

Zusammenfassung

Für Aufzeichnungen über längere Zeiträume sind Federgravimeter - z.B. im Vergleich zu Supraleitgravimetern - die flexibelste, technisch einfachste und vergleichsweise wirtschaftlichste Lösung, unterliegen aber dem Nachteil der Drift. Wir untersuchen die Genauigkeiten des Micro-g LaCoste gPhone-98 und ZLS Burris Gravity Meter B-64 des Instituts für Erdmessung. Mit beiden Instrumenten wurden Registrierungen über mehrere Monate auf fünf Stationen mit hohen und niedrigen seismischen Störungen durchgeführt. Untersucht wird zudem eine parallele Registrierung des ZLS mit dem Supraleitgravimeter in Onsala (Schweden). Die Gezeitenanalyse gleichzeitiger Datenreihen beider Instrumente zeigt, dass die Gezeitenparameter der täglichen und halbtäglichen Gezeiten mit 0.4‰ (O1,K1,M2) bis 1.6‰ (S2) übereinstimmen. Sowohl für das g-98 als auch das B-64 wurde eine Stabilität des linearen Eichfaktors von 3×10^{-4} ermittelt. Im Allgemeinen verhält sich die Drift eines gPhones nach einer gewissen Einlaufphase linear. Der Betrag und die Variation der Drift des g-98 nahm im Nutzungszeitraum nach jedem Standortwechsel ab und liegt derzeit bei etwa 90 nm/s² pro Tag. Im Gegensatz dazu zeigt das B-64 deutlich ein nichtlineares Verhalten. Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik besitzt das gPhoneX-129 seit Ende 2012. Anhand einer acht Monate langen parallelen Registrierung mit dem g-98 werden diese Geräte unterschiedlicher Generationen verglichen. Diese erste Langzeitregistrierung des gX-129 zeigt die Entwicklung der Gerätedrift eines fabrikneuen Gerätes im Vergleich zu einem bereits seit 3 Jahren im Gebrauch befindlichen Gerätes. Insbesondere die Abweichungen von einem linearen Driftverhalten erschweren die Unterscheidung zwischen Signal und Drift. Zusätzlich wird der Einfluss unterschiedlicher Datenerfassungsraten (1 und 7 Hz) untersucht. Die Qualität der Zeitreihen der drei Gravimeter wird durch eine Gezeitenanalyse bewertet sowie die Langzeitstabilität der Instrumente getestet.

Moderne Federgravimeter nach dem LaCoste & Romberg Prinzip

ZLS Burris Gravity Meter B-64



- Mittlere Standardabweichung ausgeglichener Schwerewerte 10 – 20 nm/s² in lokalen Netzen [2]
- Registrierung mit Barometer und GPS Zeitempfänger [1]
- Datenrate: 10 s (600 s Filter)
- Instrumenteller Luftdruckeffekt 0.14 nm/s² pro hPa aus Experiment
- Instrumentelle Phasenverzögerung 3 s
- Drift nicht linear nach 2 Jahren

Micro-g LaCoste gPhone-98



- Entwickelt zur Registrierung [3]
- Sensor in zwei druckdichten thermostatisierten Kammern
- Rubidium Uhr (GPS optional)
- Samplingrate 1 Hz u. 7 Hz
- Aufzeichnung weiterer Sensoren, z. B. Neigung, Luftdruck, Temperatur
- Reduktion linearer Driftanteil von 191 ± 12 nm/s² pro Tag auf 93 ± 3 nm/s² Tag in 2.5 Jahren

Tab. 1: Lineare Eichfaktoren des g-98 und B-64 und Abweichung δ_E zum Mittelwert der Zeitreihe.

gPhone-98		
Datum	Eichfaktor	δ_E [10 ⁻³]
12/2011	1.00240	0.015
04/2012	1.00206	0.366
08/2012	1.00247	-0.122
02/2013	1.00268	-0.259
mittel	1.00242±0.00027	
Burris B-64		
04/2012	0.99974	-0.368
04/2012	0.99953	-0.158
05/2012	0.99944	-0.068
09/2012	0.99895	0.423
11/2012	0.99937	0.002
01/2013	0.99961	-0.238
02/2013	0.99963	-0.258
05/2013	0.99946	-0.088
07/2013	0.99870	0.672
12/2013	0.99929	0.082
mittel	0.99937±0.00032	

Parallele Messungen in Ruthe und Onsala mit Micro-g LaCoste gPhone-98 und ZLS Burris Gravity Meter B-64

Zeitgleiche Schwereregistrierungen

- Onsala, südlich von Göteborg an der Küste des Kattegat: B-64 und GWR Inst. OSG-054
- Ruthe, südlich von Hannover in ländlicher Region: B-64 und gPhone-98
- Korrektur mit theoret. Gezeitenmodell: kleines Signal aus Differenz synt. – tatsächliche Gezeiten

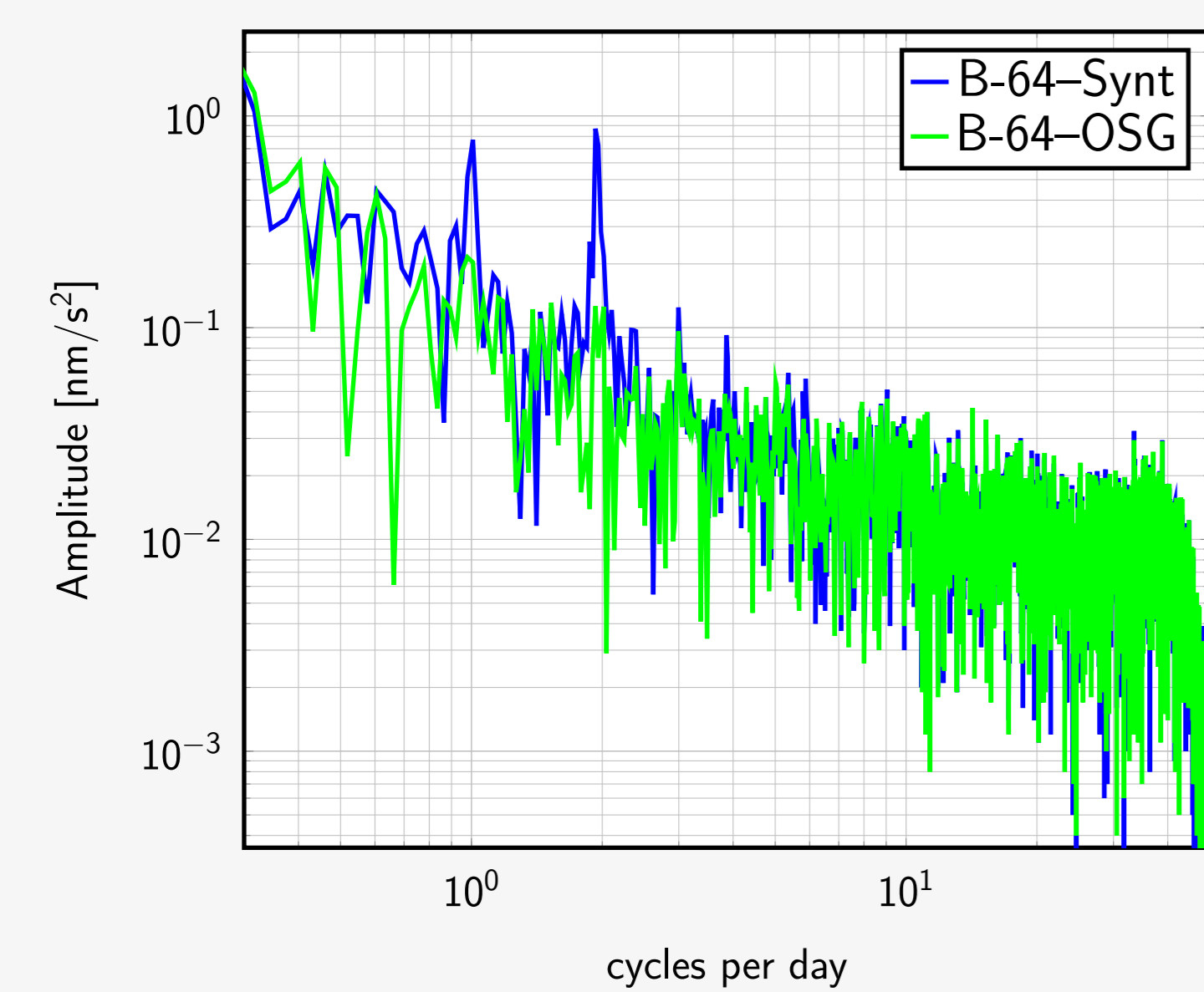


Abb. 1: Fourier Spektrum B-64 und OSG-054 in Onsala

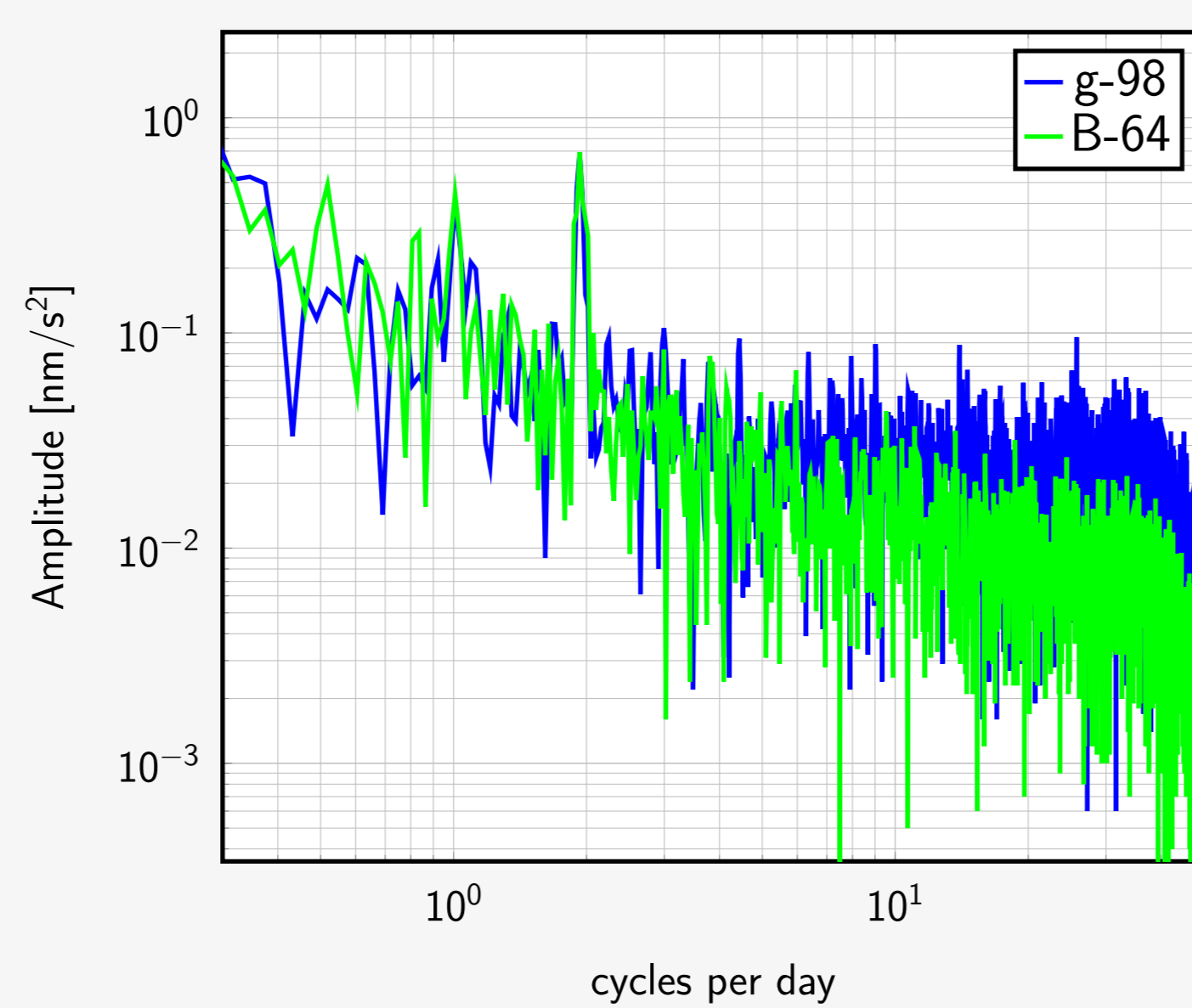


Abb. 2: Fourier Spektrum B-64 und gPhone-98 in Ruthe

- **B-64 – Synt:** B-64 Beobachtungen korrigiert mit synt. Gezeiten zeigen periodische Effekte
- **B-64 – OSG** Differenz der Beobachtungen enthalten keine Schwereeffekte (jedoch inst. Einflüsse, wie z.B. fehlerhafte Eichung)

- **g-98 und B-64** zeigen peaks bei täglichen und halbtäglichen Gezeiten
- Unterschied der Amplitude < 0.1 nm/s²
- Rauschen in hohen Frequenzen bei B-64 durch Filterung gedämpft

Gezeitenanalyse mit ETERNA 3.4 [4]

- Zeitreihen wurden auf ein Intervall von 300 s Neuberechnet
- Korrekturfaktor für atmosphärische Massenvariationen in Analyse geschätzt
- Unsicherheit von 1nm/s² in Reduktion der Gezeiten erfordert δ auf 1‰ und $\Delta\Phi$ auf 0.05° bekannt

Tab. 2: Gezeitenparameter (Amplitudenfaktor δ und Phasenverschiebung $\Delta\Phi$) ausgewählter Wellengruppen aus gPhone/Burris Beobachtungen in Ruthe und OSG/Burris Beobachtungen in Onsala. $\bar{\sigma}$ ist die mittlere Standardabweichung der gezeigten Wellengruppen O1 – S2.

wave group	Ruthe Mar–Mai 2013				Onsala Jun–Sep 2012			
	g-98 (66 Tage)	B-64 (66 Tage)	OSG-054 (97 tage)	B-64 (97 days)	g-98 (66 Tage)	B-64 (66 Tage)	OSG-054 (97 tage)	B-64 (97 days)
	δ	$\Delta\Phi$ [°]	δ	$\Delta\Phi$ [°]	δ	$\Delta\Phi$ [°]	δ	$\Delta\Phi$ [°]
O1	1.14804 ±0.00041	0.0949 ±0.0207	1.14970 ±0.00133	0.1823 ±0.0663	1.14747 ±0.00046	0.1220 ±0.0232	1.14722 ±0.00061	0.1580 ±0.0307
K1	1.13486 ±0.00040	0.2654 ±0.0203	1.13955 ±0.00133	0.2735 ±0.0660	1.13910 ±0.00046	0.1249 ±0.0232	1.13874 ±0.00059	0.1234 ±0.0295
M2	1.18433 ±0.00036	1.6459 ±0.0175	1.18626 ±0.00043	1.6891 ±0.0206	1.18722 ±0.00032	1.2148 ±0.0152	1.18703 ±0.00056	1.2653 ±0.0271
S2	1.18363 ±0.00112	0.3751 ±0.0550	1.18877 ±0.00136	0.3875 ±0.0668	1.17845 ±0.00096	0.2812 ±0.0461	1.18049 ±0.00165	0.3444 ±0.0789
$\bar{\sigma}$	±0.00057	±0.0284	±0.00111	±0.0549	±0.00055	±0.0269	±0.00085	±0.0416

- Zeitraum sehr kurz (vgl. [1] 77 Tage Messung)
- Unterschied: δ 1.4 – 4.2‰ / $\Delta\Phi$ max. 0.08°
- Unterschied g-98 zu Parameter langer Zeitreihe $\delta < 0.5\%$ und $\Delta\Phi$ 0.06° (vgl. Tabelle 3)
- Übereinstimmung δ besser 0.4‰ (S2 1.6‰)
- Abweichung $\Delta\Phi$ max 0.06° bei S2

Parallele Messungen in Ruthe mit g-98 und gX-129

Drift

Mittlere Drift der ersten 180 Tage ab Installation Gerät:
g-98: 93 ± 3 nm/s² pro Tag (3 Jahre Nutzung)
gX-129: -66 ± 16 nm/s² pro Tag (neues Instrument)
aus linearer Approximation von 7 Tagen Länge

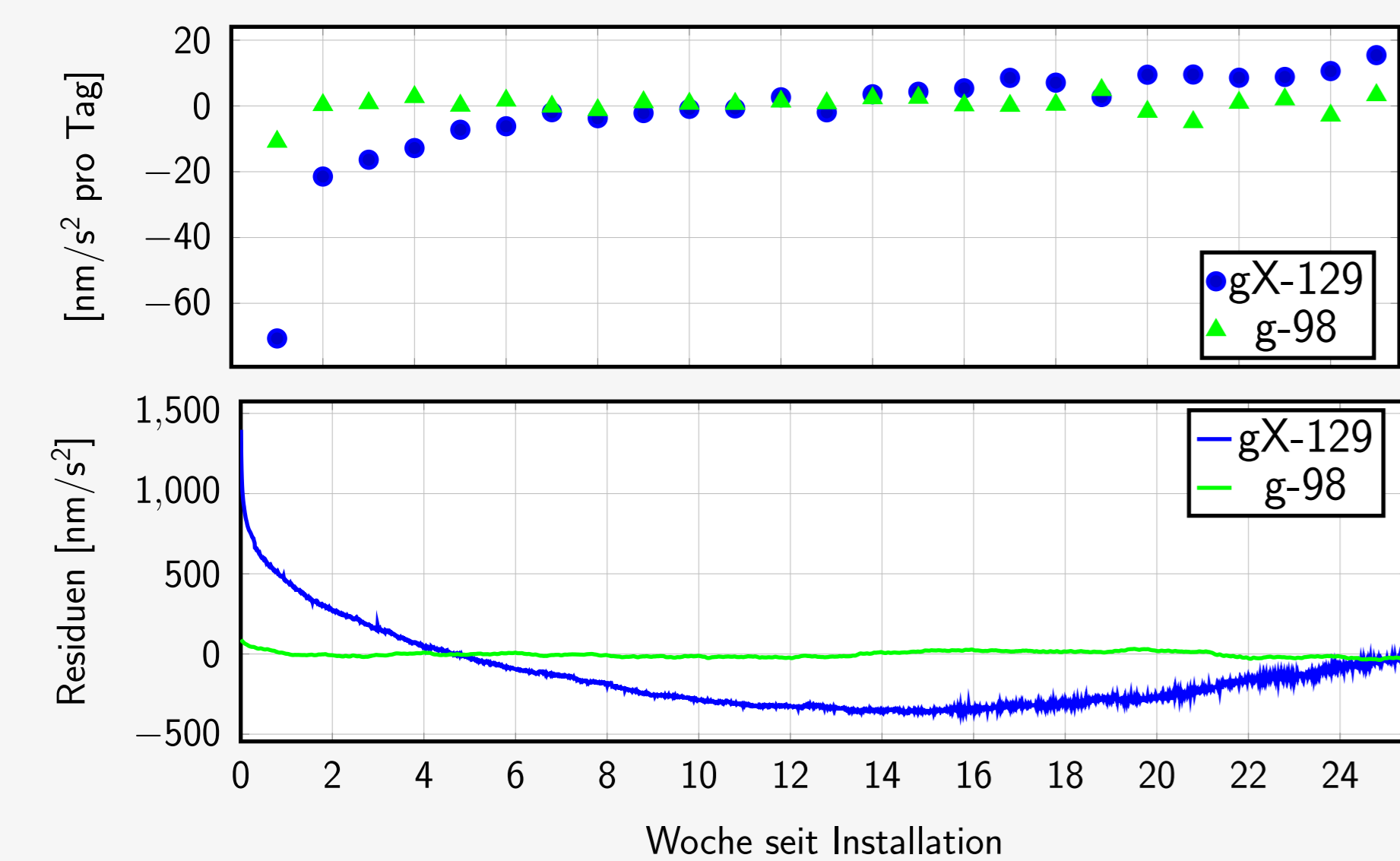


Abb. 3: Abweichung der linearen Drift vom Mittelwert (oben). Residuen der Zeitreihe um linearen Driftanteil reduziert (unten).

- Instrumentelle Drift entwickelt sich zunehmend linear mit der Nutzungszeit (siehe auch [3])
- Gezeitenanalyse von langperiodischer Drift nicht beeinflusst
- Drift und Variation der Drift erschweren Identifikation kleiner Signale und säkularer Änderungen

Gezeitenanalyse mit ETERNA 3.4

je gPhone zwei Zeitreihen (≈ 100 Tage) Samplingrate 1 Hz und 7 Hz

Tab. 3: Gezeitenparameter ausgewählter Wellengruppen für eine Aufzeichnungslänge von 209 Tagen (07/2013–02/2014) von gPhone-98 und gPhoneX-129 Beobachtungen in Ruthe. $\bar{\sigma}$ ist die mittlere Standardabweichung der gezeigten Wellengruppen O1 – S2.

wave group	gPhone-98		gPhoneX-129		g-98 – gX-129	
	δ	$\Delta\Phi$ [°]	δ	$\Delta\Phi$ [°]	δ [‰]	$\Delta\Phi$ [°]
O1	1.14745 ±0.00038	0.1176 ±0.0192	1.14742 ±0.00050	0.0912 ±0.0250	0.1	0.026
K1	1.13486 ±0.00027	0.2316 ±0.0136	1.13379 ±0.00035	0.1261 ±0.0178	1.0	0.106
M2	1.18375 ±0.00024	1.6701 ±0.0118	1.18326 ±0.00024	1.6541 ±0.0118	0.5	0.016
S2	1.18405 ±0.00053	0.4354 ±0.0257	1.18587 ±0.00053	0.4361 ±0.0256	-1.4	-0.001
$\bar{\sigma}$	±0.00036	±0.0176	±0.00041	±0.0201		

Vergleich der Parameter getrennt nach Zeiträumen

- g-98: δ , $\Delta\Phi$ passen zu früheren Messungen (vgl. Tab. 2)
- g-98: Unterschied $\delta < 0.5\%$ bzw. $\Delta\Phi < 0.05^\circ$ der 1 Hz und 7 Hz Messung
- gX-129: δ weichen max 0.8‰ ab zwischen 1 Hz und 7 Hz
- gX-129: K1 aus $\Delta\Phi$ 1 Hz und 7 Hz weichen 0.25° ab, sonst < 0.07°
- gX-129: 1 Hz δ , $\Delta\Phi$ stimmen besser als 1‰ und 0.05° zu g-98

Fazit und Ausblick

- Eichfaktor: g-98 und B-64 stabil 3×10^{-4} , für gX-129 ist derzeit noch keine Aussage möglich
- Gezeitenparameter mit allen drei Geräten zu erfassen, jedoch Abhängig von Länge der Zeitreihe
- todo: Modellierung der Drift zur besseren Trennung des Signals
- todo: Verhalten der $\Delta\Phi$ K1 bei 7 Hz Aufzeichnung des gX-129

Literatur

[1] G. Jentzsch. The automated Burris gravity meter-a new instrument using an old principle. In V. D. Peshekhonov, editor, *Int. Symp. on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TG-SMM2007)*, pages 20–23, 2008.

[2] Z. Jiang, V. Pálinská, O. Francis, P. Jousset, J. Mäkinen, S. Merlet, M. Becker, A. Coulomb, K. Kessler-Schulz, H. R. Schulz, C. Rothleitner, L. Tisserand, and D. Lequin. Relative Gravity Measurement Campaign during the 8th International Comparison of Absolute Gravimeters (2009). *Metrologia*, 49(1):95–107, 2012.

[3] U. Riccardi, S. Rosat, and J. Hinderer. Comparison of the Micro-g LaCoste gPhone-054 spring gravimeter and the GWR-C026 superconducting gravimeter in Strasbourg (France) using a 300-day time series. *Metrologia*, 48(1):28–39, 2011.

[4] H.-G. Wenzel. The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30. *Bull. d'Inf. Marées Terrest.*, 124:9425–9439, 1996.



Dieses Projekt wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (MU 1141/16-1). Das g-98 wurde finanziert durch den Exzellenzcluster QUEST.

