

# Zum Mond in einer Sekunde

Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen

Daniel Arnold

Astronomie am Mittag

BEA

29. April 2019



# Schnell, schneller, ...

---

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.



# Schnell, schneller, ...

---

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell, nichts fliegt schneller als Licht!

# Schnell, schneller, ...

---

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell, nichts fliegt schneller als Licht!

Lat. *celeritas*: "Geschwindigkeit"

$$c = 299'792'458 \text{ m/s}$$

# Schnell, schneller, ...

- Licht bewegt sich nicht unendlich schnell, sondern hat eine endliche Geschwindigkeit, die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Licht fliegt furchtbar schnell, nichts fliegt schneller als Licht!

Lat. *celeritas*: "Geschwindigkeit"

$$c = 299'792'458 \text{ m/s}$$

$$c = 1'079'252'848.8 \text{ km/h}$$

# Übersicht

---

$$c = 1'079'252'848.8 \text{ km/h}$$

1. Digestif
2. Woher weiss man das?
3. Mit Licht Distanzen messen

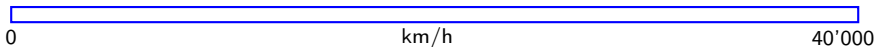
Digestif



# Digestif

---

Wie *schnell* fliegt Licht?

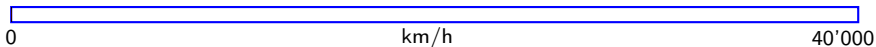


# Digestif

---

Wie *schnell* fliegt Licht?

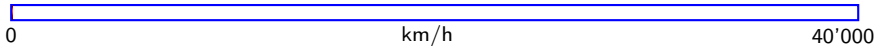
- Mensch, gehend: 5 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

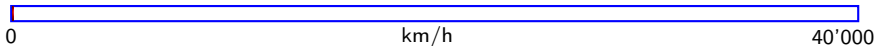
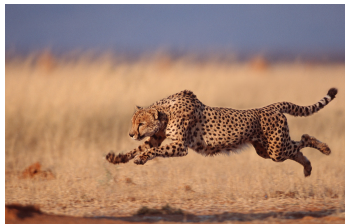
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

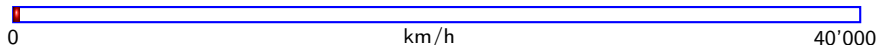
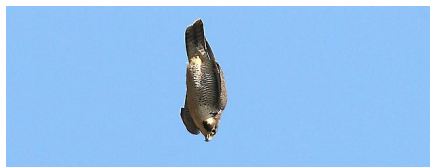
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

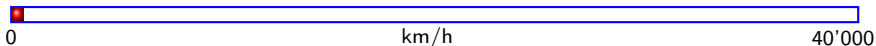
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

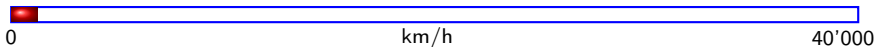
- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h

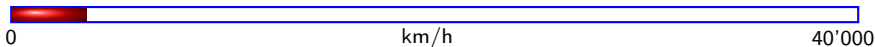


# Digestif



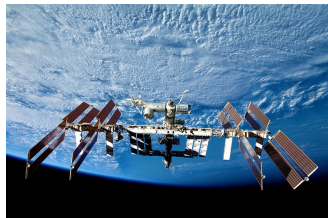
Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h



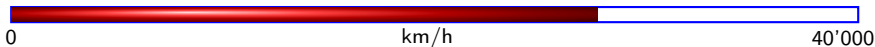


# Digestif



Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h
- Internationale Raumstation: 27'600 km/h



# Digestif

Wie *schnell* fliegt Licht?

- Mensch, gehend: 5 km/h
- Usain Bolt: 45 km/h
- Gepard: 120 km/h
- Wanderfalke im Sturzflug: 320 km/h
- Shinkansen: 603 km/h
- Schallgeschwindigkeit (Luft, 20°C): 1'236 km/h
- Schnellstes Flugzeug: 3'529 km/h
- Internationale Raumstation: 27'600 km/h
- Schnellste Menschen (Apollo 10): 39'897 km/h

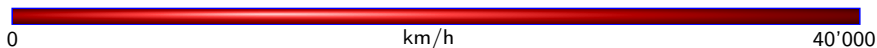


0

km/h

40'000

# Digestif

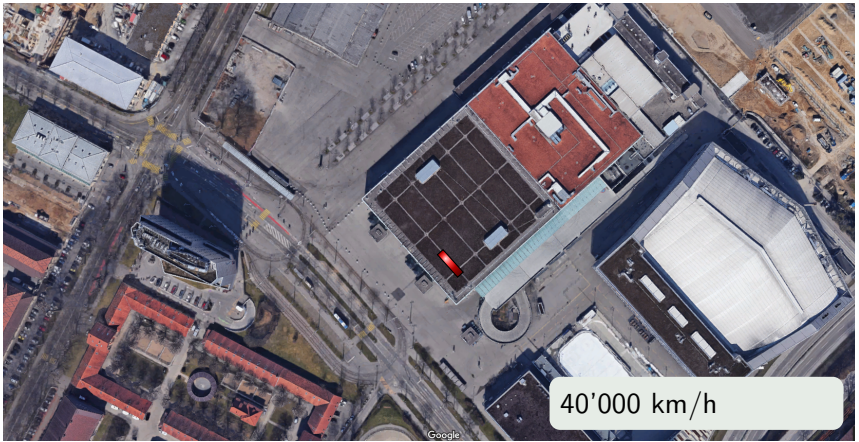


Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?

# Digestif

0 km/h 40'000

Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

0 km/h 40'000

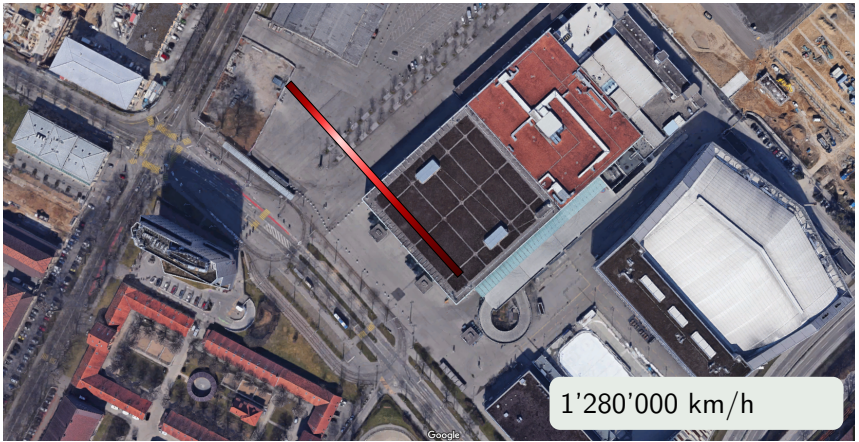
Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

0 km/h 40'000

Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

0 km/h 40'000

Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

0 km/h 40'000

Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?





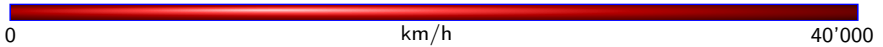
# Digestif

0 km/h 40'000

Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif



Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



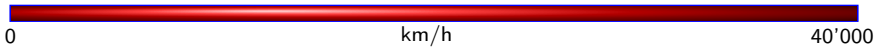
# Digestif

0 km/h 40'000

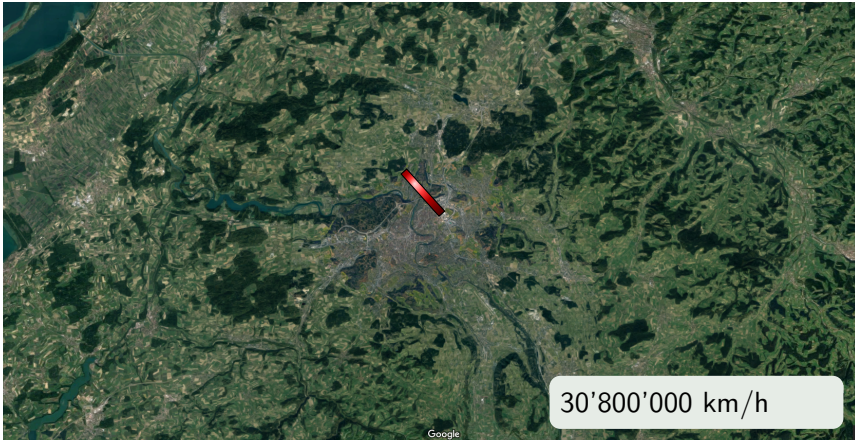
Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



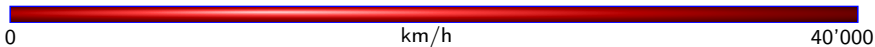
# Digestif



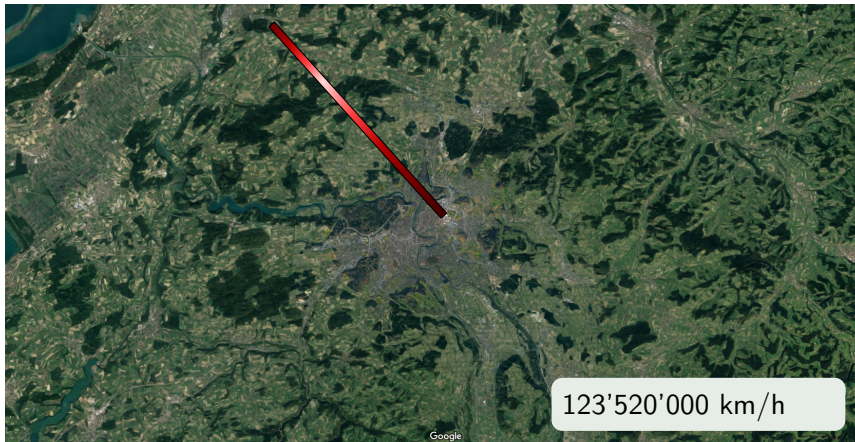
Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



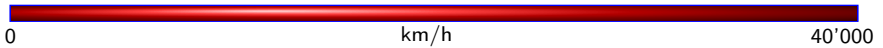
# Digestif



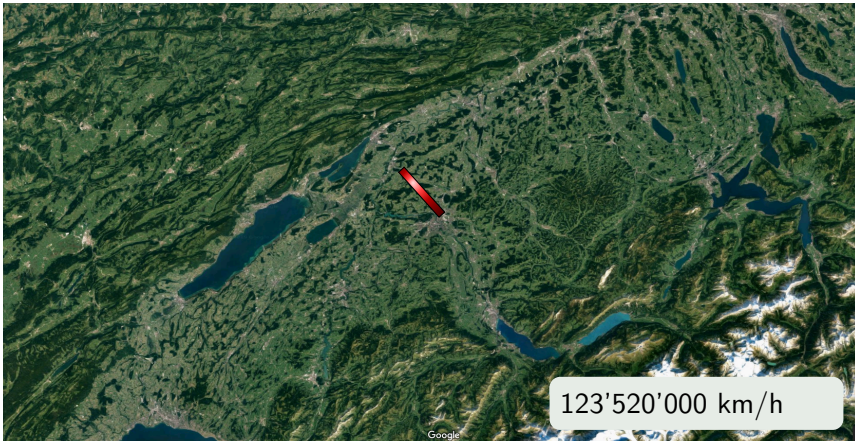
Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



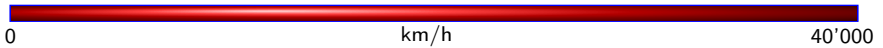
# Digestif



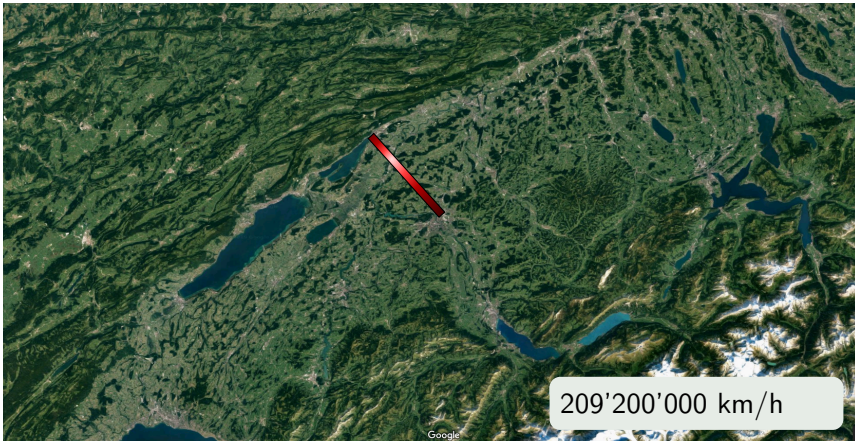
Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



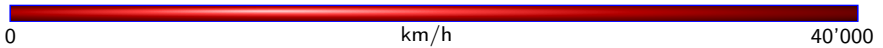
# Digestif



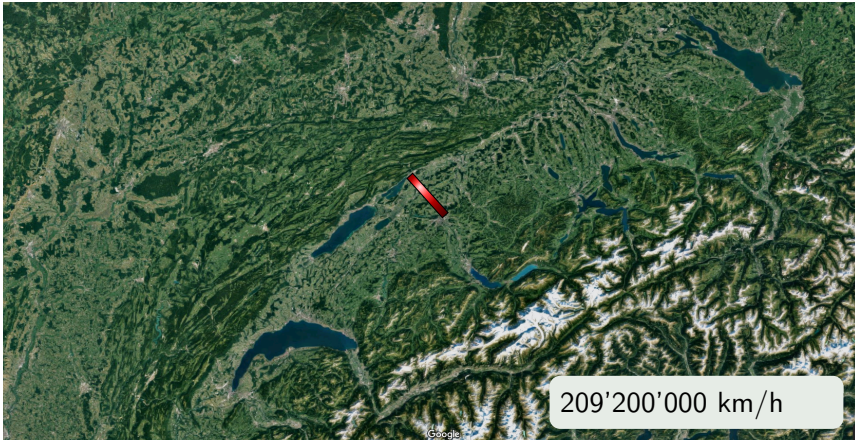
Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

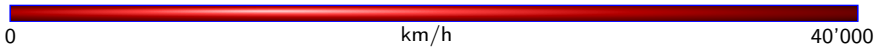


Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?

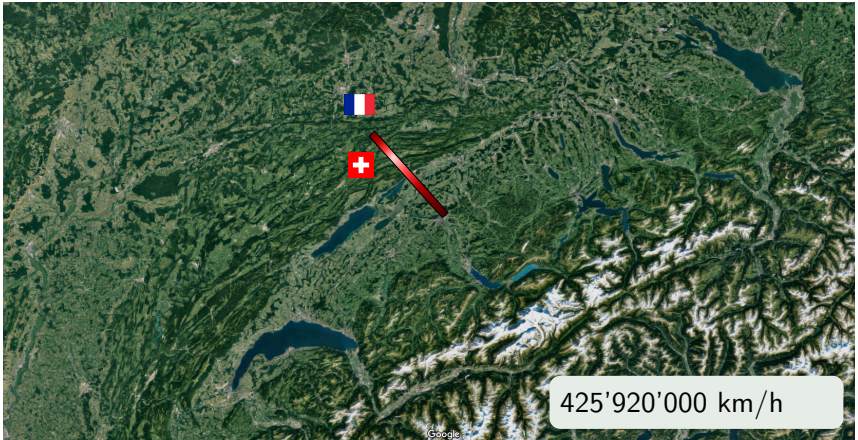




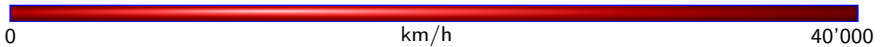
# Digestif



Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



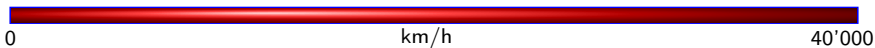
# Digestif



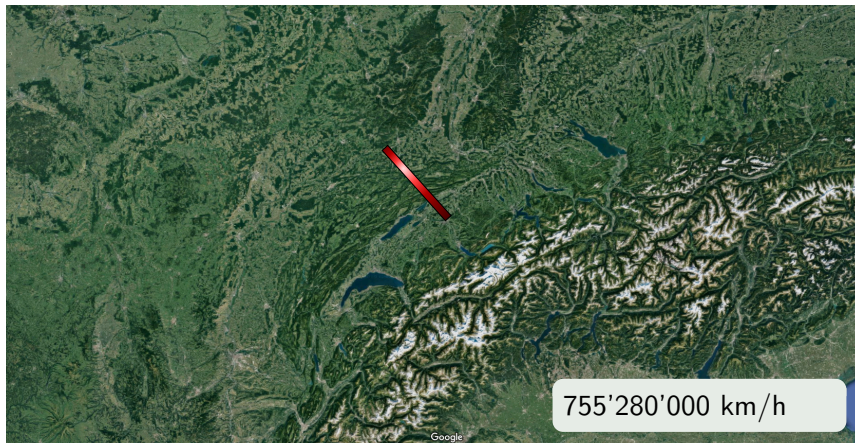
Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



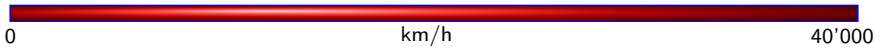
# Digestif



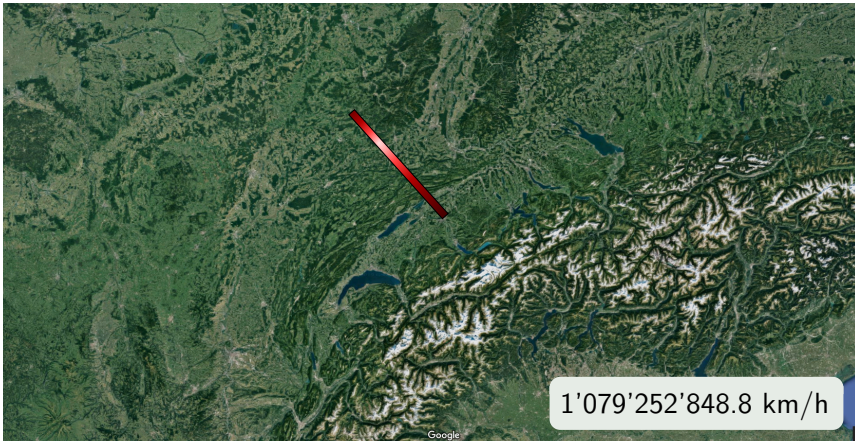
Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



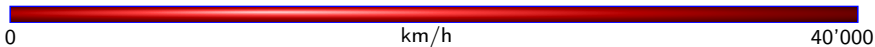
# Digestif



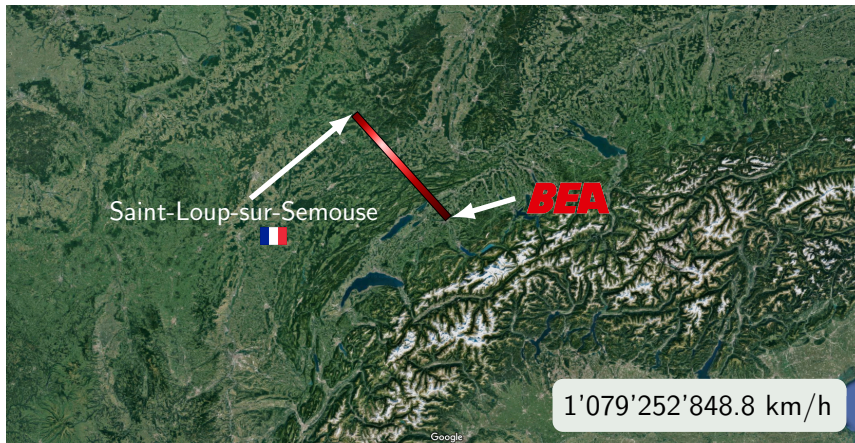
Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



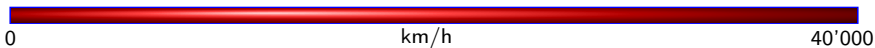
# Digestif



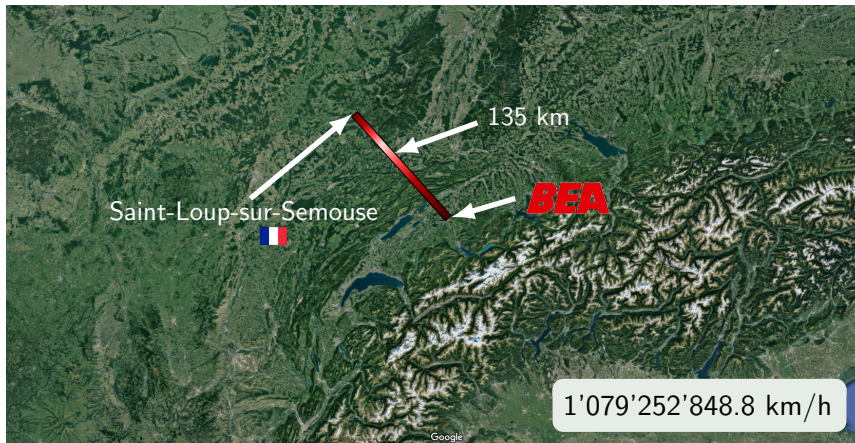
Dieser Masstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif



Dieser Massstab ist 5 m lang. Wie lang muss er sein, damit wir die Lichtgeschwindigkeit auftragen können?



# Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019

# Digestif



Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre



# Digestif



Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr

# Digestif



Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage

# Digestif



Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage

# Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage
- ...
- ein Lichtblitz: 1.3 Sekunden

# Digestif

Der Mond ist von der Erde im Mittel etwa 385'000 km entfernt. Um zum Mond zu gelangen braucht

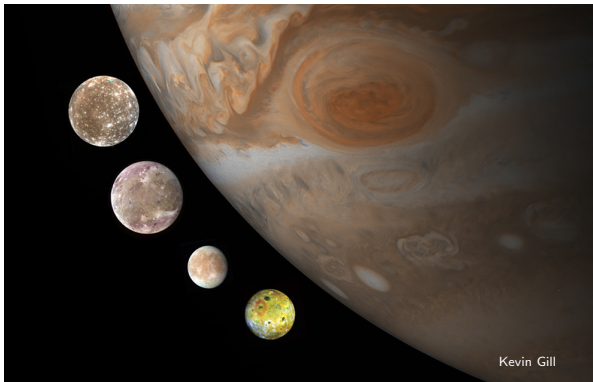
- ein Mensch, gehend: 8.8 Jahre
- Usain Bolt: 1 Jahr
- der Shinkansen: 26.6 Tage
- das schnellste Flugzeug: 4.5 Tage
- ...
- ein Lichtblitz: 1.3 Sekunden

Zum Mond in einer Sekunde...

Woher weiss man das?

# Woher weiss man das?

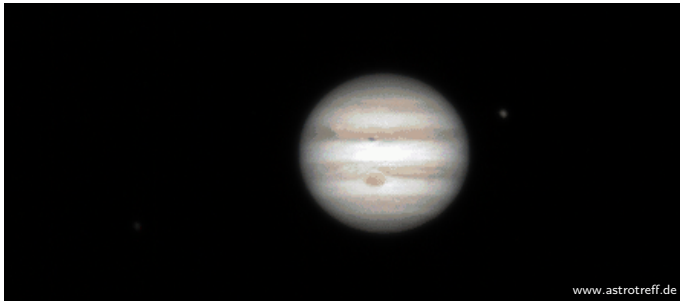
Jupiter und seine vier grössten Monde: Kallisto, Ganymed, Europa, Io



- Galileo Galilei entdeckte die vier Monde 1610.
- Ihre Bewegung diente im 17. Jh. in der Seefahrt als Uhr.

# Woher weiss man das?

---

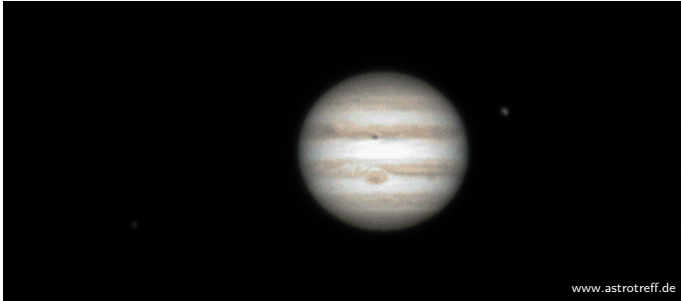


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

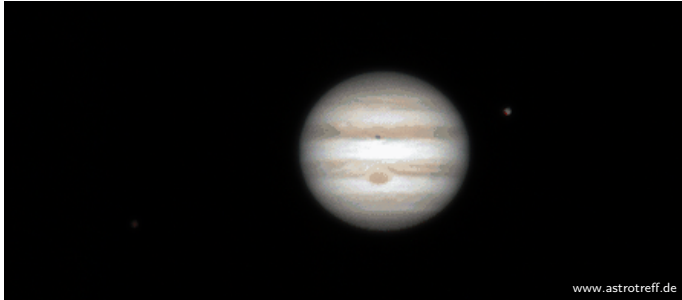
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

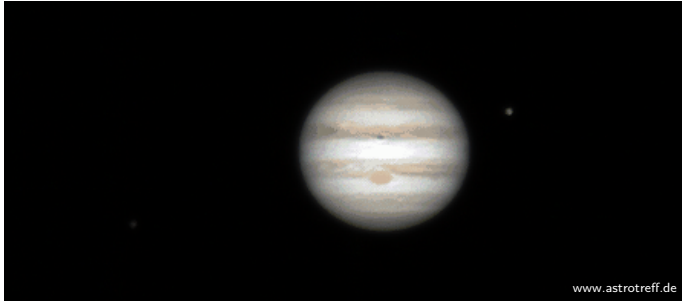
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

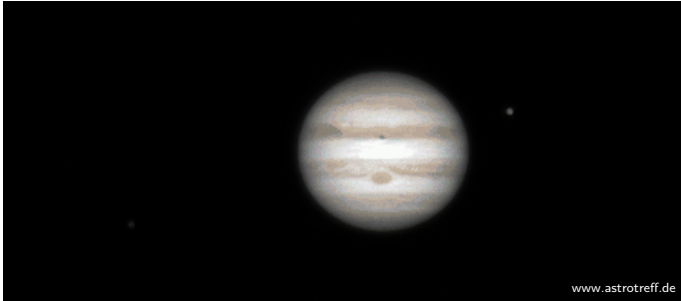
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

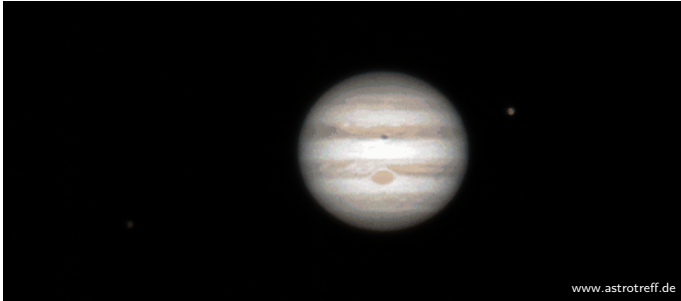
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

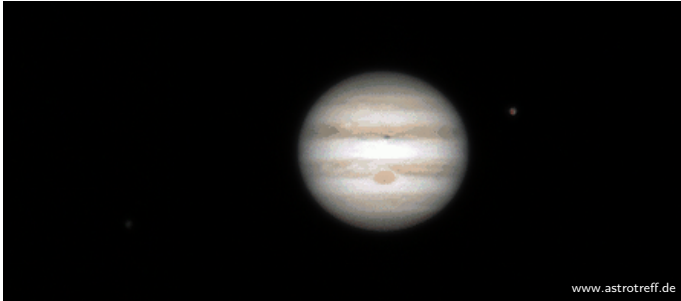
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

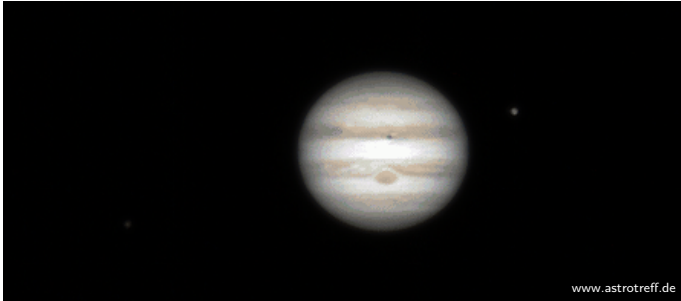
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

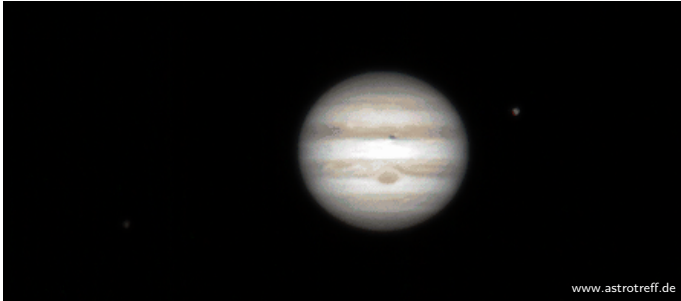
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

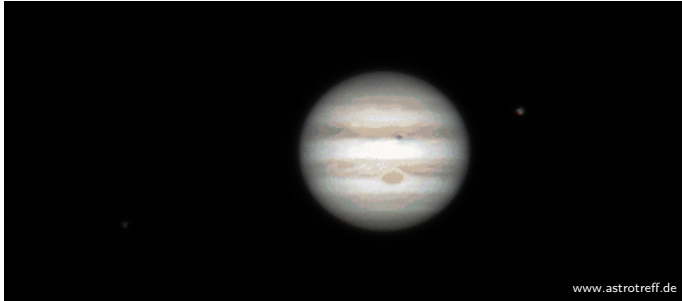
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

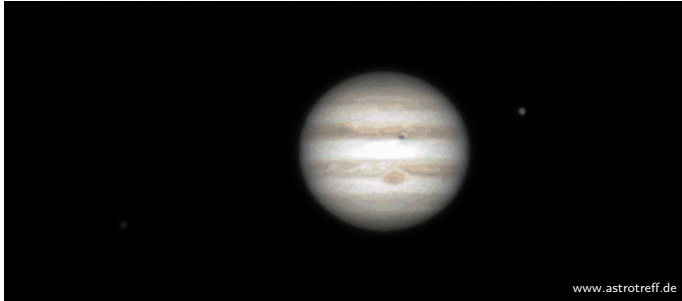
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

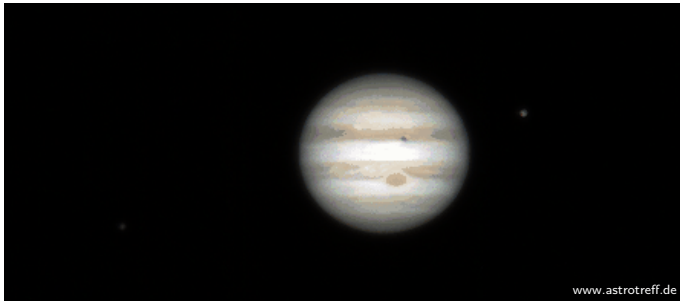
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

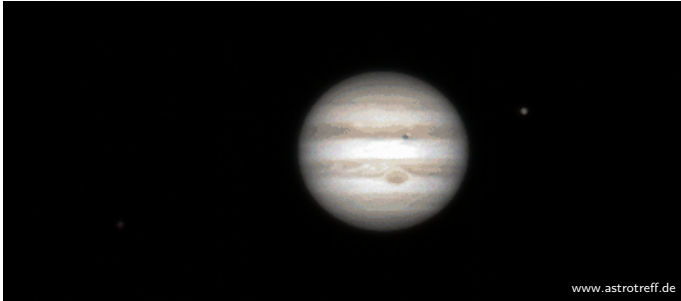
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

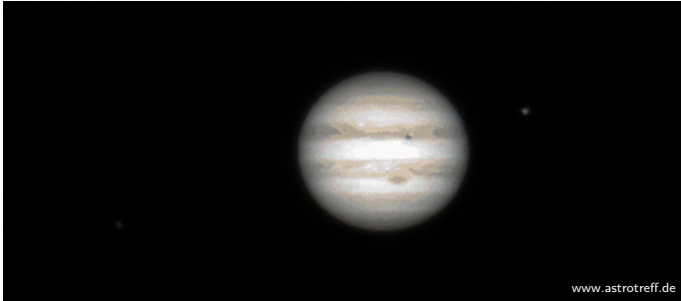
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

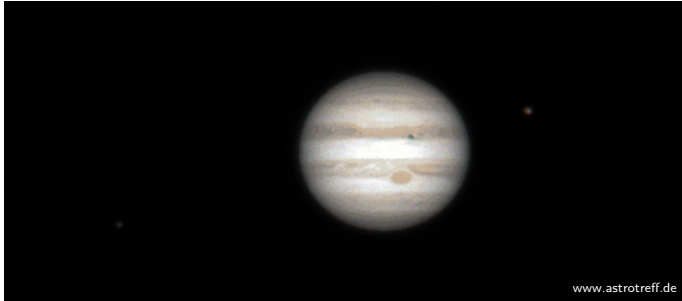
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

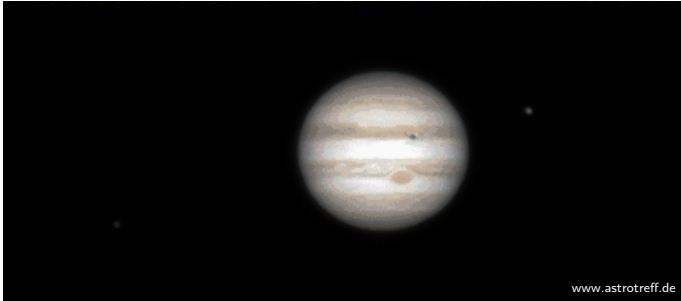
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

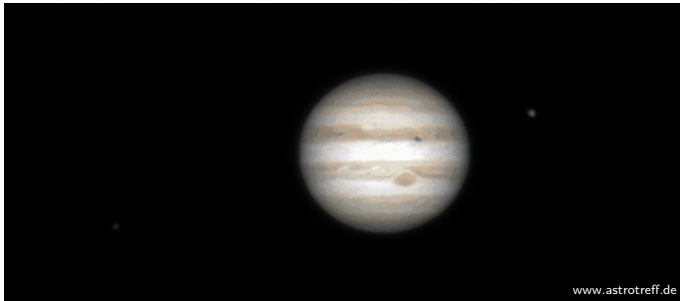


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

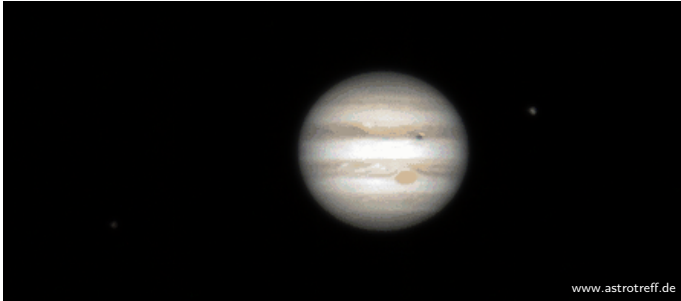
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

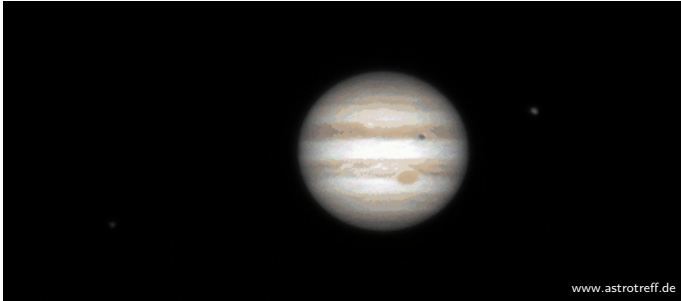
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

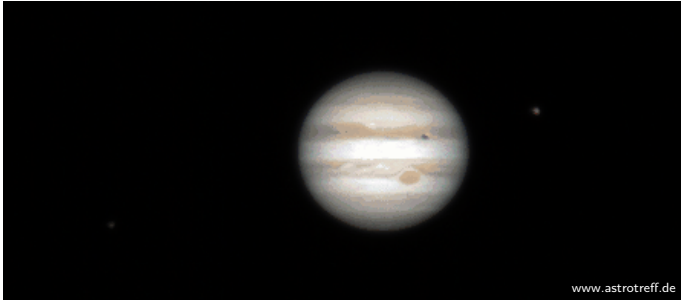
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

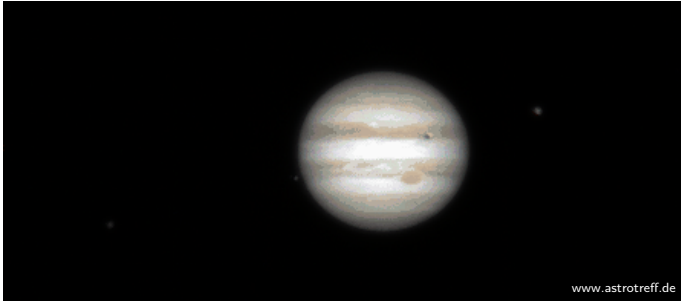
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

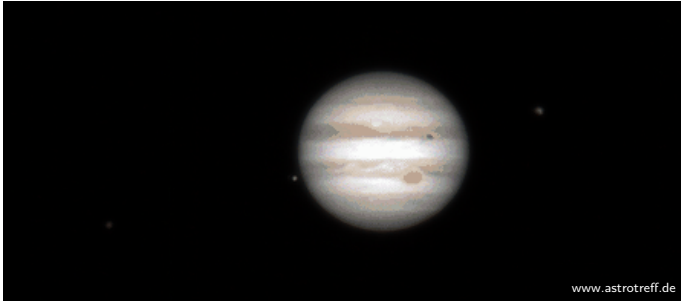
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

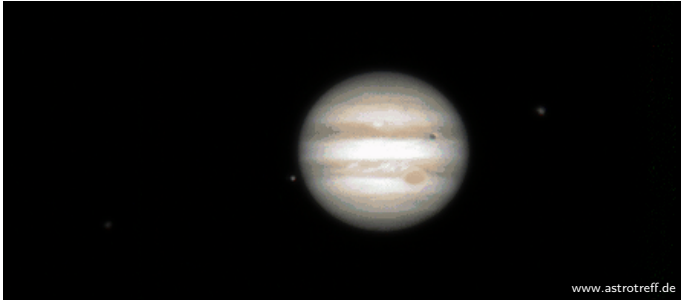
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

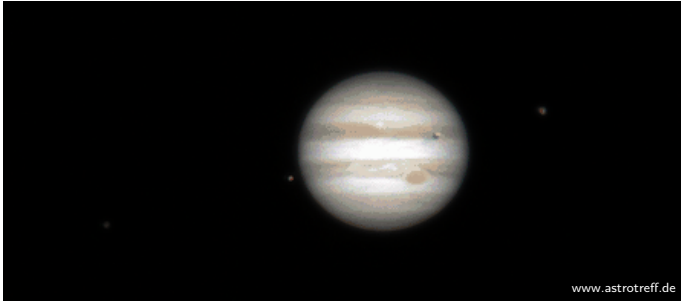
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

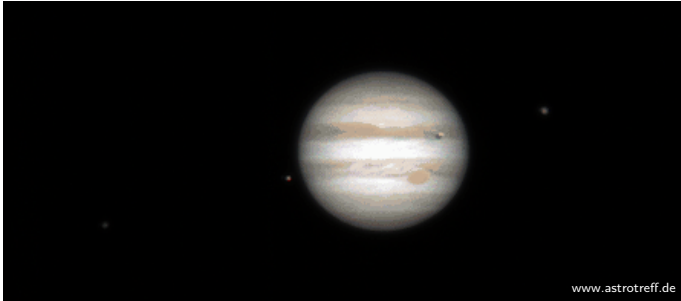


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

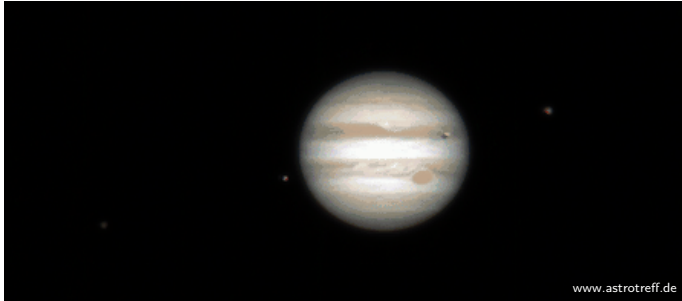
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

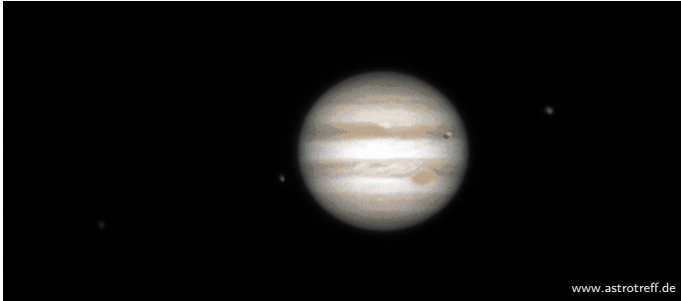
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

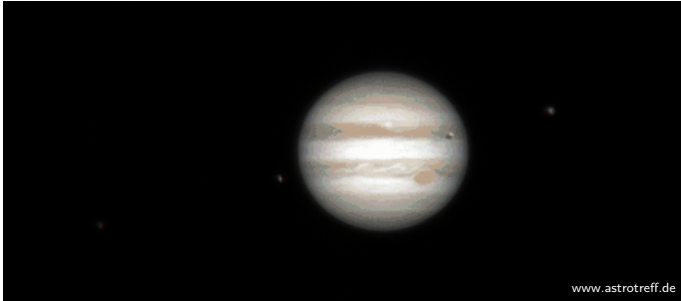
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

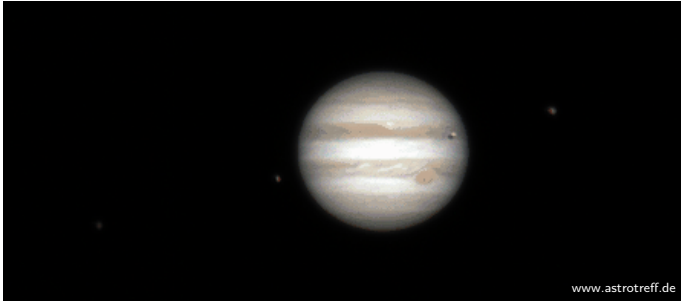
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

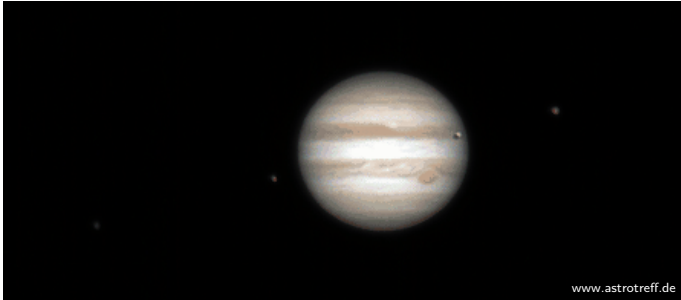
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

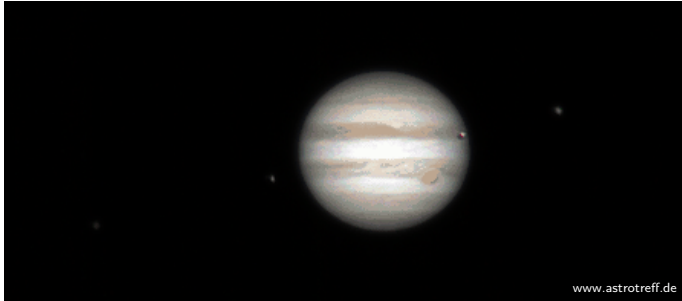


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

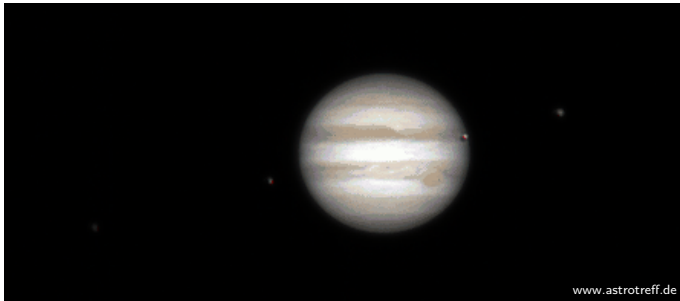
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

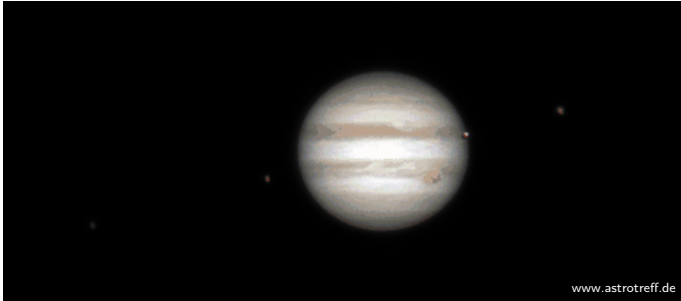
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

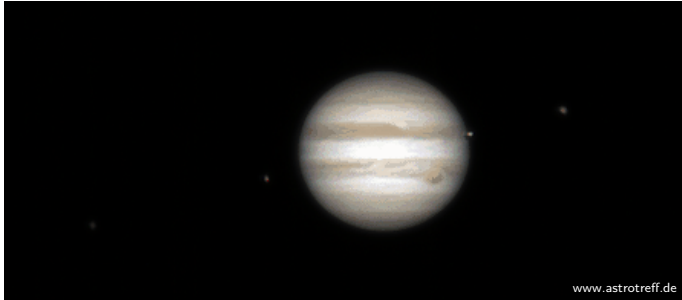
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

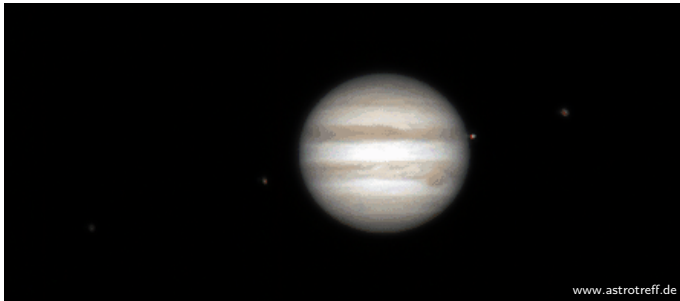
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

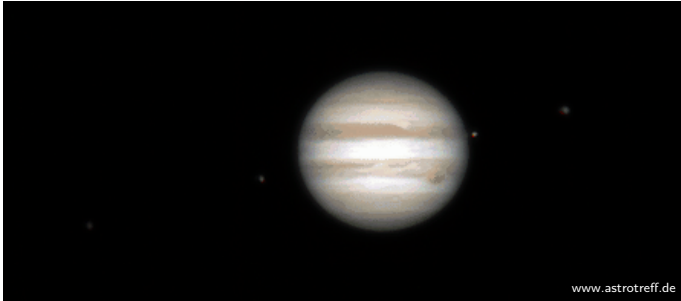
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

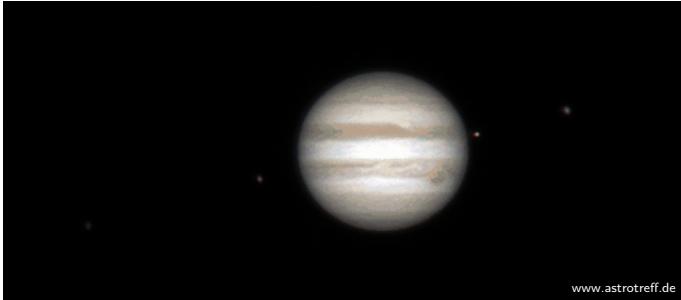
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

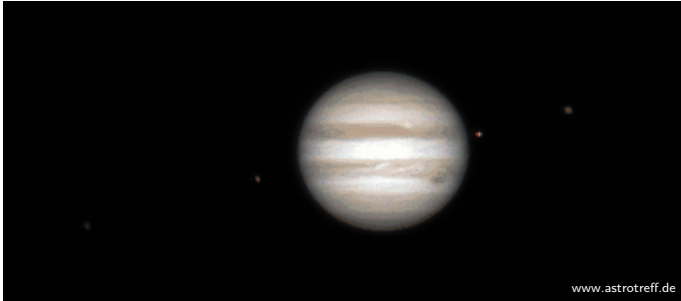
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

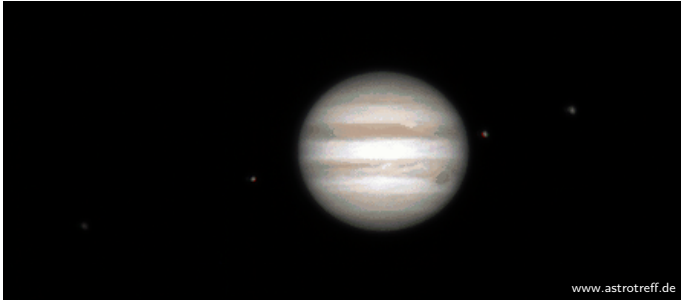


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

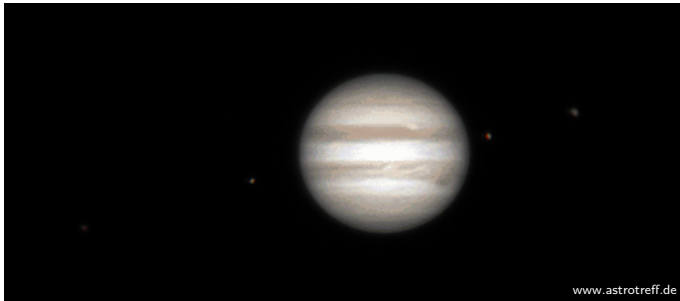
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

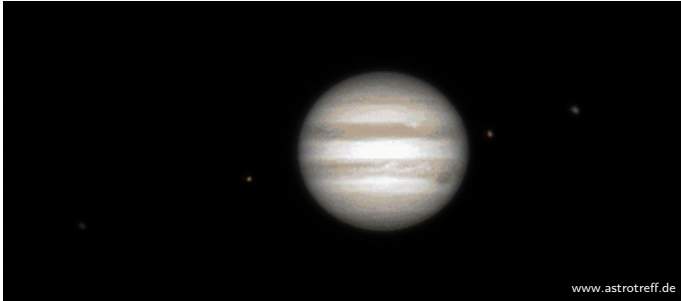
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

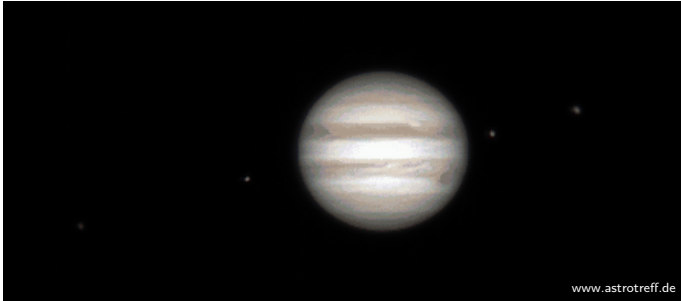
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

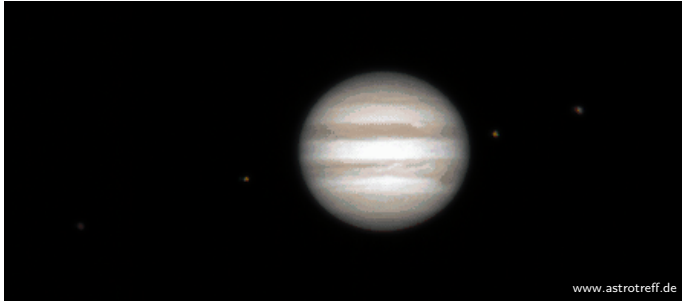
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

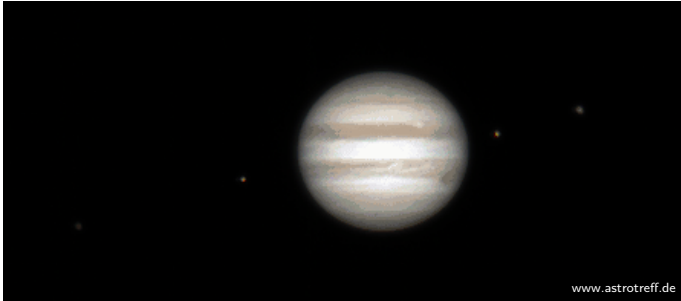
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

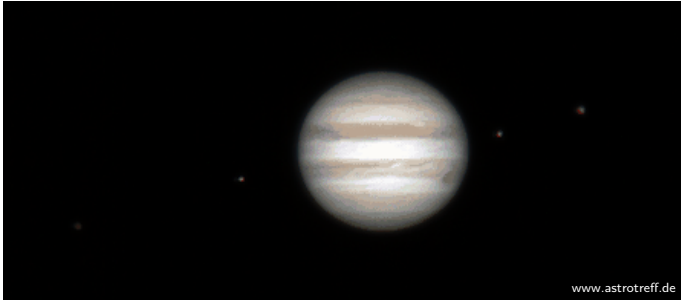
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

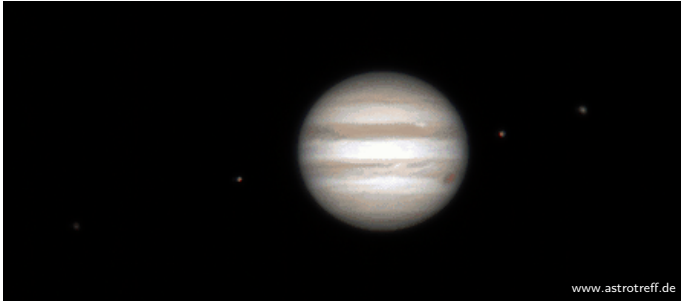
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

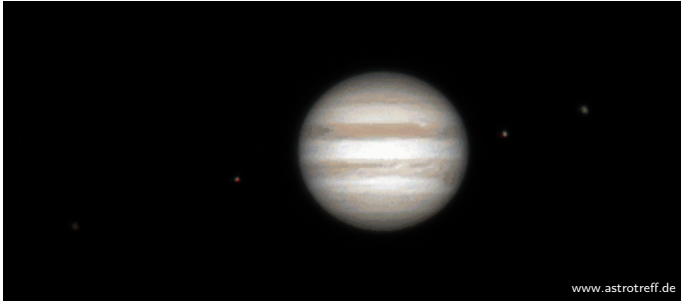


- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**



# Woher weiss man das?

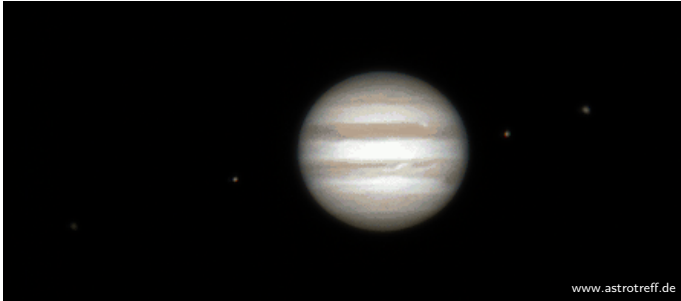
---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---



- Auf See beobachtete man die Ein- und Austritte der Monde aus dem Jupiterschatten.
- Umlaufzeiten der Monde sehr genau bekannt → man konnte die Schattenein- und austritte sehr genau vorhersagen und damit **auf See die Zeit bestimmen.**

# Woher weiss man das?

---

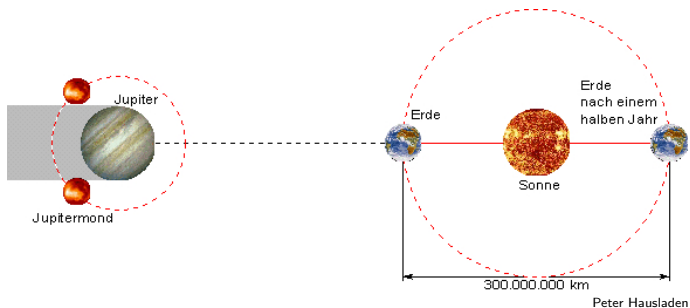
1676 stellt der dänische Astronom Ole Rømer fest, dass die beobachteten Schattenein- und austritte der Jupitermonde **systematisch von den vorausberechneten abwichen**.

→ Im Laufe eines Jahres gingen die Monde zunehmend vor, dann zunehmend nach.



# Woher weiss man das?

Rømer führte die Abweichungen auf die Bewegungen der Erde um die Sonne und damit auf die unterschiedlichen Laufzeiten des Lichts zurück.



1678 bestimmte der niederländische Astronom Christiaan Huygens mittels Rømers Überlegungen die Lichtgeschwindigkeit zu  $213'000 \text{ km/s}$ .

# Woher weiss man das?

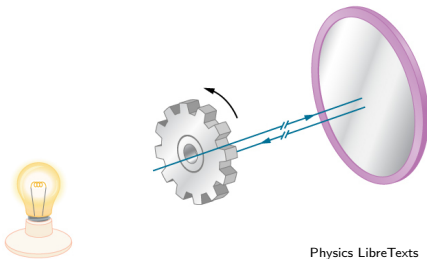
---

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner **Zahnradmethode** die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.

# Woher weiss man das?

---

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner **Zahnradmethode** die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.



# Woher weiss man das?

---

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner **Zahnradmethode** die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.
- Mit weiteren Methoden wurde die Lichtgeschwindigkeit immer genauer bestimmt. 1972 betrug die beste Messung  $299'792'456.2 \pm 1.1$  m/s.

# Woher weiss man das?

---

- Der französische Physiker Armand Fizeau konnte 1849 mit seiner **Zahnradmethode** die Lichtgeschwindigkeit das erste Mal “im Labor” bestimmen. Er fand 315'000 km/s.
- Mit weiteren Methoden wurde die Lichtgeschwindigkeit immer genauer bestimmt. 1972 betrug die beste Messung  $299'792'456.2 \pm 1.1$  m/s.
- 1983 **definierte man den Meter neu** als diejenige Strecke, die Licht im Vakuum im 299'792'458sten Teil einer Sekunde zurücklegt. Logischerweise beträgt seither die Lichtgeschwindigkeit *exakt* 299'792'458 m/s.



Mit Licht Distanzen messen

# Mit Licht Distanzen messen

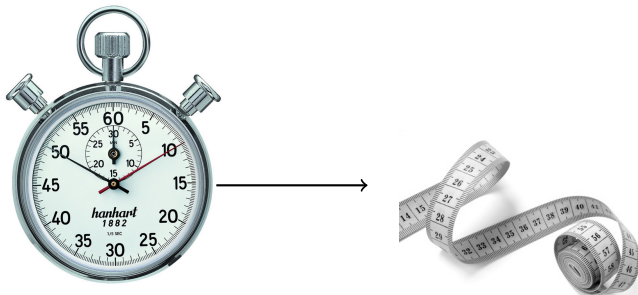
---

- Die Lichtgeschwindigkeit gibt an, welche Strecke ein Lichtblitz in einer gewissen Zeit zurücklegt.



# Mit Licht Distanzen messen

- Die Lichtgeschwindigkeit gibt an, welche Strecke ein Lichtblitz in einer gewissen Zeit zurücklegt.



- Kann man die Zeit sehr genau messen, die ein Lichtblitz benötigt, um eine gewisse Strecke zurückzulegen, kann man so diese Strecke messen.

# Mit Licht Distanzen messen

---

- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.



# Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die **Zeit  $t$**  gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.

# Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die **Zeit  $t$**  gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die **Distanz  $d$**  bis zum Objekt ist dann

$$d = \frac{c \cdot t}{2}.$$

# Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die **Zeit  $t$**  gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die **Distanz  $d$**  bis zum Objekt ist dann
$$d = \frac{c \cdot t}{2} .$$
- Bei  $d = 1$  m kommt das Licht nach 6.7 milliardstel einer Sekunde zurück

# Mit Licht Distanzen messen



- Ein **Laser-Strahl** wird losgeschickt, reflektiert und wieder empfangen.
- Es wird die **Zeit  $t$**  gemessen die zwischen Aussenden und Empfangen verstreicht.
- Die **Distanz  $d$**  bis zum Objekt ist dann
$$d = \frac{c \cdot t}{2} .$$
- Bei  $d = 1$  m kommt das Licht nach 6.7 milliardstel einer Sekunde zurück
- Handelsübliche Geräte messen so Strecken von z.T. über 100 m auf mm-Genauigkeit.



# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.

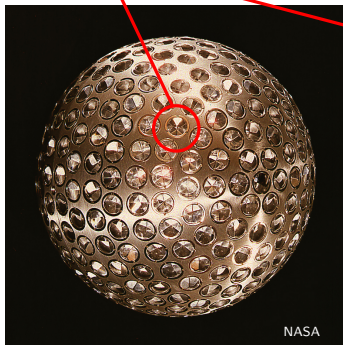
# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

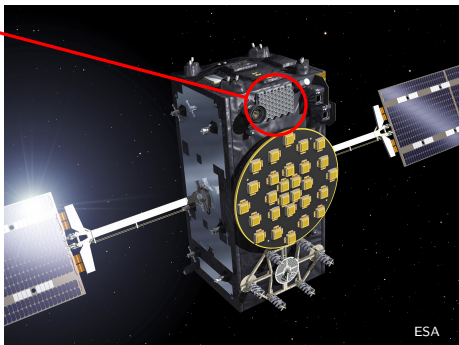
- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.

# Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit **Retroreflektoren** ausgestattet sind.



LAGEOS



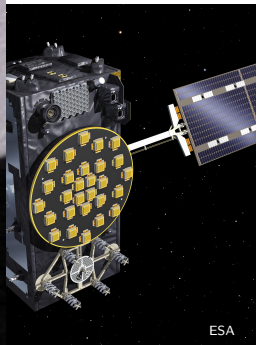
Galileo

# Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit **Retroreflektoren** ausgestattet sind.



LAGEOS



ESA

Galileo

# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**

# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	$2 \times 0.02$ s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	$2 \times 0.08$ s	3.7 km/s (13'211 km/h)

# Satellite Laser Ranging (SLR)

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	$2 \times 0.02$ s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	$2 \times 0.08$ s	3.7 km/s (13'211 km/h)

- Trotzdem: cm-Genauigkeit!

# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

- Dank seinen Eigenschaften ist ein genügend starker Laser in der Lage sehr grosse Distanzen zu messen.
- Man schafft es so, Distanzen zu Satelliten zu messen, die mit Retroreflektoren ausgestattet sind.
- **Satellite Laser Ranging = "Satelliten-Laserentfernungsmessung"**
- Gut zielen!

Satellit	Höhe	Lichtlaufzeit	Satellitengeschwindigkeit
LAGEOS	5'900 km	$2 \times 0.02$ s	5.7 km/s (20'518 km/h)
Galileo	23'222 km	$2 \times 0.08$ s	3.7 km/s (13'211 km/h)

- Trotzdem: cm-Genauigkeit!
- Es müssen zahlreiche Effekte berücksichtigt werden, die die Ausbreitung des Lichts beeinflussen: Atmosphäre, relativistische Effekte...



# Satellite Laser Ranging (SLR)

---

Sternwarte Zimmerwald (7 km südlich der Stadt Bern) des  
Astronomischen Instituts der Universität Bern:



# Satellite Laser Ranging (SLR)

Sternwarte Zimmerwald (7 km südlich der Stadt Bern) des  
Astronomischen Instituts der Universität Bern:



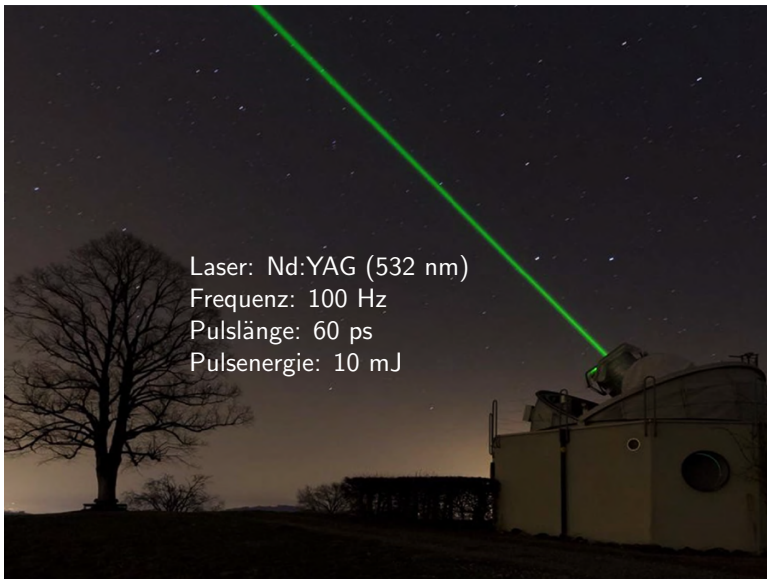
1-Meter Zimmerwald Laser- und Astrometrie-Teleskop  
(ZIMLAT)

# Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019

# Satellite Laser Ranging (SLR)



# Satellite Laser Ranging (SLR)

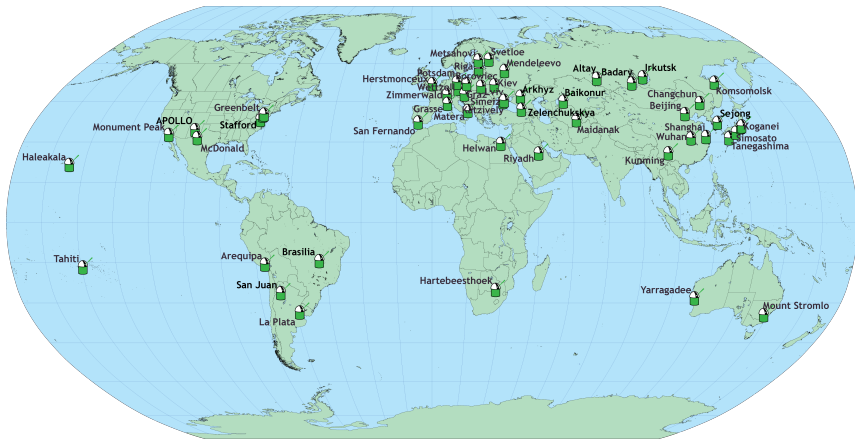
---



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019

# Satellite Laser Ranging (SLR)

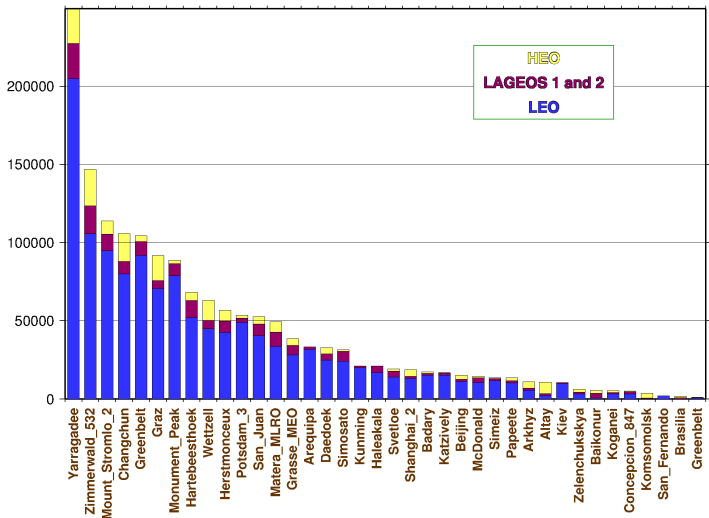
SLR-Stationen des International Laser Ranging Service (ILRS):



Stand: Mai 2016

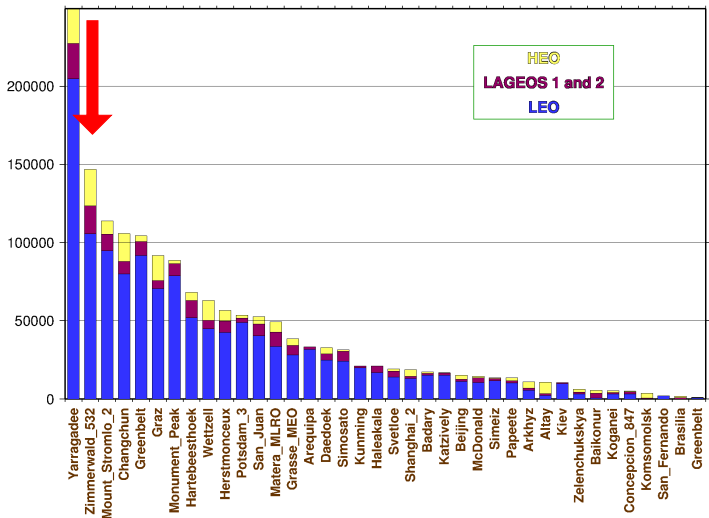
# Satellite Laser Ranging (SLR)

Anzahl der SLR-Messungen von Oktober 2013 bis September 2014:



# Satellite Laser Ranging (SLR)

Anzahl der SLR-Messungen von Oktober 2013 bis September 2014:

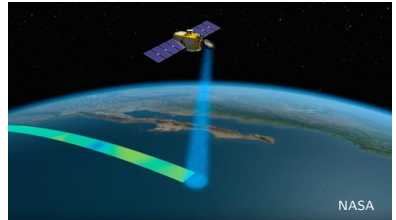




# SLR: Validierung



Sentinel-3

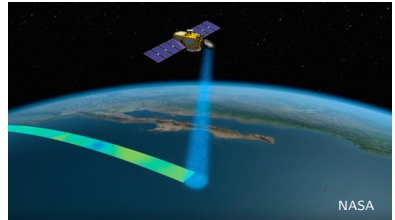


- **Altimetriesatelliten** messen z.B. die Meereshöhe

# SLR: Validierung



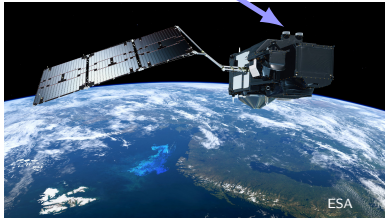
Sentinel-3



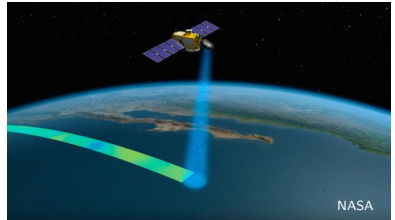
- **Altimetriesatelliten** messen z.B. die Meereshöhe
- Dazu muss man **auf cm genau** wissen, wo der Satellit ist

# SLR: Validierung

GPS-Antennen



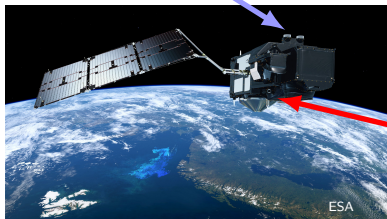
Sentinel-3



- **Altimetriesatelliten** messen z.B. die Meereshöhe
- Dazu muss man **auf cm genau** wissen, wo der Satellit ist
- Dies erreicht man mit GPS

# SLR: Validierung

GPS-Antennen



Sentinel-3

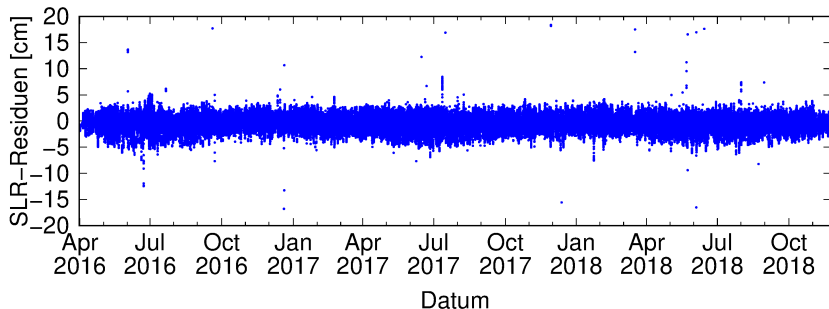
- **Altimetriesatelliten** messen z.B. die Meereshöhe
- Dazu muss man **auf cm genau** wissen, wo der Satellit ist
- Dies erreicht man mit GPS
- SLR ermöglicht eine **unabhängige Überprüfung** der berechneten Umlaufbahnen

# SLR: Validierung

GPS-Antennen



Sentinel-3A



Etwa 143'000 SLR-Messungen von 17 SLR-Stationen

# SLR: Geodäsie

---

Mit SLR kann man aber auch viele Größen messen, die die Erde als Ganzes beschreiben:

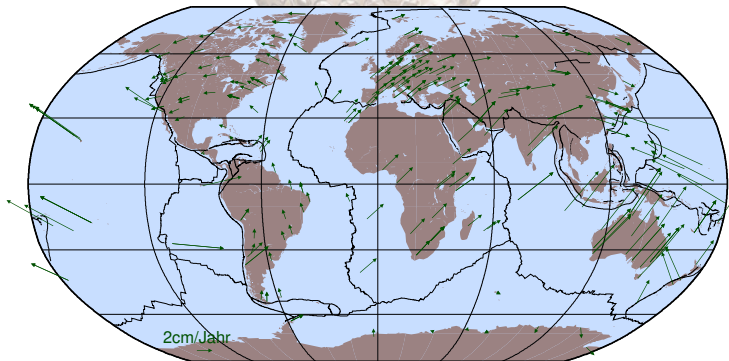
- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik, Referenzsysteme)



# SLR: Geodäsie

Mit SLR kann man aber auch viele Grössen messen, die die Erde als Ganzes beschreiben:

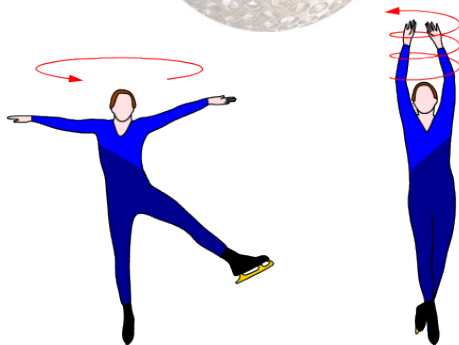
- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik, Referenzsysteme)



# SLR: Geodäsie

Mit SLR kann man aber auch viele Größen messen, die die Erde als Ganzes beschreiben:

- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik, Referenzsysteme)
- die Erdrotation





# SLR: Geodäsie

---

Mit SLR kann man aber auch viele Grössen messen, die die Erde als Ganzes beschreiben:

- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik, Referenzsysteme)
- die Erdrotation
- ...

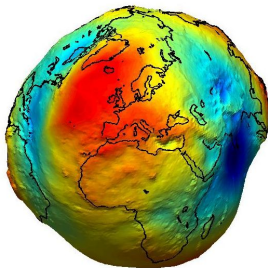
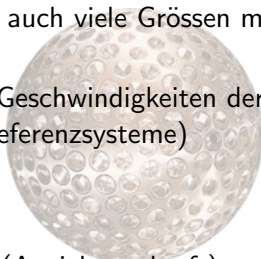


# SLR: Geodäsie

---

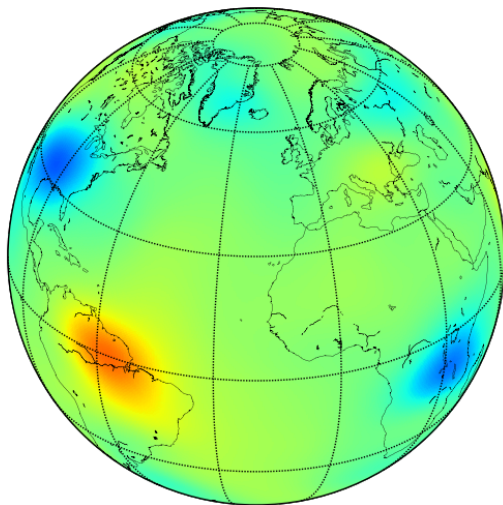
Mit SLR kann man aber auch viele Grössen messen, die die Erde als Ganzes beschreiben:

- die Positionen und Geschwindigkeiten der SLR-Stationen (Plattentektonik, Referenzsysteme)
- die Erdrotation
- ...
- das **Erdschwerefeld** (Anziehungskraft) und seine Variation



# SLR: Geodäsie

---

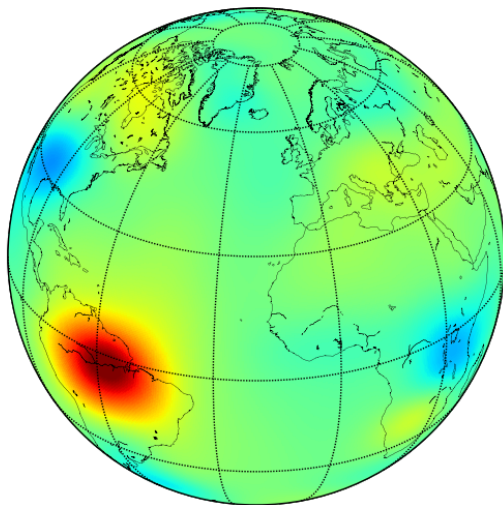


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Januar  
2006

# SLR: Geodäsie

---

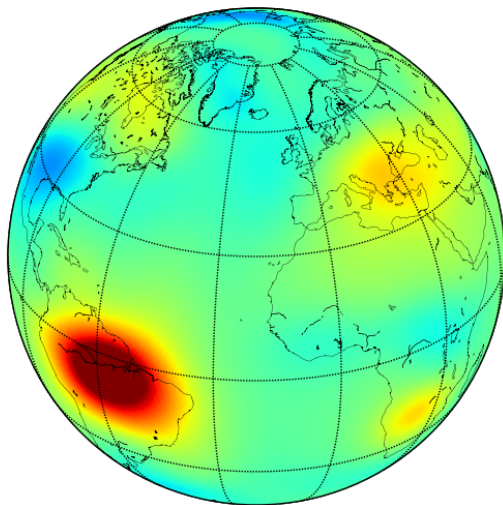


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Februar  
2006

# SLR: Geodäsie

---

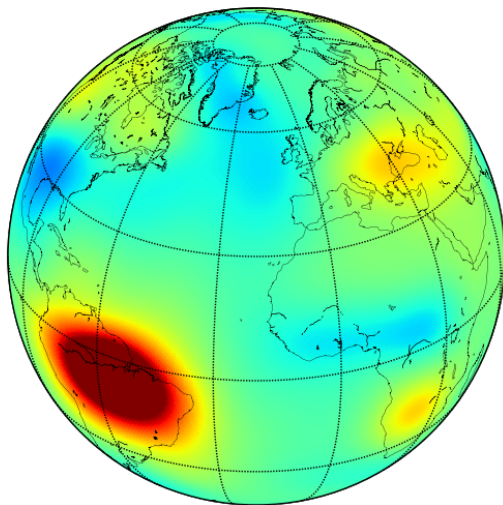


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

März  
2006

# SLR: Geodäsie

---

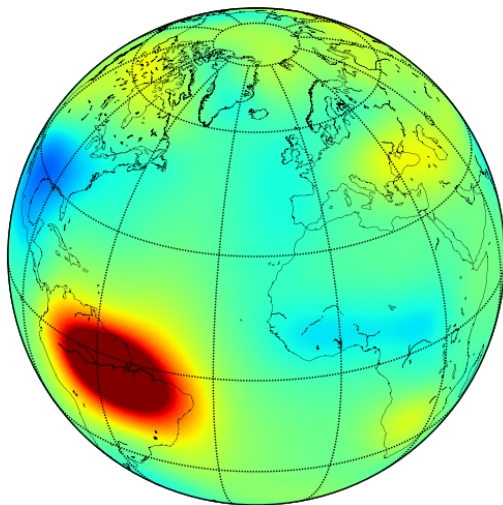


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

April  
2006

# SLR: Geodäsie

---

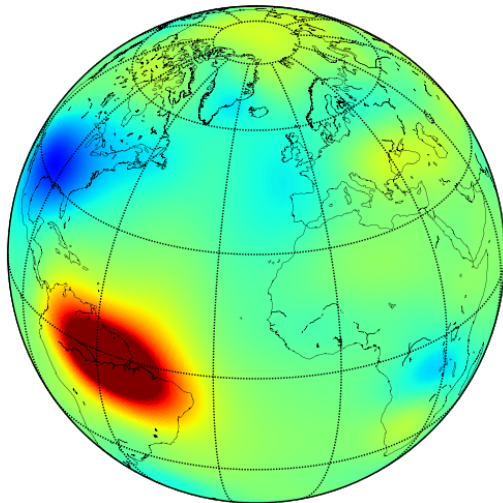


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Mai  
2006

# SLR: Geodäsie

---



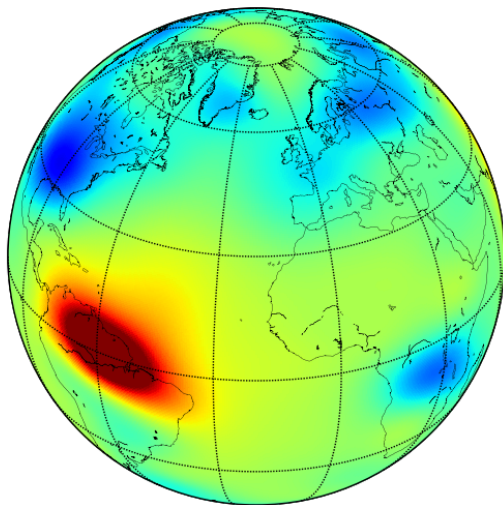
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juni  
2006



# SLR: Geodäsie

---

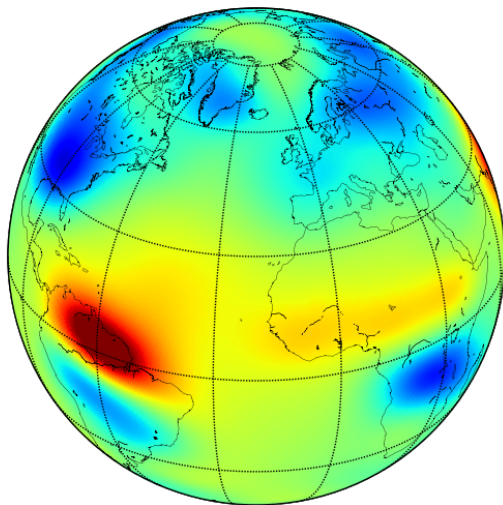


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juli  
2006

# SLR: Geodäsie

---

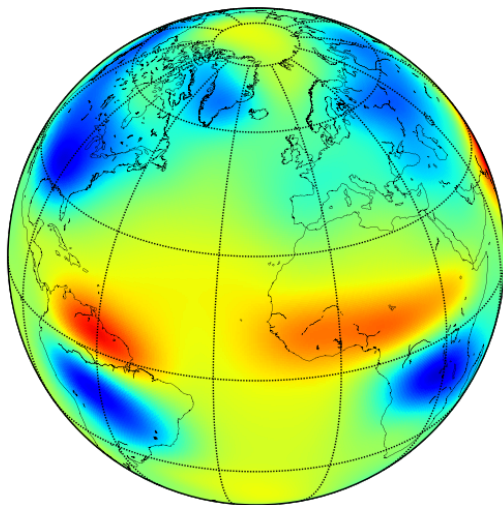


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

August  
2006

# SLR: Geodäsie

---

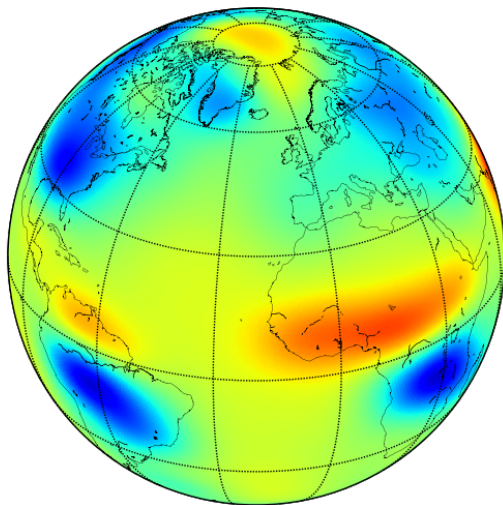


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

September  
2006

# SLR: Geodäsie

---

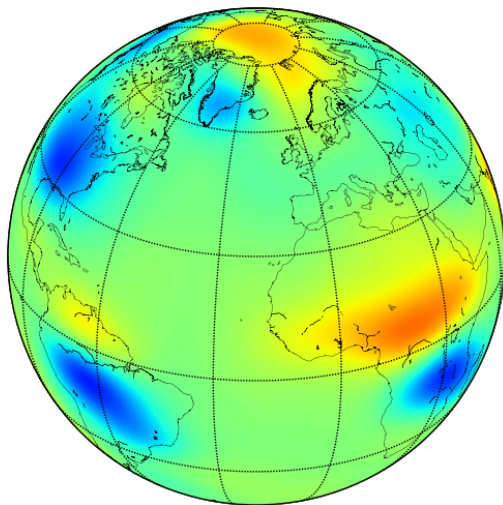


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Oktober  
2006

# SLR: Geodäsie

---

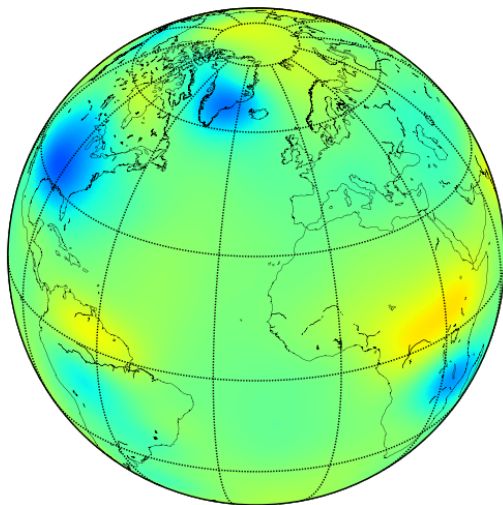


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

November  
2006

# SLR: Geodäsie

---

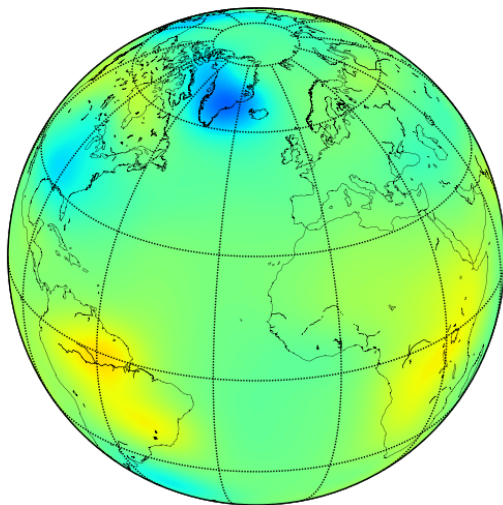


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Dezember  
2006

# SLR: Geodäsie

---

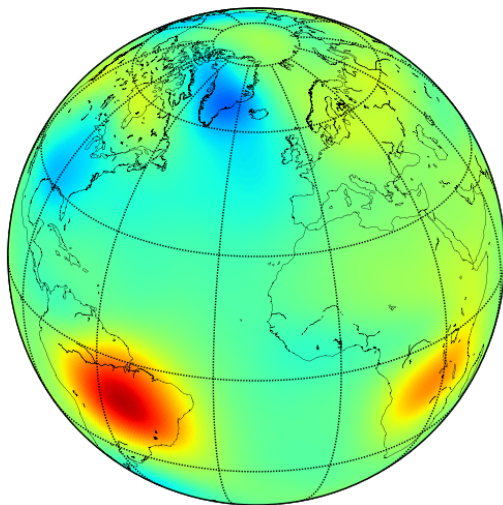


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Januar  
2007

# SLR: Geodäsie

---



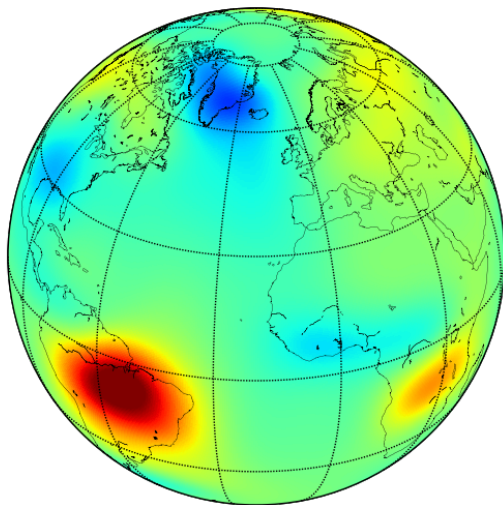
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Februar  
2007



# SLR: Geodäsie

---

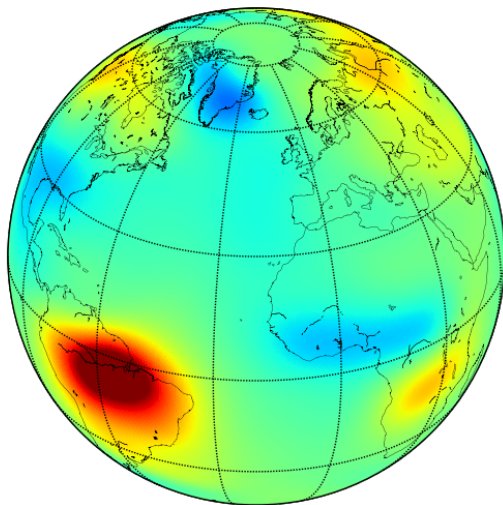


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

März  
2007

# SLR: Geodäsie

---

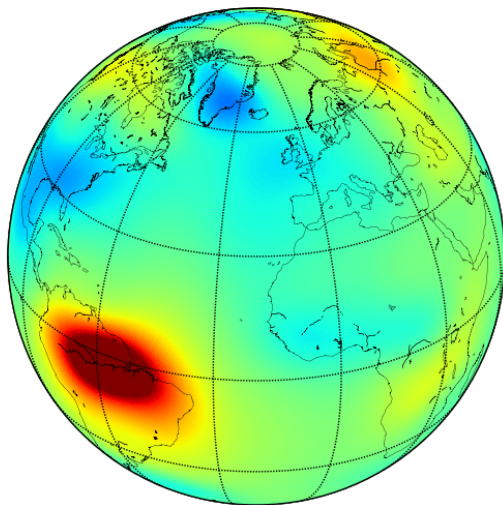


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

April  
2007

# SLR: Geodäsie

---

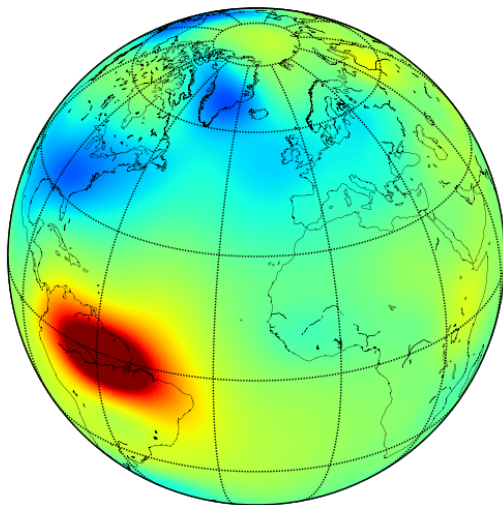


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Mai  
2007

# SLR: Geodäsie

---

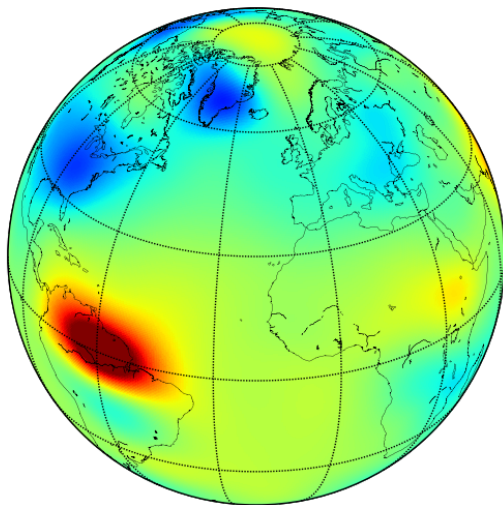


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juni  
2007

# SLR: Geodäsie

---

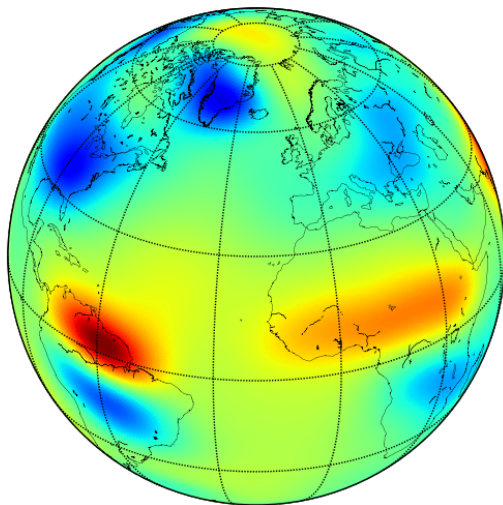


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juli  
2007

# SLR: Geodäsie

---

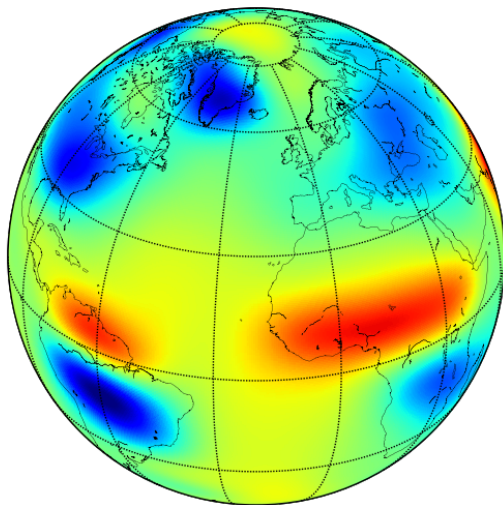


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

August  
2007

# SLR: Geodäsie

---

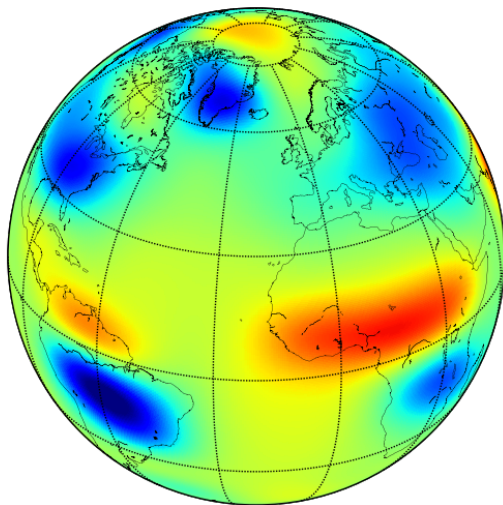


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

September  
2007

# SLR: Geodäsie

---



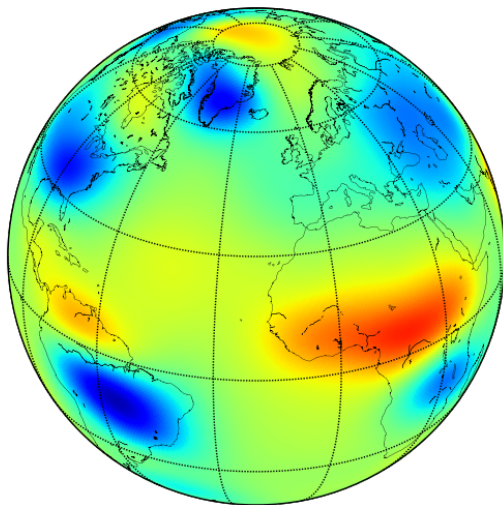
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Oktober  
2007



# SLR: Geodäsie

---

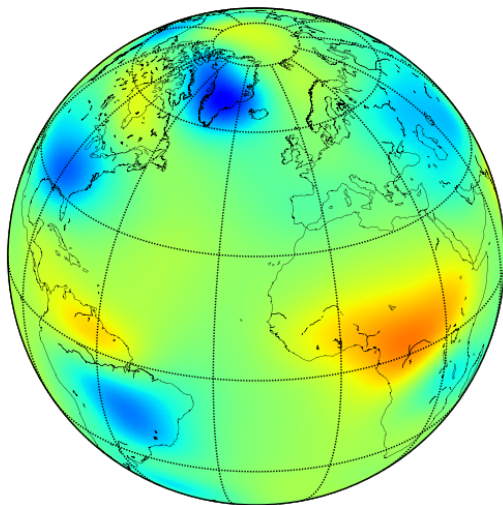


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

November  
2007

# SLR: Geodäsie

---

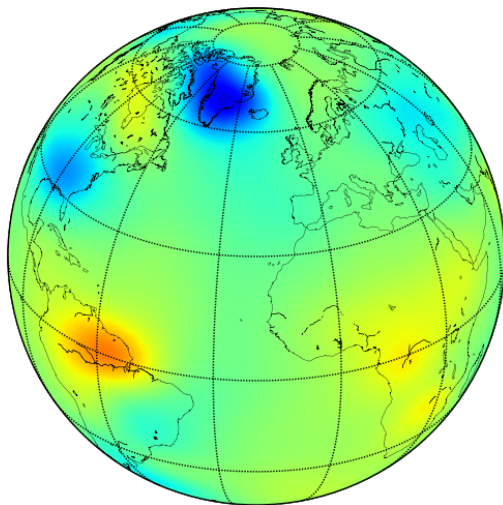


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Dezember  
2007

# SLR: Geodäsie

---

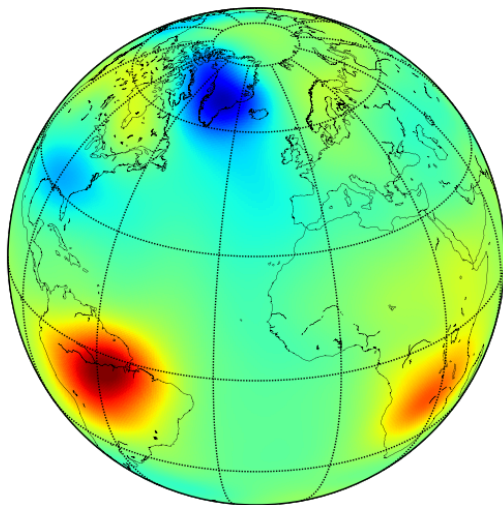


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Januar  
2008

# SLR: Geodäsie

---

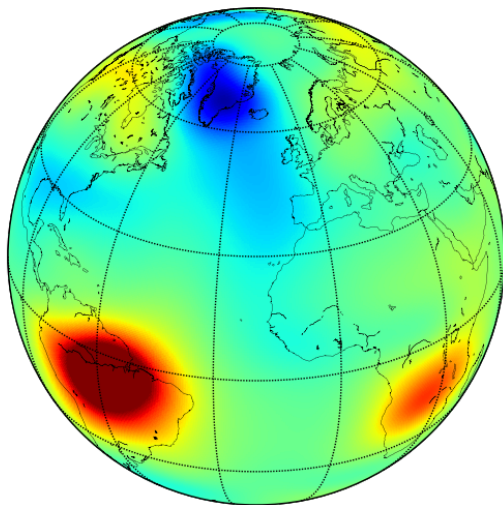


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Februar  
2008

# SLR: Geodäsie

---

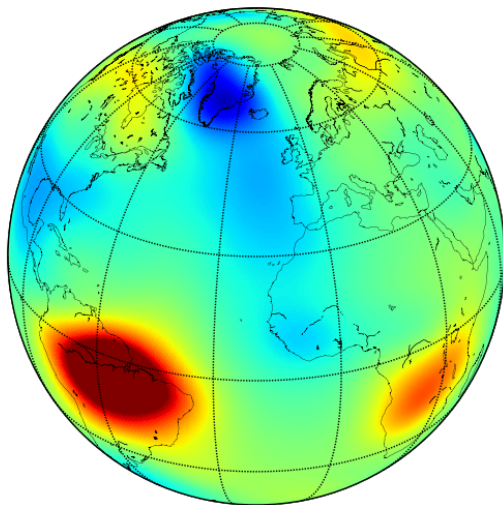


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

März  
2008

# SLR: Geodäsie

---

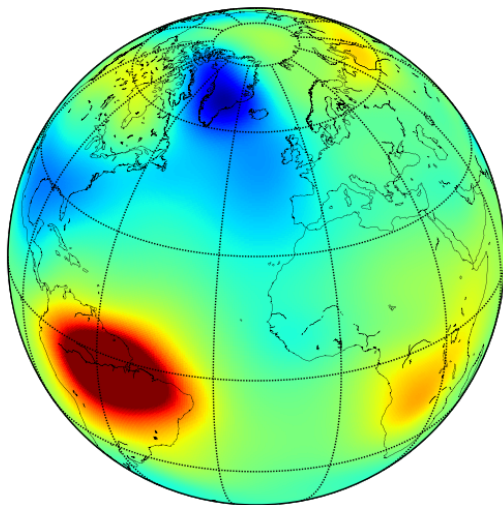


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

April  
2008

# SLR: Geodäsie

---

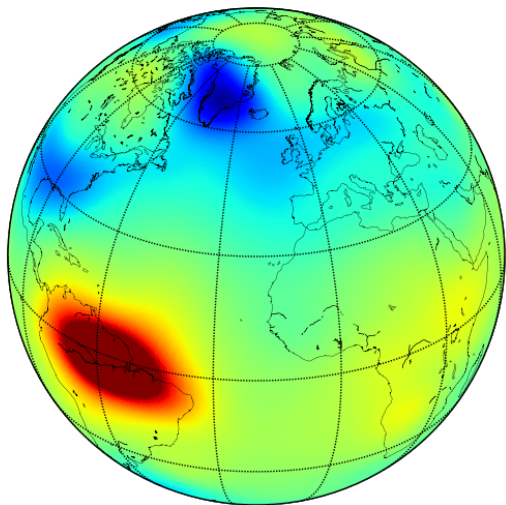


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Mai  
2008

# SLR: Geodäsie

---



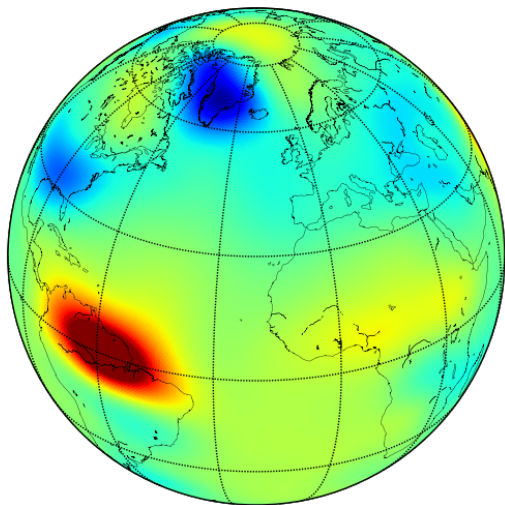
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juni  
2008



# SLR: Geodäsie

---

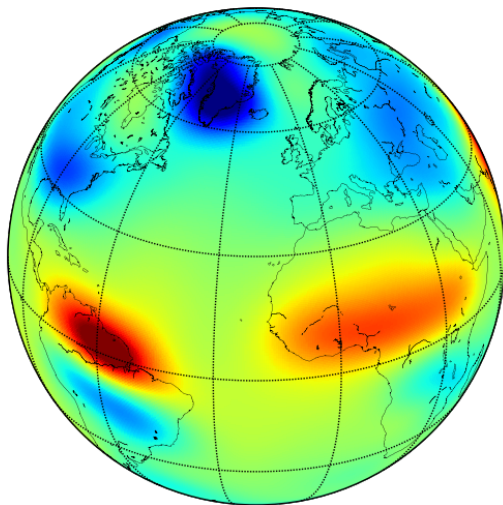


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juli  
2008

# SLR: Geodäsie

---

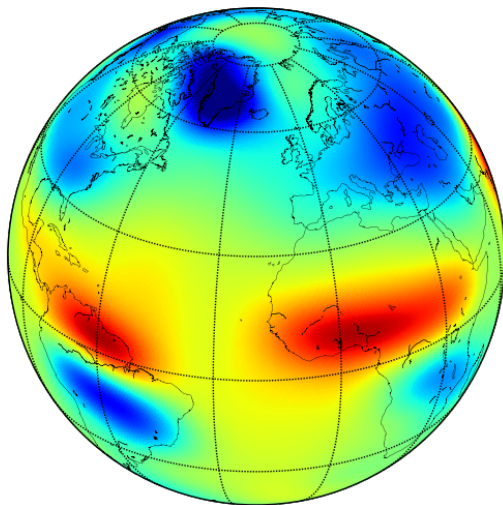


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

August  
2008

# SLR: Geodäsie

---

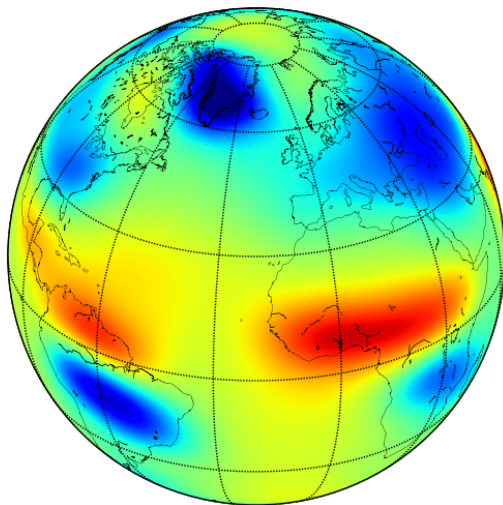


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

September  
2008

# SLR: Geodäsie

---

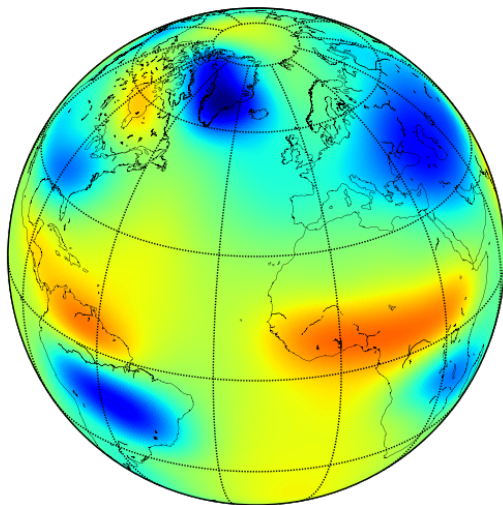


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Oktober  
2008

# SLR: Geodäsie

---

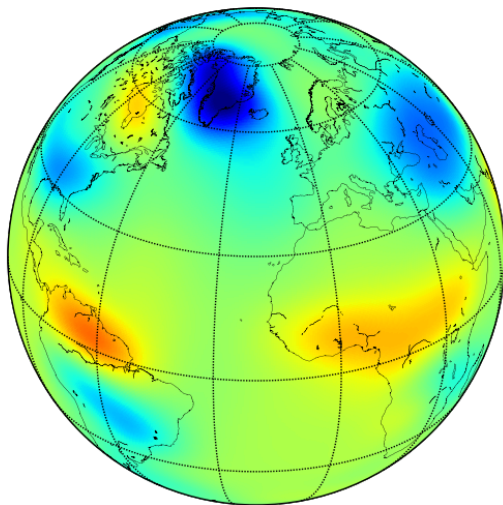


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

November  
2008

# SLR: Geodäsie

---

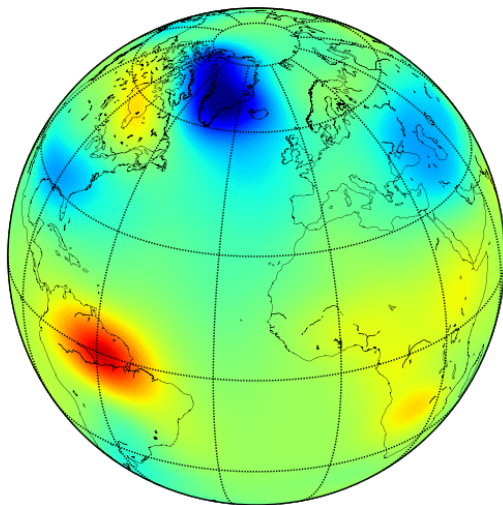


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Dezember  
2008

# SLR: Geodäsie

---

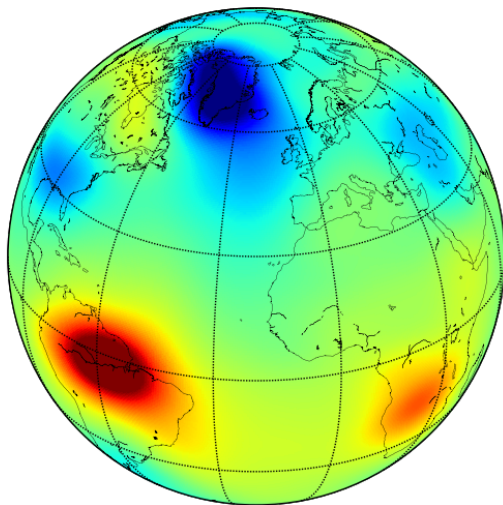


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Januar  
2009

# SLR: Geodäsie

---



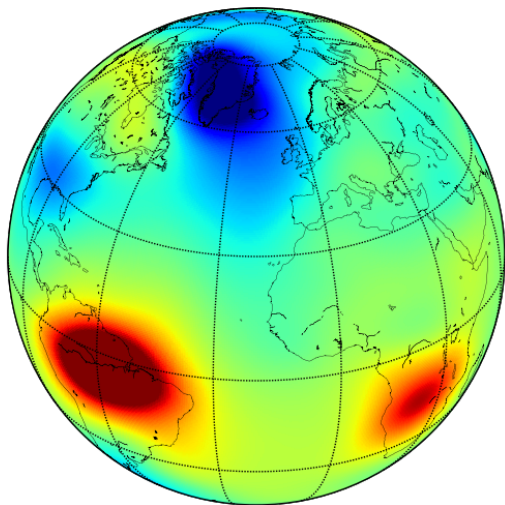
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Februar  
2009



# SLR: Geodäsie

---

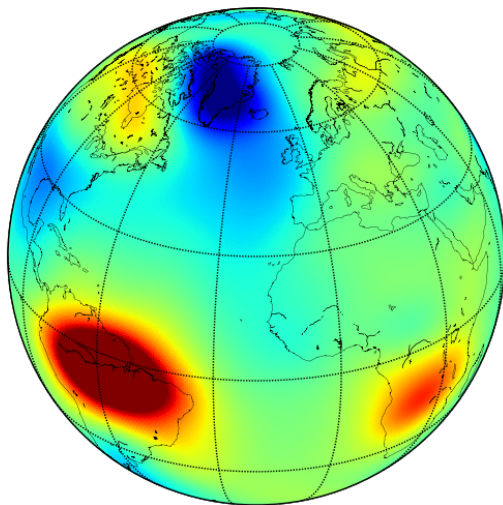


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

März  
2009

# SLR: Geodäsie

---

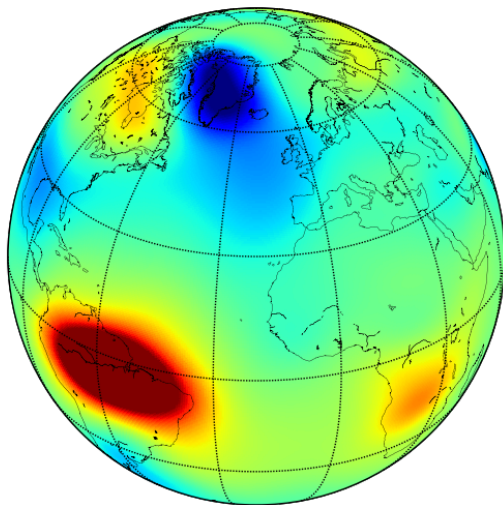


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

April  
2009

# SLR: Geodäsie

---

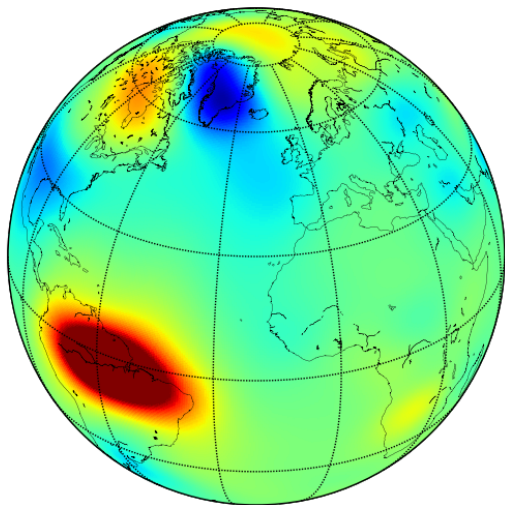


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Mai  
2009

# SLR: Geodäsie

---

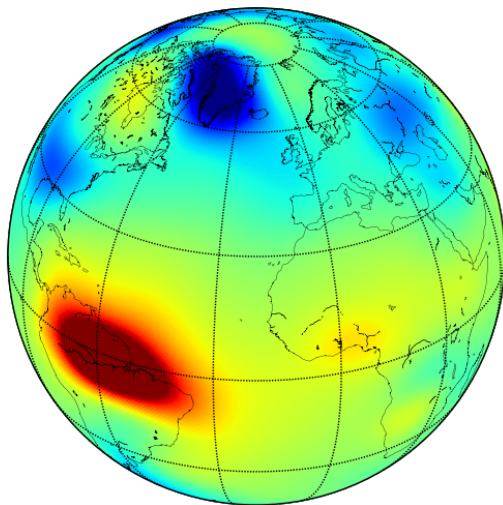


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juni  
2009

# SLR: Geodäsie

---

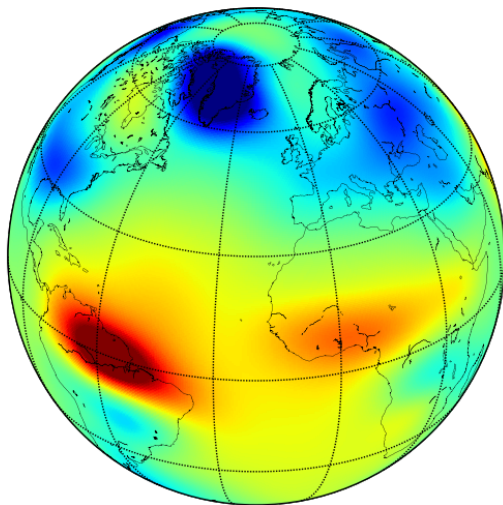


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juli  
2009

# SLR: Geodäsie

---

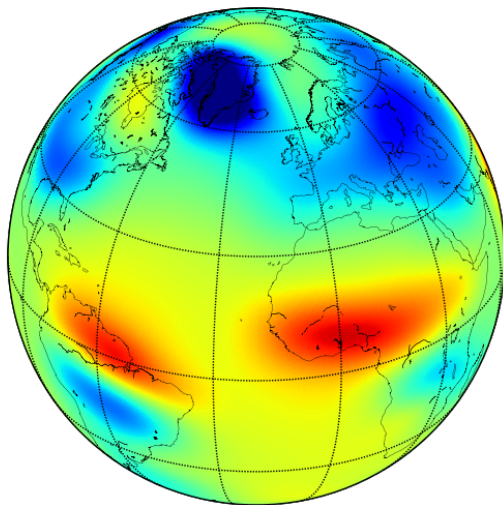


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

August  
2009

# SLR: Geodäsie

---

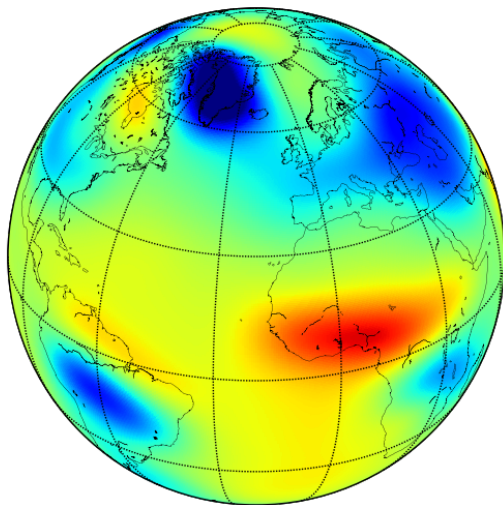


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

September  
2009

# SLR: Geodäsie

---



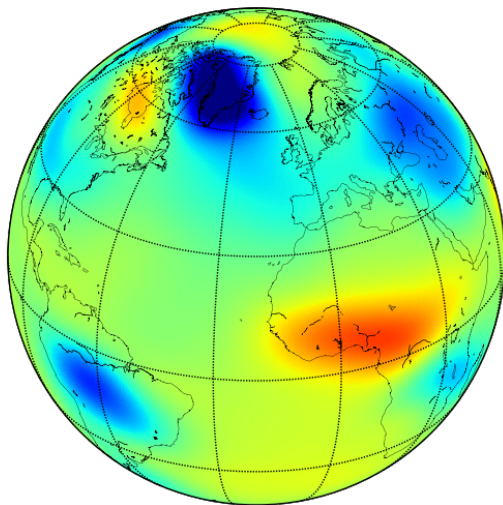
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Oktober  
2009



# SLR: Geodäsie

---

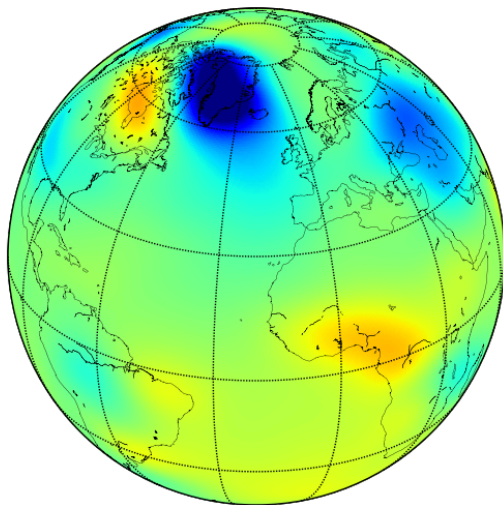


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

November  
2009

# SLR: Geodäsie

---

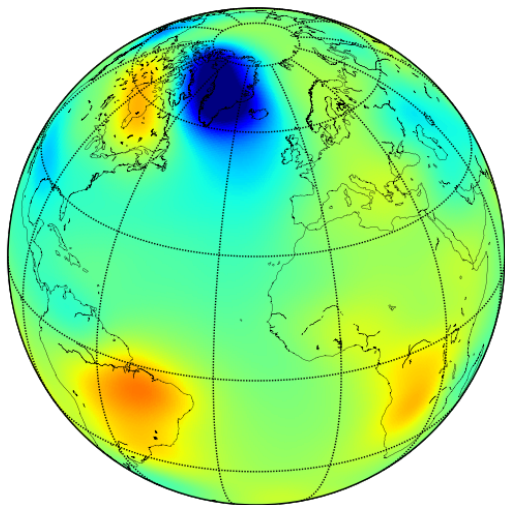


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Dezember  
2009

# SLR: Geodäsie

---

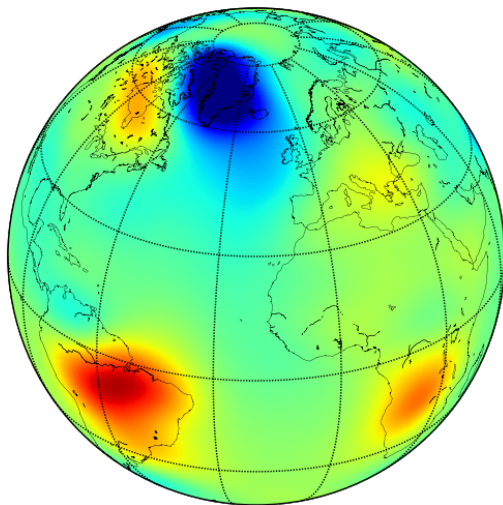


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Januar  
2010

# SLR: Geodäsie

---

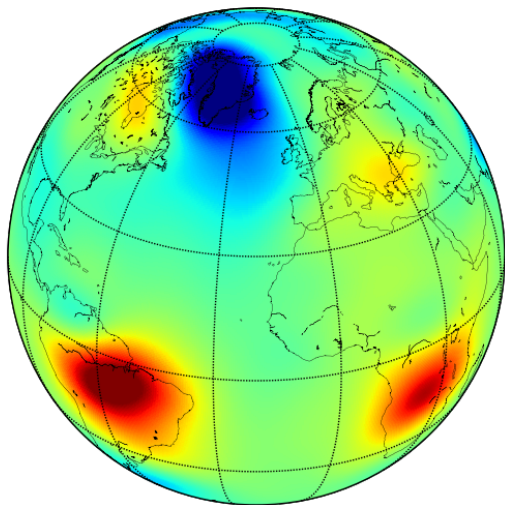


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Februar  
2010

# SLR: Geodäsie

---

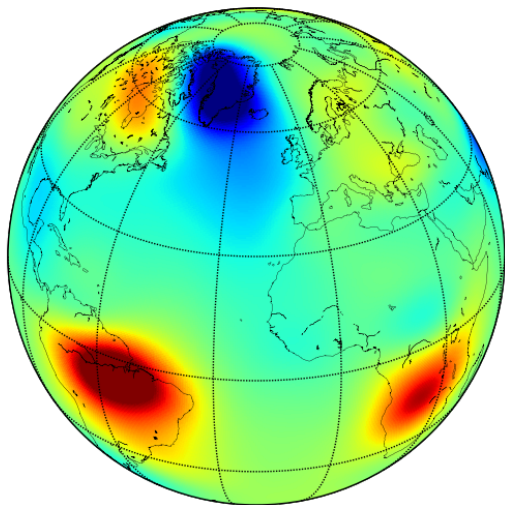


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

März  
2010

# SLR: Geodäsie

---

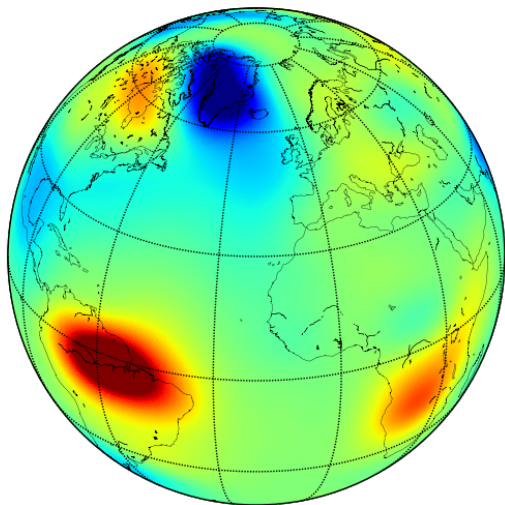


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

April  
2010

# SLR: Geodäsie

---

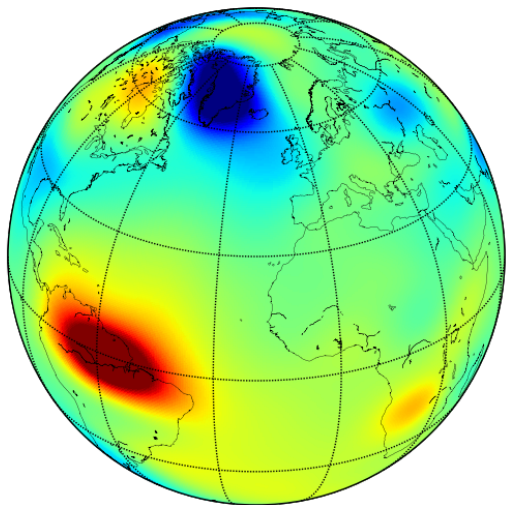


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Mai  
2010

# SLR: Geodäsie

---



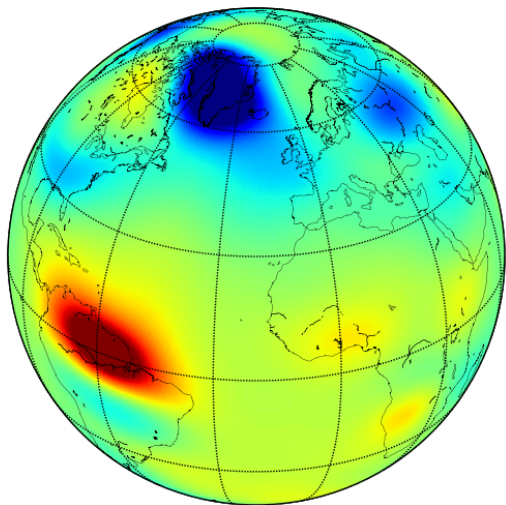
Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juni  
2010



# SLR: Geodäsie

---

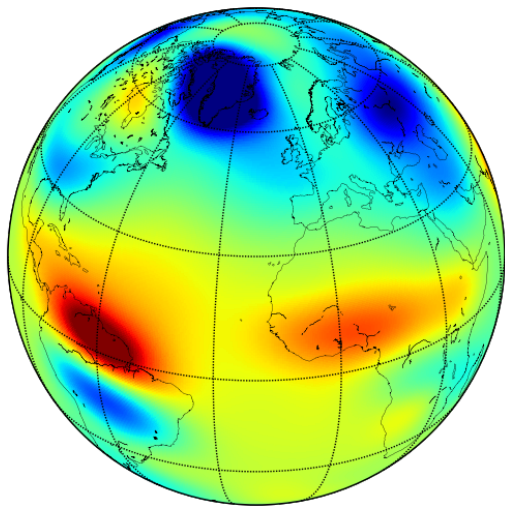


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Juli  
2010

# SLR: Geodäsie

---

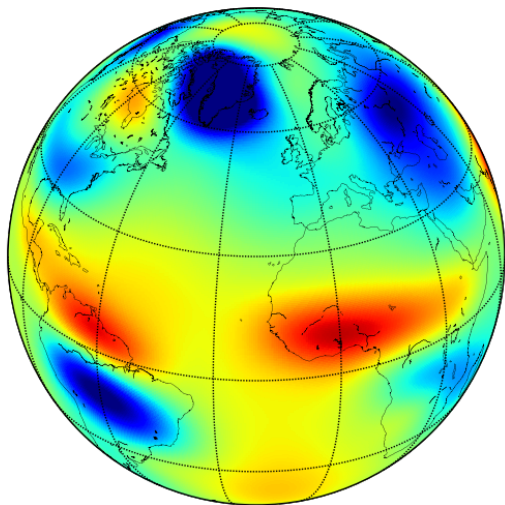


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

August  
2010

# SLR: Geodäsie

---

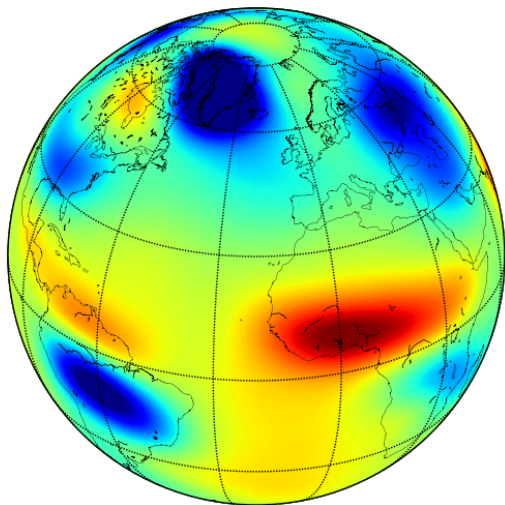


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

September  
2010

# SLR: Geodäsie

---

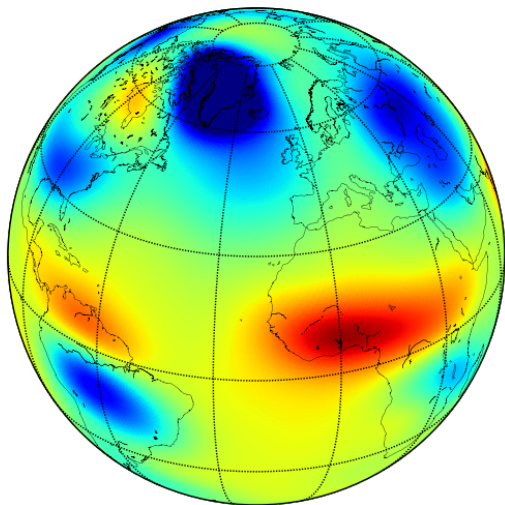


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Oktober  
2010

# SLR: Geodäsie

---

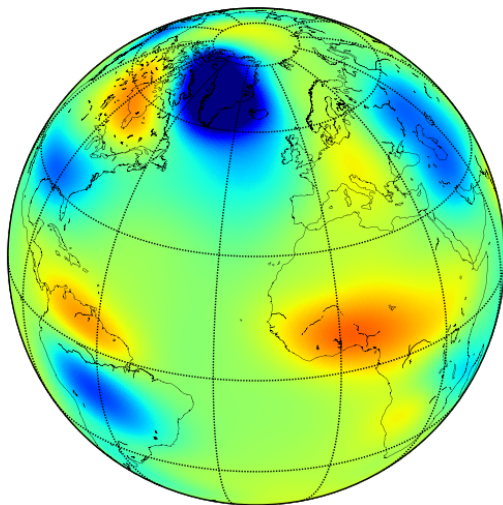


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

November  
2010

# SLR: Geodäsie

---

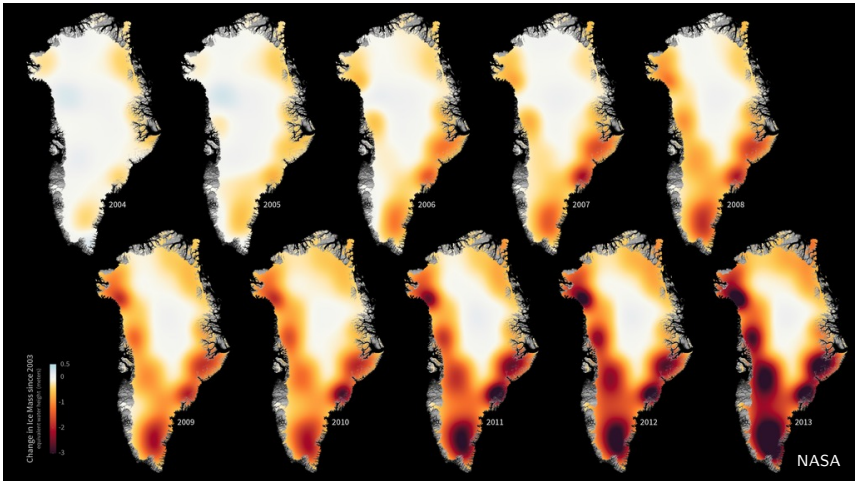


Massenumlagerungen  
ändern das Erdschwerefeld

Dezember  
2010

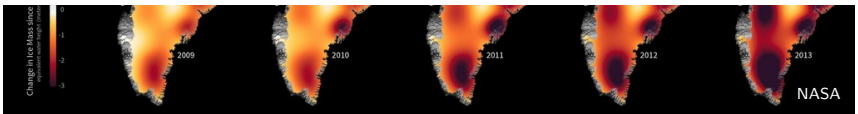
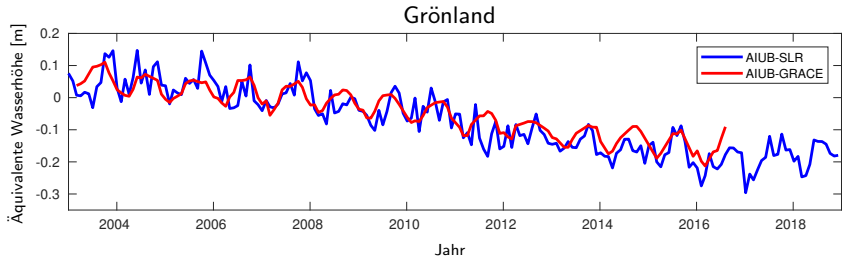
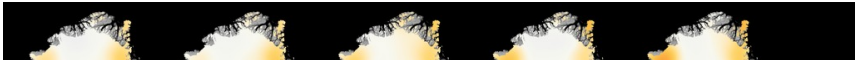
# SLR: Geodäsie

Aus der Änderung des Erdschwerefeld ermittelter **Eismassenverlust** in Grönland (GRACE-Satelliten):



# SLR: Geodäsie

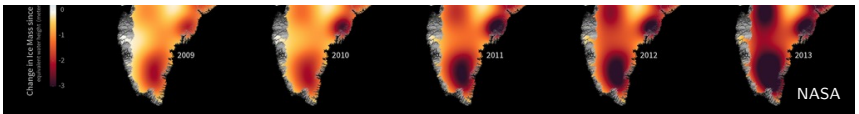
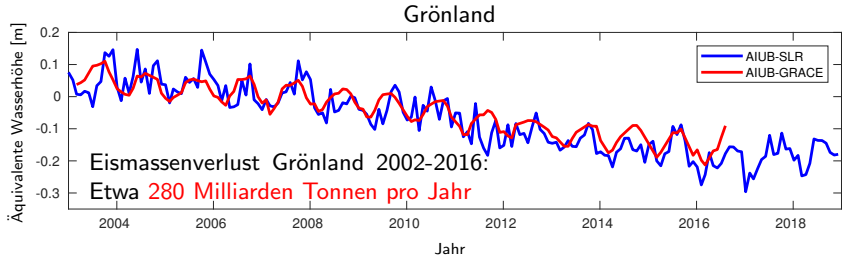
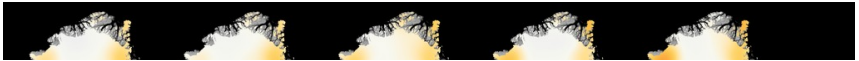
Aus der Änderung des Erdschwerefeld ermittelter **Eismassenverlust** in Grönland (GRACE-Satelliten):



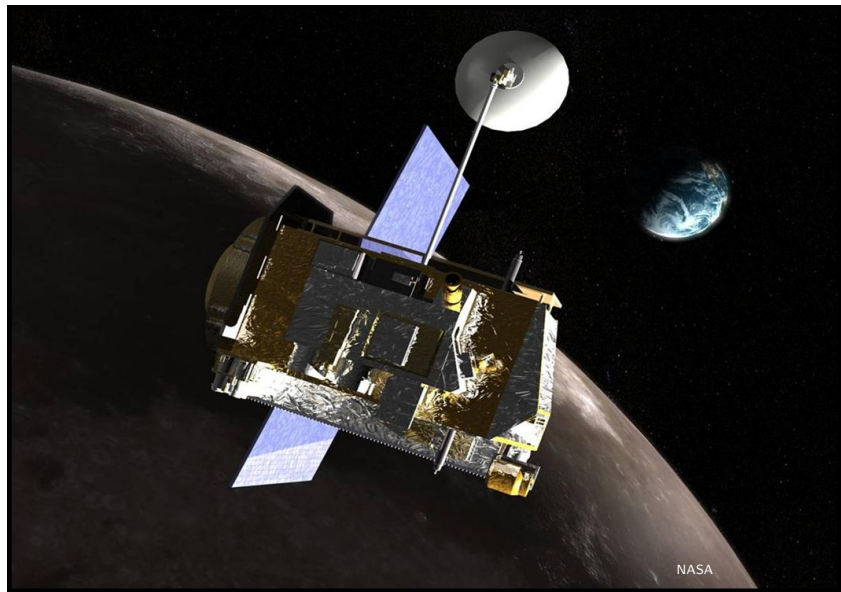


# SLR: Geodäsie

Aus der Änderung des Erdschwerefeld ermittelter **Eismassenverlust** in Grönland (GRACE-Satelliten):



# SLR: Bis zum Mond



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht-Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019

# SLR: Bis zum Mond

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung



# SLR: Bis zum Mond

- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
- Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen

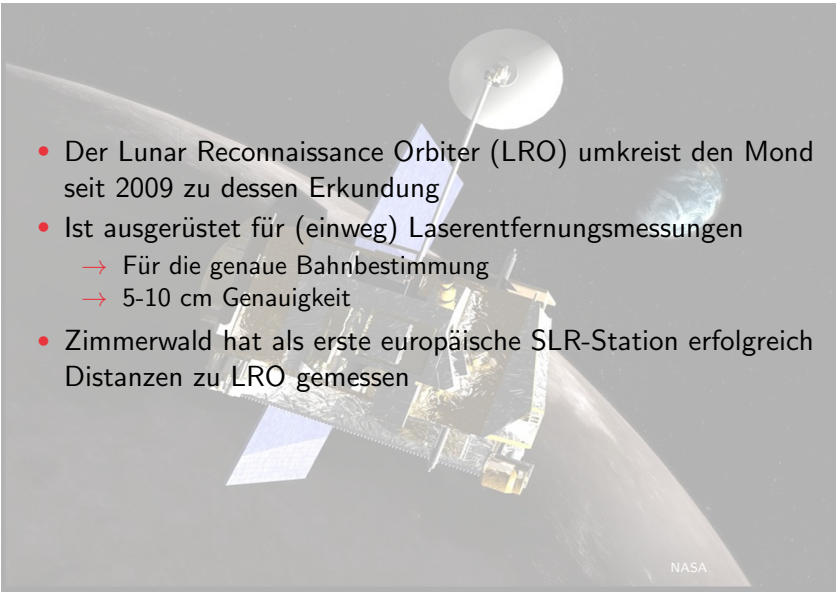
NASA

# SLR: Bis zum Mond

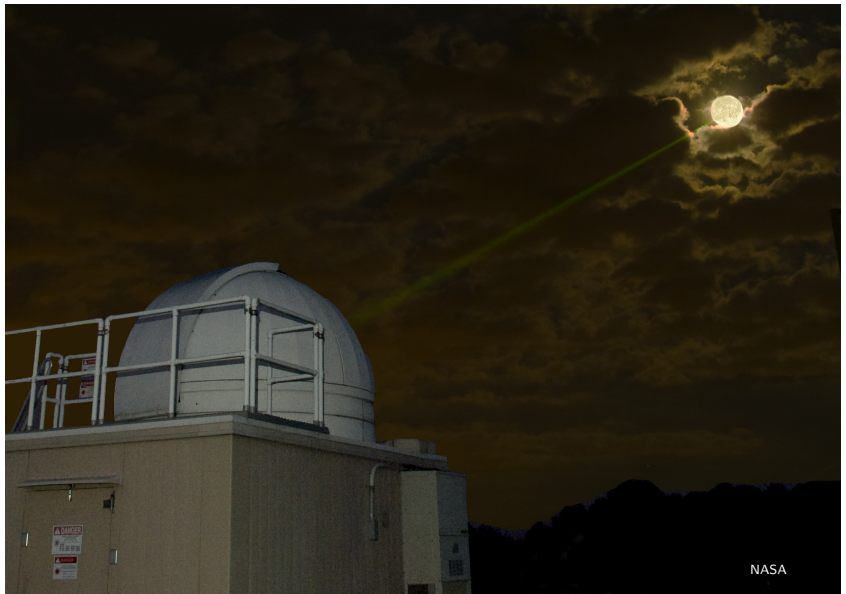
- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
- Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen
  - Für die genaue Bahnbestimmung
  - 5-10 cm Genauigkeit

NASA

# SLR: Bis zum Mond

- 
- A photograph of the Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) in orbit around the Moon. The satellite is shown from a perspective that highlights its large white parabolic dish antenna and solar panels. The Moon's surface is visible in the background, and a small portion of Earth is seen in the distance. The NASA logo is visible in the bottom right corner of the image.
- Der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) umkreist den Mond seit 2009 zu dessen Erkundung
  - Ist ausgerüstet für (einweg) Laserentfernungsmessungen
    - Für die genaue Bahnbestimmung
    - 5-10 cm Genauigkeit
  - Zimmerwald hat als erste europäische SLR-Station erfolgreich Distanzen zu LRO gemessen

# Satellite Laser Ranging (SLR)



NASA

Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019

# Satellite Laser Ranging (SLR)



Daniel Arnold: Zum Mond in einer Sekunde – Mit Licht Distanzen zu Satelliten messen  
Astronomie am Mittag, 29. April 2019



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

[www.aiub.unibe.ch](http://www.aiub.unibe.ch)

