



# Eine modellbasierte Bewertung des Potenzials zur Überlaufreduzierung mit Hilfe eines Global Prädiktiven Controllers (GPC) im Abwasserverband Altenrhein

Aqua Urbanica 14/09/2021

A. Cornelissen\*, G. Schutz\*, F. Lükewille\*\* und D. Dürrenmatt\*\*\*

The logo for Rittmeyer Brugg features the word "rittmeier" in a bold, lowercase, teal font, with "BRUGG" in a smaller, uppercase, teal font below it.

**rittmeier**  
BRUGG

\*RTC4Water  
\*\*AVAltenrhein  
\*\*\*Rittmeyer AG



## PROBLEM / LÖSUNG

Abwasserüberläufe: Unbehandeltes Abwasser fließt bei Regenereignissen direkt in unsere Flüsse

- Etwa 6 % aller Schadstoffe im Abwasser schaffen es nie in die Kläranlage, sondern landen unbehandelt in unseren Flüssen, Seen und Bächen
- Das Grundsätzliche Problem ist, dass unsere Kanalisationen bei Regenereignissen überlastet sind und das Volumen nicht bewältigen kann
- RTC4Water baut Verbundsteuerungssysteme, um das Volumen zu minimieren, das in die Vorfluter überläuft
- Wir verwenden modellbasierte Prädiktive Regler (MPC)
- Manchmal kombinieren wir dies mit einigen KI-Algorithmien, um einige Regler Parameter zu Schätzen
- Wir setzen die Entwicklung fort und wollen von 15-30% Reduktion auf 30-50% kommen und dies fracht-basiert!

# Was macht unsere Globaler Prädiktiver Regler ?

- Der Globaler Prädiktiver Regler wurde entwickelt, um das SCADA & PLC-Systeme Ihres Abwassersystem kontinuierlich zu analysieren, und die Flüsse und die Speichernutzung im gesamten Netz in Echtzeit zu optimieren. GPC gibt alle 5-10 Minuten Kontrollbefehle aus, um die Effizienz Ihres Netzwerks auf der Grundlage von Ihnen definierter Ziele zu steigern.
- Der GPC ist vollständig autonom und erfordert keinen Eingriff des Bedieners.
- Der GPC ist kein Regelbasiertes System oder eine fortschrittliche SCADA-Software. Stattdessen ist GPC wie ein "auto-Pilot", der schneller und effizienter auf Systemveränderungen und Notfälle reagieren kann, als es für ein menschlicher Bediener möglich ist.

**RTC<sub>4</sub>Water**  
Real Time Control of Water Infrastructure

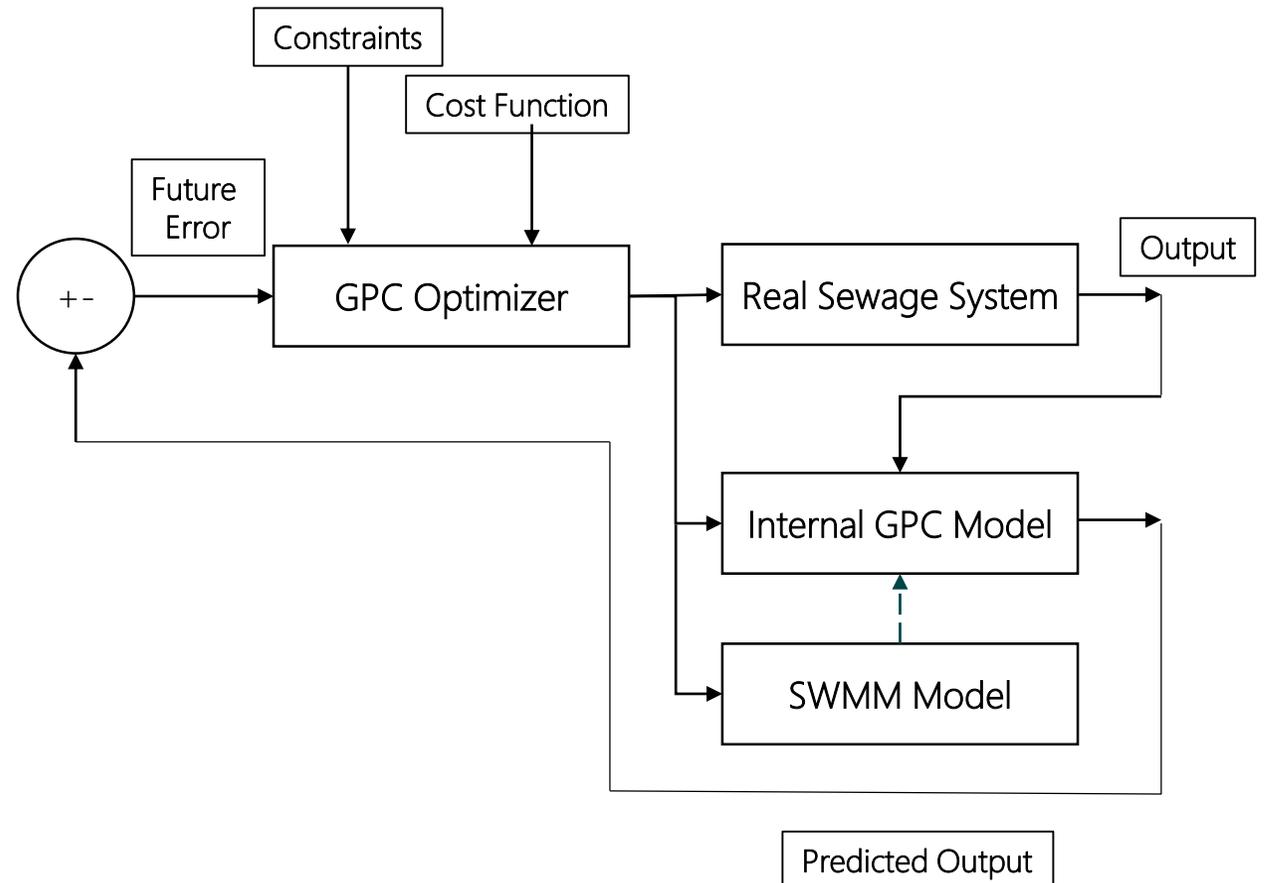
Aqua Urbanica 14/09/2021



# Projekt Ablauf

1. Modellierung mit SWMM
2. Automatische GPC-Generierung
3. Direktverbindung Modell und GPC (Zukunft: Digital Twin)
4. Simulation mit/ohne GPC über längere Zeiträume (1 Jahr)
5. Installation auf ARA/KA/STEP
6. (Fern) Überwachung

## Model Zusammenhang

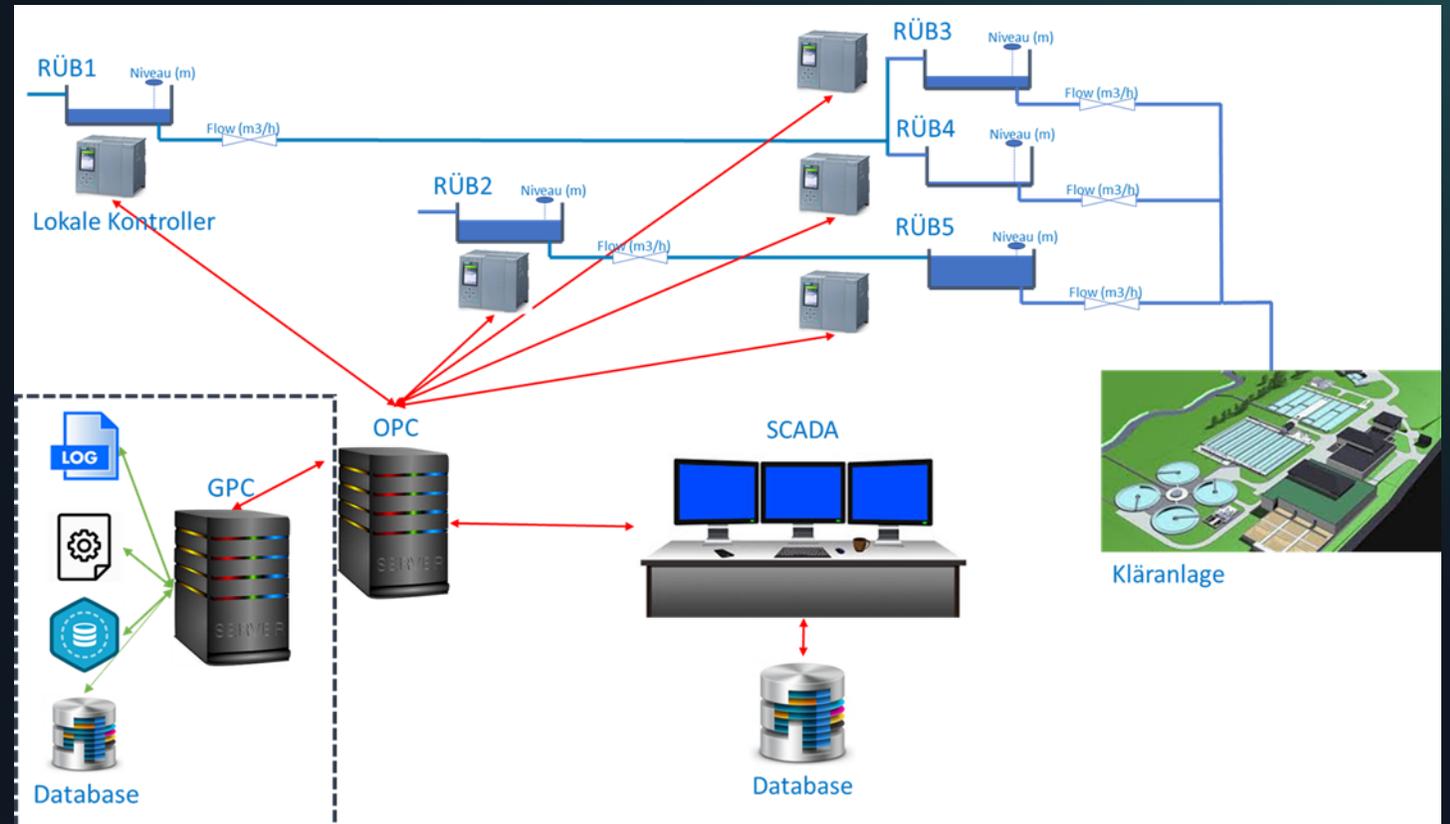


# 2020-2021 | Rekordjahren für Abwasserprojekte

- RTC4Water erstellt Optimierungssoftware für Wasser- und Abwassersysteme
- Bis 2020 war unser Wasserprodukt mit Abstand das meistverkaufte Produkt

Aber in den letzten 18 Monaten haben wir eine enorme Nachfrage nach unserem Abwasserprodukt festgestellt:

- Altenrhein (CH)
- Rheinfelden (CH)
- Blesbrück (LU)
- Virton (BE)
- Langmatt (CH)



# Global Prädiktiver Regler

## Die Zielfunktion

- Minimiert die Überläufe
- Verwendet die Pufferkapazität so effizient als möglich
- Entleert die RÜBs so schnell wie möglich
- Halt den Zulauf zur Kläranlage so konstant wie möglich
- Minimiert Sollwertschwankungen
- Passt die total Weiterleitmenge Richtung Kläranlage an die effektive Behandlungskapazität an

Hinweis: Dieses Modell kann alle 10 Minuten "on the fly" erstellt werden und ermöglicht die dynamische Verwaltung des Systems

Hinweis2: Wenn ein Subsystem (wie eine Pumpwerk) ausfällt, geht dieses Subsystem in eine vorab vereinbarte Rückfallmodus. Der Controller entfernt dann dieses Subsystem von der Optimierung, verwendet jedoch den Rückfallmodus, um die Massenbilanz zu gewährleisten

## The Objective Function:

$$\begin{aligned} \text{minimize } J &= \sum_{n=t}^{t+Hp} \lambda \varphi_1(n) + \beta \varphi_2(n) + \alpha \varphi_3(n) \\ \text{subject to } & c_i(\mathbf{x}) = 0 \quad i \in E \\ & c_i(\mathbf{x}) \geq 0 \quad i \in I \end{aligned}$$

Where the subgoals are:

$\varphi_1(n) = \sum_{i=1}^N \left[ V_i(n) - \frac{V_i \max}{\sum_{i=1}^N V_i \max} \sum_{i=1}^N V_i(n) \right]^2$	Homogenous distribution of the storage:	1
$\varphi_2(n) = \left[ y_{ref}(n) - \sum_{i=1}^{N^*} Out_i(n - d_i) \right]^2$	Constant inflow to the WWTP	1
$\varphi_3(n) = \sum_{i=1}^N [Ov_i(n) - NL]^2$	Minimum overflow	20

## Mass Balance Model:

$$\begin{aligned} V_i(n+1) &= V_i(n) + In_i(n) - Out_i(n) - Ov_i(n) \\ \text{for } i &= 1, 2, \dots, 24 \quad \text{and } n = t, t+1, \dots, t+Hp \end{aligned}$$

## With Constraints:

$$\begin{aligned} 0 &\leq V_i(n) \leq V_i \max \\ 0 &\leq Out_i(n) \leq Out_i \max \\ Q_{pipe}(n) &\leq Q_{pipe} \max \\ 0 &\leq Ov_i(n) \\ \text{for } i &= 1, 2, \dots, 24 \quad \text{and } n = t, t+1, \dots, t+Hp \end{aligned}$$

## With:

$V_i(n)$	= Water volume in ith reservoir
$Out_i(n)$	= Outflow of ith reservoir
$Ov_i(n)$	= Overflow of ith reservoir
$V_i \max$	= Volume of the ith reservoir
$N$	= Total number of reservoirs
$n$	= Timestep
$y_{ref}(n)$	= Setpoint for inflow to the WWTP
$d_i$	= Average transport time from ith reservoir
$NL$	= A negative large value

# ARA Altenrhein

Phase 1: Zeigen, dass GPC ein Abwassersystem besser steuern kann als ohne Kontrolle

1. Überläufe reduzieren
2. Aufrechterhaltung eines konstanten Zuflusses zur Kläranlage
3. Sensitive Gewässer schützen

Phase 2: Installation (Derzeit in Bearbeitung )



# AVA Altenrhein: Verband von 17 Gemeinden Südlich des Bodensee

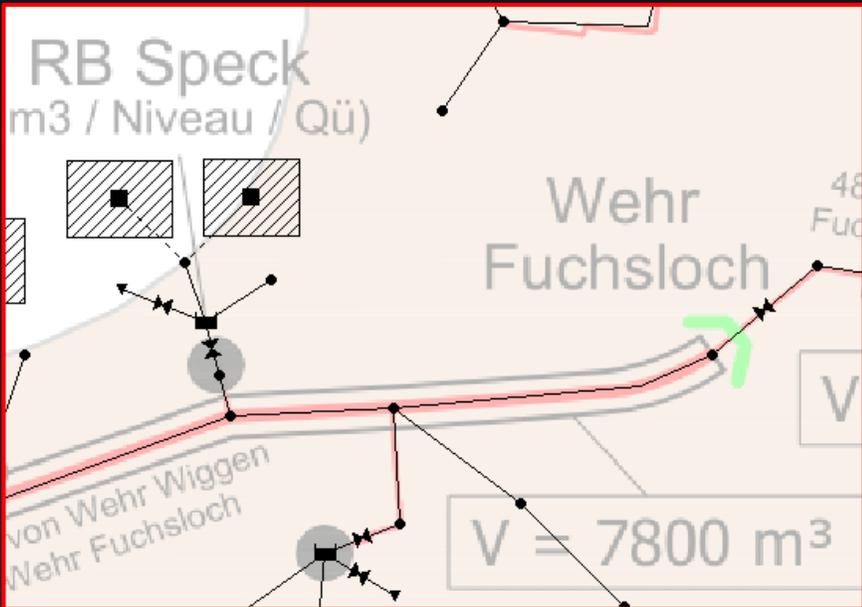
## Zahlen und Fakten

- 63,738 Einwohner, 19,022 EGW, 108 km<sup>2</sup>, Kanallänge 275 km (gemeinden), 88 km (AVA),
- Innovative Lösungen: Ozon, GAK, Wärmepumpen
- 25 RÜBs, 3 PW, 5 Wehr in Stauleitungen



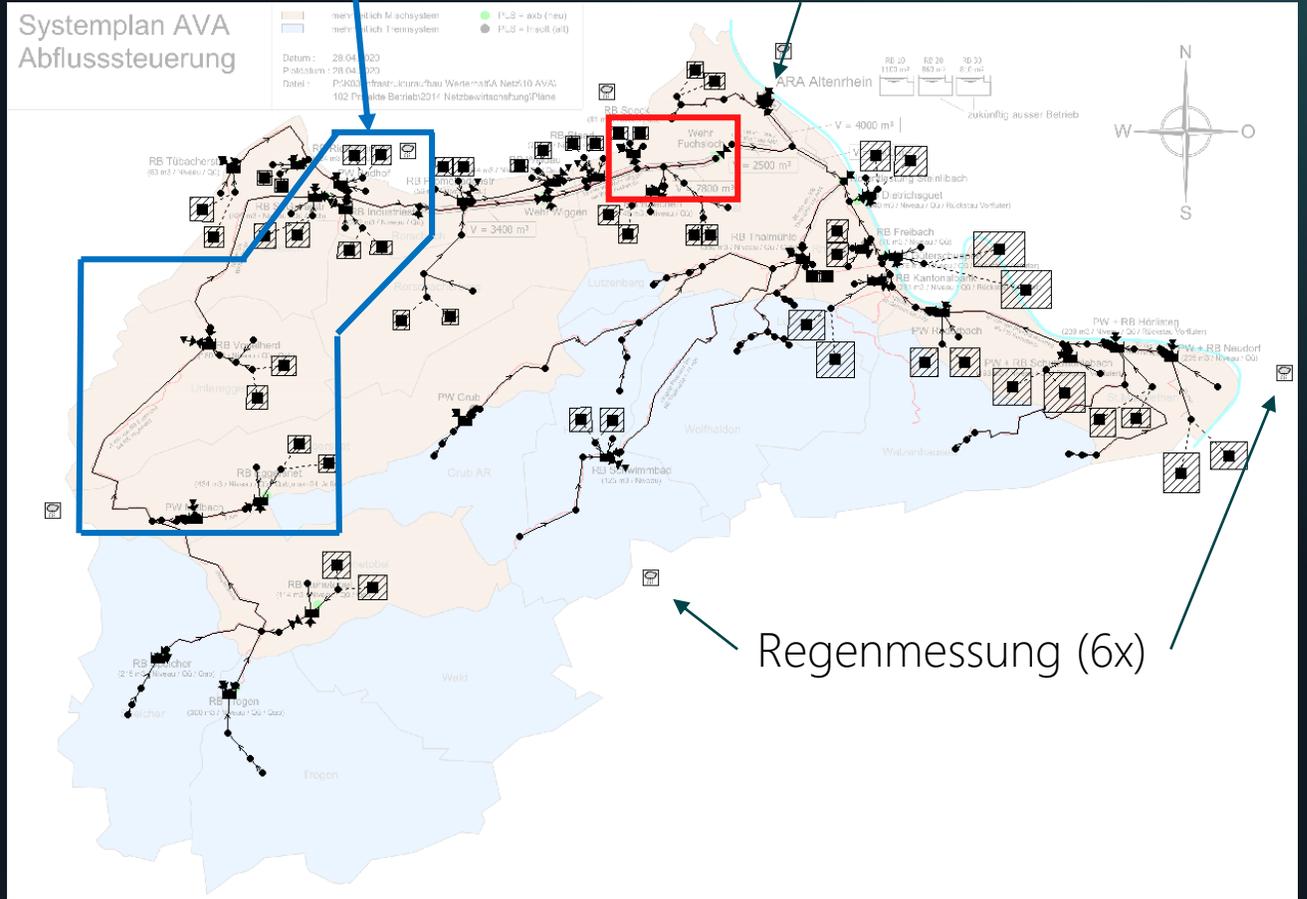


# SWMM Model



Ausschnitt

## Erste Phase des Implementierung ARA



Vollständiges Modell

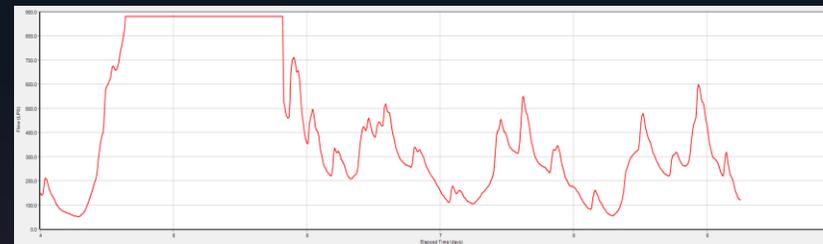
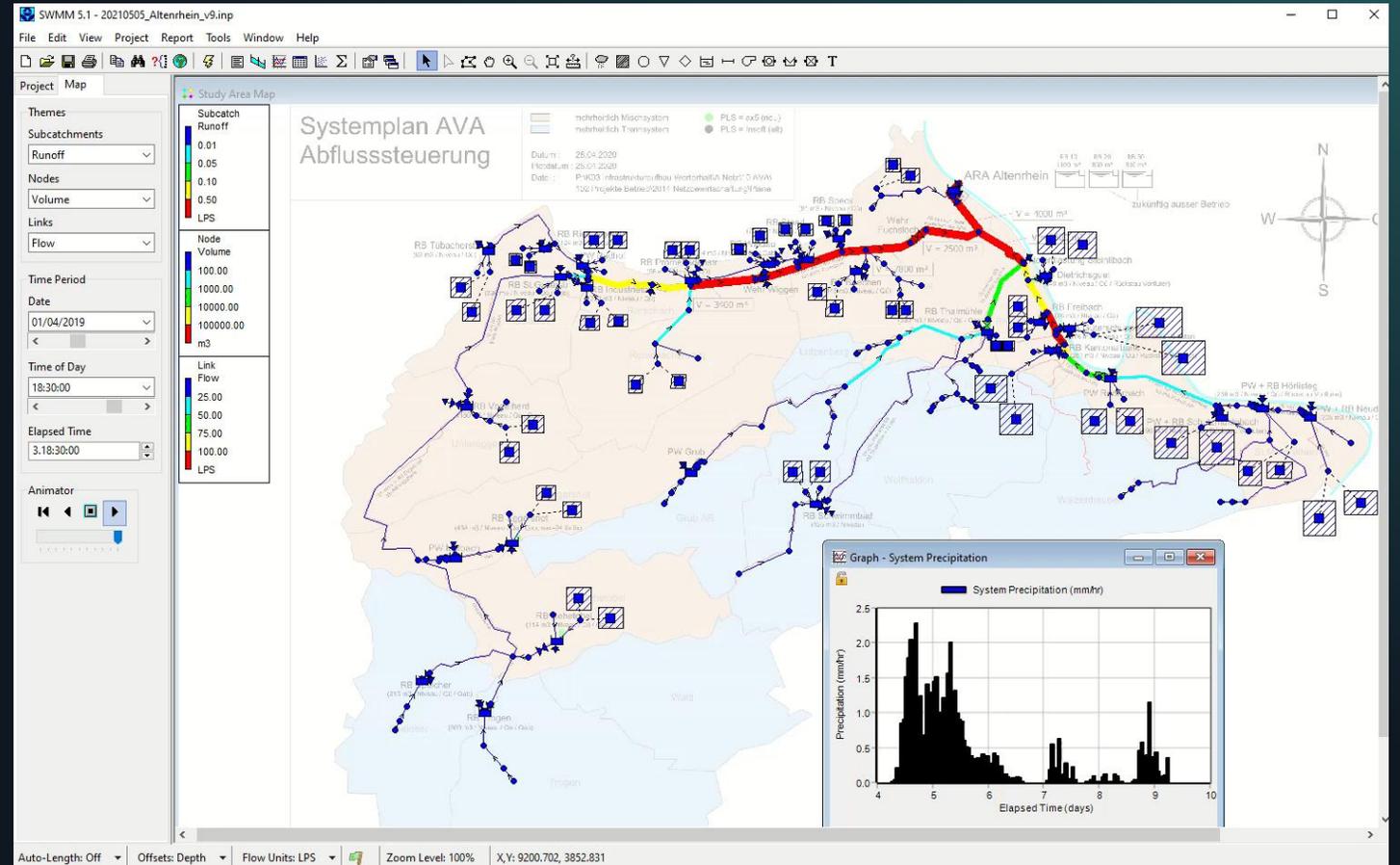


# «Das Model in Aktion»

Altenrhein verfügt über eine Reihe von sehr großen Staurohren oder Stollen (20300 m<sup>3</sup>), die als Speichervolumen genutzt werden können.

Dies ist deutlich zu beobachten, wenn eine Simulation eines Regenereignisses wiedergegeben wird

Theoretisch würden wir daher eine sehr gute Performance von GPC erwarten



Regen



Einlauf KA

# Simulationen

SZ0. IST-Situation mit statisch eingestellten Drosselabläufen bei den Entlastungsbauwerken ohne GPC. (Ist-Situation oder Referenz)

SZ1. Regelung des Abflussgeschehens mit GPC bei Regenwetter und voller Nutzung der maximalen Ableitkapazität der ablaufenden Kanalleitungen (den maximalen Effekt des GPC)

SZ2. Regelung des Abflussgeschehens mit GPC bei Regenwetter bis maximal zum eingestellten Drosselwert. (Verbesserung nur durch eine Erhöhung der Abflussmengen Ausgeschlossen)

SZ3. Wie Simulation 1, aber unter Berücksichtigung von definierten Empfindlichkeitsfaktoren von Einleitstellen. (Gewässersensitivitäten berücksichtigt).

Wie Simulation SZ1, jedoch mit Vorgabe verschiedener Referenzwerten für den Kläranlagenzulauf:

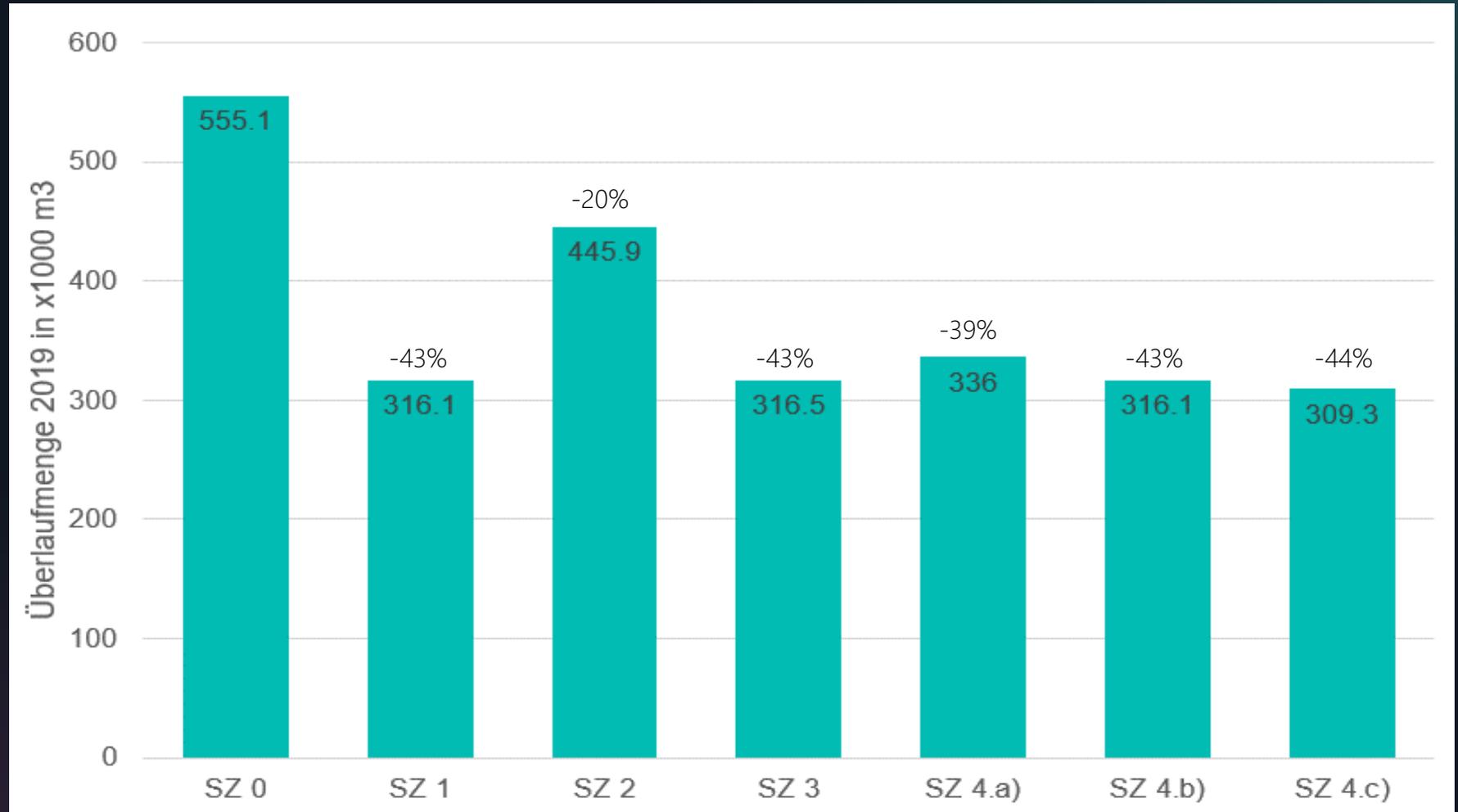
SZ4a) 500 [l/s],

SZ4b) 704 [l/s],

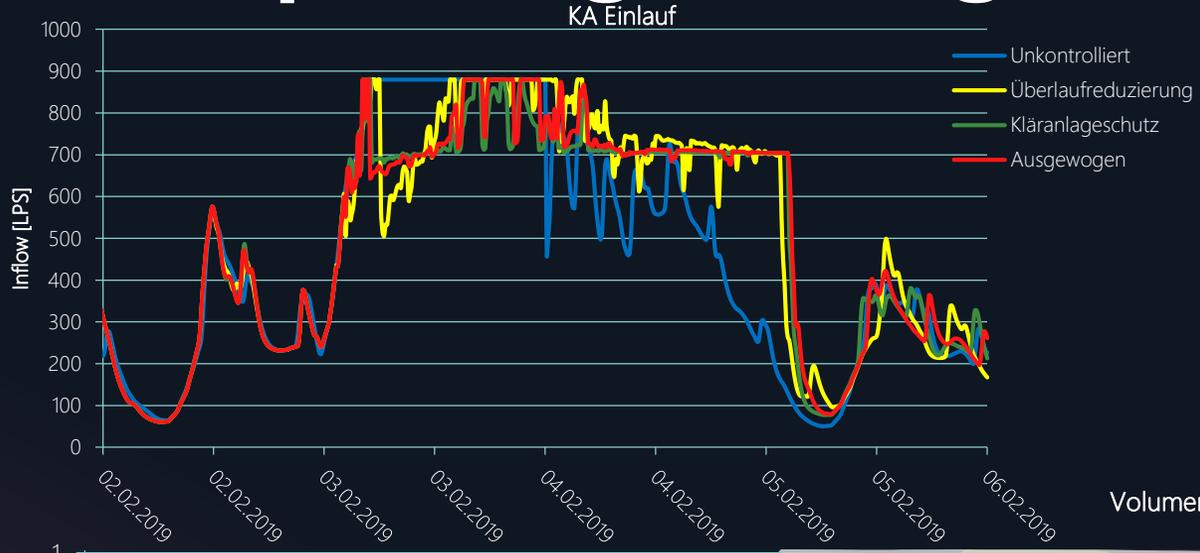
SZ4c) 880 [l/s]).

(Diese Referenzwerte werden von GPC angestrebt, falls keine Entlastung im Vorhersagehorizont erwartet werden)

# Resultaten 2019



# Beispiel Regen-Ereignis



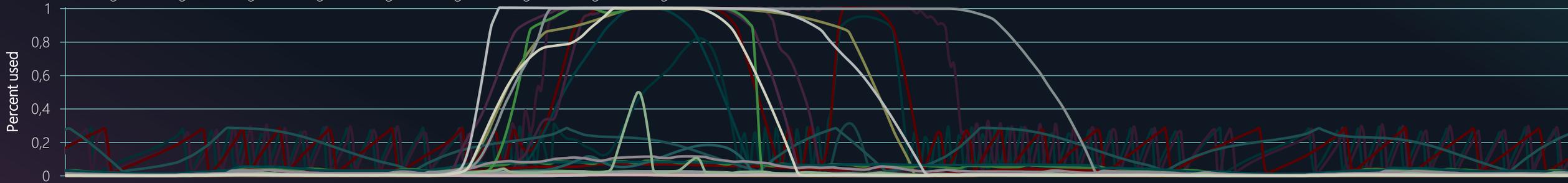
	Unkontrolliert	Optimiert für Überlaufreduzierung	Ausgewogene Optimierung	Optimierung für Kläranlagen
Überlauf	39	24	27	24
Unterschied		-39%	-31%	-38%
Einlauf KA	196	211	208	210
Unterschied		+7%	+5%	+7%

Zahlen in 10<sup>6</sup> L

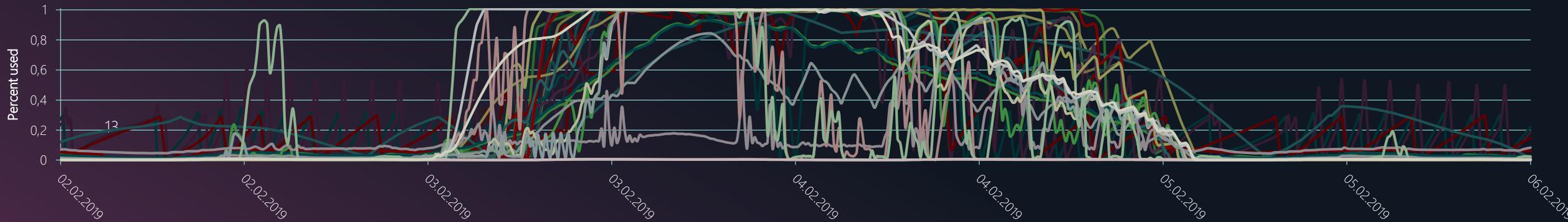
TSS	3519	2152	2449	2195
		-39%	-31%	-38%
CSB	6682	4081	4704	4178
		-39%	-31%	-38%

Diese Ergebnisse sind NOCH nicht realistisch

Volumen Unkontrolliert



Volumen Überlaufreduzierung



# Automatische GPC-Generierung

SWMM-Modell importieren

Konsistenz des SWMM-Modells prüfen

Überprüfen der Nomenklatur des SWMM-Modells

Metadatendatei importieren (Pumpen/Ventile)

Extrahieren von Daten aus Simulationen

Erstellen von «flow-time-to-sink» Datenbank

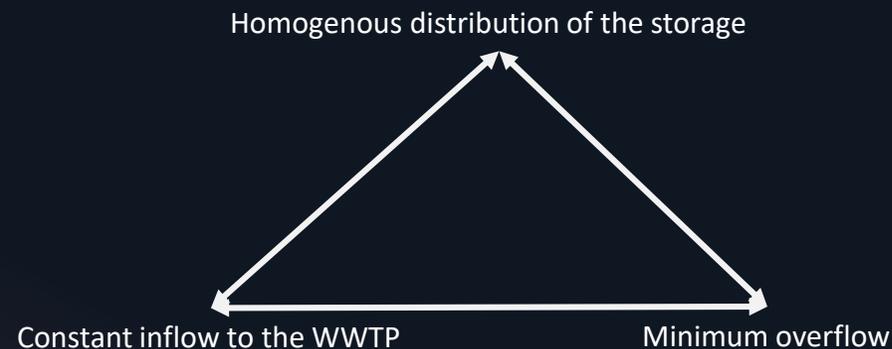
Erstellen ein „Node-Link“-Datenbankmodell

Konfigurations-GPC generieren

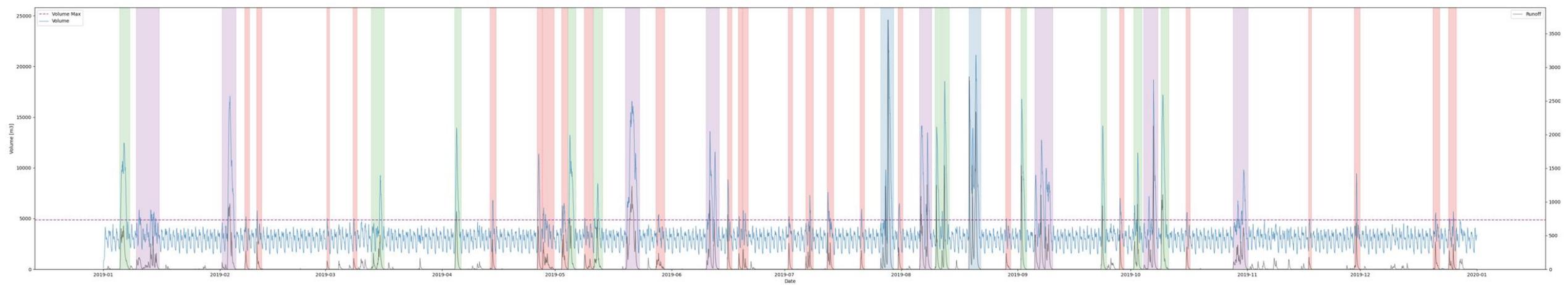
```
def handle_parameters():
    parser = ArgumentParser(description=__doc__)
    parser.add_argument('--inp', type=is_file, help='Inp file to parse')
    parser.add_argument('--out', type=is_file, help='Out file to parse')
    parser.add_argument('--sensitivity', type=is_file, help='OvSensitivity CSV file')
    parser.add_argument('--csv', type=is_file, help='CSV file representing the actuators settings')
    parser.add_argument('--delimit', type=str, help='CSV delimiter', default=',')
    parser.add_argument('--client-id', type=str, help='Client id')
    parser.add_argument('--update', type=int, help='Control period in minutes', default=10)
    parser.add_argument('--switch-mode', type=str, choices=['TrigBasedBitGPC', 'ModusBased', 'TrigBasedBoolVars'], default='TrigBasedBitGPC', help='GPC State switch mode')
    parser.add_argument('--db-uri', type=is_uri, help='Database uri', default='bolt://neo4j.rtc4water.lan:7687')
    parser.add_argument('--wggpc-root', type=is_folder, default='./wastwatengpc-root', help='Folder where the wastewater_root repository is found')
    parser.add_argument('--destination', dest='destination', type=str, default=OUTPUT_DIRECTORY, help='Where to produce the files')
    parser.add_argument('--override', action='store_true', help='If config files already exist, override them ??')
    # TODO (fdonne): For the list of structures to use we could use a value in GPC-data header of the INP
    parser.add_argument('--structures', nargs='+', help='List of structures to put in config', default=[])
    # TODO (fdonne): Same here we could use a value in GPC-data as the virtual WWTP
```

# Regenklassifizierung 2019 (2)

- Es ist möglich, GPC so zu parametrieren, dass für eine einzelne Regenklassifizierung optimale Einstellungen (Gewichtung des Sub-goals) verwendet werden
- Dies ist unserer Meinung nach eine bessere Methode, als, im Kontrast, zu versuchen, Niederschlagsmengen vorherzusagen
- Man braucht aber noch immer eine Wettervorhersage und ein Run-off Modell
- Thesis: GPC kann viele kleinere und mittelgroße überlaufen verhindern die (meistens!) ein verhältnismäßig größere Umweltbelastung verursachen.



# Regenklassifizierung 2019 (I)

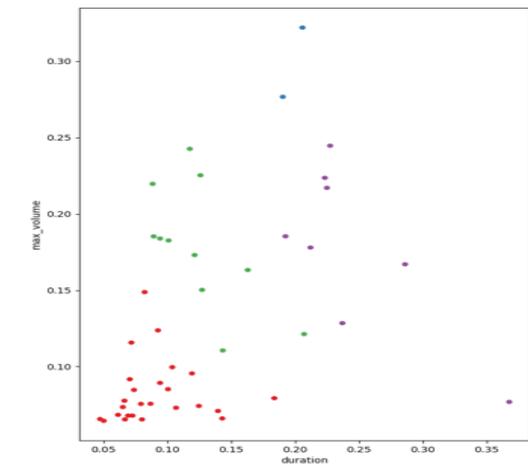
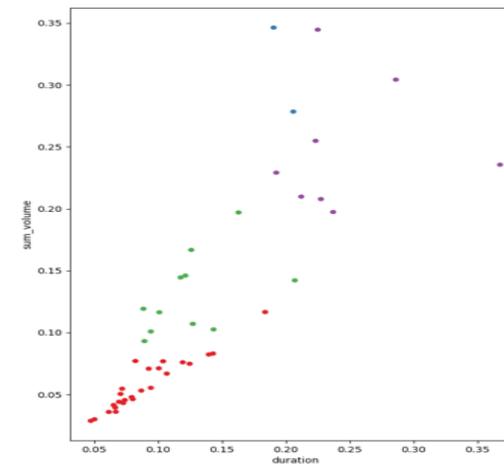
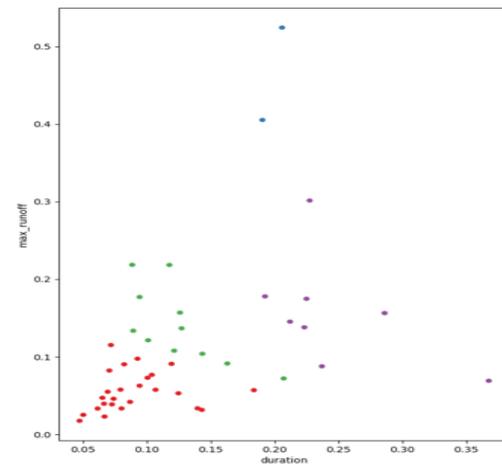
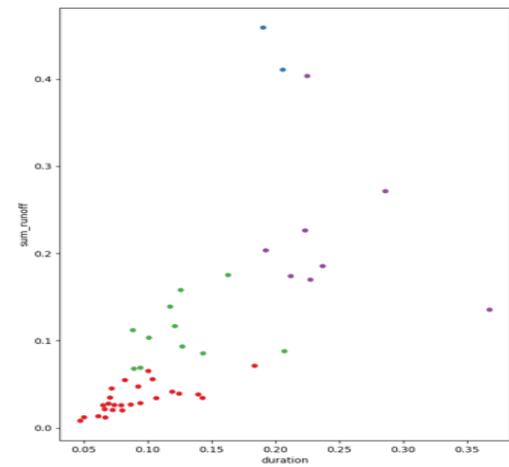


Sum\_Runoff

Max\_Runoff

Sum\_Volume

Max\_Volume



# Potenzielle Betreiber/Behörden definierte Strategien

- Vorhersage **kleiner Regenereignisse**, die keinen Überlauf erzeugen würden → Fokus auf die Kläranlage, Aufrechterhaltung eines optimalen KA Zulauf ( $Q_{ref}$ )
- Vorhersage von Regenereignissen, die zu **kleinen Überläufen** führen würden → Fokus auf Vermeidung von Überläufen, KA biss zu  $Q_{max}$  (und Mehr? Betreiberdefiniert? Je nach "Gesundheit" der KA?)
- Vorhersage von Regenereignissen, die **zu größeren Überläufen** führen → KA zunächst zu  $Q_{max}$  aber später nur zu  $Q_{ref}$
- Vorhersage **extrem großer Regenereignisse** → Schutz-KA, begrenzen des KA auf  $Q_{ref}$  aber nahher zu  $Q_{max}$  um eine schnelle Entleerung zu haben
- Wir arbeiten mit dem Kunden zusammen, um seine eigene Strategie basierend auf seiner einzigartigen Situation zu definieren

# Kosten

- Die Kosten für ein GPC liegen in der Regel in der Größenordnung von 70-150.000 Euro für ein komplettes Netzwerk
- Verhältnismäßig, die Kosten für nur einen neues RÜB liegen selten unter 1 Mio. Euro
- Wir stellen jedoch fest, dass die Kosten für Messungen und lokale Kontrolle die größten Hindernisse für die Implementierung sind
  - GPC benötigt eine (oder mehrere) Füllstandsmessungen pro RÜB
  - Eine Messung des Abflusses pro RÜB
  - Und eine Kontrolle des Abflusses (+ Tankentleerung) pro RÜB



**THANK YOU!**

**Dr. Alex Cornelissen**

*Phone:* **+352 661 161 630**

*Email:* **alex.cornelissen@rtc4water.com**

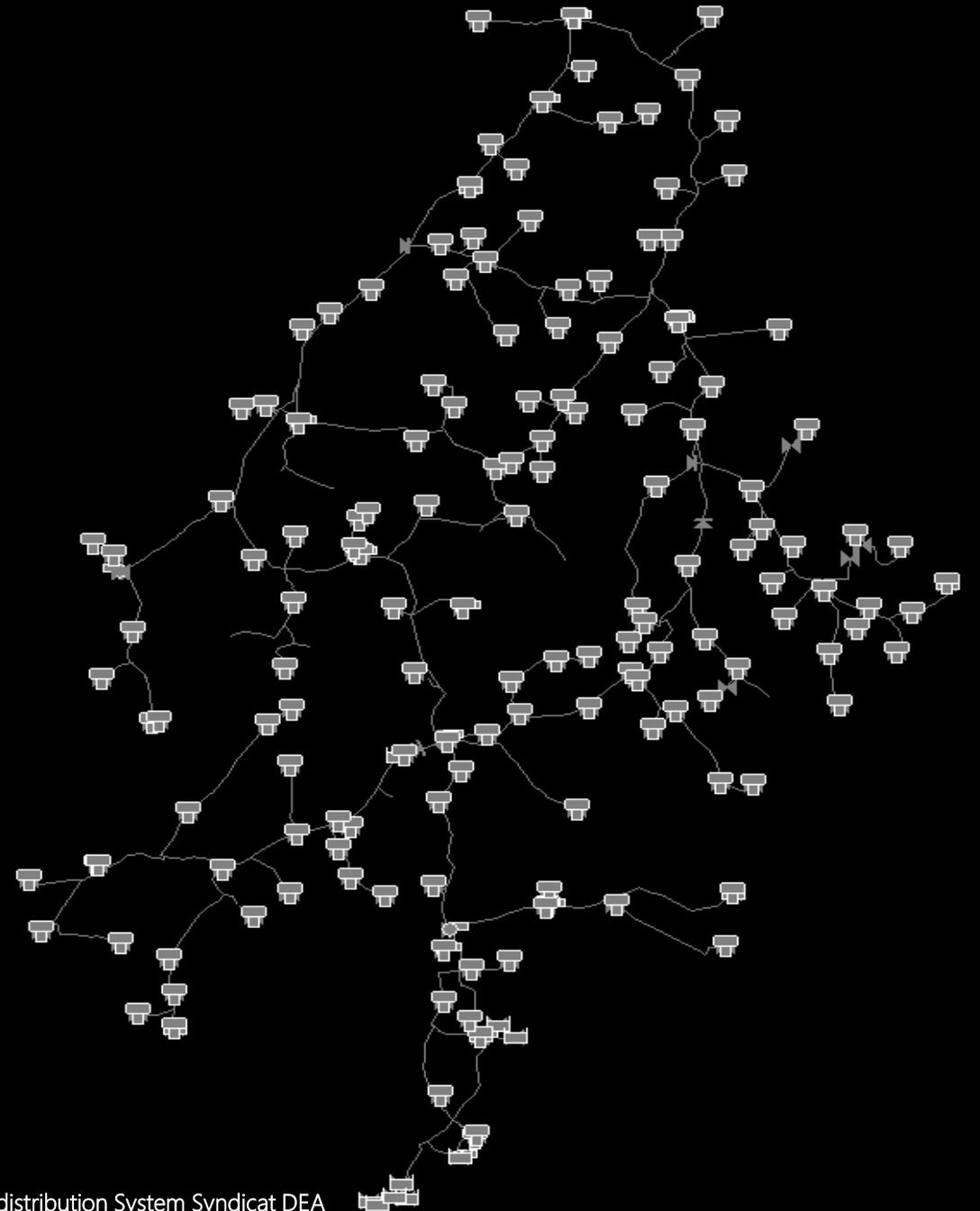
*Website:* **<https://www.rtc4water.com>**

**Dr. David Dürrenmatt (DACH-Region)**

*Phone:* **+41 78 675 0896**

*Email:* **David.Duerrenmatt@rittmeyer.com**

*Website:* **<http://www.rittmeyer.com>**





Georges



Alex



Michael



Don



Florian

## Künstliche Intelligenz-Software für die Wasser/Abwasser infrastruktur

Intelligente Verbundsteuerung, die Ihre Kanal-system automatisch und kontinuierlich mit Modell-basiertem prädiktivem Regler optimiert

intelligent – zuverlässig – vorausschauend – bewährt- bezahlbar





+352 661161630

[alex.cornelissen@rtc4water.com](mailto:alex.cornelissen@rtc4water.com)

## Dr. Alex Cornelissen PhD, Ing.

### Keywords

- Water Chemistry, Water Distribution, Sewer Systems, Water and Wastewater treatment, Water Quality, Environmental
- Flocculation, Flotation, Settling, CAS, AD, AC, UV, O3, Chlorine, RO, UF
- Heavy Metal Analysis, Micropollutants, Energy consumption,
- Innovation, Proposal Writing, Business Development, Sales
- 7 Patents, 17 Publications
- Everything Water



Holland



N. Ireland



Luxembourg

- Born Amsterdam 1967
- Physics, University Eindhoven
- B.Sc. Chemistry, Larenstein, Wageningen
- Left 1991

- PhD in Environmental Chemistry. Queens University
- Manager Applied Technology Unit, QUB
- Technology Transfer, Oxford
- Innovation Manager Ireland, PERA
- Director Start-up AMC Innovation
- Business Development Director McAllister Brothers
- Left 2010

- Manager Ecotechnology programme, Henri Tudor
- Senior Research Associate, LIST
- Director RTC4Water
- Still Here!