

# Neue Verfahren zur Erfassung unterirdischer Wasserressourcen

Andreas Güntner

Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)  
Sektion 5.4 Hydrologie

Wettzell, 16.05.2013

# Die Erde: Der Blaue Planet

**Wasser bedeckt 71 %  
der Erdoberfläche**



# Die Erde: Der Blaue Planet?

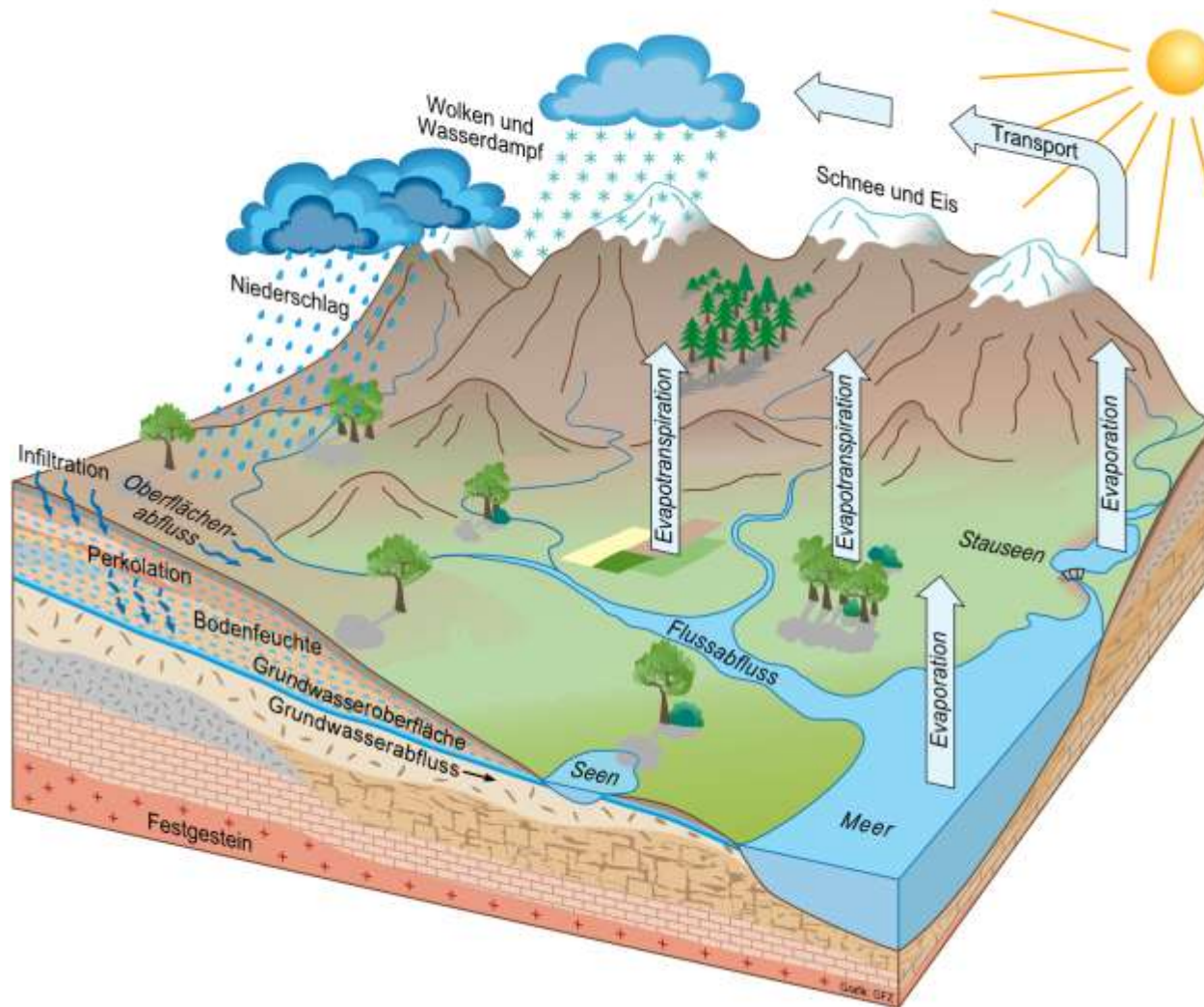


**Gesamte Wasser  
der Erde**

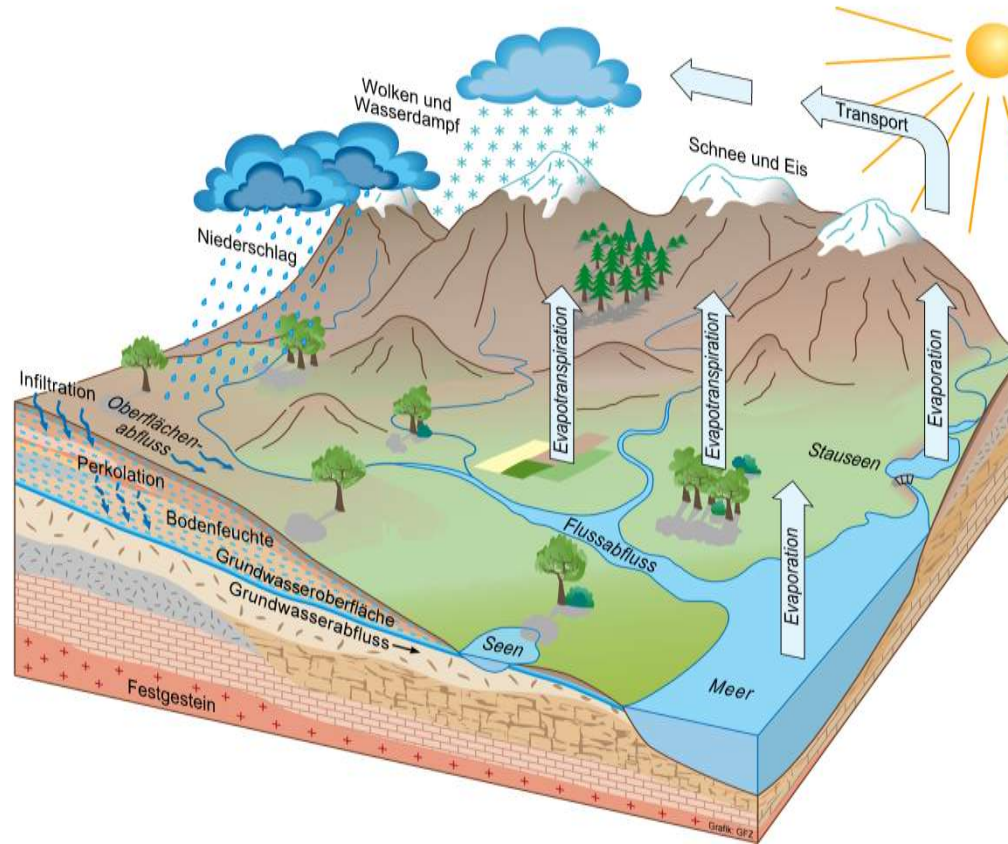


**Verfügbares  
Trinkwasser**

# Der globale Wasserkreislauf



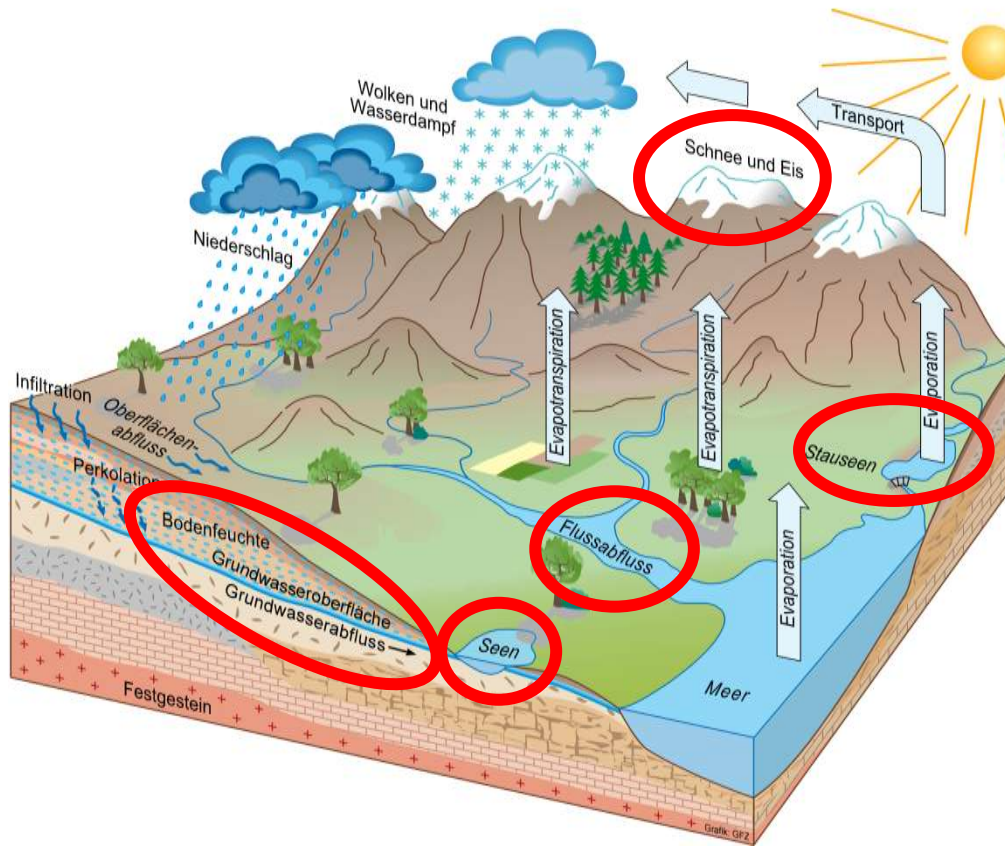
# Der globale Wasserkreislauf



## Kontinentale Wasserbilanz

**Niederschlag = Abfluss + Verdunstung + Speicheränderungen**

# Wasserspeicherung

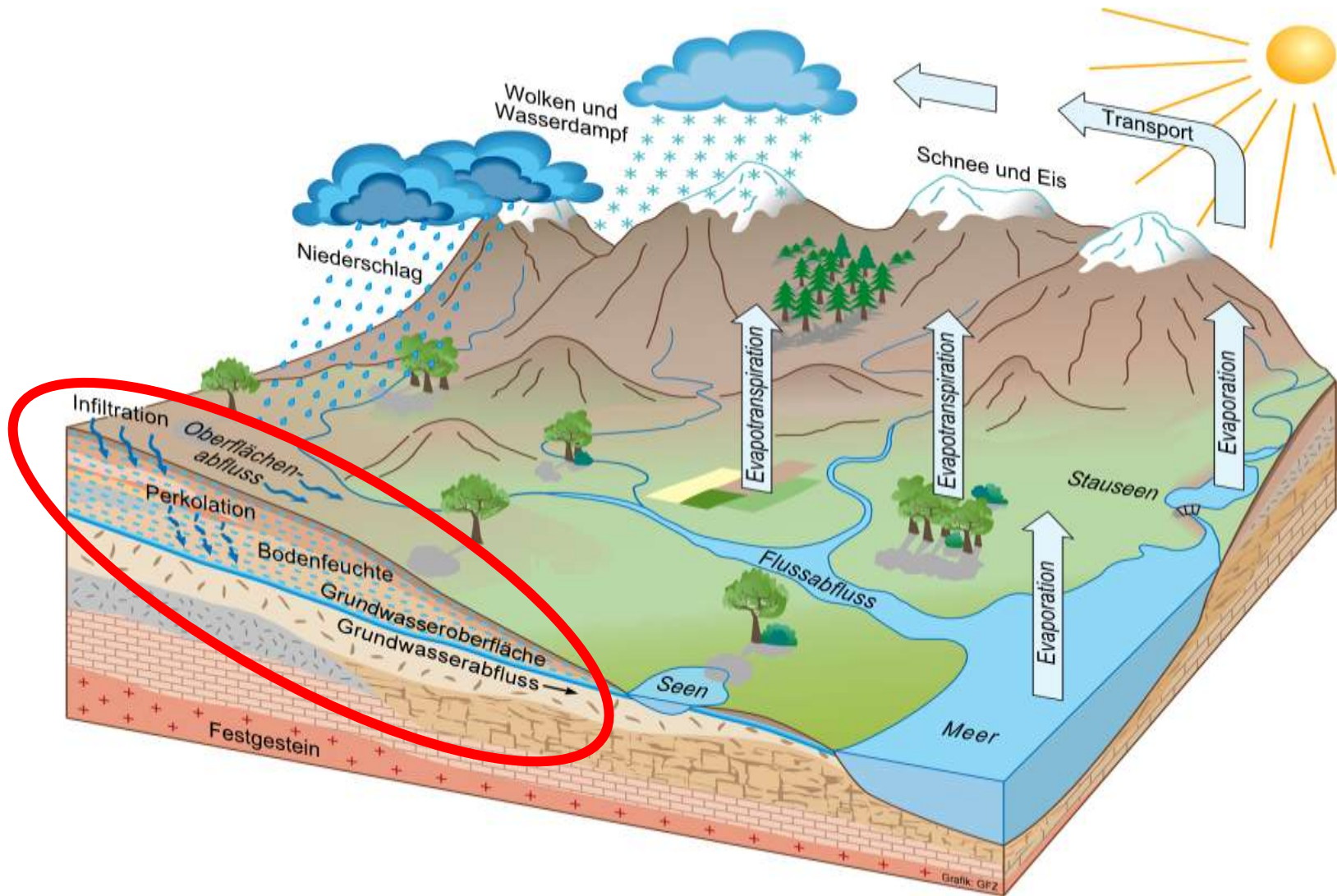


- Lokale bis globale Wasserbilanzen
- Erfassung der Wasserverfügbarkeit
- Abflussbildung
- Hochwasserrisiko

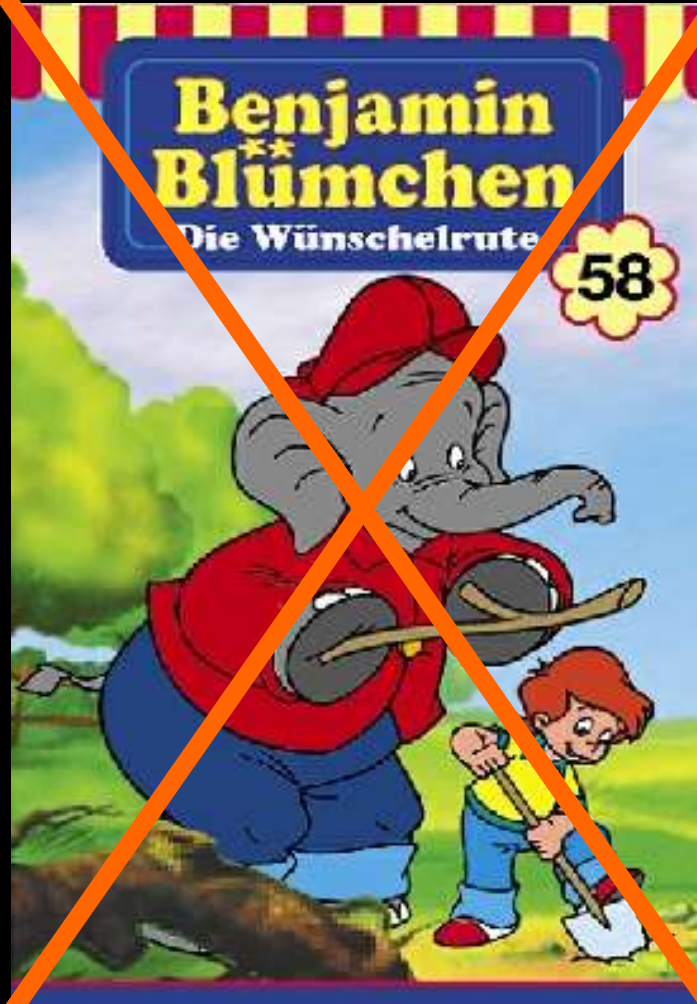
## Kontinentale Wasserbilanz

**Niederschlag = Abfluss + Verdunstung + Speicheränderungen**

# Wasserspeicherung im Untergrund



# Erkundung von Wasser im Untergrund





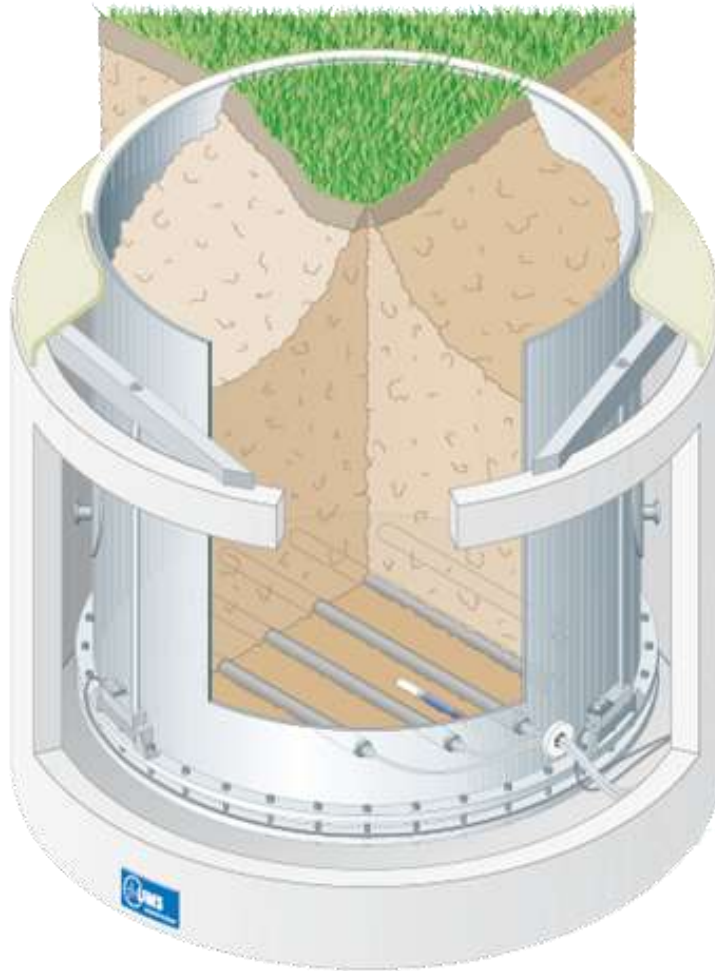
# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Bodenfeuchtesonden -



# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Grundwasserpegel -



# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Lysimeter -

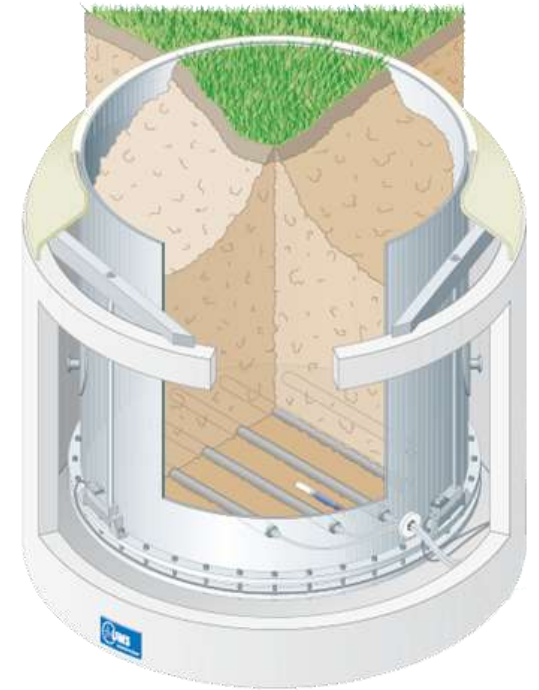


“den Boden auf die  
Waage stellen”

# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Lysimeter -

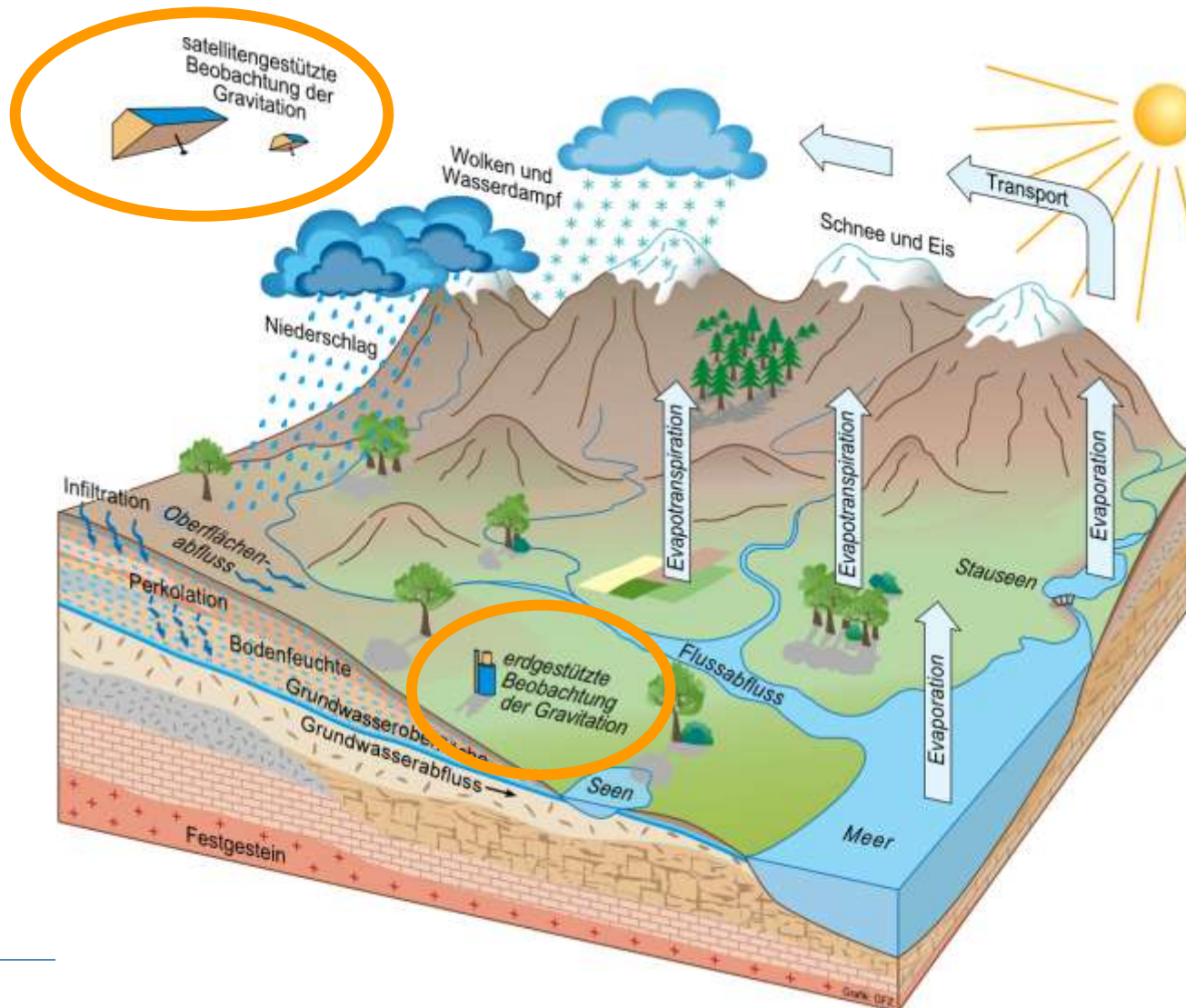


# Messung der Wasserspeicherung im Untergrund



- **Punktmessungen**
- **übertragbar auf größere Gebiete?**
- **nur einzelne Speicherkompartimente**

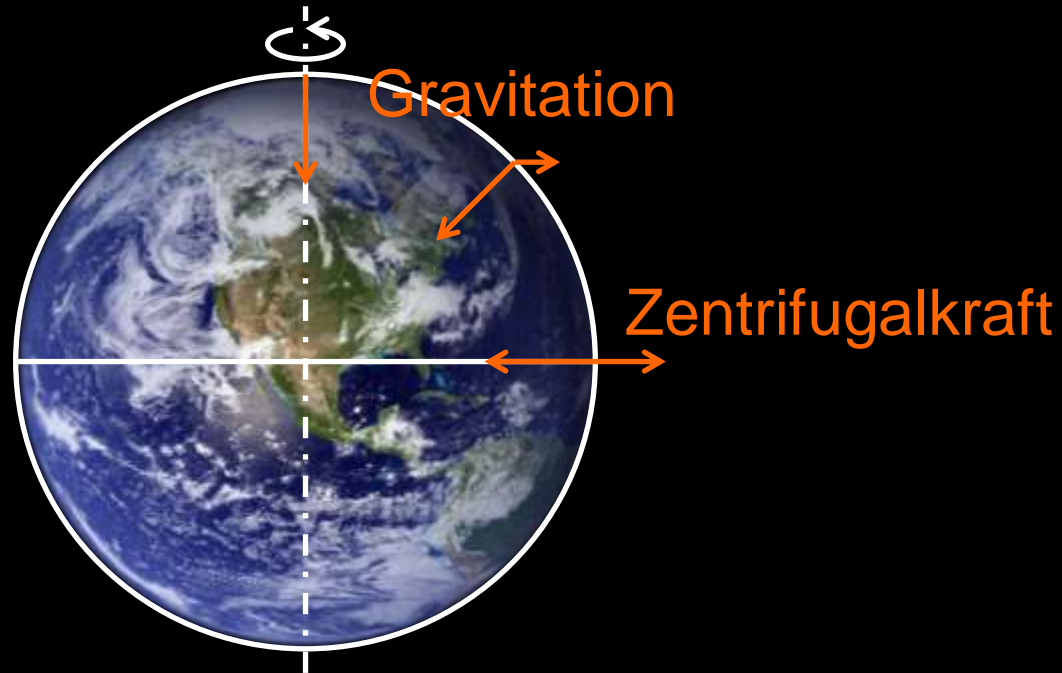
# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Gravimetrie -



# Erdschwerebeschleunigung

9.8 m/s<sup>2</sup>

# Schwerefeld der Erde



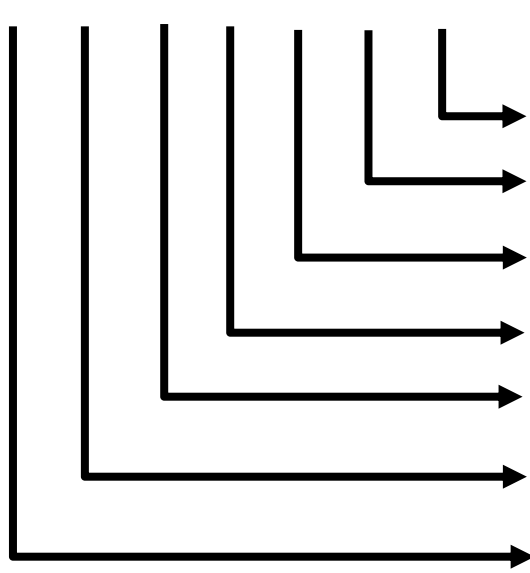


# Komponenten der Erdschwerebeschleunigung

Massenänderungen

Statische Masseninhomogenitäten

9.807246731... m/s<sup>2</sup>

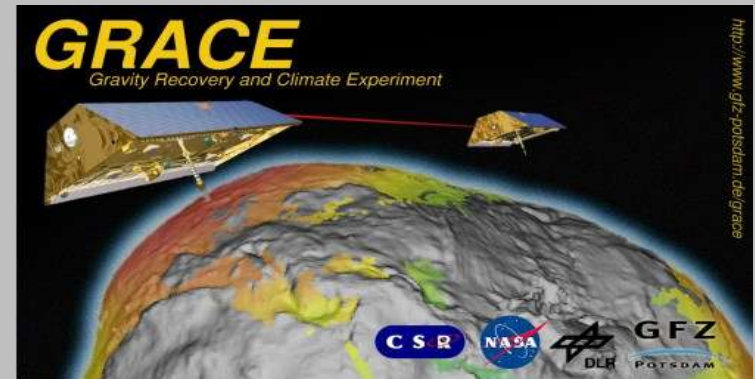
- 
- Relativität, 1mm Höhendifferenz
  - Ozeantopographie, Polbewegung
  - Hydrologie (Wasserspeicheränderungen)
  - Erd- und Ozeangezeiten, 1m Höhendifferenz
  - große Wasserkörper
  - Masseninhomogenitäten im Erdinnern
  - Gebirge, Ozeangraben, 1km Höhendifferenz
  - Erdabplattung und Erdrotation

# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Gravimetrie -

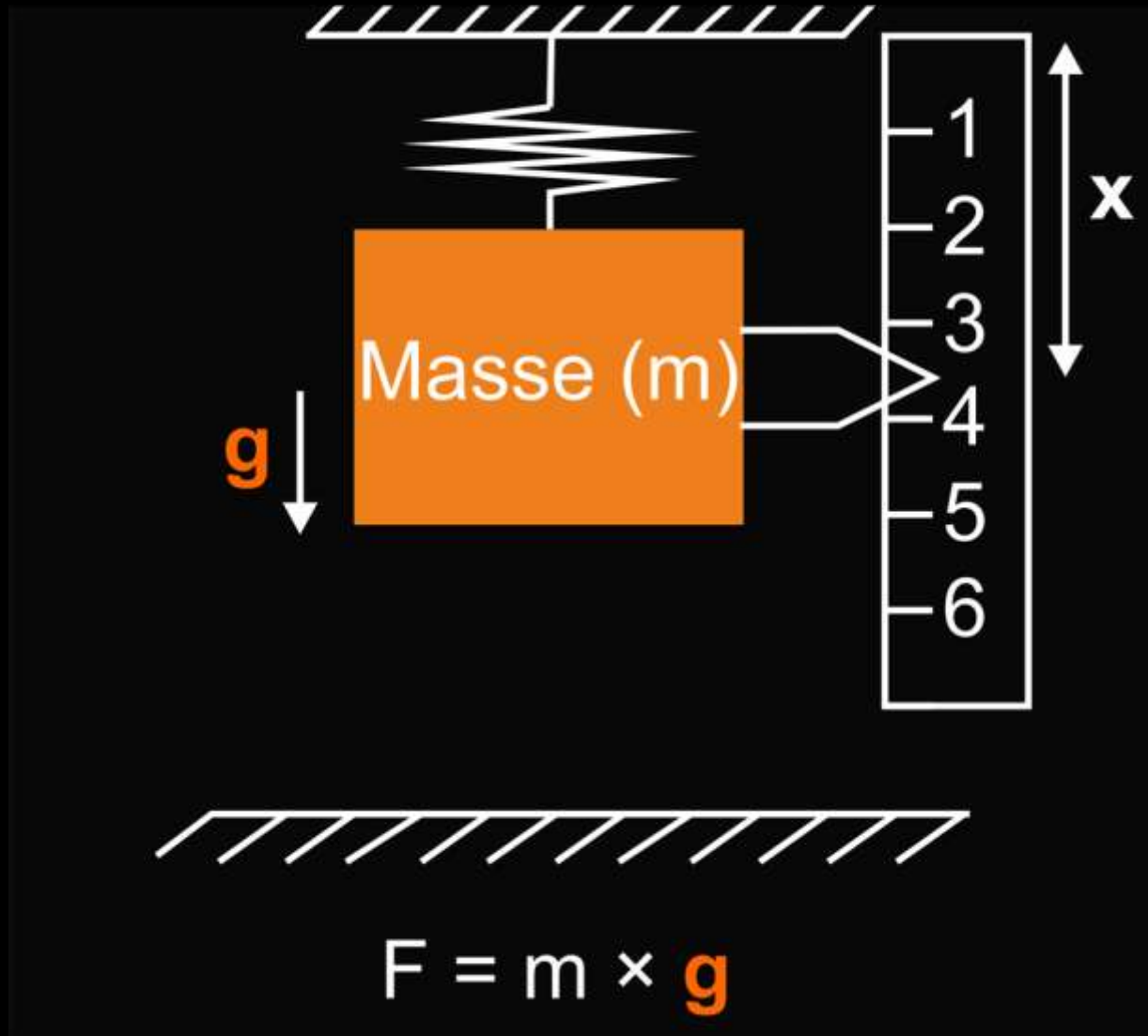
## 1) Gravimeter (lokal)



## 2) Schwerefeldsatelliten GRACE (regional – global)

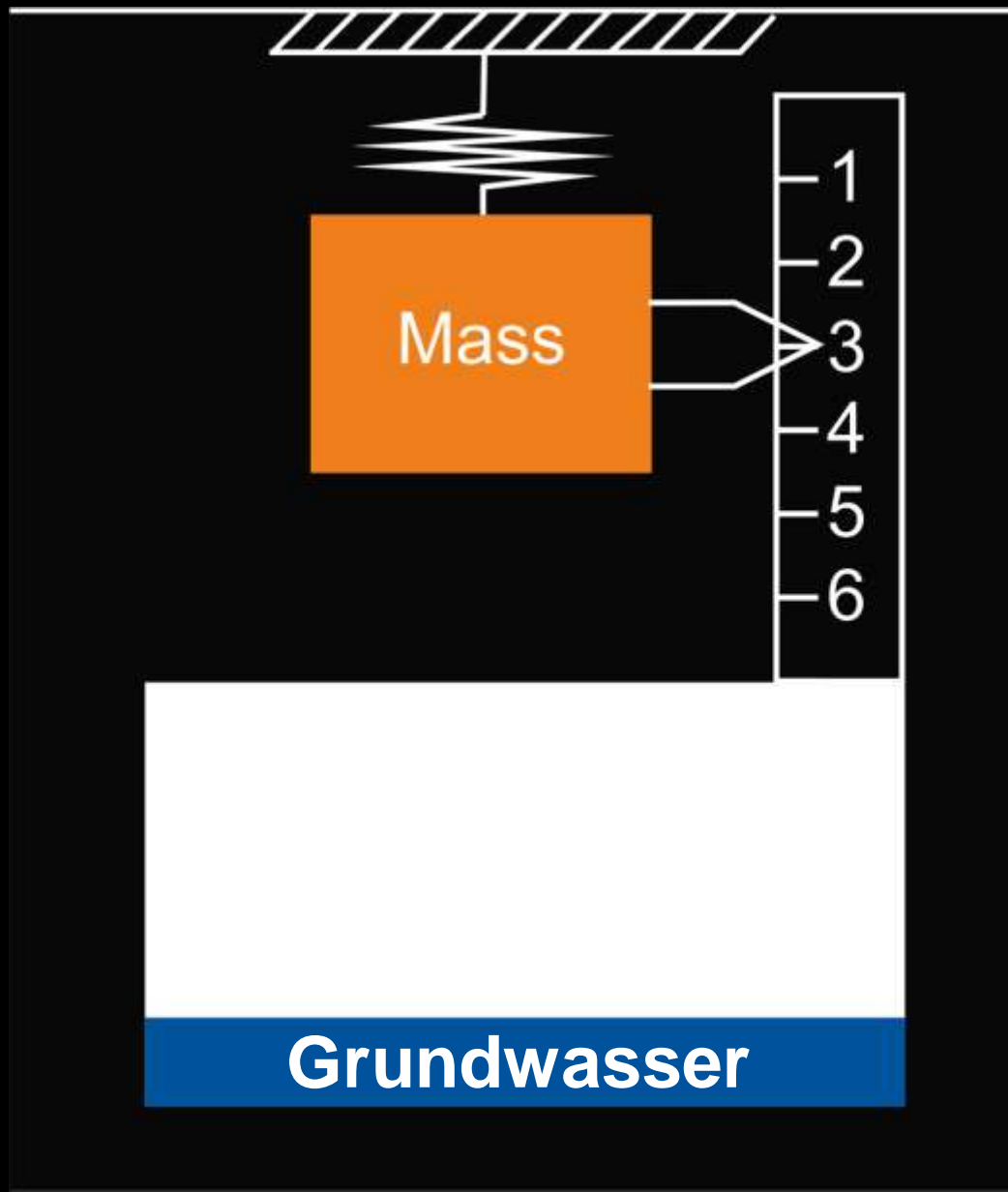


# Gravimeter



**Erdschwerebeschleunigung (g) ~ Auslenkung (x)**

# Gravimeter



# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Gravimetrie -

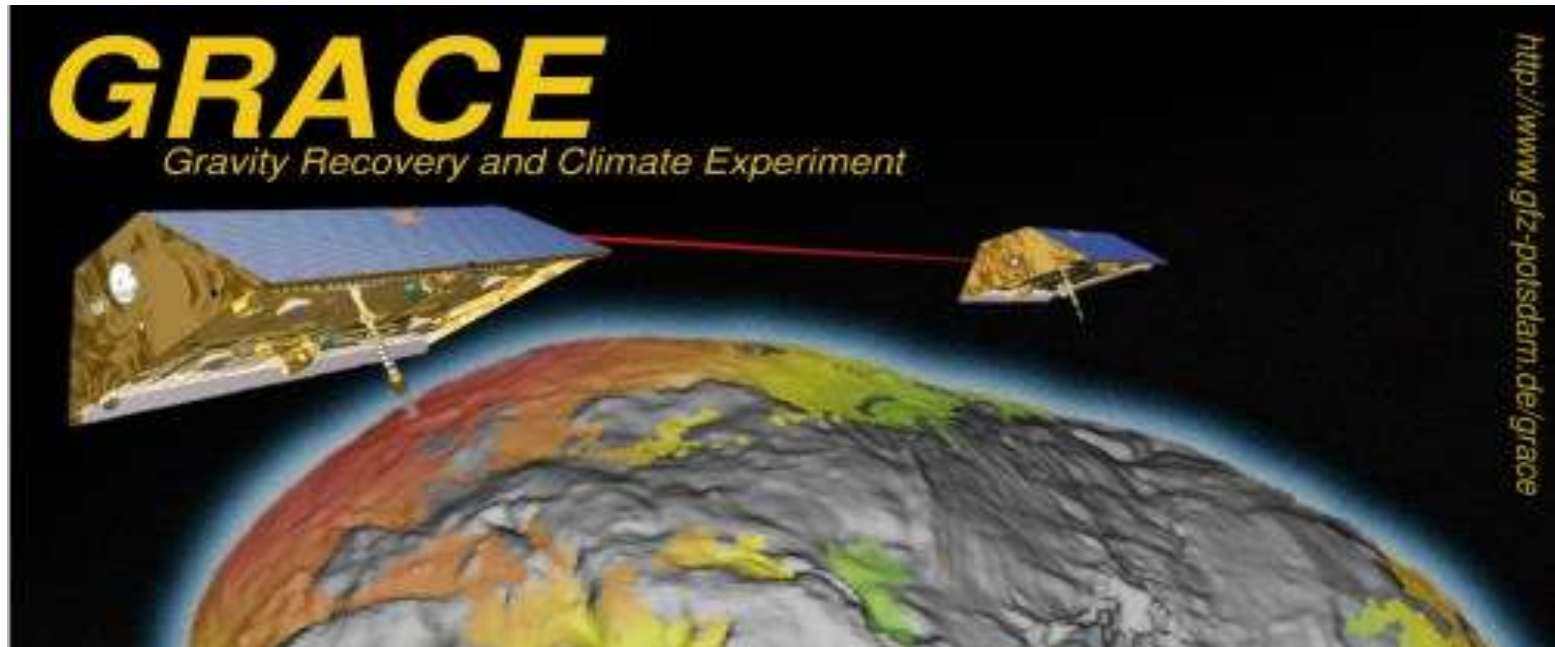
## 1) Gravimeter (lokal)



## 2) Schwerefeldsatelliten **GRACE** (regional – global)

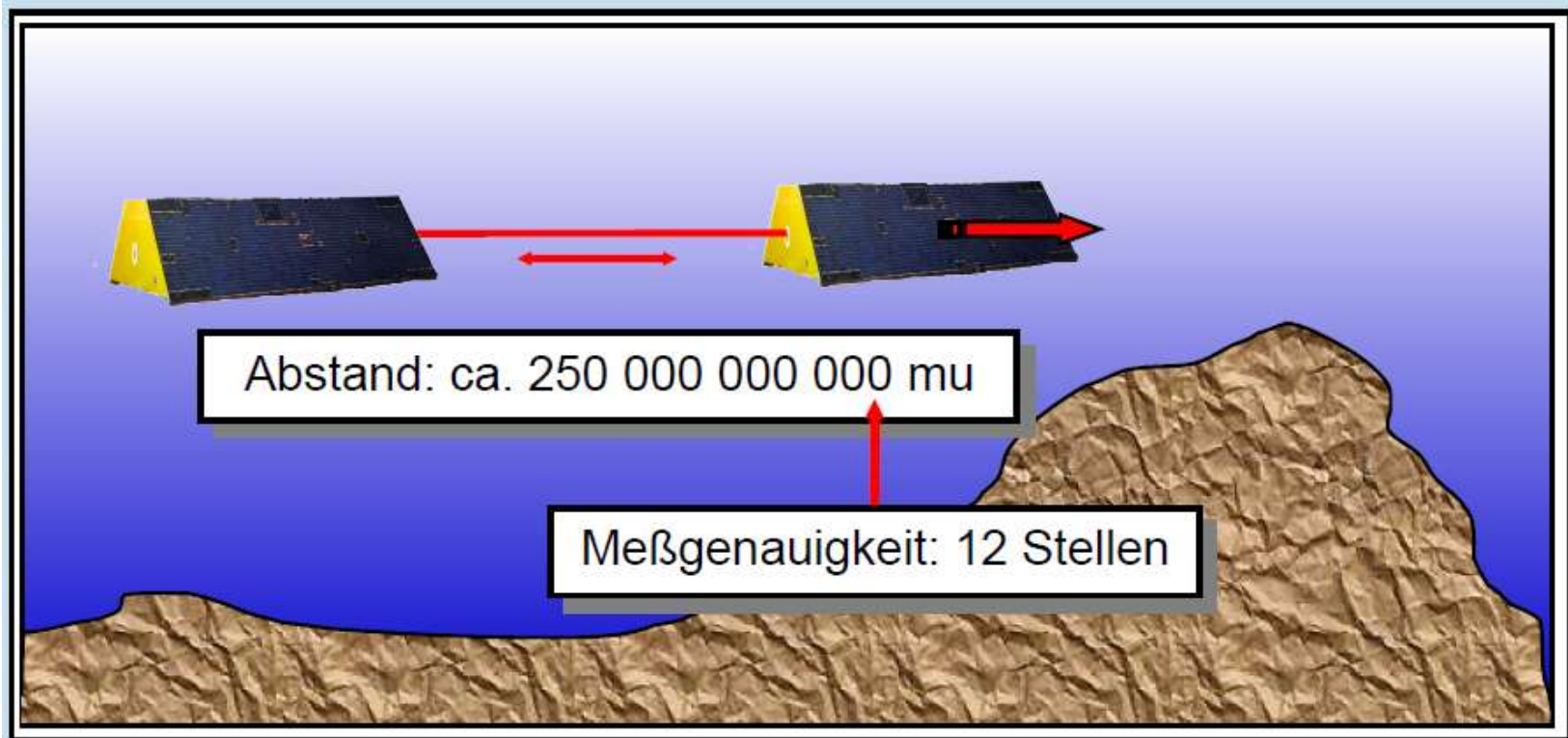


# Die Satellitenmission GRACE



- Start März 2002
- Höhe der Umlaufbahn: 470 km
- Zeit für Erdumrundung: 94 min
- Abstand zwischen den beiden Satelliten: 250 km

# Die Satellitenmission GRACE

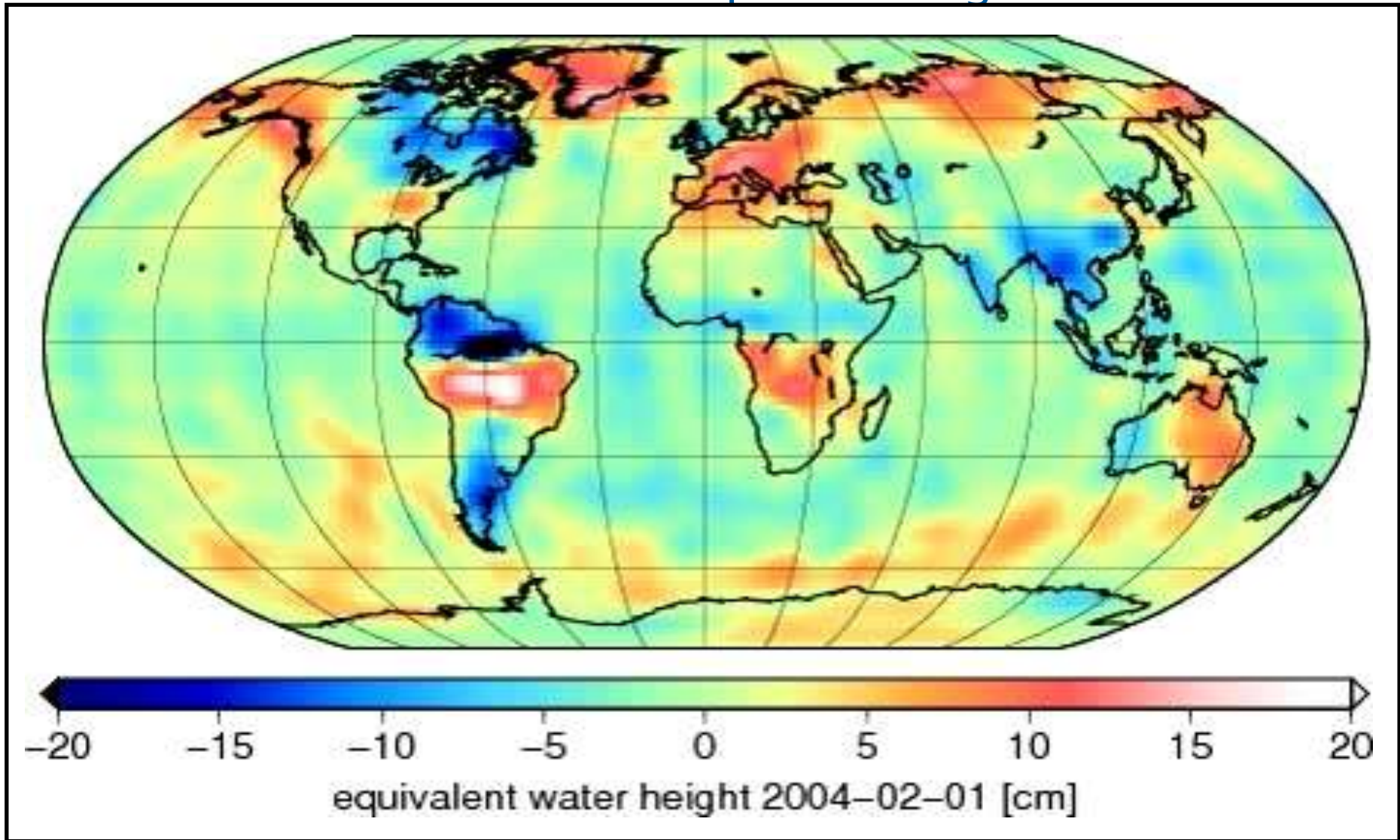


## Beobachtungen

K-Band-System: Abstand, Relativgeschwindigkeit,  
GPS-Empfänger: Positionen,  
Akzelerometer: Störbeschleunigungen,

Genauigkeit:  $< 1 \mu\text{m/s}$   
Genauigkeit 2-3 cm  
Genauigkeit  $3 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

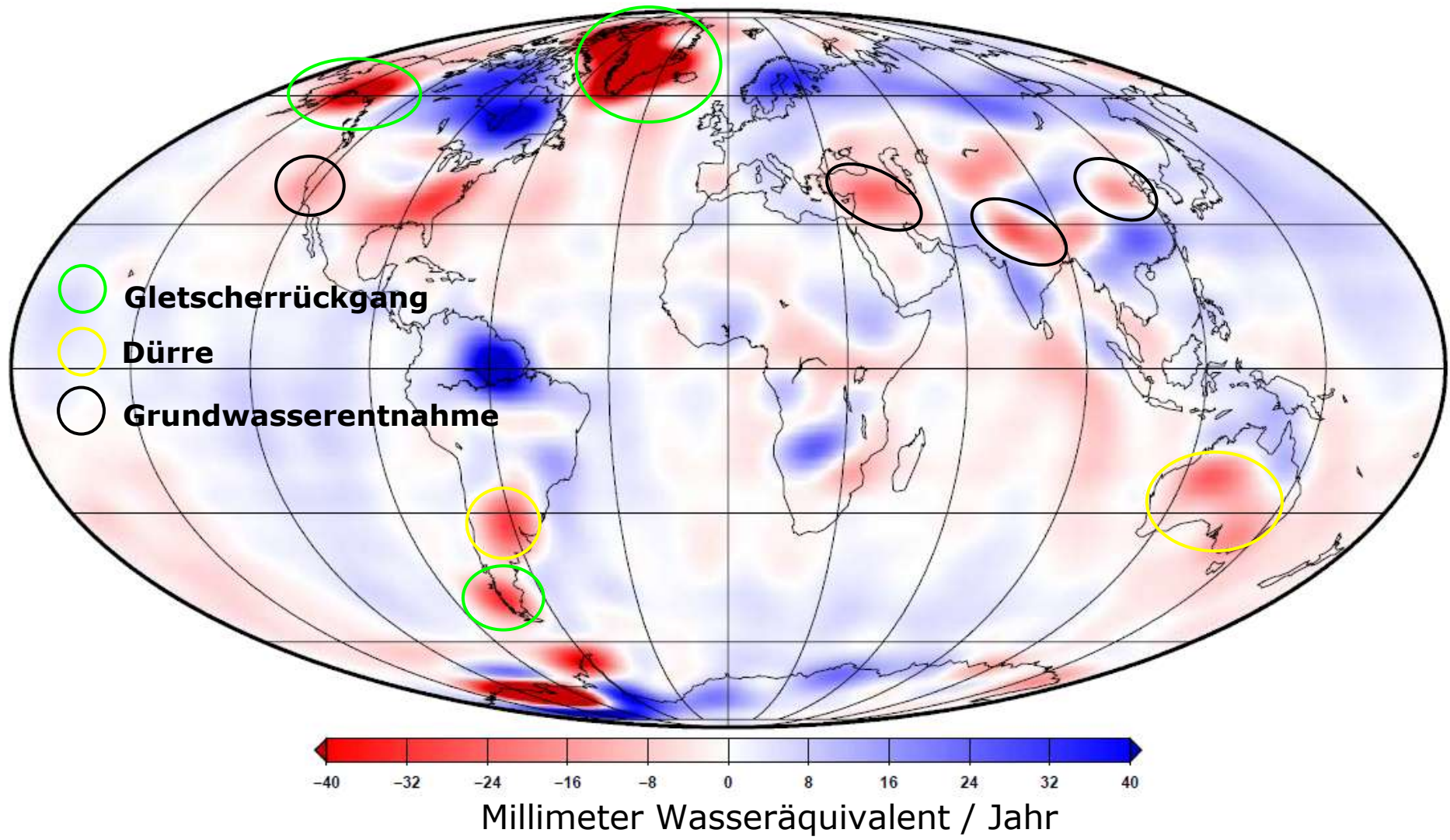
# Variationen der Wasserspeicherung aus GRACE



Source: GRACE 2010 daily, Kalman smoother solutions (ITG Bonn)

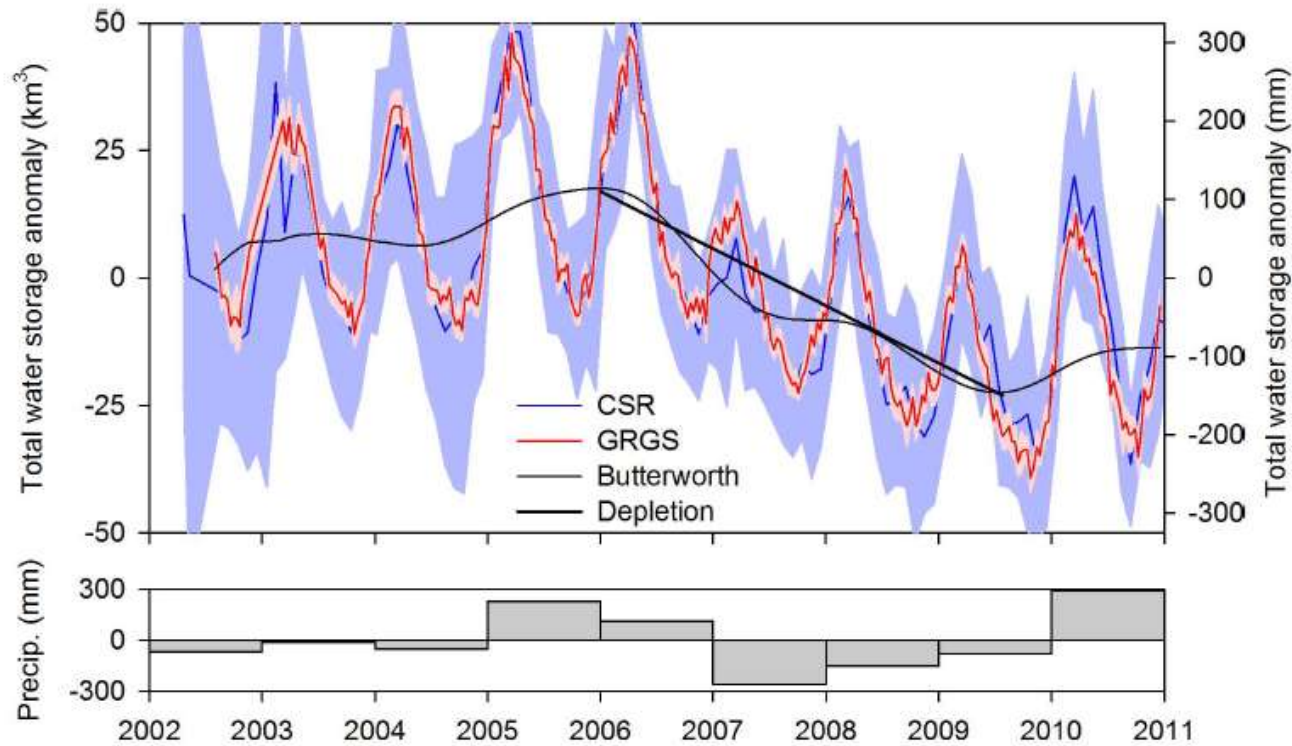


# Massenänderungen aus GRACE (2003-2009)

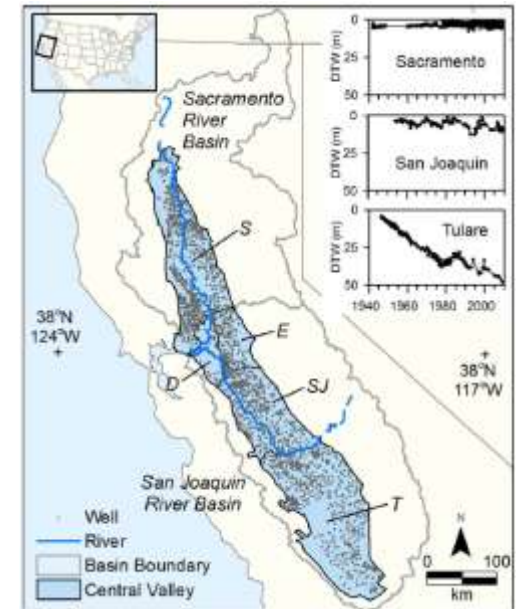


# Variationen der Wasserspeicherung aus GRACE

Veränderung der Grundwasserressourcen im Kalifornischen Längstal  
(ca. 150000 km<sup>2</sup>)



Scanlon et al. (2012)

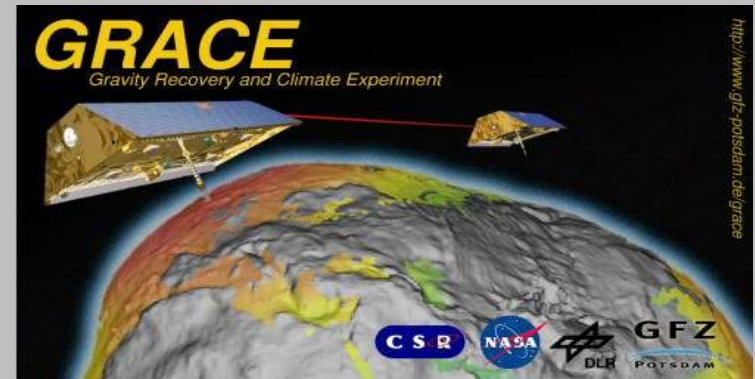


# Messung von Speicheränderungen im Untergrund - Gravimetrie -

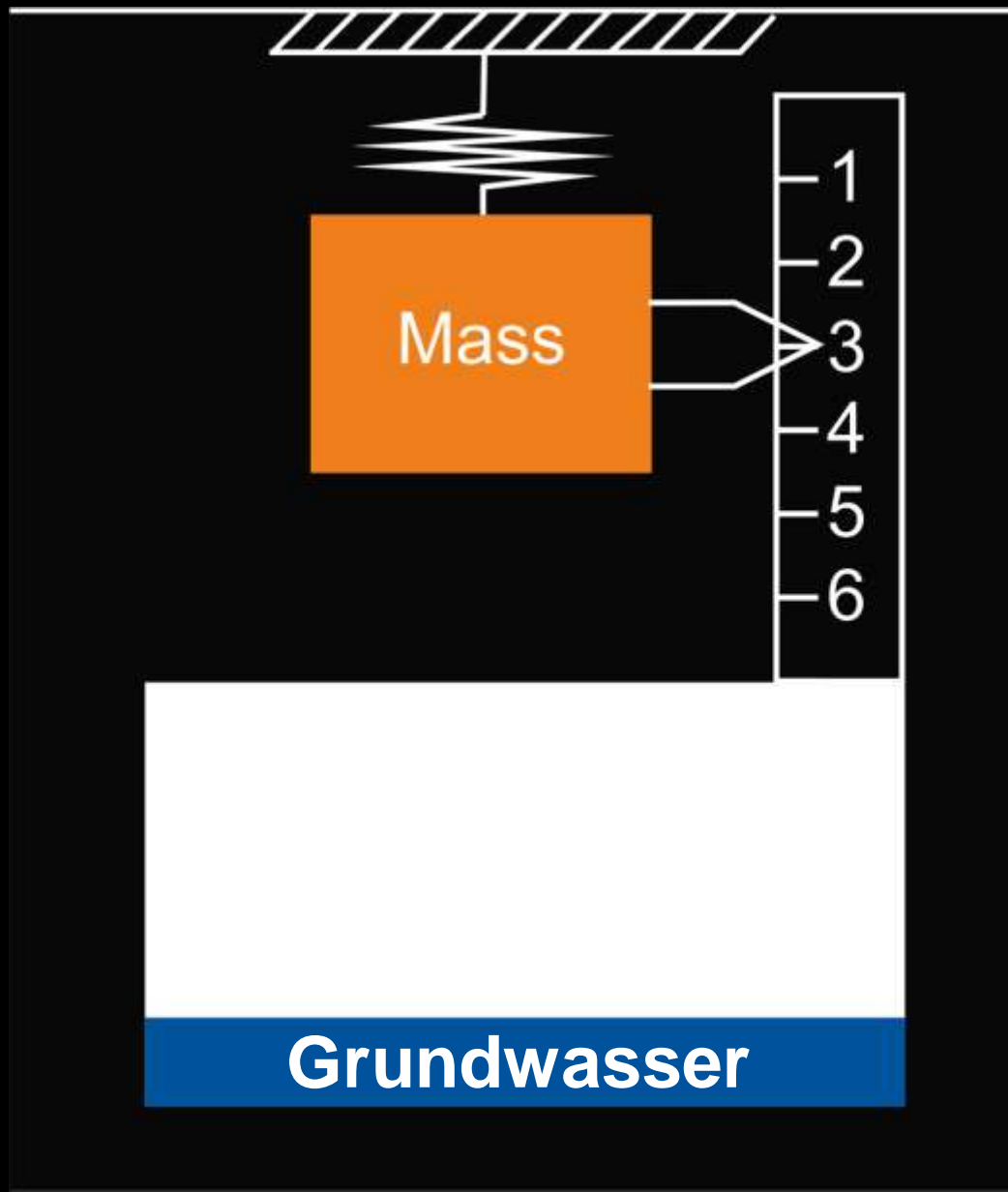
## 1) Gravimeter (lokal)



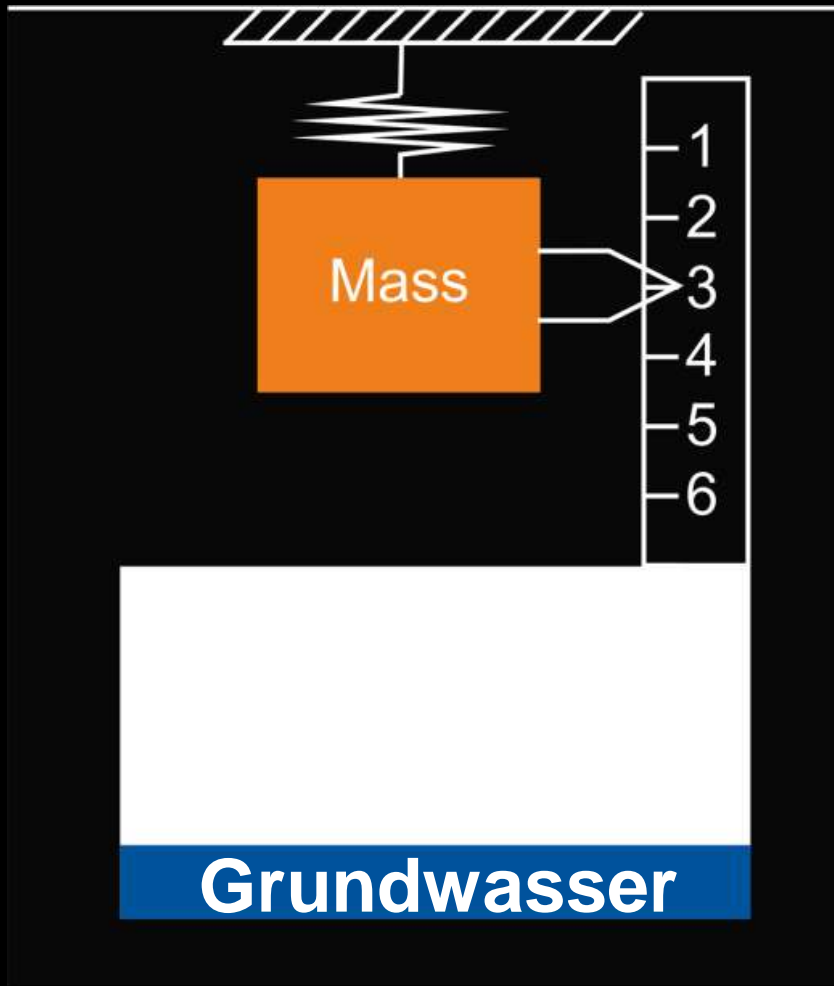
## 2) Schwerefeldsatelliten GRACE (regional – global)



# Gravimeter



# Gravimeter



Erforderliche Genauigkeit  
zur Erfassung von  
Wasser im Untergrund:

$g = 9.807\ 246\ 731\ \text{m/s}^2$   
milliardstel Prozent

# Supraleitendes Gravimeter (SG)

Auflösung:

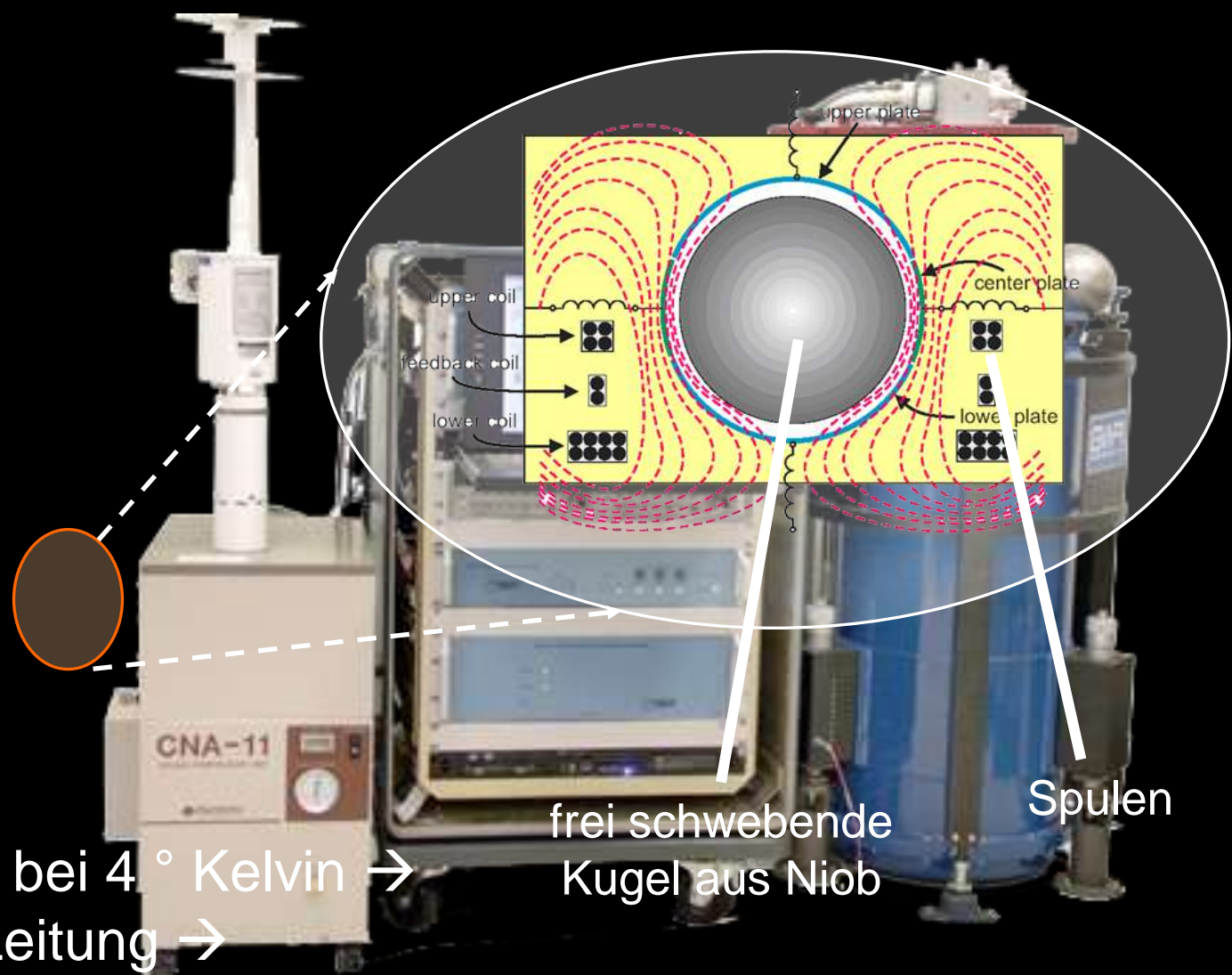
$g = 9.807\,246\,731\text{ m/s}^2$   
milliardstel Prozent



Kompressor  
zur Verflüssigung von Helium

Steuereinheit

# Supraleitendes Gravimeter (SG)



Supraleitung bei 4° Kelvin →  
verlustfreie Leitung →  
stabiles Magnetfeld

frei schwebende  
Kugel aus Niob

Spulen

# Geodätisches Observatorium Wettzell



→ **Präzise Messungen der Erdschwere mit  
Supraleitenden Gravimetern**





## → Präzise Messungen der Erdschwere

### Wissenschaftliche Anwendungen in Geodäsie und Geophysik, z.B.:

- Tiden
- Auflasteffekte
- Tektonische Prozesse / Postglaziale Landhebung
- Polbewegung
- Vulkanismus
- Lagerstättenerkundung, Geothermie

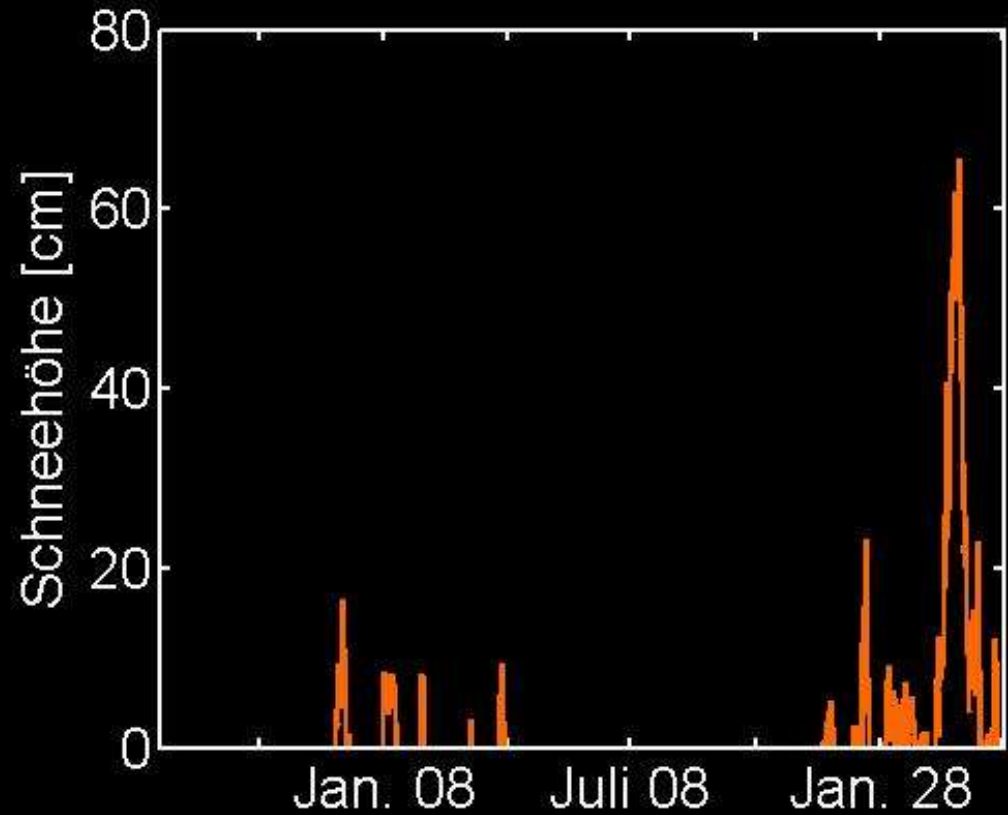
# Geodätisches Observatorium Wettzell



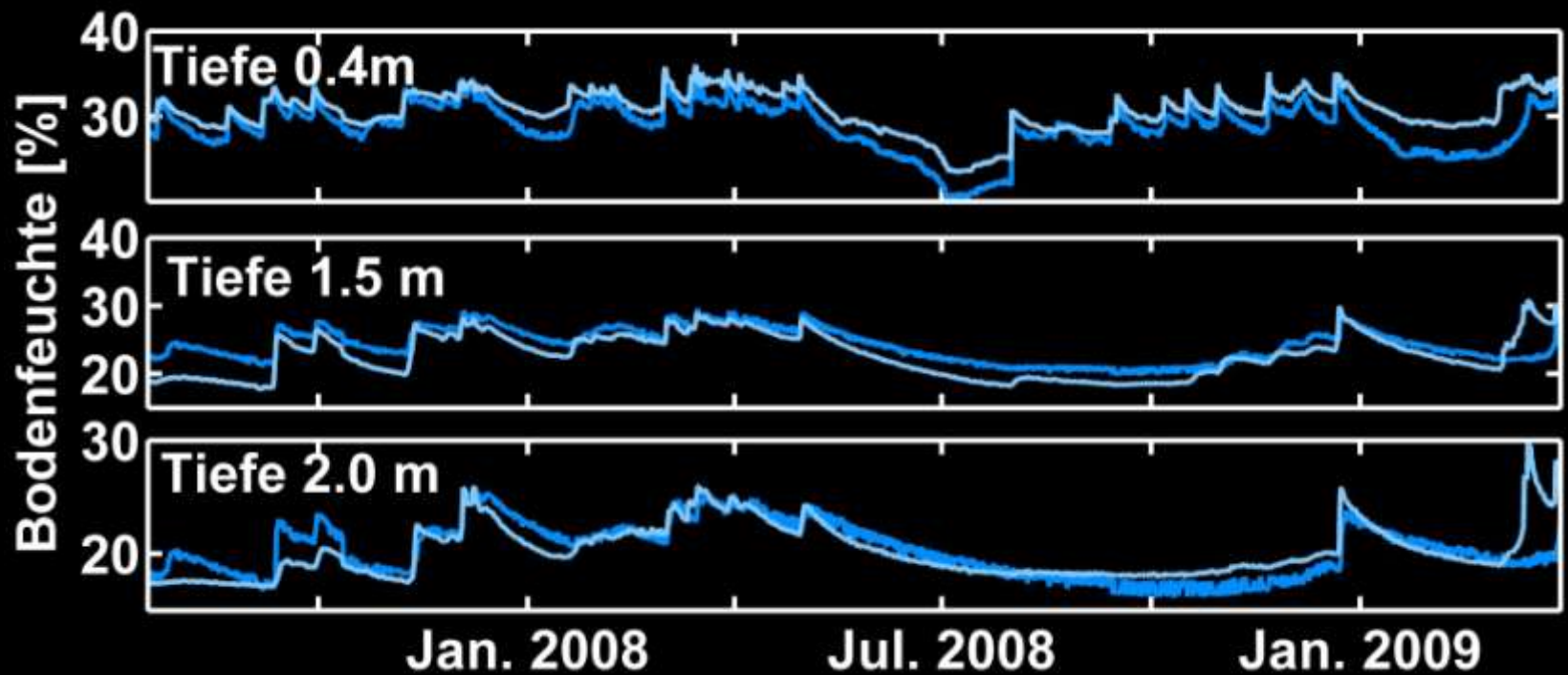
→ Präzise Messungen der Erdschwere

→ Erfassung von Änderungen der Wasserspeicherung?

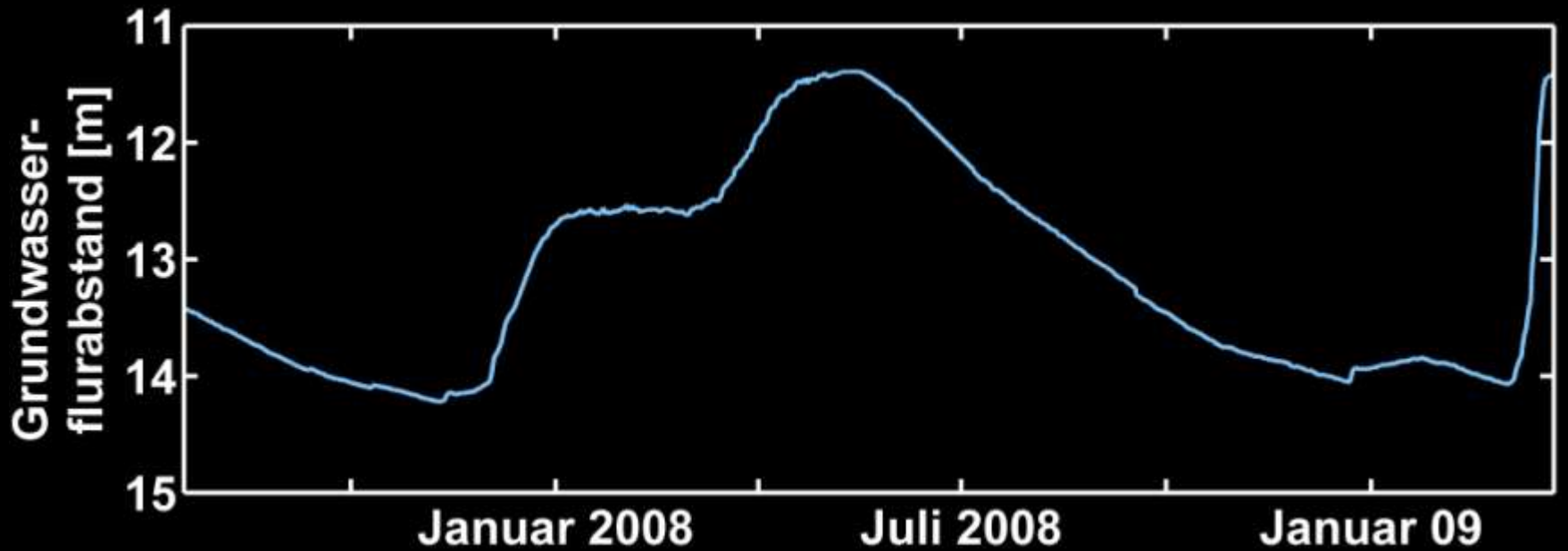
# Wasser in der Schneedecke



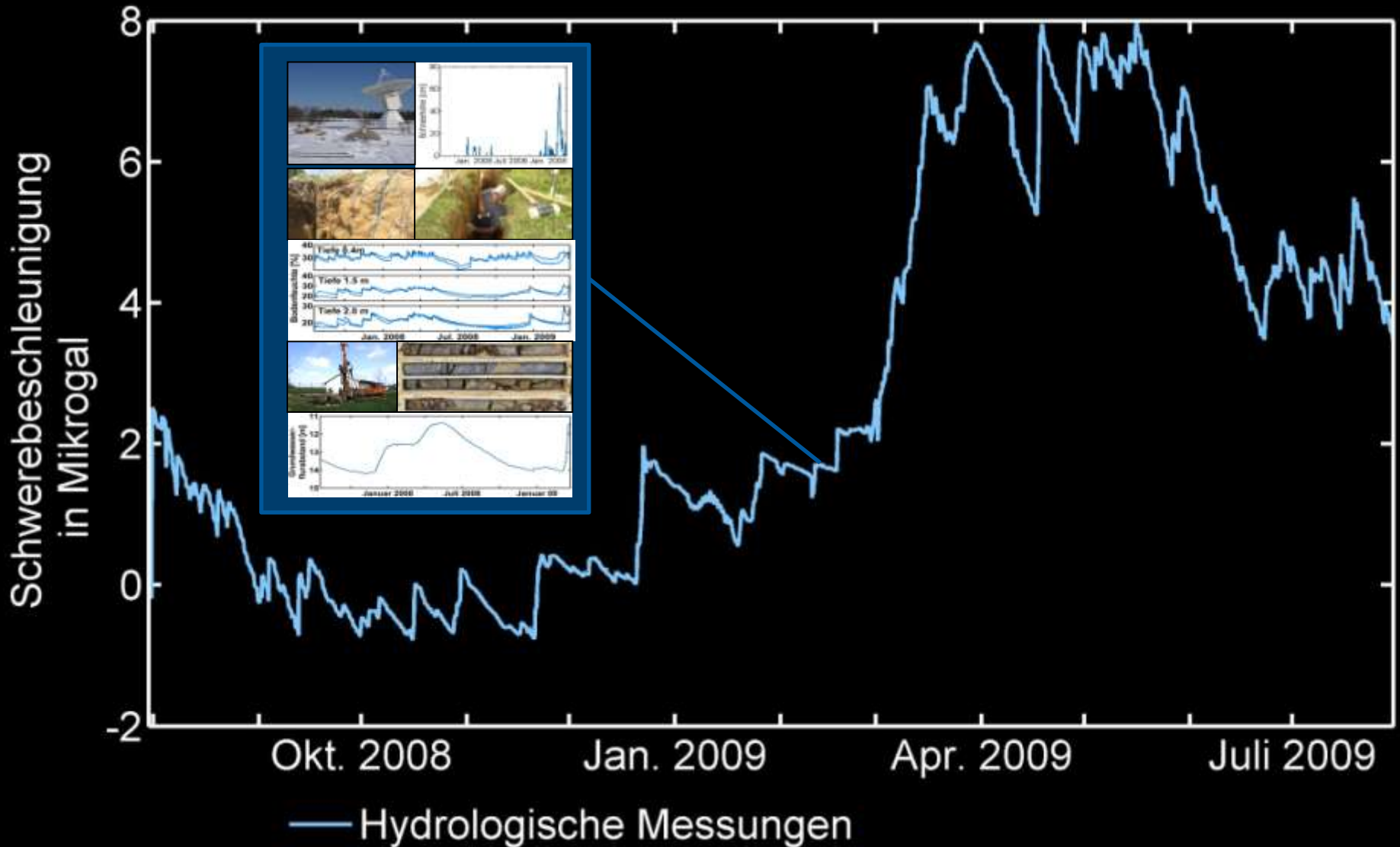
# Wasser im Boden



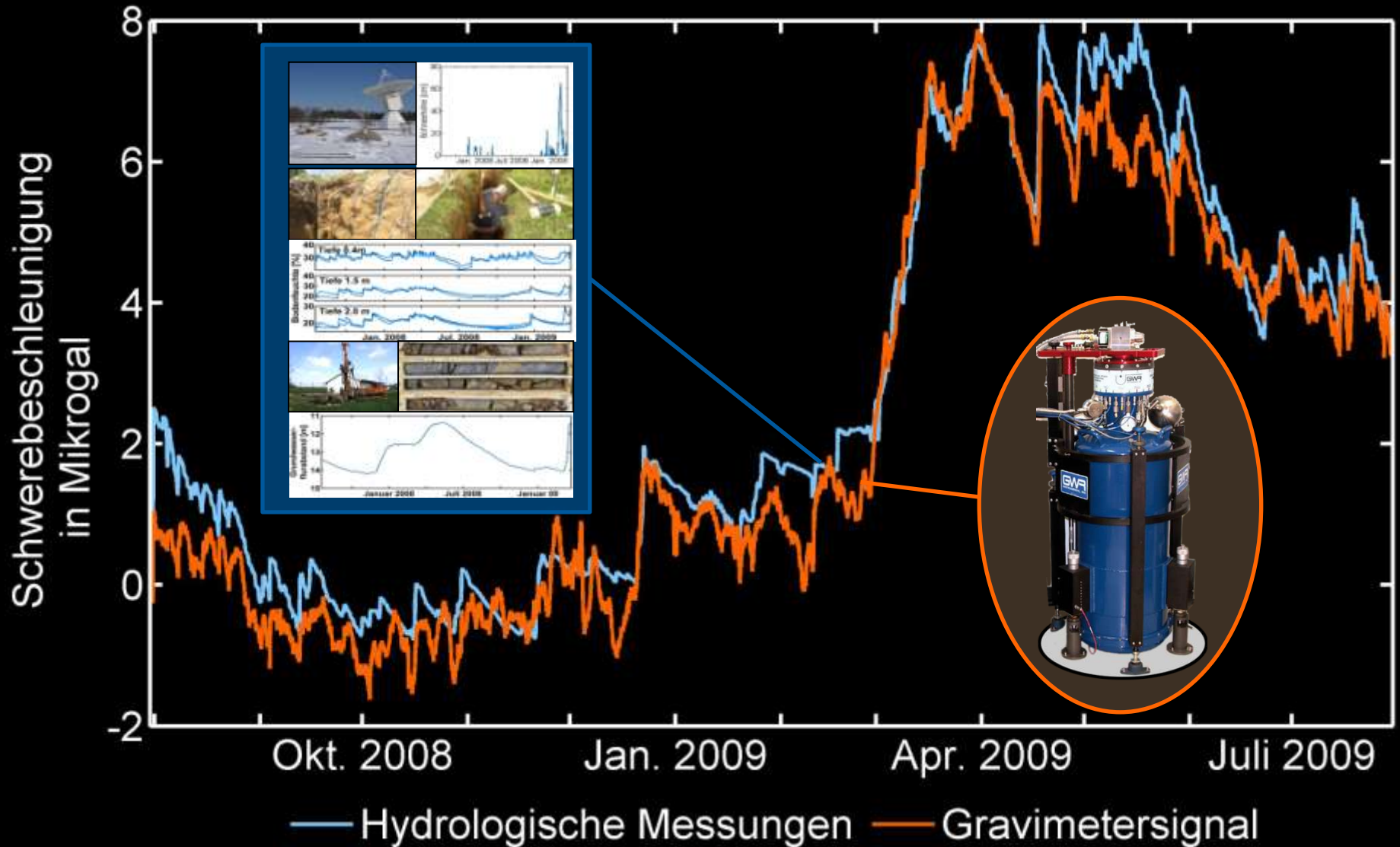
# Grundwasser



# Änderungen der Wasserspeicherung



# Änderungen der Wasserspeicherung





→ **Präzise Messungen der Erdschwere**

→ **Supraleitende Gravimeter können zur Erfassung von Änderungen der Wasserspeicherung eingesetzt werden**



# Supraleitendes Gravimeter

## Integratives Signal:

Gezeiten, Atmosphäre, Ozeandynamik, ...,

Lokale Änderungen der Wasserspeicherung

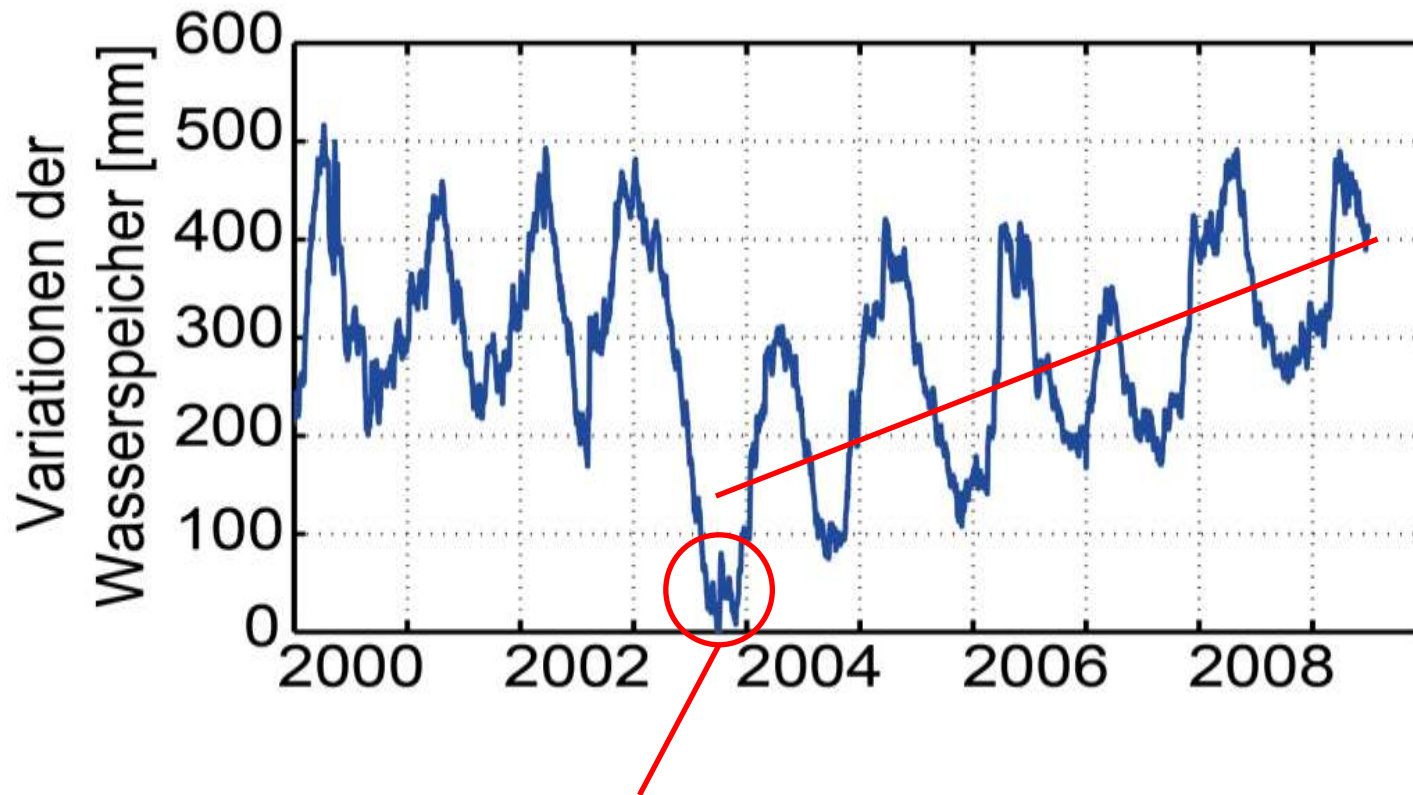


90% des lokalen Signals  
aus Radius ~ 100m



# Hydrologische Extreme und ihre Auswirkungen auf den Wasserkreislauf

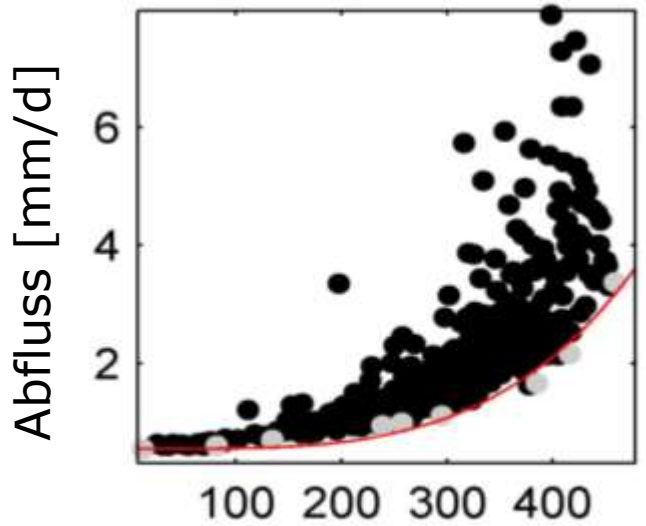
Gravimeter in Wetzell, Bayrischer Wald



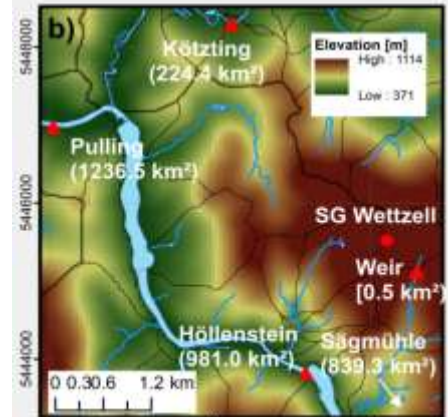
Dürre in Mitteleuropa (Sommer 2003)

Creutzfeldt *et al.* 2012, *JGR*

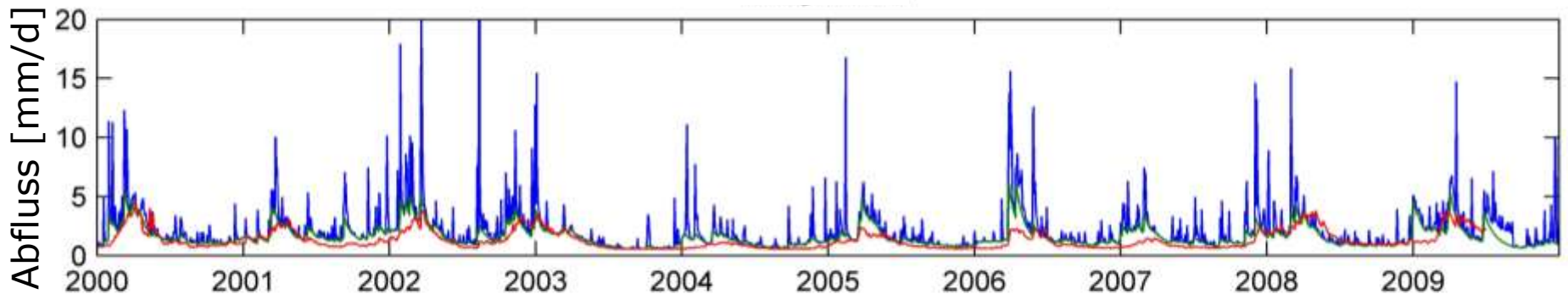
# Speicher-Abfluss-Beziehung in Flusseinzugsgebieten



Speicherung [mm] aus Gravimetermessungen

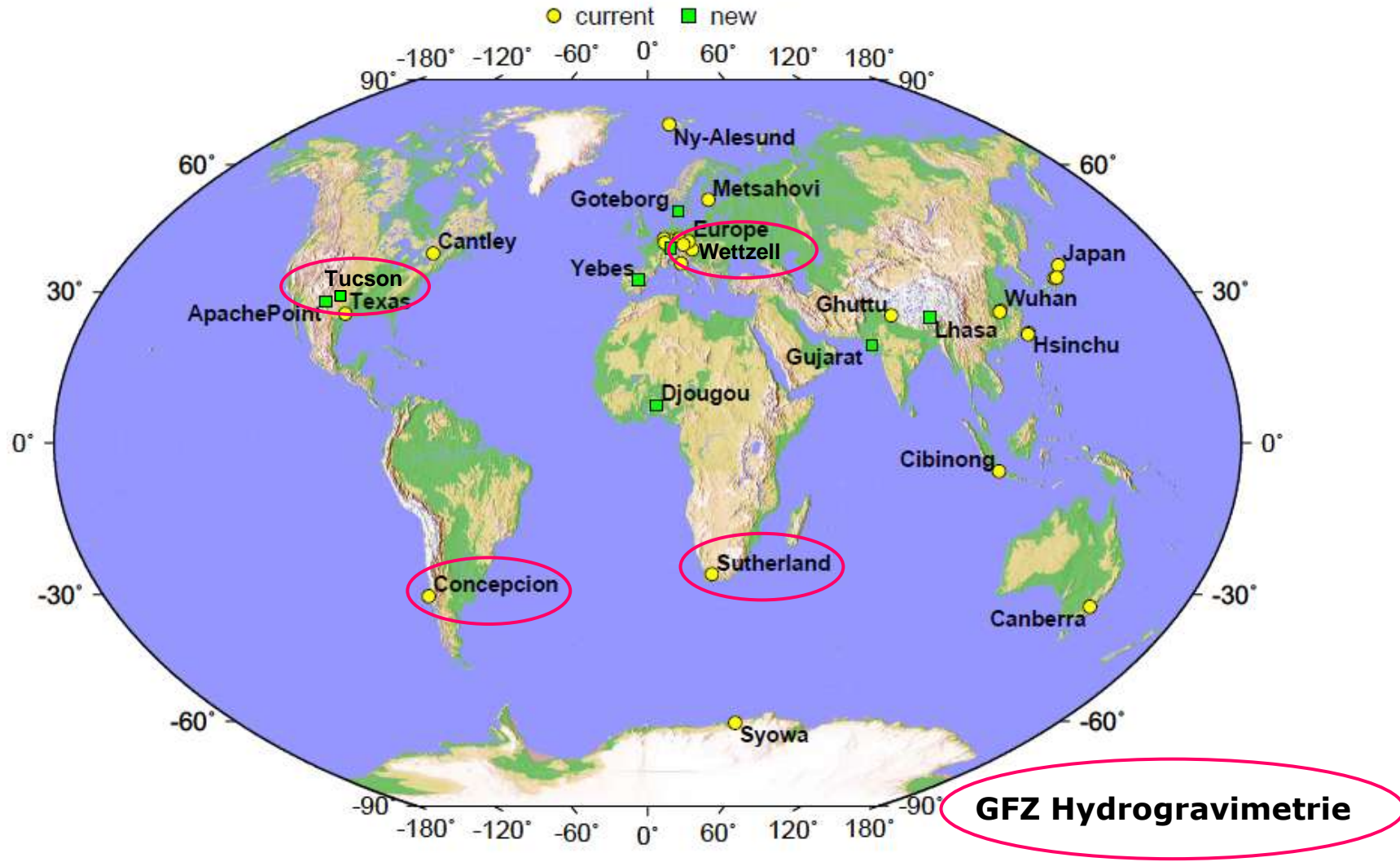


Sägmühle

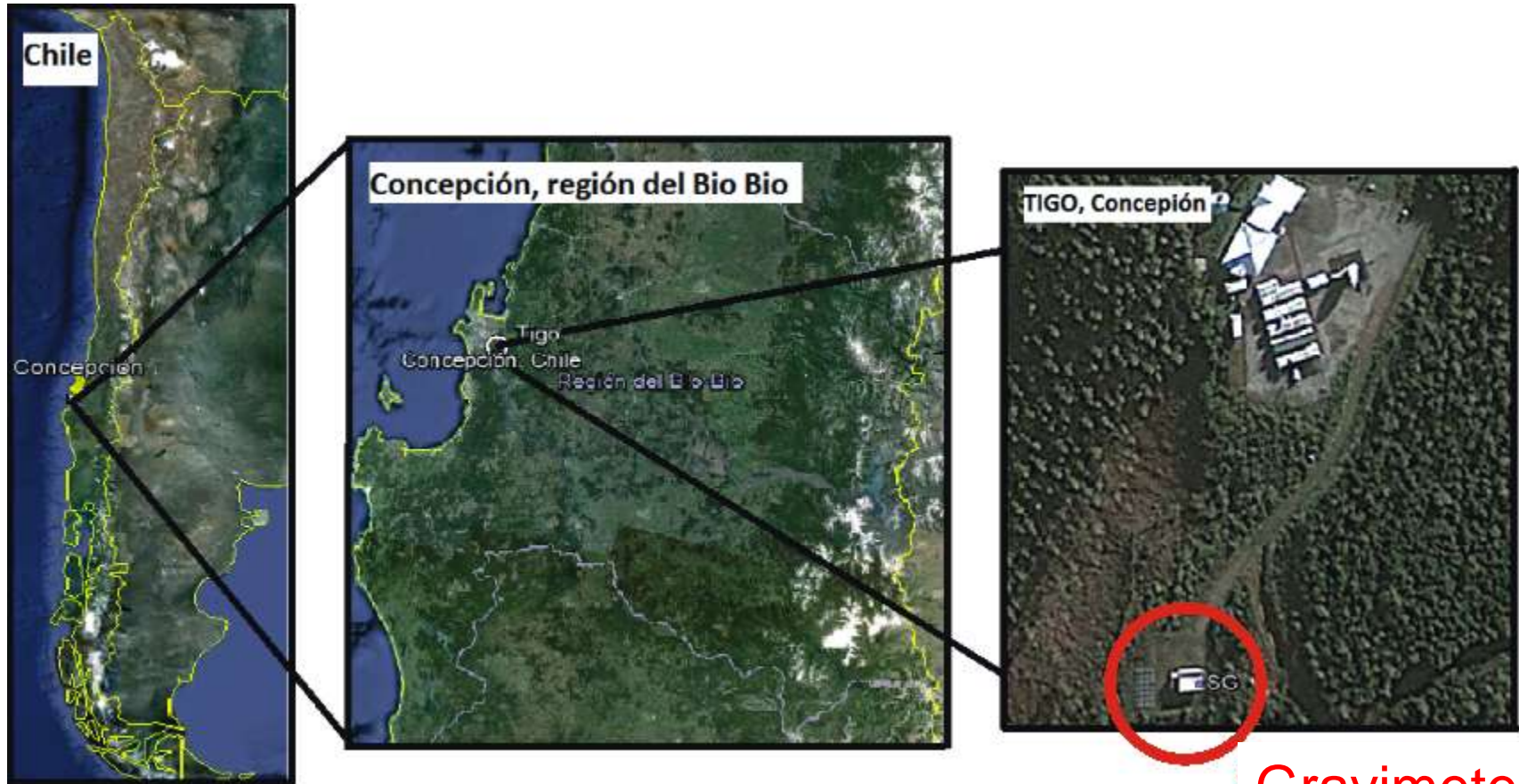


— Abfluss      — Basisabfluss      — Gravimeter-/speicherbasierter Abfluss

# Globales Netzwerk Supraleitender Gravimeter Global Geodynamic Project (GGP)



# Geodätisches Observatorium TIGO, Concepción / Chile



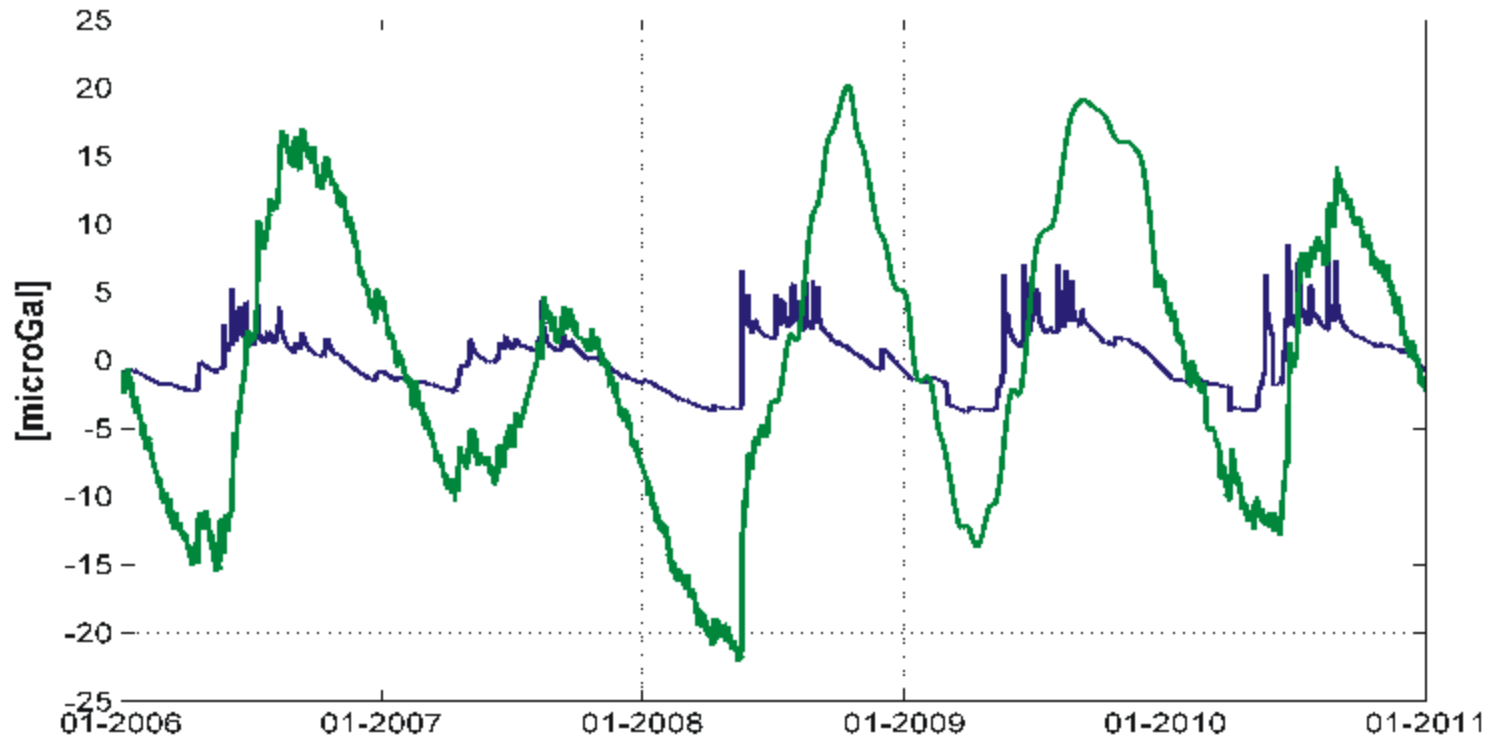
Gravimeter-  
gebäude

# Geodetic Observatory TIGO, Concepción / Chile



# Geodätisches Observatorium TIGO, Concepción / Chile

- Gravimetersignal
- Bodenfeuchte (bis 2.6 Meter Tiefe)



## Hypothese

Unerklärte Variationen des Gravimetersignals werden durch Änderungen der Wasserspeicherung in einer tiefen ungesättigten Zone und im Grundwasser hervorgerufen

# Geodätisches Observatorium TIGO, Concepción / Chile

## Hypothese

Unerklärte Variationen des Gravimetersignals werden durch Änderungen der Wasserspeicherung in einer tiefen ungesättigten Zone und im Grundwasser hervorgerufen

## Überprüfung



TDR Bodenfeuchtecluster



Grundwasser-Beobachtungsbrunnen



# Supraleitende Gravimeter – bisher ein Observatorien-Instrument –

Concepción, Chile



**Gravimetergebäude:**

Wettzell, Deutschland

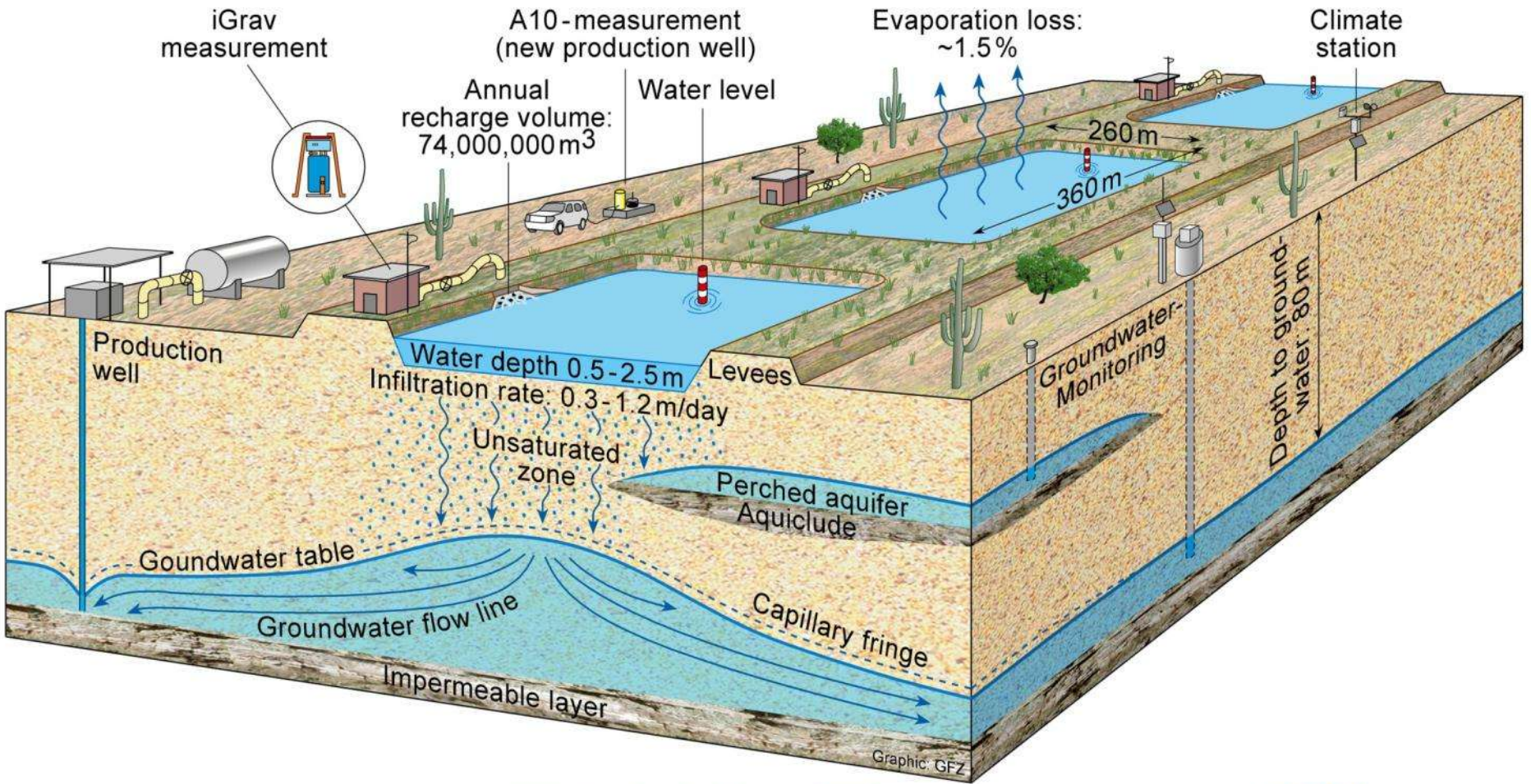
Sutherland, Südafrika



# Grundwasseranreicherungsbecken, Tucson / Arizona (USA)



# Grundwasseranreicherungsbecken, Tucson / Arizona (USA)



# Anreicherungsbecken für Grundwasser, Tucson / Arizona (USA)

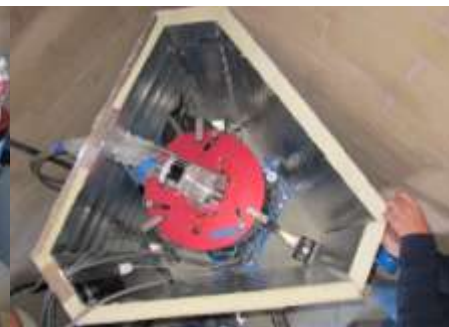
- Wie können supraleitende Gravimeter als Feldgeräte eingesetzt werden?
- Wie können Gravimeterdaten zur Erfassung hydraulischer Eigenschaften des Untergrundes eingesetzt werden?
- Kann mit Gravimeterdaten die Steuerung der Versickerungsbecken optimiert werden?



# Instrumentierung

“Geodätisches Observatorium”

Supraleitendes Gravimeter



# iGrav SG – Supraleitendes Gravimeter für flexibleren Einsatz



# Gravimetrie

## - Neue Verfahren zur Erfassung unterirdischer Wasserressourcen -

Andreas Güntner

GFZ Potsdam  
Sektion 5.4 Hydrologie

Wettzell, 16.05.2013

