

# Wasserstandmessung mittels low-cost-Sensorik an kleinen Fließgewässern

---

Paul Schulze, Martin Engelmann, Frank Fuchs-Kittowski



**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

28. Workshop Umweltinformationssysteme (UIS 2021)

04.05.2021 – 07.05.2021

# Agenda

---

- Motivation und Ziele
- Methodik
- Fachlicher Hintergrund
  - Berührungslose Wasserstandsmessung
  - Verfügbare Sensoren zur berührungslosen Wasserstandsmessung
  - Architektur von low-cost-Messsystemen
- Anforderungen an low-cost-Sensoren zur berührungslosen Wasserstandsmessung
- Ergebnis: Sensoren und Messungen im Freiland
- Diskussion und Schlussfolgerungen
- Zusammenfassung und Fazit

# Motivation und Ziele

## Motivation

- Wahrscheinlichkeit von Hochwasser zunehmend
  - Hochwasser ist direkte Bedrohung und führt zu Todesfällen und hohen materiellen Schäden
    - gilt auch für kleine ungefährlich scheinende Gewässer
  - Amtliche Warnungen nur für größere Gewässer
  - Fehlende automatische Pegelsysteme an kleinen Fließgewässern (für Kommunen zu teuer)
- Bedarf an kostengünstigen automatischen Pegelsystemen

## Ziele

- Untersuchung von low-cost-Sensorik zur Entfernungsmessung
- Ermittlung von low-cost-Sensoren
  - die sich zur Konstruktion von kostengünstigen Pegelsystemen eignen



Bildquelle: <https://www.flickr.com/photos/thirau/8911131463> (CC BY-SA 2.0), unverändert  
Urheber: Flickr-Nutzer: Holger (<https://www.flickr.com/photos/thirau/>)



Bildquelle: <https://www.flickr.com/photos/thirau/8911846029/> (CC BY-SA 2.0), unverändert  
Urheber: Flickr-Nutzer: Holger (<https://www.flickr.com/photos/thirau/>)

# Methodik

---

- Untersuchung von low-cost-Sensorik zur Abstandsmessung
  - LiteraturReview
- Untersuchung und Vergleich von verschiedenen Sensoren, die verschiedene physikalische Effekte zur berührungslosen Abstandmessung nutzen
  - Ultraschall, Pulsradar und Lidar
- Experimentelle Überprüfung der geeignetsten Sensoren
  - Freiland-Experiment
- Bewertung der Ergebnisse auf Basis einer Literaturlauswertung

# Hintergrund: Berührungslose Wasserstandsmessung

- Verfahren mit Ultraschall und Pulsradar sind erprobte Verfahren
- Aktuell: Messverfahren auf Basis von Bildanalyseverfahren
- Sehr genaue Verfahren zur Pegelmessung

Einschränkungen:

- Freie Sicht
- Stromversorgung
- stabile Breitbandanbindung

**Bild 1:**  
Zeichenerkennung und  
Kantenerkennung

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquellen: Lin et al. 2013: Applications of Image Recognition for Real-Time Water Level and Surface Velocity ([Link](#))

**Bild 2:**  
Kantenerkennung

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquelle: Eng. et al. 2016: An Effective Camera Based Water level recording Technology for Flood Monitoring ([Link](#))

**Bild 3**  
„Region Growing“

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquellen: Eltner et al. 2018: Entwicklung eines low-cost Kamerapegels zur Erfassung hydrologischer Extremereignisse ([Link](#))

# Hintergrund: Sensoren zur berührungslosen Wasserstandsmessung

- Fokus auf Verfahren über Laufzeitbestimmung eines Messimpulses
- Low-cost-Verfahren

## Vorteile:

- Wenig von Witterung beeinflusst
- 2G-Internetverbindung ausreichend
- Batteriebetrieb möglich

**Bild 1:  
Ultraschall**

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquellen: Moreno et al. 2019 – RiverCore: RiverCore: IoT Device for River Water Level Monitoring over Cellular Communications ([Link](#))

**Bild 2:  
Pulsradar  
!Nur Fließgeschwindigkeit!**

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquellen: Alimenti et al. 2020 - Noncontact Measurement of River Surface Velocity and Discharge Estimation With a Low-Cost Doppler Radar Sensor ([Link](#))

**Bild 3:  
Lidar (ToF)**

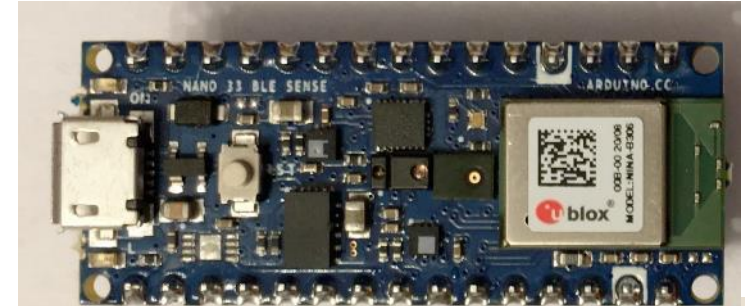
Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquellen: Pandeya et al. 2020 - Mitigating flood risk using low-cost sensors and citizen science: A proof-of-concept study from western Nepal ([Link](#))

# Hintergrund: Architektur bestehender Low-Cost-Systeme

- Frei verfügbare Standardhardware
- Frei programmierbare Einplatinenrechner (z. B. Arduino, RaspBerry Pi, ...)
- Gängige Schnittstellen für Sensoren vorhanden (UART, I<sup>2</sup>C, SPI, TTL)
- Mobilfunkmodule verfügbar (z. B. Narrowband IoT, LoraWAN, )
- Programmierung in Hochsprachen wie C++, Python
- Niedriger Stromverbrauch durch Deep-Sleep der Systeme (Batteriebetrieb)

Arduino Nano  
33 BLE



NodeMCU



RaspBerry Pi  
Zero



Bildquellen: eigene Darstellung

# Rahmenbedingungen und Anforderungen: Geeignete Sensoren

---

## Rahmenbedingung:

- Schnell ansteigende Fließgewässer

## Anforderungen:

- Low-cost-Sensoren für  $\leq 20$  USD ( $\approx 16,50$  €)
- Genauigkeit der Messung  $\leq 10$  cm
- Reichweite (Messort-zu-Sensor)  $\geq 300$  cm
- Witterungsfest
- Übliche Schnittstellen (UART, I<sup>2</sup>C, SPI, TTL)



Beispielort zur Montage eines Low-Cost-Messsystems  
[Link](#) zur Bildquelle. [CC BY-SA 3.0](#)  
Urheber: Wikipedia-Nutzer Père Igor ([Link](#)), unverändert



# Ergebnis: Geeignete Sensoren (nach Literatur-Review)

Messprinzip	Ultraschall	Ultraschall	Ultraschall	Lidar/ToF
Bezeichnung	DYP-ME007Y	JSN-SR04T	JSN-SR04T-2.0	VL53L1X
Reichweite	350 cm	450 cm	600 cm	400 cm
Messgenauigkeit	± 1 cm	± 5 cm	± 1 cm	± 2,5 cm
Schnittstelle	TTL	TTL	TTL	TTL
Marktpreis	~ \$ 20	~ \$ 14	~ \$ 19	~ \$ 19

Ultraschallsensor  
JSN-SR04T:

Für das Bild konnten keine Rechte zur Veröffentlichung erworben werden. Das Bild finden Sie in der verlinkten Veröffentlichung.

Bildquelle: Kushwaha et al. 2019 - A Survey of Ultrasonic Sensors and their Applications ([Link](#))

Lidarsensor  
VL53L1X:



Bildquelle: eigene Darstellung

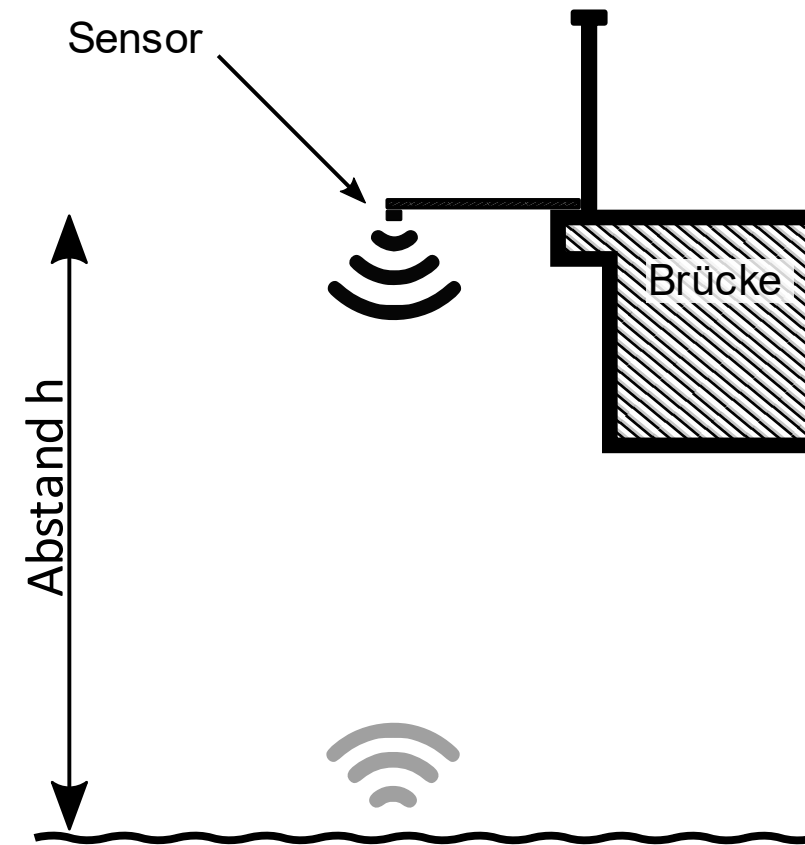
# Ergebnisse: Versuchsaufbau für experimentelle Überprüfung

- Implementierung einer Firmware zum Auslesen der Sensoren
- Drei verschiedenen Brücken in Berlin Köpenick
  - Z. B. Kietzer Graben



Bildquelle: eigene Darstellung

Versuchsaufbau:

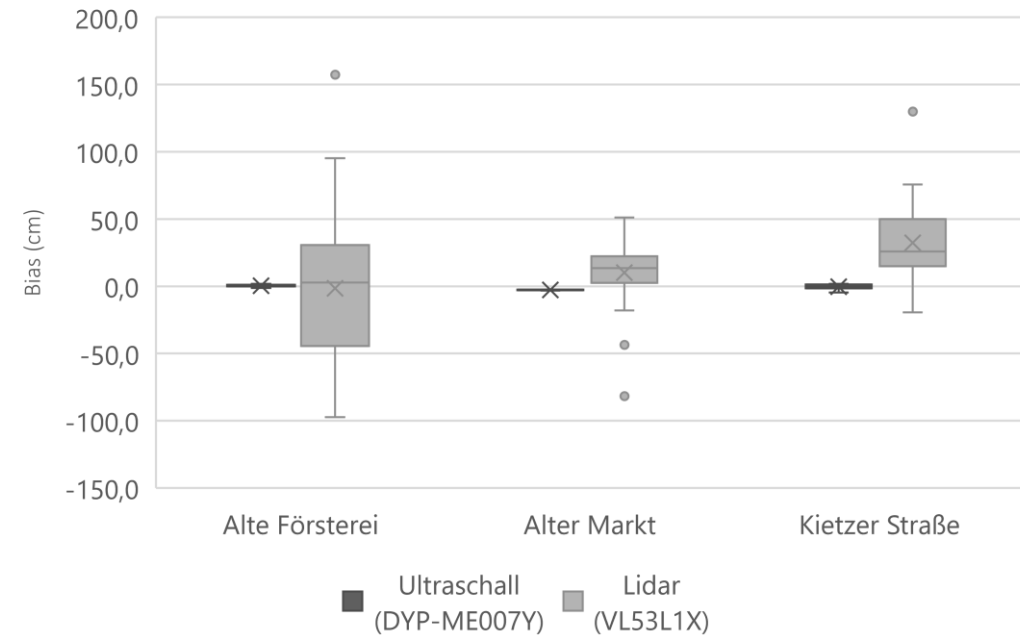


Bildquelle: eigene Darstellung

# Ergebnisse: Experimentelle Überprüfung der Sensoren

## Ermittlung des Abstands der Wasseroberfläche

- Time-of-Flight-Sensor/Lidar:
  - beim Standort „Alte Försterei“:  
Genauigkeit  $\leq 3$  cm
  - Andere Standorte:  
Genauigkeit  $\geq 10$  cm
- Ultraschall:
  - bei allen Standorten:  
Genauigkeit  $\leq 3$  cm
- Varianz
  - Time-of-Flight-Sensors deutlich größer als beim Ultraschallsensors



Bildquelle: eigene Darstellung  
US = Ultraschall; ToF = TimeOfFlight/Lidar

# Diskussion

Messprinzip	Ultraschall	Lidar/ToF
Bezeichnung	DYP-ME007Y	VL53L1X
Messgenauigkeit	$\leq 3$ cm → Entspricht Beobachtungen in der Literatur	Nicht $\leq 10$ cm → Entspricht nicht den Beobachtungen in der Literatur → ggf. zur kleiner Gewässerquerschnitt

- Messwert sollte durch Mittelwertbildung (z. B. Median) aus mehreren Einzelmessungen gebildet werden

# Diskussion und Schlussfolgerungen

---

## Diskussion:

- Ultraschallsensoren sind sehr robust gegenüber Witterungseinflüssen  
(Hering et. al 2018)
- Beeinträchtigung vom Lidar-Sensoren durch Niederschlag, Nebel, direkte Sonneneinstrahlung  
(Baumgart et al. 2017, Consani et al. 2018, Yasuura et al. 2017)
- Gewisse Wassertrübung ist zur Messung mit einem Lidar-Sensors notwendig

## Schlussfolgerungen:

- Keine klare Empfehlung für die Verwendung dieses Lidar-Sensors
- Einschränkungen
  - Gewässerquerschnitt
  - bestimmte Witterungsbedingungen schwierig
- Vorteile des Lidar gegen über Ultraschall
  - größerer Abstand zur Wasseroberfläche möglich

# Zusammenfassung

---

- Ultraschallsensor zeigte erwartete Ergebnisse; Radarsensoren sind nicht als low-cost verfügbar, Lidar (ToF) zeigte große Varianz in den Messwerten
- durch Anwendung einer Mittelungsmethode (Median) kann Lidar eingesetzt werden
- bis zu einem Abstand von 300 cm zur Wasseroberfläche können alle betrachteten Sensoren verwendet werden
- Untersuchte Sensoren ermöglichen Konstruktion von preiswerten Pegelsystemen

# Literatur (Auszug)

---

- E. Hering und G. Schönfelder, „Geometrische Größen“, in Sensoren in Wissenschaft und Technik: Funktionsweise und Einsatzgebiete, E. Hering und G. Schönfelder, Hrsg. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2018, S. 127–327.
- M. Baumgart, M. Dielacher, N. Druml, und C. Consani, „Simulating Rain Droplets Influence on Distance Measurement with a Time-of-Flight Camera Sensor“, Aug. 2017, Bd. 1, S. 287, doi: 10.3390/proceedings1040287.
- C. Consani, N. Druml, M. Dielacher, und M. Baumgart, „Fog Effects on Time-of-Flight Imaging Investigated by Ray-Tracing Simulations“, Proceedings, Bd. 2, Nr. 13, Art. Nr. 13, 2018, doi: 10.3390/proceedings2130859.
- H. Yasuura, C. Kyung, Y. Liu, und Y.-L. Lin, Hrsg., Smart Sensors at the IoT Frontier. Springer International Publishing, 2017.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Paul Schulze, Martin Engelmann, Frank Fuchs-Kittowski



Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin

Fachbereich 2, Umweltinformatik

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

[\[Paul.Schulze | Martin.Engelmann | Frank.Fuchs-Kittowski\]@HTW-Berlin.de](mailto:[Paul.Schulze | Martin.Engelmann | Frank.Fuchs-Kittowski]@HTW-Berlin.de)



**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

**University of Applied Sciences**



# Lizenzbestimmungen

---

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

## Sie dürfen:

- **Teilen** — das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten
- **Bearbeiten** — das Material remixen, verändern und darauf aufbauen

und zwar für beliebige Zwecke, sogar kommerziell.

## Unter folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung** — Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das Material remixen, verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.
- **Keine weiteren Einschränkungen** — Sie dürfen keine zusätzlichen Klauseln oder technische Verfahren einsetzen, die anderen rechtlich irgendetwas untersagen, was die Lizenz erlaubt.

Sie können sich den vollständigen Lizenztext unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> abrufen.

Die Rechte der Logos insbesondere des Logos der HTW Berlin verbleiben bei den Rechteinhabern.