

**Aqseptence  
Group**

## **Passavant – Geiger GmbH**

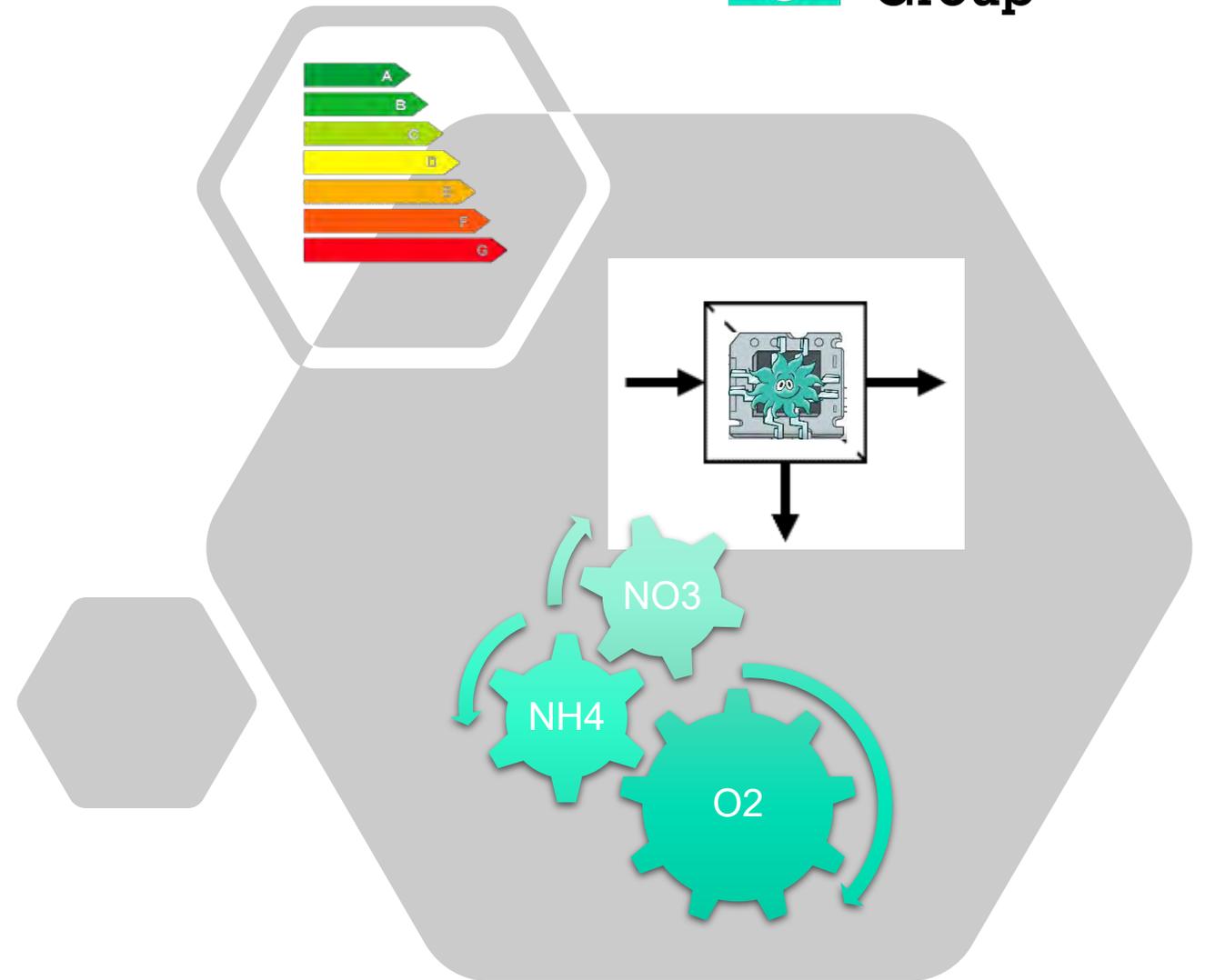
Realisierung von weitergehenden  
Energieeinsparungen durch  
moderne Regelungstechnik

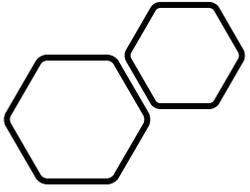
Dipl.- Ing. Thomas Pfeiffer  
Sonderfachtagung Energie

30.09.2022

# Agenda

- Energiesituation
- Ausgangspunkt Kläranlage
- Fuzzy Logic – Die Idee
- Fuzzy Control für die Abwasserreinigung
- Installationsbeispiele / Ergebnisse





# Energiesituation



10/5/2022

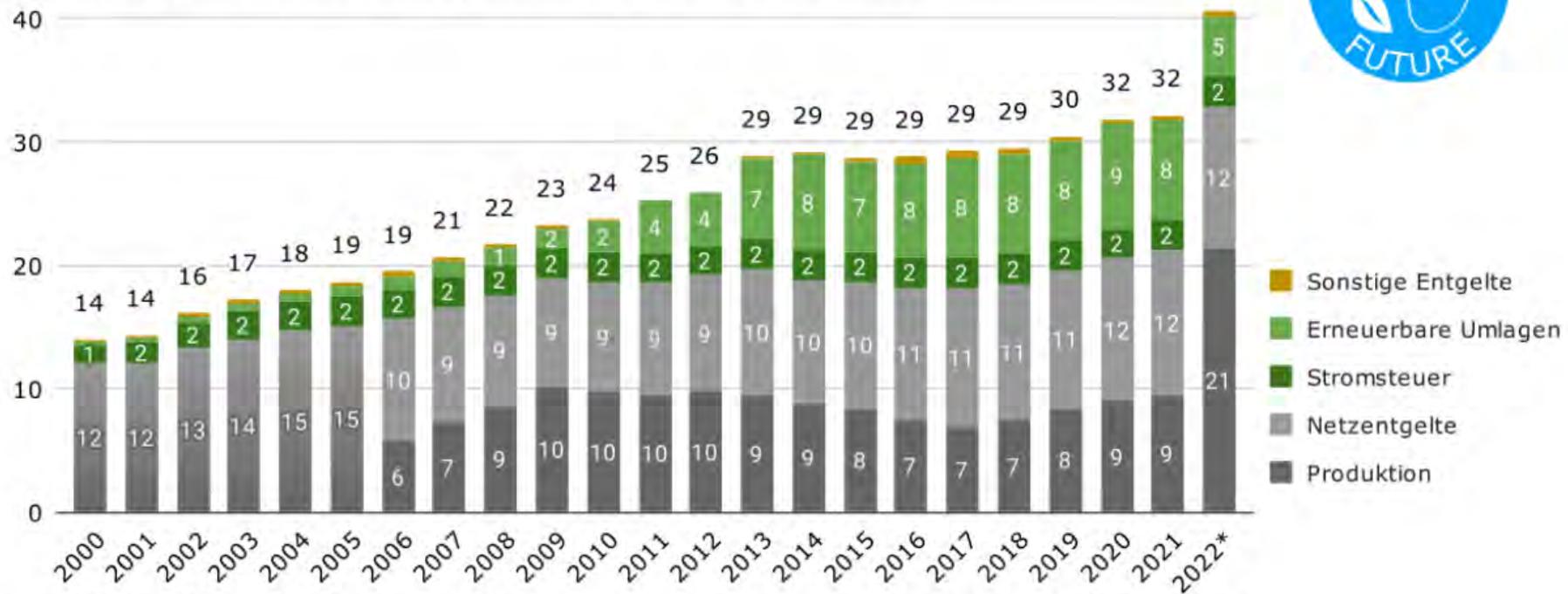


**Aqseptence  
Group**

## Strompreiserhöhung: Strompreisentwicklung in Deutschland 2000 bis 2022

### Strompreisentwicklung für deutsche Endverbraucher

in €Cents pro kWh nach Einzelposten inklusive Mehrwertsteuer



bis 2006 keine Trennung von Produktion und Netzentgelt

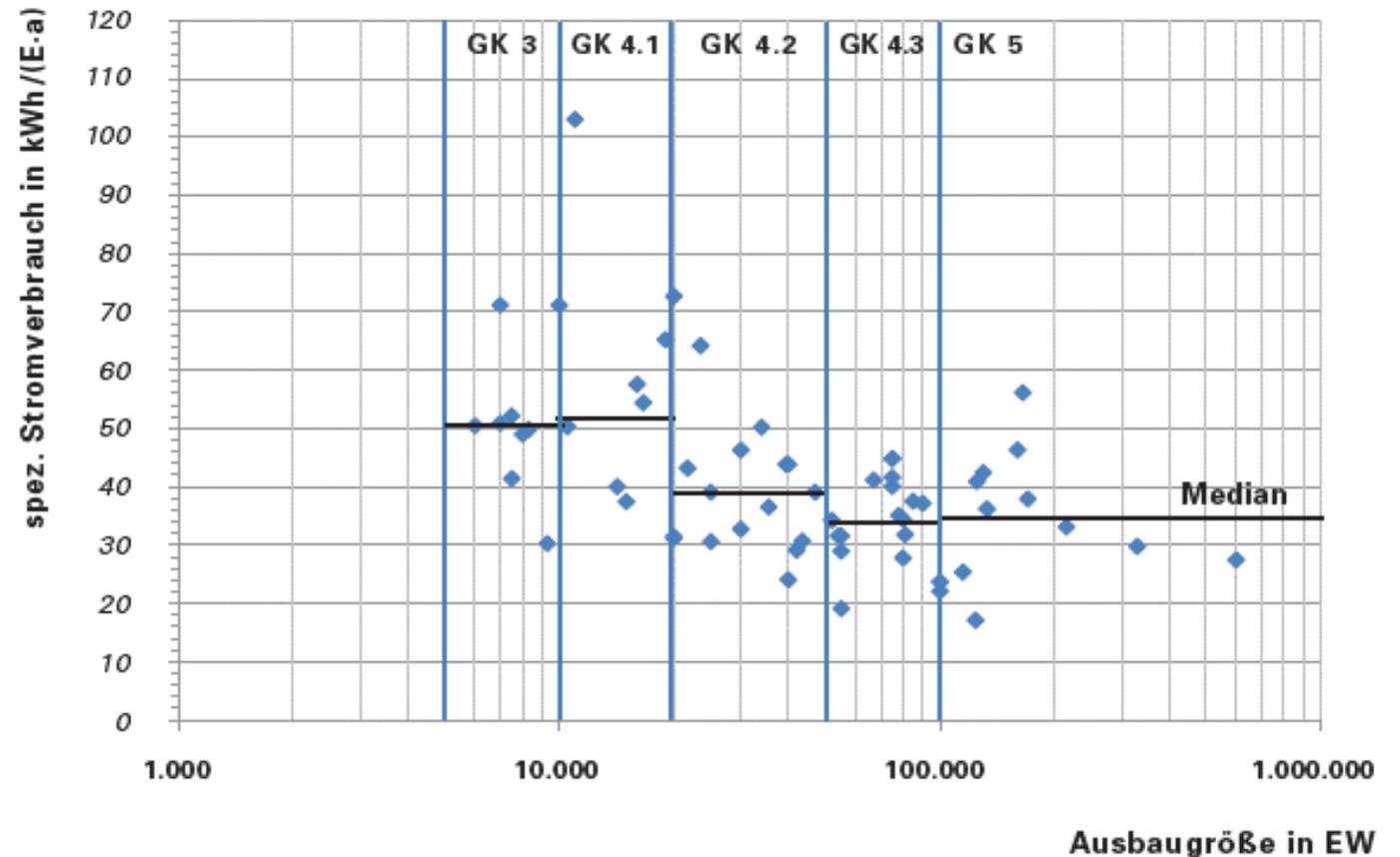
\*Strompreise im April 2022 laut Verivox

Quelle: BDEW (2022), Verivox (2022)

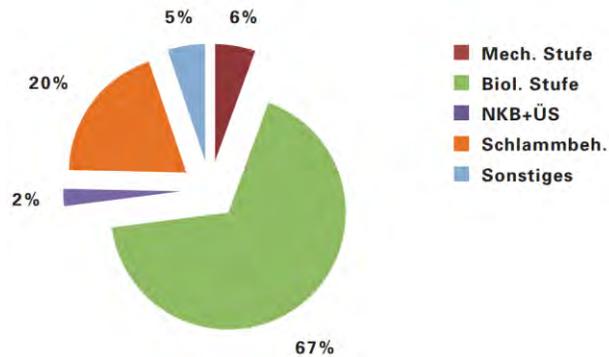
Quelle: Leitfaden Energieeffizienz BW  
Basis 62 Energieanlagen

Tabelle 1: Unterteilung der Größenklassen

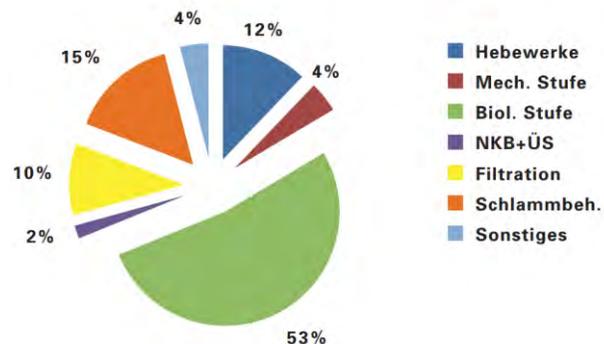
DWA-Leistungsvergleich 2013		Energiepotenzialstudie BW 2015	
Größenklasse	EW	Größenklasse	EW
GK 1	< 1.000	-	-
GK 2	1.001 – 5.000	-	-
GK 3	5.001 – 10.000	GK 3	5.001 – 10.000
GK 4	10.001 – 100.000	GK 4.1	10.001 – 20.000
		GK 4.2	20.001 – 50.000
		GK 4.3	50.001 – 100.000
GK 5	> 100.000	GK 5	> 100.000



Ohne Hebewerke und Filtration

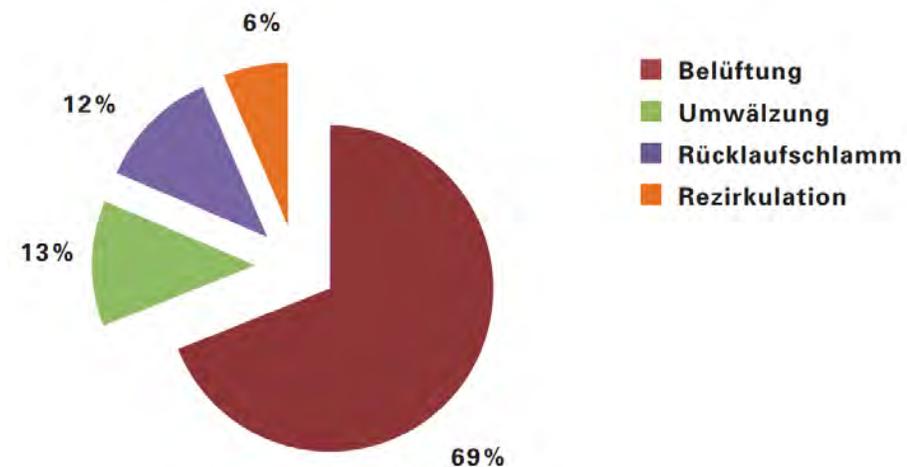


Mit Hebewerken und Filtration



Verteilung der Stromverbräuche innerhalb der biologischen Reinigungsstufe (aus Medianwerten)

Biologische Reinigungsstufe



Quelle: Leitfaden Energieeffizienz BW

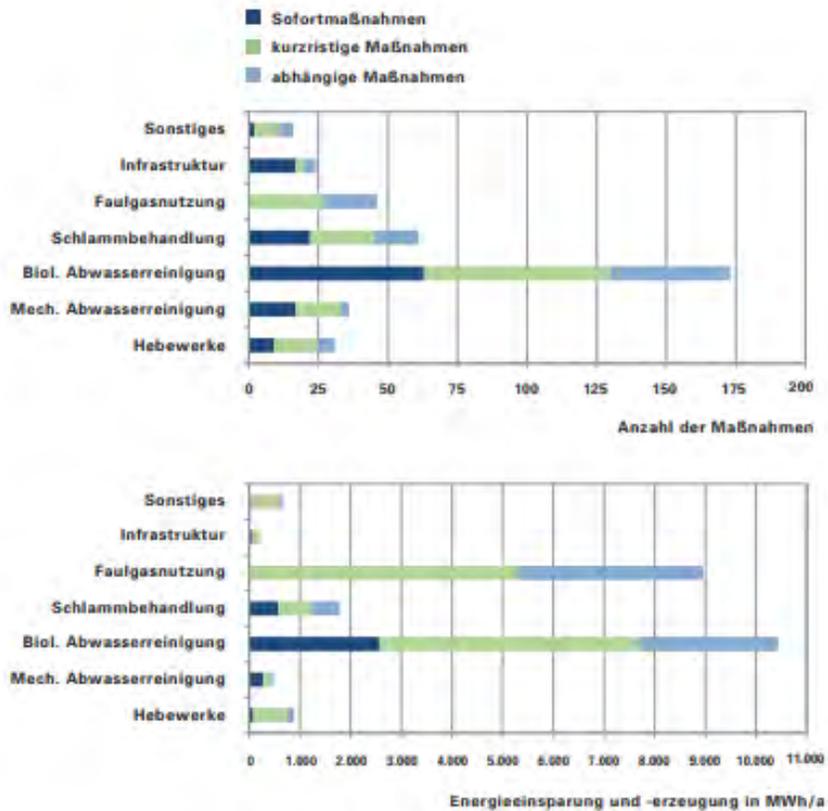
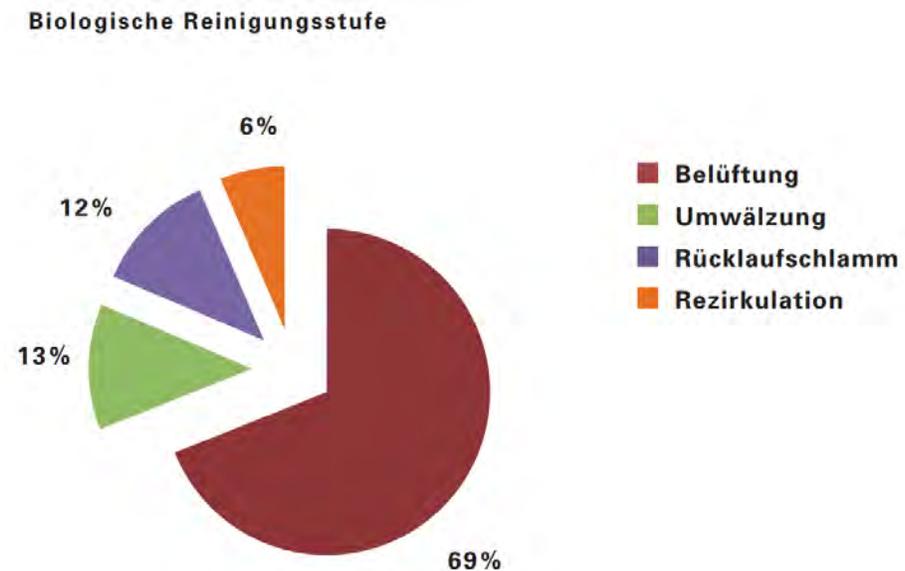


Abb 8: Anzahl der Maßnahmen und Einsparpotenzial an elektrischer Energie  
(Energieanalysen BW)

„ ... das höchste Einsparpotenzial an elektrischer Energie liegen in der biologischen Reinigungsstufe, da sich dort die größten Stromverbraucher befinden.“



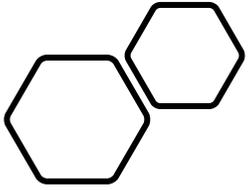
Quelle: Leitfaden Energieeffizienz BW

# Energieverbrauch reduzieren Maßnahmenvorschläge

**Tabelle 6:** Eingriffsmöglichkeiten im Bereich der biologischen Reinigungsstufe

Verfahrensbereich	Beispiele
<b>Biologische Stufe allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Schlammalter reduzieren (S)</li> <li>o Verfahrensweise umstellen (K/A)</li> <li>o Verkleinerung des Belebungsbeckenvolumens</li> </ul>
<b>Belüftung</b>	<p>Belüftungsregelung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Sauerstoffsollwerte anpassen (S)</li> <li>o Gleitdruck-/Verteilregelung implementieren (K/A)</li> </ul> <p>Belüfterelemente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o ineffiziente Belüfter erneuern (K/A)</li> </ul> <p>Drucklufterzeugung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Frequenzumrichter nachrüsten (S)</li> <li>o ineffiziente Aggregate/Antriebe austauschen (K/A)</li> </ul>
<b>Rücklaufschlammförderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o nach Zulaufmenge regeln (S)</li> <li>o max. RV reduzieren (S/K)</li> <li>o Frequenzumrichter nachrüsten (K)</li> <li>o ineffiziente Pumpen/Antriebe austauschen (K/A)</li> </ul>
<b>Rezirkulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o nach <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> im Ablauf der DN regeln (S)</li> <li>o bei intermittierender N/DN abschalten (S)</li> <li>o ineffiziente Pumpen austauschen (K)</li> </ul>
<b>Umwälzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Rührwerke zeitweise abschalten (S)</li> <li>o Frequenzumrichter nachrüsten (K)</li> <li>o ineffiziente Rührwerke austauschen (K/A)</li> <li>o mit Stoßbelüftung umwälzen</li> </ul>

Quelle: Leitfaden Energieeffizienz BW



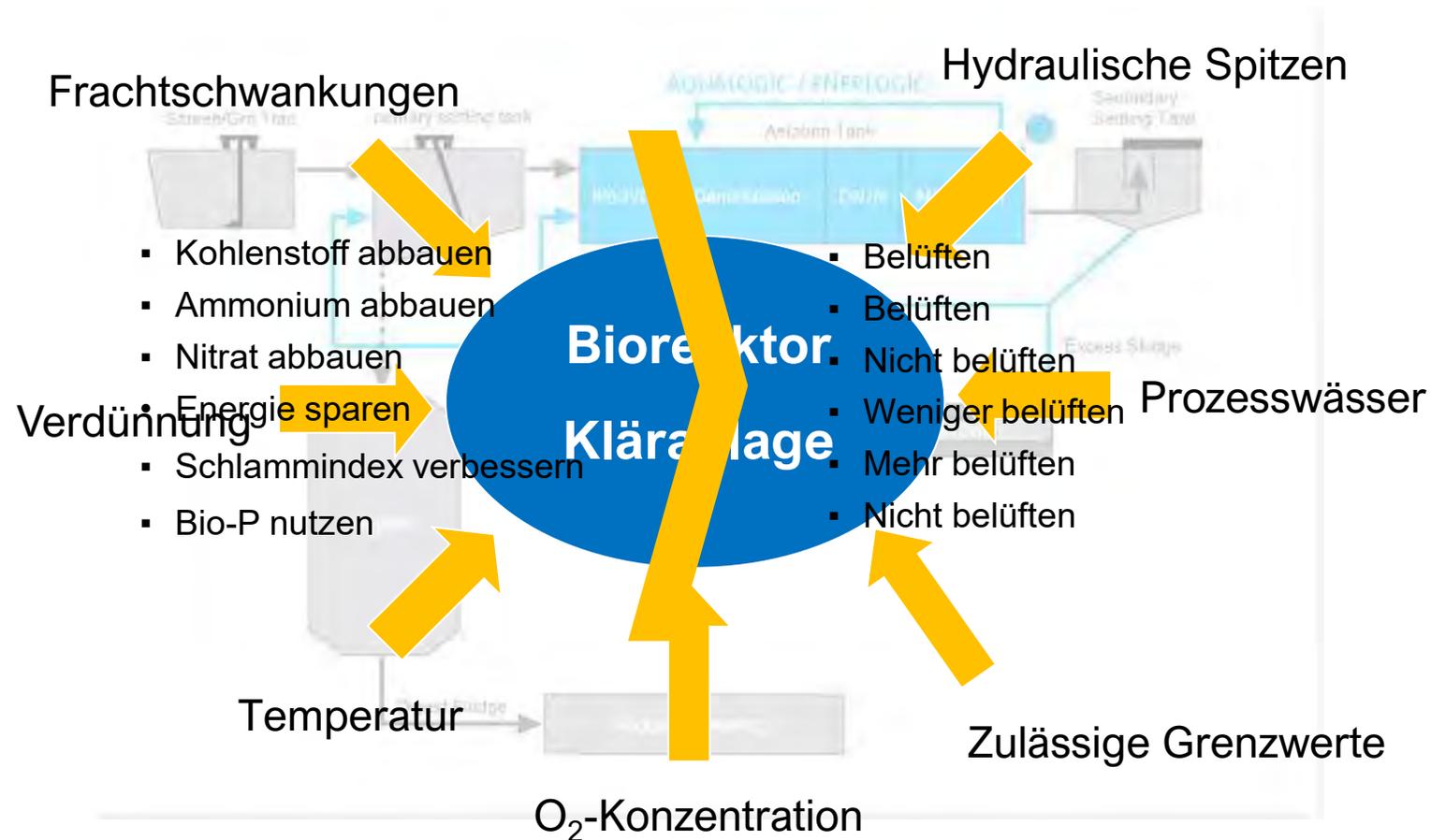
# Ausgangspunkt - Kläranlage

10/5/2022



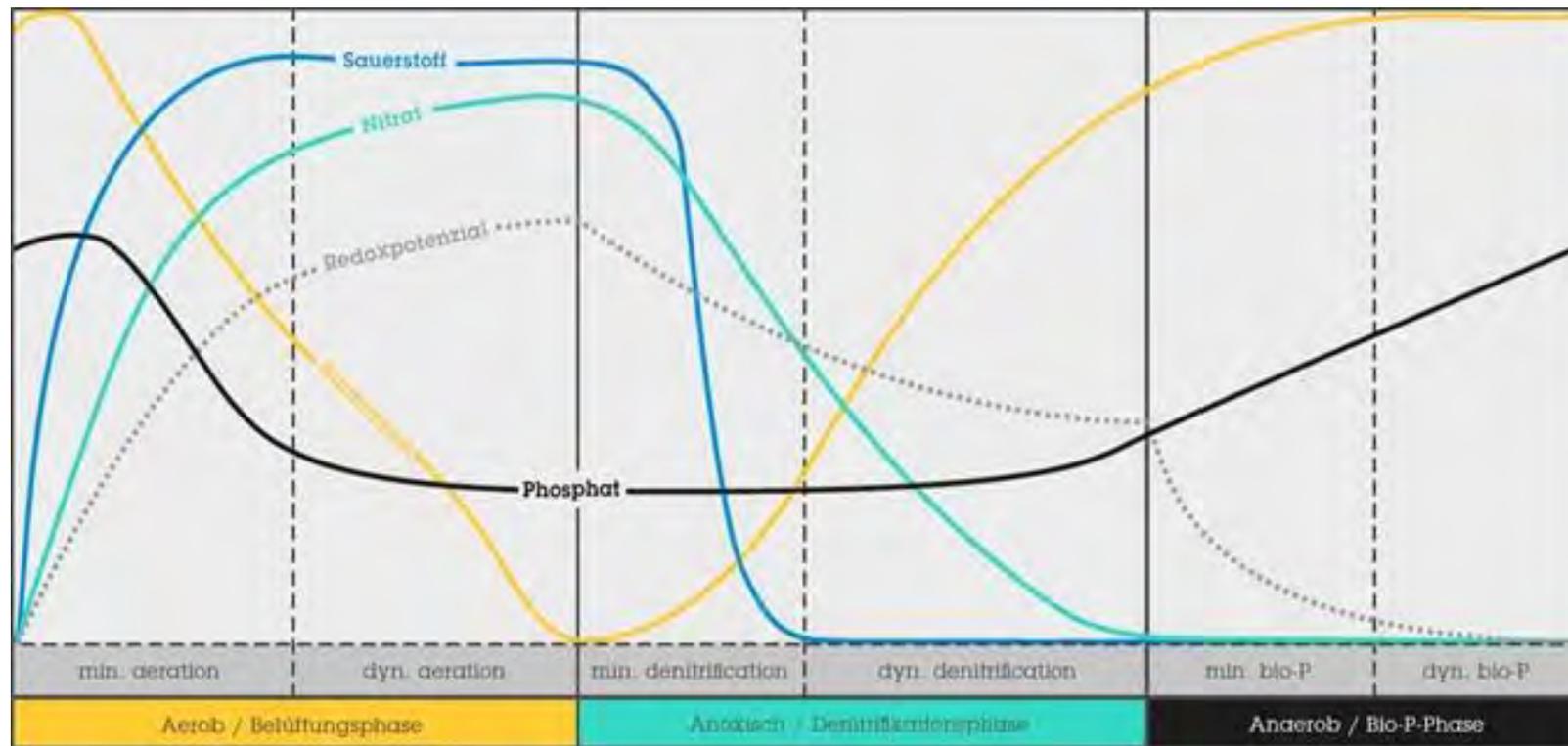
**Aqseptence  
Group**

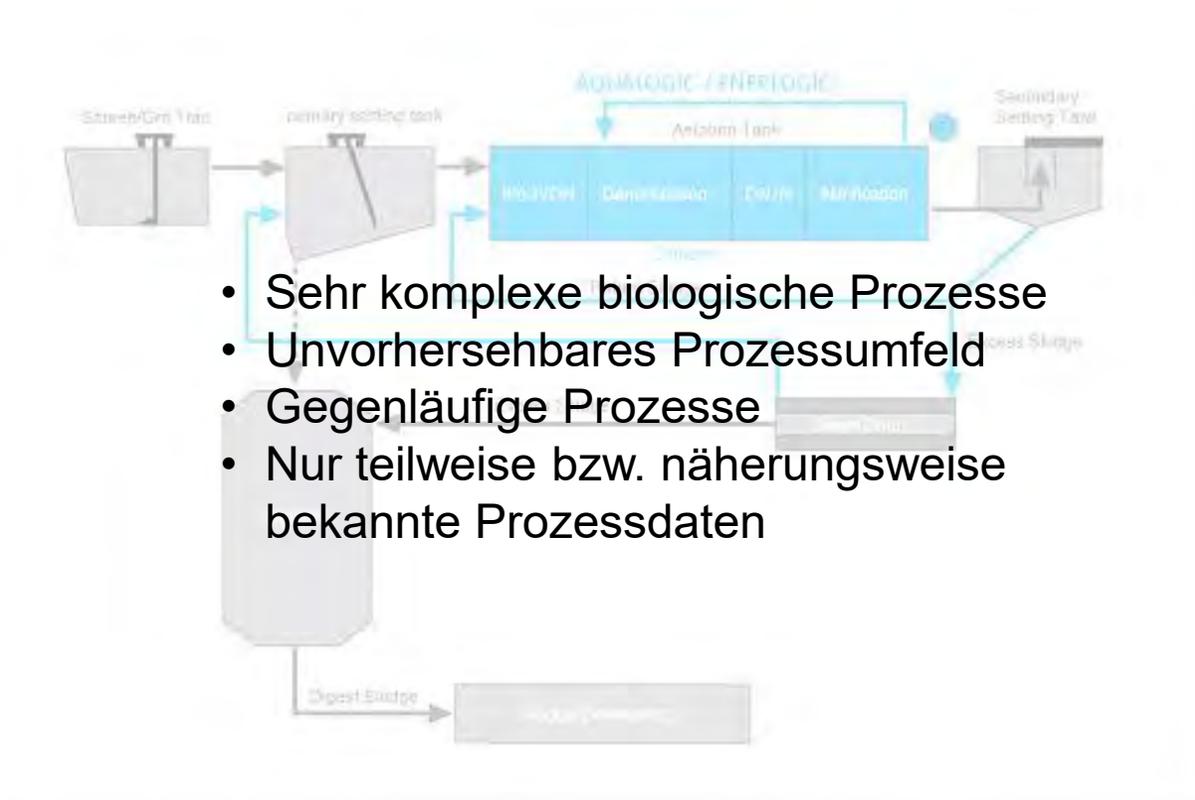
- Allgemeine Einflussfaktoren auf die biologischen Abbauprozesse

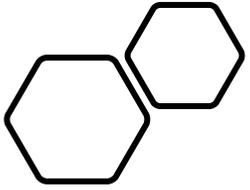


# Biologische Abbauprozesse

## Wichtige Messgrößen im biologischen System







# Fuzzy Logic – Die Idee



10/5/2022



**Aqseptence  
Group**

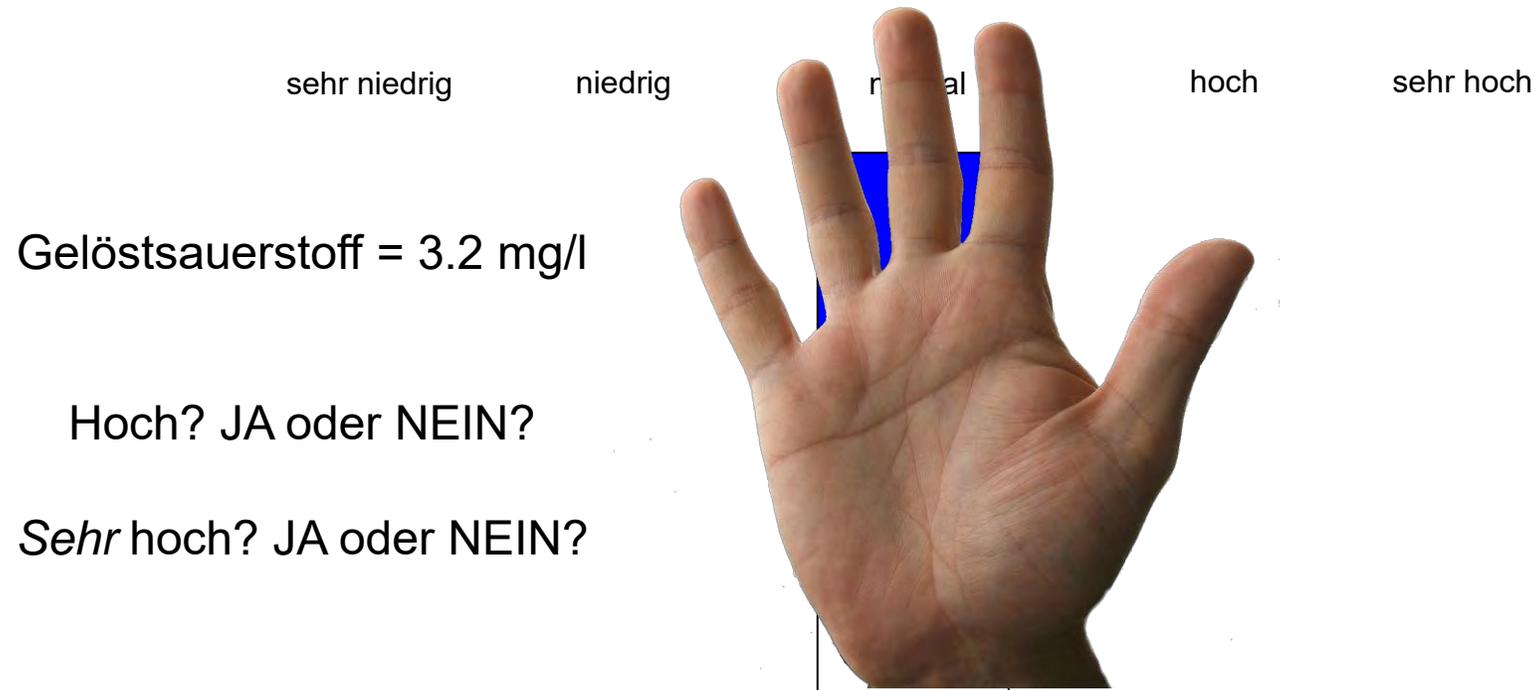
- Trennt Wichtiges von Unwichtigem



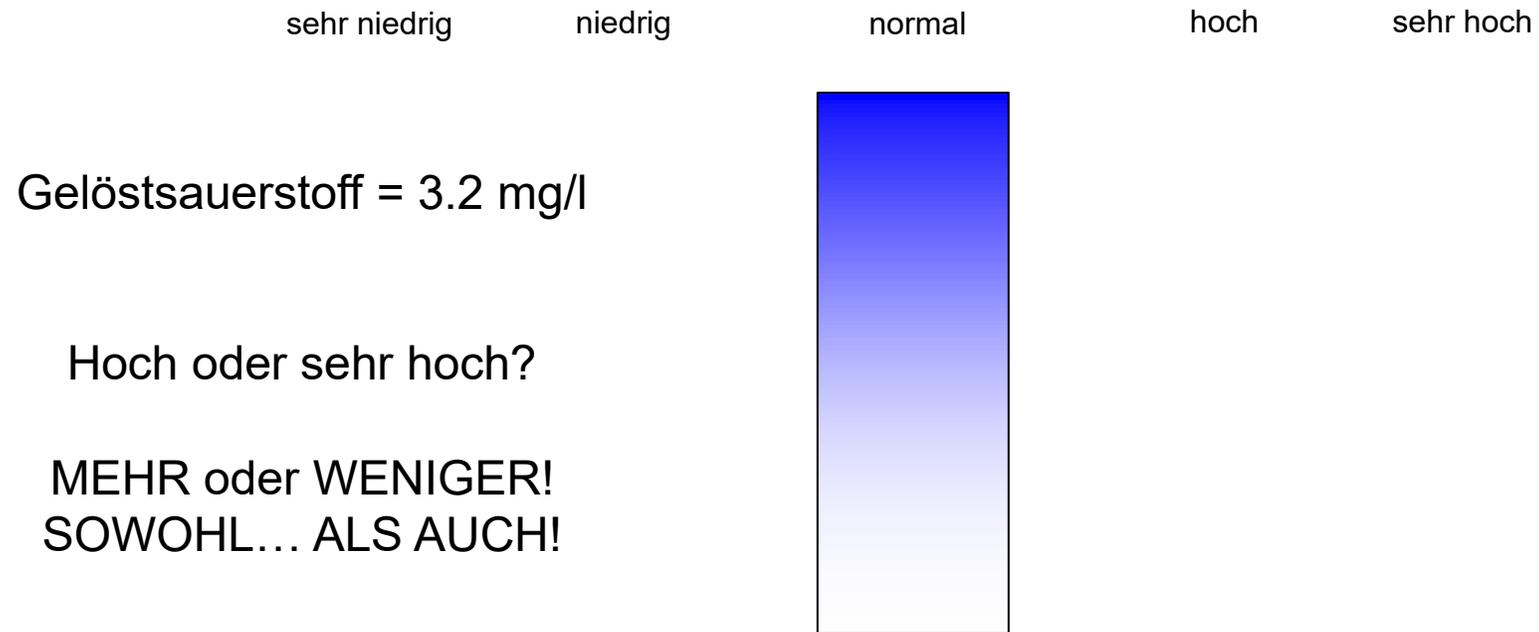
### Präzision und Signifikanz in der realen Welt



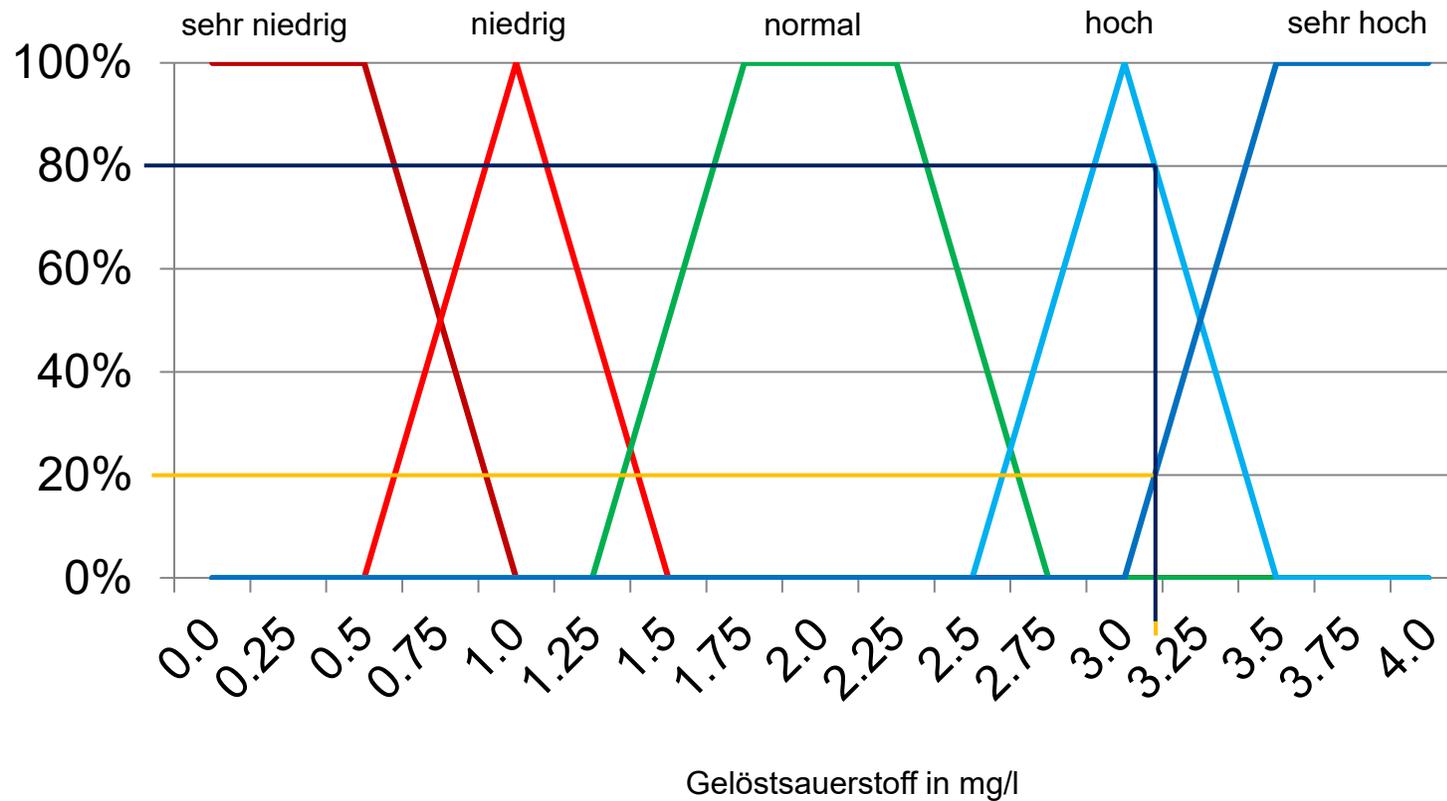
- Klassifikation



- Klassifikation



- Klassifikation



- Inference

WENN Bedingung1 UND (Bedingung2 ODER Bedingung3) DANN Folgerung1

SONST

WENN Bedingung1 UND NICHT Bedingung3 DANN Folgerung2

WENN O<sub>2</sub> hoch DANN Belüftung niedriger

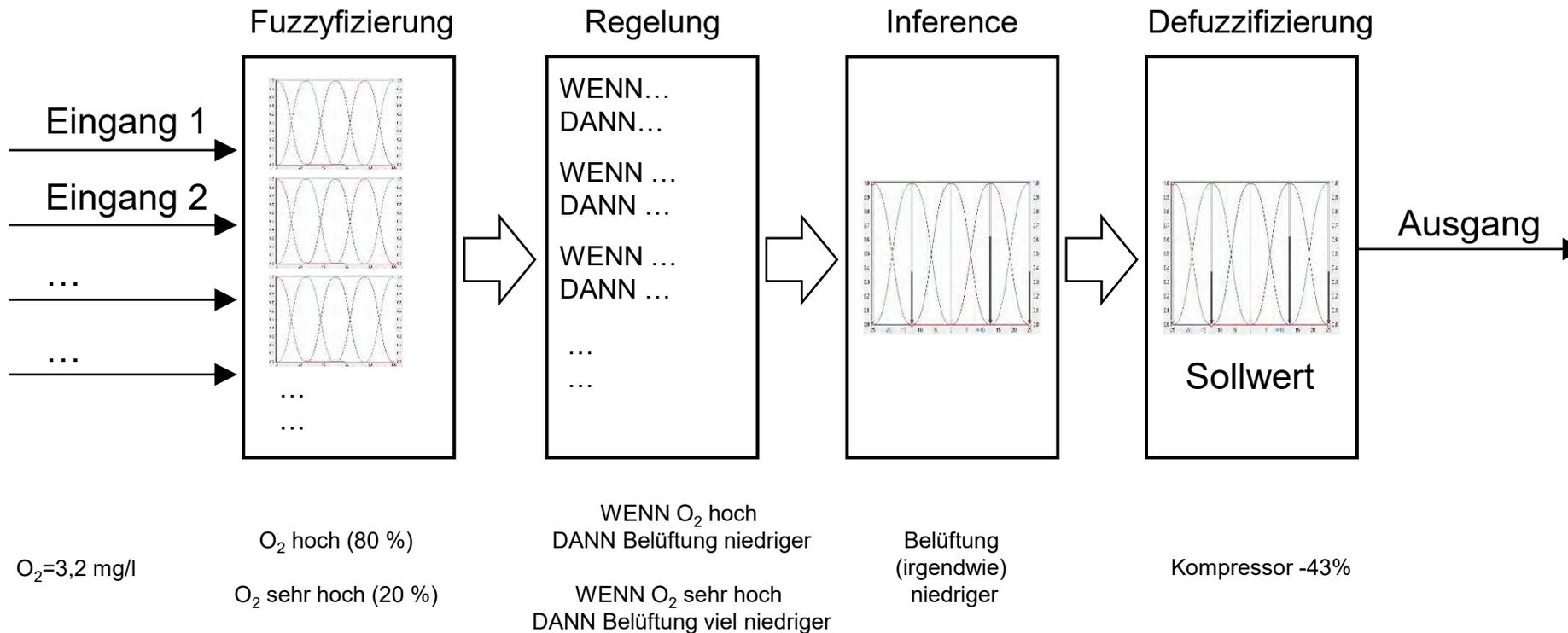
WENN O<sub>2</sub> sehr hoch DANN Belüftung viel niedriger

WENN Ammonium niedrig UND Ammonium steigt DANN Belüftung niedrig

- Inference

#	WENN m_NH4_C2	NH4_C2	NH4_C3	NO3_C3	Zeit_aerob	DANN DoS	Bekueftung
171	negativ	hoch	niedrig	hoch	lang	1.00	nein
172	null	hoch	niedrig	niedrig	kurz	1.00	ja
173	null	hoch	niedrig	niedrig	mittel	1.00	ja
174	null	hoch	niedrig	niedrig	lang	1.00	nein
175	null	hoch	niedrig	mittel	kurz	1.00	ja
176	null	hoch	niedrig	mittel	mittel	1.00	nein
177	null	hoch	niedrig	mittel	lang	1.00	nein
178	null	hoch	niedrig	hoch	kurz	1.00	nein
179	null	hoch	niedrig	hoch	mittel	1.00	nein
180	null	hoch	niedrig	hoch	lang	1.00	nein
181	positiv	hoch	niedrig	niedrig	kurz	1.00	ja
182	positiv	hoch	niedrig	niedrig	mittel	1.00	ja
183	positiv	hoch	niedrig	niedrig	lang	1.00	nein
184	positiv	hoch	niedrig	mittel	kurz	1.00	ja
185	positiv	hoch	niedrig	mittel	mittel	1.00	nein
186	positiv	hoch	niedrig	mittel	lang	1.00	nein
187	positiv	hoch	niedrig	hoch	kurz	1.00	nein
188	positiv	hoch	niedrig	hoch	mittel	1.00	nein
189	positiv	hoch	niedrig	hoch	lang	1.00	nein
190	negativ	hoch	mittel	niedrig	kurz	1.00	ja
191	negativ	hoch	mittel	niedrig	mittel	1.00	ja
192	negativ	hoch	mittel	niedrig	lang	1.00	ja
193	negativ	hoch	mittel	mittel	kurz	1.00	ja
194	negativ	hoch	mittel	mittel	mittel	1.00	ja
195	negativ	hoch	mittel	mittel	lang	1.00	nein
196	negativ	hoch	mittel	hoch	kurz	1.00	ja
197	negativ	hoch	mittel	hoch	mittel	1.00	nein
198	negativ	hoch	mittel	hoch	lang	1.00	nein

- Fuzzy-Control

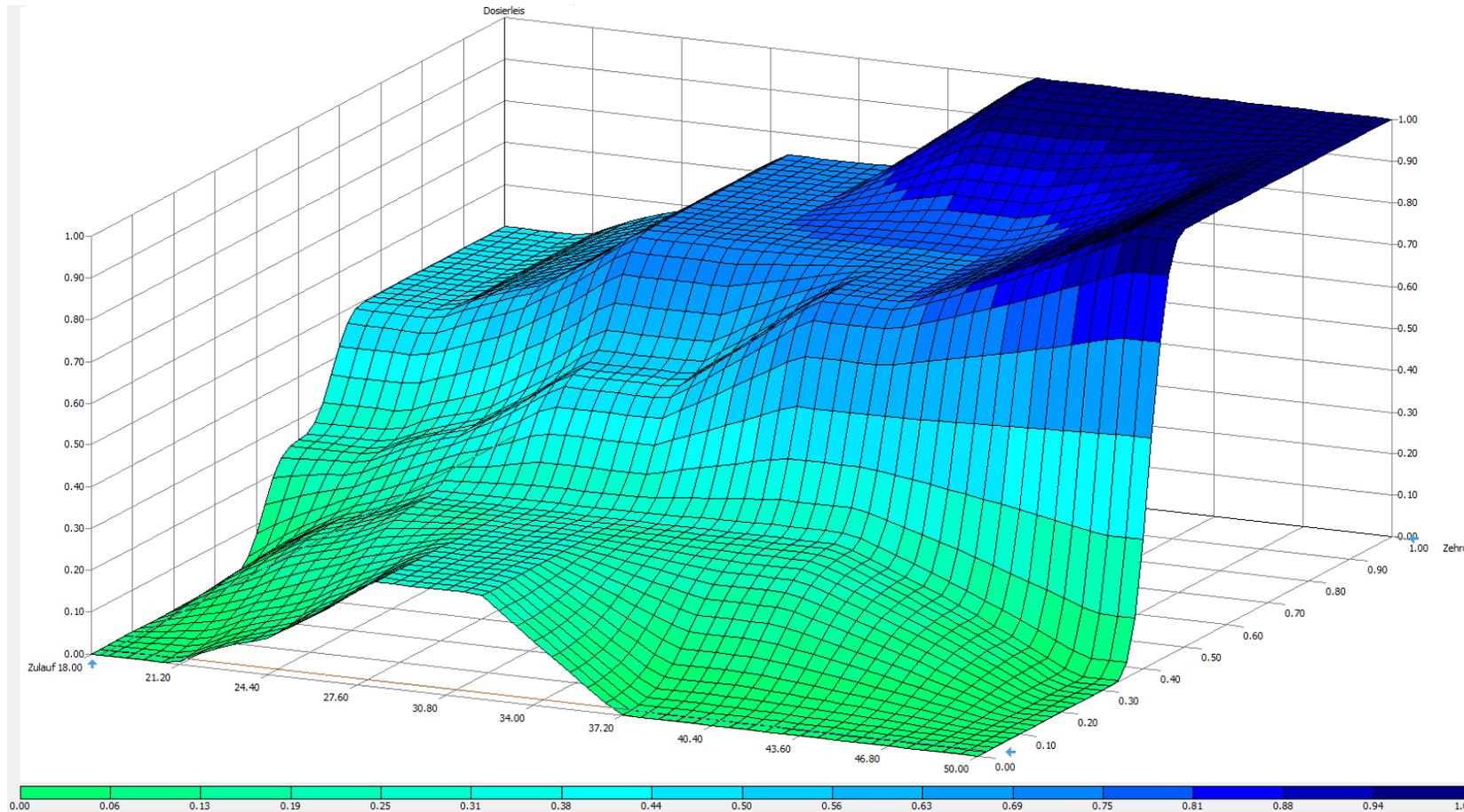


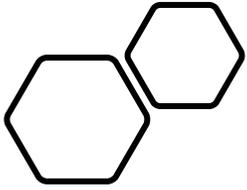
# Fuzzy Logic

## Leistungsfähiges, nicht lineares Regelverhalten



Aqseptence  
Group





# Fuzzy Control für die Abwasserreinigung



10/5/2022  
**Aqseptence  
Group**

- Aqualogic® – das Expertensystem für jede Anlage und jede Betriebssituation



Anerkanntes und bewährtes Verfahrens- und Expertenwissen implementiert in Aqualogic®  
kombiniert mit über 20 Jahren Erfahrung aus über 400 Installationen

# Automatisierung Regelungsarten, -strukturen und -methoden

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



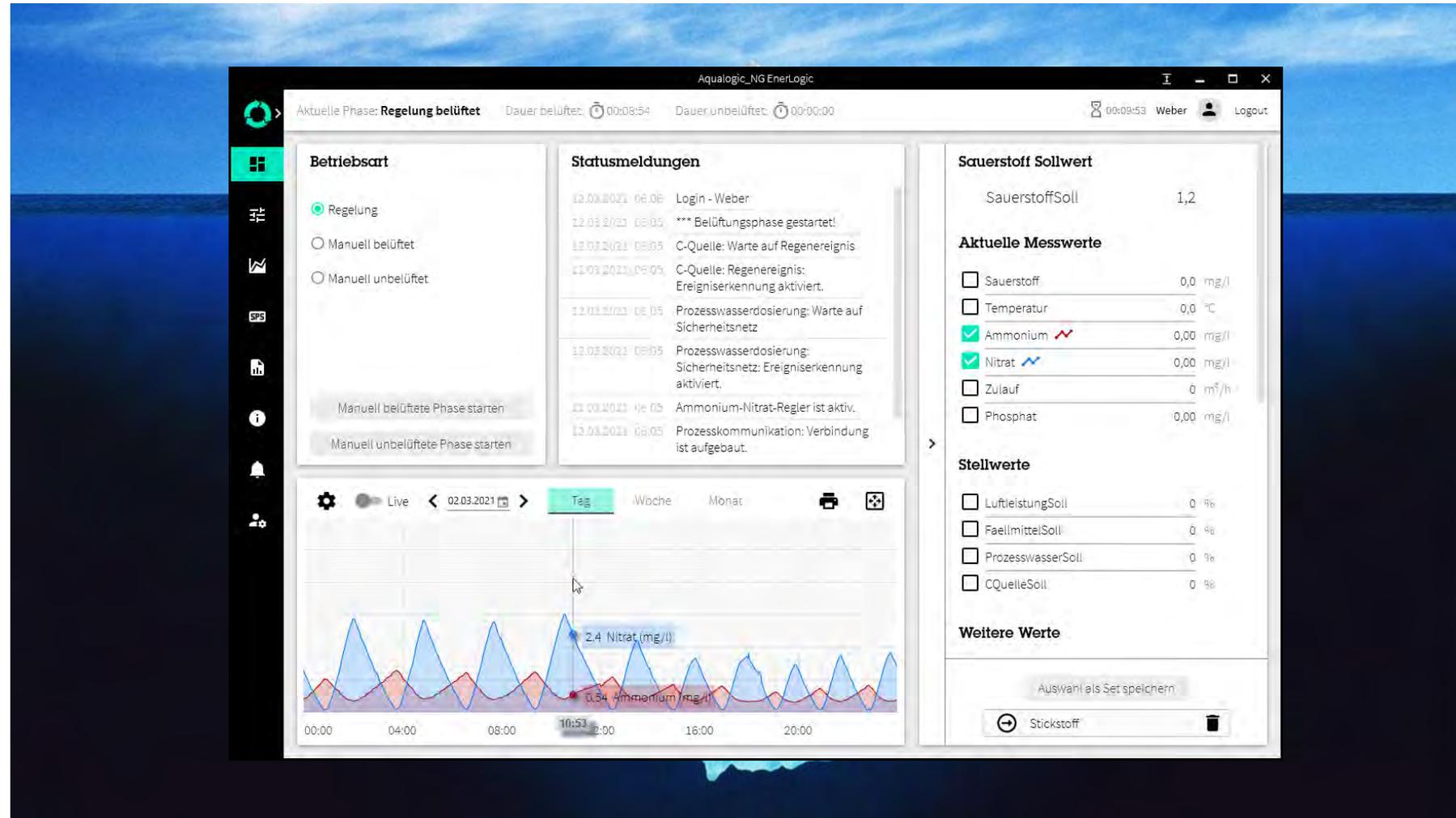
## Energie in Abwasseranlagen

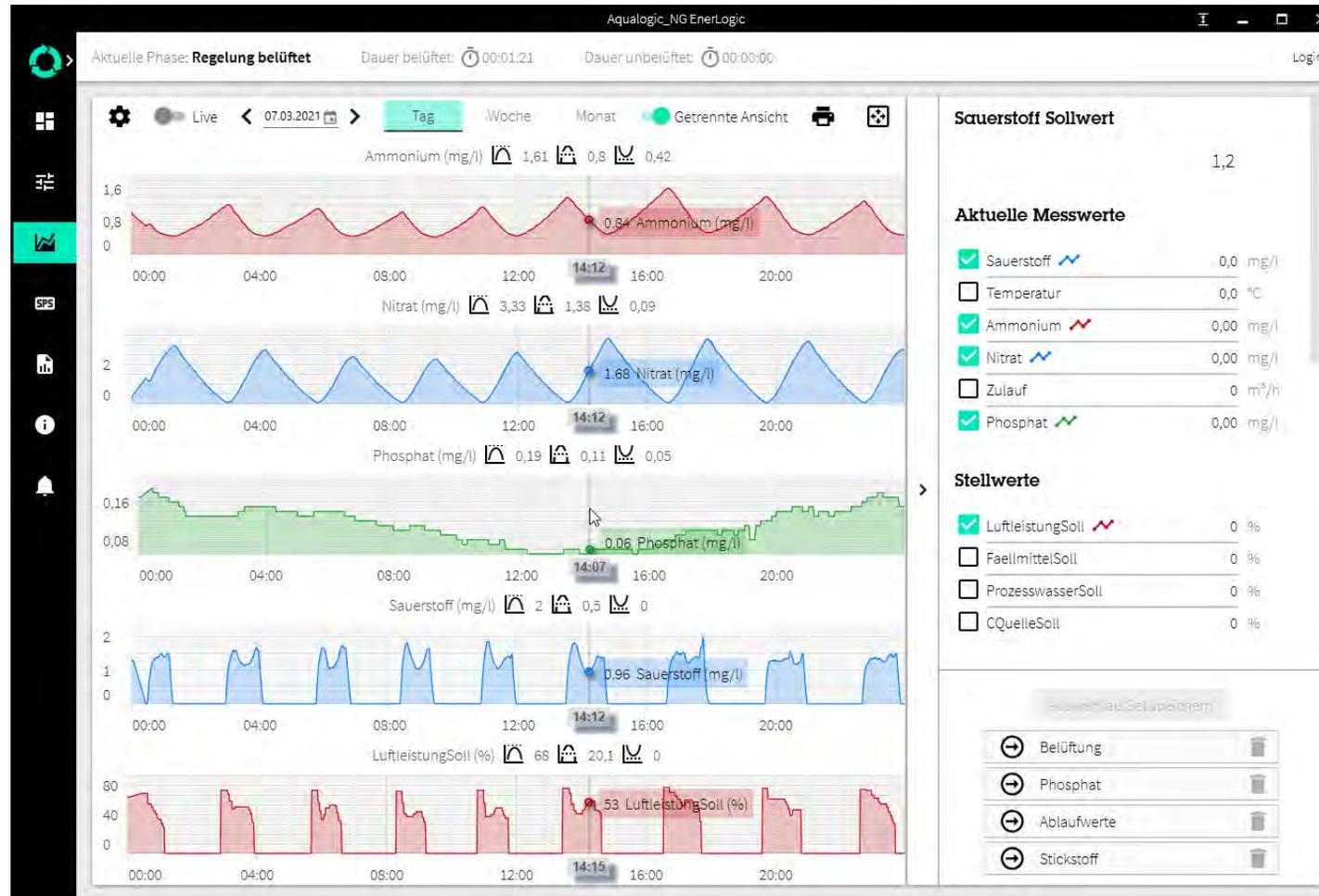
Handbuch NRW

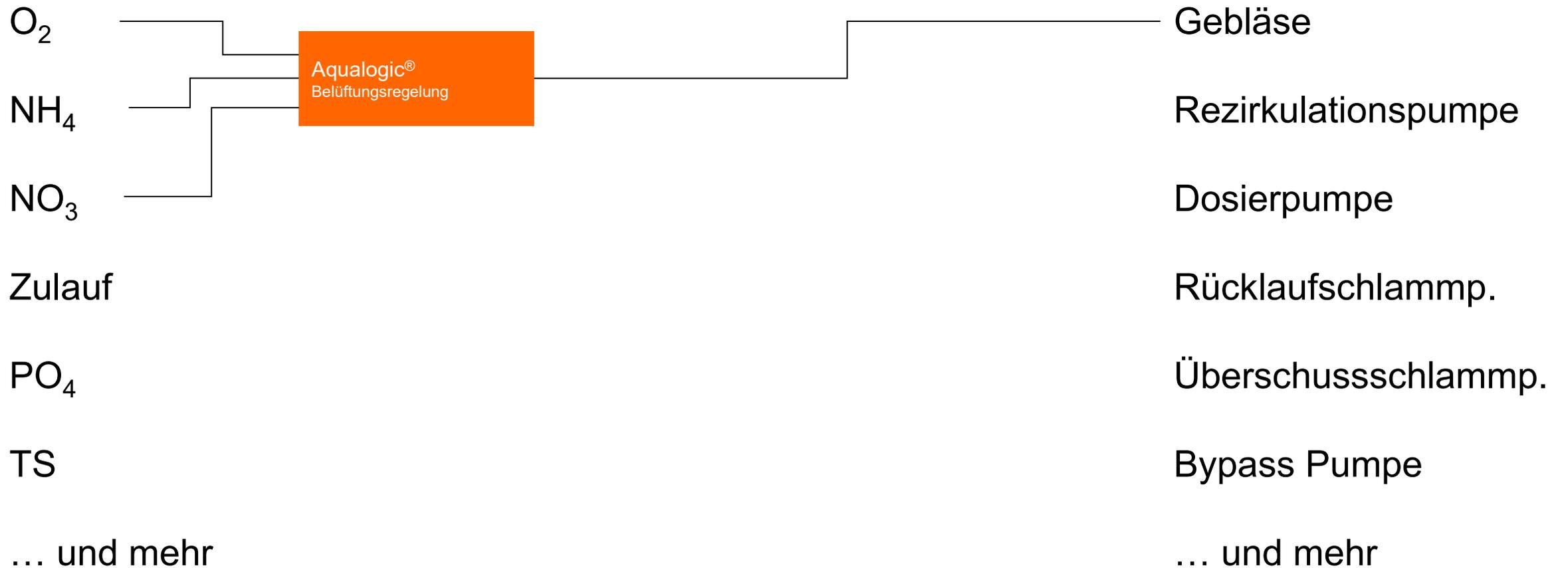
2. vollständig überarbeitete Fassung

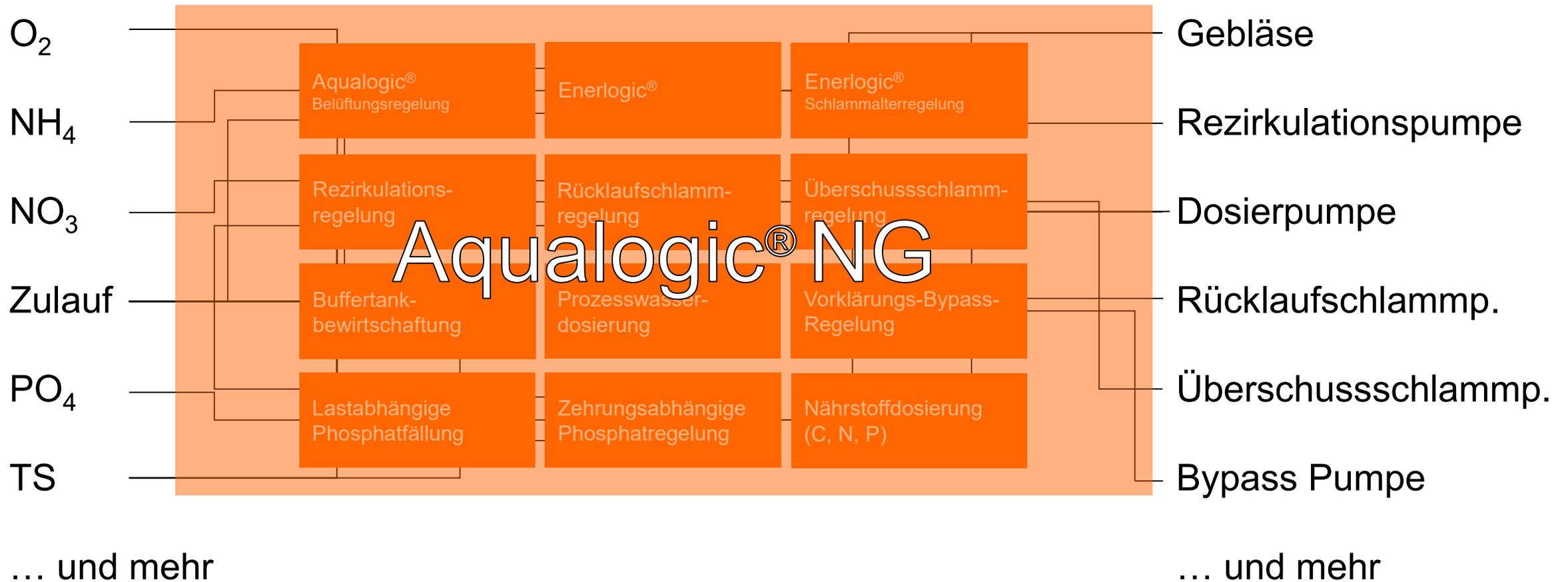
Regelungsarten	Regelungsstrukturen	Höhere Regelungsmethoden
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Selbsttätige Regelung</li><li>■ Handregelung</li><li>■ Festwertregelung</li><li>■ Folgeregelung</li><li>■ Zeitgeführte Regelung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Mehrpunktregelung</li><li>■ Kaskadenregelung</li><li>■ Verhältnisregelung</li><li>■ Regelung mit Störgrößenaufschaltung</li><li>■ Ablöseregulation (Override)</li><li>■ Regelung mit Bereichsaufspaltung (split range)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Fuzzy</li><li>■ Neuronale Netze</li><li>■ Internal Model Control</li><li>■ Prädiktive Verfahren</li><li>■ Zustandsregelung</li></ul>

Bild 4-34 Regelungsarten, -strukturen und -methoden

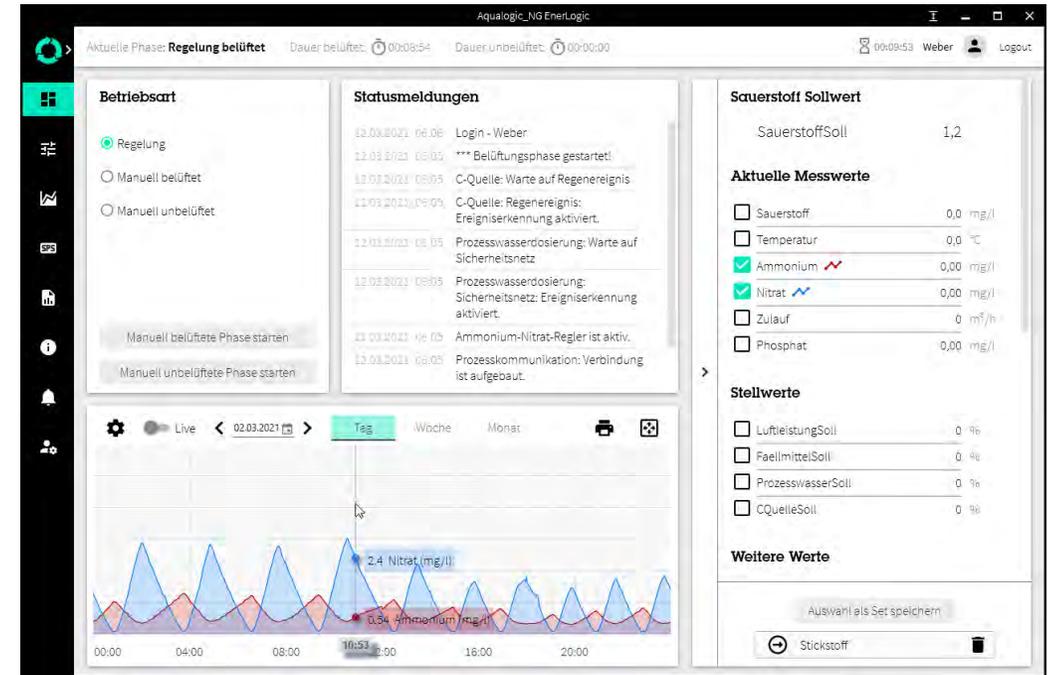


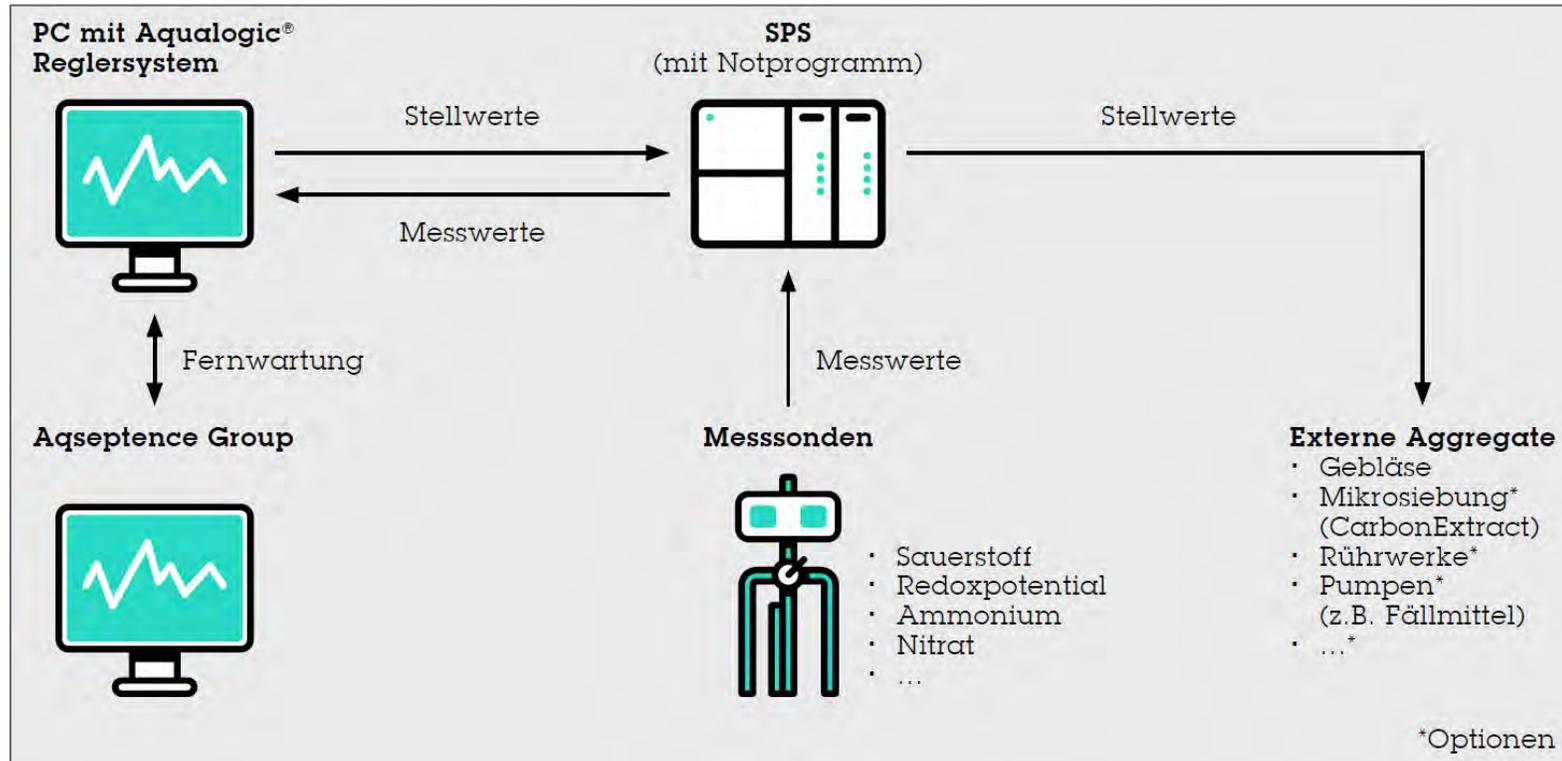




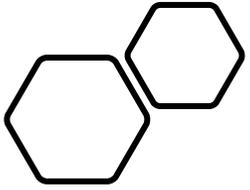


- Volldurchmischte Belebungsbecken
  - Rohrreaktor
  - SBR-Reaktoren
  - Umlaufbecken
  - Kaskaden
  - Belüftete Abwasserteiche
- 
- Belüftungsarten: Druckbelüftung, Oberflächenbelüftung
  - Denitrifikationsarten: Intermittierend, Simultan, vorgeschaltete Denitrifikation
  - Sensorik: Redoxpotential, Sauerstoff, Ammonium, Nitrat, Phosphat, ...





- „Aqualogic®“ läuft unter Windows Betriebssystem von Microsoft
- Standardprogramm wie z.B. Microsoft Excel
- Softwareschnittstelle OPC
- Einfache Ankopplung an SPS oder Prozessleitsystem



# Installationsbeispiele

10/5/2022



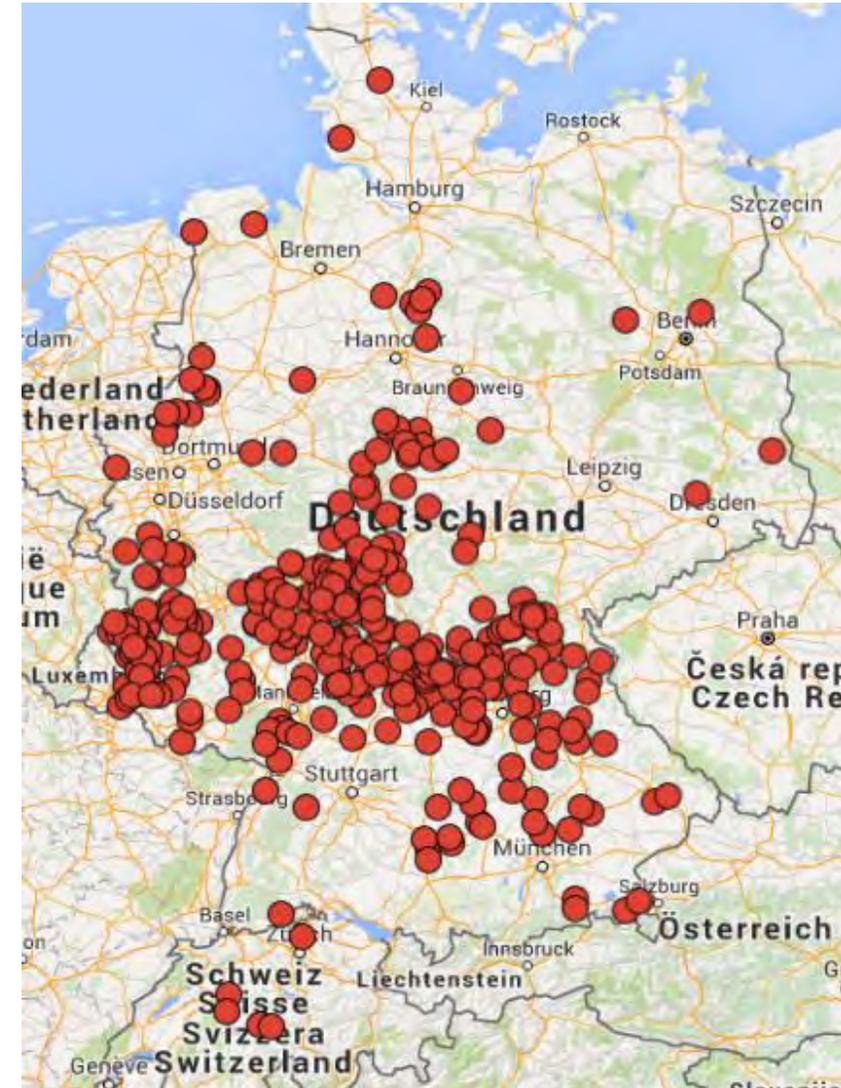
**Aqseptence  
Group**

Mehr als 400 Installationen

Größe: 300 – 1.200.000 EW  
(45 – 360.000 m<sup>3</sup>/d)

Typische Gesamt-N-Reduktion: - 30 %

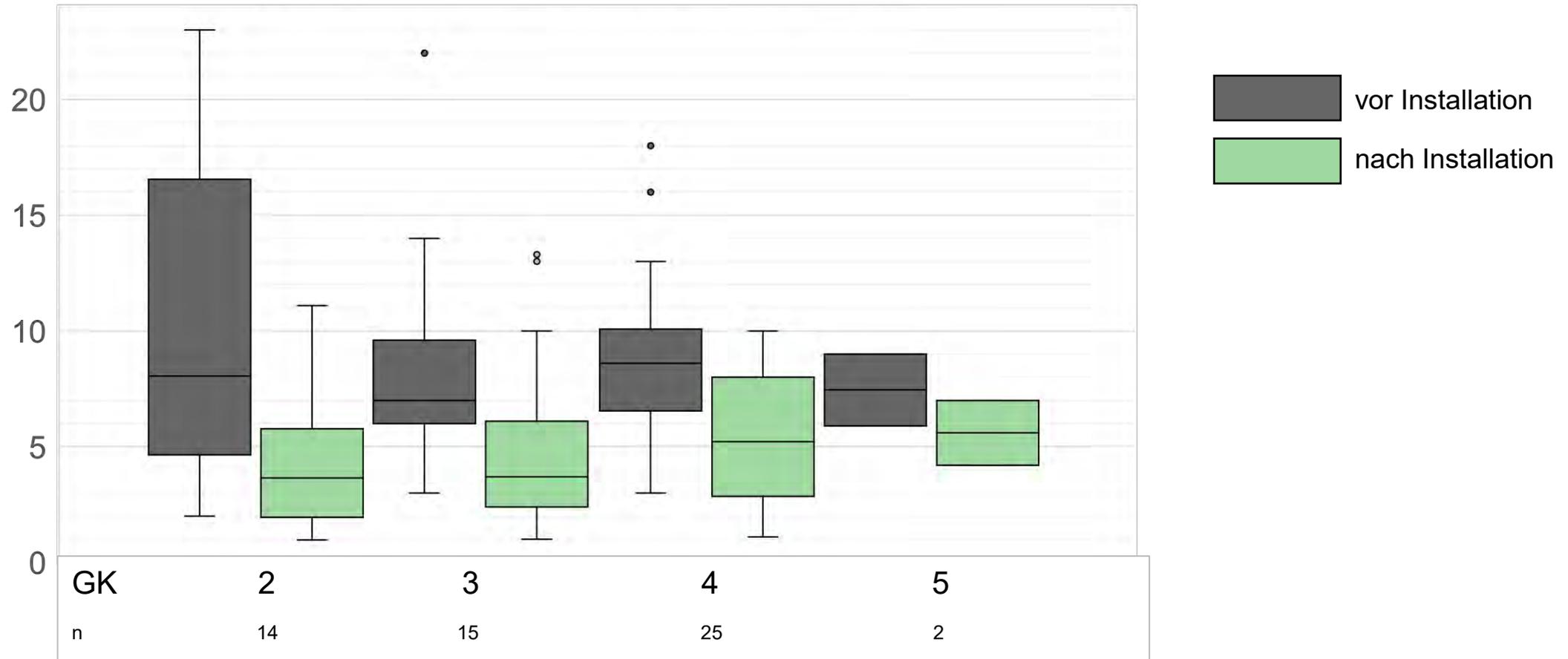
Typische Energieeinsparung: 10 - 20 %



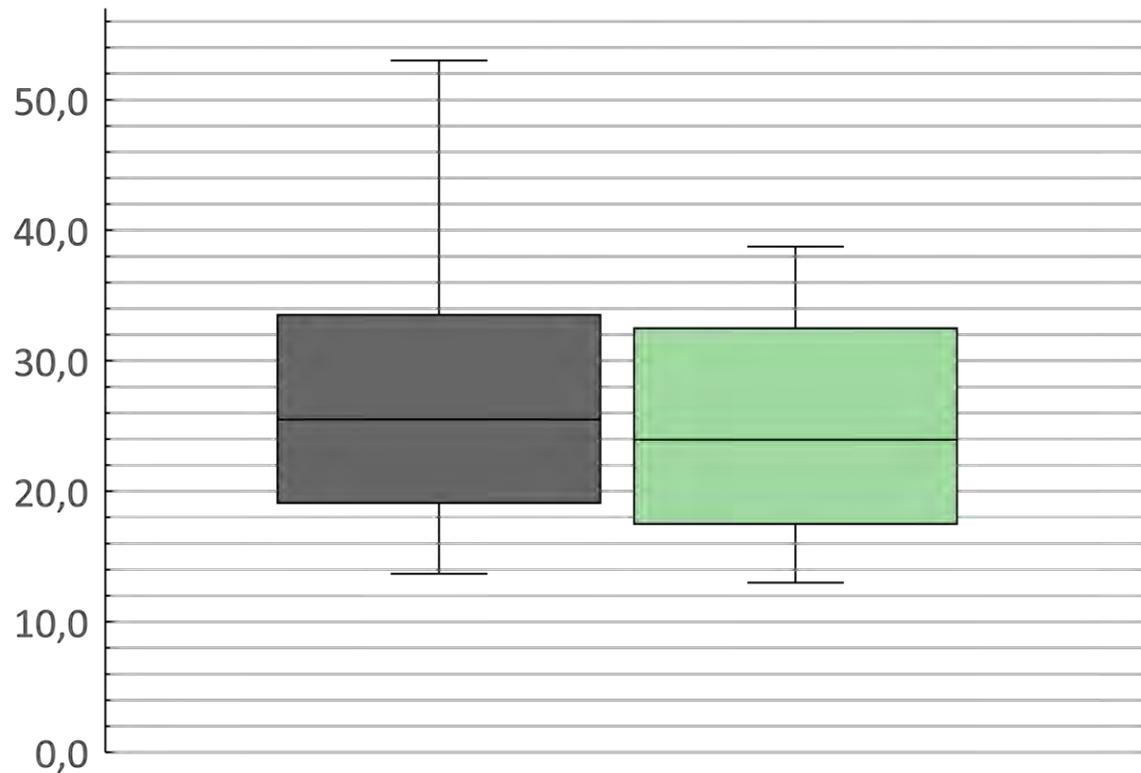
# Aqualogic® – Installationen

## Reduktion der $N_{ges}$ -Ablaufwerte

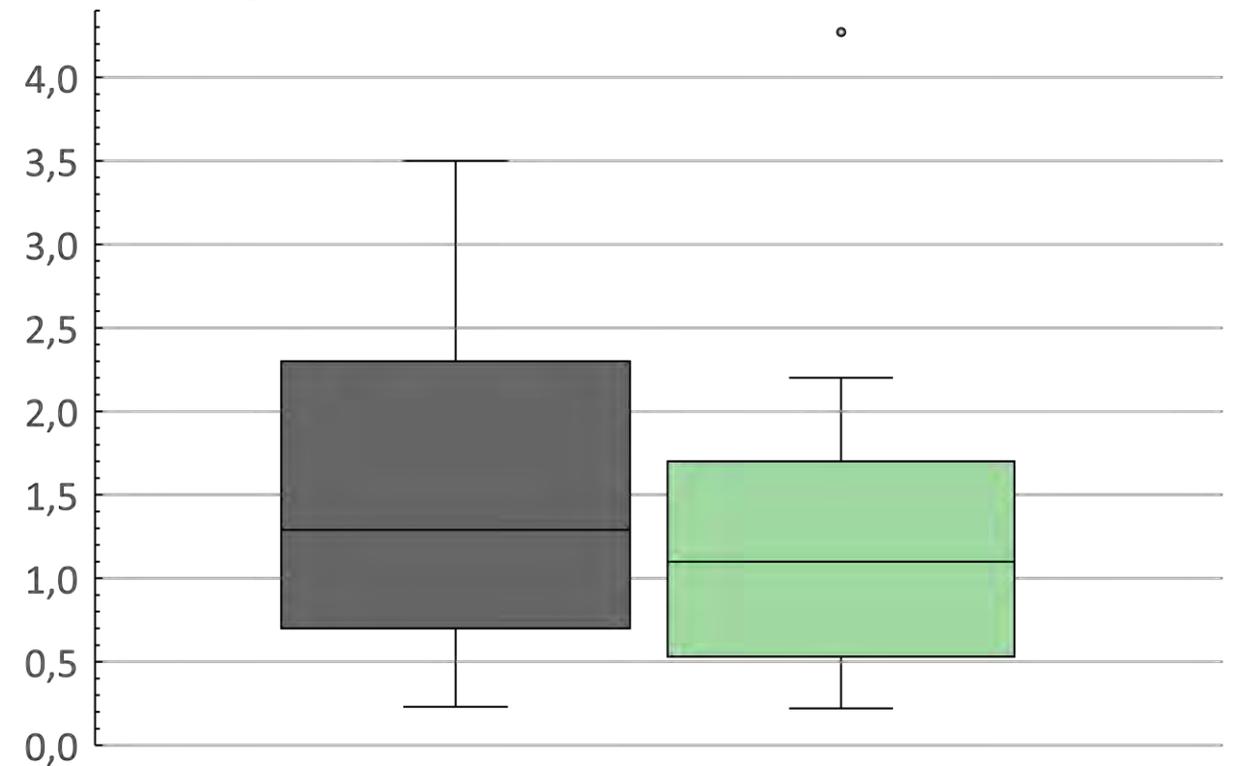
$N_{ges}$  [mg/l] vor / nach Installation Aqualogic



CSB [mg/l] ohne / mit Aqualogic n =29



$P_{ges}$  [mg/l] ohne / mit Aqualogic n =31



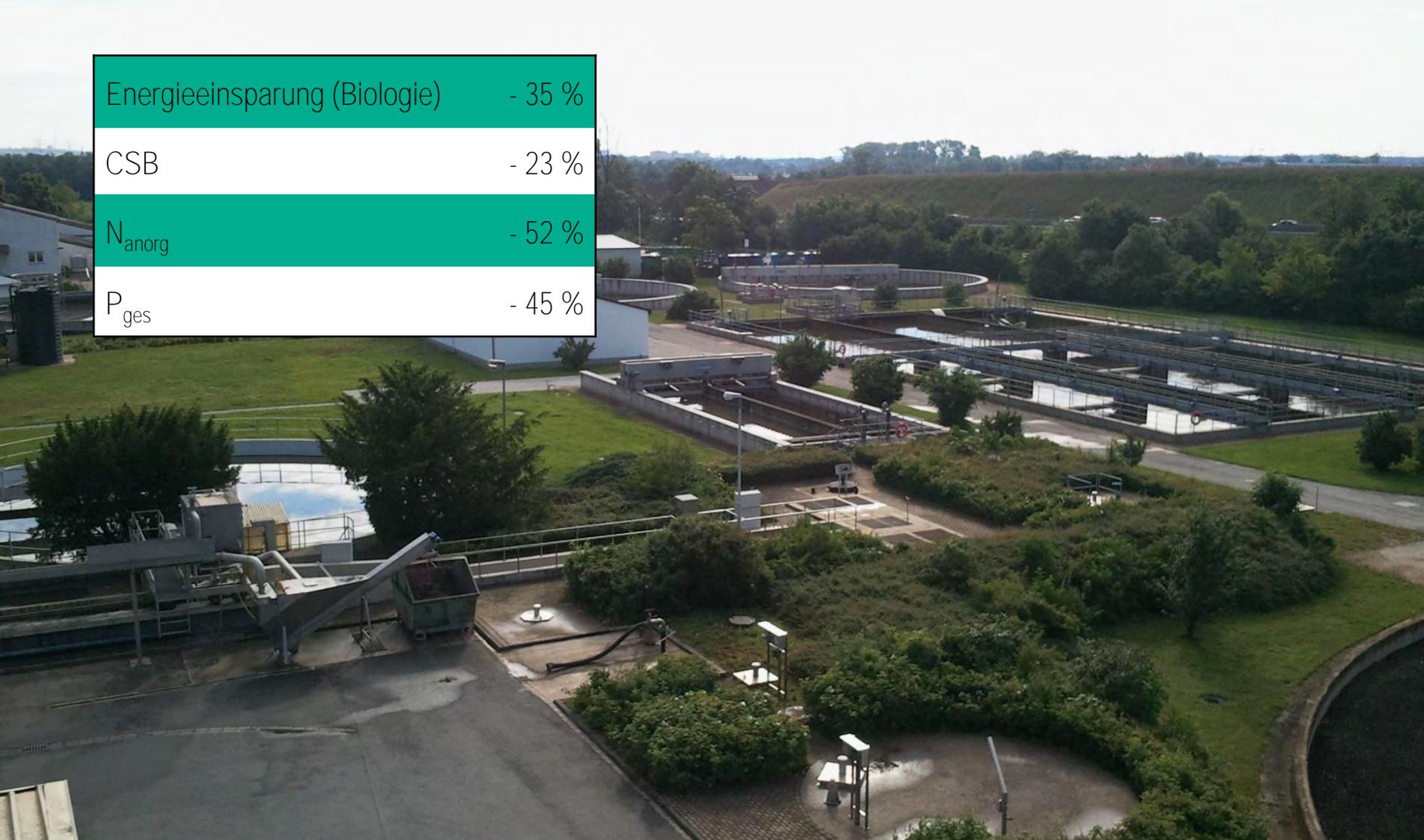
# Kläranlage Ginsheim-Gustavsburg

## 32.000 EW



Aqseptence  
Group

Energieeinsparung (Biologie)	- 35 %
CSB	- 23 %
N <sub>anorg</sub>	- 52 %
P <sub>ges</sub>	- 45 %



## Reinigungsleistung vor / nach Inbetriebnahme Aqualogic



Zeitraum	Mittlere Wassertemperatur	CSB Abbaurrate	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Abbaurrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Ablaufwert	N <sub>ges</sub> Abbaurrate
01.08.-12.10.	20,0 °C	99,7 %	99,7 %	4,5 mg/l	94,7 %
14.10.-09.12.	13,7 °C	99,7 %	99,7 %	1,4 mg/l	99,7 %

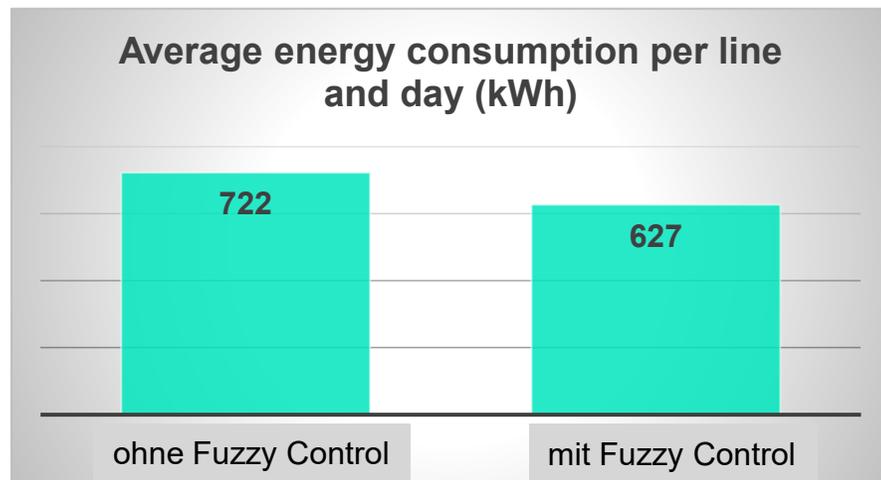
Foto links: Luftbild der KA Oschersleben mit Baustelle der Faulung (Sommer 2021)

Belegung: zwei Kombibecken mit Druckbelüftungssystem: drei Turbogebälse mit Sammelluftleitung und je einem Blendenregulierschieber pro Becken.

Aqualogic® + Enerlogic® mit Ammonium-Nitrat-Regler plus Modul “Alternierende Belüftung“ für optimale Nutzung der Turbogebälse und Vermeidung von Spitzen im Stromverbrauch.

Installation auf separatem Industrie-PC, Fernwartungszugang per VPN

Mehrmonatiger Vergleichsbetrieb auf einer Straße im Vergleich zu bisheriger SPS-Regelung

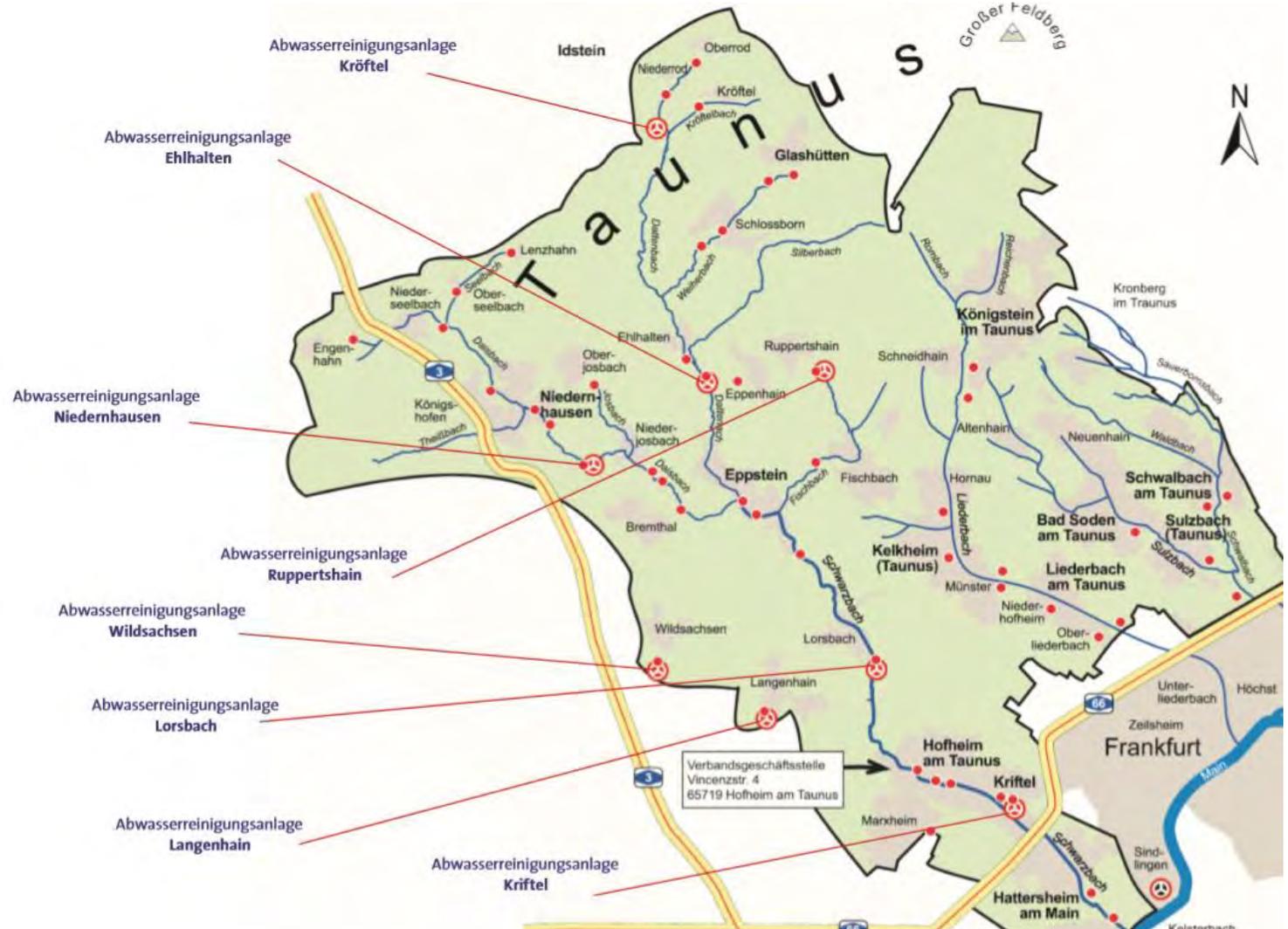


13 % Energieeinsparung (69.000 kWh/a) bei gleichzeitiger Verbesserung der Reinigungsleistung

# Passavant® Verfahrenstechnik für die biologische Abwasserbehandlung Aqualogic® - Beispiel

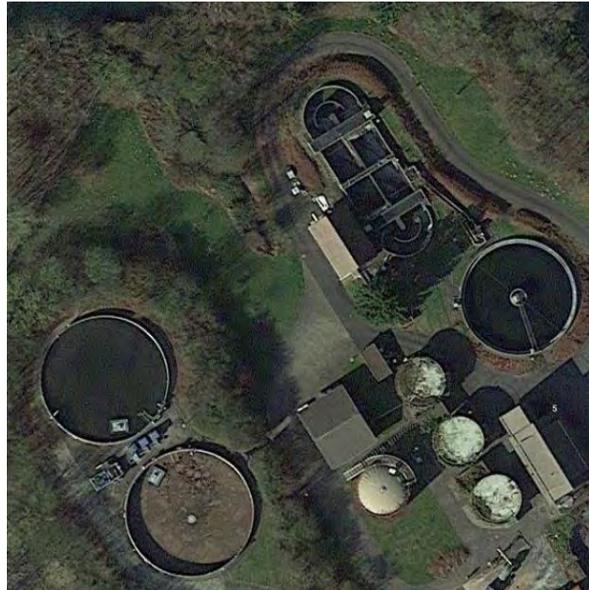
## Abwasserverband Main-Taunus, Deutschland

- 9 Kläranlagen
- 1.800-49.200 EW
- Kombibecken/  
Rund- und Längsbecken
- Aqualogic / Enerlogic



# Kläranlage Rhumspringe

## 8.800 EW, zwei SBR-Becken - Installation 2007



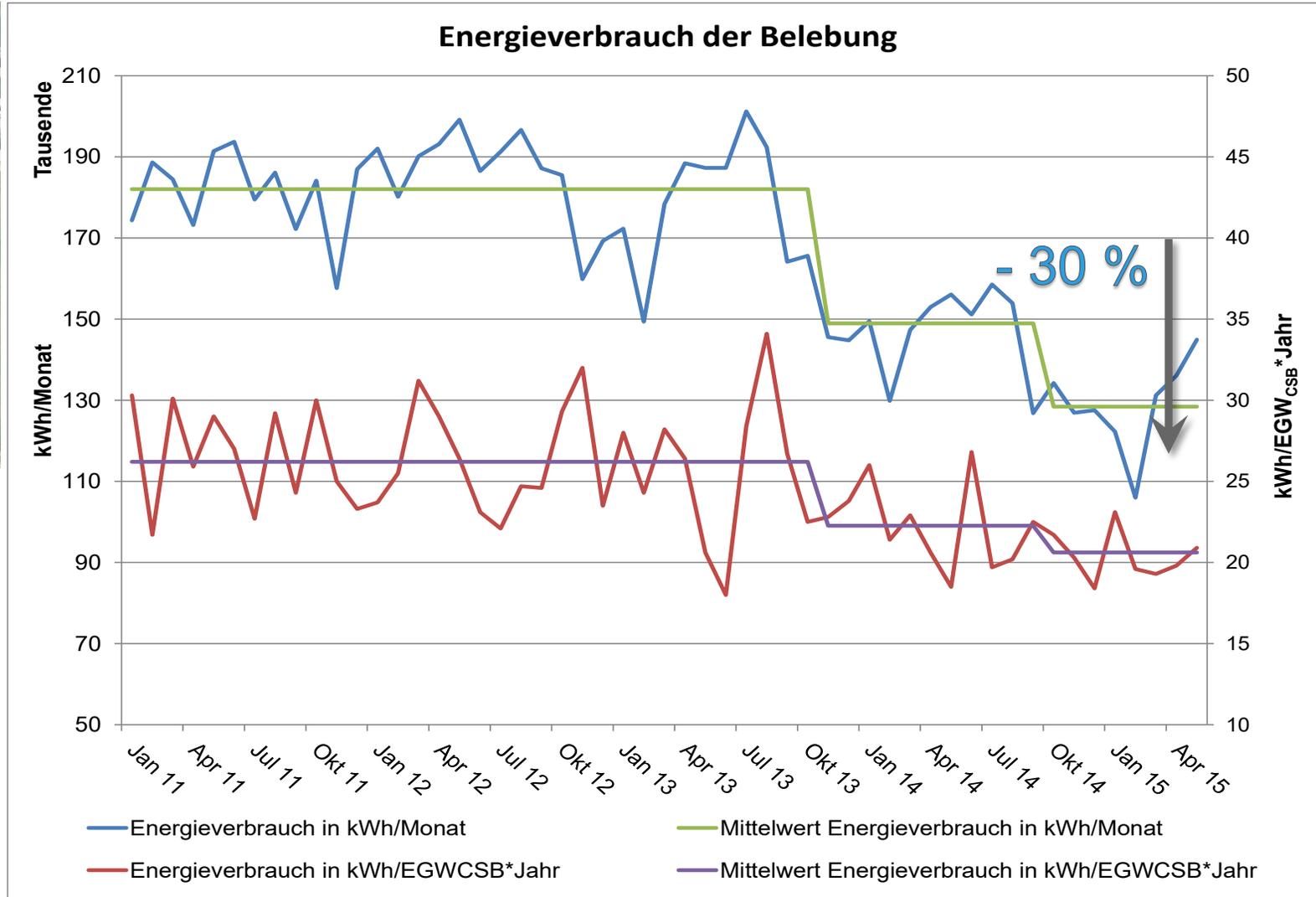
### Ablaufwerte vor / nach Inbetriebnahme Aqualogic:

	Ø bis 2006*	Ø ab 2007*	Veränderung
Ablauf $NH_4^+$ [mg/l]	<0,2	<0,2	-
Ablauf $N_{anorg.}$ [mg/l]	3,0	1,6	-48%
Ablauf $N_{total}$ [mg/l]	5,0	3,4	-25%
Ablauf $PO_4 ges.$ [mg/l]	<1,0	<1,0	-
Eliminationsrate Organik	98%	99%	
Eliminationsrate $N_{total}$	93%	95%	

Nach Einbau der AeroStrip®-Belüfter und Inbetriebnahme der Aqualogic® Regler Ende 2006 hat sich der Stromverbrauch (in Verbindung mit weiteren Maßnahmen) im Schnitt um ca. 25% reduziert, das entspricht > 110.000 kWh/a bzw. > EUR 10.000/a.

#### Ausrüstung

- 2 x Aqualogic® Regler mit Ammonium/Nitrat-Regler, installiert auf bauseitigem PLS-Rechner.
- 2 x 39 AEROSTRIP® Streifenbelüfter der Type T4,0, zusammengefasst in 2 x 13 Gruppen.



# Kläranlage Winterhausen

## 95.000 EW

Größe:	95.000 EGW
Anlagenstruktur:	vorgeschaltete Deni, Kaskadenbelebung
Zulauf <sub>TW</sub> :	6.000 m <sup>3</sup> /h
Zulauf <sub>RW</sub> :	50.000 m <sup>3</sup> /h

Abwasser 50% häuslich, 50% Industrie (Milch, Brauerei)

### Aqualogic<sup>®</sup>-Reglersystem:

- Belüftungsregelung, dynamische Druckregelung
- Alternierende Belüftung
- Belüftungsstöße
- Rezirkulation
  
- Optimierung des biologischen Reinigungsprozesses ( $N_{ges}$ )
- Reduzierung von Stromspitzen
- Reduzierung der Start/Stopps der Turboverdichter
- Stromeinsparung der Biologie um 30% (20% Belüfter, 10% Aqualogic<sup>®</sup>)



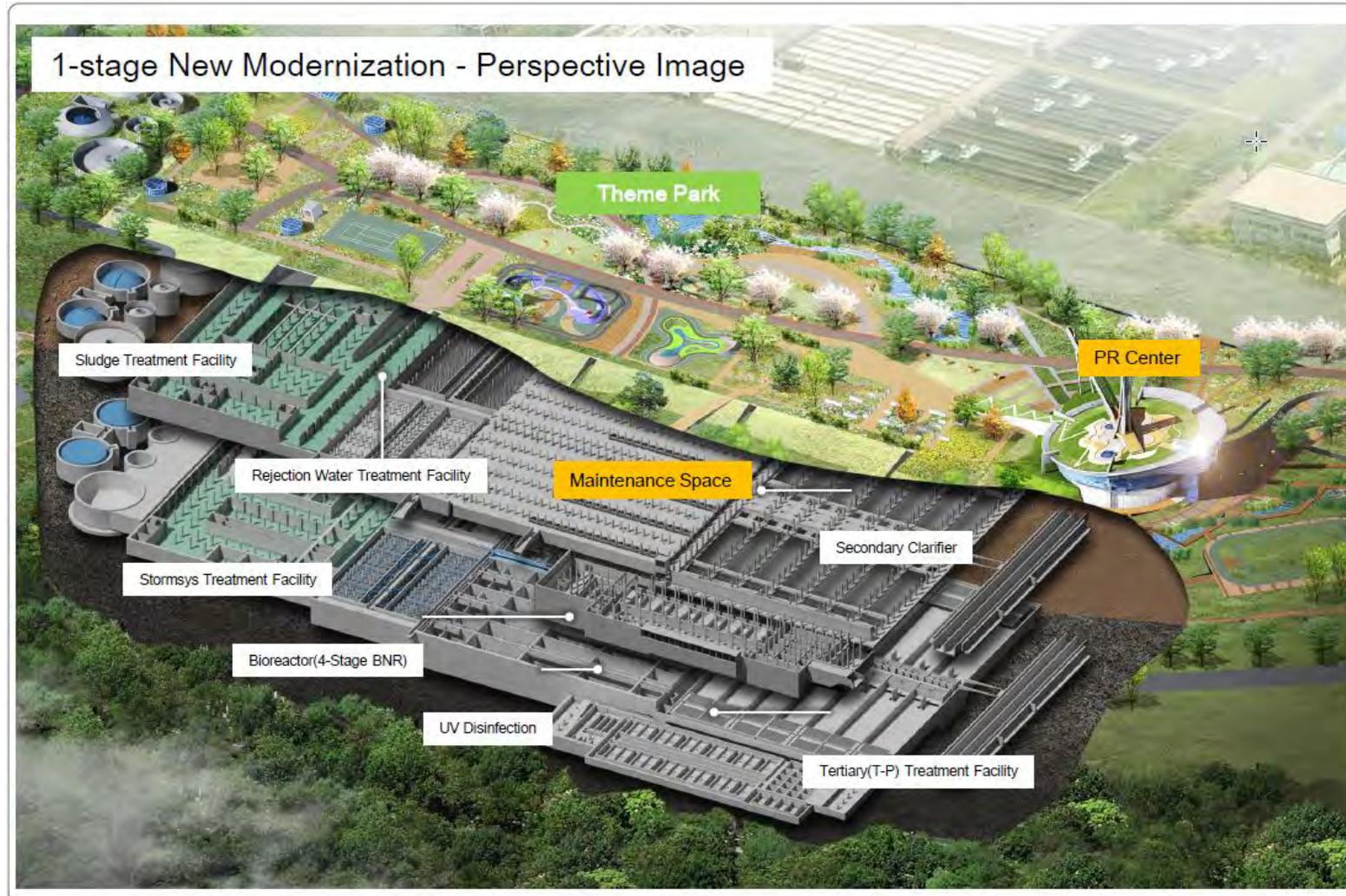
# Kläranlage SeoNam

1.2 Mio EW



Aqseptence  
Group

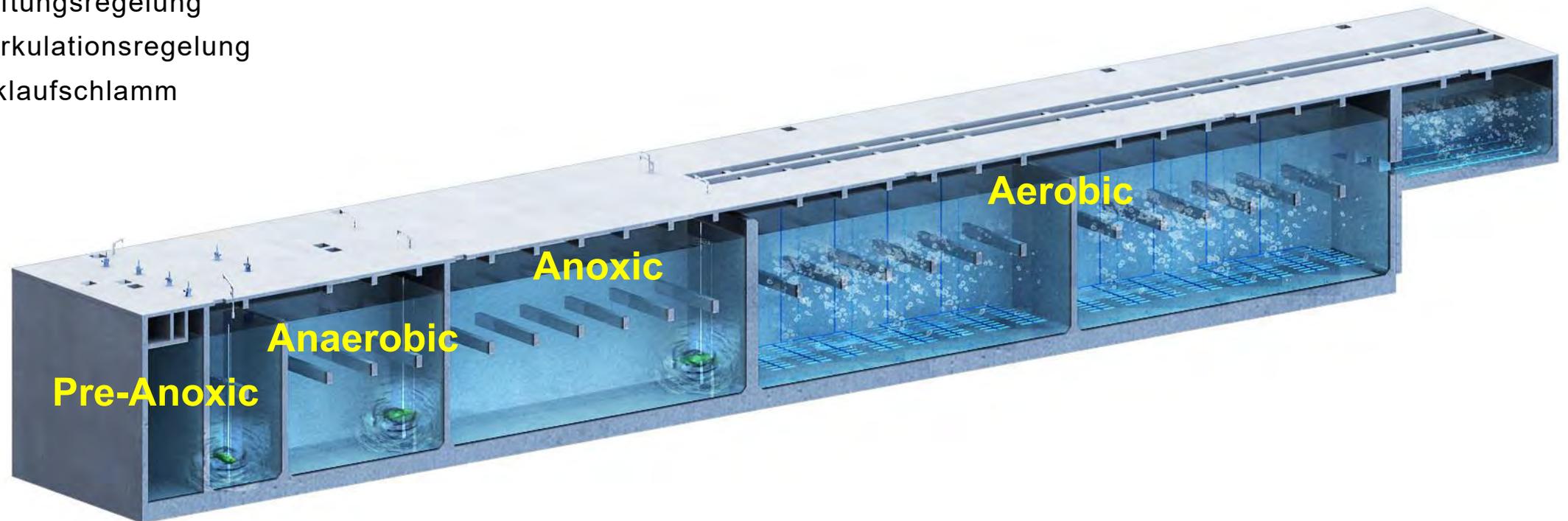




Zulauf: 360.000 m<sup>3</sup>/d  
Anlagenstruktur: vorgeschaltete Deni, 12 Straßen

## Aqualogic®-Reglersystem:

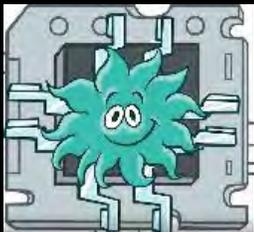
- Belüftungsregelung
- Rezirkulationsregelung
- Rücklaufschlamm





**Aqseptence  
Group**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



**Passavant-Geiger GmbH**

**Vertriebsgebiet: Mitte/Süd/West**  
Dipl.-Ing. Thomas Pfeiffer

Tel.: 06101 5581 32  
[thomas.pfeiffer@passavant-geiger.com](mailto:thomas.pfeiffer@passavant-geiger.com)

**Passavant-Geiger GmbH**

Kettelerstraße 5-11  
97222 Rimpar

Tel.: 09365 8082 60  
[info.aqualogic@passavant-geiger.com](mailto:info.aqualogic@passavant-geiger.com)