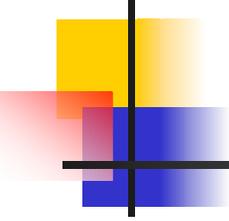


# Von der Flak zum SOS

---

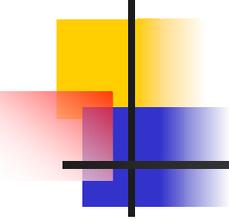
Laserentfernungsmessungen  
in Wettzell



# Gliederung

---

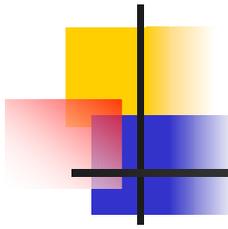
- Einführung
- Begriffsbestimmung
- Messprinzip
- Messsysteme von Wetzell
- Internationaler Vergleich
- Problemfelder des Messprinzips



# Einführung

---

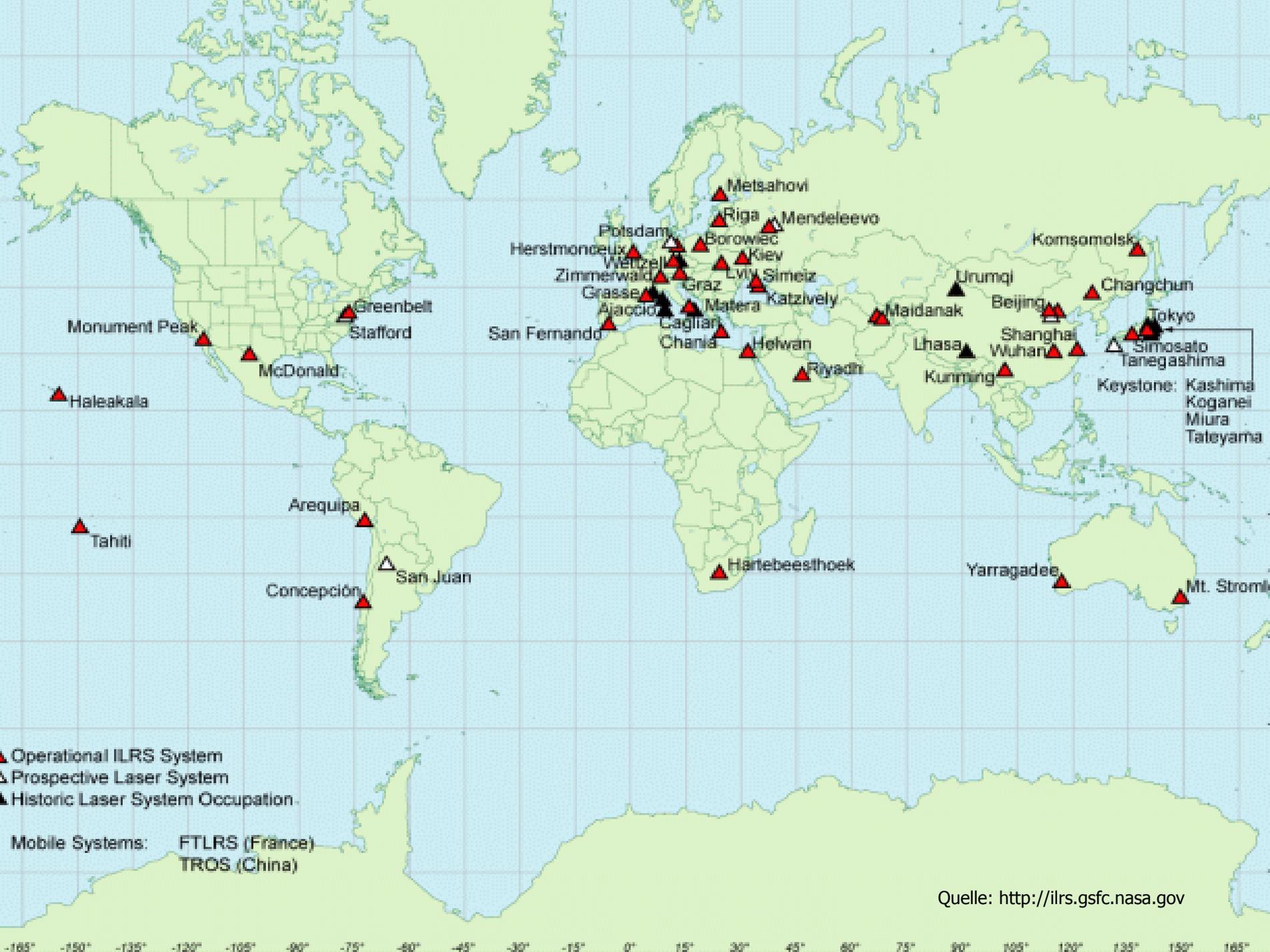
- *Laserentfernungsmessung* ist ein geodätisches Raumverfahren neben
  - Interferometrie auf langen Basen (VLBI)
  - Satellitengestützte Navigation (z.B. GPS)
- Diese Raumverfahren bilden die Basis
  - des internationalen raumfesten Referenzsystems ICRF (International Celestial Reference Frame),
  - des globalen, erdgebundene Referenzsystems ITRF (International Terrestrial Reference Frame)
  - der „Earth Orientation Parameter“ :  
Transformationsparameter zwischen ITRF und ICRF.



# Laserentfernungsmessung

---

- Messverfahren zur Bestimmung
  - der drei-dimensionalen Koordinaten und der Geschwindigkeiten der Messstationen;
  - der Satellitenbahnen in Zentimetergenauigkeit;
  - der Koordinaten des Geozentrums in Bezug auf die Variationen des Gravitationsfeldes der Erde;
  - der Erdrotationsparameter (Polbewegung, Tageslänge);
  - einiger Koeffizienten des Gravitationsfeldes der Erde.



▲ Operational ILRS System  
 △ Prospective Laser System  
 ▴ Historic Laser System Occupation

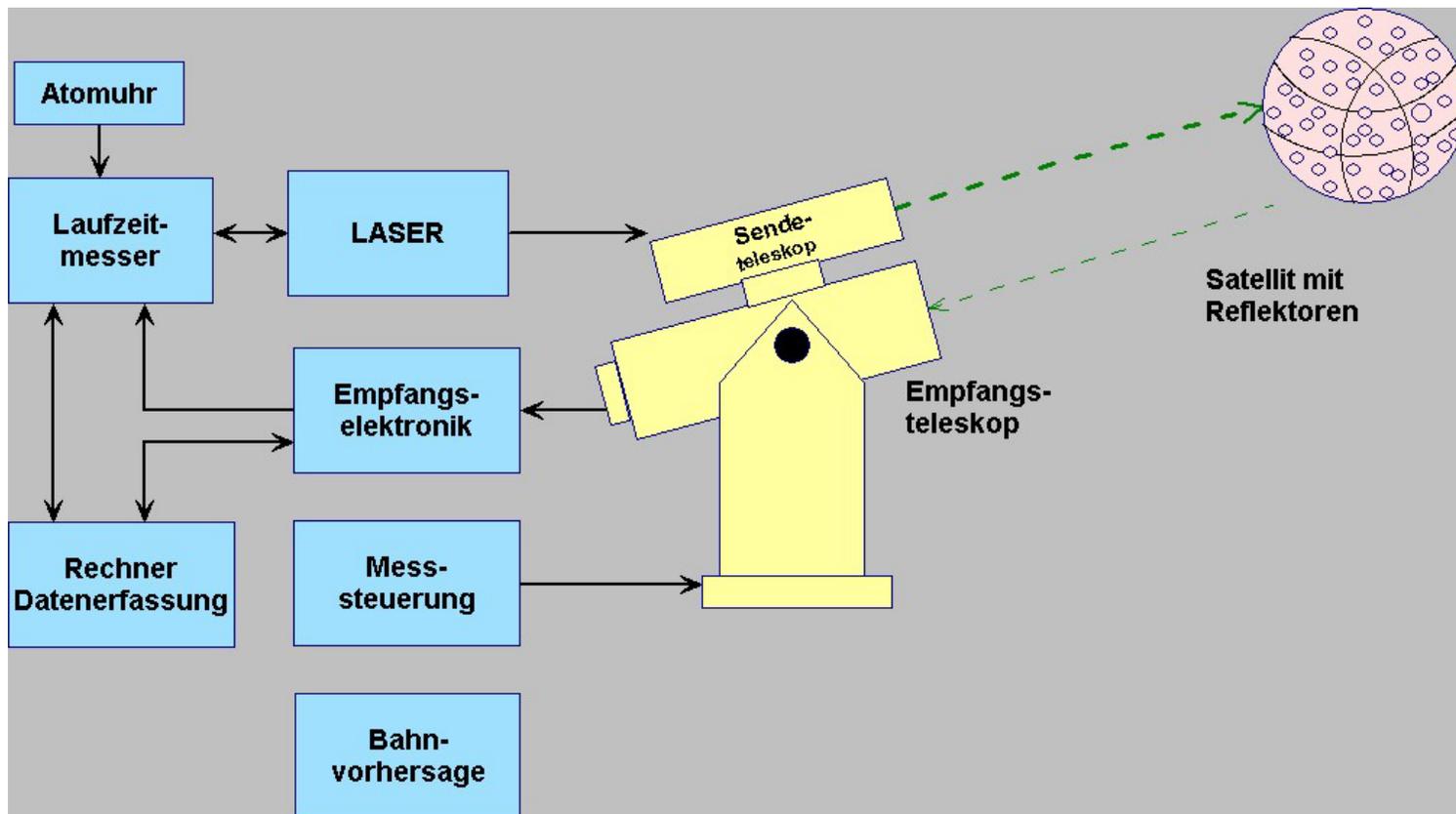
Mobile Systems: FTLRS (France)  
 TROS (China)

Keystone: Kashima  
 Koganei  
 Miura  
 Tateyama

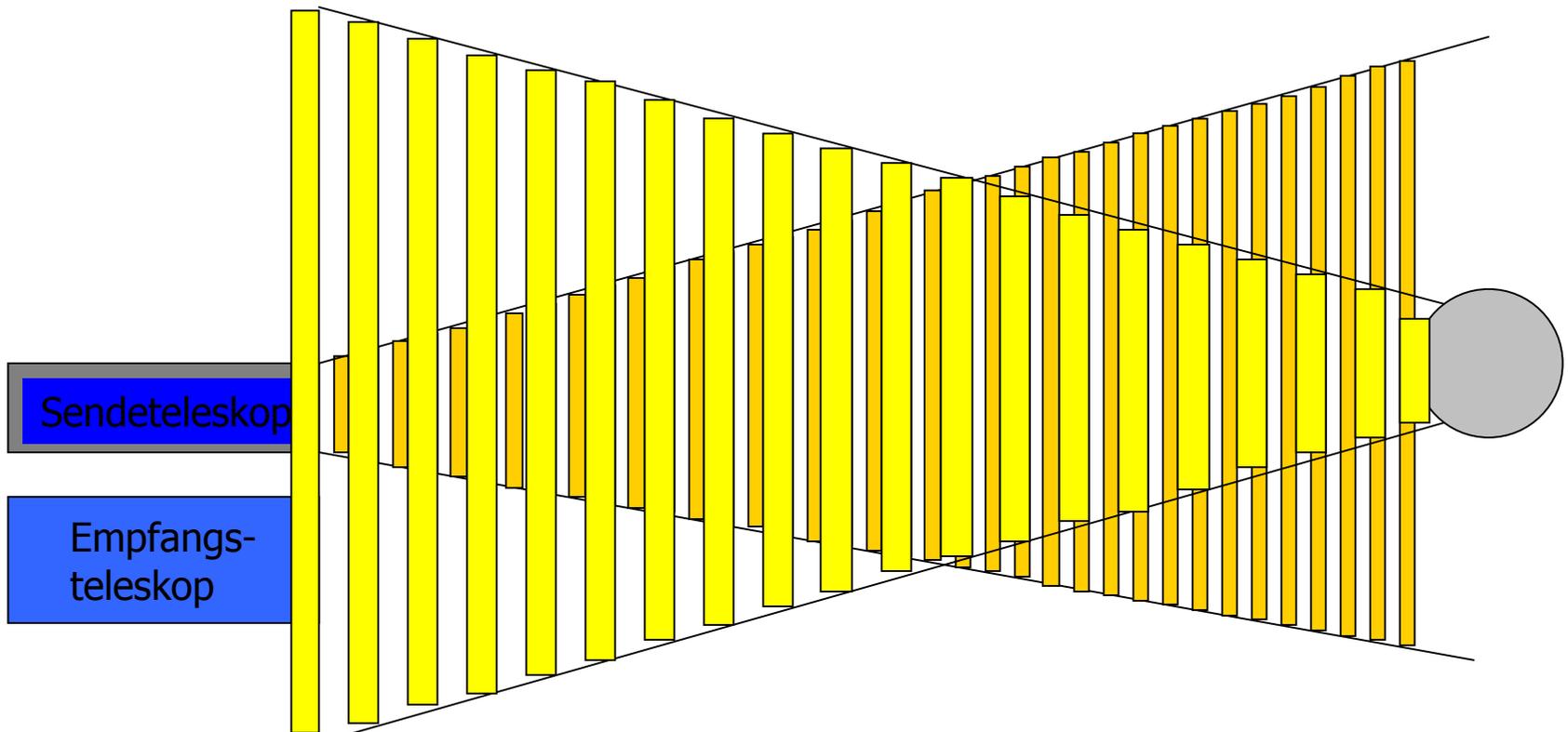
Quelle: <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>

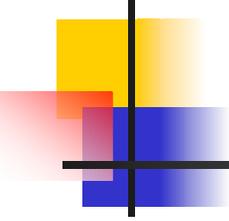
-165° -150° -135° -120° -105° -90° -75° -60° -45° -30° -15° 0° 15° 30° 45° 60° 75° 90° 105° 120° 135° 150° 165°

# Messprinzip



# Messprinzip





# Satelliten

---

- Mehr als 25 Satelliten werden zur Zeit regelmäßig angemessen;
- Zielsetzung:
  - Geodäsie (kugelförmig)
  - Erderkundung (weitere aktive Messgeräte):  
SLR: Bestimmung/Überprüfung der Satellitenbahn

# Geodätischer Satellit LAGEOS

## Laser Geodynamics Satellite

Lageos1: **04 Mai 1976**

*Masse:* 411 kg

*Perigeum:* 5,839 km

*Apogeum:* 5,947 km

*Inklination:* 109.9 Grad

*Durchmesser:* 60 cm

Lageos2: **22 Okt. 1992**

*Masse* 400 kg.

*Perigeum:* 5,616 km

*Apogeum:* 5,952 km

*Inklination:* 52.7 Grad

*Durchmesser:* 60 cm



Quelle: <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>

# Geodätischer Satellit

## STARLETTE

Starlette: **06 Feb. 1976**

*Masse:* 47 kg  
*Perigeum:* 812 km  
*Inklination:* 49.8 Grad  
*Durchmesser:* 24 cm

Stella: **26. Sep. 1993**

*Masse* 48 kg  
*Perigeum:* 800 km  
*Inklination:* 98.6 Grad  
*Durchmesser:* 24 cm



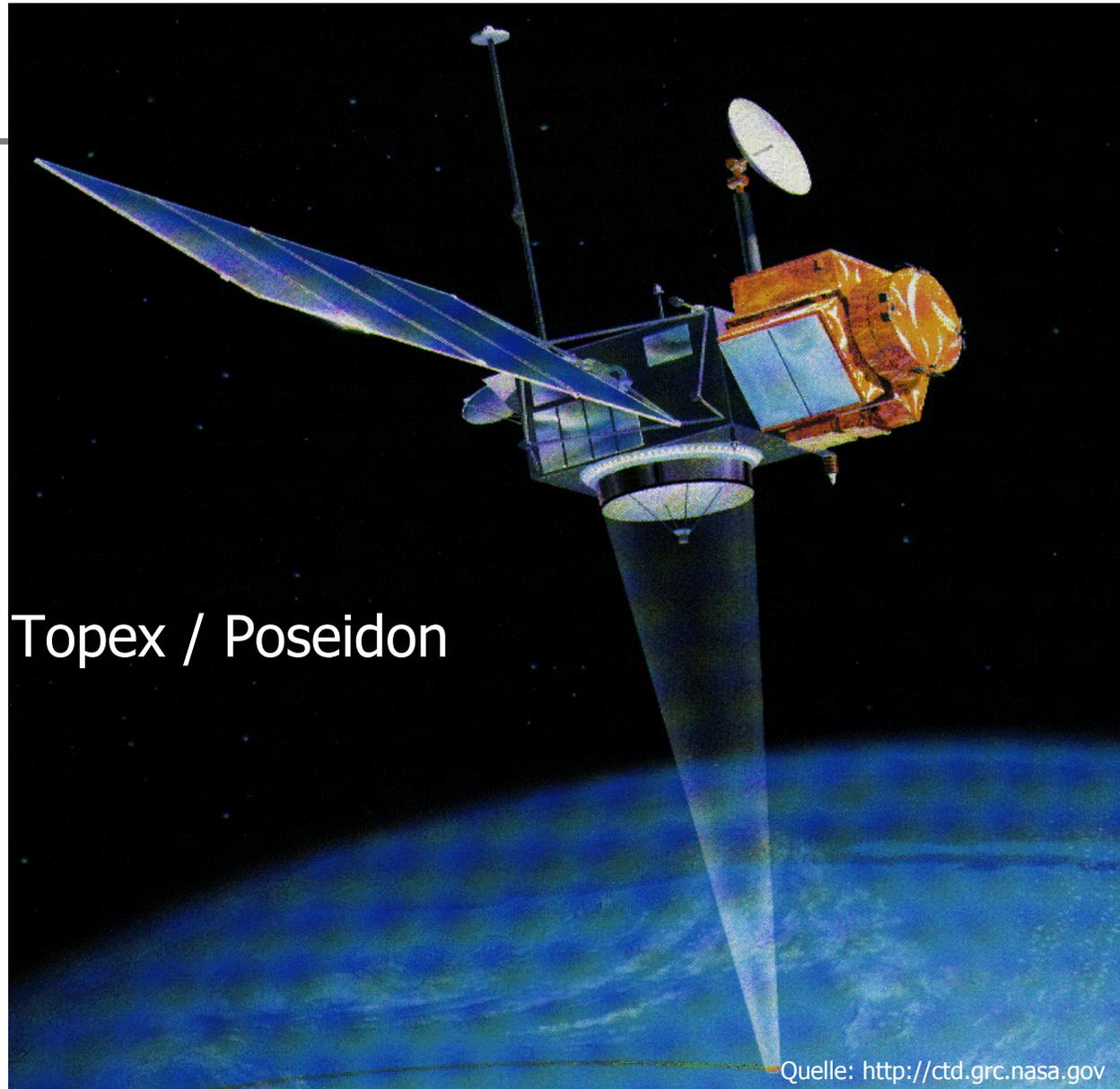
Quelle: <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>

# Satellit TOPEX/Poseidon

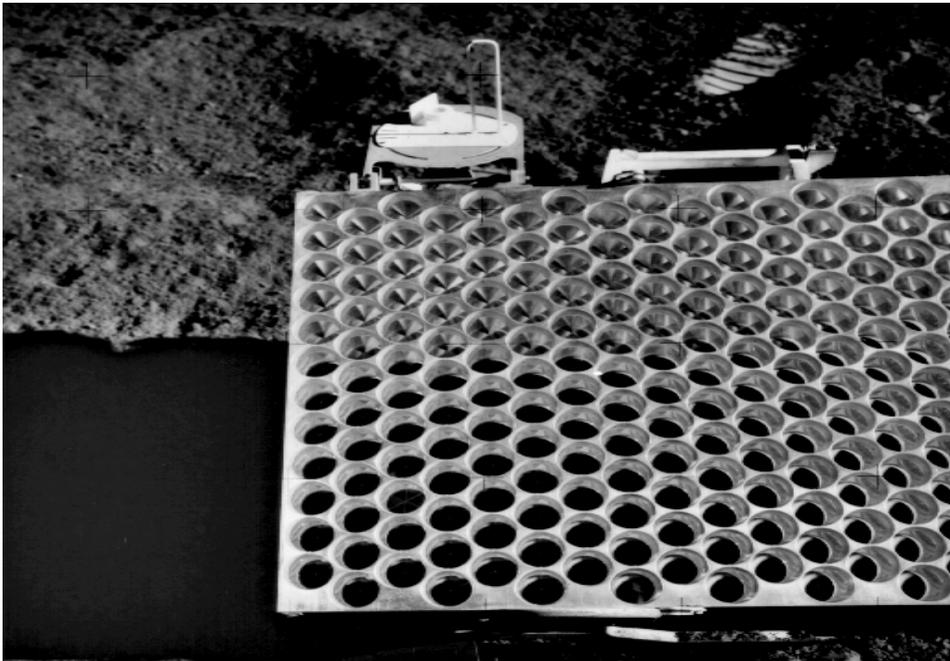
Satellit zur  
Erderkundung:

SLR ist für  
Bahnbestimmung  
verantwortlich

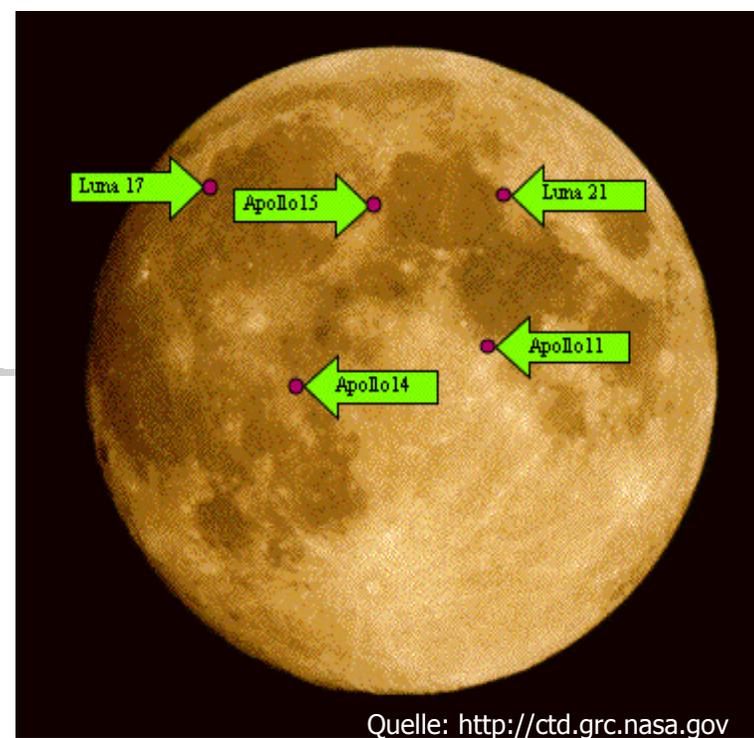
Topex / Poseidon



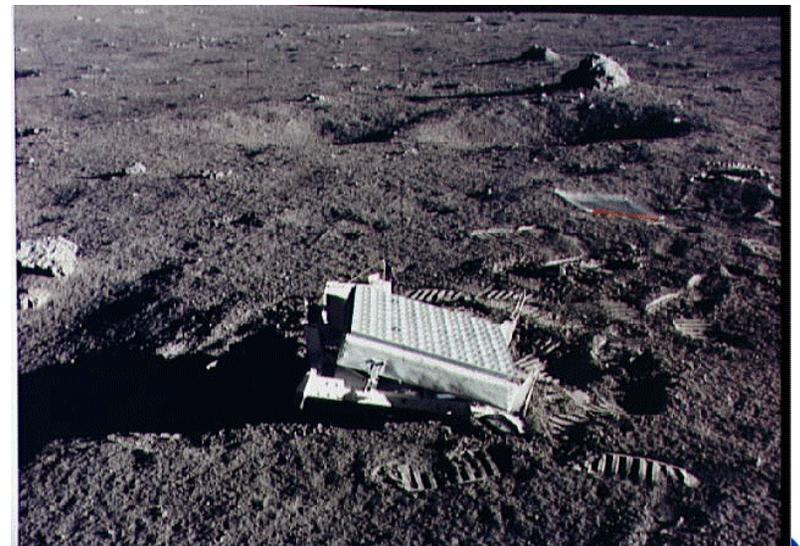
# Reflektoren auf dem Mond



Apollo 15



Quelle: <http://ctd.grc.nasa.gov>



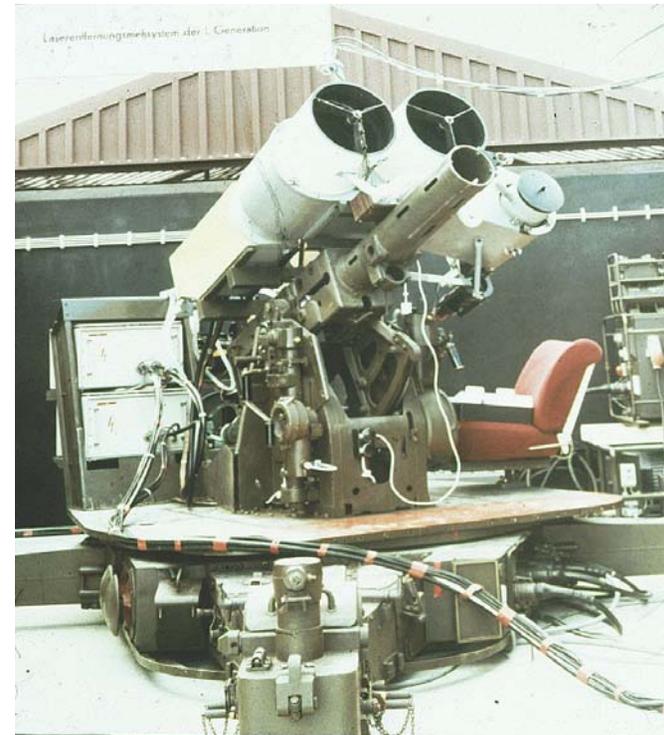
Apollo 14

# Messsysteme der Station Wettzell

1973 - 1976	Flak	System der 1. Generation
1976 - 1991	SRS	System der 3. Generation
1988 - heute	WLRS	System für Tag/Nachtbetrieb und für „Hochziele“
1984 - 1994	MTLRS	Mobiles System
1997 - heute	TIGO-SLR	Transportables System im Rahmen von TIGO
2007 - ...	SOS-W	Vollautomatisches System für Satelliten als Ergänzung von WLRS

# Flak - Eigenschaften

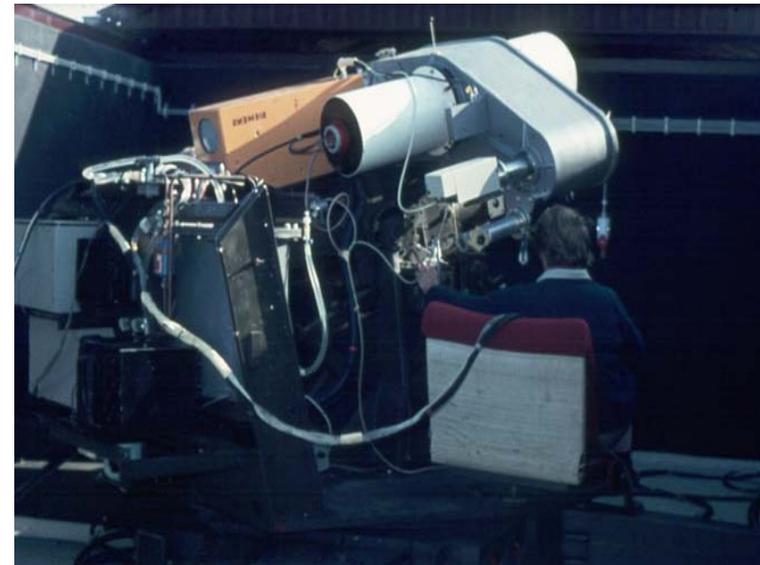
- Lasersystem der 1. Generation:
  - Entwicklung bis zur Laborreife durch „Institut für Flugführung der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt“ (DFVLR) in Braunschweig



# Flak - Eigenschaften

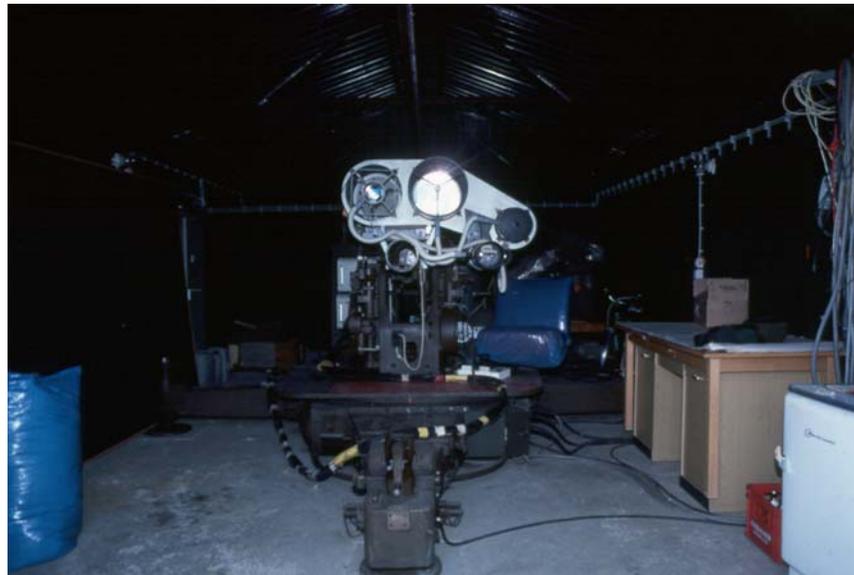
1972: Überführung in den  
Routinebetrieb durch IfAG  
(Seeger, Nottarp, Wilson)

Flak ist der Grund für die  
Gründung der  
Satellitenbeobachtungs-  
station Wettzell



# Flak - Eigenschaften

- Ersten Ergebnisse von Messungen:  
8.4.1973, 3:11 Uhr
- Routinebetrieb: 1975 mit ca. 10 Treffern  
pro Überflug eines Satelliten



# Flak - Erste Treffer

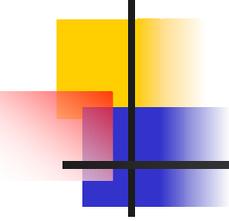


Ich setzte mir zum Ziel  
in das erste „Schlachtfeld“  
die Frankfurter gut einzuweisen  
und die künftigen Paris zu erobern!

Trage die „Erdbeere“ der Welt  
stehen mit Glück dazwischen

geschrieben am deutschwichtigen 08.04.19,  
den Tag der ersten „Schlacht“ der  
Franzosen und heute unvorstellbarerweise  
groß, als um 3.11.17 sieben Jahre  
von jetzt an zurückzuführen.

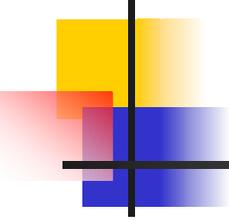
Curry ist gut



# Flak - Eigenschaften

---

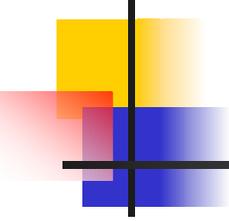
- Eigenschaften:
  - Laserenergie: 7 J
  - Impulsleistung: 240 MW
  - Pulsbreite: 30 ns
  - Impulsfolge: 0,14 Hz
  - Max. Reichweite: 2500 km
  - Messgenauigkeit: 1 - 2 m



# Flak - Messablauf

---

- Benötigt wurden 4 Personen
- Berechnung der Bahn über den Standort als Tabelle:
  - Epoche, Entfernung, Elevations-, Azimutwinkel (EL,AZ)
- Einstellung der Lafette auf den zuvor berechneten AZ, EL zur vollen Minute
- Starte Lasersystem und warte auf Epoche
- Zur vollen Minute wurde Drehstand mit dem Beobachter gestartet
- Der Beobachter suchte Satellit in der Leiteinrichtung
- Korrigiere Zielrichtung durch manuelles Drehen an Kurbeln bis Satellit im Fadenkreuz
- Abgehender Laserpuls startet Stoppuhr
- Bei Treffer wird die Laufzeit ausgelesen und zusammen mit der Epoche des Echos auf einem Drucker ausgegeben
- Stelle Lafette auf neue Position für AZ und EL



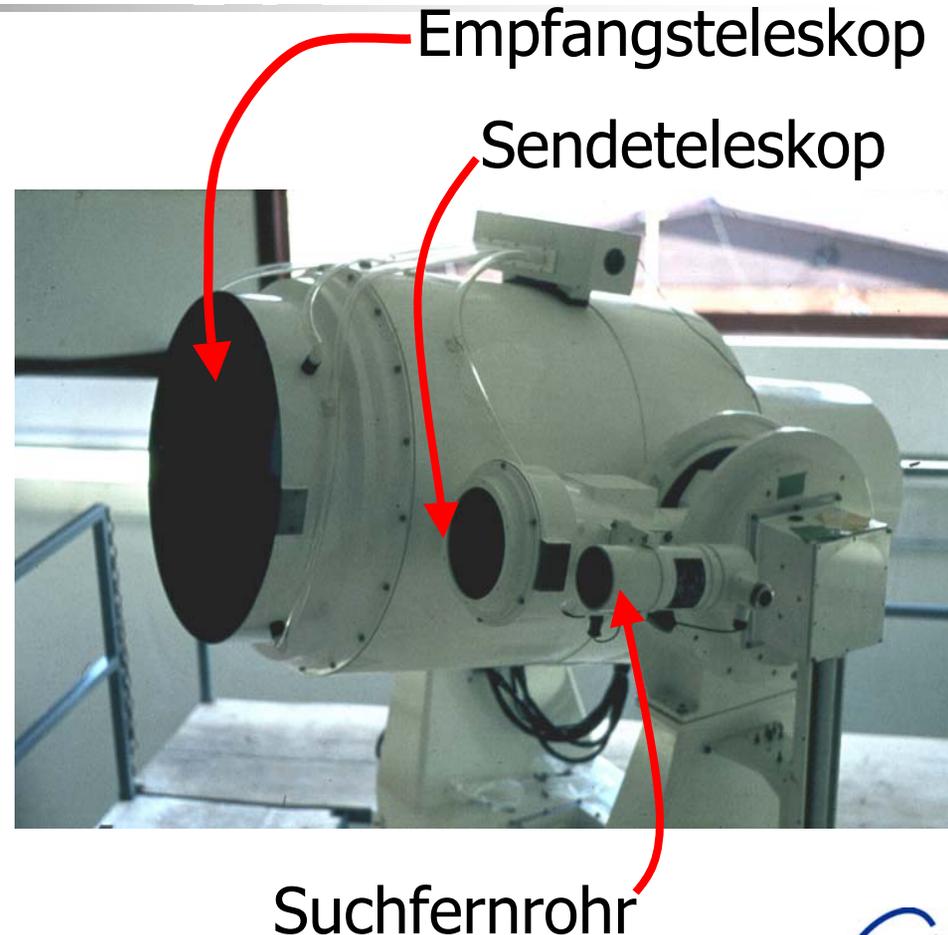
# SRS - Satellite Ranging System

---

- Ziele:
  - Steigerung der Messgenauigkeit zur Untersuchung geodynamischer Vorgänge
  - Erhöhung der Reichweite
  - Automatische Nachführung
  - Automatisierung des Beobachtungsablaufes und der Datenaufzeichnung
  - Messbetrieb auch am Tag (Wunsch!)
- Hersteller: GTE-Sylvania (3 Systeme weltweit)

# SRS – Satellite Ranging System

- Lasersystem der III. Generation: Nd-YAG mit 532 nm)
- Laserenergie: 0,25 J
- Laserleistung:  $1,25 * 10^9$  W
- Pulsbreite: 200 ps
- Impulsfolge: 4 Hz
- Max. Reichweite: 20000 km
- Computergestützter Betrieb
- Messgenauigkeit: 5cm
- Anzahl der Treffer pro Pass: >1000



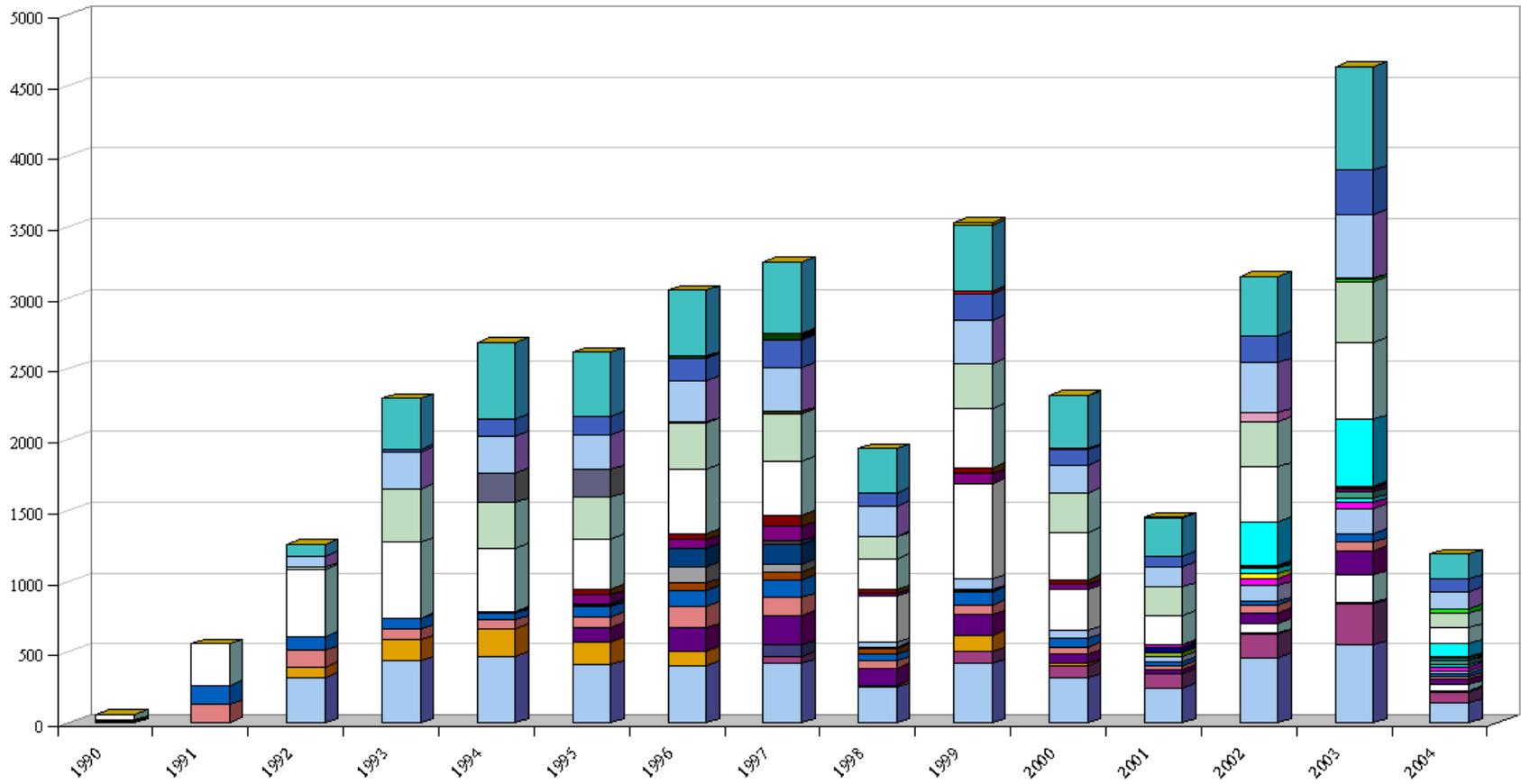
# WLRS

- Entfernungsmessung zum Mond und zu hochfliegenden Satelliten: GPS, ETALON
- Tag- und Nachtbetrieb
- Laserenergie: 180 mJ
- Pulsbreite: 100 ps
- Laserpulsrate 10 Hz
- Max. Reichweite: 400.000 km
- Messungen in zwei Wellenlängen: 1024 und 532 nm
- Messgenauigkeit: 5mm
- Ein- und Mehrphotonenbetrieb
- Hersteller: Carl Zeiss, EOS



# WLRS: Anzahl der Messungen

Anzahl der WLRS-Messungen: 1990 - 2004

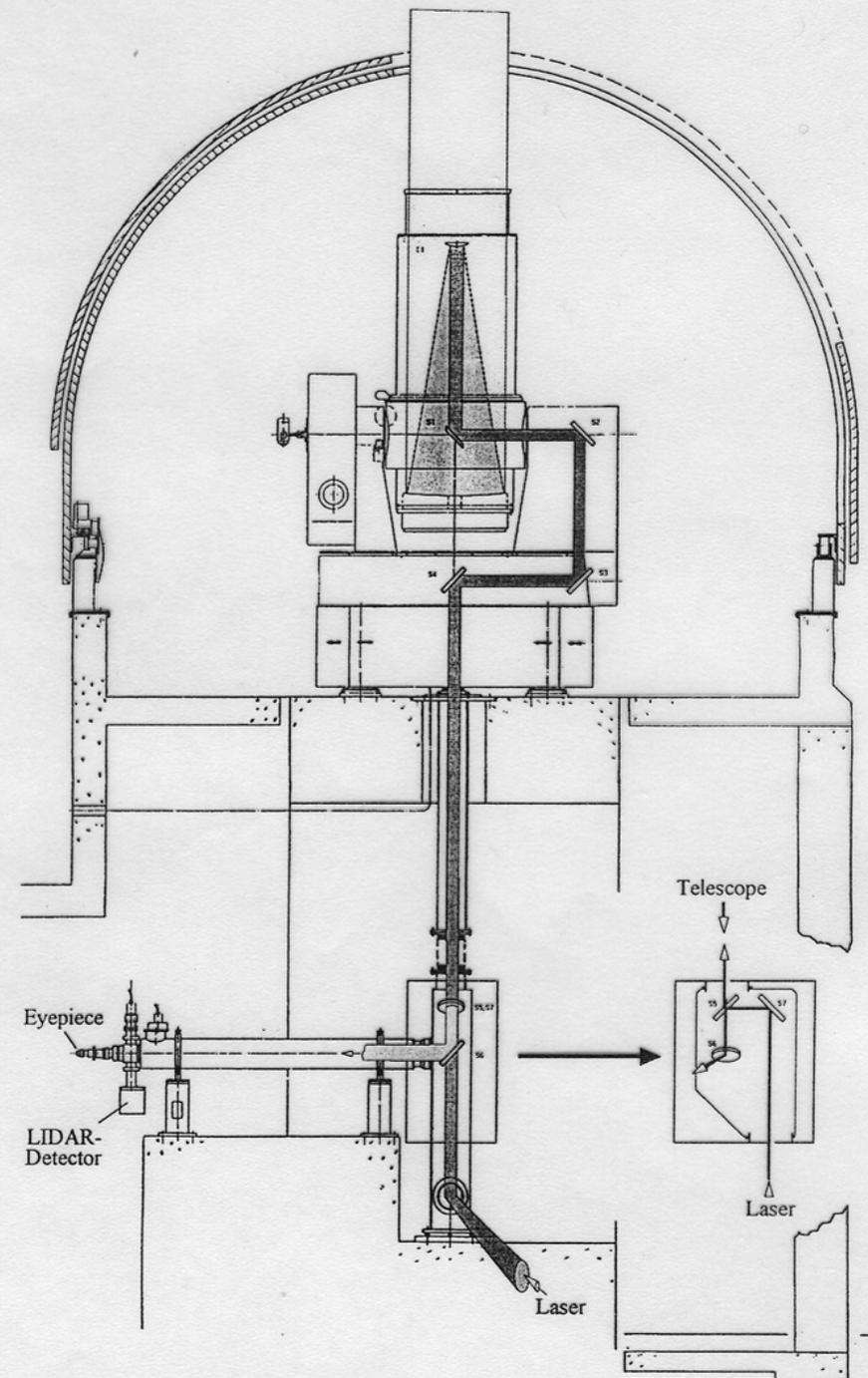


Note : 1998 - 2000 sind in "Glonass(Summe)" alle Glonass-Messungen zusammengefasst!!!



# WLRS

- Prinzipskizze des Strahlengangs des WLRS Teleskops: 1 Teleskop zum Senden und zum Empfangen



# WLRS

**Track5v2.vi**

File Bearbeiten Ausführen Projekt Fenster Hilfe

**Pet4 Control**

Table  Init.  Status 3 Radar

Ranging  ON LASER  GO

Teleskopzeit setzen

Time left: 9.65

Start: Start2  
Stop1: APD  
Stop2:  
Stop3:

%-Returns: 9 # Returns: 349 On Target:  Satellit: Etalon2

**Pet4 Gate Info**

Gate-Width [ns]: 600  
Timebias Soll: 0  
Timebias [ms]: 0

Multiplier: 1.000  
Offset [ns]: 0  
Timebias [ms]: 0

**Pet4 Epoch Info**

Year: 2004 Day: 113  
Hour: 8 Minute: 2 Second: 44.72  
P-Pet: Range: 0.129814120234

Display Channel: 1  
1 = MCP / APD  
2 = PMT1  
3 = PMT2

Auto-window: 7

Status: Ranging

Mittelwert [ns]: 44.004 # Bins: 50 Streuung [ns]: 0.0611

Anzahl Shots: 1272 %-Cals: 5

**Eurolas Status**

Graz	2004-04-22 07:51:31	Calibrate	LST	10000			
Zimmerwald	2004-04-22 08:02:24	Etalon2	CUR	313	HON112	-0.161	
Wettzell	2004-04-22 08:02:32	Etalon2	CUR	336	HON112	0.000	
Herstmonceux	2004-04-22 08:01:52	Calibrate	CUR	0		0.000	
Yarragadee	2004-04-22 08:03:36	Calibrate	CUR	175			

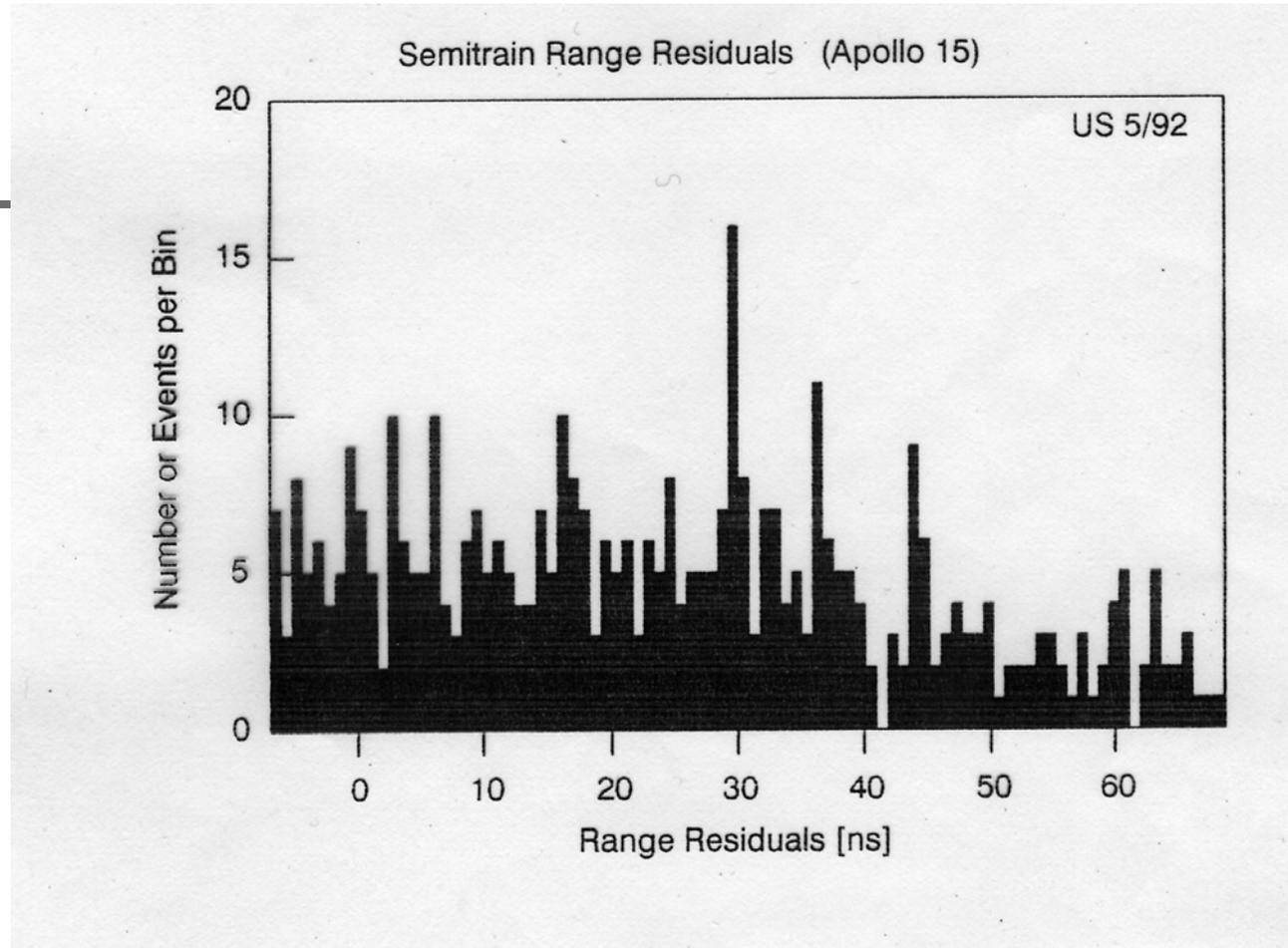
Step: 3 Cross: 19

- Along Along +

Zero Along

on target telescope:  Clear

Start LabVIEW schedulerschleife1.vi Track5v2.vi 08:02



- Mondmessungen: Ergebnisse von Wettzell

# MTLRS

- Mobile Transportable Laser Ranging System
- Einsatz:
  - Plattentektonik im Mittelmeerraum (WEGENER MEDLAS)
  - Kollokation anderer LASER Stationen (USA, Südafrika, Lettland, Ukraine)
- Beschaffung und Betrieb durch IfAG im Rahmen des SFB78
- Finanzierung durch BMFT



# MTLRS

- 2 identische Systeme +
- TLRS
- Eigenschaften:
  - Pulsbreite: 200 ps
  - Impulsfolge: 10 Hz
  - Max. Reichweite: 20.000 km
  - Messgenauigkeit: 1cm



# TIGO-SLR

- TIGO - Transportable Integrated Geodetic Observatory
- Ziel: Verbesserung der globalen Referenzsysteme
- Aufbau: 1993 - 1997
- Betrieb seit 2001 in Concepcion (Chile) in Kooperation mit UdeC u.a.
- Beinhaltet ein SLR Modul



# TIGO-SLR

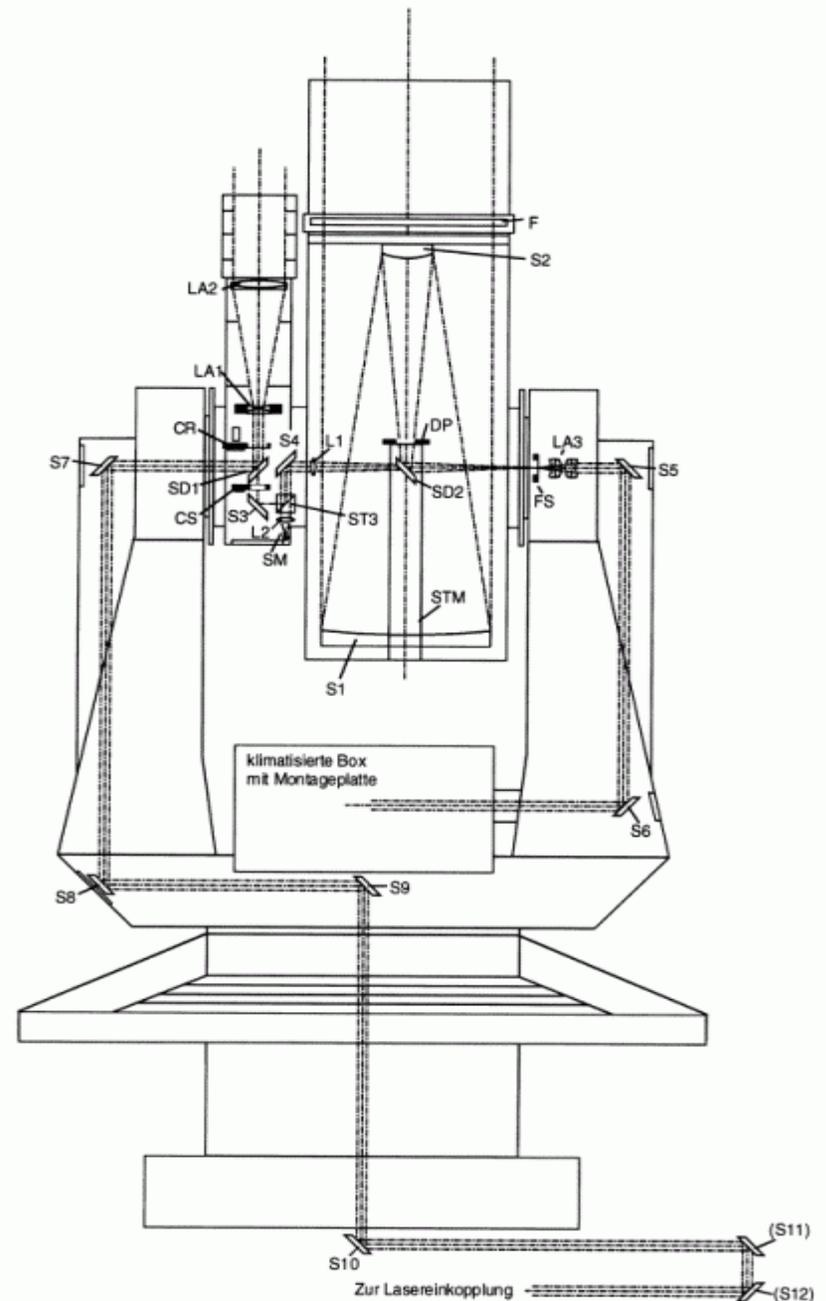
- Besonderheiten:
  - Titan-Saphir Laser
  - Paralleles Messen mit 2 Wellenlängen:
    - 423nm, 847nm
  - Pulsbreite: 80ps
  - Pulsenergie: 30mJ
  - Pulsrate: 10 Hz
  - Single Photon System
  - Hohe Genauigkeit:  $\sim 2\text{mm}$



# SOS – Satellite Observing System

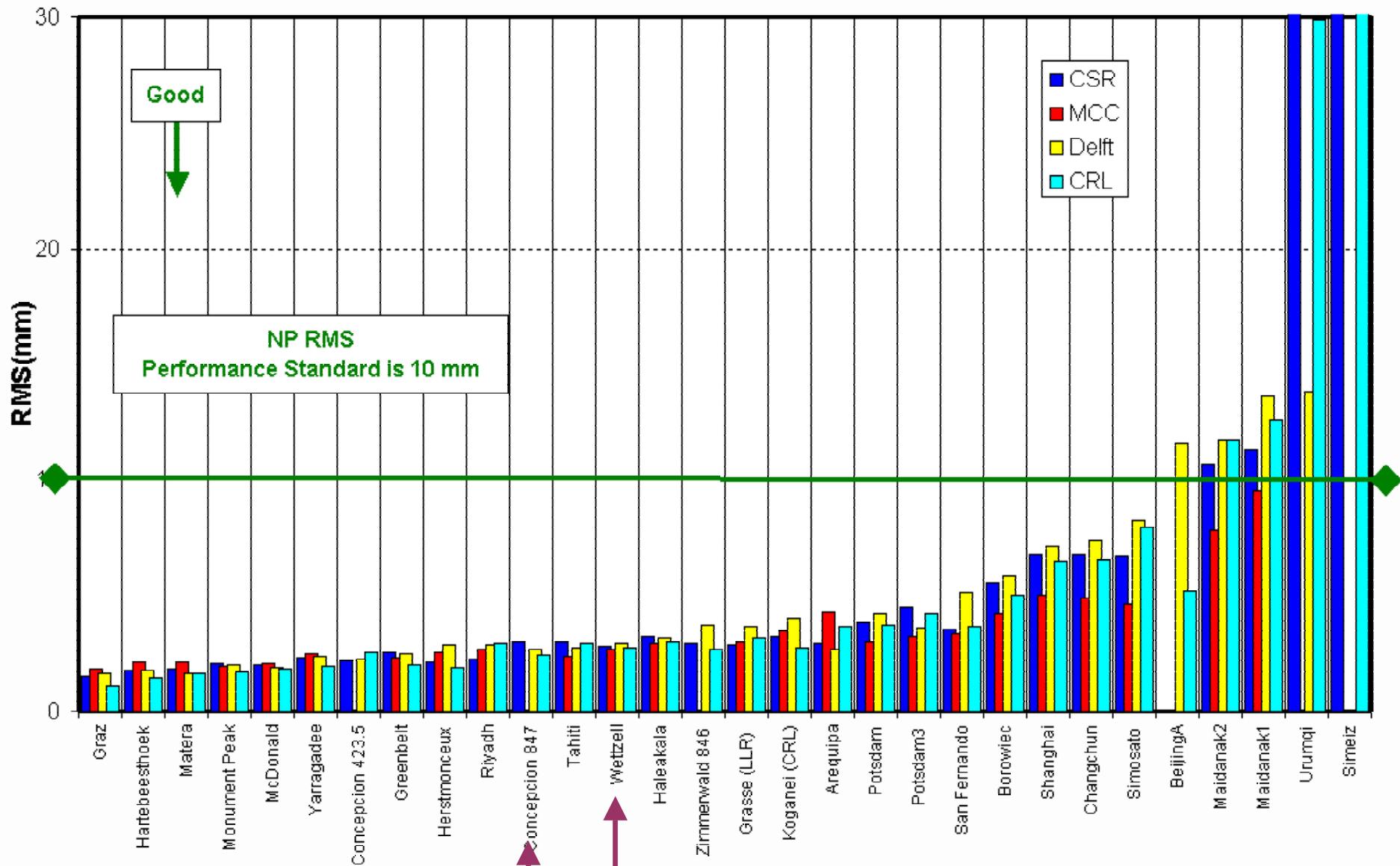
## ■ Planung:

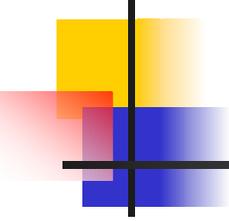
- Hohe Pulsrate: 1000 Hz
- Synchrones Beobachten in zwei Wellenlängen
- Niedrigere Pulsenergie
- Vollautomatischer Betrieb
- Konzentration auf Satelliten bis zur Entfernung von 20.000 km



# Internationaler Vergleich

NP RMS (2003 4th Quarter)





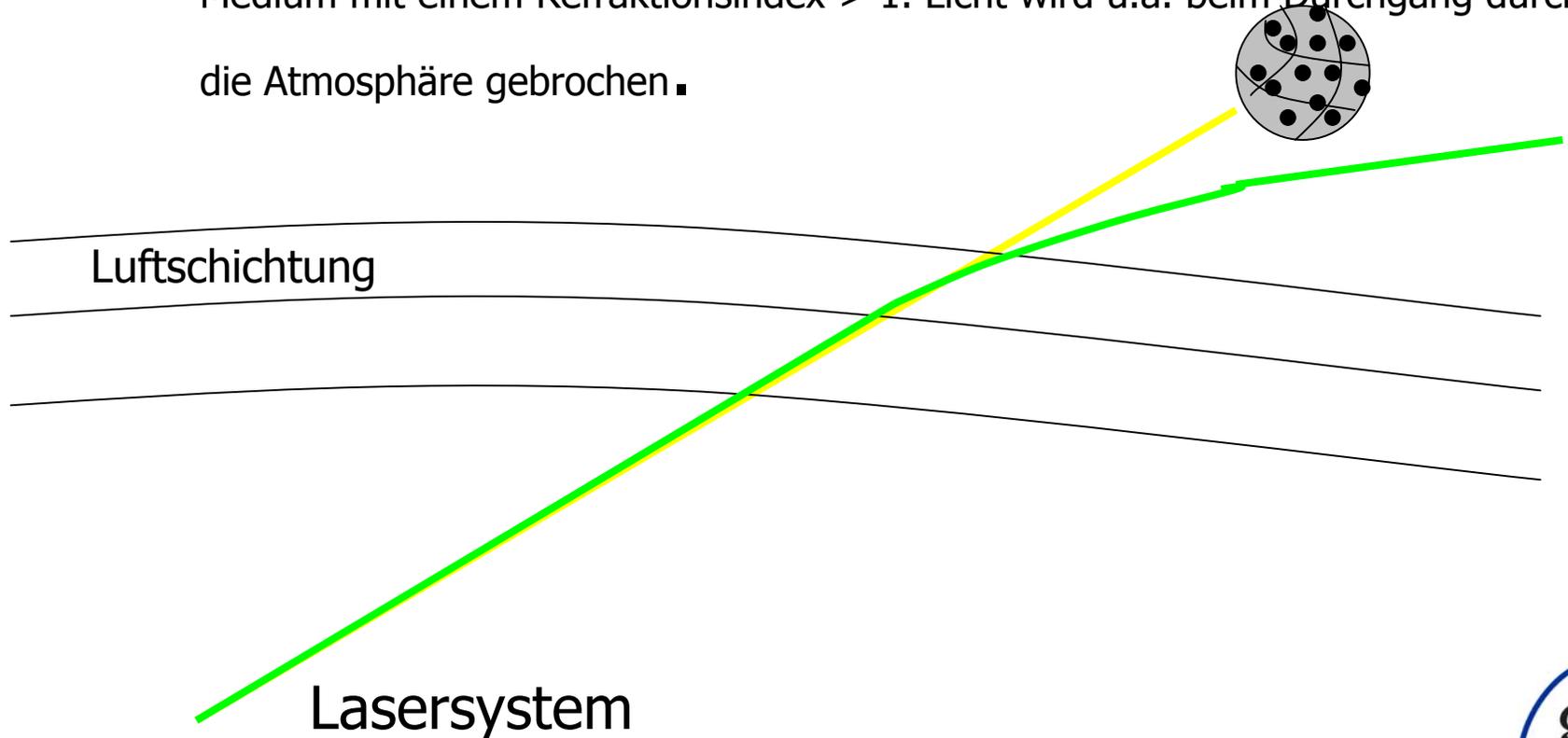
# Messprinzip - Problemfelder

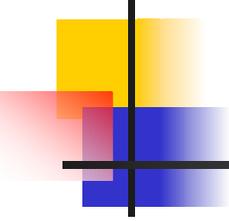
---

- Signalausbreitung:
  - Refraktion,
  - Veränderung der Pulsform
- → Genauigkeit der Zeitauflösung
- → Detektion der Echos: Echorate, Empfindlichkeit
- Wetterabhängigkeit (Wolken, Fluktuation der Luftschichtung)

# Problem: Signalausbreitung

- **Refraktion:** Ablenkung elektromagnetischer Strahlung durch ein Medium mit einem Refraktionsindex  $> 1$ . Licht wird u.a. beim Durchgang durch die Atmosphäre gebrochen.





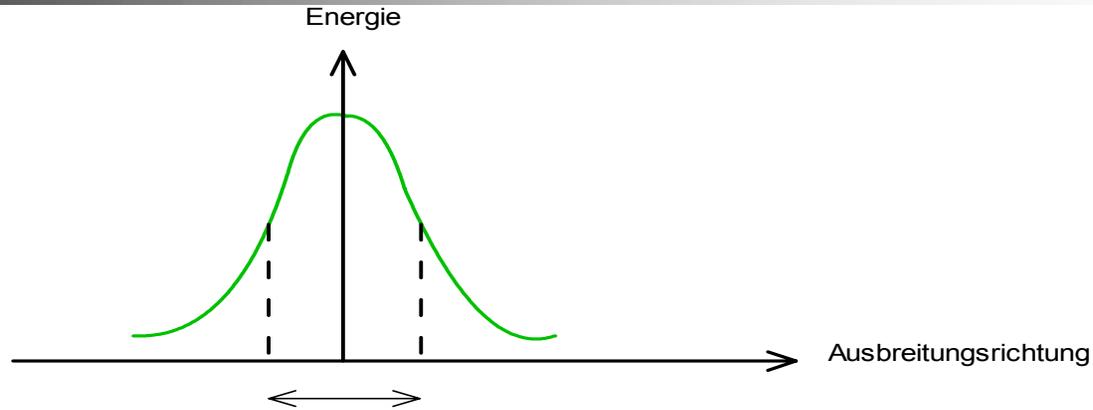
# Refraktion

- Einfluss der Atmosphäre

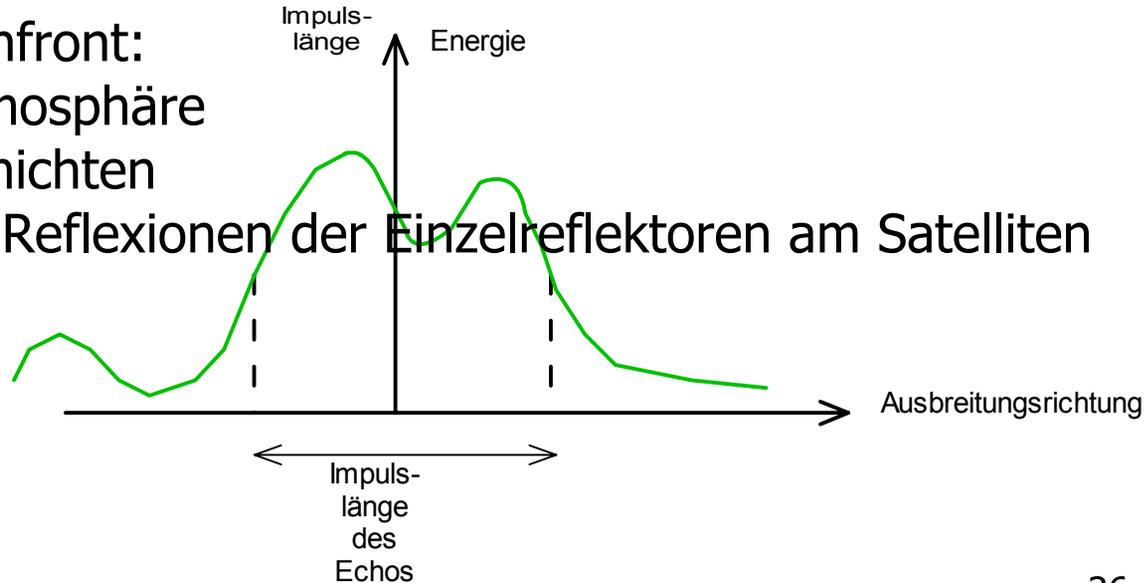
(Ort Wetzell, T:10<sup>0</sup> Celsius, Feuchtigkeit: 77%,  
Luftdruck: 953 hPa, Wellenlänge: 532 nm)

Elevation	Entfernungs- korrektur[m]	Elevationskorrektur [Bogensekunden]
10	12,8	306 (=5,1')
30	4,6	94 (=1,57')
60	2,7	32 (=0,53')
90	2,3	0

# Problem: Veränderung der Pulsform

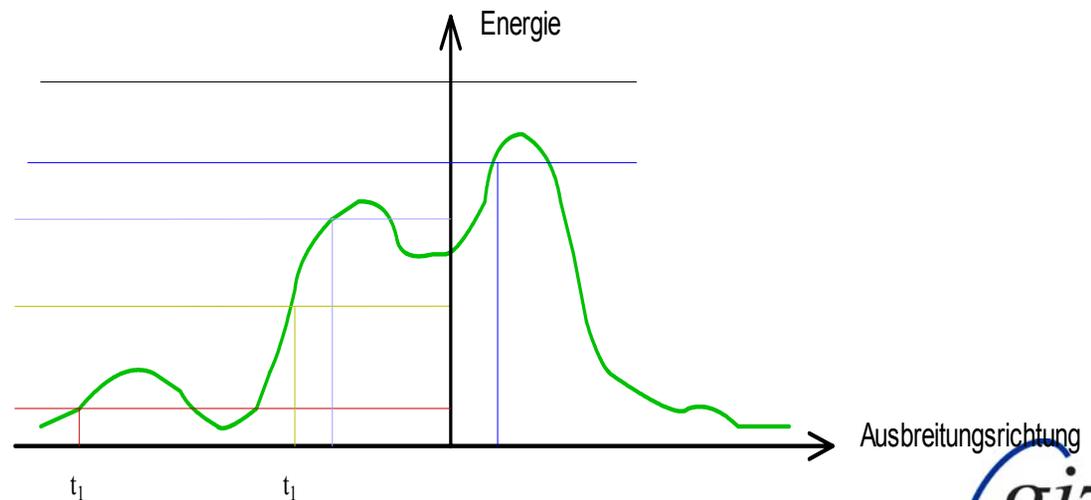
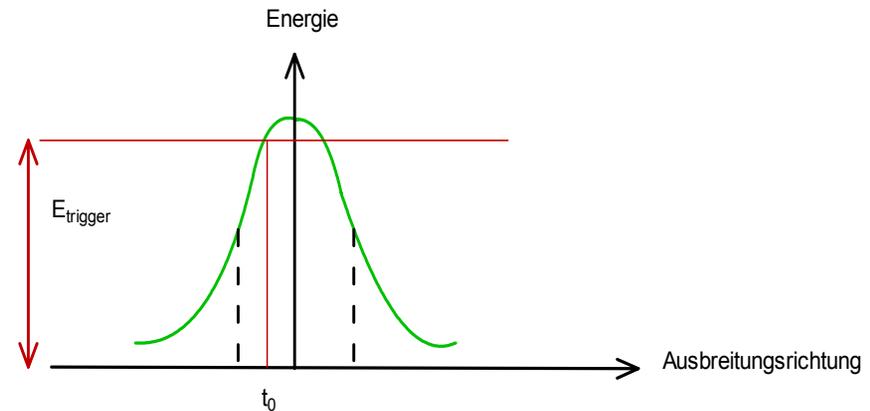


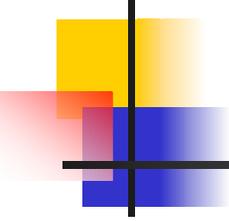
„Verbeulte“ Wellenfront:  
Refraktion der Atmosphäre  
Turbulente Luftschichten  
Überlagerung der Reflexionen der Einzelreflektoren am Satelliten



# Problem: Genauigkeit der Zeitauflösung

- Problem: Exakte Zuordnung des ausgehenden und des ankommenden Laserimpulses zu einer Uhrzeit





# Problem: Detektion der Echos

---

- Bilanz:

Anzahl der Photonen pro Laserschuss:  $\sim 10^{18}$

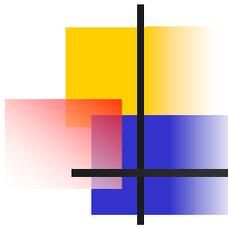
Anzahl der Echos: 1 – 500

- Detektion:

- Räumlicher Öffnungswinkel im Brennpunkt des Empfangsteleskops durch IRIS Blende (bis 5 microrad)
- Filterung auf Wellenlänge des Lichtes (z.B. 532 nm) durch einen Interferenzfilter
- Detektion durch Photomultiplier  
(**Photomultiplier** sind spezielle Elektronenröhren um schwache Lichtsignale (bis hin zu einzelnen Photonen) zu verstärken.)

# Von der Flak zum SOS





Von der Flak zum SOS

---

**Vielen Dank**

**für**

**Ihre Aufmerksamkeit**