

Das deutsche Observatorium TIGO in Chile Beobachtungen aus einer Erdbebenzone



GIZ-Vortragsprogramm 2008
Wetzell, 28.02.08

2007.03.16

Hayo Hase

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Inhalt

- **Globale Bezugssysteme**
- Geschichtliches über TIGO
- Vermessung der Erde mit TIGO in Concepción, Errungenschaften
- Geodynamik in Chile, Herausforderung an die Geodäsie
- Zusammenfassung, Fazit

TIGO's Mission

TIGO ist als einzige **Fundamentalstation** für Geodäsie in Lateinamerika der **Realisierung** und **Fortführung** von hochgenauen Bezugssystemen gewidmet.

- Terrestrisch (ITRF) “Wo befinden wir uns auf der Erde?”
- Zälestisch (ICRF) “Wo befinden wir uns im Universum?”

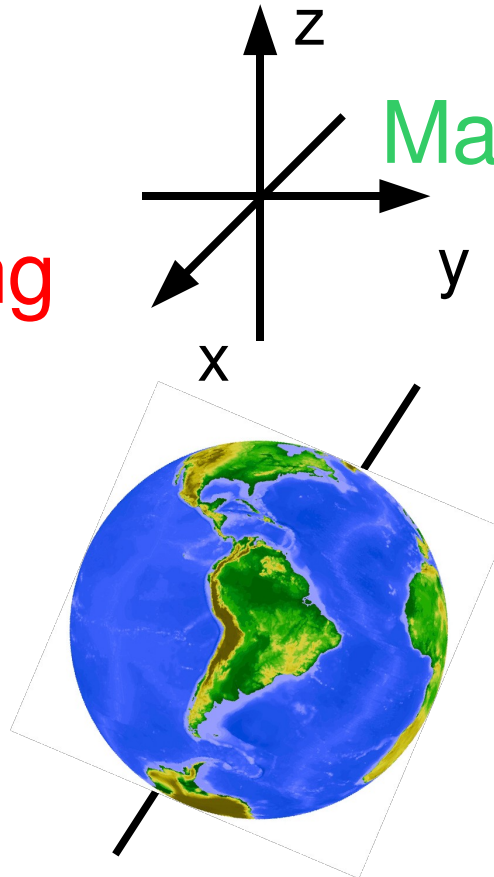
Die Mission von TIGO ist die Festlegung von terrestrischen Bezugspunkten im Raum, in der Zeit und dem Schwerfeld der Erde.

In der Geodäsie sind Bezugssysteme die Koordinatensysteme.

Orientierung

Ursprung

Maßstab

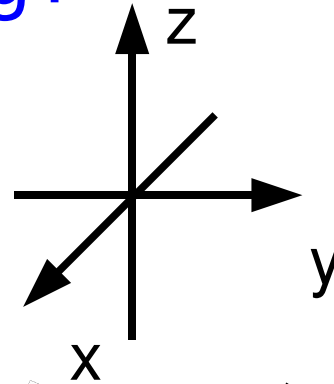


Wie definieren wir den *Ursprung*, die *Orientierung* und den *Maßstab* in einem globalen Bezugssystem?

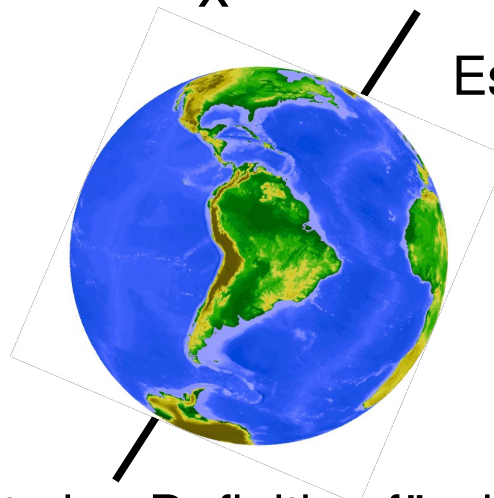
Orientierung?

Ursprung?

Maßstab?



Es gibt ein **Erdmassenzentrum**.



Es gibt eine **Erdrotationsachse**.

Es gibt eine Definition für das **Meter**.

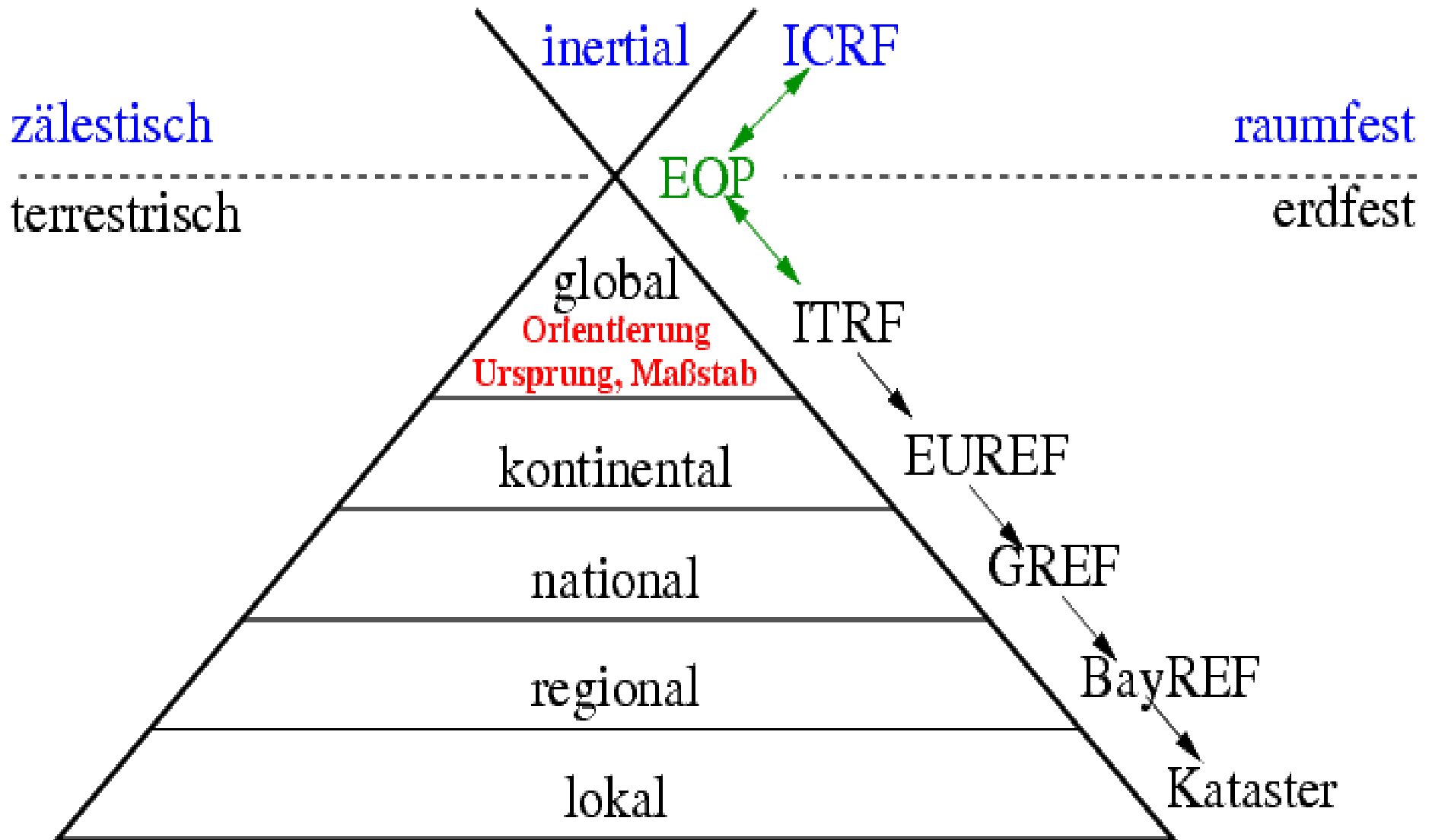


Geodätische Bezugssysteme werden durch Vermarkungen oder Meßinstrumente an der Erdoberfläche realisiert.



TIGO - Concepción

Hierarchie der geodätischen Bezugssysteme



Konzept von TIGO:

Fundamentalstation für die Geodäsie und
zum Verständnis des **Systems Erde**

- **Permanenz** und **Kontinuität** der Operation mit dem Ziel die geodynamischen Phänomene zeitlich aufzulösen.
- **Komplementarität** der geodätischen Methoden für ein besseres Monitoring der Einflußfaktoren auf das System Erde.
- **Redundanz** in der Auswahl der geodätischen Meßmethoden zur Qualitätssicherung.
- **Verknüpfung** der Referenzpunkte jedes Meßsystems durch ein lokales geodätisches Vermessungsnetz.

Inhalt

- Globale Bezugssysteme
- **Geschichtliches über TIGO**
- Vermessung der Erde mit TIGO in Concepción, Errungenschaften
- Geodynamik in Chile, Herausforderung an die Geodäsie
- Zusammenfassung, Fazit

Geschichtliches

- 1990 Forschungsprogramm Satellitengeodäsie
1990-95 schlägt mobile Meßplattform vor
- 1992 Erste Vertragsunterzeichnungen zum Bau von TIGO
- 1992-1999 Entwicklung, Aufbau, Probebetrieb in Wettzell
- 1999 Internationale Ausschreibung und Standortsuche
- 2000 Entscheidung für Concepción

Bau der Zuwegung und Anlegen einer Plattform 2000

2000:

Anfertigung der technischen Zeichnungen für 2,5 km Zuwegung und Plattform.

Beginn der Bauausführung.

Vorbereitung
Notenwechsel.

Plattform TIGO



Bau der Plattform 2001

2001:

Betonfundamente
für Container und
Meßgeräte,
Kabelkanäle,
Wasser- und
Stromversorgung,
Kommunikations-
leitung

Plattform für TIGO Radioteleskop



Ankunft in Chile 2002

13.01.2002:

TIGO Container
verlassen den
Hafen Lirquén
in Richtung
Universidad de
Concepción.



Auspacken und Aufbau Februar 2002

2002

Februar 2002:
Instrumente
werden auf
Plattform mit
neuen
chilenischen
Kollegen
aufgebaut.



Geodätisches Observatorium TIGO



- ist ein **deutsch-chilenisches** bilaterales **non-profit** Projekt unter dem *Rahmenabkommen über Kooperation in wissenschaftlicher Forschung und technischer Entwicklung*, mit den Teilnehmern:

- Universidad de Concepción (UdeC)
- Instituto Geográfico Militar (IGM)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)



- ist Teil einer **globalen Infrastruktur**, **einmalig** in Lateinamerika
- ist geschaffen für die langfristige **Erdbeobachtung** in Funktion verschiedener **Internationaler Dienste**.



Wo befindet sich TIGO?

Pazifischer Ozean

San Pedro

Talcahuano

Concepción

UdeC

TIGÓ

Río Bío Bío



Inhalt

- Globale Bezugssysteme
- Geschichtliches über TIGO
- Vermessung der Erde mit TIGO in Concepción, Errungenschaften
- Geodynamik in Chile, Herausforderung an die Geodäsie
- Zusammenfassung, Fazit

Raum

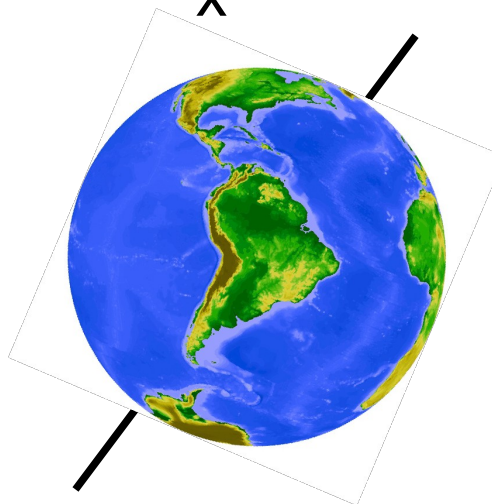
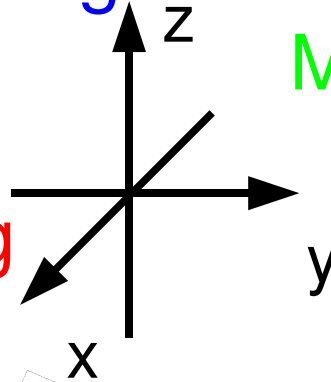


Instrumentierung eines fundamentalen Bezugspunkts

Orientierung

Maßstab

Ursprung



... so genau wie möglich!

Zeit



Schwerefeld



Absolut- Gravimeter
Supraleitendes Gravimeter

Realisierung s



Von der Sekunde zum Meter

Definition: Sekunde

Eine Sekunde ist die Dauer von 9.192.631.770 Perioden einer Mikrowelle, die dem Übergang zwischen zwei den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids (^{133}Cs) entspricht.

+

Definition:

Lichtgeschwindigkeit

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum hat den Wert einer Universalkonstanten von $c = 299.792.458 \text{ m/s}$.

=

Definition: Meter

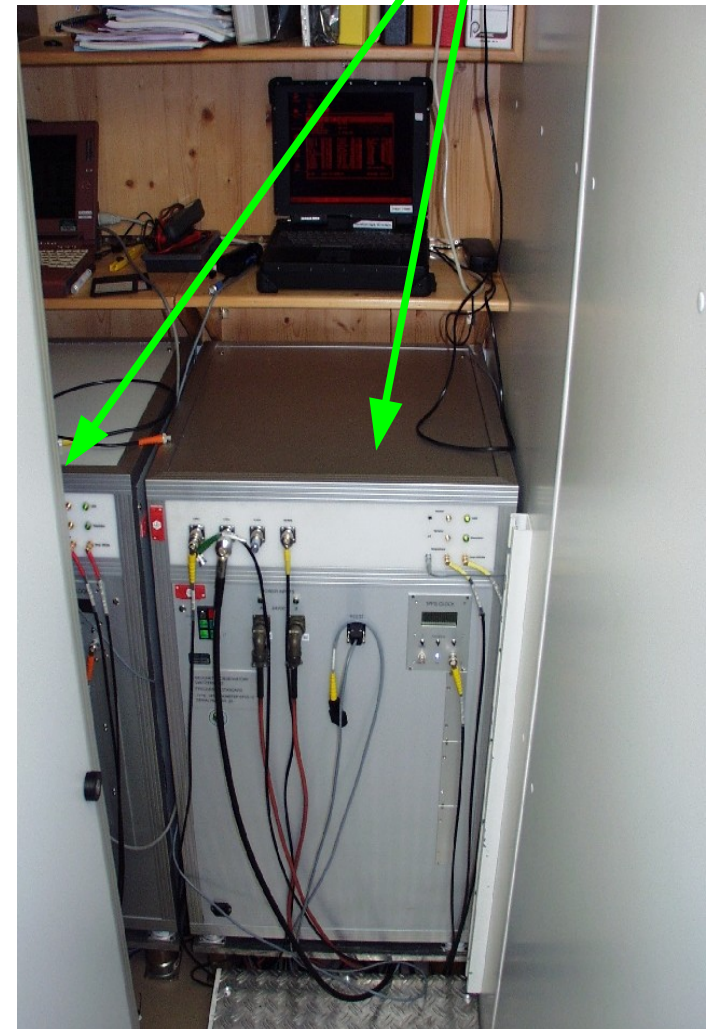
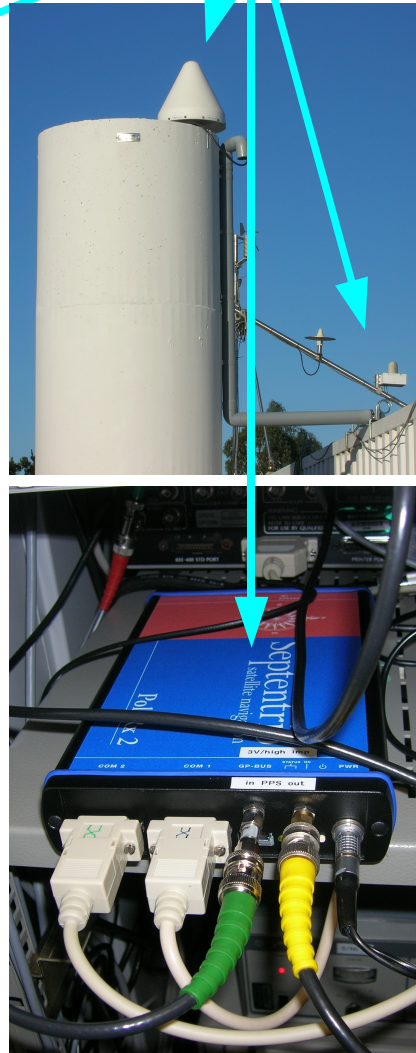
Ein Meter ist die Strecke, die das Licht in einem Zeitintervall von $1/299\,792\,458 \text{ s}$ zurücklegt. (ca. 30,66 Perioden bzw. 3,34 ns).

Realisierungen m: SLR, GNSS, VLBI, Laserinterferometrie

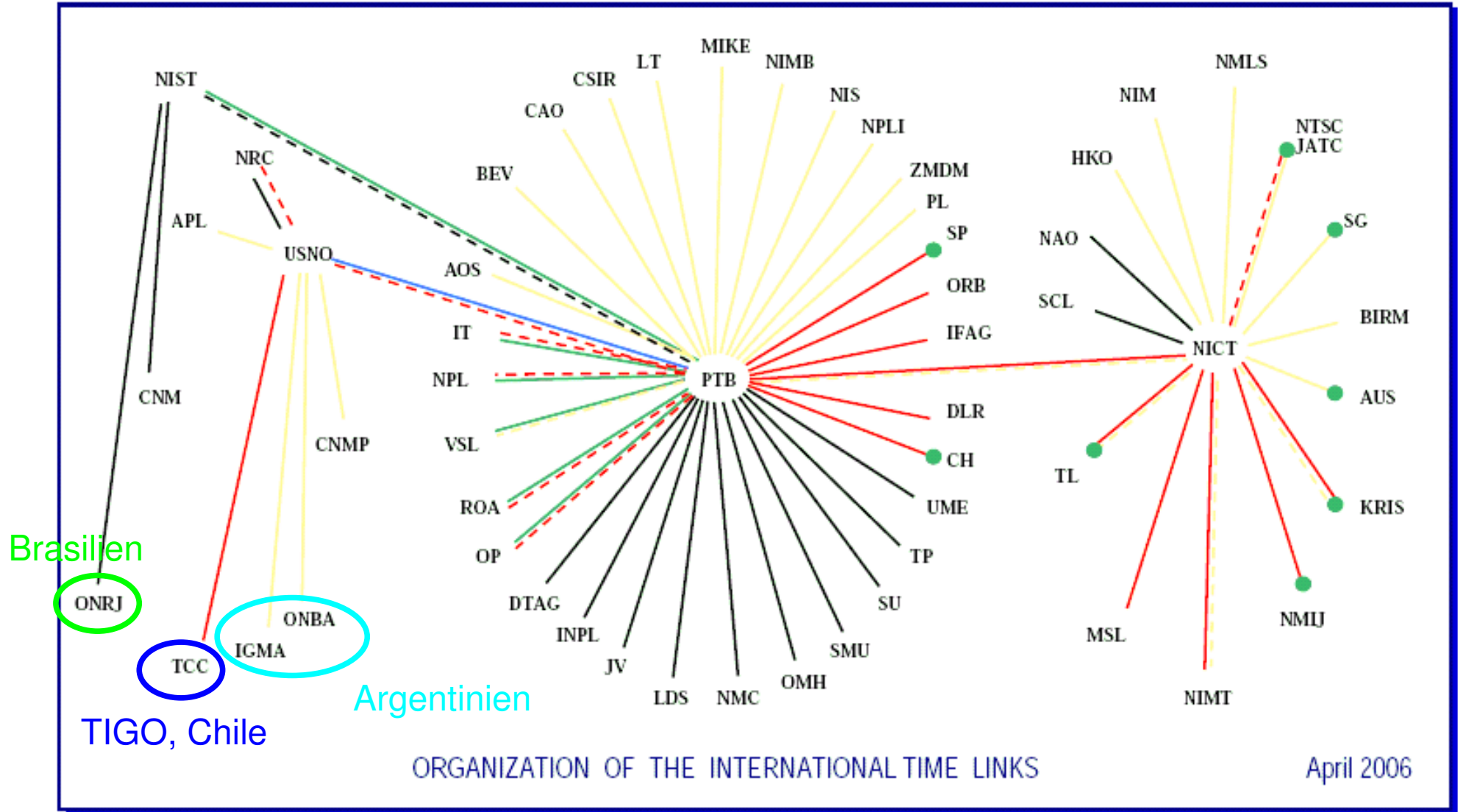
Zeit- und Frequenzlabor von TIGO

Zeitdienst UT des BIPM

3 Cäsium Normale, 2 GPS Empfänger, 2 Wasserstoff-Maser



Verknüpfung lokaler Zeitskalen für UT



Brasilien

ONRJ

TCC

ONBA
IGMA

Argentinien

TIGO, Chile

● Laboratory equipped with TWSTFT (not yet used)	— GPS CV multi-channel link
— TWSTFT by Ku band with X band back-up	- - - GPS CV multi-channel back-up link
— TWSTFT link	— GPS CV dual frequency link
— GPS CV single-channel link	- - - GPS CV dual frequency back-up link
- - - GPS CV single-channel back-up link	



F. Arias

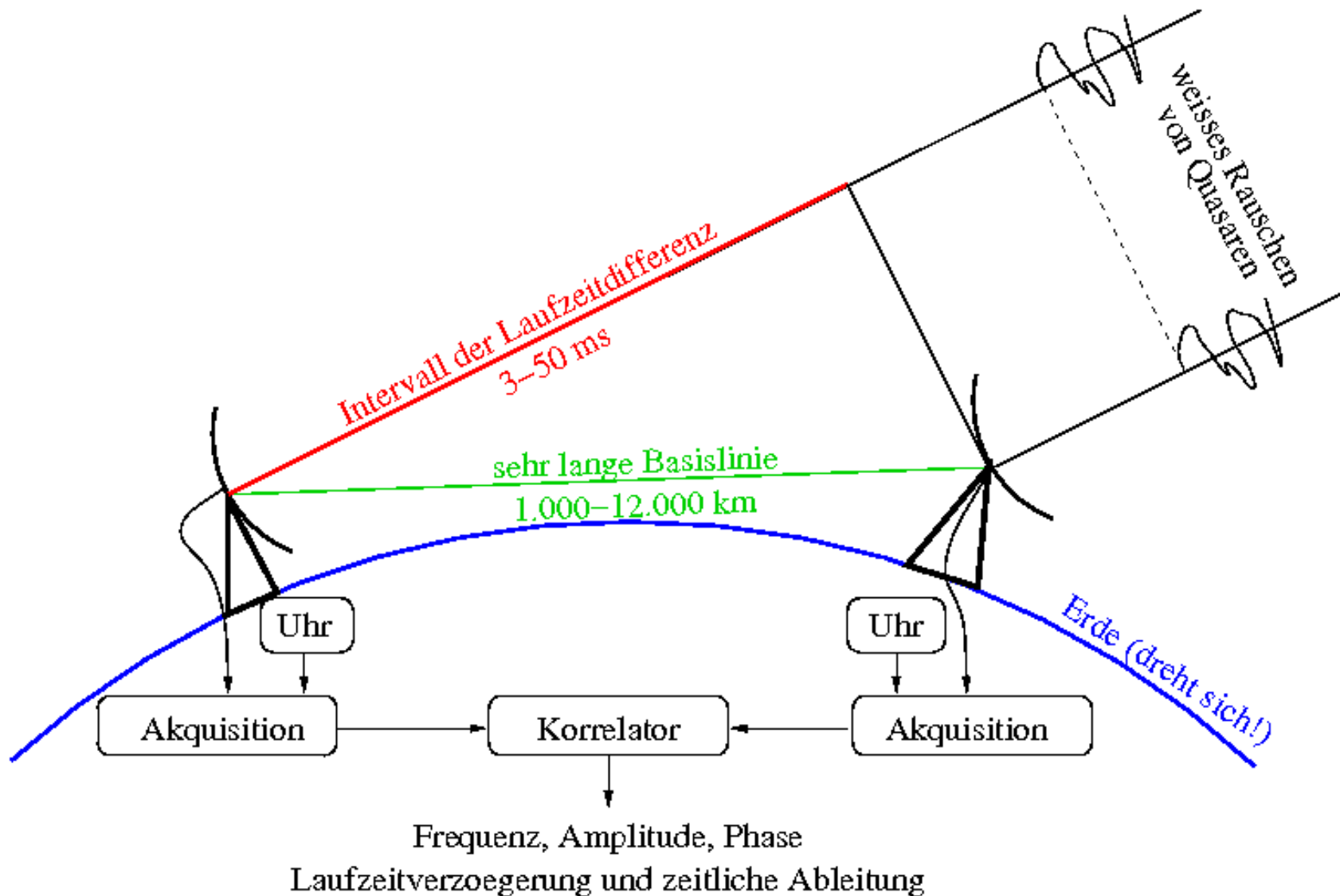
Radioteleskop von TIGO



- 6m Offset-Radioteleskop, Primärfokus
- S/X-Band Dualbandempfänger (2.2-2.35 GHz, 8-9 GHz)
- IVS Rapid Service Netzwerkstation
- 2002-2007: **575 Experimente á 24h**

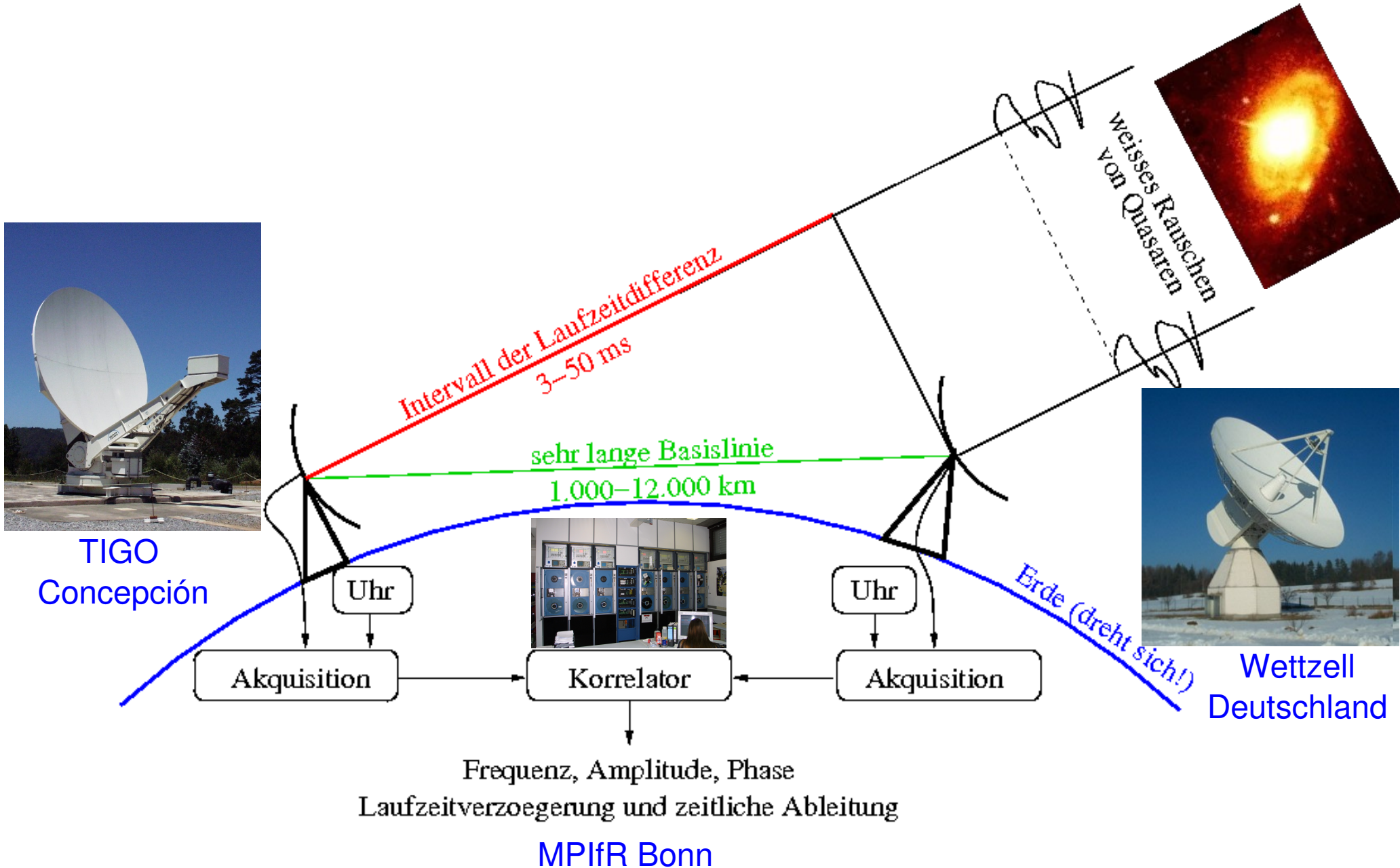
Radiointerferometrie auf sehr langen Basislinien

Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



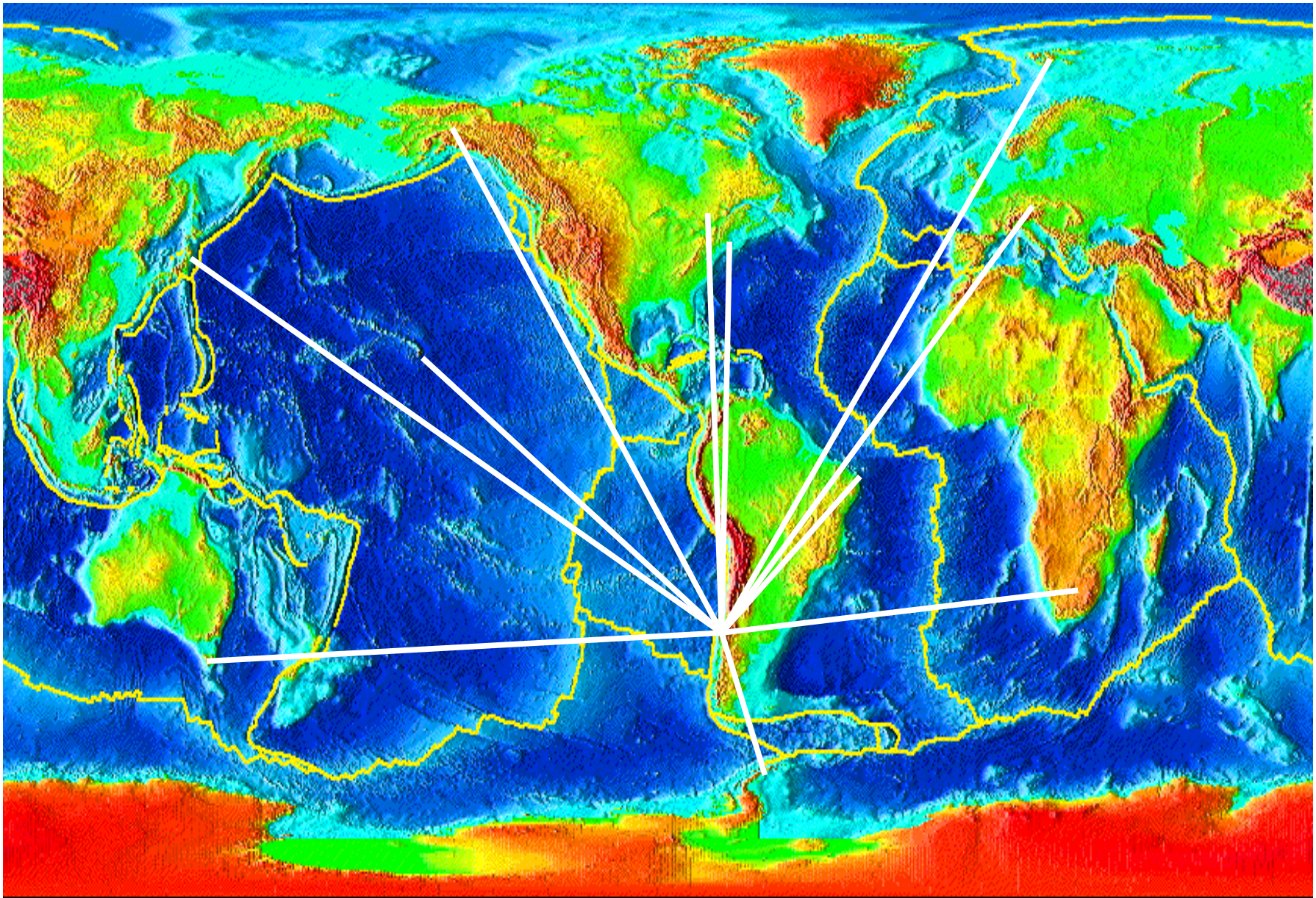
Radiointerferometrie auf sehr langen Basislinien

Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



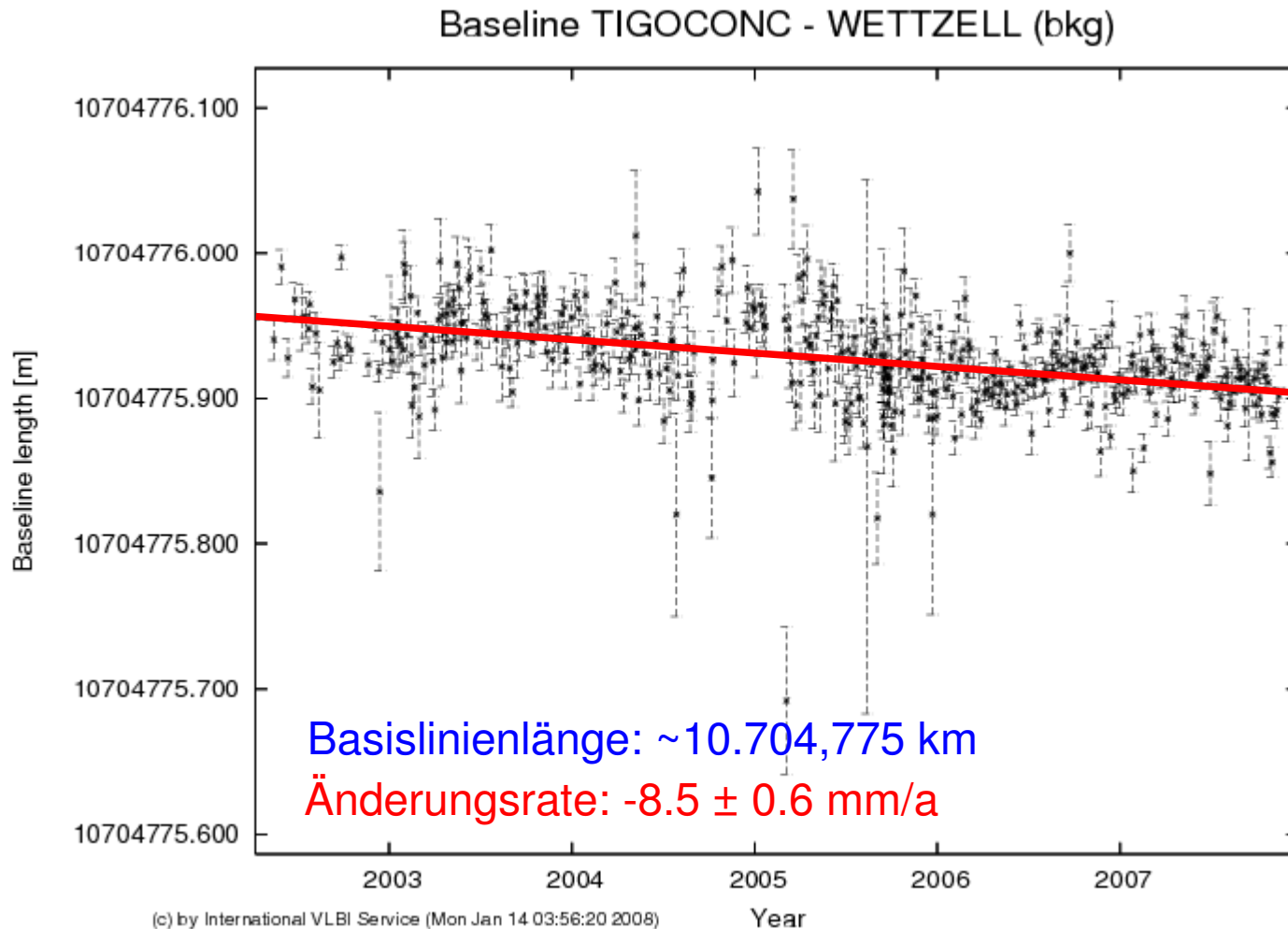
TIGO mißt Basislinien zu allen Kontinenten

“Die Vermessung der Welt von Concepción”



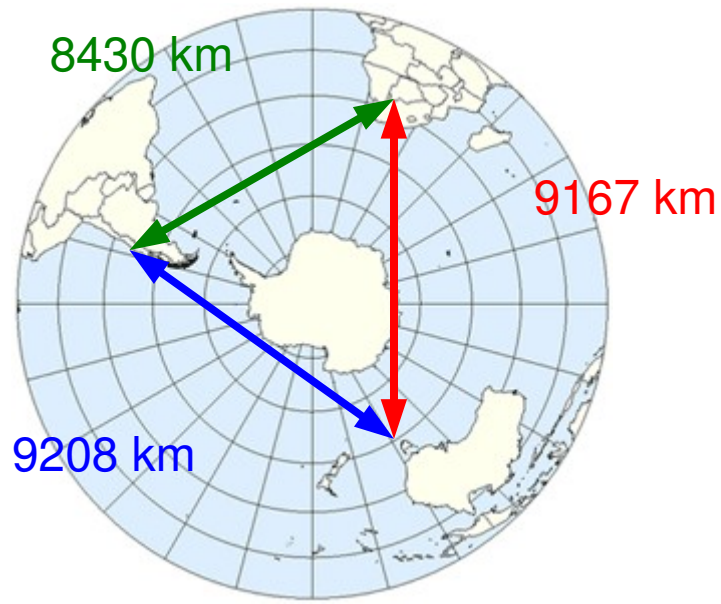
Evolution einer Basislinie

Concepción, Chile – Wettzell, Deutschland

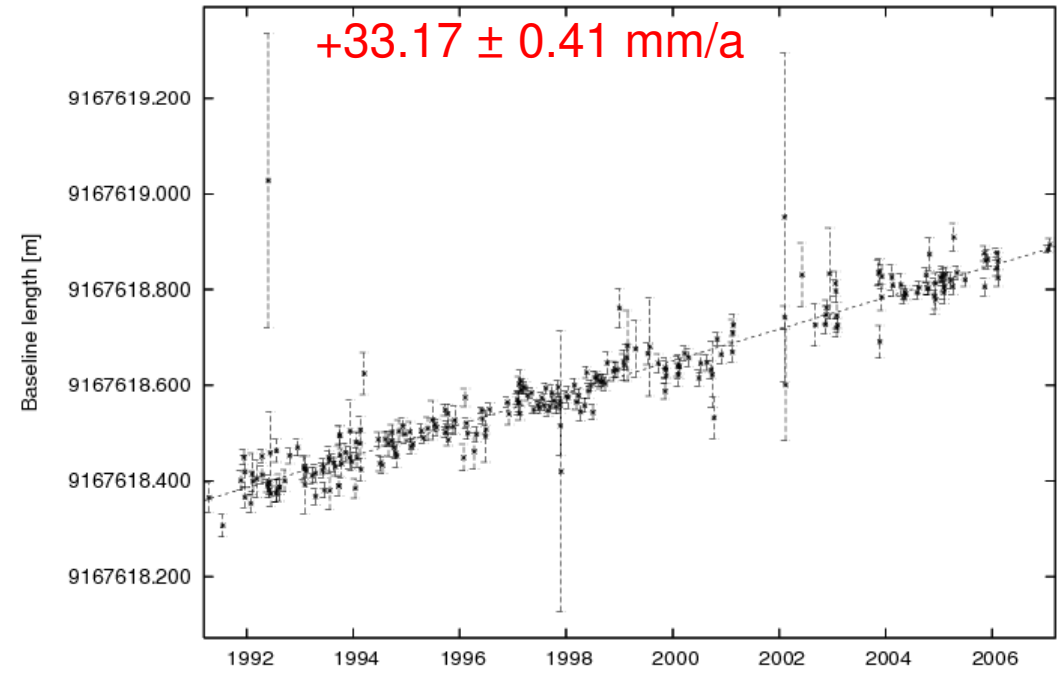


- 6 Jahre fortlaufende Beobachtung
- jeder Punkt ist Ergebnis einer 24-stündigen Messung zu verschiedenen Quasaren
- Fehler liegen um ~20mm

Monitoring der Kontinentalplattentektonik

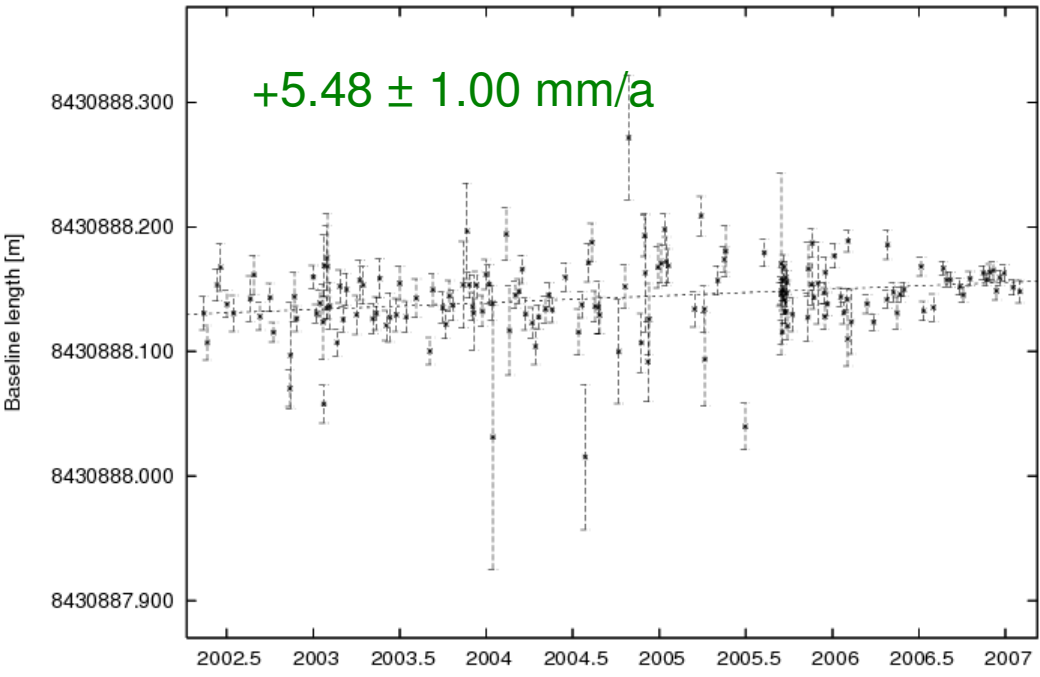


Baseline HARTRAO - HOBART26 (bkg)



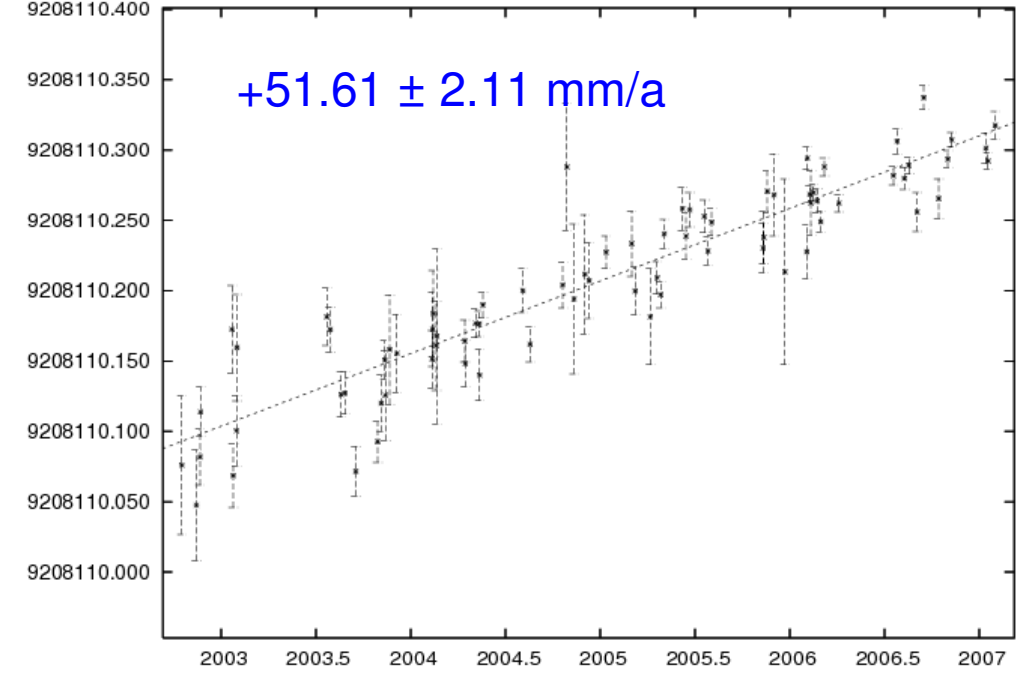
(c) by International VLBI Service (Mon Apr 30 02:05:09 2007)

Baseline HARTRAO - TIGOCONC (bkg)



(c) by International VLBI Service (Mon Apr 30 02:04:10 2007)

Baseline HOBART26 - TIGOCONC (bkg)

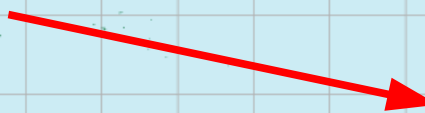


(c) by International VLBI Service (Mon Apr 30 02:01:53 2007)

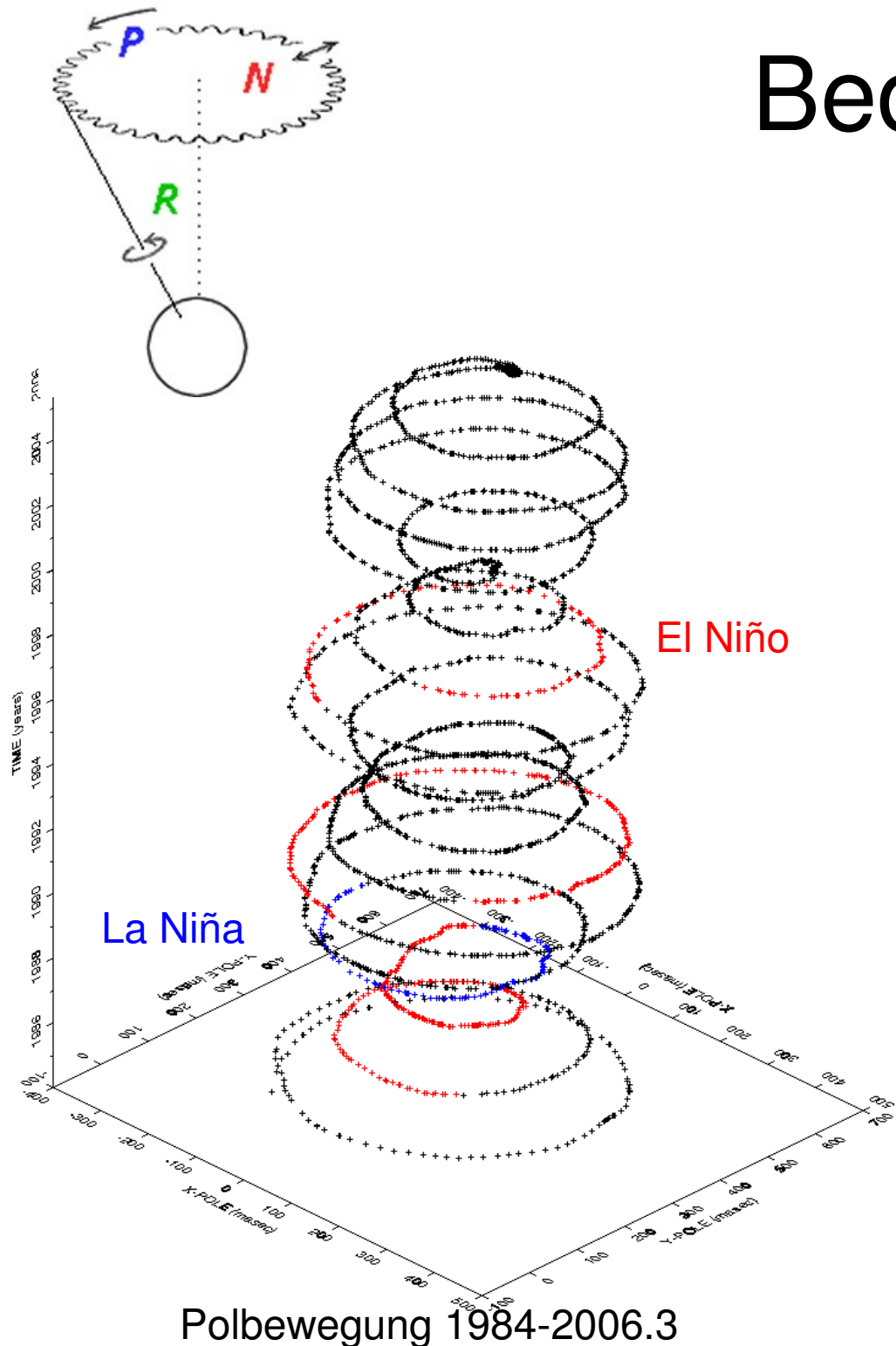
INTERNATIONAL VLBI SERVICE FOR GEODESY AND ASTROMETRY (IVS)



TIGO



Bedeutung von VLBI



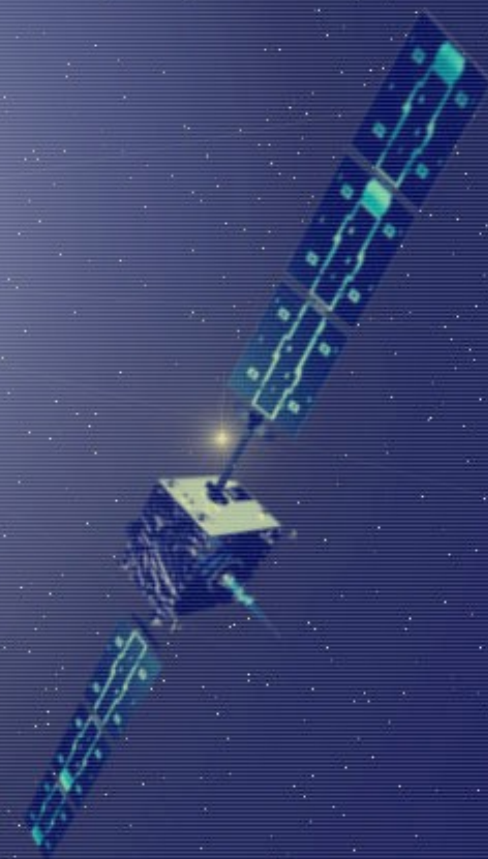
- definiert die **Orientierung** der Erde im Raum
 - Präzession
 - Nutation
 - Polbewegung
 - Rotationsgeschwindigkeit
- Orientierung: ± 0.2 mas
- Geschw.: ± 0.2 ms



Polbewegung 1984-2006.3

SMART-1 Absturz auf den Mond durch TIGO beobachtet 2006-09-03 01:42:22 UT

Small
Missions for
Advanced
Research in
Technology



WWW.ESA.INT

erste europäische Mondmission der ESA

Ergebnis: ± 2 cm

Wettzell-Concepción: 10.704 km \pm 20mm ?

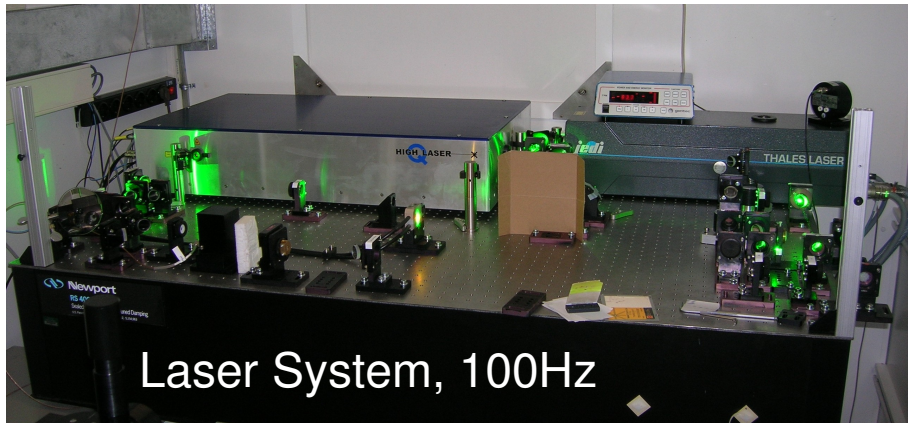
Kann ich diesen Ergebnissen glauben?



Satellite Laser Ranging System von TIGO



- Teleskop mit 50 cm Apertur
- Titan-Sapphire Laser mit zwei Farben: 847nm, 423.5nm
- Pulsrate: 100 Hz
- Pulsbreite: 40 ps
- Pulsenergie: 15 mJ
- Picoeventtimer: ± 2 ps
- mißt LEO bis geostationäre Satelliten
- 2002-2007: **7.128** Trajektorien

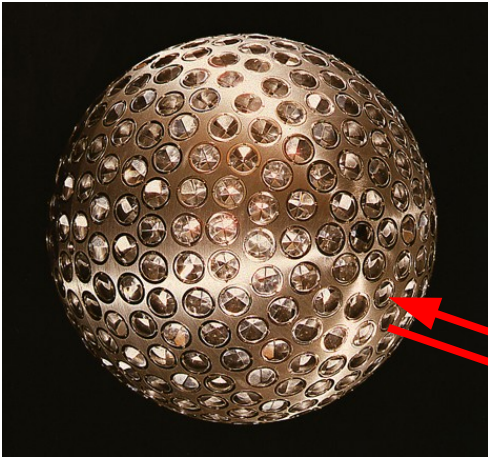


... eine von VLBI
unabhängige
Methode!

Meßprinzip SLR

Satellite Laser Ranging

LAGEOS



$$\text{Distanz} = \frac{1}{2} \cdot \text{Zeitintervall(hin+zurück)} \cdot 299.792.458 \text{ m/s}$$

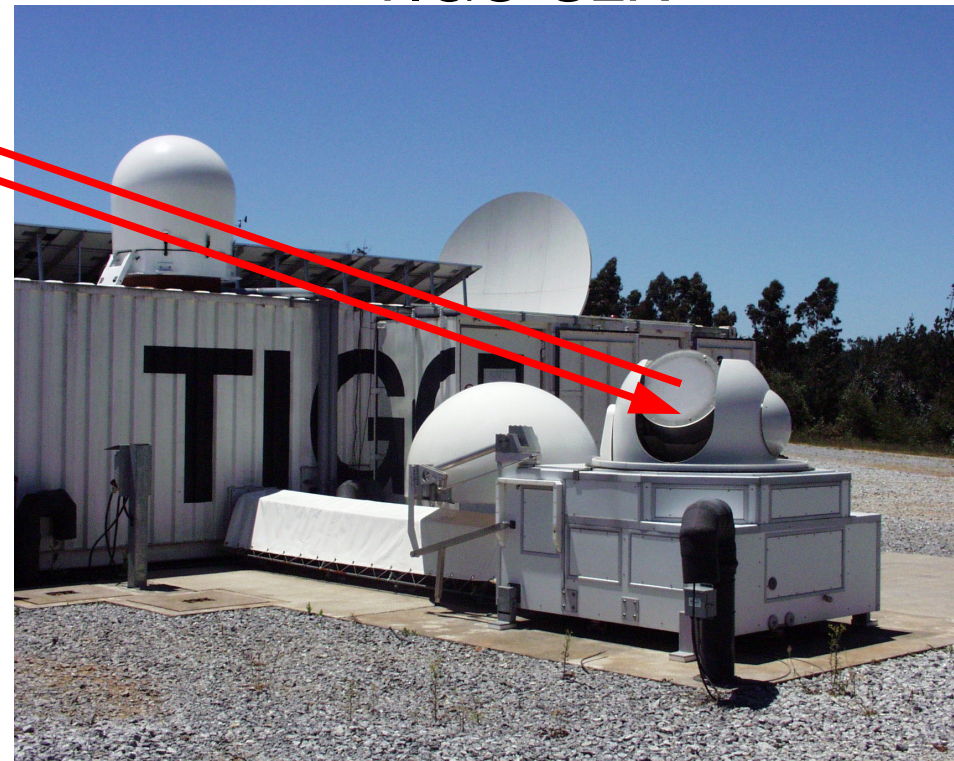
Höhe: ~6.000 km

Durchmesser: 60 cm

Masse: 452 kg

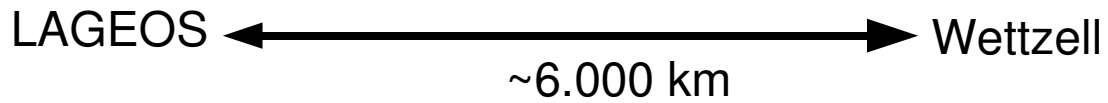
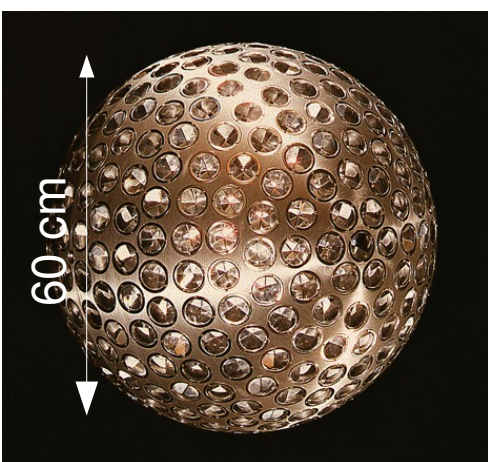
Die Distanz verknüpft die
Orbitposition mit dem
terrestrischen Bezugspunkt.

TIGO-SLR

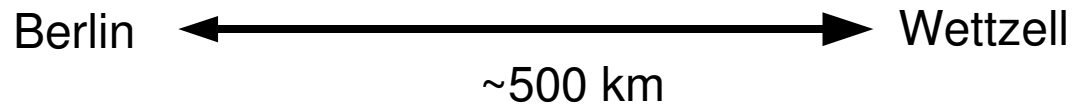


Analogie LAGEOS - Golfball

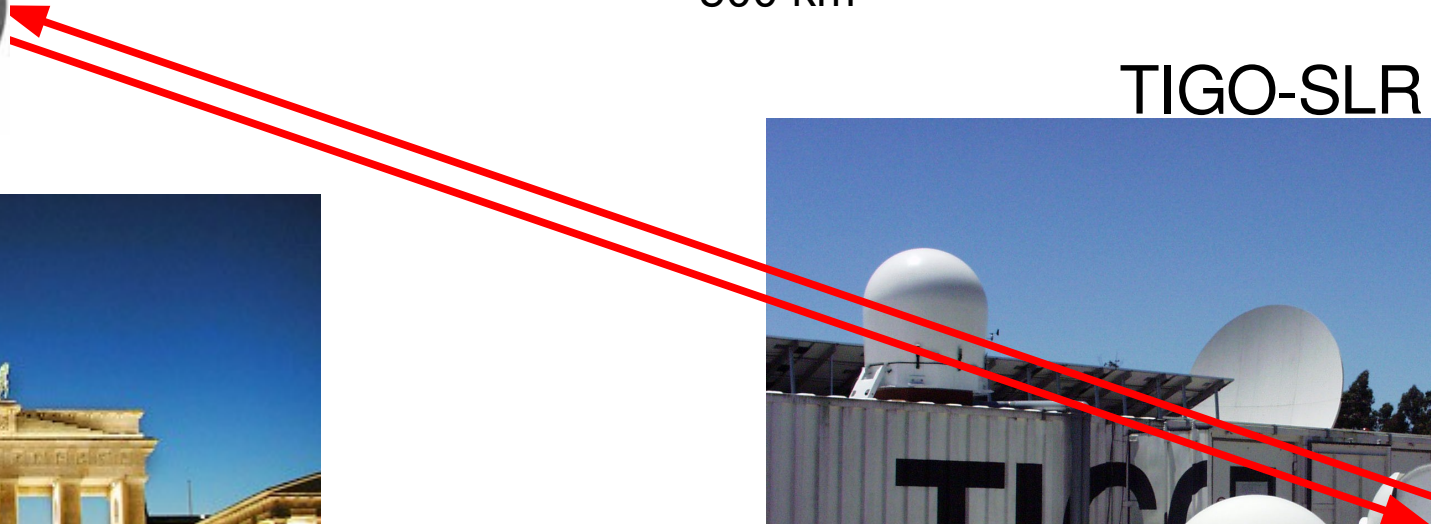
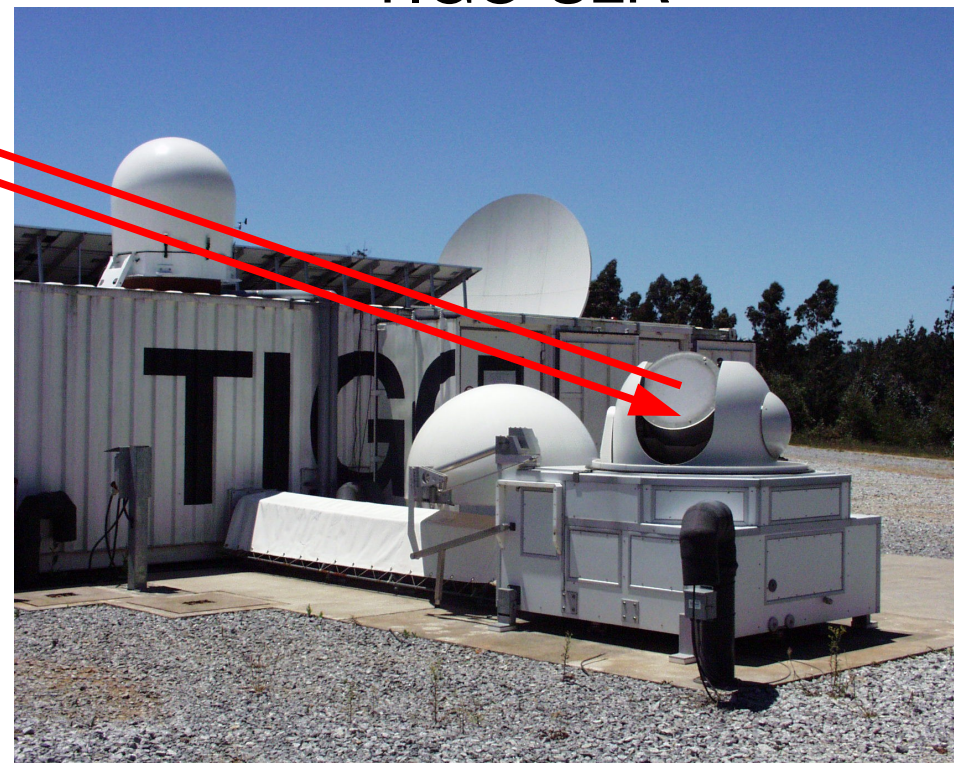
Satellite Laser Ranging



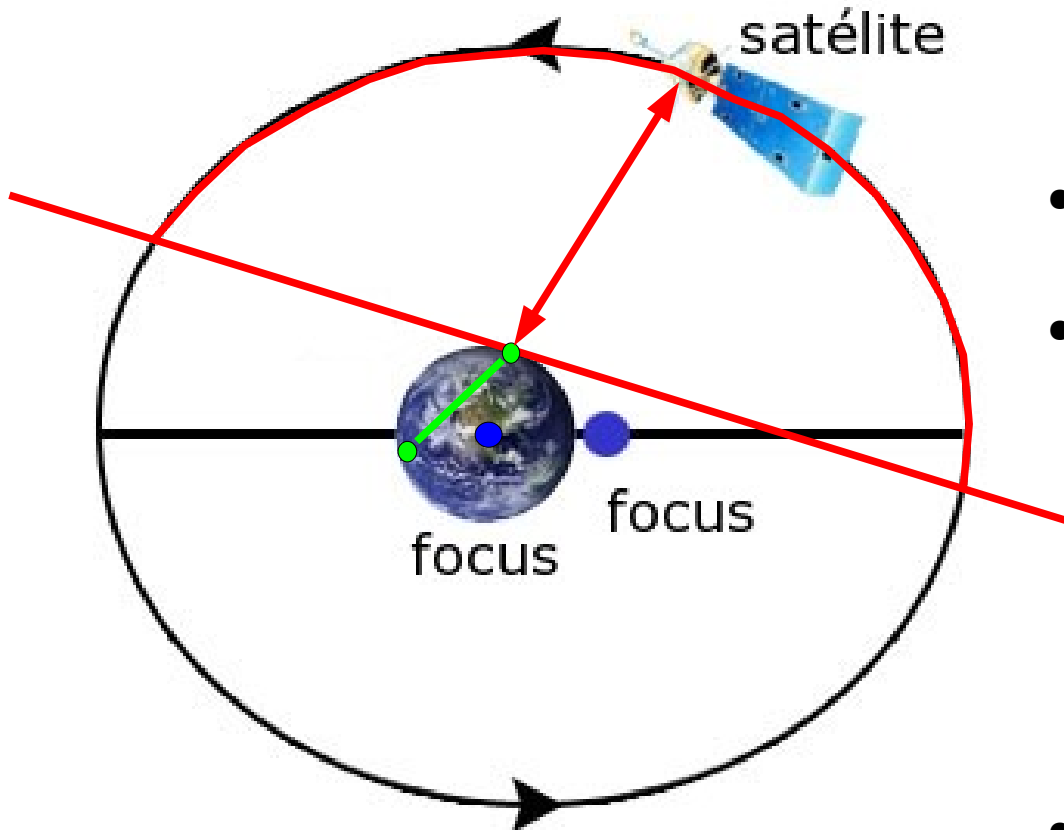
Trajektorie eines Golfballs



TIGO-SLR



SLR – eine von VLBI unabhängige Methode



Präzision von SLR:
1 mm räumliche Distanz entspricht
3 ps mit der Lichtgeschwindigkeit

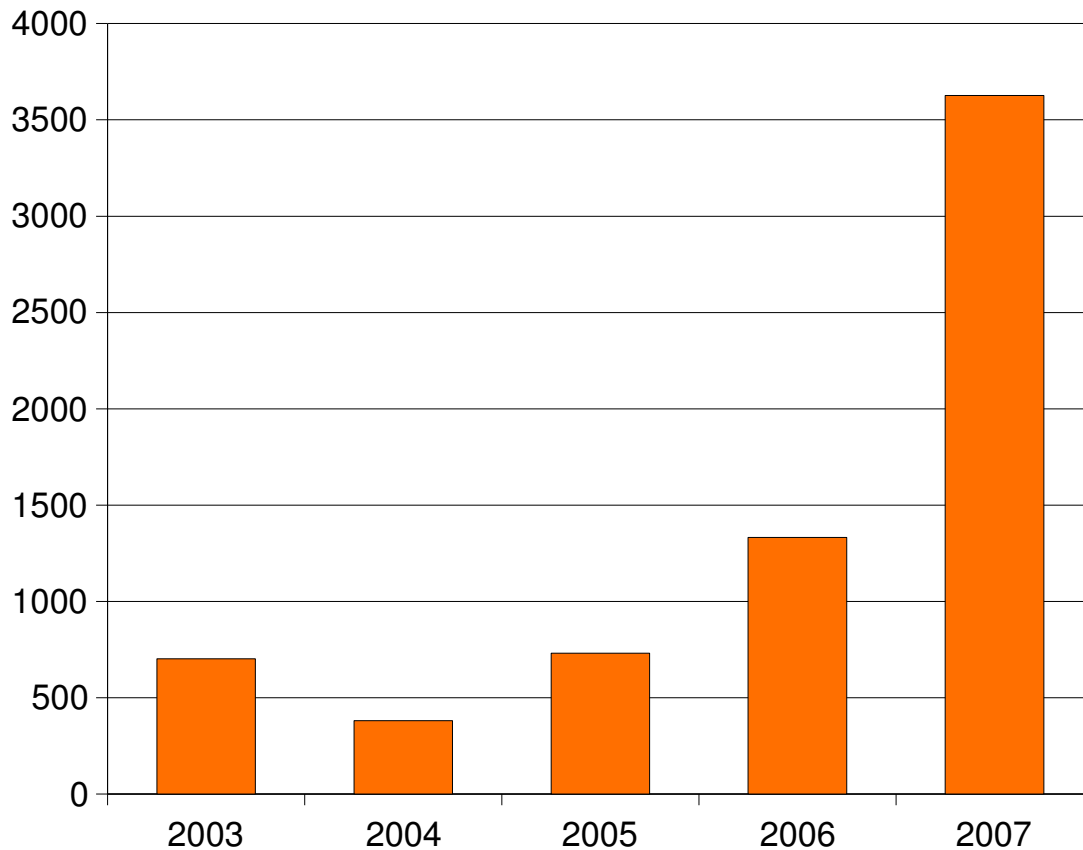
Entfernungsmessung zu
Satelliten erlaubt die
Bestimmung

- eines **Bogens des Orbits**
- der Koordinaten der **terrestrischen Bezugspunkte** auf verschiedenen Kontinenten und daraus die Berechnung von **Basislinien**
- der Lage des **Erdmassenzentrums**
- Einführung eines **Maßstabs**

SLR – 2007

TIGO's neuer Rekord: 3627 Passagen

Measured Satellite Passes @ TIGO



Anstrengungen zur Systemoptimierung









Gold- und Silbermedaillen für TIGO

Statistik der Produktivität für den ILRS

Latest Analysis Report: >> [from 29 Nov 2007 to 12 Dec 2007](#)

Stations with high productivity

	# pass/# NP	Site Name(ID)		# pass/# NP	Site Name(ID)
Lageos1 	39/429	Concepcion (7405)	Lageos2 	32/467	Concepcion (7405)
	34/330	Yarragadee (7090)		29/365	Yarragadee (7090)
	21/283	Herstmonceux (7840)		17/235	Herstmonceux (7840)
Etalon1			Etalon2 	7/76	Yarragadee (7090)
				5/29	San Juan (7406)
				4/10	Changchun (7237)
Starlette 	38/496	Yarragadee (7090)	Stella 	25/250	Yarragadee (7090)
	32/379	Concepcion (7405)		13/90	Concepcion (7405)
	27/282	San Juan (7406)		12/105	Arequipa (7403)
Ajisai 	53/944	Yarragadee (7090)			
	42/618	Concepcion (7405)			
	29/519	San Fernando (7824)			

more satellites (GNSS and LEO)
included in the daily reports!!

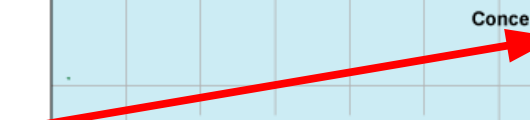
Archive: (each covers 14 days from the date) Year [2006](#) [2005](#)

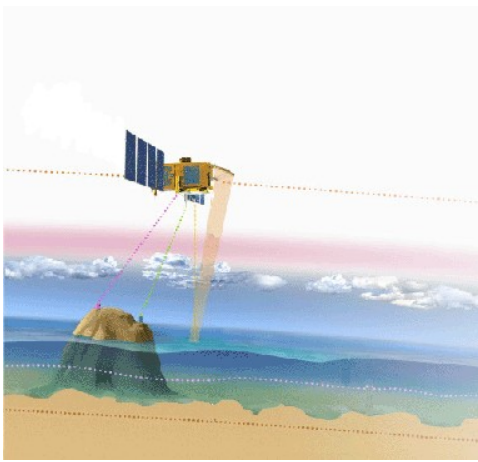
[29 Nov 2007](#) [31 Oct 2007](#) [30 Sep 2007](#) [31 Aug 2007](#) [31 Jul 2007](#) [30 Jun 2007](#) [31 May 2007](#) [30 Apr 2007](#) [31 Mar 2007](#) [28 Feb 2007](#) [31 Jan 2007](#)
[28 Nov 2007](#) [30 Oct 2007](#) [29 Sep 2007](#) [30 Aug 2007](#) [30 Jul 2007](#) [29 Jun 2007](#) [30 May 2007](#) [29 Apr 2007](#) [30 Mar 2007](#) [27 Feb 2007](#) [30 Jan 2007](#)
[27 Nov 2007](#) [29 Oct 2007](#) [28 Sep 2007](#) [29 Aug 2007](#) [29 Jul 2007](#) [28 Jun 2007](#) [29 May 2007](#) [28 Apr 2007](#) [29 Mar 2007](#) [26 Feb 2007](#) [29 Jan 2007](#)
[26 Nov 2007](#) [28 Oct 2007](#) [27 Sep 2007](#) [28 Aug 2007](#) [28 Jul 2007](#) [27 Jun 2007](#) [28 May 2007](#) [27 Apr 2007](#) [28 Mar 2007](#) [25 Feb 2007](#) [28 Jan 2007](#)
[25 Nov 2007](#) [27 Oct 2007](#) [26 Sep 2007](#) [27 Aug 2007](#) [27 Jul 2007](#) [26 Jun 2007](#) [27 May 2007](#) [26 Apr 2007](#) [27 Mar 2007](#) [24 Feb 2007](#) [27 Jan 2007](#)
[24 Nov 2007](#) [26 Oct 2007](#) [25 Sep 2007](#) [26 Aug 2007](#) [26 Jul 2007](#) [25 Jun 2007](#) [26 May 2007](#) [25 Apr 2007](#) [26 Mar 2007](#) [23 Feb 2007](#) [26 Jan 2007](#)
[23 Nov 2007](#) [25 Oct 2007](#) [24 Sep 2007](#) [25 Aug 2007](#) [25 Jul 2007](#) [24 Jun 2007](#) [25 May 2007](#) [24 Apr 2007](#) [25 Mar 2007](#) [22 Feb 2007](#) [25 Jan 2007](#)

INTERNATIONAL LASER RANGING SERVICE (ILRS)

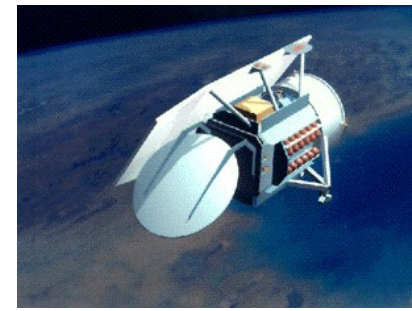


TIGO





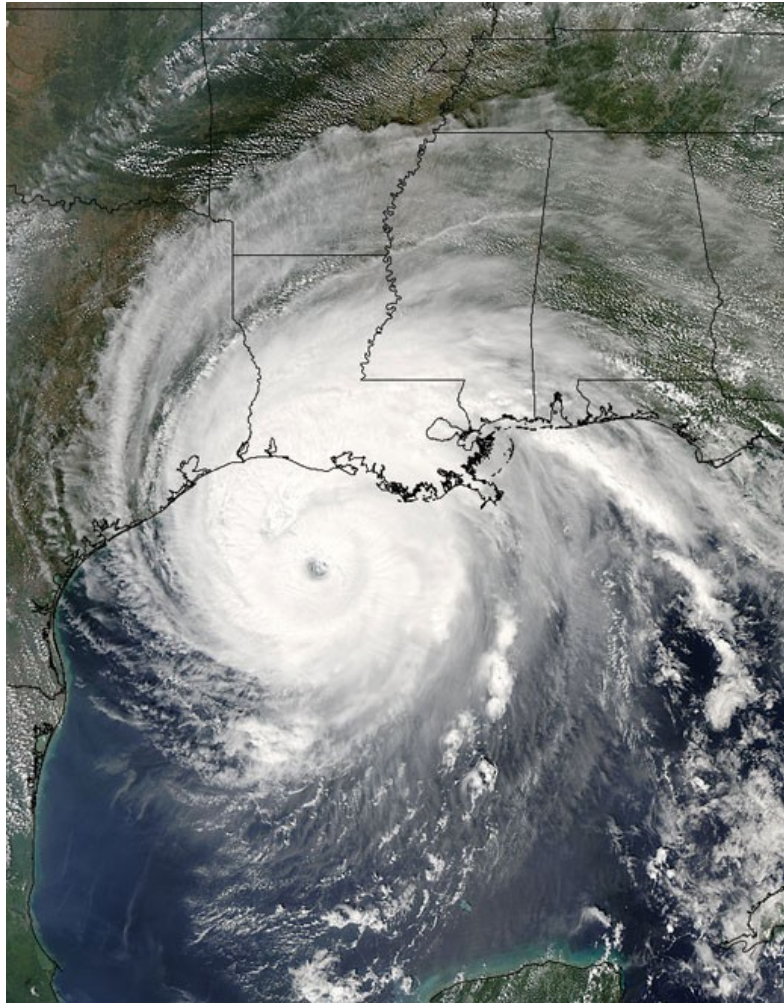
SLR für Kalibrierungen



GFO-1

Petition an den ILRS:

2005: Kalibration von Altimetern
zur genauen Bestimmung der
Meereswellenhöhen, die durch
den Hurrikan Rita verursacht



2005-09-23 Hurrikan Rita



2005-09-24 Präsident Bush, NorthCom Base

SLR für Kalibrierung



Petition an den ILRS:
2006: Genaue
Orbitbestimmung des
europäischen GIOVE-
1 Satelliten mit SLR
für die Synchronisation
und Syntonization der
Atomuhren an Bord.

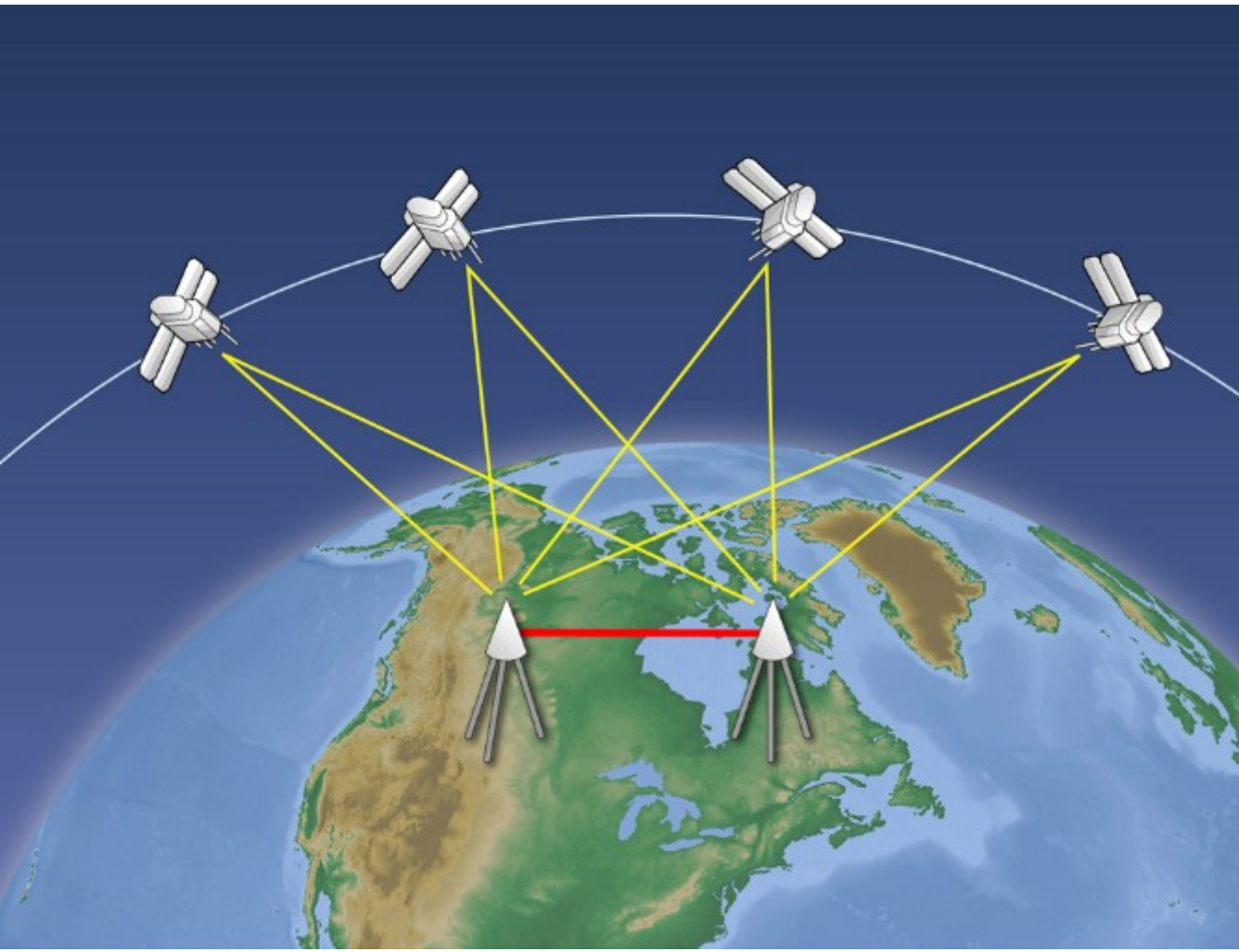
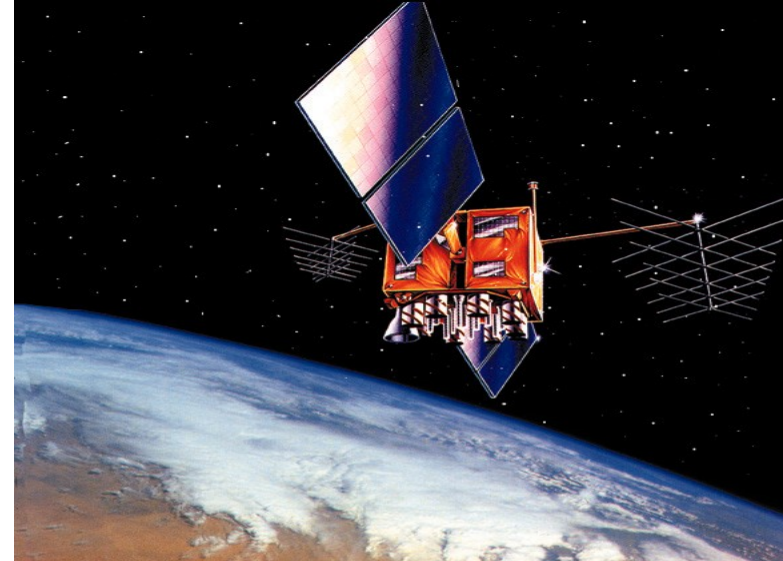




GNSS

Global Navigation
Satellite System

GPS + Glonass + Galileo



TIGO

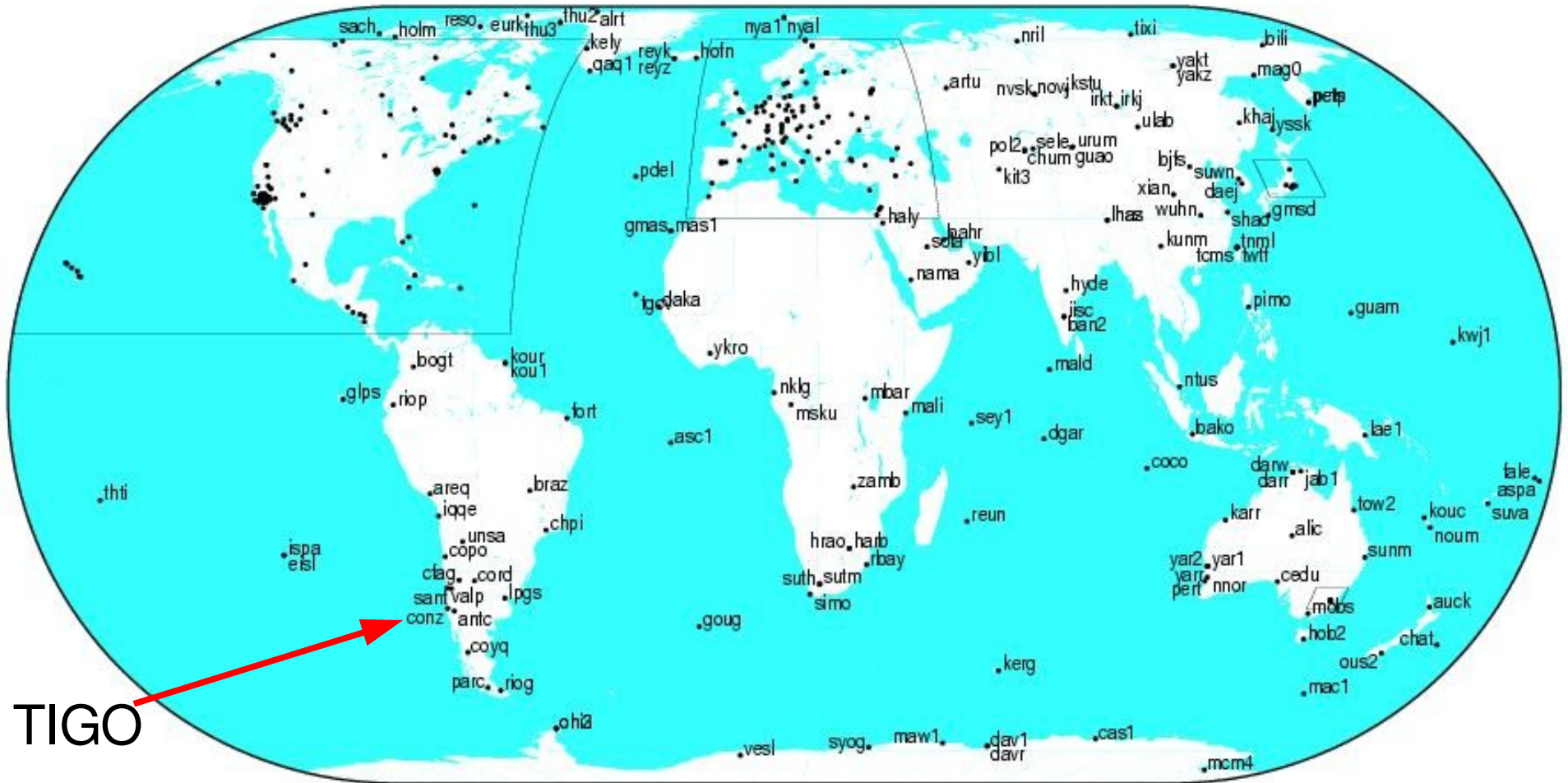


GPS + Glonass

Punto TIGO N° 200
Lat. 34° 50' 37.5429" Long. 73° 01' 31.7329"
Altura elipsoidal: 180.704 mts
Datum: SIRGAS (WGS - 84) Elipsoide: GRS 80
Coordenadas referidas a época 2002.0

IGS Network Stations

International GNSS Service



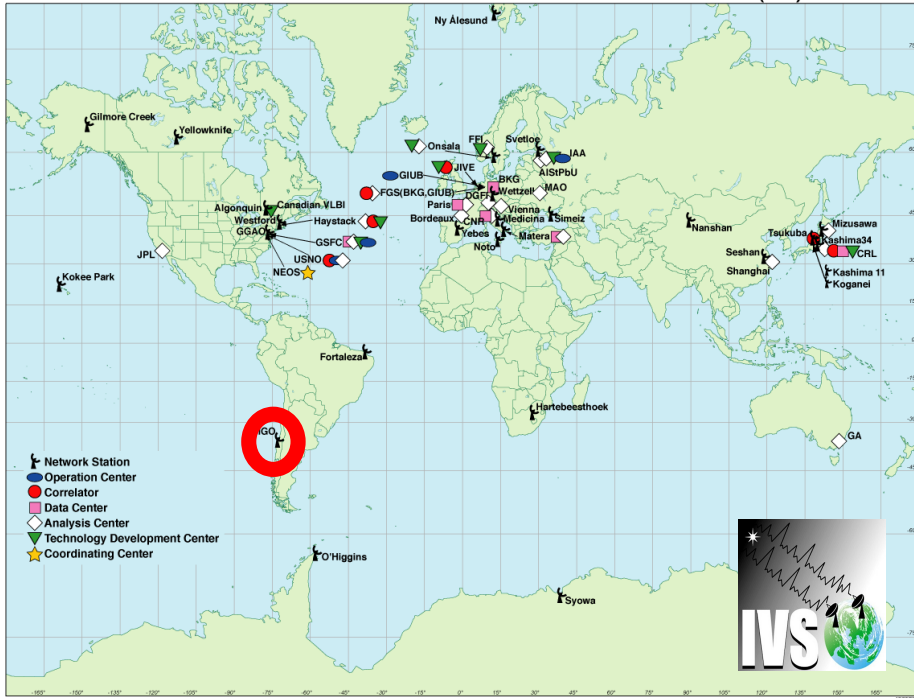
TIGO

TIGO – Teil globaler Infrastruktur

VLBI

SLR

INTERNATIONAL VLBI SERVICE FOR GEODESY AND ASTROMETRY (IVS)

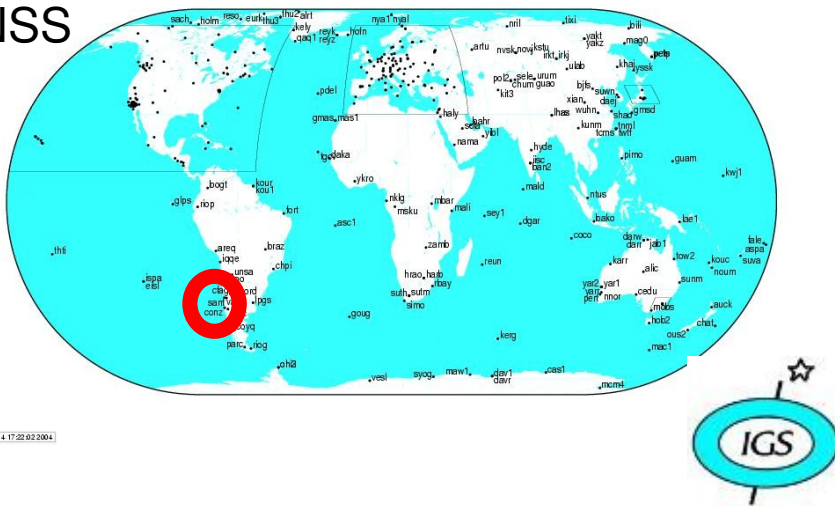


INTERNATIONAL LASER RANGING SERVICE (ILRS)

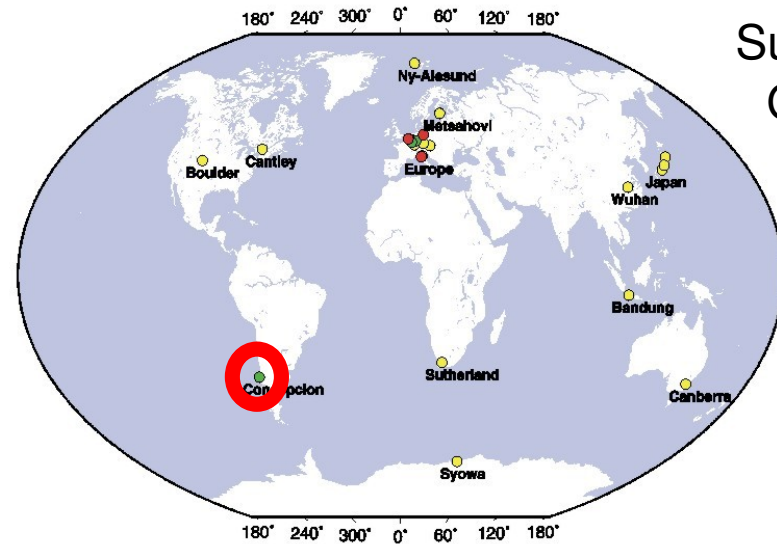


GGP Stations 1997 - 2003

GNSS



TIGO



Supraleitene Gravimeter

Inhalt

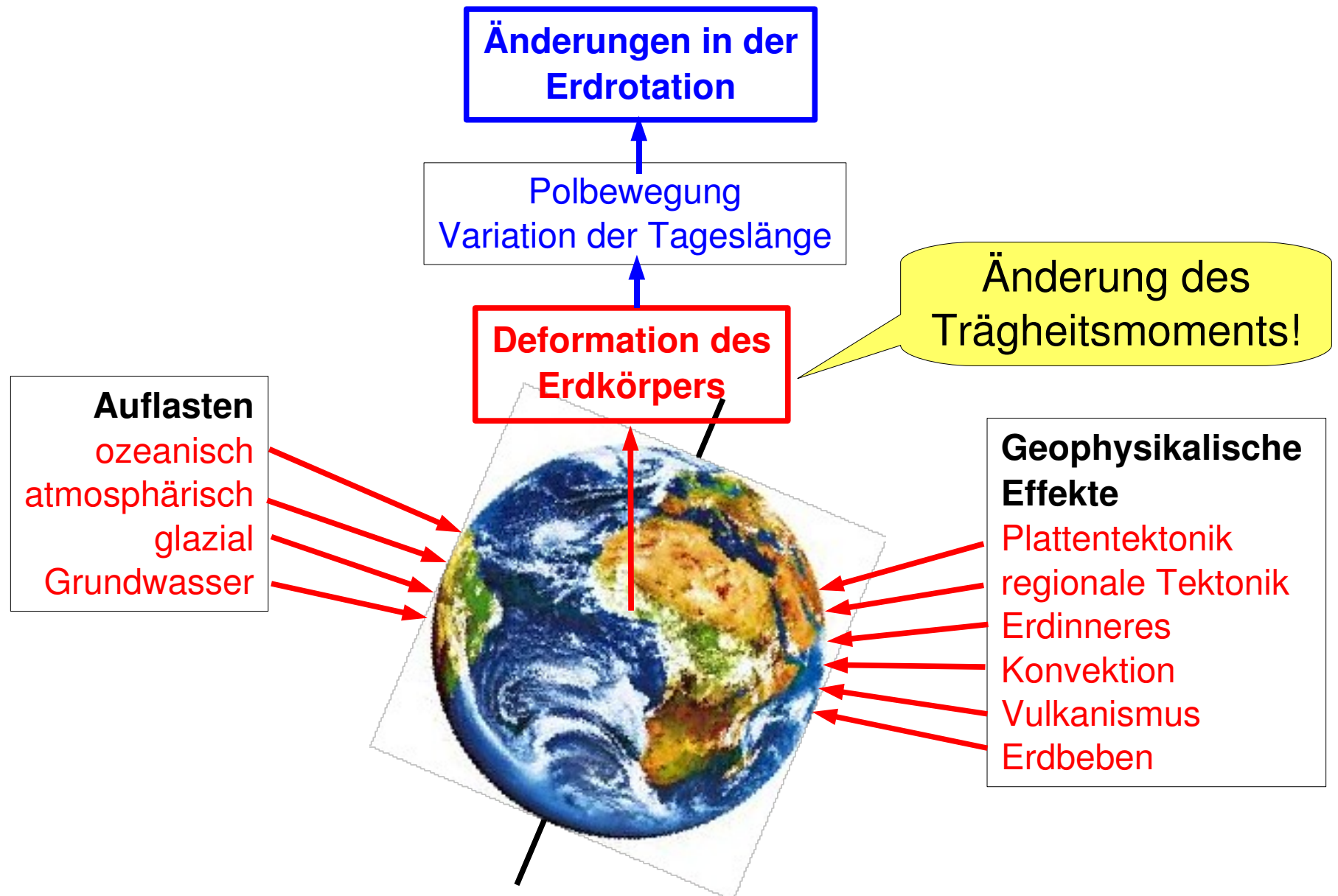
- Globale Bezugssysteme
- Geschichtliches über TIGO
- Vermessung der Erde mit TIGO in Concepción, Errungenschaften
- Geodynamik in Chile, Herausforderung an die Geodäsie
- Zusammenfassung, Fazit

Geodynamik

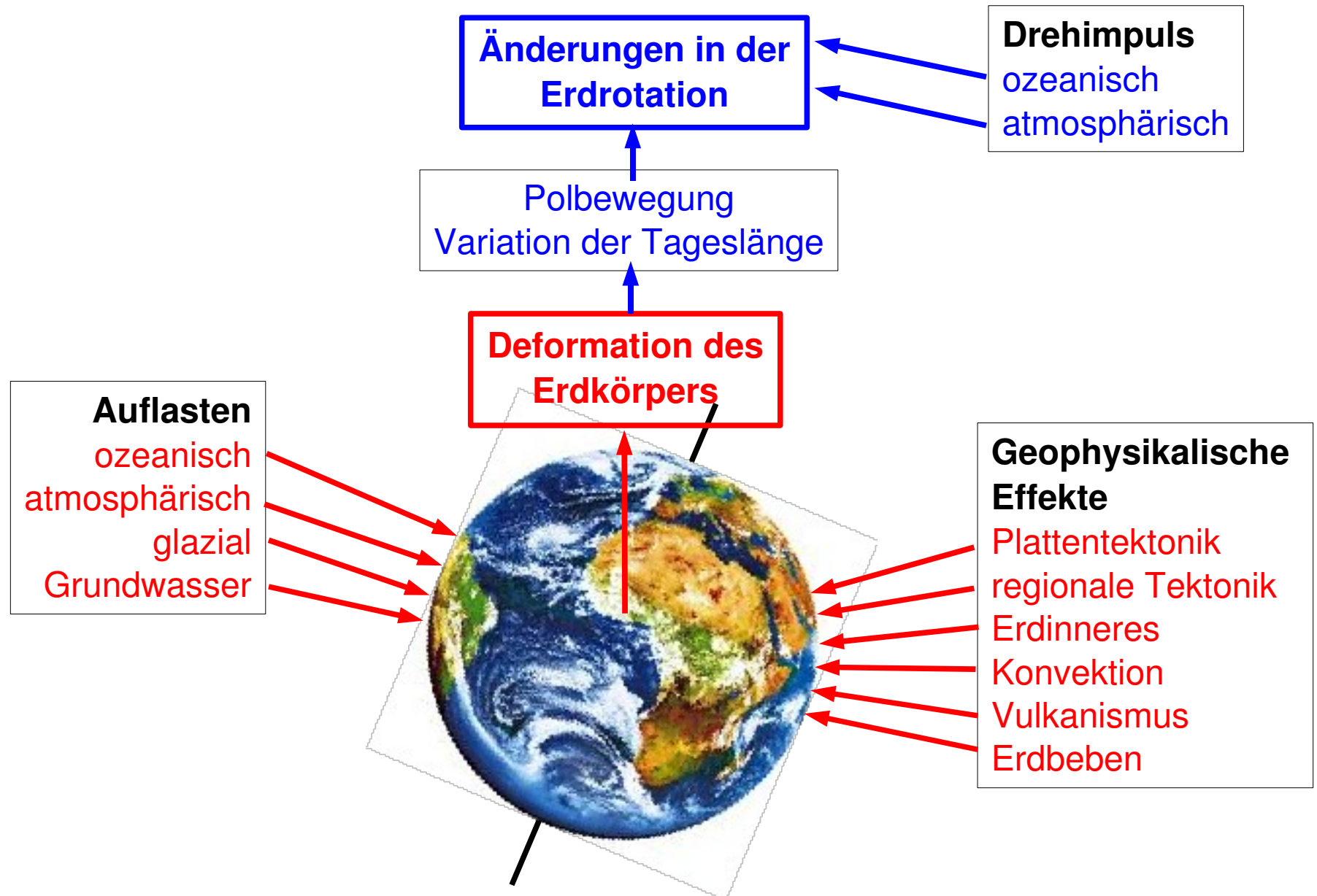
- Die Geodynamik erforscht die **natürlichen Bewegungsvorgänge** des Erdinnern und der Erdoberfläche und deren **Antriebsmechanismen**.
- Die Geodynamik ist die interdisziplinäre Brücke zwischen der **Geodäsie**, der **Geophysik** und der **Geologie**.
- **Welchen Beitrag leistet ein geodätisches Observatorium für die Geodynamik?**



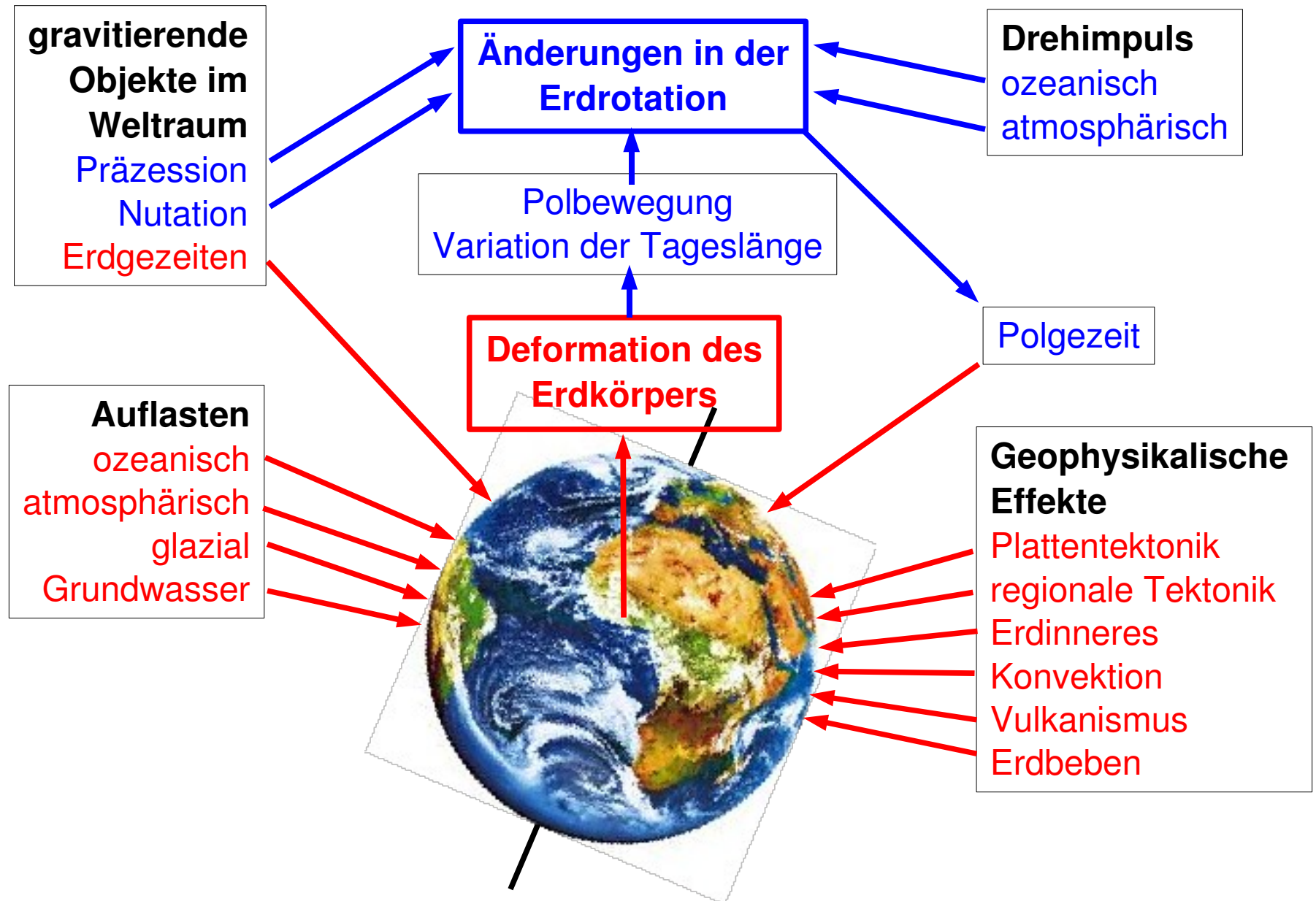
Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen



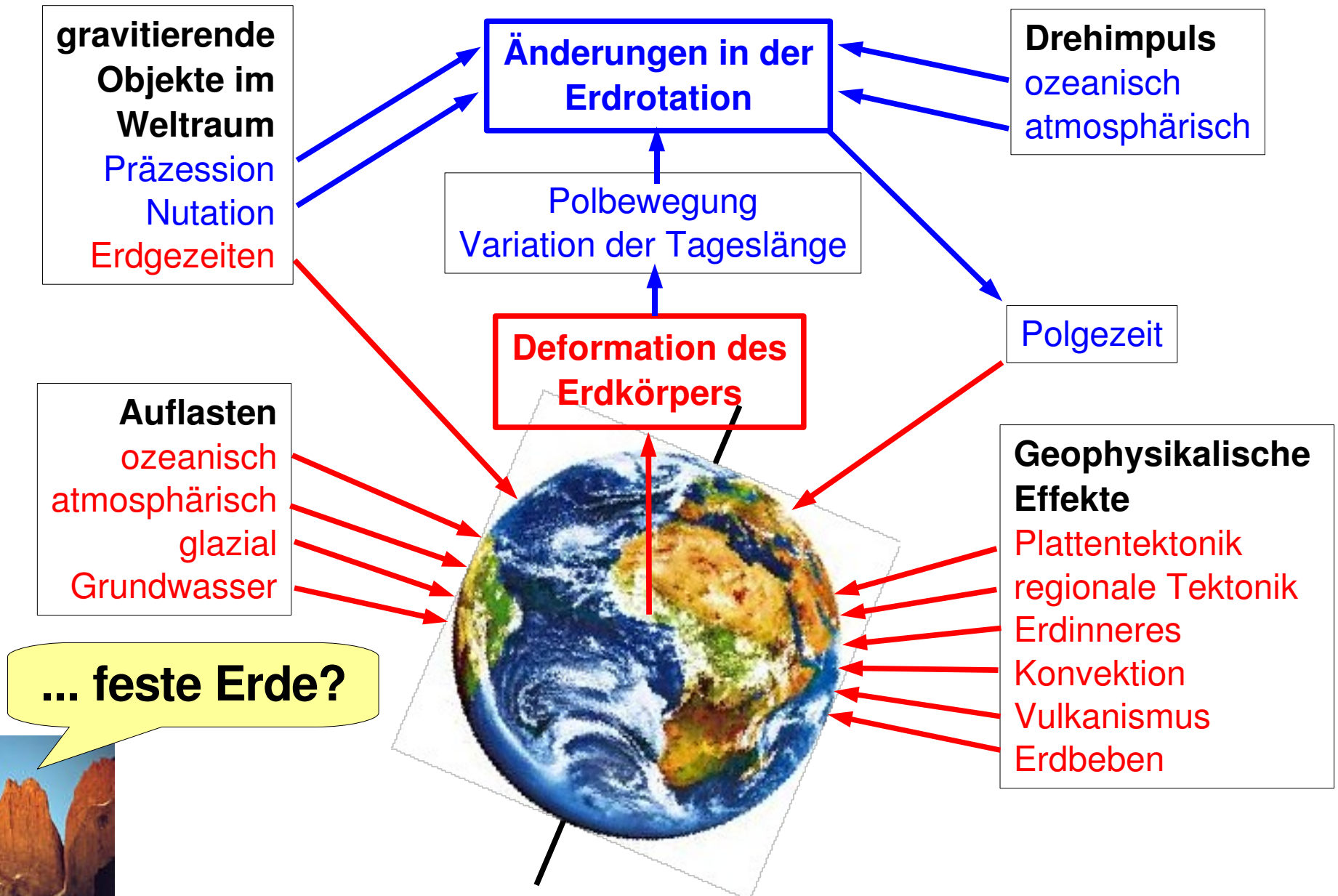
Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen



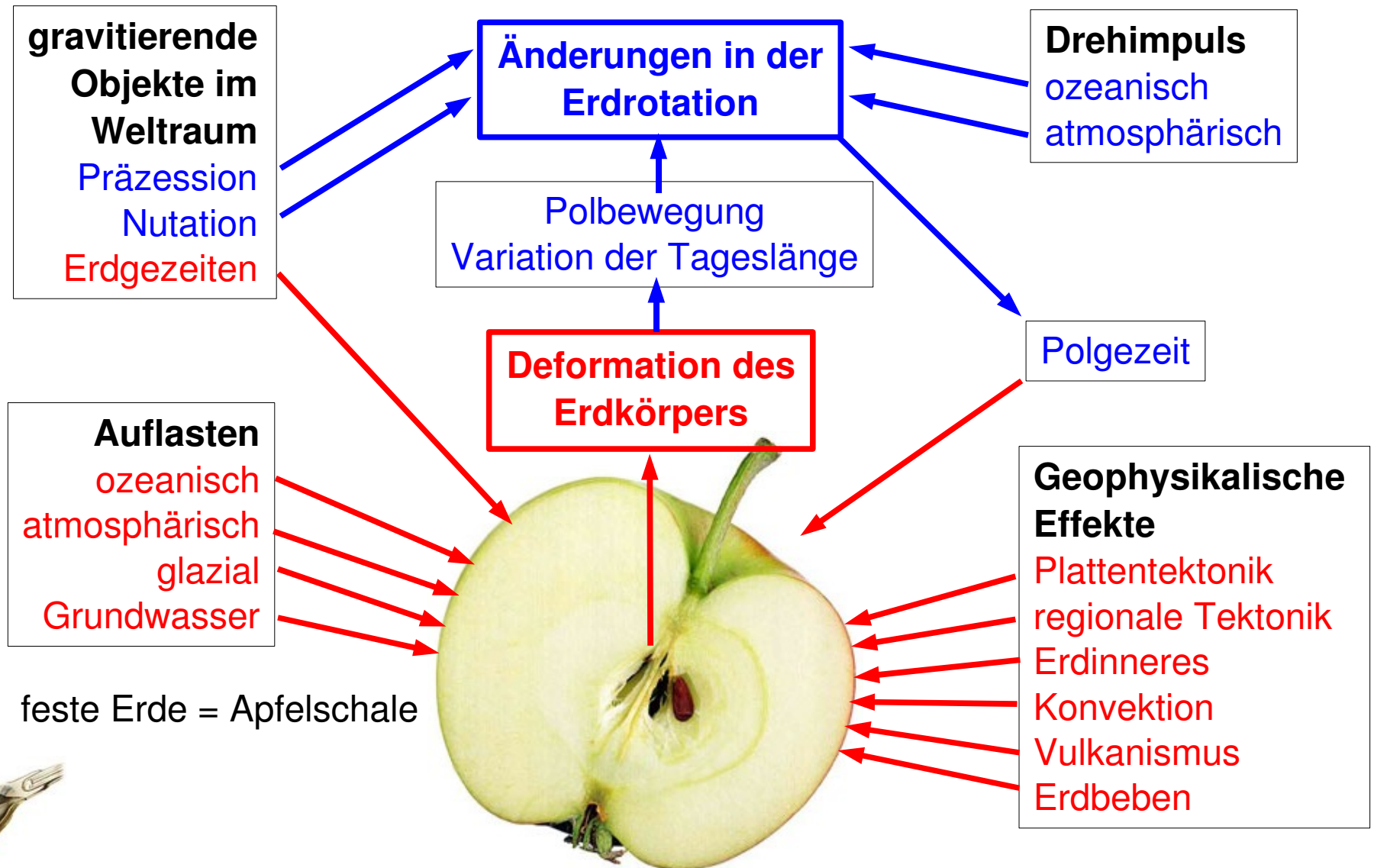
Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen



Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen

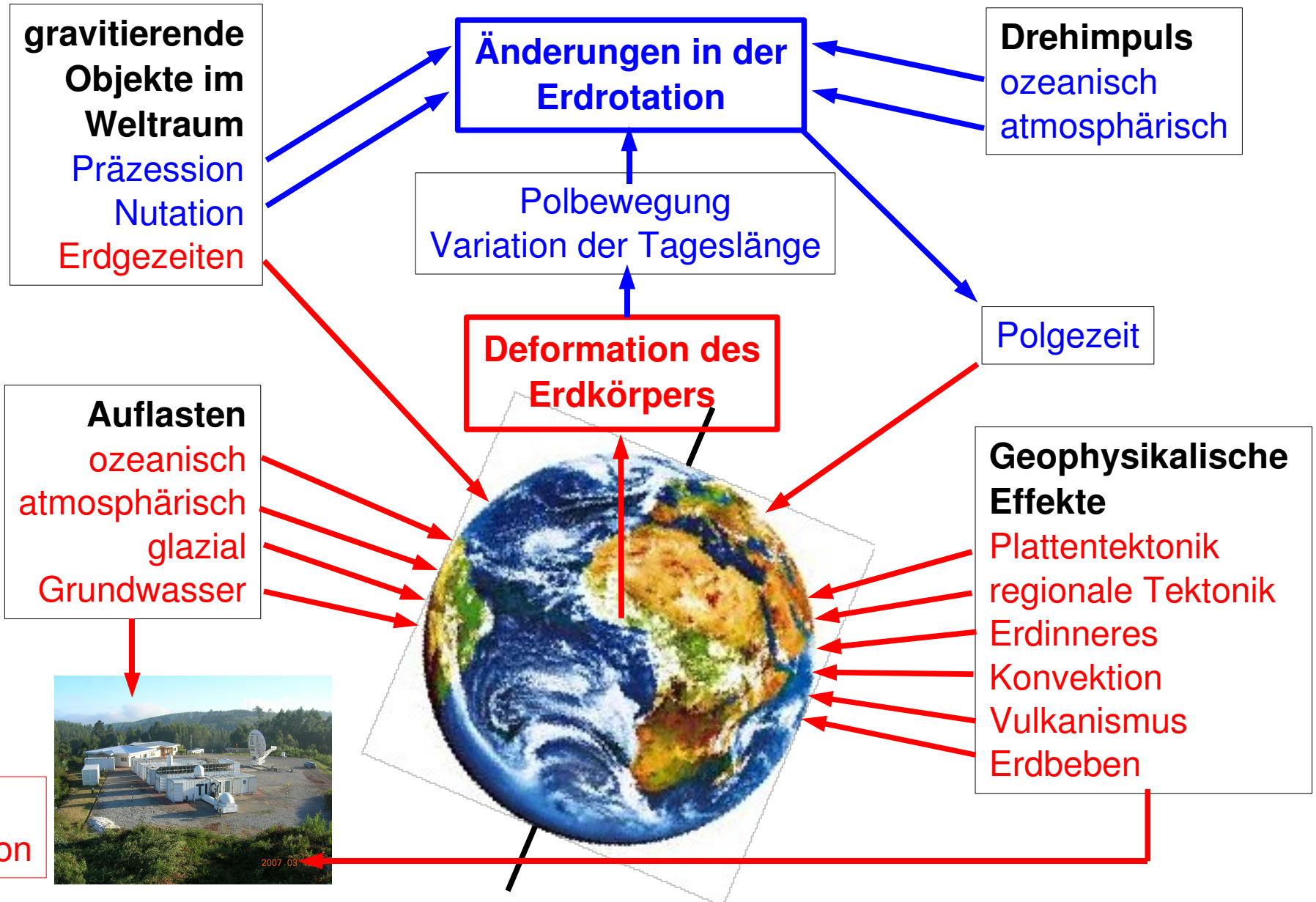


Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen



visko-elastisches Erdinneres = Apfelfleisch

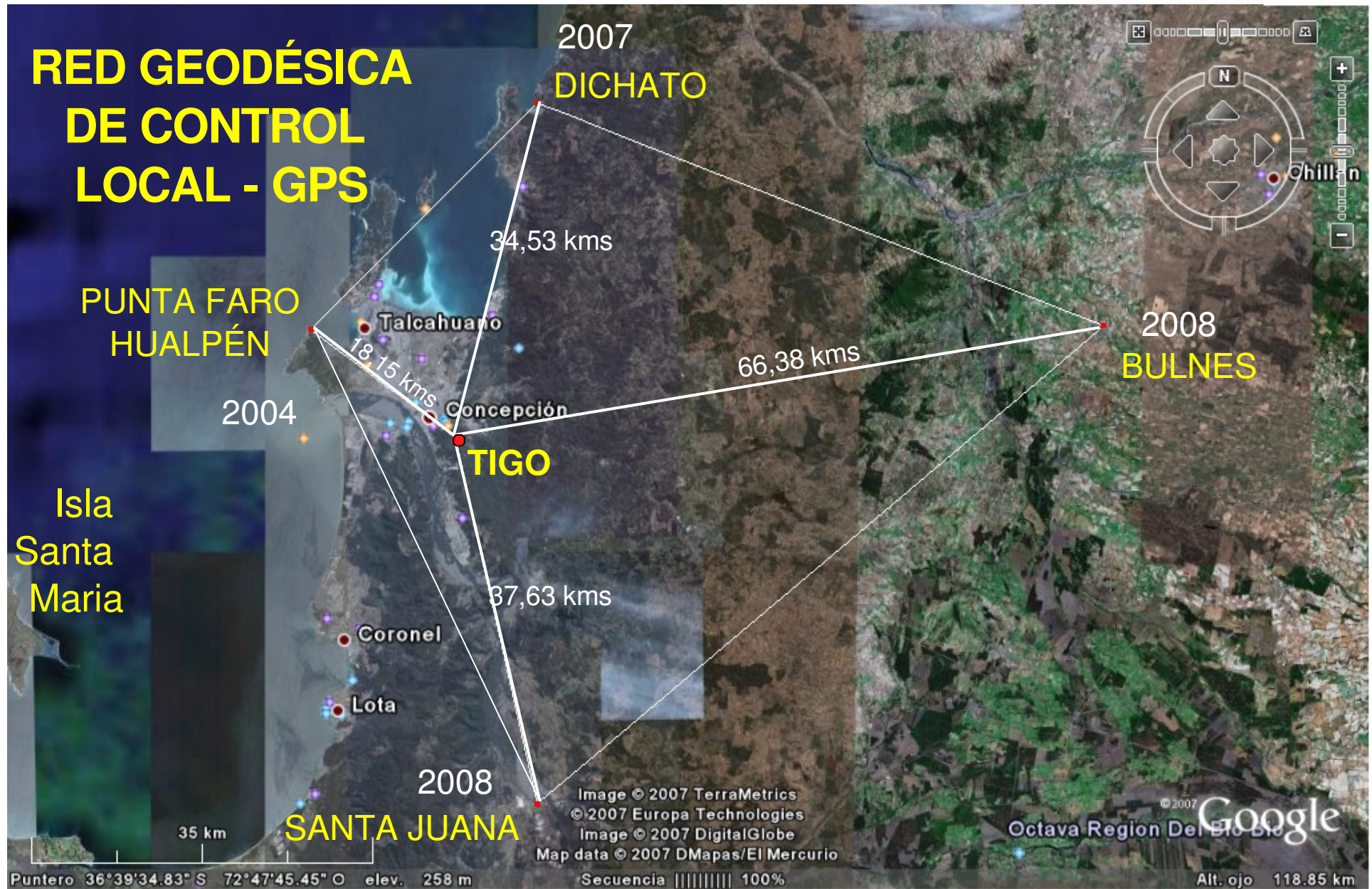
Geodynamische Phänomene, die Messungen beeinflussen



... und was passiert in der regionalen Geodynamik?



TIGO's Regionales GPS Überwachungsnetz

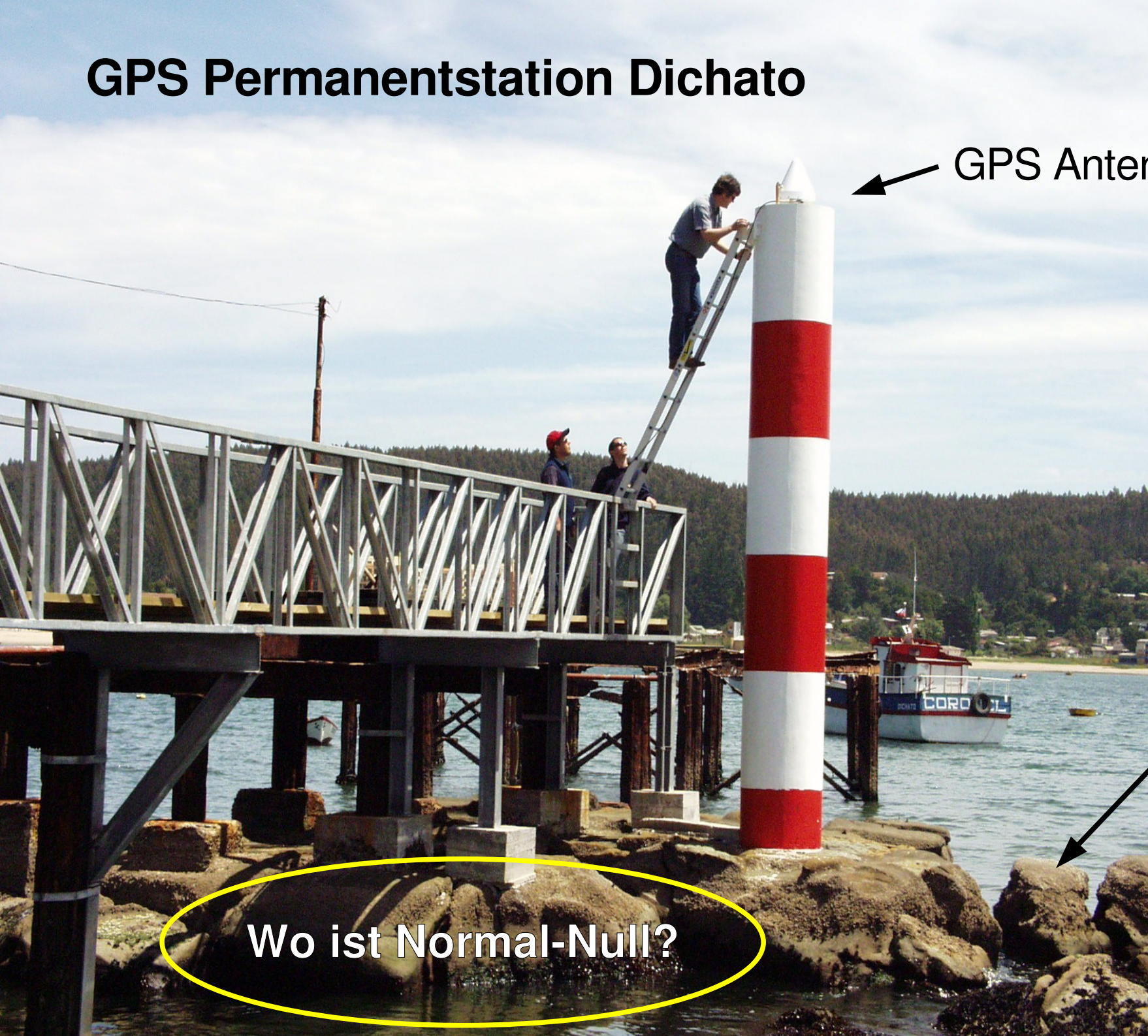


GPS Permanentstation Dichato

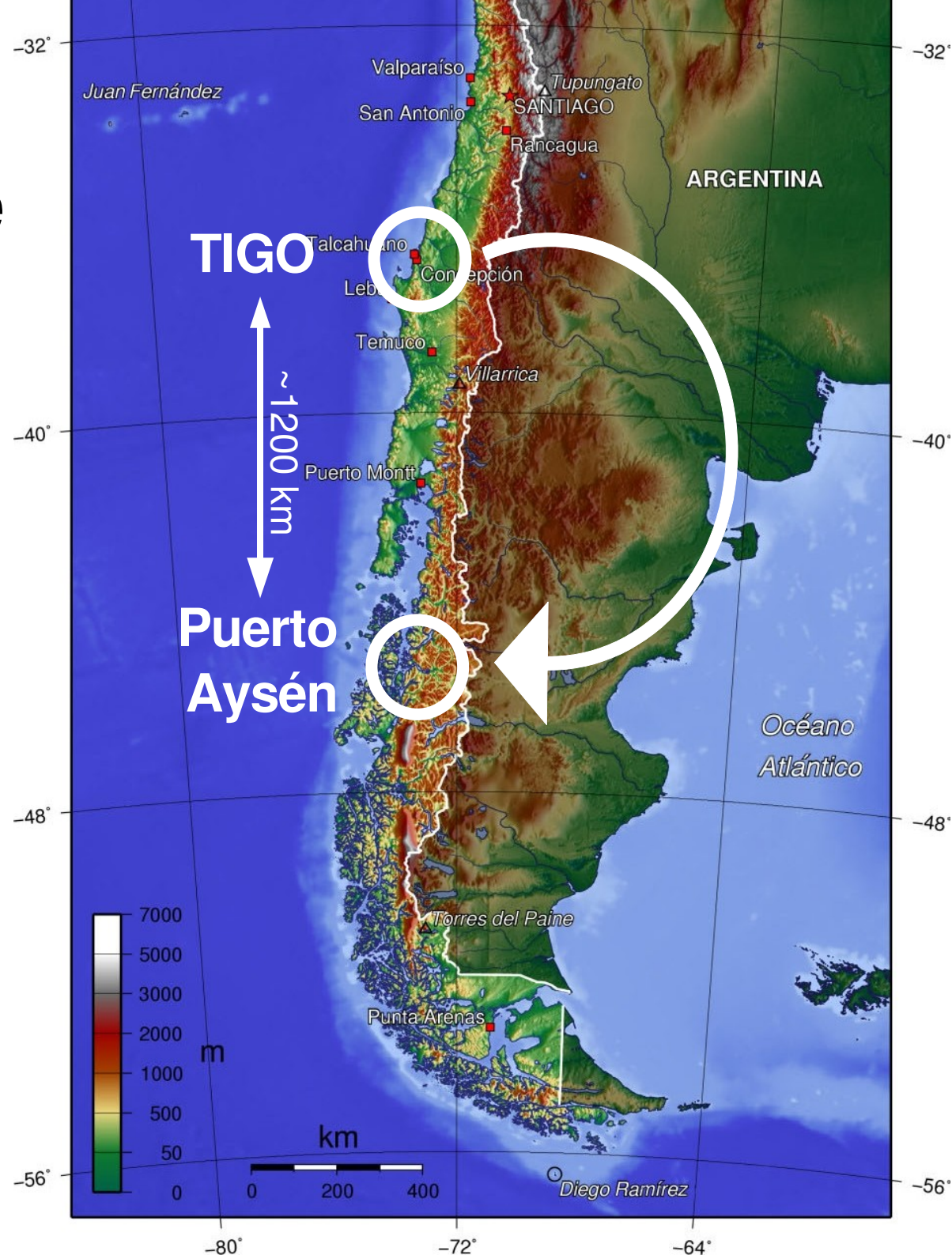
GPS Antenne

Druck-
sensor
für Pegel

Wo ist Normal-Null?

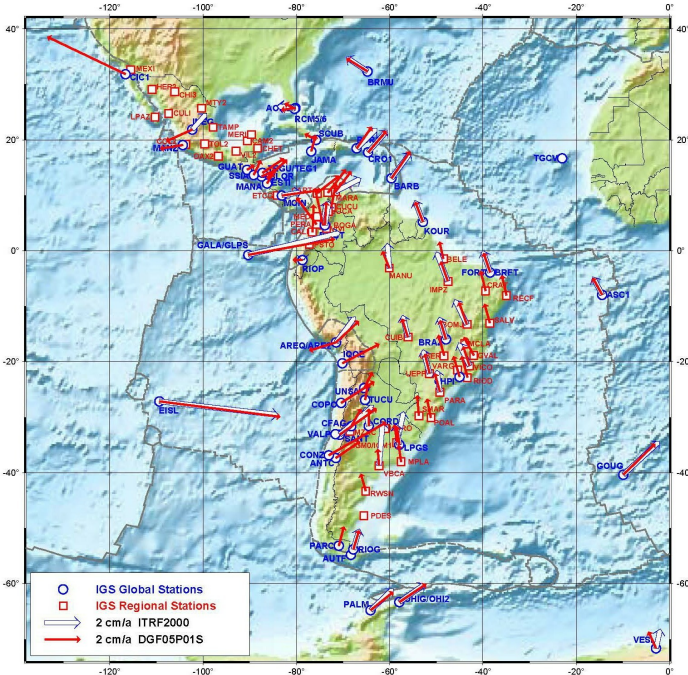


Geodätische Überwachungsnetze in seismisch aktiven Zonen

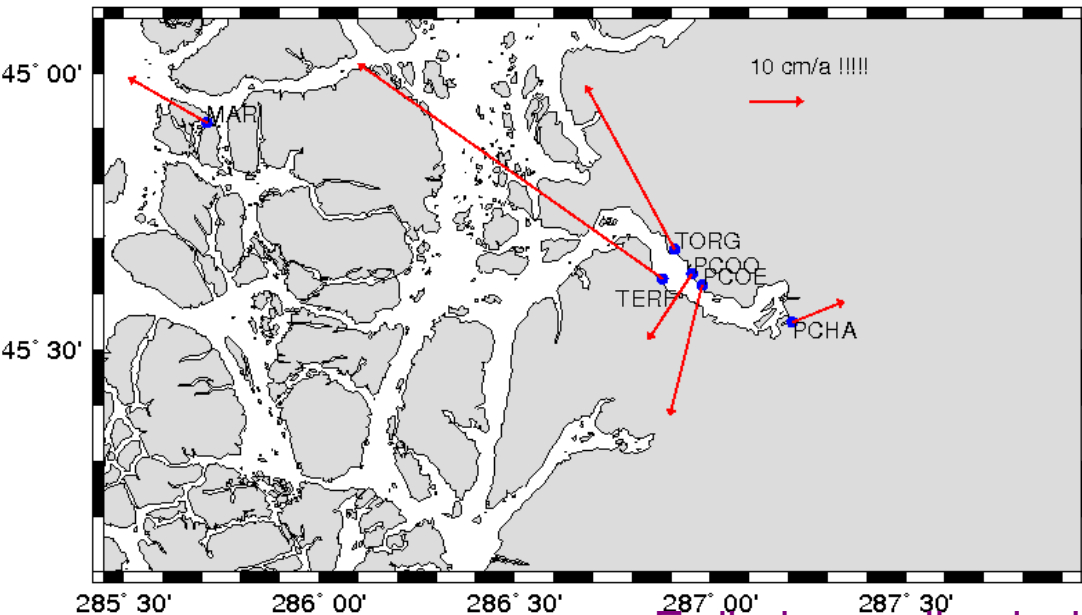


Beispiel Aysén 2007

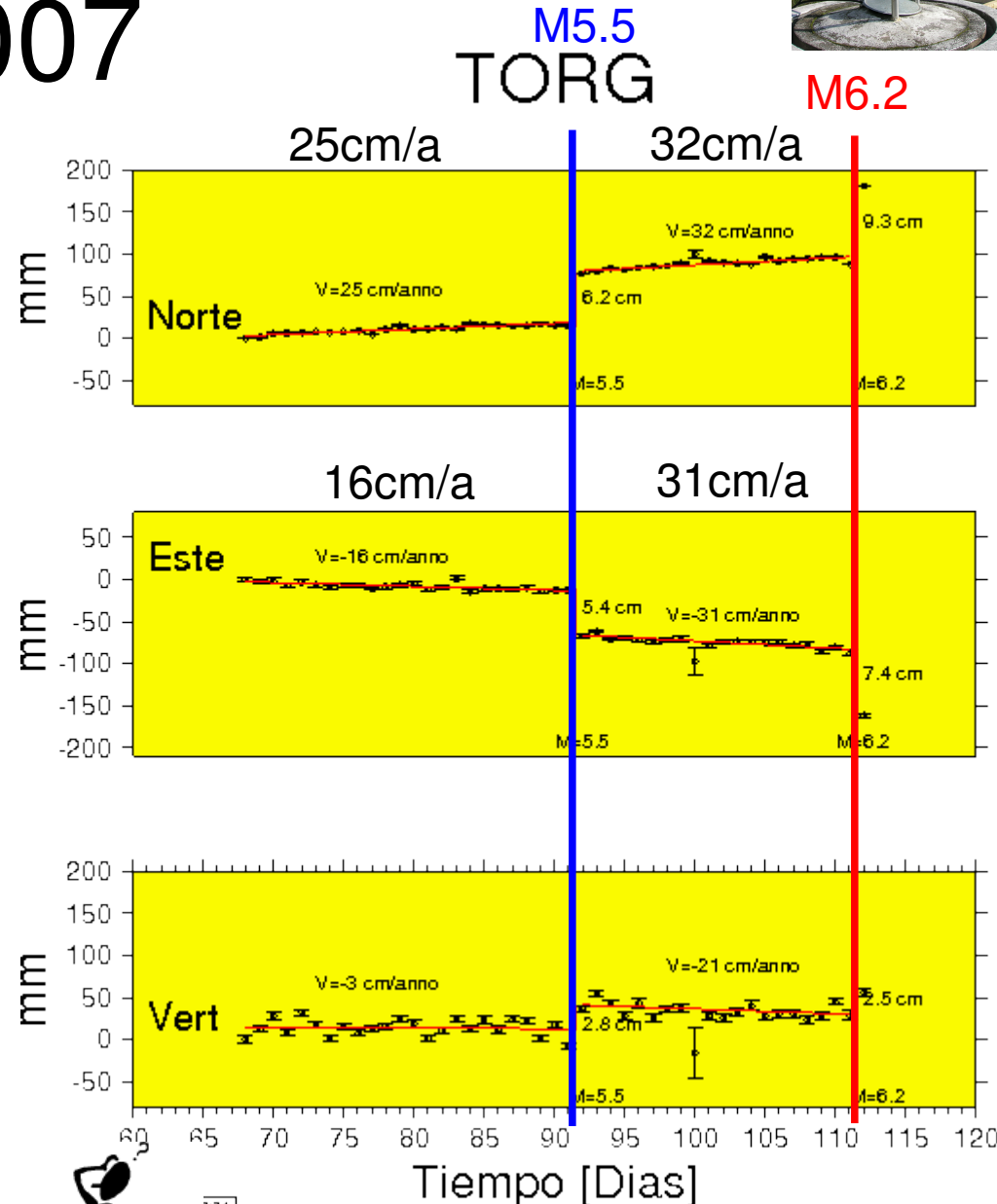
TIGO-GPS/Glonass Permanentstation



Velocidad Horizontal



... Erdbeben vulkanischen oder tektonischen Ursprungs?



Erdbeben M6.2 Aysén, 20.04.07



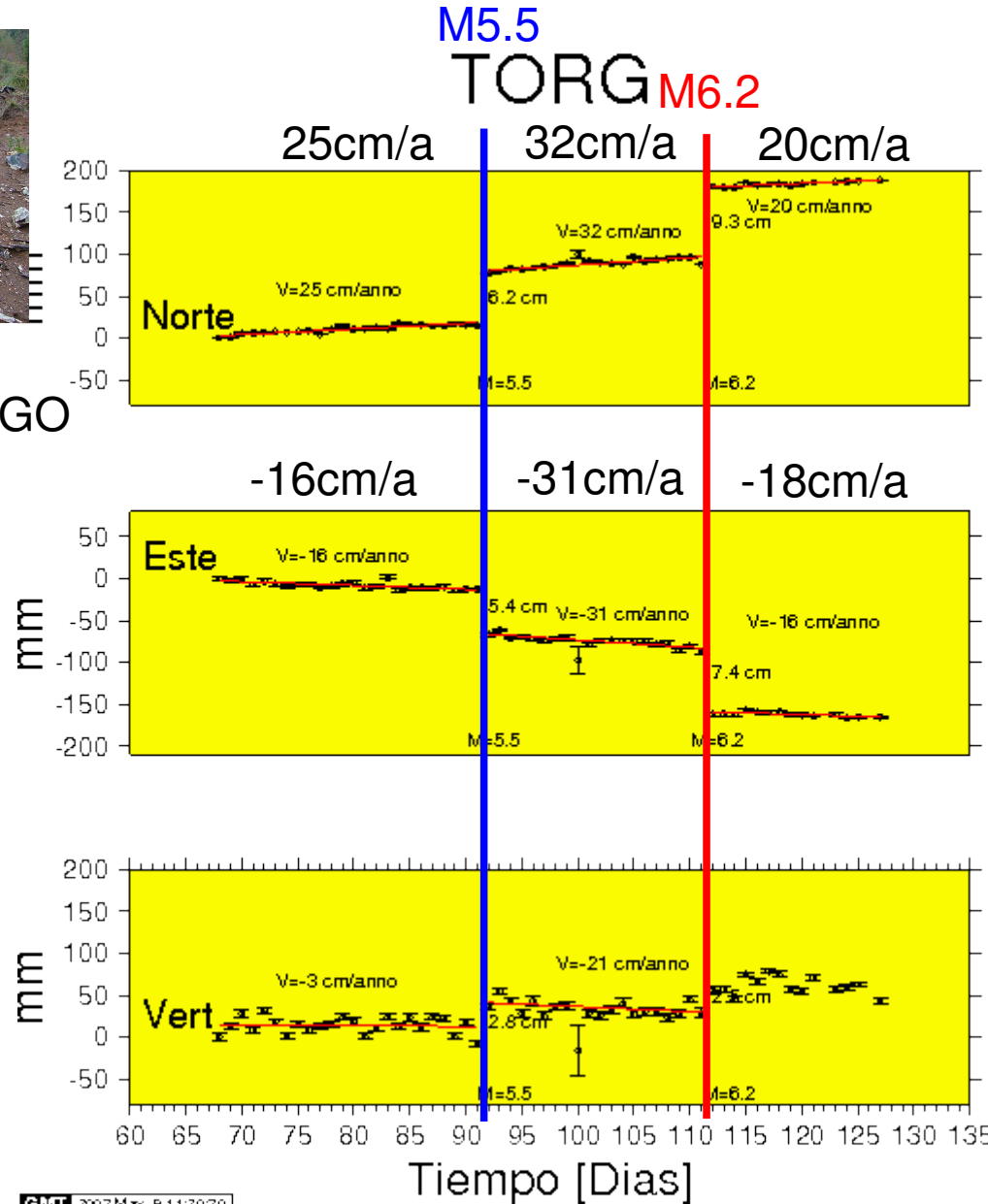
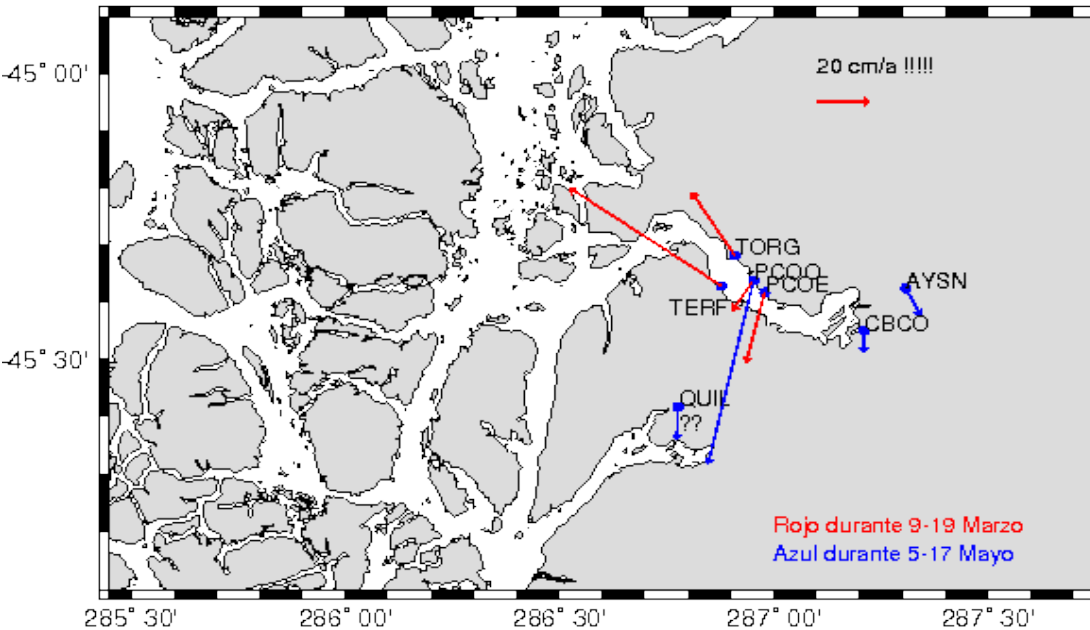
Isla Mentirosa mit Ausrüstung von BKG-TIGO, Mai 2007

Beispiel Aysén (2)



Lago Riesgo mit GPS von BKG-TIGO

Velocidad Horizontal

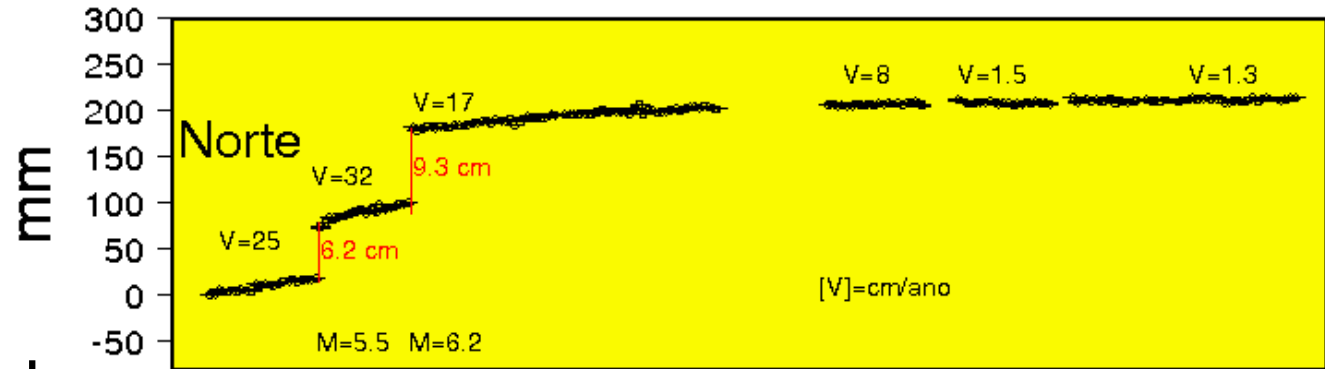


GMT 2007 May 9 11:20:30

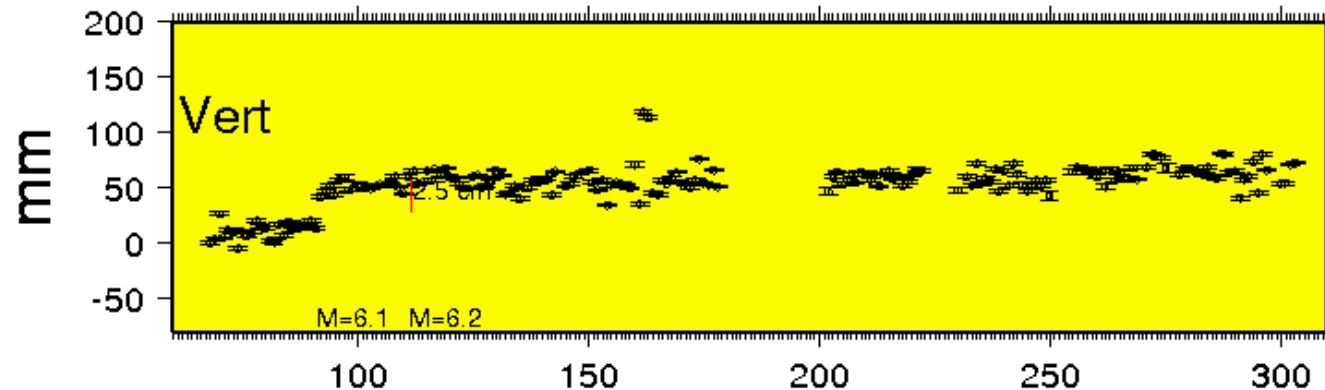
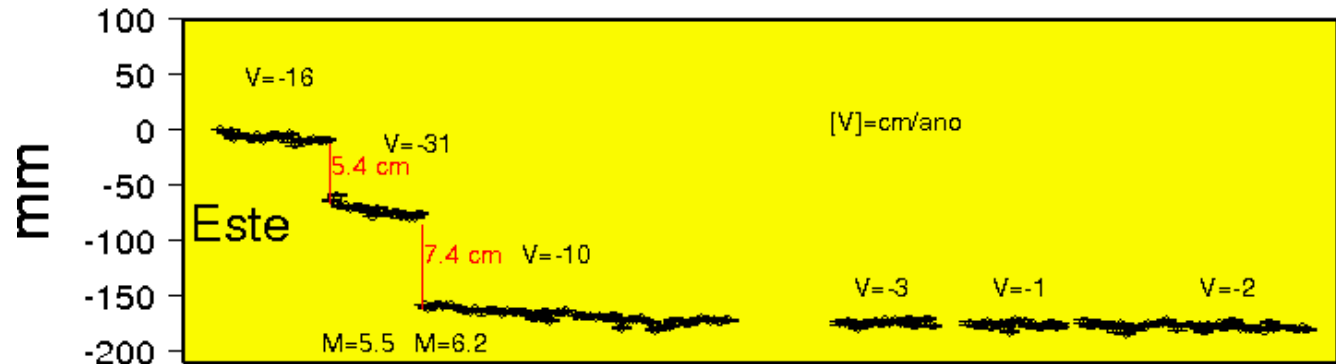
Klaus Bataille, Juan Carlos Baez
<http://depto.sismos.udec.cl/aysen>

Beispiel Aysén (3)

- Abklingen der Geschwindigkeit zeigt Entspannung der Platten
- *Gelernte Lektion:* GNSS ist ein Werkzeug zum Aufbau eines **seismischen Frühwarnsystems**



hohe Bewegungsrate = große Erdbebenwahrscheinlichkeit



Tiempo [Dias]

Geschichte der Erdbeben in Concepción

87 **1570-02-08**, Stadt zerstört durch Erdbeben, nur 20 Jahre nach ihrer
Gründung

73 **1657-03-15**, Stadt zerstört durch Erdbeben und Tsunami

21 **1730-07-08**, Stadt zerstört durch Erdbeben und Tsunami

84 **1751-05-25**, Stadt zerstört durch Erdbeben und Tsunami,
Wiederaufbau an anderer Stelle (heutiges Concepción)

33 **1835-02-20**, 60% Stadt zerstört durch Erdbeben, Tsunami in
Küstenzone zwischen 30°-43° S, Augenzeuge Charles Darwin

71 **1868-08-13**, Küstenzone zerstört durch Tsunami, Epizentrum
2000km entfernt im Norden

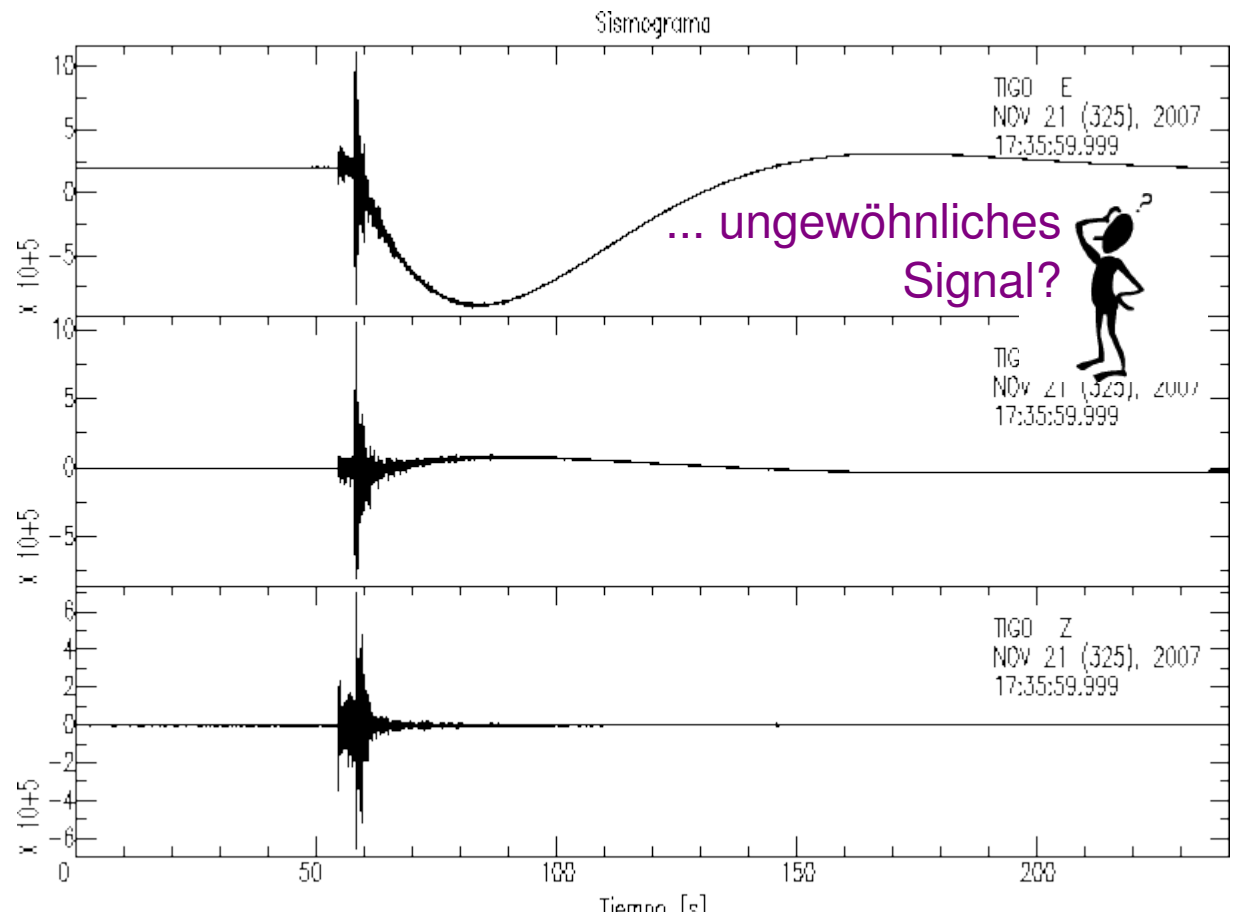
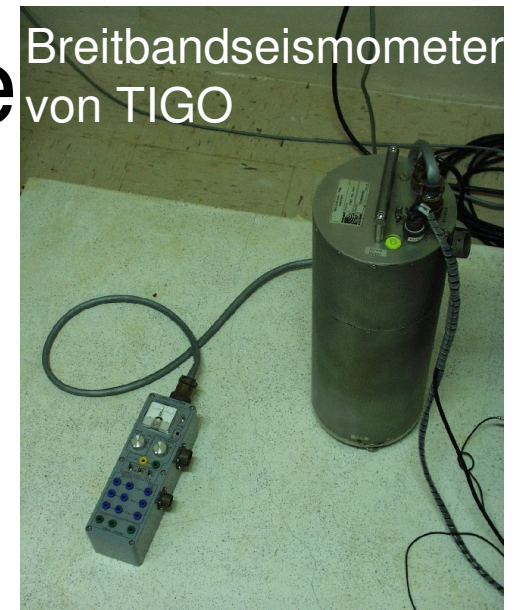
21 **1939-01-24**, Stadt zerstört, Erdbeben Mw 8-9

47+ **1960-05-21/22**, Stadt zerstört, Erdbeben Mw 9.5+8, Tsunami

Jeder Tag ohne Erdbeben ist ein Tag weniger bis zum nächsten!

Geodynamik in der Seismometrie

- Erdstöße und Erdbeben verursachen Bewegungen der Erdoberfläche
- Seismometer zeichnen Beschleunigungen auf

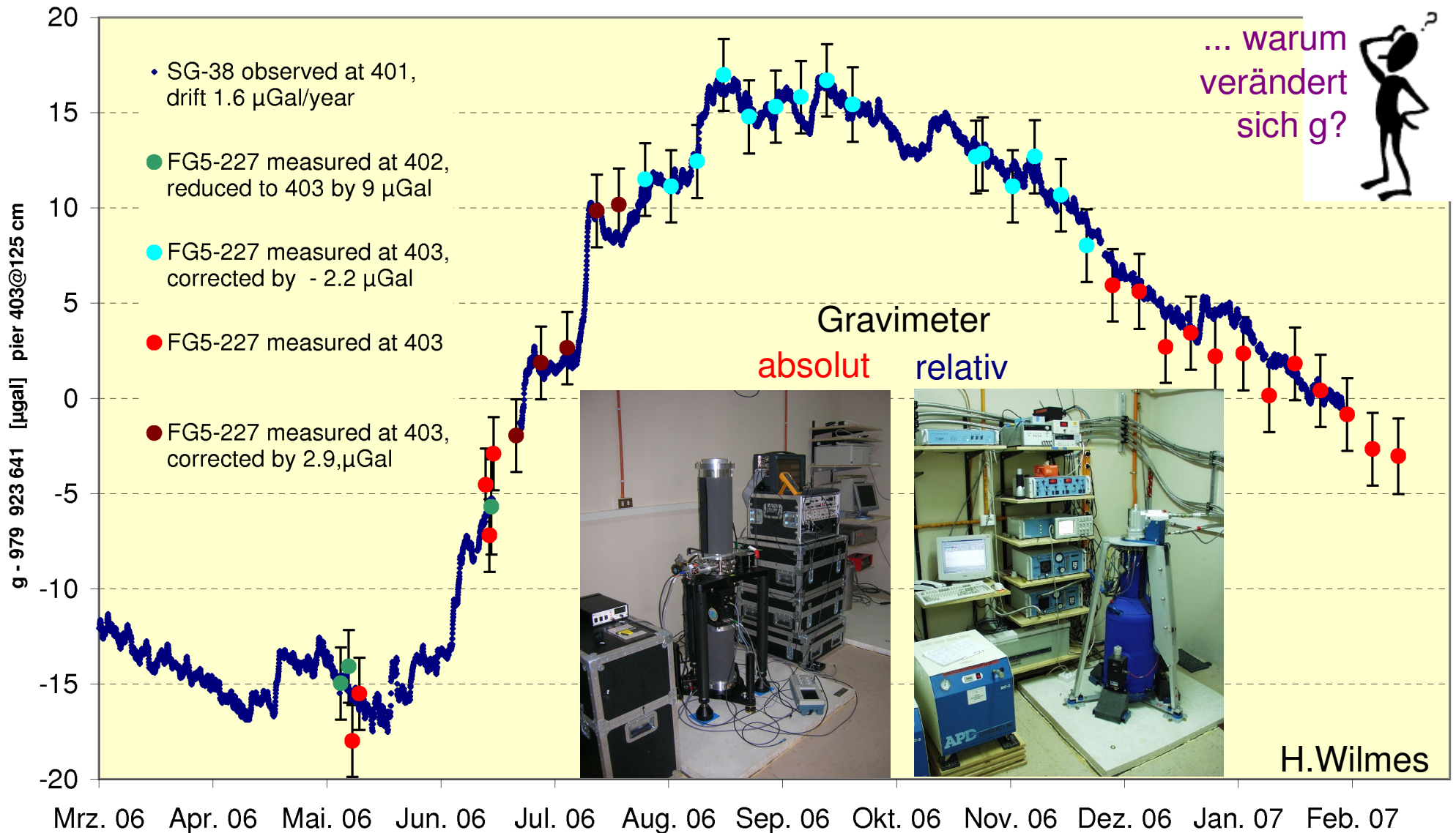


Seismisches Ereignis 07-11-21 14:36
Magnitude: ~M3
Distanz zum Epizentrum: ~5km

Gravimetrische Messungen in TIGO

absolut und relativ

TIGO Concepcion combined gravity signals SG-38 and FG5-227
(corrected for SG-drift, tides, air pressure, polar motion)

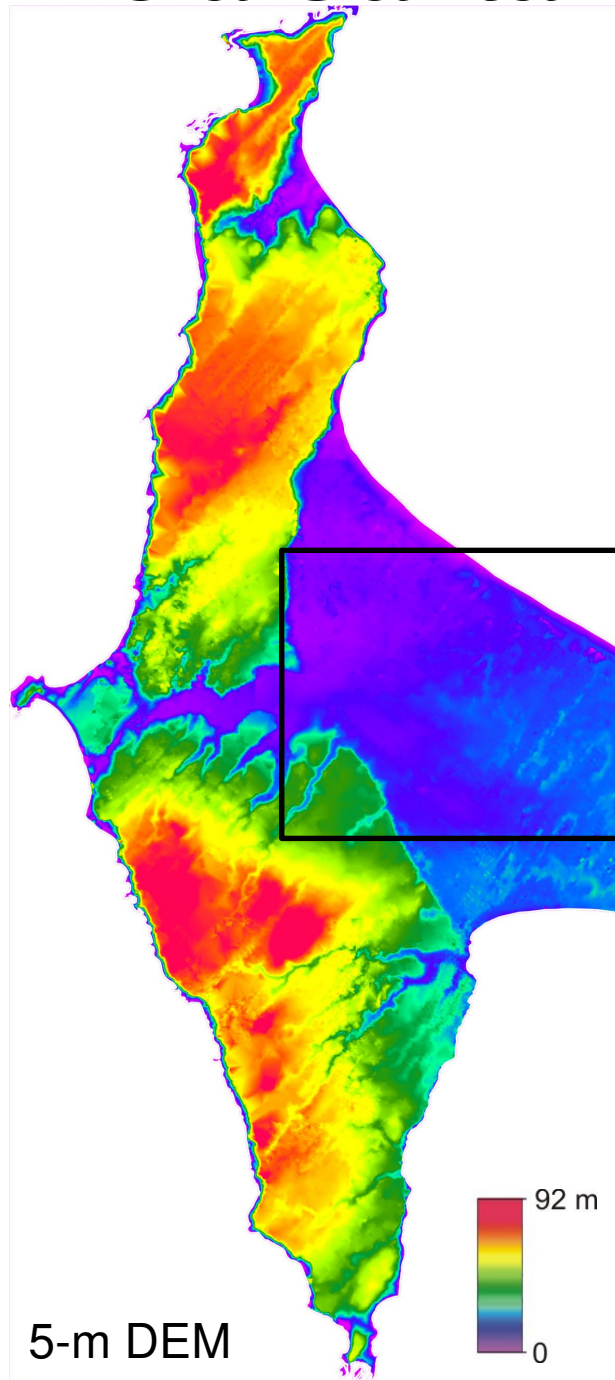


Isla Santa Maria, ~50km von TIGO



Koseismische Hebung durch das 1835
Erdbeben (~M8.2) um 2.4-3.0 m
(Darwin, 1851)

Isla Santa Maria



5-m DEM

D. Melnick

Holozäne
Strandlinien

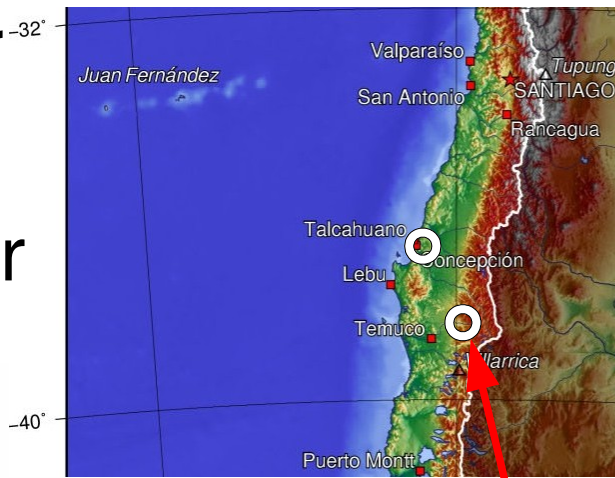


Wiederholte Ereignisse koseismischer
Hebungen und aseismischer Vorgänge

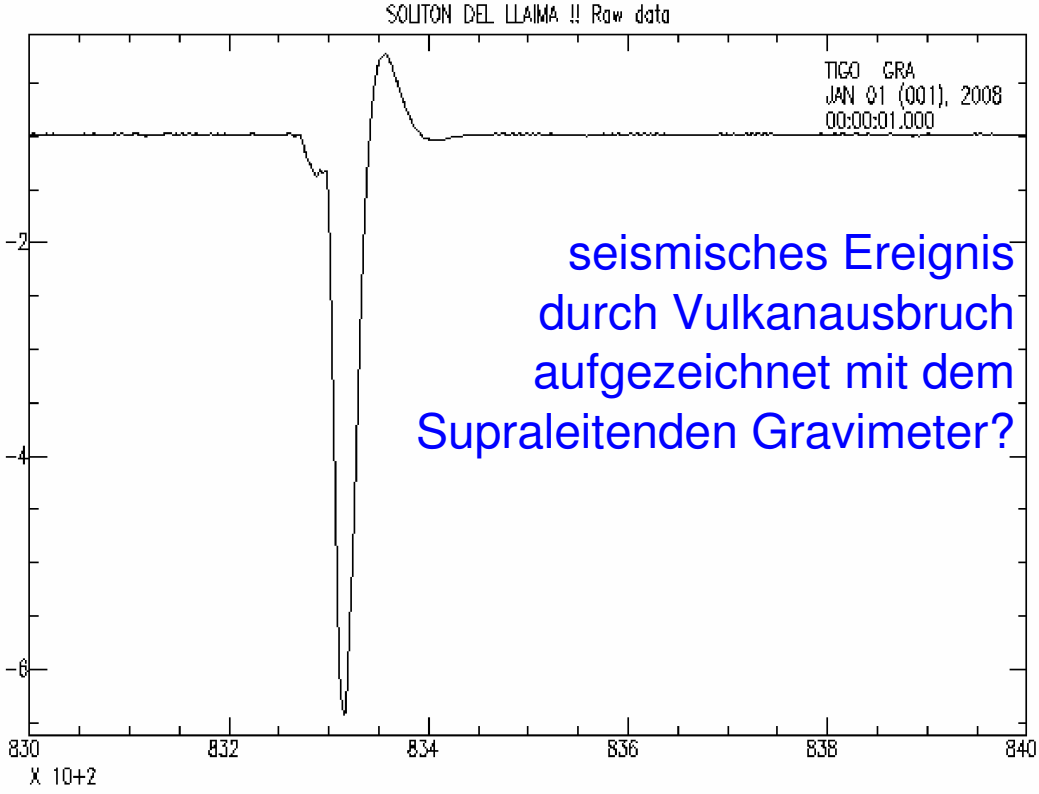
Geodynamik durch vulkanische Aktivität

Distanz TIGO-Llaima: ~270 km

- Supraleitendes Gravimeter von TIGO ist auch wichtiger Erdbebensensor



Volcán Llaima
2008-01-01



Gefälligkeit K. Bataille

Inhalt

- Globale Bezugssysteme
- Geschichtliches über TIGO
- Vermessung der Erde mit TIGO in Concepción, Errungenschaften
- Geodynamik in Chile, Herausforderung an die Geodäsie
- **Zusammenfassung, Fazit**

Zusammenfassung

- Ohne Geodäsie weiß man nicht, wo es lang geht. (Bezugssysteme!)
- **Wer mißt, mißt Mist.** (Zum Glück gibt's Fundamentalstationen.)
- Wer den Raum beherrschen will, muß die Zeit beherrschen. (Meterdefinition.)
- **Die Erde eiert und verformt sich ständig.** (Geodynamik.)
- Wer das *System Erde* verstehen will, muß auch das *System Erde* beobachten. (Geodäsie allein reicht nicht – aber ohne sie geht es auch nicht.)

Fazit nach 6 Jahren Operation in Chile

- Aus dem “Wagnis TIGO” ist ein “Erfolg TIGO” geworden.
- TIGO ist (neben Wettzell) eines der **wichtigsten geodätischen Observatorien der Welt** – das einzige seiner Art in (Latein)-Amerika.
- Das Konzept der bilateralen Kooperation geht auf, obgleich es **leider keine langfristige Absicherung** des Projekts gibt!
- TIGO gilt als **Musterbeispiel** für das IAG-Projekt “Global Geodetic Observing System”.

“Den Stolz, den wir als Mitarbeiter von TIGO fühlen, sollte auch der chilenische Staat fühlen und der Welt zeigen.”

