

Validierung von online Daten mit einem inversen Abflussmodell

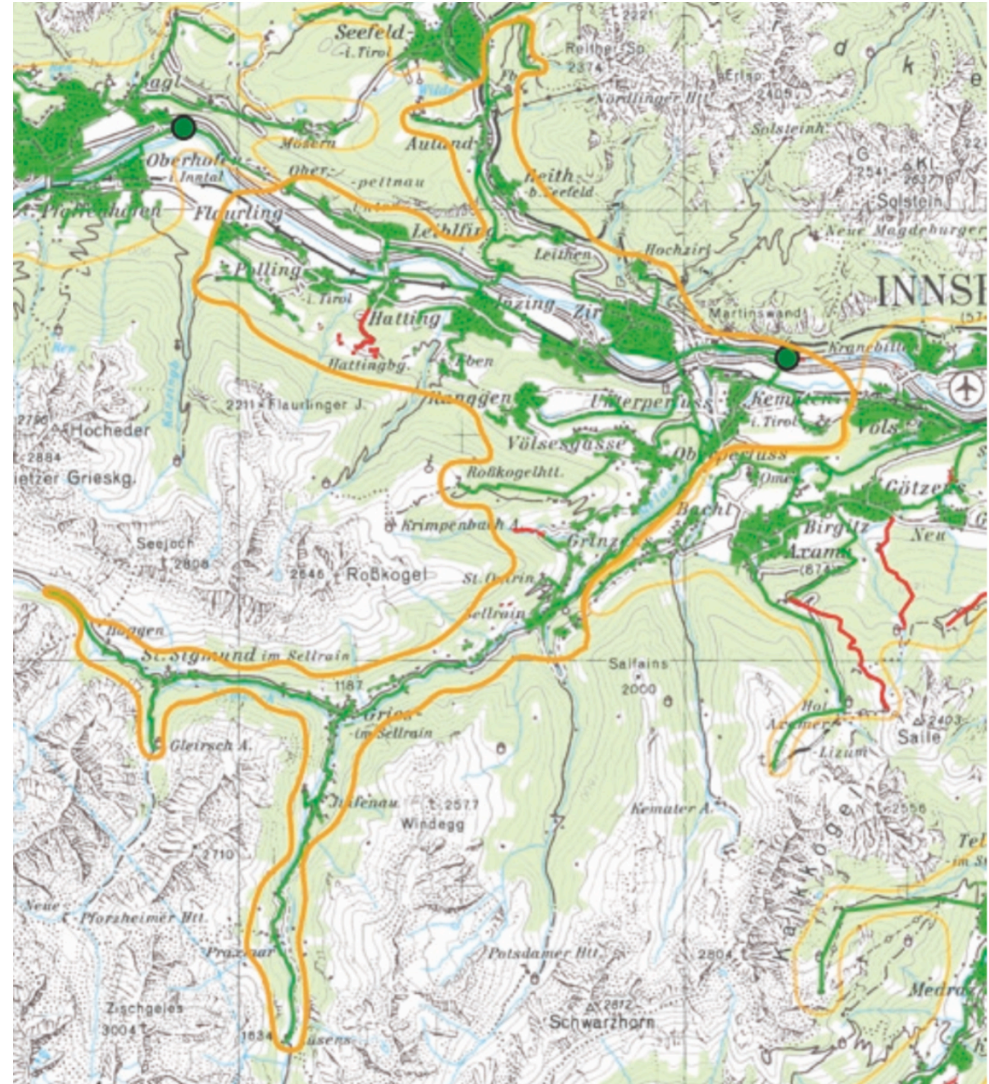
W. Rauch¹ und H. Kinzel²

¹Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Umwelttechnik

²hydro_IT GmbH, Innsbruck

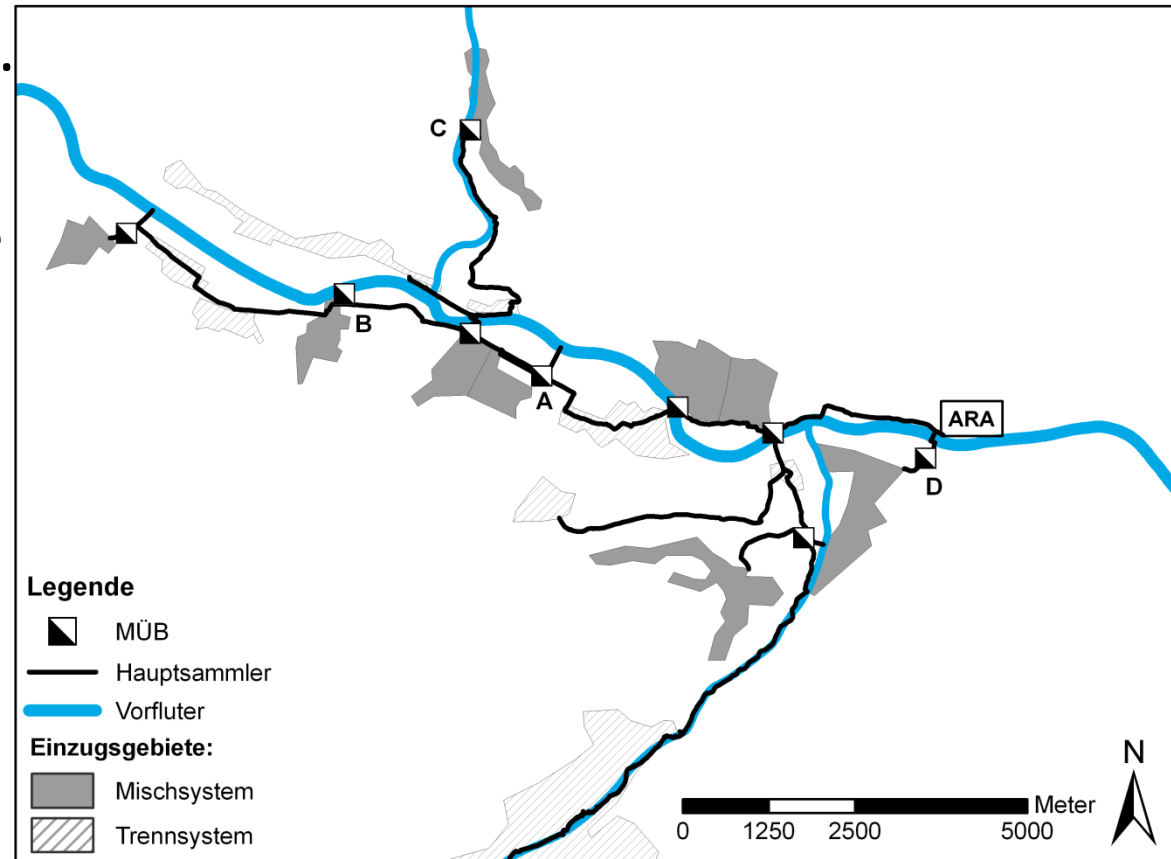


- 60 000 EW
- 14 Gemeinden



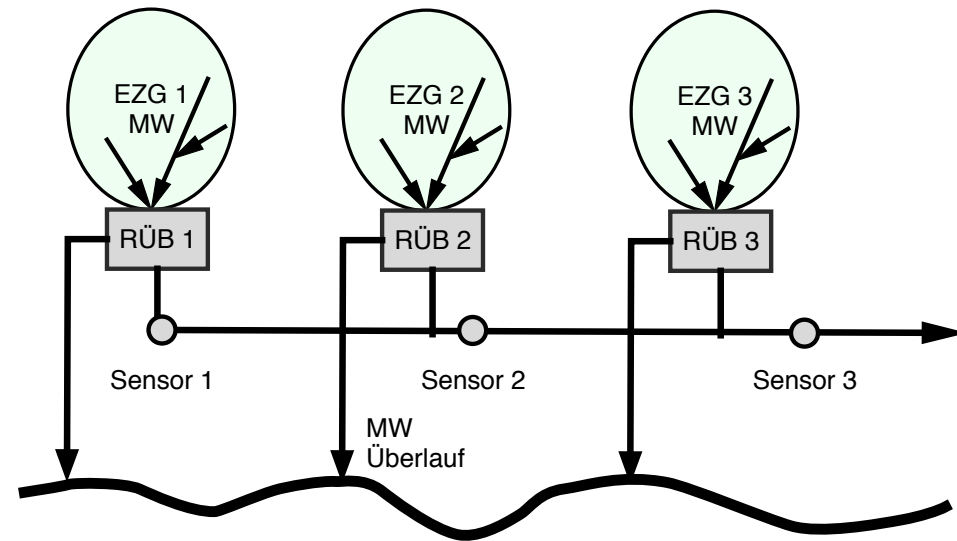
Einzugsgebiet AV Zirl und Umgebung, Tirol

- 60 000 EW
- 14 Gemeinden
- 17 Teileinzugsgeb.
 - 8 Trennsysteme
 - 9 Mischsysteme

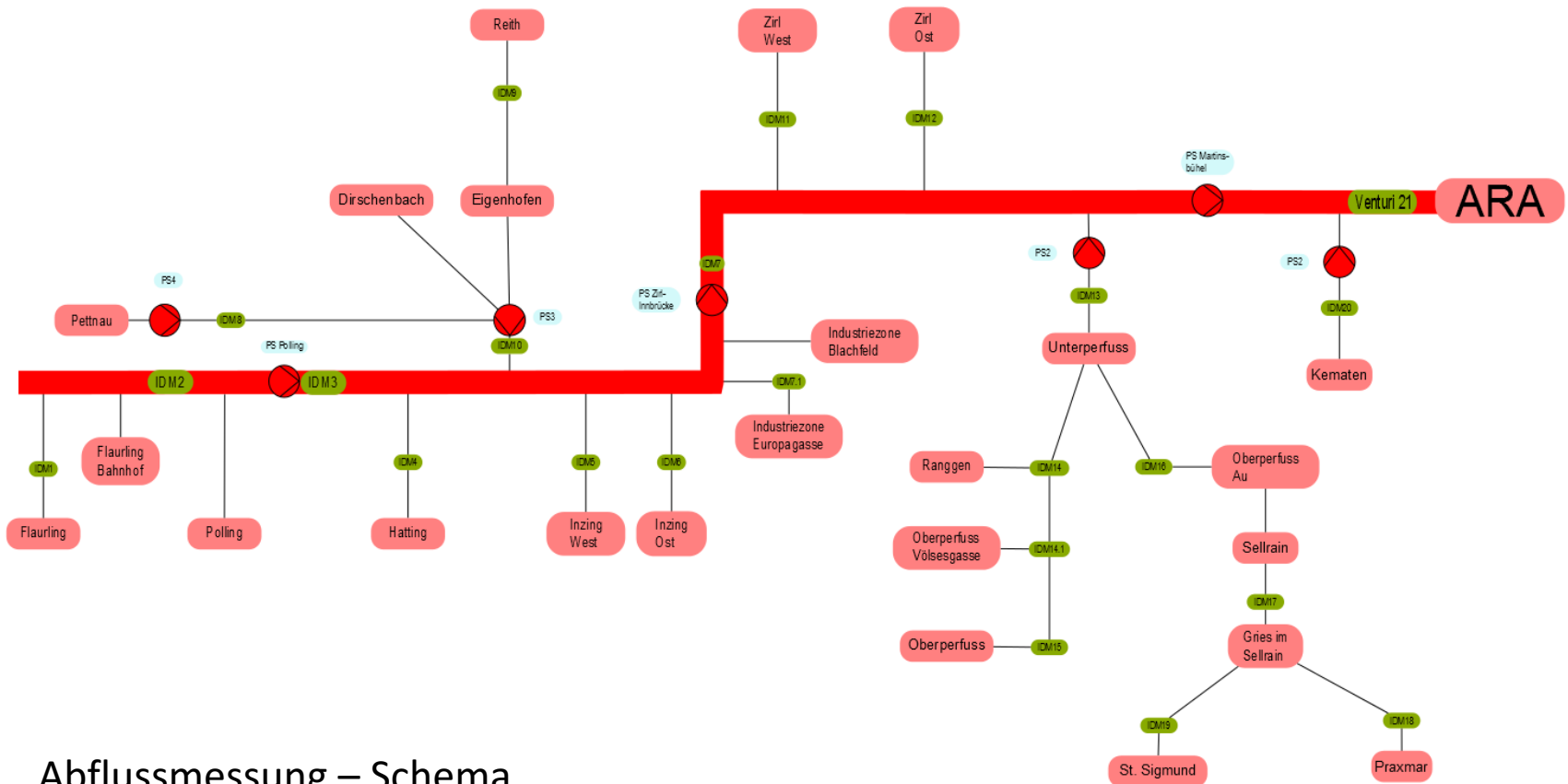


Einzugsgebiet AV Zirl und Umgebung, Tirol

- 60 000 EW
- 14 Gemeinden
- 17 Teileinzugsgeb.
 - 8 Trennsysteme
 - 9 Mischsysteme
- online Abflussmessung
 - 20 IDM + 1 Venturi
 - Abfluss EZG oder Hauptsammler
 - Q_{EZG} nicht eindeutig identifizierbar



Fallstudie und Ziel



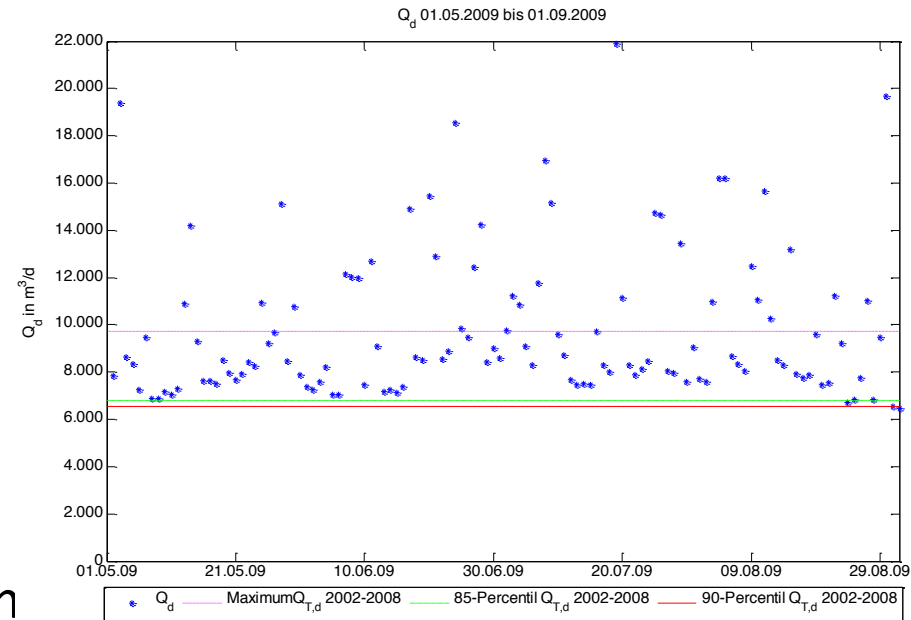
Abflussmessung – Schema
Abwasserverband Zirl und Umgebung

Einzugsgebiet AV Zirl und Umgebung, Tirol

- 60 000 EW
- 14 Gemeinden
- 17 Teileinzugsgeb.
 - 8 Trennsysteme
 - 9 Mischsysteme
- online Abflussmessung
 - 20 IDM + 1 Venturi
 - Abfluss EZG oder Hauptsamm
 - Q_{EZG} nicht eindeutig identifizierbar

– Ziel Abflussmessung

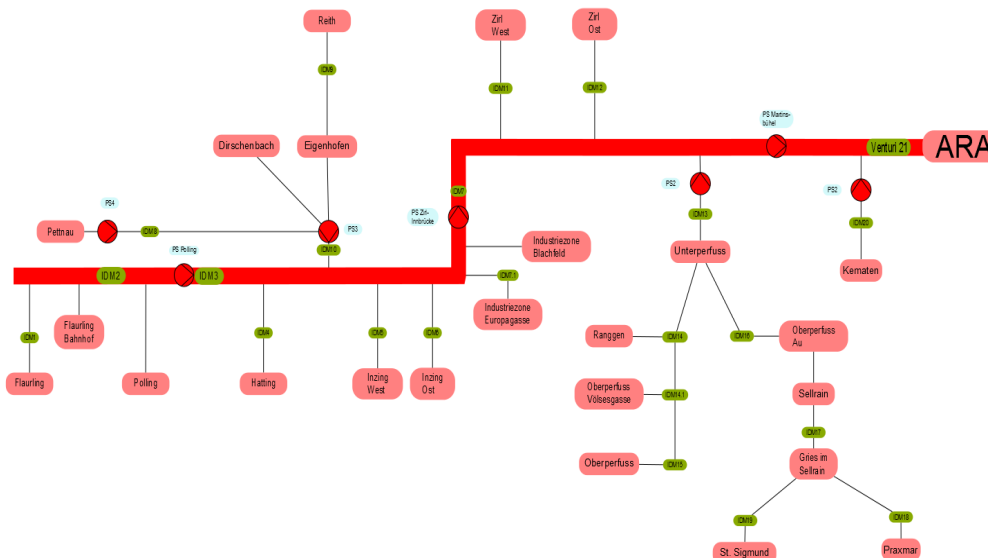
- Systeminformation (Niederschlag, Störung, Ausfall,...)
- Mengenerfassung für Abrechnung
- Störfallmanagement



Zufluss ARA - 2009

Derzeitige Probleme – bzw. Ziel des Projektes

- Datenvalidierung
- Datenrekonstruktion bei Sensorausfall
- Information über Systemverhalten (Ebene EZG)
- Störfallalarm



```
root@Ubuntu-1404-trusty-64-minimal: ~
```

msse	value
1463561855000	20.2
1463562155000	20.1795
1463562455000	20.1547
1463562755000	20.1872
1463563055000	20.1915
1463563355000	20.2192
1463563655000	20.2113
1463563955000	20.1674
1463564255000	20.128
1463564555000	20.1004
1463564855000	20.0673
1463565155000	20.0834
1463565455000	20.0354
1463565755000	19.987
1463566055000	20.0328
1463566355000	19.9871
1463566655000	19.9711
1463566955000	19.9848
1463567255000	20.0301
1463567555000	20.0212
1463567855000	20

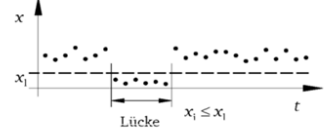
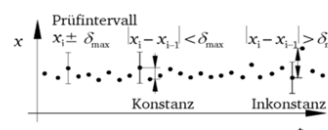
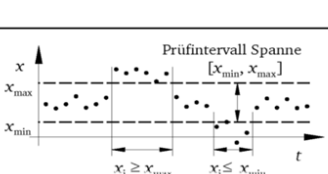
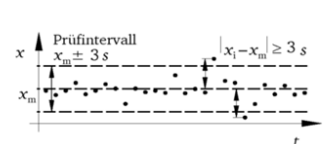
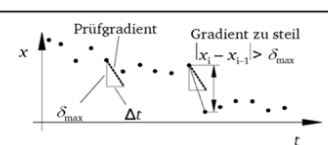
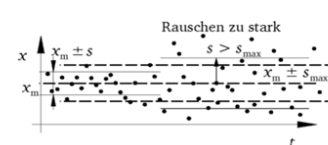
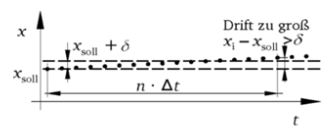
Numerische Datenprüfung

- Nullstellen Test
- Min-Max Test
- Flatline Test

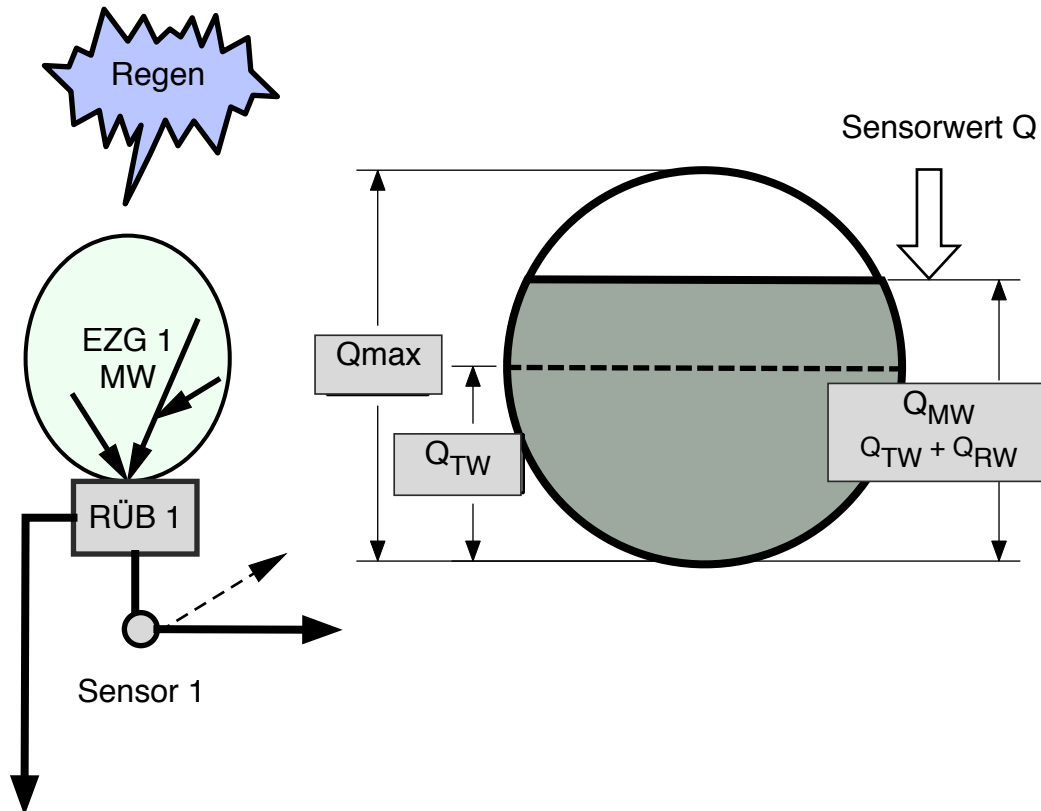
z.B. DWA-M131: Messung von Wasserstand und Durchfluss:

Kapitel 11) Numerische Plausibilitätskontrollen von Ganglinien

- Lücke
- Konstanz
- Spanne
- Ausreißer
- ...

Kriterium	Erläuterung	Bedingung	grafische Darstellung
Lücke	Sind Lücken in der Ganglinie vorhanden? Der Messwert erreicht oder unterschreitet einen Grenzwert x_1 , der als Lücke definiert ist. Beispiel: Messwertausfall	$x_1 \leq x_i$	
Konstanz	Sind aufeinanderfolgende Messwerte konstant? Die Beträge der Messwertänderungen liegen in n Zeitintervallen Δt unterhalb des Höchstwertes δ_{\max} . Beispiel A: Durchfluss in einem Regelkreis (Prüfung auf Konstanz) Beispiel B: Durchflussganglinie (Prüfung auf Nicht-Konstanz)	$ x_i - x_{i-1} < \delta_{\max}$ in $n \cdot \Delta t$	
Spanne	Über- oder unterschreitet der Messwert technisch oder physikalisch mögliche Grenzwerte? Der Messwert liegt außerhalb der zu erwartenden oder möglichen Spanne. Beispiel: Überschreitung eines maximal möglichen Wasserstandes	$x_1 \leq x_{\min}$ $x_1 \geq x_{\max}$	
Ausreißer	Ist der Messwert verdächtig als Ausreißer? Messwert liegt außerhalb eines Bereiches der dreifachen Standardabweichung s von (Gleit-)Mittel x_m (3- σ -Test). Statt des (Gleit-)Mittels kann auch eine bereichsweise gültige Approximationsfunktion verwendet werden. Beispiel: sehr hoher Einzelwert eines Wasserstandes	$ x_i - x_m > 3s$	
Gradient	Steigen oder fallen die Messwerte zu schnell? Der Betrag der Messwertänderung liegt oberhalb des Höchstwertes δ_{\max} . Beispiel: technisch nicht mögliches schnelles Entleeren eines Beckens	$ x_i - x_{i-1} > \delta_{\max}$	
Rauschen	Weisen die Messwerte eine übermäßige Streuung auf? Die Standardabweichung von n Messwerten überschreitet deutlich einen festen oder als Gleitwert ermittelten Wert s_{\max} . Beispiel: Einflüsse externer elektrischer Einrichtungen auf die Messkabel infolge Induktion	$s(x_1 \dots x_{i-n}) > 2s_{\max}$	
Drift	Weisen die Messwerte ein Driftverhalten auf? Die Messwerte eines konstanten Sollwertes x_{soll} verändern sich langsam stetig. Beispiel: Nullpunktdrift eines Drucksensors	bei $x_i \approx x_{\text{soll}}$ $ x_i - x_{\text{soll}} > \delta$ in $n \cdot \Delta t$	

Messung: Abfluss(ganglinie) nach Drossel bzw. im Hauptsammler

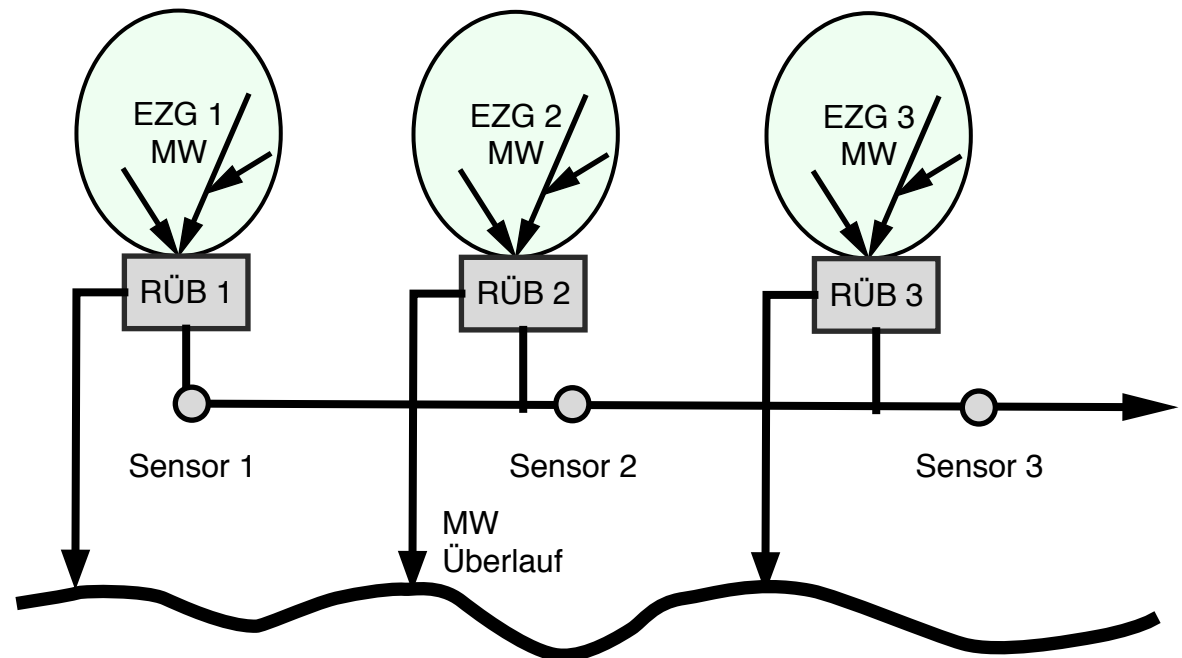


```
root@Ubuntu-1404-trusty-64-minimal: ~
```

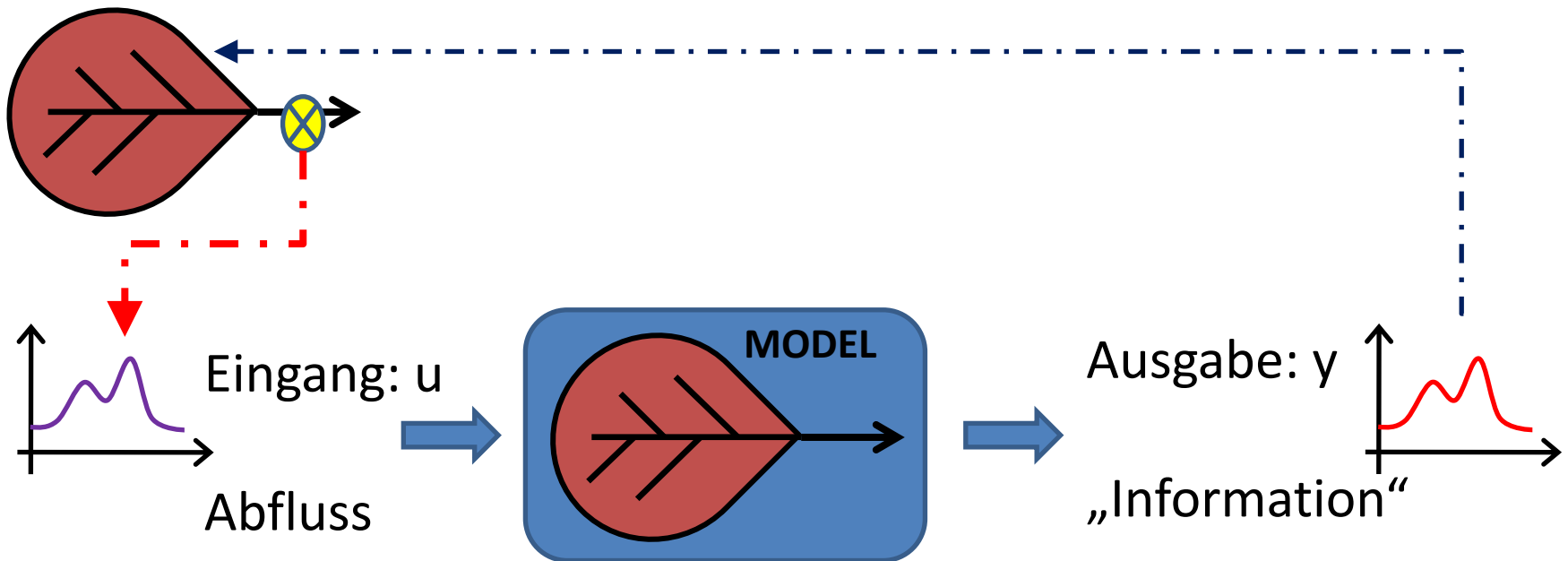
msse	value
1463561855000	20.2
1463562155000	20.1795
1463562455000	20.1547
1463562755000	20.1872
1463563055000	20.1915
1463563355000	20.2192
1463563655000	20.2113
1463563955000	20.1674
1463564255000	20.128
1463564555000	20.1004
1463564855000	20.0673
1463565155000	20.0834
1463565455000	20.0354
1463565755000	19.987
1463566055000	20.0328
1463566355000	19.9871
1463566655000	19.9711
1463566955000	19.9848
1463567255000	20.0301
1463567555000	20.0212
1463567855000	20

Ziel: Online Modell für

- Datenvalidierung
- Datenrekonstruktion bei Sensorausfall
- Information über Systemverhalten (Ebene EZG)
- Störfallalarm



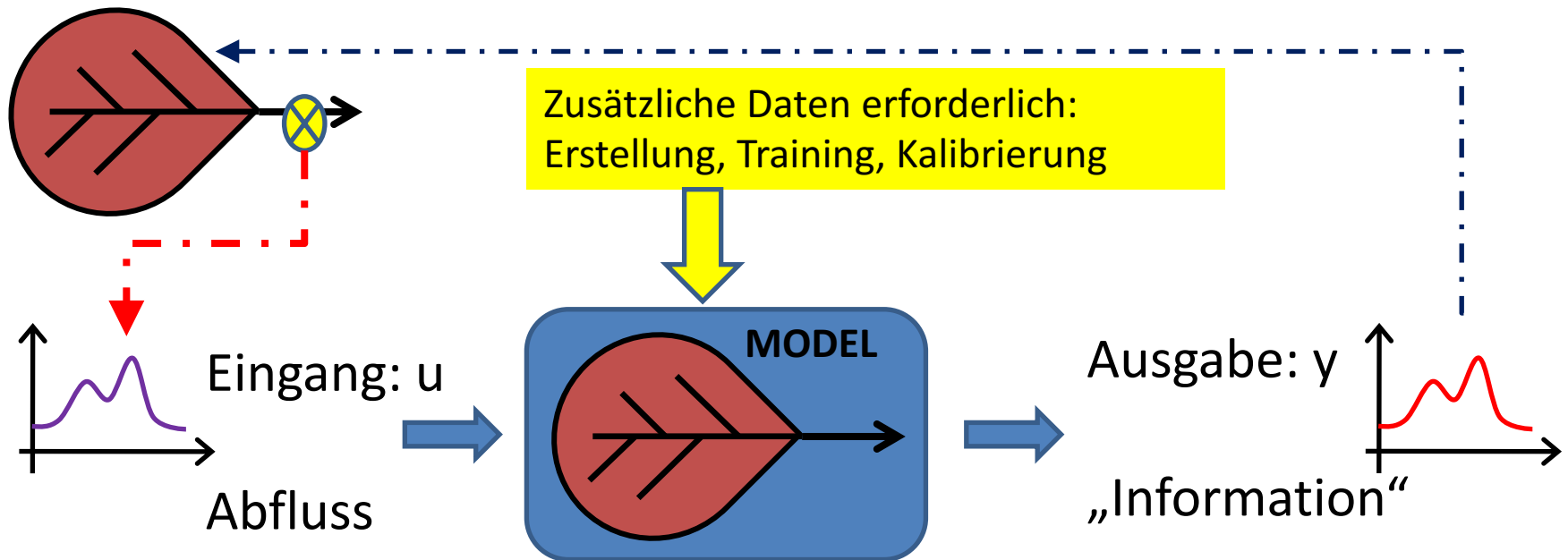
Schema: Online Modell



Modeltypen

- Statistisches Modell (ARMA, ...)
- Selbstlernend (ANN, ...)
- Zustandsgrößenmodell (NA Modell, ...)

Schema: Online Modell

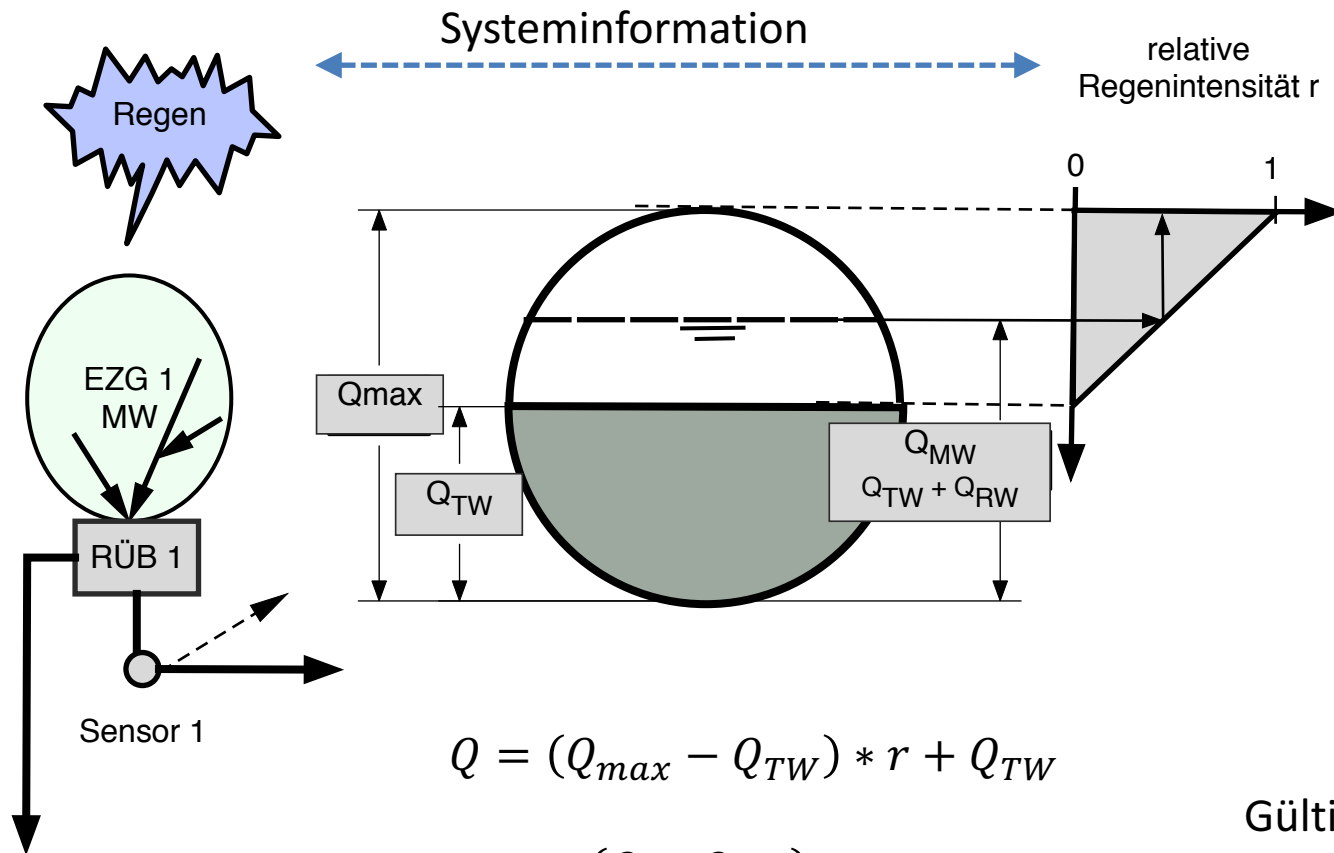


Modelltypen

- Statistisches Modell (ARMA, ...)
- Selbstlernend (ANN, ...)
- Zustandsgrößenmodell (NA Modell, ...)

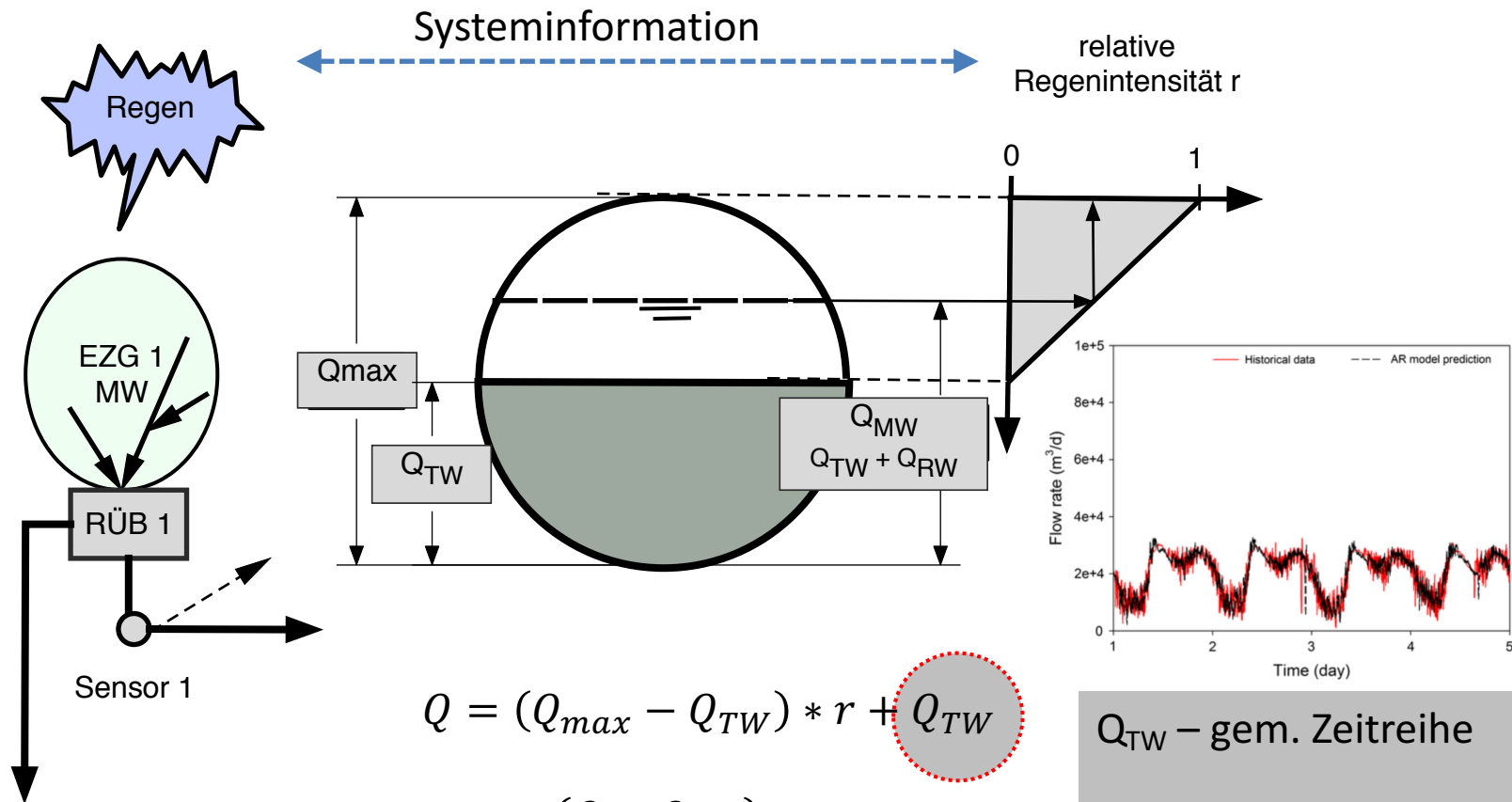
Modellnachführung
(Kalman Filter, ...)





$$r = \frac{(Q - Q_{TW})}{(Q_{max} - Q_{TW})}$$

Gültig für
singuläres EZG

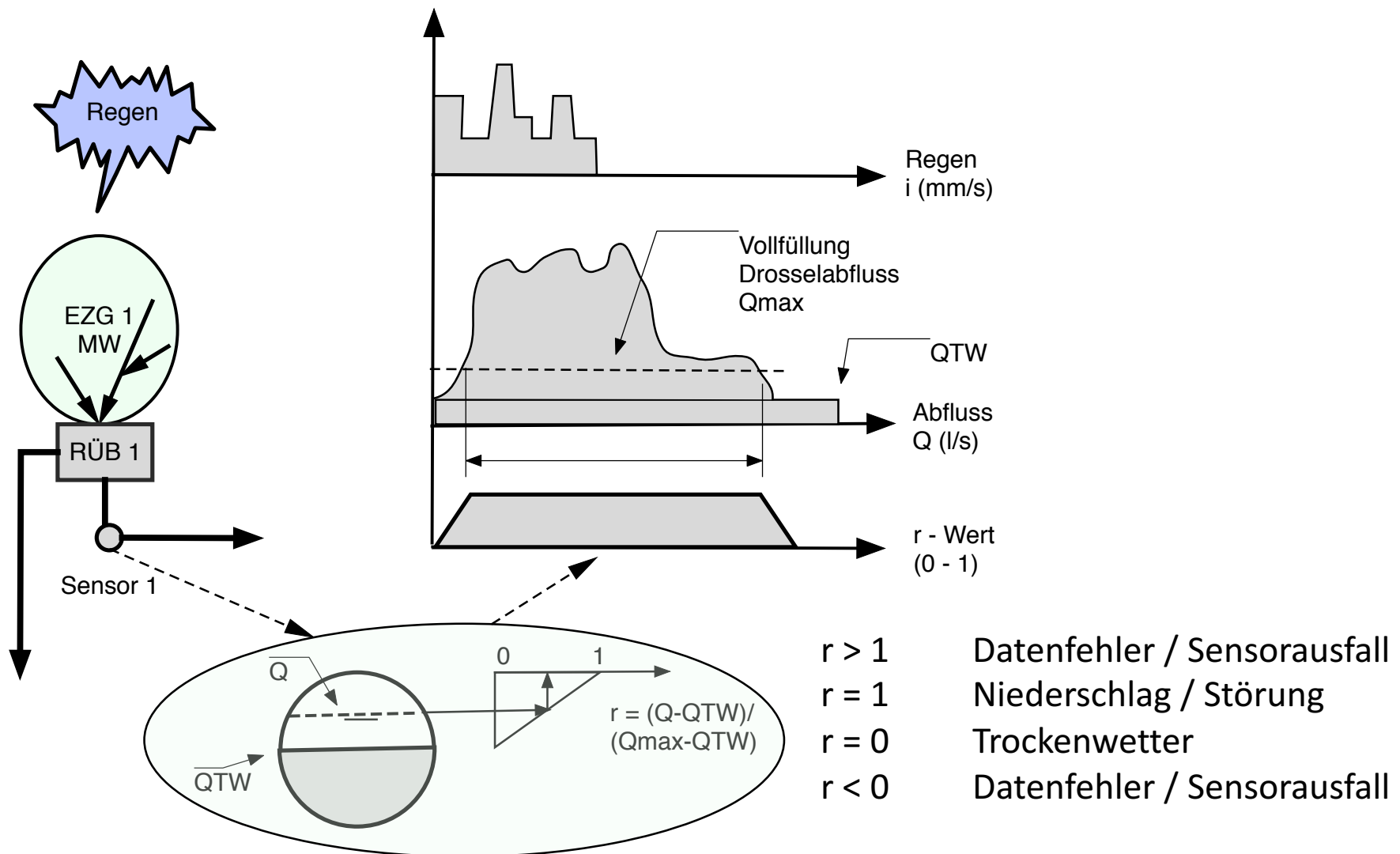


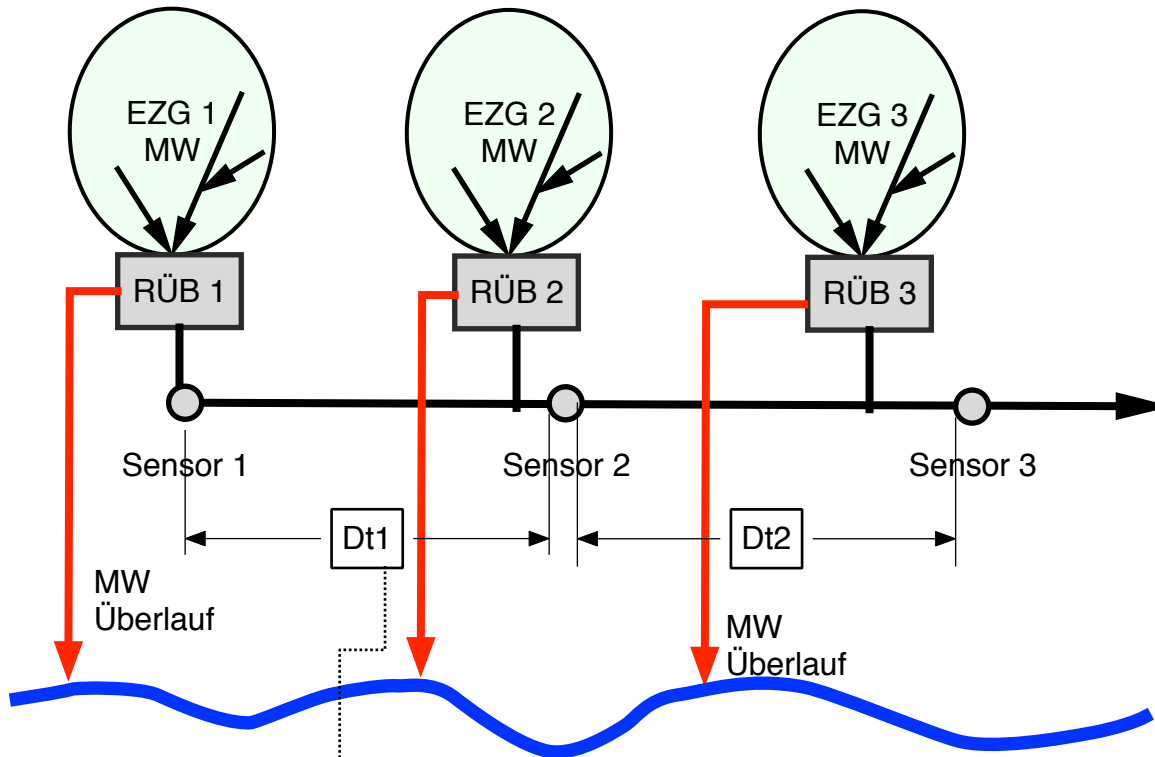
$$r = \frac{(Q - Q_{TW})}{(Q_{max} - Q_{TW})}$$

Q_{TW} – gem. Zeitreihe

Optional – Modell
(ARMA, ANN, etc.)

Online Model





Allgemeine Formulierung
für „beliebige“ und nicht
vermaschte Netze

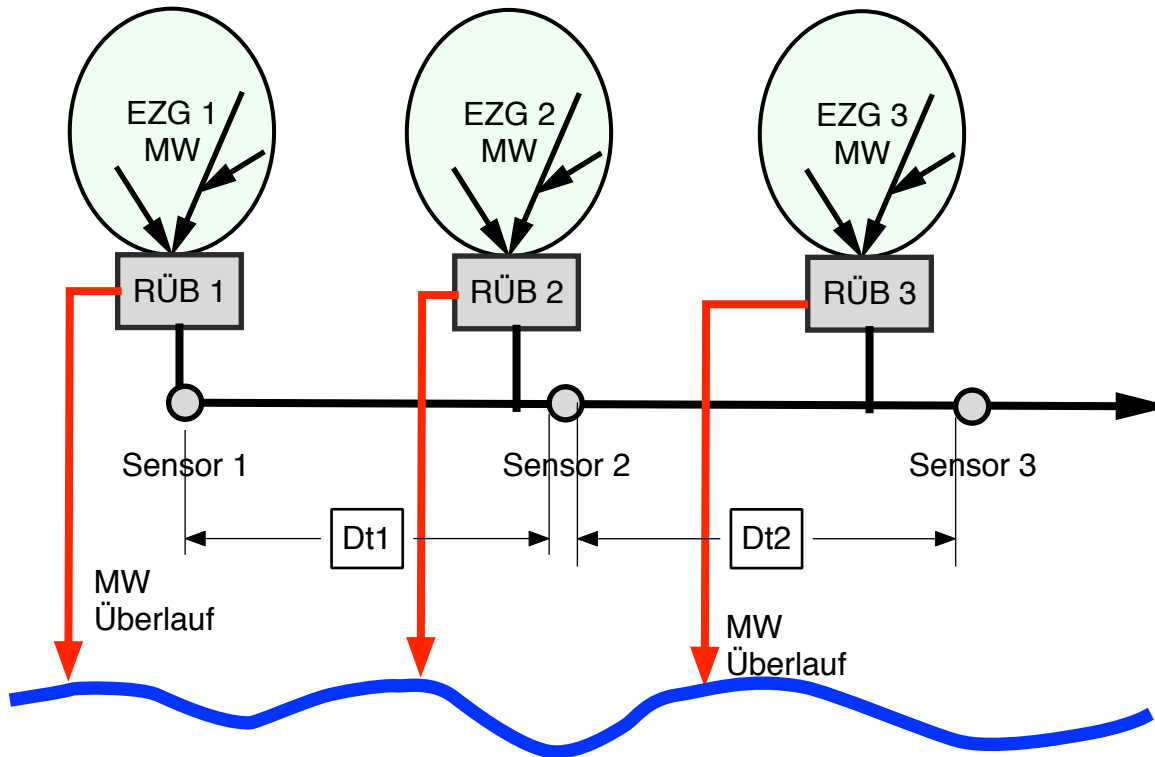
$$Q_n = Q_{n-1,\Delta T} + (Q_{max,n} - Q_{TW,n}) * r_n + Q_{TW,n}$$

$$r_n = \frac{(Q_n - Q_{n-1,\Delta T} - Q_{TW,n})}{(Q_{max,n} - Q_{TW,n})}$$

Für Sensor n in Hauptsammler

Hier n = 2,3

Online Model

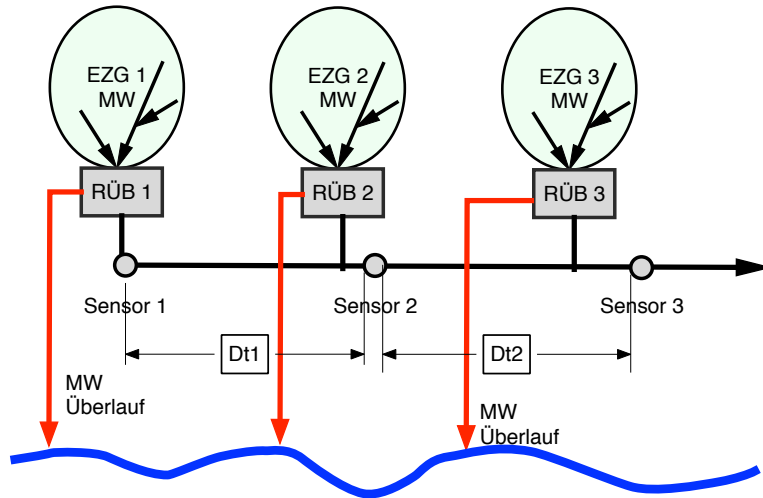


$$Q_n = Q_{n-1,\Delta T} + (Q_{max,n} - Q_{TW,n}) * r_n + Q_{TW,n}$$

$$r_n = \frac{(Q_n - Q_{n-1,\Delta T} - Q_{TW,n})}{(Q_{max,n} - Q_{TW,n})}$$

Lineares Transportmodell

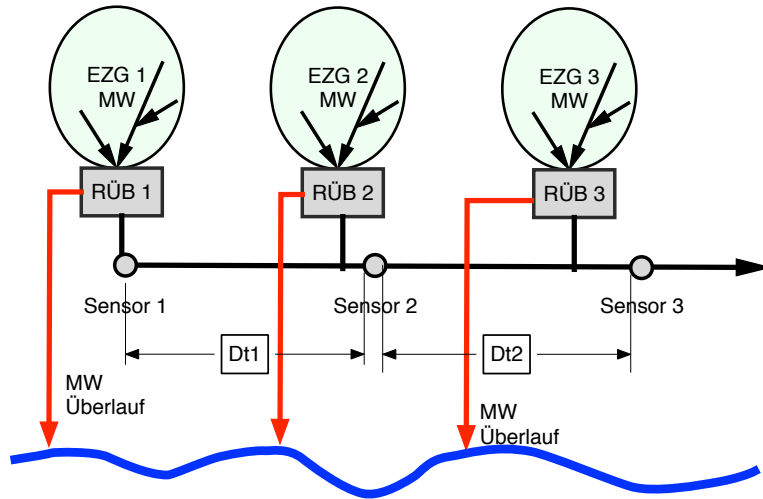
Translation $v_{trans} = \frac{L}{\Delta t}$



- r Information für jedes EZG
- Validierung : Min – Max Test (0-1)
- Datenrekonstruktion bei Sensorausfall

$Q_{n-1} = \text{Messwert}$

$$r_{n-1} = \frac{(Q_{n-1} - Q_{n-2, \Delta T} - Q_{TW, n-1})}{(Q_{max, n-1} - Q_{TW, n-1})}$$

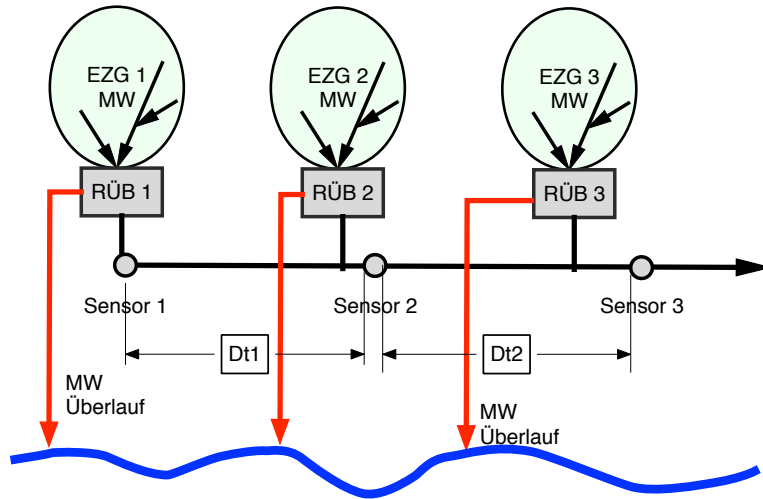


- r Information für jedes EZG
- Validierung : Min – Max Test (0-1)
- Datenrekonstruktion bei Sensorausfall
 1. Festlegung r (z.B. r_{mean})
 2. Berechnung Q mit r

$$Q_{n-1} = \text{Messwert} \quad r_{n-1} = \frac{(Q_{n-1} - Q_{n-2,\Delta T} - Q_{TW,n-1})}{(Q_{\max,n-1} - Q_{TW,n-1})}$$

$$Q_n = \text{NaN (Error)} \quad r_n = f(r_{n-1}, r_{n+1}) \quad Q_n = Q_{n-1,\Delta T} + (Q_{\max,n} - Q_{TW,n}) * r_n + Q_{TW,n}$$

$$Q_{n+1} = \text{Messwert} \quad r_{n+1} = \frac{(Q_{n+1} - Q_{n,\Delta T} - Q_{TW,n+1})}{(Q_{\max,n+1} - Q_{TW,n+1})}$$



- r Information für jedes EZG
- Validierung : Min – Max Test (0-1)
- Datenrekonstruktion bei Sensorausfall
 1. Festlegung r (z.B. r_{mean})
 2. Berechnung Q mit r

$$Q_n = \text{NaN (Error)} \quad r_n = f(r_{n-1}, r_{n+1})$$

$$Q_{n+1} = \text{Messwert}$$

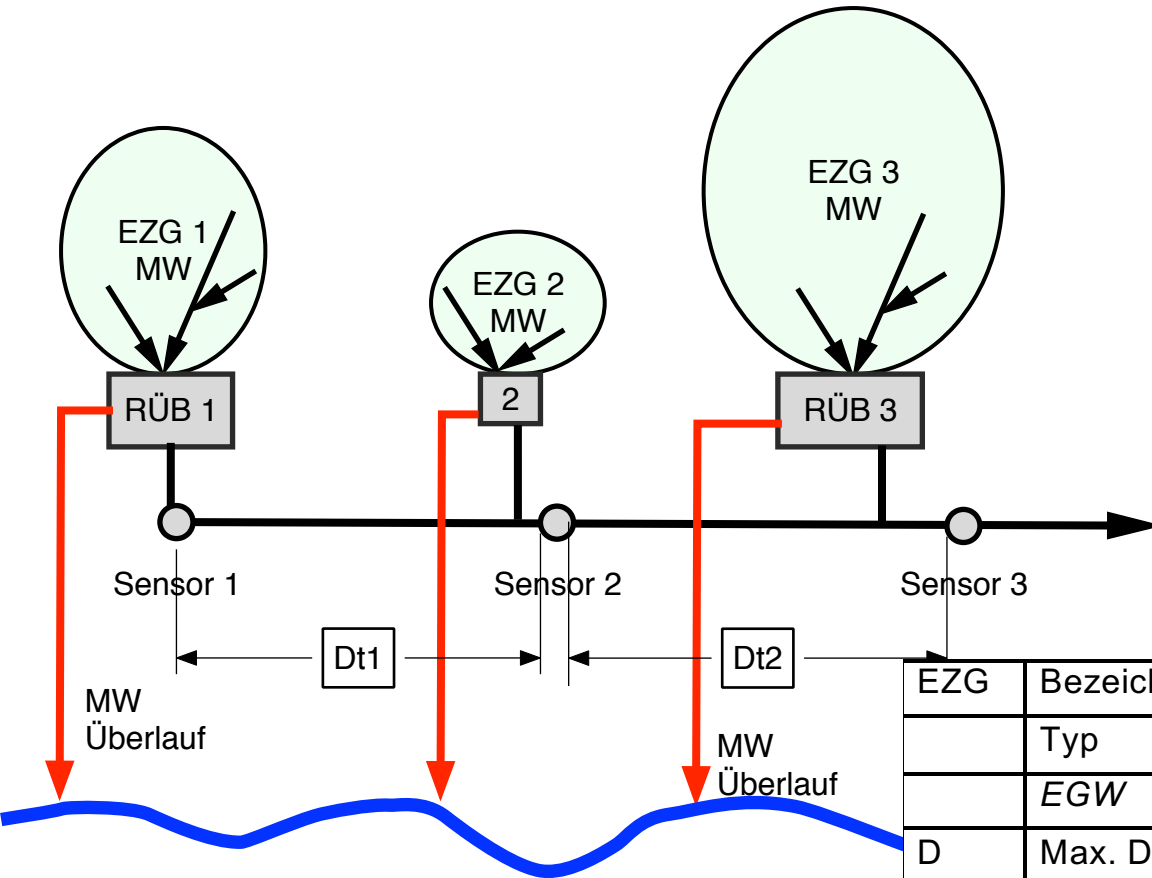
$$Q_{n+2} = \text{Messwert}$$

$$Q_n = Q_{n-1, \Delta T} + (Q_{\max, n} - Q_{TW, n}) * r_n + Q_{TW, n}$$

$$r_{n+1} = \frac{(Q_{n+1} - Q_{n, \Delta T} - Q_{TW, n+1})}{(Q_{\max, n+1} - Q_{TW, n+1})}$$

$$r_{n+2} = \frac{(Q_{n+1} - Q_{n+1, \Delta T} - Q_{TW, n+2})}{(Q_{\max, n+2} - Q_{TW, n+2})}$$

Fehler-
Fortpflanzung
limitiert

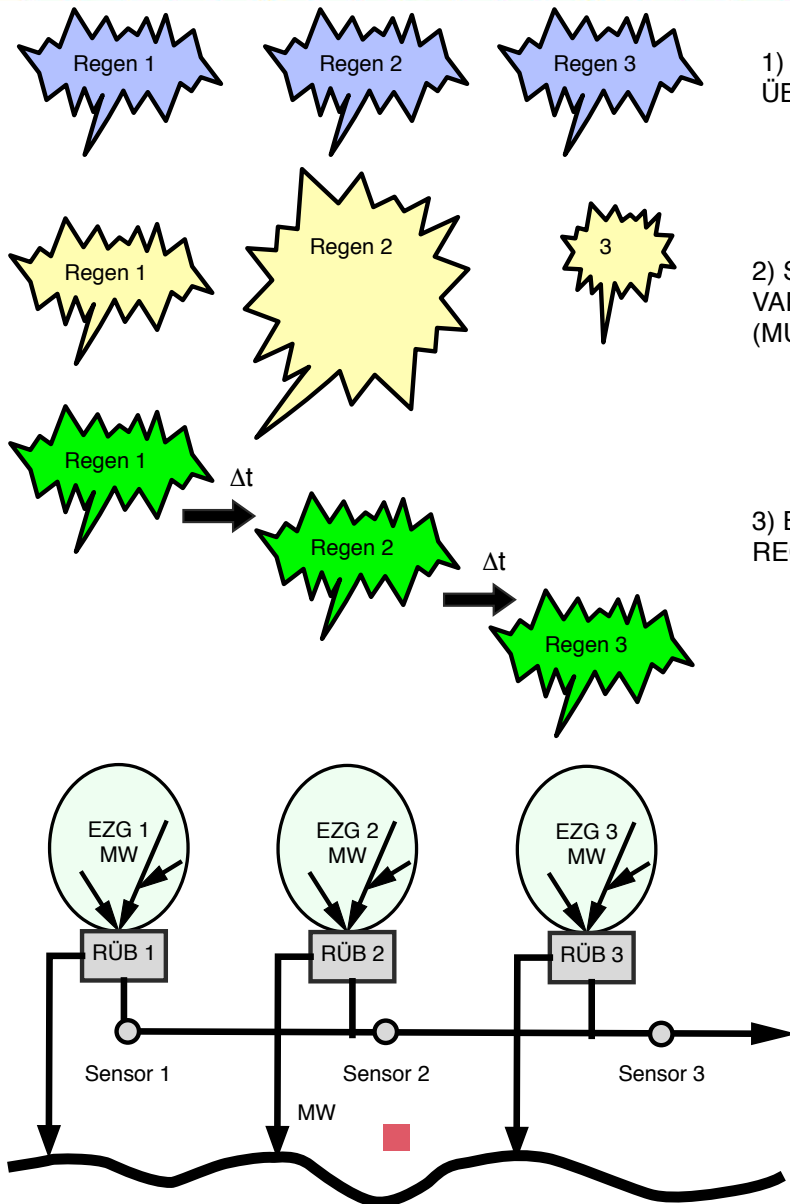


Testsystem

Abflussdaten generiert mit NA Modell KAREN

- NA – ohne Verluste
- Translationsmodell

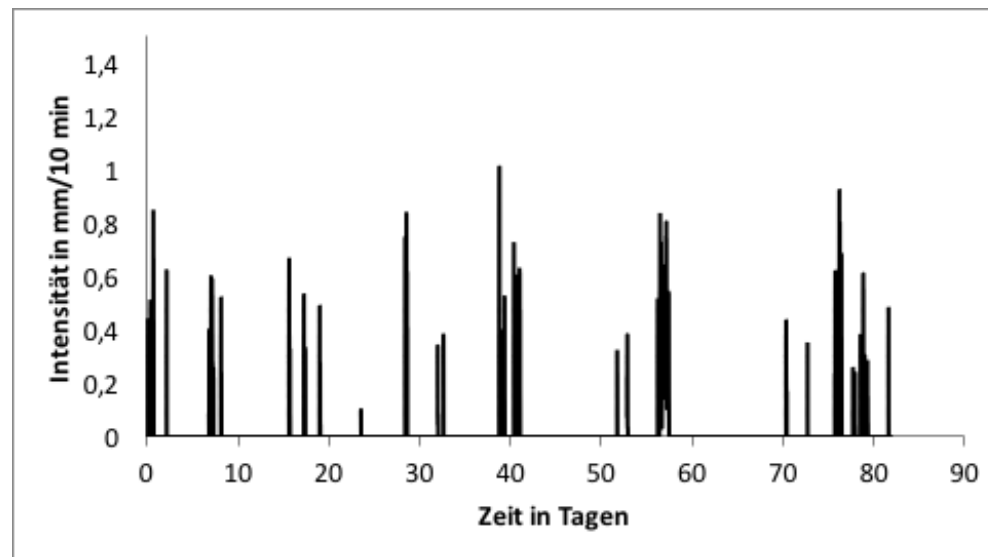
EZG	Bezeichnung	1	2	3
	Typ	MS	TS	MS
	EGW	10000	5000	20000
D	Max. Drossel in l/s	90	40	180
Δt	Fließzeit (min)	60	40	0
TW m	Trockenwetter Abfluss MW in l/s	20	10	40
F	Abflusswirksame Fläche in ha	60	20	80
t_f	Fließzeit im EZG in min	25	15	35
VRÜB	Volumen RÜB in m ³	900	200	1200

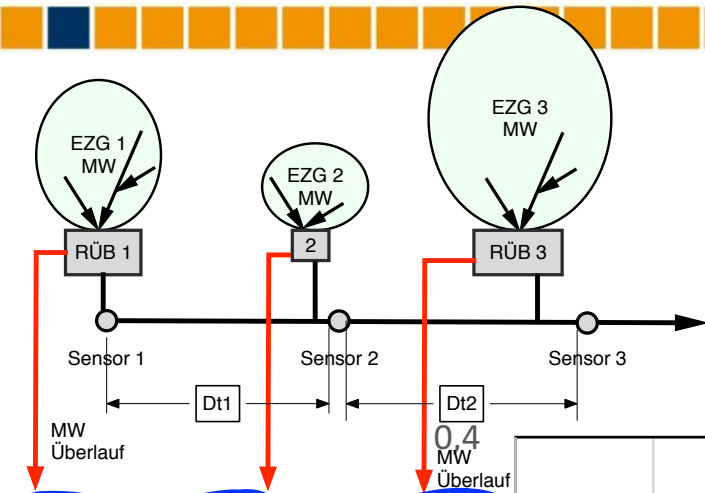


Niederschlag

Serie: Måløv, DK, 07-09 1979

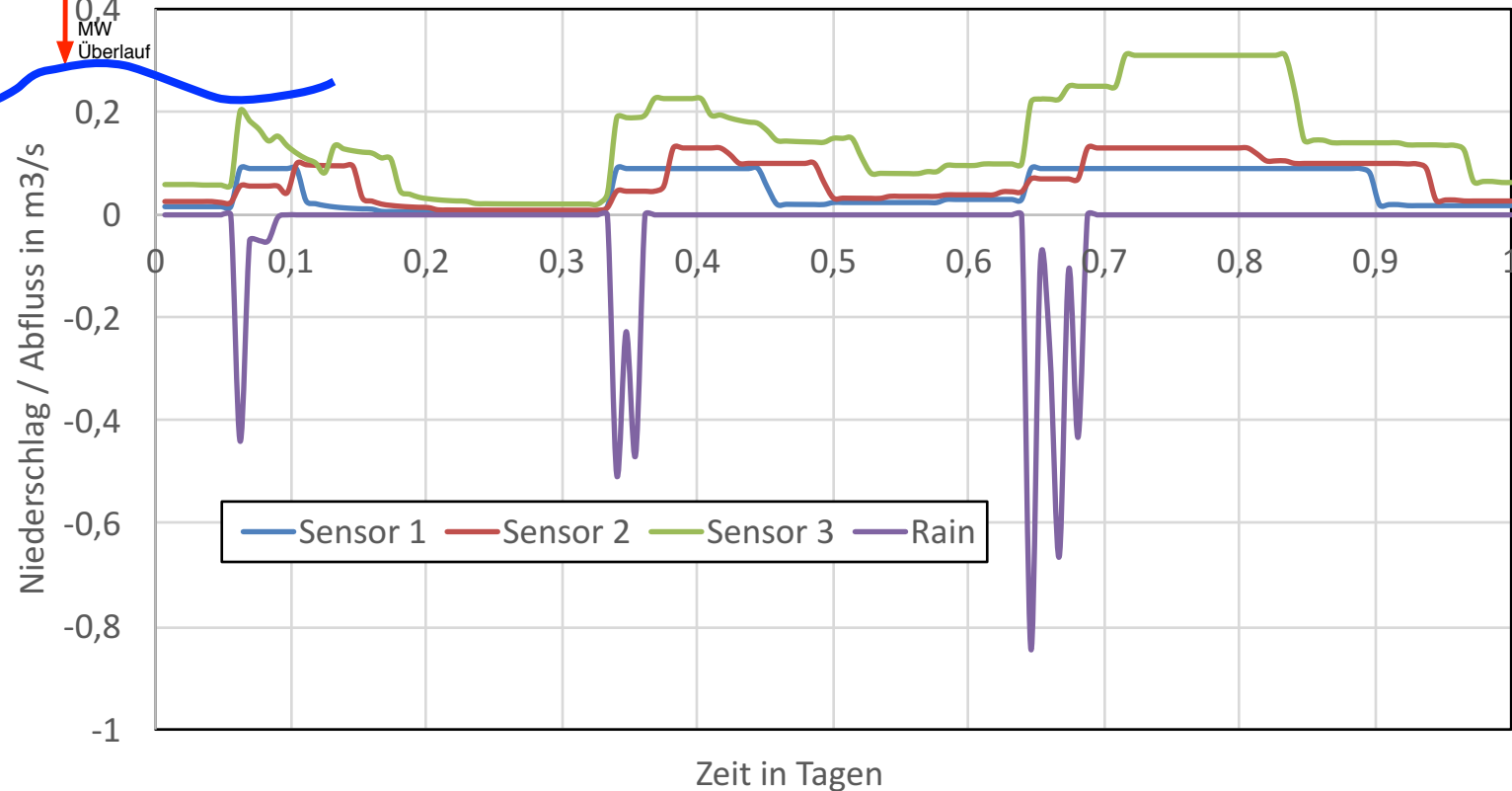
Räumliche Verteilung



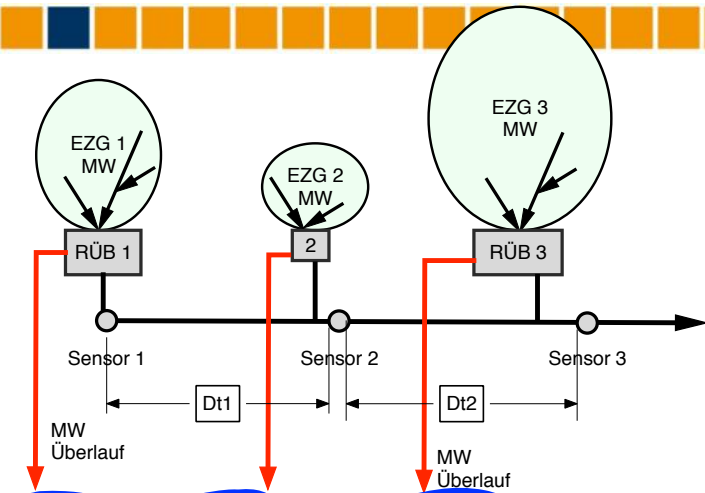


Berechnete Sensorwerte Q für Testsystem

Gleichmäßige Überregnung
 Ganglinie für 1 Tag

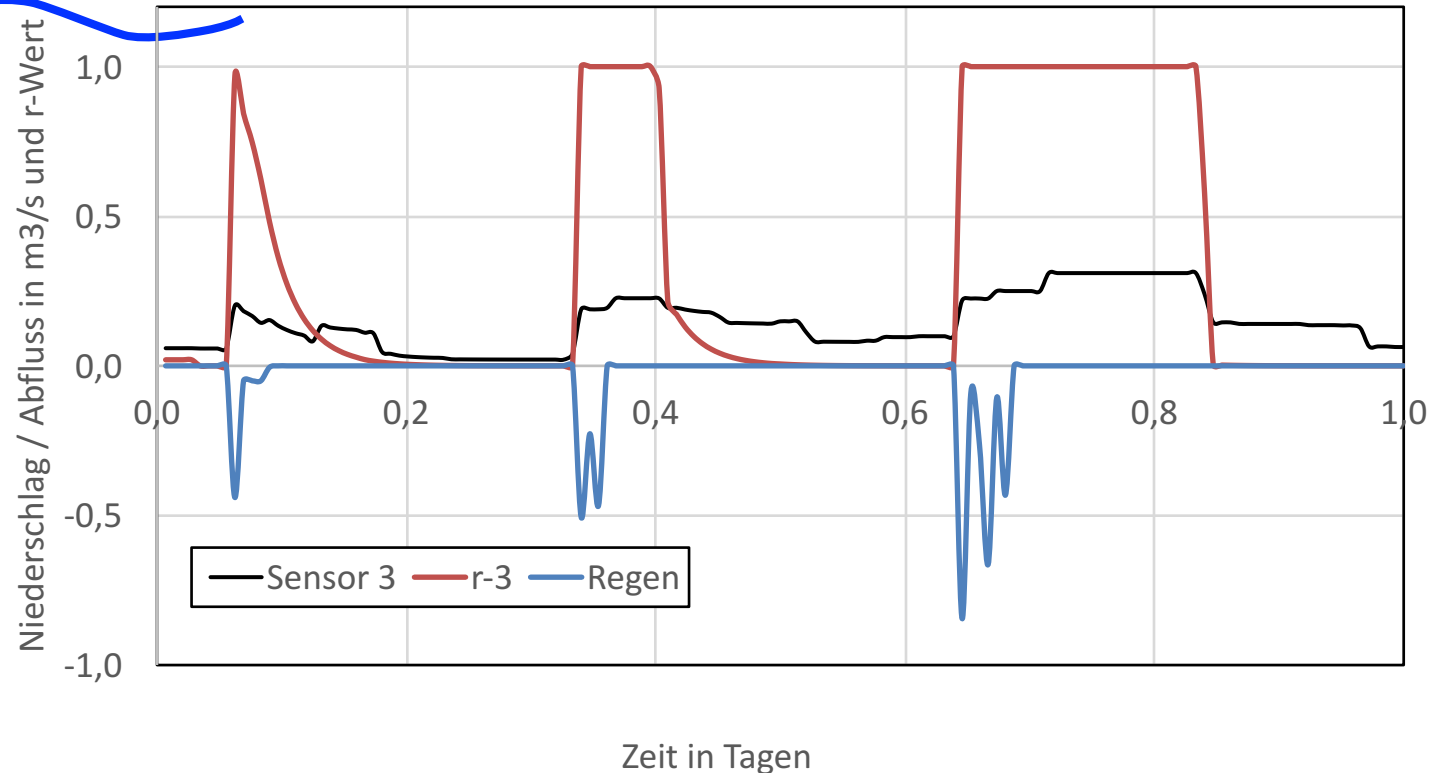


Niederschlag
 negativ in mm/10



Onlinemodell: Q und r-Wert für Sensor 3

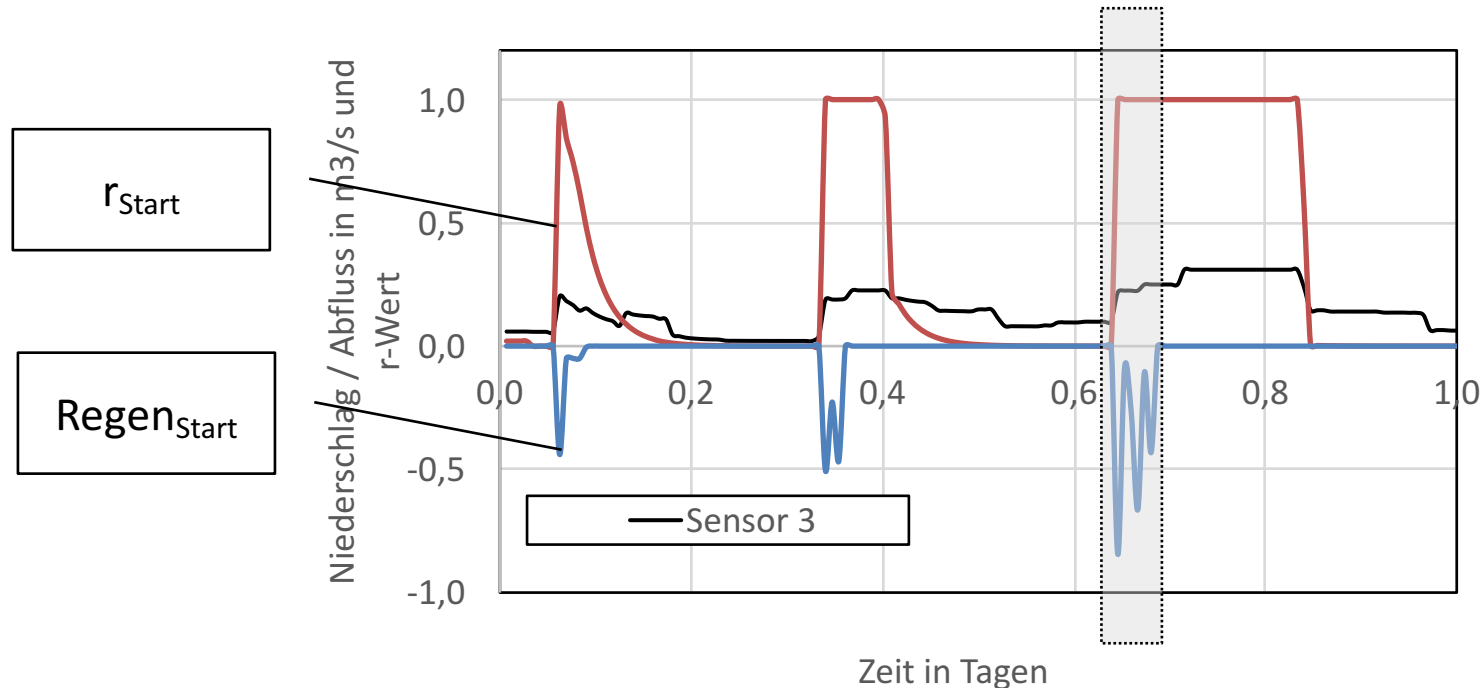
Gleichmäßige Überregnung
Ganglinie für 1 Tag



Niederschlag
negativ in mm/10

Testkriterien für Modelltest

- Regenstart korrekt ident. ($\text{Regen}_{\text{Start}} \approx r_{\text{Start}}$) Anzahl in %
- Regenstart falsch angezeigt ($r_{\text{Start}} \neq \text{Regen}_{\text{Start}}$) Anzahl in %
- Regen korrekt ($\text{Regen} = r$ – in jedem Zeitschritt) Summe in %



Berechnung:

Gleichmäßige Überregnung Sensor 3

Auswertungsparameter

$\Delta T_{\text{Match}} = 0.1 \text{ d}$

$r_{\text{Schwellenwert}} = 0.15$

Ergebnis

Regenstart korrekt

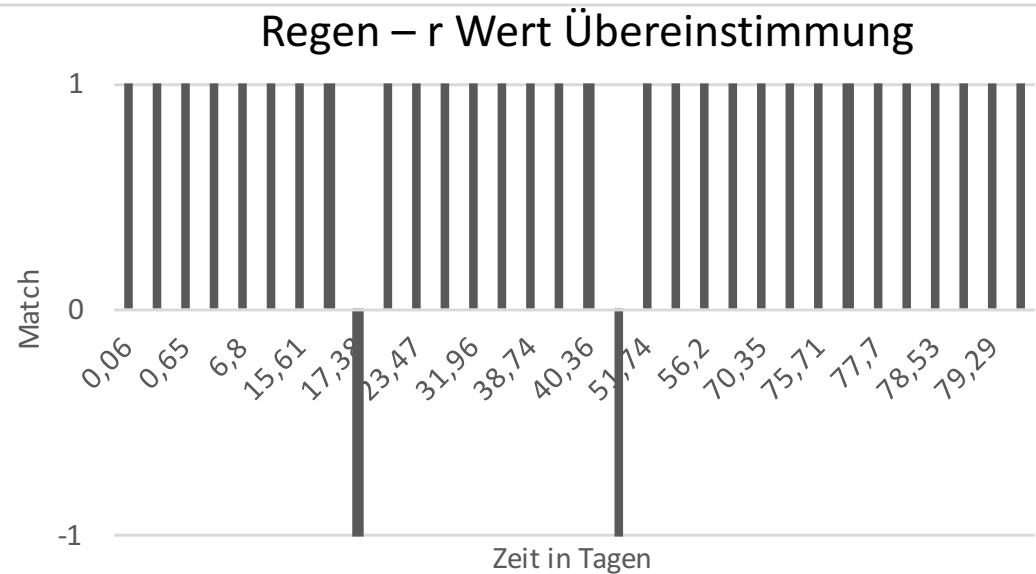
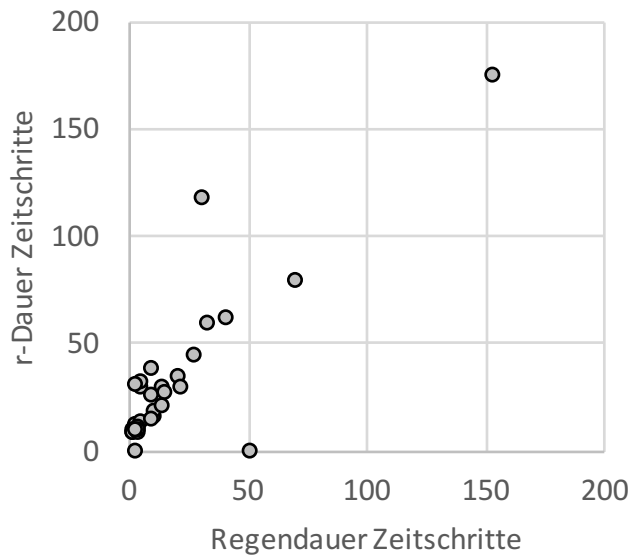
90.6 %

Regenstart falsch

0.0 %

Regen korrekt

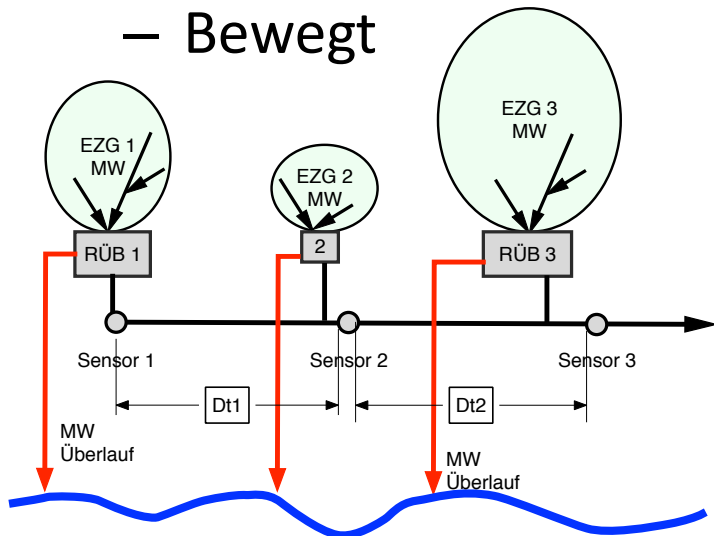
100.0 %



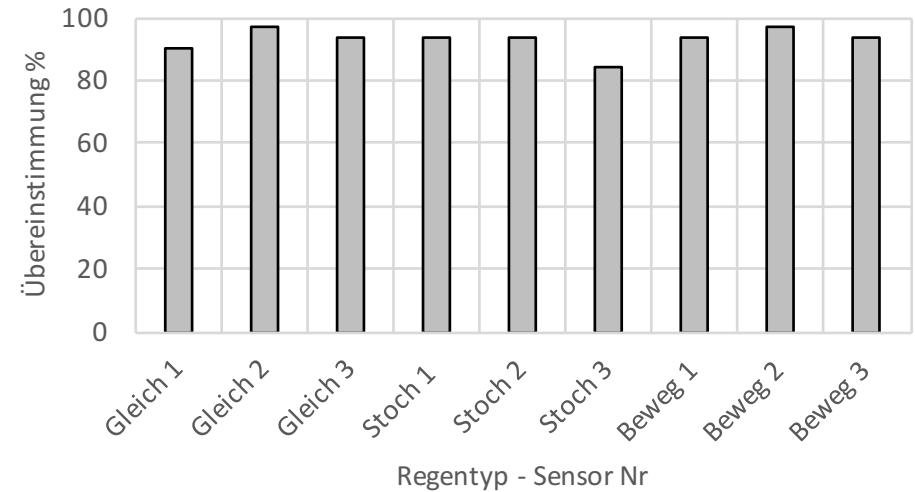
Ergebnis Test

Regen

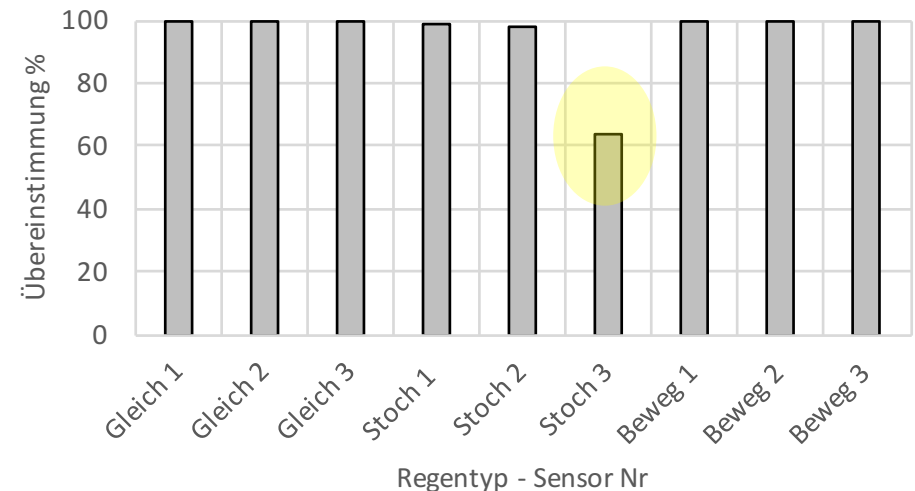
- Gleichmäßig
- Stochastisch
- Bewegt



Regenstart Korrekt



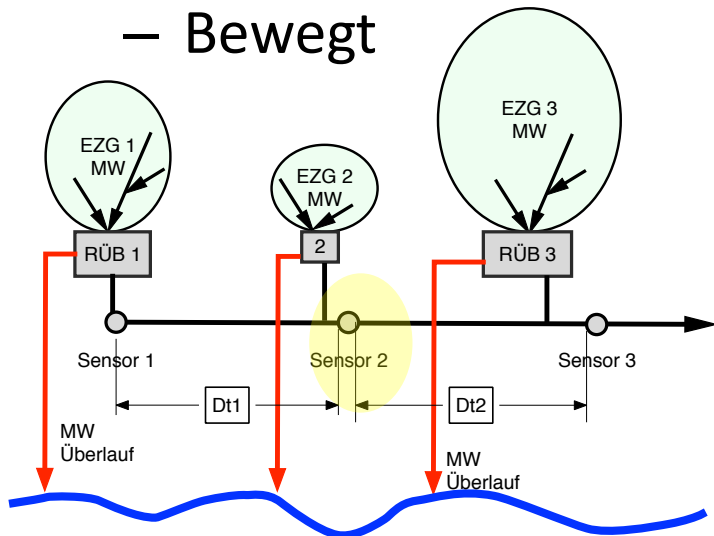
Regen Korrekt



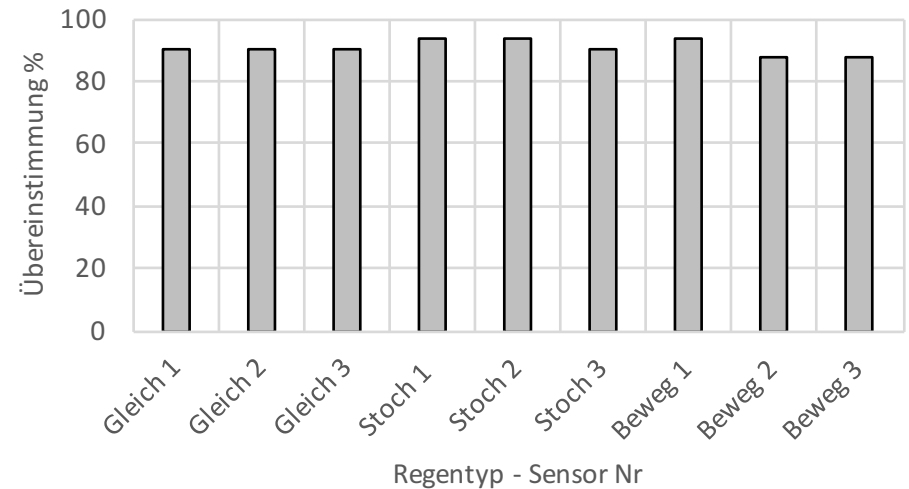
Ergebnis Test Totalausfall Sensor 2

Regen

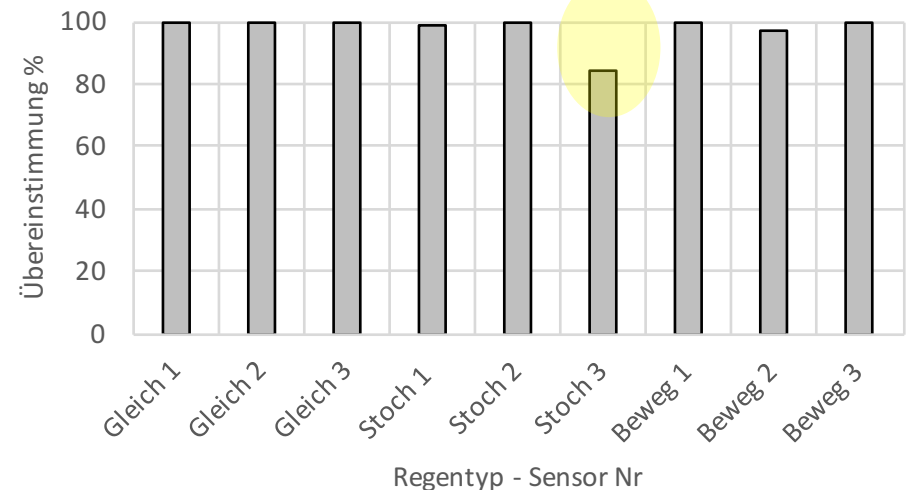
- Gleichmäßig
- Stochastisch
- Bewegt

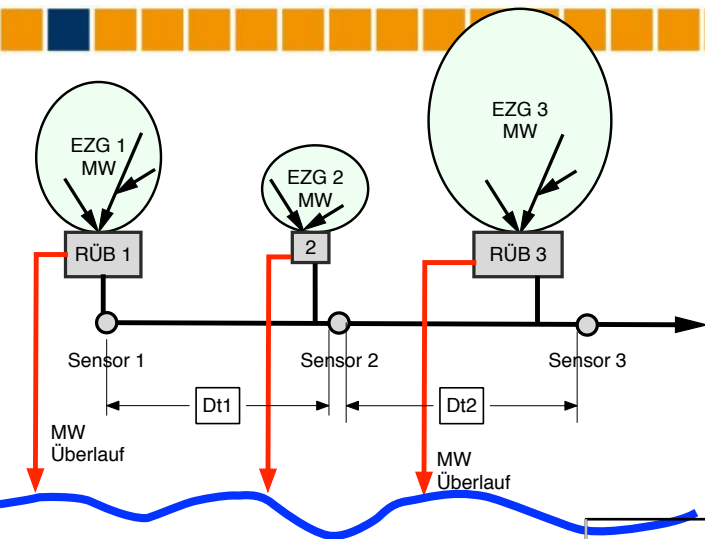


Regenstart Korrekt



Regen Korrekt





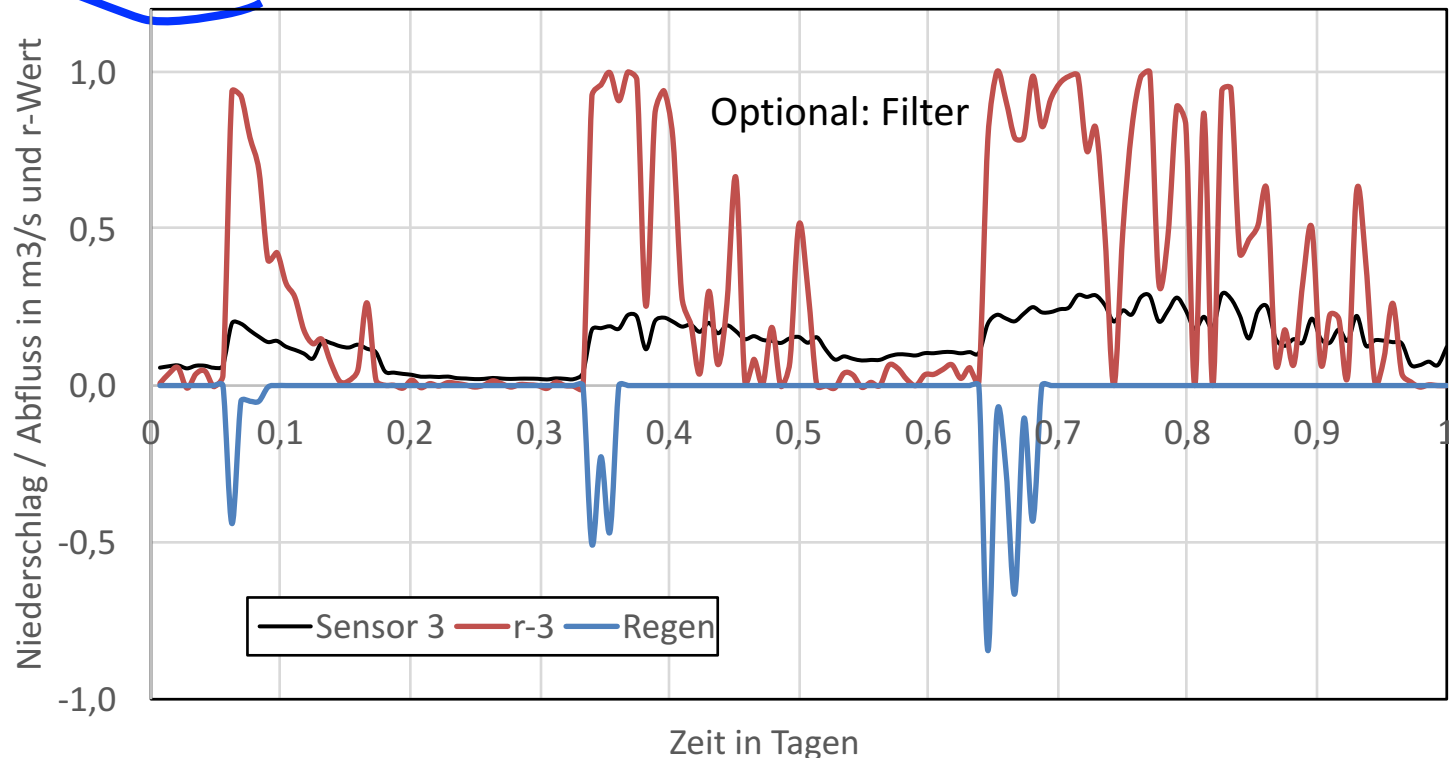
Unsicherheit bei Messung Q

Annahme Stochastischer Fehler $Q^*[0.9 - 1.1]$

Onlinemodell: Q und r-Wert für Sensor 3

Gleichmäßige Überregnung

Ganglinie für 1 Tag

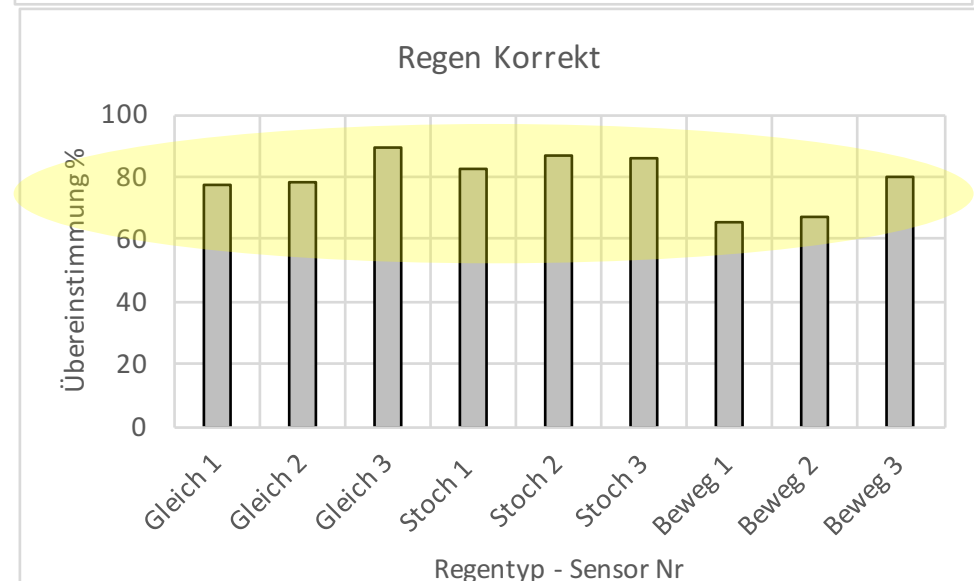
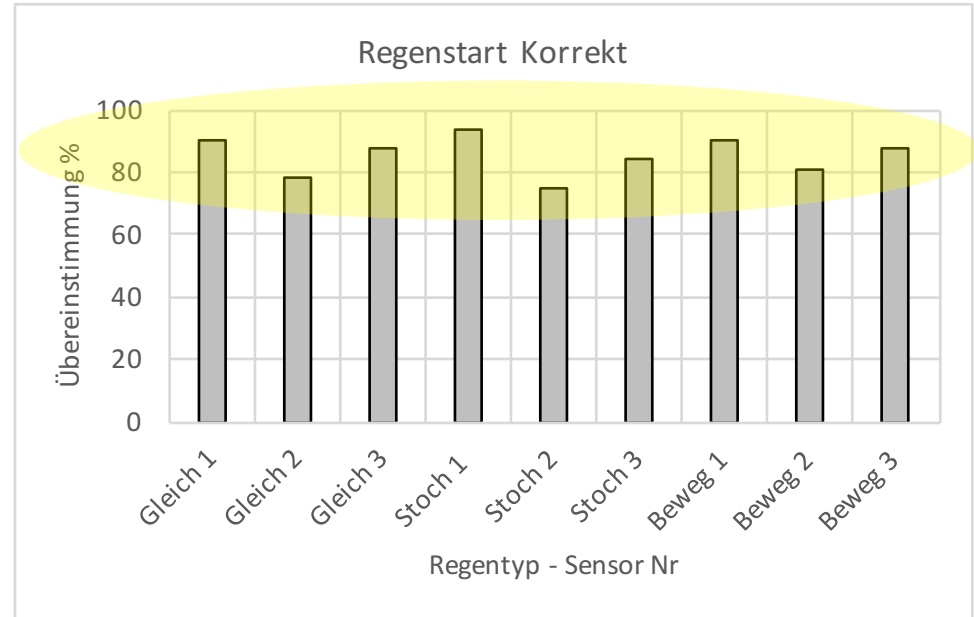
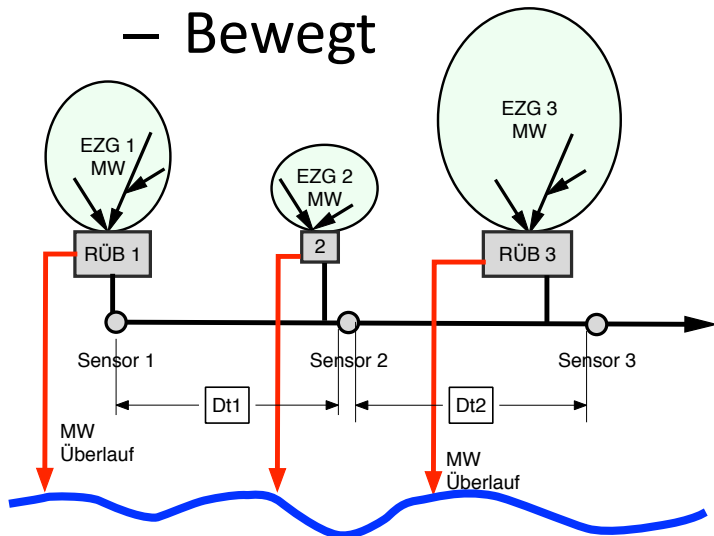


Niederschlag
 negativ in mm/10

Ergebnis Test Messfehler Sensor 1-3

Regen

- Gleichmäßig
- Stochastisch
- Bewegt



- Messung und Onlinedaten sind ohne Validierung und Onlinemodell wenig hilfreich
- bereits Simple Onlinemodelle beinhalten Systeminformation
- Das (lineare) „inverse“ Modell zeigt Potential

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wolfgang Rauch

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Umwelttechnik

wolfgang.rauch@uibk.ac.at