

Interactive Optimization for the Energy Efficient Operation of Fresh Water Distribution Systems

10th INTERNATIONAL CIRCULAR ECONOMY CONFERENCE







Contents

- Motivation
- Presentation of two research projects at SAM
 - H2Opt Interactive decision support for operation and energy management of water systems based on multiobjective optimization methods
 - 2. IoT.H2O IoT for Supervision and Control of Water Systems

Water 2017 JOINT CALL





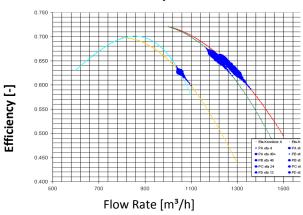


Motivation

- Today, very efficient pumps are available on the market
- Pumps are very often not operated efficiently. Grundfoss:
 - 10% of worldwide electricity consumption is used for driving pumps
 - 2/3 of all pumps are not operated efficiently
 - Savings up to 60% are possible
- To ensure that pumps are operated efficiently
 - Monitoring tools have to be established
 - Operating data has to be visualized
 - Models for simulating pump operation in real systems have to be developed



2017 OINT CALL

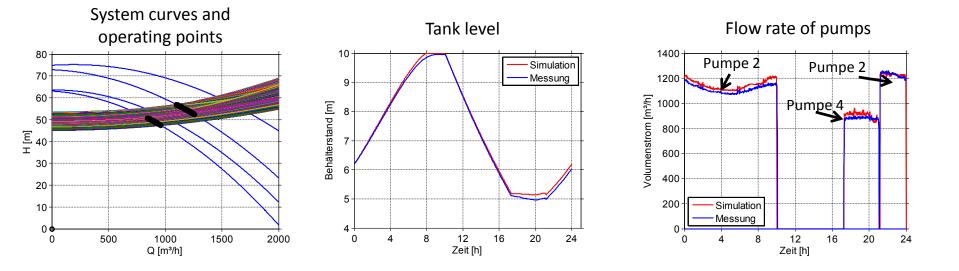








H2Opt: Hydraulic models for pump operation – Digital Twin



- Very good agreement between simulation and experiment
- Max. deviation Q_{Pump} ~4%, Tank level < 1%

Water 2017 JOINT CALL

MASCHINENBAU UND

VERFAHRENSTECHNIK

SPONSORED BY THE Federal Ministry

of Education

and Research

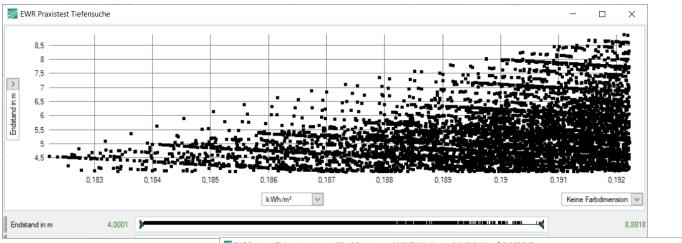
TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

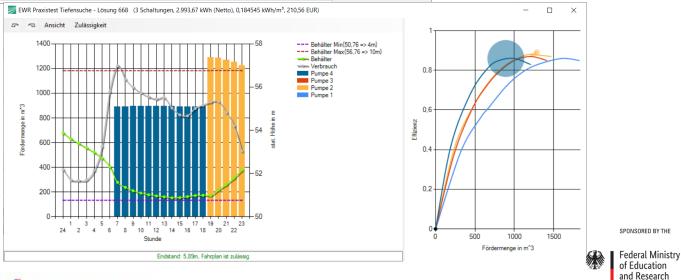






H2Opt: Optimization of pump scheduling





ater

2017 JOINT CALL

5



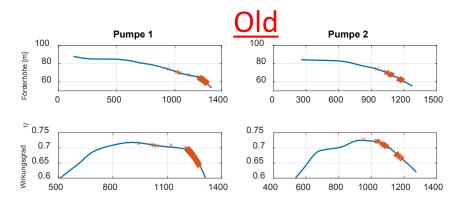
ater



Lehrstuhl für STRÖMUNGSMECHANIK UND STRÖMUNGSMASCHINEN Prof. Dr.-Ing. M. Böhle

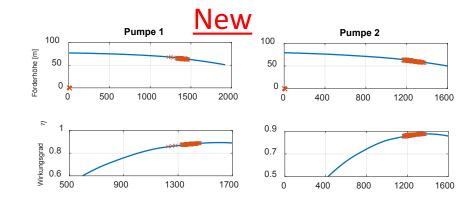


Selection of new pumps for a water utiliy in Worms, Germany



- Efficiency degradation due to wear
- Pumps are operated at off-design conditions

2017 JOINT CALL



- High efficiency
- Operating points close to BEP

Energy savings of approx. 370.000 kWh/Year





ter



2017 JOINT CALL



Selection of well pumps for a water utility in Kaiserslautern, Germany

A	-															
		Neu Brunnen G			Neu Bunnen S 1			Neu Brunnen S 2			Neu Brunnen H			Neu Brunnen S 4		
	Bru															
Förderhöhe, m	11,00		65,00			57,00			10,00			75,00				
Fördermenge, Vs		24,00 86,40 100.000,00		24,00 86,40 500.000,00			40,00 144,00 700.000,00			22,00 79,20 100.000,00			15,00 54,00 300.000,00			
Fördermenge, m3/h																
Fördermenge jährlich, m3/a																
Laufzeit jährlich, h/a	1	1.157,41			5.787,04			4.861,11			1.262,63			5.555,56		
Bieter	Α	в	С	Α	В	С	Α	В	С	Α	В	С	Α	В	C	
Motorleistung, kW	5,50	5,50	7,50	37,00	45,00	26,00	37,00	45,00	37,00	4,00	5,50	7,50	22,00	26,00	26,00	
Kabelquerschnitt	4 x 4 ²	4 x 2,5²	4 x 6²	4 x 16 ²	4 x 10 ²	4 x 10 ²	4 x 16²	4 x 10 ²	2 x 2 x 10 ²	4 x 4 ²	4 x 2,5²	4 x 4 ²	4 x 16²	4 x 16 ²	4 x 25 ²	
Gesamtwirkungsgrad																
aufgenommene Leistun, kW															16,04	
spez. Energiebedarf, kWh/m3	— Г		σ		0.000		-~ 70	- 10	are p		ihla				0,297	
Energiebedarf jährlich, kWh/a Energiekosten, EUR/kWh	<u>–</u> – El	nera	8V 2	avii	182	นม เ	.0 /:) 70 d	are i	JUSS	SIDIE			<u> </u>	89.106 0.30€	
Energiekosten jährlich, EUR/a			01 -		.0-							•••		0€		
Beobachtungszeitraum, a			_				_	-		_			_	06	10	
Energiekosten für	— . ^		•													
		nnt.	1011		$m \circ$	nita	rinc		000	ratu	$n \sigma o$	$l \rightarrow + \rightarrow$	ic			
	• ()	ont	inu	ous	mo	nito	orine	z of	ope	rati	ng c	lata	is	10 E		
Beobachtungszeitraum, EUR	_• C	ont	inu	ous	mo	nito	pring	g of	ope	rati	ng c	lata	is		267.316,6	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten	-	ont	inu	ous	mo	nito	pring	g of	ope	rati	ng c	lata	is)€	267.316,6	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik					mo	nito	pring	g of	ope	rati	ng c	lata	is)€ 0€	267.316,6 1.500,00 15.000,00	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe					mo	nito	pring	g of	ope	rati	ng c	lata	is)€	267.316,67 1.500,00 15.000,00 7.561,27	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis		ont ece			mo	nito	oring	g of	ope	ratı	ng c	lata	is)€ 0€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung					mo	nito	pring	g of	ope	ratı	ng c	lata	is)€ 0€	267.316,67	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung		ece		ry					•)€ 0€ 0€	267.316,67 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9 4	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung	Be	ece	ssa	ry	Bestand	d		Bestand	d		Bestand	1		<u>)∈</u>)∈ Bestanc	267.316,67 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,94	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung	Be Bru	ece estand unnen G	ssa	ry	Bestand grunnen S	d		Bestand runnen S	d		Bestanc Brunnen H	1		Bestanc runnen S	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9-	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³	Be Bru	estand unnen G 0,153	ssa	ry	Bestand Brunnen S	d		Bestand Trunnen S	d		Bestanc Brunnen H	1)€ <u>0€</u>)€ Bestanc srunnen S 0,57	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9-	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich	Bee 11	estand 0,153 15.300,00	ssa	ry	Bestand runnen S 0,287 143.500,00	d		Bestand runnen S 0,328 229.600,00	d		Bestanc Brunnen I 0,179 17.900,00	1)€ 0€)€ Bestand runnen S 0,57 171.000,00	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9-	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten, EUR/kWh		estand unnen G 0,153 15,300,00 0,30 €	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 €	d		Bestant runnen S 0,328 229.600,00 0,30 €	d 32		Bestanc Brunnen I 0,179 17.900,00 0,30 €	1)€ 0€)€ Bestanc runnen S 0,57 171.000,00 0,30 €	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten jährlich, EUR/a		estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1.590,00 €	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 € 43.050,00 €	d		Bestant runnen S 0,328 229,600,00 0,30 € 68.880,00 €	d 32		Bestanc Brunnen I 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 €	1)€ 0€)€ Bestanc trunnen S 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten, jälrlich, EUR/a Beobachtungszeitraum, a		estand unnen G 0,153 15,300,00 0,30 €	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 €	d		Bestant runnen S 0,328 229.600,00 0,30 €	d 32		Bestanc Brunnen I 0,179 17.900,00 0,30 €	1)€ 0€)€ Bestanc runnen S 0,57 171.000,00 0,30 €	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten jährlich, EUR/a Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für	Bee Bru	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1.590,00 €	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 € 43.050,00 €	d 31		Bestant runnen S 0,328 229,600,00 0,30 € 68.880,00 €	d 32		Bestanc Brunnen I 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 €	1)€ 0€)€ Bestanc trunnen S 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316.6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten für Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für	Bee Bru	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 4.590,00 € 10	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 € 43.050,00 € 10	d 31		Bestant runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10	d 32		Bestanc 3runnen I 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10	1)€ 0€)€ Bestanc trunnen S 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€ 10	267.316.6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9-	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten für Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für	Be Bru 	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1,590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	ry	Bestanc o.287 143.500,00 0.30 € 43.050,00 € 10 430.500,00 €	d 31		Bestanc runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 €	d 32		Bestanc Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 €	1)€ 0€)€)€ 0€ 05 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten jährlich, EUR/a Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung	Be Bru 	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 4.590,00 € 10	ssa	ry	Bestanc runnen S 0,287 143.500,00 0,30 € 43.050,00 € 10	d 31		Bestant runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10	d 32		Bestanc 3runnen I 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10	1)€ 0€)€ Bestanc trunnen S 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€ 10	267.316.6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten für Beobachtungszeitraum, a	Be Bru 	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1,590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	ry	Bestanc o.287 143.500,00 0.30 € 43.050,00 € 10 430.500,00 €	d 31		Bestanc runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 €	d 32		Bestanc Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 €	1)€ 0€)€)€ 0€ 05 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ² Energiebedarf järlich Energiekosten jährlich, EUR/a Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung	Be Bru 	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1,590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	ry	Bestanc o.287 143.500,00 0.30 € 43.050,00 € 10 430.500,00 €	d 31		Bestanc runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 €	d 32		Bestanc Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 €	1)€ 0€)€)€ 0€ 05 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich Energiekosten jährlich, EUR/kWh Energiekosten jährlich, EUR/kWh Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung Energiekosten für Gewinn über 10 Jahre (Energiekosten für	Be Bru 11: 45 67	estand unnen G 0,153 15.300,00 1.590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	ry	Bestance srunnen S 0,287 143.550,00 € 43.050,00 € 10 430.500,00 € 12,97%	d 1	B	Bestance (runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 € 33,18%	d 32		Bestance Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 € 74,61%	1)€ 0€)€ 0€ 0€ 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€ 513.000,00€ 47,89%	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m³ Energiebosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Energiekosten, EUR/kWh Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung Energiekosten Energiekosten Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung Energiekosten Gewinn über 10 Jahre (Energiekosten für Beobachtungszeitraum (Bestand)	Be Bru 11: 45 67	estand unnen G 0,153 15.300,00 0,30 € 1,590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	ry	Bestanc o.287 143.500,00 0.30 € 43.050,00 € 10 430.500,00 €	d 1	B	Bestanc runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 €	d 32		Bestanc Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 €	1)€ 0€)€)€ 0€ 05 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9	
Beobachtungszeitraum, EUR Montagekosten Kosten E-Technik Preis Pumpe Gesamtpreis Laufrad/Anmerkung spez. Energiebedarf, kWh/m ³ Energiebedarf järlich Energiekosten jährlich, EUR/a Beobachtungszeitraum, a Energiekosten für Beobachtungszeitraum, EUR Einsparung Energiekosten Gewinn über 10 Jahre (Energiekosten für	Be Bru 11: 45 67	estand unnen G 0,153 15.300,00 1.590,00 € 10 5.900,00 €	ssa	rу	Bestance srunnen S 0,287 143.550,00 € 43.050,00 € 10 430.500,00 € 12,97%	d 1	B	Bestance (runnen S 0,328 229.600,00 0,30 € 68.880,00 € 10 688.800,00 € 33,18%	d 3.2 €		Bestance Brunnen H 0,179 17.900,00 0,30 € 5.370,00 € 10 53.700,00 € 74,61%	1)€ 0€)€ 0€ 0€ 0,57 171.000,00 0,30€ 51.300,00€ 513.000,00€ 47,89%	267.316,6 1.500,00 15.000,00 7.561,27 291.377,9 291.377,9 3 4	

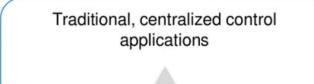
Federal Ministry of Education

and Research

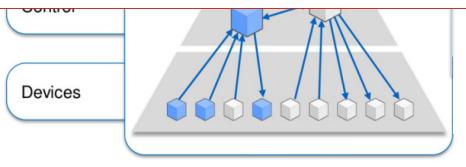


IoT.H2O – Supervision and Control of water systems

- How to get the data?
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems are used for data acquisition, process control and visualization of water systems



- Ce
 SCADA systems are very often not achievable for small water utilities
 In
 Small water systems or peripheral districts of larger systems are often
 operated manually or with a very low level of automation
- number of measuring devices are limited
- significant parts of the network remain "invisible"
- long term observation and big data analysis not possible







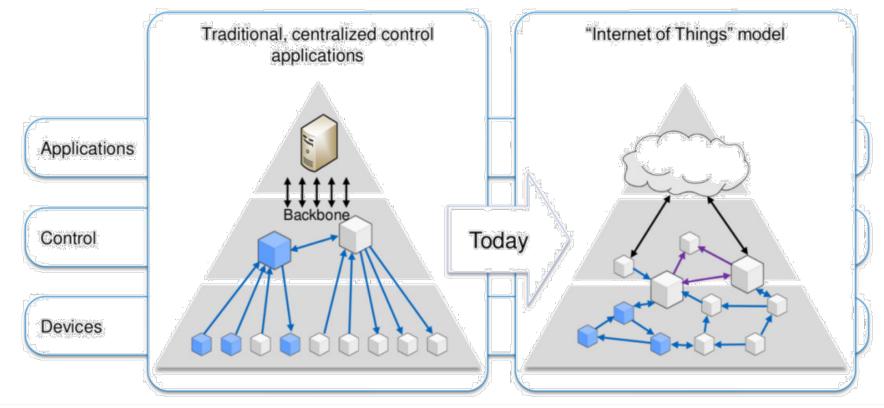








IoT.H2O – SCADA vs. Internet of Things model



IoT: decentralized interconnected field devices : additional sensors can "easily" be added



[Picture from EU Research project rtSOA] rtSOA - A Data Driven, Real Time Service Oriented Architecture for Industrial Manufacturing. Cited from: Vermesan, Ovidiu; Friess, Peter: Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda. In: Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers Series in Communication. 9

SPONSORED BY THE





Objectives – IoT for supervision and control of water systems

- Explore the potential of the Internet of Things (IoT) model for monitoring and operating small water utilities
- low-cost hard- and software
- manufacturer independent computer platforms
- sensors and actuators with digital interfaces
- free or open-source visualization technologies
- digital hydraulic water system modelling
- digital twin technology for prototyping and testing and as an operational support tool
- Cheap but powerful control and supervision system for water utilities



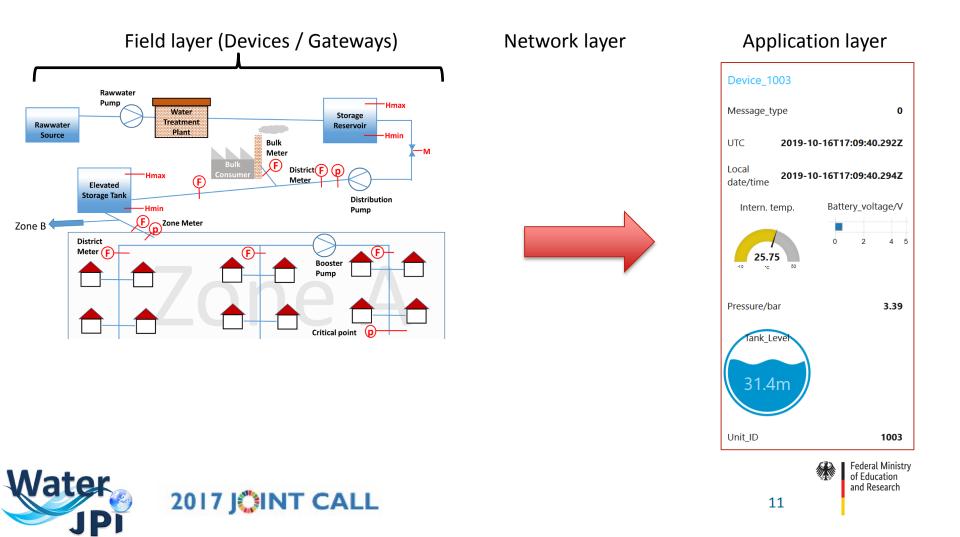








IoT.H2O water system

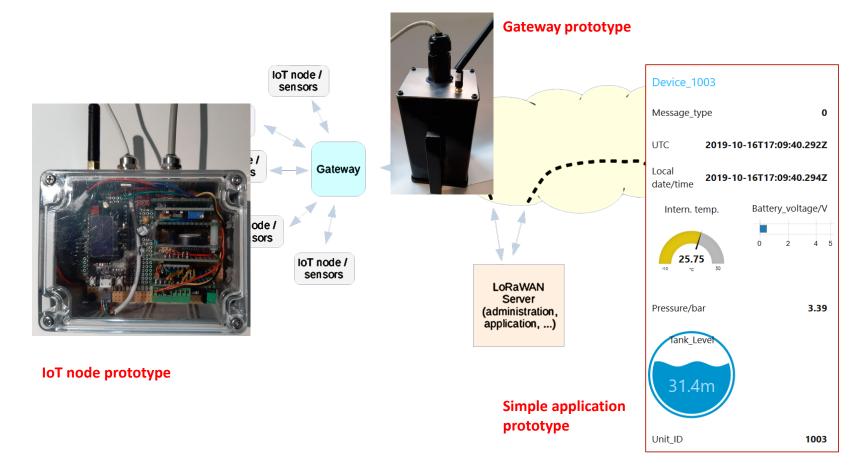








IoT.H2O approach based on LoRaWAN



SPONSORED BY THE

Federal Ministry of Education

and Research



2017 JOINT CALL





Consortium – H2Opt

- Technical University of Kaiserslautern (Germany), Institute for Fluid Mechanics and Fluid Machinery (SAM)
- Fraunhofer-Institut f
 ür Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern
- EWR Netz GmbH, Worms
- O Obermeyer Planen + Beraten GmbH, Standort Kaiserslautern
- SWK Stadtwerke Kaiserslautern Versorgungs-AG

2017 IOINT CALL











SPONSORED BY THE



Consortium – IoT.H2O

- Technical University of Kaiserslautern (Germany),
 Institute for Fluid Mechanics and Fluid Machinery (SAM)
- O Dr. Krätzig Ingenieurgesellschaft mbH (KI), Aachen, Germany
- Federal University of Minas Gerais, Brazil (CPH), Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos
- Liege University, Research group Hydraulics in Environmental and Civil Engineering (HECE), Belgium
- Institut national des sciences appliquées de Rouen, LITIS LAB, MIND Group, France







UNIVERSIDADE FEDERAL

DE MINAS GERAIS

TECHNISCHE UNIVERSITÄT



U F *M* G

SPONSORED BY THE

