

# Präzise Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten mit low-cost GNSS-Empfängern

Masterarbeit von Lena Albert

Markus Vennebusch, Steffen Schön – Institut für Erdmessung  
Andreas Wurpts, Christine Hegemann – Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen



# 1. Motivation

- **Wasserbauliche Problemstellung:**
    - Verschlickung in Flüssen und Häfen
    - Beseitigung kostet viel Geld
  - **Lösung:**
    - Vermeidung von Ablagerungen durch bauliche Maßnahmen
    - Erfassung und Modellierung der hydrodynamischen Vorgänge
    - Bisher: aufwändig und teuer
- **Ziel:** preiswertes GPS-basiertes Fließgeschwindigkeits-Messsystem
- Genauigkeitsanforderungen:
    - wenige cm/s für Geschwindigkeiten

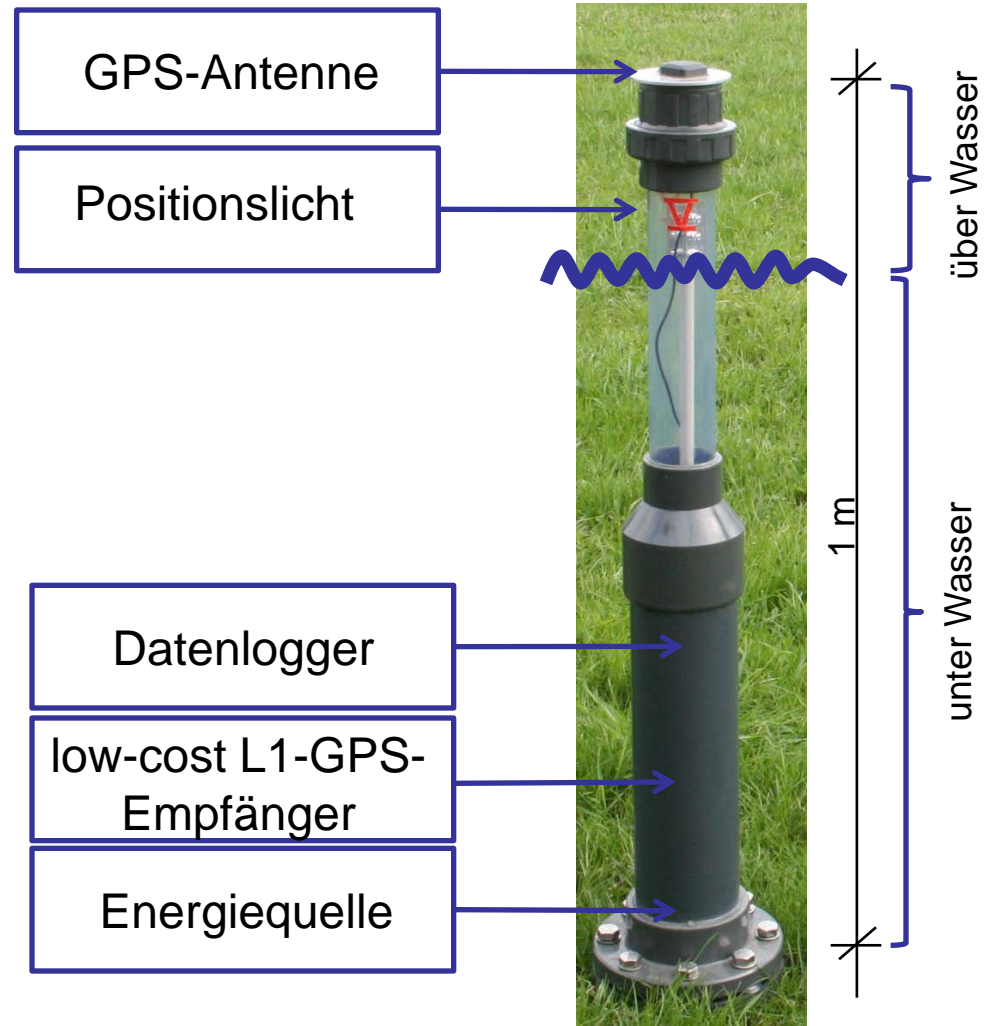


[Quelle: www.juist.de]

## 2. Schwimmkörper-Messsystem

### Konstruktion und Eigenschaften

- **Hardware:**
  - Prototyp vom Franzius-Institut entwickelt
  - Folgt Oberflächenströmungen, bietet Wind keine große Angriffsfläche
  - Kostengünstig im Vergleich zu bestehenden Systemen
- **Software:**
  - Eigenentwicklung IfE + Masterarbeit



### 3. Auswertemethodik

#### Möglichkeiten der GPS-basierten Geschwindigkeitsbestimmung

- **Indirekt aus Positionen**

$$x, y, z \Rightarrow \frac{s}{t} = v_x, v_y, v_z$$

- + einfach
- + möglich für alle Empfänger
- um geforderte Genauigkeiten zu erzielen, müssen Positionen auf 1-2 cm genau bestimmt sein (Varianz-Fortpflanzungs-Gesetz)

- **Direkt aus Doppler-Beobachtungen**

$$\dot{\rho}(t_i) = \frac{\Phi(t_{i+1}) - \Phi(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \Rightarrow v_x, v_y, v_z$$

- erfordert Rohbeobachtungen (präzise Phasenmessungen)
- + liefert hohe Genauigkeiten



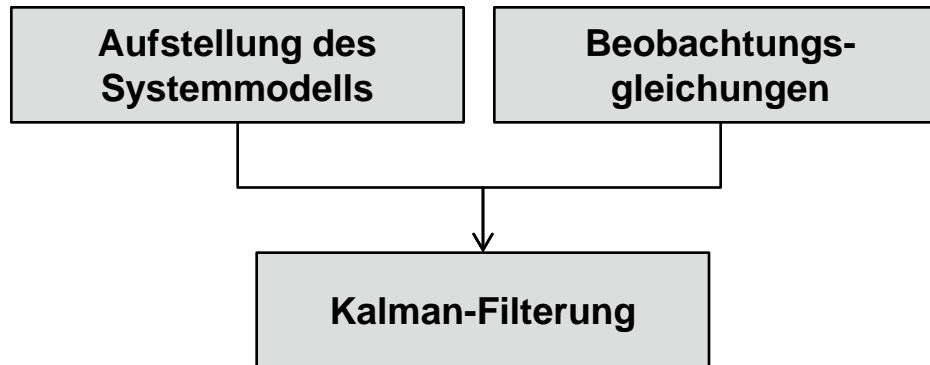
Kombinierte Auswertung von Pseudorange und Doppler-Beobachtungen in einem Kalman-Filter

# 3. Auswertemethodik

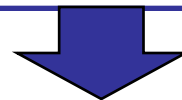
## Direkte Kalman-Filter-basierte Geschwindigkeitsbestimmung

Eingabe

GPS-Rohbeobachtungen (RINEX) des Schwimmers & Broadcast-Ephemeriden



Auswertung



Ausgabe

Zustandsschätzungen: Positionen, Geschwindigkeiten und Uhrfehler



### 3. Auswertemethodik

#### Beobachtungsgleichungen und Systemmodell

- **Zustandsparameter:** Position, Geschwindigkeit und Uhrfehler des Empfängers (Uhrenoffset und Uhrenrate)

$$X = [x, y, z, v_x, v_y, v_z, c \cdot \delta t_u, c \cdot \dot{\delta t}_u]$$

- **Beobachtungsgleichungen:**

- Pseudorange:  $\rho^{(i)} = \|x^{(i)} - x\| + c \cdot \delta t_u + \tilde{\varepsilon}_\rho^{(i)}$

- Range Rate:  $\dot{\rho}^{(i)} = \frac{(x^{(i)} - x)^T}{\|x^{(i)} - x\|} (v^{(i)} - v) + c \cdot \dot{\delta t}_u + \tilde{\varepsilon}_{\dot{\rho}}^{(i)}$

- **Systembeschreibung:**  $X(k) = \Phi(\Delta t) \cdot X(k-1) + \omega$

$$\Phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} I & I \cdot \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

– Positionen modelliert als Integral der Geschwindigkeit

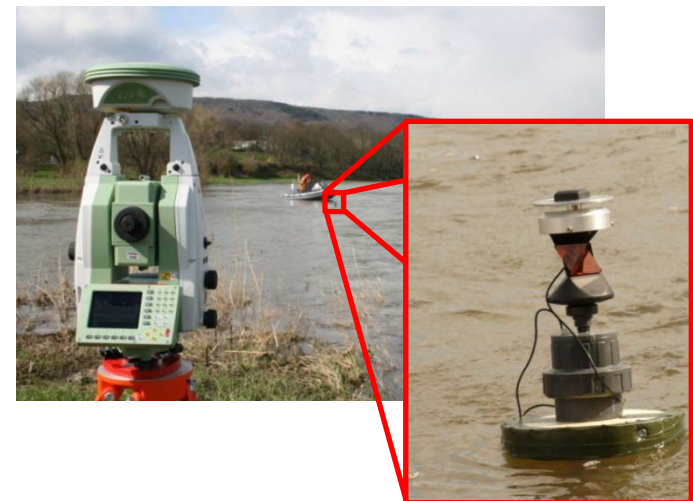
– Geschwindigkeiten als „random-walk“-Prozess

– Empfängeruhrfehler mit „random-ramp“-Modell

# 4. Reale Fließgeschwindigkeitsmessung

## Erster Test des Messsystems

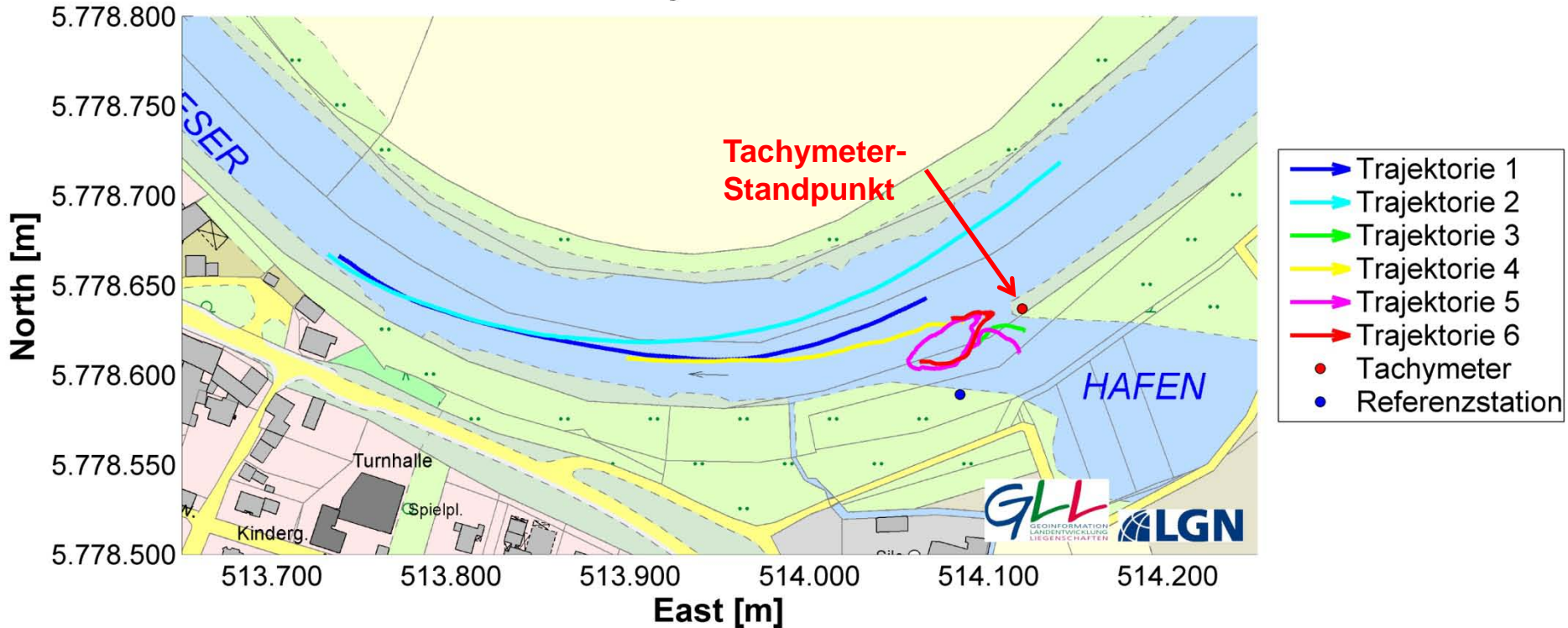
- Ort: Weser im Bereich einer Hafeneinfahrt
- Messung von sechs Schwimmer-Trajektorien mit GPS und Tachymeter
- Datenlogger im Schwimmer zeichnet GPS-Rohbeobachtungen & NMEA-Protokoll auf
- Zusätzlich Tachymeter-Messung zur Bestimmung von „Soll-Bahnen“
  - Zielverfolgendes, GPS-Zeit-synchronisiertes Tachymeter Leica TS30 SmartStation
  - Automatische Verfolgung wird ermöglicht durch die Montage eines Prismas auf einen Schwimmer



# 4. Reale Fließgeschwindigkeitsmessung

## Erster Test des Messsystems

Hafen Rumbeck - Trajektorien des Schwimmers

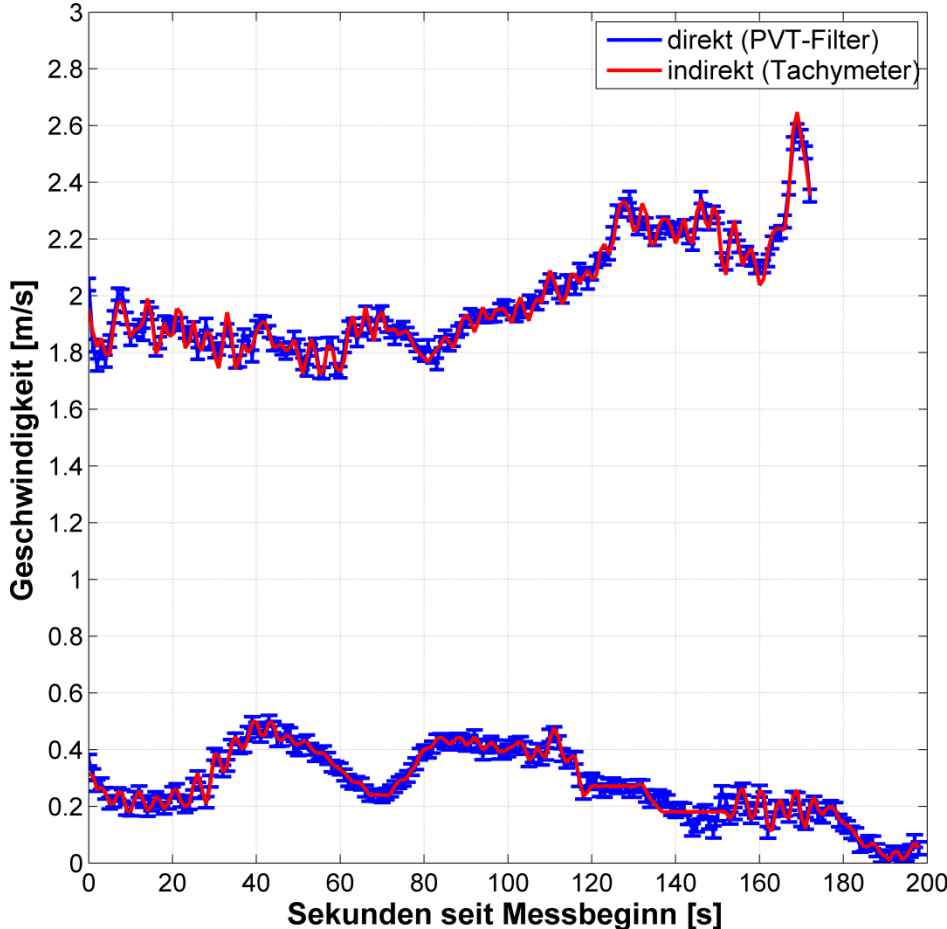




# 5. Ergebnisse

## Beurteilung der Richtigkeit

absolute Geschwindigkeiten der Trajektorien 1 und 6



### Schnelle Schwimmer-Trajektorie (Nr.1):

- Folgt Hauptströmung des Flusses
- Maximale Geschwindigkeit: 2,6 m/s

Mittl. Abweichung [cm/s]	RMS [cm/s]
-0,1	2,9

### Langsame Schwimmer-Trajektorie (Nr.6):

- Folgt Walzenströmungen im Bereich der Hafeneinfahrt
- Maximale Geschwindigkeit: 0,5 m/s

Mittl. Abweichung [cm/s]	RMS [cm/s]
0,2	1,1

## 6. Fazit

- Erzielte Genauigkeiten erfüllen gefordertes Genauigkeitsniveau
  - Schwimmer-Messsystem ist mit entwickelter Auswertesoftware nun einsatzfähig
  - **Nächste Schritte:**
  - Erste reale Anwendung
  - Zur Erfassung der hydrodynamischen Vorgänge gleichzeitiger und mehrstündiger Einsatz mehrerer Schwimmer
- bisher 5 Schwimmer gebaut



# Präzise Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten mit low-cost GNSS-Empfängern

Masterarbeit von Lena Albert

Markus Vennebusch, Steffen Schön – Institut für Erdmessung  
Andreas Wurpts, Christine Hegemann – Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

