EWave

Energiemanagementsystem Wasserversorgung

Prof. Dr. Alexander Martin
Lehrstuhl für Wirtschaftsmathematik, FAU Erlangen-Nürnberg

ERWAS Statuskonferenz, Philharmonie Essen, 2. Februar 2016
Partner: TU Darmstadt, HS Bonn-Rhein-Sieg, Uni Mannheim;
Bilfinger GreyLogix GmbH, RWW mbH, Siemens AG

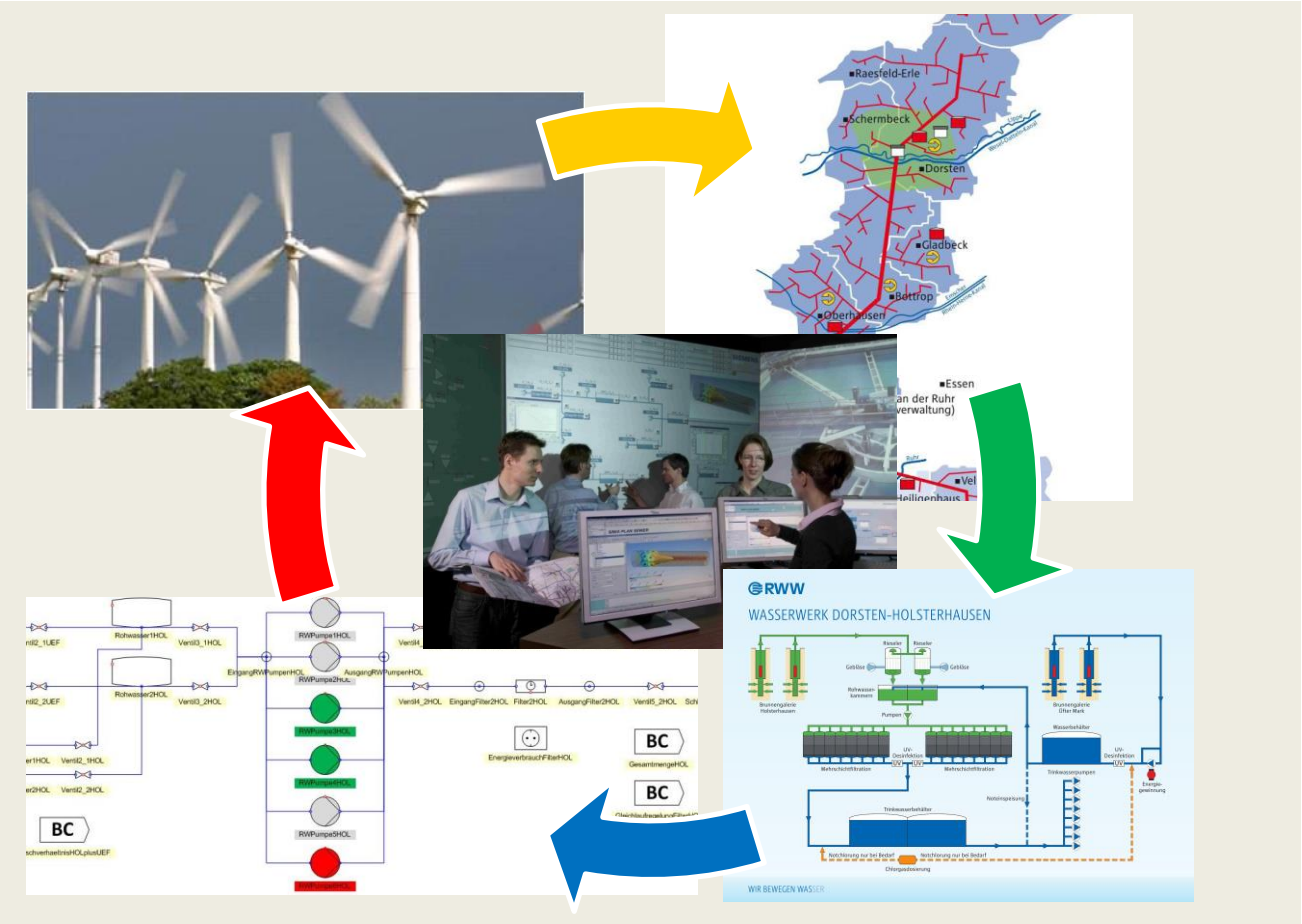
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
FONA Nachhaltiges Wassermanagement BMBF
NaWaM Nachhaltiges Wassermanagement
ERWAS

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft

EWave auf einen Blick

Entwicklung eines innovativen Energiemanagementsystems für Wasserversorgungssysteme zur Ableitung energieoptimaler Betriebspläne

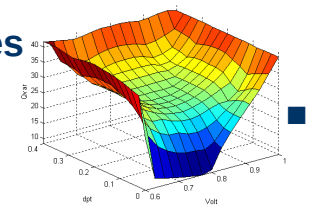


Zielsetzung und Partner

Zielsetzung von EWave

- **Energieoptimaler Betrieb**
  - Kosten minimierte Pumpenschaltungen
  - Kompensation der Leistungsspitzen
  - Effiziente Nutzung der Wasser-behälter als “Energiespeicher”

- **Ganzheitliche Betrachtung des Wasserversorgungssystems**
  - Wasserwerk und Verteilnetz

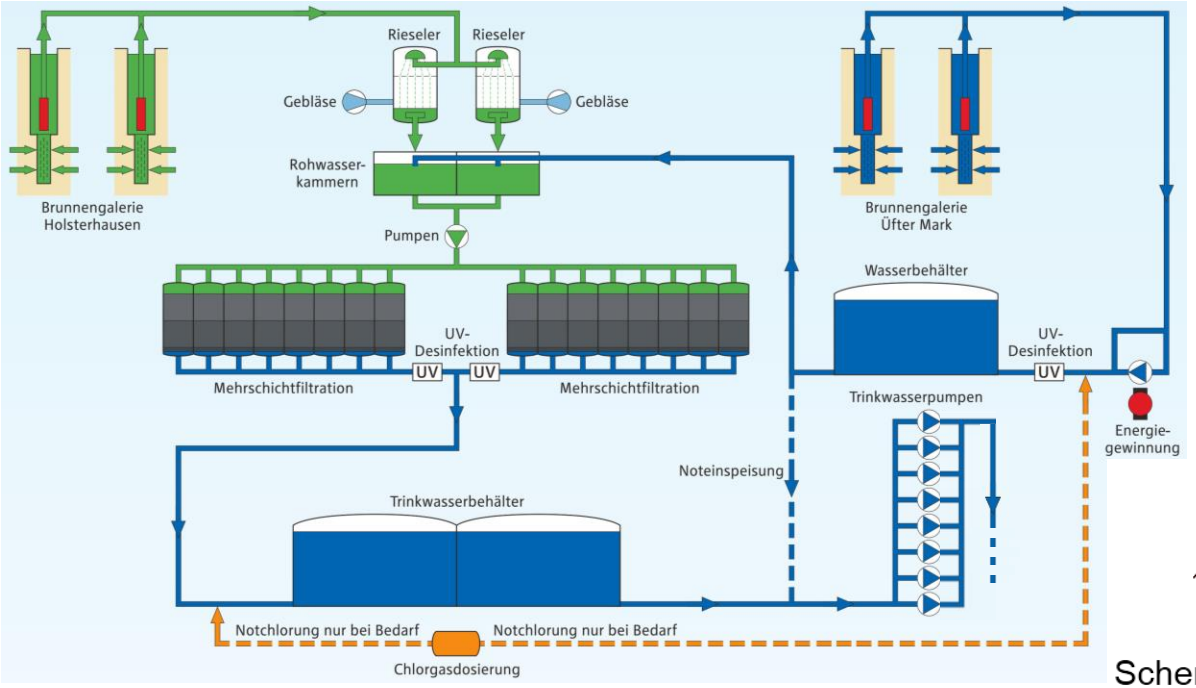


- **Mathematische Methoden**
  - Simulationsbasierter Ansatz zur realitätsnahen Abbildung der Hydraulik
  - Kopplung von kontinuierlichen und diskreten Optimierungsverfahren

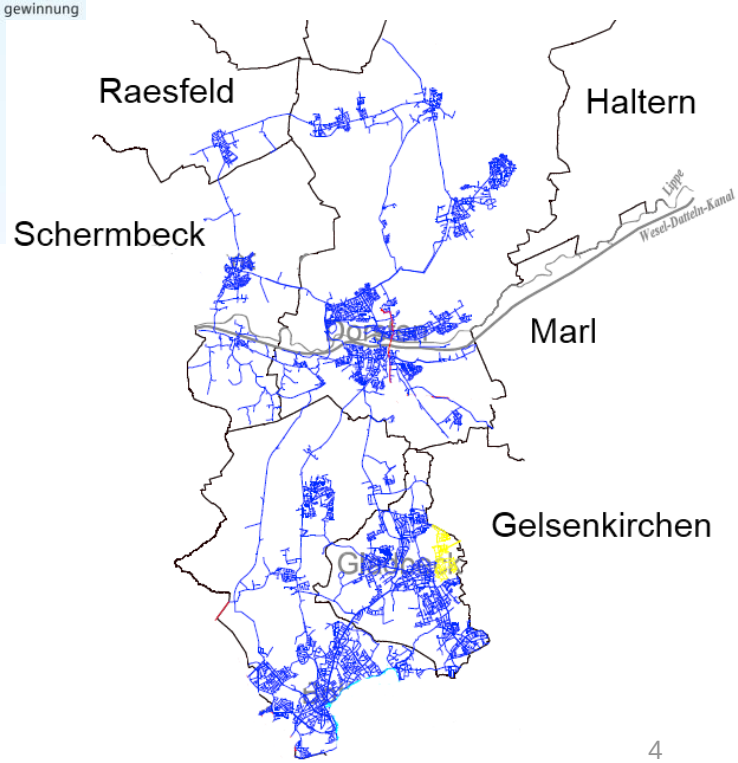
Kooperations-Partner

- **Siemens AG**
  - Systemhersteller für Elektrotechnik, insbesondere Prozessautomatisierung
- **Bilfinger GreyLogix GmbH**
  - System-Integrator mit Schwerpunkt Prozessautomatisierung
- **Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH**
  - Überregionales Wasserversorgungsunternehmen
- **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg**
  - Prof. Alexander Martin
  - Prof. Günter Leugering
- **Hochschule Bonn-Rhein-Sieg**
  - Prof. Gerd Steinebach
- **Technische Universität Darmstadt**
  - Prof. Jens Lang
- **Universität Mannheim (Assoziierter Partner)**
  - Prof. Oliver Kolb

Pilotsystem
Wasserwerk Holsterhausen



- ca. 1/3 des RWW Versorgungsgebietes (insgesamt > 850 km²)
- rd. 1.078 km Rohrnetz
- Städte: Dorsten, Bottrop, Gladbeck, Raesfeld, Schermbeck



- 2 Brunnengalerien mit 52 Tiefbrunnen
- 2 Riesler
- 2 Filterstraßen mit je 8 Mehrschichtfiltern
- 2 UV-Reaktoren je Filterstraße
- 6 Roh- und 6 Trinkwasserpumpen
- max. Aufbereitungsmenge ca. 4.500 m³/h

Workshops und Energiekennzahlen

Workshops mit Wasserversorgungsunternehmen

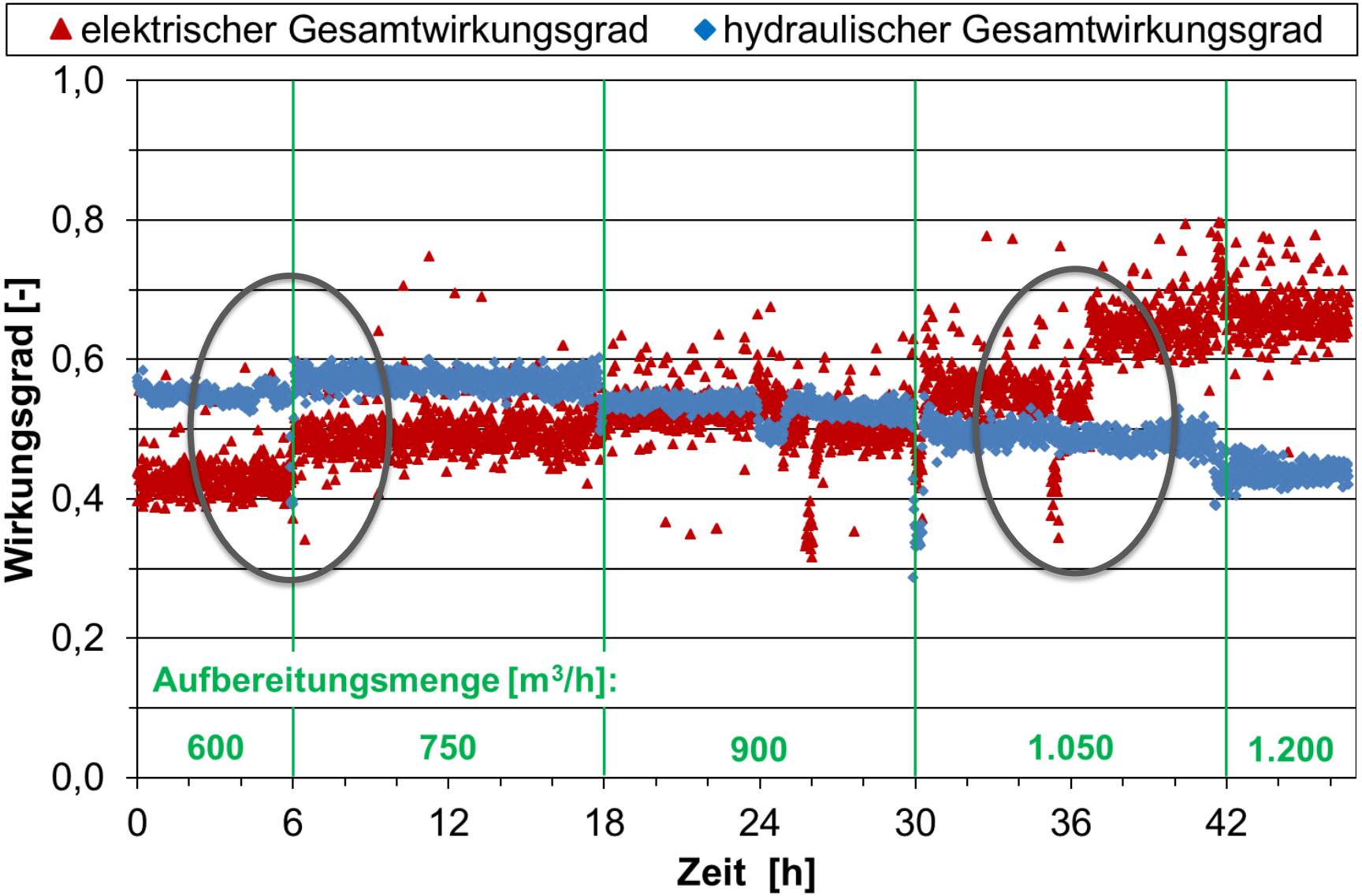
- 1. Workshop am 28.05.2015
- 2. Workshop am 03.12.2015

Energiekennzahlen

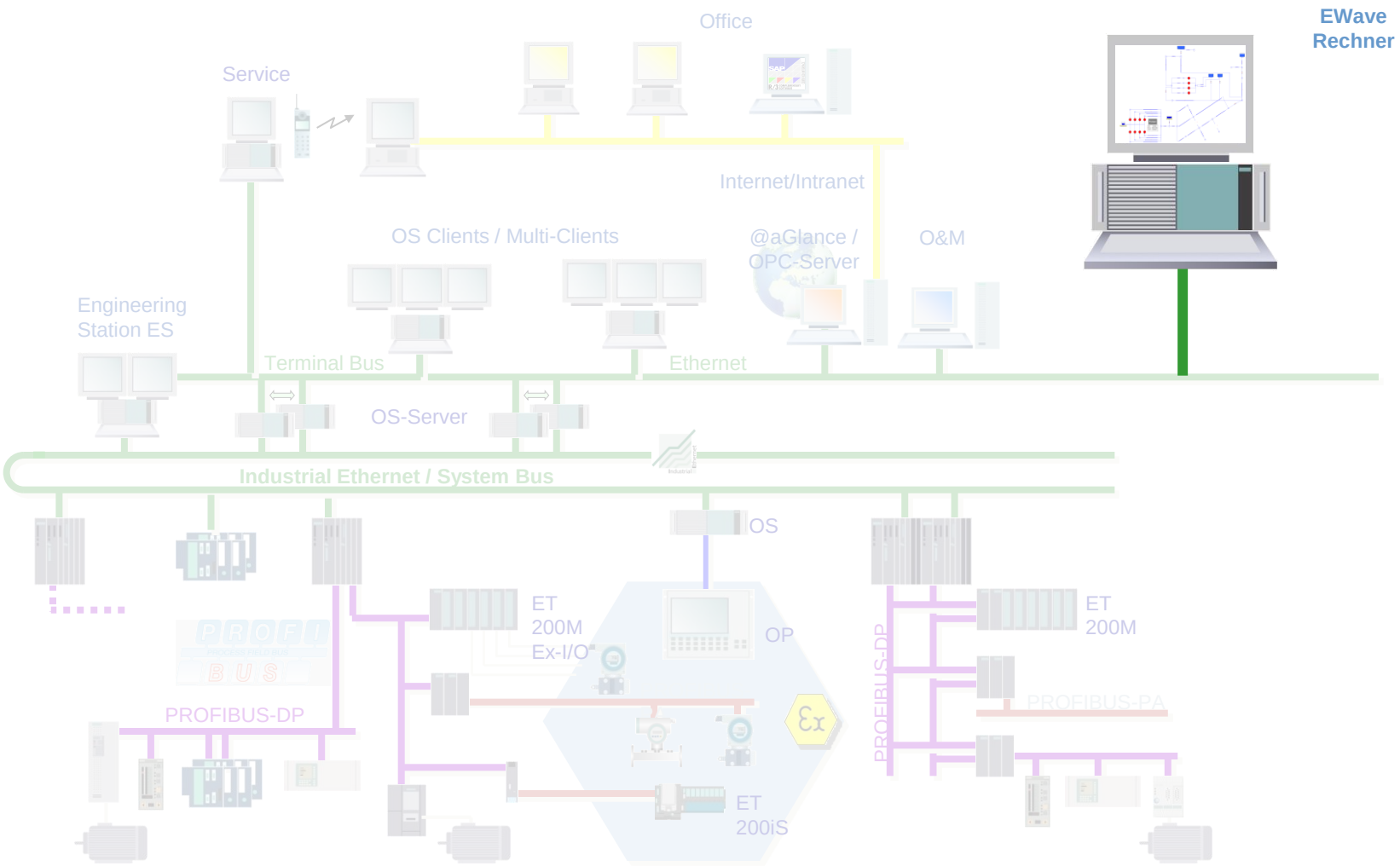
- Qualitative Bewertung der Energieeffizienz für unterschiedliche Anlagen der Wasserversorgung
- Eignung von Wirkungsgraden

  → Definierter Wertebereich zwischen 0 und 1
- Festlegung von Berechnungsvorschriften für drei unterschiedliche Wirkungsgrade:
  - elektrischer Wirkungsgrad
  - hydraulischer Wirkungsgrad
  - Anlagen-/Prozesswirkungsgrad

Workshops und Energiekennzahlen

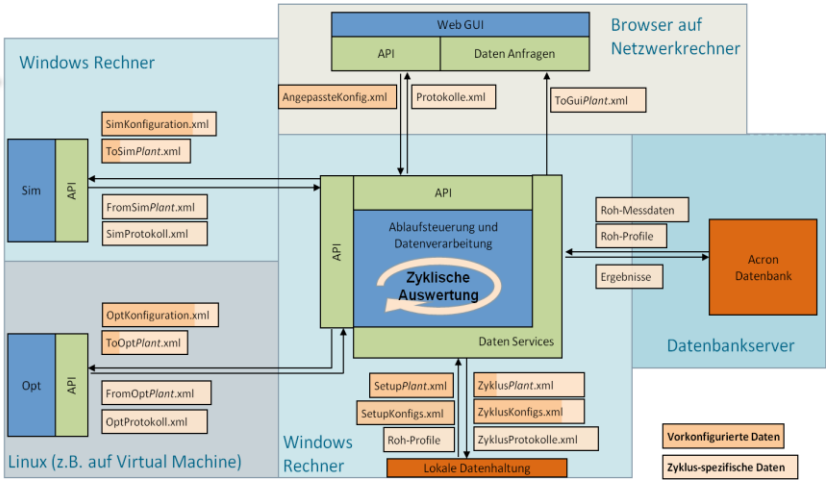


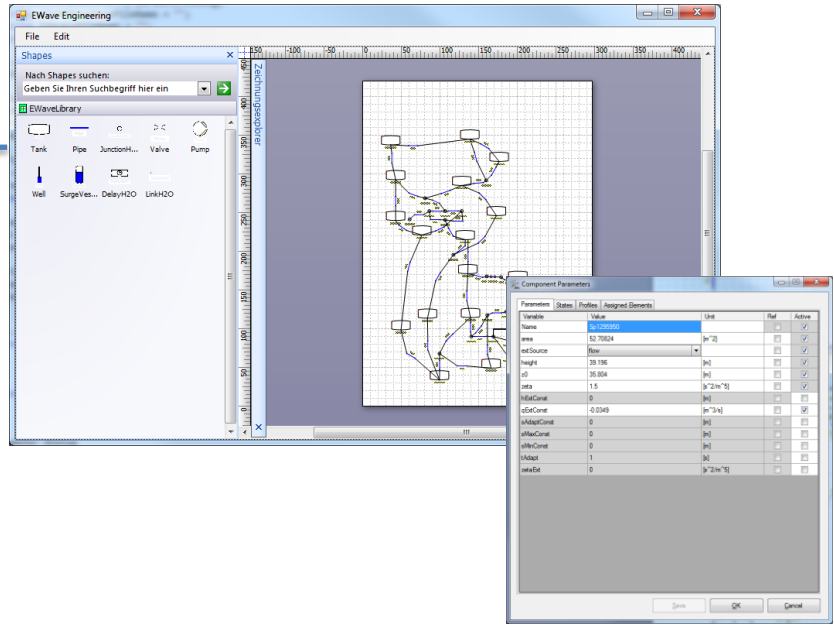
Einbindung EWave in bestehende Prozessleittechnik



Umsetzung und Piloteinsatz

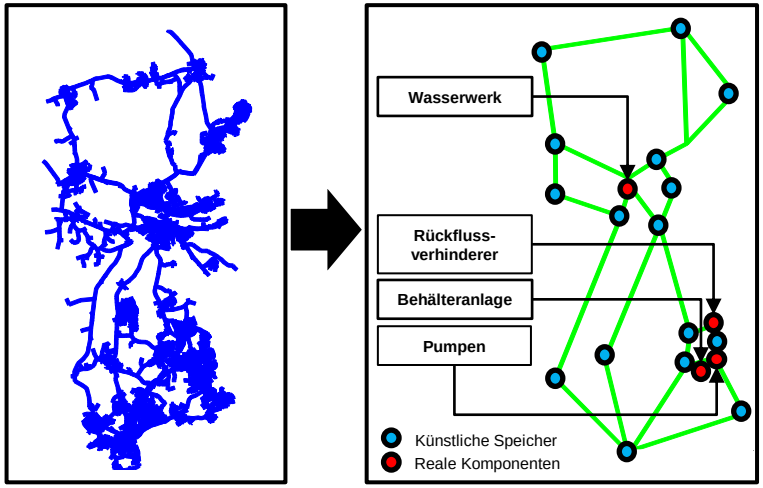
- **Offene, modulare Architektur** zur Anbindung der unterschiedlichen Berechnungsmodule (insbesondere Simulation & Optimierung)
- Umfassende interne **Datenstruktur** als einheitliche Schnittstelle zwischen den Modulen sowie gemeinsame Datenbasis
- Realisierung von **komplexen Abläufen** zur Verschaltung der Module (Zustandsschätzung → Betriebsoptimierung → Vorausschau)
- Visio-basierte **Modellierungsoberfläche** mit graphischer Komponentenbibliothek zur Erstellung des gemeinsamen Systemmodells (gültig in allen Modulen)
- Web-basierte **Betriebsoberfläche** mit automatisch generierter Systemvisualisierung in Anlagen- und Kartensicht (in Arbeit)





Modellaufbau

Abstrahierung des Verteilnetzes



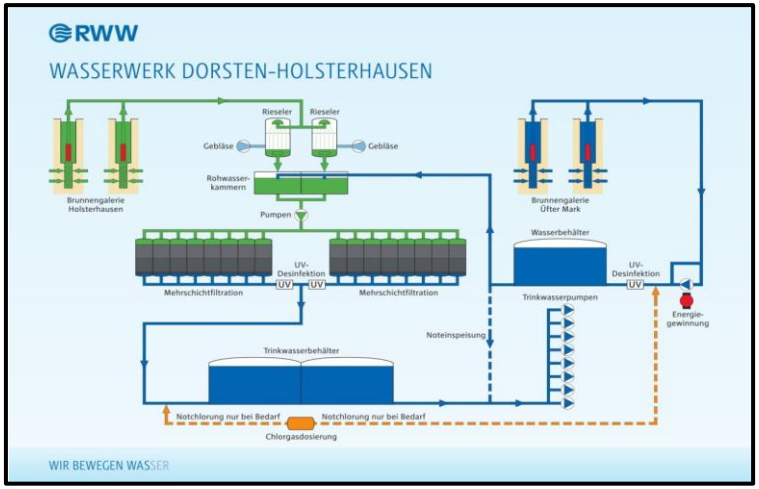
Ziel:

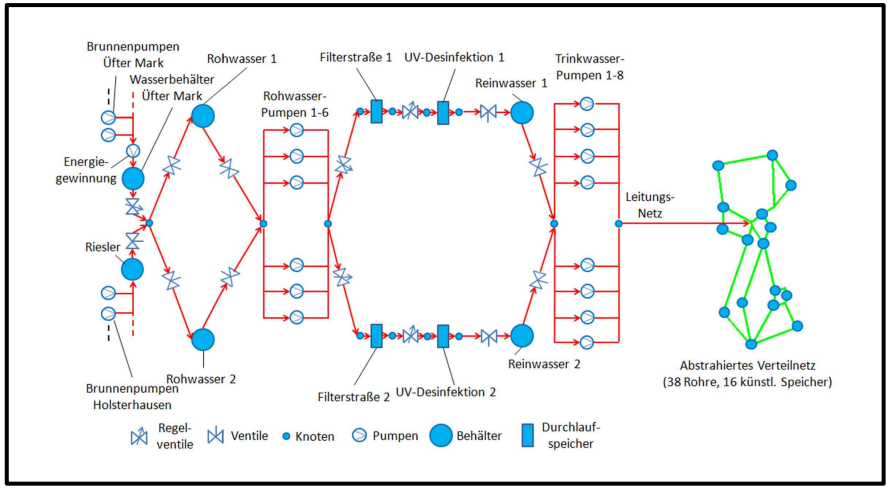
Reduzierung von Rechenaufwand durch Zusammenfassung vorliegender Rohrelemente

Umsetzung:

- Halbautomatisierte Vorgehensweise
- Festlegung des Layouts in Absprache mit RWW
- Einbeziehung realer Daten: Lage, Durchmesser, etc.
- Zusammenfassen der Rohre in künstliche Speicher und übergeordnete Elemente
- Knoten zur Anbindung relevanter Komponenten

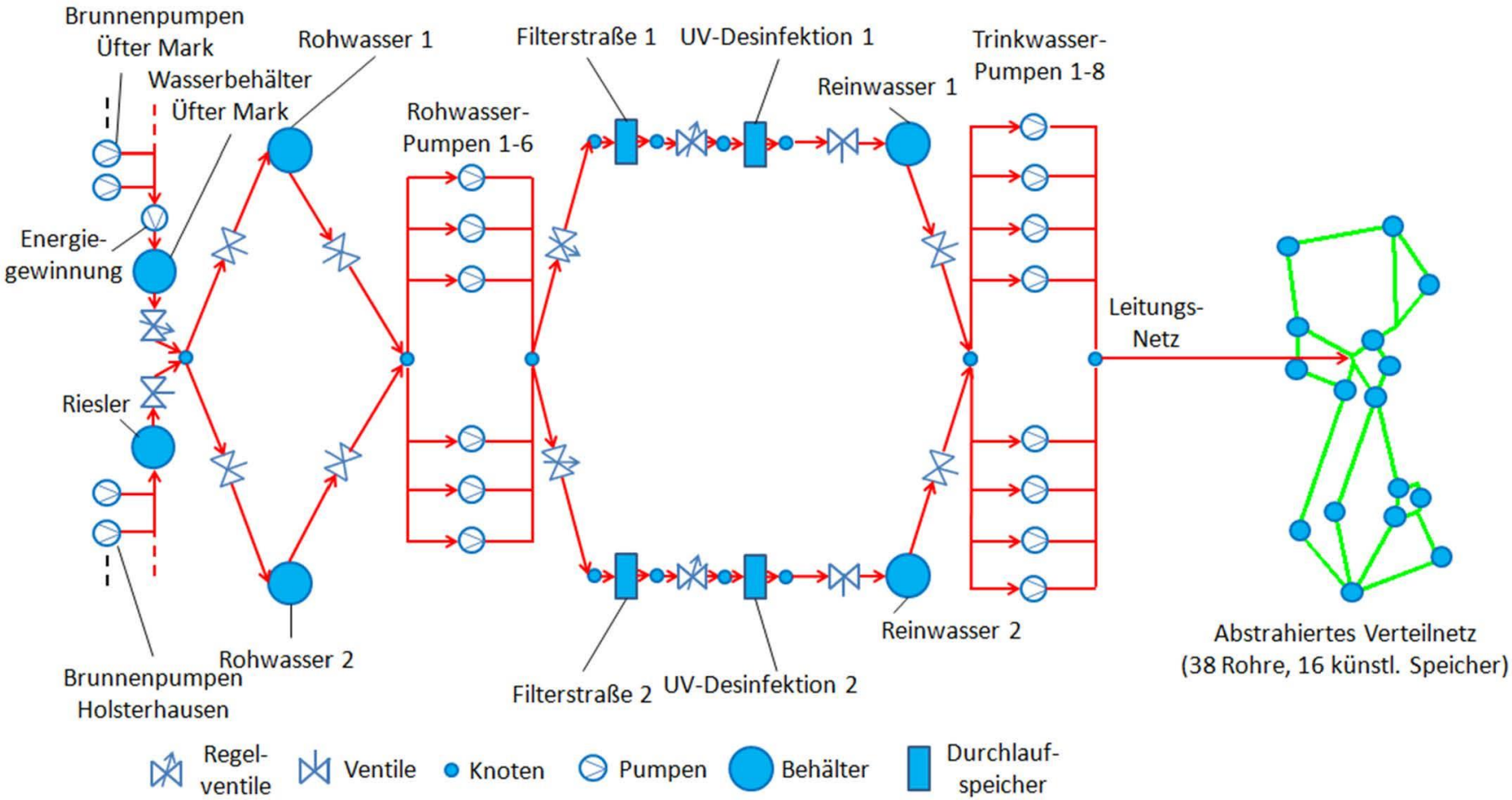
Modellbildung Wasserwerk mittels Netzwerkansatz





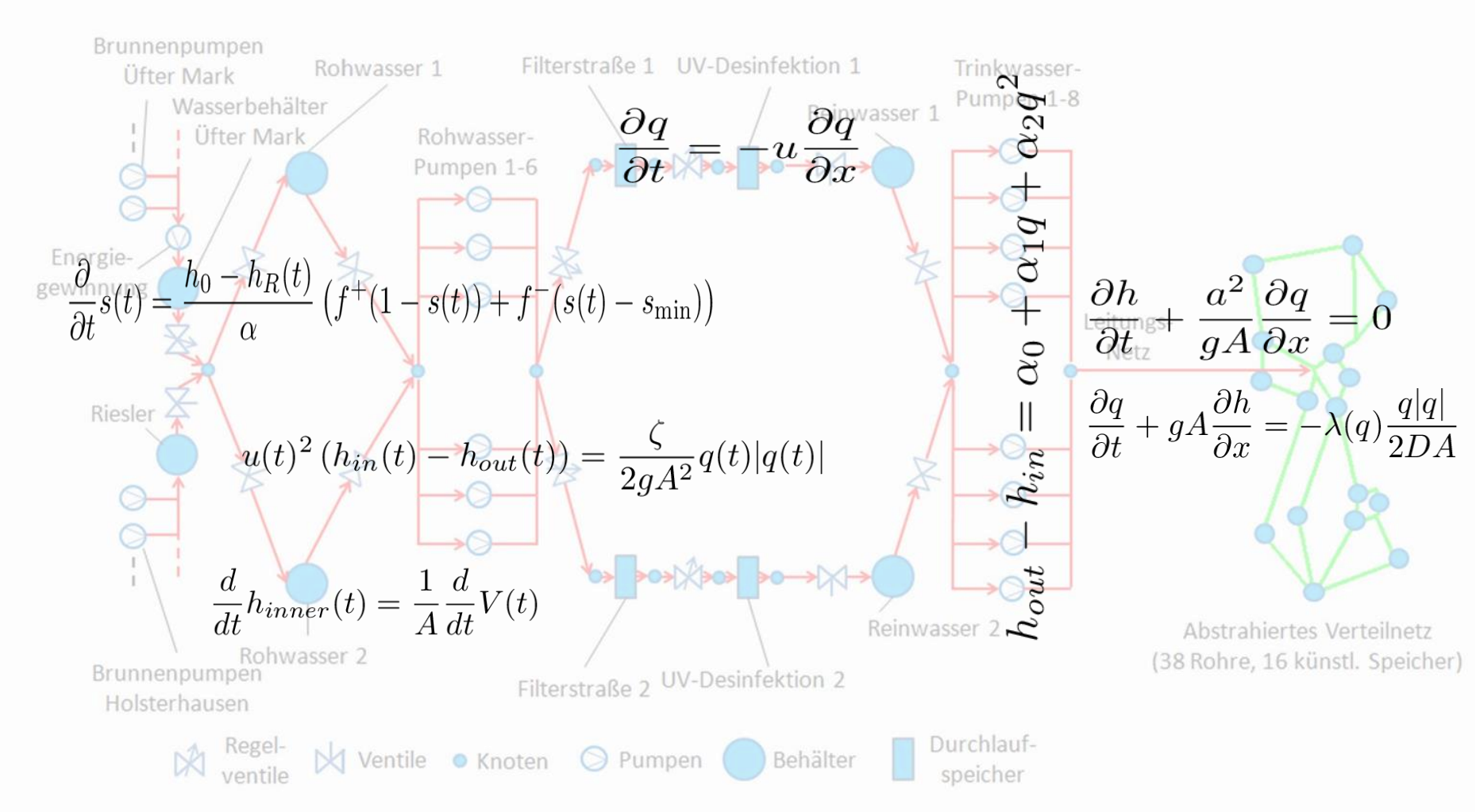
Physikalische Modelle und Numerische Verfahren

Modell Wasserwerk Holsterhausen und abstrahiertes Verteilnetz



Physikalische Modelle und Numerische Verfahren

Modell Wasserwerk Holsterhausen und abstrahiertes Verteilnetz



$$\frac{\partial q}{\partial t} = -u\frac{\partial q}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}s(t) = \frac{h_0 - h_R(t)}{\alpha}\left(f^+(1-s(t)) + f^-(s(t)-s_{\min})\right)$$

$$u(t)^2\left(h_{in}(t) - h_{out}(t)\right) = \frac{\zeta}{2gA^2}q(t)|q(t)|$$

$$\frac{d}{dt}h_{inner}(t) = \frac{1}{A}\frac{d}{dt}V(t)$$

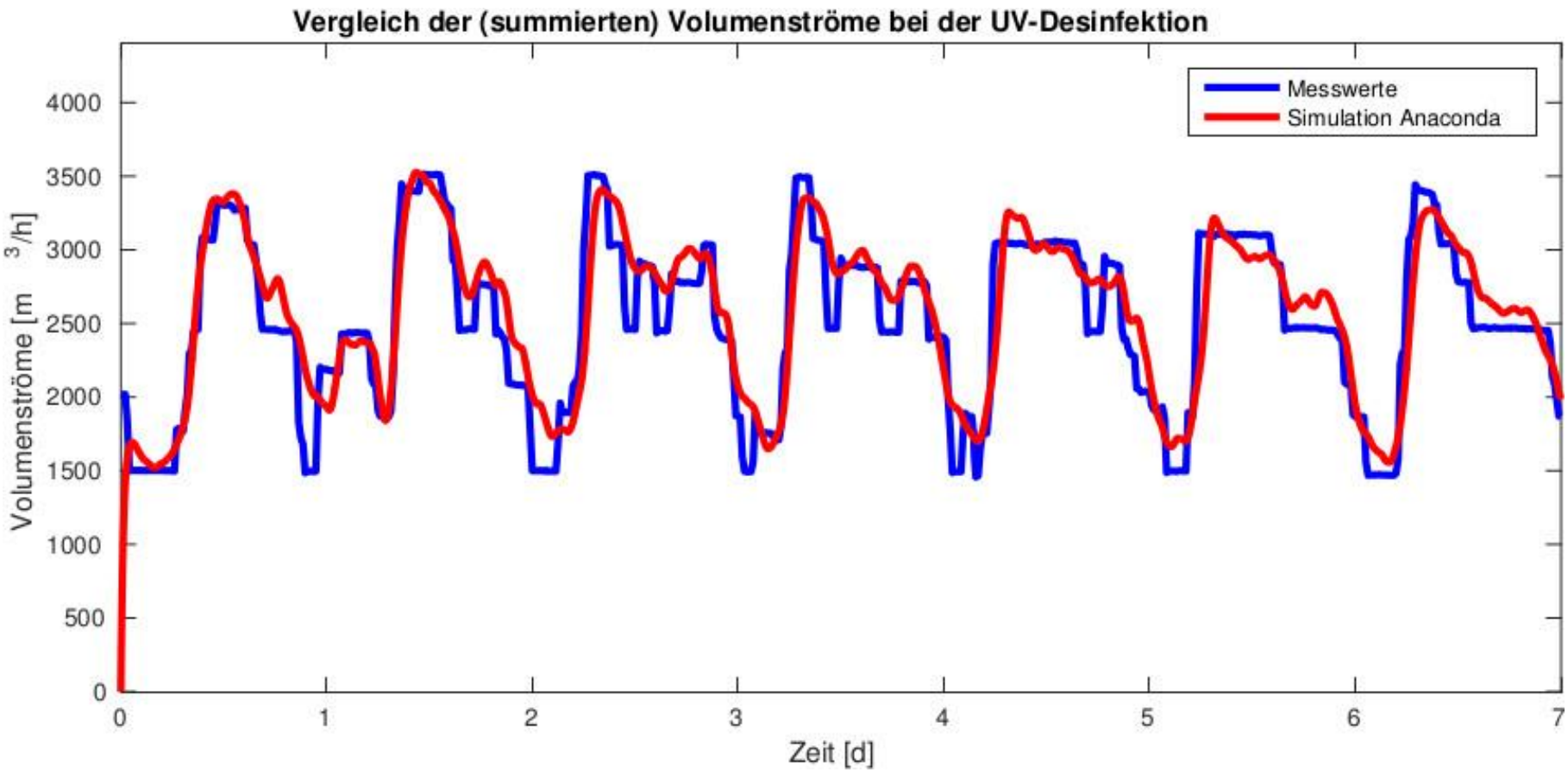
$$h_{out} - h_{in} = \alpha_0 + \alpha_1 q + \alpha_2 q^2$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{a^2}{gA}\frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

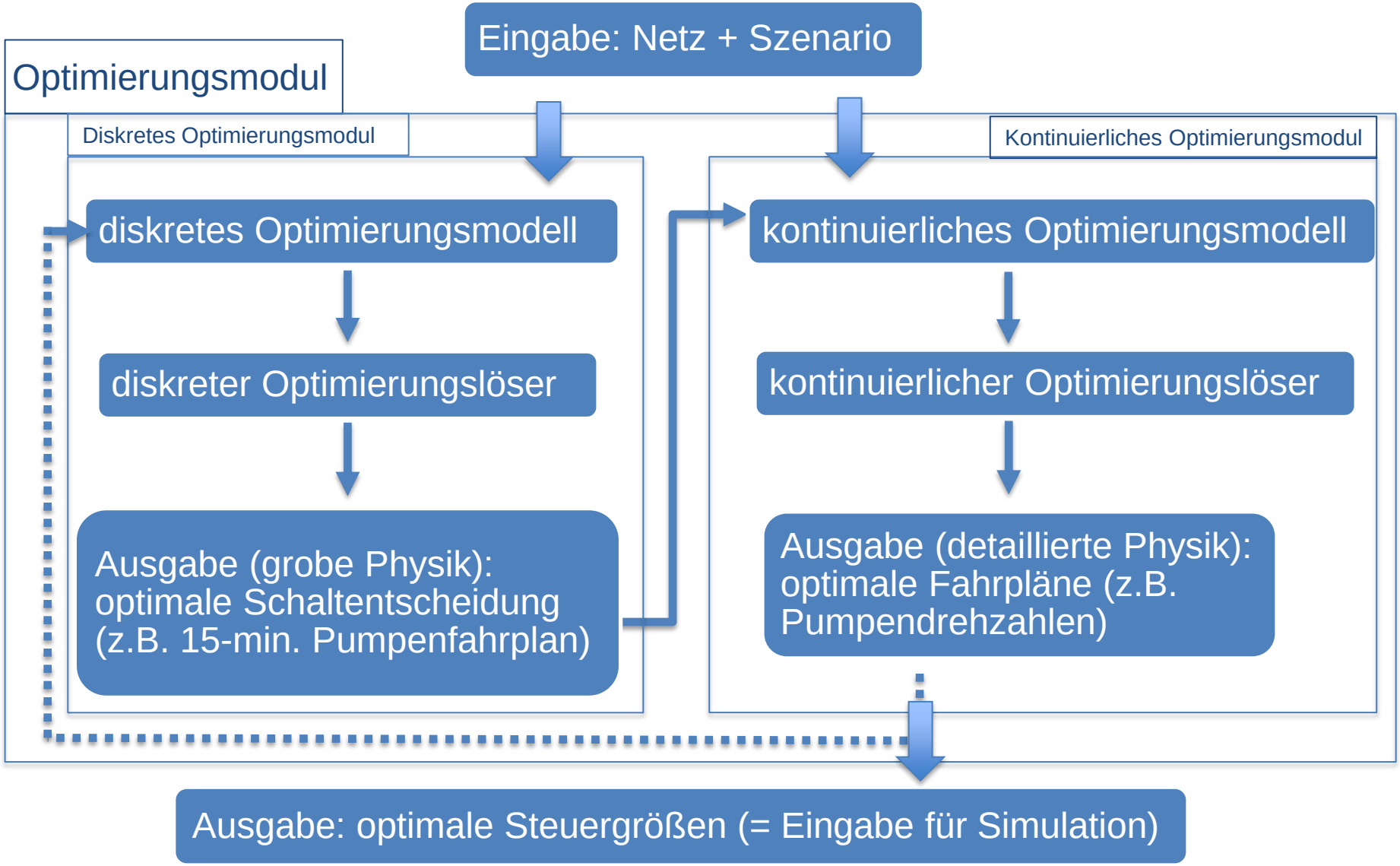
$$\frac{\partial q}{\partial t} + gA\frac{\partial h}{\partial x} = -\lambda(q)\frac{q|q|}{2DA}$$

Physikalische Modelle und Numerische Verfahren

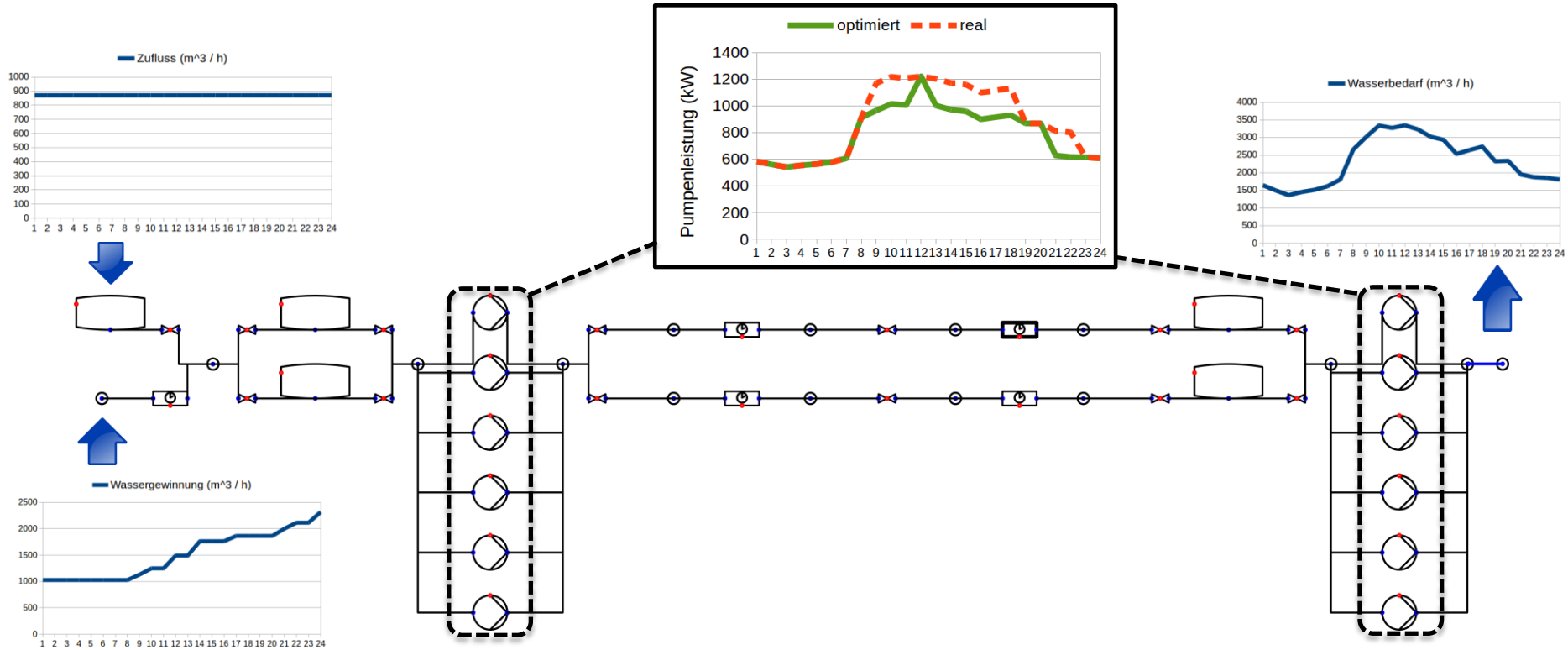
Validierung der Volumenströme in der UV-Desinfektion



Übersicht
Diskret kontinuierliche Optimierung

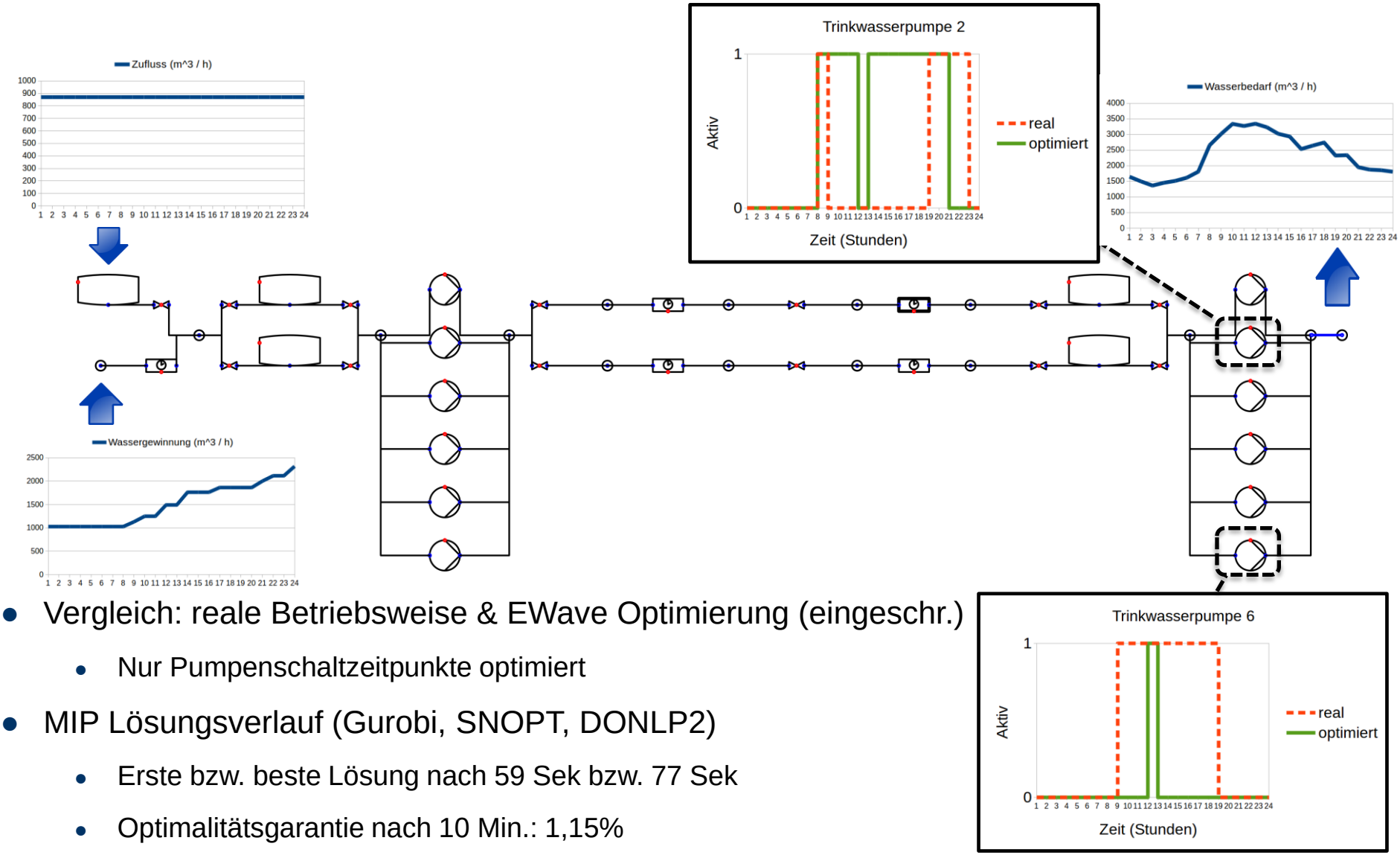


Rechenergebnisse
24h Optimierung



- Vergleich: reale Betriebsweise & EWave Optimierung (eingeschränkt)
  - Nur Pumpenschaltzeitpunkte optimiert
- Einsparung des Energiebedarfs der Pumpen von 10% mit eingeschränkter Optimierung
  - Reale Steuerung über 24h: 21 166 kWh
  - Optimierte Steuerung über 24h: 18 982 kWh

Rechenergebnisse
24h Optimierung



- Vergleich: reale Betriebsweise & EWave Optimierung (eingeschr.)
  - Nur Pumpenschaltzeitpunkte optimiert
- MIP Lösungsverlauf (Gurobi, SNOPT, DONLP2)
  - Erste bzw. beste Lösung nach 59 Sek bzw. 77 Sek
  - Optimalitätsgarantie nach 10 Min.: 1,15%

EWave - Ergebnisse

Mehrwert durch interdisziplinären Ansatz

- Senkung der Betriebskosten
- Erhöhung der Betriebsstabilität und Sicherstellung der Versorgungssicherheit
- Schonung der Umwelt durch optimalen Einsatz der Ressource Wasser und Energie
- Lösungen mit Qualitätsgarantie durch Mathematik

Verwertungsplan

- Nutzennachweis für Energiemanagementsystem Wasser, basierend auf innovativen Simulations- und Optimierungsmethoden
- Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Wasserversorgungsunternehmen
- Erschließen neuer Geschäftsfelder, besonders für industrielle Partner
- Stärkung der Stellung dt. Firmen im Umfeld von „Smart Water“
- Veröffentlichungen, u.a. Buchprojekt