Entwicklung eines Stoffflussmodells und Leitfadens zur Emissionsminderung von Mikroschadstoffen im Hinblick auf die Gewässerqualität

Kurzzusammenfassung Meilenstein 2-2

(Planung des Monitorings und Charakterisierung der Kläranlagen)

Verantwortlicher Partner: Institut für Siedlungswasserwirtschaft, AG Abwasserbehandlung

Beteiligte Partner: Institut für Wasserchemie / Institut für Hydrobiologie
eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
Stadtentwässerung Dresden GmbH
Zweckverband Wasser und Abwasser Vogtland

Hintergrund und Zielstellung

Die Planung des Monitorings für die drei Kläranlagen und ihre Vorfluter erfolgte anhand der im Meilenstein 2-1 festgelegten Stoffliste durch das Institut für Wasserchemie. Dabei wurden u.a. die benötigten Analyseverfahren (chemisch u. ökotoxikologisch), das Probenahmevolumen, die Art der Flaschen, die Messstellen und die Logistik festgelegt.

Die Charakterisierung der Kläranlagen von Chemnitz, Dresden und Plauen bildet die Voraussetzung für eine vergleichende Bewertung der Kläranlagen nach dem Monitoring. Die Einordnung der Kläranlagen wurde für die Jahre 2013[1] bis 2015 u.a. mittels der Zulauffrachten, der Ablaufwerte, der Betriebsparameter und der Abwasserbelastung des Vorfluters durchgeführt. Besondere Berücksichtigung finden Parameter (u.a. Schlammalter) die im Zusammenhang mit der Elimination von Spurenstoffen gesehen werden (BAFU, 2012) bzw. solche, die für den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe von Bedeutung sind – u.a. NO_2^- und AFS (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015).

Wesentliche Ergebnisse

Um die Vielzahl an ausgewählten Substanzen zu analysieren, müssen verschiedene Methoden eingesetzt werden (Vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: *Stoffgruppenabhängige Auswahl von Methoden und Probenahmeflaschen*

Stoffe/Stoffgruppen	Analysemethoden	Flaschen-Set (Institut)
PFT	SPE + LC-MS	1L BG, Schraub (IWC)
diverse PSM, PAK, Nonylphenol	FFE + GC-MS	1L BG, Schliff (IWC)
Arzneimittel, diverse PSM, KSM	LC-MS	0,5L BG, Schraub (IWC)
-	Rückstellprobe	1L PP (IWC)
Quecksilber	AAS	0,2L PE (Fremdanalyse)
Nickel, Cadmium	AAS	0,2L PE (ISI)
-	Ökotoxikologie	1L BG, Schraub (IHB)

PFT = Perfluorierte Tenside; PSM = Pflanzenschutzmittel; PAK = Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; SPE = Festphasenextraktion; FFE = Flüssig-Flüssig-Extraktion; GC = Gaschromatographie; LC = Flüssigchromatographie; MS = Massenspektrometrie; AAS = Atomabsorptionsspektrometrie; BG = Braunglas; PP = Polypropylen; PE = Polyethylen

[1] Aufgrund des Hochwassers im Jahr 2013 keine Betrachtung der Monate Mai, Juni, Juli

An den Messstellen der Kläranlagen werden 24h-Mischproben durch Probenahme-automaten und in den Fließgewässern Strichproben (Schöpfprobe) entnommen. Die Fließgewässermessstellen für die Chemnitz und die Weiße Elster (nur oberhalb der KA) wurden entgegen der Messstellen des LfULG näher an die Kläranlagen verlegt. Die Probenahmestelle unterhalb der KA Plauen ist identisch zu der des LfULG („unterhalb Plauen“). Die Probenahmestellen „Gohlis links & rechts“ (Elbe, unterhalb KA) wurde zur Datenverdichtung beibehalten. Oberhalb der KA Dresden wurde die Albertbrücke als Messpunkt ausgewählt. Die Proben werden in täglichen Transporten (Kühlboxen) zur Bearbeitung in die Institute der TUD (IWC, IHB und ISI) gebracht. Falls benötigt, werden den Proben im Labor Stabilisatoren zugegeben und die jeweilige Rückstellprobe im Tiefkühlraum eingelagert. Im ökotoxikologischen Monitoring werden ausschließlich der Zu- und Ablauf der Kläranlagen über Extraktionsproben (SPE) untersucht. Um die Proben ökotoxikologisch bewerten zu können, werden eine Reihe von etablierten Testverfahren eingesetzt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: *Etablierte ökotoxikologische Testverfahren für das biologische Monitoring*

Biotest	Aussage des Tests
Cytotoxizität	Zelltoxizität
Hefe-Reportergen Assays *Östrogen YES, Androgen YAS, Antiöstrogen YAES, Antiandrogen YAAS, Dioxin ähnlich YDS*	Rezeptorhemmung oder -aktivierung, Vorliegen hormoneller und dioxinähnliche Aktivität
AMES Assay *OECD 471, ISO 11350*	Gentoxizität (Punktmutationen) in Bakterien
Mikrokern Assay *OECD 487, ISO 21427*	Gentoxizität (Chromosomenschäden) in eukaryotischen Zellen (HepG2; humane Leberkarzinomzellen)

Bei den Kläranlagen handelt sich um einstufige Belebungsanlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation (VDN) und anaerober Klärschlammstabilisierung der Größenklasse 5. Neben der VDN findet in den Schlaufenbecken der KA Dresden eine simultane Denitrifikation statt, die eine klare Trennung zwischen aeroben und anoxischen Zonen erschwert. Daher wird auf die Ermittlung des aeroben Schlammalters für den Auswertungszeitraum verzichtet. Auf der KA Chemnitz und der KA Plauen besteht die Möglichkeit der biologischen Phosphorelimination, die aktuell keine Anwendung findet. Die Belastung der Vorfluter mit Abwasser zeigt eine sehr differente Situation. Im Mittel betrug das Verhältnis (Q_{KA}/Q_{Vor}) im Betrachtungszeitraum für Plauen 8 % und für Dresden unter 1 %. In Chemnitz erhöht sich dieses Verhältnis auf 37 %. Noch deutlicher fallen die Unterschiede bei einer Extremfallbetrachtung hinsichtlich des mittleren Niedrigwasserabflusses in Anlehnung an Götz, et al. (2012) aus. Dabei kann der Anteil der Kläranlage Chemnitz (Trockenwetterfall) in Bezug auf den MNQ über 100 % betragen ($Q_{T,KA}/Q_{MNQ}$). Für Plauen und Dresden beträgt das Verhältnis 13 bzw. 2 %. Aufgrund des schwachen Vorfluters liegen für die KA Chemnitz behördliche Beschränkung hinsichtlich CSB, BSB_5 und Ammoniumstickstoff vor. Eine weniger starke Verschärfung liegt für die KA Plauen nur für den CSB vor. Die maximale Konzentration von 15 mg/l AFS (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015) im Ablauf wird durch alle Anlagen im Mittel eingehalten. Nitrit-Konzentrationen von mehr als 0,1 mg/l können überwiegend im Winter und Frühjahr festgestellt werden.

Weitere Angaben zu den Kläranlagen sind den Kennblättern u. den Verfahrensskizzen zu entnehmen (vgl. Anlage 1 bis 3).

Literaturverzeichnis

BAFU. 2012. *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser.* Bern : Bundesamt für Umwelt BAFU, 2012.

Fuchs, S., et al. 2003. Fremdwasserprobleme erkennen - methodische Ansätze. *KA - Abwasser, Abfall 50.* 2003.

Götz, Christian, et al. 2012. *Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser.* Zofingen : ENILAB, 2012.

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. 2015. *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.* Köln : ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015.

Moser, Dietmar und Thonhauser, Christian. 1996. Probleme bei den Summenparametern CSB, BSB5, TOC. *Wiener Mitteilungen - Wasser-Abwasser-Gewässer.* 1996, Bd. Bd. 108, S. F1-F46.

Anlage 1 – Kenndatenblatt, Verfahrensskizze der KA Chemnitz

Kläranlage Chemnitz-Heinersdorf

Dimensionierungskennwerte

Ausbaugröße	400.000	EW	
Mischwasserzufluss Q_M (Bemessung)	2.625	l/s	
Kanalisation	Überwiegend Mischsystem		
Mechanische Vorreinigung			
Grobrechen	50	mm	
Feinrechen	6	mm	
Sandfang (belüftet)	1.978	m³	vierstraßig, max. drei eingesetzt, zuflussabhängiger Betrieb
Vorklärung	4 x 1.150	m³	max. drei Straßen in Betrieb, zuflussabhängiger Betrieb
Biologische Stufe			
Bio-P	0	m³	
Denitrifikation	43.170	m³	12 x 1.225 m³, 6 x 1.225 m³ Vario, 12 x 1.760 m³ Bio-P
Nitrifikation	54.042	m³	6 x 7.022 m³, 6 x 1.985 m³ Vario
Zehrungsvolumen	2.898	m³	6 x 483 m³, weder als Nitrifikation noch Denitrifikation
Nachklärbecken	42.420	m³	4 x 10.605 m³
Anforderung an die Abwassereinleitung			
CSB	60	mg/l	behördlich angepasst
BSB_5	10	mg/l	behördlich angepasst
NH_4-N	5	mg/l	behördlich angepasst
N_{ges}	15	mg/l	behördlich angepasst, 70 % Nachweis nach AbwV
P_{ges}	1	mg/l	

Kennwerte des Anlagenbetriebs (2013 - 2015)[1]

Abwassermenge/Anschlusswerte			
Jährliche Abwassermenge Q_a	25	Mio. m³	im Mittel
Tägliche Abwassermenge Q_d	71.419	m³/d	im Mittel
Trockenwetterzufluss Q_T	973	l/s	Ermittlung nach Fuchs, et al. (2003)
Angeschlossene Einwohner (berechnet)	277.948	EW (CSB)	
Angeschlossene Einwohner (physisch)[2]	253.000	EW	
Indirekteinleiteranteil (bilanziert)	24.948	EW	
Zulauffrachten/Klärschlammmenge			
CSB (85%-Perzentil)	33.354	kg/d	
BSB_5 (85%-Perzentil)	14.115	kg/d	
TKN (85%-Perzentil)	3.242	kg/d	
NH_4-N (85%-Perzentil)	2.107	kg/d	
P_{ges} (85%-Perzentil)	411	kg/d	
Klärschlamm (Mittelwert)	13.146	kg_{TS}/d	

Ablauf

Konzentrationen	*85%*	*Mittelwert*	*Messungen*	*Erfüllt Anforderung*		Leistung
CSB [mg/l]	31,00	25,91	524	523	99,81%	92,18%
BSB_5 [mg/l]	3,00	3,03	524	524	100,00%	97,91%
NH_4-N [mg/l]	0,30	0,22	568	568	100,00%	98,67%
P_{ges} [mg/l]	0,69	0,59	524	523	99,81%	85,68%

Betriebsparameter biologische Stufe			
Trockensubstanzgehalt BB	3,0	g/l	
Aerobes Schlammalter	15	d	
Gesamtes Schlammalter	28	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_d	2,05	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_M	0,65	d	
Betriebsparameter Schlammbehandlung			
Faultemperatur	37	°C	
Faulraumvolumen	2 x 7.000	m³	
Verweilzeit	32	d	
Potentiell relevante Parameter für 4. RGS			
Ablauf PO_4-P (85%-Perzentil)	0,47	mg/l	Reinigungsleistung 84,01%
Ablauf NO_2-N (50% & 85%-Perzentil)	0,10	mg/l	Bestimmungsgrenze
Ablauf NO_2-N (Mittelwert)	0,26	mg/l	Werte über 0,1 mg/l nur im Winter bzw. Frühjahr

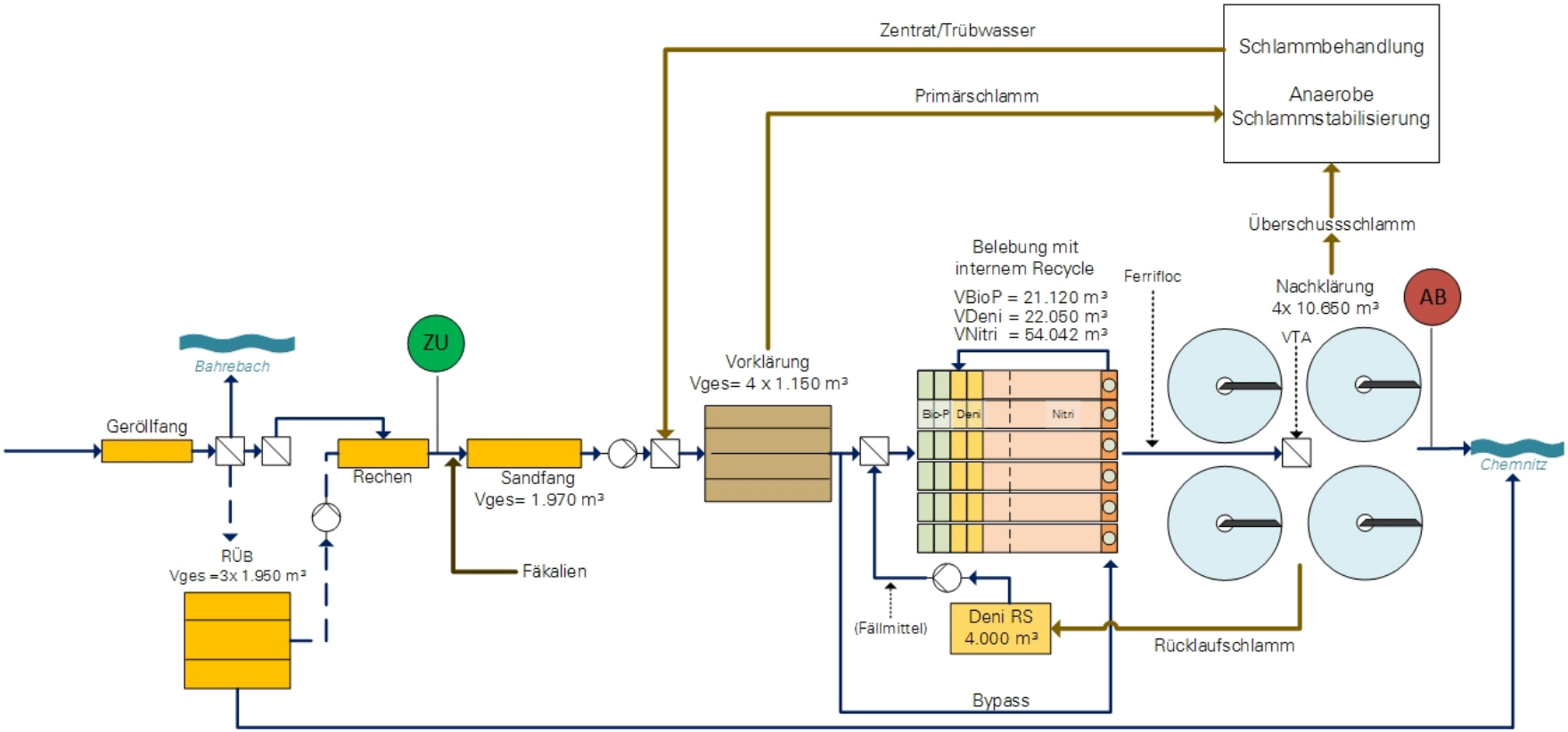
Ablaufparameter	*Sommer 01.04. - 30.09.*			*Winter 01.10. - 31.03.*		
	Mittelwert	*Median*	*85%*	*Mittelwert*	*Median*	*85%*
AFS [mg/l]	5,83	5,00	5,54	5,74	5,00	5,00
pH [-]	7,67	7,70	7,80	7,59	7,58	7,73
Temperatur [°C]	16,0	16,6	18,2	12,2	11,6	14,6
TOC [mg/l] nach Moser, et al. (1996)	7,86	7,79	9,37	7,90	7,85	9,74
Fällmitteleinsatz Fe^{3+} [kg/d] (Ferrifloc)	386,09	349,22	617,62	472,99	466,64	667,84
Fällmitteleinsatz Al^{3+} [kg/d] (VTA)	136,15	140,71	180,36	97,60	90,67	133,67

Abwasser-Vorflutverhältnis

Q_{KA}/Q_{Vor} (Mittelwert)	37,28%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (Median)**	35,91%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (85%-Perzentil)**	53,85%
$Q_{T,KA}/Q_{MNQ}$	145,27%				

[1] Unter Ausschluss den Frühjahrshochwassers 2013 (Mai, Juni, Juli)
[2] Aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage nach Einwohnermeldedaten

Kläranlage Chemnitz-Heinersdorf
Ausbau: 400.000 EW



Anlage 2 – Kenndatenblatt, Verfahrensskizze der KA Dresden

Kläranlage Dresden-Kaditz

Dimensionierungskennwerte

Ausbaugröße	750.000	EW	Erweiterung auf 787.000 EW
Mischwasserzufluss Q_M (Bemessung)	4.000	l/s	
Kanalisation	Überwiegend Mischsystem		
Mechanische Vorreinigung			
Grobrechen	65	mm	
Feinrechen	15	mm	
Sandfang	400	m³	2 Straßen
Vorklärung	6.463	m³	3 Becken
Biologische Stufe			
Denitrifikation	18.400	m³	Mischbecken 3.400 m³, Umlaufbecken 15.000 m³
Umlaufverteiler (belüftbar)	12.200	m³	
Umlaufbecken (simultane NI+DN)	86.400	m³	6 x 14.000 m³, Belüftungsgitter variabel
Nachklärbecken	52.800	m³	6x 8800
Anforderung an die Abwassereinleitung			
CSB	75	mg/l	
BSB_5	15	mg/l	
NH_4-N	10	mg/l	
N_{ges}	13	mg/l	
P_{ges}	1	mg/l	

Kennwerte des Anlagenbetriebs (2013 - 2015)[1]

Abwassermenge/Anschlusswerte			
Jährliche Abwassermenge Q_a	53	Mio. m³	im Mittel
Tägliche Abwassermenge Q_d	153.033	m³/d	im Mittel
Trockenwetterzufluss Q_T	1.841	l/s	Ermittlung nach Fuchs, et al. (2003)
Angeschlossene Einwohner (berechnet)	773.702	EW (CSB)	
Angeschlossene Einwohner (physisch)[2]	664.000	EW	
Indirekteinleiteranteil (bilanziert)	109.702	EW	
Zulauffrachten/Klärschlammmenge			
CSB (85%-Perzentil)	92.852	kg/d	
BSB_5 (85%-Perzentil)	39.588	kg/d	
TKN (85%-Perzentil)	10.185	kg/d	
NH_4-N (85%-Perzentil)	7.162	kg/d	
P_{ges} (85%-Perzentil)	1.666	kg/d	
Klärschlamm (Mittelwert)	34.145	kg_{TS}/d	

Ablauf

Konzentrationen	*85%*	*Mittelwert*	*Messungen*	*Erfüllt Anforderung*		Leistung
CSB [mg/l]	43,00	37,06	1032	1032	100,00%	92,46%
BSB_5 [mg/l]	7,00	4,58	1029	1021	99,22%	96,86%
NH_4-N [mg/l]	1,60	0,96	1042	1036	99,42%	97,37%
P_{ges} [mg/l]	0,89	0,78	1045	1042	99,71%	91,47%

Betriebsparameter biologische Stufe			
Trockensubstanzgehalt BB	3,3	g/l	
Aerobes Schlammalter	-	d	
Gesamtes Schlammalter	18	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_d	0,55	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_M	0,24	d	
Betriebsparameter Schlammbehandlung			
Faultemperatur	36,5	°C	
Faulraumvolumen	2 x 10.500	m³	
Verweilzeit	18-20	d	
Potentiell relevante Parameter für 4. RGS			
Ablauf PO_4-P (85%-Perzentil)	0,48	mg/l	Reinigungsleistung 92,50%
Ablauf NO_2-N (85%-Perzentil)	0,43	mg/l	
Ablauf NO_2-N (Mittelwert)	0,27	mg/l	Werte über 0,1 mg/l nur im Winter bzw. Frühjahr

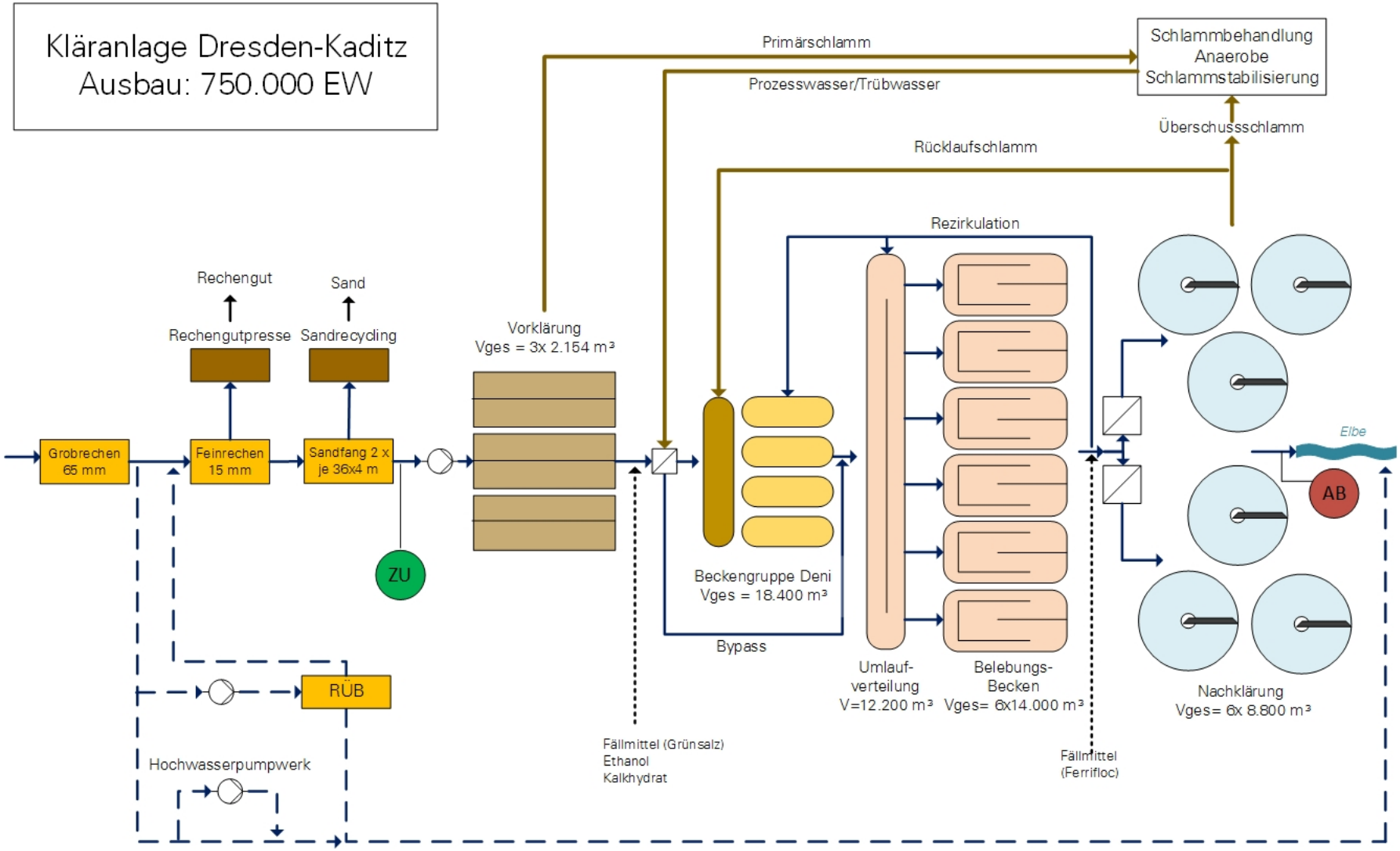
Ablaufparameter	*Sommer 01.04. - 30.09.*			*Winter 01.10. - 31.03.*		
	Mittelwert	*Median*	*85%*	*Mittelwert*	*Median*	*85%*
AFS [mg/l]	10,76	10,50	13,80	13,78	13,50	16,49
pH [-]	6,60	6,61	6,65	6,60	6,59	6,67
Temperatur [°C]	16,00	16,60	18,20	12,20	11,60	14,60
TOC [mg/l] nach Moser, et al. (1996)	10,84	10,97	12,51	11,74	11,65	13,55
Fällmitteleinsatz Fe^{2+} [kg/d] (Grünsalz)	1.311,36	1.339,76	1.555,12	1.188,53	1.180,39	1.281,12
Fällmitteleinsatz Fe^{3+} [kg/d] (Ferrifloc)	284,53	272,38	386,90	364,43	345,30	481,42
Fällmitteleinsatz[3] Al^{3+} ($AlCl_3$)	-	-	-	-	-	-

Abwasser-Vorflutverhältnis

Q_{KA}/Q_{Vor} (Mittelwert)	0,73%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (Median)**	0,68%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (85%-Perzentil)**	1,09%
$Q_{T,KA}/Q_{MNQ}$	1,74%				

[1] Unter Ausschluss den Frühjahrshochwassers 2013 (Mai, Juni, Juli)
[2] Aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage nach Einwohnermeldedaten
[3] Keine kontinuierliche Zugabe nur nach Bedarf, keine Durchflussdaten vorhanden

Kläranlage Dresden-Kaditz
Ausbau: 750.000 EW



Anlage 3 – Kenndatenblatt, Verfahrensskizze der KA Plauen

Kläranlage Plauen

Dimensionierungskennwerte

Ausbaugröße	140.000	EW	
Mischwasserzufluss Q_M (Bemessung)	750	l/s	
Kanalisation	Überwiegend Mischsystem		
Mechanische Vorreinigung			
Feinrechen	6	mm	
Sandfang	125	m³	
Vorklärung	2400	m³	2 x je 1.200 m³
Biologische Stufe			
Bio-P	0	m³	2.500 m³ vorgesehen, als Deni genutzt
Denitrifikation	5.000	m³	Belebungsbeckenvolumen gesamt 15.200 m³
Nitrifikation	8.000	m³	
Variable Zonen	2.200	m³	variables Deni-Volumen, ca. 2.200 m³ als Nitri genutzt
Nachklärbecken	10.800	m³	2 x je 5.400 m³
Anforderung an die Abwassereinleitung			
CSB	70	mg/l	behördlich angepasst
BSB_5	15	mg/l	
NH_4-N	10	mg/l	
N_{ges}	13	mg/l	
P_{ges}	1	mg/l	

Kennwerte des Anlagenbetriebs (2013 - 2015)[1]

Abwassermenge/Anschlusswerte			
Jährliche Abwassermenge Q_a	6	Mio. m³	im Mittel
Tägliche Abwassermenge Q_d	16.673	m³/d	im Mittel
Trockenwetterzufluss Q_T	241	l/s	Ermittlung nach Fuchs, et al. (2003)
Angeschlossene Einwohner (berechnet)	109.825	EW (CSB)	
Angeschlossene Einwohner (physisch)[2]	60.280	EW	
Indirekteinleiteranteil (bilanziert)	49.545	EW	
Zulauffrachten/Klärschlammmenge			
CSB (85%-Perzentil)	13.204	kg/d	
BSB_5 (85%-Perzentil)	6.106	kg/d	
TKN (85%-Perzentil)	918	kg/d	
NH_4-N (85%-Perzentil)	615	kg/d	
P_{ges} (85%-Perzentil)	148	kg/d	
Klärschlamm (Mittelwert)	4.386	kg_{TS}/d	

Ablauf

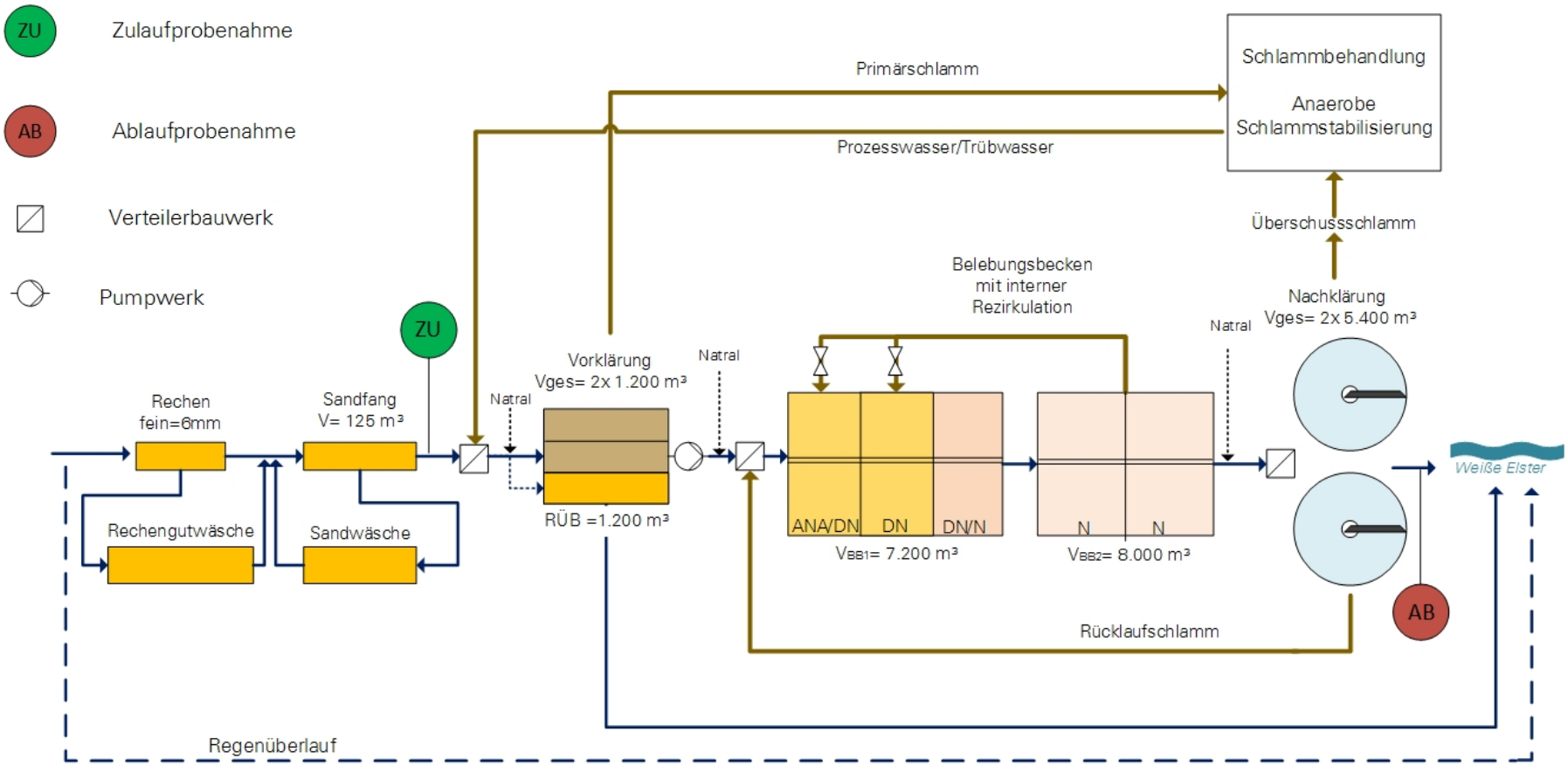
Konzentrationen	*85%*	*Mittelwert*	*Messungen*	*Erfüllt Anforderung*		Leistung
CSB (mg/l)	44,00	36,28	1046	1046	100,00%	94,13%
BSB_5 (mg/l)	4,00	2,77	1019	1018	99,90%	98,86%
NH_4-N (mg/l)	3,51	2,06	1045	929	88,90%	90,15%
P_{ges} (mg/l)	0,76	0,51	1043	989	94,82%	91,60%

Betriebsparameter biologische Stufe			
Trockensubstanzgehalt BB	2,9	g/l	
Aerobes Schlammalter	8	d	
Gesamtes Schlammalter	12	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_d	0,91	d	
Hydraulische Verweilzeit bei Q_M	0,23	d	
Betriebsparameter Schlammbehandlung			
Faultemperatur	38,6	°C	
Faulraumvolumen	3000	m³	2 x je 1500 m³
Verweilzeit	19	d	
Potentiell relevante Parameter für 4. RGS			
Ablauf P_{ges} (85%-Perzentil)	0,76	mg/l	Reinigungsleistung 91,60%
Ablauf NO_2-N (85%-Perzentil)	0,28	mg/l	
Ablauf NO_2-N (Mittelwert)	0,16	mg/l	Werte über 0,1 mg/l nur im Winter bzw. Frühjahr

Ablaufparameter	*Sommer 01.04. - 30.09.*			*Winter 01.10. - 31.03.*		
	Mittelwert	*Median*	*85%*	*Mittelwert*	*Median*	*85%*
AFS [mg/l]	4,4	4,1	6,3	4,3	4,1	6,0
pH [-]	7,8	7,8	7,9	7,7	7,7	7,8
Temperatur [°C]	16,0	16,6	18,2	12,2	11,6	14,6
TOC [mg/l] nach Moser, et al. (1996)	10,8	10,7	13,0	11,2	11,3	13,3
Fällmitteleinsatz Al^{3+} [kg/d] (Natral)	162,4	133,1	307,4	136,9	128,1	244,7

Abwasser-Vorflutverhältnis

Q_{KA}/Q_{Vor} (Mittelwert)	8,06%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (Median)**	7,14%	**Q_{KA}/Q_{Vor} (85%-Perzentil)**	12,17%
$Q_{T,KA}/Q_{MNQ}$	13,36%				

[1] Unter Ausschluss den Frühjahrshochwassers 2013 (Mai, Juni, Juli)
[2] Aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage nach Einwohnermeldedaten

Kläranlage Plauen
Ausbau: 140.000 EW