



EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND



Interactive Water Management

Energieeffizienz – Kläranlagenaudits und Pilotvorhaben

I. Al-Zreiqat, S. Rettig; K. Schulz; M. Barjenbruch; Technische Universität Berlin
Nationaler Workshop – Energie- und Schlammoptimierung

Rostock, 28. Februar 2019

Kläranlagen = Stromverbraucher Nr. 1 in der Kommune



1. Stufe: Verringerung des Energieverbrauchs
Abschätzung des Einsparpotentials!

2. Stufe: Optionen zur Erhöhung der Energieproduktion

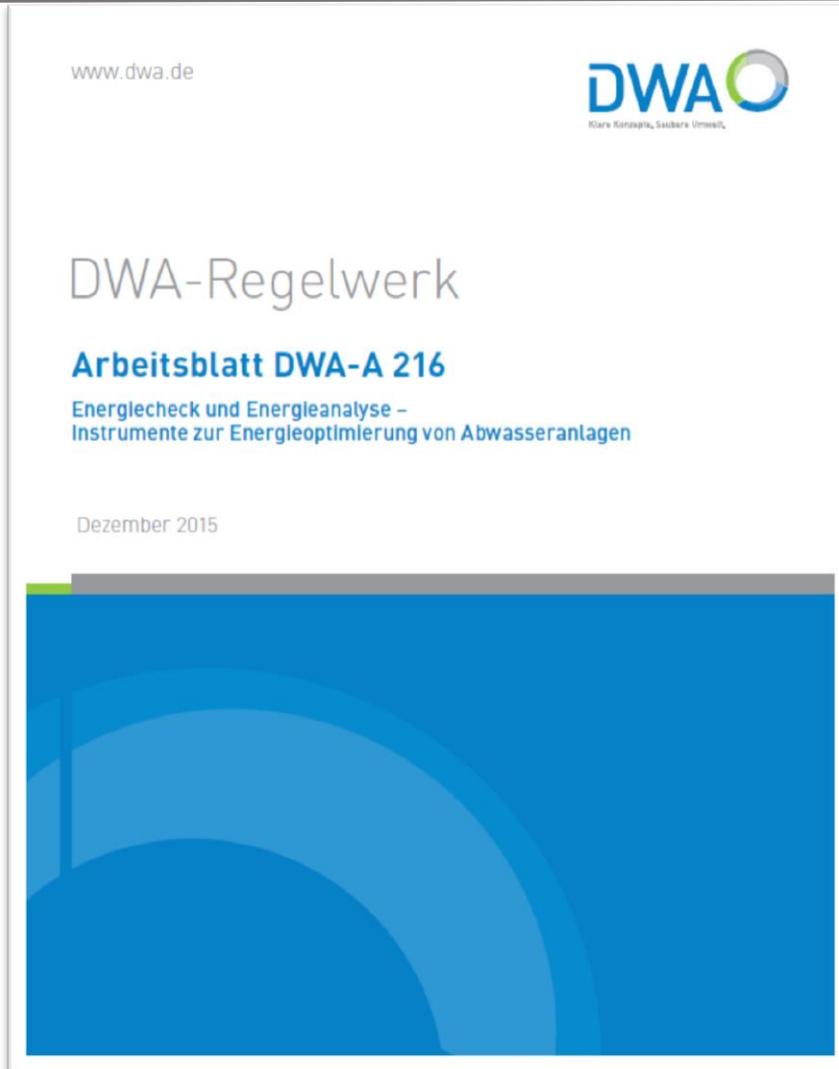
aber:

Kläranlagen sollen hauptsächlich Abwasser reinigen!

Schwerpunkte der TU Berlin

- Sammlung und Auswertung von Kennzahlen
 - ➔ Output: Kennzahlenvergleich für einen Energie-Benchmark im Ostseeraum
- Entwicklung eines Auditkonzepts für smartes Energiemanagement
 - ➔ Evaluierung des Auditkonzepts mit 9 Kläranlagen
 - ➔ Bessere Kenntnisse und praktische Verbesserungen
 - ☛ Niedrigerer Nährstoffeintrag
 - ☛ Niedrigerer Energiebedarf
 - ➔ Output: Auditkonzept und Self-Audit-Tool für smartes Energiemanagement
- Thematische Nachbarschafts-Sessions bei IWAMA-Workshops
- Vorhaben zur Präsentation von Technologien für die Energieoptimierung
 - ➔ Output: Vorhaben im BalticSmartWaterHub als Beispiele beschrieben

Konzept des Energieaudits



Arbeitsblatt DWA-A 216

Energiecheck und Energieanalyse
Instrumente zur Energieoptimierung von
Abwasseranlagen

Dezember 2015

Energiecheck (Betreiber):
*Regelmäßige energetische
Bestandsaufnahme und Bewertung
anhand von Kennwerten*

Energieanalyse/-audit (i.d.R. Fachbüro):
*Detaillierte Erhebung und Bewertung der
Energiesituation sowie Darstellung von
Optimierungsmaßnahmen einschließlich
Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen*

[Schwentner, 2016]

Ermittlung von Kennzahlen

Beispiel Gesamtstromverbrauch

- Einwohnerwert EW
 - alle real angeschlossenen Einwohner
 - Indirekteinleiter aus Gewerbe und Industrie

$$EW_{\text{CSB}} = \frac{B_{\text{d,CSB Jahresmittel}}}{0,120} = \frac{[\text{kg CSB/d}]}{[\text{kg CSB}/(\text{E} \cdot \text{d})]} \quad [\text{E}]$$

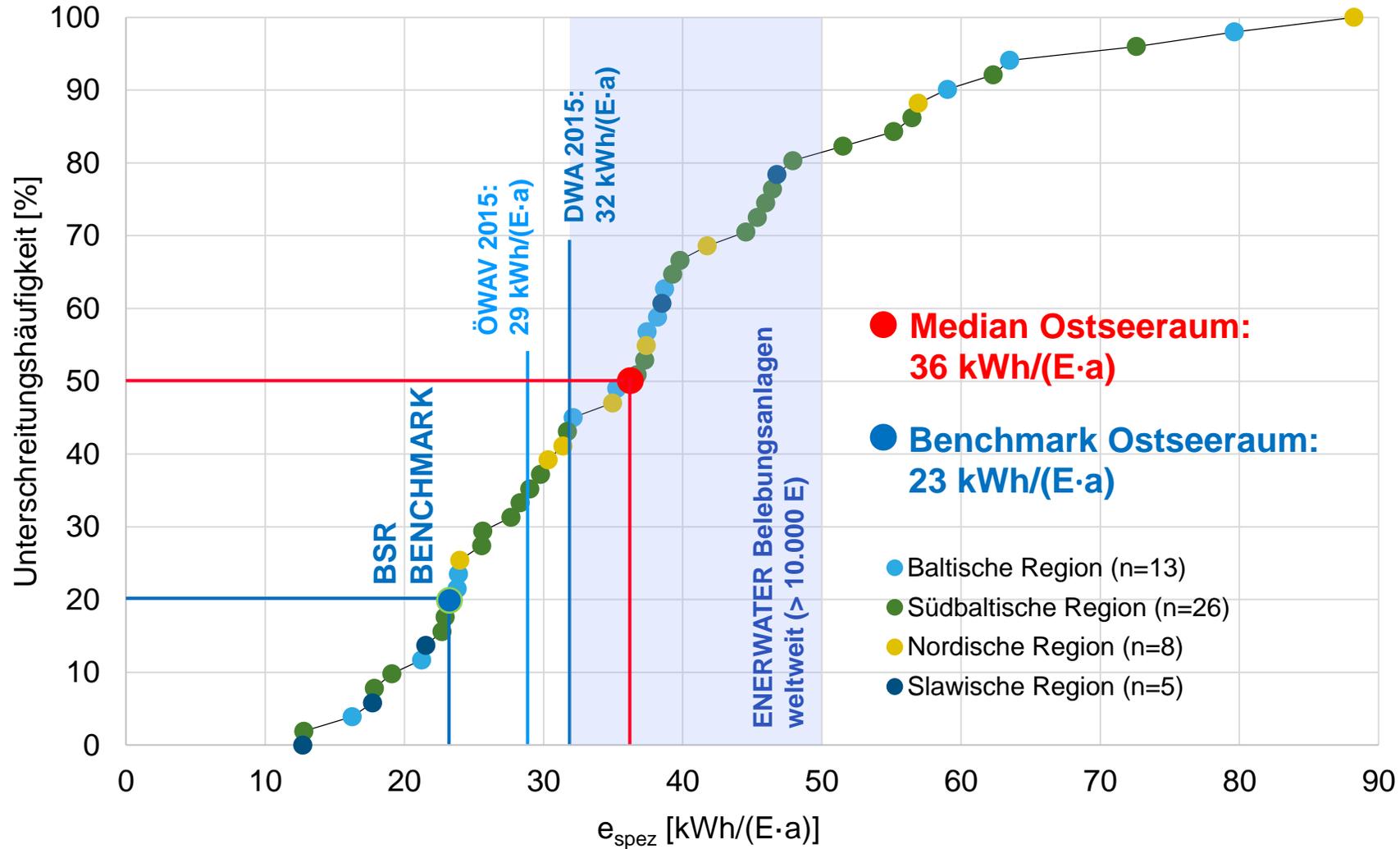
$B_{\text{d,CSB}}$: CSB-Tagesfracht im Zulauf KA

- $B_{\text{d,CSB}} = Q_{\text{Zu}} [\text{m}^3/\text{d}] \cdot \text{CSB} [\text{g}/\text{m}^3]$
- Q_{Zu} = Abfluss im Zulauf der KA
- CSB = gemessener CSB-Wert im Zulauf der KA

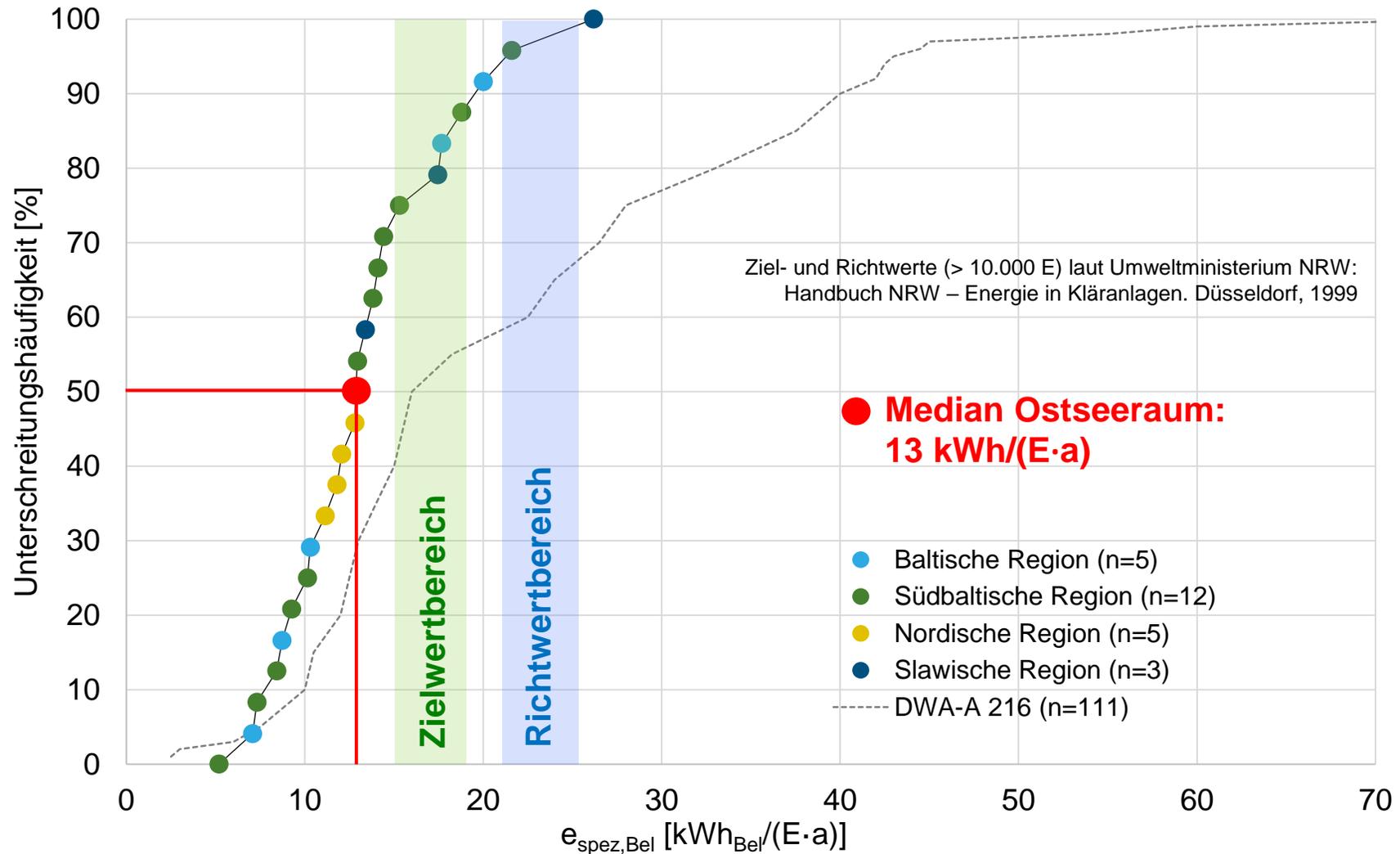
spez. CSB-Fracht: 0,120 [kg CSB/(E·d)]

$$e_{\text{ges}} = \frac{\text{Jahresstromverbrauch}}{EW_{\text{CSB}}} \quad \frac{[\text{kWh/a}]}{[\text{E}]}$$

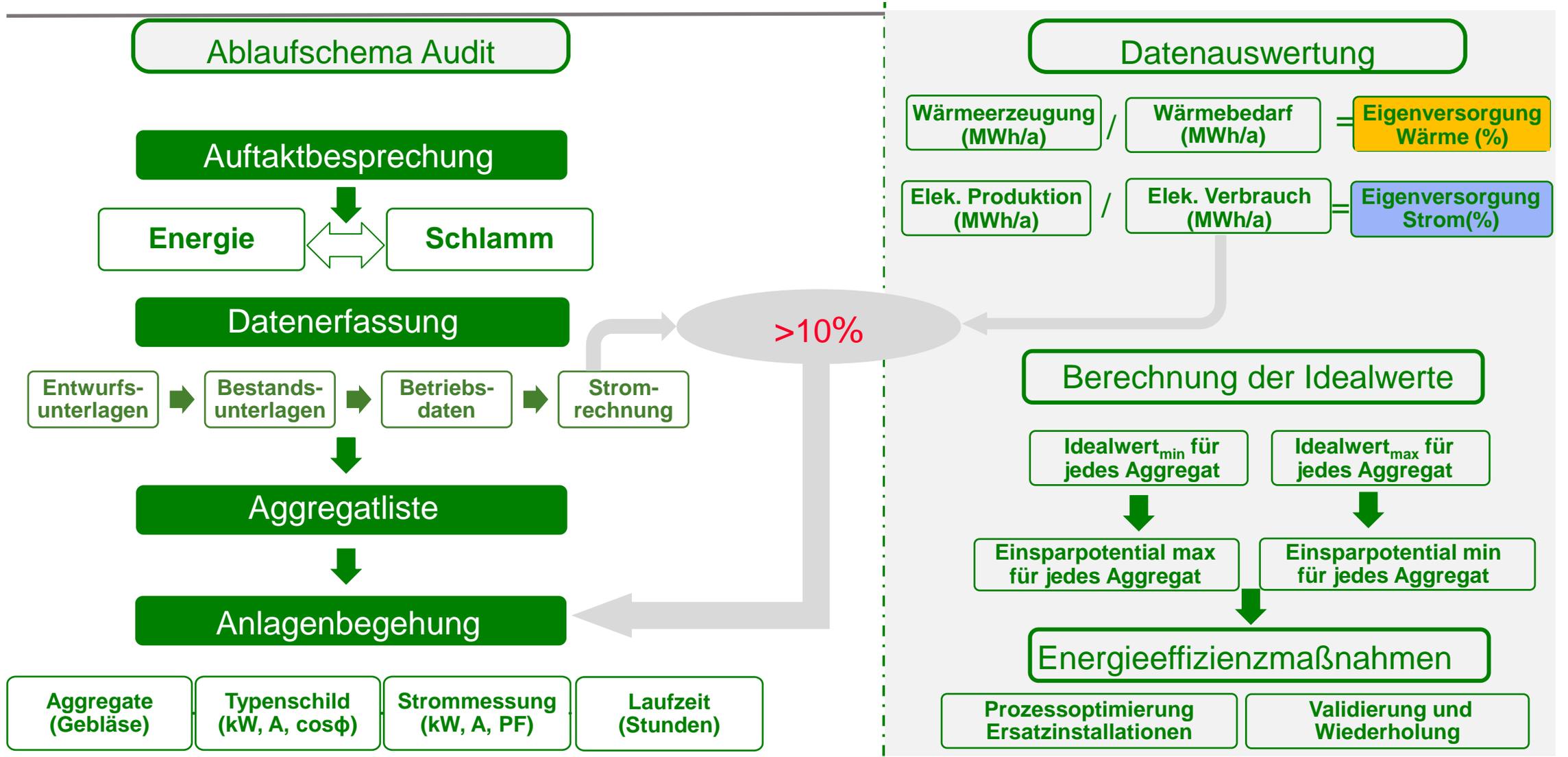
Spezifischer Stromverbrauch (n=52)



Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung (n=25)



Auditkonzept: Beispiel Energie



Energieaudit Tool

Dateneingaben

4.) mechanical cleaning stage:

c) primary sedimentation:

number of primary sedimentation tanks:

number of scraper engines:

d) pump stations:

pump station existing in mechanical treatment:

different boundary conditions:

number of different pump stations:

pump station 1

kind of pump:

- multi-vane/spiral gear
- centrifugal
- axial-flow
- progressive
- other

number of pumps:

wastewater/sludge delivered:

5.) biological treatment stage:

treatment process:

- activated sludge
- trickling filter
- membrane bioreactor

Select the existing cleaning process. Multiple selection is possible.

activated sludge: process type:

- nitrogen elimination with continuous flow
- nitrogen elimination with SBR
- simultaneous aerobic stabilisation
- merely carbon elimination

a) operating data aeration:

$t_{aerated}$: 8.760 [h/a] **annual period of aerated phases**

T_{AT} : 17,0 [°C] **wastewater temperature in aeration tank**

t_{SS} : 12 [d] **sludge age**

pollutants concentrations:

C_{COD} : 700,00 [mg/L] **COD-concentration**

C_N : 92,00 [mg/L] **N-concentration**

X_{TSS} : 515,00 [mg/L] **total suspended solids conc.**

S_{NO3} : 0,00 [mg/L] **NO₃-N-concentration**

measuring point:

- inflow aeration tank
- inflow aeration tank
- inflow WWTP
- inflow aeration tank

external supplemental carbon sources? **no**

$S_{OrgN,OutS}$: 2,25 [mg/L] **organic nitrogen in the outflow of the secondary clarifier**

$S_{NO3,OutS}$: 5,60 [mg/L] **nitrate nitrogen in the outflow of the secondary clarifier**

$S_{NH4,OutS}$: 0,14 [mg/L] **ammonium nitrogen in the outflow of the secondary clarifier**

b) aeration:

kind of aeration: - surface aeration **no** **Mark the relevant aeration systems**

5.) Biologische Reinigungsstufe

Reinigungsverfahren (Mehrfachauswahl möglich)

Belebung

Tropfkörper

Membranbelebung

Belebung Prozesstyp: Stickstoffabbau im Durchflusssystem

a) Betriebsdaten Belebung

jährliche Dauer der belüfteten Phasen

Abwassertemperatur im Belebungsbecken

Schlammalter

Konzentrationen:

CSB-Konzentration

TKN-Konzentration

AFS-Konzentration

Nitratstickstoff-Konzentration

externe Kohlenstoffquelle?

Konzentration org. Stickstoff im Ablauf der Nachklärung

Konzentration Nitratstickstoff im Ablauf der Nachklärung

Konzentration Ammoniumstickstoff im Ablauf der Nachklärung

b) Belüftung Belüftungssysteme (Mehrfachauswahl möglich)

Oberflächenbelüftung

Ermittlung des jährlichen Stromverbrauchs

Zuverlässigkeit

● Messung des jährlichen Stromverbrauchs von jedem Aggregat [kWh/a]

● Berechnung
(wenn Stromaufnahme vorliegt)

$$W_{el} = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot t \text{ [kWh/a]}$$

● Vereinfachte Berechnung:

$$W_{el} = (P_{nom} \cdot \eta \cdot \alpha_{FC} \cdot \beta_{\geq 5kW}) \cdot t \text{ [kWh/a]}$$



U : Spannung [V]

I : Stromstärke [A]

$\cos \varphi$: Phasenwinkel

t : Betriebsstunden[h/a]

P_{nom} : Nominalleistung[kWh]

η : Motorwirkungsgrad [%]

α_{FC} : Abminderungsfaktor für Aggregate mit Frequenzumrichter [-]

$\beta_{\geq 5kW}$: Abminderungsfaktor für Aggregate mit Nennleistung ≥ 5 kW [-]



Auswertung des Energieaudits

Berechnung von Idealwerten

(nach DWA A-216, Anhang A.1)

Verfahrensschritt/ Verbraucher	Berechnungsansätze zur Ermittlung des Stromverbrauchs E = Jahresenergieverbrauch [kWh/a]	Optimale Werte und Wertebereiche	Wesentliche Einflussgrößen für Energieeffizienz
Rechen	$E = e_{\text{spez}} \cdot EW_{\text{CSB}}$	$e_{\text{spez}} = 0,05 - 0,1 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a})$	Wassermenge Rechengutbehandlung Anzahl der Rechen
Räumer (Sandfang, VKB, NKB)	$E = P \cdot t$ P = elektrische Leistung [kW] t = Laufzeit [h/a]	$P_{\text{Räumer}}: 0,3- 1,0 \text{ kW /Becken}$	Laufzeit Anzahl der Becken Räumerwiderstand
Pumpen, Hebewerke	$E = Q \cdot h \cdot 2,7/\eta_{\text{ges}} = Q \cdot h \cdot 2,7/\eta_{\text{Pumpe}} \cdot \eta_{\text{Motor}}$ $= Q \cdot h \cdot e_{\text{spez}}$ Q = Volumenstrom [m ³ /a] η_{Pumpe} = hydraulischer Wirkungsgrad Pumpe η_{Motor} = Wirkungsgrad Motor h = $h_{\text{man}} = h_{\text{geo}} + h_{\text{v}}$ bei Kreiselpumpen [m] h = h_{geo} bei Schneckenpumpen [m]	Abschätzung η_{ges} bzw. zugehöriges e_{spez} gemäß Anhang A.7 η_{Pumpe} Anhang A.7 η_{Motor} Anhang A.5 bzw. A.6	Förderhöhe (geodätische Förderhöhe, örtliche und Leistungsverluste) Durchfluss (Schlammmenge, Höhe der Rückführrate etc.) $\eta_{\text{Pumpe}} = f(Q, h)$, mittlere Auslastung Motor (Teillastverhalten)

Ergebniszusammenstellung im Tool

Energy analysis of clarification plants

data analysis

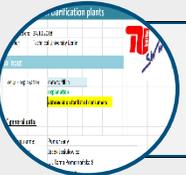
2016

consumer or plant section:	electricity consumption (actual value) kWh/a	plant related ideal value		saving potential		note on integrity of ideal values Please double check.
		lower value	upper value	min.	max.	
		kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	
feed pump stations	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
grid rack and screening plant	24.203,3	17.892,3	35.784,5	gut	6.311,0	
grit chamber/grease trap	28.557,6	3.504,0	11.680,0	16.877,6	25.053,6	
aeration of grit chamber/grease trap	52.028,9	46.968,5	122.118,1	gut	5.060,4	
scrapers primary settlement tank	4.547,5	10.512,0	35.040,0	bereits effizienter		
mechanical cleaning stage: pump station 1	83.937,3	77.040,2	89.880,3	gut	6.897,0	
mechanical cleaning stage: pump station 2	28.557,6	1.429,6	1.667,86	26.889,7	27.128,0	
mechanical cleaning stage: other aggregates	115.121,9	115.121,9	115.121,9	-	-	

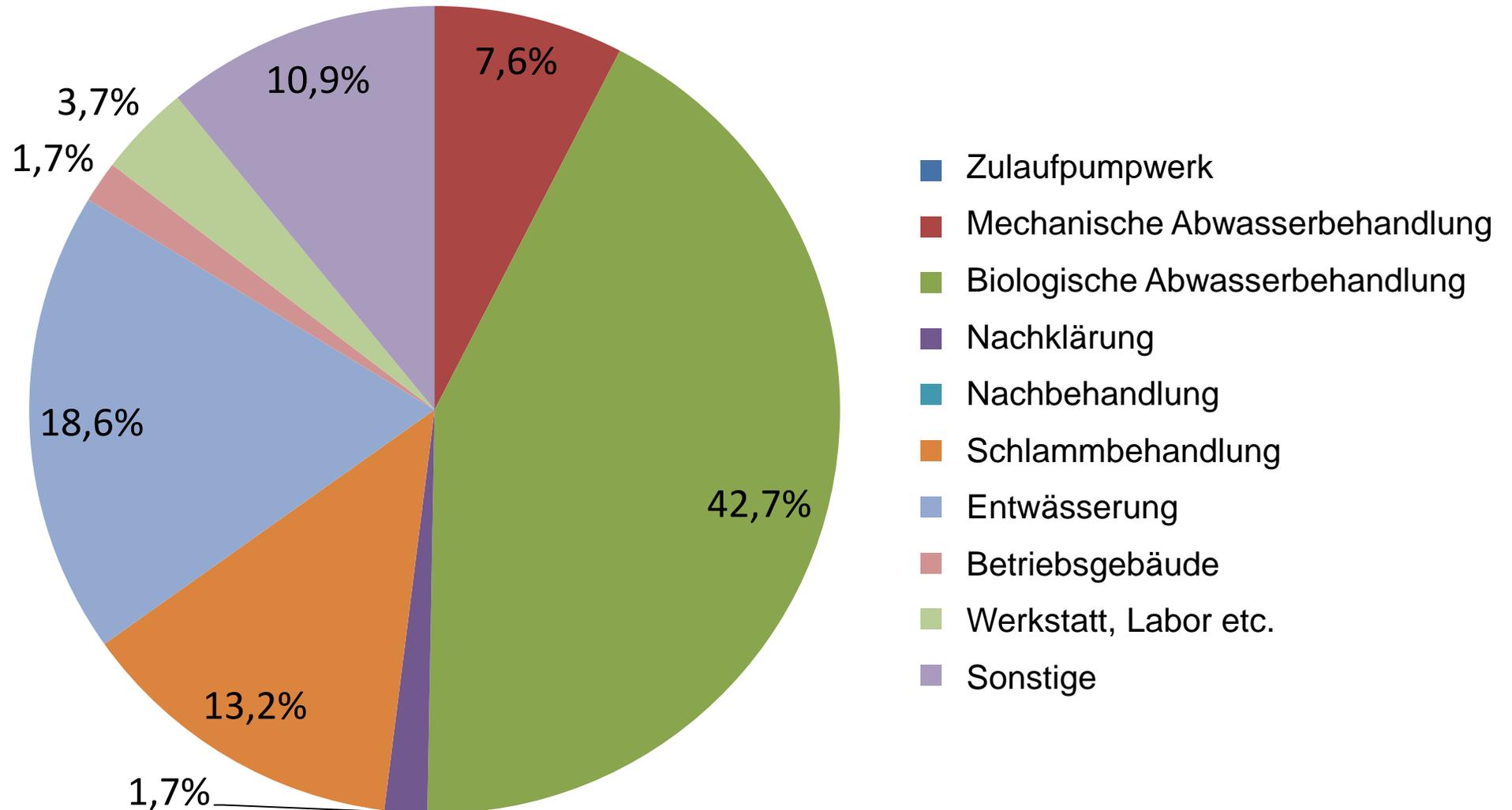
...	Symbols & Abbreviations	Data input	List of consumers	Evaluation	Diagramm1	Diagramm2	Heat balance	Ener ...	+	:	◀
-----	-------------------------	------------	-------------------	-------------------	-----------	-----------	--------------	----------	---	---	---

Validierung

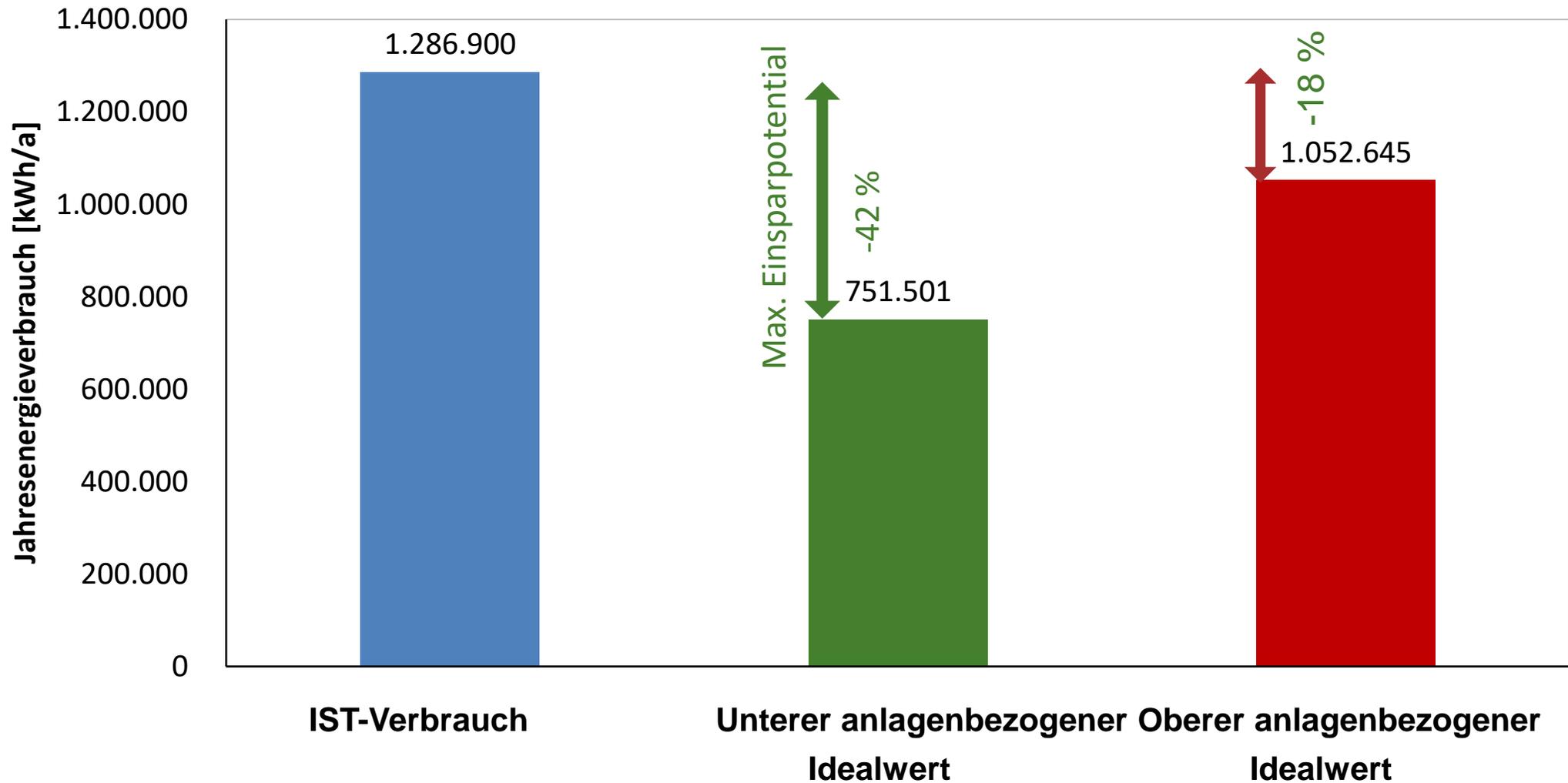
Verbraucherliste vs. Jahresenergiebedarf

	Stromerzeugung		<u>3 984 384 [kWh]</u>
	Netzeinspeisung	−	<u>0 [kWh]</u>
	Eigenversorgung Strom		<u>3 984 384 [kWh]</u>
	Strombezug	+	<u>4 619 892 [kWh]</u>
Σ Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage		=	<u>8 604 276 [kWh]</u>
tolerierte Abweichung: Δ unter 10%			
	Energieverbrauch gemäß Verbraucherliste (Auditool)		<u>8 567 303 [kWh]</u>

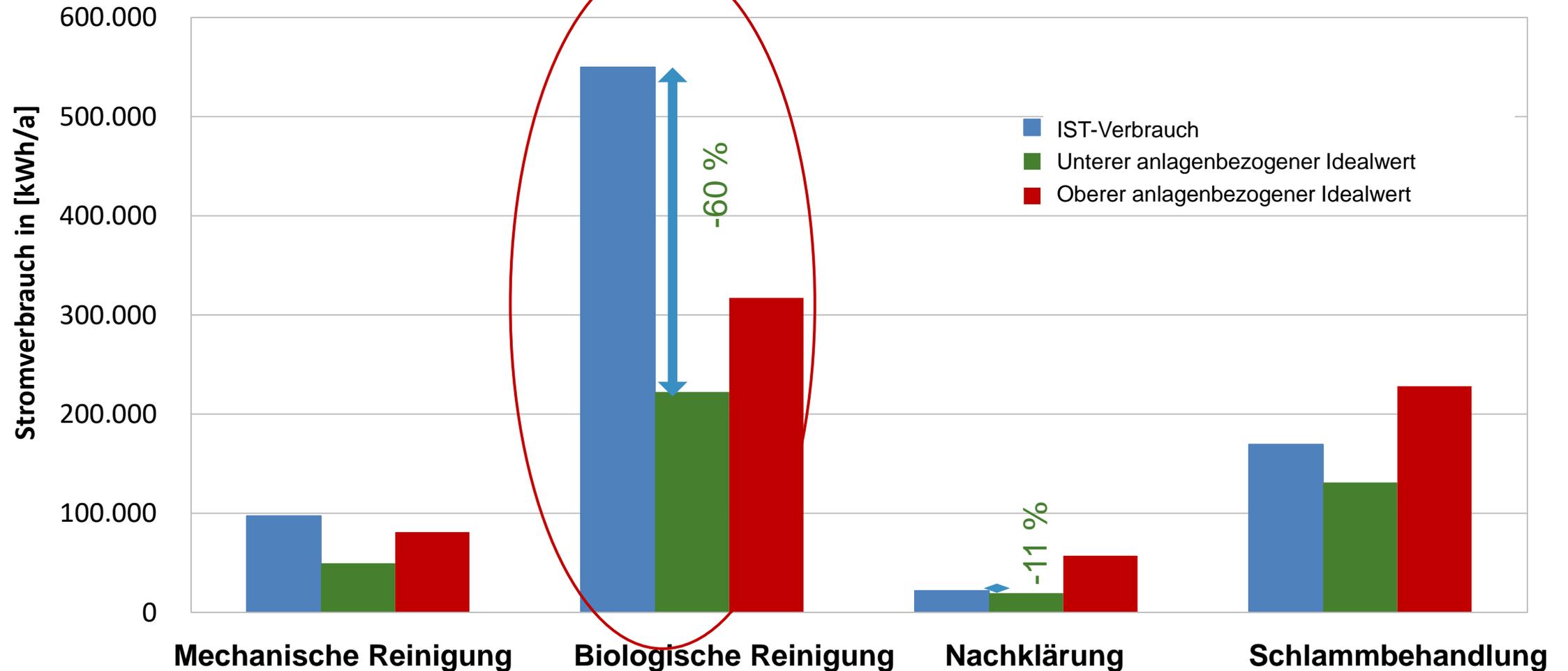
Verteilung auf Verfahrensstufen



IST- Verbrauch vs. Idealwerte Gesamtanlage



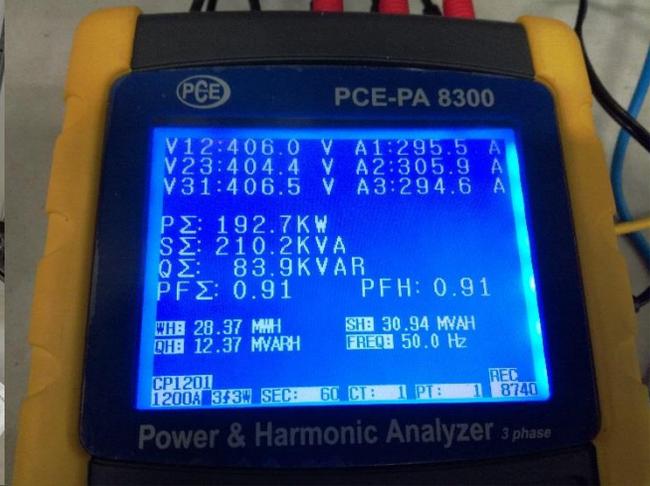
Idealwerte für Verfahrensstufen



IWAMA AUDIT MEETING BERLIN

15-16 November 2018

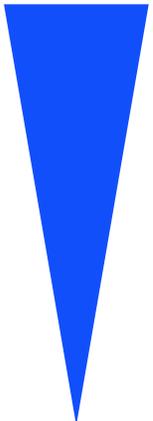




Empfehlungen für Energieoptimierungen

Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz

- Allgemeine Empfehlungen im Auditkonzept und Tool
 - ➔ Individuelle Empfehlungen wurden im Rahmen der Auswertungsempfehlung besprochen



Kosten-Nutzen-Verhältnis

Einstufung	Beispiele
Sofortmaßnahmen	➔ Einstellung von Sollwerten
Kurzfristige Maßnahmen	➔ Anpassung der Steuerung, ➔ Ersatz von Aggregaten
Langfristige Maßnahmen	➔ Verfahrensumstellung ➔ Investition in zusätzliche Prozesstechnik

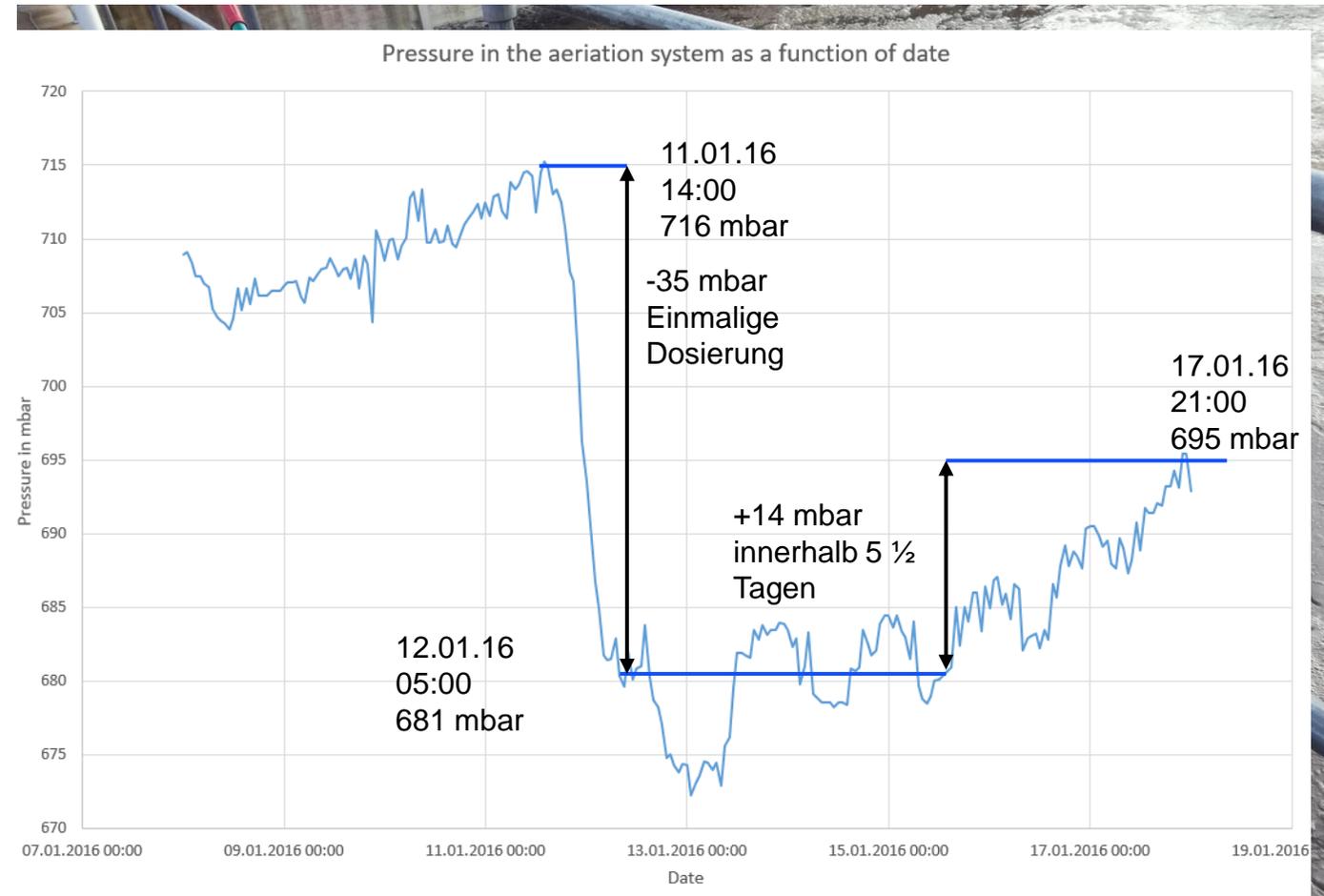
Ausgewählte Optimierungsmaßnahmen basierend auf Energiehandbuch NRW 2.0, 2018

- Belüftung
 - Umwälzung
 - Pumpen
 - Entwässerung
 - ➔ Auswahl optimaler Polymere und Dosierstellen
 - ➔ Effiziente Technologie zur Schlammentwässerung



Verringerung altersbedingter Druckverluste im Belüftungssystem

- **Chemische Reinigung:**
Regelmäßige Zugabe von geringfügigen Mengen Ameisen- oder Essigsäure je nach Material der Membran
- **Kurzzeitige Druckerhöhung und Entlastung:**
Täglich einmalige Belastung der Membranen mit der maximal zulässigen Luftmenge kann Verkalkungen in den Lochungen der Membranen absprenge
- **Austausch der Belüfterelemente:**
Wenn die vorherigen Maßnahmen nicht mehr ausreichen



Ausgewähltes Pilotvorhaben

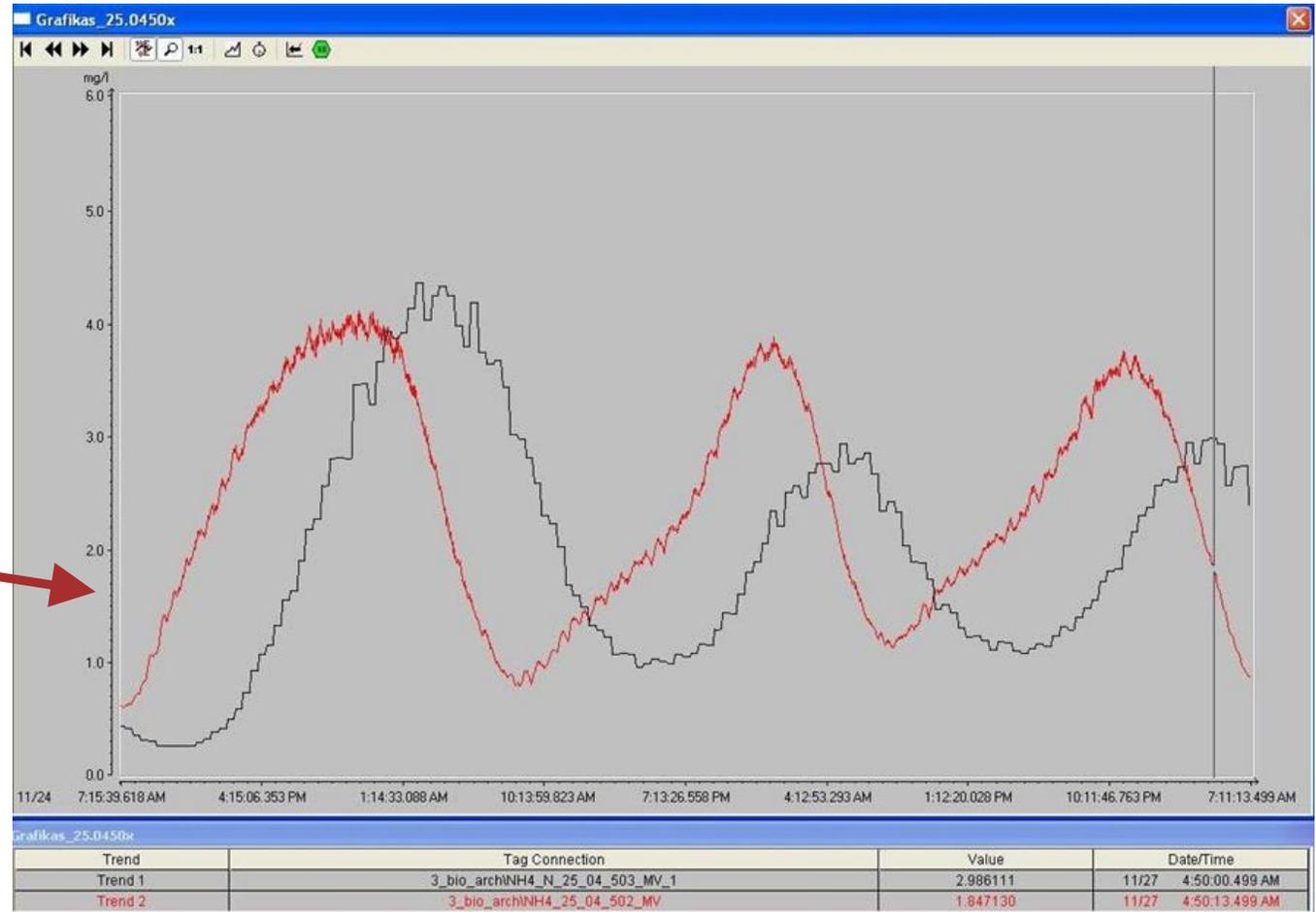
Beispiel Messen/Steuern/Regeln in Kaunas

Biologische Abwasserbehandlung in Kaunas

- 387.400 EW
- $Q_d = 65.000 \text{ m}^3/\text{d}$
- Bio-P
- Simultane Nitri/Deni
- Dosierung von Methanol als C-Quelle
- $\text{NH}_4\text{-N}$ -Onlinemessung im Ablauf der Nachklärung,
➔ Anpassung des O_2 -Sollwerts



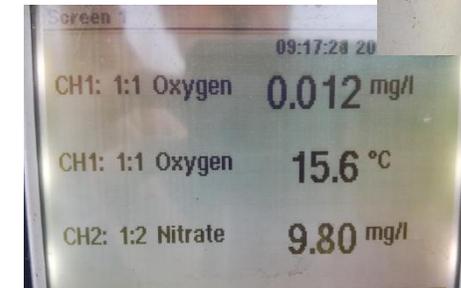
Kaunas WWTP: Zusätzliche $\text{NH}_4\text{-N}$ -Onlinemessung



- Aufzeichnung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Belebtschlamm
- Anpassung des O_2 -Sollwerts für die Nitrifikation
- Zuvor erfolgte die Anpassung über die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf der Nachklärung mit einem Zeitversatz von ~6 Stunden

Vorteile der angewendeten Optimierungen

- Über einen Zeitraum von ca. 1 Jahr konnte die Stickstoffeliminationsleistung bis zu 90,5 % erhöht werden.
- Durch eine neue Dosierstrategie für Methanol basierend auf der gemessenen Nitratkonzentration konnte der Verbrauch um 12 % gesenkt werden.
- Die installierten Luftmessgeräte werden für zukünftige Prozessoptimierungen genutzt, insbesondere nach der Installation der neue, energieeffizienten Gebläse.



Angebote im Abwasser-EnergieBereich

FG Siedlungswasserwirtschaft

- Energiecheckauswertungen für Kennzahlenvergleich
 - ➔ Nicht nur IWAMA, auch andere Regionen z.B Jordanien
- Excel-Audit-Tool mit verschiedenen Sprachen entwickelt,
 - ➔ flexible Anpassung möglich, langfristig Self-Audit
- Energieanalysen durchgeführt
 - ➔ Ostseeraum und Jordanien
 - ➔ Strommessgerät vorhanden
 - ➔ Erweiterung um Modellierung möglich
- Beratung zu Optimierungsmaßnahmen
 - ➔ Sauerstoff-Reglung
 - ➔ Co-Vergärung

Kontakt

Iyad Al-Zreiqat
Stefan Rettig
Technische Universität Berlin
+49 30 314 72356
stefan.rettig@tu-berlin.de



EUROPEAN UNION

EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND

