

# 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

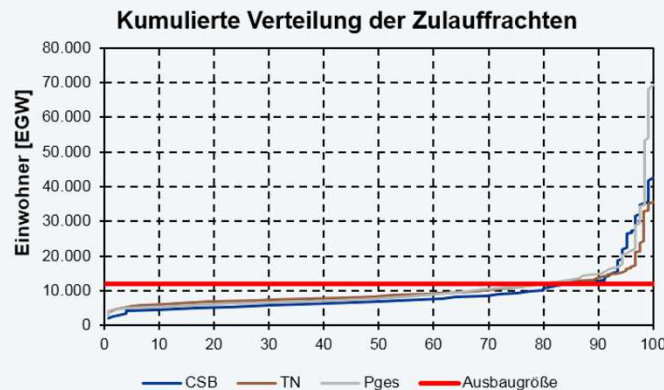


## Inhalt

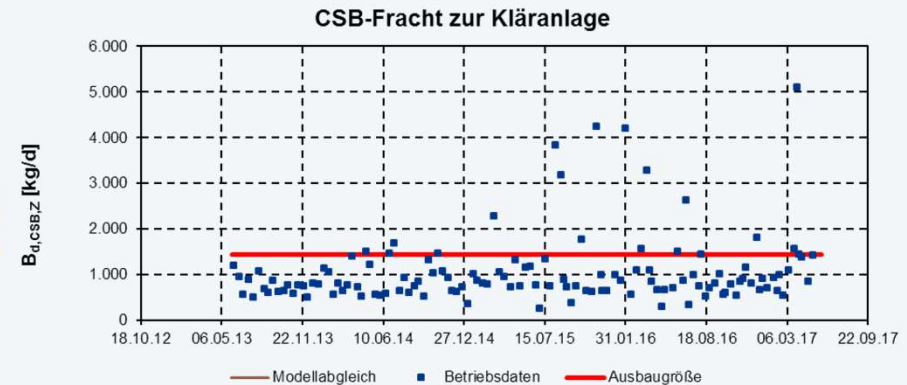
- Auswertung des Betriebstagebuches
- Auswertung Messprogrammes
- Bemessung des Belüftungssystems
- Auslegung der Gebläse
- Auslegung der Rührwerke
- Einbauzeichnung

# 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.

# Leistungsmodul 1



## Auswertung Messprogrammes

- Zur Ermittlung des Prozessfaktors, welche für die Bemessung der Kläranlage und des Belüftungssystems erforderlich ist, wurde 5 Messreihen mit 12 2h-Mischproben durchgeführt

	11.-12.07.								16.-17.07.								13.-14.06.								19.-20.06.								19.-20.07.								
	Regenwetter								Trockenwetter								Trockenwetter								Trockenwetter Schlamm aus SSB dabei!								Regenwetter								
	CSB mg/l	N mg/l	P mg/l	Q m³	CSB kg	N kg	P kg		CSB mg/l	N mg/l	P mg/l	Q m³	CSB kg	N kg	P kg		CSB mg/l	N mg/l	P mg/l	Q m³	CSB kg	N kg	P kg		CSB mg/l	N mg/l	P mg/l	Q m³	CSB kg	N kg	P kg		CSB mg/l	N mg/l	P mg/l	Q m³	CSB kg	N kg	P kg		
8-10	458	61,1	8,5	154	70,5	9,4	1,31		587	74,2	9,03	134	78,7	9,9	1,21		266	46,7	7,08	117	31,1	5,5	0,83		1257	88,8	18,1	132	165,9	11,7	2,39		421	73,9	12,83	122	51,4	9,0	1,57		
10-12	183	28,8	4,8	462	84,5	13,3	2,22		597	78,9	9,64	166	99,1	13,1	1,60		541	69,8	10,85	172	93,1	12,0	1,87		575	89	10,97	164	94,3	14,6	1,80		526	73,3	10,78	143	75,2	10,5	1,54		
12-14	187	26,4	3,8	395	73,9	10,4	1,50		494	61,4	7,74	135	66,7	8,3	1,04		569	60,8	9,73	114	64,9	6,9	1,11		1076	91	17,37	147	158,2	13,4	2,55		598	65,7	9,06	125	74,8	8,2	1,13		
14-16	223	36,6	4,8	313	69,8	11,5	1,50		659	61,4	11,43	134	88,3	8,2	1,53		465	51,2	7,13	120	55,8	6,1	0,86		991	98,9	34,73	120	118,9	11,9	4,17		517	64,6	9,41	121	62,6	7,8	1,14		
16-18	271	37	4,7	262	71,0	9,7	1,23		504	56,3	15,76	127	64,0	7,2	2,00		615	62,6	11,31	111	68,3	6,9	1,26		1077	90,1	25,3	110	118,5	9,9	2,78		531	91,1	12,24	119	63,2	10,8	1,46		
18-20	408	45,4	8,1	217	88,5	9,9	1,76		398	56,4	10,41	132	52,5	7,4	1,37		732	58,7	12,11	102	74,7	6,0	1,24		1731	127	40,6	117	202,5	14,9	4,75		513	93,8	15,64	135	69,3	12,7	2,11		
20-22	346	53,8	7	222	76,8	11,9	1,55		1200	53,6	10,2	192	230,4	10,3	1,96		1340	77,7	21,4	198	265,3	15,4	4,24		1048	82,2	24,7	167	175,0	13,7	4,12		608	77,2	10,72	197	119,8	15,2	2,11		
22-24	1239	63,6	10,9	189	234,2	12,0	2,06		437	53,5	9,77	150	65,6	8,0	1,47		520	54,6	11,78	148	77,0	8,1	1,74		1428	88,7	31,5	167	238,5	14,8	5,26		599	77,8	11,84	177	106,0	13,8	2,10		
0-2	319	47,9	5,4	125	39,9	6,0	0,68		480	56	11,1	111	53,3	6,2	1,23		533	55,5	8,51	99	52,8	5,5	0,84		588	57	7,7	103	60,6	5,9	0,79		538	57,4	9,91	229	123,2	13,1	2,27		
2-4	331	48,5	5,2	63	20,9	3,1	0,33		317	59,2	7,75	58	18,4	3,4	0,45		481	54,3	10,24	64	30,8	3,5	0,66		424	62,3	9	51	21,6	3,2	0,46		251	23,1	5,99	459	115,2	10,6	2,75		
4-6	200	47,4	5,1	66	13,2	3,1	0,34		246	56,7	7,19	61	15,0	3,5	0,44		254	53	10,5	94	23,9	5,0	0,99		1847	172	53,9	89	164,4	15,3	4,80		279	10,4	2,22	555	154,8	5,8	1,23		
6-8	156	40,5	4,3	94	14,7	3,8	0,40		211	49,9	6,2	98	20,7	4,9	0,61		215	42,8	5,73	86	18,5	3,7	0,49		1120	84,3	37,6	84	94,1	7,1	3,16		160	21,7	4,8	544	87,0	11,8	2,61		
Summe				2562	857,855	104,087	15					1498	852,6	90,4664	15				1425	855,966	84,5786	16					1451	1612,46	136,31	37					2926	1102,43	129,334	22			
Mittelwert	335	40,6	5,8					333	35,3	5,8						334	33,0	6,3						629	53,2	14,5					430	50,5	8,6								
EW					7149	9462	8265						7105	8224	8286						7133	7689	8949					13437	12392	20575					9187	11758	12231				
f <sub>N</sub> / PF					1,5		1,5						1,7		1,75					2,2		2,5					1,3		1,5					1,4		1,5					
AFS	225 mg/l	576 kg/d	8.235 EW					224 mg/l	336 kg/d	4.794 EW						110 mg/l	157 kg/d	2.239 EW					912 mg/l	1323 kg/d	18.904 EW					196 mg/l	573 kg/d	8.193 EW									

# Leistungsmodul 1



## Auswertung Messprogrammes

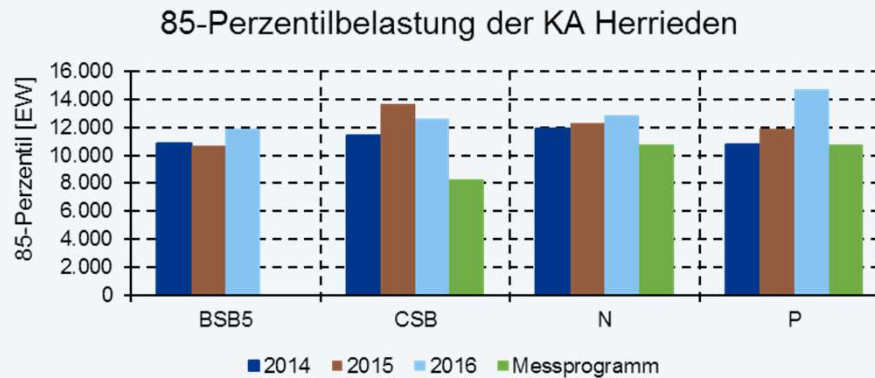
- Aus dem Messprogramm kann ein Prozessfaktor von 1,8 abgeleitet werden.
- Bei der 4. Analyse wurde bei Trübwasserabzug aus den Schlammstapelbehältern Schlamm mit abgezogen und zurückgeführt. Dieser wird bei der Zulaufanalytik miterfasst.
  - Dies führt zur Verfälschung der tatsächlichen Anlagenbelastung.
  - 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

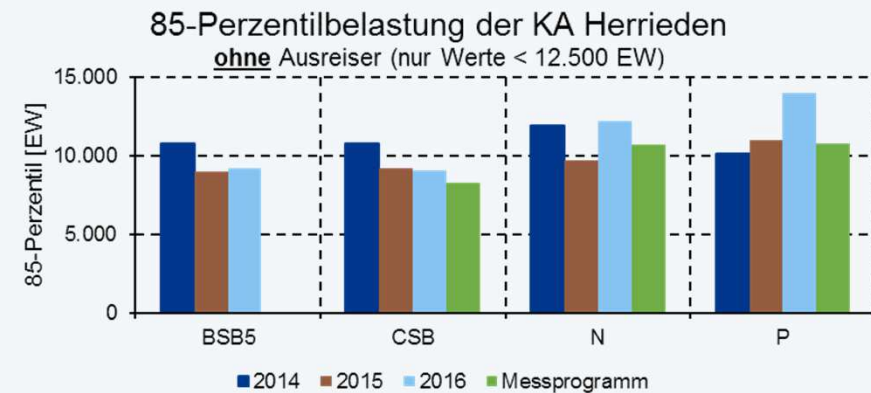
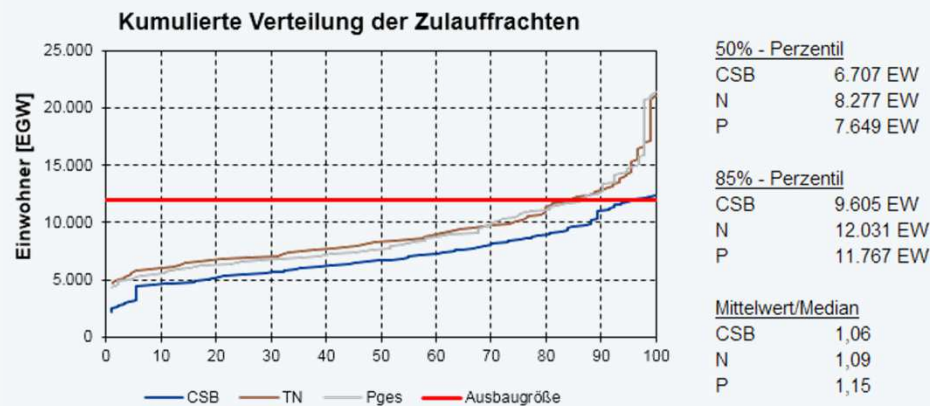


- Die Spitzenfrachten der Zulaufanalysen werden durch ungewollte interne Rückbelastungen erzeugt.
- Aus diesem Grund wurden alle Messergebnisse über 12.500 EW<sub>CSB120</sub> entfernt und die Betriebsdatenauswertung erneut durchgeführt.



# 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 <sup>3</sup> /d	1.710
stündliche Trockenwetterabflussmenge	$Q_{T,aM}$	m <sup>3</sup> /h	111,5
stündliche Abflussmenge bei Mischwasser	$Q_M$	m <sup>3</sup> /h	<b>368,0</b>
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	$C_{NO_3,ZB}$	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	<b>13.000</b>
	$EW_{N11}$	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 Räumbrücke 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 <sub>2</sub> /d	885,5
Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation	$OV_{d,N}$	kgO <sub>2</sub> /d	652,4
Sauerstoffgewinnung durch Denitrifikation	$OV_{d,D}$	kgO <sub>2</sub> /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 <sub>2</sub> /h	124,41
maximaler Sauerstoffverbrauch ( $f_C=1$ ; $f_N=1,6$ )	$OV_h$	kgO <sub>2</sub> /h	153,31
maximaler Sauerstoffverbrauch	$OV_{h,max}$	kgO <sub>2</sub> /h	153,31
maximaler Sauerstoffverbrauch	$OV_{h,max}$	kgO <sub>2</sub> /h	153,31
Sauerstoffzufuhrfaktor	$\alpha$		0,7
erforderlicher Sauerstoffeintrag	SOTR	kgO <sub>2</sub> /h	266

### Luftmenge

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

### Gebläse

Anzahl der Gebläse	n		3
- davon Reserve	n		0
Luftvolumenstrom ohne Reservegebläse	Q <sub>L,G</sub>	Nm³/h	3.288
Auslastung		%	85

### Belüfter

Anzahl Belüftungsgitter			8
Anzahl Belüfter je Gitter			40
Anzahl der Belüfter gesamt	$n_{\text{Bel}}$		320
Membranlänge je Belüfter	$L_{\text{Bel}}$	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 m<sup>3</sup>/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

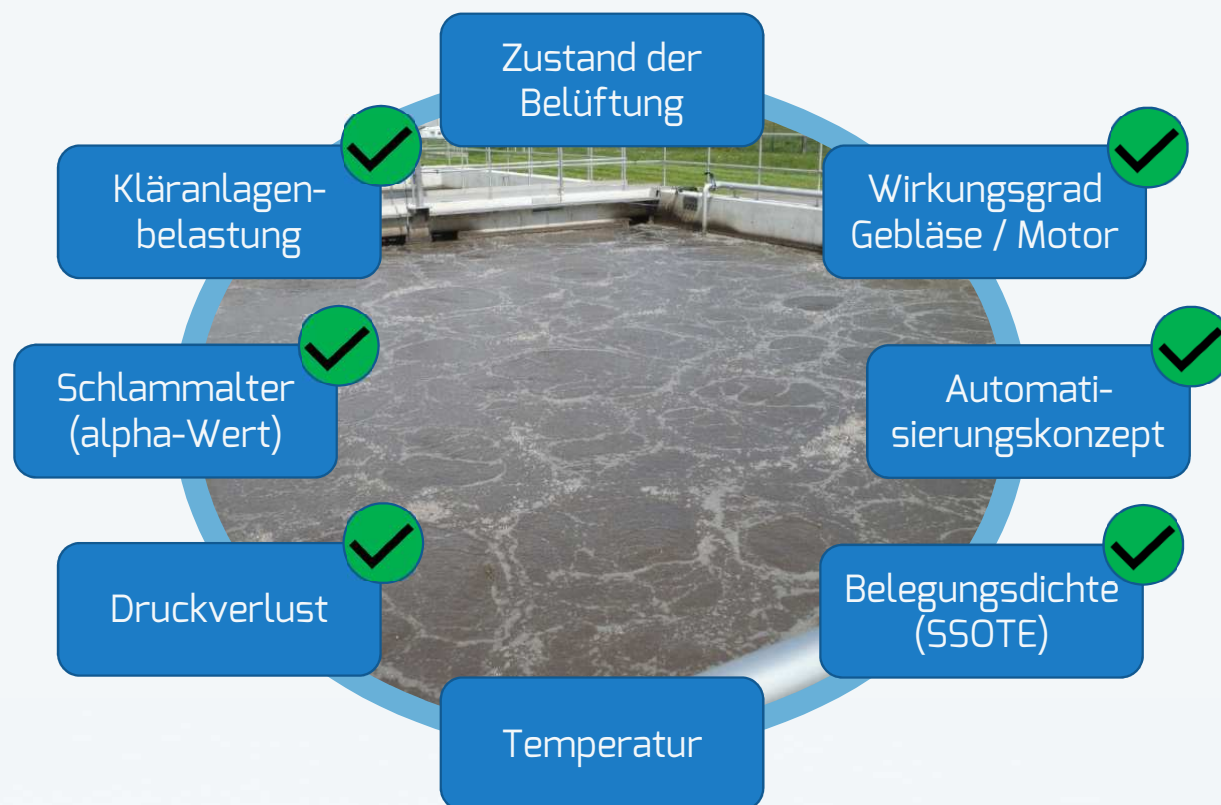


## Inhalt

- 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.

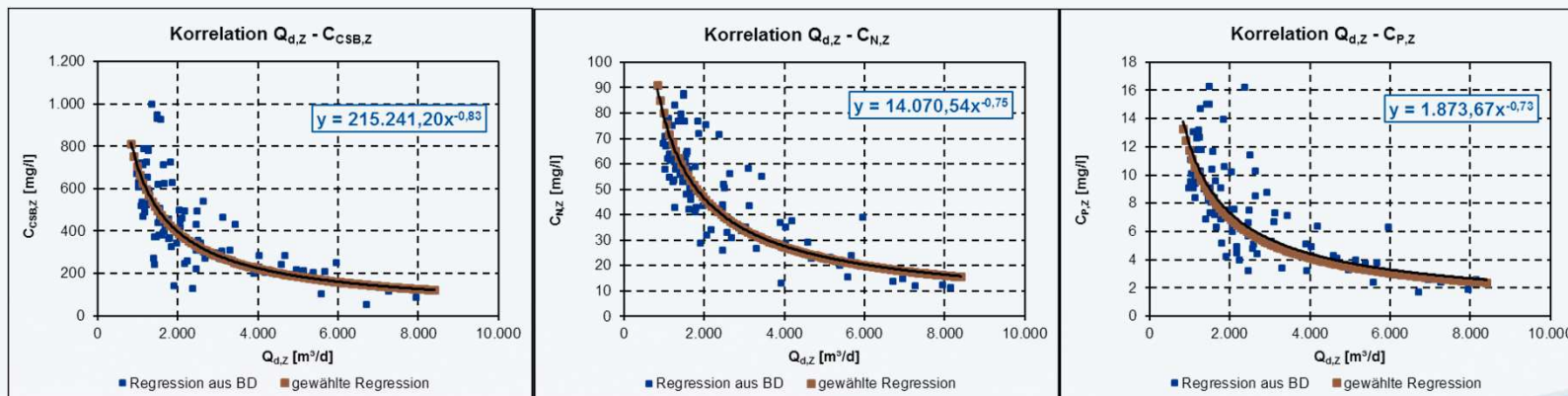


# Leistungsmodul 2



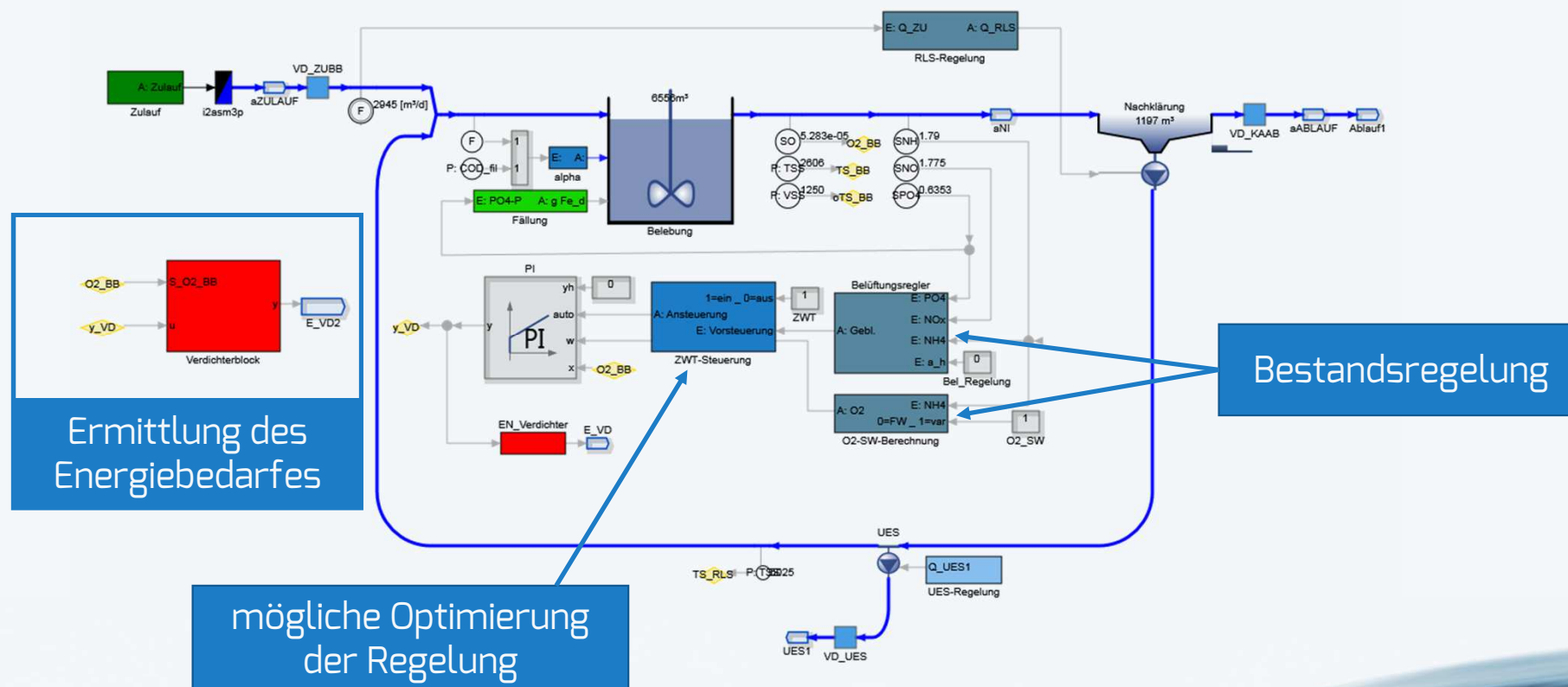
## Betriebsdatenaufbereitung für die Simulation

- 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

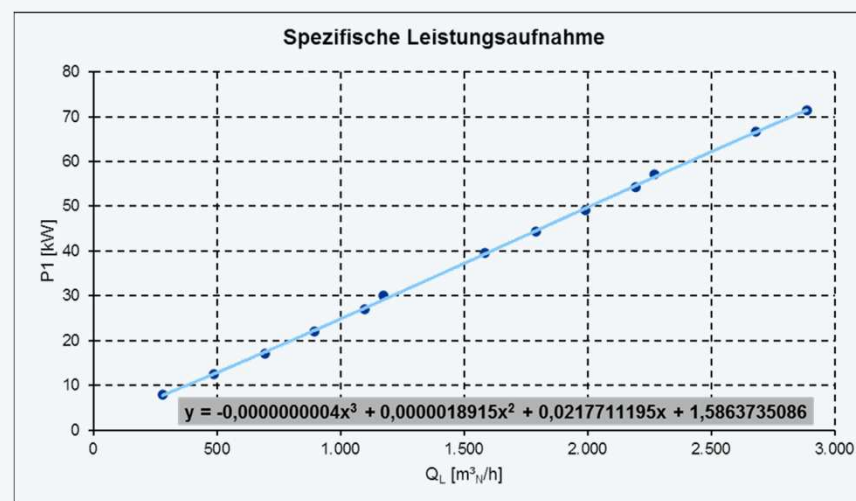
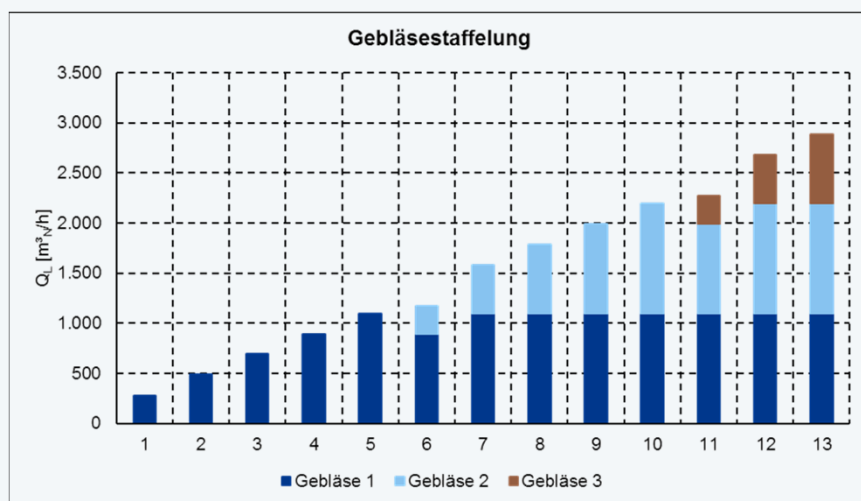


# Leistungsmodul 2

## Gebläsestaffelung und Anlagenkennlinie



- Gebläse: Kaeser DBS 220 L SFC

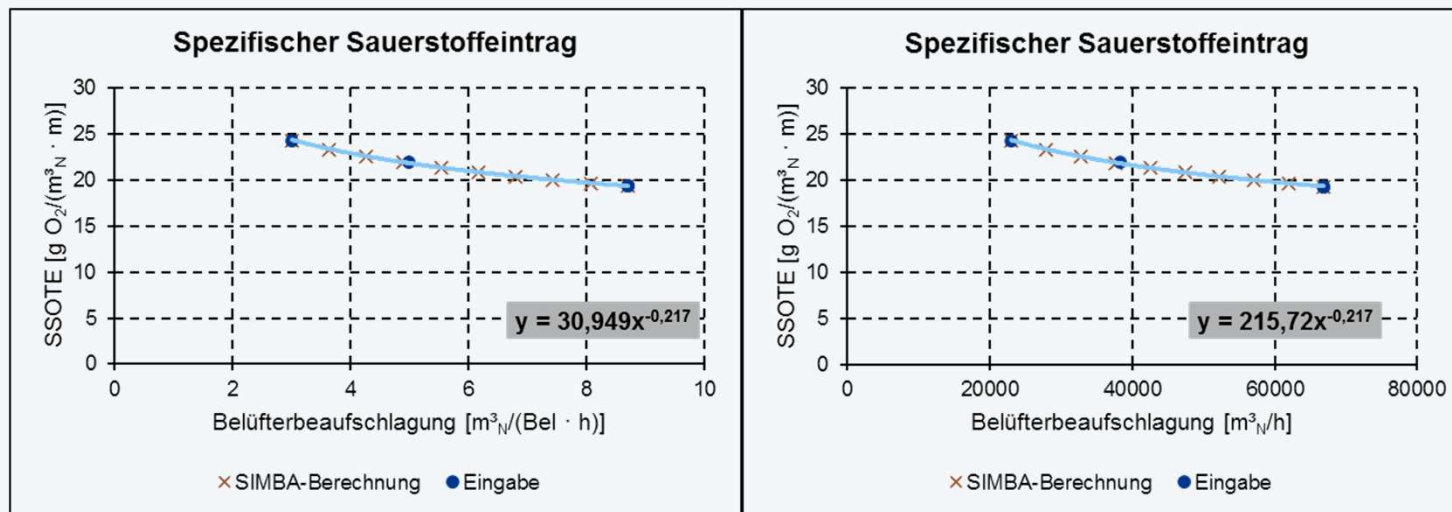


# Leistungsmodul 2



## Eintragskurve der Belüfter

- Belüfter: Ott Magnum 2000 Flexsil fein perforiert

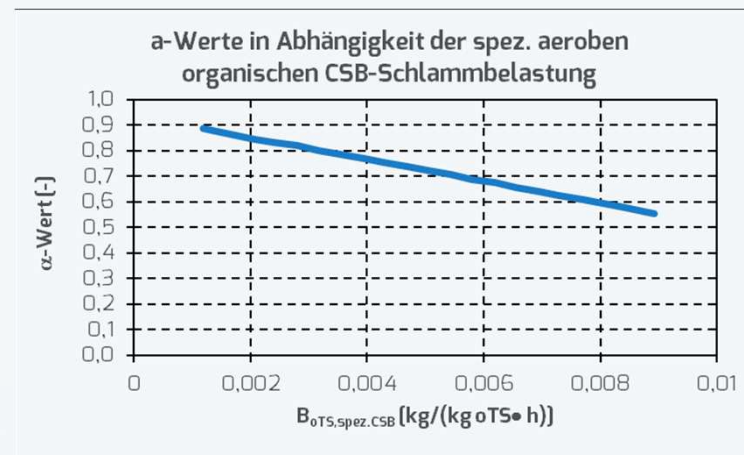


# Leistungsmodul 2



## Lastfallabhängige $\alpha$ -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.

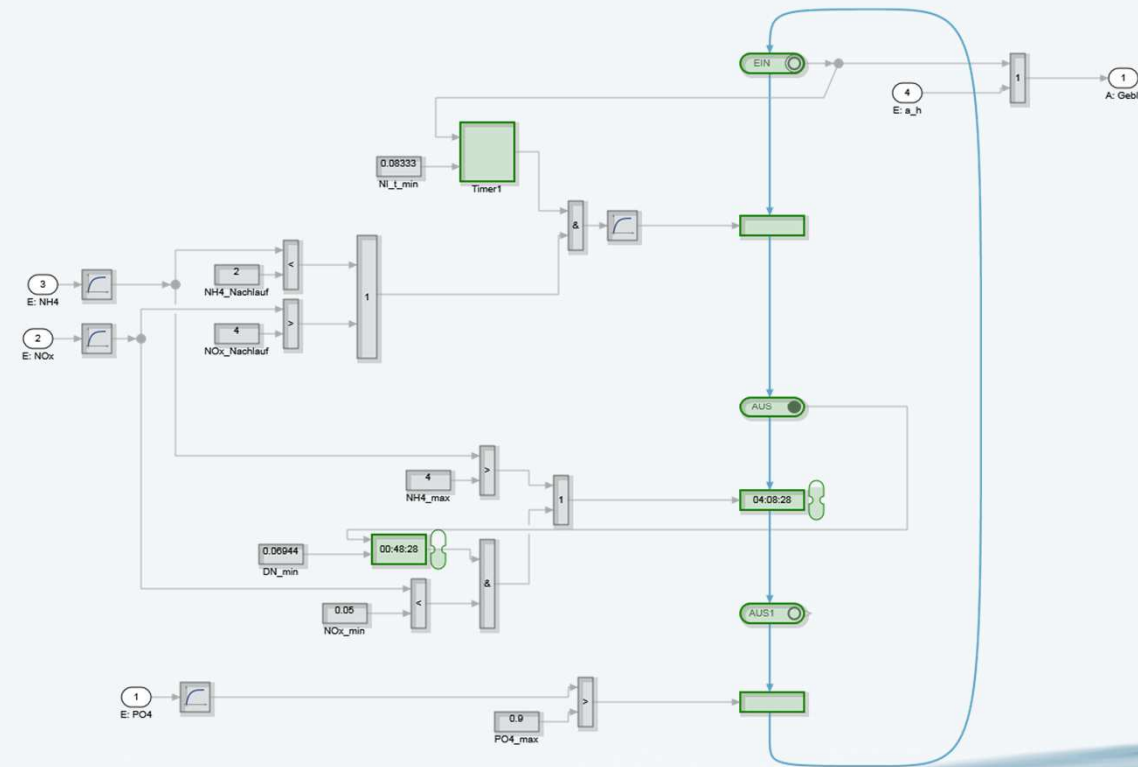


# Leistungsmodul 2



## 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



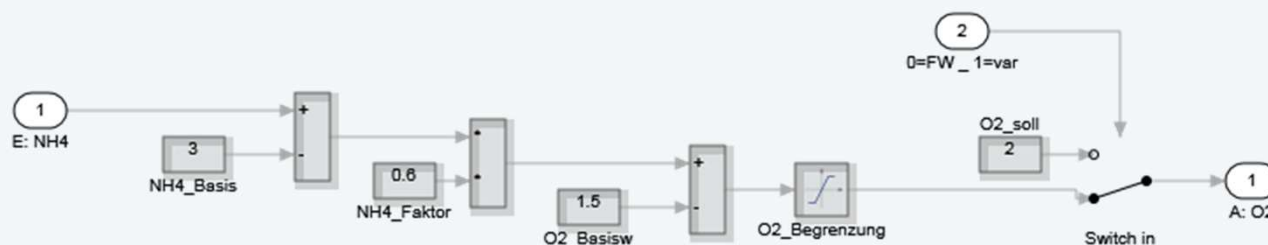


# Leistungsmodul 2



## O2 - Sollwertanpassung

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

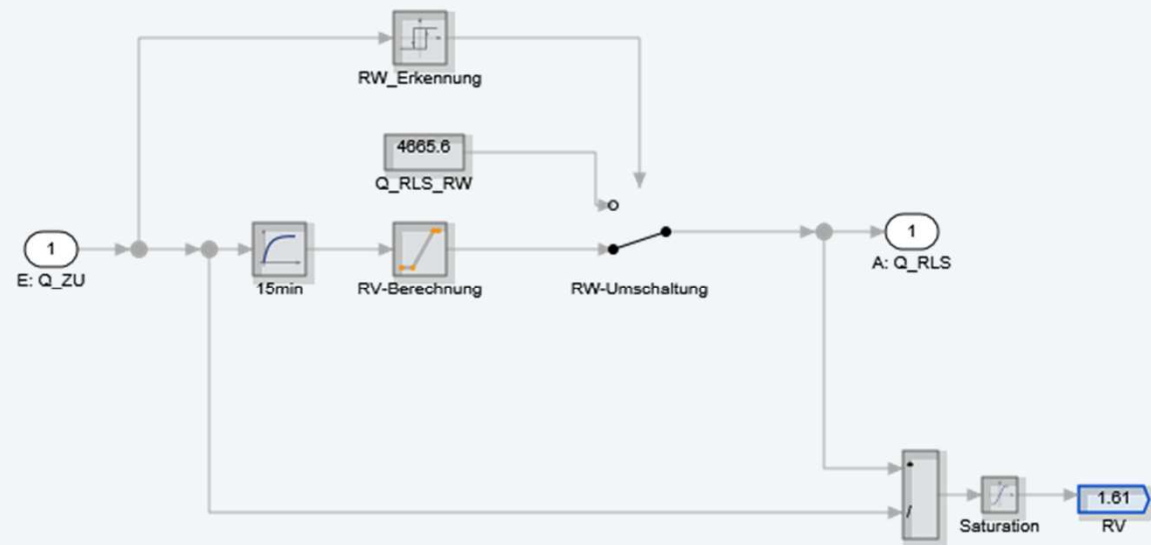




# Leistungsmodul 2

## 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.

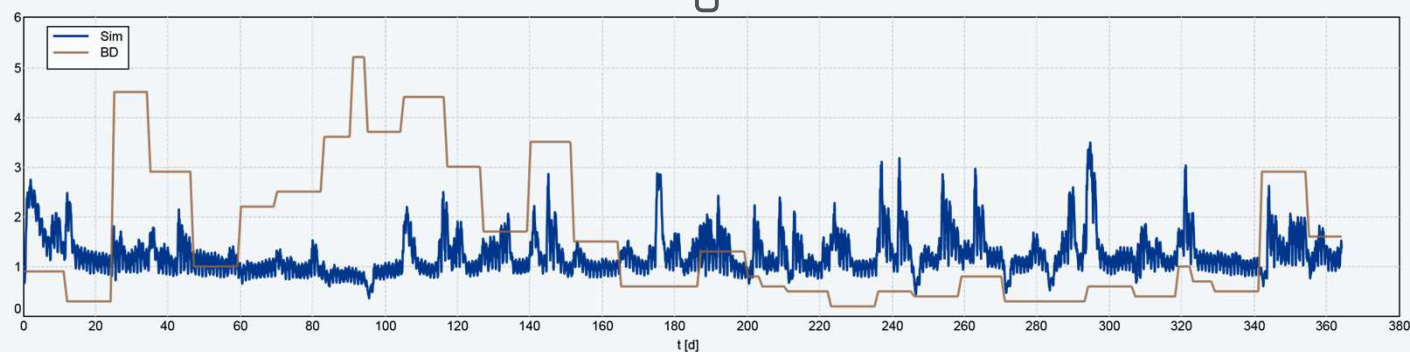


# Leistungsmodul 2

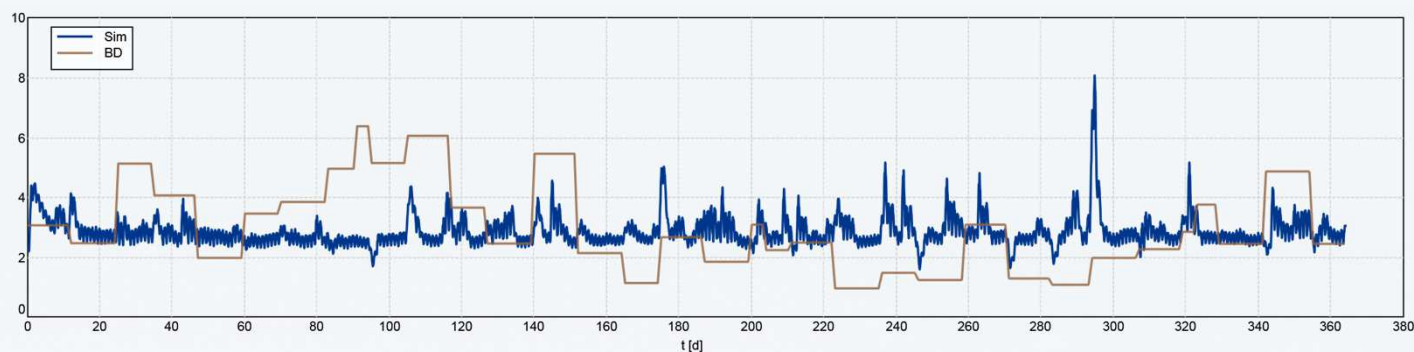


**Variante: heutige Betriebsdaten**

NH-N im Ablauf der Nachklärung



NO<sub>3</sub>-N im Ablauf der Nachklärung

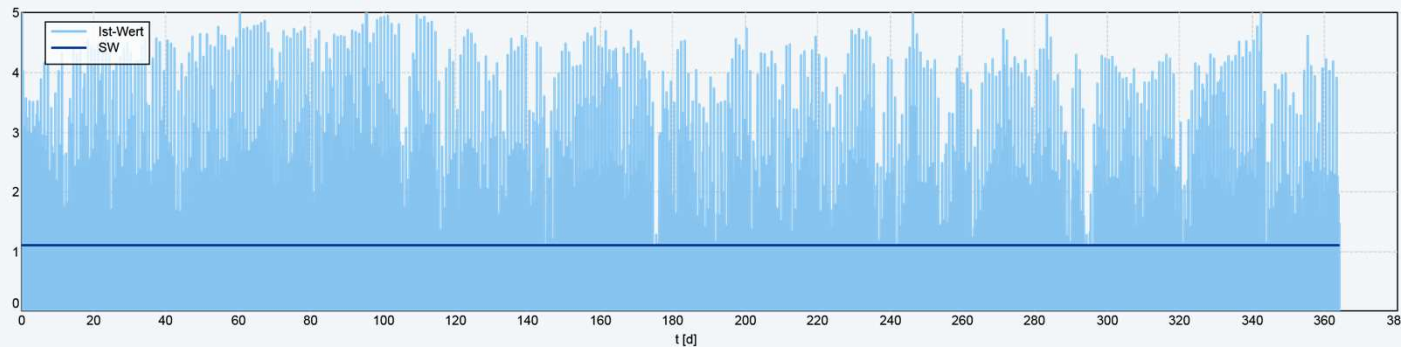


# Leistungsmodul 2



## Variante: heutige Betriebsdaten

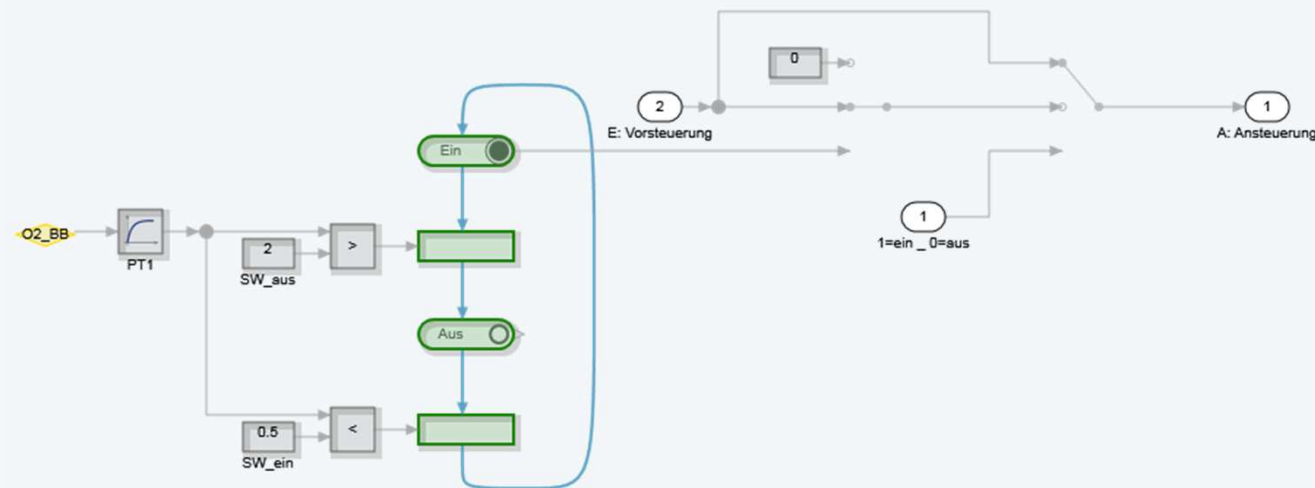
### Sauerstoffgehalt in der Belebung



- 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

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

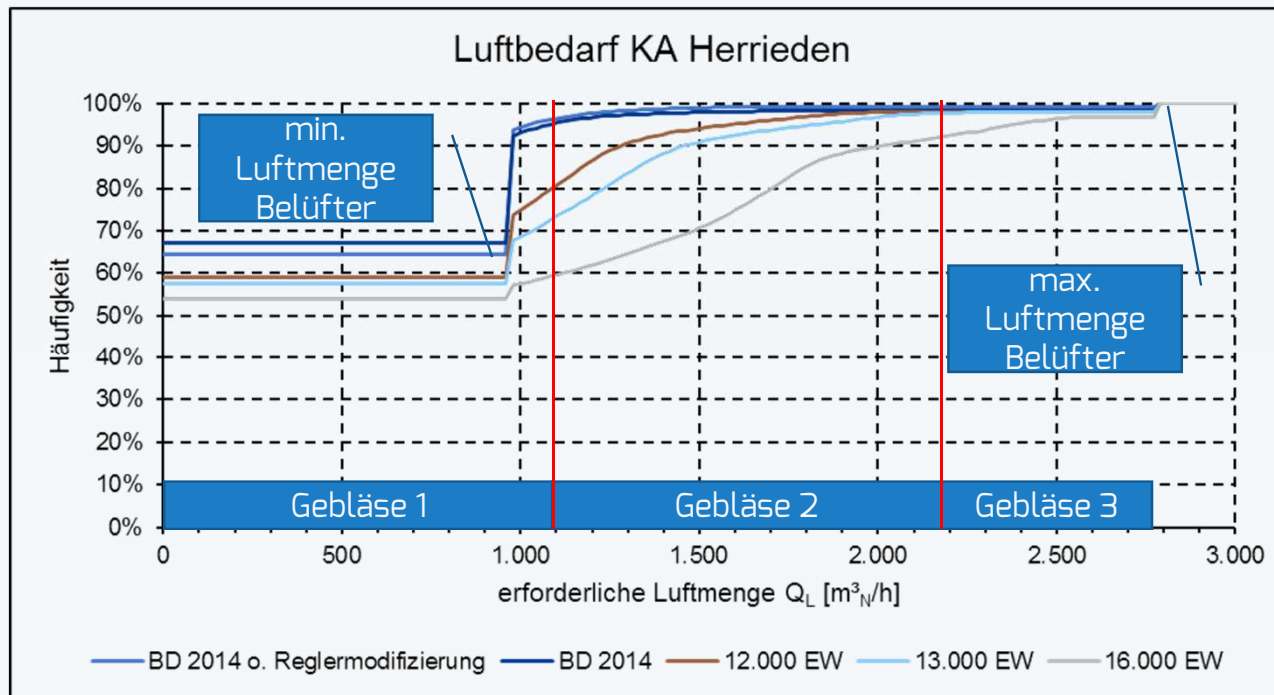
- CSB-Fracht

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

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

# Leistungsmodul 2

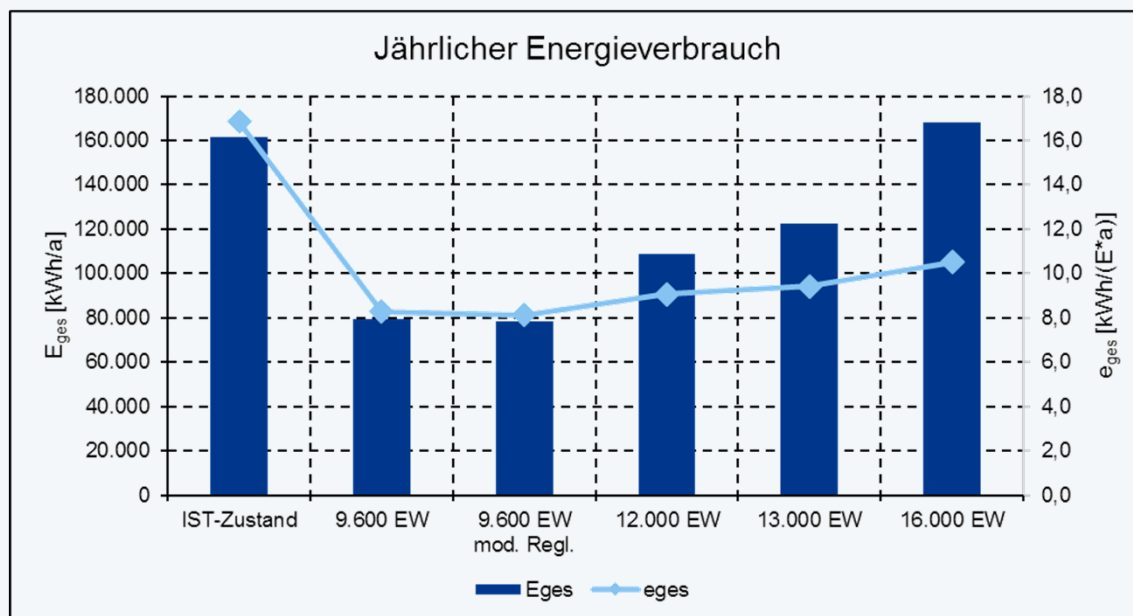
## Auswertung: Luftmengen



- 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