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

H_2Opt

Interaktive Entscheidungsunterstützung für das Betriebs- und Energiemanagement von Wasserversorgungsbetrieben

SAM
LEHRSTUHL FÜR STRÖMUNGSMECHANIK UND STRÖMUNGSMASCHINEN
PROF. DR.-ING. M. BÖHLE

Projektpartner

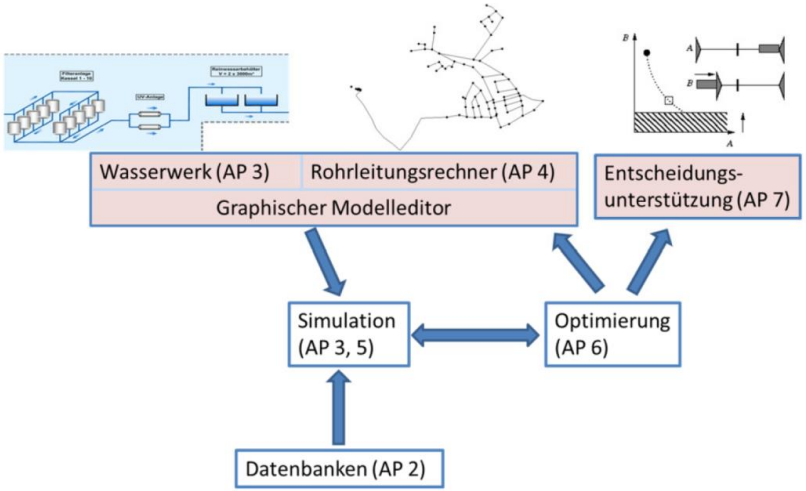
- Technische Universität Kaiserslautern,
  Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen
- Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern
- EWR Netz GmbH, Worms
- Obermeyer Planen + Beraten GmbH, Standort Kaiserslautern
- SWK Stadtwerke Kaiserslautern Versorgungs-AG

Projektziele

Erstellung einer Software zur Simulation, Optimierung und Entscheidungsunterstützung einer Anlage zur Trinkwasserversorgung im Hinblick auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Hauptziel: Optimierung der Pumpen

- Verbesserung der Energieeffizienz
- Gleichmäßiger Betrieb
- Modellierung von Pumpen und Rohrleitungen zur Berechnung der Betriebspunkte der Pumpen



H2Opt-Software

Funktionalität

- Verschiedene Regelungsarten von Pumpen: Start-Stopp, Drehzahl, Parallelschaltung
- 1 Pumpstation pro Netz
- Problemspezifische Solver
- Filtern und Modifizieren von Lösungen
- Vergleichen von Lösungen

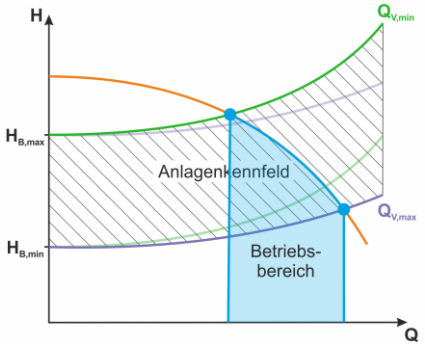
Benötigte Daten

- Pumpenkennlinien (Q-H, Q-η, Motorwirkungsgrade) ⟹ Pumpenanalyse
- Anlagenkennfeld oder Rohrleitungsmodell
- Verbrauchsprofil

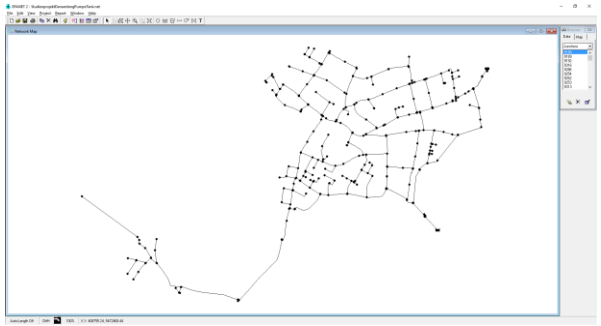
Modellierung

- Festlegung Simulationszeitraum (Tag, Monat, Jahr) und Zeitschritt
- Definition der Betriebsweise der Pumpen
- 2 Ansätze zur Berechnung der Betriebspunkte der Pumpen in jedem Zeitschritt

Anlagenkennfeld

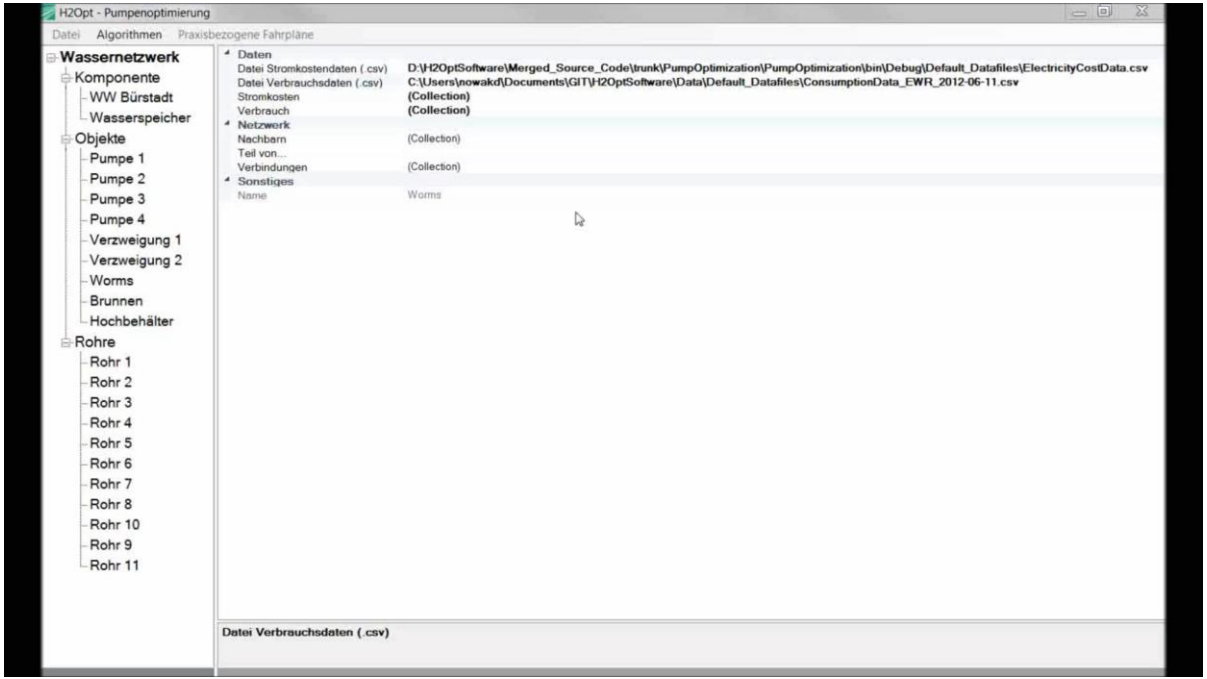


Rohrleitungsrechner



- Berechnung von Lösungen durch Tiefensuche

Softwaredemo



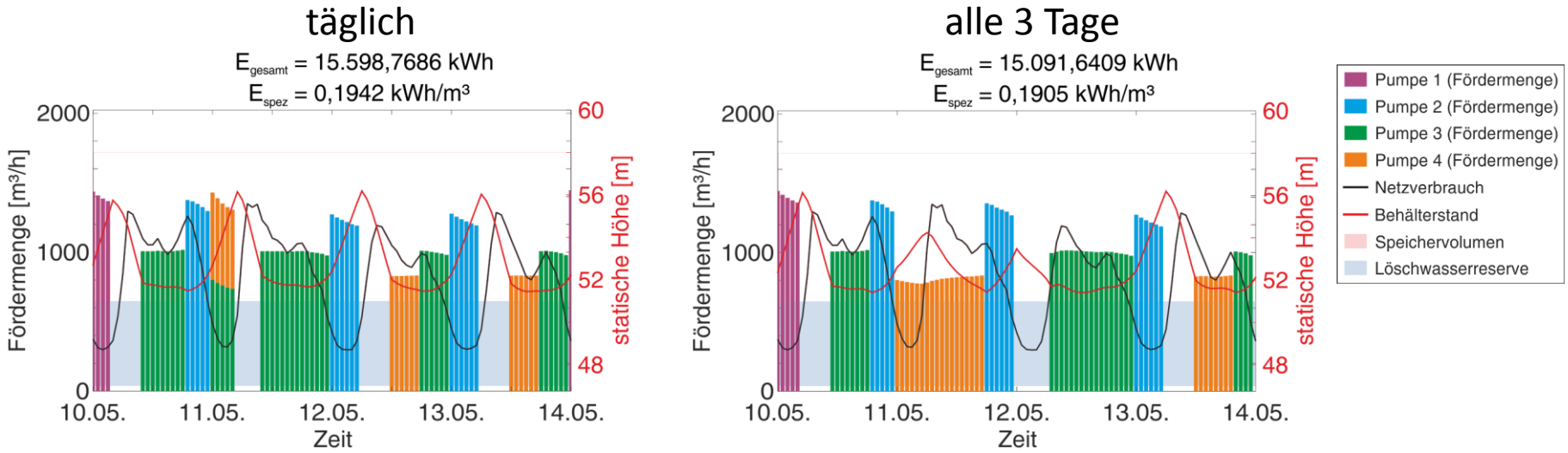
Benutzertest beim Projektpartner EWR Netz GmbH

- Start Ende Januar 2017
- Integration der H2Opt-Software in den Betriebsalltag
- Selbständiges Arbeiten des Fachpersonals mit der Software
- Sensibilisierung des Fachpersonals auf Auswirkungen von Betriebsentscheidungen

	März 2017	März 2016	Abweichung 2017 von 2016 in %
Spezifischer Energieverbrauch [kWh/m^3]	0,185	0,188	-2%
Förderstrom [m^3/Monat]	573.000	564.800	+1,5%
Schaltvorgänge	128	148	-13,5%
Pumpenlaufzeit (anteilig an der Gesamtzeit von 744h)	634h (85%)	526h (71%)	+20,5%

Weiteres Einsparpotential bei EWR Netz GmbH

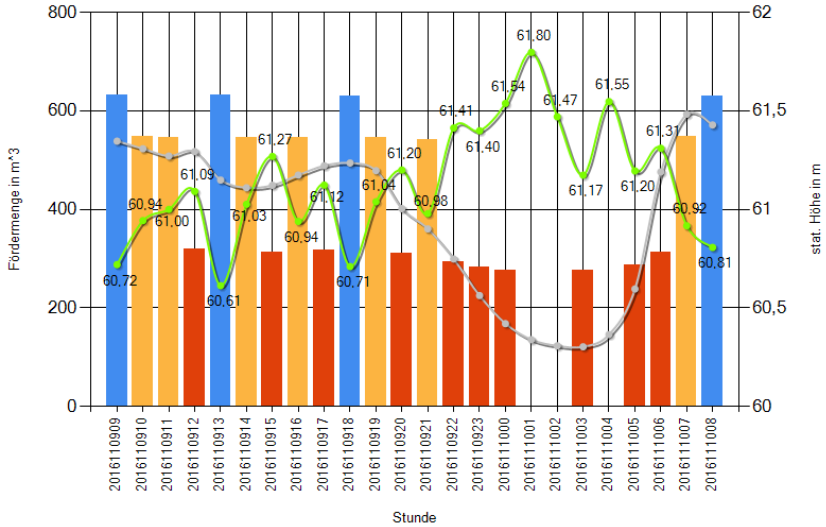
- Geänderte Behälterbewirtschaftung (ca. 3% Einsparung)



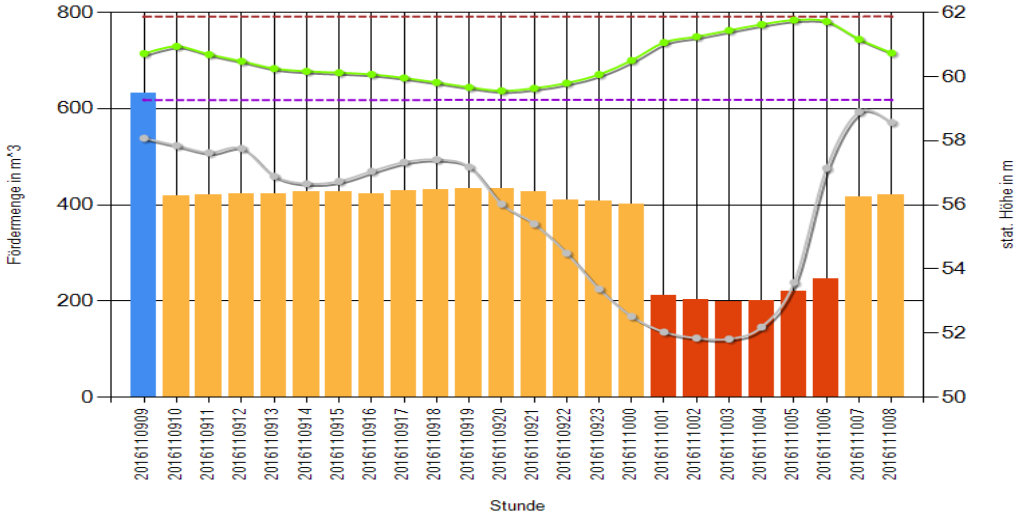
- Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen (ca. 7 %)

Ergebnisse Praxistest SWK Kaiserslautern

- gleichmäßiger Betrieb
- ca. 5% Energieeinsparung



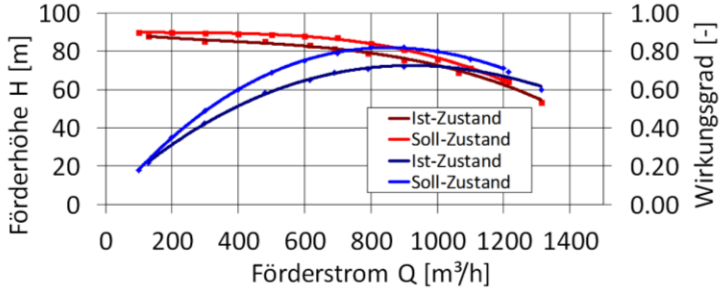
Standard



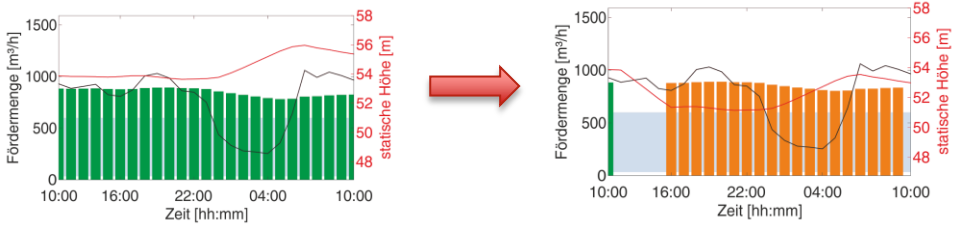
Optimiert

Potential für Energie- bzw. Kosteneinsparungen

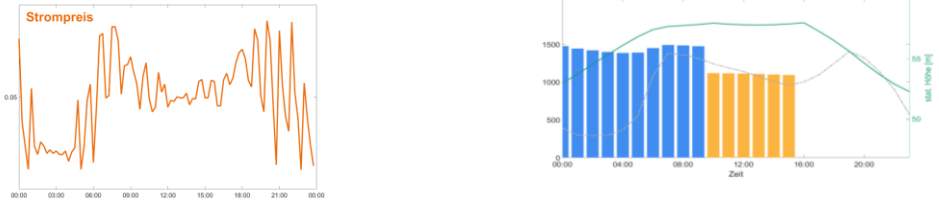
1. Modernisierung / richtige Auswahl von Pumpen (bis zu **30% Energieeinsparung**)



2. Betriebsplanoptimierung (bis zu **9% Energieeinsparung**)



3. Berücksichtigung von flexiblen Strompreisen (**12% Kosteneinsparung**)



Veröffentlichungen

- „Entscheidungsunterstützung für Planung und Betrieb von Trinkwasserversorgungsanlagen“, In GWF Wasser-Abwasser 07/08, 2016.
- „Von der Forschung in die Praxis: Wie können Wasserversorger Energie sparen? In GWF Wasser-Abwasser07/08, 2016.
- “Decision support for the design and operation of variable speed pumps in water supply systems”, Computing and Control for the Water Industry, Amsterdam, 2016.
- “Modeling of vertical wells in the water procurement - Application to the case study water procurement area East Kaiserslautern ”, Computing and Control for the Water Industry, Amsterdam, 2016.
- “Decision Support for the Design and Operation of Water Supply Systems”, Computing and Control for the Water Industry, Leicester, 2015.
- „H2Opt: A Software Prototype for the Optimization of Drinkwater Systems“, 3rd International Rotating Equipment Conference, Düsseldorf, 2016.
- „Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Trinkwasserversorgung im Hinblick auf Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit“, DVGW-WAT, 2015.
- „H2Opt: Ein Forschungsvorhaben zur Steigerung der Energieeffizienz von Wasserversorgungsbetrieben“, Hessen im Blick 02/2014, Informationszeitschrift DVGW Hessen und Rheinland Pfalz.
- „H2OPT: Interaktive Entscheidungsunterstützung für das Betriebs- und Energiemanagement von Wasserversorgungsbetrieben auf der Grundlage von mehrkriteriellen Optimierungsverfahren “, DVGW Informationstag Wasser, Guntersblum 2014.
- „Energieeffizienz und Lebenszykluskosten von Pumpen in der Wasserversorgung“, DVGW Informationstag Wasser, Alzey, 2016.
- „Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Trinkwasserversorgung im Hinblick auf Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit“, DVGW Informationstag Wasser, Bensheim, 2016.
- „Austausch von Transportpumpen eines Wasserwerks im Hinblick auf Energieeffizienz und Vermeidung von Kavitationsschäden“, VDI-Tagung Schäden in Pumpensystemen, München, 2016.
- 2 Vorträge im Rahmen der PamAcademy von Saint-Gobain, Saarbrücken, 2016 und 2017.
- DVGW energie | wasser-praxis, Artikel geplant für 08/2017

Zusammenfassung und Ausblick

Was wurde erreicht?

- Entwicklung und Praxistest eines Softwareprototypen zur Optimierung von Trinkwasseranlagen wurde erfolgreich abgeschlossen
- Bis zu 30% Energieeinsparungen sind möglich
- Durch die interaktive GUI werden Änderungen in der Betriebsführung bewertbar und vergleichbar

Was ist zu tun?

- Verbesserung der Datenlage durch Aufbau eines geeigneten Monitoring der Anlagendaten (Volumenströme, Drücke, Drehzahlen, Behälterstände, Netzverbrauch)

Wie geht es weiter?

- EFRE-Projekt COpt2
- Weiterentwicklung der H2Opt-Software mit zwei weiteren Versorgungsunternehmen
- Projektstart Mitte 2017

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

MoSim Ergebnisse des Querschnittsthemas „Modellierung und Simulation“

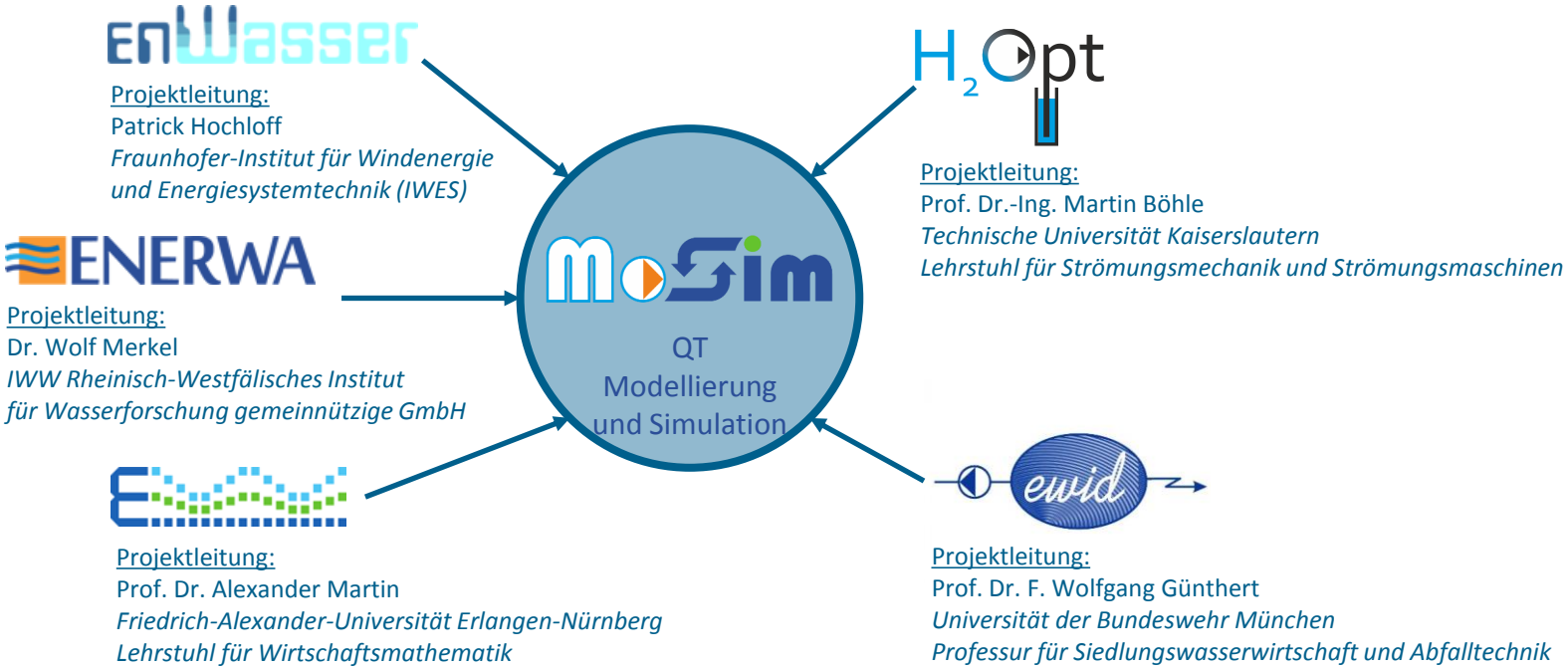
SAM

LEHRSTUHL FÜR STRÖMUNGSMECHANIK UND STRÖMUNGSMASCHINEN

PROF. DR.-ING. M. BÖHLE

QT Modellierung und Simulation

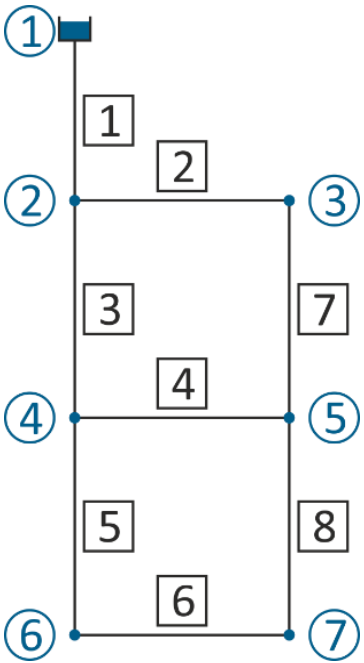
Teilnehmende Projektverbünde



QT Modellierung und Simulation

- 2 Hauptthemen:
  - Berechnung von Rohrleitungsnetzen
  - Optimierung
- Gemeinsames Projekt:
  - Benchmark zur Rohrleitungsberechnung

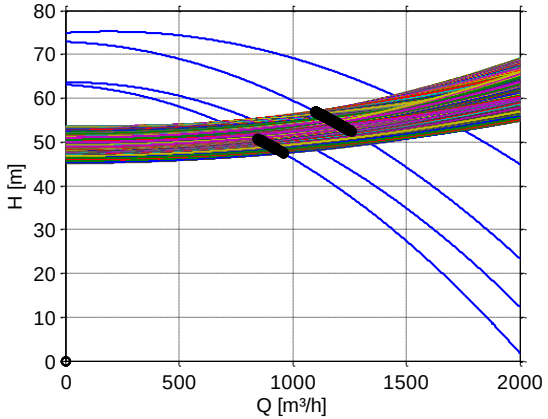
QT Modellierung und Simulation 1. Benchmark



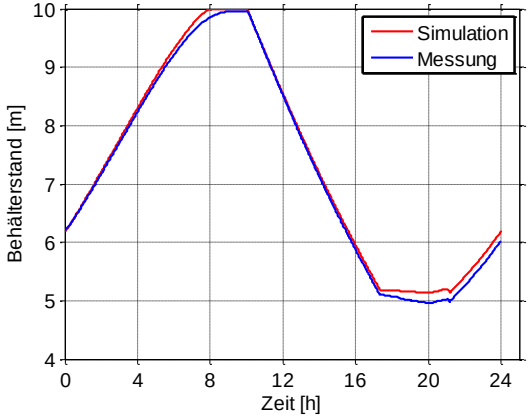
Rohr	Durchfluss [m³/h]				
	AFT Fathom 7.0	ANACONDA (EWave)	EPANET 2.0	RZVN Wehr GmbH (ENERWA)	TWaveSim (EWave)
1	1120,00	1120,00	1120,00	1120,00	1120,00
2	383,46	383,26	383,41	383,30	383,26
3	636,54	636,74	636,59	636,70	636,74
4	153,48	153,36	153,47	153,35	153,36
5	363,06	363,38	363,12	363,35	363,38
6	33,06	33,38	33,12	33,35	33,38
7	283,46	283,26	283,41	283,30	283,26
8	166,94	166,62	166,88	166,65	166,62

Backup Modellierung

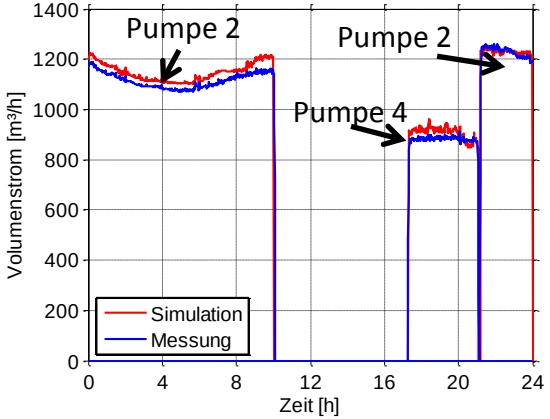
Anlagenkennlinien und Betriebspunkte



Hochbehälter



Pumpen

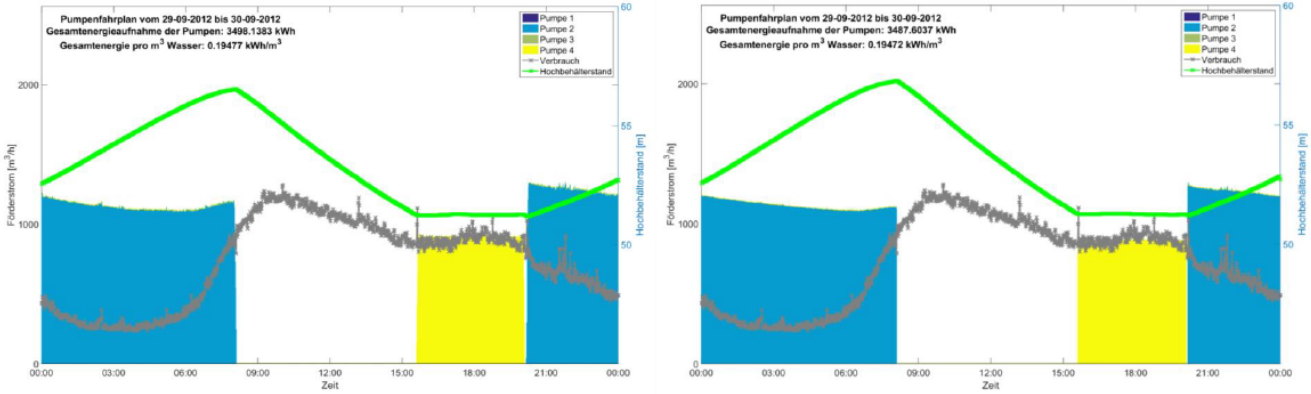


- Sehr gute Übereinstimmung von Fördermenge und Behälterstand
- Max. Abweichung Q_{pumpe} ~4%, Behälterstand < 1%

➡ Das Modell ist zur Simulation und Optimierung der Anlage geeignet

Modellgüte – Vergleich Software zu Messdaten

Beispiel: 29.9.2012

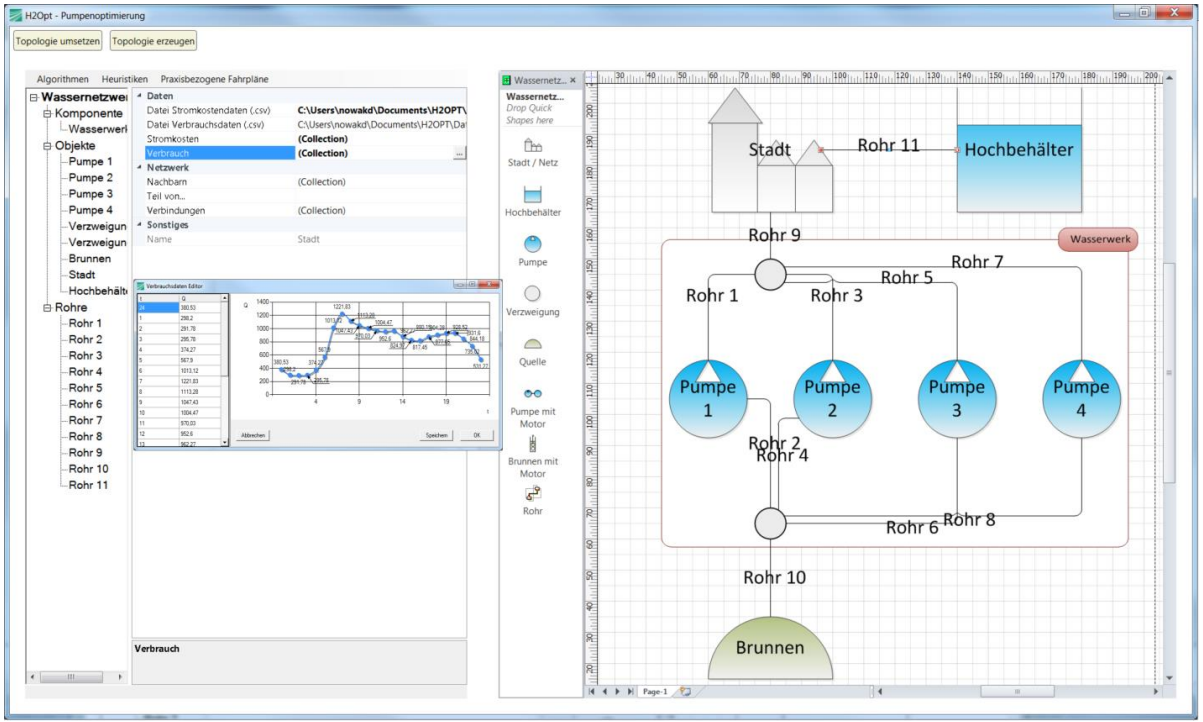


Daten

Softwarereferenz

➡ Abweichung des berechneten Gesamtenergieverbrauchs am 29.9.2012 von den Daten: 0.3%

Backup: Drag & Drop Editor



Mathematisches Problem

$$\min f(s) = (f_1(s), f_2(s), ..., f_k(s))$$
$$\text{s.t. } g(s) \leq 0,$$
$$s \in S,$$

$k \in \mathbb{N}$
Anzahl der Ziele

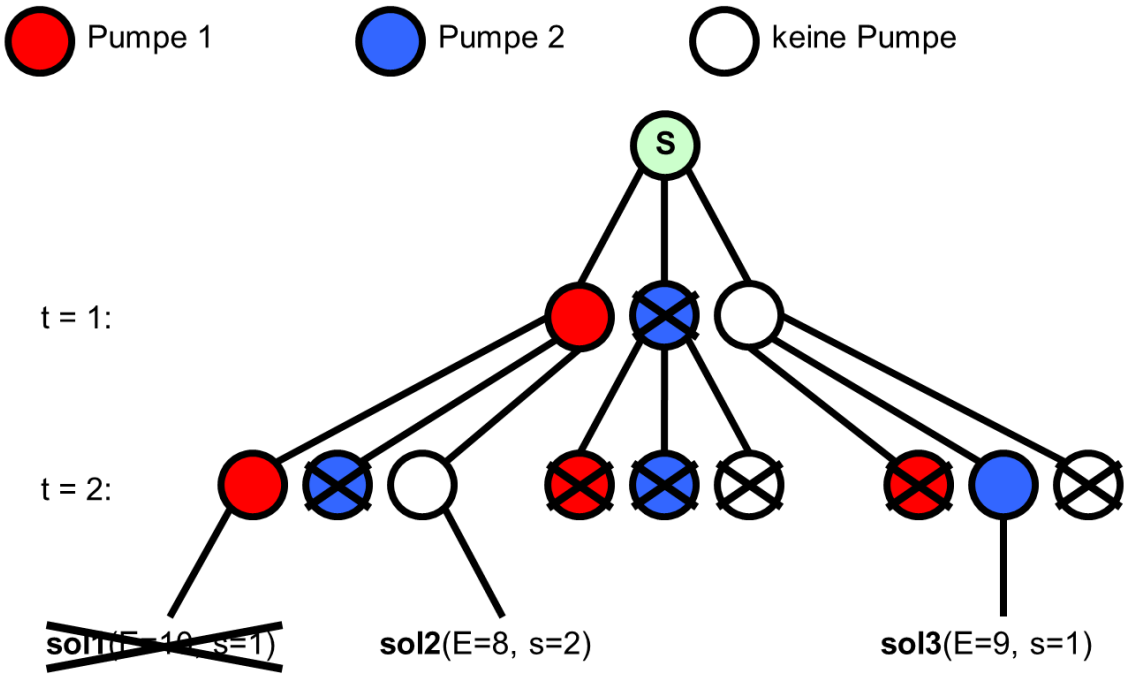
$g(s) \leq 0$
technische Bedingungen

$$S = S_{\text{old}} := \underbrace{\mathcal{P}(\{p_1, p_2, ..., p_n\}) \times ... \times \mathcal{P}(\{p_1, p_2, ..., p_n\})}_{m \text{ times}}$$

Menge der Betriebspläne

$n \in \mathbb{N}$
Anzahl der Pumpen

$m \in \mathbb{N}$
Anzahl der Zeitpunkte

$2^{n \cdot m}$ Lösungen

Backtracking (branch and bound):