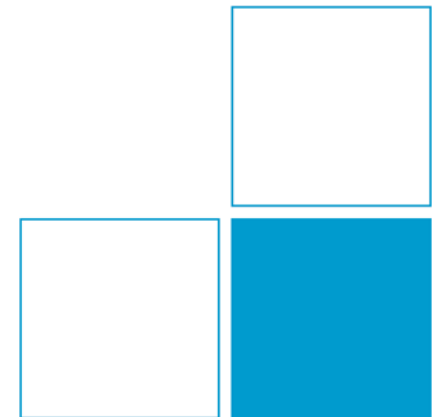


# Rückführung disziplinierter Frequenznormale auf gesetzliche Einheiten

Dirk Piester, AG Zeitübertragung (4.42)

311. PTB-Seminar Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren im Nieder- und Hochfrequenzbereich 2018  
Braunschweig, 16. Mai 2018



# Motivation

In vielen Kalibrierlaboren werden extern disziplinierte Frequenznormale eingesetzt, um rückgeführte Frequenzmessungen zu ermöglichen.

In dem 2016 erschienenen EURAMET Technical Guide No. 3 wird ihr Betrieb und die Anforderungen an die Rückführung beschrieben.

In diesem Vortrag werden die notwendigen Schritte vorgestellt und am Beispiel der Rückführung über die PTB und ihrer Zeitskala UTC(PTB) präzisiert.

Guidelines on the Use of GPS  
Disciplined Oscillators for  
Frequency or Time Traceability

EURAMET Technical Guide No. 3  
Version 1.0 (03/2016)



# Literatur

**EURAMET: Guidelines on the Use of GPS Disciplined Oscillators for Frequency and Time Traceability;** EURAMET Technical Guide No. 3, Version 1.0, 03/2016.

**M. Lombardi: The Use of GPS Disciplined Oscillators as Primary Frequency Standards for Calibration and Metrology Laboratories;** NCSLI Measure, vol. 3, no. 3, pp. 56-65, 2008.

**D. Piester: Zur Rückführung eines disziplinierten Frequenznormal auf gesetzliche Einheiten;** Technisches Messen, vol. 85, no. 4, pp. 268-274, 2018.

# Vorweg: UTC(PTB) und UTC

Das Uhren-Ensemble der PTB:

Cäsium-Fontänen CSF1 und CSF2

Cäsiumuhren mit thermischem Atomstrahl CS1 und CS2

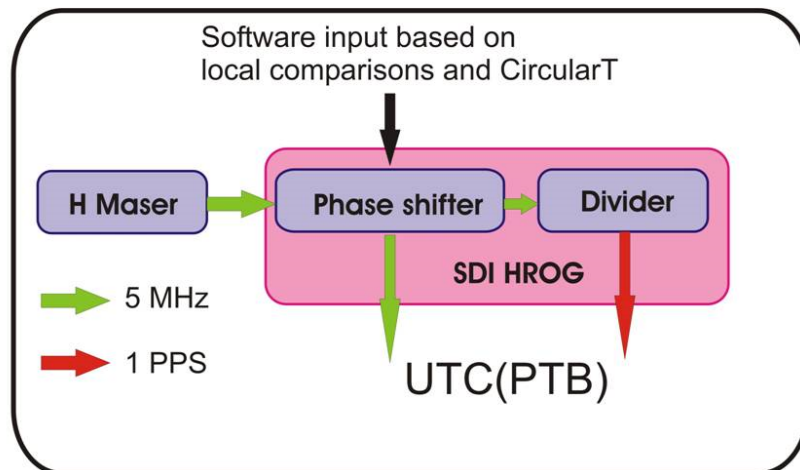
3 kommerzielle Cs-Uhren „5071“

3 Wasserstoffmaser

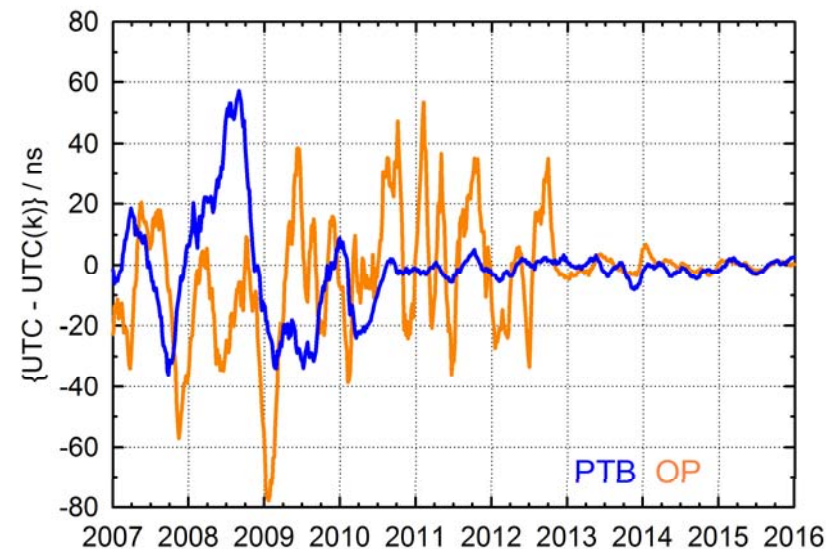


# Vorweg: UTC(PTB) und UTC

Realisierung einer Zeitskala durch Steuerung eines Wasserstoffmasers mithilfe von Vergleichen zu lokalen Uhren und der Weltzeit UTC

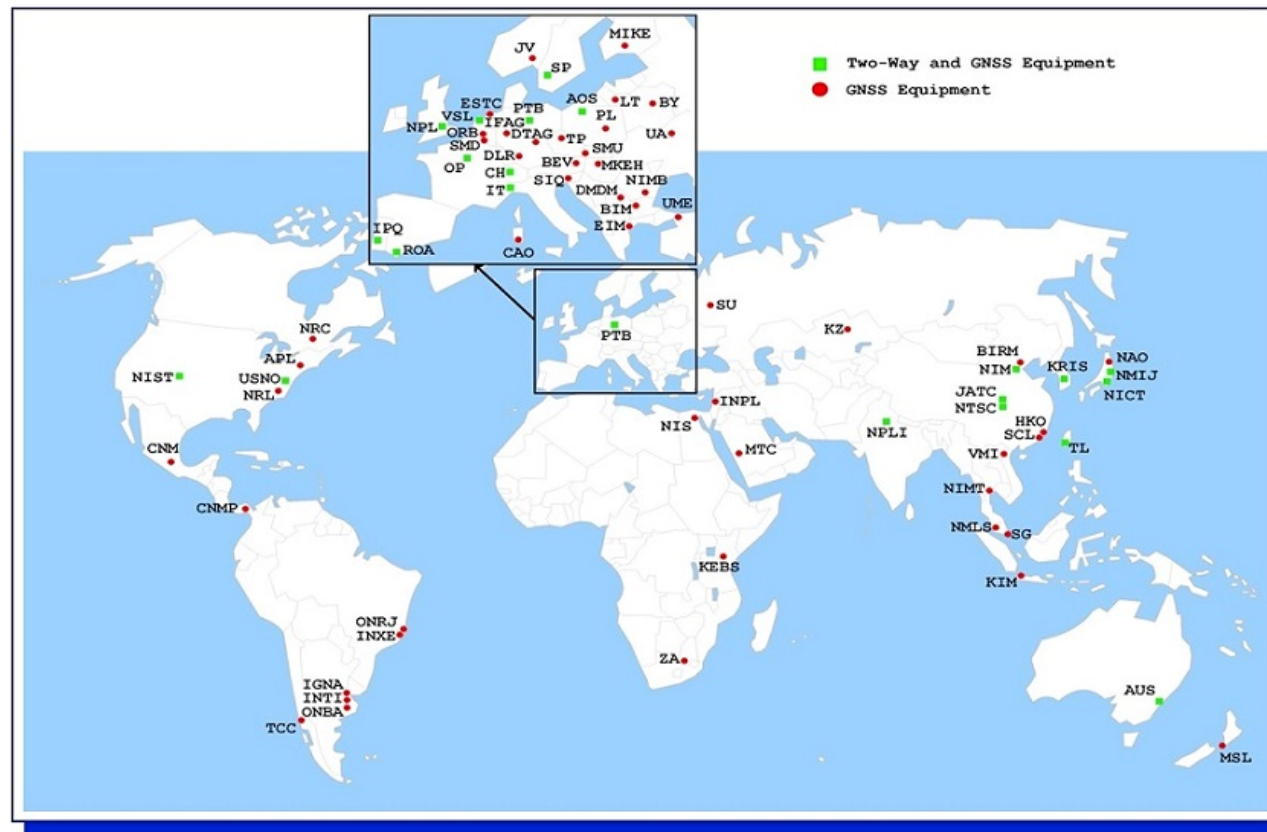


[A. Bauch et al., Metrologia **49** (2012) 180-188]



# Vorweg: UTC(PTB) und UTC

In über 70 „Zeit“-Instituten werden mehr als 400 Atomuhren betrieben. Diese werden weltweit im Wesentlichen mithilfe zweier satellitengestützter Methoden verglichen: GNSS-Zeitvergleiche und TWSTFT.

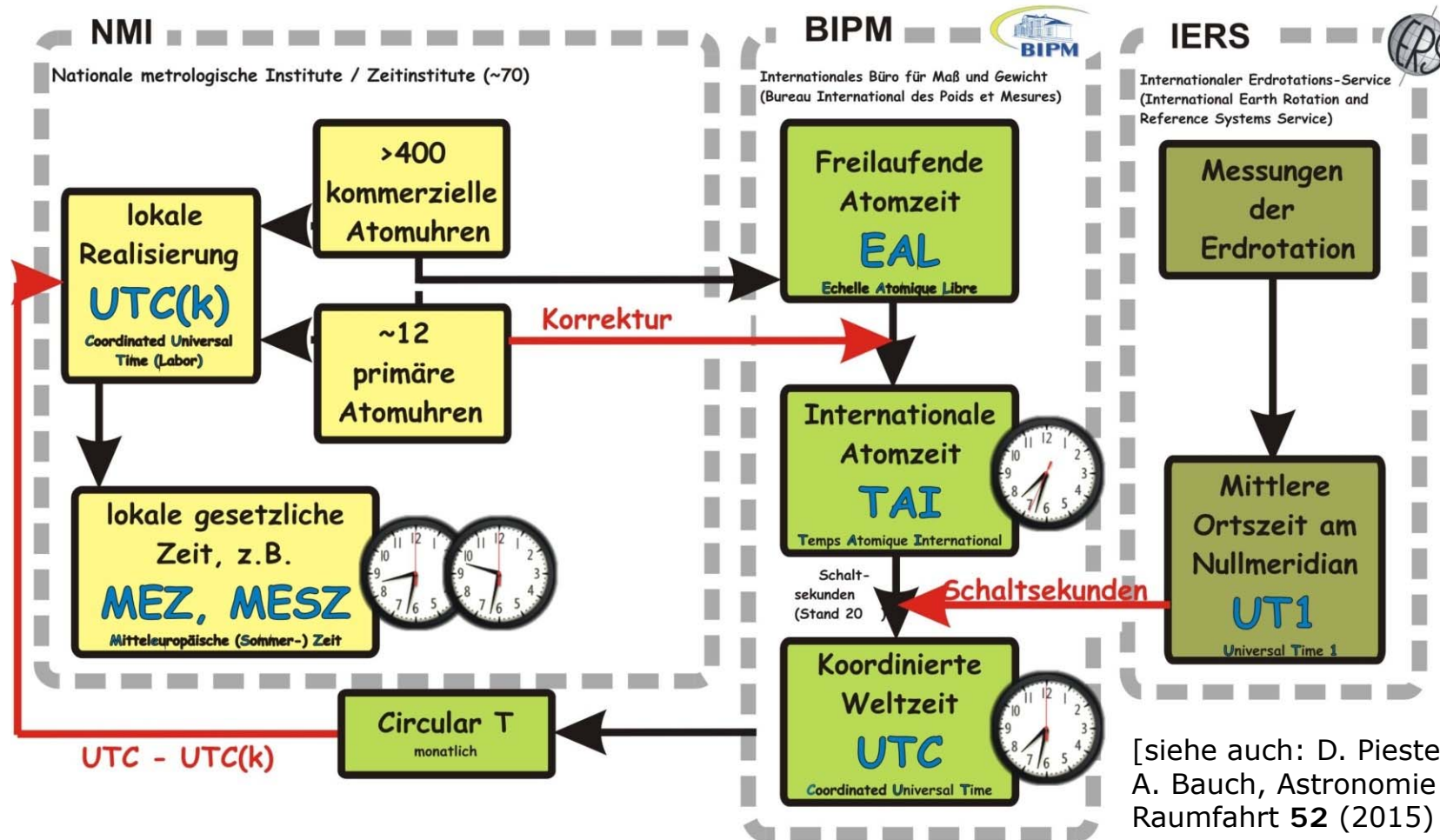


[Bild: BIPM]



# Vorweg: UTC(PTB) und UTC

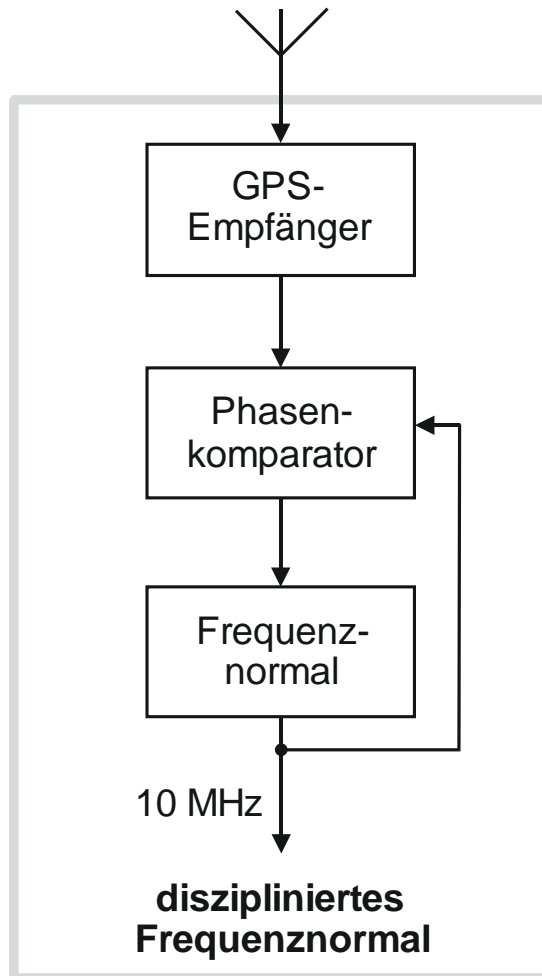
Monatliche Berechnung von UTC durch das BIPM mithilfe von Daten aus über 70 Instituten.



[siehe auch: D. Piester und A. Bauch, Astronomie und Raumfahrt 52 (2015) 24-26]

# Was ist ein diszipliniertes Frequenznormal?

GPS – Galileo – DCF77

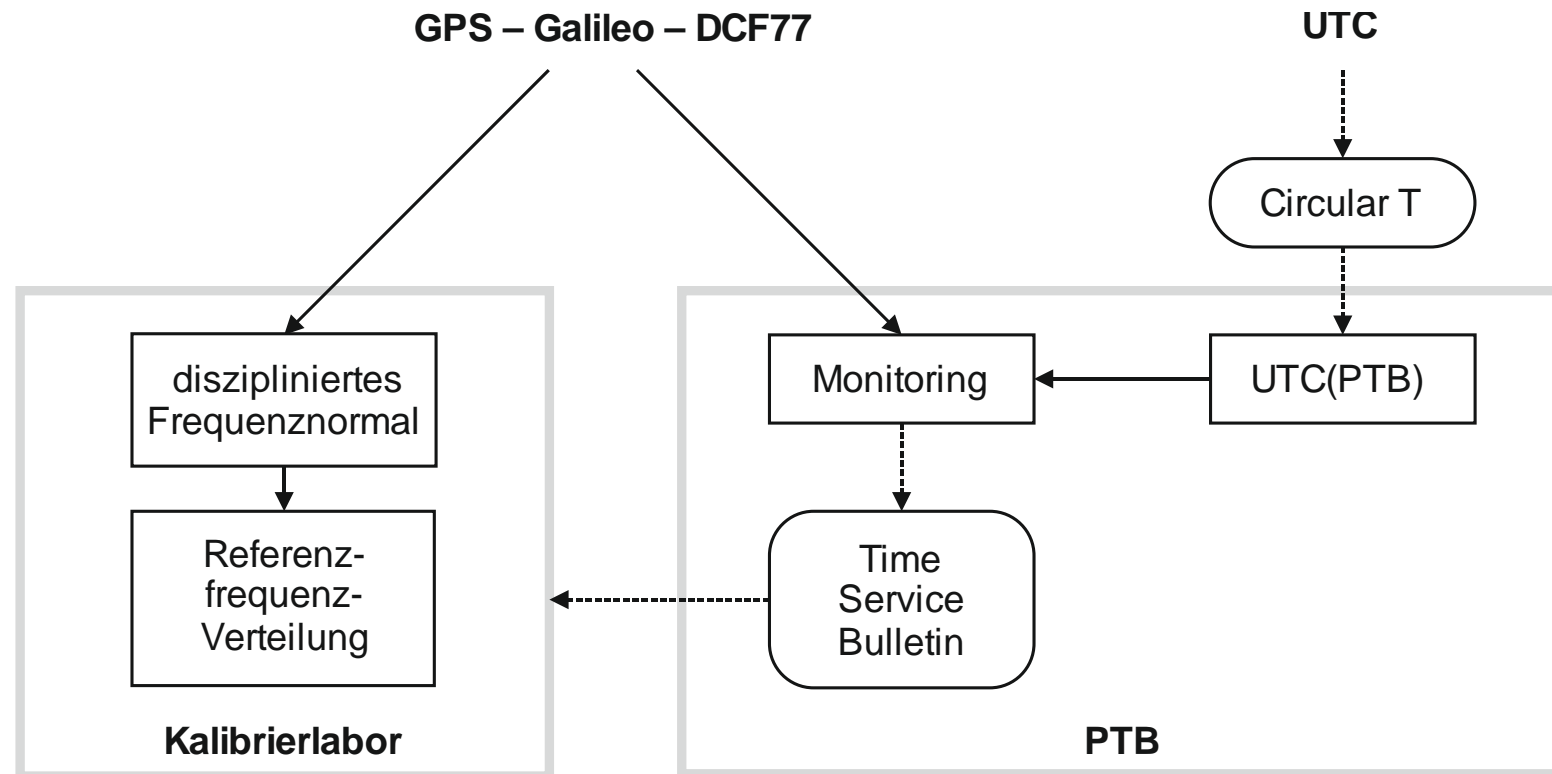


Ein diszipliniertes Frequenznormal wird so geregelt, dass - mit entsprechender Zeitkonstante - die Phasenbeziehung „Phasenzeit“ zwischen seinem 10-MHz-Frequenz-Ausgang und einem externen Zeitsignal konstant gehalten wird.

Beispiele für externe Zeitsignale:  
GPS  
Galileo  
DCF77



# Wie wird die Rückführung erreicht?



## Beispiel GPS:

Von GPS ausgesendete Zeitinformationen werden durch entsprechendes Monitoring mit UTC(PTB) in Bezug gesetzt: **PTB Time Service Bulletin**. UTC(PTB) wird durch die CIPM MRA Key Comparison CCTF-K001.UTC auf die koordinierte Weltzeit rückgeführt: **Circular T**.

# Welche Schritte sind für den Nachweis der Rückführung erforderlich?

Nach „**Guidelines on the Use of GPS Disciplined Oscillators for Frequency and Time Traceability**“ (EURAMET Technical Guide No. 3) sind zwei Kernpunkte wichtig:

- 1) Nachweis der Rückführung durch Auswertung der Messdaten z. B. aus dem PTB Time Service Bulletin,
- 2) Sicherstellung der ordnungsgemäßen Funktionsweise des verwendeten Frequenznormals.

Siehe auch „**Zur Rückführung eines disziplinierten Frequenznormals auf gesetzliche Einheiten**“ (Technisches Messen, vol. 85, no. 4, pp. 268-274, 2018).

# Was steht im PTB Time Service Bulletin?

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
AG 4.42  
Postfach 3345  
D-38023 Braunschweig

Phone : +49 531 592 4419  
Fax : +49 531 592 4479  
E-mail: time@ptb.de

## PTB TIME SERVICE BULLETIN

Year 2018 Week 12 MAR 22 - MAR 28

Table 1: Report of measurement values (in ns), see explanations below.

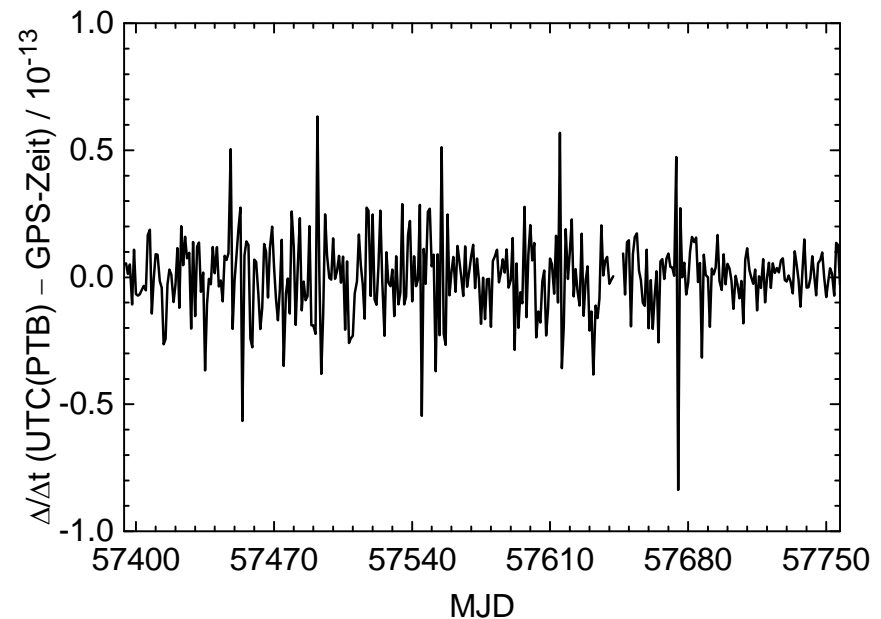
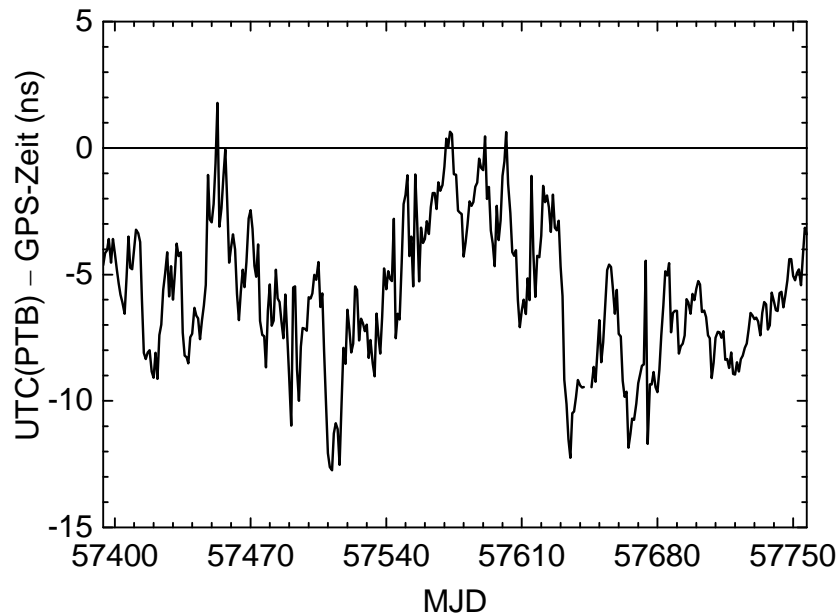
MJD	UTC(PTB) - DCF77 77.5 kHz	UTC(PTB) - GPS time + M	UTC(PTB) - GST + M	GST - GPS time from SIS
	11:00:00 UTC	12:00:00 UTC	12:00:00 UTC	12:00:00 UTC
58199	5331.2	0.0	-7.6	8.6
58200	5593.3	-0.5	-7.4	11.6
58201	5693.5	-1.2	-6.9	9.2
58202	5561.9	-1.5	-7.2	8.5
58203	5841.0	-1.3	-6.7	6.9
58204	5923.3	-0.6	-6.1	8.5
58205	5773.4	-0.5	-5.9	7.8

Im Time Service Bulletin stehen  
u.a. tägliche Werte für

- 1) Phasenzeit der DCF77-Trägerphase,
- 2) Zeitdifferenz zwischen UTC(PTB) und der GPS-Systemzeit,
- 3) Zeitdifferenz zwischen UTC(PTB) und der Galileo-Systemzeit.

# Was steht im PTB Time Service Bulletin?

Im Time Service Bulletin publizierte Zeitdifferenzen UTC(PTB) – GPS-Zeit für das Jahr 2016:



mean:  $3,9 \cdot 10^{-17}$   
standard deviation:  $1,6 \cdot 10^{-14}$   
combined:  $1,7 \cdot 10^{-14}$

# Was steht im Circular T?

Im Circular T des BIPMs stehen u. a. Werte für UTC – UTC(PTB) und Schätzungen des Skalenmaßes von UTC in Bezug auf Realisierungen der SI-Sekunde durch die primären und sekundären Frequenzstandards.

CIRCULAR T 364

2018 MAY 09, 09h UTC

ISSN 1143-1393

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
THE INTERGOVERNMENTAL ORGANIZATION ESTABLISHED BY THE METRE CONVENTION  
PAVILLON DE BRETEUIL F-92312 SEVRES CEDEX TEL. +33 1 45 07 70 70 tai@bipm.org

...

...

1 - Difference between UTC and its local realizations UTC(k) and corresponding uncertainties.

From 2017 January 1, 0h UTC, TAI-UTC = 37 s.

Date 2018	0h UTC	MAR 27	APR 1	APR 6	APR 11	APR 16	APR 21	APR 26	Uncertainty/ns Notes		
MJD		58204	58209	58214	58219	58224	58229	58234	uA	uB	u
Laboratory k		[UTC-UTC(k)]/ns									
AOS (Borowiec)		-0.1	0.7	0.5	0.7	1.0	1.5	1.1	0.5	3.3	3.3
APL (Laurel)		1.6	3.4	4.6	3.8	3.7	4.6	3.0	0.4	10.9	10.9
AUS (Sydney)		138.7	117.7	116.2	102.7	96.4	86.9	64.3	0.4	6.3	6.3
BEV (Wien)		-8.3	-6.2	-5.1	-0.3	3.2	1.2	0.6	0.4	3.1	3.1
...											
PTB (Braunschweig)		2.6	2.4	1.6	1.2	0.6	0.1	-0.7	0.2	1.3	1.3
...											

3 - Duration of the TAI scale interval d.

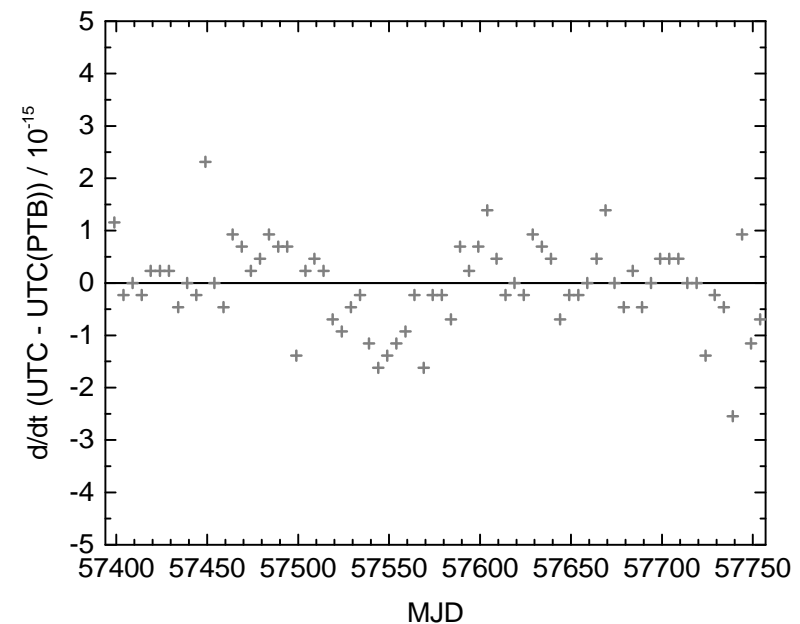
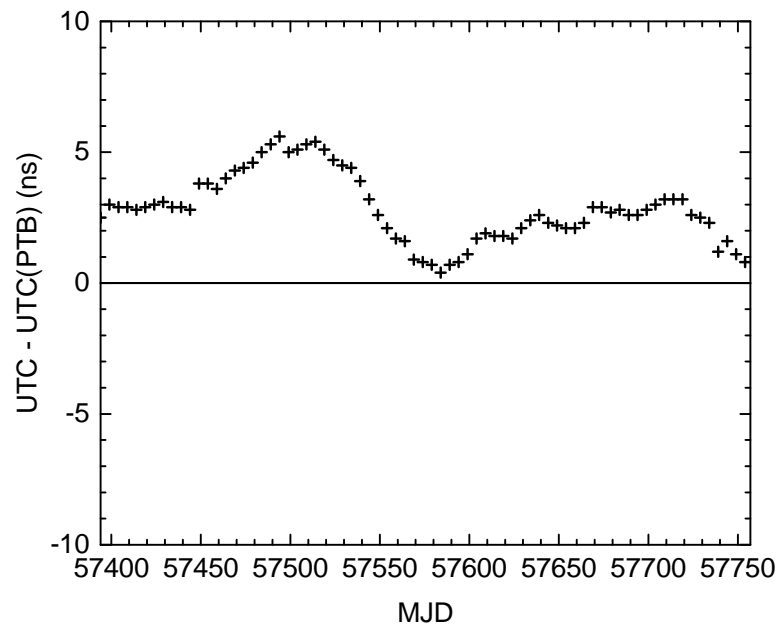
...

Standard	Period of Estimation		d	uA	uB	uL/Lab	uL/Tai	u	uSrep	Ref(uS)	Ref(uB)	uB(Ref)	Steer	Note
PTB-CS1	58204	58234	-17.93	8.00	8.00	0.00	0.13	11.31	PFS/NA		T148	8.	Y	(1)
PTB-CS2	58204	58234	3.64	5.00	12.00	0.00	0.13	13.00	PFS/NA		T148	12.	Y	(1)
IT-CsF2	58219	58229	1.09	0.83	0.17	0.14	0.88	1.23	PFS/NA		T315	0.19	Y	(2)
PTB-CSF2	58204	58234	0.02	0.08	0.20	0.02	0.13	0.25	PFS/NA		T287	0.41	Y	(3)
SU-CsFO2	58204	58234	-0.84	0.27	0.24	0.14	0.85	0.93	PFS/NA		T315	0.50	Y	(4)
SYRTE-FO2	58199	58214	-0.21	0.20	0.20	0.05	0.49	0.57	PFS/NA		T301	0.23	Y	(5)
SYRTE-FO2	58219	58234	-0.05	0.20	0.20	0.05	0.49	0.57	PFS/NA		T301	0.23	Y	(5)
SYRTE-FORb	58199	58214	-0.19	0.25	0.24	0.05	0.49	0.60	0.6	[1]	T328	0.34	Y	(6)
SYRTE-FORb	58219	58234	0.24	0.20	0.24	0.06	0.49	0.58	0.6	[1]	T328	0.34	Y	(6)

...

# Was steht im Circular T?

Im Circular T publizierte Zeitdifferenzen UTC – UTC(PTB) für das Jahr 2016:

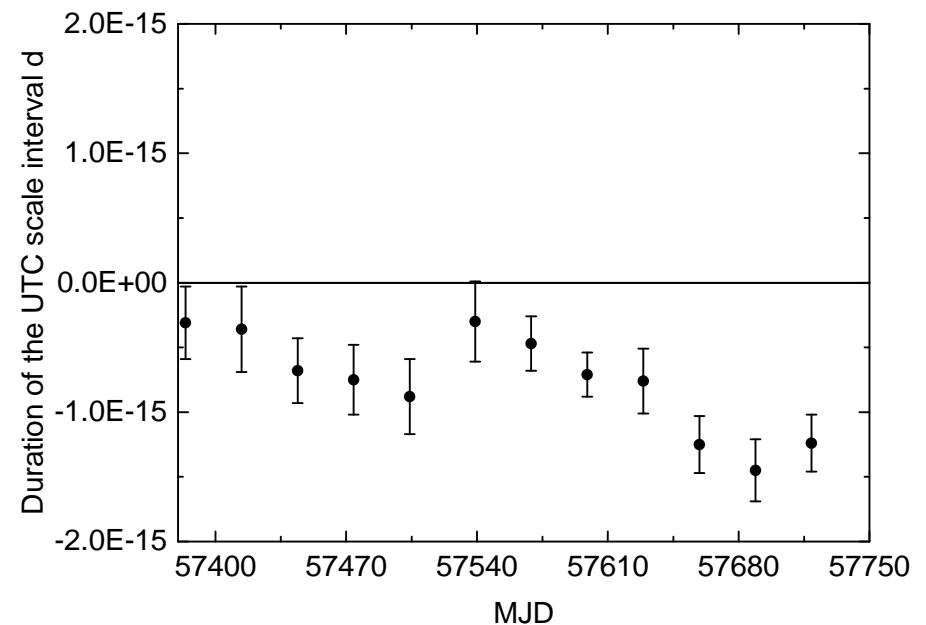


mean:  $-5,4 \cdot 10^{-17}$   
standard deviation:  $8,1 \cdot 10^{-16}$   
combined:  $8,2 \cdot 10^{-16}$



# Was steht im Circular T?

Im Circular T publizierten Abweichungen der durch UTC dargestellten SI-Sekunde für das Jahr 2016 (ermittelt aus den primären u. sekundären Realisierungen der SI-Sekunde):



mean:  $-7,6 \cdot 10^{-16}$   
standard deviation:  $3,9 \cdot 10^{-16}$   
combined:  $8,6 \cdot 10^{-16}$

# Zusammenfassung der Unsicherheiten

Alle drei ermittelten Unsicherheitsbeiträge gehen in das Unsicherheitsbudget für rückgeführte Frequenzmessungen ein, das sind zusammengefasst:

- 1) die GPS-Zeit in Bezug auf UTC(PTB):  $1,7 \cdot 10^{-14}$   
Es ist Aufgabe des Labors, für die eigene Rückführung relevante aktuelle Werte aus dem PTB Time Service Bulletin zu ermitteln.
- 2) UTC(PTB) in Bezug auf UTC:  $8,2 \cdot 10^{-16}$   
... kann als typischer Wert angenommen werden.
- 3) UTC als Darstellung der SI-Sekunde:  $8,6 \cdot 10^{-16}$   
... kann als typischer Wert angenommen werden.

# GPS-disziplinierte Oszillatoren

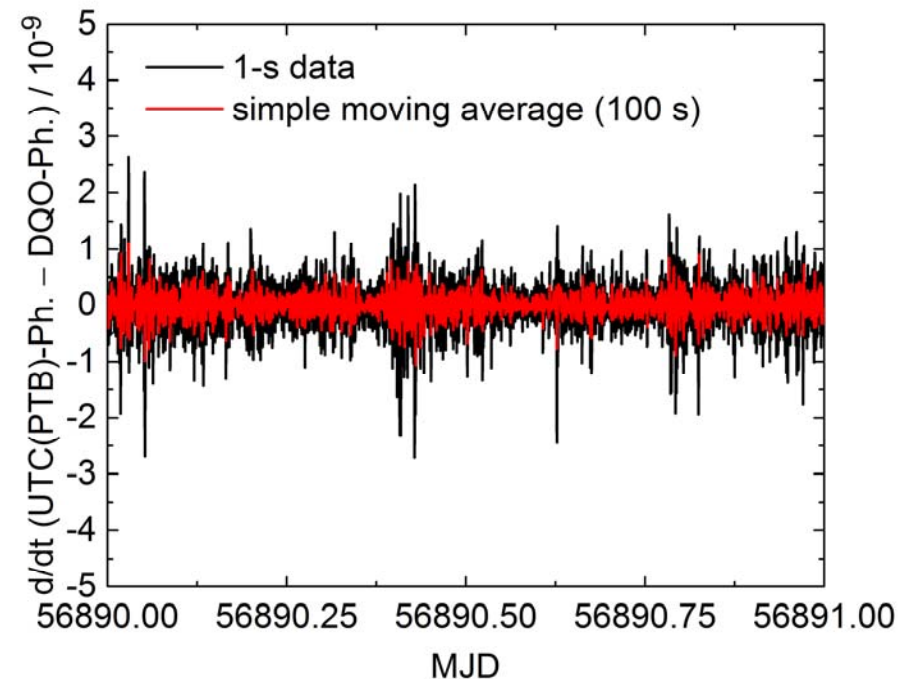
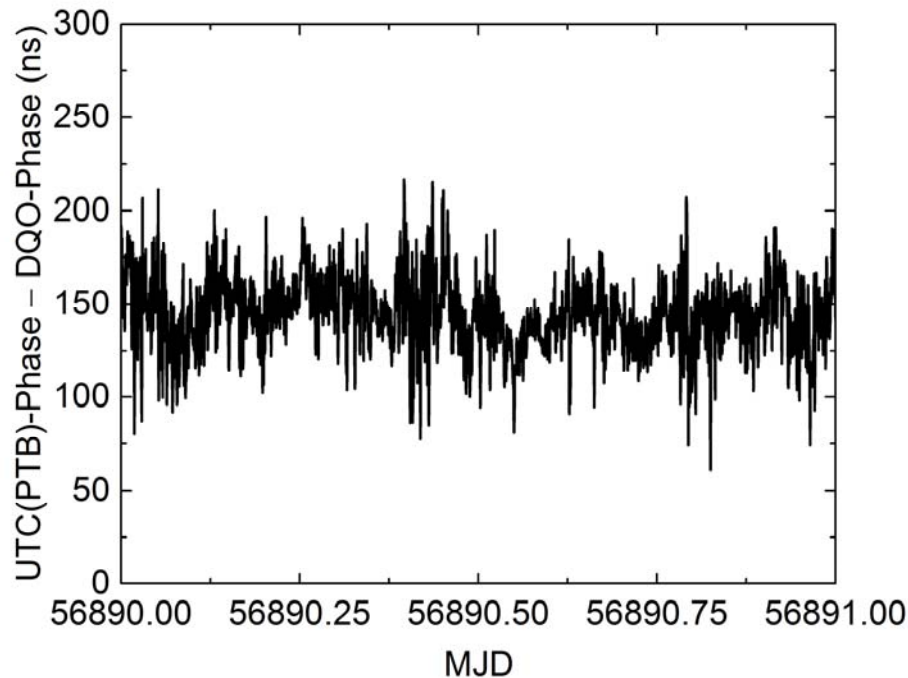
Für einen Nachweis der Rückführung ist es erforderlich, dass ein Labor die relevanten Beiträge zur Messunsicherheit, die beim Betrieb eines disziplinierten Oszillators auftreten, geeignet charakterisiert und überwacht.

Das Labor muss den ordnungsgemäßen Betriebszustand des Frequenznormals sicherstellen, insbesondere muss sichergestellt sein, dass Fehlfunktionen, wie z. B. der Verlust des Empfangs nicht unbemerkt bleiben.

Dazu gehört die Aufzeichnung von Betriebsparametern, wie z. B. Fehlermeldungen und interne Regelparameter, soweit zugänglich.

# Ein GPS-disziplinierter Quarzoszillator

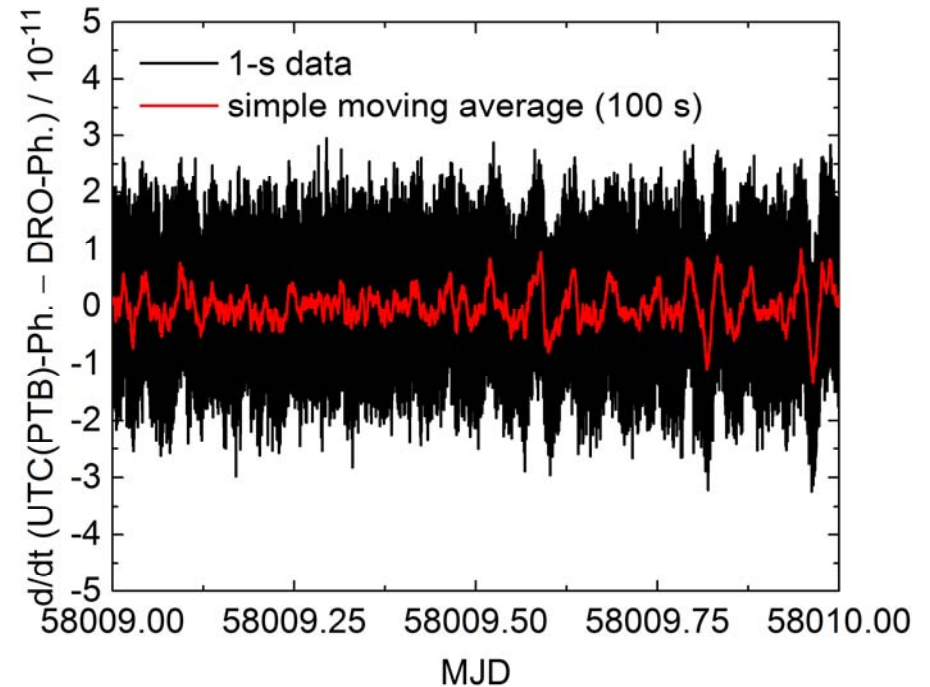
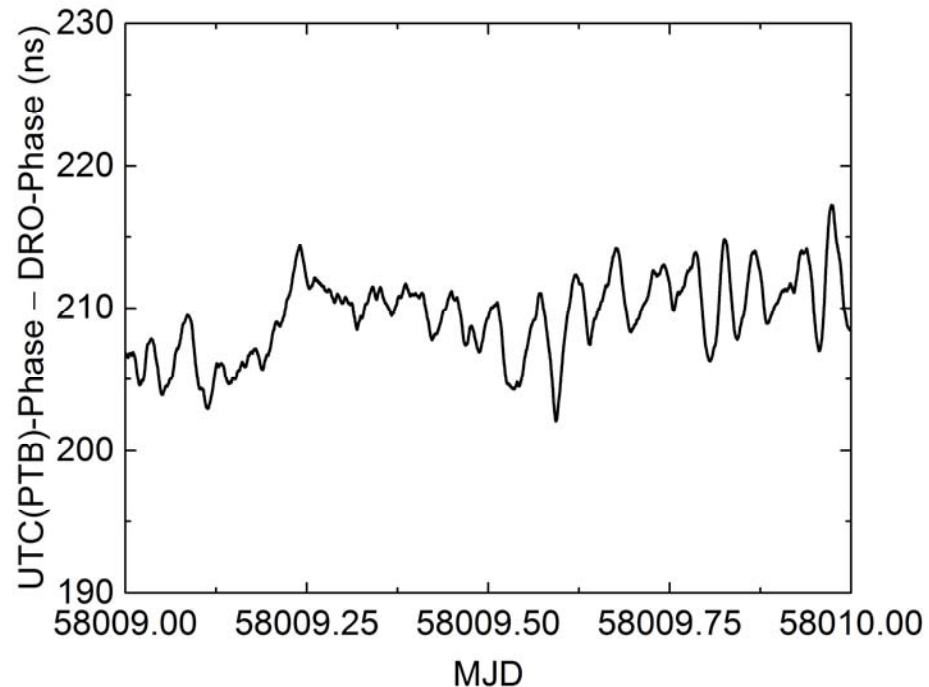
Phasenzeitvergleich des 10-MHz-Ausgangs eines GPS-disziplinierten Quarzoszillators (OCXO) mit UTC(PTB) über einen Tag:



mean:  $2,0 \cdot 10^{-14}$   
standard deviation:  $4,0 \cdot 10^{-10}$   
standard deviation (sma):  $2,1 \cdot 10^{-10}$

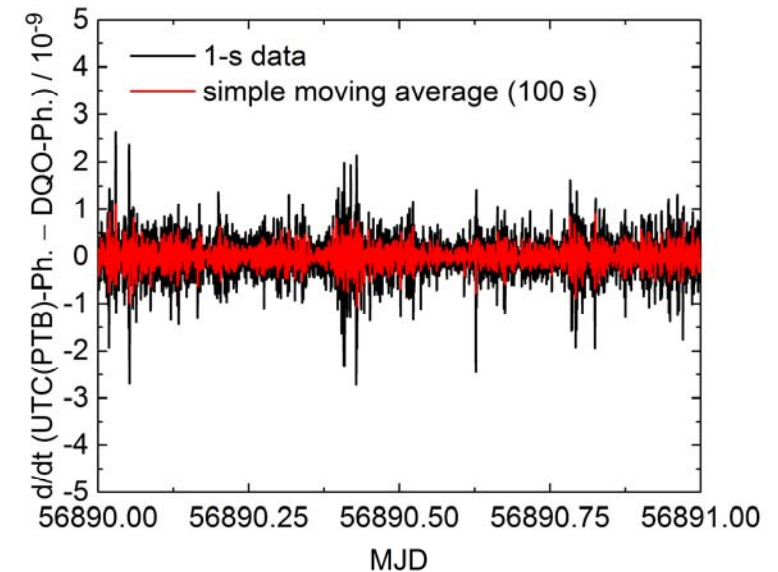
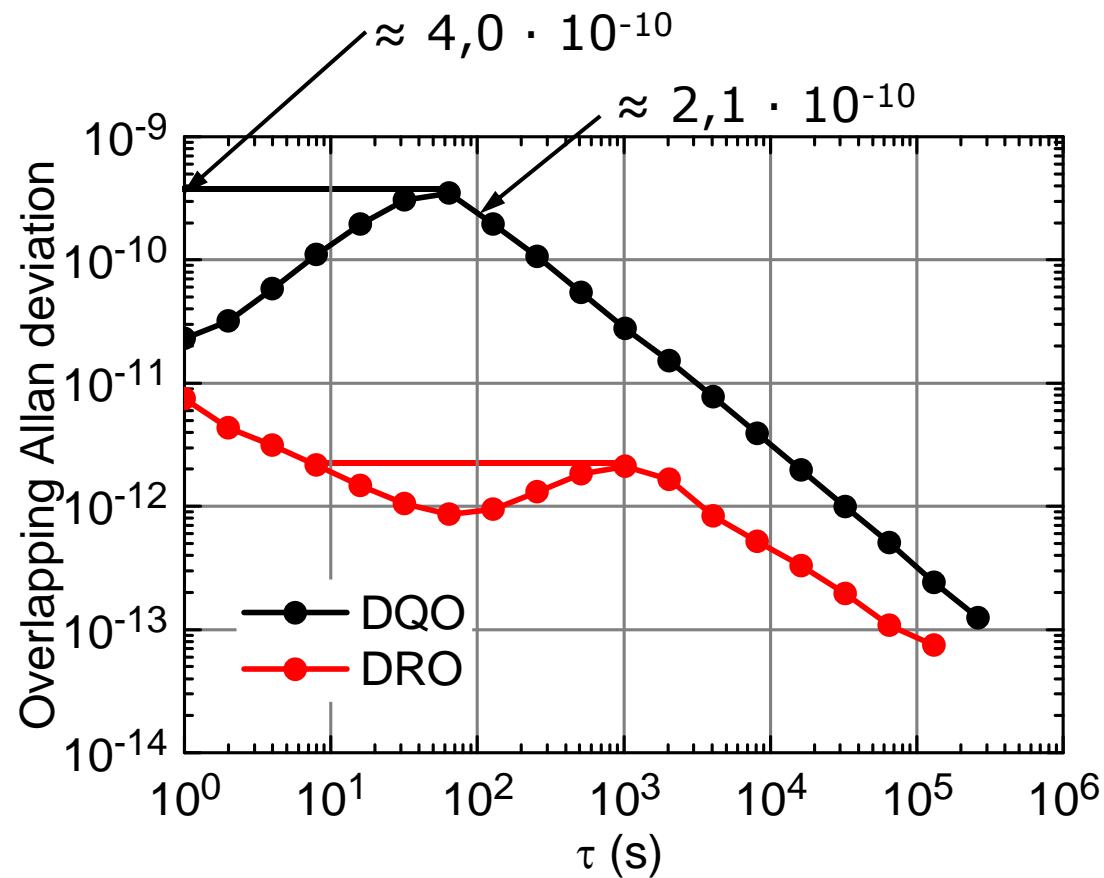
# Eine GPS-disziplinierte Rb-Atomuhr

Phasenzeitvergleich des 10-MHz-Ausgangs einer GPS-disziplinierten Rb-Atomuhr mit UTC(PTB) über einen Tag:



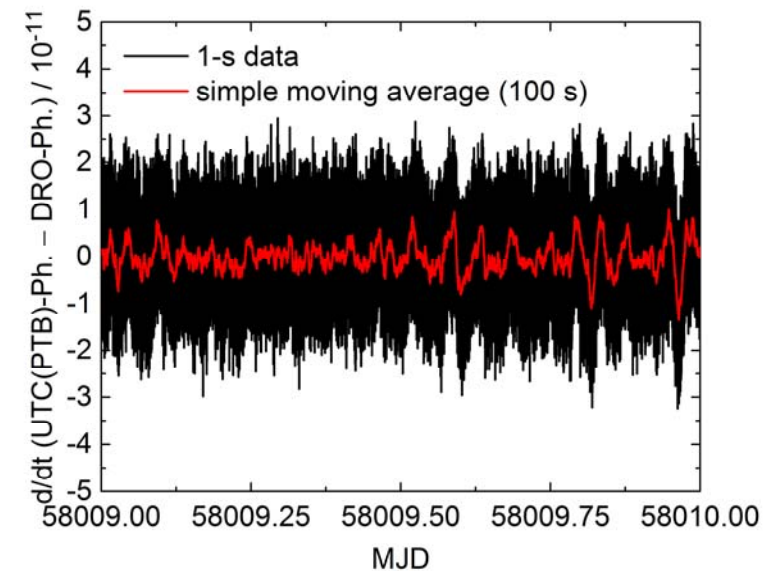
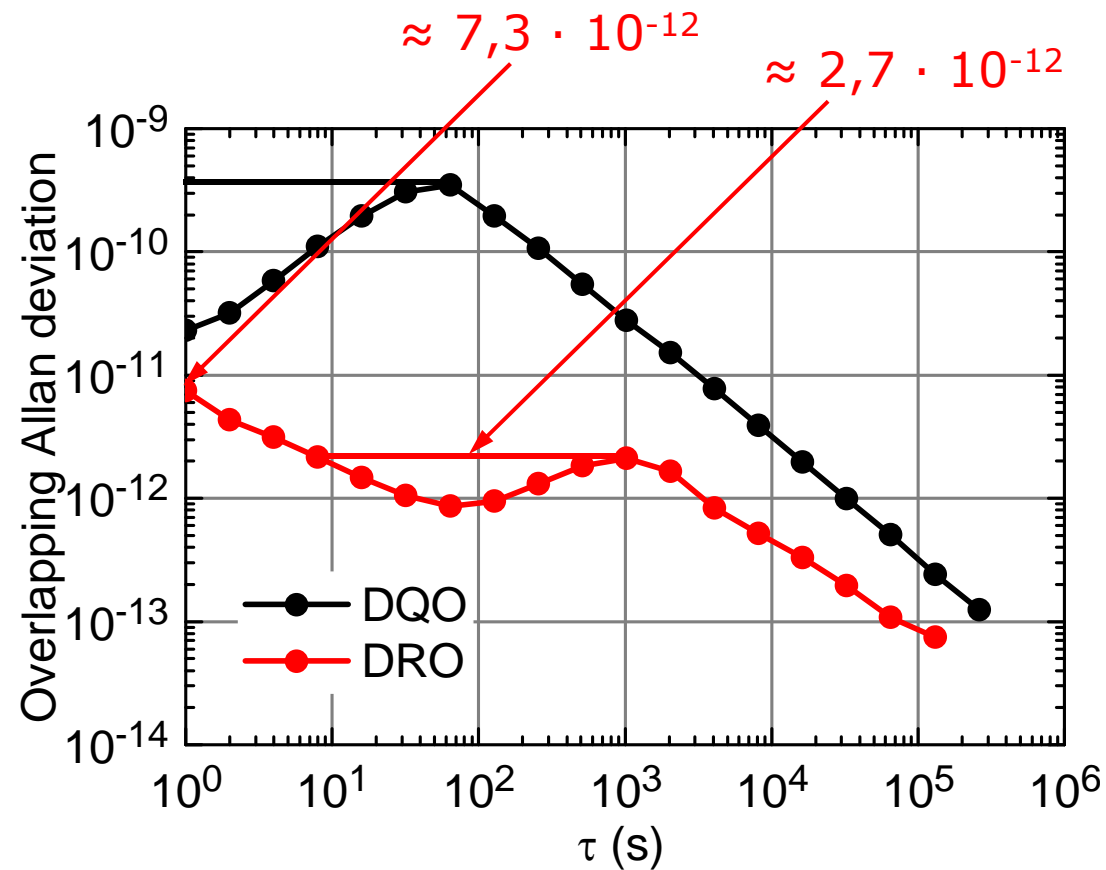
mean:  $3,5 \cdot 10^{-14}$   
standard deviation:  $7,3 \cdot 10^{-12}$   
standard deviation (sma):  $2,7 \cdot 10^{-12}$

# Unsicherheiten aus der Allan-Standardabweichung





# Unsicherheiten aus der Allan-Standardabweichung



# Zusammenfassung

Folgende Unsicherheitsbeiträge sind bei der Bereitstellung einer 10-MHz-Normalfrequenz zu beachten:

GPS-Zeit in Bezug auf UTC(PTB):  $1,7 \cdot 10^{-14}$

UTC(PTB) in Bezug auf UTC:  $8,2 \cdot 10^{-16}$

UTC als Darstellung der SI-Sekunde:  $8,6 \cdot 10^{-16}$

+

Kurzzeitstabilität z. B. eines disziplinierten Quarzoszillators:  $4,0 \cdot 10^{-10}$  @ 1s

oder einer disziplinierten Rb-Atomuhr:  $7,3 \cdot 10^{-12}$  @ 1 s

+

Beiträge durch Einflüsse aus der Umgebung z.B. Temperatur oder Spannungsversorgung (hier nicht diskutiert).

+

Weitere Beiträge, besonders solche, welche durch die verwendeten Frequenzmessgeräte auftreten, wie z. B. Quantisierungs-, Auflösungs-, oder Triggerfehler bei Frequenzzählern, müssen ebenfalls durch das Labor bestimmt und berücksichtigt werden.



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Dirk Piester  
Arbeitsgruppe Zeitübertragung – Time Dissemination Group

Telefon: 0531 592-4421  
E-Mail: [dirk.piester@ptb.de](mailto:dirk.piester@ptb.de)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

Mai 2018