

HYDROLOGISCHE EFFEKTE IN DER TERRESTRISCHEN GRAVIMETRIE

Matthias Weigelt

weigelt@gis.uni-stuttgart.de

18.11.2011

oder ...

oder ...

Gravimeter



oder ...

Gravimeter



Seismologische
Station Membach
Belgien



oder ...

Gravimeter



Staufen
im Breisgau

Seismologische
Station Membach
Belgien



oder ...

Gravimeter



Staufen
im Breisgau

Seismologische
Station Membach
Belgien



Pyramiden von Gizeh

- Gravimetrie
- Hydrologische Einflüsse
- Anwendungsbeispiele



GRAVIMETRIE

Methoden der Schweremessung

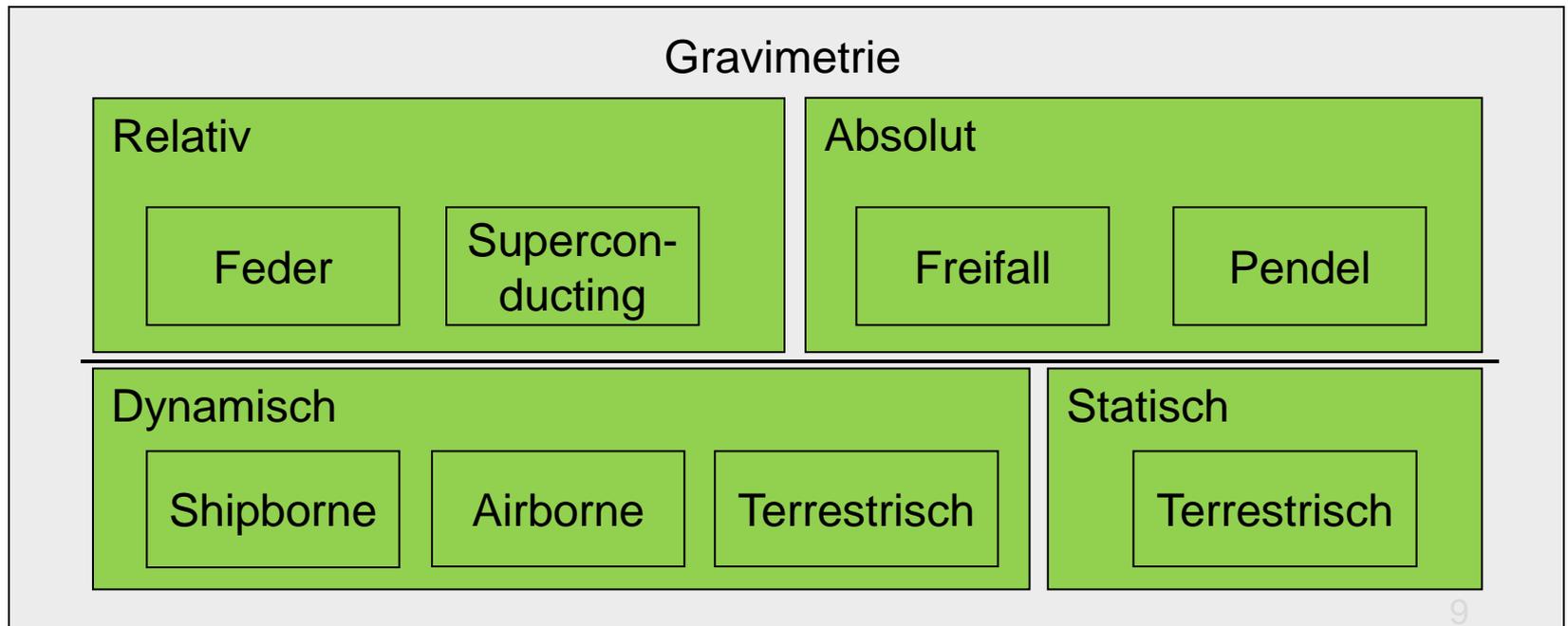
satellitengestützt

Schwerefeld-
missionen

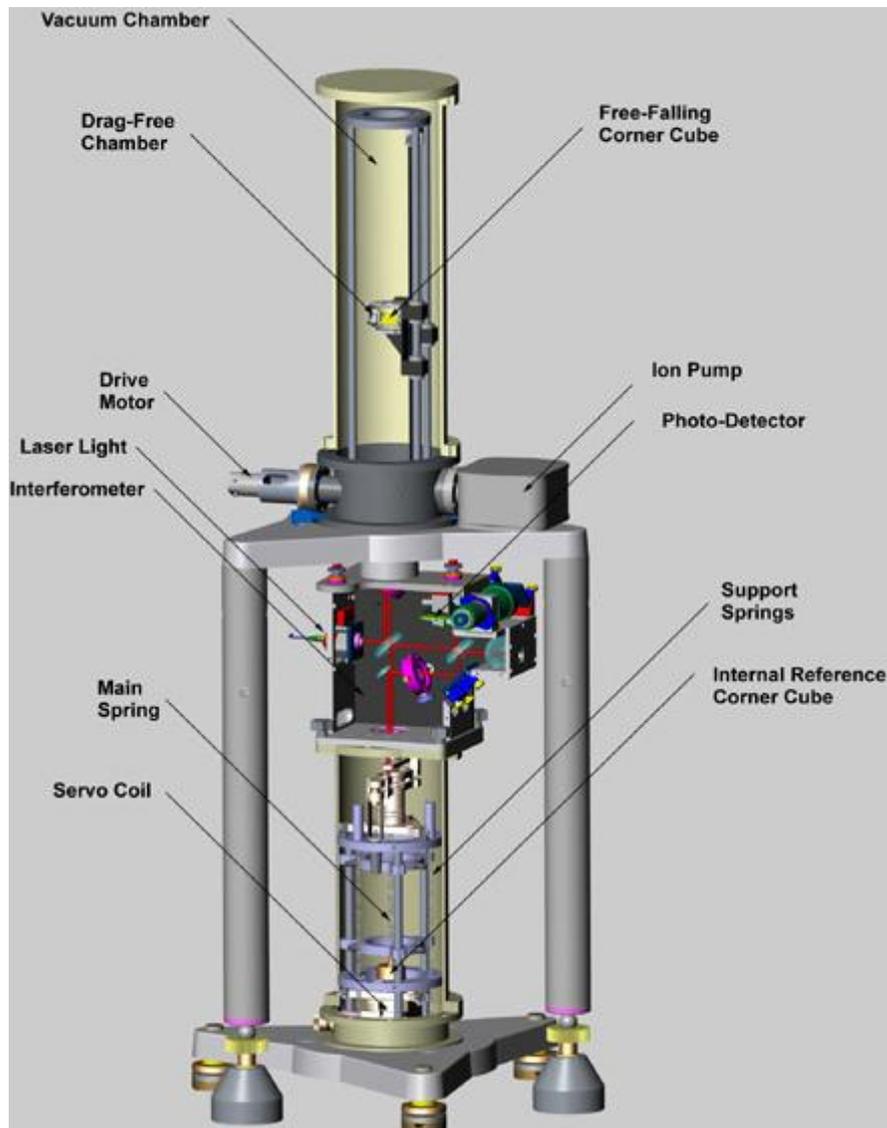
Satelliten-
altimetrie

SLR

terrestrisch



Absolute Gravimetrie - Freifallmethode



Grundgleichung:

$$\ddot{z} = g$$

$$g = \frac{2}{t^2} (z - z_0 - \dot{z}_0 t)$$

- Distanzmessung per Laserinterferometrie
- Zeitmessung mit Atomuhr
- Genauigkeit: $1-3 \mu Gal$

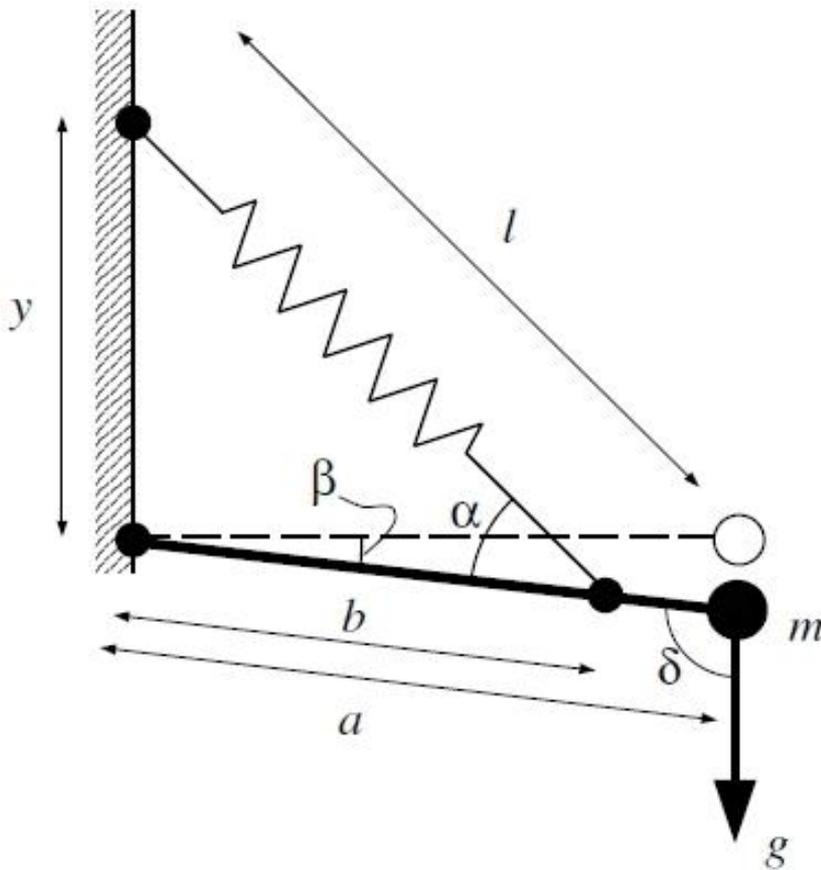
$$(1 \mu Gal = 10^{-8} \frac{m}{s^2} \approx 10^{-9} g_{\text{Erde}})$$

Relative Gravimetrie - Federmethode

Prinzip einer generalisierten Hebel-Feder-Waage:

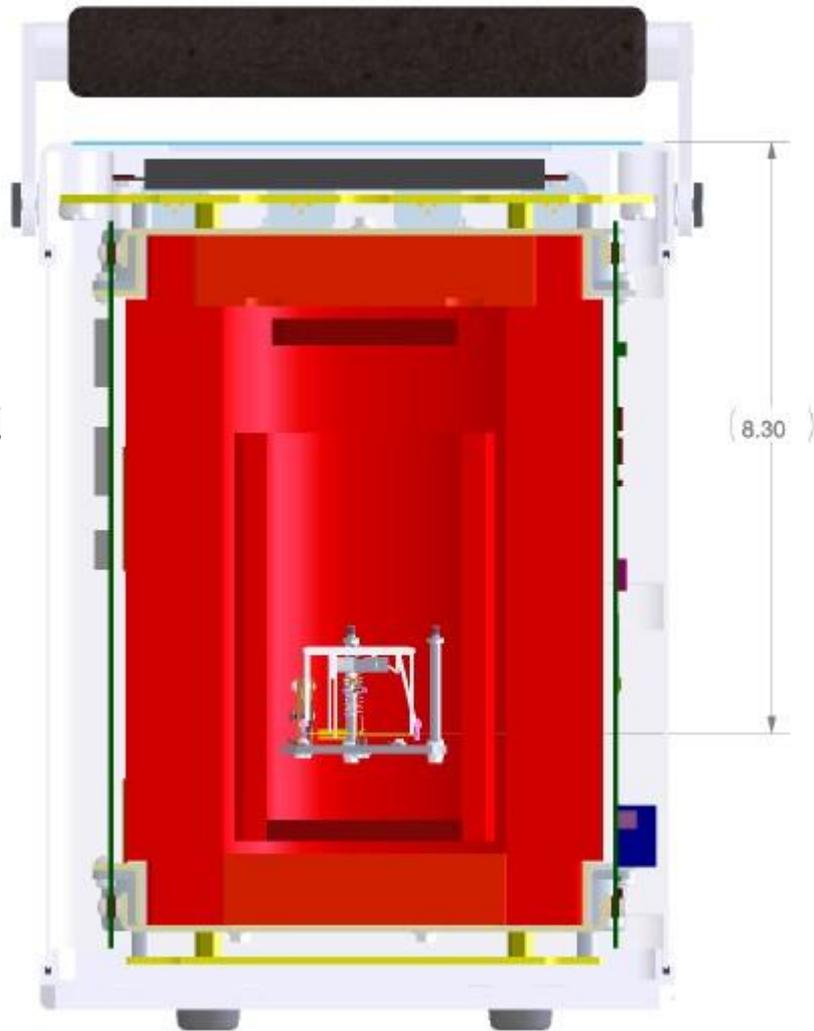
$$\frac{dg}{dl} = \frac{k}{m} \frac{b}{a} \frac{l_0}{l^2} y$$

$$dg = \kappa dl$$



- Bestimmung von Schweredifferenzen
- Messung von Positionsänderungen
- Drift: $\approx 20 \mu Gal/d$
- Genauigkeit: $5 - 10 \mu Gal$

Relative Gravimetric - Spring Method



© Scintrex



© Scintrex

Supraleitende Gravimetrie

GWR
INSTRUMENTS, INC



- Gruppe der relativen Gravimeter
- Messung der magnetischen Rückstellkräfte, um eine Testmasse in Schwebung zu halten
- Aufbau häufig in Minen oder unterirdischen Bunkern
- Drift: $\approx 1 \mu Gal/a$
- Genauigkeit: $0.001 - 0.01 \mu Gal$

Externe Masseneinflüsse

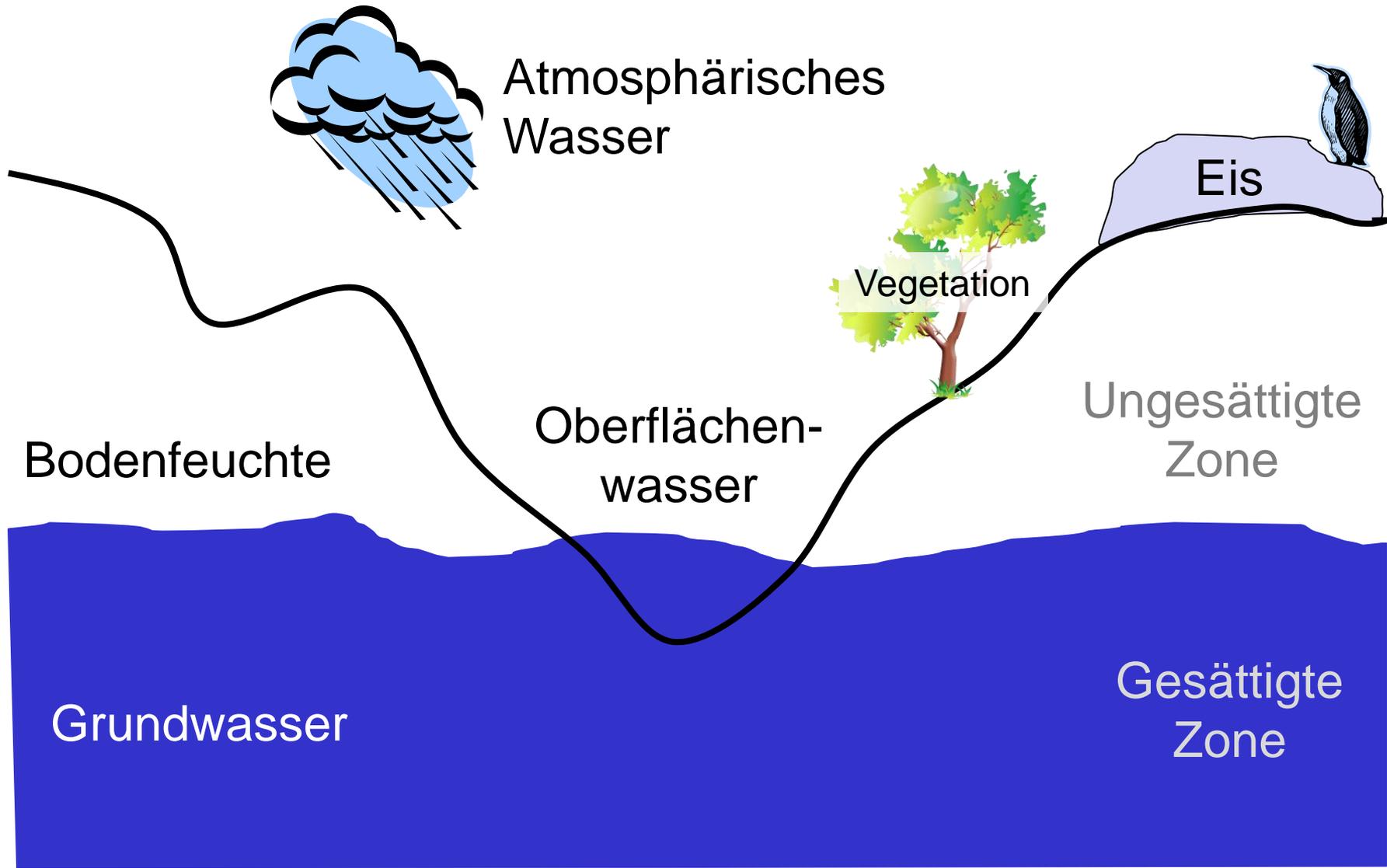
		AG	RG	SG
Gezeiten (Drittkörperkräfte)	$\pm 300 \mu Gal$	✓	✓	✓
Deformationen durch Gezeiten	$\pm 10 \mu Gal$	✓	✓	✓
Ozeangezeiten	$10 \frac{\mu Gal}{m}$	10 cm	50 cm	1 mm
Atmosphärischer Luftdruck	$0.36 \frac{\mu Gal}{mbar}$	3 mbar	15 mbar	0.03 mbar
Hydrologie	$41,9 \frac{\mu Gal}{m}$	2,5cm	12,1cm	0.2mm

in Böden Multiplikation mit der Porosität: $41,9 \frac{\mu Gal}{m} \Phi$



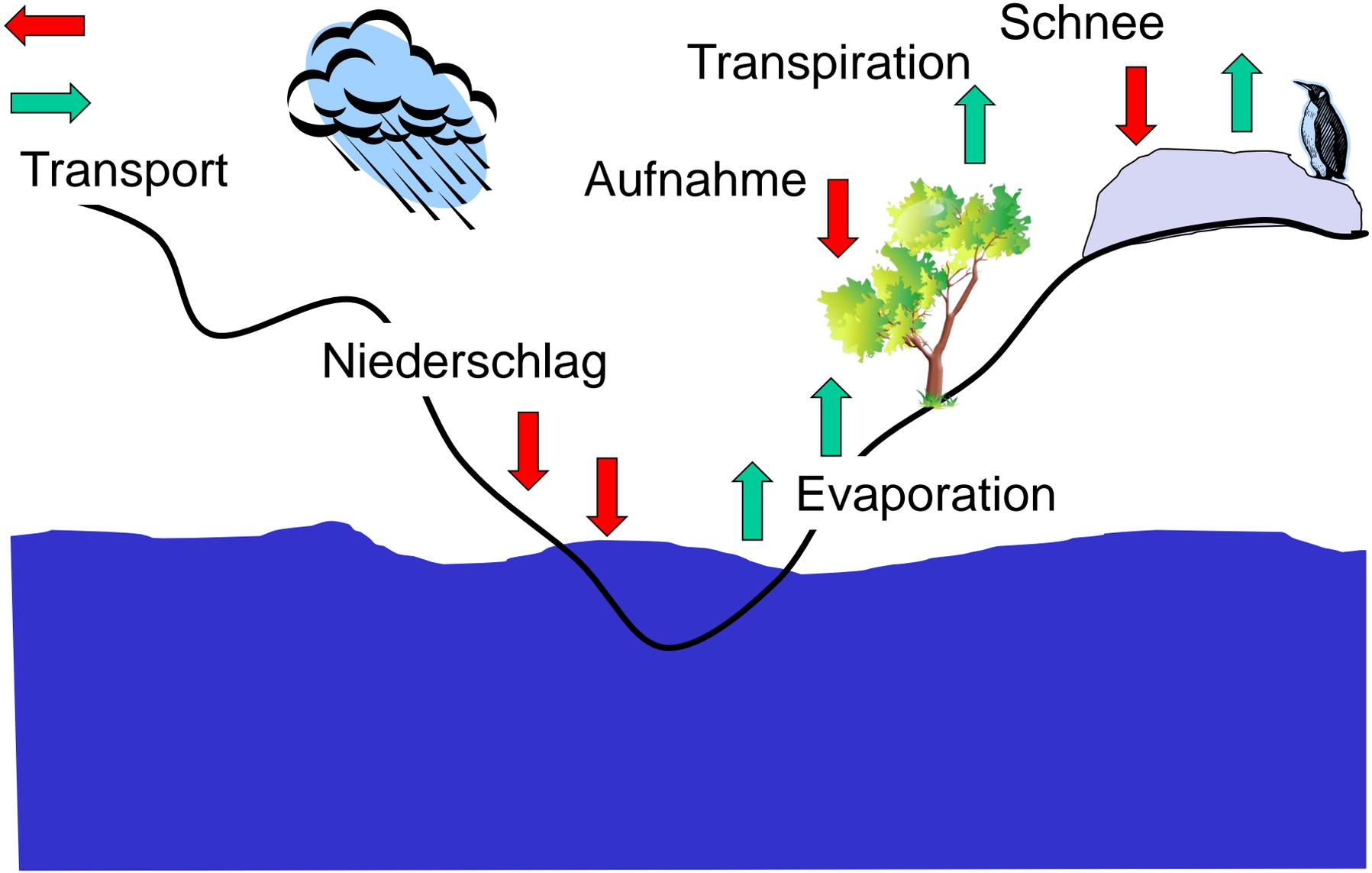
HYDROLOGISCHE EFFEKTE

Hydrologie



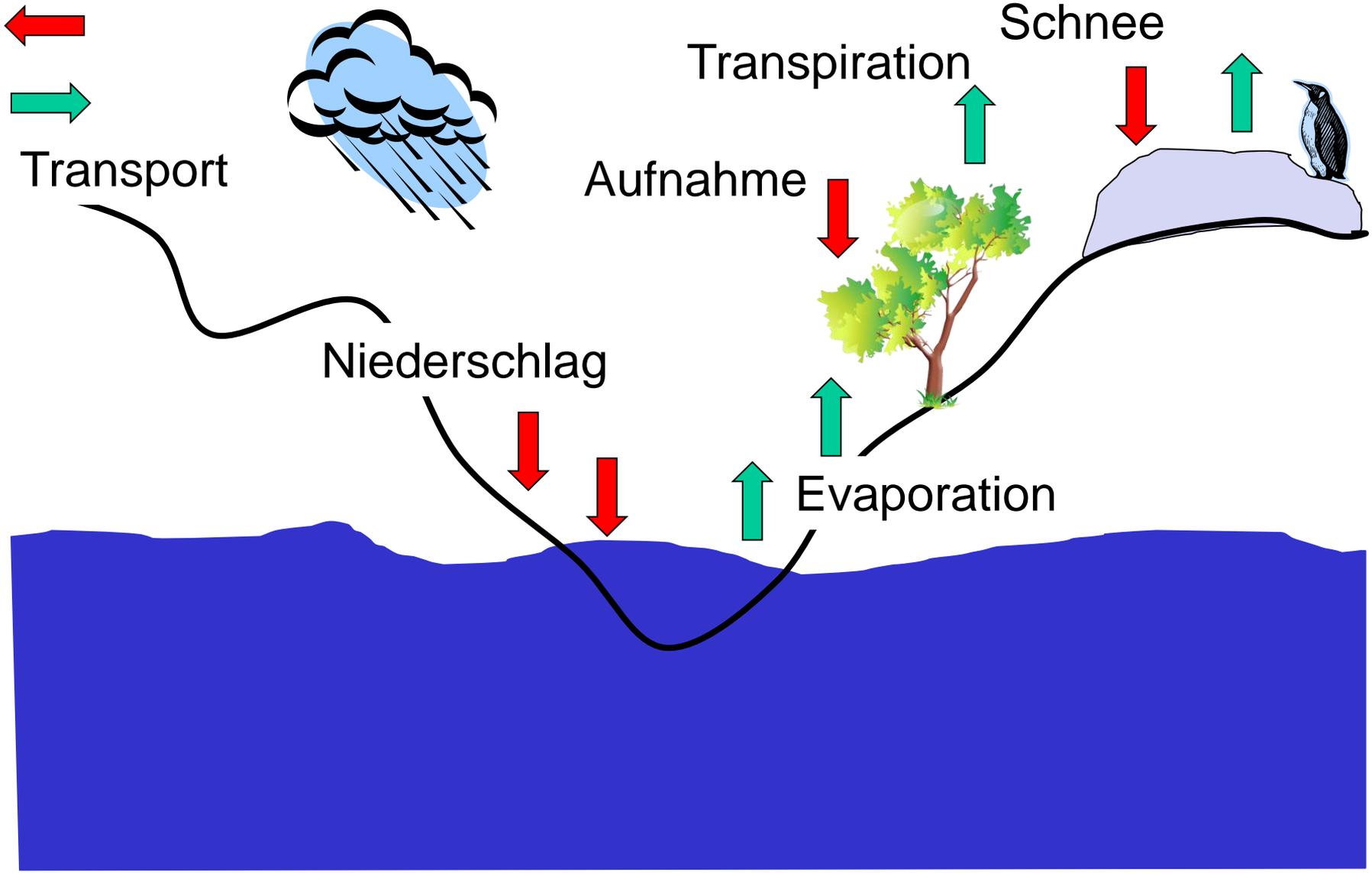
Wassertransporte – z.B. Atmosphäre

Sublimation



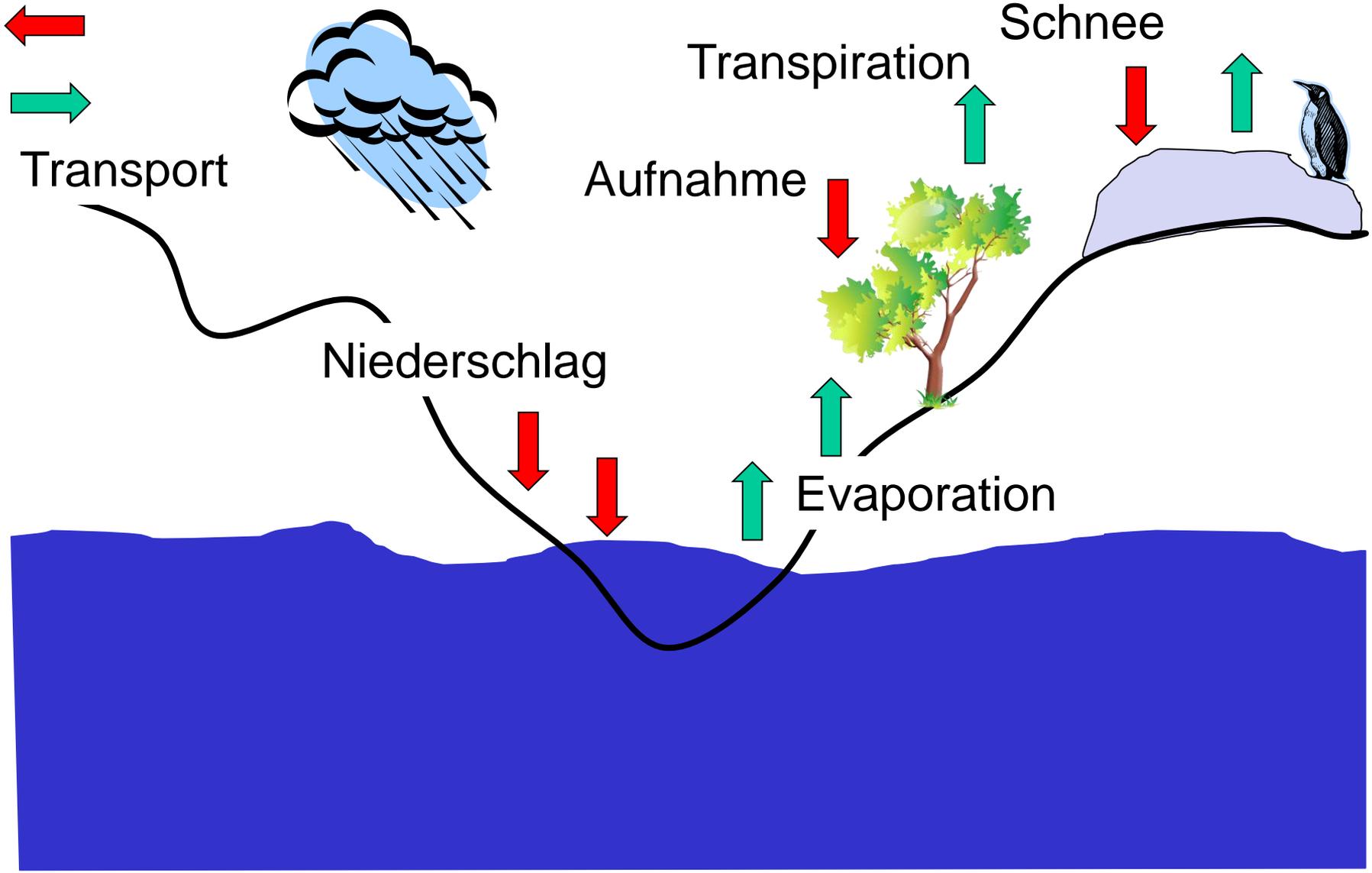
Wassertransporte – z.B. Atmosphäre

Sublimation

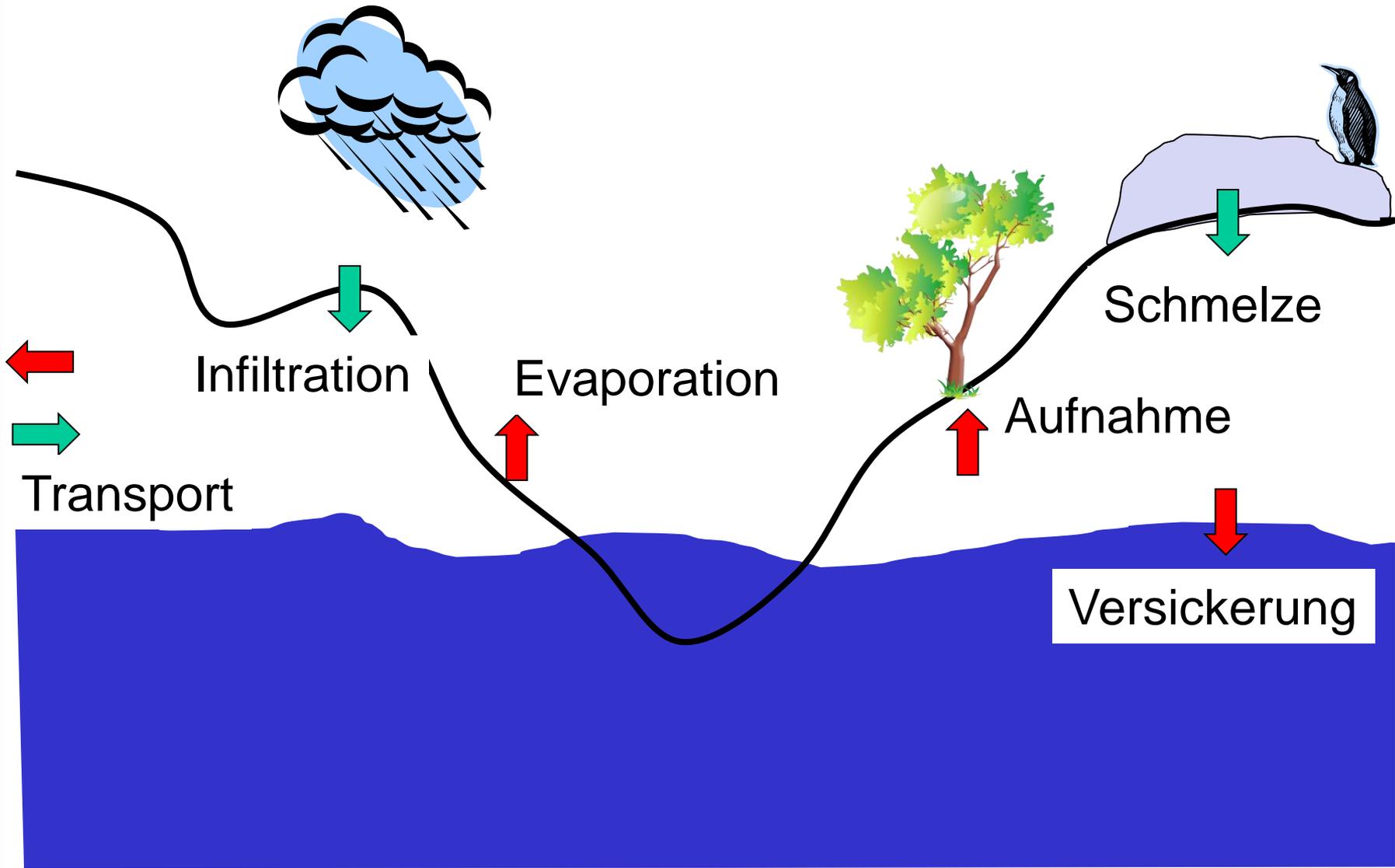


Wassertransporte – z.B. Atmosphäre

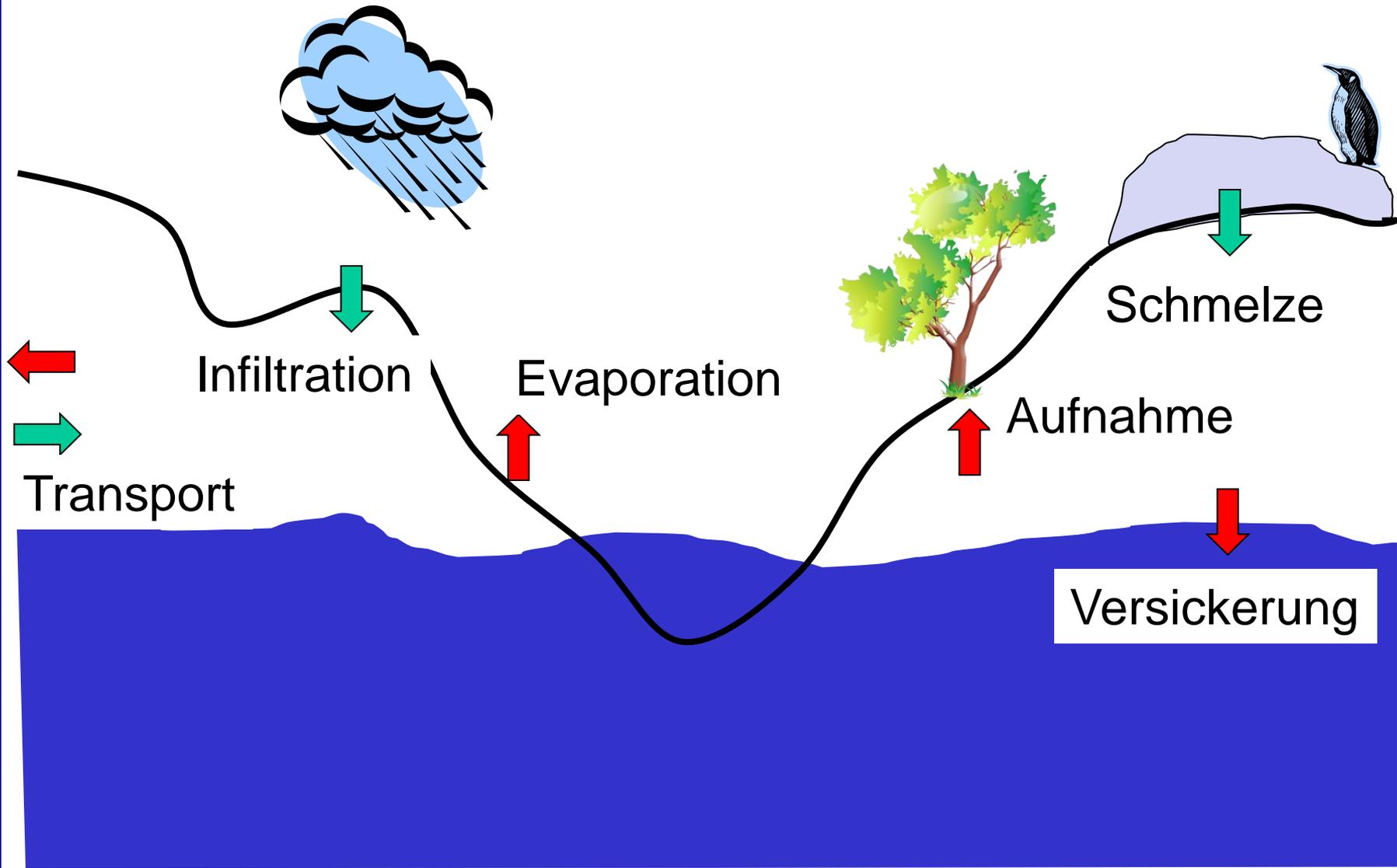
Sublimation



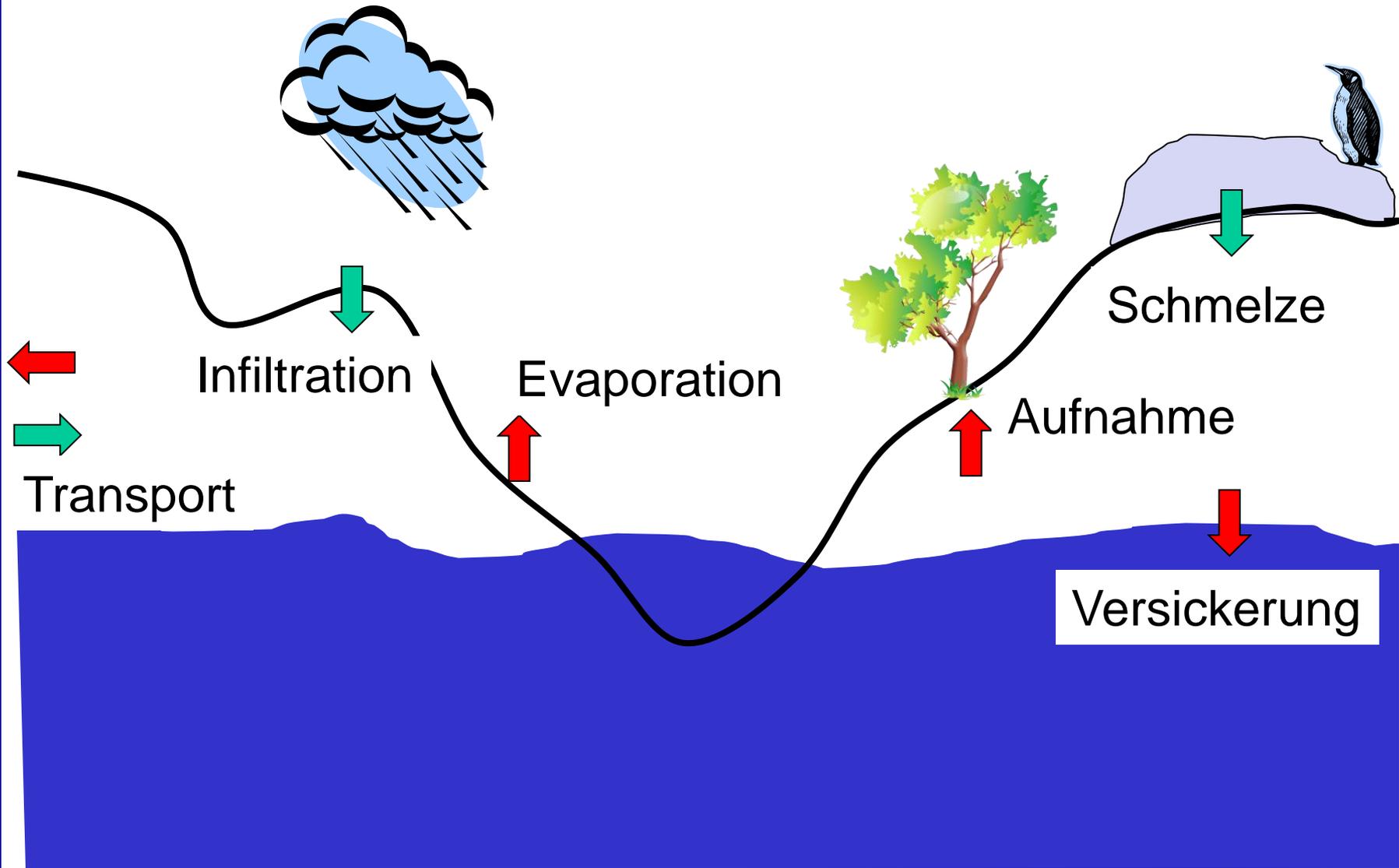
Hydrologie – z.B. Bodenfeuchte



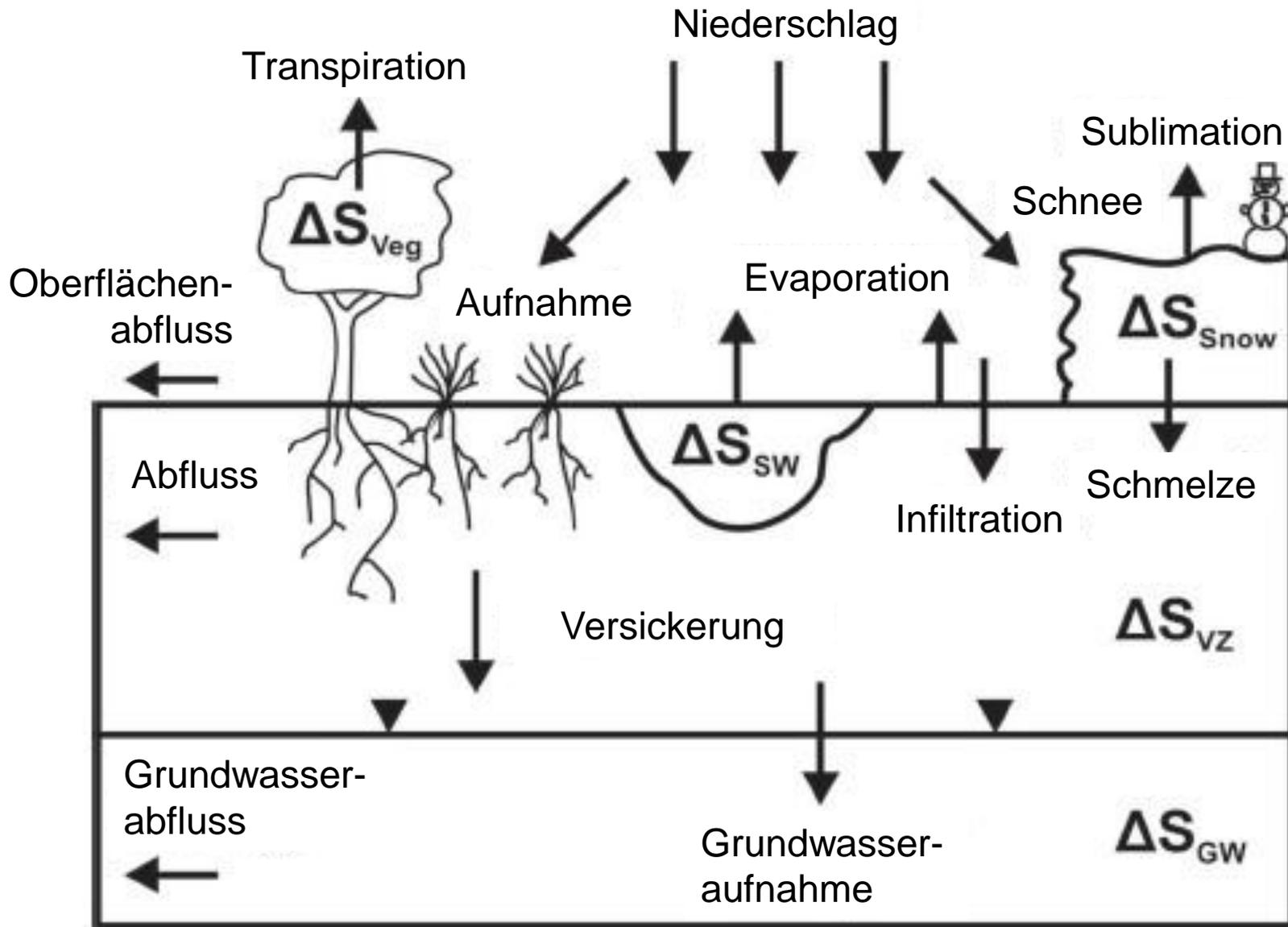
Hydrologie – z.B. Bodenfeuchte



Hydrologie – z.B. Bodenfeuchte

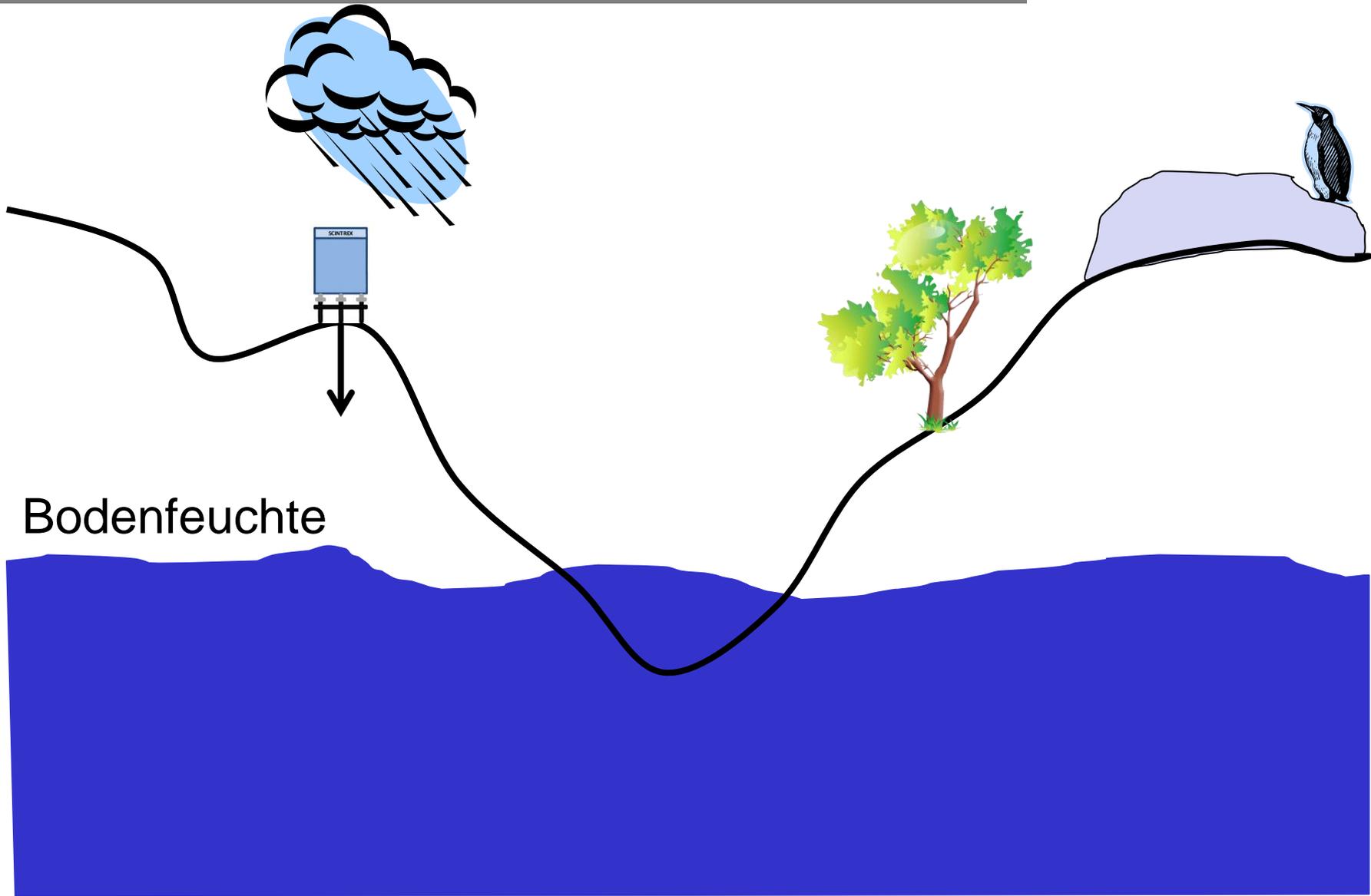


Massentransporte

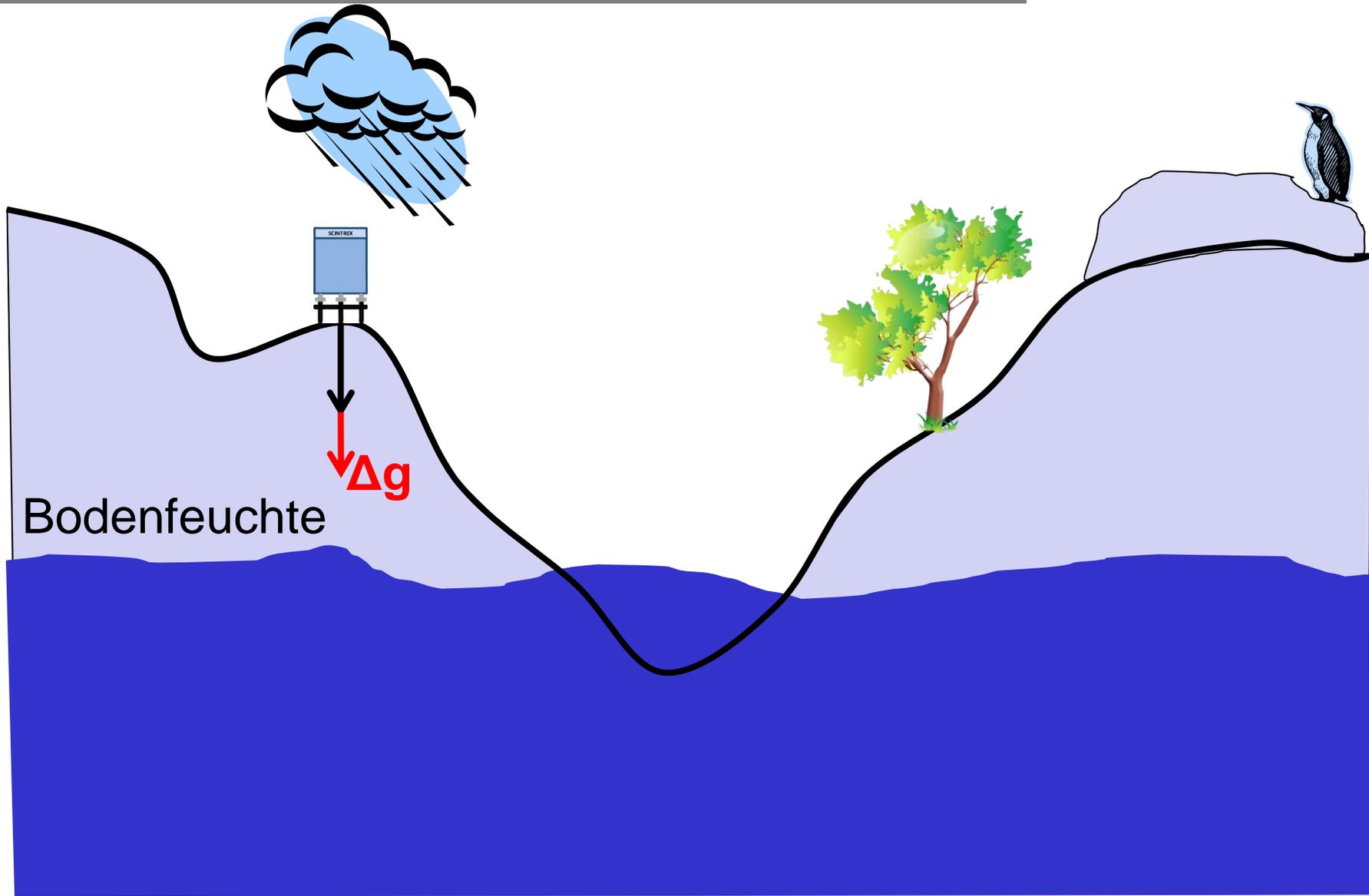


nach Creutzfeldt 2010

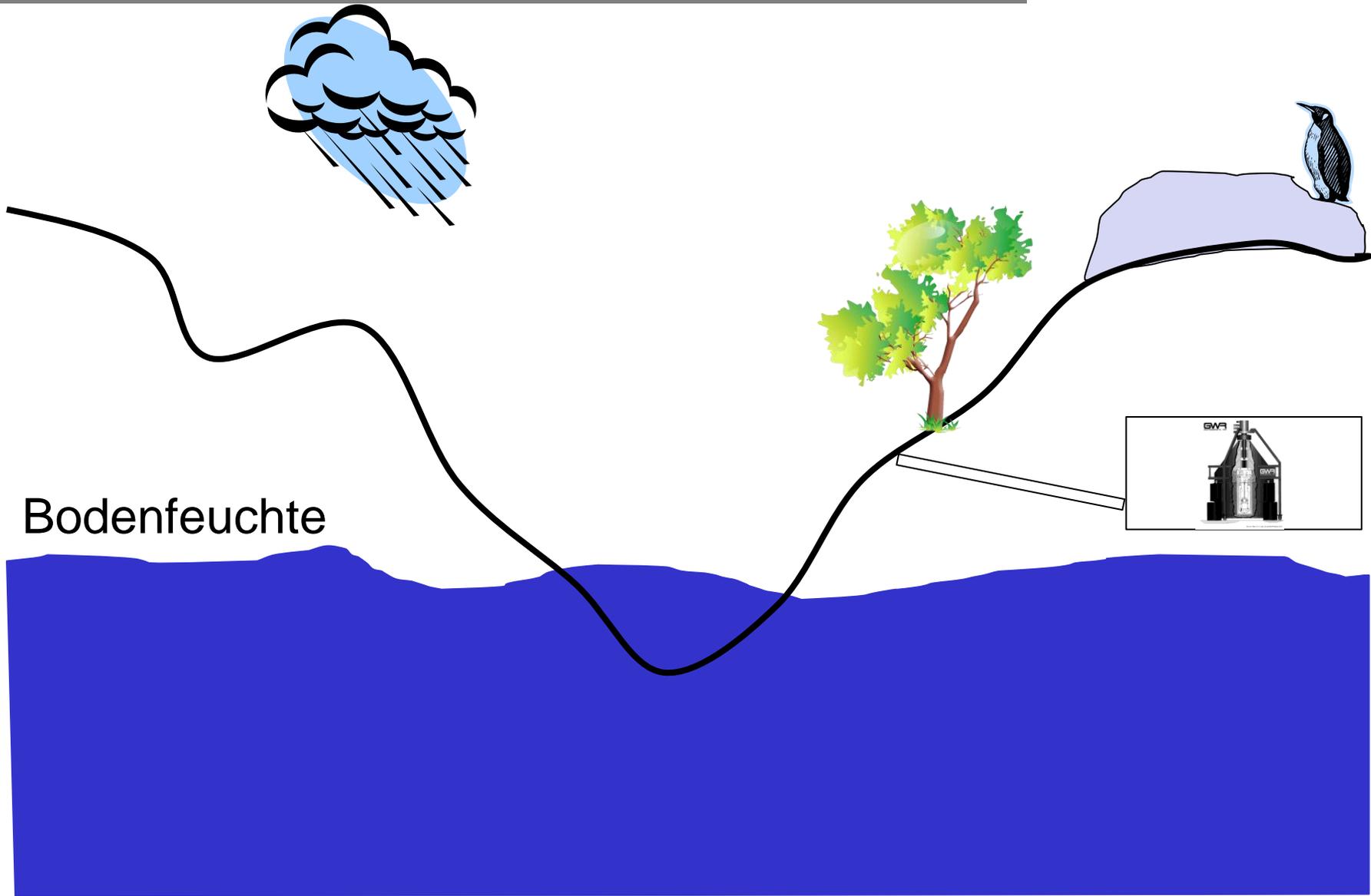
Schwereeinfluss



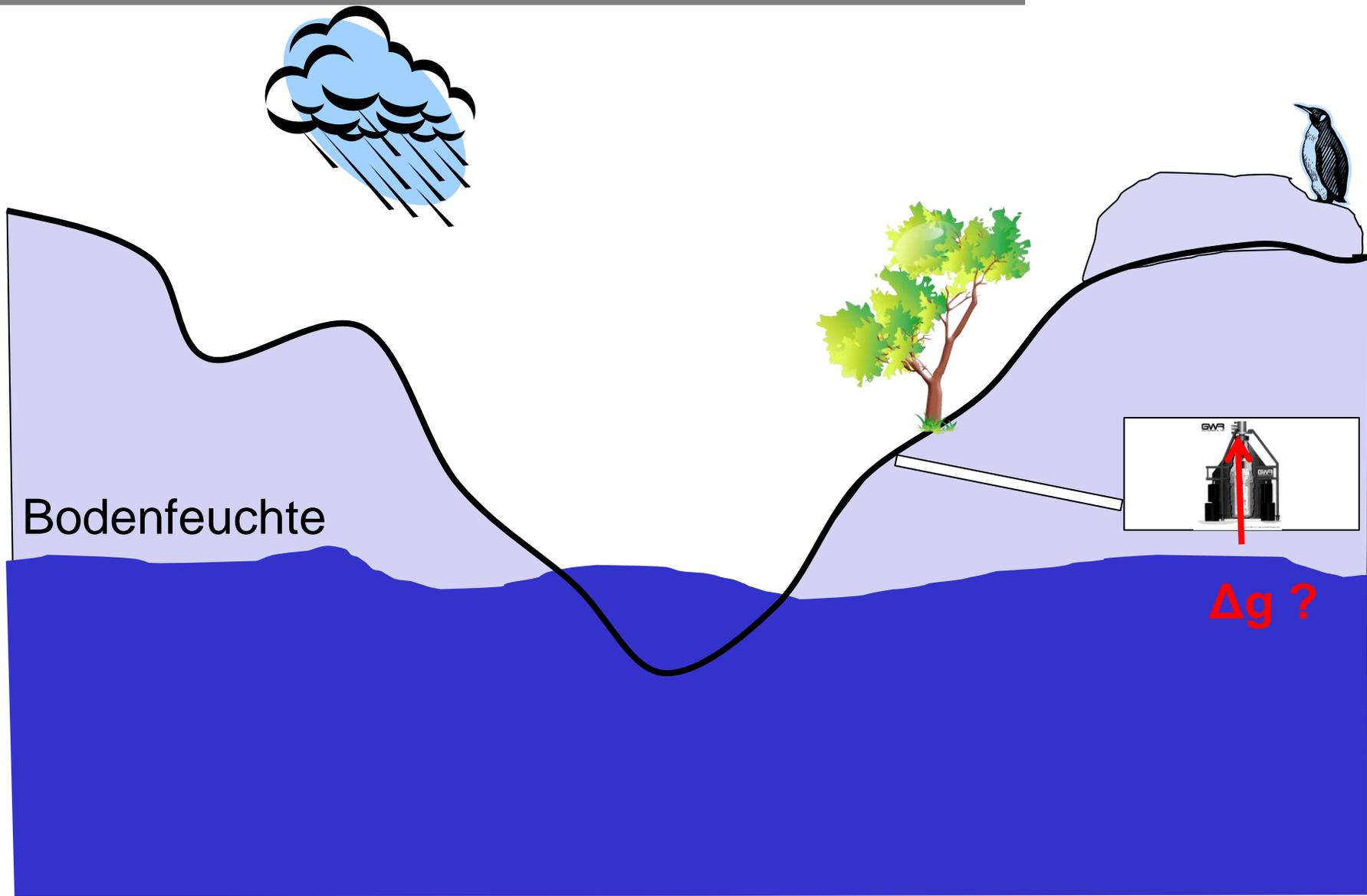
Schwereeinfluss



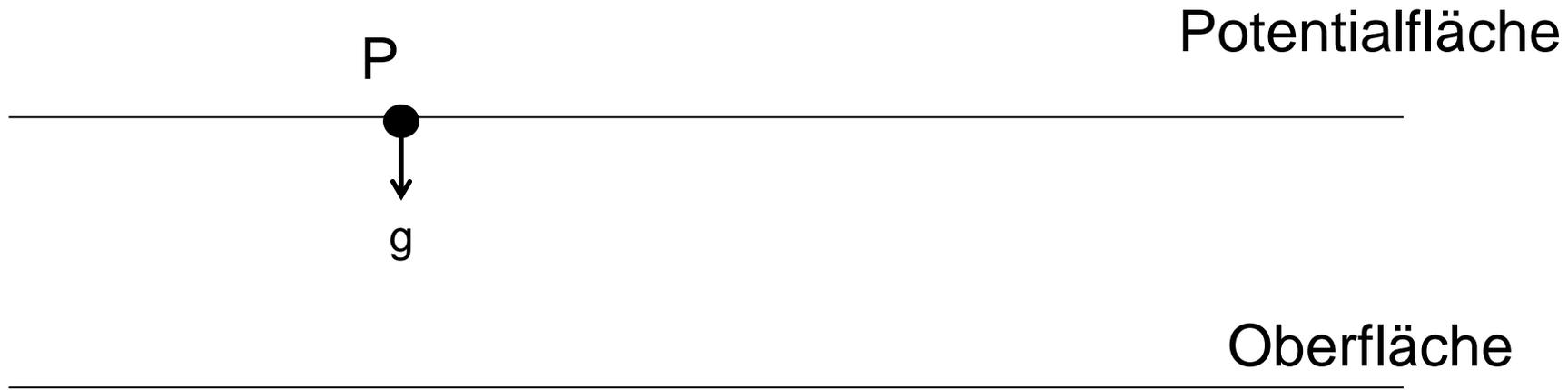
Schwereeinfluss



Schwereeinfluss

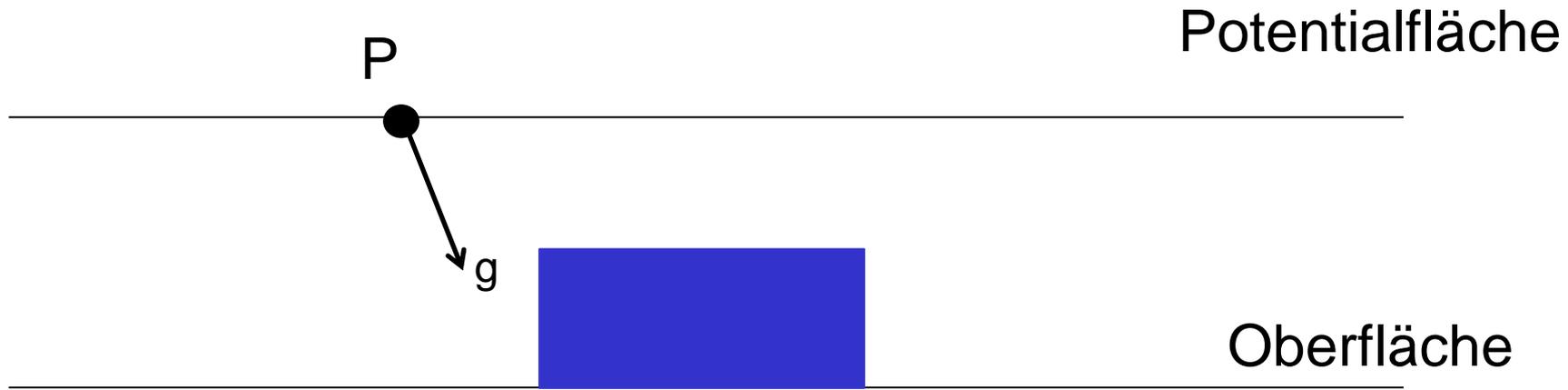


Newton + Deformation



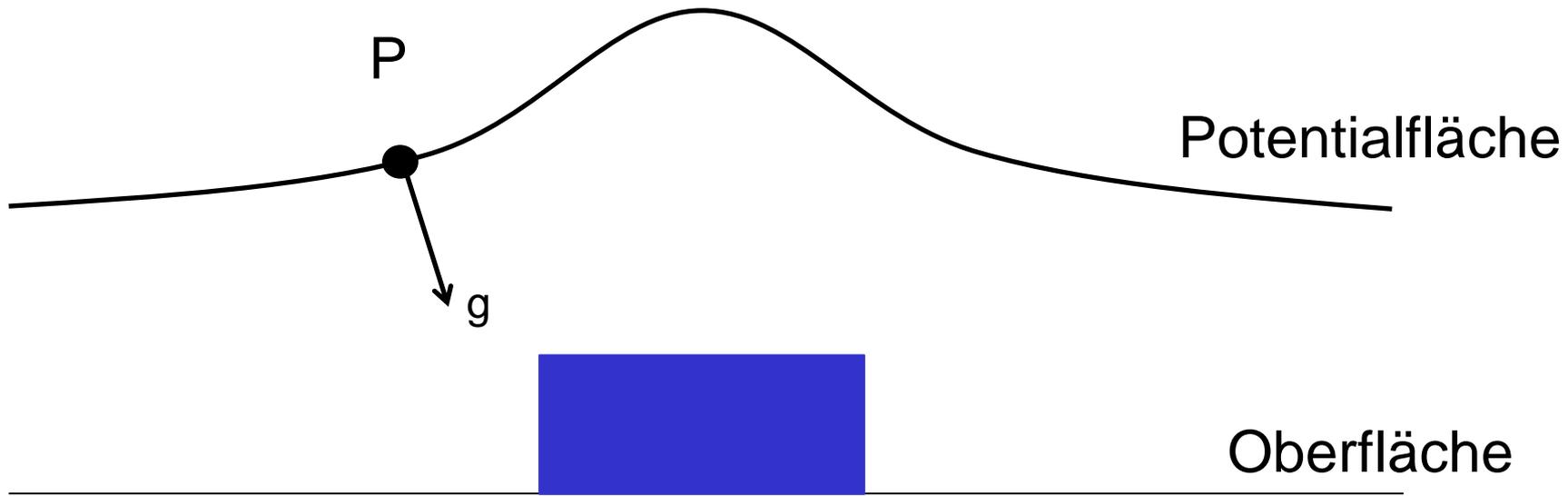
$$V = V_0$$

Newton + Deformation



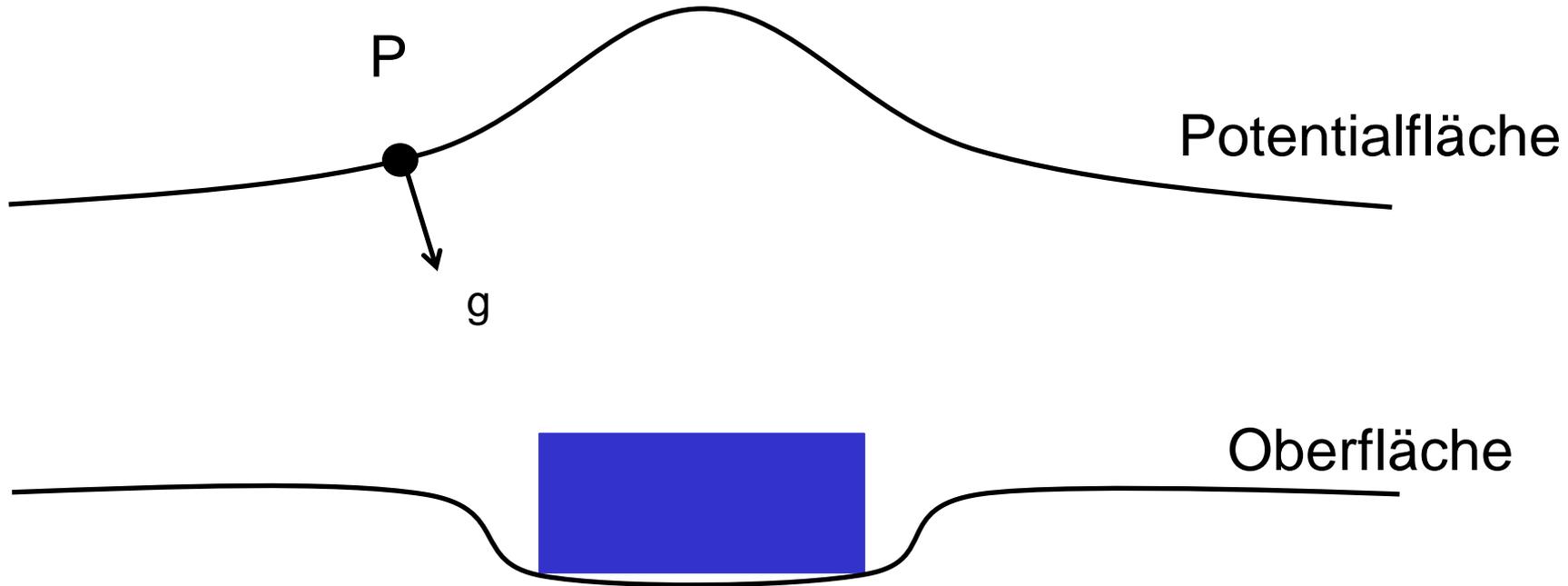
$$V = V_0 + V_D$$

Newton + Deformation



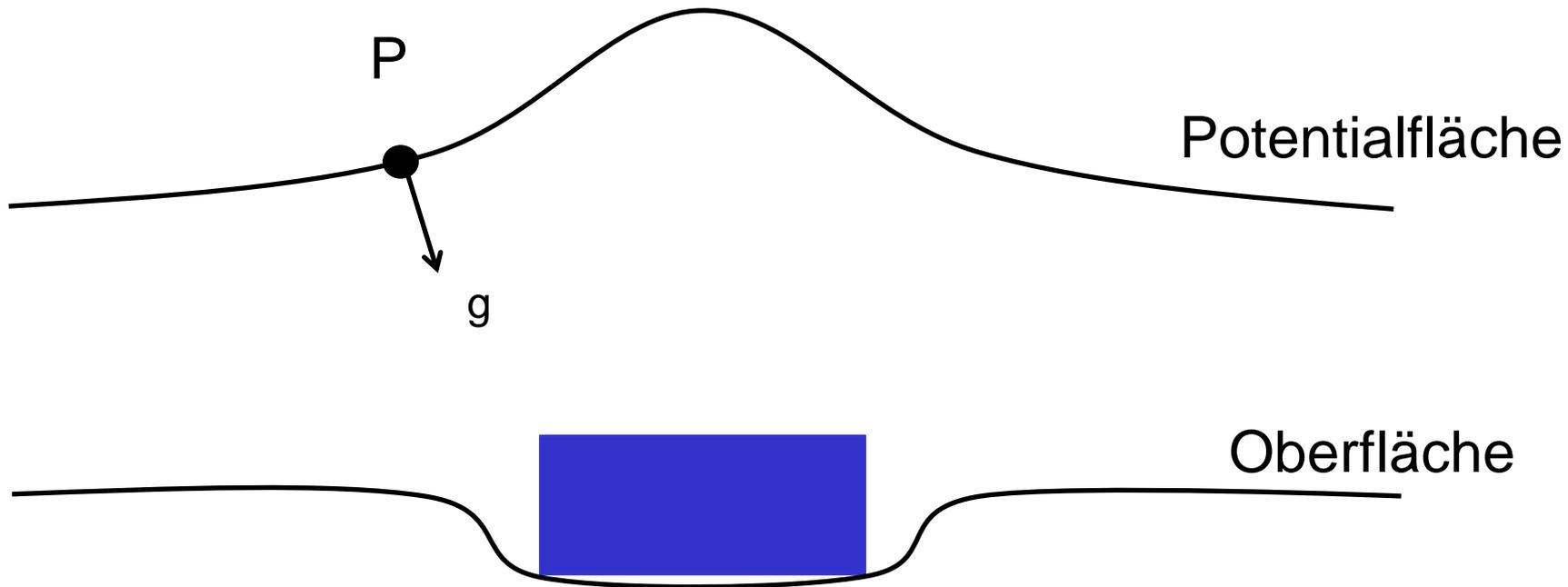
$$V = V_0 + V_D + V_{ID}$$

Newton + Deformation



$$V = V_0 + V_D + V_{ID} - g \cdot \Delta z$$

Newton + Deformation



$$V = V_0 + V_D + V_{ID} - g \cdot \Delta z$$

$$= V_0 (1 + k - h) \quad \text{mit } k \approx 0.3, h \approx 0.6$$

Räumliche Skalen für $\sigma_g \geq 1 \mu Gal$

- nach einer Studie von Llubes et al. (2004)
- Unterteilung in drei Gebietsgrößen
- Richtlinie für Absolut- und (transportable) Relativgravimeter

Gebiet	Skala	Schwere
lokal	< 10 km	Direkter Effekt
regional	< 600 km	-
global	> 600 km	Indirekte Effekte + Auflasten

Räumliche Skalen für $\sigma_g \geq 0.01 \mu Gal$

- nach einer Studie von Llubes et al. (2004)
- Unterteilung in drei Gebietsgrößen
- Richtlinie für Supraleitende Gravimeter

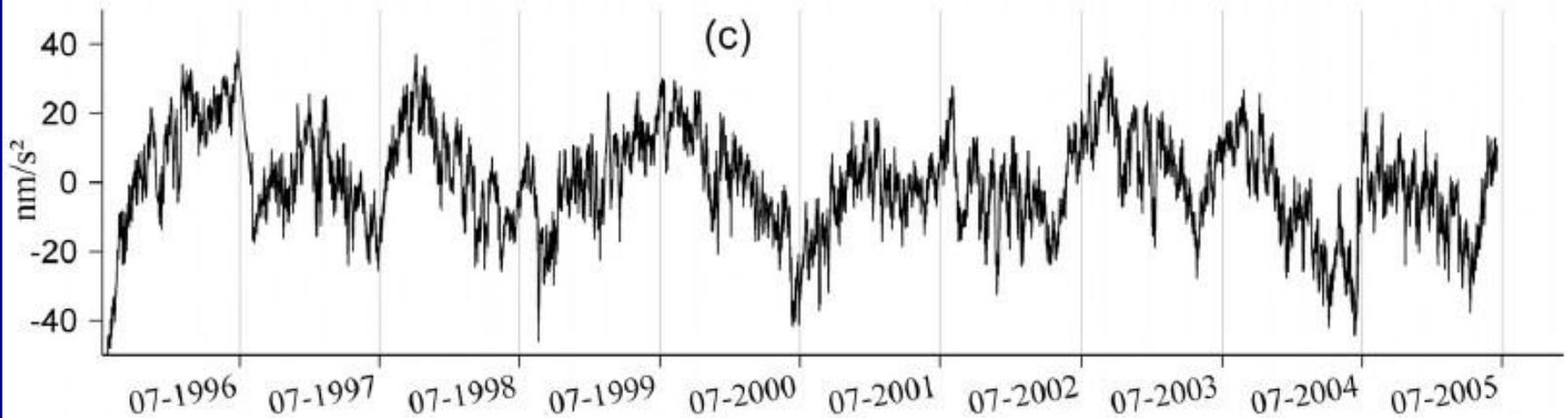
Gebiet	Skala	Schwere
lokal	< 10 km	Direkter Effekt
regional	< 600 km	Direkter Effekt + Indirekte Effekte + Auflasten
global	> 600 km	Direkter Effekt + Indirekte Effekte + Auflasten



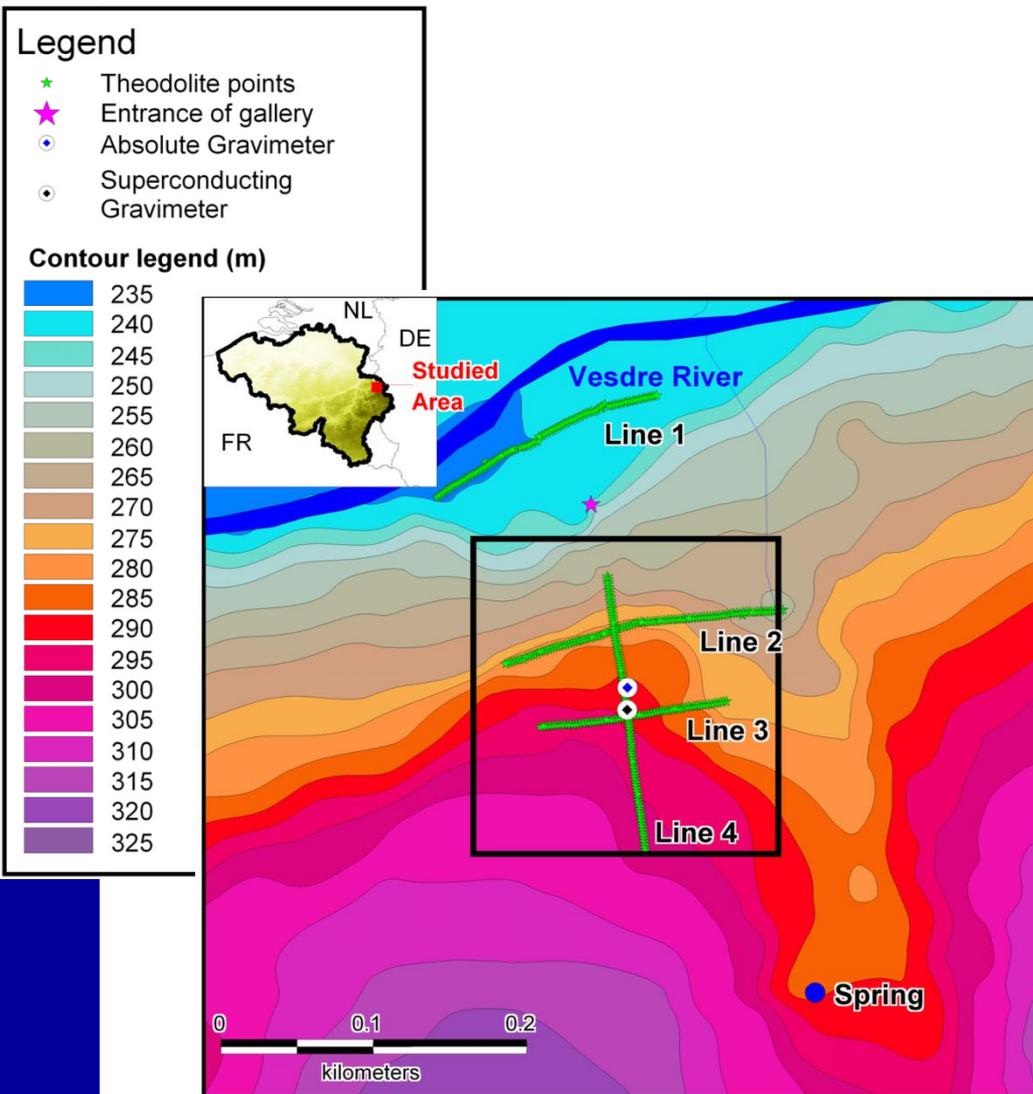
ANWENDUNGSBEISPIELE

Supraleitende Gravimetrie – Station Membach

- Studie von Van Camp et al. (2006)
- Untersuchung des Einflusses hydrologischer Effekte auf Messungen eines supraleitenden Gravimeters
- Anwendung im Sinne einer Korrektur an die Messungen
- Residuen nach Abzug aller bekannten Störeffekte



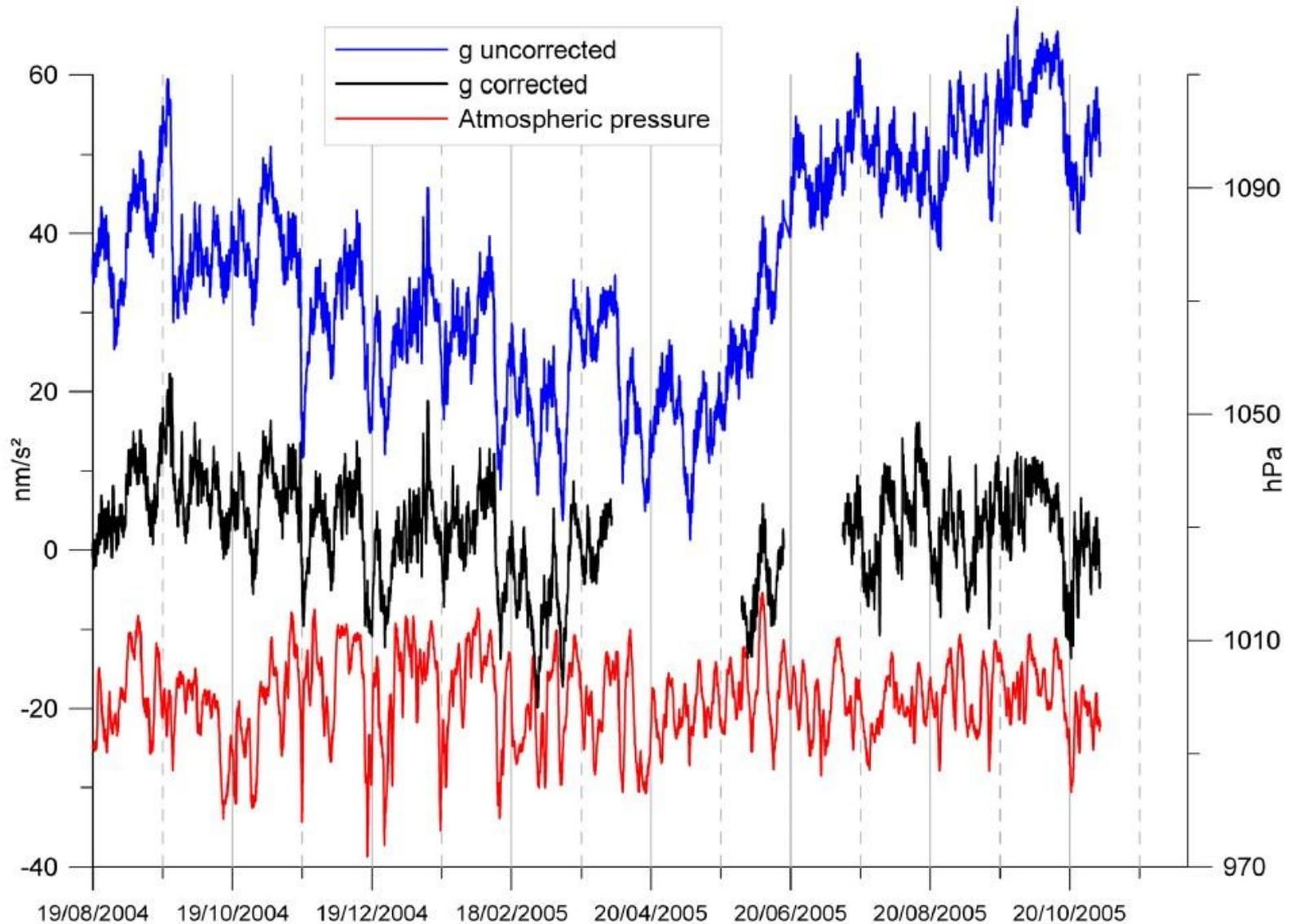
Lokale Modellierung



Zusätzliche Messungen:

- Wasserstände von Wasserreservoirs
- Niederschlagsmengen
- Lokale Petrologie mittels Tomography
- Bodenfeuchte
- Digitales Geländemodell

Supraleitende Gravimetrie – Station Membach



Supraleitende Gravimetrie & Hydrologie

- Studie von Creutzfeld (2010): Kalibration von hydrologischen Modellen mittels supraleitender Gravimetrie
- Vorteil: Kalibration mit integralem Signal
- Nachteil: Trennung von Quellen und Variationen einzelner Komponenten nicht möglich

Supraleitende Gravimetrie & Hydrologie

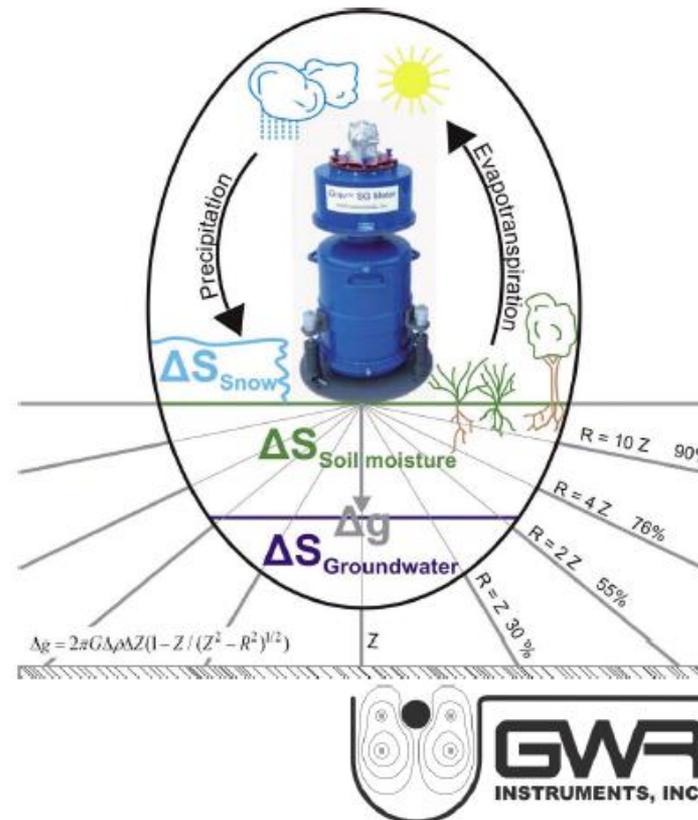
- Studie von ...
- hydrologische ...
- Gravimetrie ...
- Vorteil: Ka ...
- Nachteil: T ...
- einzelner ...

The World's Most Stable & Precise Gravity Meter

Superconducting Gravity Meter: A new hydrological tool

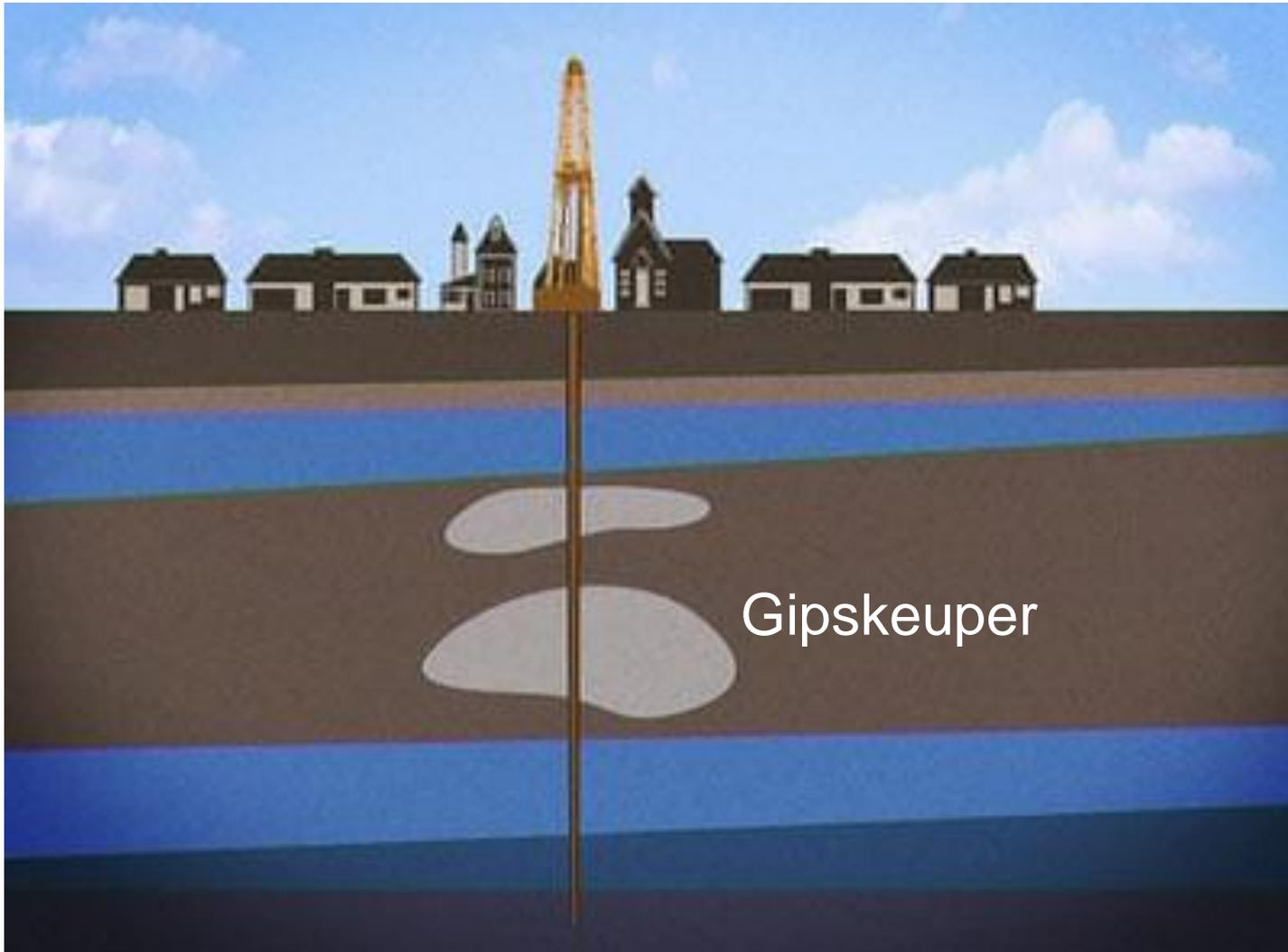
The *iGrav*TM SG

Continuous and Non-invasive Monitoring of Water Storage at the Field Scale with the High Precision and Ultra Stable Gravity Meter.

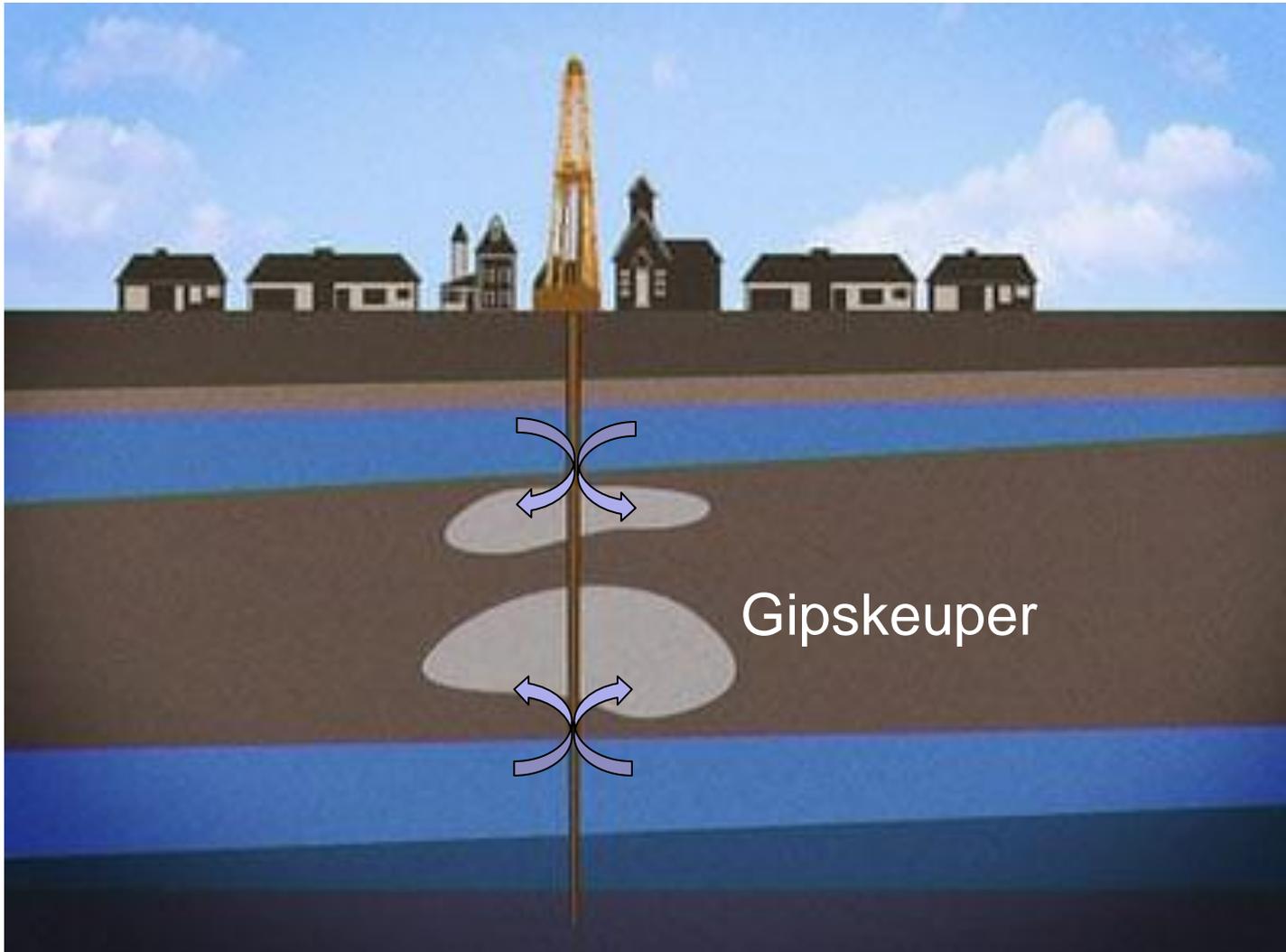


von
ender
ationen

Geothermieunfall Staufen



Geothermieunfall Stufen



Geothermieunfall Stufen

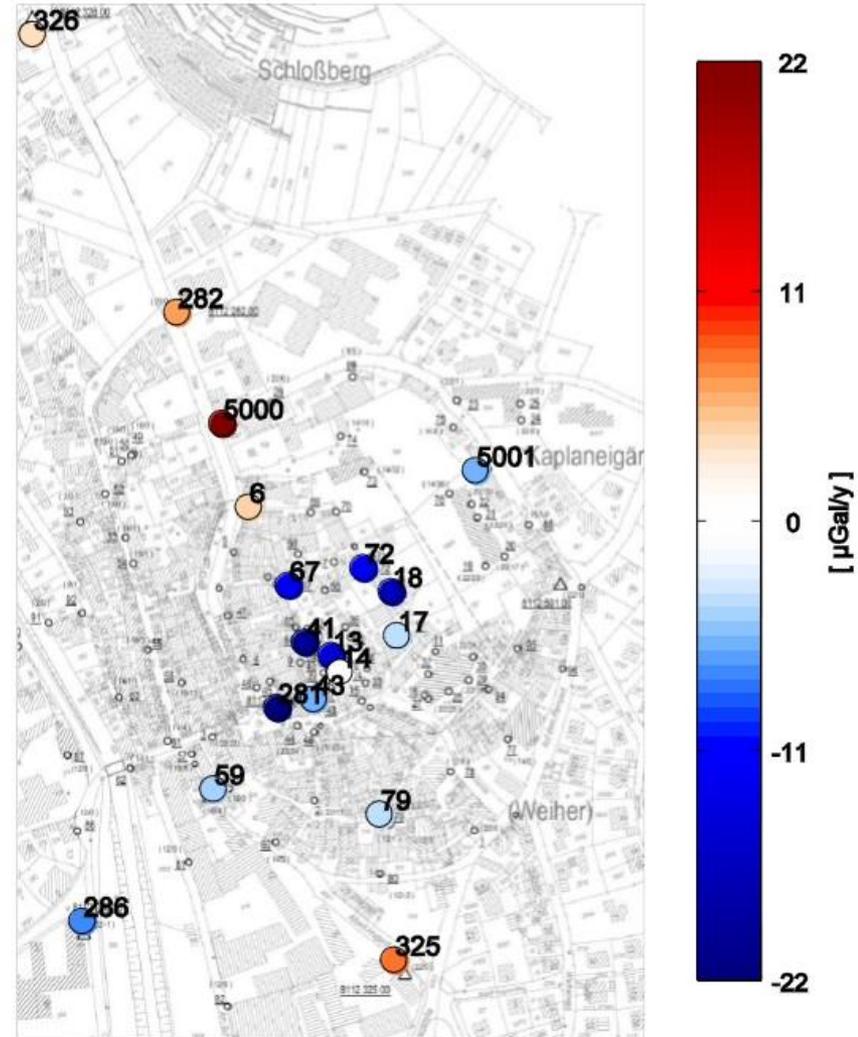
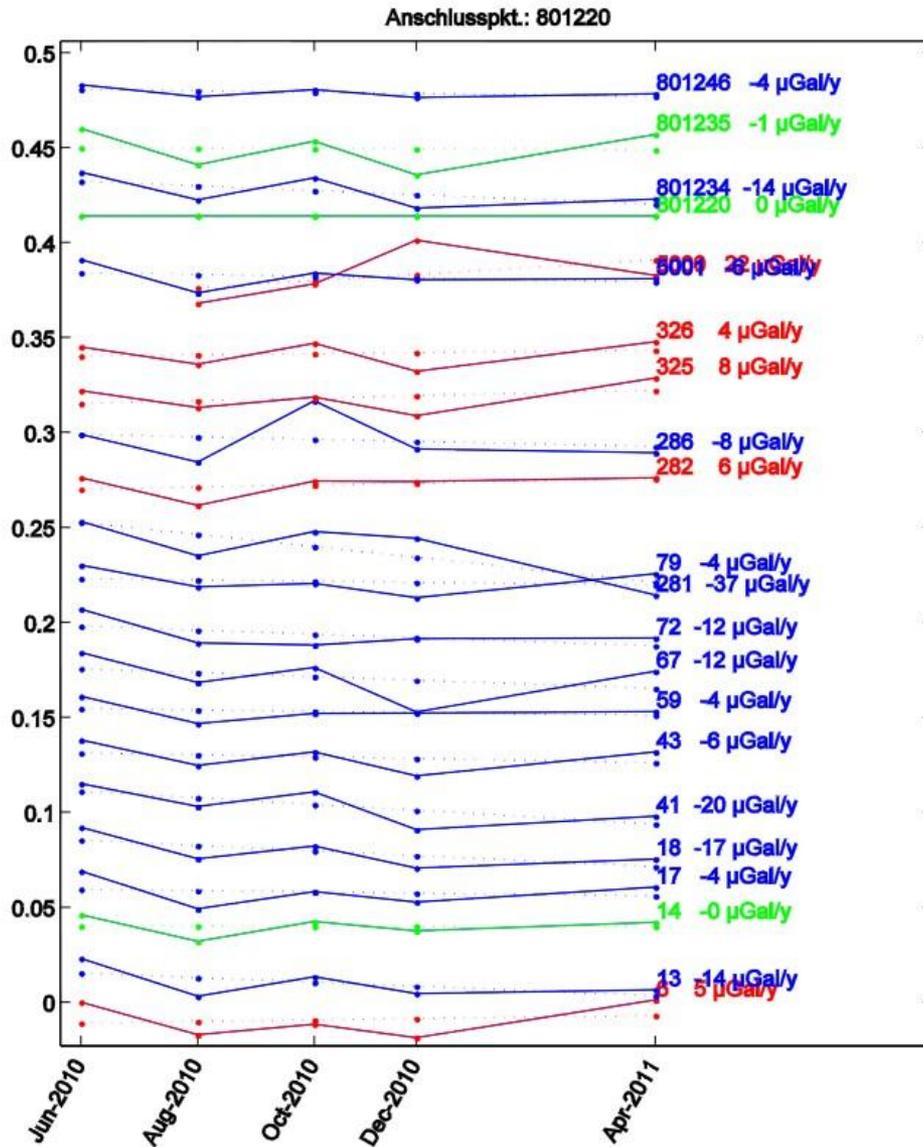


Geothermieunfall Staufen - Schäden

- Maximale Hebung: 30cm
- 247 Häuser schwer beschädigt
- Kosten 50+ Millionen Euro



Messkampagne Staufen

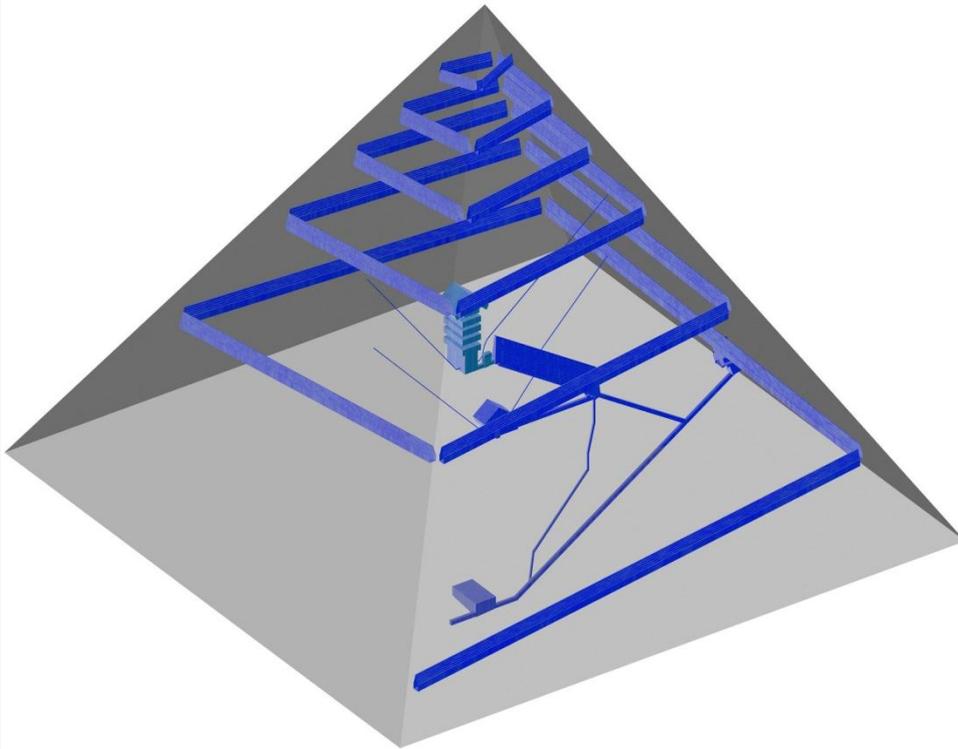


Ein hydrologischer Effekt der anderen Art ...



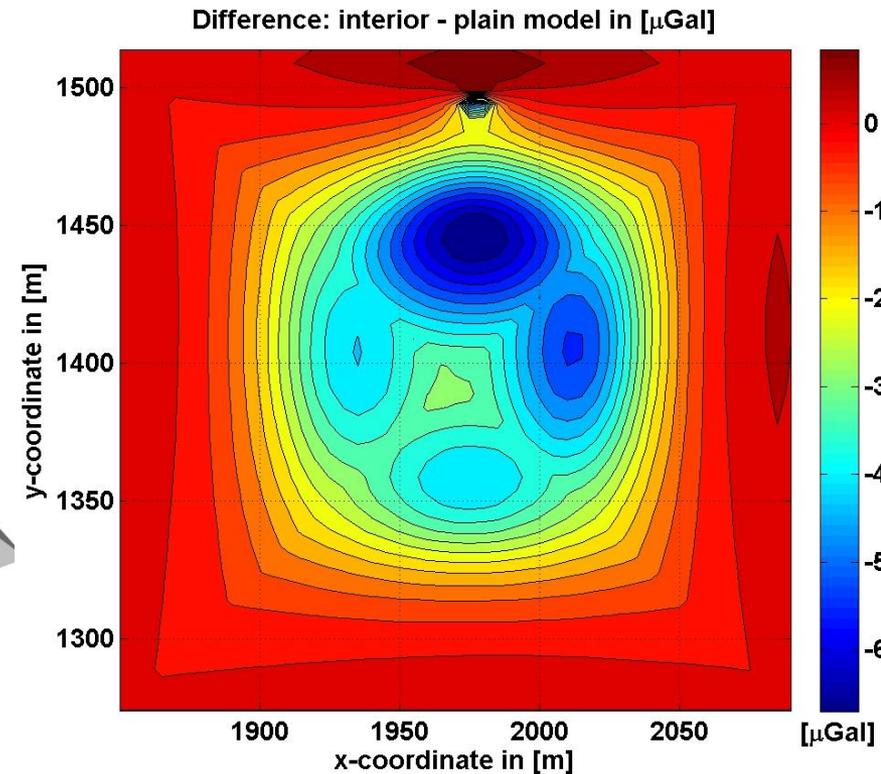
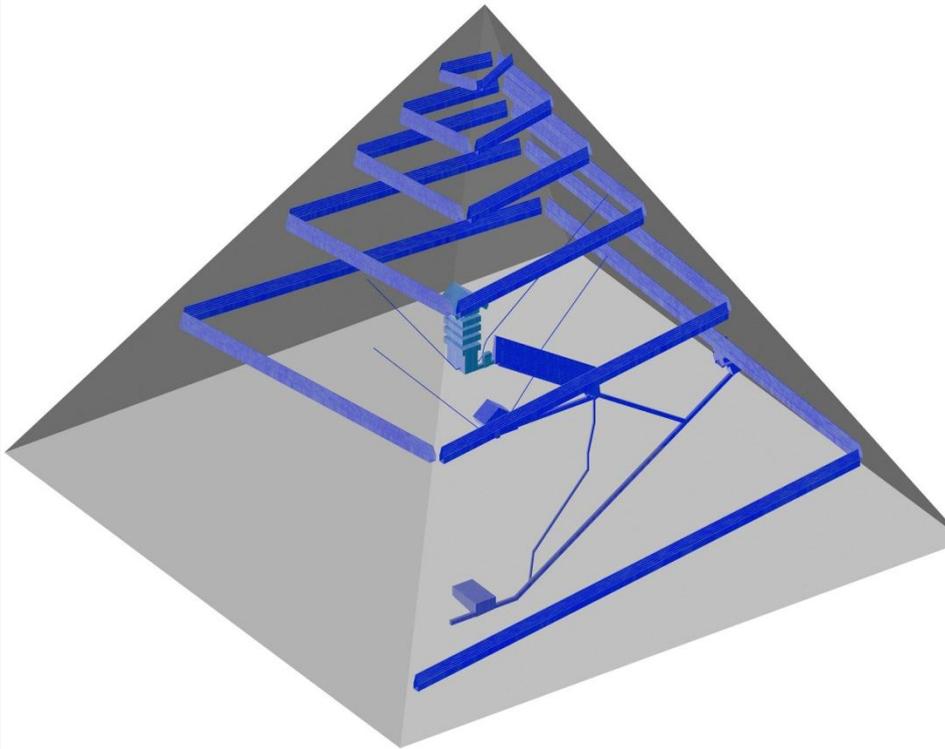
Ein hydrologischer Effekt der anderen Art ...

Theorie von Jean-Pierre Houdin (2002)

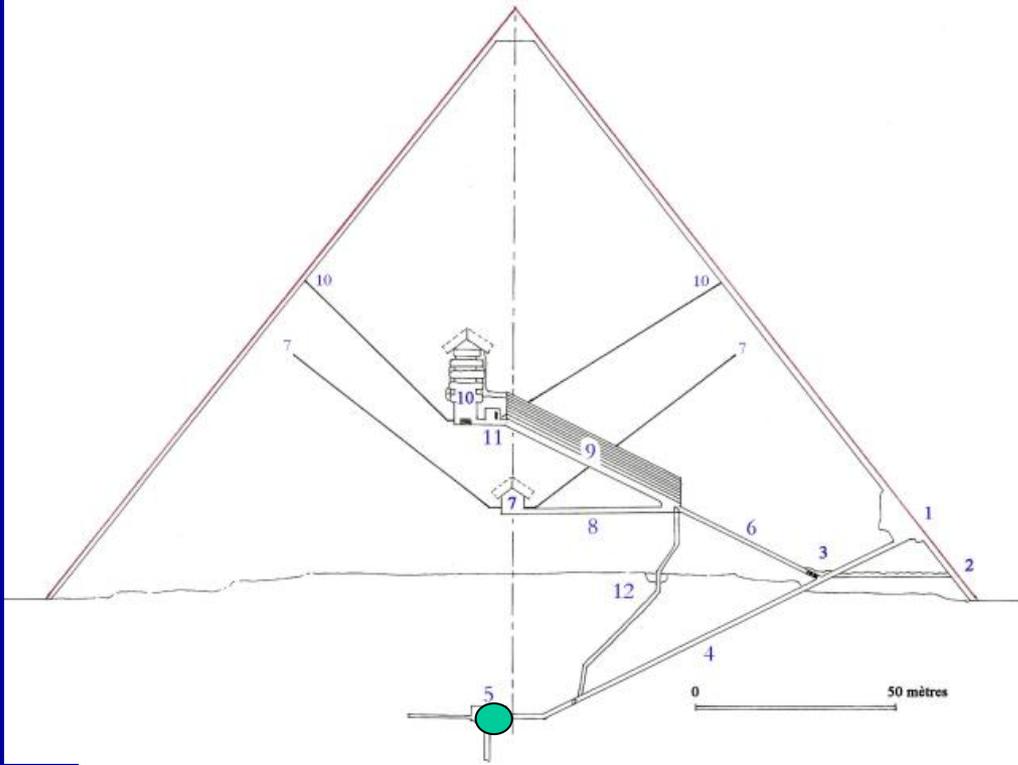


Ein hydrologischer Effekt der anderen Art ...

Theorie von Jean-Pierre Houdin (2002)



Messung in der unvollendeten Grabkammer



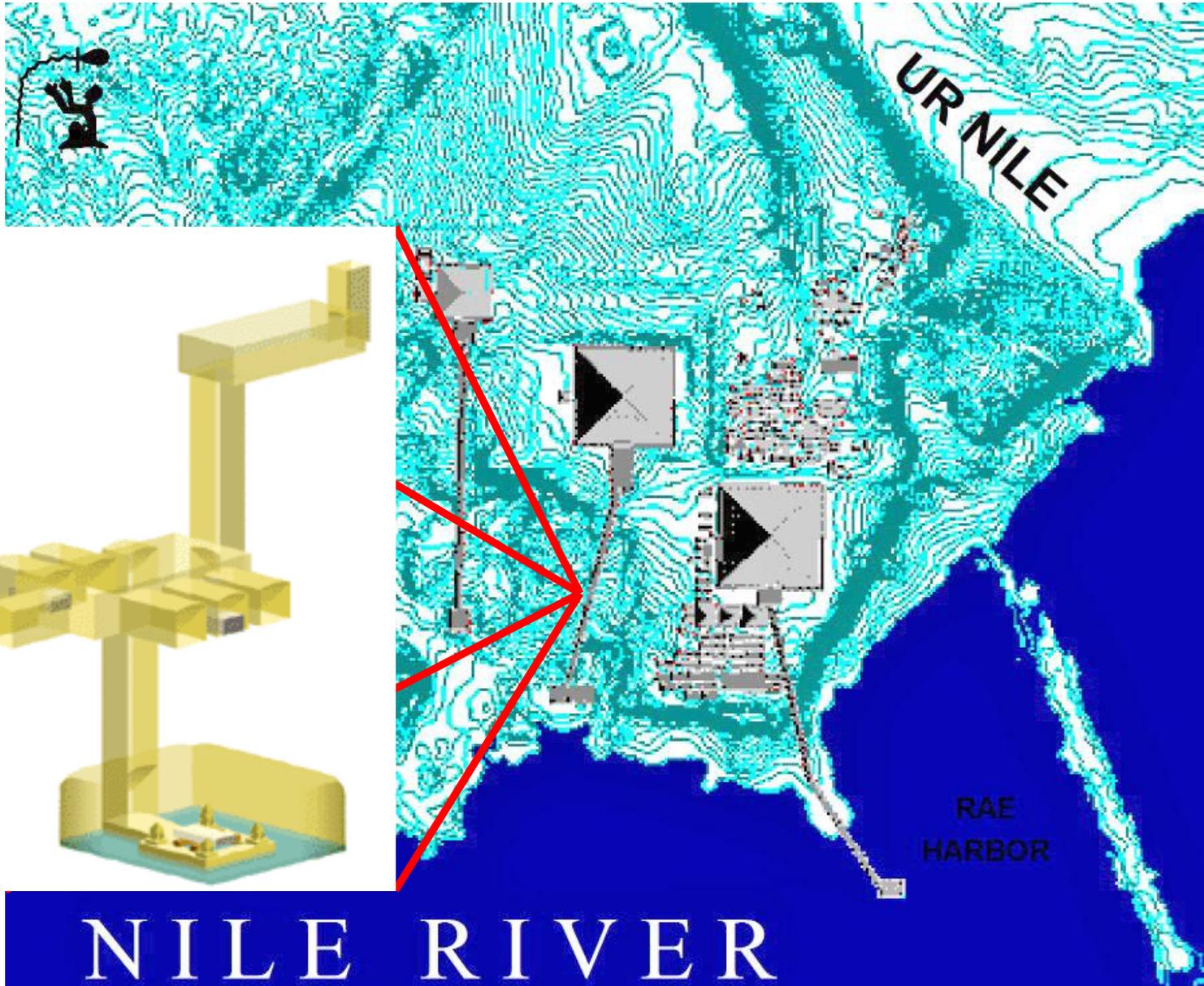
Gizeh – heute und damals



Gizeh – heute und damals

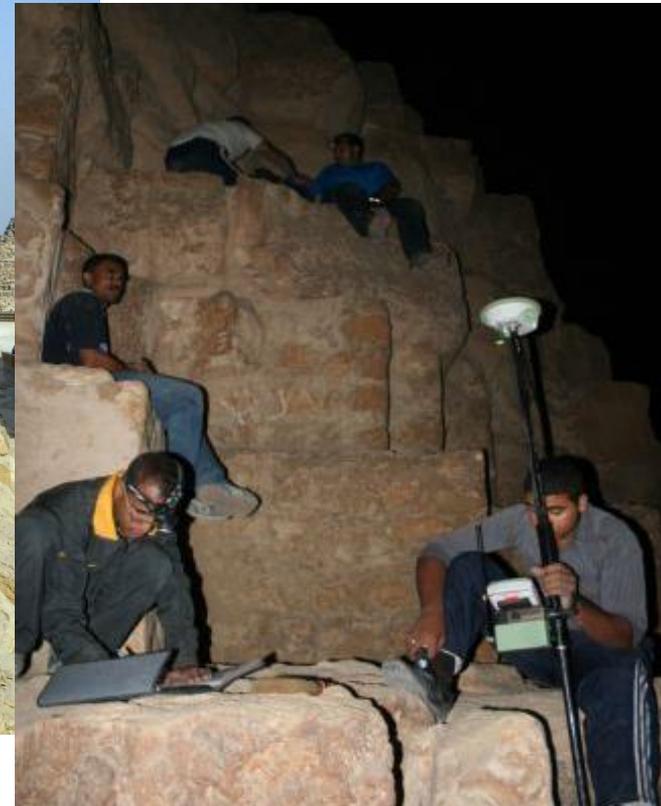
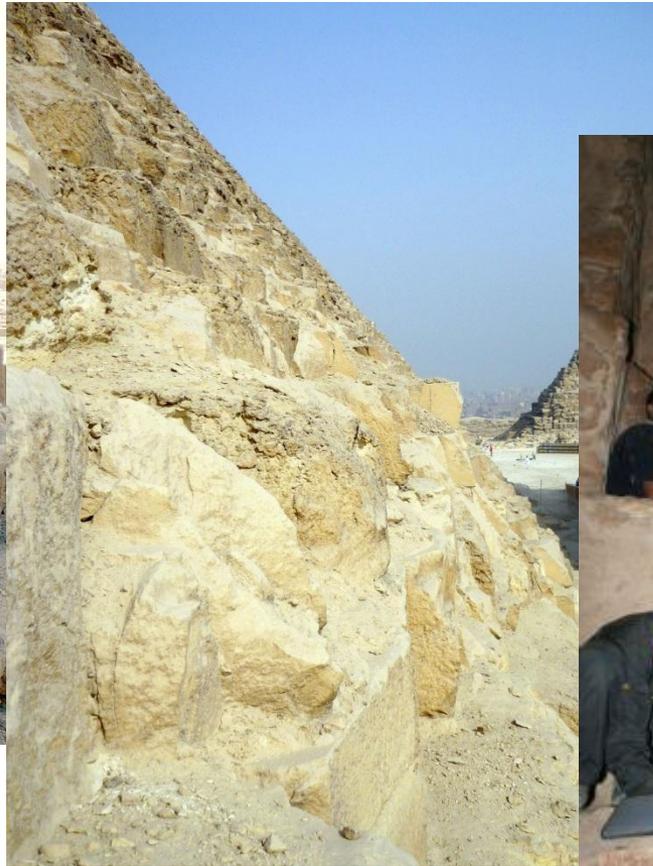
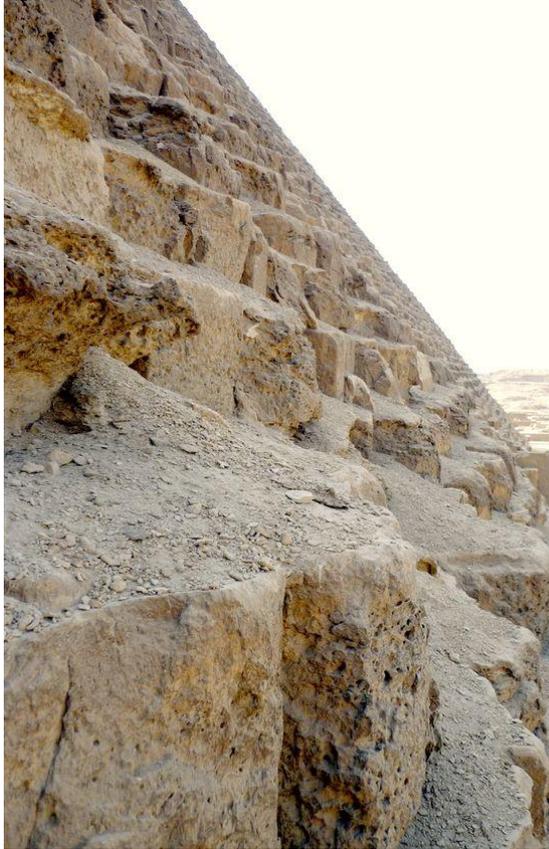


Gizeh – heute und damals



NILE RIVER

Messung



Zusammenfassung

- Gravimeter sind heutzutage in der Lage, hydrologisch induzierte Massentransporte zu messen.
- Die hydrologischen Teilsysteme haben ein komplexe Interaktionen, die noch nicht (vollständig) verstanden sind.
- Someone's noise is another one's signal.
- Hydrologische Phänomene sollten/können nicht unabhängig von ihrer Umgebung betrachtet werden.