

Energieeffizienz in der kommunalen Abwasserwirtschaft

Jens Alex

ifak - Institut für Automation und
Kommunikation, Magdeburg

Werner-Heisenberg-Straße 1
39106 Magdeburg
+49 39199 01469
+49 39199 01471
jens.alex@ifak.eu

Vorstellung des ifak ...

Institut für Automation und
Kommunikation e.V.

Institutsleiter: Prof. U. Jumar
E-Mail: ulrich.jumar@ifak.eu



Werner-Heisenberg-Str. 1
39106 Magdeburg



(0391) 990140



(0391) 9901590

<https://www.ifak.eu>



Denkfabrik im Wissenschaftshafen Magdeburg
(beim Sommerhochwasser 2013)

Institut der angewandten Forschung

- Gemeinnütziger Verein ifak e.V. als Rechtsträger, 1991 gegründet
- Organe: Mitgliederversammlung, Vorstand und ein Kuratorium mit 20 Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik
- An-Institut der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg seit 1993
- Drei Unternehmensausgründungen aus dem Forschungsinstitut



Verkehr & Assistenz



Informations- und Kommunikationstechnologie & Automation



Wasser & Energie



Messtechnik & Leistungselektronik

- Kanalnetze
- Kläranlagen
- Smart Grid
- Biogas
- Integrierte Planungswerkzeuge
- IT-Sicherheit kritischer Infrastrukturen

Entwicklung von Simulationssystemen

- SIMBA seit 1994
- SIMBA[#], SIMBA classroom seit 2013



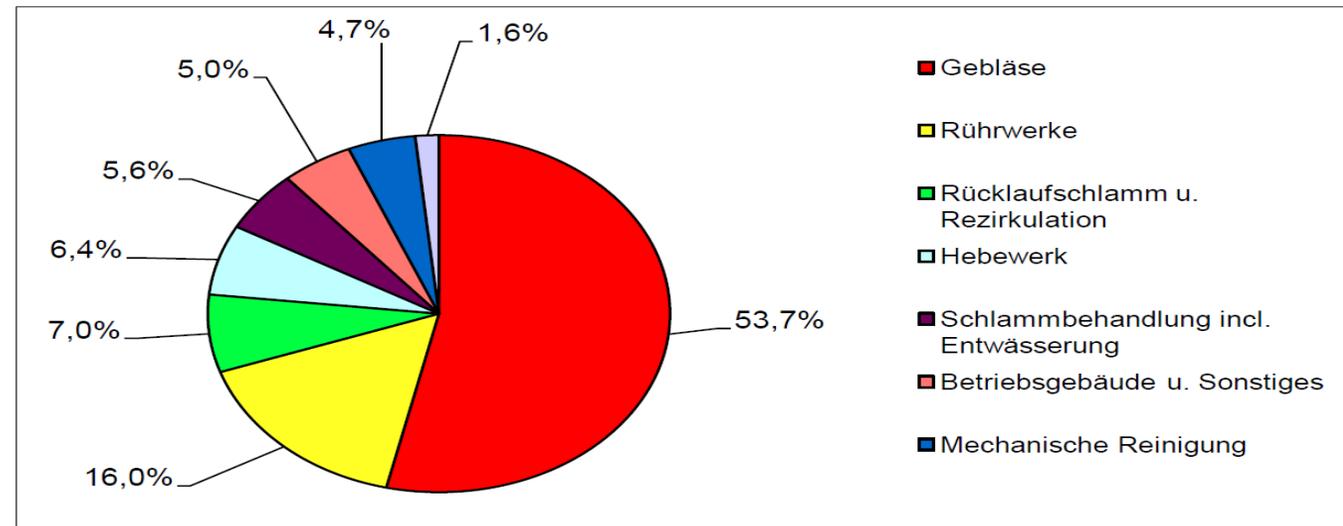
- Motivation
- Mechanismen zur Energieeinsparung auf Kläranlagen
 - Optionen
 - Randbedingungen, Grenzen
- Integrierte Planung mit Simulation
- Beispiele
 - Varianten Belüftungsregelung
 - Energieanalyse mit Simulation
- Zusammenfassung

Energieeffizienz in der kommunalen Abwasserwirtschaft

- Kläranlage als größter kommunaler Energieverbraucher
- Steigende Energiekosten
- Zunehmende Anforderungen an wirtschaftlichen Betrieb
- Reinvestitionen Ausrüstung

Möglichkeiten:

- Reduktion Energieverbrauch
- Energiemanagement
- Tarifgestaltung
- Eigenenergieerzeugung
 - Faulgasverstromung
 - Erneuerbare Energien



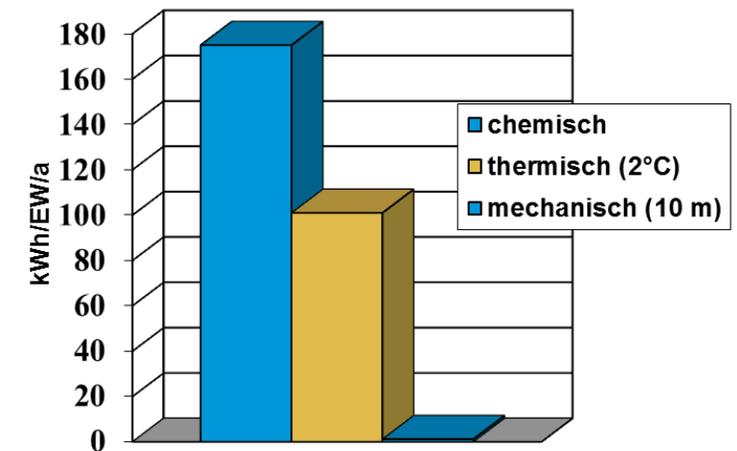
Beispielanlage (aerobe Schlammstabilisierung)

Quelle: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2011

Ablaufwerte haben Priorität!

Mechanismen zur Energieeinsparung

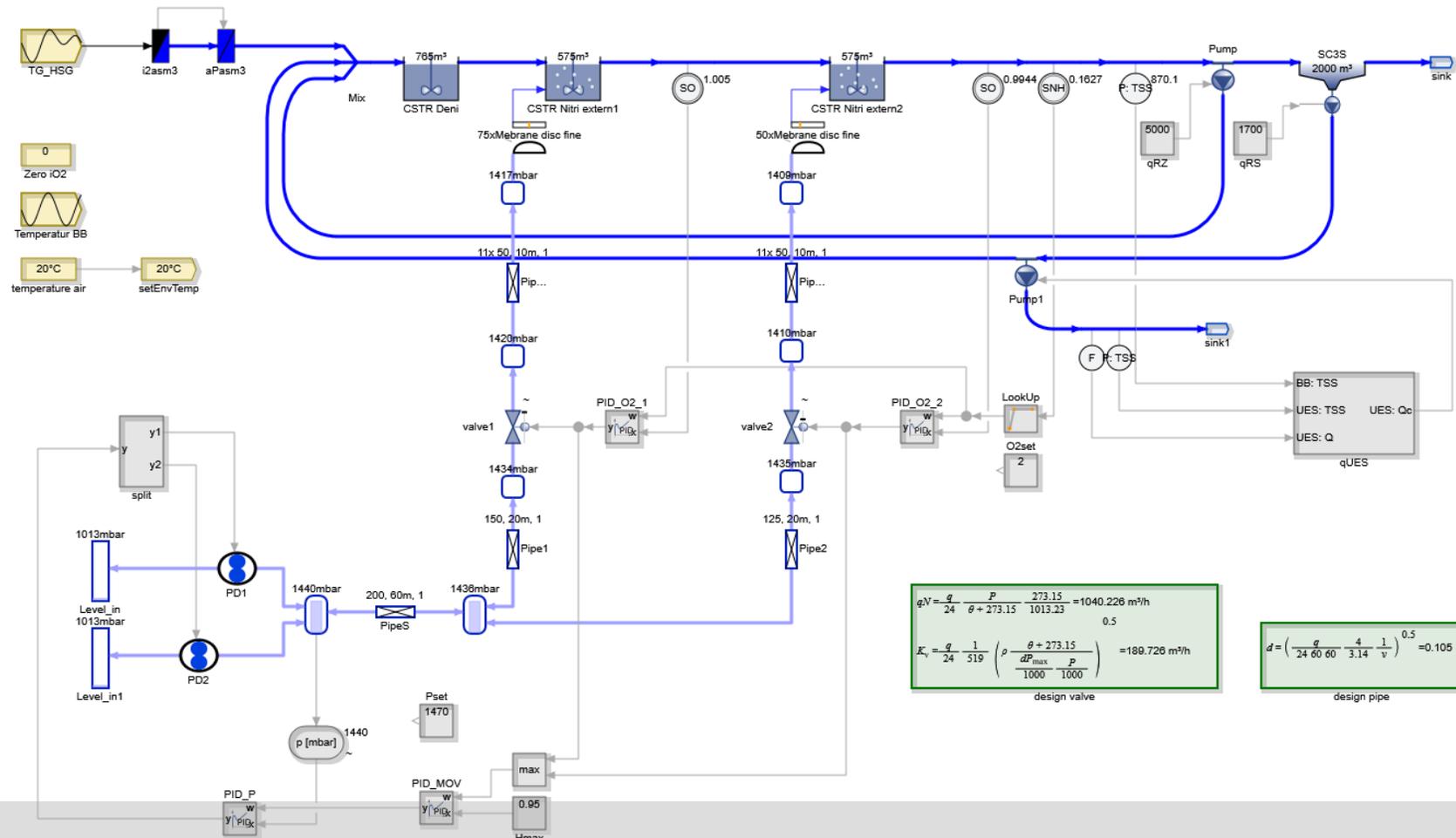
- Energiebedarf für die Bereitstellung des benötigten Sauerstoffs minimieren
 - Maximierung Wirkungsgrad Druckluftherzeugung
 - Minimierung des Luftüberschusses (großer Abstand von der O₂-Sättigung)
- Maximierung des zur Biogaserzeugung genutzten CSBs
 - optimale Nutzung der Vorklärung
 - Schlammalterregelung
- Minimierung des aerob oxidierten CSBs
 - Maximale Denitrifikation
- Optimierter Pumpenbetrieb (Mengen, Staffel)



Fast alle diese Maßnahmen können/müssen im Betrieb durch geeignete Automatisierungsfunktionen unterstützt werden!

Mechanismen zur Energieeinsparung Belüftungssystem

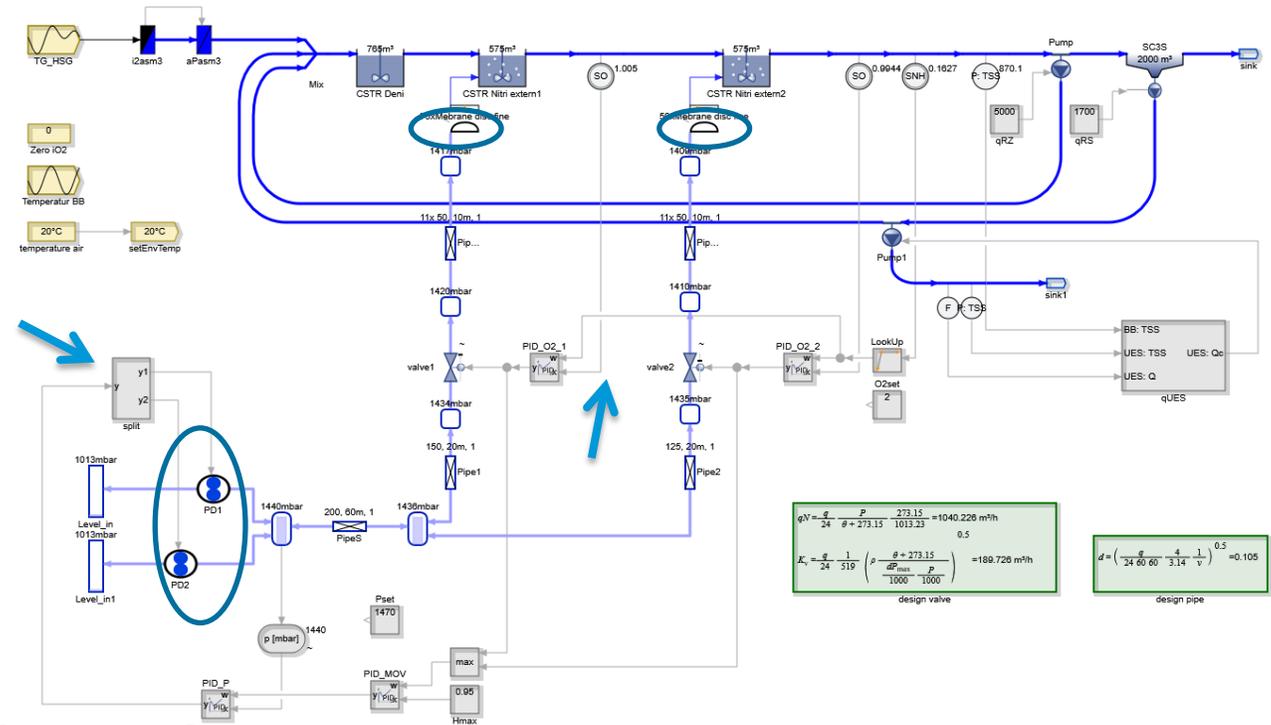
Optimierpotential liegt im Betrieb aller beteiligten Aggregate in Bereichen mit besserem Wirkungsgrad



Mechanismen zur Energieeinsparung Belüftungssystem

Optimierpotential liegt im Betrieb aller beteiligten Aggregate in Bereichen mit besserem Wirkungsgrad

- Verdichter
- Belüftungsmembrane
- O₂-Sollwerte
- Pumpenstaffel



Anpassbarkeit der Luftmenge

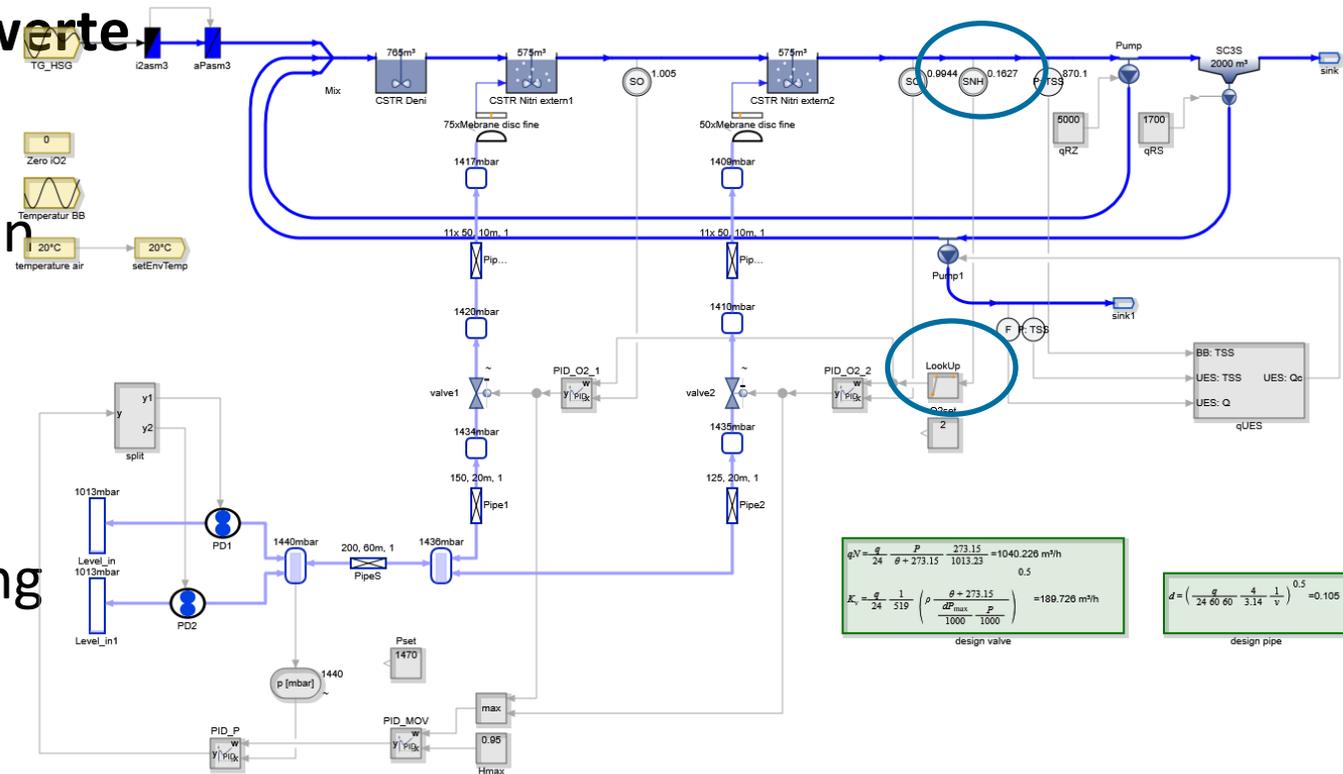
- Separate Regelkreise für parallele Straßen
- Mehrere Stell- und Messorte im Fließweg von Anlagen mit ausgeprägten Zehrungsprofilen

Mechanismen zur Energieeinsparung Verfahrensregler

Ziel von **Regelungen der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte**

bei gering belasteten Anlagen

- optimalen Nutzung des existierenden Becken-Volumens,
- Maximierung der N-Elimination, **Energieminimierung,**
- hohen mittleren Nitrifikationsleistung



und bei hoch belasteten Anlagen in der sicheren Einhaltung der Grenzwerte

- sichere Nitrifikation und
- Reduktion von Ablaufspitzen.

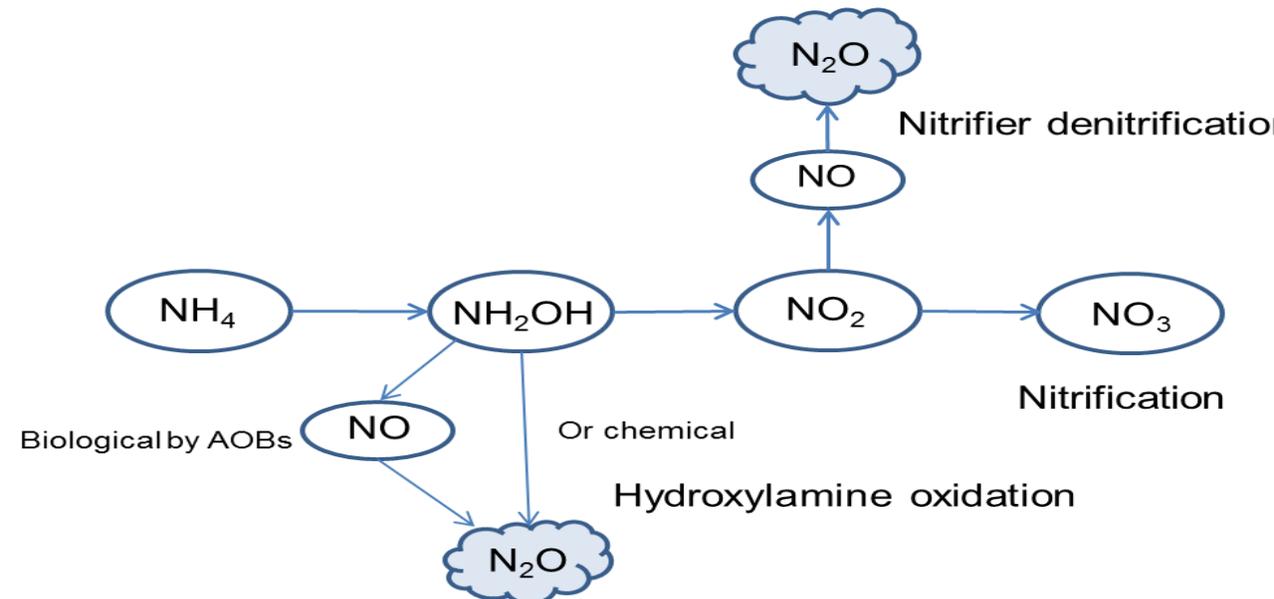
Rahmen:

- Sauerstoffbedarf für
 - zu oxidierenden TKN Fracht und
 - Rest-CSB Fracht, die nicht anoxisch oxidiert wurde (Denitrifikation)
- Bei gleichem Reinigungsziel resultieren Energieeinsparungen aus verbesserten Wirkungsgraden bei der Bereitstellung dieser Energie
- Potential O₂-Absenkung, ca. 10-15%
- „Einsparpotential“ durch Minimierung der nitrifizierten Fracht
- „Einsparpotential“ durch verringerte Stabilisierung



Schlammigenschaften, Nitrit, Lachgas

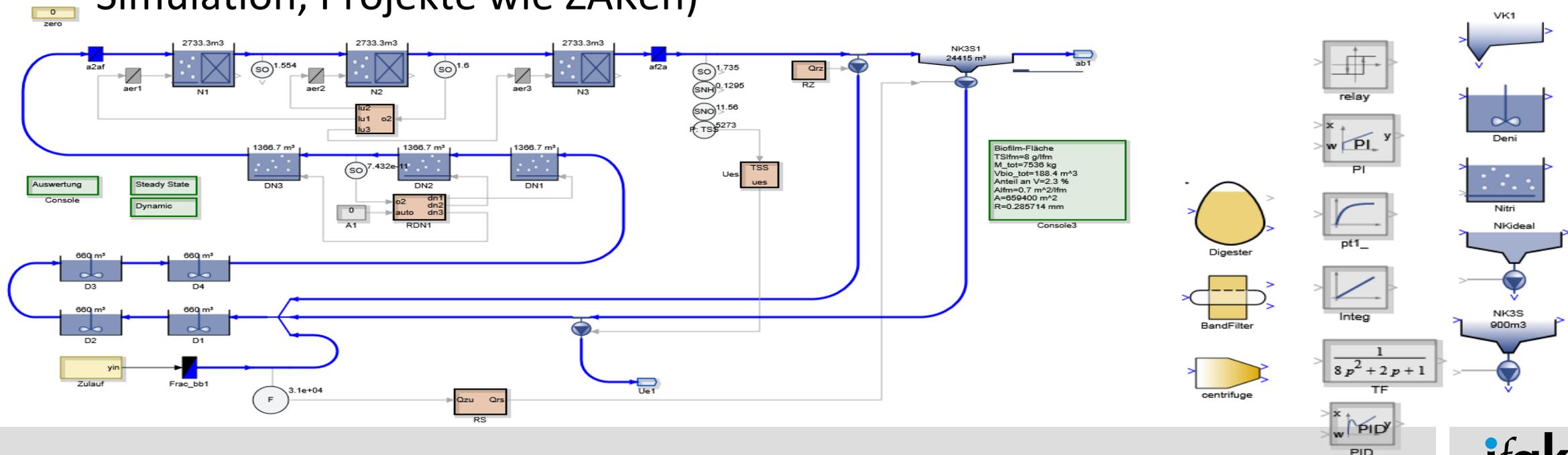
- Indikation, dass zu starke Absenkung von O_2 -Konzentrationen zur Verschlechterung der Absetzeigenschaften führt
- Schwache Belastung, geringe Konzentrationsunterschiede
- O_2 -Sollwerte nicht unter 0.5 mg/l
- Gefahr erhöhter Nitrit-Ablaufwerte
- Gefahr erhöhter Lachgasemissionen



- Vorteil Energieanalyse mit Simulation
 - Berücksichtigung der dynamischen Auswirkungen auf verfahrenstechnischen Prozesse
 - Änderungen in den Randbedingungen und in der Prozessführung können simuliert und damit Konzepte zur Verbesserung der Reinigungsleistung und Verringerung des Energieverbrauchs entwickelt werden.
 - Nutzung des vollen Energieeinsparpotentials durch Mitberücksichtigung Verfahrenstechnik
 - Keine Energieeinsparung auf Kosten der Ablaufwerte und Betriebsstabilität
- Integrierte Planung mit Simulation erfordert Modelle
 - Verfahrenstechnik
 - MSR Funktionalität
 - Ausrüstung: Sauerstoffversorgung, Pumpen

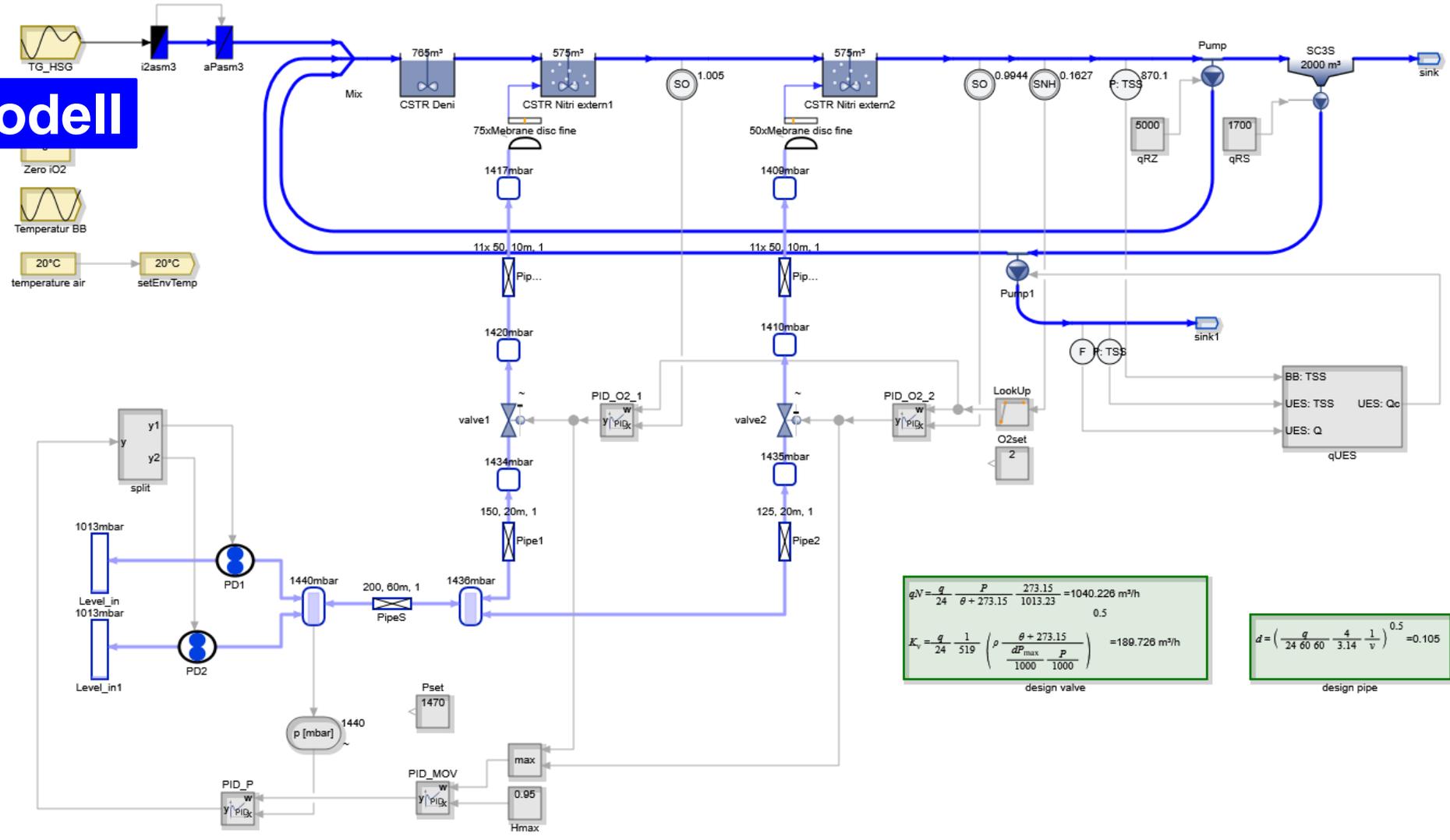
Verfahrenstechnische Modelle

- Belebtschlammmodelle (ASM3, ASM3biop)
- Absetzmodelle, etc.
- Methoden zur aufwandsarmen Nutzung der Simulation (HSG Simulation, Projekte wie ZAKen)



Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

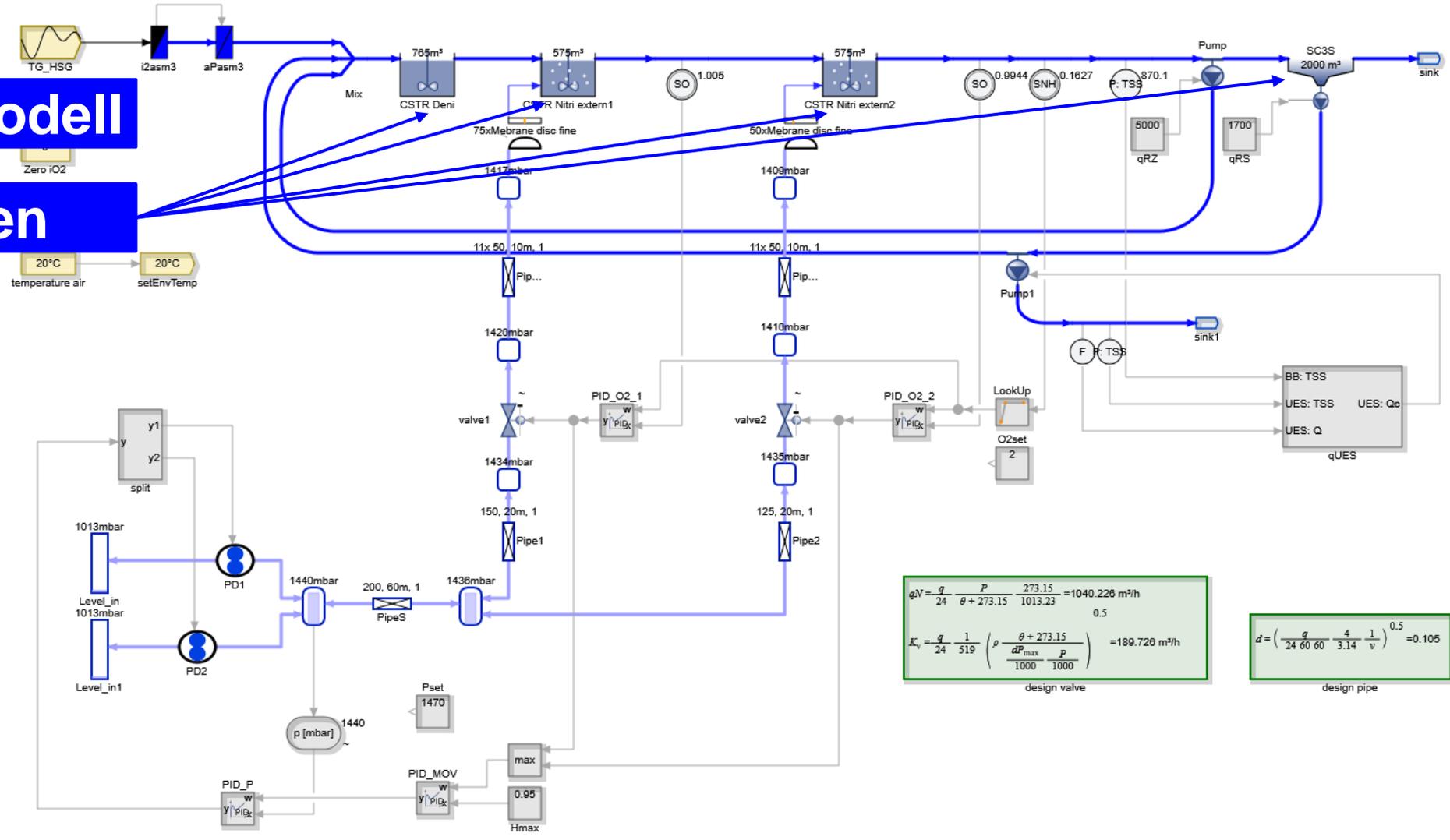
Zulaufmodell



Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

Zulaufmodell
Reaktoren



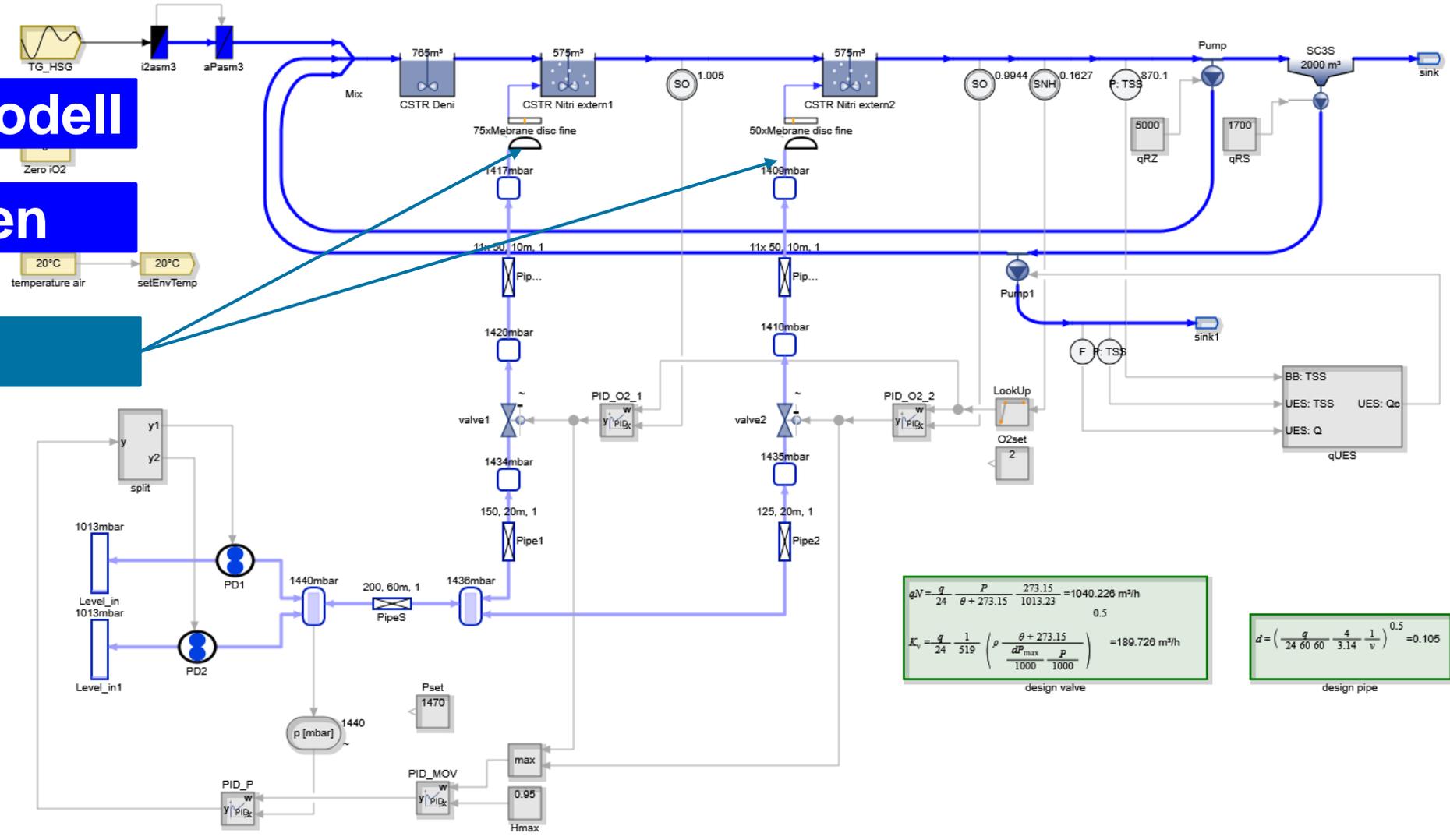
Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

Zulaufmodell

Reaktoren

Belüfter



Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

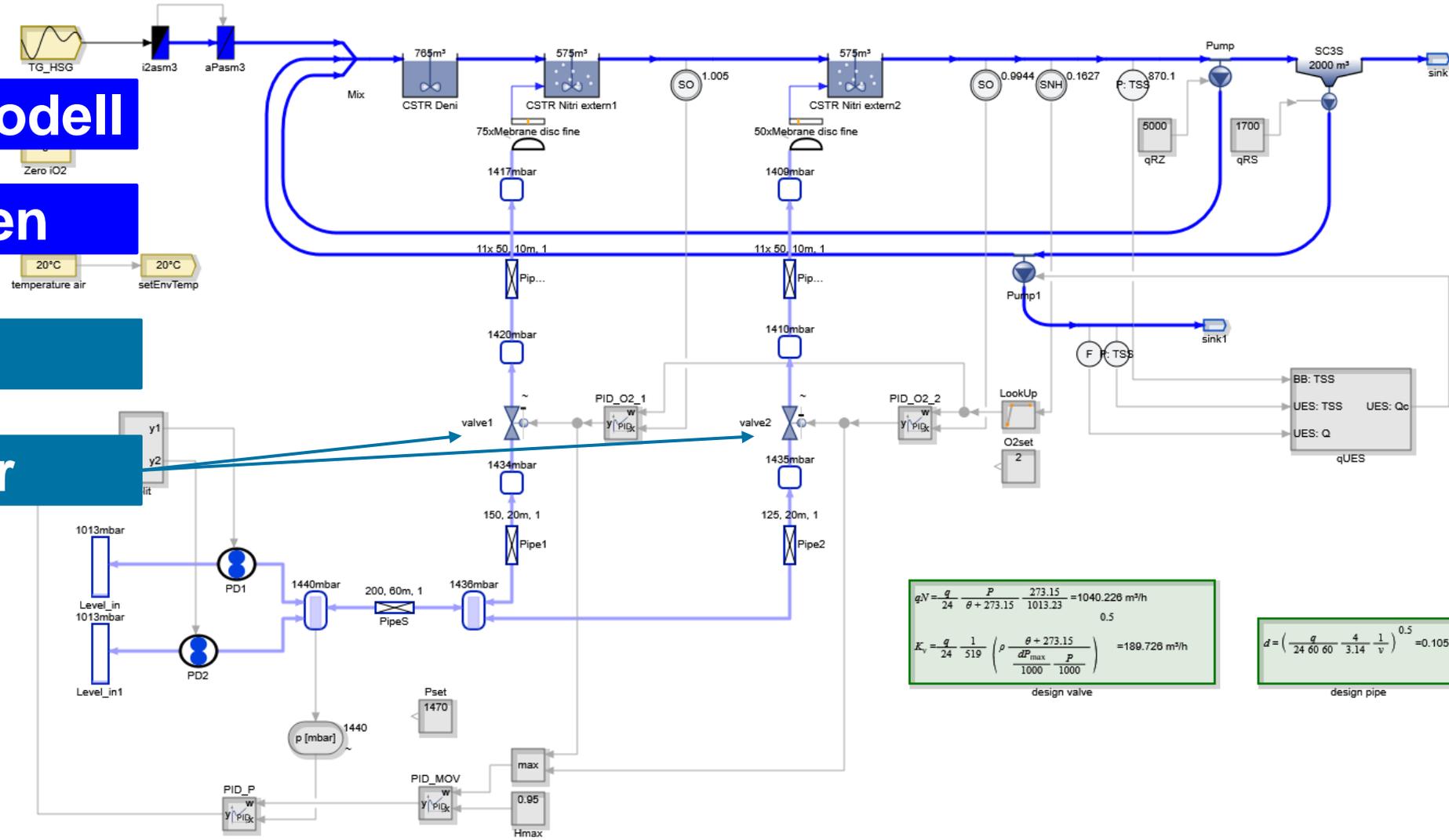
Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

Zulaufmodell

Reaktoren

Belüfter

Schieber



Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

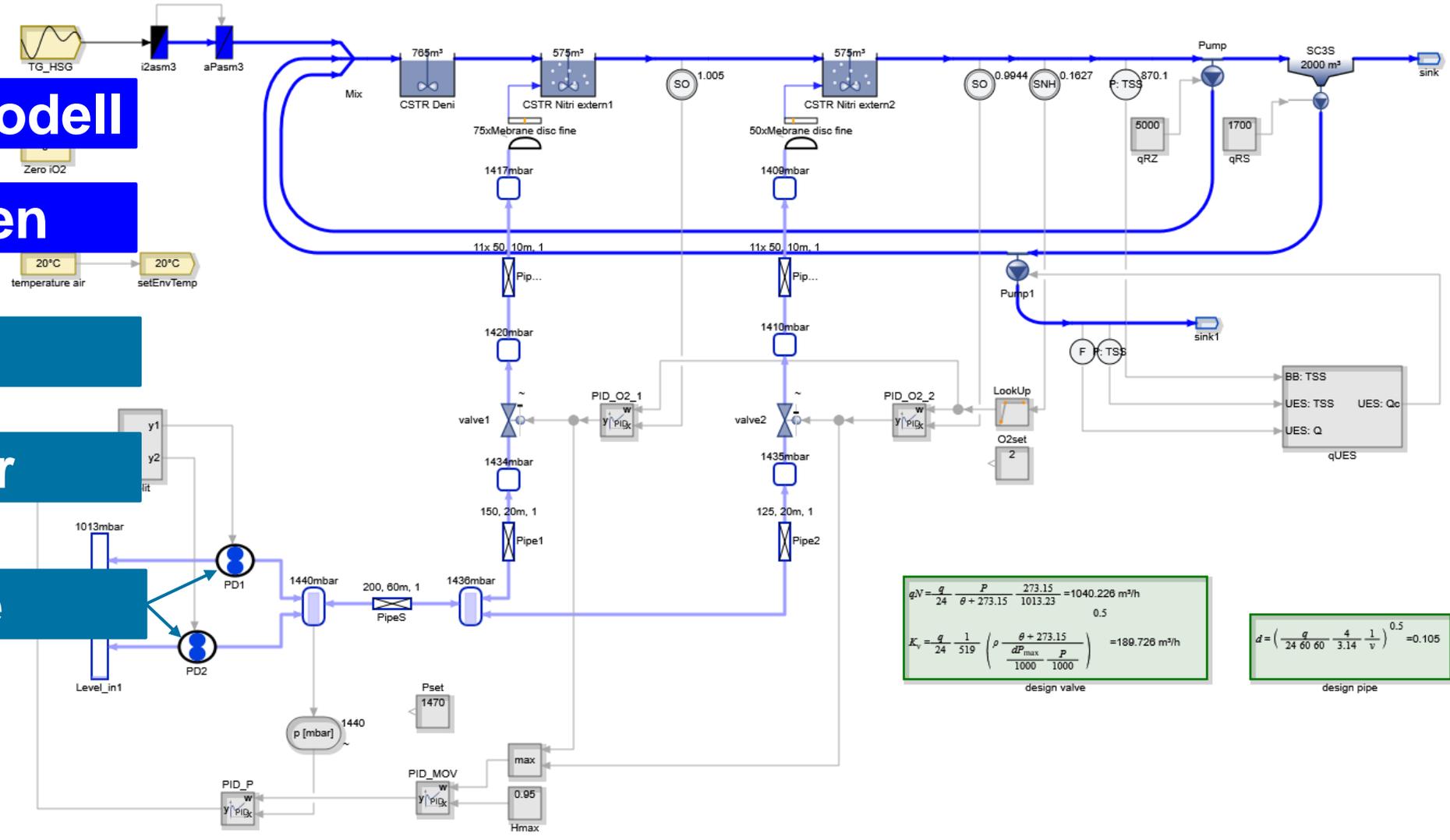
Zulaufmodell

Reaktoren

Belüfter

Schieber

Gebläse



Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

Zulaufmodell

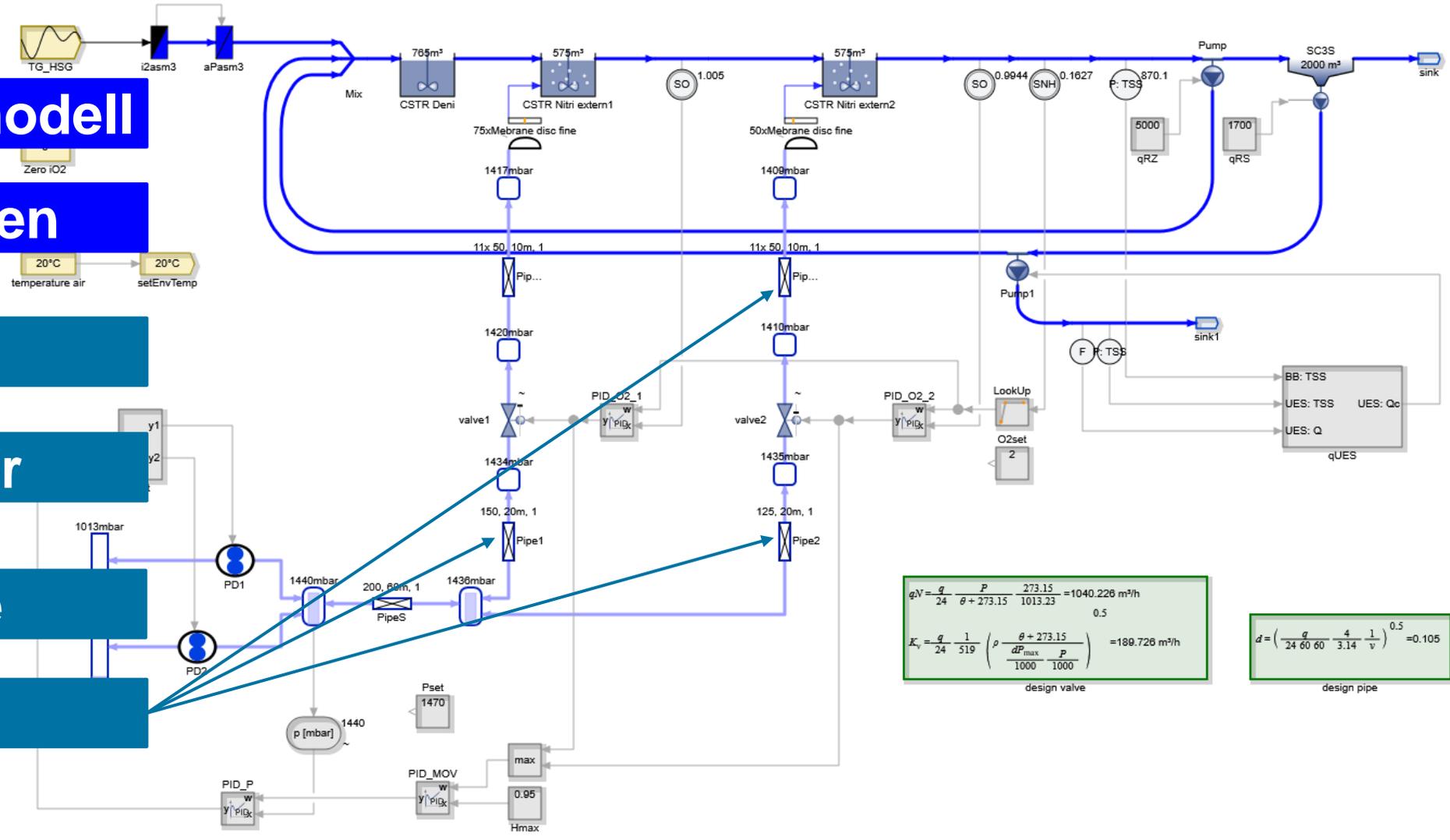
Reaktoren

Belüfter

Schieber

Gebläse

Rohre



$$qV = \frac{q}{24} \frac{P}{\theta + 273.15} = \frac{273.15}{1013.23} = 1040.226 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_v = \frac{q}{24} \frac{1}{519} \left(\frac{\rho + 273.15}{1000} \frac{P}{1000} \right) = 189.726 \text{ m}^3/\text{h}$$

design valve

$$d = \left(\frac{q}{24} \frac{1}{60} \frac{4}{3.14} \frac{1}{v} \right)^{0.5} = 0.105$$

design pipe

Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

Simulation als Hilfsmittel zur Energieoptimierung auf Kläranlagen

Zulaufmodell

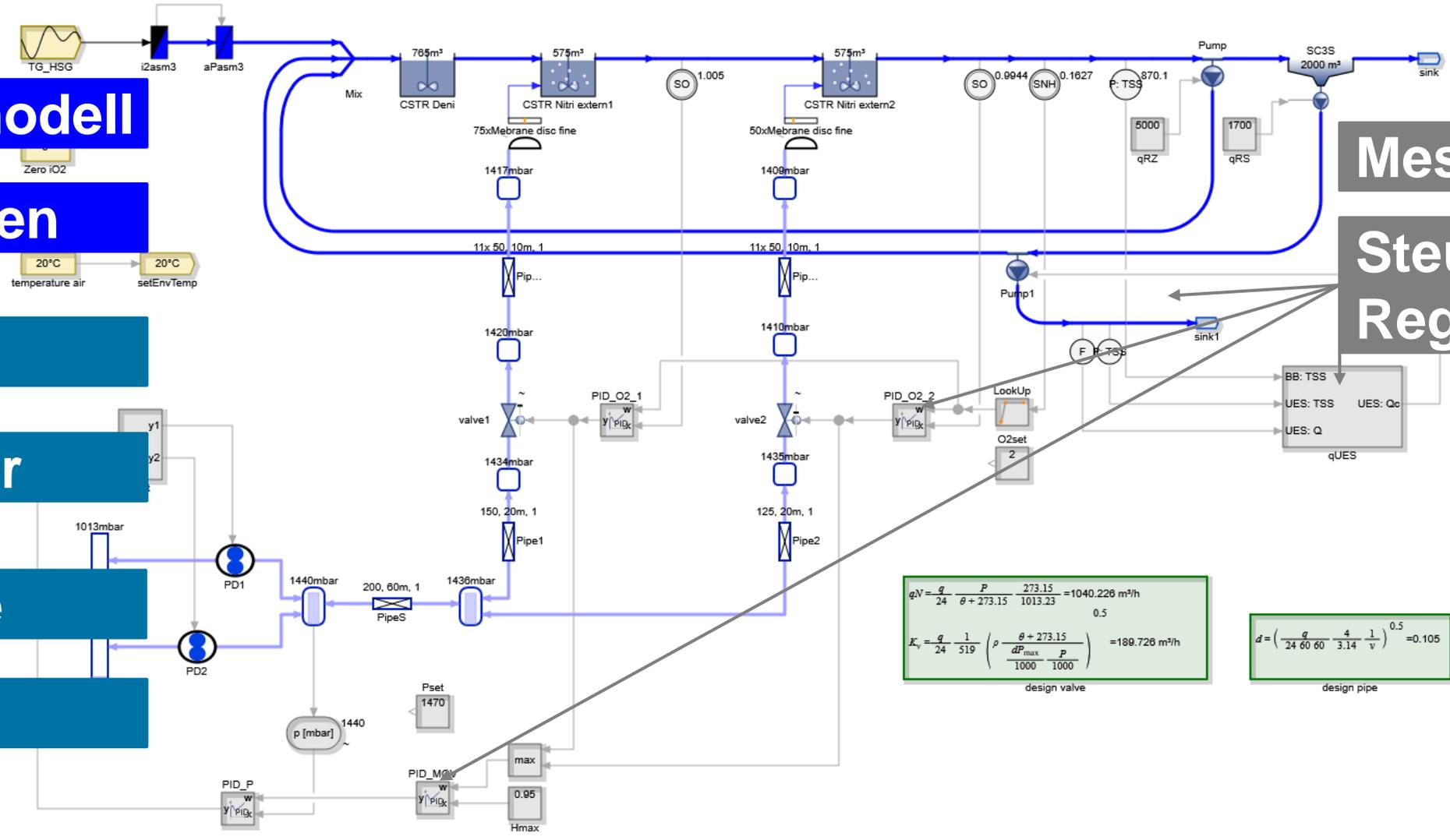
Reaktoren

Belüfter

Schieber

Gebläse

Rohre



Messen

Steuern/
Regeln

$$qV = \frac{q}{24} \frac{P}{\theta + 273.15} = \frac{273.15}{1013.23} = 1040.226 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_v = \frac{q}{24} \frac{1}{519} \left(\frac{\theta + 273.15}{1000} \frac{P}{1000} \right) = 189.726 \text{ m}^3/\text{h}$$

design valve

$$d = \left(\frac{q}{24} \frac{1}{60} \frac{4}{3.14} \frac{1}{v} \right)^{0.5} = 0.105$$

design pipe

Modell einer Kläranlage inklusive Belüftungssystem und Regelung

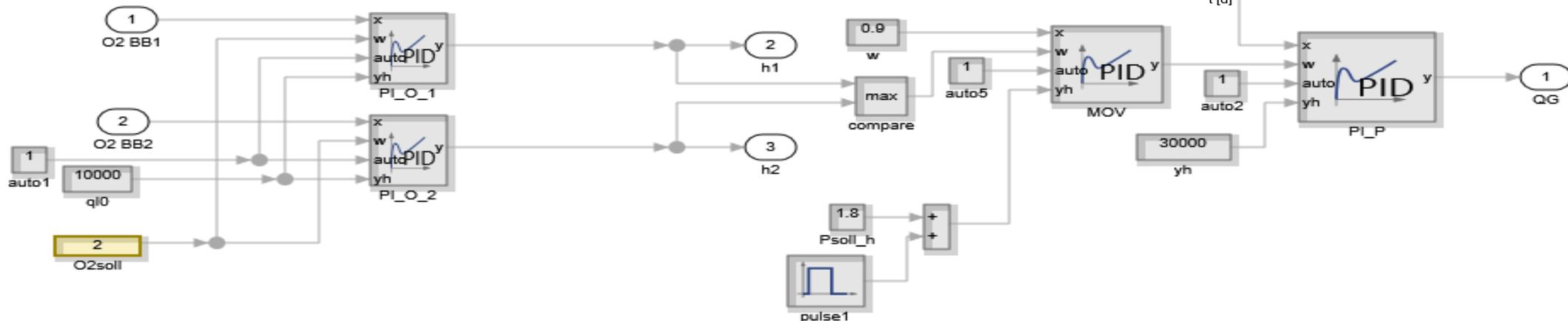
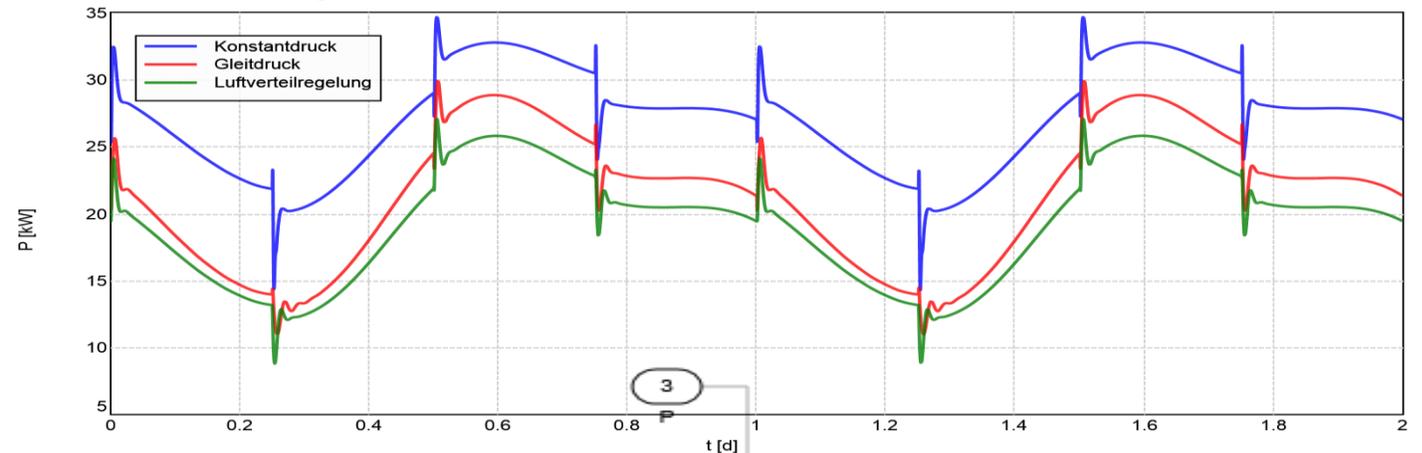
■ Beispiele

- Verfahrensregler, optimale Sauerstoffprofile
- Varianten Belüftungsregelung (Luftversorgung)
- Energieanalyse mit Simulation

Varianten Belüftungsregelung

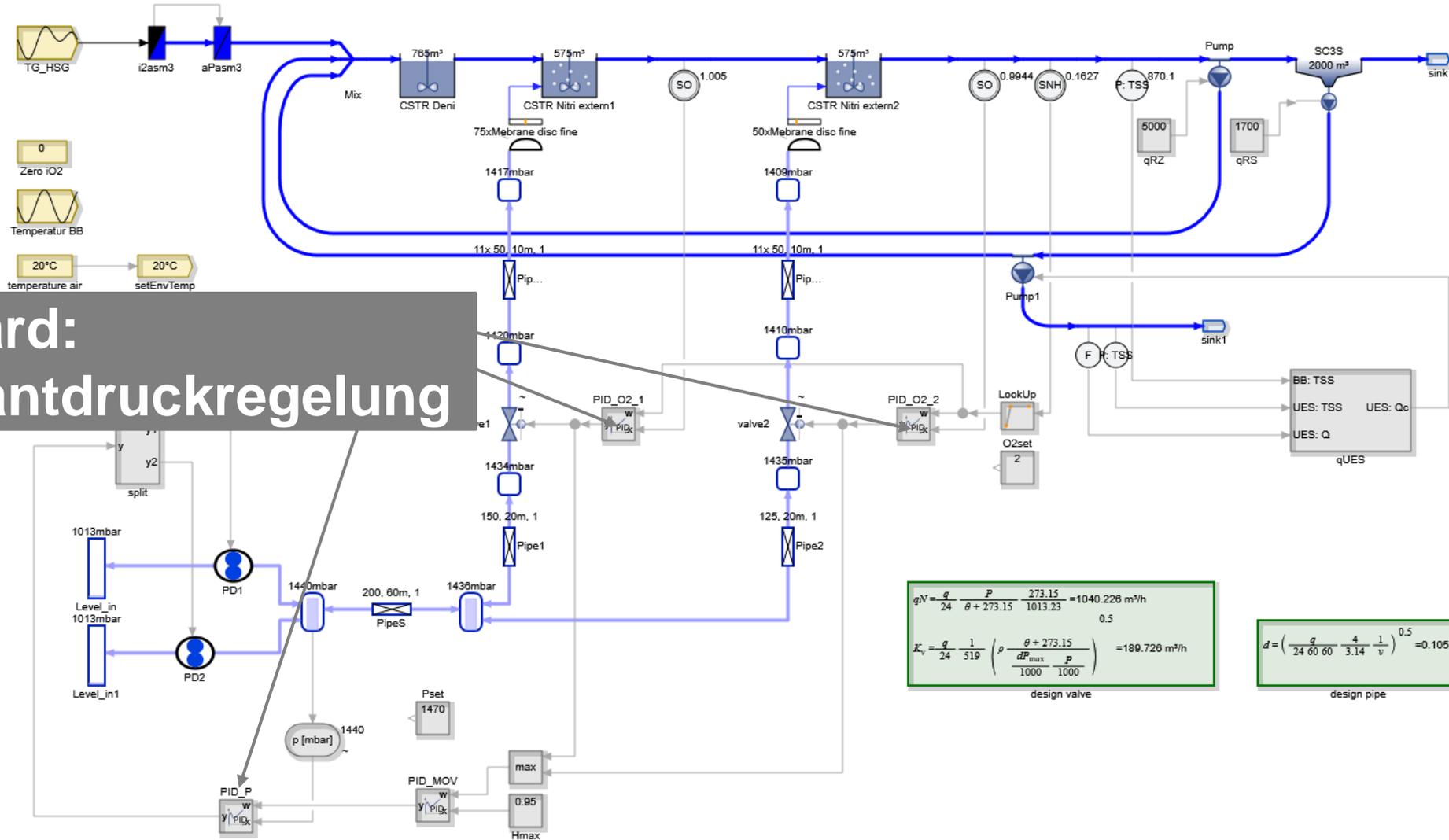
■ Simulative Analyse und Einstellvorschläge

- Konstantdruckregelung
- Gleitdruckregelung
- Luftverteilregelung



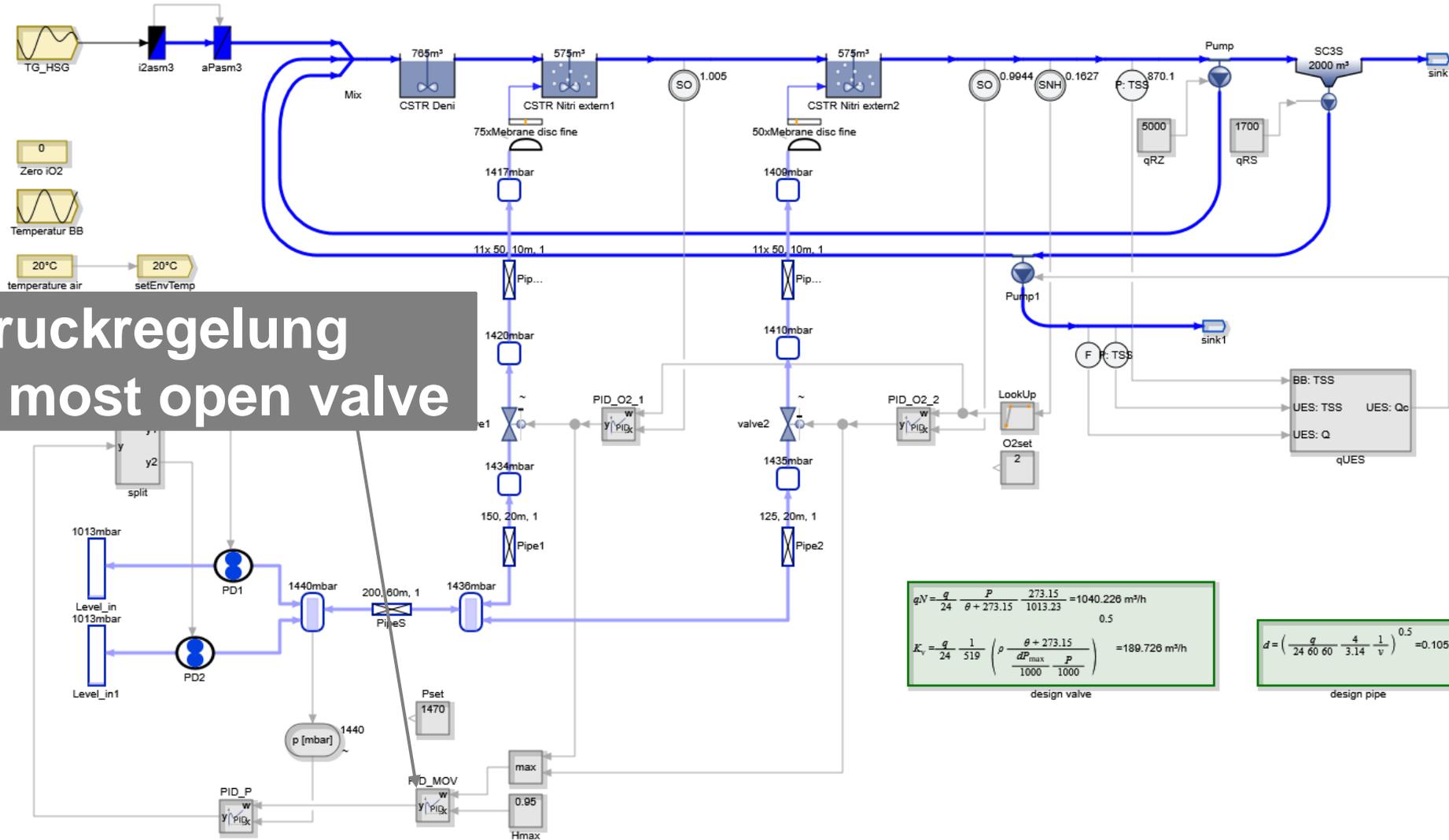
Alex, J.; Morck, T.; Zettl, U.: Modelltechnische Überprüfung energieeffizienter Luftverteilregelungen bei Druckbelüftung. DWA-GMA-Gemeinschaftstagung "Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen", Kassel, DWA, 2015

Varianten Belüftungsregelung



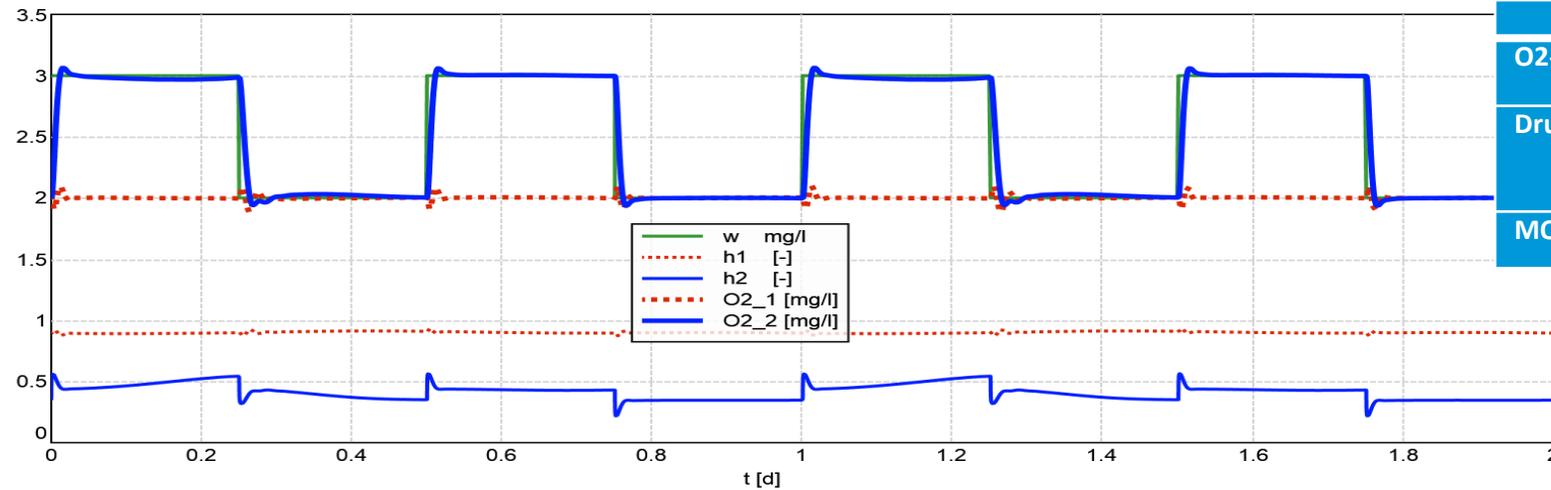
**Standard:
Konstantdruckregelung**

Varianten Belüftungsregelung

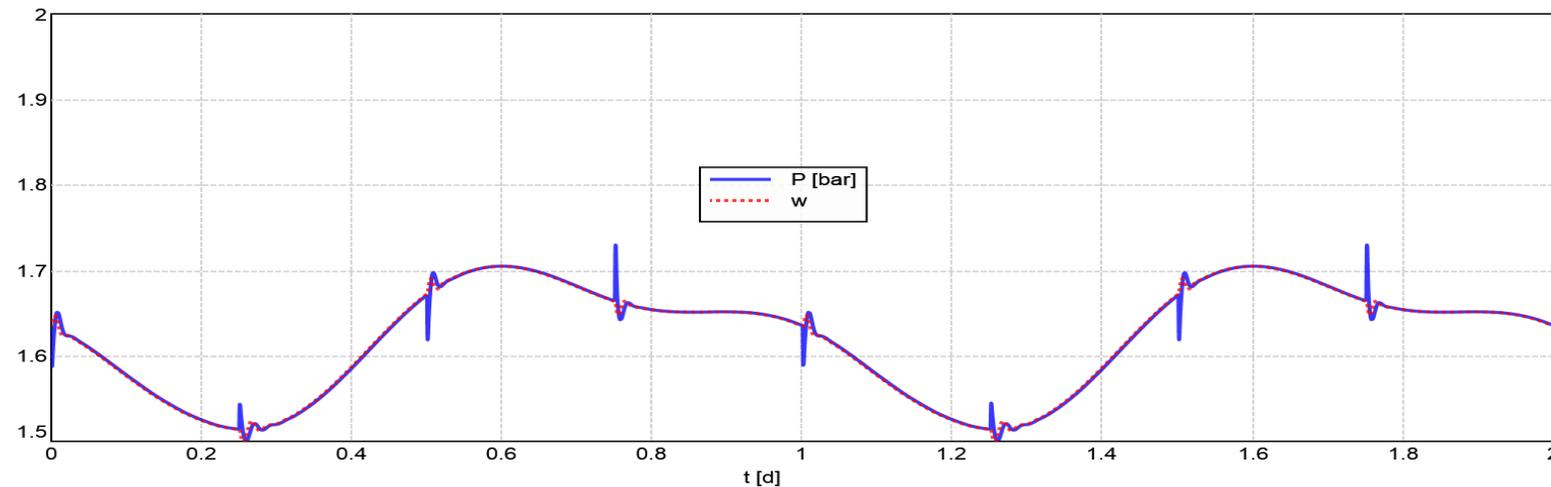


Varianten Belüftungsregelung

Gleitdruckregelung ohne Luftmengenregler



	Kr	Tn
O2-Regler	$0.2 \left[\frac{-}{\text{mg/l}} \right]$	15 min
Druck-Regler	$50 \cdot V_N \left[\frac{\text{Nm}^3/\text{d}}{\text{Bar}} \right]$	3 min
MOV-Regler	$0.5 \left[\frac{\text{Bar}}{-} \right]$	10 min



Varianten Belüftungsregelung

- Signifikante Energieeinsparungen mit Gleitdruck- und Luftverteilregelungen möglich
- Gleitdruckregelung
 - sorgfältiges Einstellen der Regler erforderlich
- Luftverteilregelung
 - Gezielt instabiler Übergang, Stabilisierung bei Erreichen einer Stellbegrenzung
 - Gute Regelbarkeit, einfacheres Tuning
- Simulation als wichtiges Werkzeug für konzeptionelle Voruntersuchungen, Detailplanung und Vorbereitung der Inbetriebnahme

Energieanalyse mit Simulation

Ziel des Projektes: Optimierungspotential auf der Kläranlage Aschersleben?

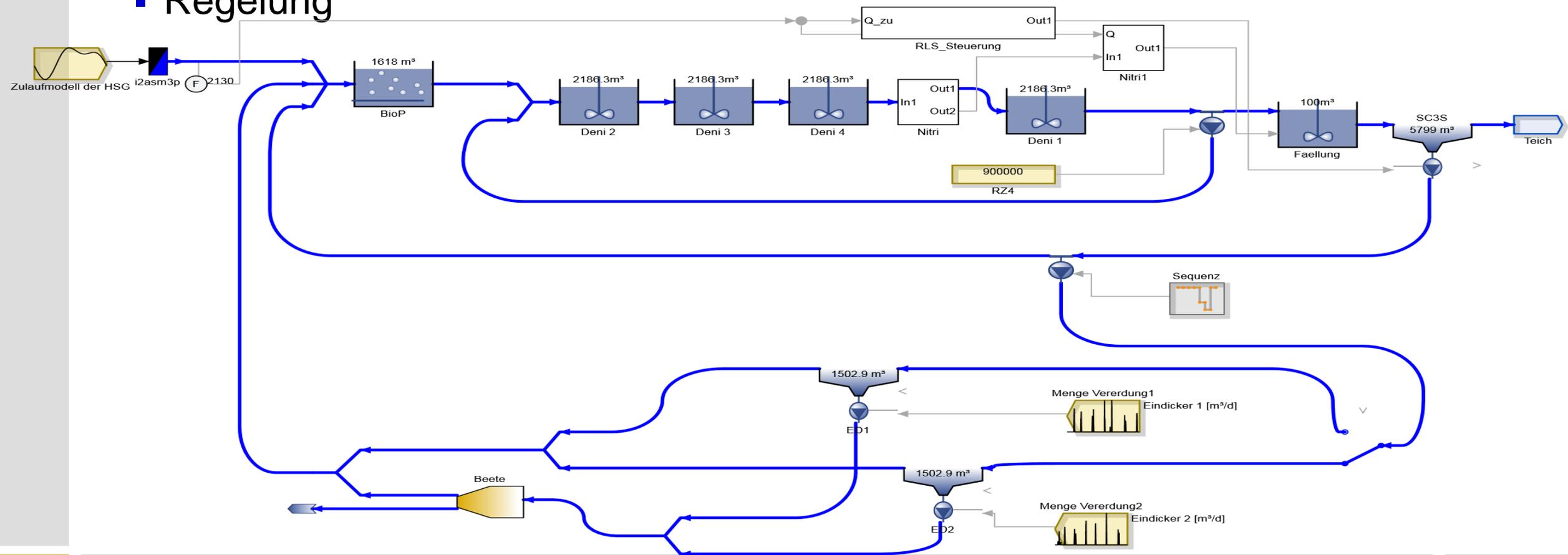
- Simulationsstudie der Kläranlage Aschersleben
- Modellierung der Energieverbraucher
- Einordnung des spezifischen Energiebedarfs
- Untersuchung von Betriebsführungsvarianten mit dem Ziel der Reduktion des Energieverbrauchs
- Potential für Erneuerbare Energien am Standort?

Förderung über Sachsen-Anhalt KLIMA (Maßnahmen des Klimaschutzes und der erneuerbaren Energien), mit Unterstützung der Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt (LENA)

Energieanalyse mit Simulation

Modell der Kläranlage Aschersleben

- Belebung, Nachklärung
- Statische Eindicker
- Regelung

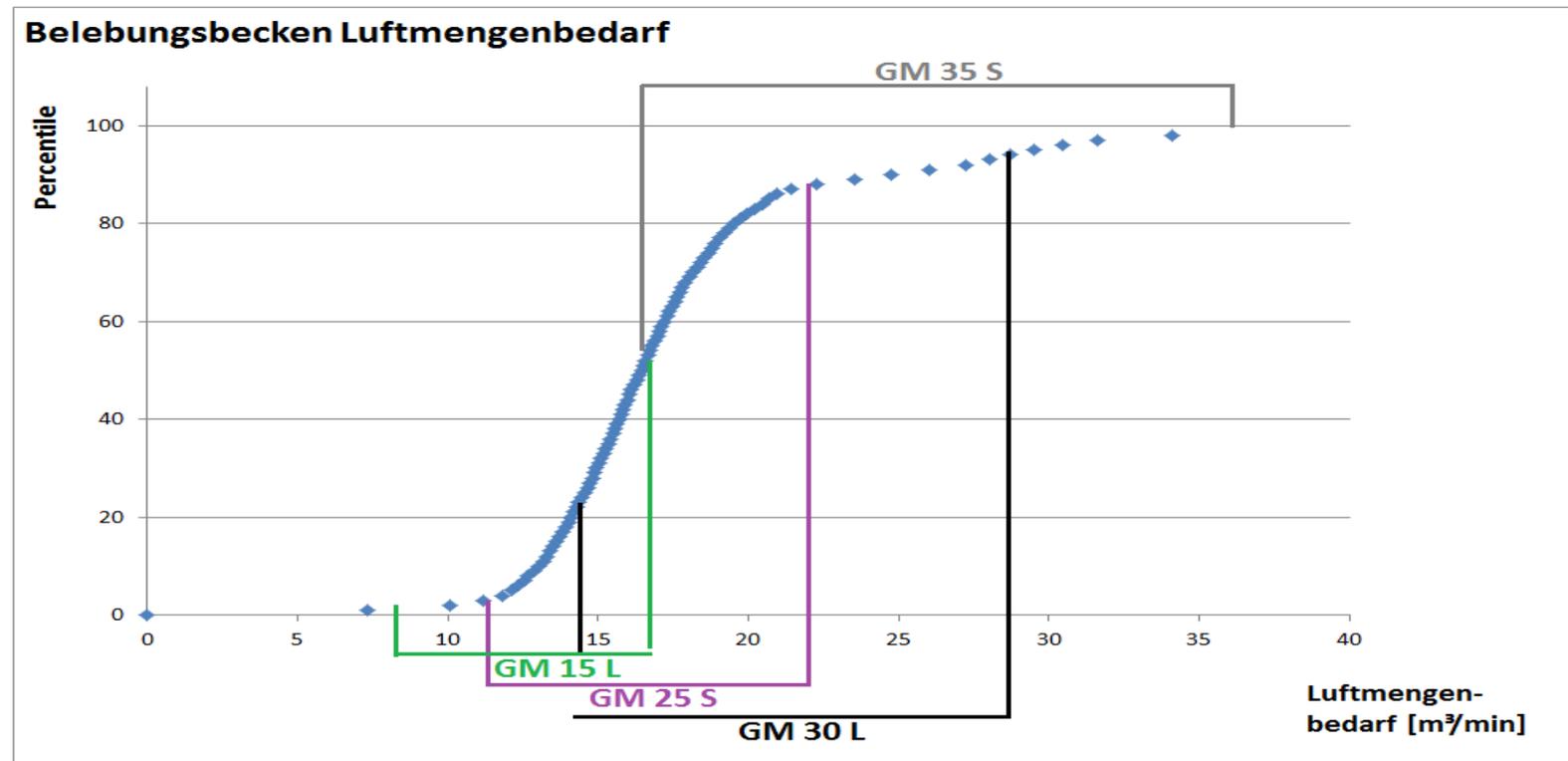


- **Einordnung nach A261: Potential in der Belebung**
- **Grundlegende Anforderung: Einhaltung der Ablaufgrenzwerte**
- Szenarien

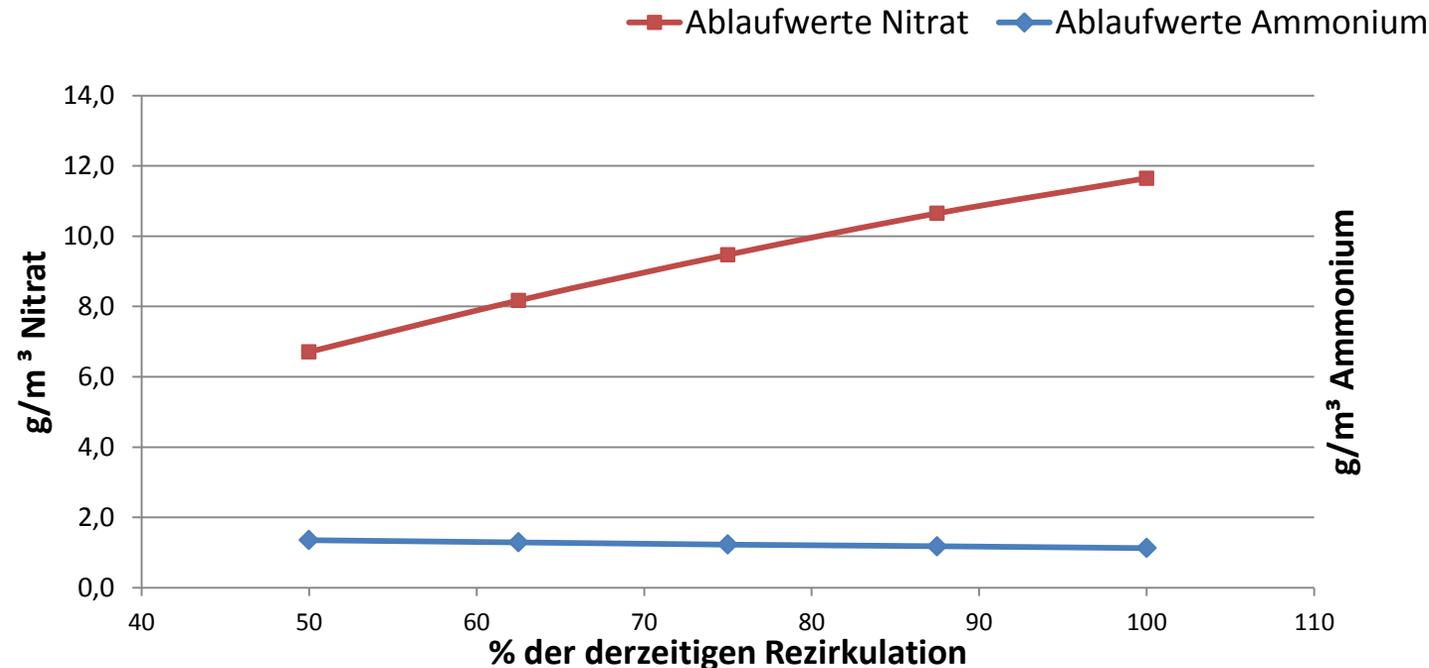
Szenarien	Zielgrößen
1 Austausch der Gebläse	Energieeinsparung
2 Veränderte Geschwindigkeit der Rührwerke im Belebungsbecken	Energieeinsparung bei den Rührwerken
3 Aerob --> Anaerobe Schlammstabilisierung	Faulgasmenge und Energiewandlung im BHKW Wärmeerzeugung im BHKW Energieeinsparung im Vergleich zu aerob Anteil Eigenerzeugung
4 Erneuerbare Energien	Integration von PV und Windenergie auf der Kläranlage

1. Anpassung der Gebläse /Sauerstoffregelung

- Gebläse für die aktuelle Zulaufbelastung der Anlage zu groß dimensioniert → Simulation mit kleineren Gebläsen (Fa. Aerzen)

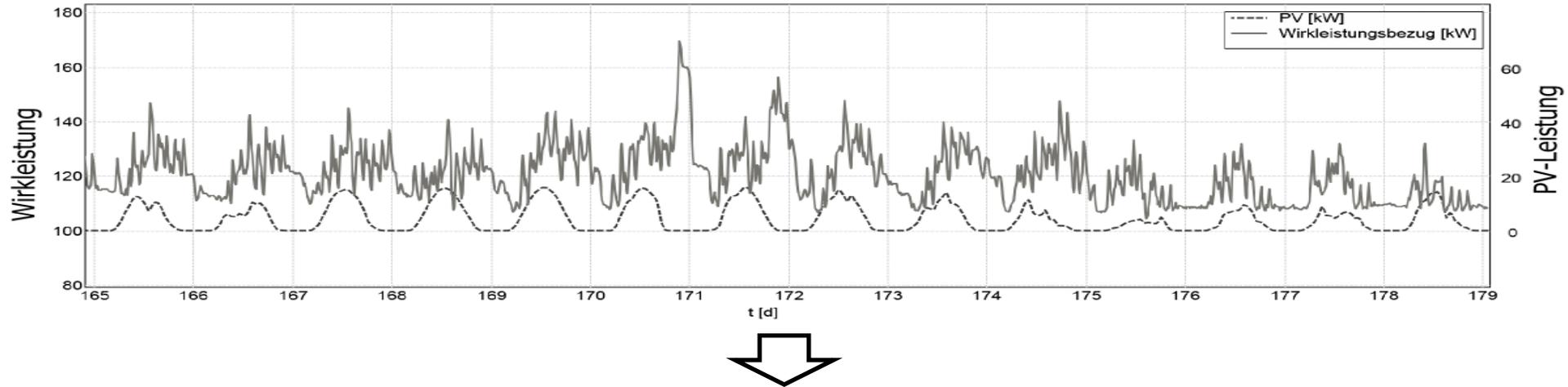


- Derzeit relativ hohe Volumenströme in den Schleifenbecken

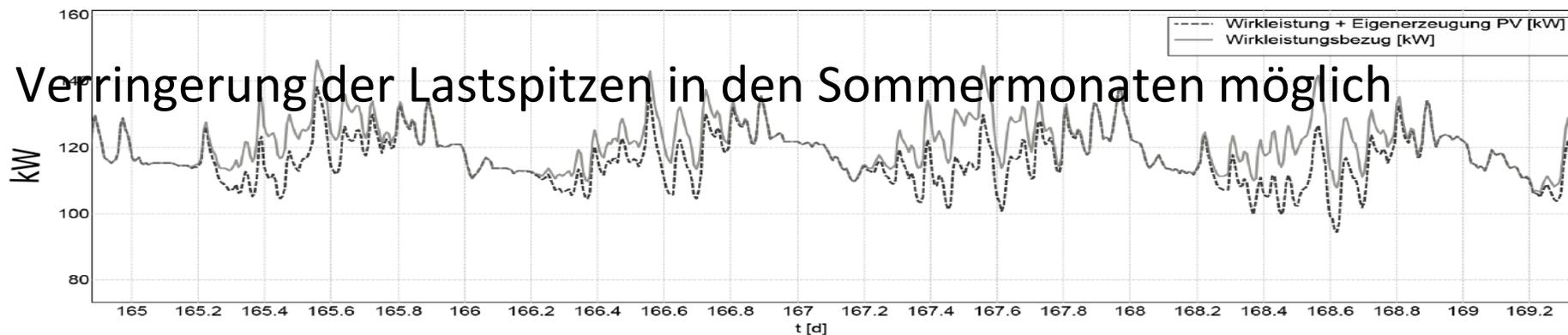


- Ergebnis: Reduktion des max. Nitratwertes und Energieeinsparung
 - Zusätzliche Überprüfung der veränderten strömungsmechanischen Bedingungen des Beckens notwendig (Schlammabsetzbarkeit)

Lastspitzen und Verfügbarkeit PV zur gleichen Zeit (nur Dachfläche)



Verringerung der Lastspitzen in den Sommermonaten möglich

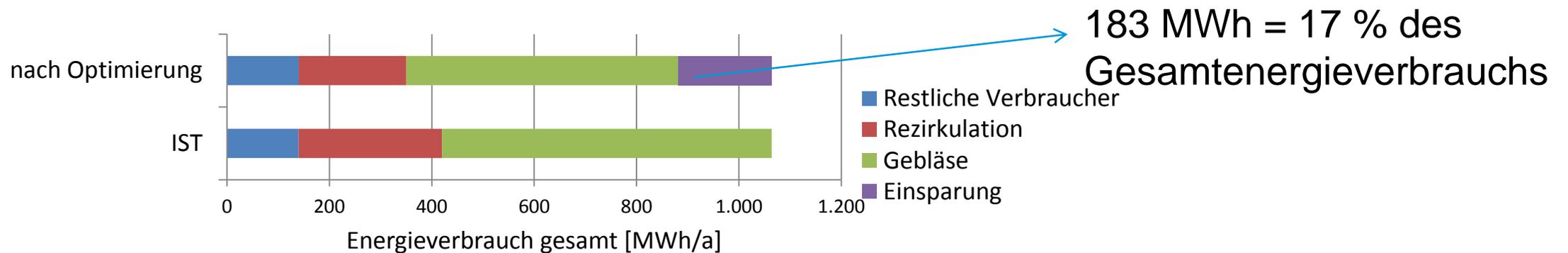


Energieanalyse mit Simulation

Optimierungsmaßnahmen

Beispiel:

- Verwendung zweier kleiner Gebläse
- Reduzierung der Rezirkulation auf 75%



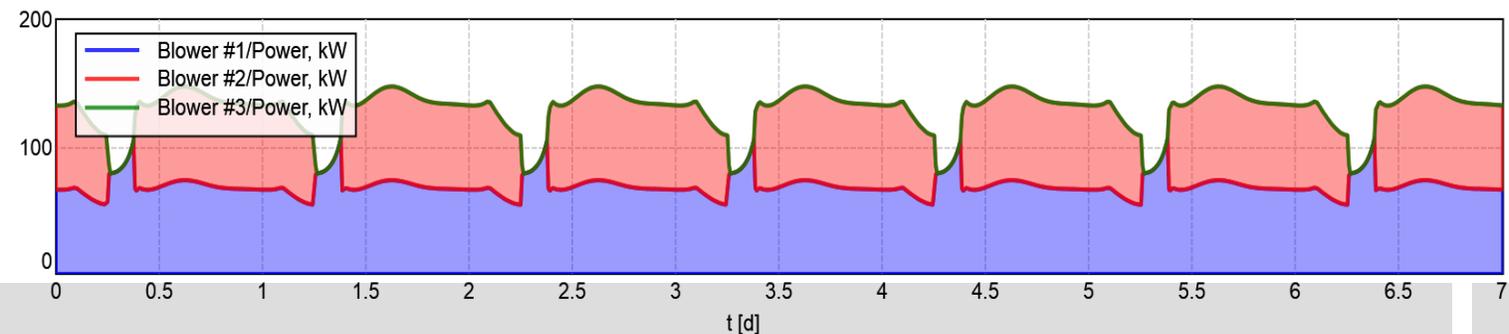
Werte für Größenklasse 4, 10.000 bis 30.000 EW

Spez. Energieverbrauch [kWh/(EW*a)]	Richtwert	Idealwert	IST	nach Optimierungsmaßnahmen
Gesamt	40	31	38	32
Belebung*	31	24	34	28

* inkl. Umwälzung, Rezirkulation, Rücklaufschlamm

Beispielhaft: Effizienz von Belüftungssystemen

- Viele Komponenten verantwortlich für Effizienz
 - Lufterzeugung: Arbeitspunkte Gebläse, Staffelgestaltung
 - Regelungsstruktur, variable Drucksollwerte (Gleitdruckregelung)
 - Eigenschaften der Regelarmaturen
 - Eigenschaften Belüfter, Eintragseffizienz abhängig von Beaufschlagung
 - Sauerstoffsollwerte, Ammoniumregelung, variable Zonen
- Optimale Nutzung des Potentials: komplexe, interdisziplinäre Ingenieuraufgabe !



Methode: Integrierte Analyse und Planung mit Simulation

Gemeinsame Analyse von:

- biologisches Verfahren
- Druck- Durchfluß, Effizienz Druckluftherzeugung und Verteilung
- MSR-Konzepten

- E-Tarifmodelle
- E-Verbrauch Modelle

Planung in der beschriebenen Komplexität, Hebung des vorhandenen Potential, nur mit Simulation durchführbar. (Alternative Try/Error an der realen Anlage)