungen und -verbesserungen
- Modellverbesserungen
 - Verringerung der Meßfehler
 - Verbesserte Punktbestimmung für die Erhaltung der Referenzsysteme

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Wir würden uns freuen, Sie zum nächsten
Vortrag am 11. März wieder begrüßen zu
dürfen.