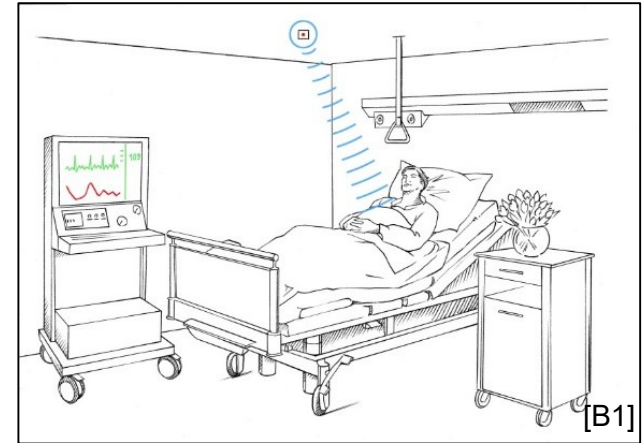


Berührungslos und präzise: Wie Radar-Sensoren Herz und Atmung erfassen

Nacht der Biosignale 2025
Future Work Lab Krefeld
Christoph Domnik | 07.11.2025



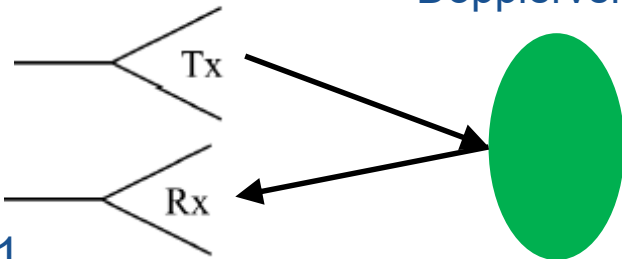
Radar-Technologie

Funktionsweise von Radar Sensoren:

1. Senden eines hochfrequenten Signals
2. Signal reflektiert an einem Objekt
3. Reflektiertes Signal wird wieder empfangen

Unterschiede zwischen Sende- und Empfangssignal werden ausgewertet

- Laufzeit → Entfernung
- Leistung → Rückstreuquerschnitt (RCS)
- Dopplerverschiebung → Geschwindigkeit



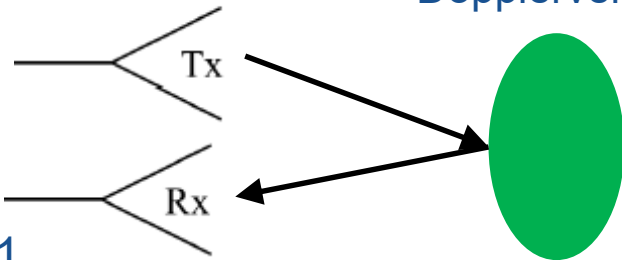
Radar-Technologie

Funktionsweise von Radar Sensoren:

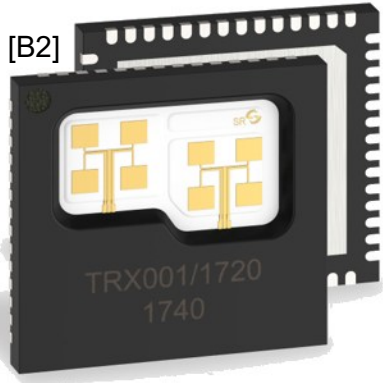
1. Senden eines hochfrequenten Signals
2. Signal reflektiert an einem Objekt
3. Reflektiertes Signal wird wieder empfangen

Unterschiede zwischen Sende- und Empfangssignal werden ausgewertet

- Laufzeit → Entfernung
- Leistung → Rückstreuquerschnitt (RCS)
- Dopplerverschiebung → Geschwindigkeit



[B2]



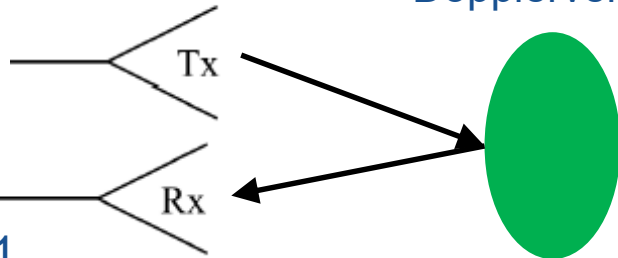
Radar-Technologie

Funktionsweise von Radar Sensoren:

1. Senden eines hochfrequenten Signals
2. Signal reflektiert an einem Objekt
3. Reflektiertes Signal wird wieder empfangen

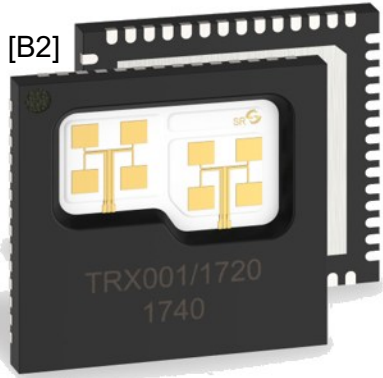
Unterschiede zwischen Sende- und Empfangssignal werden ausgewertet

- Laufzeit → Entfernung
- Leistung → Rückstreuquerschnitt (RCS)
- Dopplerverschiebung → Geschwindigkeit



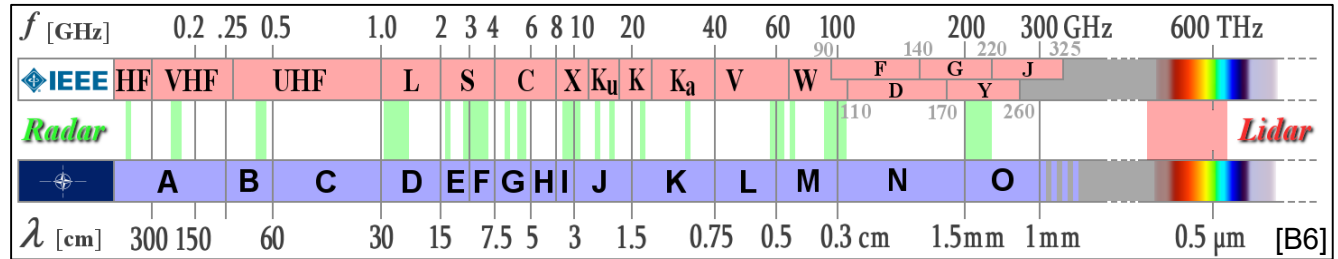
[B3]

[B2]



Radar-Technologie

Höhere Frequenzbereiche werden zunehmend erschlossen:



Radar-Sensoren werden hochintegriert realisiert.

- Kleinere und günstigere Anwendungen
- Antennen „on-chip“

Radar-Sensoren können kleinste Bewegungen in der Größenordnung einiger Mikrometer messen.



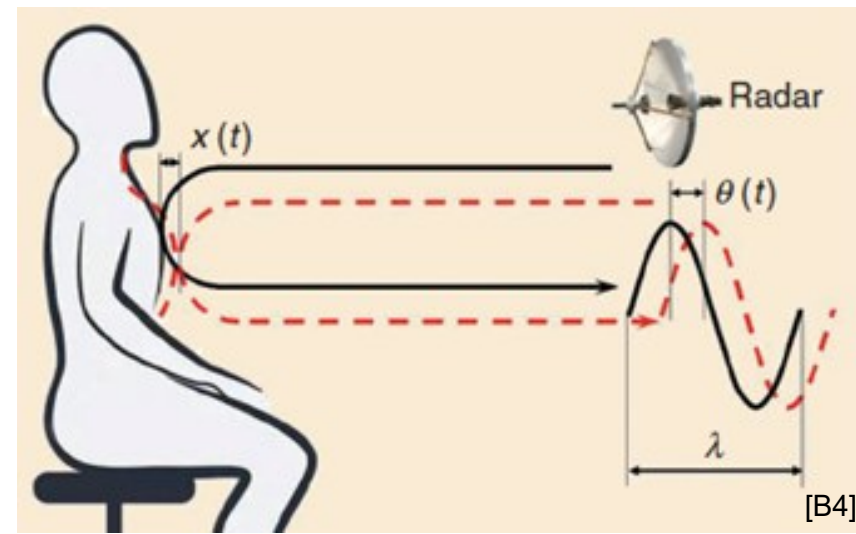
[B3]

Der Mikrodoppler

Änderung der Distanz $x(t)$ zum Zielobjekt



Änderung in der Phase $\Phi(t)$ im Empfangssignal



[B4]

Der Mikrodoppler

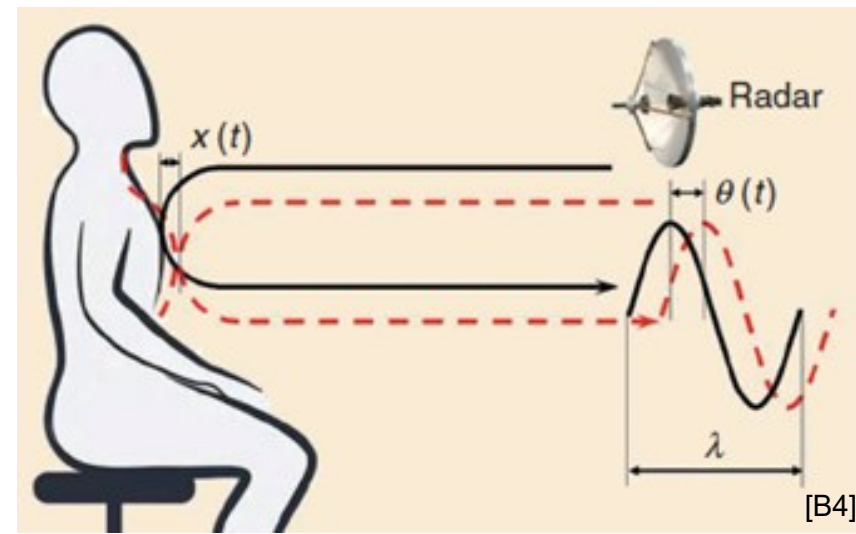
Änderung der Distanz $x(t)$ zum Zielobjekt



Änderung in der Phase $\Phi(t)$ im Empfangssignal

$$\Phi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot x(t)$$

$$\text{mit } \lambda = \frac{c_0}{f}$$



[B4]

Der Mikrodoppler

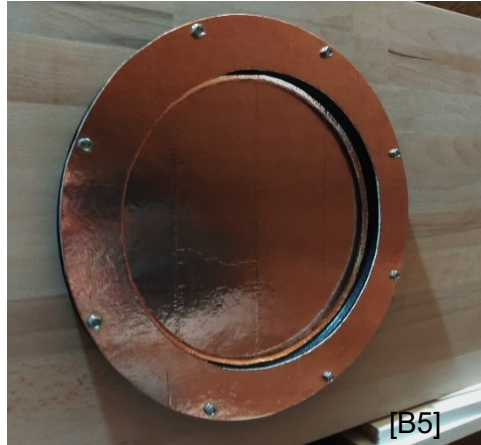
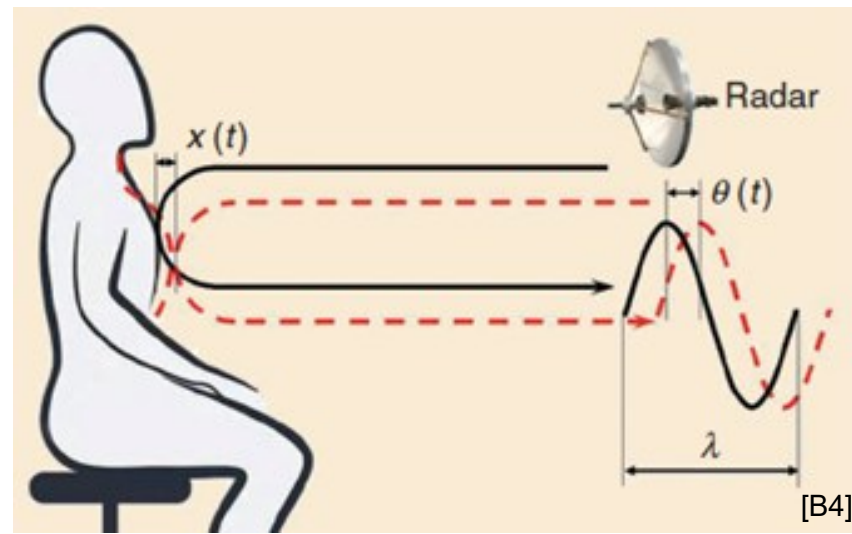
Änderung der Distanz $x(t)$ zum Zielobjekt



Änderung in der Phase $\Phi(t)$ im Empfangssignal

$$\Phi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot x(t)$$

$$\text{mit } \lambda = \frac{c_0}{f}$$

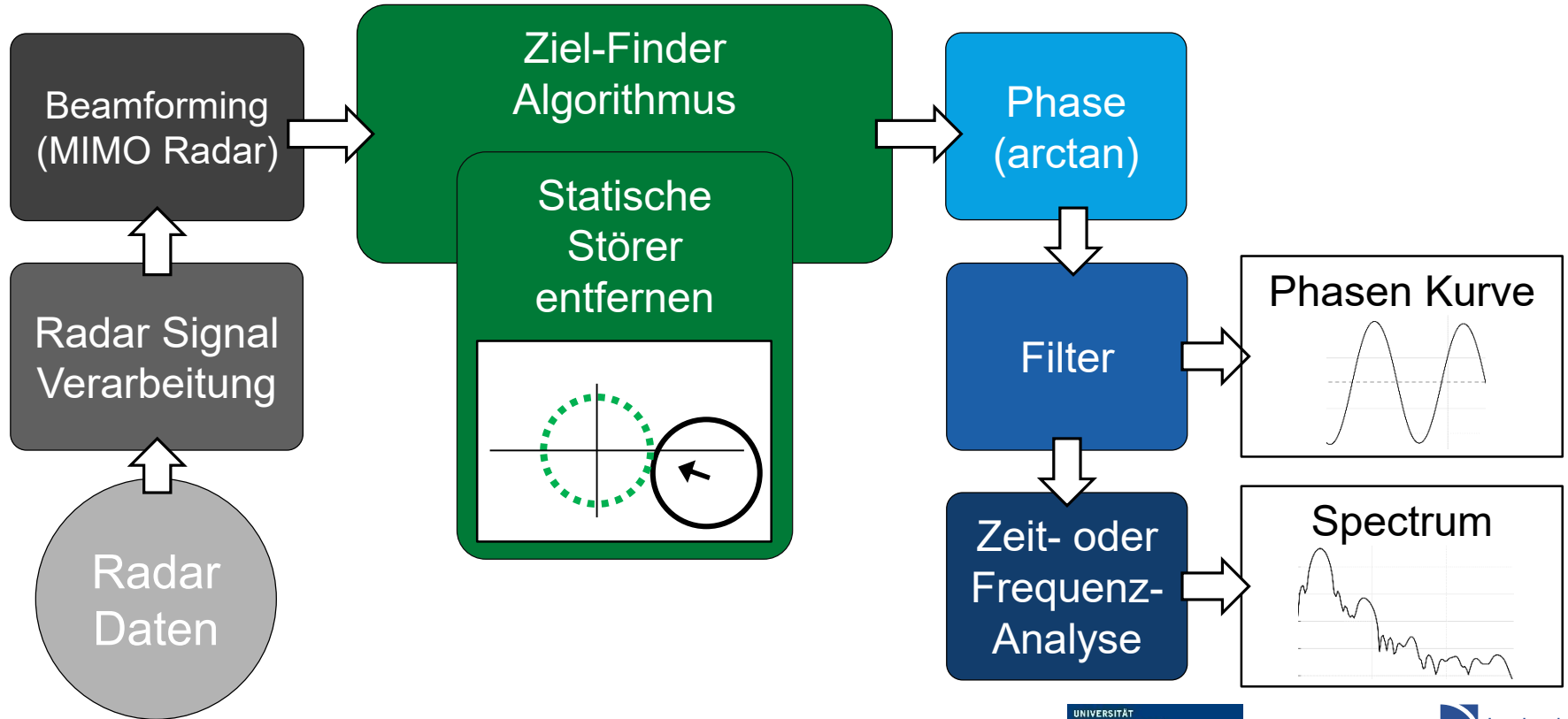


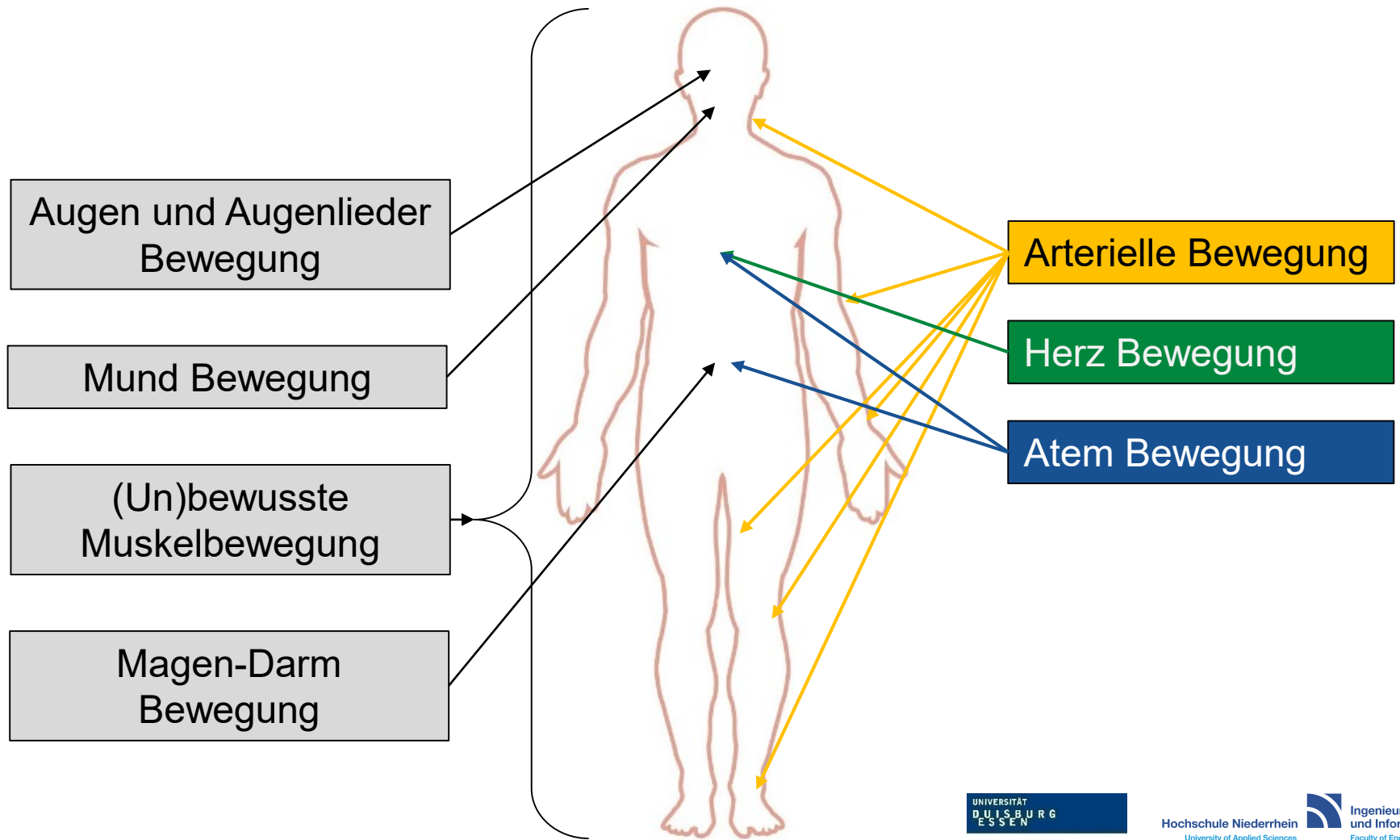
Messung der Genauigkeit mit mechanischen Messaufbauten z.B.

- Lautsprechern
- Pendeln [6]

Bewegungen bis 4 μm sind auflösbar.

Radar Signalverarbeitung





Atmung

Frequenz:
0.1 – 0.5 Hz

Amplitude:
1 – 12 mm

Herzschlag

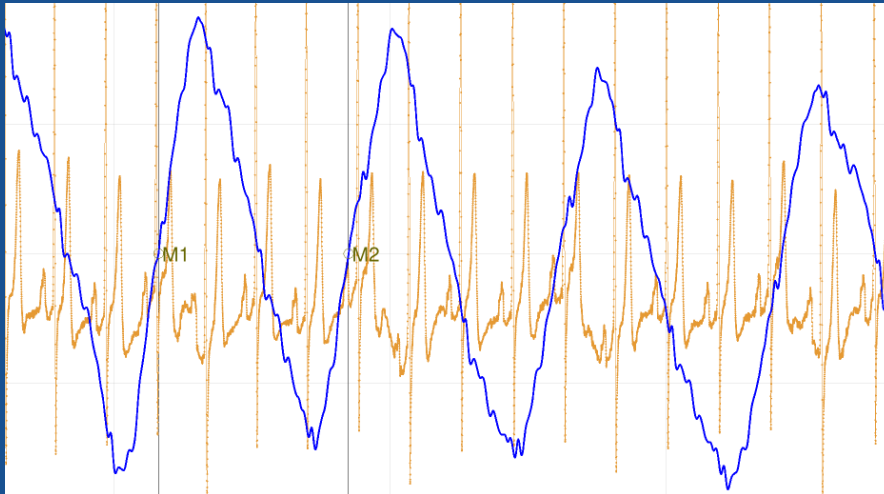
Frequenz:
0.7 – 3 Hz

Amplitude:
0.1 – 0.6 mm

Atmung

Beispiele für Anwendungen

- Hilfe bei der Strahlentherapie (Froehly et al. [10])
- Messung von Lungenvolumen (Massagram et al. [9])
- Berührungslose Atmungsüberwachung im Schlaflabor

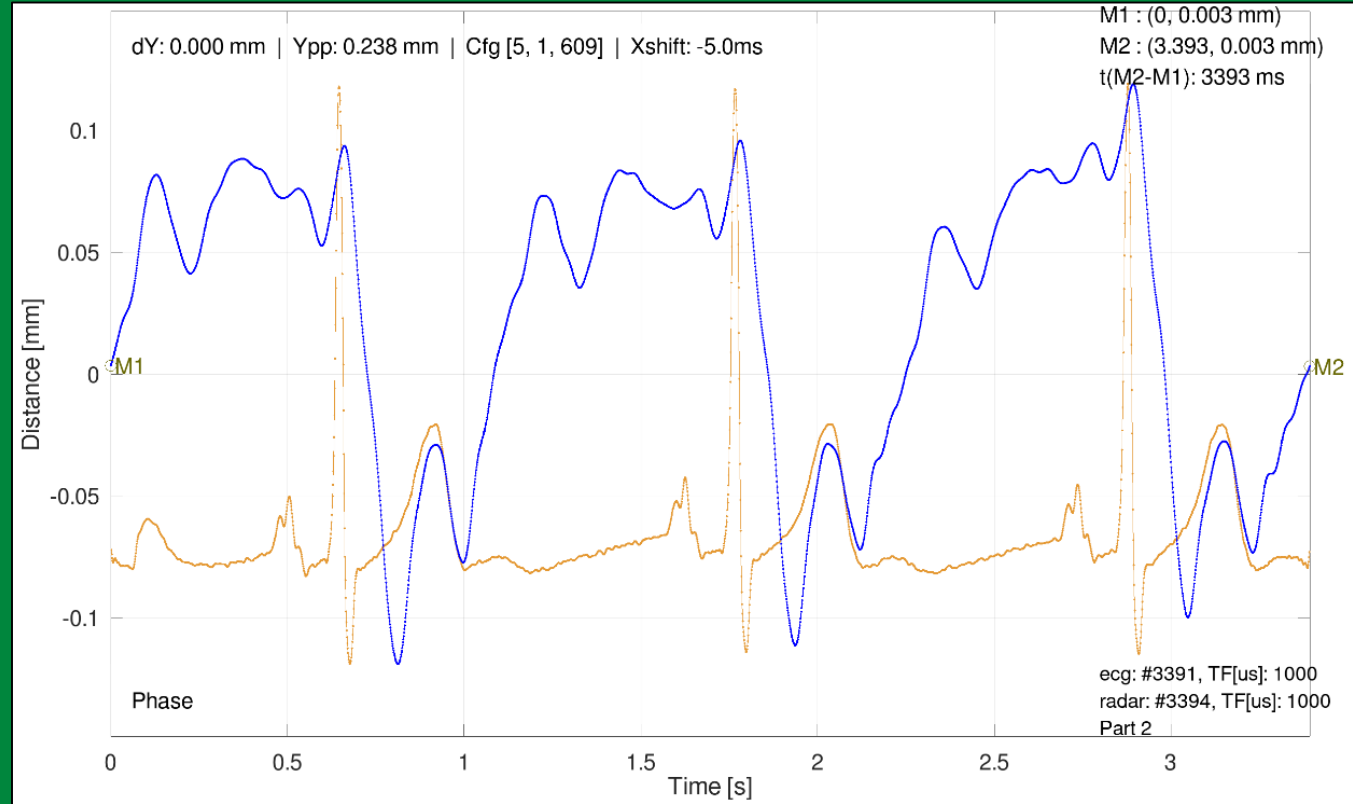


Herzschlag

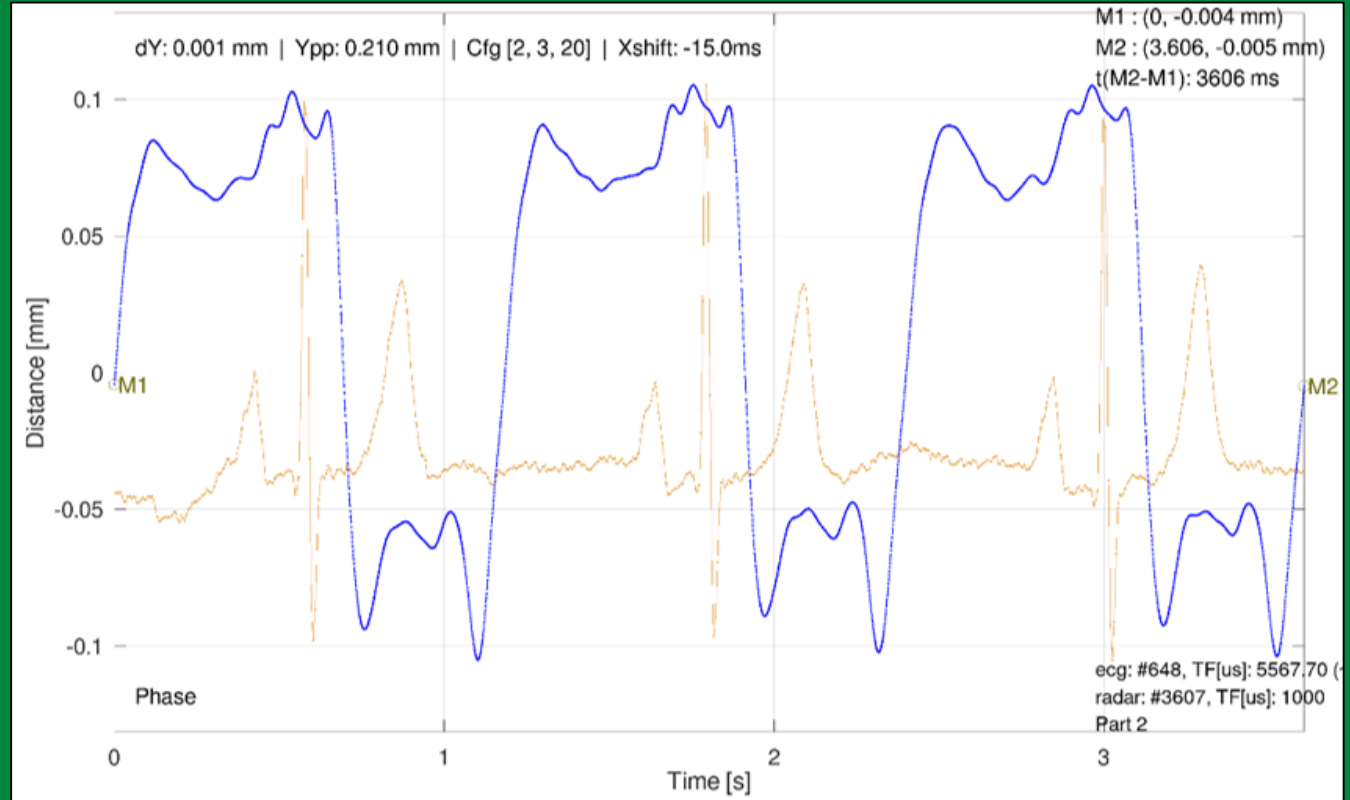
Herausforderungen:

1. Die Bewegung durch den Herzschlag ist deutlich kleiner als andere Bewegungen (z.B. Atembewegung). Lösung:
 - Messung in ruhiger Position
 - Messung bei willentlichem Anhalten der Atmung
 - Filtern von Störbewegungen
2. Der Mensch ist kein guter, stabiler Radar Reflektor, sodass die reflektierte Leistung stark über die Zeit schwanken kann.
3. Es wird nur die Bewegung an der Hautoberfläche gemessen.

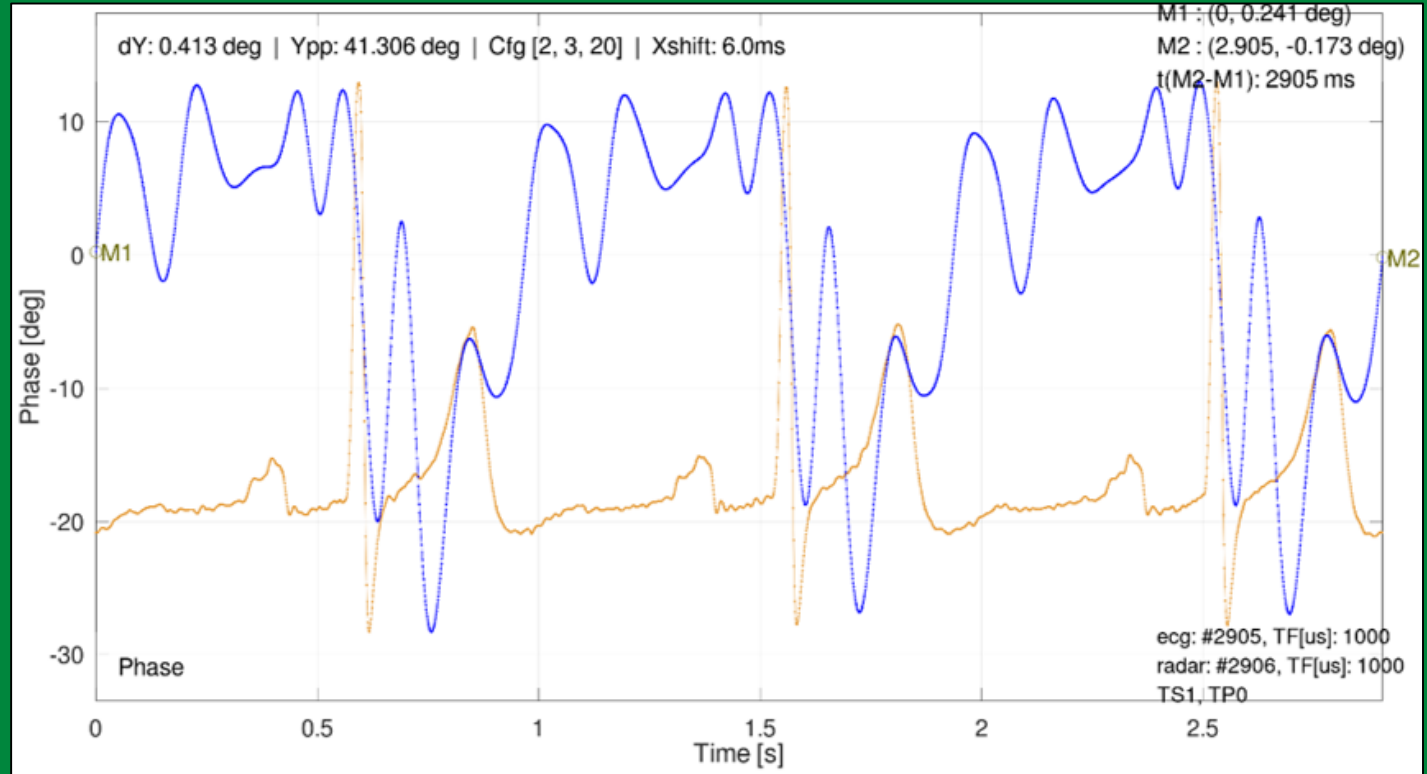
Herzschlag



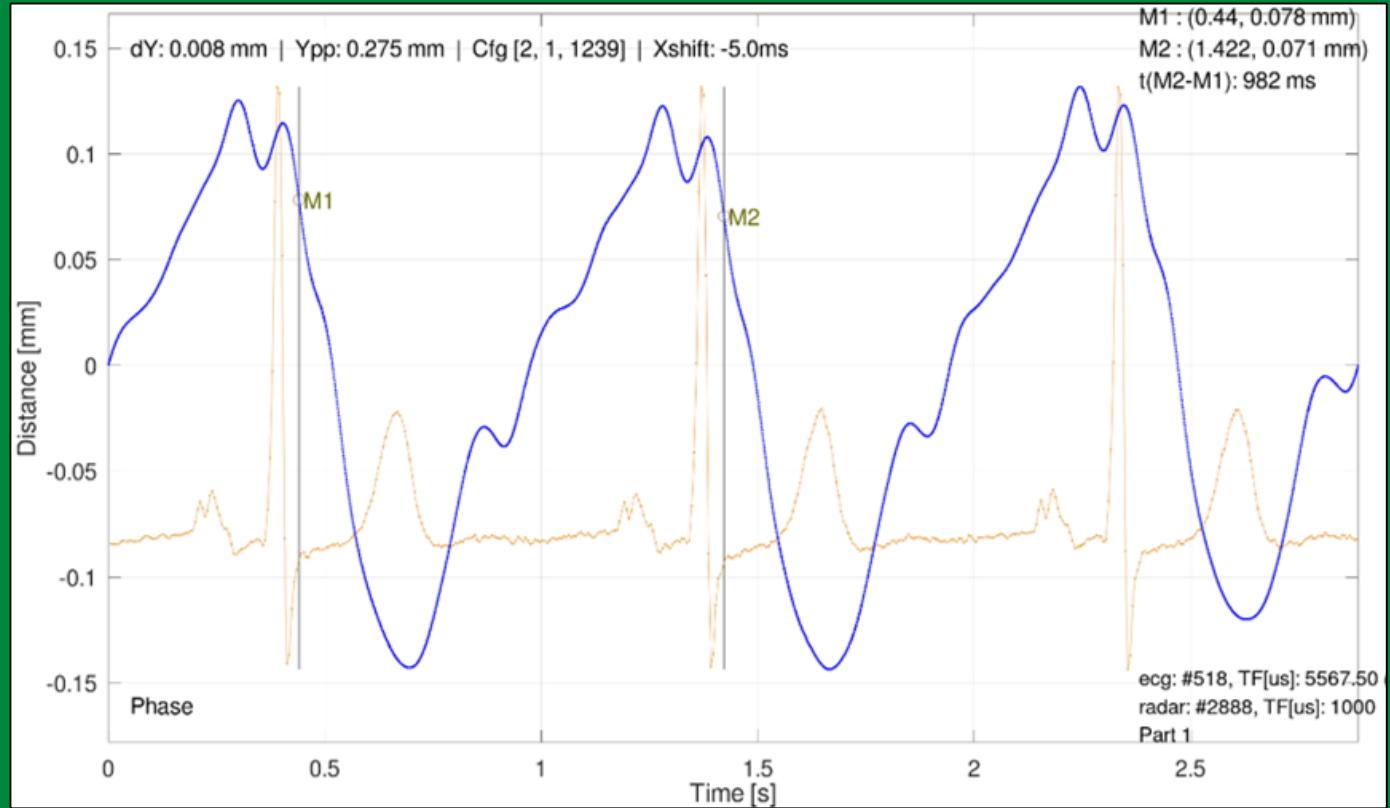
Herzschlag



Herzschlag



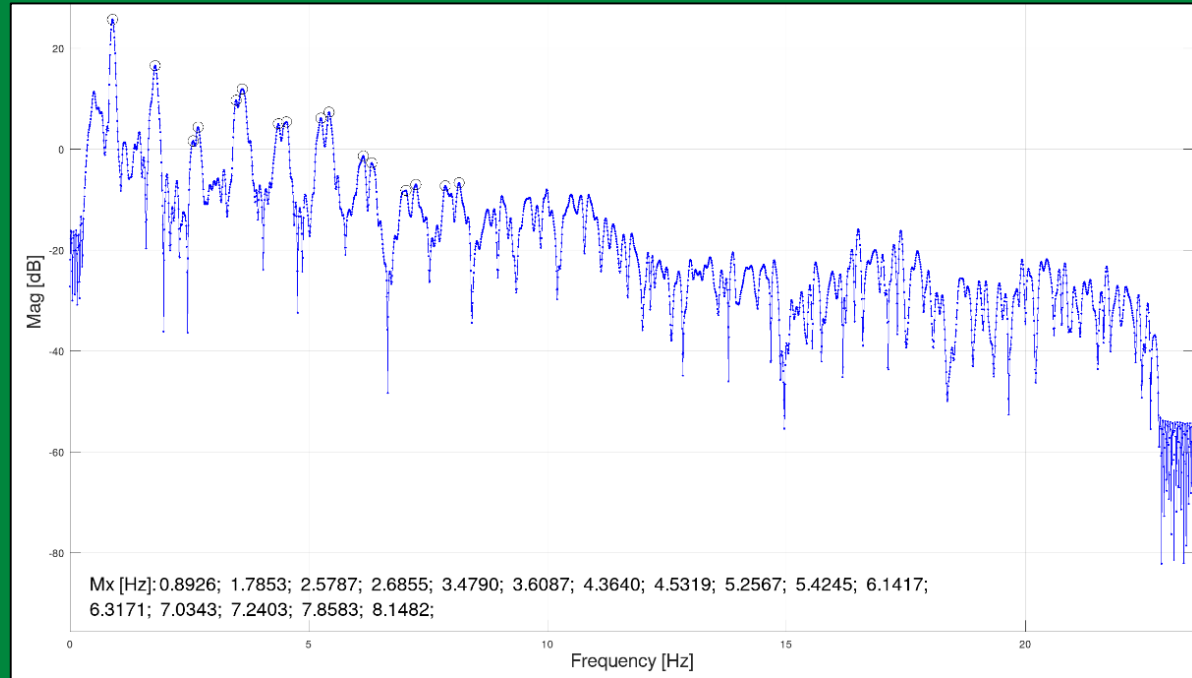
Herzschlag



Herzschlag

Auswertungen:

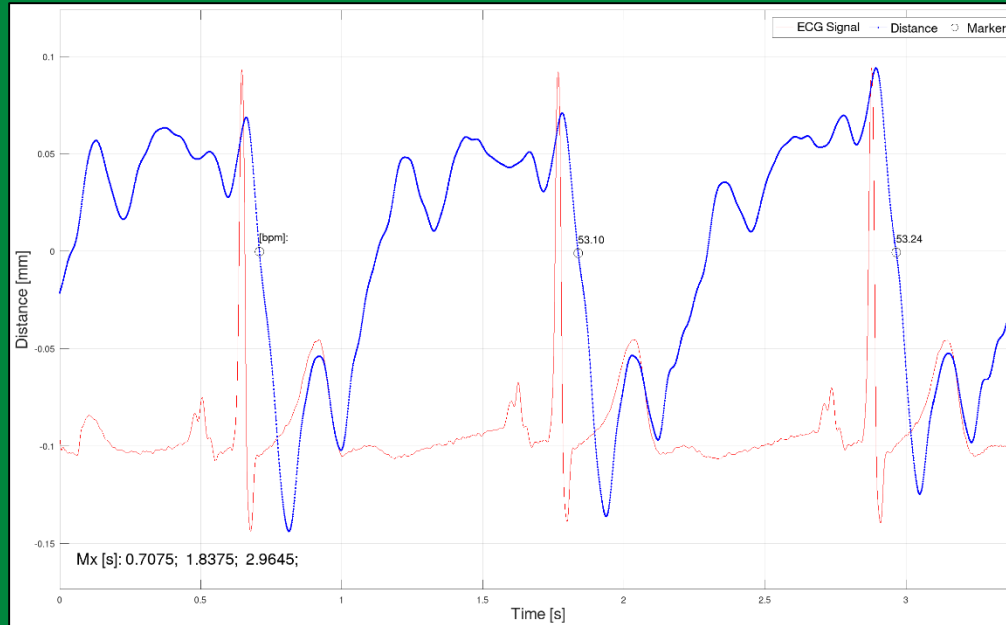
1. Frequenzanalyse eines Herzschlag-Signales



Herzschlag

Auswertungen:

1. Frequenzanalyse eines Herzschlag-Signales
2. Beispiel für eine Zeitauswertung der Herzkammer-Kontraktionen im Vergleich zur EKG-Referenz



Mittlerer Absoluter Fehler	0,143 bpm
Standardabweichung des absoluten Fehlers	0,038 bpm
Maximaler Fehler	0,53 bpm

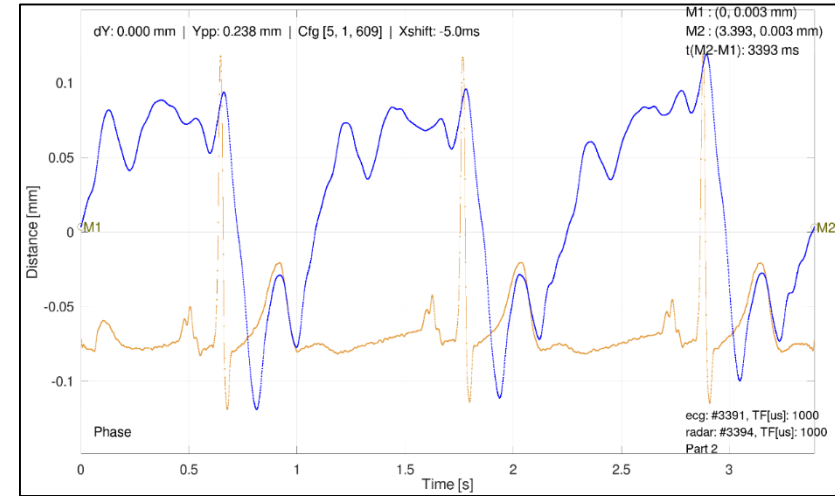
Zusammenfassung

Radare können Bewegungen im μm Bereich messen.

Anwendungen in der Medizintechnik:

- Berührungslose Messung der Herzfrequenz und Herztöne
- Bestimmung der Atembewegung und des Lungenvolumens

Besonderes Interesse für Telemedizin, Heimdiagnostik und Sportmedizin



Herzkammer-Kontraktion
besonders signifikant und
gut geeignet für
Herzfrequenz Bestimmung

Quellen und Literatur

- [1] – V. Chen, F. Li, S.-S. Ho, H. Wechsler, "Micro-doppler effect in radar: phenomenon, model, and simulation study," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 42(1), 2–21, 2006, doi:10.1109/taes.2006.1603402.
- [2] – Y. Zhang, F. Qi, H. Lv, F. Liang, J. Wang, "Bioradar Technology: Recent Research and Advancements," IEEE Microwave Magazine, 20(8), 58–73, 2019, doi:10.1109/mmm.2019.2915491.
- [3] – Olga Boric-Lubecke; Victor M. Lubecke; Amy D. Droitcour; Byung-Kwon Park; Aditya Singh, "Physiological Doppler Radar Overview," in Doppler Radar Physiological Sensing , IEEE, 2016, pp.69-94, doi: 10.1002/9781119078418.ch4.
- [4] – J. Liu, Y. Li, C. Li, C. Gu, J.-F. Mao, "Accurate Measurement of Human Vital Signs With Linear FMCW Radars Under Proximity Stationary Clutters," IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, 15(6), 1393–1404, 2021, doi:10.1109/tbcas.2021.3123830.
- [5] – C. Domnik, M. Meuleners, C. Degen, "Radar Evaluation Setup for the Replication of Chest Wall Movement from Vital Signs," in 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, 2022, doi:10.1109/embc48229.2022.9871203.
- [6] – S. Dong, Y. Zhang, C. Ma, C. Zhu, Z. Gu, Q. Lv, B. Zhang, C. Li, L. Ran, "Doppler Cardiogram: A Remote Detection of Human Heart Activities," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 68(3), 1132–1141, 2020, doi:10.1109/tmmt.2019.2948844.
- [7] – Will, C., Shi, K., Schellenberger, S. et al. Radar-Based Heart Sound Detection. Sci Rep 8, 11551 (2018). doi:10.1038/s41598-018-29984-5.
- [8] – C. Domnik, D. Erni, C. Degen "Measurement System for Evaluation of Radar Algorithms using Replication of Vital Sign Micro Movement and Dynamic Clutter", Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 8, no. 3, pp. 29-39 (2023), doi:10.25046/aj080304
- [9] – W. Massagram, N. Hafner, V. Lubecke and O. Boric-Lubecke, "Tidal Volume Measurement Through Non-Contact Doppler Radar With DC Reconstruction," in IEEE Sensors Journal, vol. 13, no. 9, pp. 3397-3404, Sept. 2013, doi: 10.1109/JSEN.2013.2257733.
- [10] – A. Froehly, S. Nowok, A. Shoykhetbrod, R. Brauns, P. Wallrath, "Radar Based Torso Tracking in Radiation Therapy", in Proceedings of the 22nd European Radar Conference, 2025, pp. 141-144, ISBN: 978-2-87487-083-5.

Bildquellen

[B1] – <https://www.rfbeam.ch/use-cases>

[B2] – <https://siliconradar.com/wp-content/uploads/2018/08/TRX-120-001-front.jpg>

[B3] – <https://simpleflying.com/airport-radar-guide/>

[B4] – [2]

[B5] – [8]

[B6] – <https://www.radartutorial.eu/07.waves/Frequenz-%20und%20Wellenbereiche.de.html>

Vielen Dank!
Gibt es Fragen?