



*Erweiterung einer Netzwerk-übergreifenden
modellprädiktiven Regelung von einem sensiblen
Abwassernetzwerk in Luxemburg: Erfahrungen und
Ergebnisse*

G. Schutz^{1,*}, D. Fiorelli², A. Cornelissen¹, und R. Schaack³

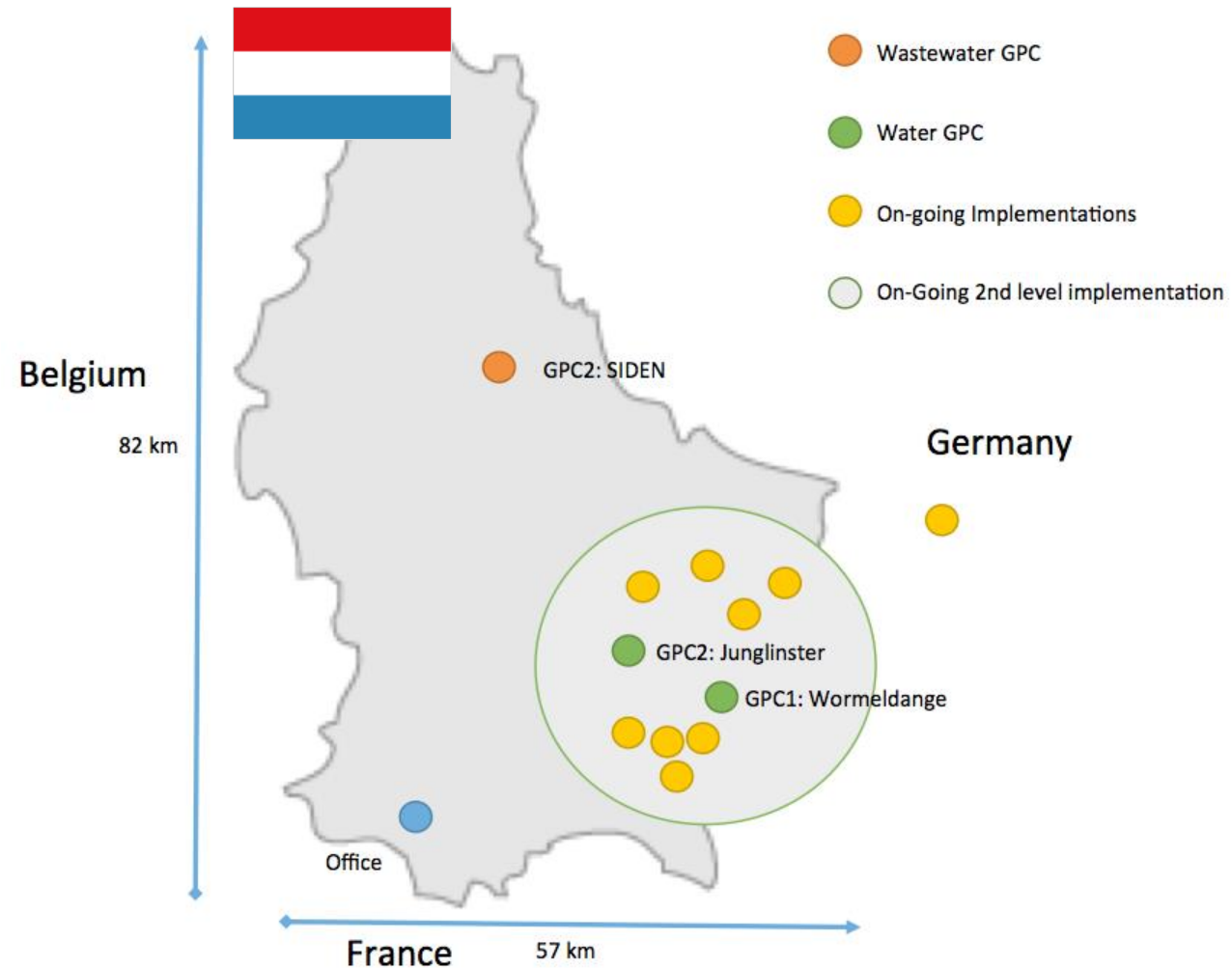
1. RTC4Water, 9, avenue des Hauts-Fourneaux, L-4362 Esch-sur-Alzette

2. LIST, 5, avenue des Hauts-Fourneaux, BELVAL, L-4362 Esch-sur-Alzette

3. Le Syndicat Intercommunal de Dépollution des Eaux résiduaires du Nord (SIDEN), Bleesbruck, L-9359 Bettendorf

RTC4Water

- Start-up aus dem Luxemburg-Institut für Wissenschaft und Technologie (LIST)
- Gegründet im Dezember 2014
- Vollzeit Personal seit 3/2016
- 10 Jahre Forschung
- Sitz in Esch-sur-Alzette, Luxemburg
- Heute drei Kontrollers im Einsatz
- 10 weitere in Produktion



Georges
Schutz



David
Fiorelli



Alex
Cornelissen



Michael
Bremec



Maxim
Thomas

RTC4Water

Avancierte Kontrolle von Kanalnetzen, Warum?

1. Überlaufen Minimieren – Umweltschutz
2. Schutz von Kläranlagen
3. Homogene Speichernutzung
 1. Leistungssteigerung von unterdimensionierten RÜBs
 2. Vollnutzung von überdimensionierten RÜBs
4. Kostengünstig ($\pm 0.2\%$ Gesamtinvestition) für 20-50% Leistungssteigerung



RTC4Water

RTC4Water entwickelt robuste, unbeaufsichtigte modelprädiktive Kontrollsysteme

- Abwassernetz alle paar Minuten optimieren
- Sich automatisch an jede Situation anpassen
- Rückfall und Notfall Strategien für (z.B. Kommunikationsausfall) von Teilnetzen
- Immer die beste Lösung mit den vorhandenen Daten

RTC4Water schafft dies durch:

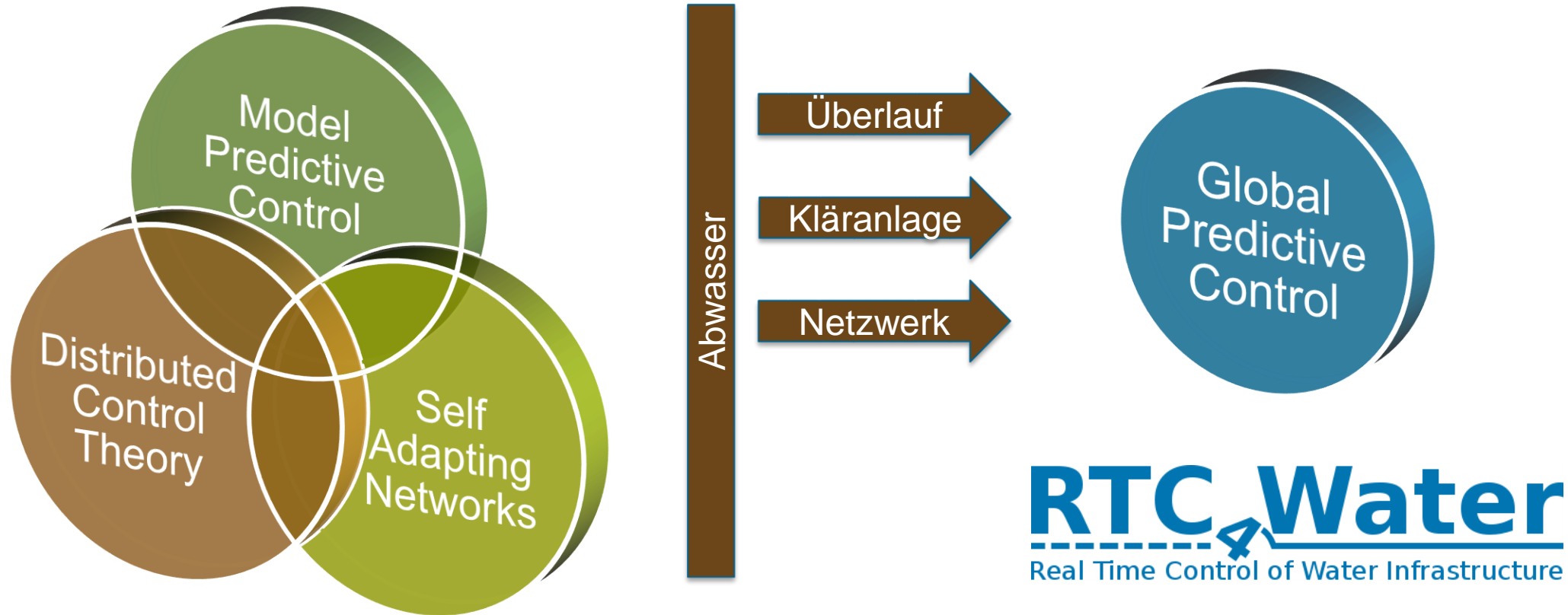
- Alle paar Minuten wird ein mathematisches Model vom aktuellen Netzwerk erstellt, ein Prädiktion gemacht und die beste Lösung umgesetzt
 - Linearen Massenbilanz Model
 - Linearen Transport Model
- Unsere Kontroller werden in einer virtuellen Realitätsumgebung getestet

Wir nennen unsere Kontrollers: GPCs (Global Predictive Controller)



RTC4Water

Keine weiteren Teil-Lösungen: Eine globale Optimierung



**Unsere robuste, unbeaufsichtigte Controller optimieren
Trinkwasser- und Abwassernetze auf operativer Ebene:
Spezifiziert die Ziele, nicht die Betriebsdetails!**

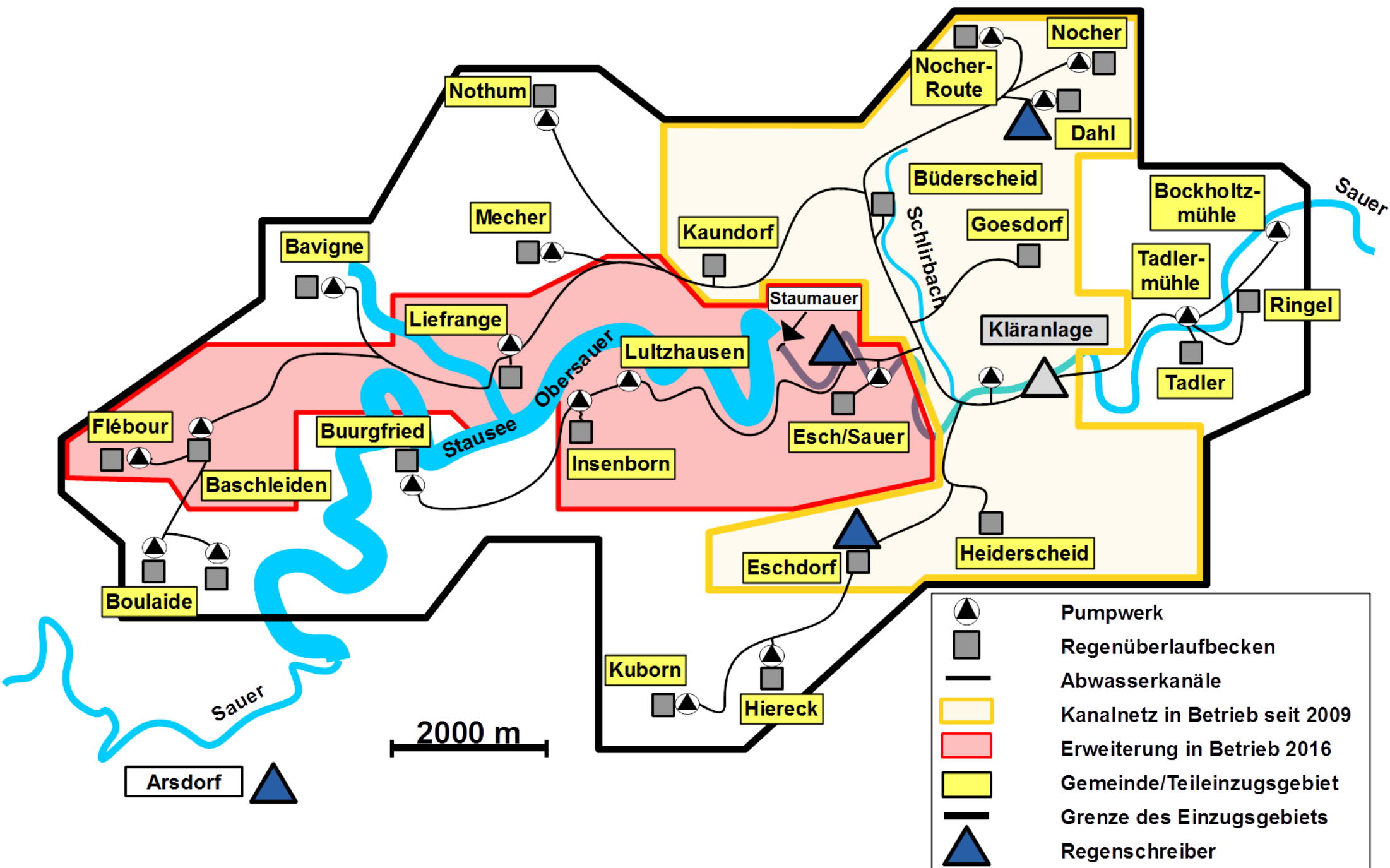
RTC₄Water



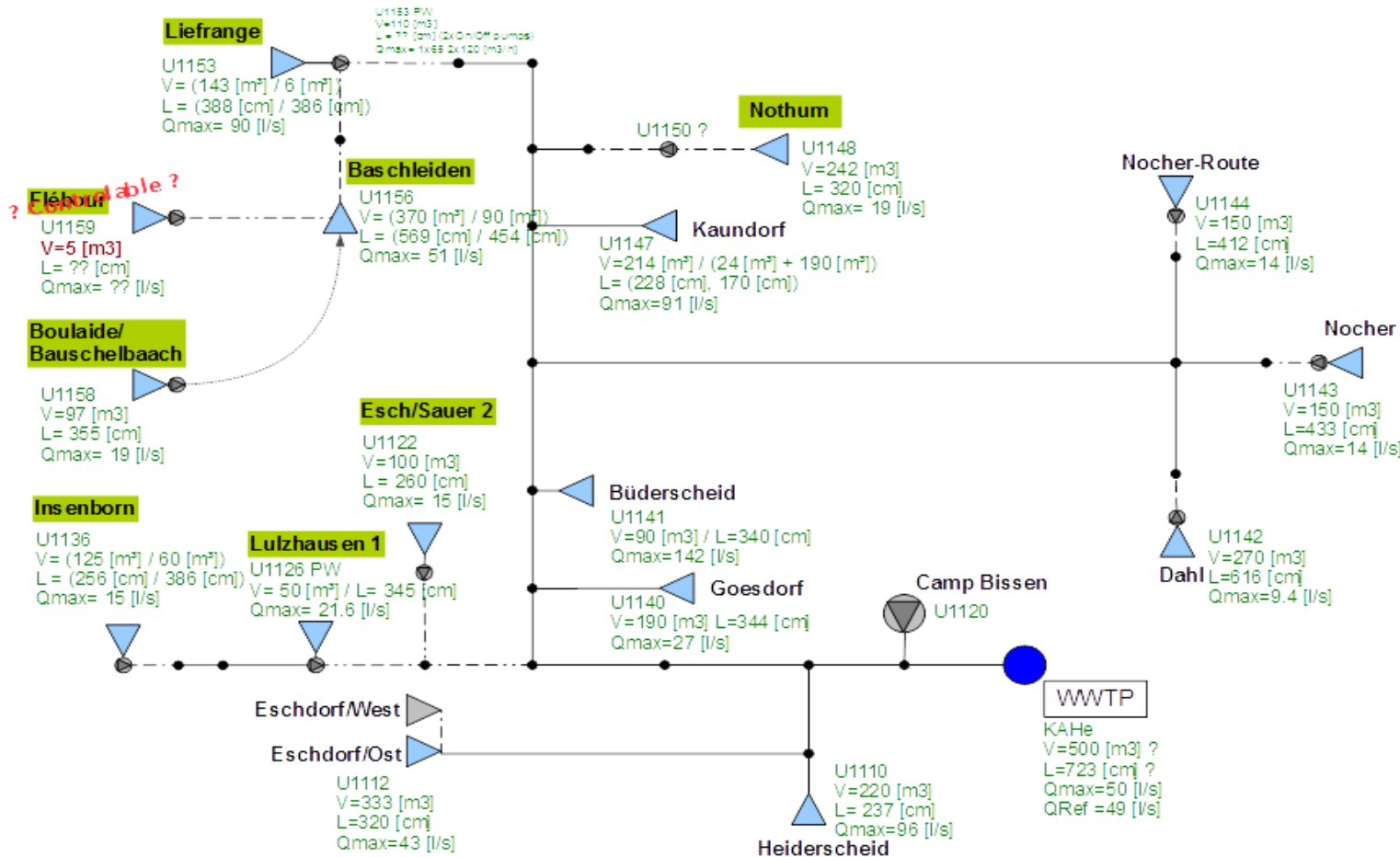
Das Kanalnetz Esch-sur-Sûre

Ein wachsendes Kanalnetz im Wasserschutzgebiet

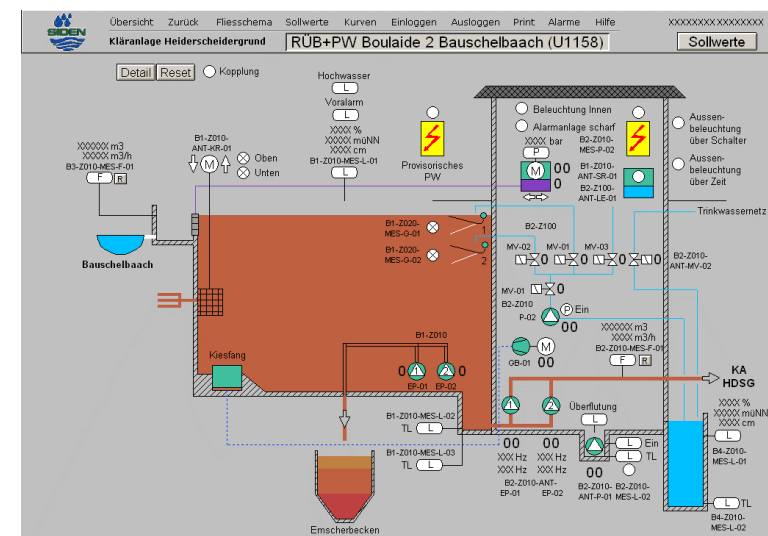
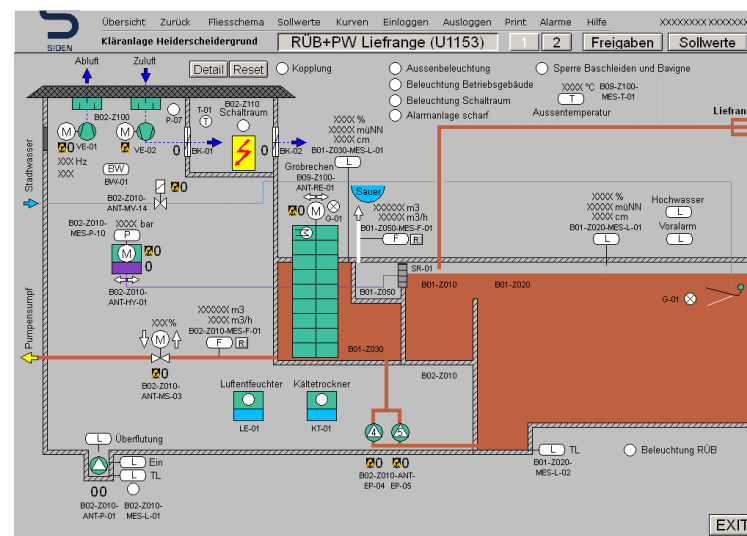
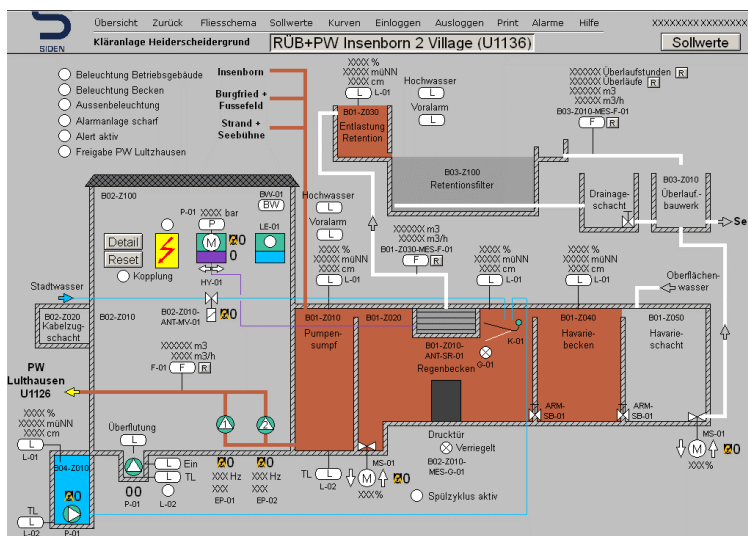
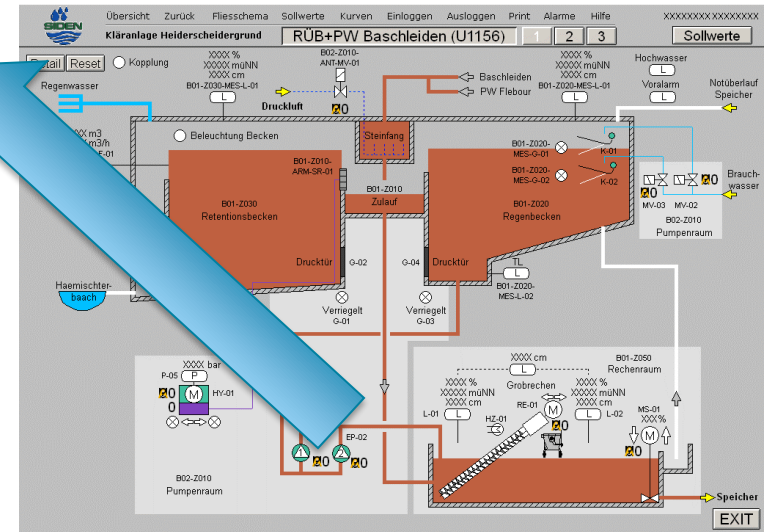
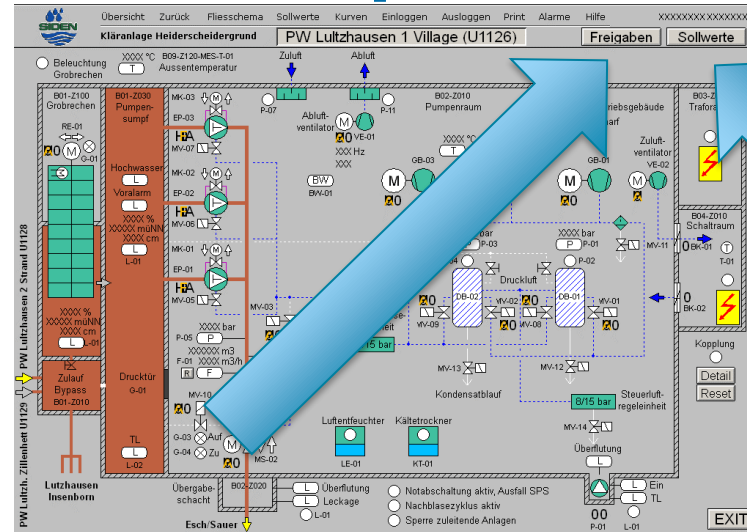
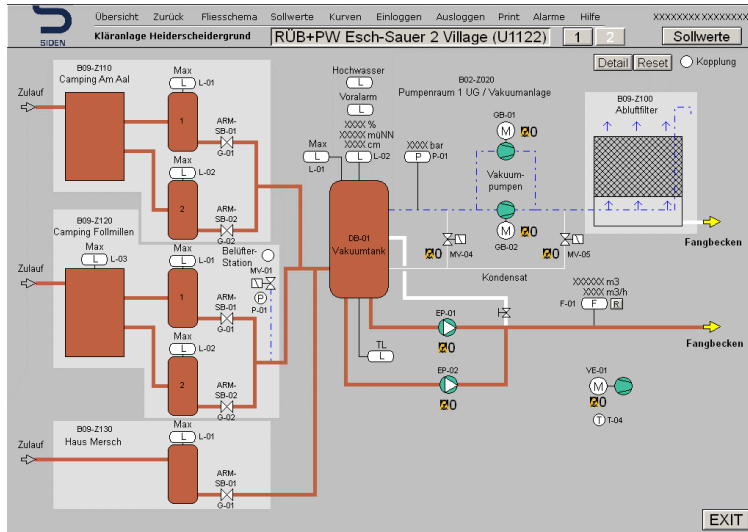




Ein wachsendes Kanalnetz im Wasserschutzgebiet



RTC4Water Controller Beispiele: SIDEN



SIDEN Wastewater Collection Control System (SCADA)

Aber: Das ist nicht wirklich das, was wir tun, nur das, was man sieht

Informationen

- **Optimierungszyklus von 10 Minuten**
- **Prädiktiver Horizont von 2 Stunden**
- **293 Variablen: 141 System-Variablen, 83 Kontroll-Variablen und 69 Zustands-Variablen**
- **Acht RÜBs wurden bis Ende 2015 kontrolliert**
- **Derzeit sind 13 RÜBs im GPC-Verbund kontrolliert, 1 RÜB unkontrolliert, 1 ist im Bau, 1 ist hydraulisch noch nicht angeschlossen und 7 sind noch in der Planungsstufe.**
- **Auf jeden RÜB messen wir: Abfluss und Füllstand**

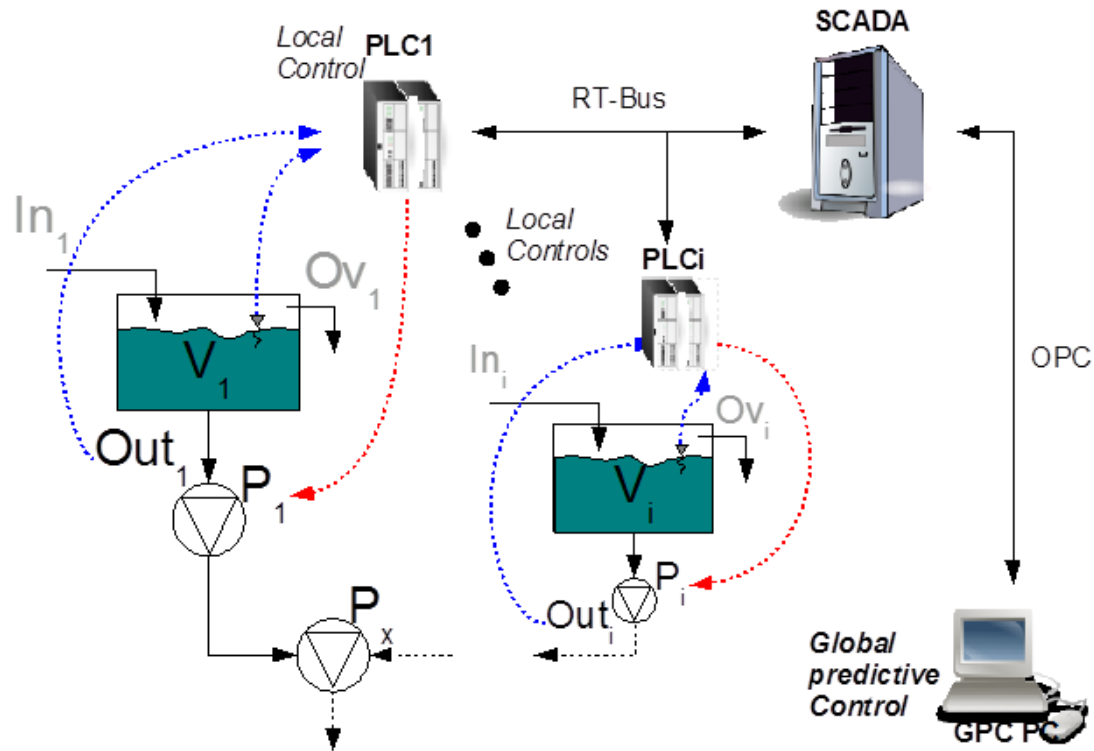


RTC₄Water

Real Time Control of Water Infrastructure

GPC

Hardware Schema Abwasser



Weighted sub-goals		
α Minimize overflow	β Constant WWTP- inflow	λ Homogeneous storage use
Convex Optimization		

Kaskade Control Ansatz

- Global Predictive Control (GPC)
- SCADA
- Lokale Actuator Control

GPC

- Ziel ist die Gesamtoptimierung
- Langsamer Control Loop
- Erhält Systemvariablen von lokalen Steuerungen über Real-Time Bus und einem standardisierten inter-process-protocol (OPC)

Lokale Kontrolle

- Viel schnellerer Regelkreis
- Grundsteueransatz
- Erhält Set-Points von GPC
- Nimmt die endgültige Entscheidung über Aktuator Control

Das Mathematische Problem

```
125.0 * x0 + -2.43 * x1 + -2.33 * x5 + -0.23 * x6 + -30.0 * x8 + -2.633 * x9
114.13 * x1 + -3.22 * x5 + -0.31 * x6 + -3.65 * x9
-3.21 * x1 + 70.0 * x2 + -3.07 * x5 + -0.30 * x6 + -3.48 * x9
-41.17 * x1 + 107.5 * x3 + 125.0 * x4 + -39.41 * x5 + -3.83 * x6 + -44.67 * x9 + -100.0 * x10 + -32.5 * x11
-16.60 * x1 + -107.5 * x3 + 96.60 * x5 + 9.38 * x6 + -18.02 * x9
-7.59 * x1 + -7.27 * x5 + -0.71 * x6 + 30.0 * x8 + -8.24 * x9
-125.0 * x0 + -33.41 * x1 + -125.0 * x4 + -31.99 * x5 + -3.11 * x6 + 91.25 * x9 + 100.0 * x10
-9.72 * x1 + -70.0 * x2 + -9.31 * x5 + -0.90 * x6 + -10.55 * x9 + 32.5 * x11
```

Sehr kleiner
Ausschnitt des
Problems

Das Netzwerk konfiguriert sich selbst: Wir lösen das Problem für das fertige Netzwerk, außer dass wir Teile des Netzes herausnehmen, die nicht funktionsfähig sein.

Die Zielfunktion

Mathematische Gleichung. Enthält die Wünsche des Kunden: z.B. Minimierung von Überlaufen, konstanter Zulauf an der Kläranlage, Sensibilität von Überlaufstellen usw.

z.B.

- V_{\max} (Kläranlage) darf nicht überschritten werden
- Speicherkapazität muss maximal ausgenutzt werden

RTC4water

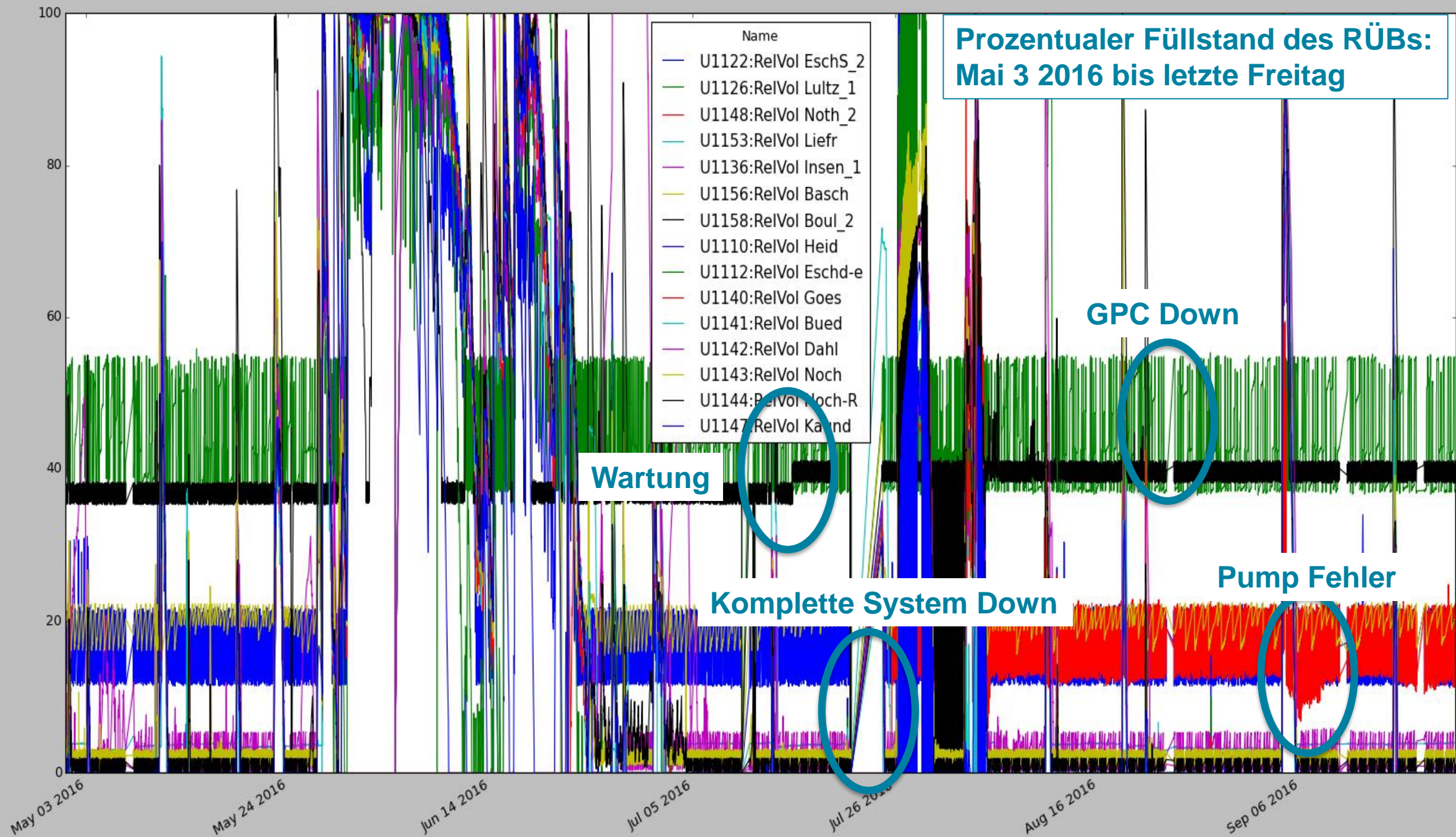
Das macht ein GPC:



```
GPCLifeJobPSM_sysStartup
2016-07-29 12:59:58.653 - INFO - S99_zlife: State ToWrite, event Write Trigger
2016-07-29 12:59:58.657 - INFO - leaving state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 12:59:58.663 - INFO - entering state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 12:59:58.667 - INFO - S99_zlife: State WritePending, event Write OK
2016-07-29 12:59:58.670 - INFO - leaving state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 12:59:58.674 - INFO - entering state Idle of S99_zlife
2016-07-29 12:59:58.677 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 12:59:58.681 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): (2016-07-29 10:59:57+00:00) Life counters incremented (<S99_zlife', 7649>)
2016-07-29 13:00:06.789 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): GPC is aLife
2016-07-29 13:00:06.799 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:06.805 - INFO - S99_zlife: State Idle, event New Data
2016-07-29 13:00:06.809 - INFO - leaving state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:06.812 - INFO - entering state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:07.631 - INFO - S99_zlife: State ToWrite, event Write Trigger
2016-07-29 13:00:07.634 - INFO - leaving state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:07.640 - INFO - entering state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:07.644 - INFO - S99_zlife: State WritePending, event Write OK
2016-07-29 13:00:07.648 - INFO - leaving state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:07.653 - INFO - entering state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:07.657 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:07.661 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): (2016-07-29 11:00:06+00:00) Life counters incremented (<S99_zlife', 7650>)
2016-07-29 13:00:15.819 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): GPC is aLife
2016-07-29 13:00:15.829 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:15.835 - INFO - S99_zlife: State Idle, event New Data
2016-07-29 13:00:15.838 - INFO - leaving state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:15.842 - INFO - entering state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:16.661 - INFO - S99_zlife: State ToWrite, event Write Trigger
2016-07-29 13:00:16.665 - INFO - leaving state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:16.671 - INFO - entering state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:16.674 - INFO - S99_zlife: State WritePending, event Write OK
2016-07-29 13:00:16.678 - INFO - leaving state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:16.683 - INFO - entering state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:16.687 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:16.691 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): (2016-07-29 11:00:15+00:00) Life counters incremented (<S99_zlife', 7651>)
2016-07-29 13:00:24.799 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): GPC is aLife
2016-07-29 13:00:24.809 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:24.815 - INFO - S99_zlife: State Idle, event New Data
2016-07-29 13:00:24.819 - INFO - leaving state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:24.823 - INFO - entering state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:25.641 - INFO - S99_zlife: State ToWrite, event Write Trigger
2016-07-29 13:00:25.645 - INFO - leaving state ToWrite of S99_zlife
2016-07-29 13:00:25.651 - INFO - entering state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:25.654 - INFO - S99_zlife: State WritePending, event Write OK
2016-07-29 13:00:25.658 - INFO - leaving state WritePending of S99_zlife
2016-07-29 13:00:25.664 - INFO - entering state Idle of S99_zlife
2016-07-29 13:00:25.668 - INFO - S99_zlife: State UpToDate, event RGood
2016-07-29 13:00:25.674 - INFO - Job MPCzLifeJob (ID 3): (2016-07-29 11:00:24+00:00) Life counters incremented (<S99_zlife', 7652>)
```



Wie sieht dass im Praxis aus?



Prozentualer Füllstand des RÜBs: Regenereignis 27-29 Mai 2016

Name

- U1122:RelVol EschS_2
- U1126:RelVol Lultz_1
- U1148:RelVol Noth_2
- U1153:RelVol LiefR
- U1136:RelVol Insen_1
- U1156:RelVol Basch
- U1158:RelVol Boul_2
- U1110:RelVol Heid
- U1112:RelVol Eschd-e
- U1140:RelVol Goes
- U1141:RelVol Bued
- U1142:RelVol Dahl
- U1143:RelVol Noch
- U1144:RelVol Noch-R
- U1147:RelVol Kaund

Insenborn: Low Qmax
und Kaskade

RÜB Nocher
und Dahl
Geschlossen

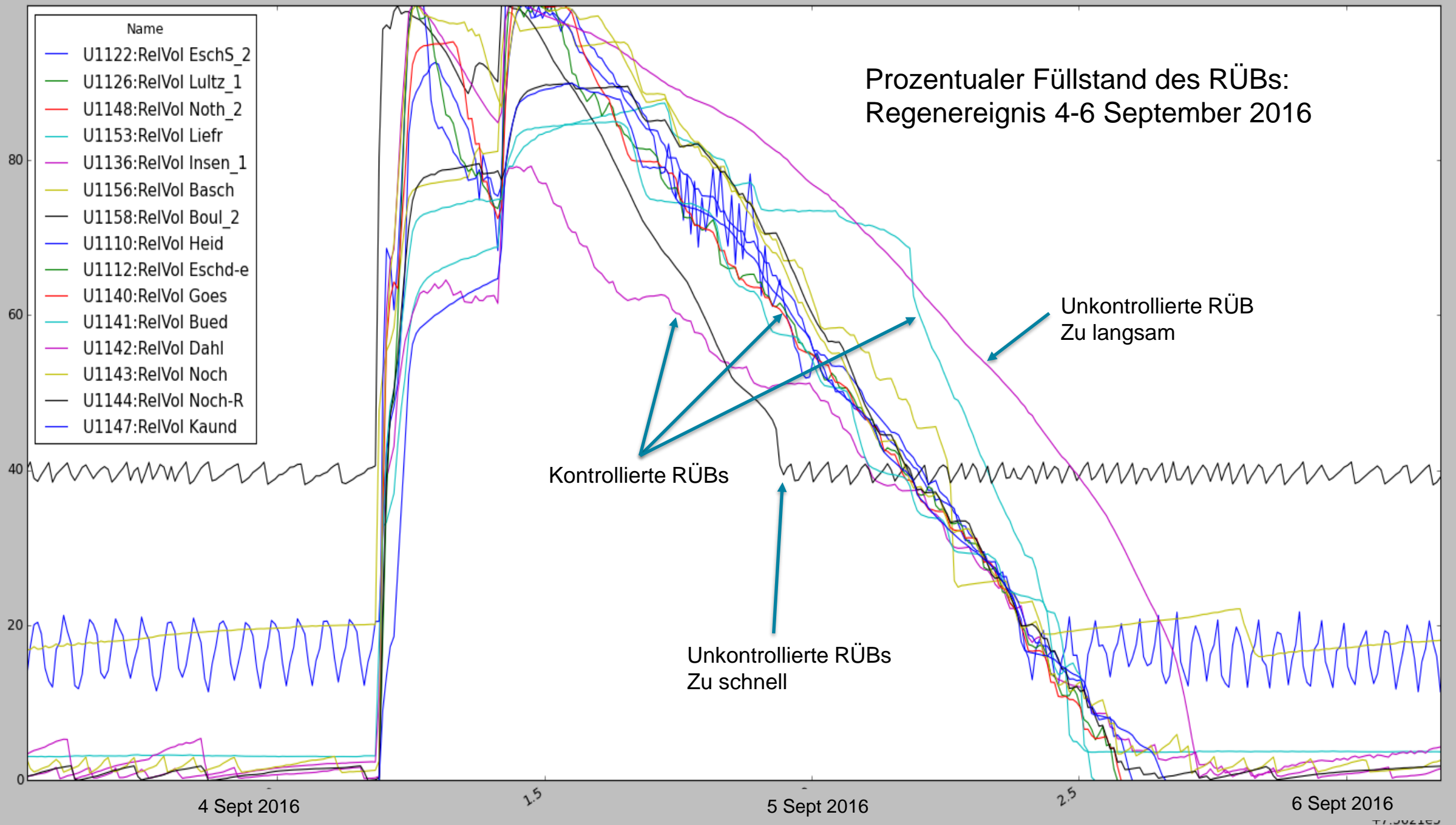
27 Mai 2016

1.5

28 Mai 2016

2.5

29 Mai 2016



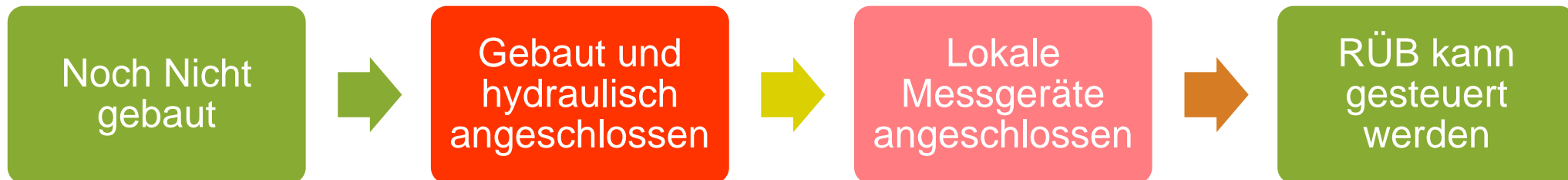


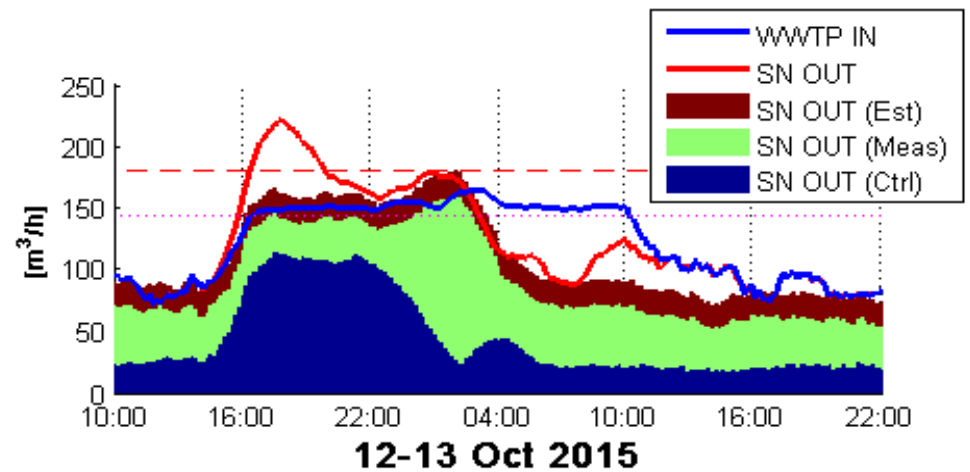
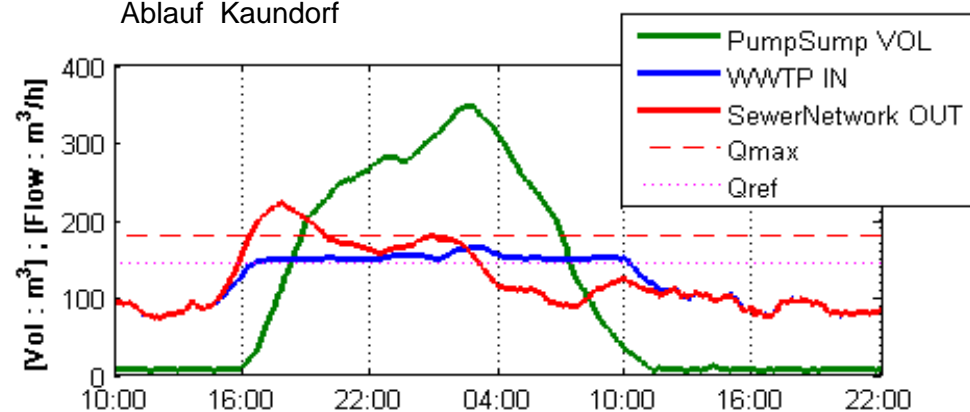
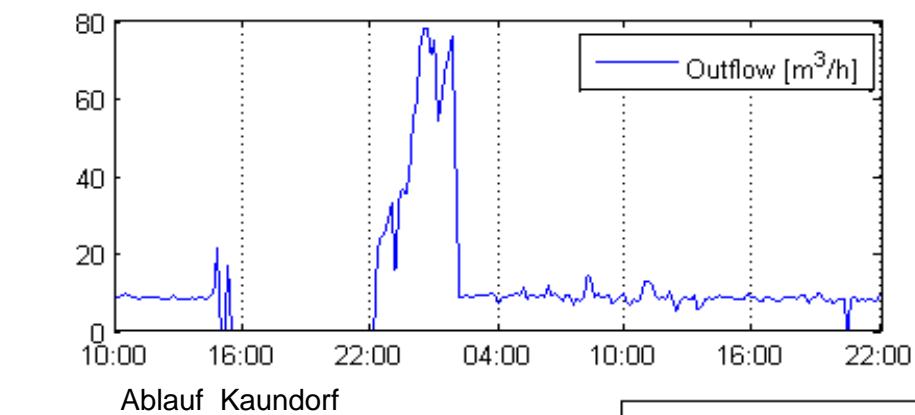
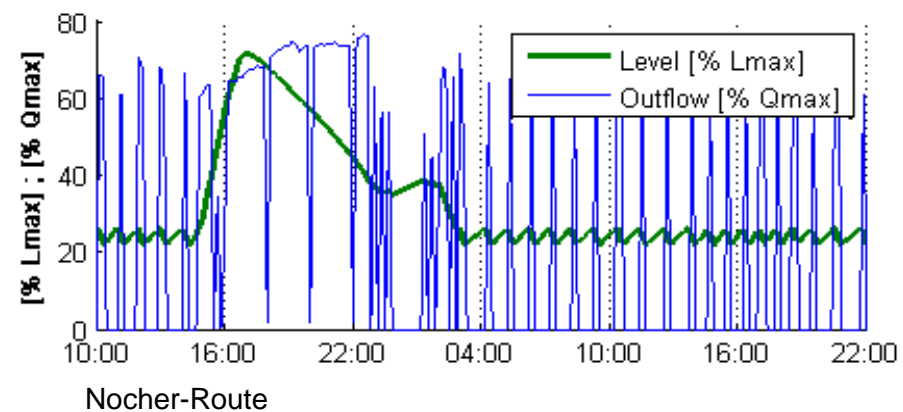
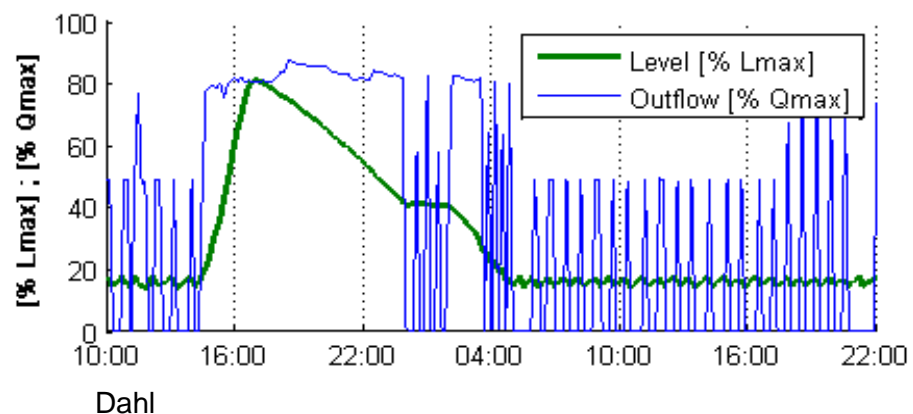
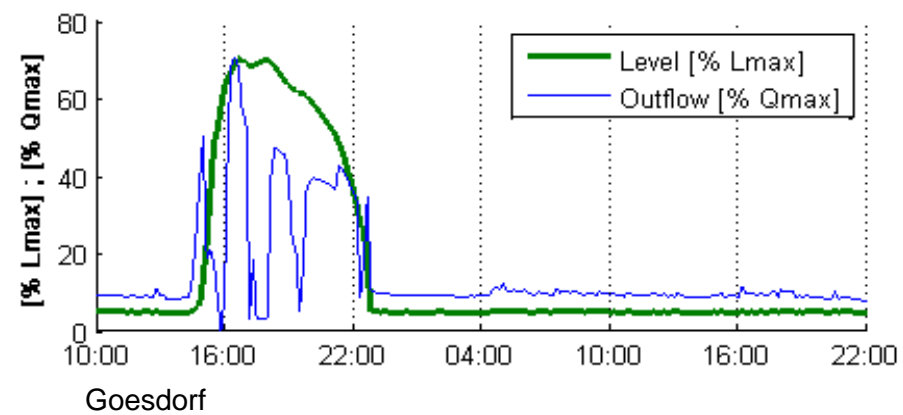
Frage: Wie gehen wir mit Erweiterungen des Netzwerks um?

Antwort: Einfach die neue Struktur anschließen und anschalten im GPC

„Geht nicht“ weil es Bauphasen gibt.....

- **Stufe 0:** Das geplante RÜB ist noch nicht gebaut oder noch nicht am Kanalnetz angeschlossen
- **Stufe 1:** Das Betone-Skelett des RÜB ist gebaut und das Bauwerk ist hydraulisch am Kanalnetz angeschlossen. Meistens ist der Auslaufschieber auch installiert, aber fest eingestellt und nur manuell benutzbar.
- **Stufe 2:** Lokale Messgeräte, und vielleicht auch die SPS, sind installiert und übertragen Daten an ein SCADA System.
- **Stufe 3:** Das neue RÜB kann via Fernwartung gesteuert werden (z.B. via das SCADA System oder eben auch vom GPC)





Schlussfolgerungen

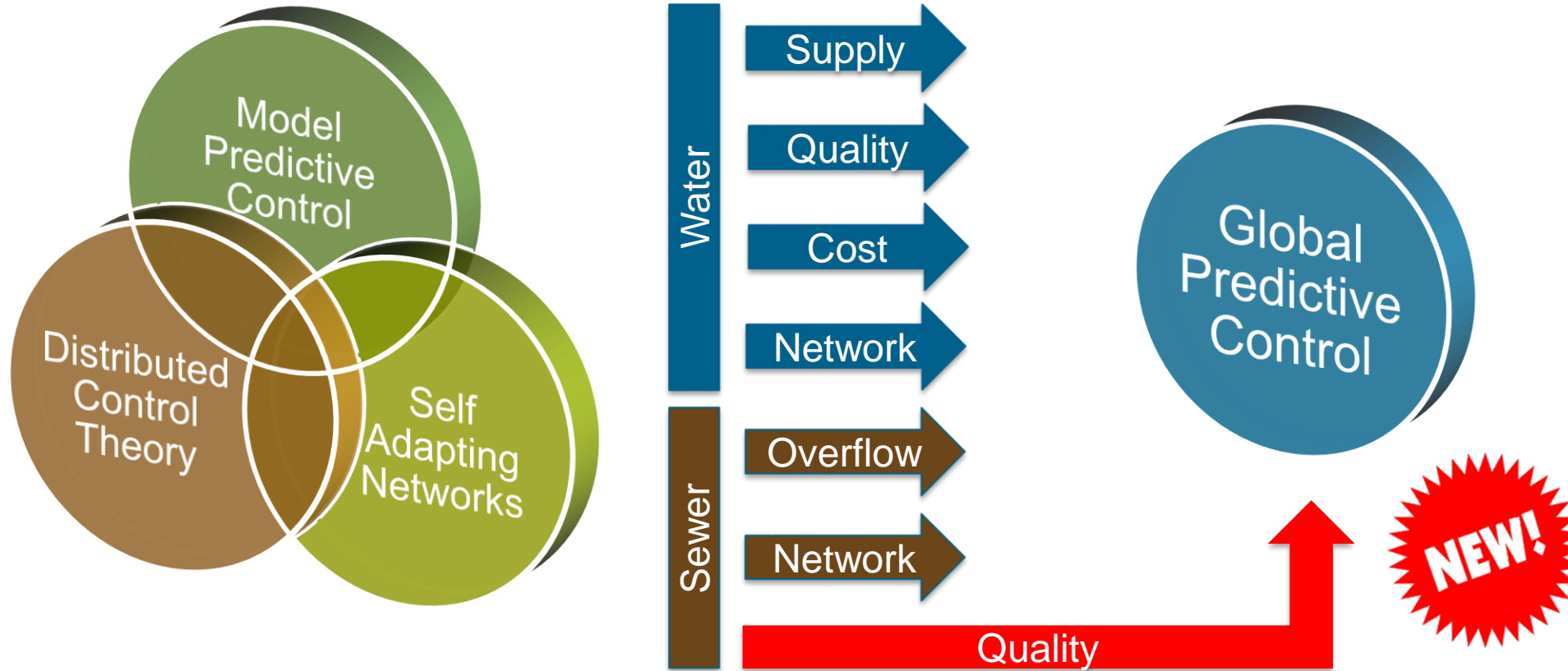
Phasen:

1. Planung und Parametrierung der neuen RÜBs im GPC-Model. Sie existieren zwar bereits im Model, der Durchfluss und das gespeicherte Volumen ist aber gleich null gesetzt.
2. Sobald eine der neuen RÜBs physikalisch existiert und hydraulisch am Netz angeschlossen ist, kann es im GPC mit einem realistischen statischen Durchfluss berücksichtigt werden. Dies ist die kritischste Stufe.
3. Wenn die Messtechnik existiert und funktioniert, kann der reelle Durchfluss des neuen RÜB im GPC berücksichtigt werden. Es ist wichtig, dass der statische bzw. maximale Durchfluss von einem solchen RÜB unter Berücksichtigung des Gesamtkontextes festgelegt wird, weil sonst die Optimierungsmöglichkeiten des GPC unnötig eingeschränkt werden.
4. Wenn die vollständige Funktionsfähigkeit des RÜB zu Verfügung steht, kann dieses, nach einer geeigneten Test-und Validierungsphase, in den GPC-Verbund aufgenommen werden.



Weitere Innovationen

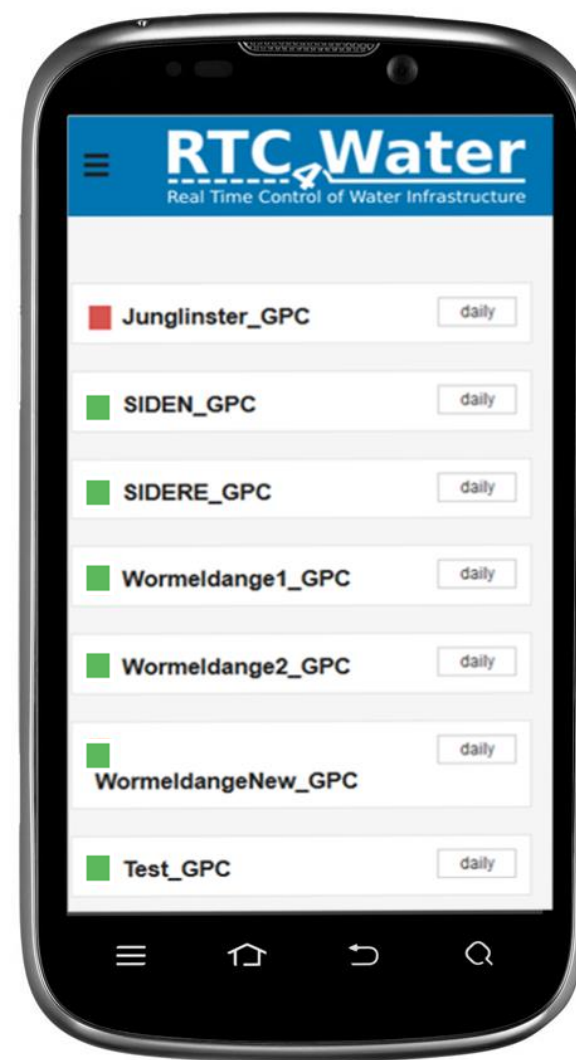
RTC4Water: Neue Ideen für die Steuerung der Qualität in einem Kanalnetz



Unsere Controller müssen robust und unbeaufsichtigt bleiben, darum entwickeln wir ein lineares konvexes Problem um die Qualität zu kontrollieren

RTC4Water

Überwachung der GPCs: Schnelle Reaktion, wenn das System in einer Notfallsituation ist



RTC4Water

RTC₄Water

The Future of Control in Water infrastructure