*Antrittsvorlesung* *3 Dezember 1997*

# Aktuelle Messungen der Gravitationskonstante

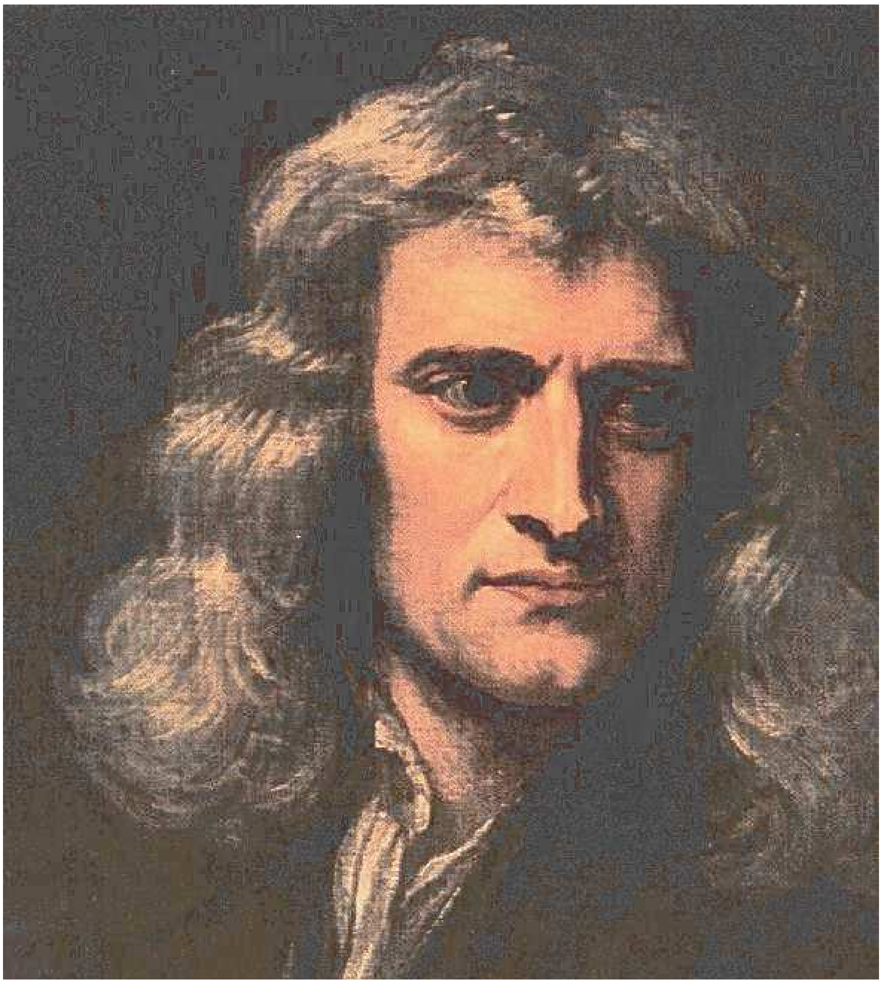
- Historischer Überblick
- Physikalische Zusammenhänge
- Experimentelle Methodik
- Aktueller Stand der Experimente
- Die nahe Zukunft

*J. A. Crittenden*

*Physikalisches Institut*
*Universität Bonn*

# Das Gravitationsgesetz

# von Isaac Newton (1643-1727)



$$F = G\,\frac{m\,M}{r^2}$$

# Das Äquivalenzprinzip

Newtonsche Gesetze:

$$F = m_T\, a$$

$$F = m_S\, \frac{G\, M}{r^2}$$

$$m_T\, a = m_S\, \frac{G\, M}{r^2}$$

Experimentell bestätigt mit Genauigkeit
$10^{-11}$
(Galilei, Eötvös, Dicke)

# Gravitationskraft auf der Erdoberfläche

$$F_{\oplus} = m \boxed{\frac{G\, M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}}$$

$$= m \boxed{g_{\oplus}}$$

## Erdbeschleunigung

$$g_{\oplus} = 9,8\, \frac{m}{s^2}$$

# Fundamentale Naturkräfte

- Gravitation

- Die elektromagnetische Kraft

  Atombindung, ...

- Die "starke" Kraft

  Kernbindung, ...

- Die "schwache" Kraft

  Radioaktivität, ...

# Besonderheiten der Gravitationskraft

- Nur anziehend

➥ Abschirmung prinzipiell ausgeschlossen !!

- Geringe Stärke

# Physikalische Zusammenhänge (1)

Cohen und Taylor (CODATA)

*Fundamental Constants* Rev. Mod. Phys. 59, (1987)

"Es gibt KEINE etablierte Beziehung zwischen der Gravitationskonstanten und anderen Naturgrößen. Gegenwärtig kann die Messung von G keinen Einfluß auf unseren Kenntnisstand von irgendeiner der anderen Naturkonstanten haben."

$$G = 6.67259\,(85) \times 10^{-11} \frac{m^3}{s^2\,kg}$$

$$\frac{\Delta G}{G} = 127 \times 10^{-6} = \boxed{127 \text{ ppm}}$$

# Physikalische Zusammenhänge (2)

Präzisionsmessungen von $G \cdot M$
durch astronomische Bahnbestimmungen

## Erde:

$$G \cdot M_\oplus \;=\; 3.986004415\,(8) \times 10^{14}\, \frac{m^3}{s^2} \qquad (0.002\ \text{ppm})$$

## Sonne:

$$G \cdot M_\odot \;=\; 1.32712438\,(1) \times 10^{20}\, \frac{m^3}{s^2} \qquad (0.08\ \text{ppm})$$

# Physikalische Zusammenhänge (3)

Beispiele von theoretischen Ansätzen

$$\mathrm{L_P} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$$ Planck-Länge

($5 \times 10^{-35}$ m)

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi} \frac{H_0^2}{G}$$ Kritische Dichte

$$R_s = G \frac{2M_\odot}{c^2}$$ Schwarzschild-Radius der Sonne

$$L \propto G^7$$ Sternluminosität

# Experimentelle Methoden

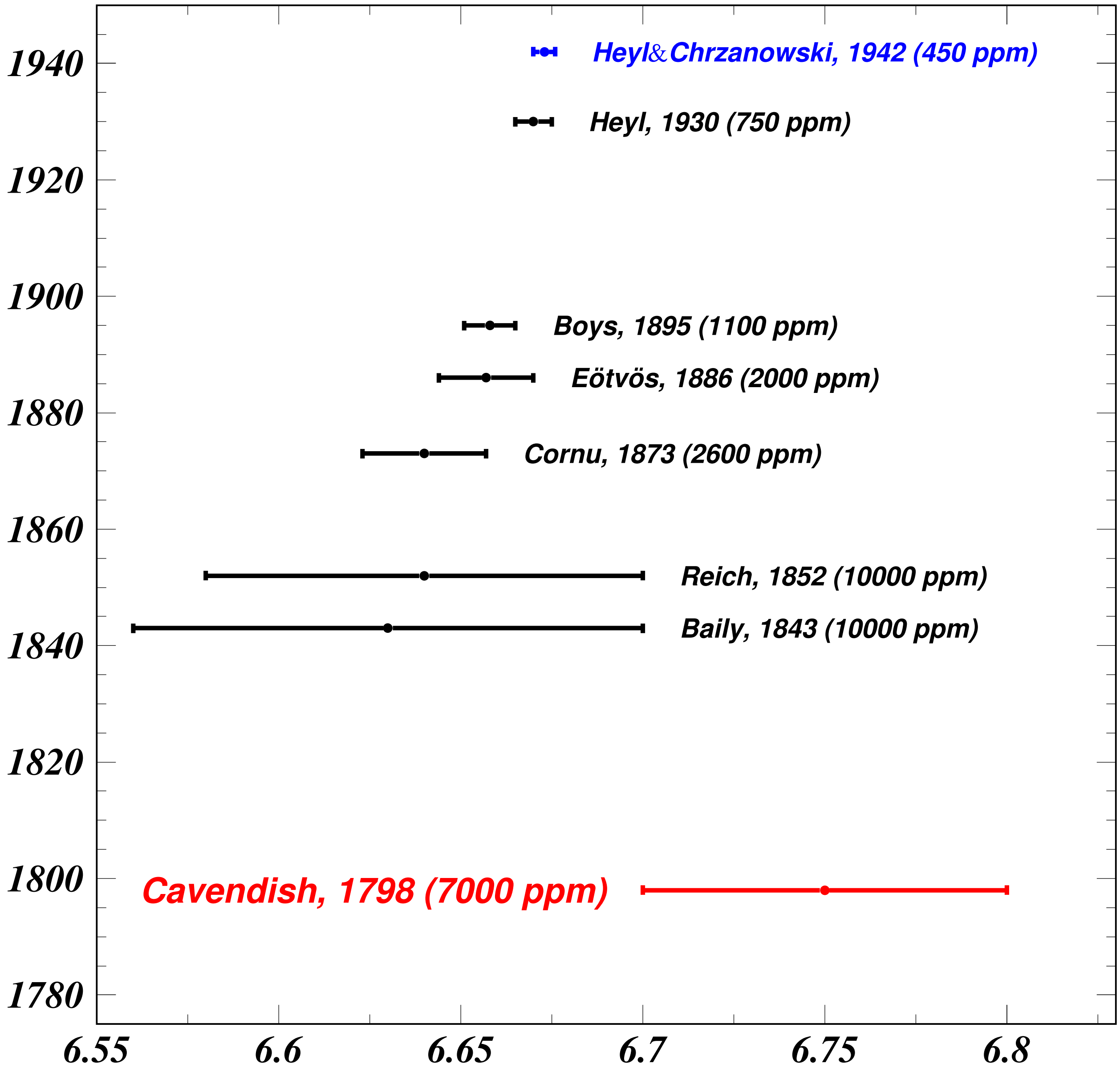
- Drehwaagen
  - Statisch
    (Auslenkung)
  - Dynamisch
    (Schwingungsdauer)
- Balkenwaagen
  $\frac{\Delta G}{G} > 10000$ ppm
  (Keine Messungen seit 1900)
- Geophysikalische Messungen
  $\frac{\Delta G}{G} > 1000$ ppm

# Messungen mit Drehwaagen

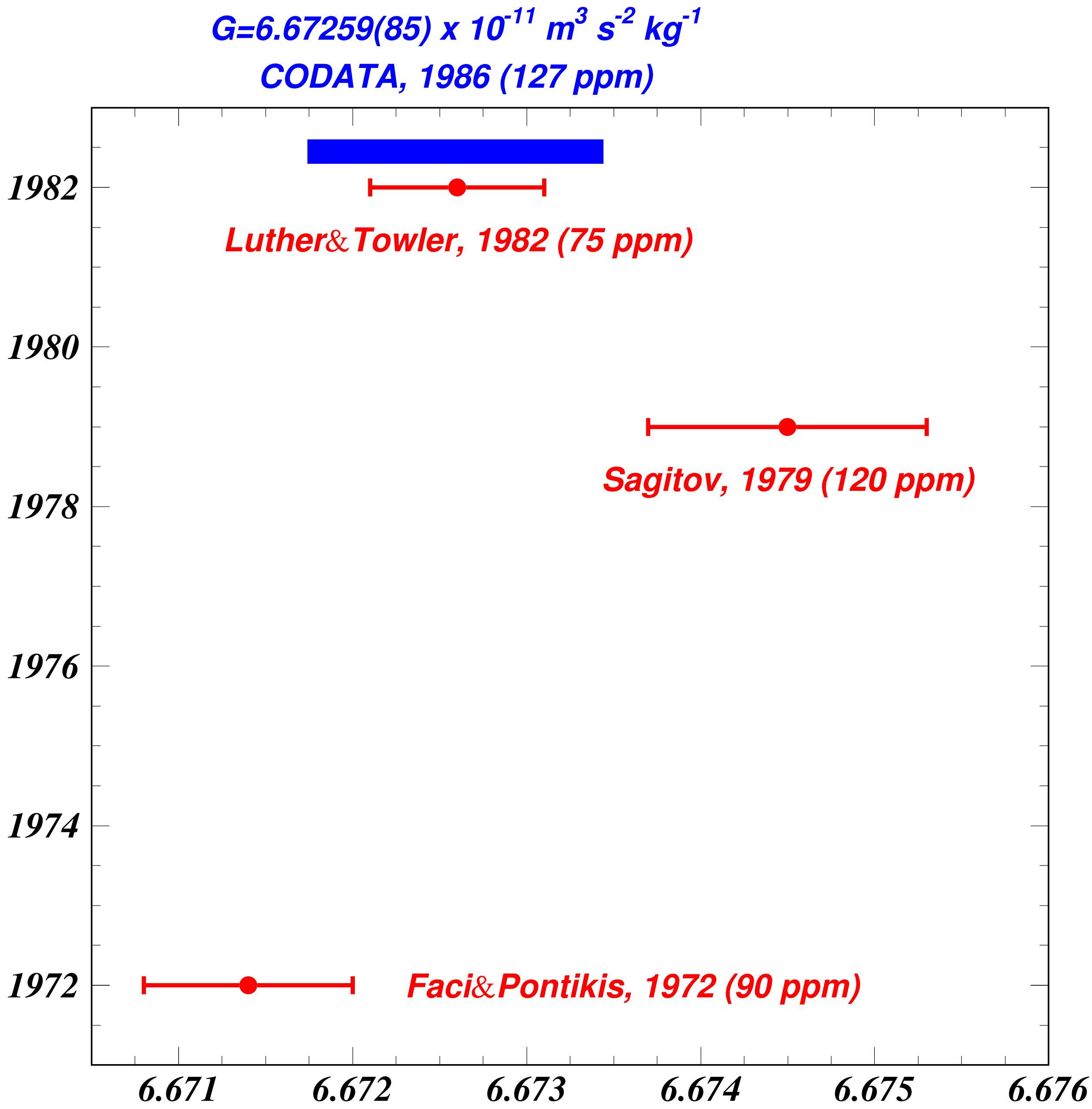
# 1798 – 1942

$G = 6.672(4) \times 10^{-11}\ m^3\ s^{-2}\ kg^{-1}$

CODATA, 1973 (600 ppm)

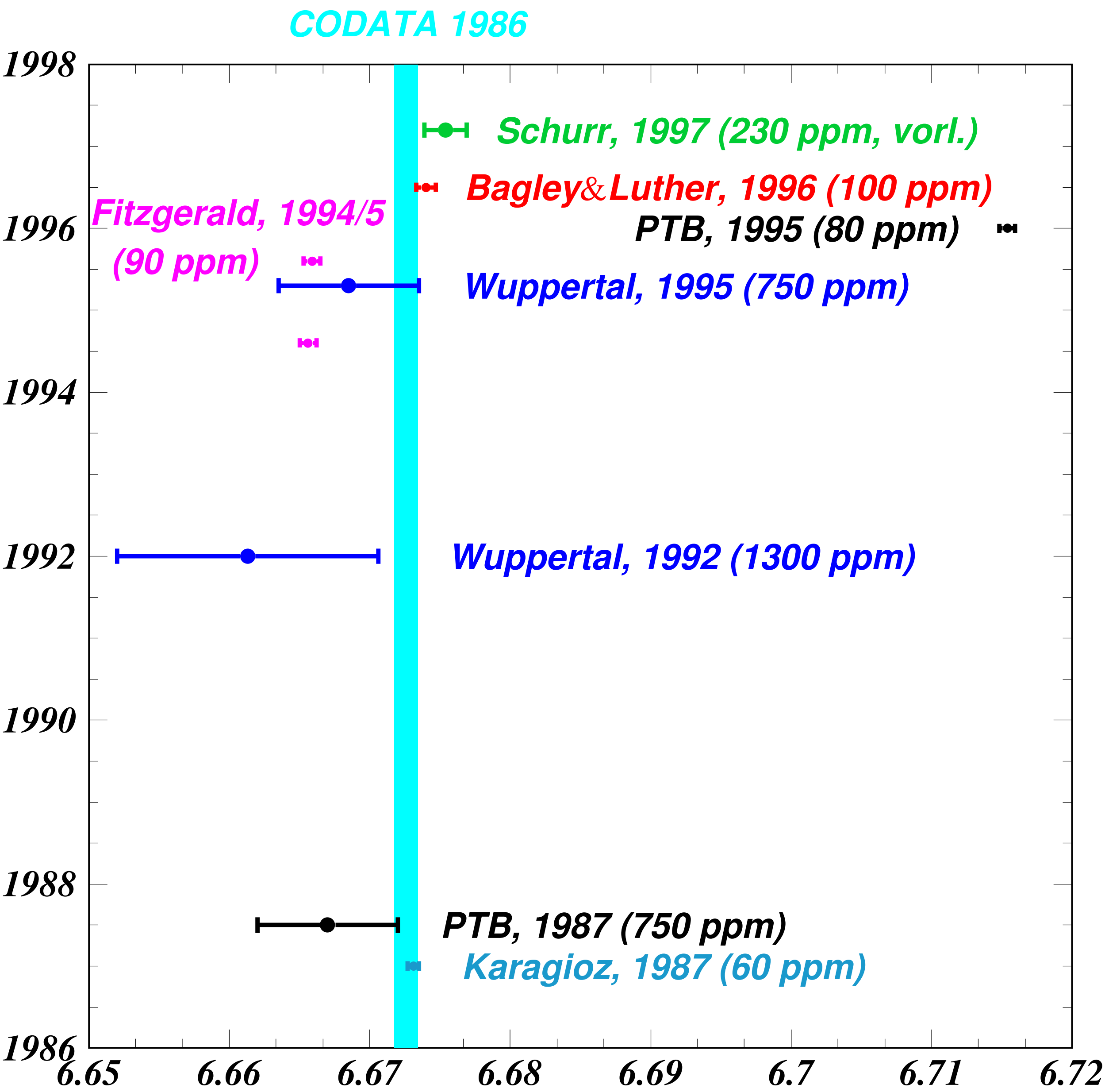


# Der aktuelle CODATA-Wert



# Präzisionsmessungen

# seit 1986



# Nichtlineare Korrekturen in Torsionswaagenexperimenten unberücksichtigt ?

K.Kuroda (Phys. Rev. Lett. 75 (1995)):
Frequenzabhängigkeit der Torsionskonstante
in dünnen Drähten gemessen!

↪ Überschätzen alle Messungen
mit dynamischen Torsionswaagen
die Gravitationskonstante ?

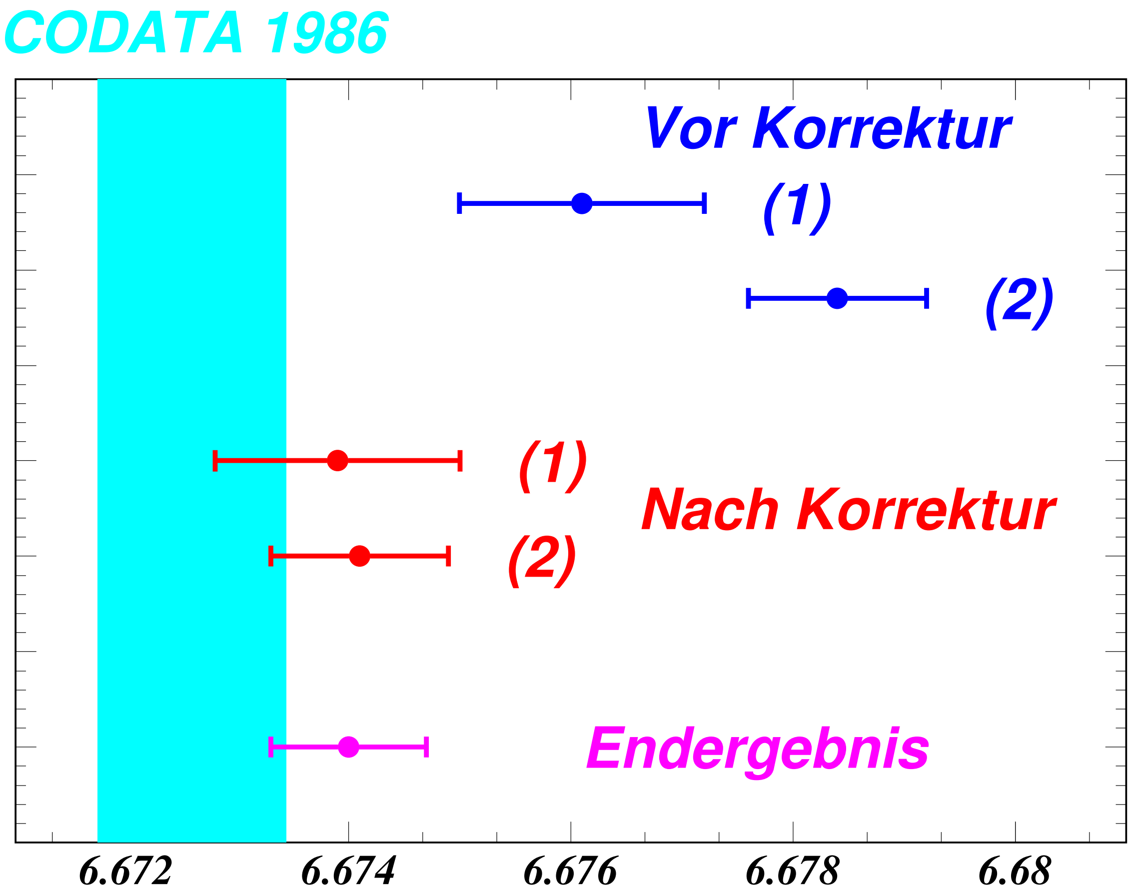
# Bagley & Luther

Dynamische Methode mit Torsionswaage im Vakuum

Schwingungsdauer von 210 s verändert um 3 s

durch Gravitationswirkung der Feldmassen

Zwei Drähte: 12 $\mu$m Wolfram mit/ohne Goldschicht



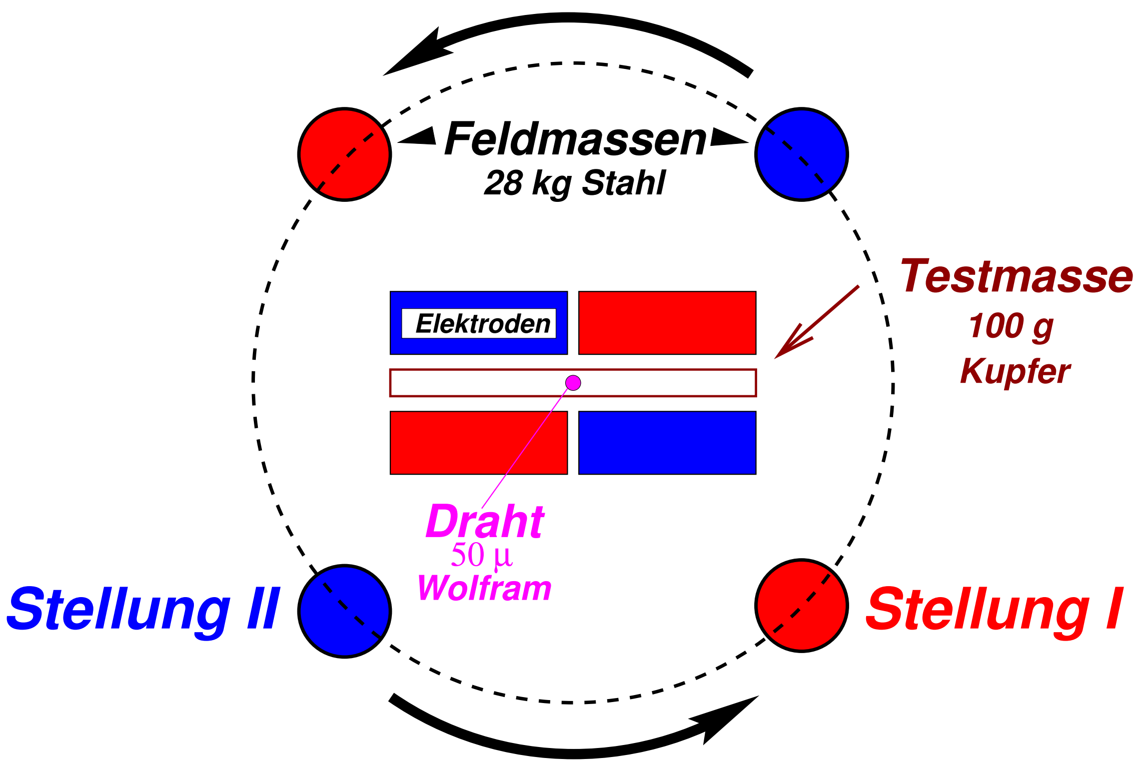

➡ Effekt bestätigt!

# Fitzgerald & Armstrong

New Zealand Institute of Industrial Research

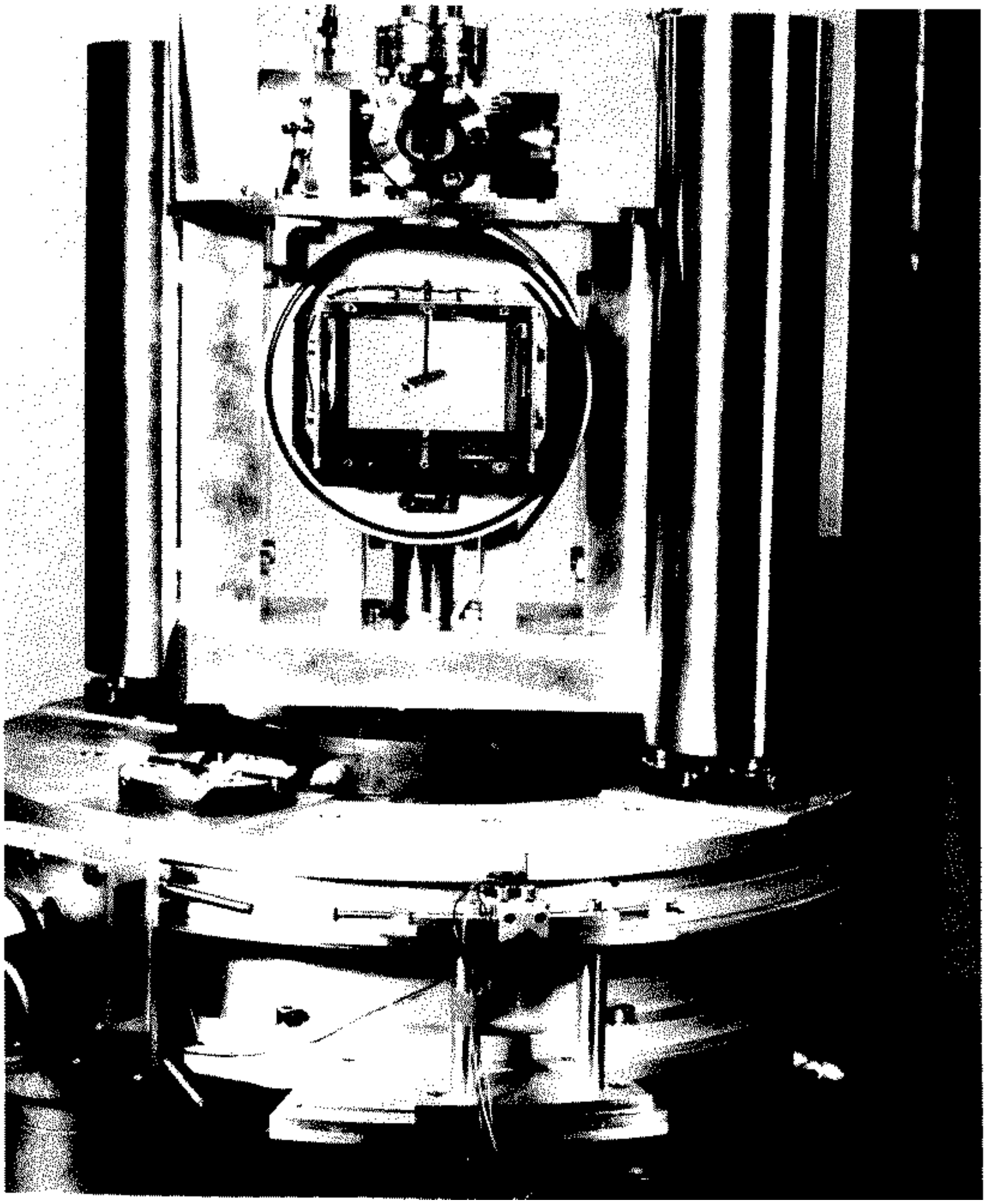
## Statische Torsionswaagenmessung

Auslenkung elektrostatisch kompensiert




**Abweichung noch unverstanden !**

# Fitzgerald & Armstrong

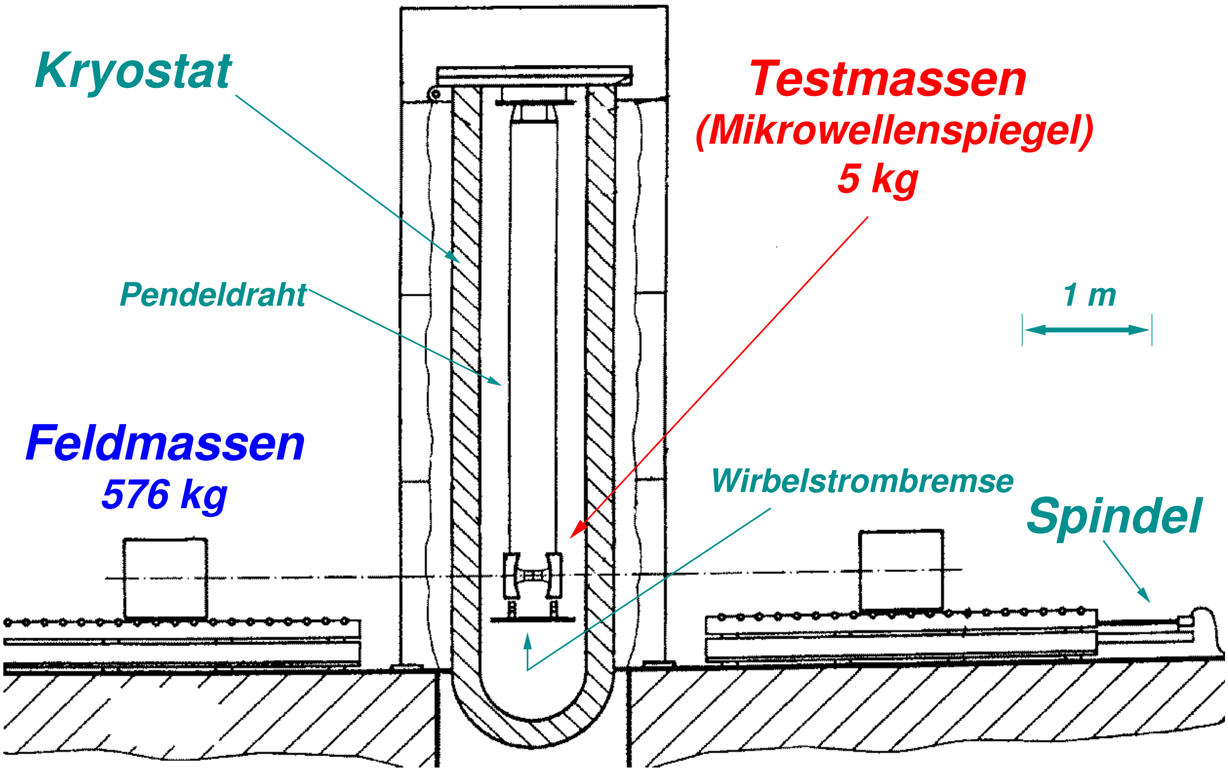


# Meyer et al. (1)

Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal

## Statische Auslenkung eines Doppelpendels

Fabry-Pérot Mikrowellenresonator



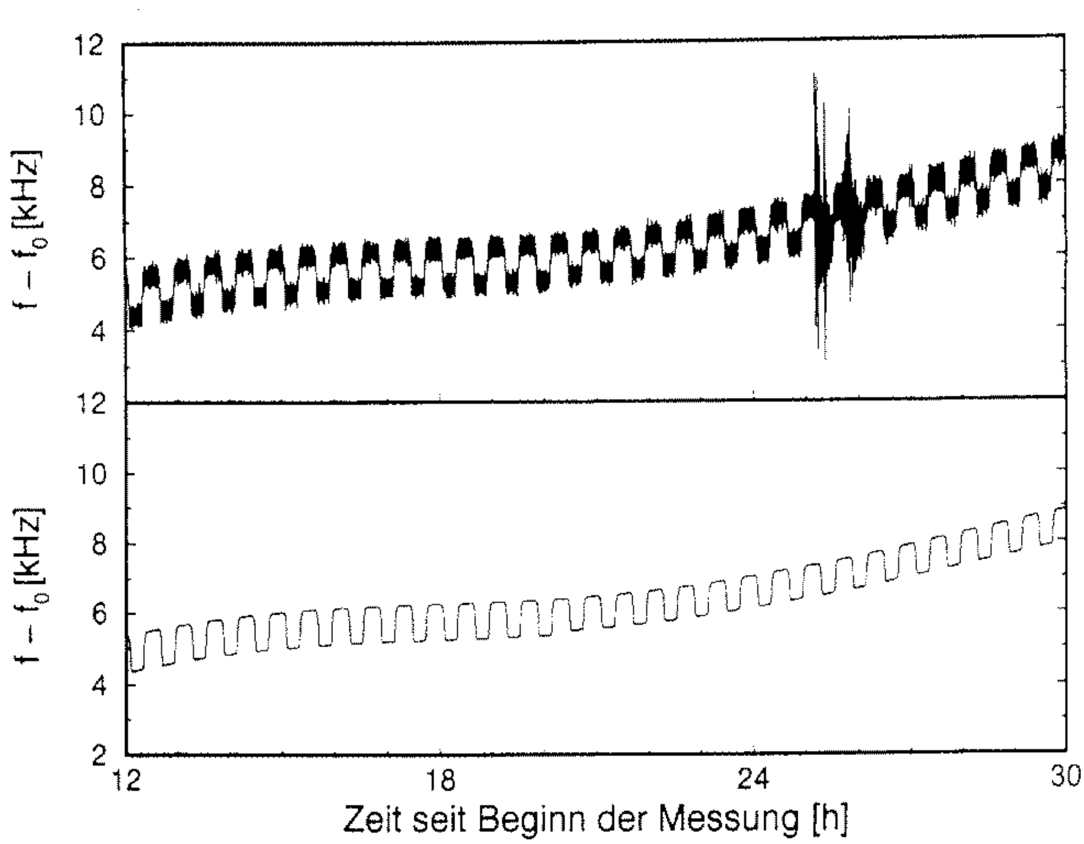
# Meyer et al. (2)

Genauigkeit der Spiegelabstandsmessung

$$1\ \mathrm{pm} = 10^{-12}\ \mathrm{m}$$

Abstandsänderung durch Feldmassen: 20 000 pm

Hohe Empfindlichkeit auf seismische Aktivität




Aktuelle Genauigkeit auf 750 ppm begrenzt.
Genauere Messungen in 1998 zu erwarten.

# Neue Experimente

- Physik-Institut der Universität Zürich (Schurr et al.)

  Präzisionswaage, Quecksilber-Feldmassen

- Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres (Quinn et al.)

  Dynamische Torsionswaage

- Univ. Cal. Irvine (Newman et al.)

  Dynamische Torsionswaage bei 2K

- Univ. Washington, Seattle (Gundlach et al.)

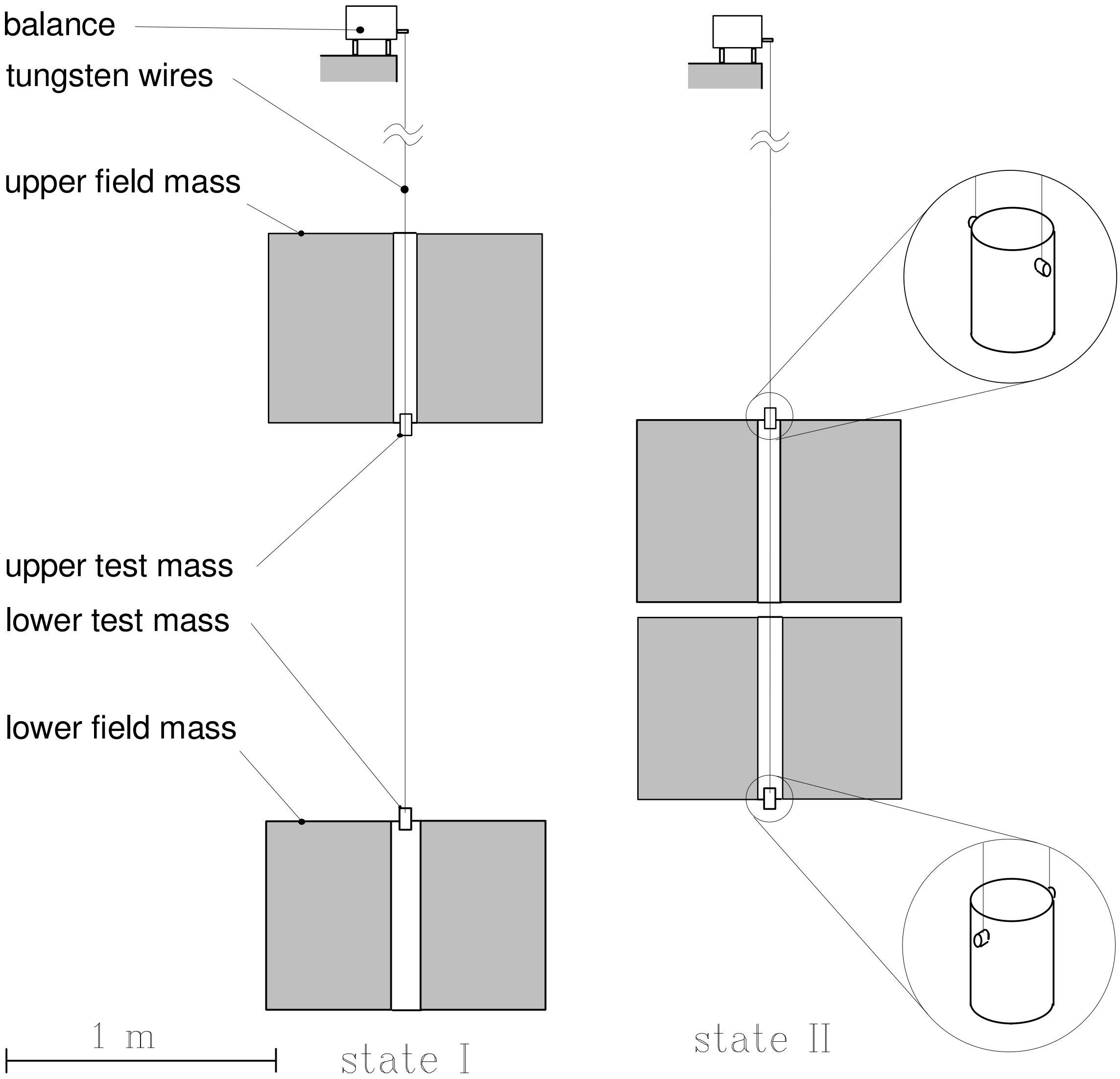
  Kompensierte dynamische Torsionswaage

- Taiwan (Ni, et al.)

  Optischer Fabry-Pérot-Resonator

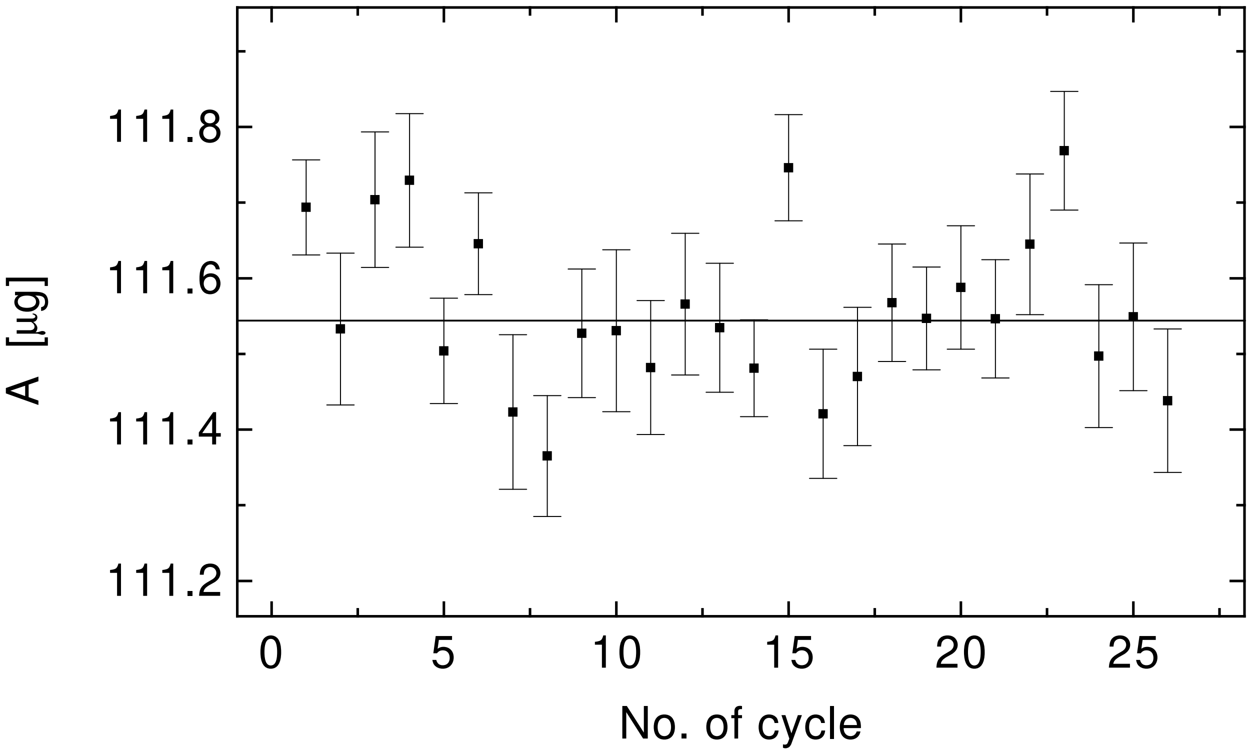
- ...

# Physik-Institut Zürich (1)



# Physik-Institut Zürich (2)

Messungen mit Wasser
(500 kg)




Messungen mit Quecksilber
(7000 kg)
ab Februar, 1998

# Zusammenfassung (1)

**Messungen der Gravitationskonstante sind extrem schwierig**

**Kein Zusammenhang mit den anderen Naturkräften für die Messung verwendbar**

**Herausforderung an die Messkunde**

# Zusammenfassung (2)

Historie der G-Messung umfaßt 200 Jahre mit Phasen hoher Aktivität

**z.B. JETZT**

In den letzten 5 Jahren:

- ☞ Neue Erkenntnisse über alte Methoden
- ☞ Neuartige Experimentiermethoden

**Meßgenauigkeit von 30 ppm 1998 realisierbar**

**10 ppm in Sicht**