



Beschleunigungs- und Lidar-Windmessungen im Projekt WindIO

Exploration der Messdaten an der Krogmann- und der Senvion-Anlage

Entwurf | öffentliches PDF mit ausgeblendeten Folien

Andreas Haselsteiner*, a.haselsteiner@uni-bremen.de

30. August, 2023

* Universität Bremen, Institut für integrierte Produktentwicklung, bik.uni-bremen.de



Zusammenfassung

- Die Krogmann-Anlage wurde mit zwei Beschleunigungsmessboxen (MSB) instrumentiert und mit einem Lidar (ZX300) wurde die Windgeschwindigkeit aufgenommen.
 - Die Anlage schwingt im Analysezeitraum mit einer so geringen Amplitude, dass sich ein geringes Signal-zu-Rauschen-Verhältnis ergibt.
 - Die Schwingung wird von einer Frequenz von ca. 1,5 Hz dominiert, die vermutlich aus der Biege-Eigenfrequenz des Turms resultiert.
 - Den Lidar-Daten kann aufgrund einer selbst entwickelten Daten-Pipeline, welche die ZX-Modbus-Schnittstelle nutzt, nicht vollständig vertraut werden. Sie wirken nach einem Post-Processing jedoch plausibel. In den Rohdaten, die im Contact-Broker auflaufen, ist height_1 falsch bestimmt, es sollte sich um die Referenzhöhe von 38 m ab Lidaroberkante handeln.

- Die Senvion-Anlage wurde mit zwei Beschleunigungsmessboxen (MSB) instrumentiert.
 - Die Anlage schwingt am Turmende mit höherer Amplitude als die Krogmann-Anlage, sodass sich ein höheres Signal-zu-Rauschen-Verhältnis ergibt. Mit dem Auge lässt sich die dominierende Schwingung im Rohsignal erkennen.
 - Die Schwingung wird von einer Frequenz von ca. 0,3 Hz dominiert, die vermutlich aus der Biege-Eigenfrequenz des Turms resultiert.

Gliederung

- Messungen an der Krogmann-Anlage
- Messungen an der Senvion-Anlage (Folien fehlen in öffentlicher PDF)
- Material, Methode & Datenverfügbarkeit



Krogmann-Anlage

Anlagendaten

| Beschreibung | Einheit | 50/15 |
|--|------------------|-------------|
| Windzone | IEC Klasse | 2 A |
| Bezugsgeschwindigkeit, V_{ref} | m/s | 42.5 |
| Mittlere Windgeschwindigkeit V_{ave} | m/s | 8.5 |
| 50 Jahresböe V_{e50} | m/s | 59.5 |
| 1 Jahresböe V_{e1} | m/s | 44.6 |
| Turbulenzwert I15 | - | 0.18 |
| Nabenhöhe | m | 30.7 |
| Nennleistung | kW | 50 |
| Spezifische Leistung | W/m ² | 283 |
| Rotorfläche | m ² | 177 |
| Rotordurchmesser | m | 15.0 |
| Blattspitzengeschwindigkeit | m/s | 51.1 |
| Nenndrehzahl (Rotor) | rpm | 65.0 |
| Betriebsbereich (Rotor) | rpm | 44.1 - 71.5 |
| Rotorfrequenz | 1/s | 1.083 |
| Abschaltgeschwindigkeit | rpm | 78.0 |
| Drehmoment Rotorwelle | kNm | 9.182 |
| Leistung Rotorwelle | kW | 62.5 |
| Gesamtwirkungsgrad | - | 0.80 |
| Nennwindgeschwindigkeit, ca. | m/s | 10.50 |
| Gitterturmeigenfrequenz | Hz | 1,71 |

(angegebene Primärquelle: "Krogmann 30m Mast Teil 3.pdf")

Quelle der Tabelle: Folien von M. Meyer, von 1. halbjährlichem Projekttreffen

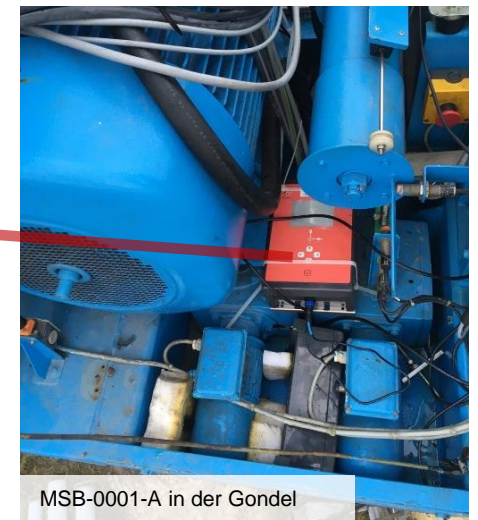


$$T = 0,58 \text{ sec}$$

$$\text{Eigenfrequenz} = 1,71 \text{ sec}^{-1}$$

Beschleunigungs*- & Lidarmessungen

* mit Motion Sensor Box (MSB)



MSB-0001-A in der Gondel

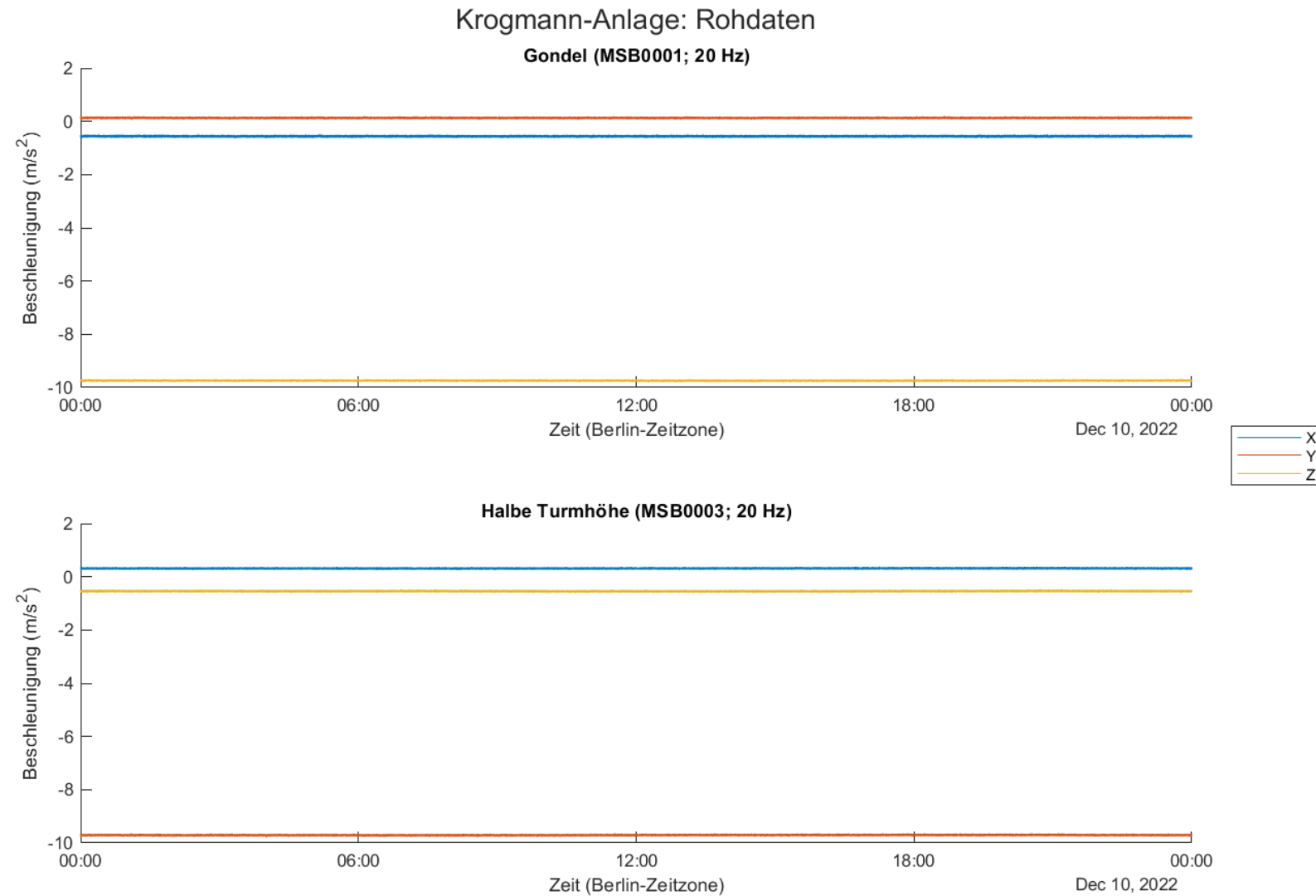


MSB-0003-A und weiteres Gehäuse für Stromversorgung in ca. 16 m Höhe

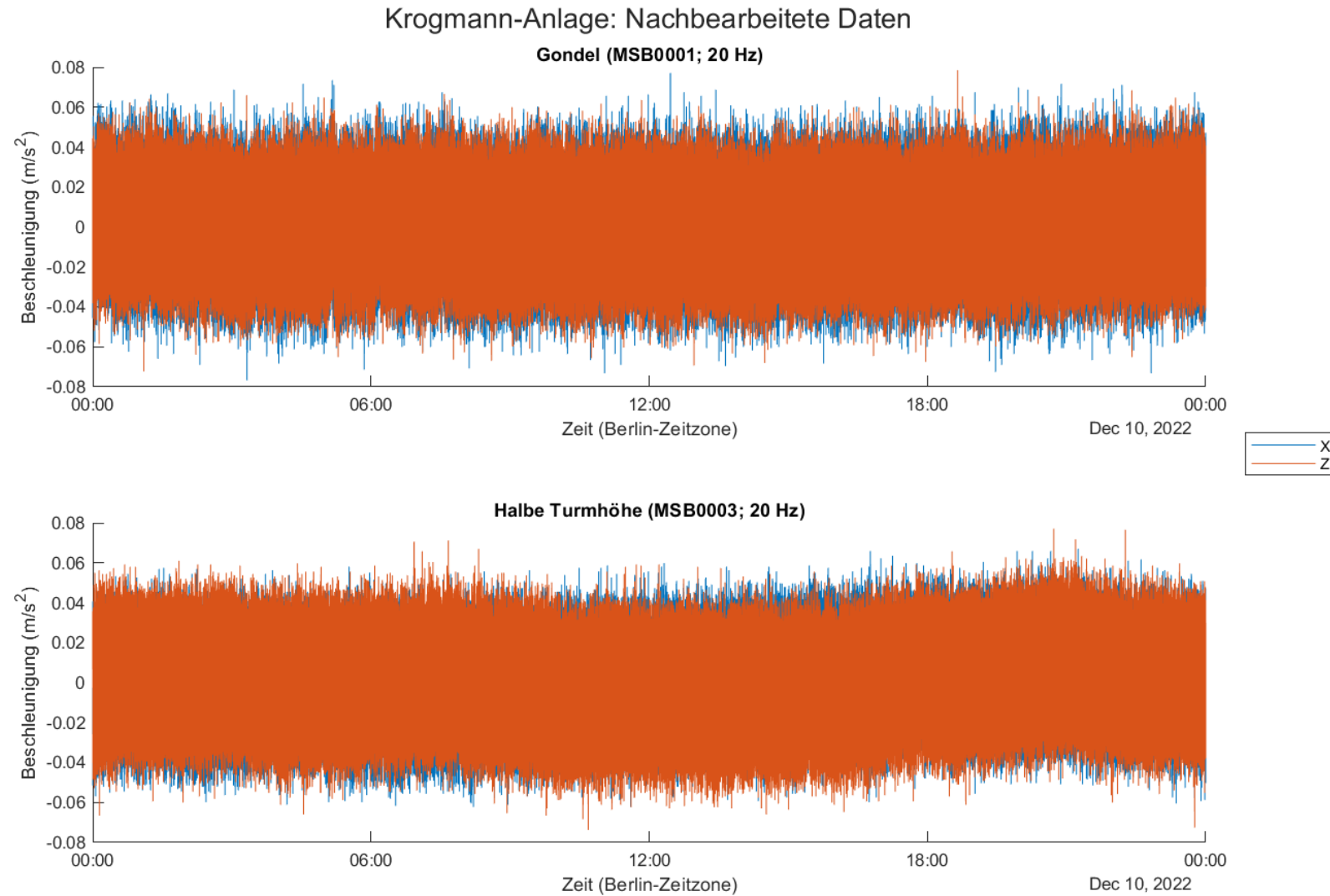


Lidar ZX300

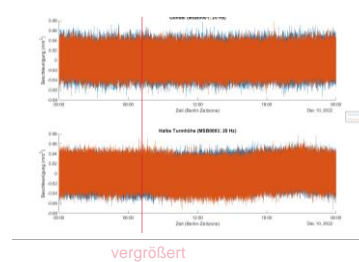
Beschleunigungs- rohdaten vom 10. Dezember 2022



Daten nach Abzug
der Mittelwerte:
Peaks bei nur 0.05
 m/s^2

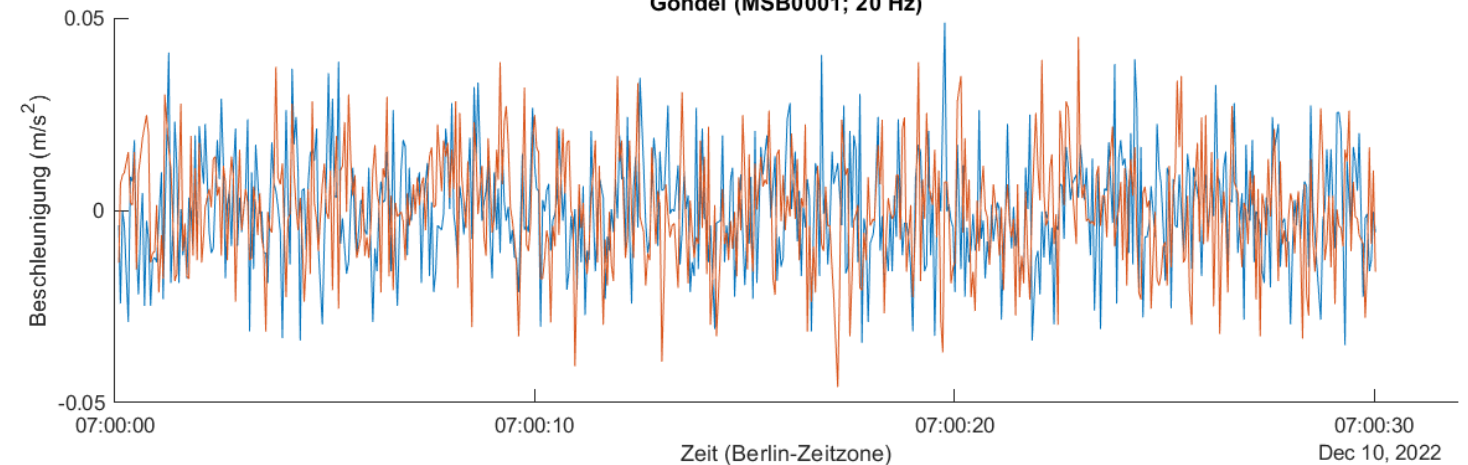


Vergrößerter Ausschnitt (30 Sekunden)

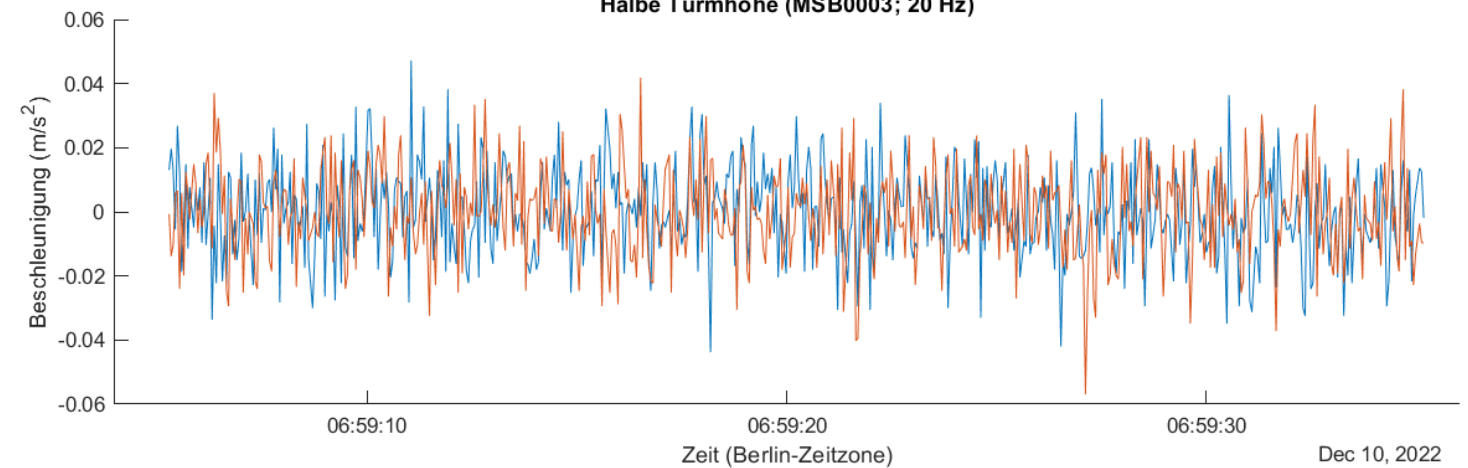


Krogmann-Anlage: Nachbearbeitete Daten

Gondel (MSB0001; 20 Hz)

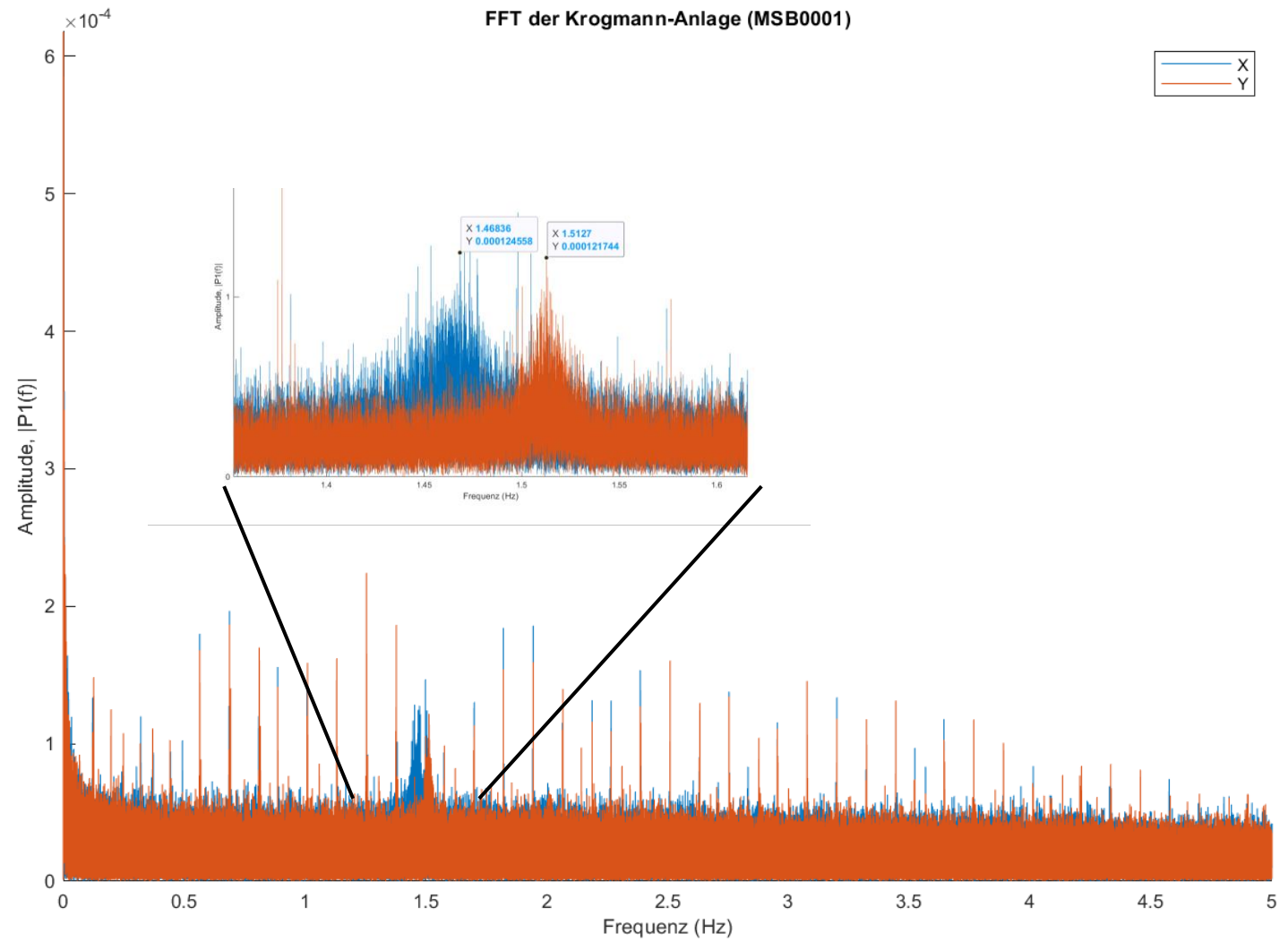


Halbe Turmhöhe (MSB0003; 20 Hz)



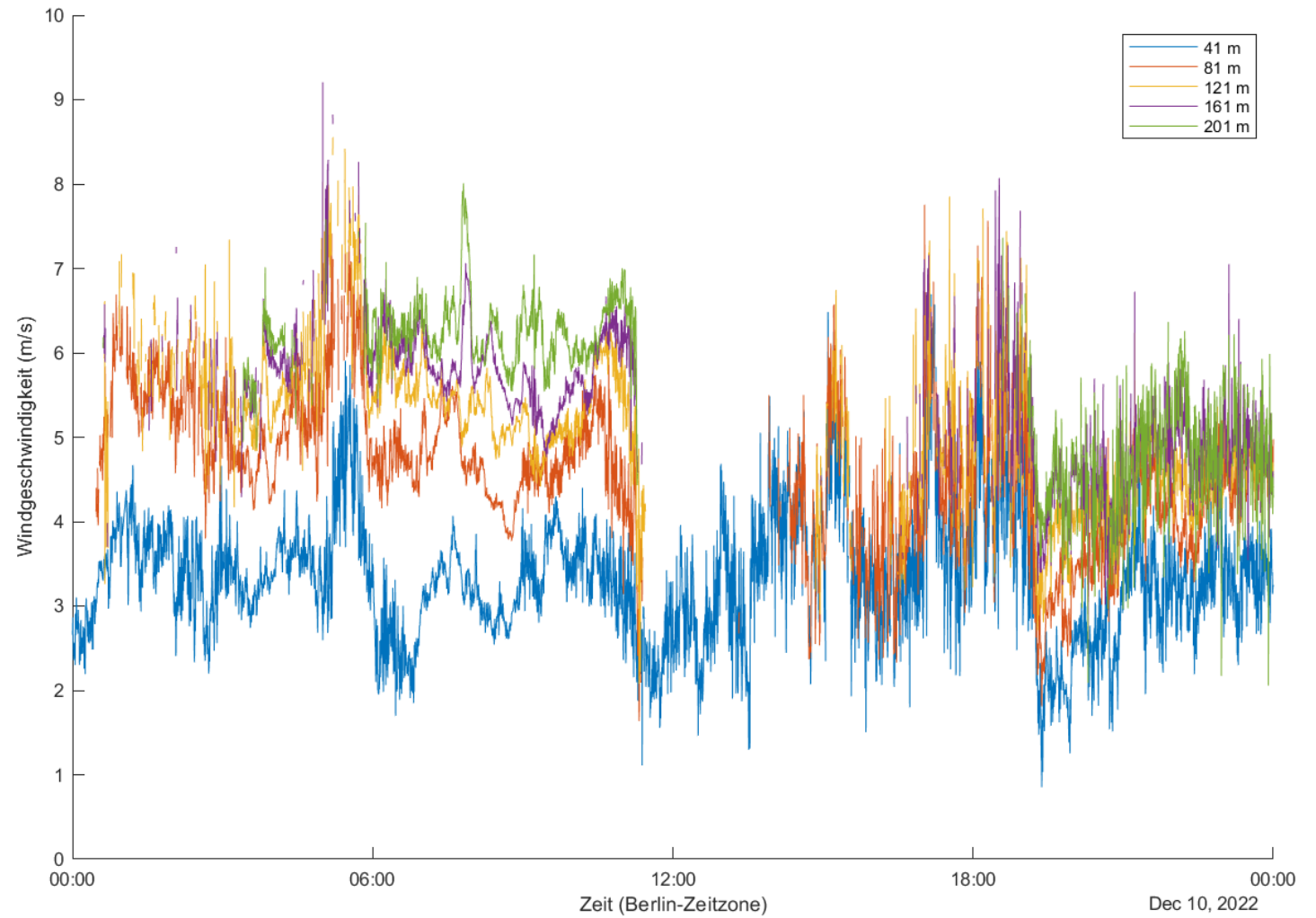
FFT zeigt Peak, der
vermutlich aus der
Biege-Eigenfrequenz
resultiert

- X-Signal: 1,46 Hz
- Y-Signal: 1,51 Hz
- Anlagendokumentation: 1,71 Hz

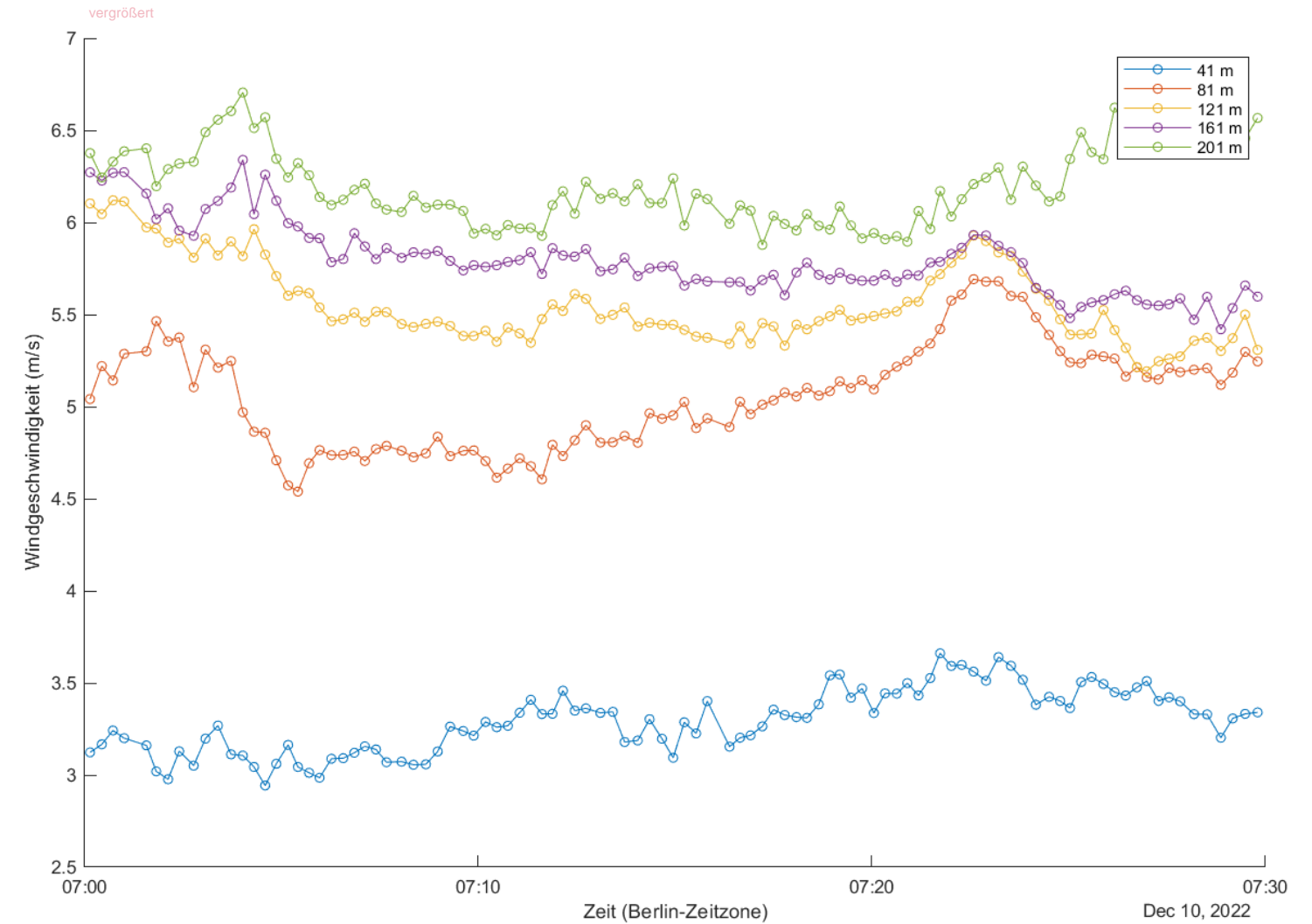
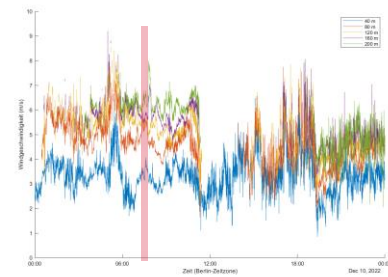


Lidar-Daten vom 10. Dezember 2022 (24 Stunden)

- Mit zunehmender Messhöhe nimmt die Datenverfügbarkeit ab: Von 100% (1 m) und 98% (21 m) auf 43% (201 m).

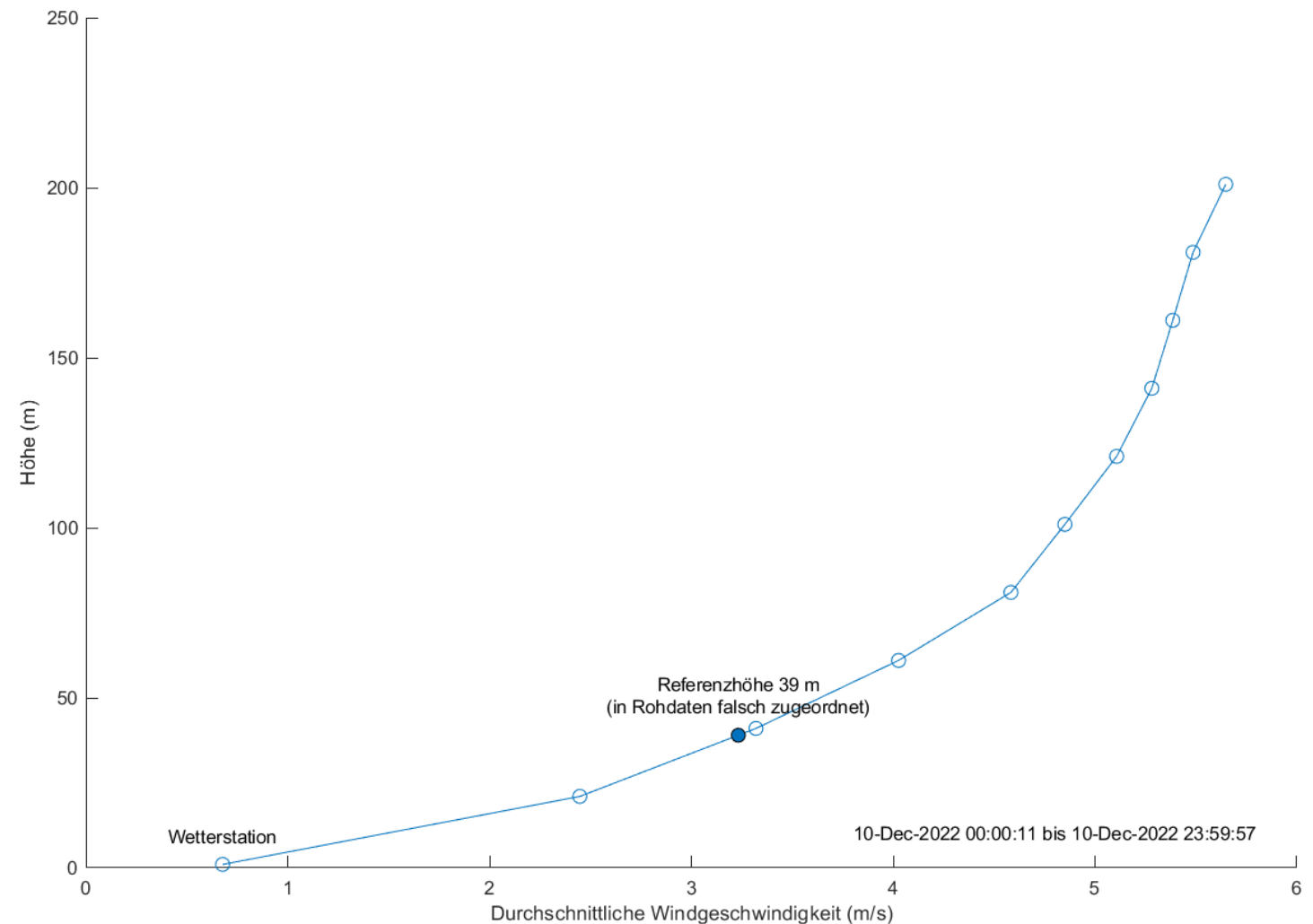


Vergrößerter Ausschnitt (30 Minuten)




Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten

- Die aus der Contact-Datenbank stammenden Rohdaten haben eine falsche Höhenzuweisung, die im Post-Processing korrigiert wurde
- In der WindIO-Datenpipeline werden die Messhöhen über Nummern aus dem Modbus-Register gelesen, die „height_11“ wird in der „lidar-data“ Software fälschlich als 0 m gelesen, ist aber 38 m ab Lidaroberkante
- In den Rohdaten sind alle Höhen ab Lidaroberkante, sodass im Post-Processing noch die Distanz von Boden zu Lidaroberkante (1 m) addiert wurde
- „lidar-data“ Software:
https://github.com/project-windio/lidar-data/blob/main/src/lidar_data.py



Durchschnittliche Windgeschwindigkei- ten in Tabellenform

| Messhöhe (m) | Mittelwert (m/s) | Standardabweichung (m/s) | Datenverfügbarkeit (%) |
|--------------|------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 0.68 | 0.43 | 100% |
| 21 | 2.45 | 0.78 | 98% |
| 39 | 3.23 | 0.72 | 98% |
| 41 | 3.32 | 0.73 | 98% |
| 61 | 4.03 | 0.81 | 90% |
| 81 | 4.58 | 0.85 | 82% |
| 101 | 4.85 | 0.86 | 75% |
| 121 | 5.11 | 0.85 | 67% |
| 141 | 5.28 | 0.82 | 62% |
| 161 | 5.39 | 0.81 | 55% |
| 181 | 5.49 | 0.83 | 48% |
| 201 | 5.65 | 0.92 | 43% |



Senvion-Anlage

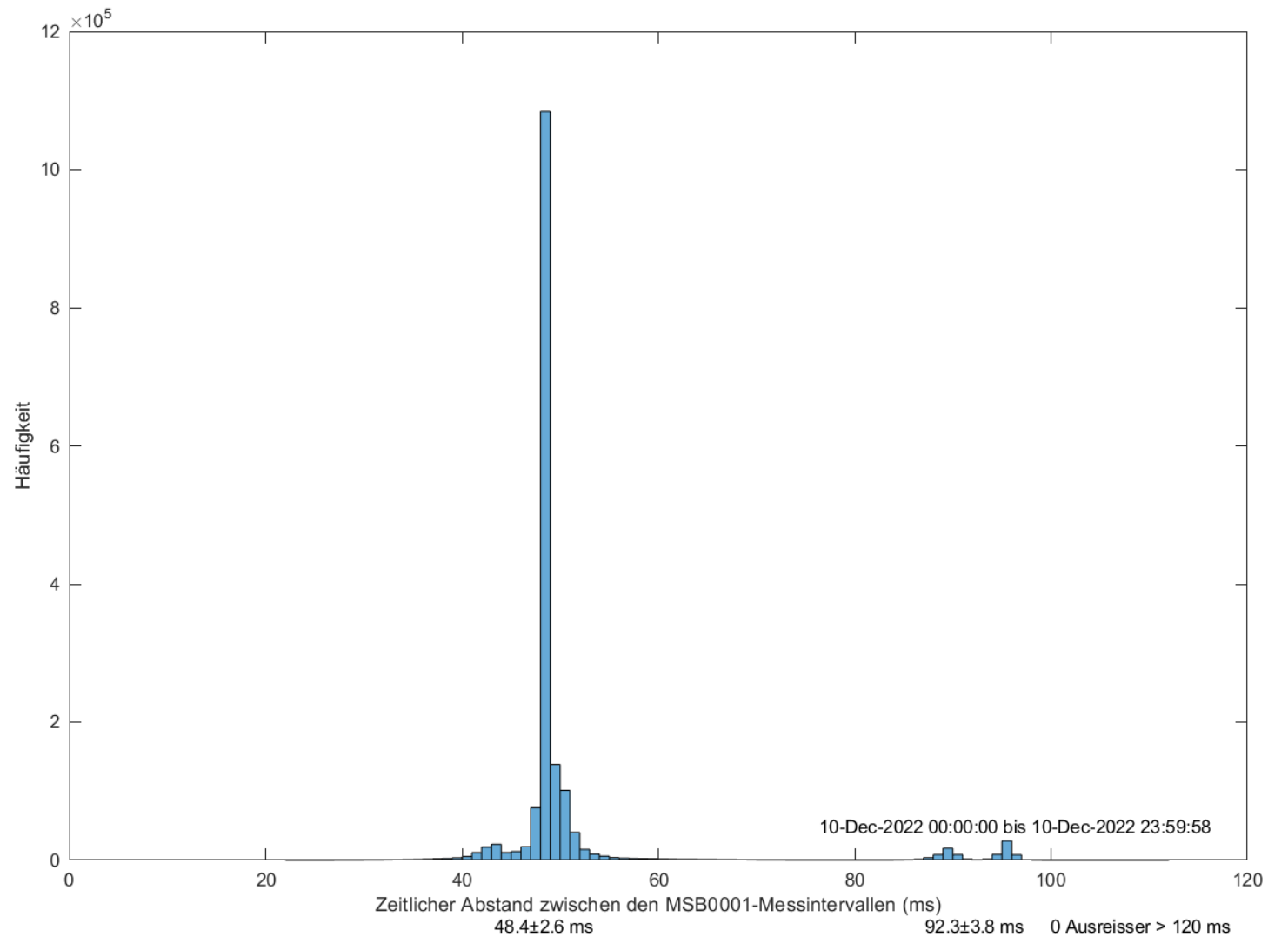


Material, Methode & Datenverfügbarkeit

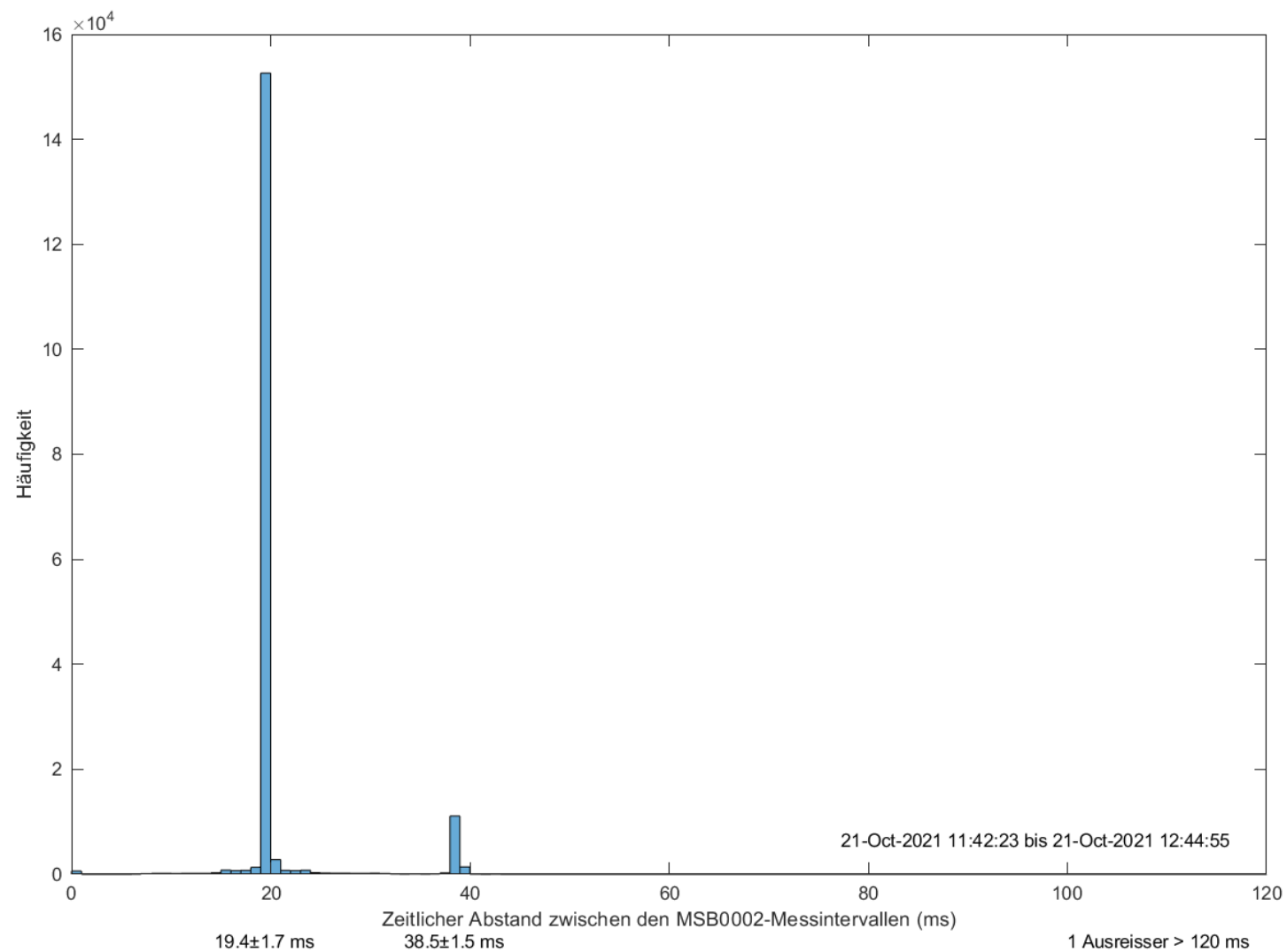
Material, Methode & Datenverfügbarkeit

- Beschleunigungsmessung mit Motion Sensor Box (Hersteller: Universität Bremen & Flucto GmbH, Deutschland, <https://github.com/flucto-gmbh/motion-sensor-box>)
 - Wichtig zu wissen bei der Dateninterpretation:
 - Zeitliche Abstände zwischen einzelnen Messungen sind nicht exakt konstant sondern variieren:
 - MSB0001 (Krogmann; ca. 20 Hz): Hauptmodus bei $48,4 \pm 2,5$ ms und ein Nebenmodus bei $91,9 \pm 4,5$ ms (siehe folgende Abbildung)
 - MSB0002 (Senvion; ca. 48 Hz): Hauptmodus bei $19,4 \pm 1,7$ ms und ein Nebenmodus bei $38,5 \pm 1,5$ m (siehe folgende Abbildung)
- Lidar ZX300 (Hersteller: ZX Lidars, Großbritannien)
 - Wichtig zu wissen bei der Dateninterpretation:
 - Es besteht Unsicherheit, ob die Höhenzuweisung korrekt ist (aufgrund der selbst entwickelten Datenpipeline über die Modbus-Schnittstelle). In den meisten Messzeiträumen sind manche Höhenmessungen nicht verfügbar (eine Eigenschaft des ZX300 Lidars).
 - Zeitliche Abstände zwischen Messintervallen (einmal alle Höhen) sind nicht exakt konstant sondern variieren: Hauptmodus $17,0 \pm 1,1$ s und ein Nebenmodus bei $34,4 \pm 1,2$ s (siehe folgende Abbildung)
 - Mit zunehmender Messhöhe nimmt die Datenverfügbarkeit ab: Von 100% (1 m) und 98% (21 m) auf 43% (201 m; siehe folgende Abbildung)
- Daten und Software:
 - Lidar-Datensatz ist als .mat-Datei öffentlich: <https://github.com/ahaselsteiner/2023-windio-data-exploration/blob/main/lidar.mat>
 - Beschleunigungsdaten-Datensätze sind nicht öffentlich; ggf. auf Anfrage
 - Skript der Datenanalyse, welches die Abbildungen reproduziert: <https://github.com/ahaselsteiner/2023-windio-data-exploration> (Ausführen nur mit Beschleunigungsdatensätzen möglich)
 - „lidar-data“ Software für Lidar-Datenübertragung mithilfe von Modbus-API und MQTT: https://github.com/project-windio/lidar-data/blob/main/src/lidar_data.py

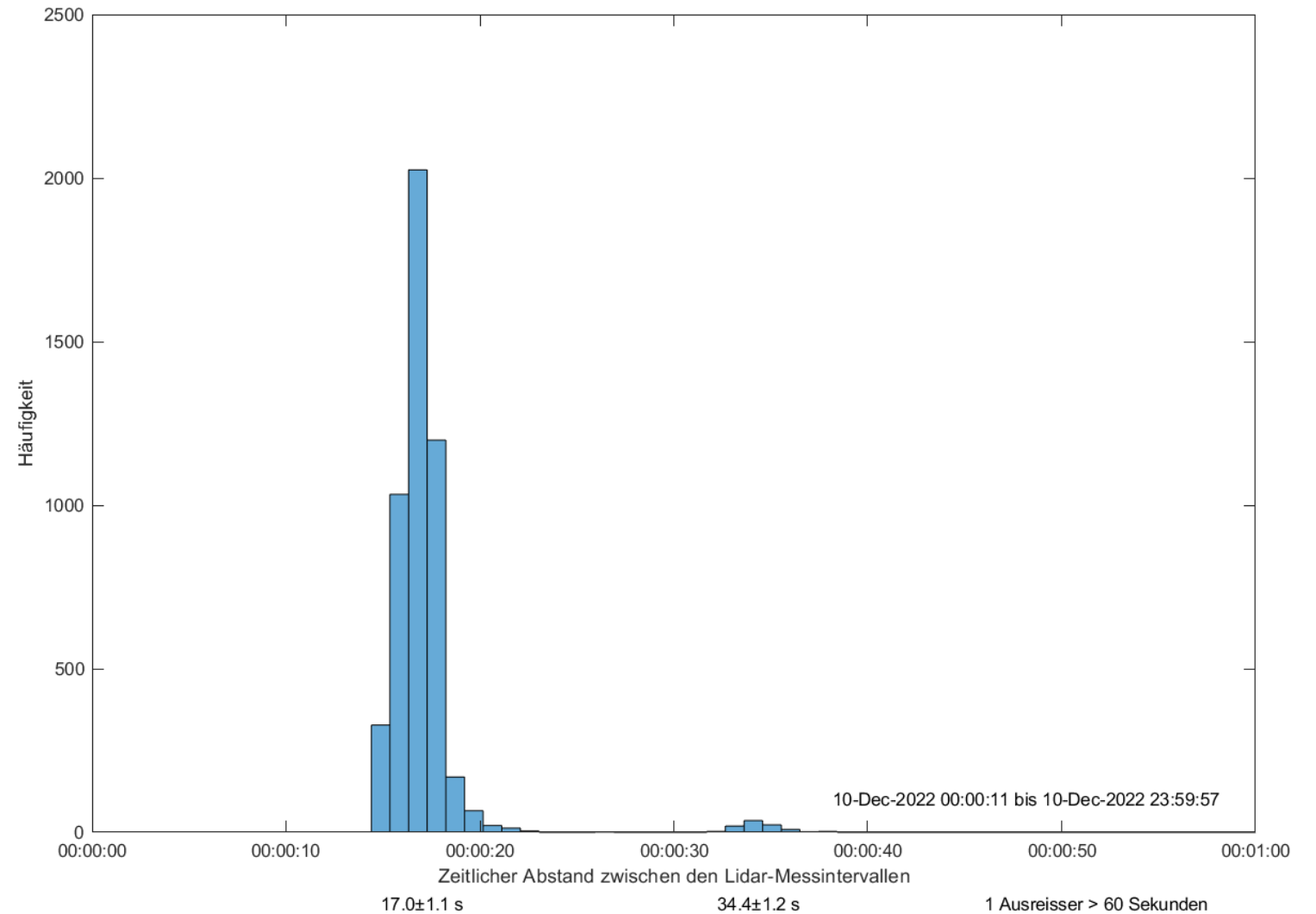
Messintervall MSB0001 (Krogmann, 20 Hz)



Messintervall MSB0002 (Senvion, 48 Hz)



Messintervall Lidar (0.06 Hz)



Literatur

- Haselsteiner, A. F., Frieling, M., Mackay, E., Sander, A., & Thoben, K. D. (2022). Supplemental material for “Long-term extreme response of an offshore turbine: How accurate are contour-based estimates?” *Renewable Energy*, 181, 945–965. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.077>
- Lewis, A. (2018). *ZX 300 Configuration Guide*.
- Nemati, Z. (2022). *Kurzzeitprognose der Turmschwingungskinetik von Onshore-Windenergieanlagen*. Bachelor-Thesis, University of Bremen.
- Verma, A. S., Jiang, Z., Ren, Z., Gao, Z., & Vedvik, N. P. (2019). Response-based assessment of operational limits for mating blades on monopile-type offshore wind turbines. *Energies*, 12(10), 1–26. <https://doi.org/10.3390/en12101867>
- Wondra, B., Malek, S., Botz, M., Glaser, S. D., & Grosse, C. U. (2019). Wireless High-Resolution Acceleration Measurements for Structural Health Monitoring of Wind Turbine Towers. *Data-Enabled Discovery and Applications*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s41688-018-0029-y>