

Bemessung des Belüftungssystems der Kläranlage Herrieden

Ergebnisdokumentation
September 2017

Auftragsumfang



Leistungsmodul 1:

- Auswertung des Betriebstagebuches
- Bemessung und Auslegung eines neuen Belüftungssystems
- Auslegung der maschinentechnischen Komponenten

Leistungsmodul 2:

- Betriebsdatenaufbereitung für die Simulation
- Aufbau eines dynamischen Simulationsmodelles
- Belüftungsregelung
- Ermittlung des jährlichen Energieverbrauches

Leistungsmodul 1

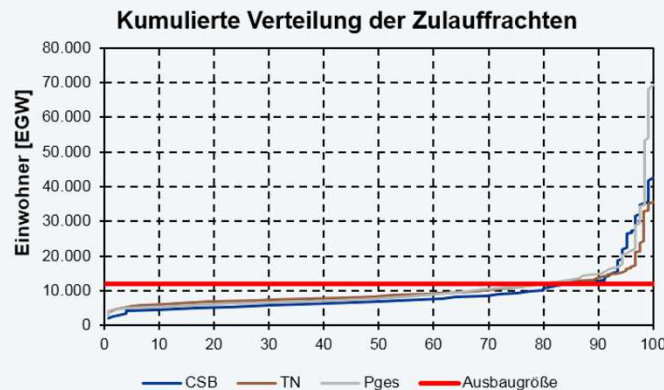


Inhalt

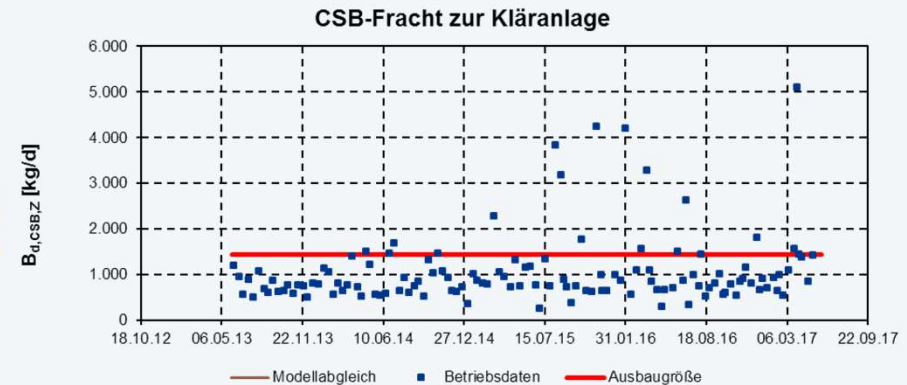
- Auswertung des Betriebstagebuches
- Auswertung Messprogrammes
- Bemessung des Belüftungssystems
- Auslegung der Gebläse
- Auslegung der Rührwerke
- Einbauzeichnung

Leistungsmodul 1

Auswertung der Betriebsdaten

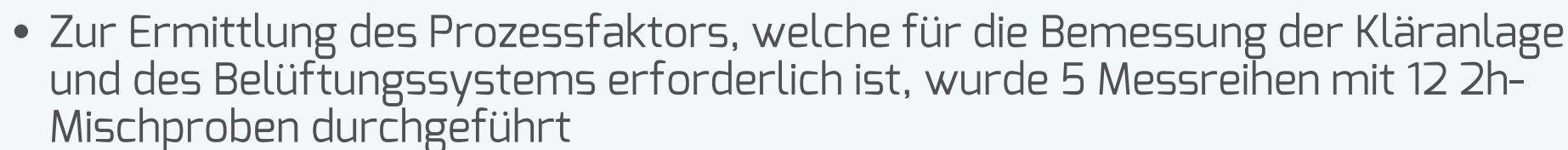


| | |
|--------------------------|-----------|
| <u>50% - Perzentil</u> | |
| CSB | 6.887 EW |
| N | 8.447 EW |
| P | 7.762 EW |
| <u>85% - Perzentil</u> | |
| CSB | 11.932 EW |
| N | 12.826 EW |
| P | 13.108 EW |
| <u>Mittelwert/Median</u> | |
| CSB | 1,28 |
| N | 1,14 |
| P | 1,31 |



- Die Ermittlung der einwohnerspezifischen Belastung ergibt eine teilweise massive Spitzenbelastung über alle Parameter.
- Nach der ersten Betriebsdatenauswertung wäre die Kläranlage mit 11.900 EW_{CSB120} praktisch ausgelastet.

Auswertung Messprogrammes



ZWT Wasser- und Abwassertechnik GmbH

Leistungsmodul 1



Auswertung Messprogrammes

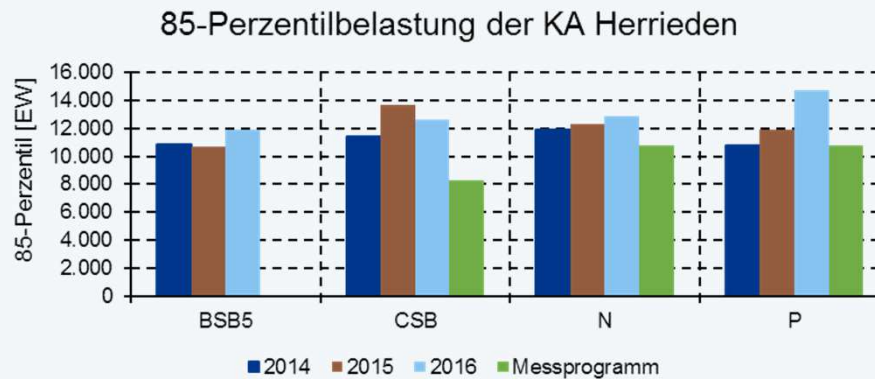
- Aus dem Messprogramm kann ein Prozessfaktor von 1,8 abgeleitet werden.
- Bei der 4. Analyse wurde bei Trübwasserabzug aus den Schlammstapelbehältern Schlamm mit abgezogen und zurückgeführt. Dieser wird bei der Zulaufanalytik miterfasst.
 - Dies führt zur Verfälschung der tatsächlichen Anlagenbelastung.
 - Eine Rückführung des Schlammes führt zu zusätzlicher Belastung der Kläranlage und somit zu zusätzlichen Betriebskosten.

Es wird empfohlen bauliche Veränderungen durchzuführen, dass kein Überschussschlamm im „Kreis“ gefahren wird.

Leistungsmodul 1



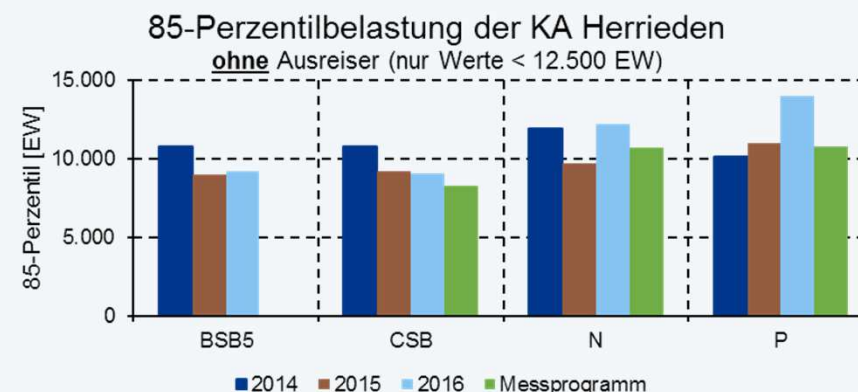
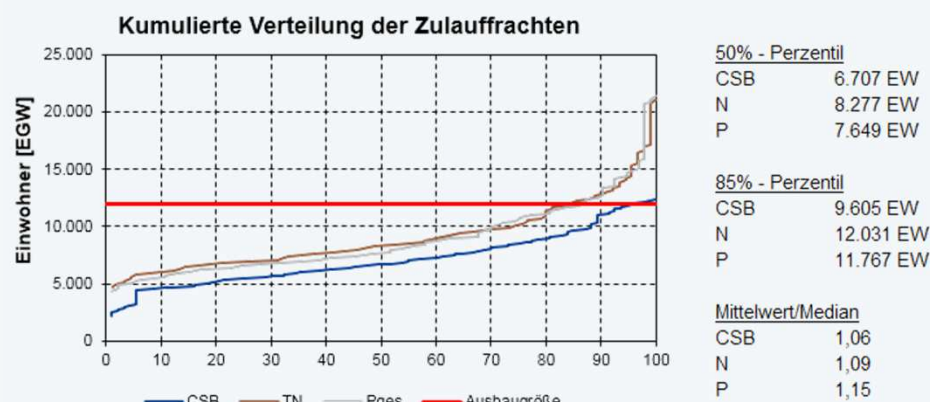
Auswertung Messprogrammes



- Die Spitzenfrachten der Zulaufanalysen werden durch ungewollte interne Rückbelastungen erzeugt.
- Aus diesem Grund wurden alle Messergebnisse über 12.500 EW_{CSB120} entfernt und die Betriebsdatenauswertung erneut durchgeführt.

Leistungsmodul 1

Auswertung der Betriebsdaten



- Über den Auswertungszeitraum ergibt sich eine mittlere CSB-Belastung von 9.600 EW. Der Mittelwert der Jahre 2015-2017 beträgt 10.200 EW.
- Das Abwasser ist stickstoff- und phosphorlastig

Leistungsmodul 1

Bemessung Belüftungssystem



- Auf Basis des Messprogrammes und der bereinigten Betriebsdatenauswertung wurde eine Vorbemessung für die KA durchgeführt.
- Demnach kann die KA mit 13.000 EW maximal Belastet werden, sofern die Schlammstabilisierung aufrechterhalten wird.
- Für die Bemessung des Belüftungssystems wurden nebenstehende Daten zugrunde gelegt.

| | | | |
|---|----------------|-------------------|---------------|
| tägliche Abwassermenge | $Q_{T,d}$ | m ³ /d | 1.710 |
| stündliche Trockenwetterabflussmenge | $Q_{T,aM}$ | m ³ /h | 111,5 |
| stündliche Abflussmenge bei Mischwasser | Q_M | m ³ /h | 368,0 |
| homog. CSB - Konzentration | $C_{CSB,ZB}$ | mg/l | 912 |
| gelöste CSB - Konzentration | $S_{CSB,ZB}$ | mg/l | 0 |
| Kjeldahlstickstoff - Konzentration | $C_{KN,ZB}$ | mg/l | 105,4 |
| Nitraitstickstoff - Konzentration | $C_{NO3,ZB}$ | mg/l | 0,0 |
| Phosphor - Konzentration | $C_{P,ZB}$ | mg/l | 16,4 |
| Bemessungstemperatur | T_{Bem} | °C | 12 |
| min. Abwassertemperatur (Nitrifikation) | T_{min} | °C | 5 |
| max. Abwassertemperatur (Lastfall 2) | T_{max} | °C | 21 |
| abfiltrierbare Stoffe | $X_{TS,ZB}$ | mg/l | 512 |
| Säurekapazität im Zulauf | $S_{KS,ZB}$ | mmol/l | 10 |
| | | | |
| CSB - Fracht | $B_{d,CSB,ZB}$ | kg/d | 1.560 |
| KN - Fracht | $B_{d,KN,ZB}$ | kg/d | 180,2 |
| P - Fracht | $B_{d,P,ZB}$ | kg/d | 28,1 |
| TS - Fracht | $B_{d,TS,ZB}$ | kg/d | 876 |
| | | | |
| Ausbaugröße | EW_{CSB120} | EW | 13.000 |
| | EW_{N11} | EW | 16.381 |
| | $EW_{P1,8}$ | EW | 15.623 |
| | EW_{TS70} | EW | 12.514 |

Leistungsmodul 1

Bemessung Belüftungssystem



Planungsprämissen

- Das Belüftungssystem wird intermittierend betrieben.
- Die Räumerbrücke wird stillgelegt.
- Für die Umwälzung werden Rührwerke eingebaut.
- Neue Gebläse und ein neues aushebbares Verteilsystem werden errichtet.

Leistungsmodul 1

Bemessung Belüftungssystem



| | | | |
|--|----------------|---------------------|-------|
| Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination | $OV_{d,C}$ | kgO ₂ /d | 885,5 |
| Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation | $OV_{d,N}$ | kgO ₂ /d | 652,4 |
| Sauerstoffgewinnung durch Denitrifikation | $OV_{d,D}$ | kgO ₂ /d | 372,3 |
| Erhöhungsfaktor bei interm. Betrieb | f_{int} | | 2,3 |
| erforderlicher Sauerstoffgehalt | $c_{O_2,soll}$ | mg/l | 2,0 |
| Wassertiefe | h_{BB} | m | 5,15 |
| Einblastiefe | h_d | m | 4,95 |
| Tiefenfaktor | f_d | | 1,24 |

Lastfall 2: max. Sauerstoffverbrauch

| | | |
|------------------------------|-------|------|
| Stoßfaktor für Kohlenstoff | f_C | 1,15 |
| Stoßfaktor für Nitrifikation | f_N | 1,60 |

Berechnung für T_{max}

| | | | |
|---|----------------|---------------------|--------|
| Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination | $OV_{d,C,max}$ | | 947,4 |
| maximaler Sauerstoffverbrauch ($f_C=1,15$ $f_N=1$) | OV_h | kgO ₂ /h | 124,41 |
| maximaler Sauerstoffverbrauch ($f_C=1$; $f_N=1,6$) | OV_h | kgO ₂ /h | 153,31 |
| maximaler Sauerstoffverbrauch | $OV_{h,max}$ | kgO ₂ /h | 153,31 |
| maximaler Sauerstoffverbrauch | $OV_{h,max}$ | kgO ₂ /h | 153,31 |
| Sauerstoffzufuhrfaktor | α | | 0,7 |
| erforderlicher Sauerstoffeintrag | SOTR | kgO ₂ /h | 266 |

Luftmenge

| | | | |
|----------------------|-------------|------------------------|-------|
| Sauerstoffausnutzung | SSOTE | g/(Nm ³ *m) | 19,3 |
| Bemessungsluftmenge | $Q_{L,max}$ | m ³ /h | 2.789 |
| mittlere Luftmenge | $Q_{L,aM}$ | m ³ /h | 773 |
| minimale Luftmenge | $Q_{L,min}$ | m ³ /h | 278 |

Gebläse

| | | | |
|--------------------------------------|------------------|-------|-------|
| Anzahl der Gebläse | n | | 3 |
| - davon Reserve | n | | 0 |
| Luftvolumenstrom ohne Reservegebläse | Q _{L,G} | Nm³/h | 3.288 |
| Auslastung | | % | 85 |

Belüfter

| | | | |
|-----------------------------|----------------------|---|-----|
| Anzahl Belüftungsgitter | | | 8 |
| Anzahl Belüfter je Gitter | | | 40 |
| Anzahl der Belüfter gesamt | n_{Bel} | | 320 |
| Membranlänge je Belüfter | L_{Bel} | m | 2,0 |
| Belüftermembranlänge gesamt | $L_{\text{Bel,ges}}$ | m | 640 |
| Belegungsdichte | | % | 8,0 |

Leistungsmodul 1



Bemessung der maschinentechnischen Komponenten

Gebläse

- Die Gebläse sind im Keller des Betriebsgebäudes untergebracht.
- Die Luke im Treppenabgang hat ein Innenmaß von 1,25 m x 2,3 m.
- Somit wurden die Gebläse so gewählt, dass eine Zerlegung nicht notwendig ist, sondern diese mit einer Traverse abgelassen werden können.
- Folgende Gebläse wurden ausgewählt

KAESER Schraubengebläse DBS 220 L SFC

Volumenstrom (Normzustand) 4,65 – 18,27 m³/min

angebauter Schaltschrank inkl. Siemens-FU, interne Gebläsesteuerung
Sigma-Control 2 und Kommunikationsmodul Profibus DP

Leistungsmodul 1



Bemessung der maschinentechnischen Komponenten

Rührwerke:

- Die Rührwerke werden gegenüber des Belüftungssystems positioniert
- Die Aufstellung erfolgt mit einer freistehenden Einbaugarnitur
- Für die Kläranlage Herrieden wird ein Rührwerk mit Hocheffizienzmotor vorgeschlagen

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Hersteller: | Xylem |
| Typ: | SR4320-IE4 |
| Propellerdurchmesser: | 2,5m |
| Drehzahl Deni-Phase: | 28,4 1/min (= 1,48 kW) |
| Drehzahl Nitri-Phase: | 36,6 1/min (= 2,88 kW) |

Leistungsmodul 2

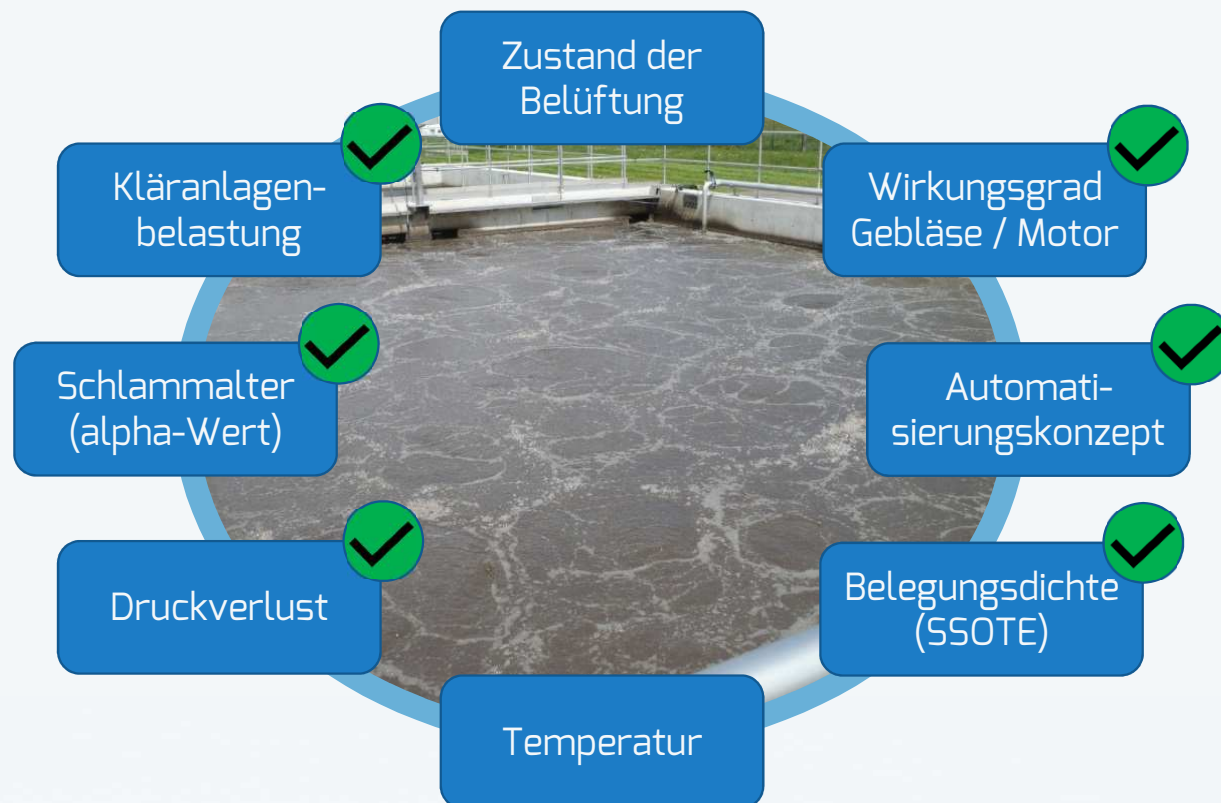


Inhalt

- Betriebsdatenaufbereitung für die dynamische Simulation
- Gebläsestaffelung und Anlagenkennlinie
- Eintragskurve der Belüftung
- Abbildung der Gebläse und Rücklaufschlammregelung
- Überprüfung der Belüfterauslegung
- Variantensimulation heute, 12.000 EW, 13.000 EW, 16.000 EW
- Darstellung des jährlichen Energieverbrauches

Auslegung Belüftung

Einflüsse auf den Energieverbrauch



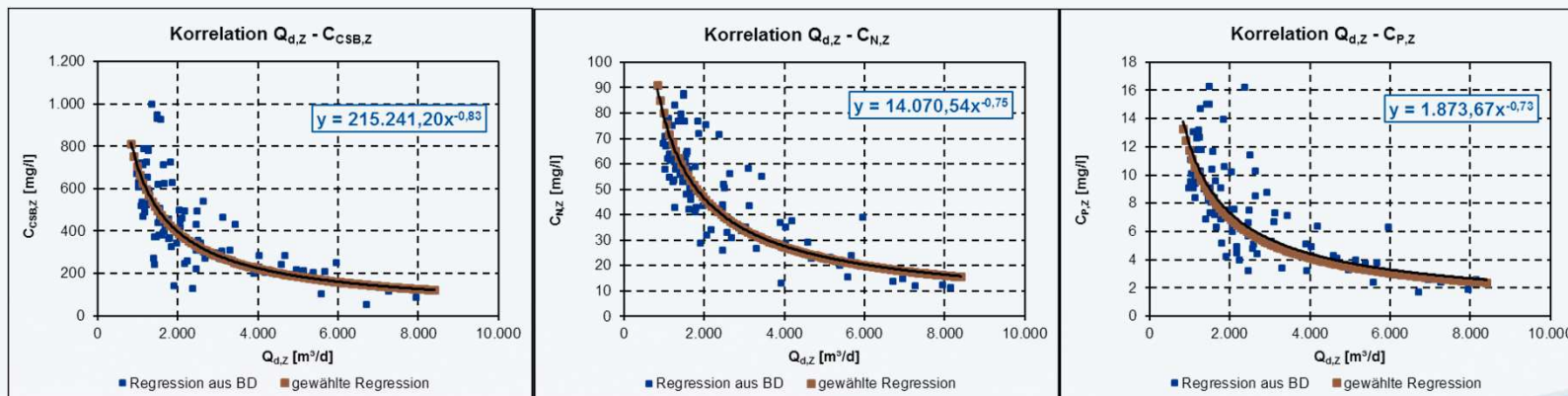
Mit der dynamischen Simulation können die verschiedenen Einflüsse auf den Energiebedarf simuliert und prognostiziert werden.

Leistungsmodul 2



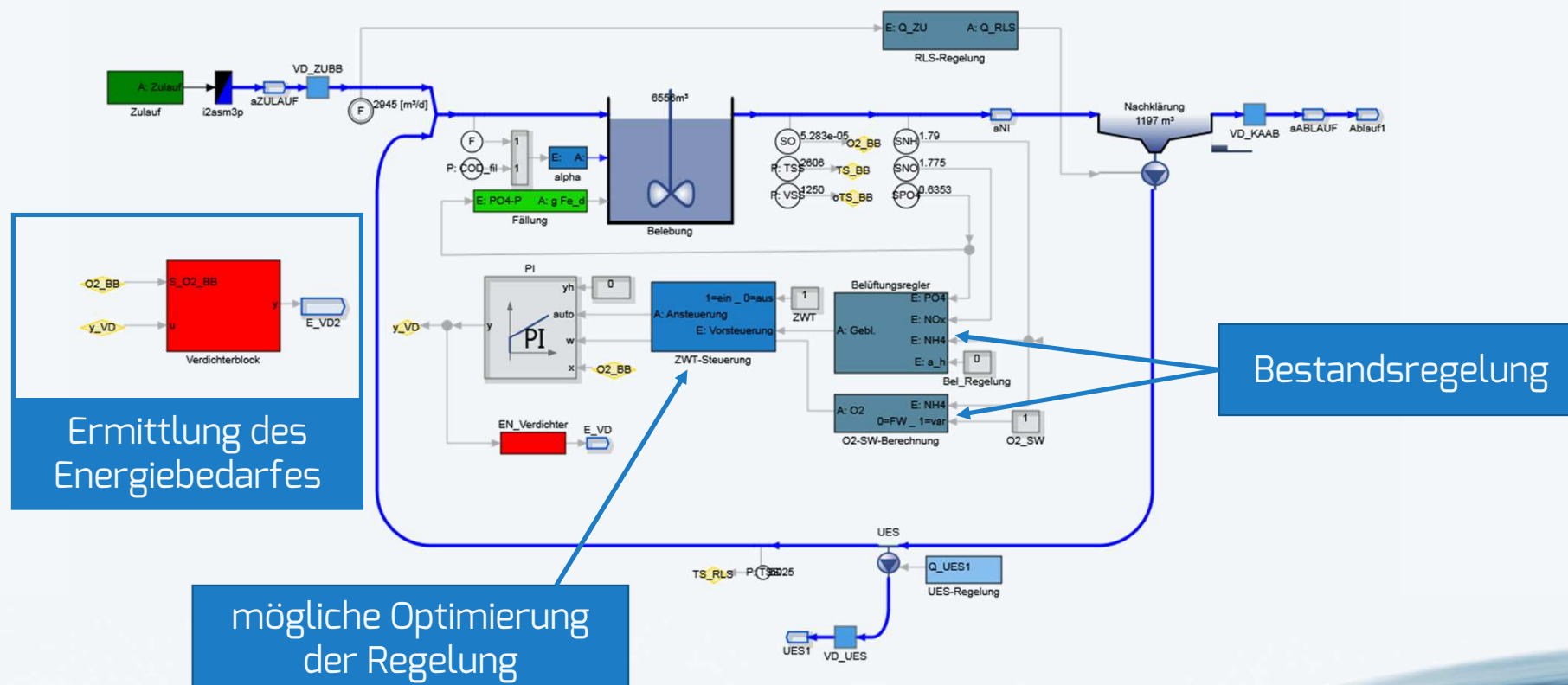
Betriebsdatenaufbereitung für die Simulation

- Auf Basis der bereinigten Betriebsdaten wurden die Betriebsdaten für die Simulation aufbereitet.
- Hierzu wurde eine Konzentrations- / Mengenkorrelation zu den Parametern CSB, N und P hergestellt.
- Mit der Funktion wurden Zulaufanalysen generiert, sofern keine im BTB vorliegen.



Leistungsmodul 2

Aufbau eines dynamischen Simulationsmodelles

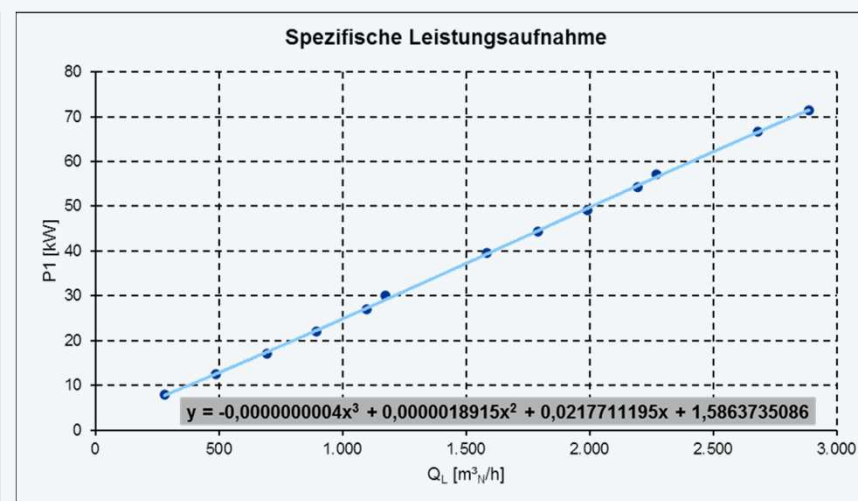
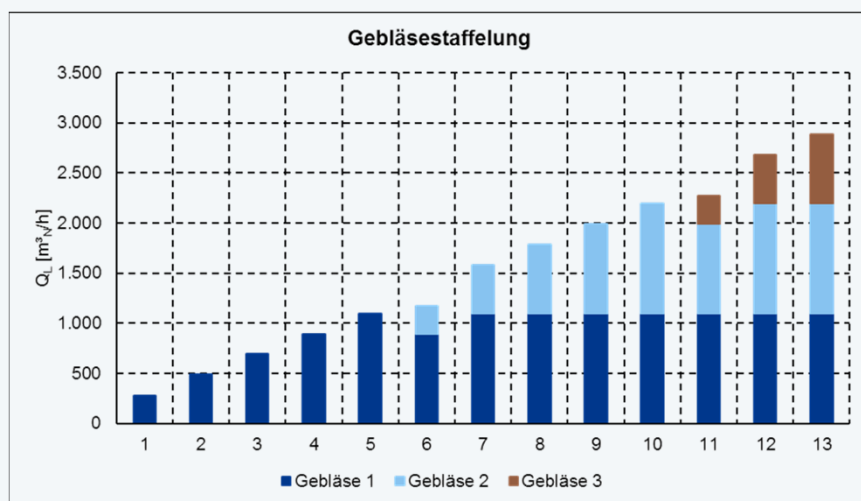


Leistungsmodul 2

Gebläsestaffelung und Anlagenkennlinie



- Gebläse: Kaeser DBS 220 L SFC

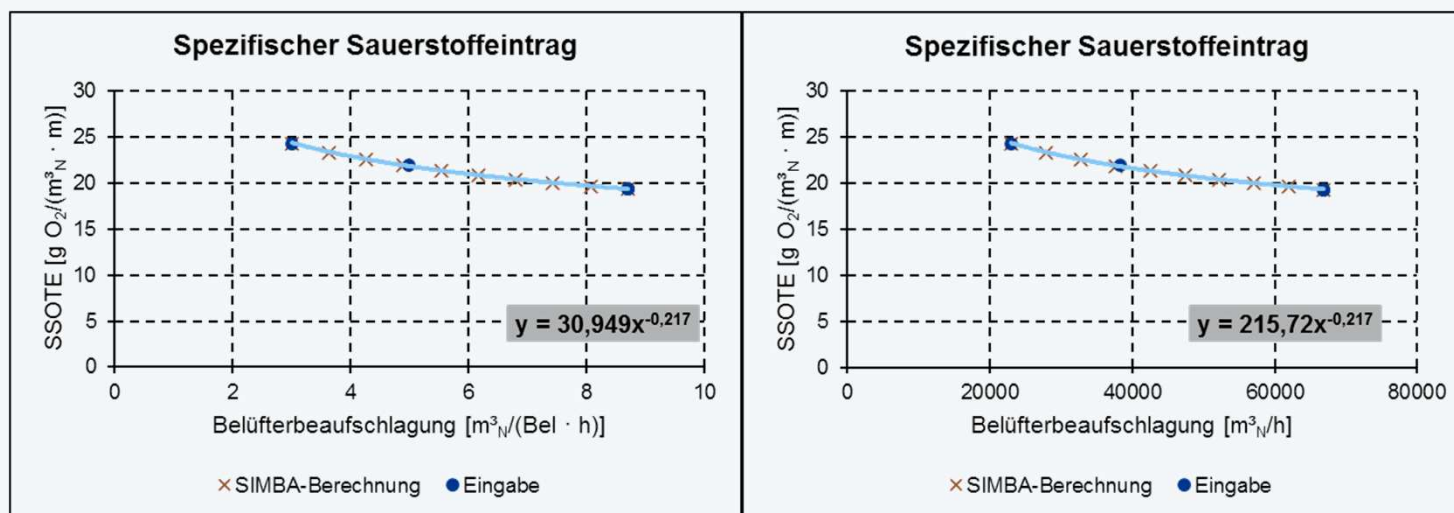


Leistungsmodul 2



Eintragskurve der Belüfter

- Belüfter: Ott Magnum 2000 Flexsil fein perforiert

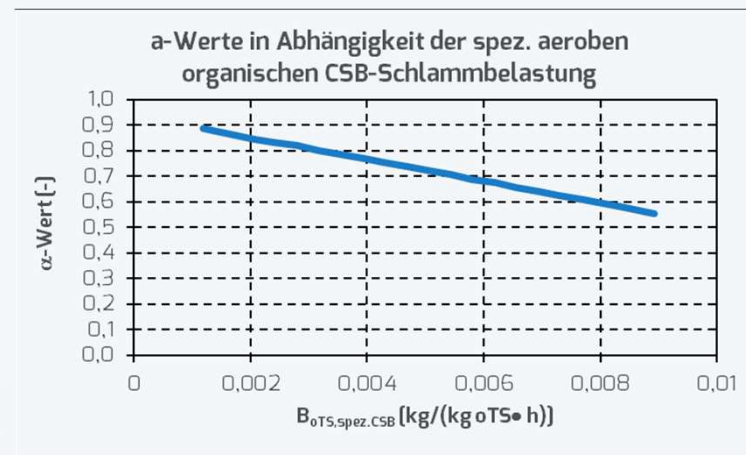


Leistungsmodul 2



Lastfallabhängige α -Werte zur Bemessung

- Der alpha-Wert beschreibt den Sauerstoffübergang unter Betriebsbedingungen.
- Der lastabhängige alpha-Wert wird in der Simulation ermittelt und berücksichtigt.
- Dies ist ein entscheidender Baustein bei der Ermittlung des Energiebedarfes.

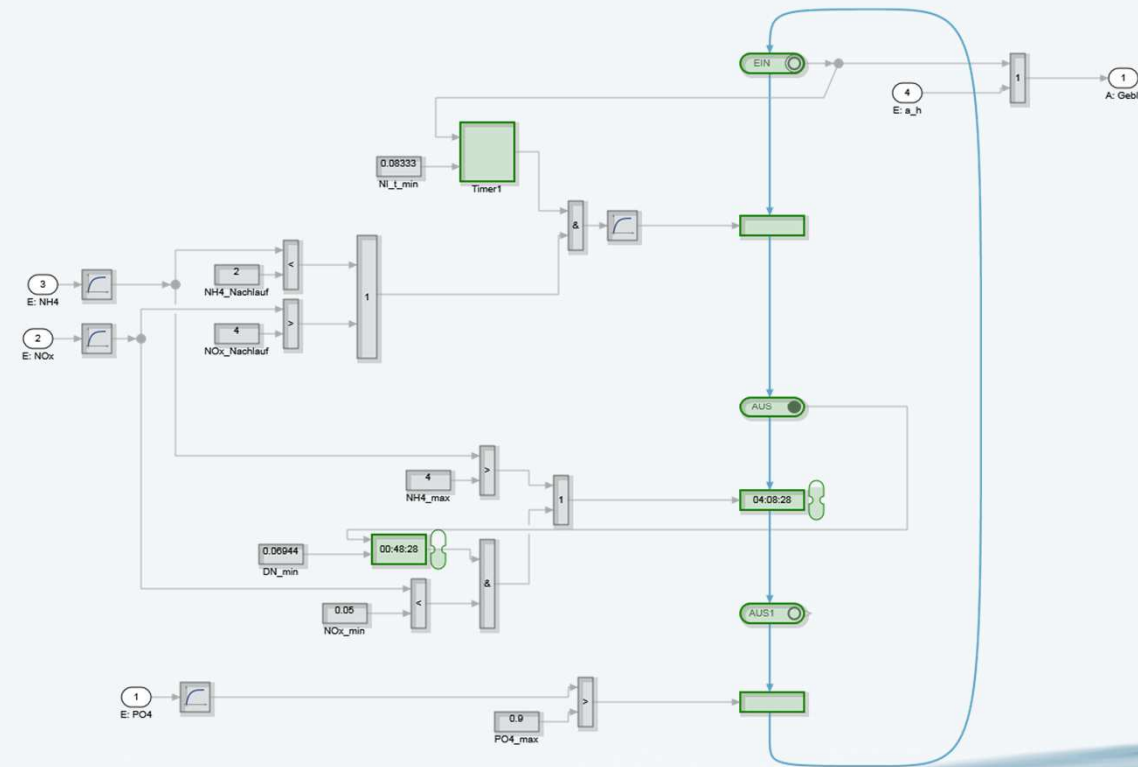


Leistungsmodul 2



Abbildung der vorhandenen Gebläsesteuerung

- Die Gebläse werden über eine Ammonium-Nitrat-Sonde angesteuert.
- Die Ein- und Ausschaltpunkte sind zeitüberlagert.
- Die Regelung wurde komplett in die Simulation übernommen

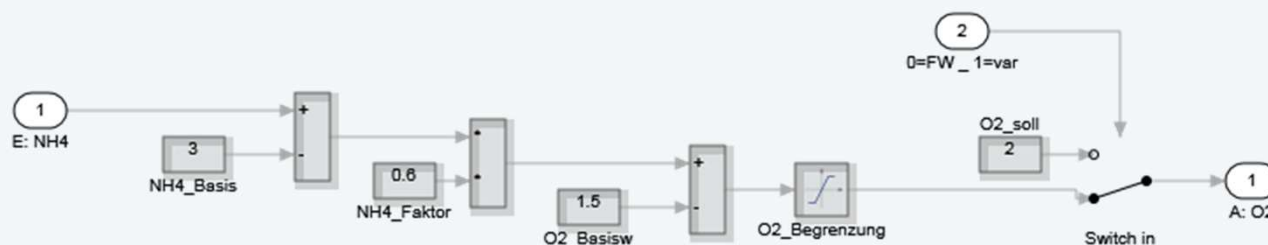


Leistungsmodul 2



O2 - Sollwertanpassung

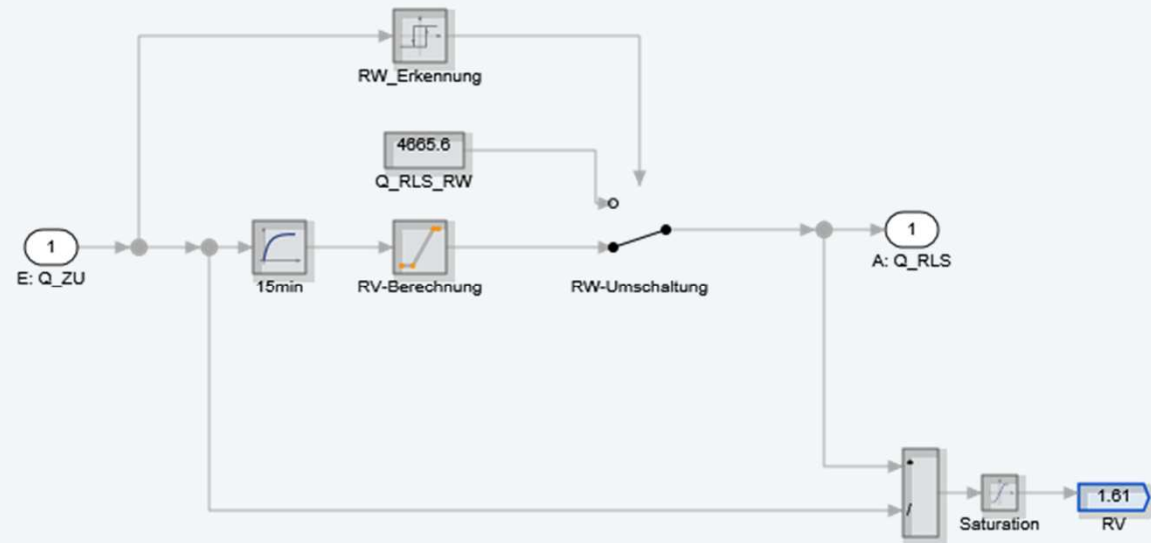
- Abhängig vom Ammoniumgehalt in der Belebung, wird ein Sauerstoffsollwert berechnet.
- Die Berechnung wurde komplett übernommen.



Leistungsmodul 2

Rücklaufschlammregelung

- Die Drehzahl der Rücklaufschlammschnecke wird in Abhängigkeit von der Zulaufmenge geregelt.
- Bei Regenwetter wird auf eine feste Drehzahl umgeschaltet
- Die Fördermengen wurden entsprechend ermittelt und in der Simulation abgebildet.

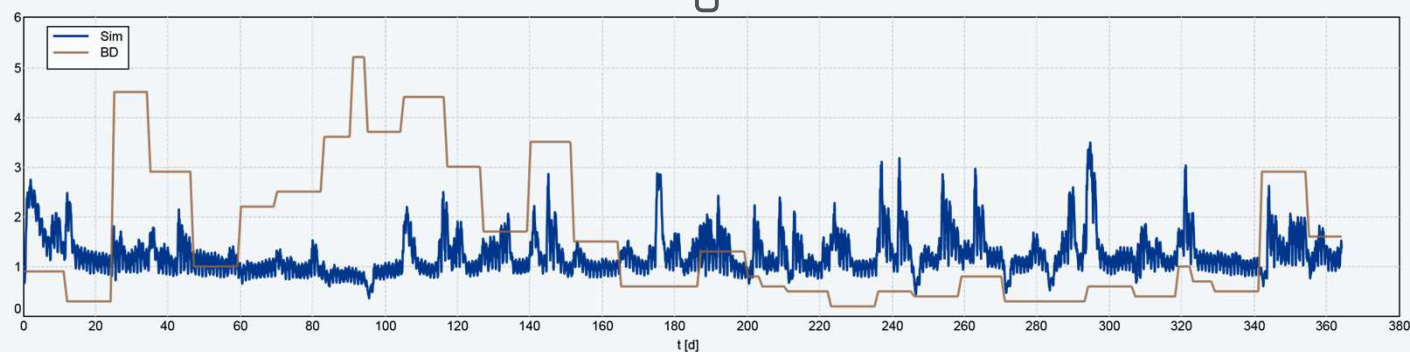


Leistungsmodul 2

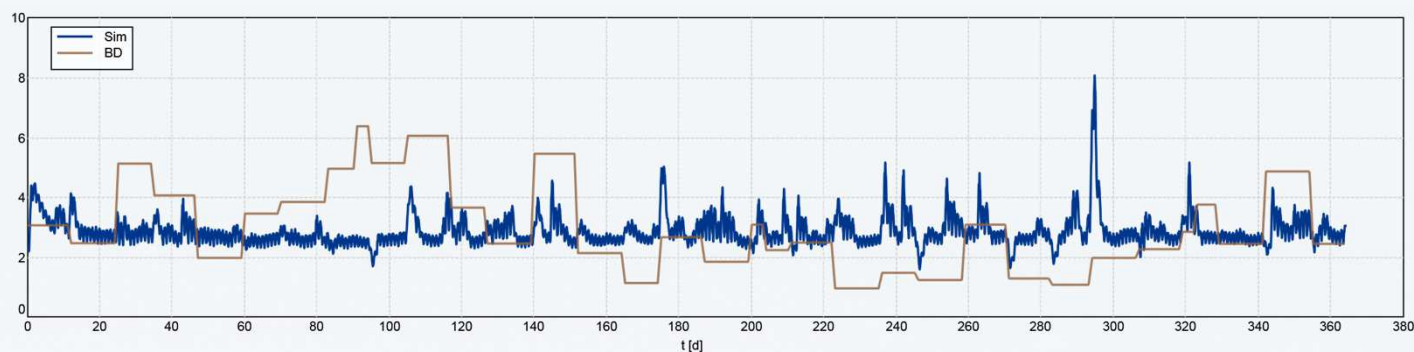


Variante: heutige Betriebsdaten

NH-N im Ablauf der Nachklärung



NO₃-N im Ablauf der Nachklärung

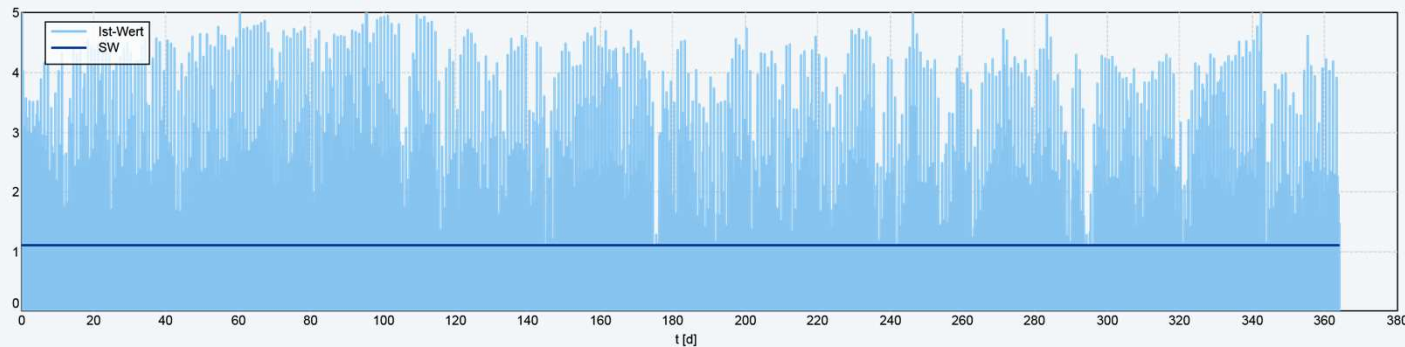


Leistungsmodul 2



Variante: heutige Betriebsdaten

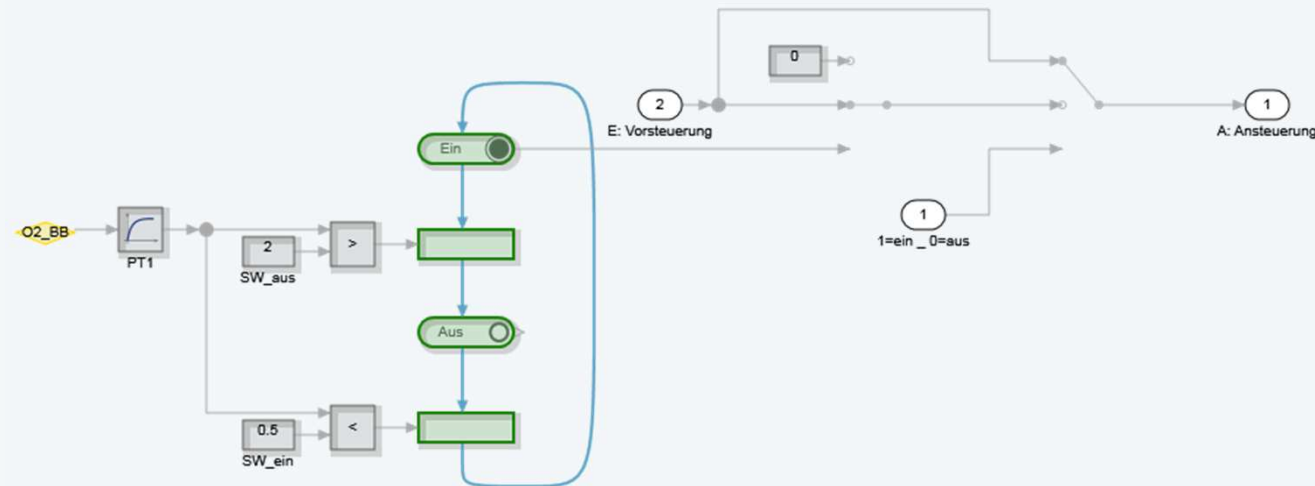
Sauerstoffgehalt in der Belebung



- Durch die höhere Belegungsdichte ist die minimale Luftmenge der Gebläse höher als zum heutigen Zustand.
- Das bewirkt einen Sauerstoffüberschuss während der Belüftungsphase
- Aus diesem Grund sollte Gebläseregelung um eine Abschaltautomatik erweitert werden.

Leistungsmodul 2

Optimierte Gebläseregelung



- Die Gebläse werden über einen maximalen Sauerstoffwert (SW_aus) abgeschaltet.
- Bei unterschreiten des Sauerstoffsollwertes (SW_ein) werden diese wieder zugeschaltet.
- Die Regelfunktion der Grundsteuerung bleibt unverändert.

Leistungsmodul 2



Prognosevarianten

- Für die Prognosevarianten werden den heutigen Betriebsdaten eine spezifische Fracht und Wassermenge hinzugerechnet, sodass die gewünschte Ausbaugröße erreicht wird.
- Dabei wird folgender Grundsatz angewandt:

- Wassermenge

$$Q_{Prognose} [m^3/d] = \frac{Einwohner [EW] \cdot spez. Schmutzwasseranfall [l/(E \cdot d)]}{1000}$$

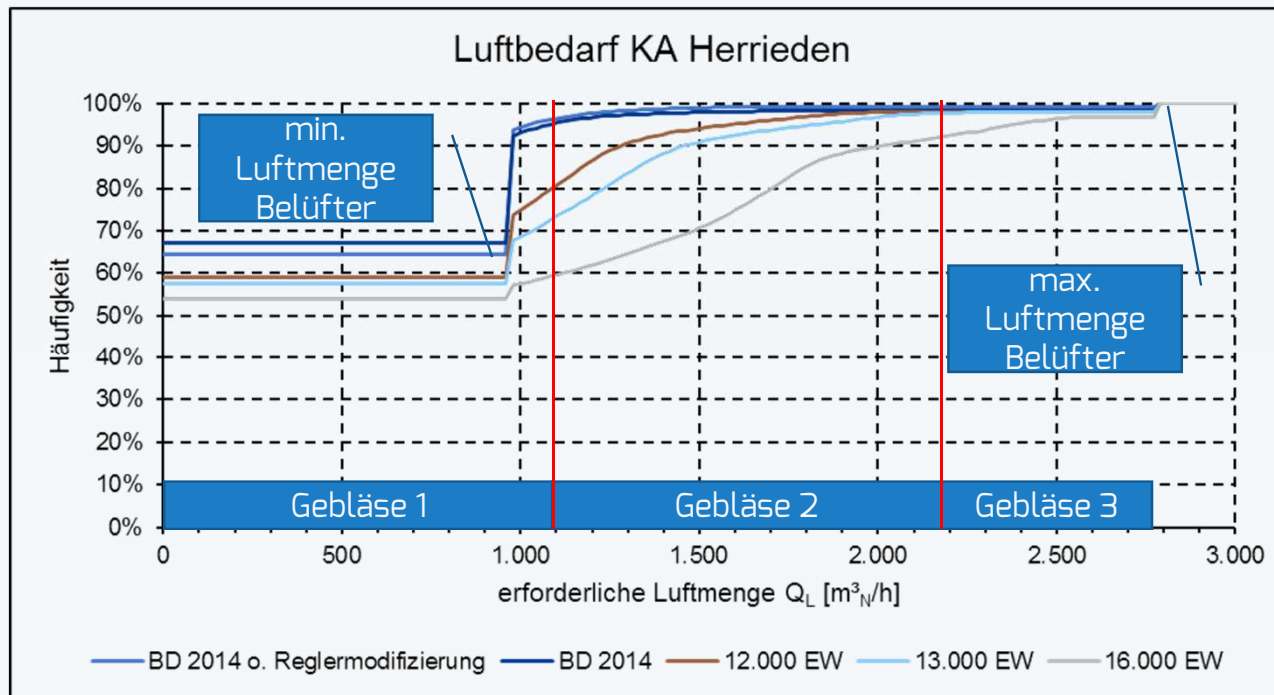
- CSB-Fracht

$$CSB - Fracht [kg/d] = \frac{Einwohner [EW] \cdot spez. Schmutzfracht [g/(E \cdot d)]}{1000}$$

- Stickstoff und Phosphor
wurde in Verhältnis zur CSB-Fracht gesetzt

Leistungsmodul 2

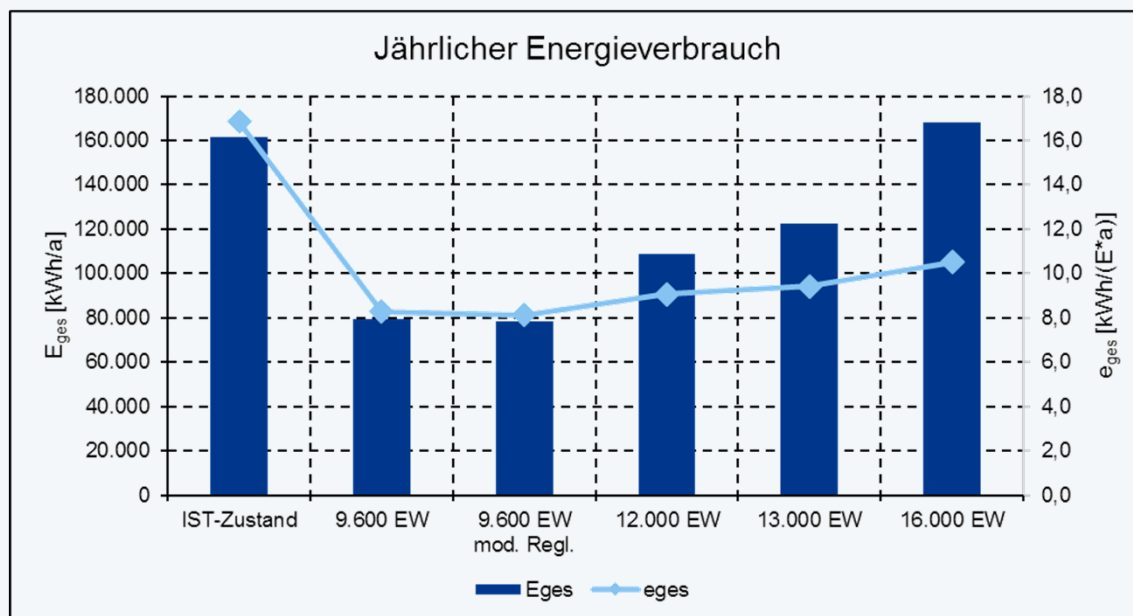
Auswertung: Luftmengen



- fast die gesamte Luftmenge kann mit zwei Gebläsen bereitgestellt werden.
- Das dritte Gebläse kann nur in Teillast betrieben werden, da sonst die max. Beaufschlagungsmenge der Membranen überschritten wird.
- Bei 16.000 EW wird ein viertes Gebläse empfohlen.

Leistungsmodul 2

Auswertung: Energiebedarf



- Mit dem neuen Belüftungssystem können erhebliche Einsparung gehoben werden.

Zusammenfassung



- Die Erneuerung des Belüftungssystem der Kläranlage führt zu einer erheblichen Reduzierung der Energiekosten.
- Die Simulation der Kläranlage Herrieden hat gezeigt, dass durch die Belüftungsregelung mit dem neuen Belüftungssystem eine Modifizierung sinnvoll ist.
- Das ausgelegte Belüftungssystem kann wirtschaftlich bis zu 13.000 EW betrieben werden.
- Bei 16.000 EW ist ein zusätzliches Gebläse (Redundanz) einzuplanen. Eine Erweiterung des Belüftungssystems hätte wirtschaftliche Vorteile. Jedoch ist zu beachten, dass bei dieser Maßnahme die Membranen komplett erneuert werden müssen.

Anlagen



1. Betriebsdatenauswertung (Rohdaten)
2. Betriebsdatenauswertung bereinigt
3. Messprogramm Zulauf
4. Bemessung Belüftungssystem
5. Bemessung Gebläse
6. Belüfterspezifikation für Simulation
7. Lageplan