

# GPS – mehr als Satellitennavigation

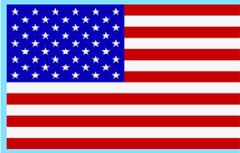
GNSS-Forschungsgruppe des AIUB

*Astronomisches Institut der Universität Bern, Schweiz*

Nacht der Sterne

Bern, 29. Juni 2019

# Global Navigation Satellite System (GNSS)

Land	System	Nominell / Aktiv	Umlaufbahn (Umlaufszeit)	
	GPS	24 / 32	26'560km (11h 58min)	
	GLONASS (ГЛОНАСС)	24 / 23	25'510km (11h 16min)	
	Galileo	24 / 24	30'000km (13h 45min)	
	BeiDou (北斗)	27 / 20 8 / 8 GSO	28'000km (12h 57min)	

# GNSS – mehr als Satellitennavigation

GNSS-Forschungsgruppe des AIUB

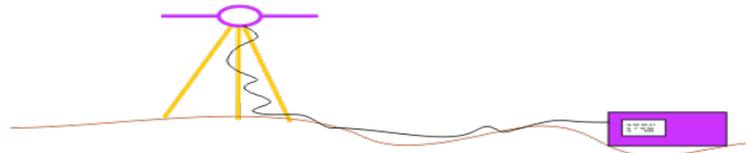
*Astronomisches Institut der Universität Bern, Schweiz*

Nacht der Sterne

Bern, 29. Juni 2019

# Wie funktioniert ein GNSS?

- Ein **GNSS-Empfänger** ist mit einer GNSS-Antenne verbunden.



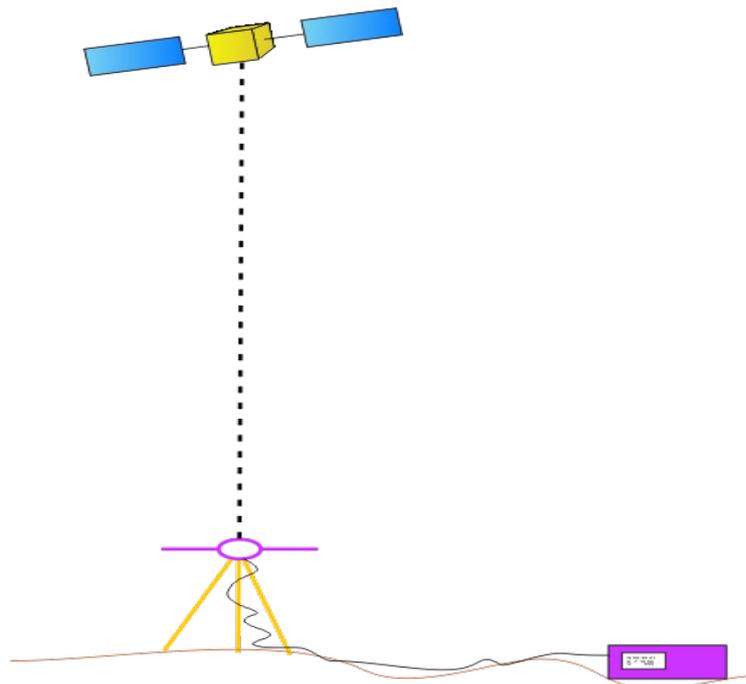
# Wie funktioniert ein GNSS?

- **GNSS-Satelliten** fliegen etwa 20'000 km über der Erdoberfläche.



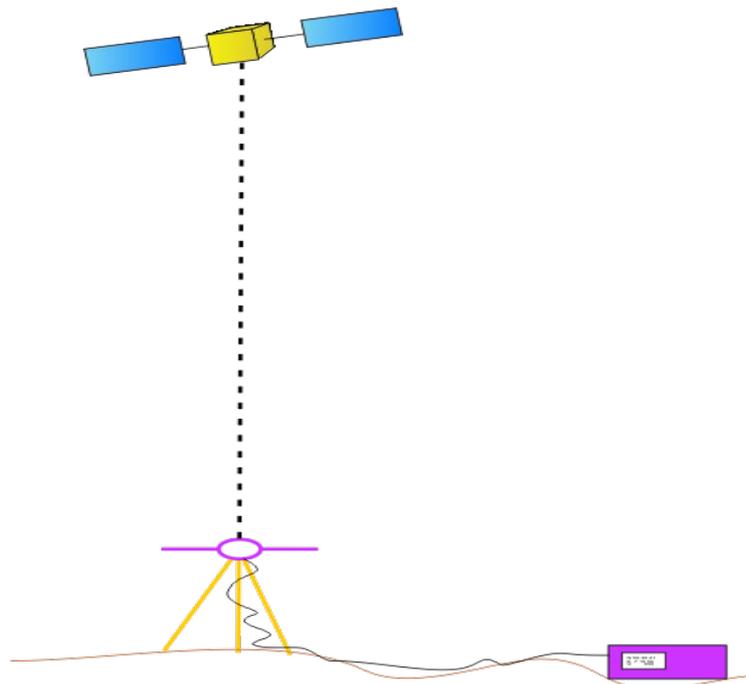
# Wie funktioniert ein GNSS?

- GNSS-Satelliten senden ständig **Mikrowellensignale** aus, die von der GNSS-Antenne empfangen werden.



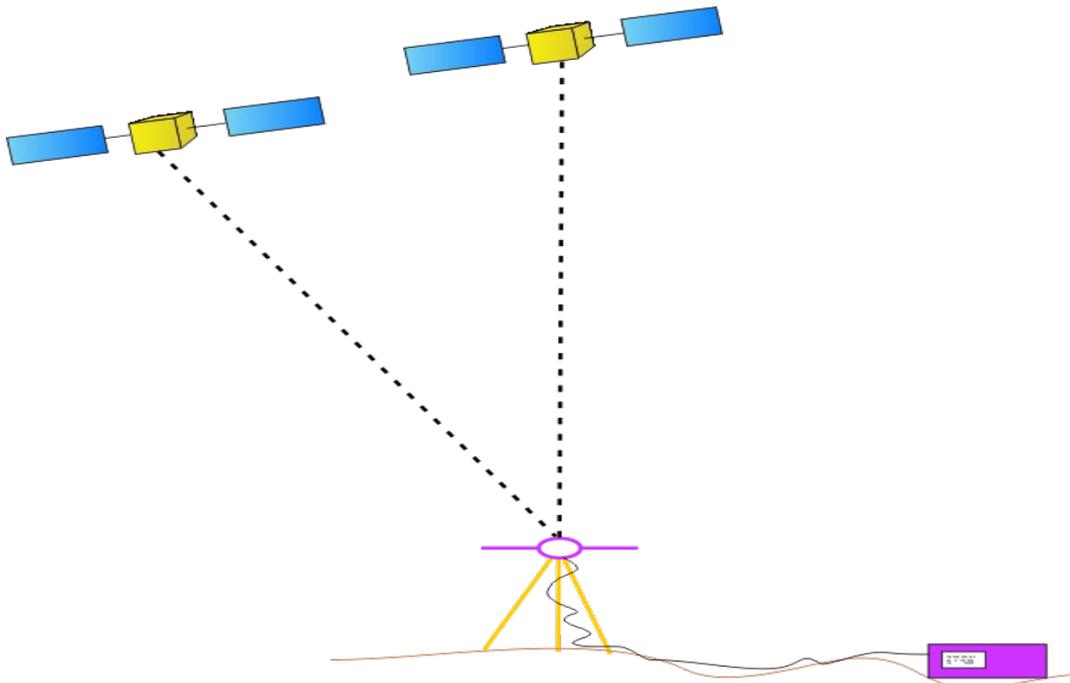
# Wie funktioniert ein GNSS?

- Die **Position** (Bahn) **und Uhr** von mindestens vier GNSS-Satelliten müssen **bekannt** sein, ...



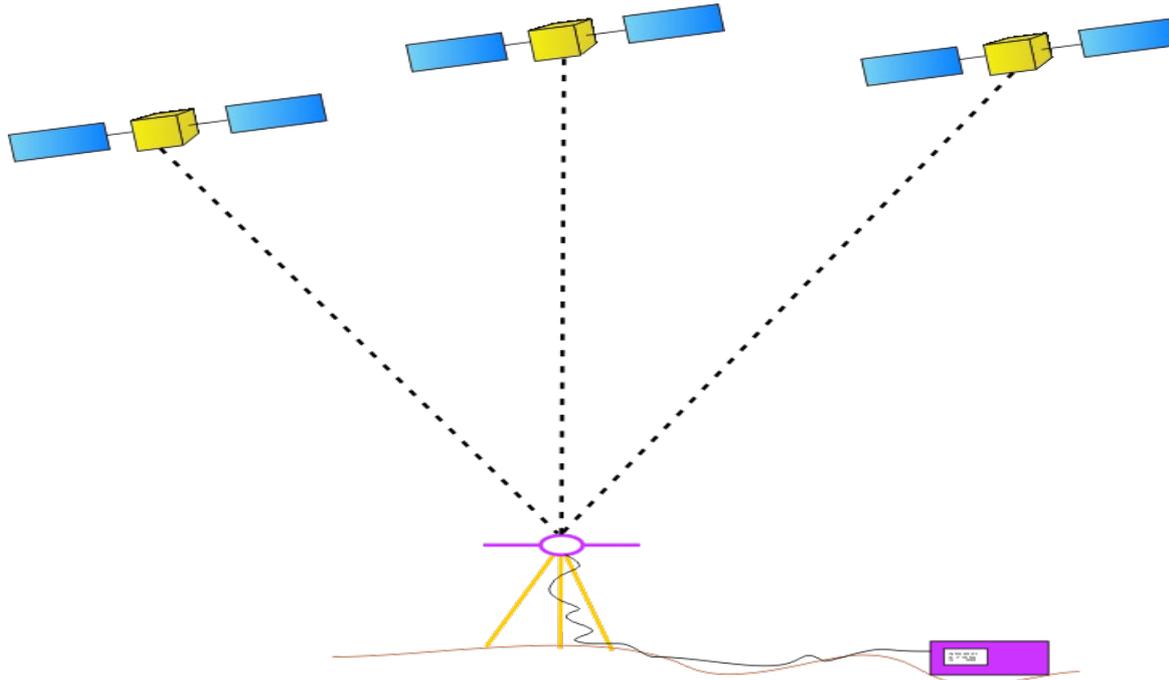
# Wie funktioniert ein GNSS?

- Die **Position** (Bahn) **und Uhr** von mindestens vier GNSS-Satelliten müssen **bekannt** sein, ...



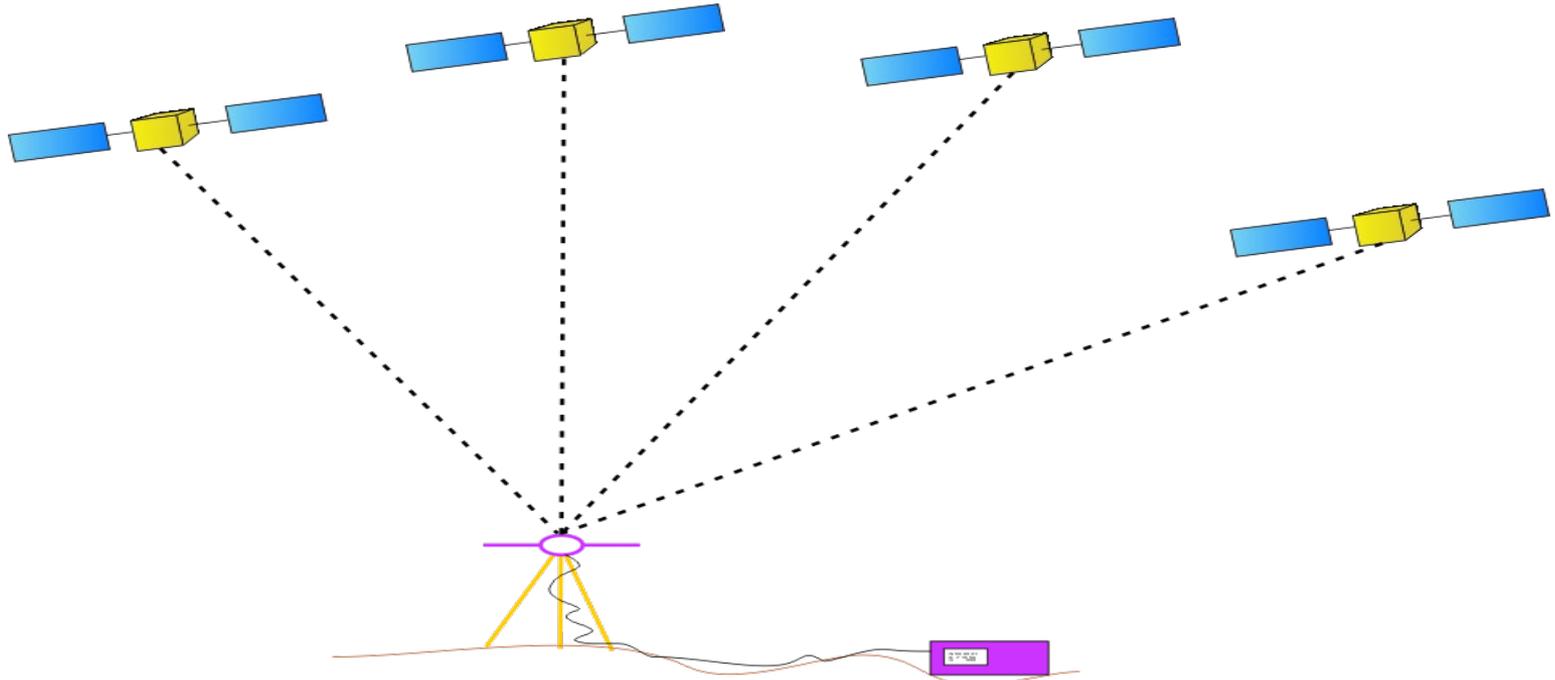
# Wie funktioniert ein GNSS?

- Die **Position** (Bahn) **und Uhr** von mindestens vier GNSS-Satelliten müssen **bekannt** sein, ...



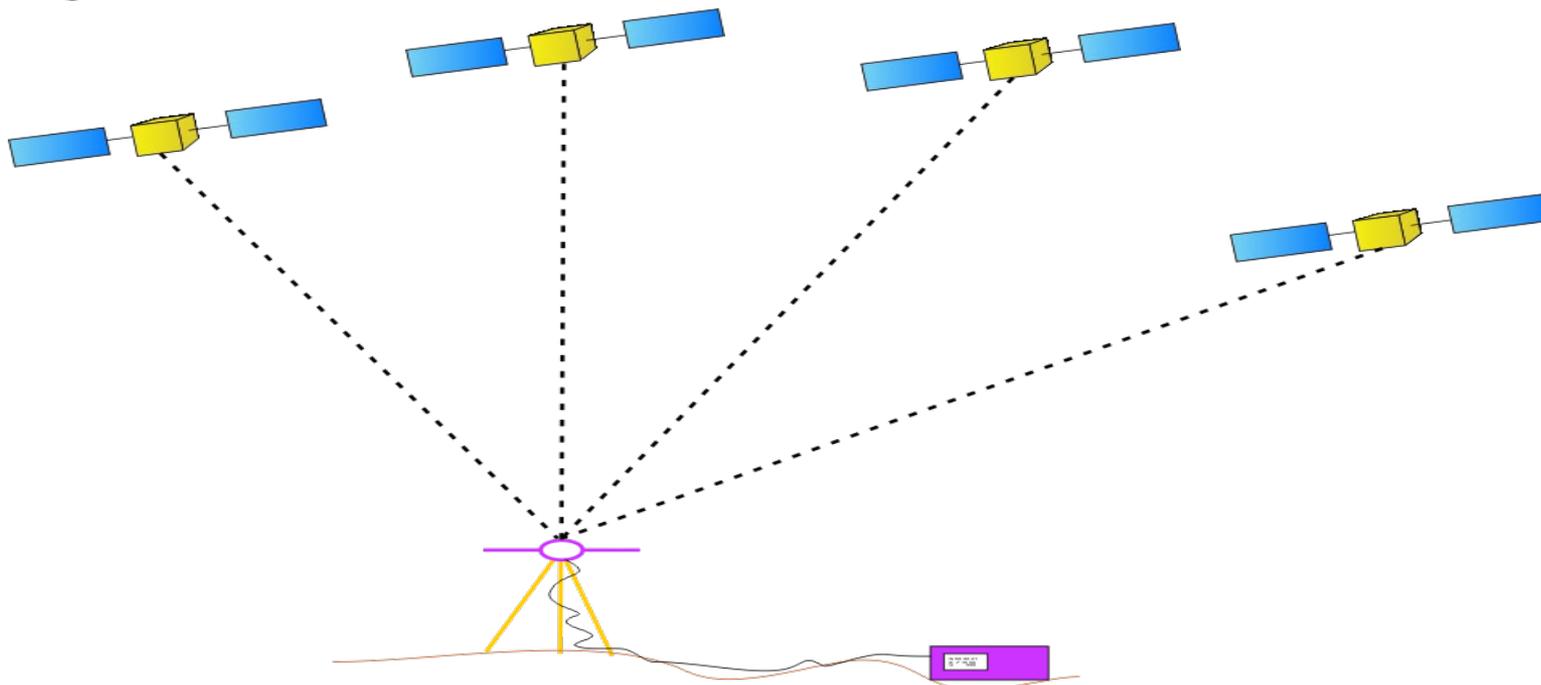
# Wie funktioniert ein GNSS?

- Die **Position** (Bahn) **und Uhr** von mindestens vier GNSS-Satelliten müssen **bekannt** sein, ...



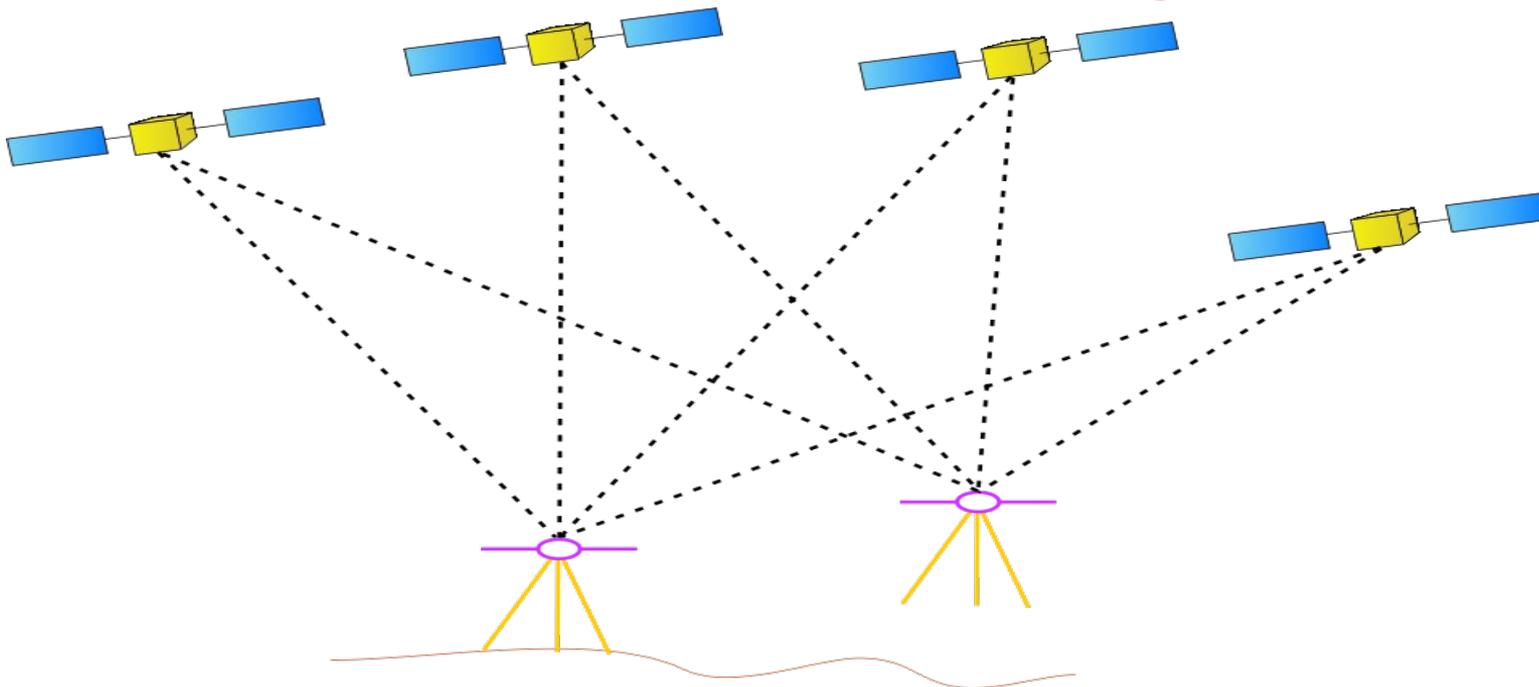
# Wie funktioniert ein GNSS?

- ... um die Position der Antenne und die Uhr des Empfängers zu bestimmen.



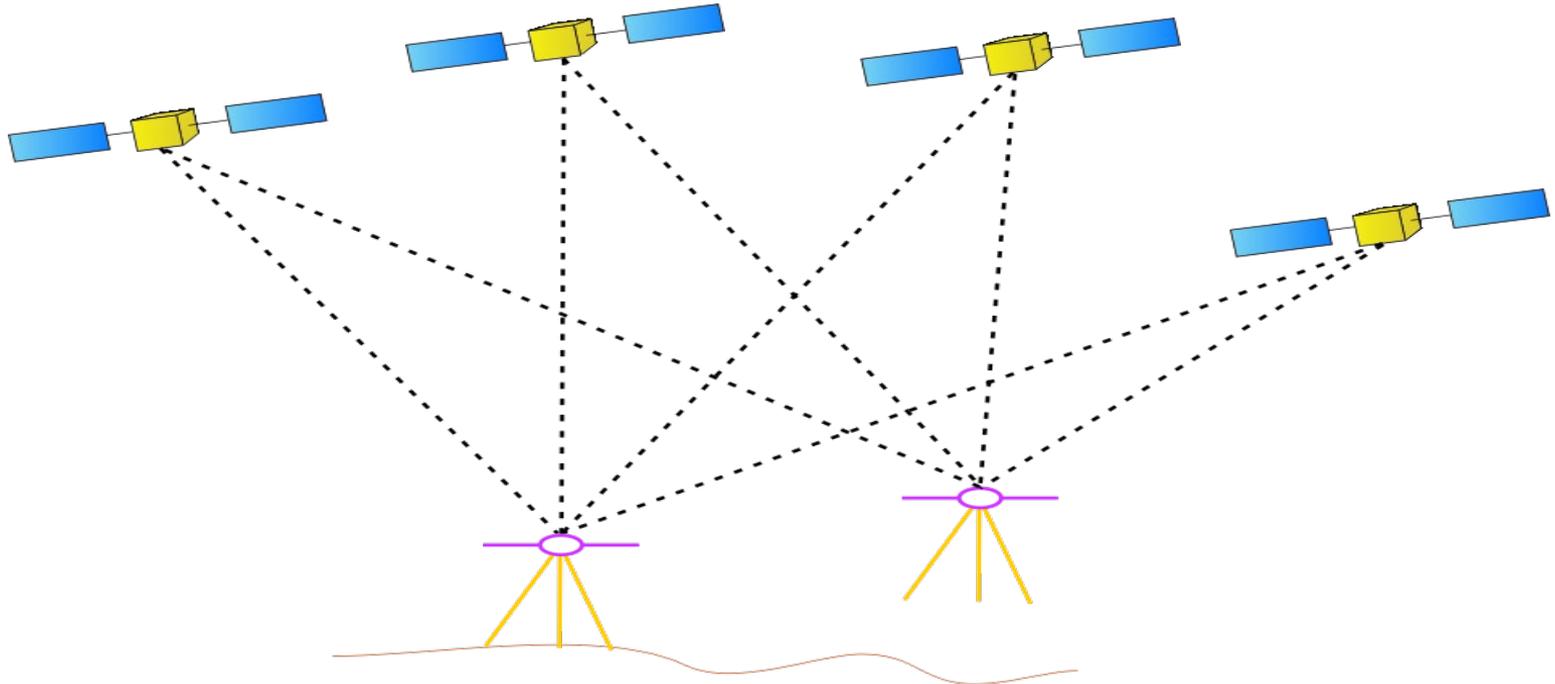
# Wie funktioniert ein GNSS?

- Werden die Positionen mehrerer GNSS-Antennen gemeinsam bestimmt, entsteht eine **Netzwerklösung**.



# Wie funktioniert ein GNSS?

- Sind nun die Koordinaten einiger Stationen bekannt, können auch die **Satellitenbahnen** bestimmt werden.

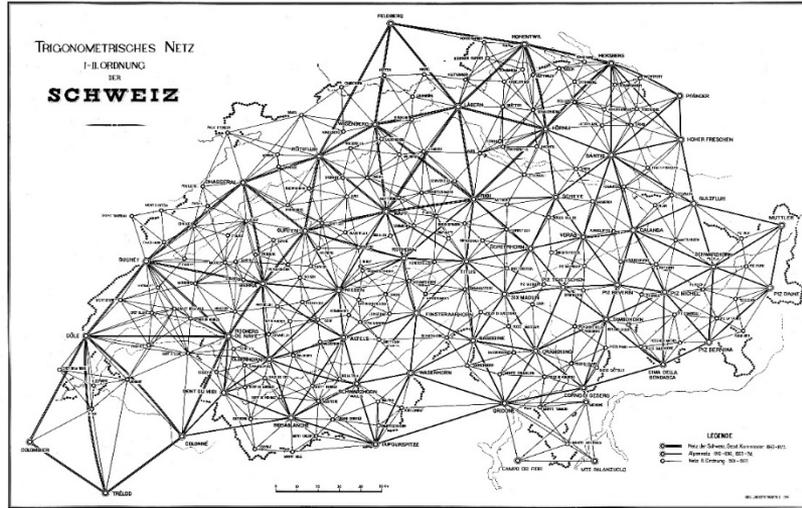
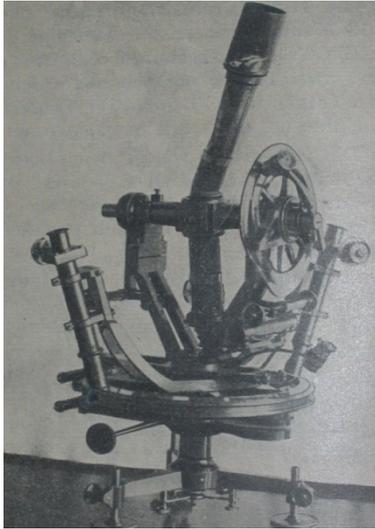


# Wie genau kann ich mich positionieren?

Die Positionsgenauigkeit hängt von der verwendeten Methode ab.

- Kostengünstige Empfänger (Smartphones, Autonavigation, ...)
  - Code Messungen: 10–20 m
  - Code mit Korrekturdaten: 1–10m
- Teure Empfänger (Geodätische Empfänger)
  - RTK (Echtzeit) und Precise Point Positioning (PPP): 1–10 cm
  - Statisch (über mehrere Stunden bis Tage): 1–10 mm

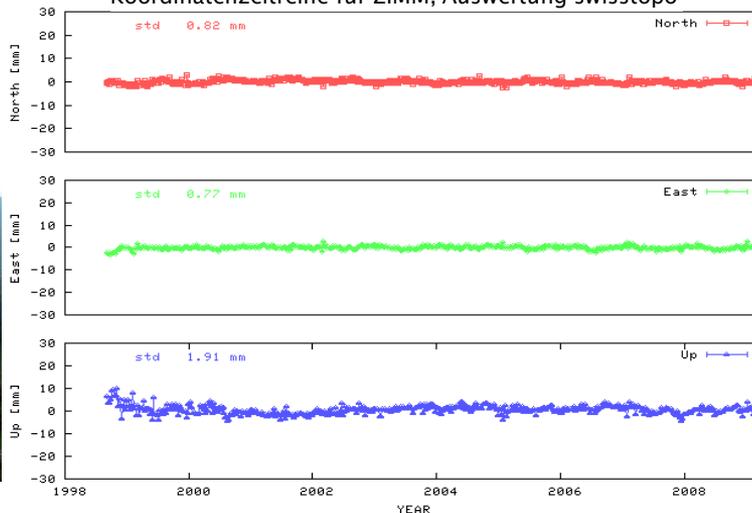
- Landesvermessung – die Grundlage für alle geodätischen Tätigkeiten in der Schweiz:



**DAMALS** mit Triangulation und Zielpyramiden  
(Meter-Genauigkeit für die Schweiz)

- Landesvermessung – die Grundlage für alle geodätischen Tätigkeiten in der Schweiz:

Koordinatenzeitreihe für ZIMM, Auswertung swisstopo



**HEUTE** als GNSS-Permanentnetz (AGNES) mit Verdichtungspunkten (mit mm-Genauigkeit)

# Anwendungsbeispiele für GNSS-Messungen

- Vorbereitungsmessungen für den Tunnelbau:



***DAMALS*** mühsame Bergkletterei über mehrere Monate

- Vorbereitungsmessungen für den Tunnelbau:



**HEUTE** sehr effektiv innerhalb weniger Tage mit  
GNSS-Messungen

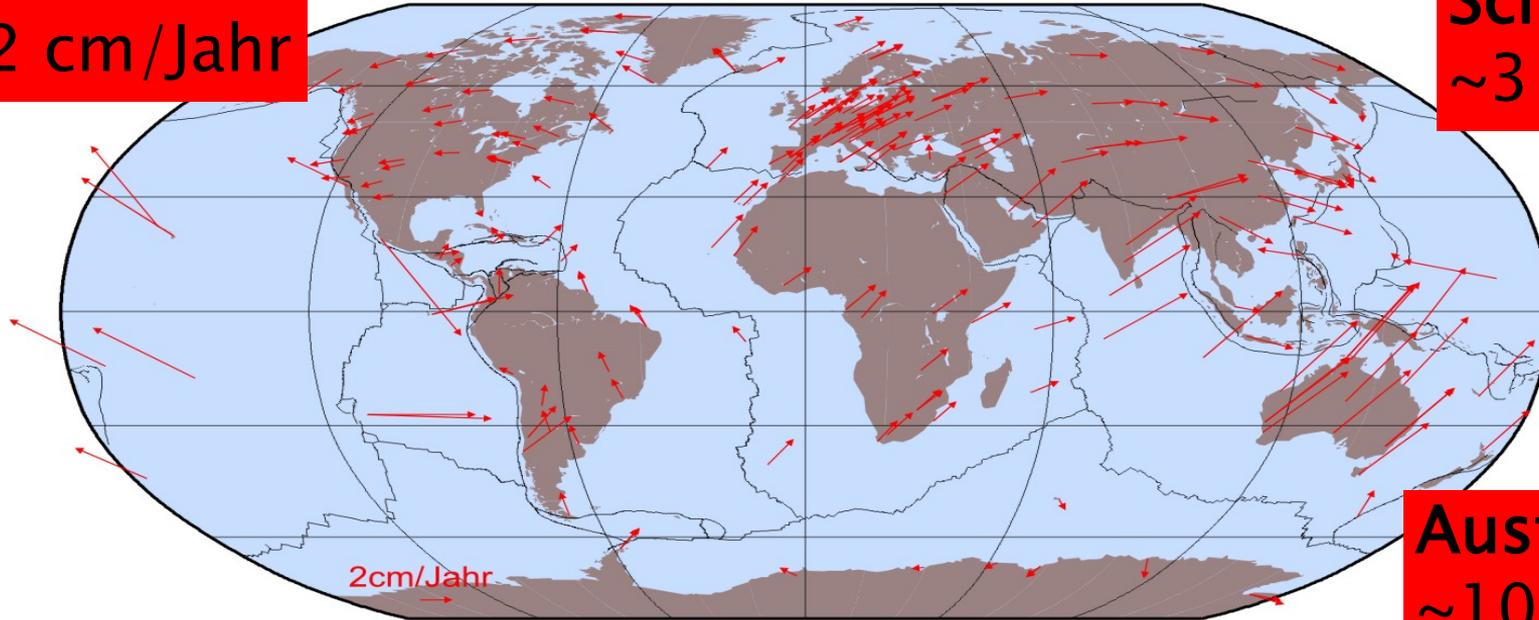
# Anwendungsbeispiele für GNSS-Messungen

- Bestimmung der globalen Bewegung der Erdkruste:

## *“Plattentektonik”*

**USA:**  
~2 cm/Jahr

**Schweiz:**  
~3 cm/Jahr

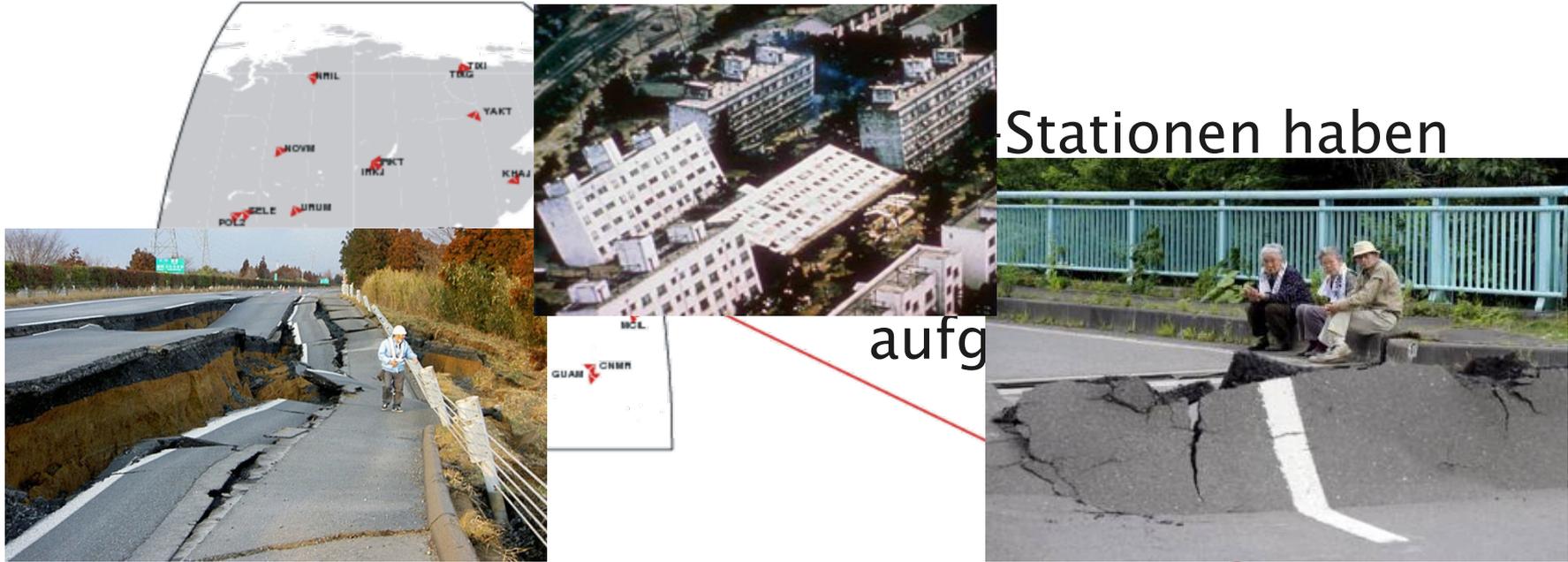


Bewegung von ausgewählten IGS-Stationen, Auswertung CODE/AIUB

**Australien:**  
~10 cm/Jahr

# Anwendungsbeispiele für GNSS-Messungen

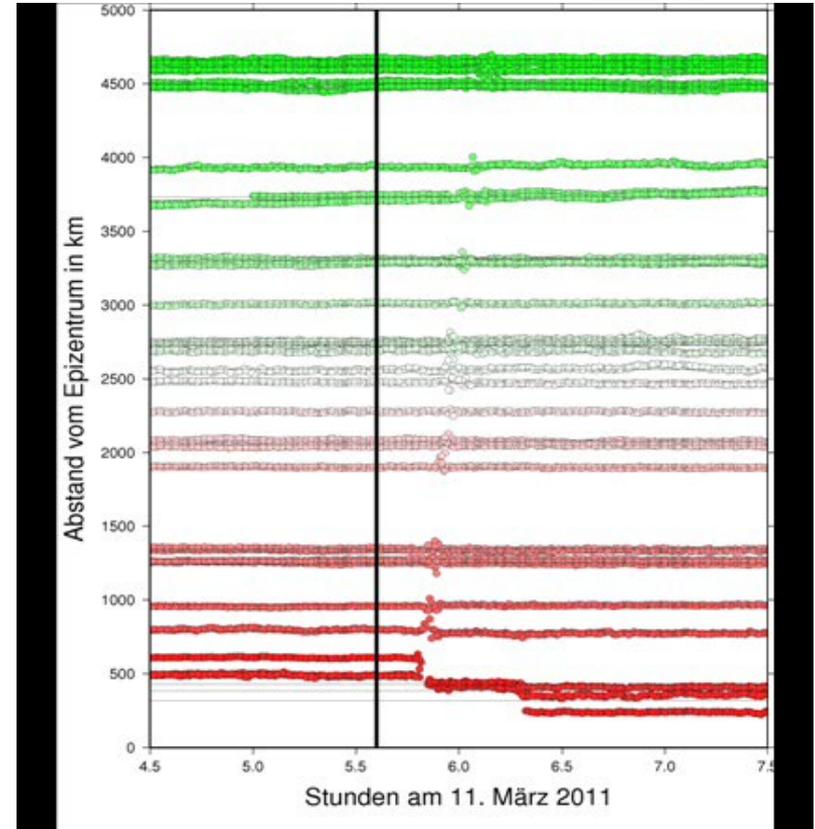
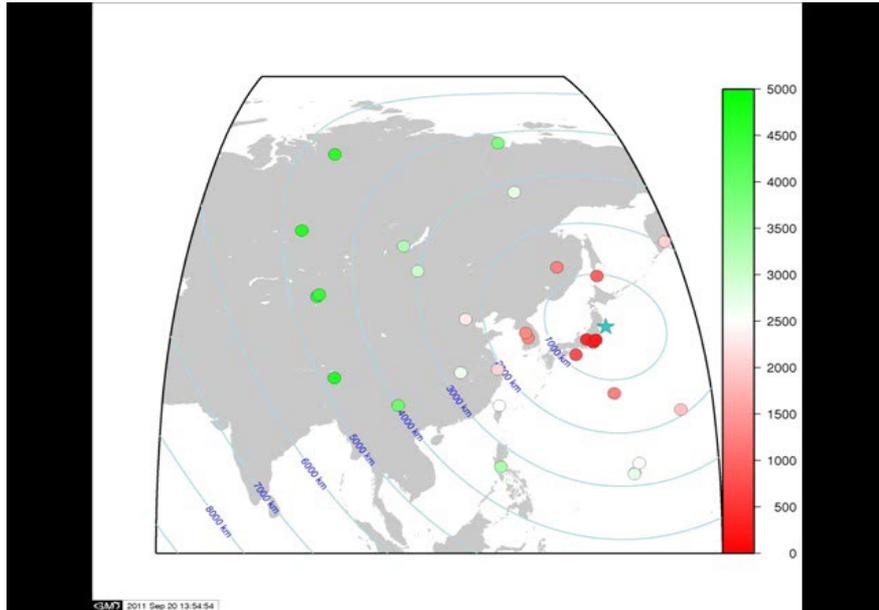
- Am **11. März 2011** um 05:46:23 UTC fand 24.4 km vor der Küste von Honshu (Japan) ein **Erdbeben** der Magnitude 9.0 statt.



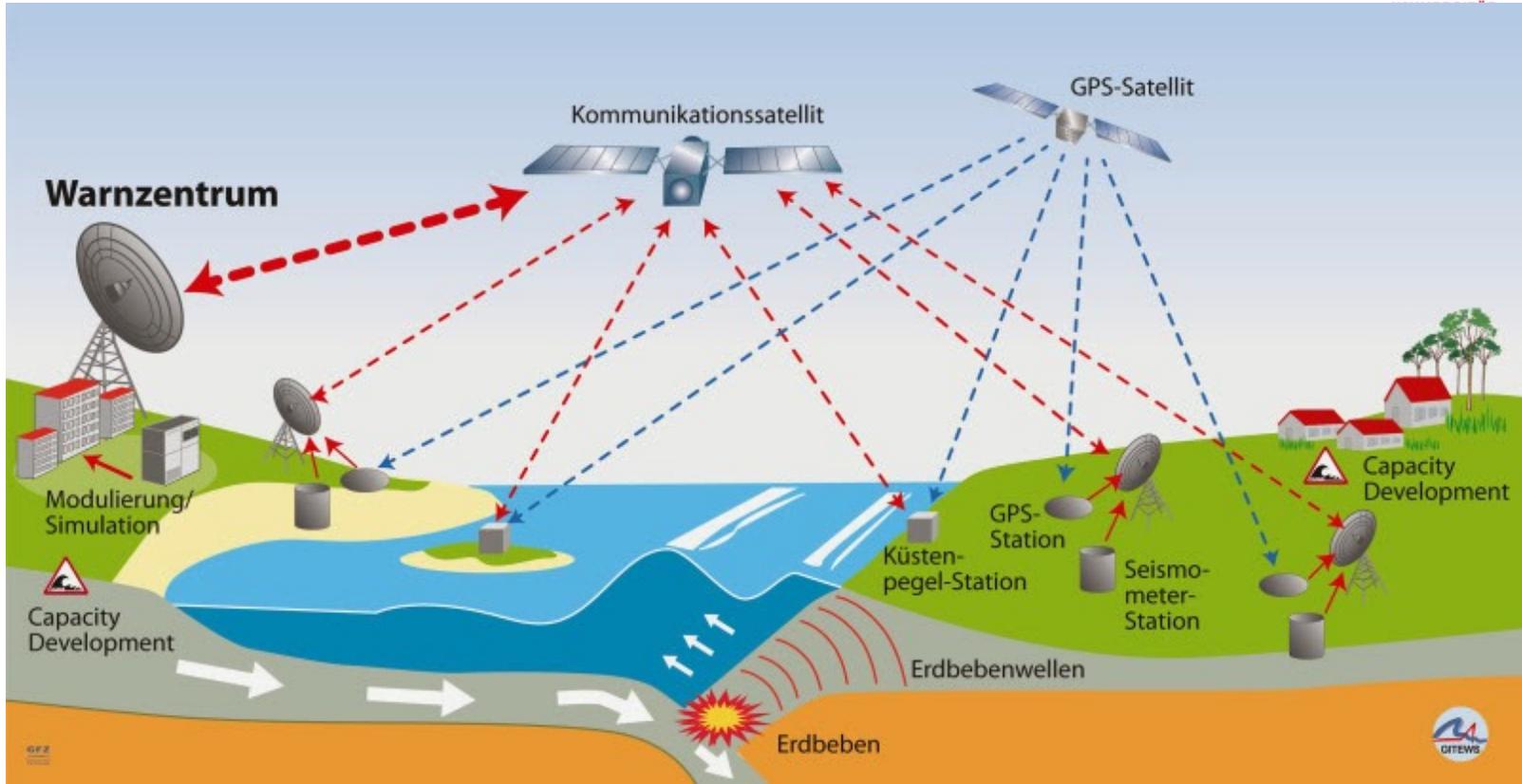
# Anwendungsbeispiele für GNSS-Messungen

$u^b$

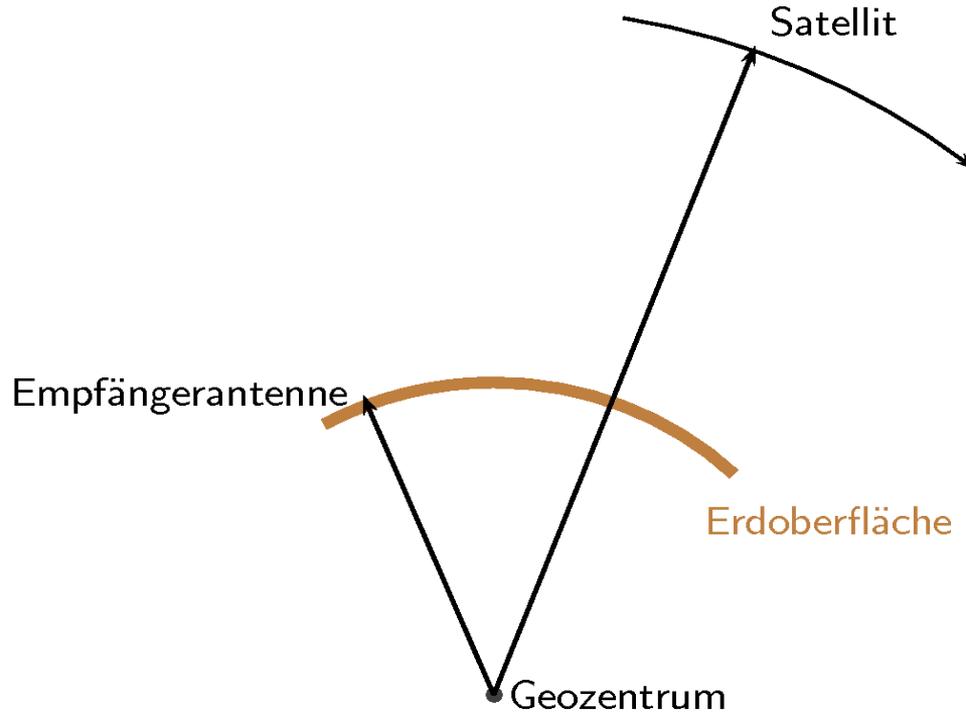
- Die Erdbebenwelle kann auch in weiter entfernten Regionen zeitverzögert mit GNSS nachgewiesen werden.



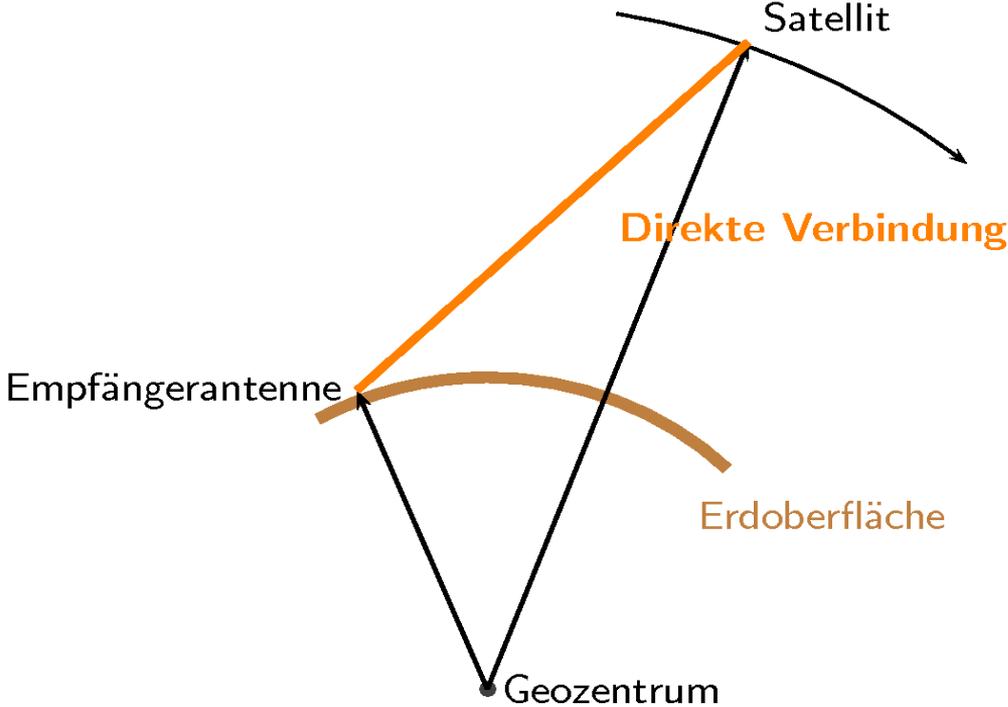
# Tsunami Early Warning Systems



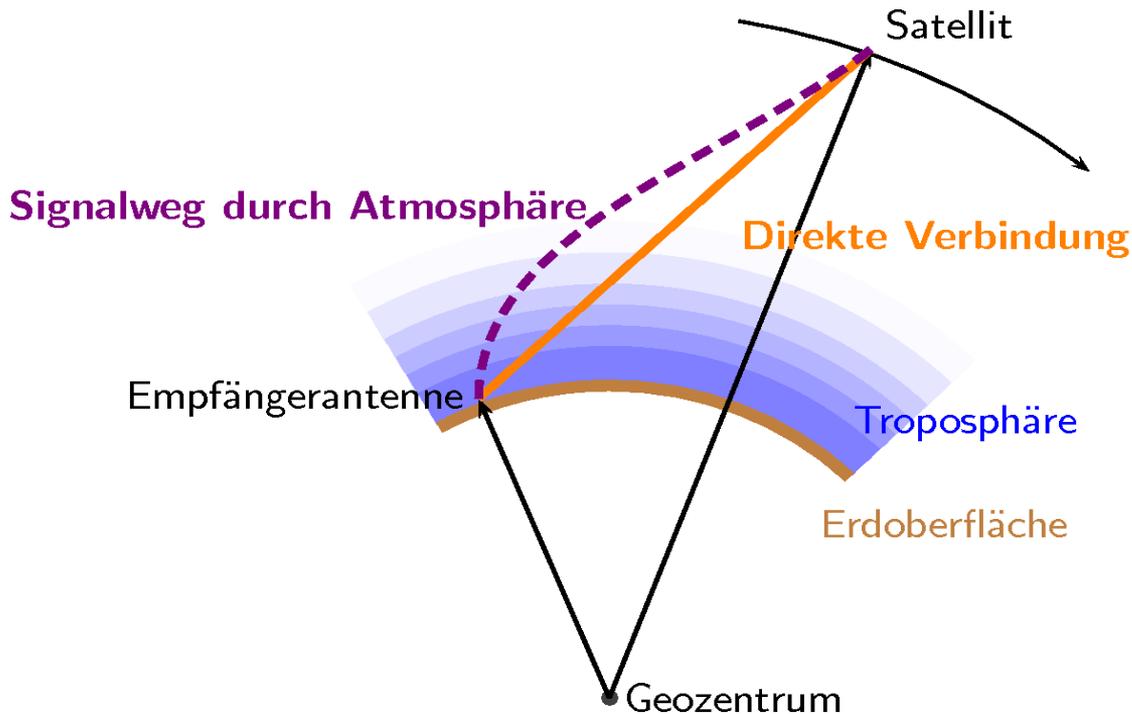
# Wofür kann noch GNSS eingesetzt werden?



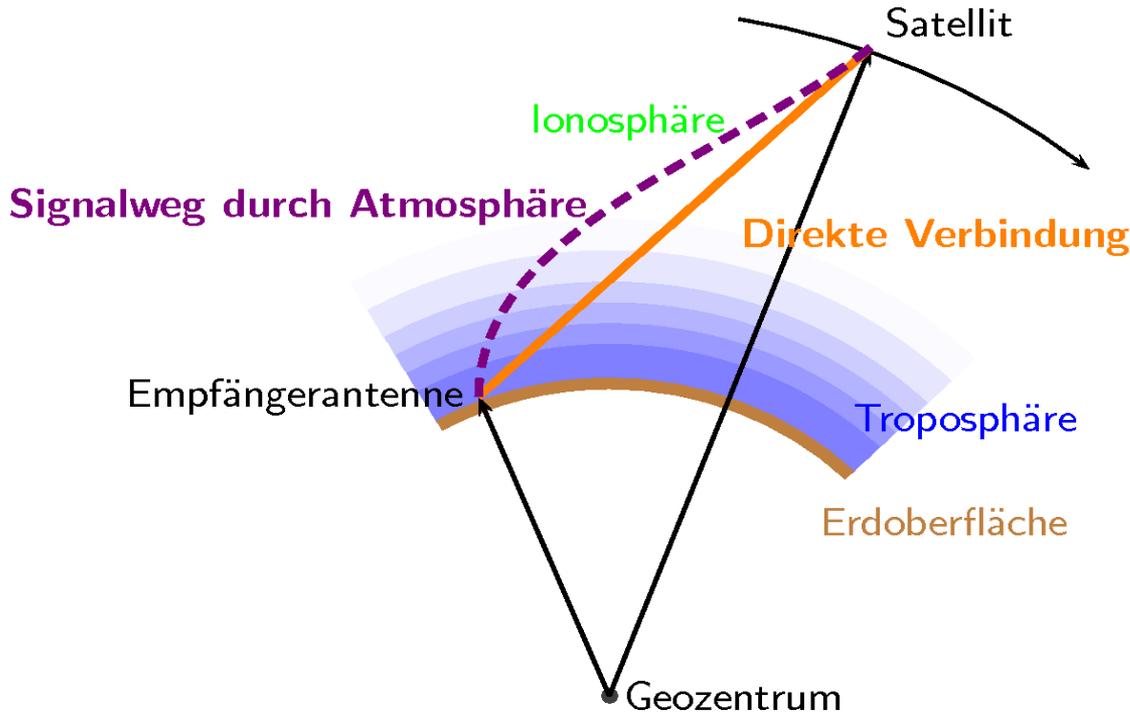
# Wofür kann GNSS noch eingesetzt werden?



# Wofür kann GNSS noch eingesetzt werden?

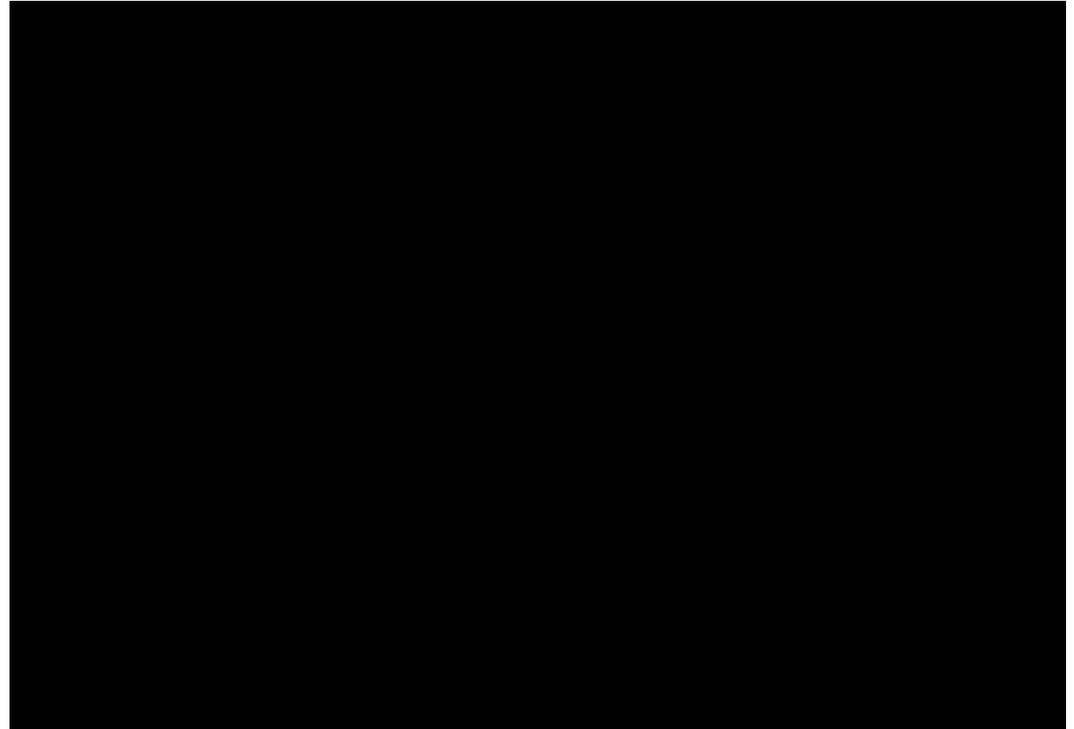


# Wofür kann GNSS noch eingesetzt werden?



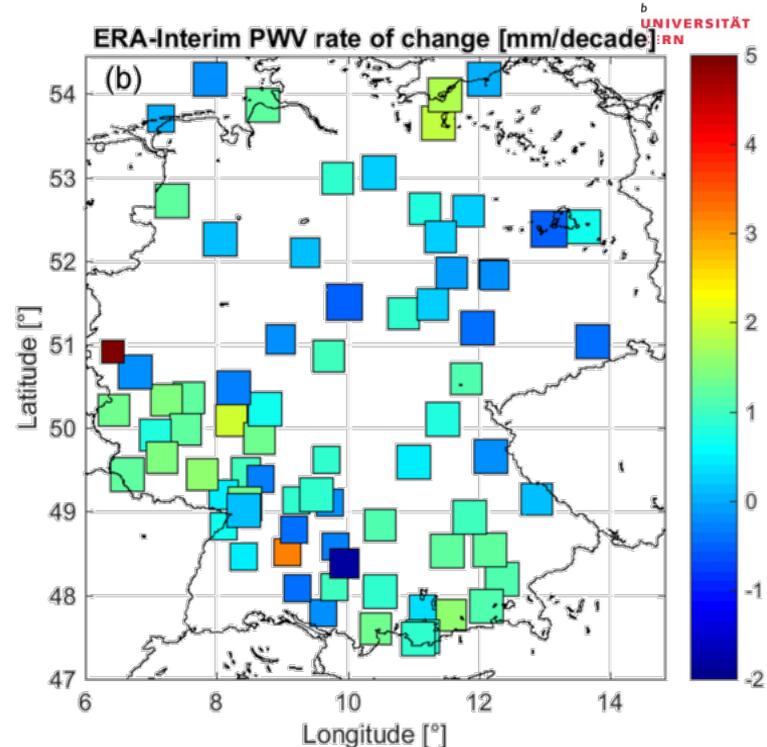
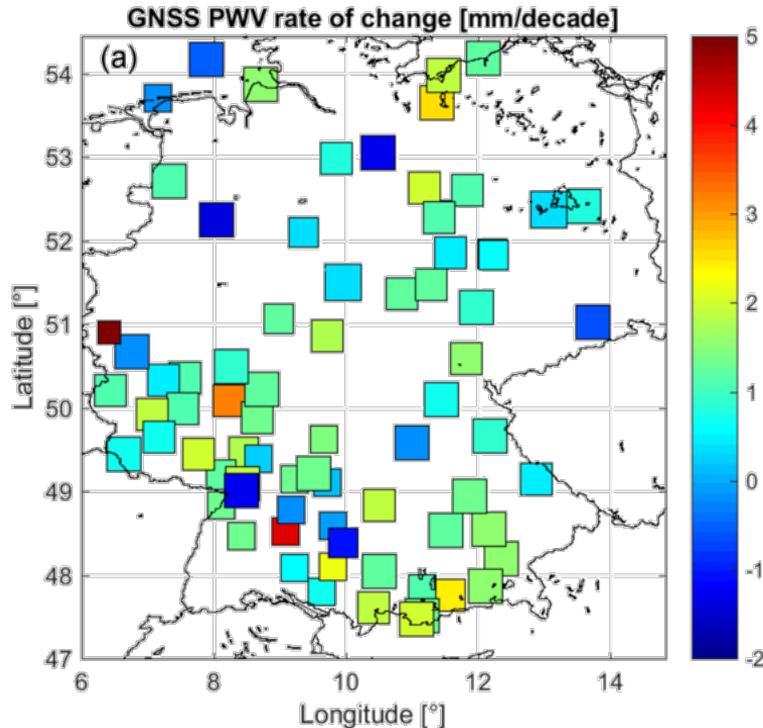
Die Auswertung von GNSS-Messungen lässt also Rückschlüsse auf die Ionosphäre und Troposphäre zu.

- Am CODE werden auch **Ionosphärenmodelle** aus GNSS-Daten berechnet.
- Die Zone mit der grössten Aktivität folgt der Stellung der Sonne.



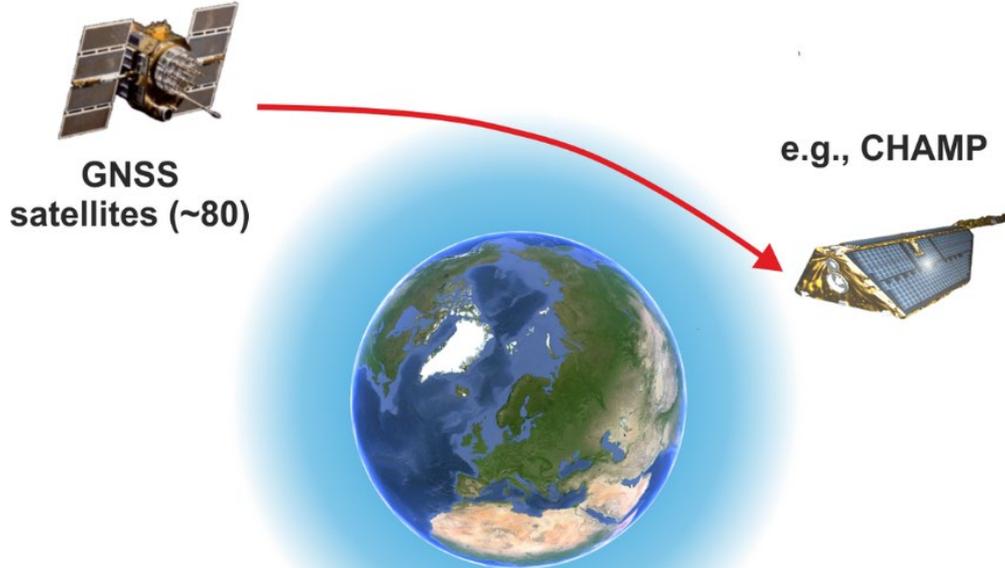
# Wasserdampfgehalt aus GNSS-Daten für Meteorologie

$u^b$



Wasserdampf-Trends aus GNSS-Zeitreihen und aus einer Reanalyse des ERA-Interim- Modells des ECMWF. Die bestimmten Trends sind signifikant und die entsprechenden Fehler liegen unter 0,2 mm/Dekade. Die Grösse der Zeichen ist proportional der Zeitreihenlänge, welche zwischen 10 und 19 Jahren lag. (vom GFZ Potsdam)

# Wasserdampfgehalt aus GNSS-Daten für Meteorologie



- Die Beobachtungsdaten des globalen Stationsnetzes werden gesammelt vom

***IGS = International GNSS Service***

- gegründet 1992
- Routinebetrieb seit 1994
- Beiträge zum IGS kommen
  - von ca. **300 Institutionen**
  - aus **80 Ländern**
  - auf **freiwilliger Basis**





Beobachtungs-  
stationen

Daten- und  
Produktzentren

Analysezentren

## Beiträge der Universität Bern:

GNSS-Antennen im  
Observatorium Zimmerwald



CODE-Rechenzentrum



Eine GNSS-Auswertung für einen Tag beinhaltet:



55 Satelliten



255 Stationen

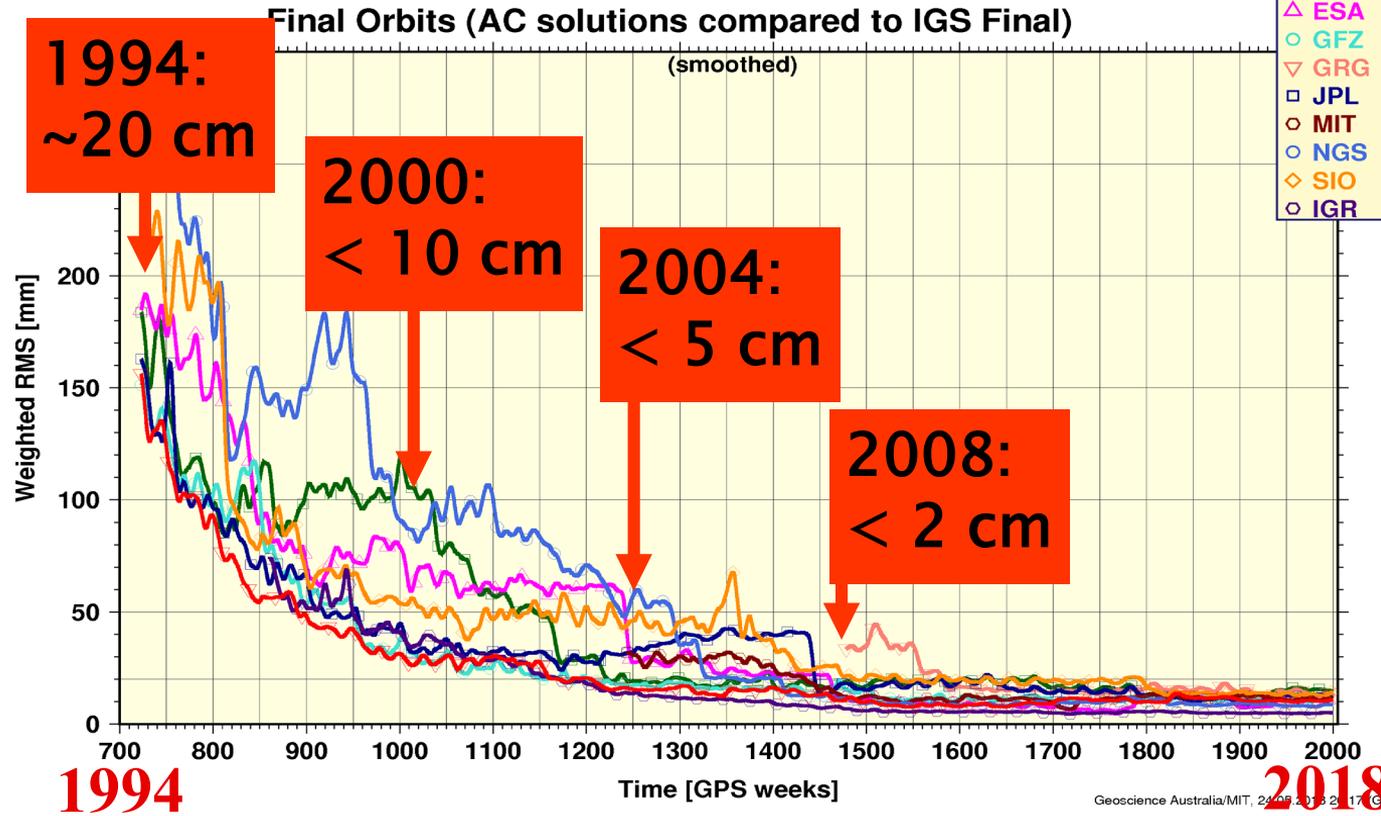
1'600'000  
GNSS-Messungen

20'000  
Parameter

```
11 9 15 0 0 0.0000000 0 21G02G04G07G0B8G10G13G16G17G20G23G32R01
R02R08R09R10R11R12R17R18R24
120548396.914 2 93934015.483 2 22939636.522 9 22939640.153 9
109360060.496 2 85215652.957 2 20810512.634 9 20810518.406 9
119297785.346 2 92959376.044 2 22701615.977 9 22701621.589 9
131241235.783 2 102265951.337 2 24974379.607 9 24974386.450 9
113214480.707 2 86660510.602 2 21153365.984 9 21153370.984 9
105475335.679 2 82188548.935 2 20071264.234 9 20071269.068 9
130867905.289 2 101975028.236 2 24903336.762 9 24903342.189 9
133026824.012 2 103657368.266 2 25313960.177 1 25313912.426 1
120897842.697 2 94198974.022 2 23004145.484 9 23004150.715 9
110572540.268 2 86160481.969 2 21041243.473 9 21041246.604 9
134842957.887 2 105072359.743 2 25659693.177 1 25659688.841 1
104787574.423 2 81501725.121 2 19602725.187 9 19602729.622 9
120248222.547 2 93526412.839 2 22534460.381 9 22534464.712 9
113241532.265 2 88076842.645 2 21147061.213 9 21147064.508 9
129629396.848 2 100823071.390 2 24275148.669 1 24275076.573 1
110789334.099 2 86169362.609 2 20783760.892 9 20783767.062 9
109264681.404 2 84993722.549 2 20447406.044 9 20447411.267 9
128785916.290 2 100166936.137 2 24109008.774 1 24109016.051 1
117645538.884 2 91502104.368 2 21984875.712 9 21984879.453 9
128000566.819 2 99556151.819 2 23978849.156 9 23978855.274 9
121220836.354 2 94282789.272 2 22668837.512 9 22668837.948 9
```

```
129762002.070 2 400918431.011 2 44298109.886 1 44298036.389 1
110835110.062 2 86204966.129 2 20792348.351 9 20792354.522 9
109182804.901 2 84920040.834 2 20432083.966 9 20432089.187 9
128647954.661 2 100059632.855 2 24083181.915 1 24083189.142 1
117659106.095 2 91512656.619 2 21987411.088 9 21987414.835 9
127918271.681 2 98492144.459 2 23963432.526 9 23963438.652 9
121330533.069 2 94368077.330 2 22689386.017 9 22689391.466 9
11 9 15 0 1 0.0000000 0 21G02G04G07G0B8G10G13G16G17G20G23G32R01
R02R08R09R10R11R12R17R18R24
120384183.794 2 93806057.196 2 22908387.813 9 22908391.447 9
109390461.927 2 85239342.364 2 20816297.849 9 20816303.626 9
119098500.001 2 92804088.777 2 22663693.225 9 22663698.834 9
131016357.345 2 102090721.540 2 24931586.547 9 24931593.352 9
111089149.706 2 86562850.145 2 21139515.879 9 21139521.253 9
105500936.358 2 82208497.515 2 20076135.882 9 20076140.716 9
130738525.280 2 101874212.636 2 24878716.571 9 24878722.001 9
133214569.145 2 103803663.243 2 25349686.836 1 25349639.068 1
121069625.535 2 94339922.948 2 23038737.597 9 23038742.878 9
110684638.467 2 86247831.201 2 21062575.061 9 21062578.196 9
135022379.602 2 105212168.848 2 25693836.012 1 25693831.681 1
```

# IGS: International GNSS Service



- 
- *1994: International GPS Service for Geodynamics (IGS)*
  - *1999: International GPS Service*
  - *2005: International GNSS Service*