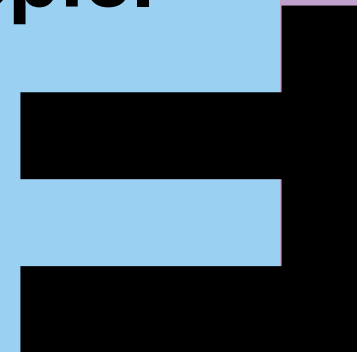


Intelligente Abflussregelung am Beispiel der Kleinen III in Feldkirch

Elias Eder

Forschungszentrum Energie, Fachhochschule Vorarlberg GmbH





Das Forschungszentrum Energie

Forschungszentrum Energie



- Wir sind etwa 20 Forschende, die angewandte Forschungsprojekte im Energiebereich bearbeiten.
- Im Zuge unserer Forschungstätigkeiten betreuen wir auch Studierende auf dem Weg bis zum Doktorat.
- Wir sind regional und international stark vernetzt und bearbeiten Projekte gemeinsam mit Unternehmen und Kommunen.
- Unsere Forschungsinhalte sowie die dazugehörigen Studienprogramme der FHV orientieren sich stark an den Bedürfnissen der regionalen Industrie.



© Nina Bröll

Unsere Methoden

Modellierung und Optimierung von Prozessen,
Thermodynamik, Ingenieurwissenschaften,
Datenbasierte Methoden,...

Dynamik und Flexibilisierung von Systemen

Energiegemeinschaften, Strom- und
Wärmenetzsimulation, Elektromobilität,
Industrielle Energiesysteme

Implementierungen auf *Realsystemen*

Wir verschränken Realdaten und
Expertenwissen, um die Energiewende
regional und darüber hinaus voranzutreiben.



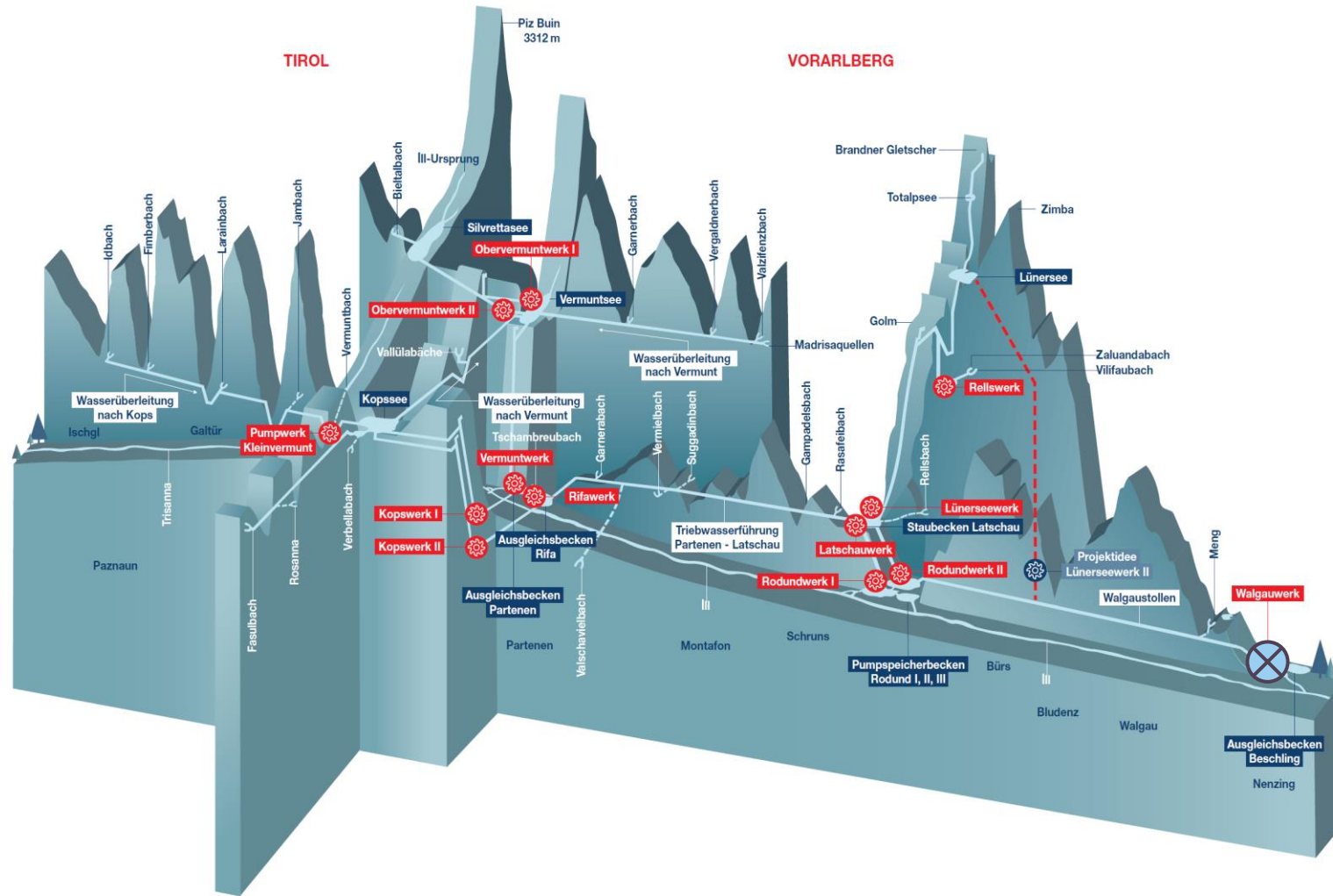
© Nina Bröll



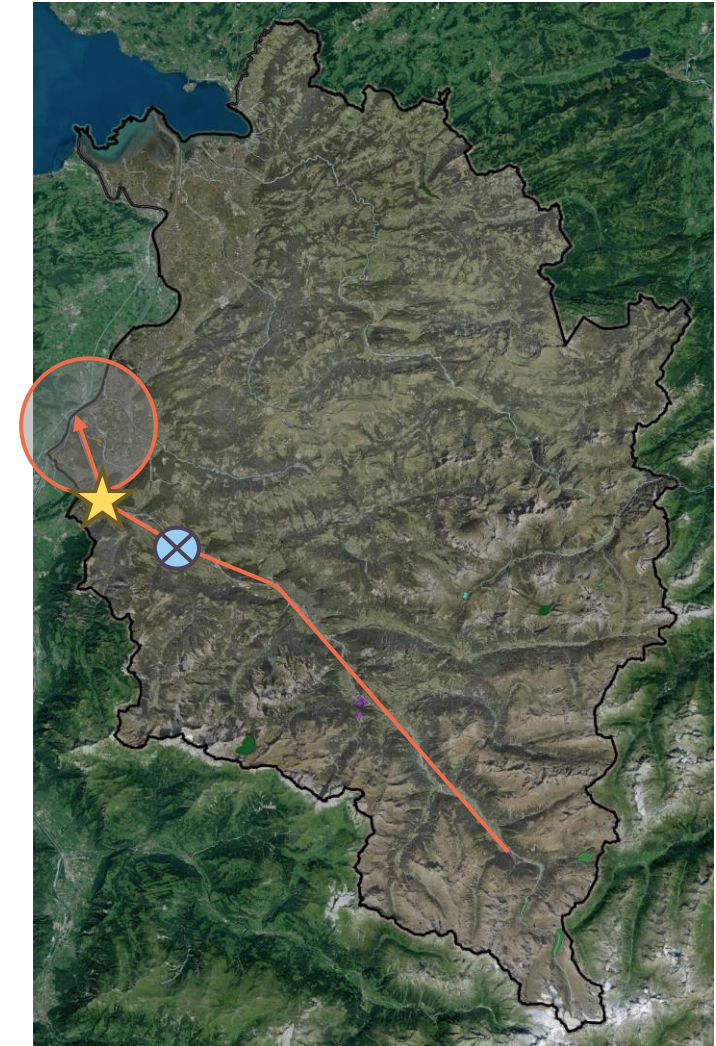
Kleine III

Problemstellung

Kraftwerksgruppe illwerke vkw



Quelle: illwerke vkw



Quelle: Land Vorarlberg – VoGIS, CC BY 4.0

Kleine III



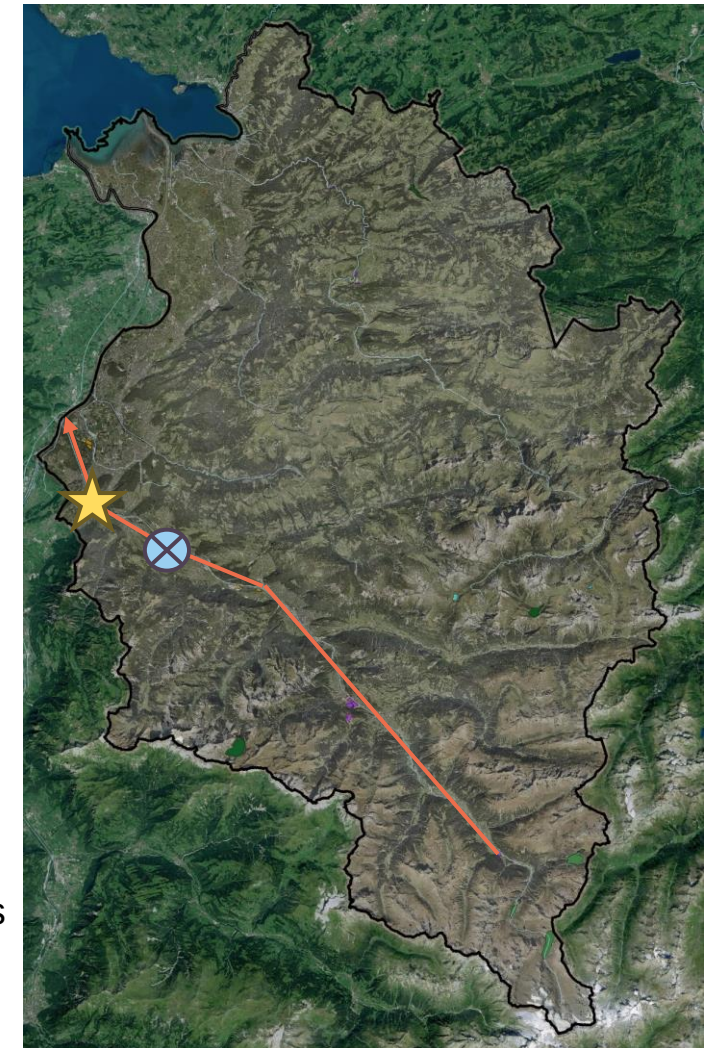
Quelle: Land Vorarlberg – VoGIS, CC BY 4.0

- Einlaufbauwerk
- KW Illspitz
- Auslaufbauwerk

ZIEL:

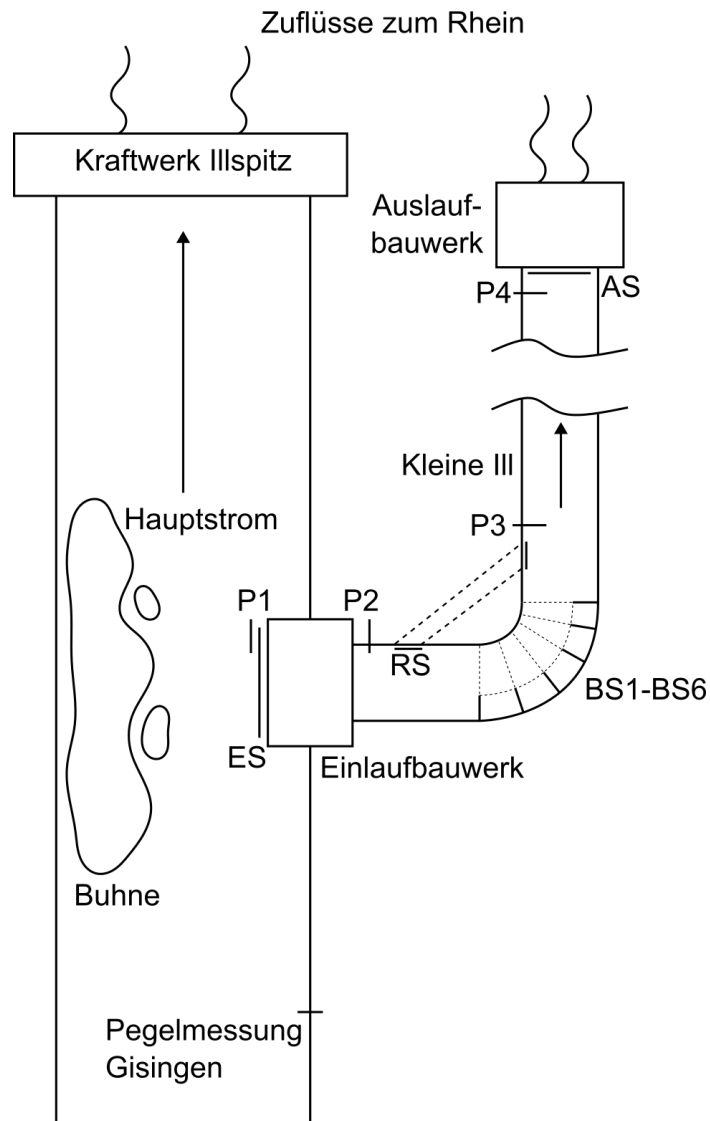
Behördliche Vorgabe:

- Minimaler Normalbetrieb: 1000 L/s
- Durchschnittlicher Normalbetrieb: 1300 L/s
- Maximaler Normalbetrieb: 1500 L/s



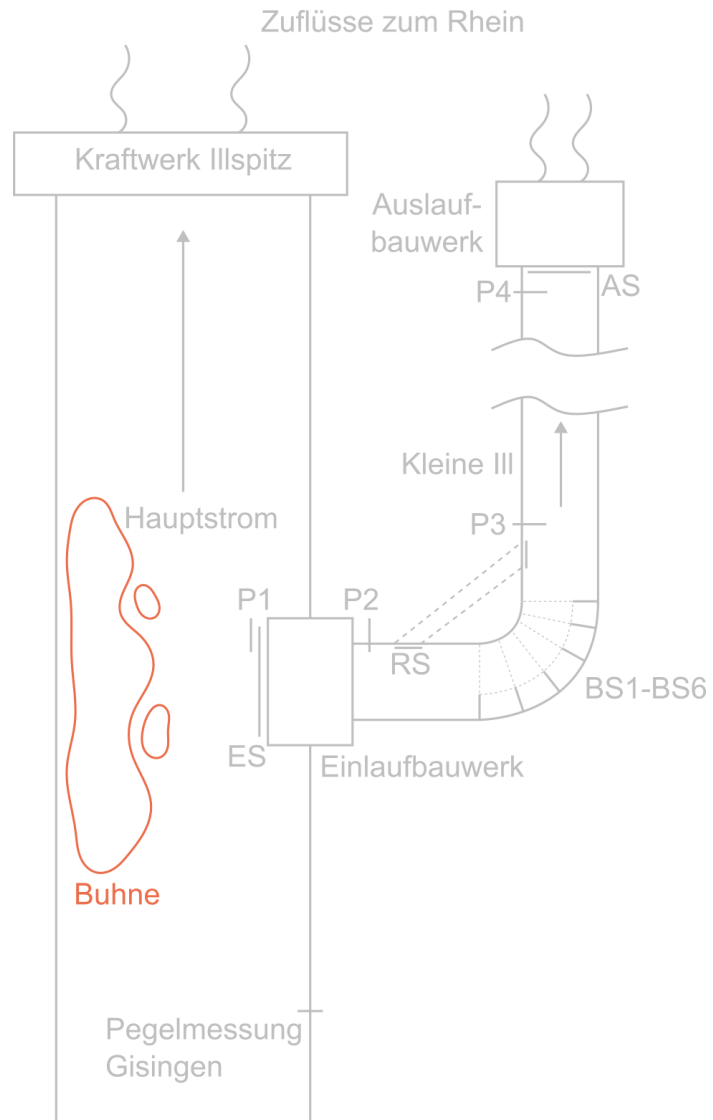
Quelle: Land Vorarlberg – VoGIS, CC BY 4.0

Kleine III - Konfiguration und Regellogik



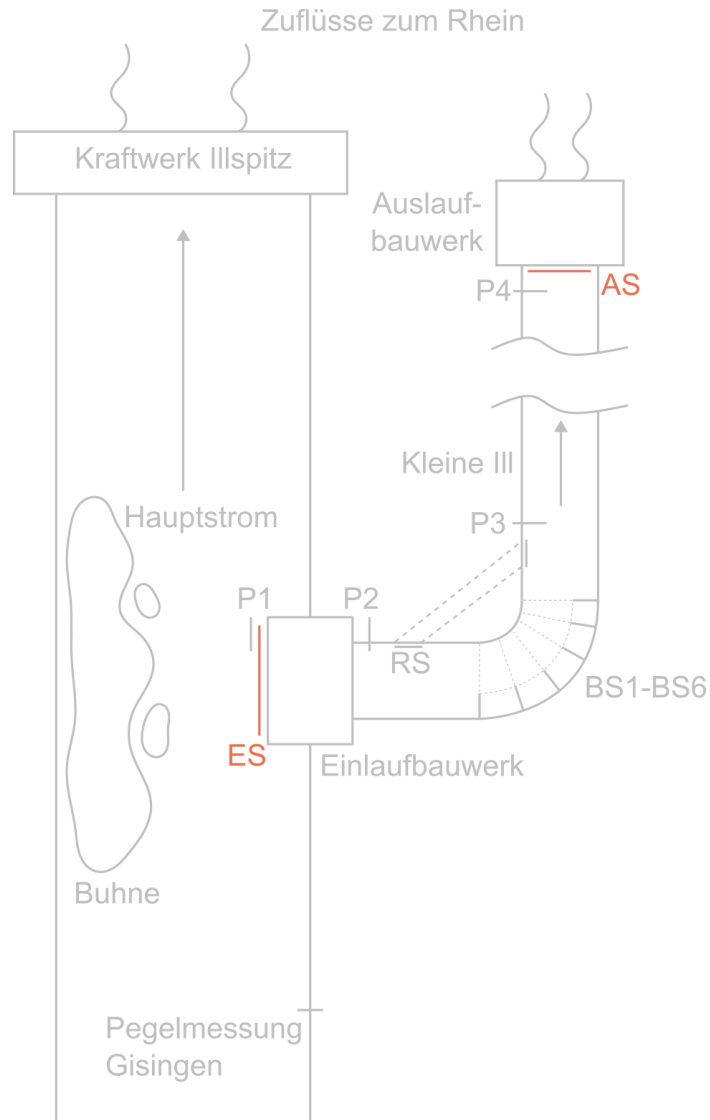
Abkürzung	Bedeutung
ES	Einlaufschütz
AS	Auslaufschütz
RS	Regelschütz
BS 1-6	Beckenschütz 1-6
P1	Pegelmessung Einlauf
P2	Pegelmessung Oberwasser
P3	Pegelmessung Unterwasser
P4	Pegelmessung Auslauf

Kleine III - Konfiguration und Regellogik



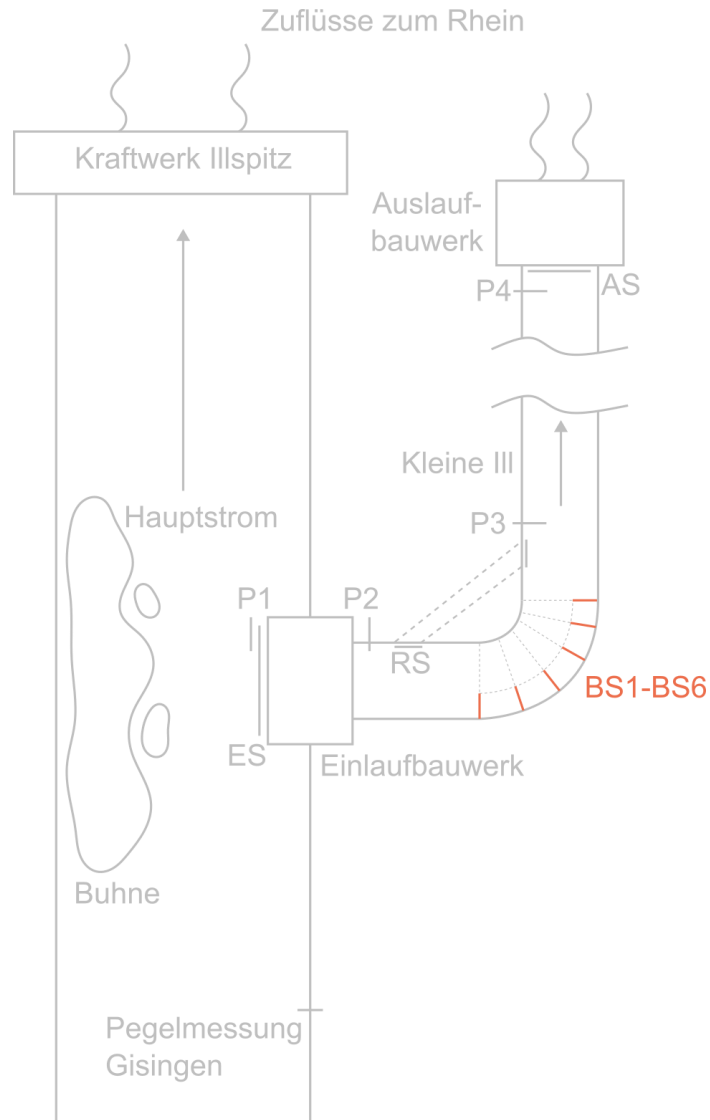
- Sedimenttransport: Buhne, um den Hauptstrom gegen das Einlaufbauwerk zu drücken

Kleine III - Konfiguration und Regellogik



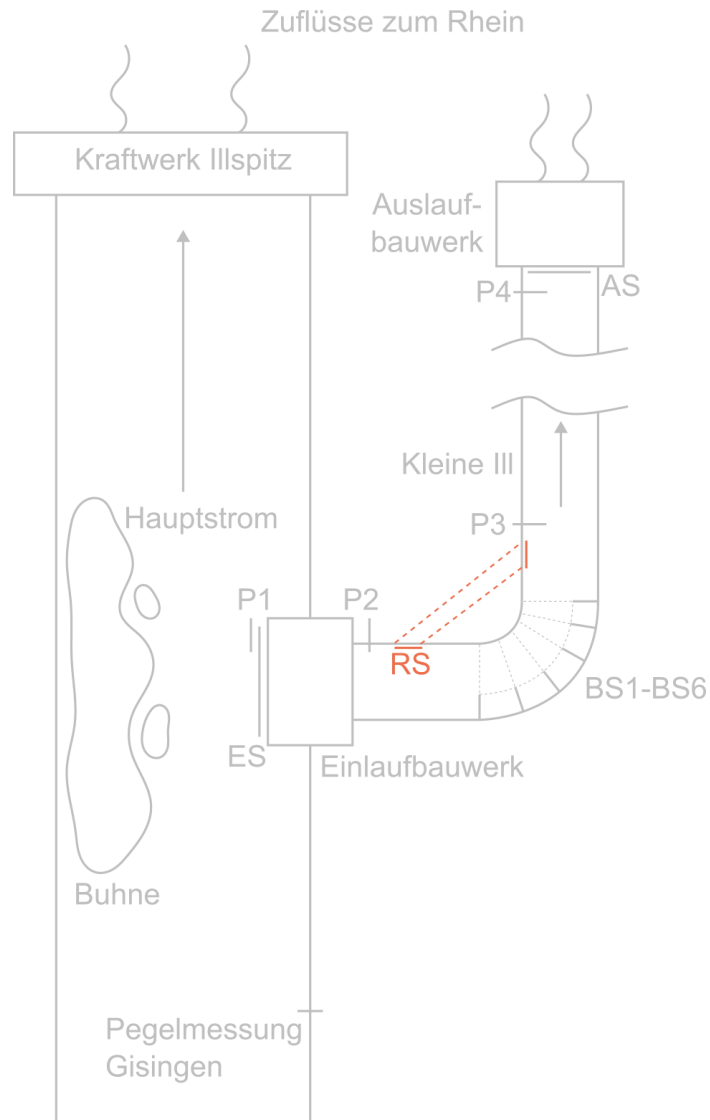
- Sedimenttransport: Buhne, um den Hauptstrom gegen das Einlaufbauwerk zu drücken
- Einlaufschütz und Auslaufschütz definieren pegelabhängige Betriebszustände

Kleine III - Konfiguration und Regellogik

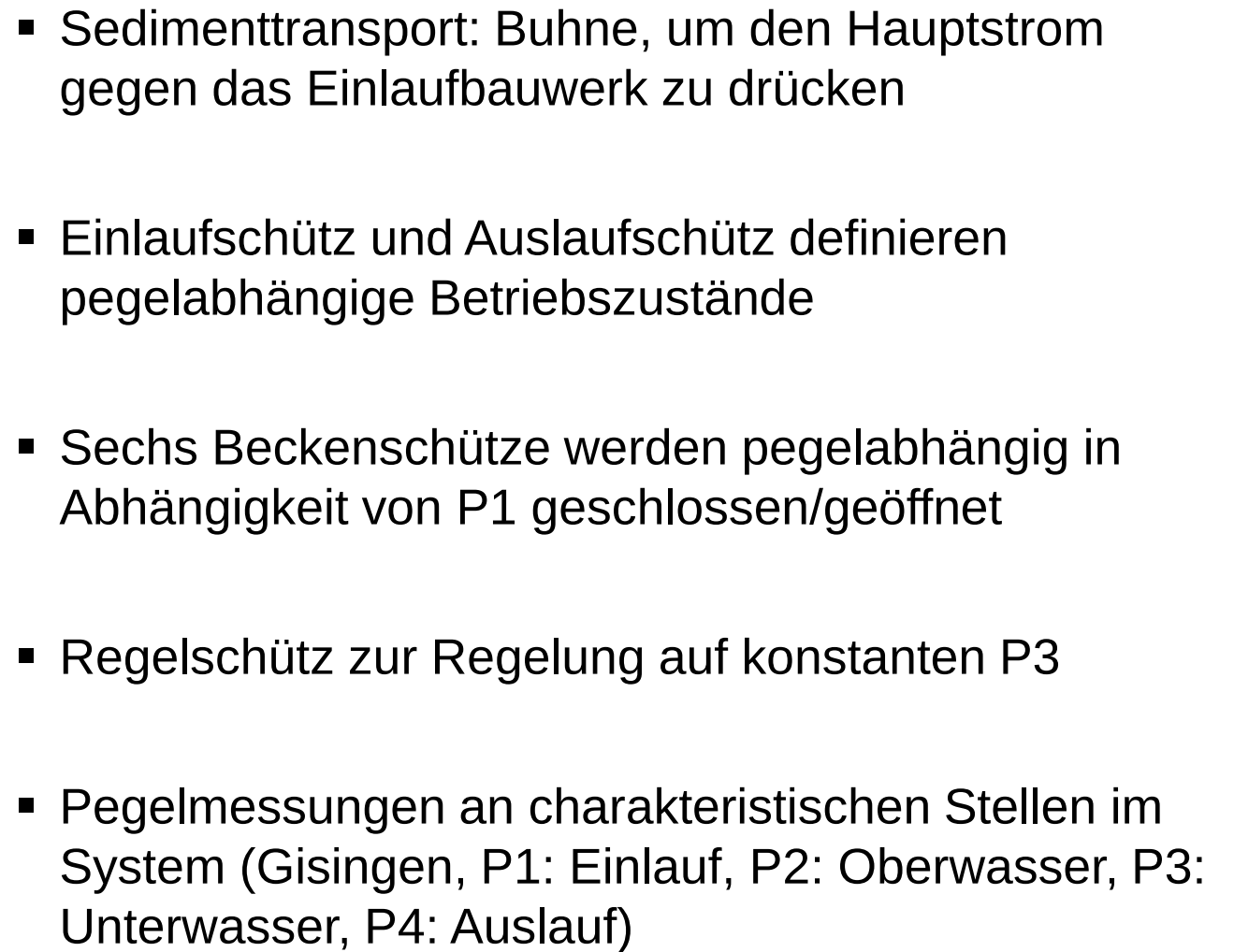


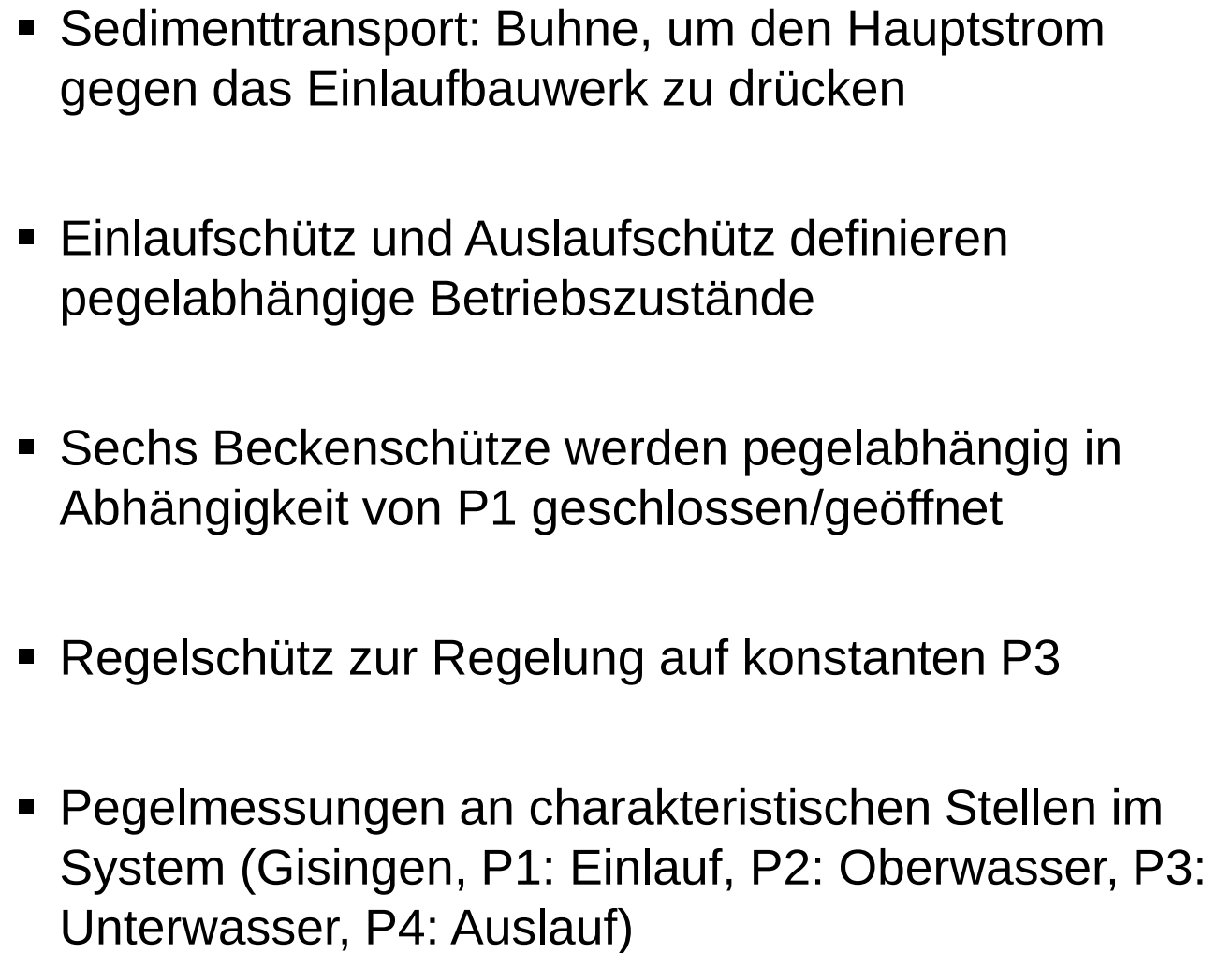
- Sedimenttransport: Buhne, um den Hauptstrom gegen das Einlaufbauwerk zu drücken
- Einlaufschütz und Auslaufschütz definieren pegelabhängige Betriebszustände
- Sechs Beckenschütze werden pegelabhängig in Abhängigkeit von P1 geschlossen/geöffnet

Kleine III - Konfiguration und Regellogik



- Sedimenttransport: Buhne, um den Hauptstrom gegen das Einlaufbauwerk zu drücken
- Einlaufschütz und Auslaufschütz definieren pegelabhängige Betriebszustände
- Sechs Beckenschütze werden pegelabhängig in Abhängigkeit von P1 geschlossen/geöffnet
- Regelschütz zur Regelung auf konstanten P3





Kleine III – Modellprädiktive Regelung

- Aufbau eines datengetriebenen autoregressiven exogenen Modells

Bezeichnung	Einheit
Zielgröße y	
ALB Pegel (Abflussmenge kleine III)	müA (m³/s)
Exogene Variablen x (1)	
Pegelmessung Gisingen (Abfluss Hauptstrom)	m³/s
Aktoren (Kontrollvariablen) u (8)	
Stellungen Beckenschütz 1 - 6	%
ELB Öffnung EL-Schütz	%
ELB Öffnung Regelschütz	%
Implizit beeinflusste Variablen (aktuell nicht vorgesehen) (3)	
ELB Pegel Einlauf (durch Regelschütz)	müA
ELB Pegel OW (durch Regel- und EL Schütz)	müA
ELB Pegel UW (durch Regel- und EL Schütz)	müA

- Vorhersage der Abflussmenge kleine III für die nächsten 20 Minuten
- Modellprädiktive Regelung (MPC) Entwurf:

▪ Zielfunktion:

Strafterm für Abweichungen

Strafterm für große Stellgrößenänderungen

$$\min_{u_0, \dots, u_{N-1}} \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_{\text{soll}}| + \lambda \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta u_i|$$

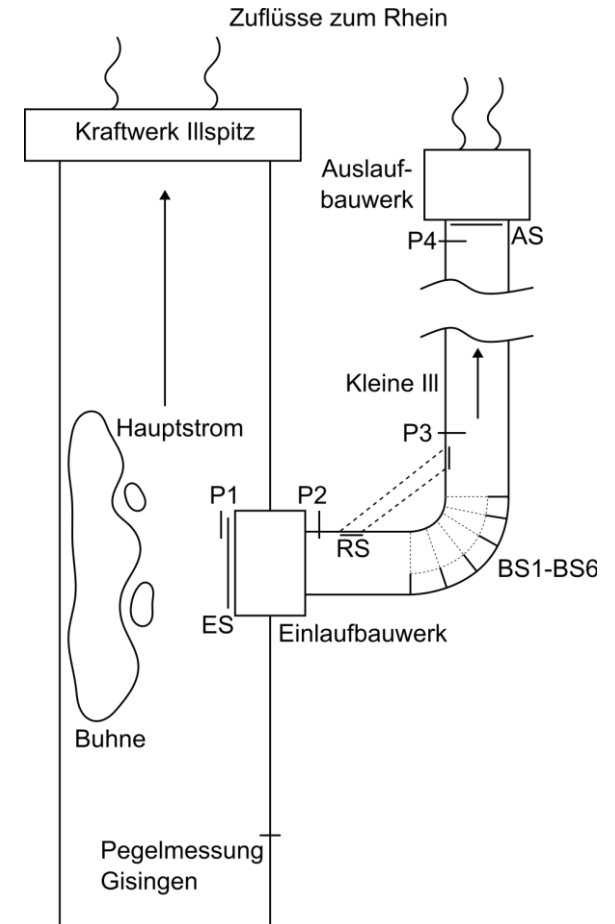
$$\hat{y}_i = c_0 + \sum_{j=0}^{n_x} c_{j+1} x_{i-j} + \sum_{j=1}^{n_b} b_j u_{i-j}$$

- **Nebenbedingungen:** Schützstellungen begrenzen (z.B. 0–100 %) und Rampenlimit pro Zeitschritt einhalten (z.B. 3 min von geschlossen auf offen).
- **Optimierung:** Minimierungsproblem über Vorhersagehorizont ergibt ideale Stellwerte für Aktoren.
- **Closed Loop:** Nur den ersten Stellschritt umsetzen, neuen Zustand messen, Vorhersage aktualisieren und Optimierung erneut lösen.

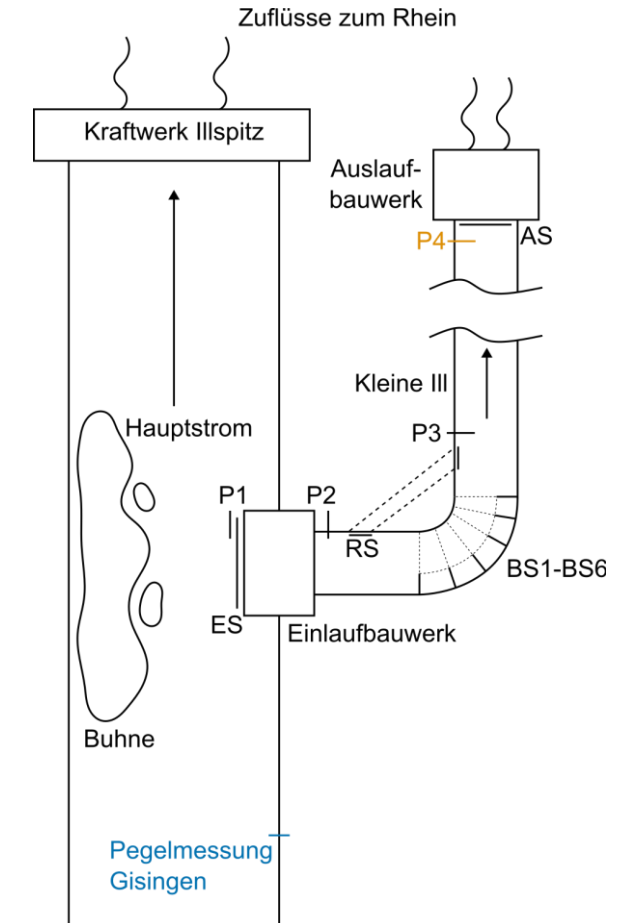
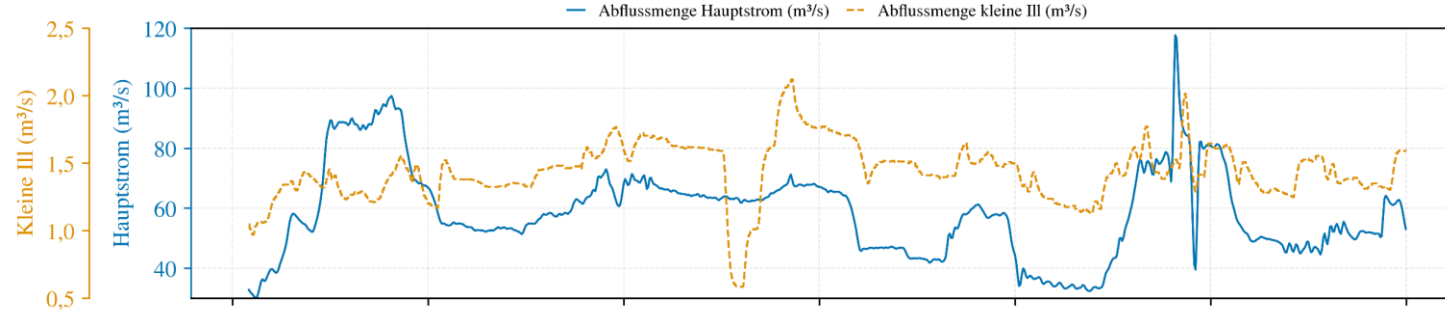


Kleine III

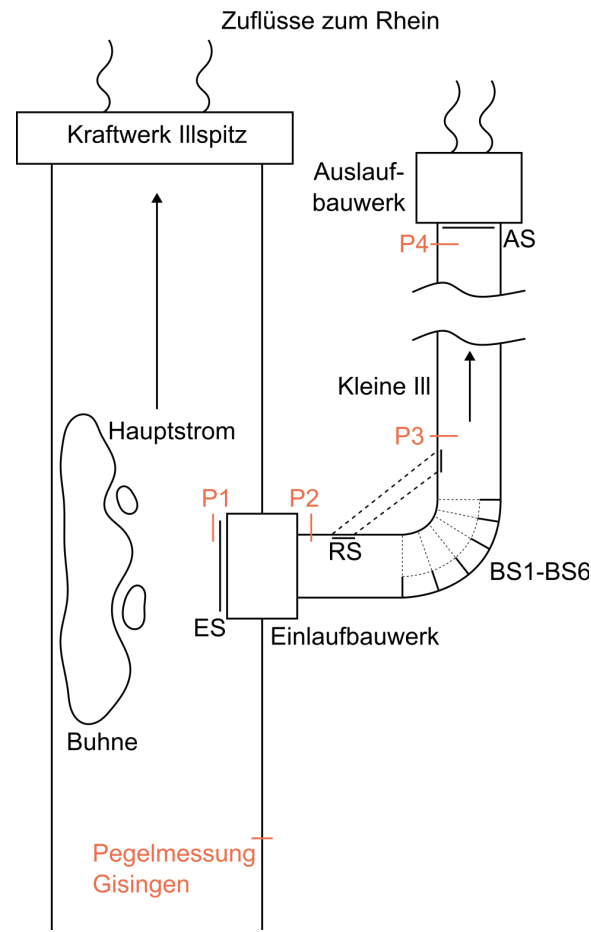
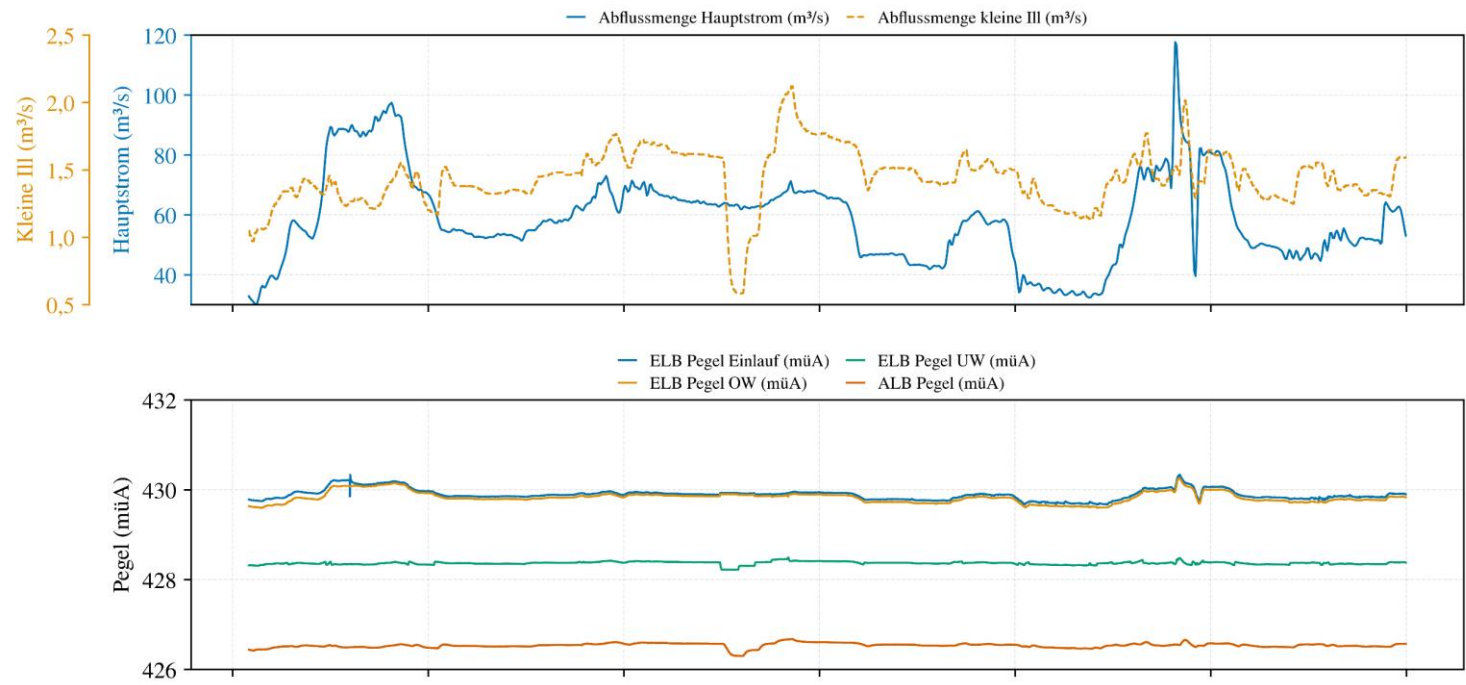
Explorative Datenanalyse



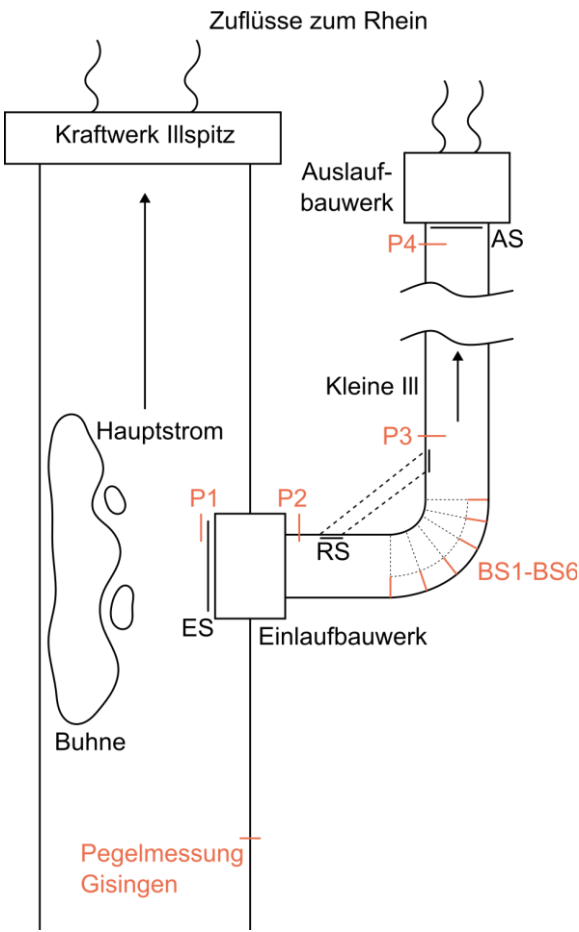
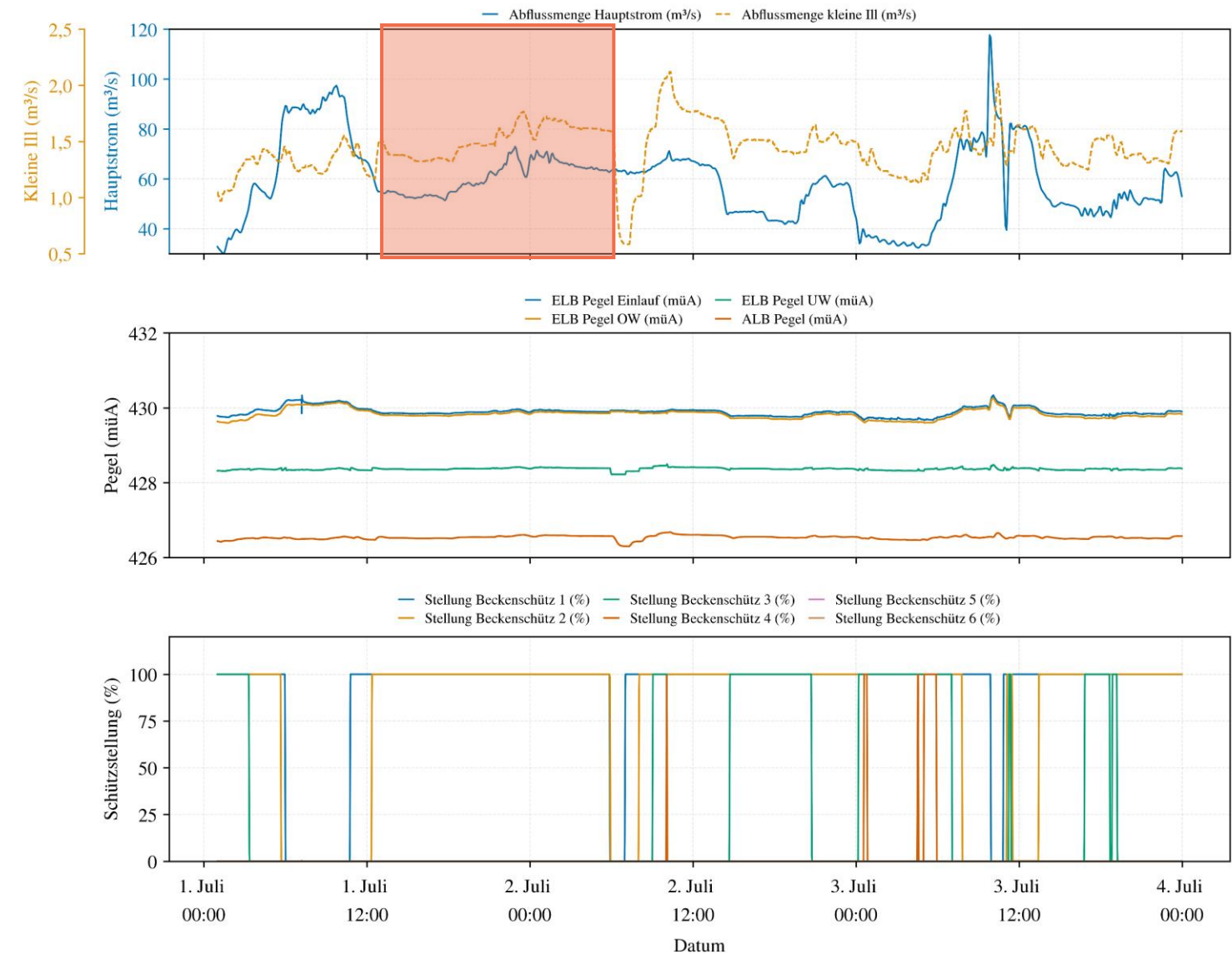
Explorative Datenanalyse

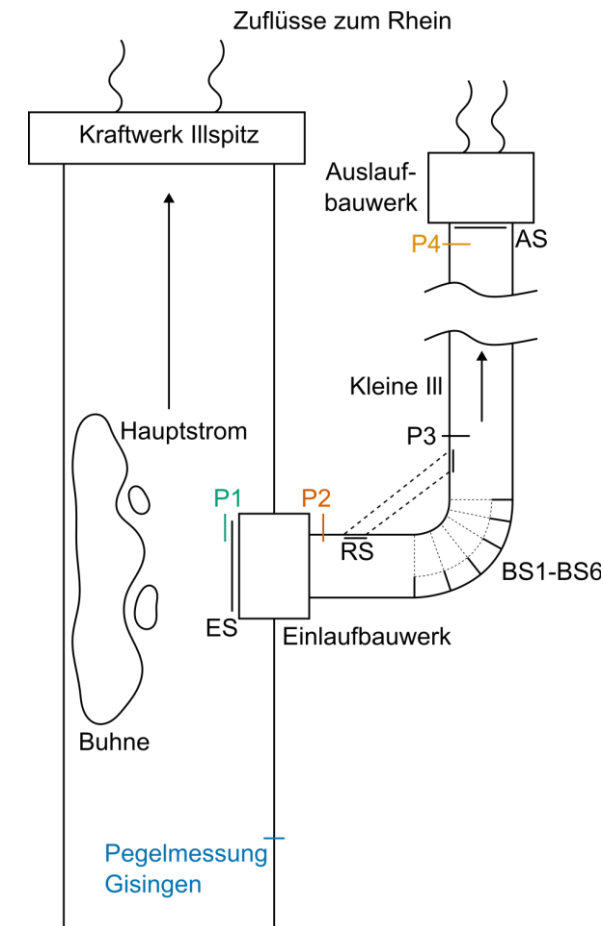
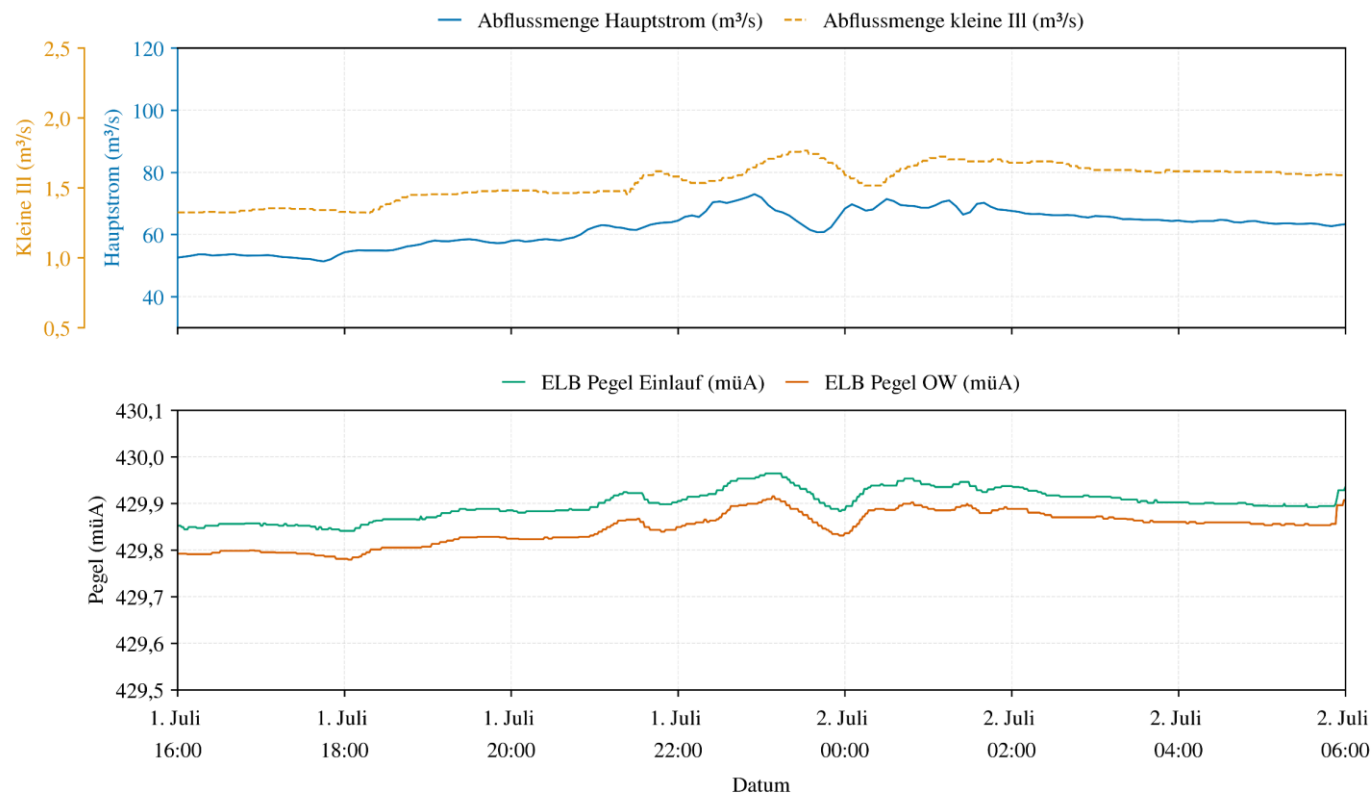


Explorative Datenanalyse



Explorative Datenanalyse

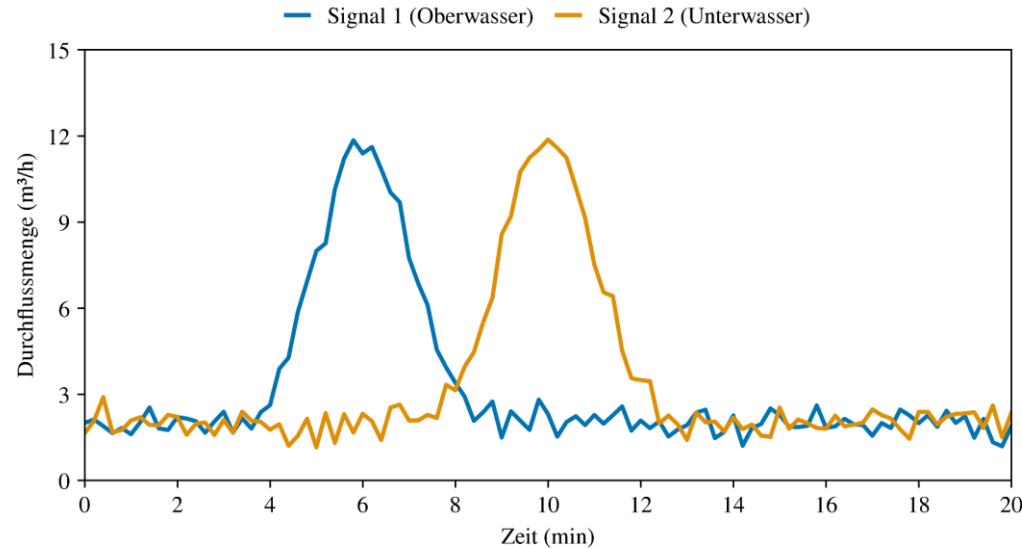






Kleine III

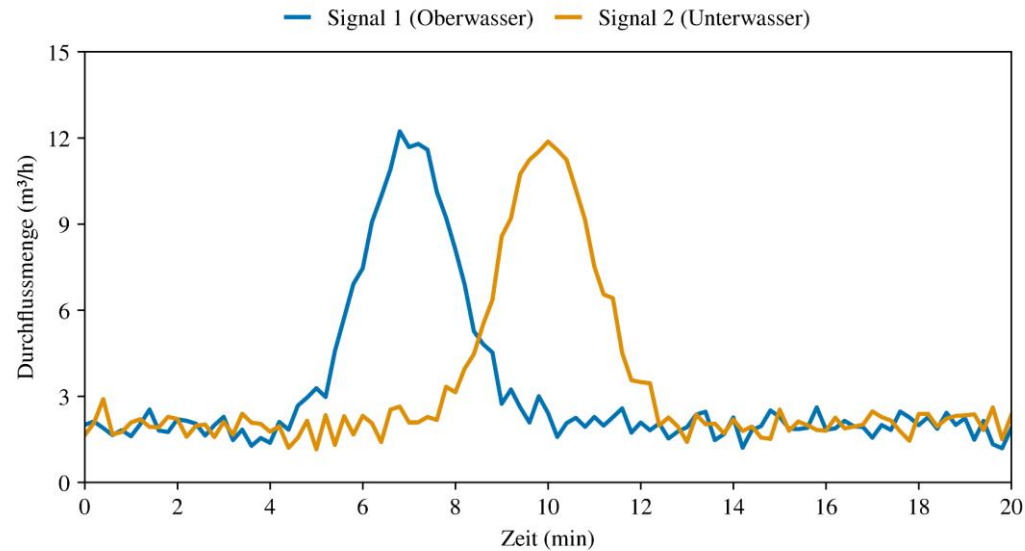
Analyse der zeitlichen Trägheit



■ Kreuzkorrelationsanalyse:

1. Ein Signal wird gegen das andere geshiftet.
2. Das Produkt der beiden Signale wird berechnet.
3. Die resultierenden Produkte werden auf den Maximalwert normiert.

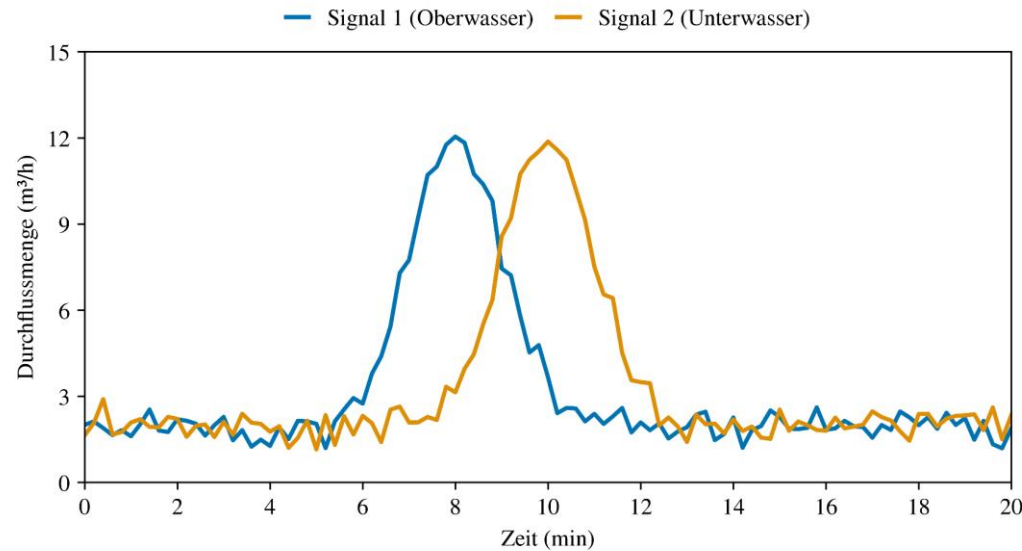
$$R(\Delta t) = \sum_n x_1[n] x_2[n - \Delta t]$$



■ Kreuzkorrelationsanalyse:

1. Ein Signal wird gegen das andere geshiftet.
2. Das Produkt der beiden Signale wird berechnet.
3. Die resultierenden Produkte werden auf den Maximalwert normiert.

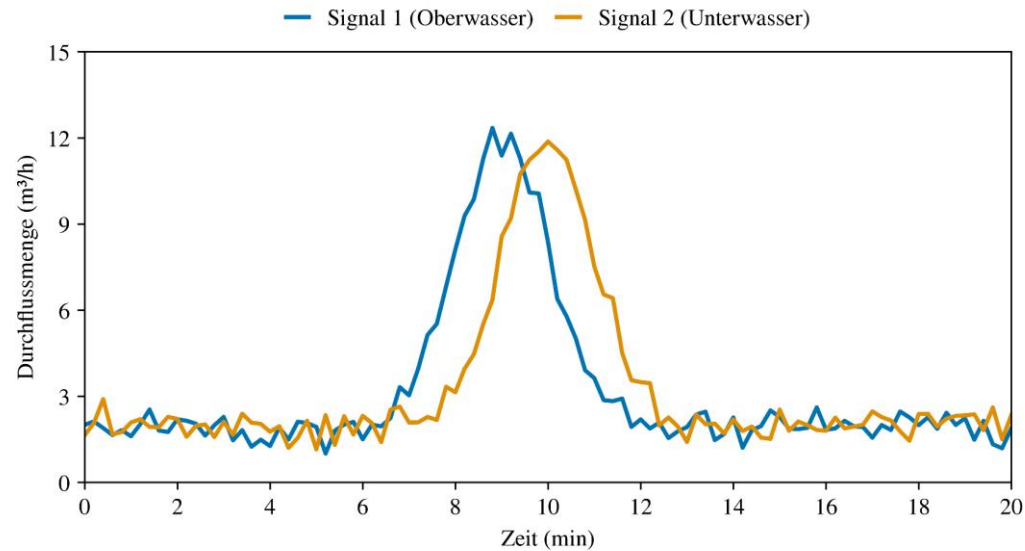
$$R(\Delta t) = \sum_n x_1[n] x_2[n - \Delta t]$$



■ Kreuzkorrelationsanalyse:

1. Ein Signal wird gegen das andere geshiftet.
2. Das Produkt der beiden Signale wird berechnet.
3. Die resultierenden Produkte werden auf den Maximalwert normiert.

$$R(\Delta t) = \sum_n x_1[n] x_2[n - \Delta t]$$

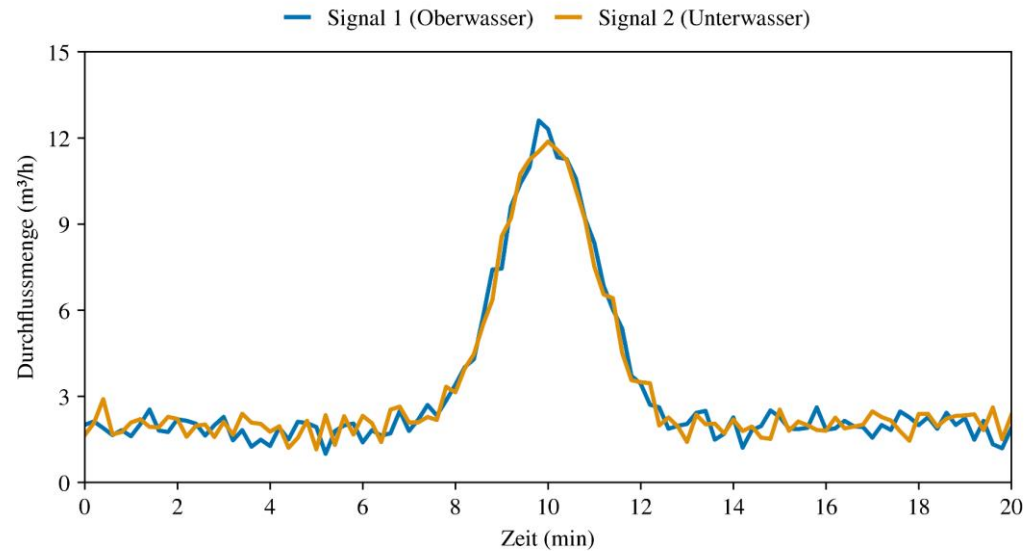


■ Kreuzkorrelationsanalyse:

1. Ein Signal wird gegen das andere geshiftet.
2. Das Produkt der beiden Signale wird berechnet.
3. Die resultierenden Produkte werden auf den Maximalwert normiert.

$$R(\Delta t) = \sum_n x_1[n] x_2[n - \Delta t]$$

Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit

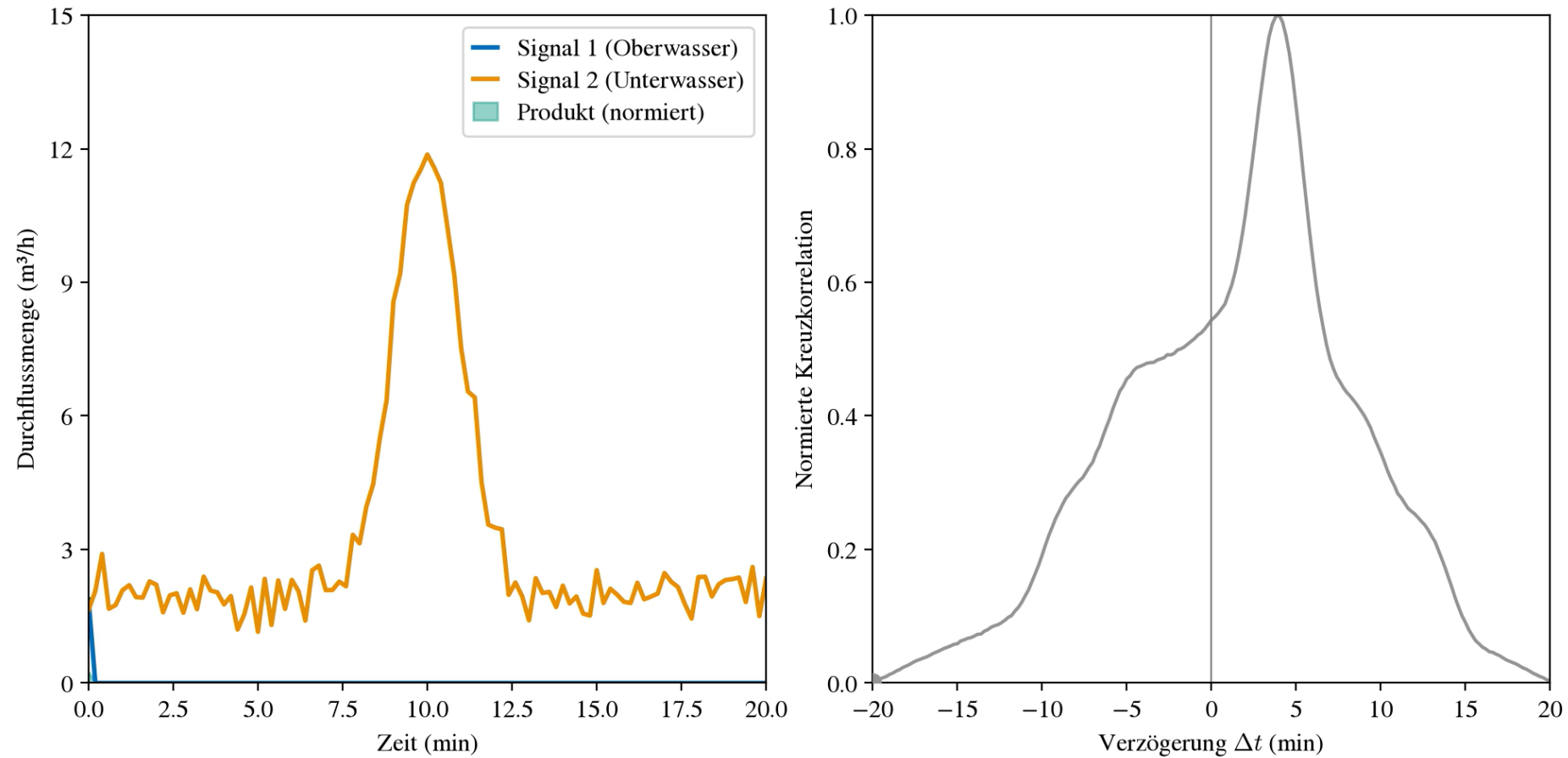


■ Kreuzkorrelationsanalyse:

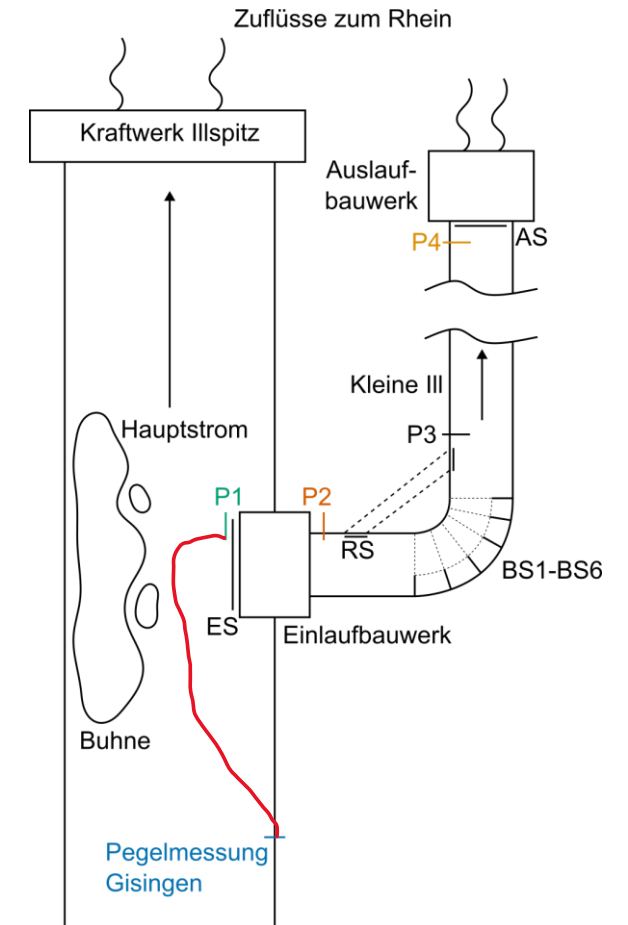
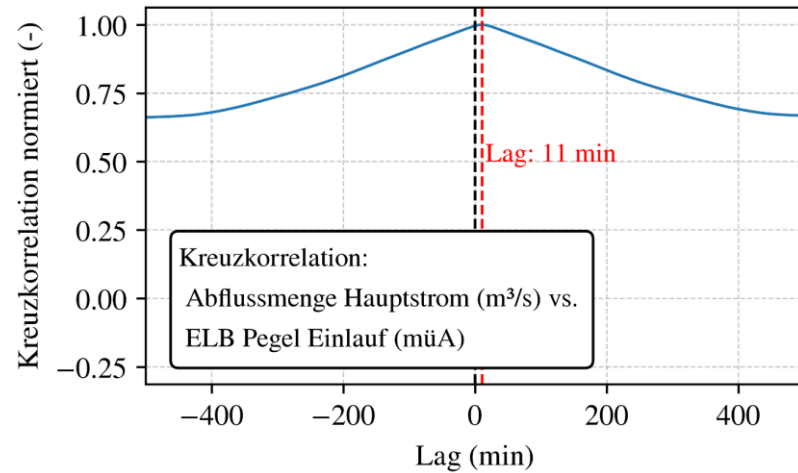
1. Ein Signal wird gegen das andere geshiftet.
2. Das Produkt der beiden Signale wird berechnet.
3. Die resultierenden Produkte werden auf den Maximalwert normiert.

$$R(\Delta t) = \sum_n x_1[n] x_2[n - \Delta t]$$

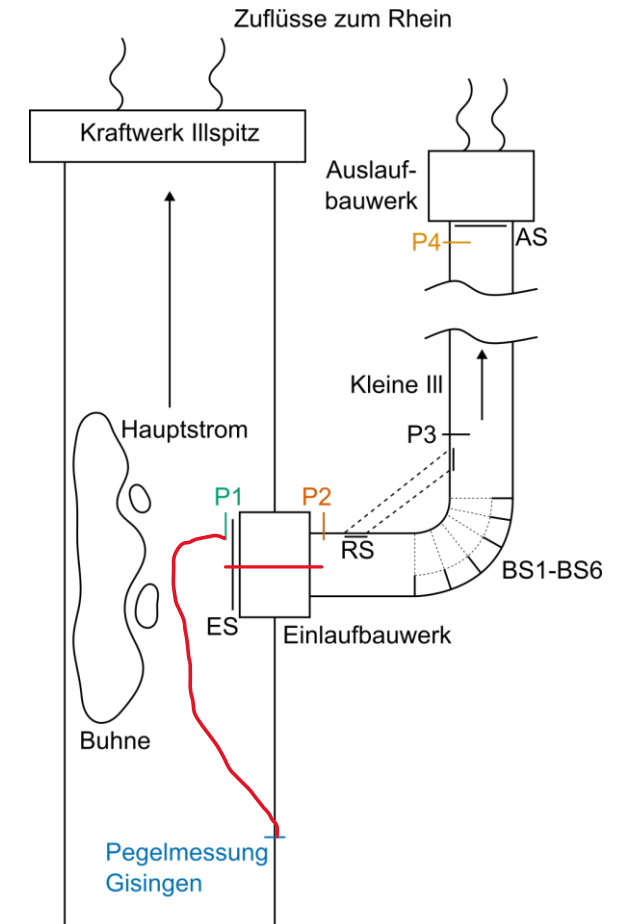
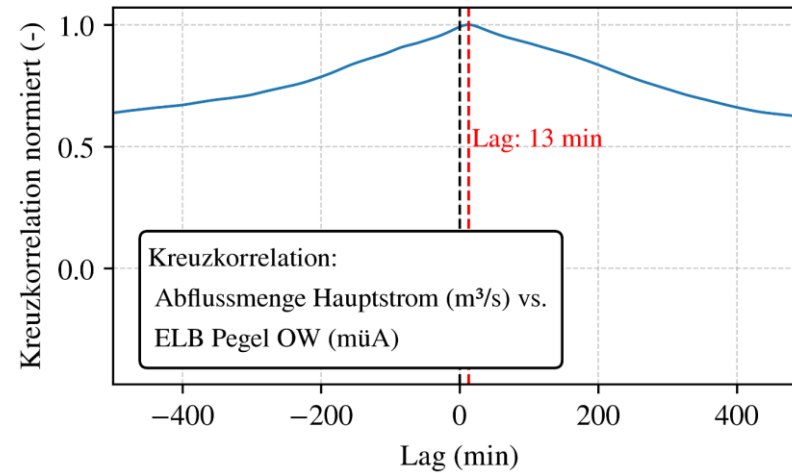
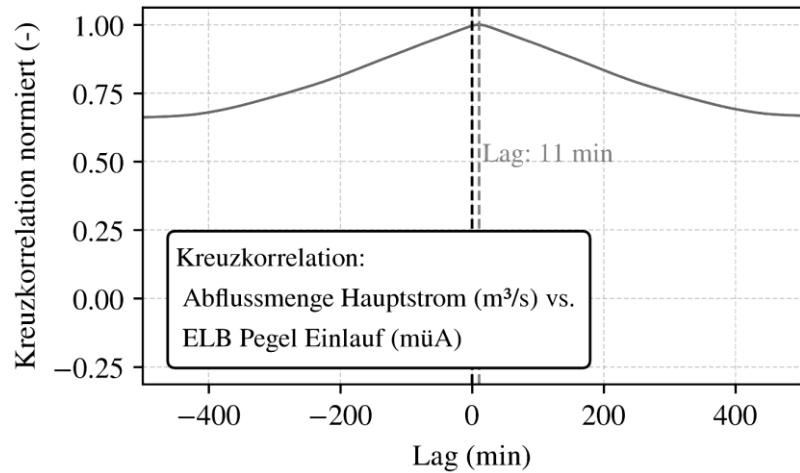
Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit



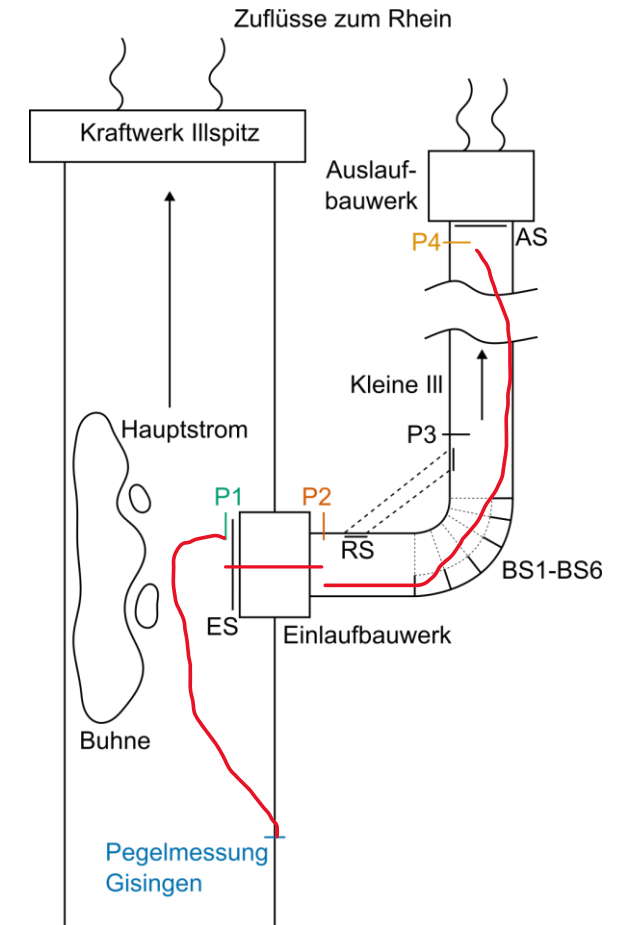
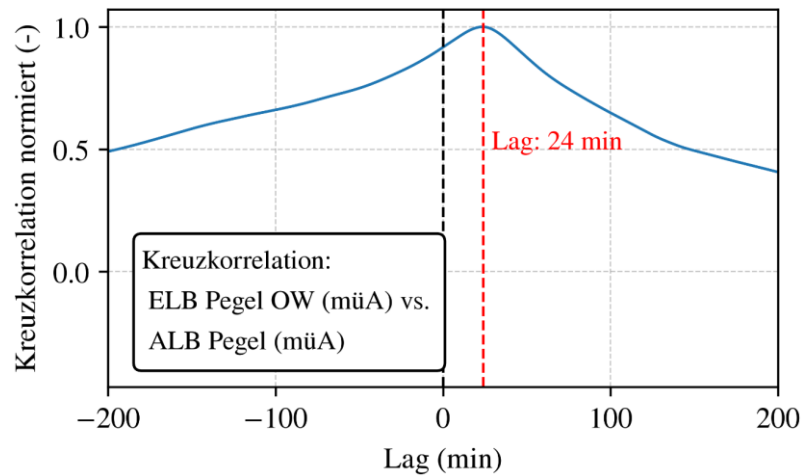
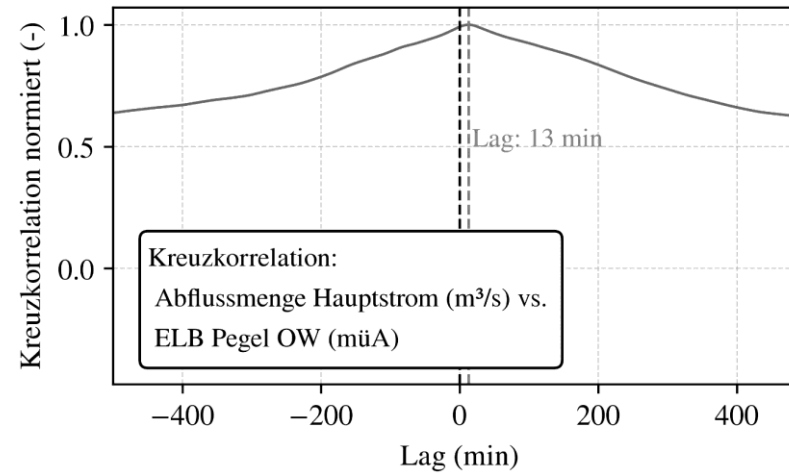
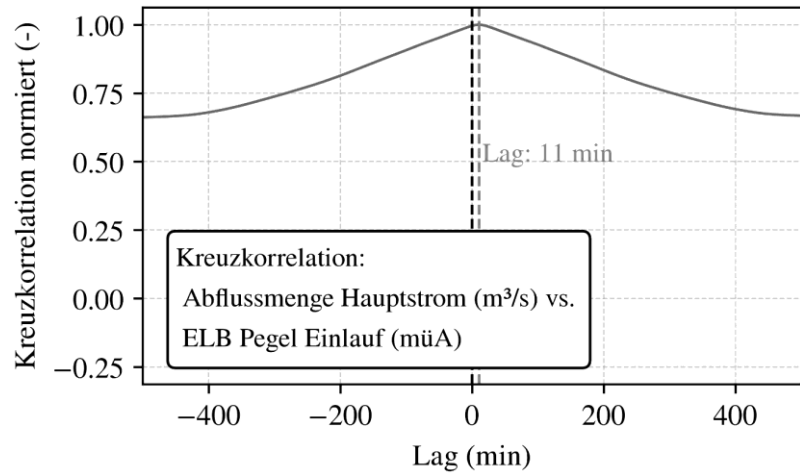
Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit - Ergebnisse



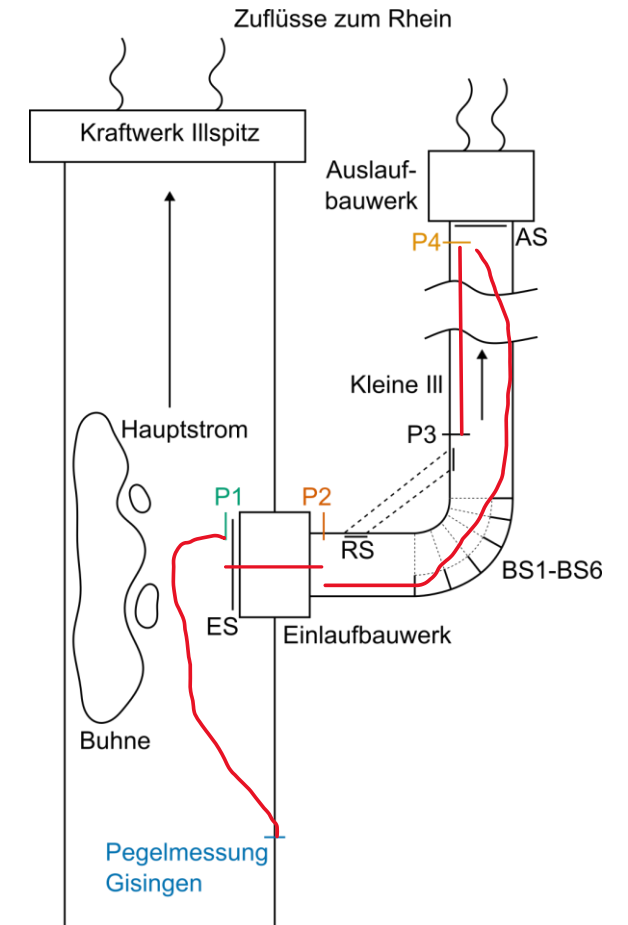
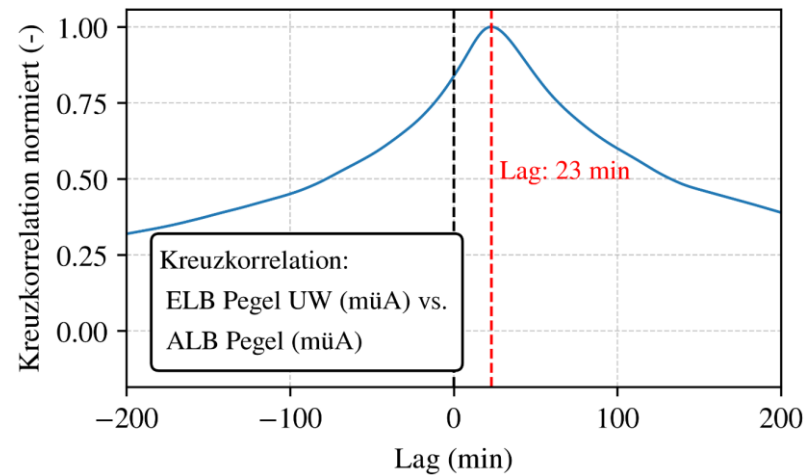
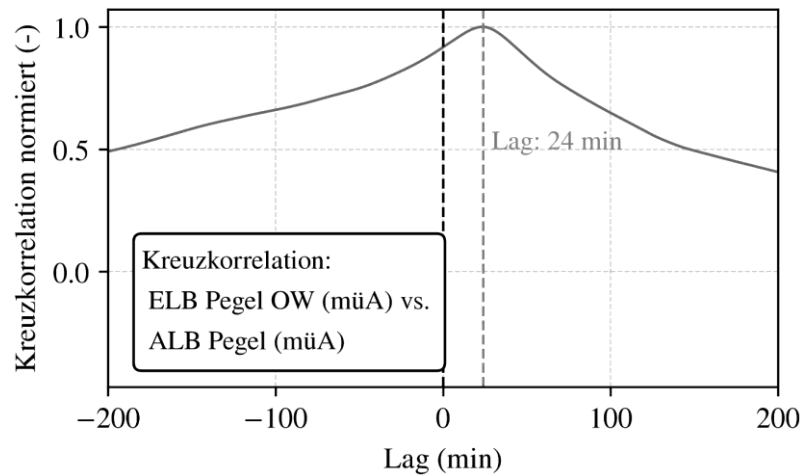
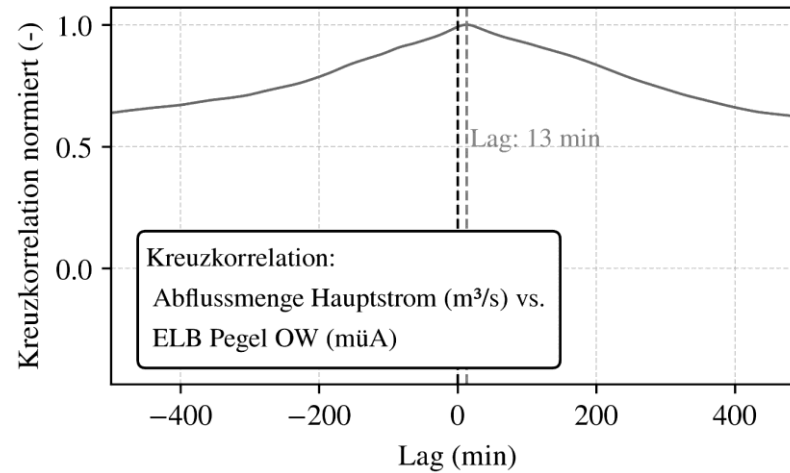
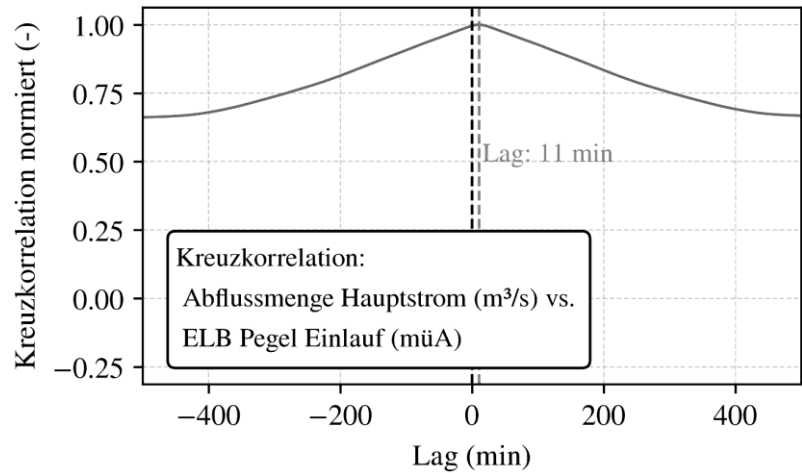
Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit - Ergebnisse



Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit - Ergebnisse



Kreuzkorrelationsanalyse zeitlicher Trägheit - Ergebnisse





Kleine III

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

- Explorative Datenanalyse führt zu besserem Systemverständnis
- Analyse der zeitlichen Trägheiten erfolgt und als Modellinput verwendet
- Erste datenbasierte Modelle zeigen, dass die Abflussmenge auf Basis der gemessenen Größen für die nächsten 20 Minuten prognostiziert werden kann.
- Derzeit laufen Analysen der Modellrobustheit sowie erste Test von Reglerentwürfen.
- Umsetzung der modellbasierten Regelung bis Ende 2026 geplant.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

