

REPORT

Cicerostr. 24
D-10709 Berlin
Germany
Tel +49 (0)30 536 53 800
Fax +49 (0)30 536 53 888
www.kompetenz-wasser.de

COMPAS

Untersuchung des Betriebsverhaltens von Kleinkläranlagen unter besonderen Be- triebsbedingungen - Vergleichende Studie auf dem Testfeld des BDZ in Leipzig

von

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch
Dipl.-Ing. Eva Exner
Andreas Detert
Technische Universität Berlin



für

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Preparation of this report was financed by VEOLIA



Berlin, Germany

2009

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfil any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information herein. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Titel:

Untersuchung des Betriebsverhaltens von Kleinkläranlagen unter besonderen Betriebsbedingungen - Vergleichende Studie auf dem Testfeld des BDZ in Leipzig (Compas)

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, Dipl.-Ing. Eva Exner, Andreas Detert

Qualitätsprüfung

Dr. Bodo Weigert, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Dr. Christian Vignoles, Veolia Eau

Dr. Anne Cauchi, Veolia Eau

Publikation geprüft von Mitgliedern des technischen Komitees / Steuerungskomitees:

Prof. Dr. Fritz, Peter (BDZ)

Kerklies, Guido (KWL)

Dr. Moreau, Yann – Le Golvan (KWB)

Dr. Müller, Roland (UFZ)

Sardet, Christophe (Veolia Wasser)

Ralf Zimmer (KWL)

Projektinformation

Ort:

Demonstrationsfeld BDZ Leipzig

Dauer:

1/2008–02/2009

Partner:

- Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung (BDZ):
Bereitstellung des Testfelds und der Anlagen
- Umweltforschungszentrum Halle Leipzig (UFZ),
Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum (UBZ):
Durchführung der Probenahmen und Analytik
- Kommunale Wasserwerke Leipzig (KWL):
Technische Gesamtbetreuung der Untersuchungen
- FG Siedlungswasserwirtschaft, TU Berlin:
Wissenschaftliche Begleitung, Auswertung und Berichtserstellung
- Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB):
Administration und Management
- Veolia Eau:
Auftraggeber

Steuerungskomitee / technisches Komitee:

Barjenbruch, Matthias (TUB)
Cauchi, Anne (Veolia Eau)
Detert, Andreas (TUB)
Exner, Eva (TUB)
Fritz, Peter (BDZ)
Hoffmann, Petra (UFZ)
Kerklies, Guido (KWL)
Moreau, Yann – Le Golvan (KWB)
Müller, Roland (UFZ)
Pawlowski, Ludwig (KWB)
Sardet, Christophe (Veolia Wasser)
Trouve, Emanuel (AR)
Vignoles, Christian (Veolia Eau)
Weigert, Bodo (KWB)
Zehnsdorf, Andreas (UFZ)
Zimmer, Ralf (UFZ)

Abstrakt

In ländlichen Gegenden stellen Kleinkläranlagen eine kostengünstige Lösung für die Abwasserentsorgung dar. Nach der in Europa gültigen Definition von Kleinkläranlagen handelt es sich hierbei um Anlagen zur Behandlung von häuslichem Abwasser bis zu 50 EW. In Deutschland sind ca. 2,2 Millionen Kleinkläranlagen in Betrieb bzw. werden installiert. In Frankreich werden etwa 10 bis 12 Millionen Einwohner von dezentralen Systemen versorgt mit steigender Tendenz.

Die technischen Lösungen solcher Systeme reichen von Pflanzenkläranlagen über Schilfrohrfilter bis zu Belebungsanlagen. Alle auf dem europäischen Markt verfügbaren Systeme müssen der EU-Zertifizierung EN 12566-3 entsprechen, die einen Mindeststandard bezüglich Betriebssicherheit und Reinigungsleistung setzt. Weiterhin müssen, je nach nationalen oder regionalen Vorgaben, zusätzliche Richtlinien beachtet werden. Es sind nur wenige Informationen verfügbar über Effizienz, Betriebszuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit im realen Betrieb der unterschiedlichen am Markt verfügbaren Kleinkläranlagentypen, was aber gerade für Kunden, aber auch für Anbieter von Abwasserdienstleistungen von besonderem Interesse ist. Um diese Lücke zu schließen, wurden in vorliegender Studie über eine Dauer von 14 Monaten nebeneinander 12 unterschiedliche Systeme unter realen Betriebsbedingungen verglichen und bewertet. Die Studie liefert damit detaillierte Informationen zu den Leistungsmerkmalen unterschiedlicher Anlagentypen hinsichtlich Reinigungsleistung, Ablaufwerte, Betriebsaufwand, Schlammbehandlung und Energieverbrauch.

Die Untersuchungen erfolgten an einer Auswahl von auf dem Testfeld des Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ) in Leipzig zu Demonstrations- und Schulungszwecken vorinstallierten Kleinkläranlagen sowie zwei zusätzlich dort eigens für das Vorhaben eingebauten Systemen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	8
Kapitel 1 Veranlassung und Ziele	14
Kapitel 2 Definitionen und Erläuterungen	16
2.1 Abkürzungen und Übersetzungen	16
2.2 Definitionen	18
2.2.1 Überwachungswerte	18
2.2.2 Einfluss weiterer Parameter	19
2.3 Mikrobiologische Parameter	20
2.4 Kleinkläranlage	21
2.5 Einwohnerzahl	21
2.6 Aufenthaltszeit	22
2.7 Raumbelastung	22
2.8 Raumabbauleistung	22
2.9 Abbaugrad	23
2.10 Statistische Parameter	23
2.10.1 Anzahl	23
2.10.2 Mittelwert	23
2.10.3 Median	24
2.10.4 Minimum / Maximum	24
2.10.5 Varianz	24
2.10.6 Standardabweichung	24
2.10.7 Variationskoeffizient	24
2.10.8 85%-Fraktile	24
2.10.9 Unterschreitungshäufigkeit	25
Kapitel 3 Beschreibung des Testfelds	26
3.1 Ort der Untersuchungen (BDZ e.V. in Leipzig-Leutzsch) und Einzugsgebiet	26
3.2 Demonstrationsfeld	27
Kapitel 4 Beschreibung der Kleinkläranlagen	31
4.1 Anlagenübersicht	31

4.2 Aufstellung auf dem Testfeld mit Nominalbelastung.....	33
4.3 Technische Informationen.....	34
4.4 Aquamatic – STM 5	35
4.4.1 Hersteller.....	35
4.4.2 Systembezeichnung.....	35
4.4.3 Auslegungsgröße	35
4.4.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	35
4.4.5 Funktionsweise.....	35
4.4.6 Abmessungen	37
4.4.7 Aggregate.....	37
4.4.8 Stromverbrauch nominal	37
4.4.9 Betriebsparameter	37
4.4.10 Wartung.....	38
4.5 Bergmann – BIO- WSB®-N	39
4.5.1 Hersteller.....	39
4.5.2 Systembezeichnung	39
4.5.3 Auslegungsgröße	39
4.5.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	39
4.5.5 Funktionsweise.....	39
4.5.6 Abmessungen	41
4.5.7 Aggregate.....	42
4.5.8 Stromverbrauch nominal	42
4.5.9 Betriebsparameter	42
4.5.10 Wartung.....	43
4.5.11 Referenzen.....	43
4.6 Klargester – Bio-Disk BA	44
4.6.1 Hersteller.....	44
4.6.2 Systembezeichnung	44
4.6.3 Auslegungsgröße	44
4.6.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	44
4.6.5 Funktionsweise.....	45
4.6.6 Abmessungen	47

4.6.7 Aggregate	48
4.6.8 Betriebsparameter.....	48
4.6.9 Wartung	48
4.7 Nordbeton – KP253 PAL	49
4.7.1 Hersteller	49
4.7.2 Systembezeichnung.....	49
4.7.3 Auslegungsgröße	49
4.7.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	49
4.7.5 Funktionsweise	49
4.7.6 Abmessungen	52
4.7.7 Aggregate	52
4.7.8 Stromverbrauch nominal	52
4.7.9 Betriebsparameter.....	52
4.7.10 Wartung	53
4.8 PREMIER TECH - Ecoflex™	54
4.8.1 Hersteller	54
4.8.2 Systembezeichnung.....	54
4.8.3 Auslegungsgröße	54
4.8.4 Zulassung	54
4.8.5 Funktionsweise	54
4.8.6 Abmessungen	56
4.8.7 Aggregate	56
4.8.8 Stromverbrauch nominal	56
4.8.9 Betriebsparameter.....	56
4.8.10 Wartung	56
4.8.11 Referenzen	57
4.9 HUBER - 3K PLUS®	58
4.9.1 Hersteller	58
4.9.2 Systembezeichnung.....	58
4.9.3 Auslegungsgröße	58
4.9.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	58
4.9.5 Funktionsweise	58

4.9.6 Abmessungen	59
4.9.7 Aggregate.....	59
4.9.8 Stromverbrauch nominal	59
4.9.9 Betriebsparameter	59
4.9.10 Wartung.....	60
4.9.11 Referenzen.....	60
4.10 Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1	61
4.10.1 Hersteller.....	61
4.10.2 Systembezeichnung	61
4.10.3 Auslegungsgröße	61
4.10.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	61
4.10.5 Funktionsweise.....	61
4.10.6 Abmessungen	63
4.10.7 Aggregate.....	63
4.10.8 Stromverbrauch nominal	63
4.10.9 Betriebsparameter	63
4.11 UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4 E	65
4.11.1 Hersteller.....	65
4.11.2 Systembezeichnung	65
4.11.3 Auslegungsgröße	66
4.11.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	67
4.11.5 Funktionsweise und Skizze	67
4.11.6 Abmessungen	70
4.11.7 Aggregate.....	71
4.11.8 Stromverbrauch nominal	71
4.11.9 Betriebsparameter	72
4.11.10 Wartung.....	72
4.11.11 Literaturverzeichnis/Referenzen	72
4.12 PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500.....	73
4.12.1 Hersteller.....	73
4.12.2 Systembezeichnung	73
4.12.3 Auslegungsgröße	73

4.12.4 Zulassung	73
4.12.5 Funktionsweise	73
4.12.6 Abmessungen	75
4.12.7 Aggregate	75
4.12.8 Stromverbrauch nominal	75
4.12.9 Betriebsparameter.....	75
4.12.10 Wartung	76
4.12.11 Referenzen	76
4.13 Busse – Typ MF-HKA4	77
4.13.1 Hersteller.....	77
4.13.2 Systembezeichnung.....	77
4.13.3 Auslegungsgröße	77
4.13.4 Zulassung	77
4.13.5 Funktionsweise	77
4.13.6 Abmessungen	78
4.13.7 Aggregate	79
4.13.8 Stromverbrauch nominal	79
4.13.9 Betriebsparameter.....	79
4.13.10 Wartung	79
4.13.11 Referenzen	79
4.14 ATB – AQUA max BASIC	80
4.14.1 Hersteller.....	80
4.14.2 Systembezeichnung.....	80
4.14.3 Auslegungsgröße	80
4.14.4 CE und/oder DIBt-Zulassung.....	80
4.14.5 Funktionsweise	80
4.14.6 Abmessungen	82
4.14.7 Aggregate	83
4.14.8 Stromverbrauch nominal	84
4.14.9 Betriebsparameter.....	84
4.14.10 Wartung	84
4.14.11 Referenzen	85

4.15 Mall – SanoClean XL	86
4.15.1 Herstellername	86
4.15.2 Systembezeichnung	86
4.15.3 Auslegungsgröße	86
4.15.4 CE und/oder DIBt-Zulassung	86
4.15.5 Funktionsweise	86
4.15.6 Abmessungen	88
4.15.7 Aggregate	91
4.15.8 Stromverbrauch nominal	91
4.15.9 Betriebsparameter	91
4.15.10 Wartung	92
4.15.11 Referenzen	93
Kapitel 5 Untersuchungsbedingungen	94
5.1 Versuchsprogramm (Phase 1 bis 10)	94
5.1.1 Simulierter Stromausfall	95
5.1.2 Hydraulische Belastung	97
5.2 Zulaufbeschaffenheit	98
5.2.1 Zulaufkonzentration	98
5.2.2 Beeinflussung der Abwasserqualität durch den Niederschlag	100
5.2.3 Organische Belastung und Auslastung der Anlagen	101
5.2.4 Temperatur	102
5.2.5 Ölhavarie	105
5.3 Probenahme	106
5.3.1 Aufbau der Probenahmeverrichtung	106
5.3.2 Beprobungsregime Zulauf	107
5.3.3 Beprobungsregime Ablauf	108
5.3.4 Probenahmeprozedur	111
5.3.5 Verifizierung der Zulaufprobenahme	111
5.4 Analytik / Untersuchungsparameter	113
5.4.1 Chemisch/physikalische Analyseparameter	113
5.4.2 Mikrobiologische Analysenparameter	114
5.4.3 Analysenprotokolle	115

5.4.4 Umgang mit Analysegrenzen	115
Kapitel 6 Ergebnisübersicht.....	116
6.1 Reinigungsleistung	116
6.1.1 Statistische Auswertung	116
6.1.2 Ganglinien.....	117
6.1.3 Abbaugrad	128
6.1.4 Betriebs- und Prozessstabilität	129
6.1.5 Raumbelastung	130
6.2 Energieverbrauch	132
6.3 Schlamm	133
6.4 Betrieb und Wartung.....	135
6.5 Mikrobiologische Parameter	137
Kapitel 7 Ergebnisse der untersuchten Anlagen.....	142
7.1 Aquamatic – STM 5	142
7.1.1 Belastungssituation	142
7.1.2 Statistische Ergebnisübersicht	142
7.1.3 Betriebs- und Prozessstabilität.....	144
7.1.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	145
7.1.5 Stickstoff	147
7.1.6 Feststoffentnahme	149
7.1.7 Phosphor	150
7.1.8 Abbaugrade	151
7.1.9 Energieverbrauch.....	154
7.1.10 Schlamm.....	155
7.1.11 Betrieb und Wartung	155
7.1.12 Mikrobiologische Parameter	156
7.1.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur	157
7.1.14 Zusammenfassung.....	160
7.2 Bergmann – BIO- WSB [®] -N	162
7.2.1 Belastungssituation	162
7.2.2 Statistische Ergebnisübersicht	162

7.2.3 Betriebs- und Prozessstabilität	164
7.2.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	165
7.2.5 Stickstoff.....	167
7.2.6 Feststoffentnahme.....	168
7.2.7 Phosphor.....	169
7.2.8 Abbaugrade.....	170
7.2.9 Energieverbrauch	172
7.2.10 Schlamm	173
7.2.11 Betrieb und Wartung.....	174
7.2.12 Mikrobiologie	175
7.2.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur.....	176
7.2.14 Zusammenfassung.....	178
7.3 Klargesten – BioDisk BA.....	179
7.3.1 Belastungssituation	179
7.3.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	179
7.3.3 Betriebs- und Prozessstabilität	181
7.3.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	182
7.3.5 Stickstoff.....	184
7.3.6 Feststoffentnahme.....	185
7.3.7 Phosphor.....	186
7.3.8 Abbaugrade.....	187
7.3.9 Energieverbrauch	189
7.3.10 Schlamm	190
7.3.11 Betrieb und Wartung.....	191
7.3.12 Mikrobiologische Parameter	192
7.3.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus dem Zulassungsbericht und aus der Literatur.....	193
7.3.14 Zusammenfassung.....	195
7.4 Nordbeton – Biofilter KP253 PAL „Klärpott“	197
7.4.1 Belastungssituation	197
7.4.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	197

7.4.3 Betriebs- und Prozessstabilität	199
7.4.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	200
7.4.5 Stickstoff	202
7.4.6 Feststoffentnahme	204
7.4.7 Phosphor	205
7.4.8 Abbaugrade	206
7.4.9 Energieverbrauch.....	208
7.4.10 Schlamm.....	210
7.4.11 Betrieb und Wartung	210
7.4.12 Mikrobiologische Parameter.....	211
7.4.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur	212
7.4.14 Zusammenfassung.....	215
7.5 PREMIER TECH - Ecoflex™	216
7.5.1 Belastungssituation	216
7.5.2 Statistische Ergebnisübersicht	217
7.5.3 Betriebs- und Prozessstabilität.....	218
7.5.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	219
7.5.5 Stickstoff	221
7.5.6 Feststoffentnahme	222
7.5.7 Phosphor	223
7.5.8 Abbaugrade	224
7.5.9 Energieverbrauch.....	226
7.5.10 Schlamm.....	227
7.5.11 Betrieb und Wartung	228
7.5.12 Mikrobiologische Parameter.....	229
7.5.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus dem Zulassungsbericht und aus der Literatur	230
7.5.14 Zusammenfassung.....	233
7.6 HUBER - 3K PLUS®	234
7.6.1 Belastungssituation	234
7.6.2 Statistische Ergebnisübersicht	234

7.6.3 Betriebs- und Prozessstabilität	236
7.6.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	237
7.6.5 Stickstoff.....	239
7.6.6 Feststoffentnahme.....	241
7.6.7 Phosphor.....	242
7.6.8 Abbaugrade.....	242
7.6.9 Energieverbrauch	244
7.6.10 Schlamm	245
7.6.11 Betrieb und Wartung.....	246
7.6.12 Mikrobiologische Parameter	247
7.6.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur.....	248
7.6.14 Zusammenfassung.....	251
7.7 Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1	252
7.7.1 Belastungssituation	252
7.7.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	252
7.7.3 Betriebs- und Prozessstabilität	254
7.7.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	255
7.7.5 Stickstoff.....	257
7.7.6 Feststoffentnahme.....	258
7.7.7 Phosphor.....	259
7.7.8 Abbaugrade.....	260
7.7.9 Energieverbrauch	262
7.7.10 Schlamm	263
7.7.11 Betrieb und Wartung.....	263
7.7.12 Mikrobiologische Parameter	264
7.7.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur.....	265
7.7.14 Zusammenfassung.....	268
7.8 UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4 E	270
7.8.1 Belastungssituation	270
7.8.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	270

7.8.3 Betriebs- und Prozessstabilität	272
7.8.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	273
7.8.5 Stickstoff	275
7.8.6 Feststoffentnahme	276
7.8.7 Phosphor	277
7.8.8 Abbaugrade	278
7.8.9 Energieverbrauch.....	280
7.8.10 Schlamm.....	281
7.8.11 Betrieb und Wartung	281
7.8.12 Mikrobiologische Parameter.....	281
7.8.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur	282
7.8.14 Zusammenfassung.....	285
7.9 PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500.....	286
7.9.1 Belastungssituation	286
7.9.2 Statistische Ergebnisübersicht	286
7.9.3 Betriebs- und Prozessstabilität.....	288
7.9.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	289
7.9.5 Stickstoff	291
7.9.6 Feststoffentnahme	292
7.9.7 Phosphor	293
7.9.8 Abbaugrade	294
7.9.9 Energieverbrauch.....	296
7.9.10 Schlamm.....	297
7.9.11 Betrieb und Wartung	297
7.9.12 Mikrobiologische Parameter.....	298
7.9.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur	299
7.9.14 Zusammenfassung.....	301
7.10 Busse –Typ MF-HKA4.....	303
7.10.1 Belastungssituation	303
7.10.2 Statistische Ergebnisübersicht	303

7.10.3 Betriebs- und Prozessstabilität	305
7.10.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	306
7.10.5 Stickstoff.....	308
7.10.6 Feststoffentnahme.....	310
7.10.7 Phosphor.....	311
7.10.8 Abbaugrade.....	311
7.10.9 Energieverbrauch	313
7.10.10 Schlamm	315
7.10.11 Betrieb und Wartung.....	315
7.10.12 Mikrobiologische Parameter	316
7.10.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur.....	318
7.10.14 Zusammenfassung	320
7.11 ATB – AQUA max BASIC	321
7.11.1 Belastungssituation	321
7.11.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	321
7.11.3 Betriebs- und Prozessstabilität	323
7.11.4 COD- und BOD ₅ -Elimination.....	324
7.11.5 Stickstoff.....	327
7.11.6 Feststoffentnahme.....	329
7.11.7 Phosphor.....	330
7.11.8 Abbaugrade.....	331
7.11.9 Energieverbrauch	334
7.11.10 Schlamm	335
7.11.11 Betrieb und Wartung.....	335
7.11.12 Mikrobiologie	337
7.11.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur.....	338
7.11.14 Zusammenfassung	341
7.12 Mall – SanoClean XL	342
7.12.1 Belastungssituation	342
7.12.2 Statistische Ergebnisübersicht.....	342

7.12.3 Betriebs- und Prozessstabilität	344
7.12.4 COD- und BOD ₅ -Elimination	345
7.12.5 Stickstoff	347
7.12.6 Feststoffentnahme	349
7.12.7 Phosphor.....	349
7.12.8 Abbaugrade	350
7.12.9 Energieverbrauch.....	352
7.12.10 Schlamm	354
7.12.11 Betrieb und Wartung	354
7.12.12 Mikrobiologische Parameter	355
7.12.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur	356
7.12.14 Zusammenfassung.....	359
Kapitel 8 Zusammenfassung und Ausblick.....	360
Kapitel 9 Literatur.....	363

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Demonstrationsstandort des BDZ e.V. in Leipzig-Leutzsch.....	26
Abbildung 2: Demonstrationsboxen.....	27
Abbildung 3: Schnitt Demonstrationsbox.....	27
Abbildung 4: Grundriss Demonstrationsfeld.....	28
Abbildung 5: Technische Ausstattung im Gang der Demo-Box am BDZ.....	29
Abbildung 6: Dosiereinrichtungen.....	29
Abbildung 7: SPS Siemens S7 – 200 im Außenbereich.....	30
Abbildung 8: Testfeldaufteilung in Gruppen nach nominalem Einwohnerwert.....	33
Abbildung 9: Prinzipskizze Tauchkörper (http://www.aquamatic-klaeranlagen.de).....	36
Abbildung 10: Photo, Anlage im Betrieb (BDZ Leipzig).....	36
Abbildung 11: Systemskizze (Zulassungsunterlagen).....	41
Abbildung 12: Trägermaterial (BDZ Leipzig).....	41
Abbildung 13: Schnitt durch die Klagester-Anlage.....	45
Abbildung 14: Scheibentauchkörper Klagester BioDisk BA (BDZ Leipzig).....	46
Abbildung 15: Systemskizze zur Bemaßung (Herstellerprospekt).....	47
Abbildung 16: Systemskizze Tropfkörper KP253 PAL (Zulassungsunterlagen).....	50
Abbildung 17: Tropfkörper KP253 PAL und Vorklärung (BDZ Leipzig).....	51
Abbildung 18: Ecoflex™ Filtermodule.....	55
Abbildung 19: Ecoflex™ patented textile filter.....	55
Abbildung 20: Aufbau der Ecoflex™-KKA.....	56
Abbildung 21: Systemskizze (Zulassungsunterlagen).....	59
Abbildung 22: Aufbau der KKA, Systemskizze.....	63
Abbildung 23: Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4 E in der Demobox BDZ Leutzsch.....	68
Abbildung 24: Prinzipbild der Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4E.....	68
Abbildung 25: Grundriss der Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4E in der Demobox in Leutzsch.....	70
Abbildung 26: Pumpe Typ KSB Amar-Drainer 301.2.....	71
Abbildung 27: Schematische Prinzipskizze des Ecoflex™ Biofilters.....	73
Abbildung 28: Abwasser-Verteilungssystem des Ecoflex™ Biofilters.....	73
Abbildung 29: Fließschema der KKA mit Ecofix® Biofilter.....	74
Abbildung 30: Luftströmungsdiagramm.....	75

Abbildung 31: 2-Kammer-System.....	77
Abbildung 32: Schematische Prinzipskizze der BUSSE-MF	78
Abbildung 33: Aufstellmöglichkeiten.....	79
Abbildung 34: AQUAmax® BASIC	81
Abbildung 35: Aufbau der KKA AQUAmax BASIC	82
Abbildung 36: Aufbau der Anlage ATB – AQUA max BASIC.....	88
Abbildung 37: Niederschlagsverteilung und COD-Konzentrationen im Zulauf	100
Abbildung 38: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen COD-Zulaufkonzentration und Niederschlagshöhen	101
Abbildung 39: Abwassertemperatur	103
Abbildung 40: Lufttemperaturverlauf "Neukirchen"	103
Abbildung 41: Verteilung der Abwassertemperaturen, PIA-Studie (PIA, 2005).....	105
Abbildung 42: Verteilung der Abwassertemperaturen, BDZ	105
Abbildung 43: Ölhavarie – Ölbindemittel in den Anlagen.....	105
Abbildung 44: Zulaufprobenehmer am BDZ	106
Abbildung 45: Ablaufprobenehmer am BDZ	107
Abbildung 46: Beprobungsmuster der Zulaufprobe ab Versuchshase 4.....	108
Abbildung 47: Beprobungsmuster zur 4-Phasen Beprobung.....	110
Abbildung 48: Beprobungsmuster zur zeitproportionalen Beprobung.....	111
Abbildung 49: Schema der Zulaufprobenahmestellen	112
Abbildung 50: Ganglinien COD Anlagen 1-6	120
Abbildung 51: Ganglinien COD Anlagen 7-12	120
Abbildung 52: Ganglinien BOD ₅ Anlagen 1-6	121
Abbildung 53: Ganglinien BOD ₅ Anlagen 7-12	121
Abbildung 54: Ganglinien NH ₄ -N Anlagen 1-6.....	122
Abbildung 55: Ganglinien NH ₄ -N Anlagen 7-12	123
Abbildung 56: Ganglinien SS Anlagen 1 - 6	124
Abbildung 57: Ganglinien SS Anlagen 7 – 12.....	125
Abbildung 58: Ganglinien P _{tot} Anlagen 1 - 6	126
Abbildung 59: Ganglinien P _{tot} Anlagen 7 – 12.....	127
Abbildung 60: Unterschreitungshäufigkeiten aller Anlagen für COD.....	129

Abbildung 61: Raumabbauleistung in $\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ über Raumbelastung (BOD_5) in $\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, alle Anlagen	131
Abbildung 62: Spezifischer Energieverbrauch der einzelnen Anlagen	132
Abbildung 63: Spezifischer Energieverbrauch von Kläranlagen der GK I bis V aus dem Jahr 2008 (DWA, 2009)	133
Abbildung 64: Spezifische Schlammengen, alle Anlagen	134
Abbildung 65: Intestinale Enterokokken, alle Anlagen	140
Abbildung 66: Fäkalcoliforme Bakterien, alle Anlagen	140
Abbildung 67: Intestinale Nematoden (Eier), alle Anlagen	141
Abbildung 68: Aquamatic - STM 5 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$ und SS	145
Abbildung 69: Aquamatic - STM 5 - COD Zu- und Ablaufganglinien	146
Abbildung 70: Aquamatic - STM 5 - BOD_5 Zu- und Ablaufganglinien	147
Abbildung 71: Aquamatic - STM 5 - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie	148
Abbildung 72: Aquamatic - STM 5 - SS Zu- und Ablaufganglinie	150
Abbildung 73: Aquamatic - STM 5 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	151
Abbildung 74: Aquamatic - STM 5 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$, SS	153
Abbildung 75: Aquamatic - STM 5 - Energieverbrauch	154
Abbildung 76: Aquamatic STM 5 - Auswertung des Zyklentagebuchs	156
Abbildung 77: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$ und SS	165
Abbildung 78: Bergmann BIO- WSB [®] -N - COD Zu- und Ablaufganglinien	166
Abbildung 79: Bergmann BIO- WSB [®] -N - BOD_5 Zu- und Ablaufganglinien	167
Abbildung 80: Bergmann BIO- WSB [®] -N - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie	168
Abbildung 81: Bergmann BIO- WSB [®] -N - SS Zu- und Ablaufganglinie	169
Abbildung 82: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	170
Abbildung 83: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$, SS	172
Abbildung 84: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Energieverbrauch	173
Abbildung 85: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Auswertung des Zyklentagebuchs	174
Abbildung 86: Klargester BioDisk BA - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$ und SS	182
Abbildung 87: Klargester BioDisk BA - COD Zu- und Ablaufganglinien	183

Abbildung 88: Klargester BioDisk BA - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	184
Abbildung 89: Klargester BioDisk BA - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	185
Abbildung 90: Klargester BioDisk BA - SS Zu- und Ablaufganglinie	186
Abbildung 91: Klargester BioDisk BA - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	187
Abbildung 92: Klargester BioDisk BA - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS.....	189
Abbildung 93: Klargester BioDisk BA - Energieverbrauch	190
Abbildung 94: Klargester BioDisk BA - Auswertung des Zyklentagebuchs	191
Abbildung 95: Nordbeton KP253 PAL - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS	200
Abbildung 96: Nordbeton KP253 PAL - COD Zu- und Ablaufganglinien	201
Abbildung 97: Nordbeton KP253 PAL - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	202
Abbildung 98: Nordbeton KP253 PAL - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	203
Abbildung 99: Nordbeton KP253 PAL - SS Zu- und Ablaufganglinie	205
Abbildung 100: Nordbeton KP253 PAL - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	206
Abbildung 101: Nordbeton KP253 PAL - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS..	208
Abbildung 102: Nordbeton KP253 PAL - Energieverbrauch	209
Abbildung 103: Nordbeton KP253 PAL - Auswertung des Zyklentagebuchs	210
Abbildung 104: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)	219
Abbildung 105: PREMIER TECH - Ecoflex™ - COD Zu- und Ablaufganglinien	220
Abbildung 106: PREMIER TECH - Ecoflex™ - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	221
Abbildung 107: PREMIER TECH - Ecoflex™ - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	222
Abbildung 108: PREMIER TECH - Ecoflex™ - SS Zu- und Ablaufganglinie	223
Abbildung 109: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	224
Abbildung 110: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS.....	226
Abbildung 111: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Energieverbrauch	227
Abbildung 112: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Auswertung des Zyklentagebuchs	228
Abbildung 113: Huber - 3K Plus - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS	237
Abbildung 114: Huber - 3K Plus - COD Zu- und Ablaufganglinien	238
Abbildung 115: Huber - 3K Plus - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	239

Abbildung 116: Huber - 3K Plus - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	240
Abbildung 117: Huber - 3K Plus - SS Zu- und Ablaufganglinie	241
Abbildung 118: Huber - 3K Plus - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	242
Abbildung 119: Huber - 3K Plus - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS.....	244
Abbildung 120: Huber - 3K Plus - Energieverbrauch	245
Abbildung 121: Huber - 3K Plus - Auswertung des Zyklentagebuchs	246
Abbildung 122: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS	255
Abbildung 123: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - COD Zu- und Ablaufganglinien	256
Abbildung 124: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	257
Abbildung 125: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	258
Abbildung 126: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - SS Zu- und Ablaufganglinie....	259
Abbildung 127: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie.....	260
Abbildung 128: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS	262
Abbildung 129: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Auswertung des Zyklentagebuchs	264
Abbildung 130: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS	273
Abbildung 131: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - COD Zu- und Ablaufganglinien	274
Abbildung 132: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien.....	275
Abbildung 133: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie.....	276
Abbildung 134: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - SS Zu- und Ablaufganglinie	277
Abbildung 135: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie.....	278
Abbildung 136: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS	280
Abbildung 137: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS	289

Abbildung 138: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - COD Zu- und Ablaufganglinien.....	290
Abbildung 139: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien....	291
Abbildung 140: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	292
Abbildung 141: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - SS Zu- und Ablaufganglinie.....	293
Abbildung 142: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	294
Abbildung 143: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS.....	296
Abbildung 144: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Auswertung des Zyklentagebuchs	297
Abbildung 145: Busse - Typ MF-HKA4 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS.....	306
Abbildung 146: Busse - Typ MF-HKA4 - COD Zu- und Ablaufganglinien.....	307
Abbildung 147: Busse - Typ MF-HKA4 - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien	308
Abbildung 148: Busse - Typ MF-HKA4 - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie	309
Abbildung 149: Busse - Typ MF-HKA4 - SS Zu- und Ablaufganglinie.....	310
Abbildung 150: Busse - Typ MF-HKA4 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	311
Abbildung 151: Busse - Typ MF-HKA4 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS ...	313
Abbildung 152: Busse – Typ MF-HKA4 – Energiezählerstand mit/ohne Heizung	314
Abbildung 153: Busse - Typ MF-HKA4 - Energieverbrauch.....	315
Abbildung 154: Busse - Typ MF-HKA4 - Auswertung des Zyklentagebuchs.....	316
Abbildung 155: ATB AQUA max BASIC - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS.....	324
Abbildung 156: ATB AQUA max BASIC - COD Zu- und Ablaufganglinien.....	325
Abbildung 157: ATB AQUA max BASIC - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien.....	327
Abbildung 158: ATB AQUA max BASIC - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie.....	328
Abbildung 159: ATB AQUA max BASIC - SS Zu- und Ablaufganglinie.....	330
Abbildung 160: ATB AQUA max BASIC - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie	331
Abbildung 161: ATB AQUA max BASIC - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS .	333
Abbildung 162: ATB AQUA max BASIC - Energieverbrauch.....	334
Abbildung 163: ATB AQUA max BASIC - Auswertung des Zyklentagebuchs.....	336
Abbildung 164: Mall SanoClean XL - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N und SS.....	345
Abbildung 165: Mall SanoClean XL - COD Zu- und Ablaufganglinien.....	346

Abbildung 166: Mall SanoClean XL - BOD ₅ Zu- und Ablaufganglinien.....	347
Abbildung 167: Mall SanoClean XL - NH ₄ -N Zu- und Ablaufganglinie.....	348
Abbildung 168: Mall SanoClean XL - SS Zu- und Ablaufganglinie	349
Abbildung 169: Mall SanoClean XL - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie.....	350
Abbildung 170: Mall SanoClean XL - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, SS	352
Abbildung 171: Mall SanoClean XL - Energieverbrauch	353
Abbildung 172: Mall SanoClean XL - Auswertung des Zyklentagebuchs	354
Abbildung 173: Einzugsgebiet KA Leutzsch	366

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis und Übersicht der Englischen Begriffe.....	17
Tabelle 2: Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer (DIBt, 2006)	19
Tabelle 3: Bezeichnung der Anlagen und Aufteilung der Verfahren.....	32
Tabelle 4: Technische Informationen der beteiligten Anlagen	34
Tabelle 5: Bemessungsgrundlagen (links); Abmessungen der mechanischen Stufe (rechts)	37
Tabelle 6: Abmessungen der biologische Stufe (Zulassungsunterlagen)	37
Tabelle 7: Abmessungen gemäß Zulassungsunterlagen.....	42
Tabelle 8: Abmessungen (Firmenangaben, Prospekt).....	47
Tabelle 9: Abmessungen Tropfkörper KP253 PAL (Zulassungsunterlagen)	52
Tabelle 10: Reinigungsleitung Ecoflex™ Textile-Biofilter, einschließlich VK	56
Tabelle 11: Abmessungen der einzelnen Anlagenteile (Zulassungsunterlagen)	59
Tabelle 12: UVC - 1.2 // UVC - 2.4 (Stand 06.03.2008)	71
Tabelle 13: Abmessungen	75
Tabelle 14: Reinigungsleitung für den Ecofix® Biofilter	76
Tabelle 15: Reinigungsleitung für den Ecoflex™ Biofilter, einschließlich der VK.....	76
Tabelle 16: Anschlussgröße	77
Tabelle 17: Abmessungen	78
Tabelle 18: Energieverbrauch	84
Tabelle 19: Zusammenstellung aller Daten	88
Tabelle 20: Reinigungsleistung	91
Tabelle 21: Versuchsprogramm: “Protocole en conditions sollicitantes®” (Dauer in Wochen)	94
Tabelle 22: Simulierter Stromausfall, Zeitangaben	96
Tabelle 23: elektrische Verbraucher aller Anlagen	97
Tabelle 24: Hydraulische Belastung	98
Tabelle 25: Verlauf der täglichen Beschickung gemäß EN 12566-3.....	98
Tabelle 26: Zulaufkonzentrationen vor und nach Umstellung der hydraulischen Last.....	99
Tabelle 27: Referenzen der Zulaufkonzentrationen.....	99
Tabelle 28: COD-Relationen im Vergleich.....	100

Tabelle 29: Frachtbezogener Einwohnerwert und Auslastung	102
Tabelle 30: Beprobungsregime der einzelnen Anlagen	109
Tabelle 31: Probenahme für Ereignisbeprobung (4-Phasen-Beprobung).....	109
Tabelle 32: COD-Werte von 24-h-Mischproben des Zulaufs aus drei verschiedenen Entnahmestellen	113
Tabelle 33: Chemisch/physikalische Parameter - Analysemethoden.....	114
Tabelle 34: Mikrobiologische Parameter - Analysemethoden	114
Tabelle 35: Analysegrenzen für BOD ₅ , SS und NH ₄ -N	115
Tabelle 36: Statistische Auswertung, mittlere Ablaufwerte der einzelnen Versuchsabschnitte	117
Tabelle 37: Abbaugrad in % für alle Anlagen der Parameter COD, BOD ₅ , SS und NH ₄ -N.	128
Tabelle 38: Raumbelastung zur Bemessung von Kleinkläranlagen	130
Tabelle 39: Wartungshäufigkeiten und Betriebsstörungen, alle Anlagen	135
Tabelle 40: Reduzierung der mikrobiologischen Parameter (UIS,2009 und IDUS,2008) ...	138
Tabelle 41: Beurteilung der Gewässerqualität mittels mikrobiologischer Parameter (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2006).....	139
Tabelle 42: Aquamatic - STM 5 - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS.....	143
Tabelle 43: Aquamatic - STM 5 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	143
Tabelle 44: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P .	152
Tabelle 45: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-hydraulischen Belastungsphasen (Phase 1,2 und 3)	152
Tabelle 46: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7).....	152
Tabelle 47: Aquamatic - STM 5 - mikrobiologische Auswertung	157
Tabelle 48: Bergmann BIO- WSB [®] -N - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS...	163
Tabelle 49: Bergmann BIO- WSB [®] -N - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	163
Tabelle 50: Bergmann BIO- WSB [®] -N- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum.....	171
Tabelle 51: Bergmann BIO- WSB [®] -N- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	171

Tabelle 52: Bergmann BIO- WSB [®] -N- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)	171
Tabelle 53: Bergmann BIO- WSB [®] -N - mikrobiologische Auswertung	175
Tabelle 54: Klargester BioDisk BA - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS.....	180
Tabelle 55: Klargester BioDisk BA - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	180
Tabelle 56: Klargester - BioDisk BA - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P	188
Tabelle 57: Klargester - BioDisk BA - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	188
Tabelle 58: Klargester - BioDisk BA- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)	188
Tabelle 59: Klargester - BioDisk BA - mikrobiologische Auswertung	192
Tabelle 60: Nordbeton KP253 PAL - Statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	198
Tabelle 61: Nordbeton KP253 PAL - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	198
Tabelle 62: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P	207
Tabelle 63: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	207
Tabelle 64: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)	207
Tabelle 65: Nordbeton KP253 PAL - mikrobiologische Auswertung	212
Tabelle 66: PREMIER TECH - Ecoflex [™] - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)	217
Tabelle 67: PREMIER TECH - Ecoflex [™] - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)	217
Tabelle 68: PREMIER TECH - Ecoflex [™] - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)	225
Tabelle 69: PREMIER TECH - Ecoflex [™] - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	225
Tabelle 71: PREMIER TECH - Ecoflex [™] - mikrobiologische Auswertung	230
Tabelle 72: Huber - 3K Plus - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS.....	235

Tabelle 73: Huber - 3K Plus - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	235
Tabelle 74: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum	243
Tabelle 75: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3).....	243
Tabelle 76: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)	243
Tabelle 77: Huber - 3K Plus - mikrobiologische Auswertung	247
Tabelle 78: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	253
Tabelle 79: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor.....	253
Tabelle 80: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ - N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum.....	261
Tabelle 81: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ - N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	261
Tabelle 82 : Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7).....	261
Tabelle 83: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - mikrobiologische Auswertung.....	265
Tabelle 84: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	271
Tabelle 85: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor.....	271
Tabelle 86: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum	279
Tabelle 87: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3).....	279
Tabelle 88: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)	279
Tabelle 89: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - mikrobiologische Auswertung	282
Tabelle 90: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	287

Tabelle 91: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	287
Tabelle 92: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum	295
Tabelle 93: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3).....	295
Tabelle 94: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7).....	295
Tabelle 95: Premier Tech - Ecofix [®] Typ STB 500 - mikrobiologische Auswertung	298
Tabelle 96: Busse - Typ MF-HKA4 - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	304
Tabelle 97: Busse - Typ MF-HKA4 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	304
Tabelle 98: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum.....	312
Tabelle 99: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	312
Tabelle 100: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)	312
Tabelle 101: Busse - Typ MF-HKA4 - mikrobiologische Auswertung.....	317
Tabelle 102: ATB AQUA max BASIC - Statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS ..	322
Tabelle 103: ATB AQUA max BASIC - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor	322
Tabelle 104: ATB AQUA max BASIC- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum	332
Tabelle 105: ATB AQUA max BASIC - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)	332
Tabelle 106: ATB AQUA max BASIC - Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)	332
Tabelle 107: ATB AQUA max BASIC - mikrobiologische Auswertung	337
Tabelle 108: Mall SanoClean XL - statistische Auswertung für COD, BOD ₅ und SS	343
Tabelle 109: Mall SanoClean XL - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor...	343
Tabelle 110: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P über den gesamten Versuchszeitraum.....	351

Tabelle 111: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3).....	351
Tabelle 112: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD ₅ , NH ₄ -N, N _{tot} , SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7).....	351
Tabelle 113: Mall SanoClean XL - mikrobiologische Auswertung	356
Tabelle 113: Rohschlammanfall und -beschaffenheit in Abhängigkeit unterschiedlicher Reinigungsverfahren	368

Kapitel 1

Veranlassung und Ziele

Alle auf dem europäischen Markt angebotenen Kleinkläranlagensysteme müssen der EU-Zertifizierung EN 12566-3 entsprechen, die einen Mindeststandard bezüglich Betriebssicherheit und Reinigungsleistung vorschreibt. Darüber hinaus sind standortabhängig zusätzlich nationale oder regionale Richtlinien zu beachten. Diese technischen Mindestanforderungen sind allerdings nicht dazu geeignet, das tatsächliche Betriebsverhalten dieser Anlagensysteme im „rauen“ Alltagsbetrieb einzuschätzen, was aber gerade für den Kunden und auch bei Anbietern von Abwasserdienstleistungen von besonderem Interesse ist.

Es war daher das ausdrückliche Ziel der Studie COMPAS, eine große Bandbreite von Kleinkläranlagensystemen unter möglichst realitätsnahen Betriebsbedingungen, die über die Vorgaben des Bauartenzulassungsverfahrens und EU-Zertifizierung hinausgehen, über den Zeitraum eines Betriebsjahres zu untersuchen. Insbesondere sollten dabei Betriebszustände simuliert werden, die vom Auftraggeber Veolia als repräsentativ für Einfamilienhaushalte in Frankreich ermittelt wurden mit vergleichsweise hohen spezifischen Wasserverbräuchen und starken über das Jahr verteilten Schwankungen der Nutzungsintensität.

Die Untersuchungen erfolgten auf dem Demonstrationsfeld des BDZ an 10 bereits vorinstallierten Anlagen, die hier zu Demonstrationszwecken und für Schulungen von den im BDZ organisierten Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich sollten im Rahmen der Studie Compas zwei kanadische Kleinkläranlagensysteme installiert werden, um die hier erzeugten Ergebnisse mit einer fast zeitgleich unter identischen Betriebsbedingungen laufenden Studie auf einem Testfeld in Frankreich (CSTB, Nantes) mit 8 Kleinkläranlagen, überwiegend Bodenfiltersystemen, vergleichen zu können.

Das Versuchsprogramm sollte in Anlehnung an die EN 12566-3 (Tagesgang etc.) erfolgen unter Ergänzung von zusätzlichen Belastungssituationen. Über dem einjährigen Versuchszeitraum sollten folgende Prozessparameter vergleichend analysiert werden:

- Reinigungsleistung,
- Betriebs- und Wartungsaufwand,
- Betriebsstabilität,
- Energieverbrauch,
- Hilfsstoffe,
- Schlammanfall etc..

Zur leichteren Interpretation der Ergebnisse wurden hinsichtlich der Ablaufwerte neben den in Deutschland geltenden Überwachungswerten auch die in Frankreich einzuhaltenden Grenzwerte als Maßstab herangezogen.

Kapitel 2

Definitionen und Erläuterungen

2.1 Abkürzungen und Übersetzungen

Zur besseren Verständlichkeit auf internationaler Ebene wurden alle Angaben zu den untersuchten Parametern im gesamten Bericht in englischer Sprache verfasst bzw. abgekürzt. Auch Tabellen- und Abbildungsbeschriftungen erfolgen weitestgehend in englischer Sprache. In Tabelle 1 sind daher neben den verwendeten Abkürzungen auch Übersetzungen englischer Begriffe aufgeführt.

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis und Übersicht der Englischen Begriffe

English		Deutsch	
NH ₄ -N	ammonia nitrogen	NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
BOD ₅	biochemical oxygen demand in five days	BSB ₅	biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen
COD	chemical oxygen demand	CSB	chemische Sauerstoffbedarf
	conductivity		Leitfähigkeit
	degree of degradation		Abbaugrad
	degree of degradation		Abbaugrad
	capacity category	GK	Größenklasse
	Limiting value (maximum limit)		Überwachungswert (Grenzwert)
	Mean		Mittelwert
	Median		Median-Wert
	min / max		Minimum / Maximum
N _{tot}	nitrogen, total	N _{ges}	Stickstoff, gesamt
	number of samples		Anzahl der Proben
P _{tot}	phosphorus, total	P _{ges}	Phosphor, gesamt
PLC	programmable logic controller	SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
	purification capacity		Reinigungsleistung
	standard deviation		Standardabweichung
	stay below of legally binding value		Unterschreitungshäufigkeit des Grenzwertes
	stay below probability		Unterschreitungshäufigkeit
SS	suspended solids	AFS	Abfiltrierbare Stoffe
PE	total number of inhabitants and population equivalents	EW	Einwohnerwert
	variance coefficient		Variationskoeffizient

2.2 Definitionen

2.2.1 Überwachungswerte

2.2.1.1 Deutsche Überwachungswerte (Grenzwerte)

In Deutschland gelten nach der Abwasserverordnung (AbwV) folgende Überwachungswerte für Kläranlagen der Größenklasse 1 mit bis zu 60 kg/d BOD₅ (< 1.000 PE) im Rohabwasser, zu denen auch Kleinkläranlagen zählen, durch Überwachung in einer „Qualifizierten Stichprobe“ oder 2-Stunden-Mischprobe:

COD: 150 mg/L
BOD₅: 40 mg/L

Für Kleineinleitungen im Sinne des § 8 in Verbindung der AbwV mit § 9 Abs. 2 Satz 2 des Abwasserabgabengesetzes gelten die Anforderungen als eingehalten, wenn eine durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, europäische technische Zulassung nach den Vorschriften des Bauproduktengesetzes oder sonst nach Landesrecht zugelassene Abwasserbehandlungsanlage nach Maßgabe der Zulassung eingebaut und betrieben wird. In der Zulassung müssen die für eine ordnungsgemäße, an den Anforderungen nach Absatz 1 ausgerichtete Funktionsweise erforderlichen Anforderungen an den Einbau, den Betrieb und die Wartung der Anlage festgelegt sein.

2.2.1.2 „Französische Überwachungswerte“

In Anlehnung an die in Frankreich geltenden Überwachungswerte für Anlagen mit einer Belastung ≥ 120 kg BOD/d (vgl. ARRÊTÉ DU 22/6/2007) wurden innerhalb dieser Studie folgende Werte festgelegt, um die Ergebnisse mit denen größerer Anlagen vergleichen zu können. Diese Werte werden innerhalb des Berichts als „französische Überwachungswerte“ bezeichnet:

COD: 125 mg/L
BOB₅: 25 mg/L
SS: 35 mg/L

2.2.1.3 Mindestanforderungen nach dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt, 2006)

Für die Beurteilung der Reinigungsleistung zur bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) von Kleinkläranlagen gelten die Anforderungen gemäß Tabelle 2 in Abhängigkeit der Ablaufklassen. Klasse C entspricht den Mindestanforderungen gemäß Abwasserverordnung, die weiteren Klassen können auf Antrag des Herstellers bescheinigt werden, wenn die entsprechende Prüfung durchgeführt wurde. Die Ablaufklassen sind wie folgt definiert:

- | | | |
|----|---|---------------------------|
| 1. | Anlagen mit Kohlenstoffabbau: | Ablaufklasse C |
| 2. | Anlagen mit Kohlenstoffabbau und zusätzlicher Nitrifikation: | Ablaufklasse N |
| 3. | Anlagen mit Kohlenstoffabbau, Nitrifikation und zusätzlicher Denitrifikation: | Ablaufklasse D |
| 4. | Anlagen mit zusätzlicher Phosphorelimination: | Ablaufklasse C / N / D/+P |
| 5. | Anlagen mit zusätzlicher Hygienisierung: | Ablaufklasse C / N / D/+H |
- P und H sind Bausteine, die den Klassen C, N und D bei Nachweis zugeordnet werden können.

Tabelle 2: Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer (DIBt, 2006)

Klasse	COD [mg/L]	BOD ₅ [mg/L]	NH ₄ -N [mg/L]	N _{inorg.} [mg/L]	P [mg/L]	faecal coliforme Keime [1/L]	SS [mg/L]
C	150* / 100**	40* / 25**					75*
N	90* / 75**	20* / 15**	10**				50*
D	90* / 75**	20* / 15**	10**	25**			50*
+ P					2**		
+ H						100*	

*) „qualifizierte Stichprobe“

**) 24-h Mischprobe

Die Werte gelten auch als eingehalten, wenn von fünf aufeinander folgenden Untersuchungen des nominalen Betriebes vier Ergebnisse die festgelegten Werte nicht übersteigen, sowie ein Ergebnis den Wert um nicht mehr als 100 % überschreitet.

2.2.2 Einfluss weiterer Parameter

Im Rahmen des Versuchprogramms wurden neben den organischen Parameter BOD₅ und COD (Überwachungswerte) auch weitere Parameter untersucht, für die in Deutschland kein Überwachungswert vorgegeben ist, die aber die Interpretation von Betriebszuständen erleichtern.

Die Auswertung der **abfiltrierbaren Stoffe** im Ablauf lässt einen Rückschluss auf den Schlammabtrieb zu.

* ermittelt aus der qualifizierten Stichprobe, bei faecal coliformen Keimen einfache Stichprobe

** ermittelt aus der 24-h Mischprobe; NH₄-N und N_{inorg} bei Abwassertemperatur T ≥ 12 °C

Der Verlauf der **Ammoniumkonzentration** kennzeichnet das Verhalten der Nitrifikation. Dieser Prozess reagiert sensibler als der Abbau der organischen Substanzen (COD, BOD₅). Auch wenn nicht alle beteiligten Anlagen für eine Nitrifikation ausgelegt sind, wird aus diesem Grund auch die Ammoniumkonzentration untersucht.

Die Auswertung der **inorganischen Stickstoffkonzentration** gibt Aufschluss über eine mögliche Denitrifikation.

Außerdem wurde die **Phosphorkonzentration** erfasst. Phosphor kann nur über den Schlammweg das System verlassen. Erhöhte P-Gehalte weisen auf einen Schlammabtrieb hin.

2.3 Mikrobiologische Parameter

Im Rahmen des Projektes wurden sogenannte Fäkalindikatorbakterien, pathogene Bakterien (Salmonellen) und Eier von Nematoden (Fadenwürmer) bestimmt, deren Analyse u.a. in der EU-Badegewässerrichtlinie gefordert wird. Das Vorhandensein von *Escherichia coli* im Wasser weist auf eine fäkale Verunreinigung hin, da sie immer im Darm von Menschen und warmblütigen Tieren in bedeutend größerer Zahl als eventuelle Krankheitserreger vorhanden sind. Obwohl diese Mikroorganismen selbst in der Regel die Gesundheit des Menschen nicht beeinträchtigen, steigt mit ihrer Anwesenheit auch die Gefahr des Auftretens von Krankheitserregern.

Als Fäkalindikatorbakterien werden folgende Bakteriengruppen bzw. –spezies bezeichnet:

- **Gesamtcoliforme Bakterien,**
- **Fäkalcoliforme Bakterien (*Escherichia coli*) und**
- **Fäkale Enterokokken (*Fäkale Streptokokken*).**

Die gesamtcoliformen Bakterien geben nur einen allgemeinen Hinweis auf eine fäkale Verunreinigung, da sie nicht ausschließlich aus dem Darm von Warmblütern stammen. Der Nachweis von fäkalcoliformen Bakterien (*Escherichia coli*) gilt dagegen als Beweis für eine fäkale Verunreinigung, da diese nur im Warmblüterdarm vorkommen. Ebenfalls stammen im Wesentlichen die fäkalen Enterokokken aus dem Warmblüterdarm. Da sie bei bestimmten Milieubedingungen im Wasser länger überleben als fäkalcoliforme Bakterien, können sie auch noch eine länger zurückliegende fäkale Verunreinigung darstellen. Unter bestimmten Umständen wird zusätzlich der Nachweis von pathogenen Bakterien (**Salmonellen**) verlangt (vgl. POPP, 2000).

Nematoden bilden die Klasse der Fadenwürmer (nema, Faden) und gehören zu den häufigsten Infektionserregern weltweit. Der Mensch infiziert sich mit einigen Nematoden (Enterobius, Ascaris, Trichiuris) durch die Aufnahme von Eiern. Bei anderen Gattungen (Ancylostoma, Necator, Strongyloides) durchdringen Larven aktiv die Haut, werden mit im Wasser lebenden Flöhen aufgenommen (Dracunculus) bzw. werden durch Insekten übertragen (Filarien) (vgl. HAHN ET AL., 2009).

2.4 Kleinkläranlage

Kleinkläranlagen sind Abwasserbehandlungsanlagen für die Reinigung von häuslichem Abwasser bis zu einem Volumenstrom von 8 m³/d. Dies entspricht einem Anschlusswert von etwa 50 Einwohnerwerten (PE). Gewerbliches oder landwirtschaftliches Abwasser kann in Kleinkläranlagen gereinigt werden, wenn das Abwasser mit häuslichem Abwasser vergleichbar ist.

2.5 Einwohnerzahl

Der Wert Einwohnerzahl beschreibt die organische Belastung der Anlagen. Bei der Auswertung der Ergebnisse im vorliegenden Bericht wird unterschieden:

- Die *nominale* Einwohnerzahl entspricht der einwohnerspezifischen Belastung, auf der die Anlage vom Hersteller ausgelegt wurde.
- Die aus den Messdaten ermittelte Einwohnerzahl repräsentiert die in den Versuchen erreichte Belastung.

Für beide Betrachtungen gilt als Grundlage die Definition aus dem Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (91/271/EWG): „1 EW (Einwohnerwert) entspricht der organisch-biologisch abbaubaren Belastung mit einem biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BOD₅) von 60 g Sauerstoff pro Tag.“ Zur Ermittlung der Frachten kommen zwei unterschiedliche Bezugsgrößen zur Anwendung:

- „*Load real*“: Die tatsächliche frachtbezogene Einwohnerzahl, die über den zum Probenahmezeitraum vorhandenen Zufluss ermittelt wird.
- „*Load calculated*“: Dort, wo ein Mittelwert benötigt wird (z.B. für den einwohnerbezogenen Energieverbrauch, s. Kapitel 6.2 und den spezifischen Schlammfall, s. Kapitel 6.3) wird ein wöchentlicher durchschnittlicher Zufluss in L/(E·d) einschließlich des Badewannenzuflusses an 5 Tagen pro Woche bestimmt. Diese Wassermenge ergibt multipliziert mit der entsprechenden Konzentration (BOD₅ in mg/L) die gesuchte Fracht.

2.6 Aufenthaltszeit

Die Aufenthaltszeit in den jeweiligen Anlagenteilen berechnet sich aus dem mittleren Zufluss und den jeweiligen Volumina. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit ergibt sich aus dem maximalen Volumen der Anlage (Volumen Vorklärung + Reaktor + Nachklärung, soweit vorhanden).

$$t = \frac{V}{Q_{mean}} [d]$$

t	=	Aufenthaltszeit in d
V	=	Volumen der Anlage, bzw. einzelner Kammern (Vorklärung, Nachklärung, etc.) in m ³
Q _{mean}	=	mittlerer Zufluss in m ³ / d

2.7 Raumbelastung

Die Raumbelastung B_R ist der Quotient aus organischer Fracht und dem Rauminhalt (Volumen) der bemessenen Anlage. Sie ist daher eine schmutzfrachtbezogene Bemessungsgröße und dient als wichtige Auslegungs- und Vergleichsgröße. Sie beschreibt die "Belastung" des Anlagenvolumens.

$$B_R = \frac{B_{d,x}}{V_{Reaktor}} \left[\frac{kg}{m^3 \cdot d} \right]$$

B _R	=	Raumbelastung in kg / (m ³ ·d)
B _{d,x}	=	tägliche Stofffracht in kg / d
V _{Reaktor}	=	Reaktorvolumen in m ³

2.8 Raumabbauleistung

Die Raumabbauleistung beschreibt den abgebauten Teil der Raumbelastung. Ist die Raumbelastung gleich der Raumabbauleistung entspricht das einem 100%igem Abbaugrad.

$$D_{BR} = \frac{B_{Zu,d,BOD} - B_{Ab,d,BOD}}{V_{Reaktor}} \left[\frac{kg}{m^3 \cdot d} \right]$$

D _{BR}	=	Raumabbauleistung in kg / (m ³ ·d)
B _{Zu,d,BOD}	=	BOD ₅ -Tagesfracht im Zulauf in kg/d
B _{Ab,d,BOD}	=	BOD ₅ -Tagesfracht im Ablauf in kg/d
V _{Reaktor}	=	Reaktorvolumen in m ³

2.9 Abbaugrad

Der Abbaugrad als Maß zur Beschreibung des biologischen oder chemischen Abbaus von Verbindungen wird gemäß DIN EN 12566 Teil 3 bestimmt. Der Abbaugrad kann für Einzelstoffe oder durch verschiedene Summenparameter ausgedrückt werden, wie z.B. TOC, BOD₅ oder COD. Die Definition des Abbaugrades in einer Anlage erfolgt nach folgender allgemeiner Formel:

$$\eta = \frac{C_{Zu} - C_{Ab}}{C_{Zu}}$$

η	=	Abbaugrad
C_{Zu}	=	Konzentration im Zulauf
C_{Ab}	=	Konzentration im Ablauf

Somit kann der Abbaugrad nur Werte zwischen 0 und 1 einnehmen (bzw. 0% und 100%). Der Abbaugrad ist ein Maß für die Effizienz der Anlage. Der jeweilige Volumenstrom hat keinen Einfluss, da er sowohl im Zähler als auch im Nenner steht und sich daher aufhebt.

2.10 Statistische Parameter

2.10.1 Anzahl

Die Anzahl (n) gibt an, wie viele Untersuchungsergebnisse einer Anlage zu den jeweiligen Parametern vorliegen.

2.10.2 Mittelwert

Bei der statistischen Auswertung wurde das arithmetische Mittel (x_{arithm}) gebildet:

$$\bar{x}_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

n	=	Anzahl der Proben
x_i	=	Messwerte

2.10.3 Median

Der Median (x_M) bezeichnet eine Grenze zwischen zwei Hälften. In der Statistik halbiert der Median die Verteilung einer Grundgesamtheit. Die eine Hälfte der Messwerte liegt unterhalb die andere Hälfte oberhalb des Medianwertes. Der Median eignet sich besonders gut zur Beurteilung eines durchschnittlichen Gesamtergebnisses:

$$x_M = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}} & n \text{ ungerade} \\ \frac{1}{2} (x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}) & n \text{ gerade} \end{cases}$$

n = Anzahl der Proben

x_i = Messwerte

2.10.4 Minimum / Maximum

Minimum und Maximum geben den kleinsten bzw. größten Messwert einer Datenreihe an.

2.10.5 Varianz

Die Varianz ist ein Maß für die Streuung einer Messgröße. Sie wird berechnet, indem man die Abstände der Messwerte vom Mittelwert quadriert, addiert und durch die Anzahl der Messwerte teilt.

2.10.6 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariablen um ihren Mittelwert. Sie ist für eine Zufallsvariable definiert als die positive Quadratwurzel aus deren Varianz.

2.10.7 Variationskoeffizient

Der Variationskoeffizient ist eine statistische Kenngröße in der Stochastik und der mathematischen Statistik. Er ist definiert als die relative Standardabweichung, d.h. die Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert.

2.10.8 85%-Fraktile

Die 85%-Fraktile gibt einen Unterschreitungswert an, der in 85% der gemessenen Werte erreicht wurde und eine Aussage darüber zulässt, wie stabil eine Anlage für den untersuchten Parameter läuft (85% der Werte liegen unter der 85%-Fraktile). Dies entspricht ungefähr der sogenannten 4-aus-5-Regel der deutschen Abwasserverordnung, bei der 4 von 5 Werten den Überwachungswert einhalten müssen.

2.10.9 Unterschreitungshäufigkeit

Die Unterschreitungshäufigkeit gibt an, von wie viel Prozent der Messwerte ein bestimmter Wert unterschritten wird. Außerdem kann für eine bestimmte Häufigkeit (z.B. 85 %) der unterschrittene Messwert abgelesen werden. Dies dient unter anderem zur Ermittlung der Prozessstabilität. Steile Kurven bedeuten bessere, flache Kurven schlechtere Prozessstabilität.

Kapitel 3

Beschreibung des Testfelds

3.1 Ort der Untersuchungen (BDZ e.V. in Leipzig-Leutzsch) und Einzugsgebiet

Das Grundstück der ehemaligen KA Leutzsch liegt im westlichen Stadtgebiet Leipzigs eingebettet am Rande eines Auenwaldes und wird durch eine Sport- und Kleingartenanlage begrenzt. Auf dem Grundstück selbst, das sich im Besitz der Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH befindet, war noch bis zum Jahr 2000 die alte Kläranlage Leutzsch in Betrieb. In dieser wurden die Abwässer aus dem vorgelagerten Einzugsgebiet Leutzsch gereinigt (Plan des Einzugsgebiets s. Anhang A). Die Kapazität betrug ca. 10.000 PE.



Abbildung 1: Demonstrationsstandort des BDZ e.V. in Leipzig-Leutzsch

Für die biologische Tropfkörperanlage, die 1914 errichtet wurde, bestand aufgrund der gewachsenen Anforderungen an die kommunale Abwasserbehandlung die Notwendigkeit der Anpassung an den Stand der Technik. Vor diesem Hintergrund wurde diese nach Inbetriebnahme einer Pumpstation mit Überleitung in das Hauptklärwerk Rosental, stillgelegt. Im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes wurde der Standort bis 2006 für das Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ) entsprechend nutzbar gemacht.

Ein Standortvorteil zum Aufbau des BDZ bestand vor allem im Vorhandensein aller notwendiger Medienanschlüsse. Die Versorgung mit Abwasser erfolgt dabei direkt aus dem Einzugsgebiet Leutzsch und macht den annähernd realen Betrieb von Kleinkläranlagen überhaupt möglich.

Das Kanalnetz des Einzugsgebiets Leutzsch ist als Mischsystem ausgebildet, in dem Schmutz- und Regenwasser gemeinsam abgeleitet werden. Die Gesamtlänge der Kanäle in Fließrichtung oberhalb des APW Leutzsch (Summe) beträgt ca. 35.780 m.

Die längste Entfernung (bezogen auf den Fließweg) zur Pumpstation liegt bei ca. 3.030 m (Kanallänge).

Aufgrund des Rückgangs von Industrieansiedlungen in dieser Region ist dort fast ausschließlich häusliches Abwasser und Sanitärabwasser aus Gewerbebetrieben vorhanden.

3.2 Demonstrationsfeld

Die Kleinkläranlagentechnik kann variabel in sogenannten Demonstrationsboxen (kurz: Demo-Box) aufgestellt werden, die sich im hinteren Teil des Geländes befinden. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wurde bisher nur der Bau der ersten Gruppe mit 12 Einzelboxen realisiert. Jede Box hat eine Abmessung von 5 mal 7 Metern und besitzt einen kompletten Anschluss aller notwendigen Medien. Die Grundfläche der Boxen kann durch herausnehmbare Zwischenwände verdoppelt werden.



Abbildung 2: Demonstrationsboxen

Zur Erreichung einer hohen Auftriebssicherheit bei hohen Grundwasserständen sowie der Gewährleistung einer hohen Havariesicherheit im Falle von Leckagen an den Anlagen wurde die Gründungssohle der Boxen als Wanne aus so genannten wasserundurchlässigem Beton ausgelegt. Auf diese sind die Hochbauteile der einzelnen Boxenwände bzw. des Mittelganges aufgesetzt. Direkt über dem Bediengang befindet sich der über eine Treppe erreichbare Kontrollgang, über den jede einzelne Kleinkläranlage direkt zugänglich ist.

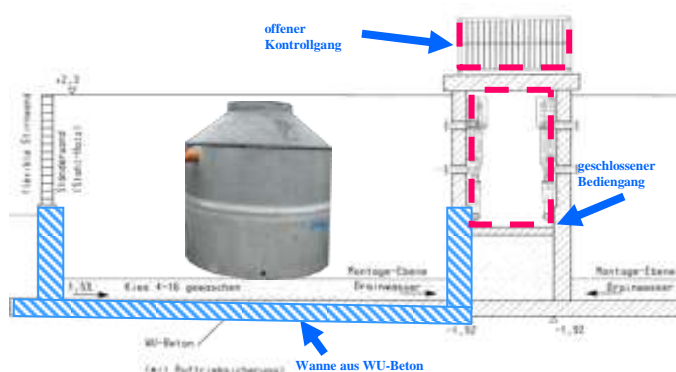


Abbildung 3: Schnitt Demonstrationsbox

Das gesamte Bauwerk mit einer Größe von 32 mal 17 Metern ist in zwei Straßen mit je 6 Einzelboxen und einem in der Mitte befindlichen geschlossenen Bediengang unterteilt.

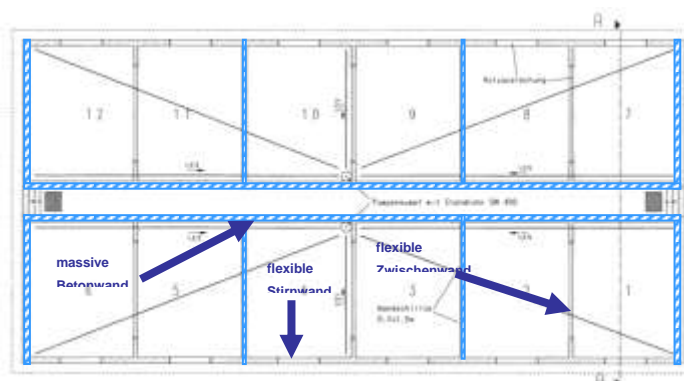


Abbildung 4: Grundriss Demonstrationsfeld

Zur Versorgung mit stets frischem Abwasser wurde ein Kreislaufsystem errichtet. Dieses besteht im Wesentlichen aus einer in der Vorlage der Pumpstation Leutzsch integrierten Tauchmotorpumpe mit einer Leistung von 30 l/s, 2 Abwasserdruckleitungen für die Ver- und Entsorgung der Demobox mit einem Nenndurchmesser von 90 mm sowie einem Doppelpumpwerk für den Abwasserrücktransport zum Vorlageschacht mit 2 Tauchmotorpumpen mit einer Leistung von 30 l/s und 7 l/s.

Das Abwasser wird ohne vorherige mechanische Vorreinigung bzw. Zerkleinerung aus der Vorlage der Pumpstation Leutzsch entnommen und in die Ringdruckleitung eingespeist. Innerhalb des Bedienganges wird diese Menge auf 2 Poolleitungen aufgeteilt. Zur Aufrechterhaltung des notwendigen Druckes zur Befüllung der Vorlagebehälter wurde jeweils ein eingedrosselter Schieber in diese Leitung integriert und die beschriebene Zulaufpumpe entsprechend groß dimensioniert. Aufgrund des Kugeldurchganges der Zulaufpumpe von 80 mm werden so Abwasserinhaltsstoffe wie z.B. das Rechengut unverändert an die Anlagen weitergeleitet.

Aus der Poolleitung kann je nach Anforderung eine definierte Menge Abwasser dosiert entnommen werden. Die überschüssige Menge aus der Zirkulation wird zusammen mit dem Anteil des Kläranlagendurchlaufes im Sammelschacht, der sich hinter dem Bauwerk befindet, aufgefangen und zurückgefördert.

Die Mischwassersituation führt so zwar teilweise zur Abwasserverdünnung, aber nicht zur Überlastung der Anlagen durch Regenereignisse.

Die für jede Einzelbox vorhandenen Dosierungseinrichtungen befinden sich wettergeschützt im Bediengang und bestehen im Wesentlichen aus einem Vorlagebehälter mit einem Volumen von ca. 30 l und zwei pneumatischen Plattenschiebern, die über eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) angesteuert werden.



Abbildung 5: Technische Ausstattung **Abbildung 6: Dosiereinrichtungen**
im Gang der Demo-Box am BDZ

Mit der Beschickungseinrichtung ist es möglich, jede Anlage der 12 Boxenplätze über eine individuell einstellbare Tagesganglinie mit Abwasser zu beaufschlagen, um so einen realitätsnahen Betrieb der Kleinkläranlagen zu ermöglichen.

Aufgrund der Ausbaugröße der SPS können aktuell drei unterschiedliche Ganglinien (Beschickungs-Gruppen) vorgegeben und den Anlagen zugeordnet werden.

Die Funktionsweise dieses Beschickungssystems basiert auf einer rein zeitlichen Ansteuerung der verschiedenen Plattenschieber. Zur Erzeugung des erforderlichen Luftdrucks wurde außerhalb des Bauwerkes ein entsprechender Kompressor mit Druckluftkessel angeordnet. Über die ebenfalls im Außenbereich schaltschrankseitig untergebrachte SPS Siemens S7 – 200 erfolgt nach einem beliebig festgelegten Zyklus die Betätigung der Plattenschieber nach folgendem Muster:

- Öffnung des zulaufseitigen Plattenschiebers des Vorlagebehälters für 18 sec.
- Füllung des Behälters mit Abwasser aus der Poolleitung bis zur Vollenfüllung
- Überlauf überschüssigen Abwassers über den Notüberlauf des Behälters in einen Kontrollbehälter mit Ablauf in die Ablaufleitung zum Doppelpumpwerk
- schließen des zulaufseitigen Plattenschiebers
- Pausenzeit 2 sec.
- Überlauf des restlichen Abwassers und Einpegeln einer Menge von ca. 30l im Behälter
- Öffnung des ablaufseitigen Plattenschiebers des Vorlagebehälters für ca. 10 sec.
- Entleerung des Behälters und Beschickung der entsprechenden Kläranlage
- Ablauf des gereinigten Abwassers aus der Kläranlage zurück in den Kontrollbehälter und weiter in die Ablaufleitung



Abbildung 7: SPS Siemens S7 – 200 im Außenbereich

Die Erfassung der Gesamtmenge der Beschickung erfolgt dabei anhand der Zählung der Zyklen multipliziert mit dem Volumen des Vorlagebehälters.

Die Änderung der einzelnen Zyklen der drei möglichen Tagesganglinien in der Software ist außer per Laptop auch zusätzlich über Touch - Panels direkt im Bediengang möglich.

Die Ableitung inkl. der Drainage der Box erfolgt, wie beschrieben, in eine Leitung mit Einbindung ins Pumpwerk und Weiterbehandlung in der KA Rosental.

Neben den Dosiereinrichtungen zur Anlagenbeschickung sind im Bediengang die Stromzähler zur Erfassung des Energieverbrauchs sowie Einrichtungen zur Probennahme je Box bzw. Kleinkläranlage installiert.

Kapitel 4

Beschreibung der Kleinkläranlagen

4.1 Anlagenübersicht

Die Auswahl der im Rahmen von Compas zu untersuchenden Kleinkläranlagensysteme wurde unter der Leitung des Steering Komitees nach der Maßgabe getroffen, eine möglichst große Bandbreite der am Deutschen und Europäischen Markt eingesetzten Verfahren zu erfassen. Ausgewählt wurden daher Anlagen mit sessiler Biomasse, verschiedene Ausführungen von Bodenfiltern, suspendierte Biomasse als Membranverfahren und SBR-Technik sowie ein Kombinationsverfahren. Diese Einteilung bestimmt auch die Reihenfolge in der Darstellung der Ergebnisse des vorliegenden Berichts.

Untersucht wurden überwiegend bereits zu Demonstrationszwecken auf dem Testfeld vorinstallierte Kleinkläranlagen, so dass eine besondere technische Anpassung der hier vorhandenen Anlagen an die geplanten speziellen Versuchsbedingungen nur sehr eingeschränkt erfolgen konnte. Zwei Anlagen wurden zusätzlich in noch freie Demo-Boxen eingebaut. Dabei handelte es sich um die Produkte Ecofix und Ecoflex des Herstellers Premiartech.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht aller an der Studie beteiligten Anlagen.

Eine detaillierte technische Beschreibung der einzelnen Anlagensysteme erfolgt anschließend in den Kapiteln 4.4 bis 4.15. Die hier zusammengestellten Informationen wurden auf Basis eines Fragebogens individuell von den Herstellern an die Projektgruppe geliefert.

Tabelle 3: Bezeichnung der Anlagen und Aufteilung der Verfahren

Nr.	Hersteller	Anlage	Verfahren	Biologie	Nominal PE
1	Aquamatic GmbH&Co. KG	STM 5	Kombi.Tauchkörper/-Beleungsverfahren	Sessile und suspendierte Biomasse	4 ¹ (5 ²)
2	Martin Bergmann Umwelttechnik	BIO- WSB [®] -N	belüftetes Wirbelbett	Sessile Biomasse	4
3	Klargester Environmental Ltd	Klargester BioDisk BA	Scheibentauchkörper	Sessile Biomasse	6 (5 ¹)
4	Nordbeton GmbH	Biofilter KP253 PAL (PAB)	Tropfkörper	Sessile Biomasse	9
5	PREMIER TECH LTEE	Textile Biofilter Ecoflex TM	Rieselfilter (Textil)	Sessile Biomasse	6 / 4 (5 ¹)
6	HUBER DeWaTec GmbH	HUBER 3K PLUS [®]	getauchtes Festbett	Sessile Biomasse	4
7	Lauterbach-Kießling GmbH	Lauterbach BKF 4 DN2000 Z1	Bodenkörperfilter	Biofilter	4
8	UFZ	Typ UFZ C+H 4 E	Pflanzenkläranlage	Biofilter	4
9	PREMIER TECH LTEE	Ecofix [®] Biofilter type STB 500	Filter / Kokosmaterial	Biofilter	6
10	BUSSE IS GmbH	BUSSE MF type MF-HKA4	Membranverfahren	Suspendierte Biomasse	4
11	ATB Umwelttechnologien GmbH	AQAU max BASIC	SBR-Verfahren	Suspendierte Biomasse	9 / 4 (8 ¹)
12	Mall Umweltsysteme GmbH	SanoClean XL 4 EW H20	SBR-Verfahren	Suspendierte Biomasse	4

¹ laut Herstellerangaben² laut Zulassung

4.2 Aufstellung auf dem Testfeld mit Nominalbelastung

Das Testfeld besteht aus einer Anordnung von 2 mal 6 gleichgroßer „Demo-Boxen“, in denen die jeweiligen Kleinkläranlagen eingebaut wurden. Außerdem wurde für die Membrananlage der Firma Busse ein separater Container außerhalb des Boxenfeldes zur Verfügung gestellt. Die Anlagen wurden entsprechend der drei separat programmierbaren Beschickungsvarianten in drei Gruppen in Anlehnung an die Herstellerangaben zur Nominalbelastung der eingebauten Anlagen aufgeteilt (s. Abbildung 8):

- Gruppe 1: 4 Einwohner
- Gruppe 2: 6 Einwohner
- Gruppe 3: 9 Einwohner

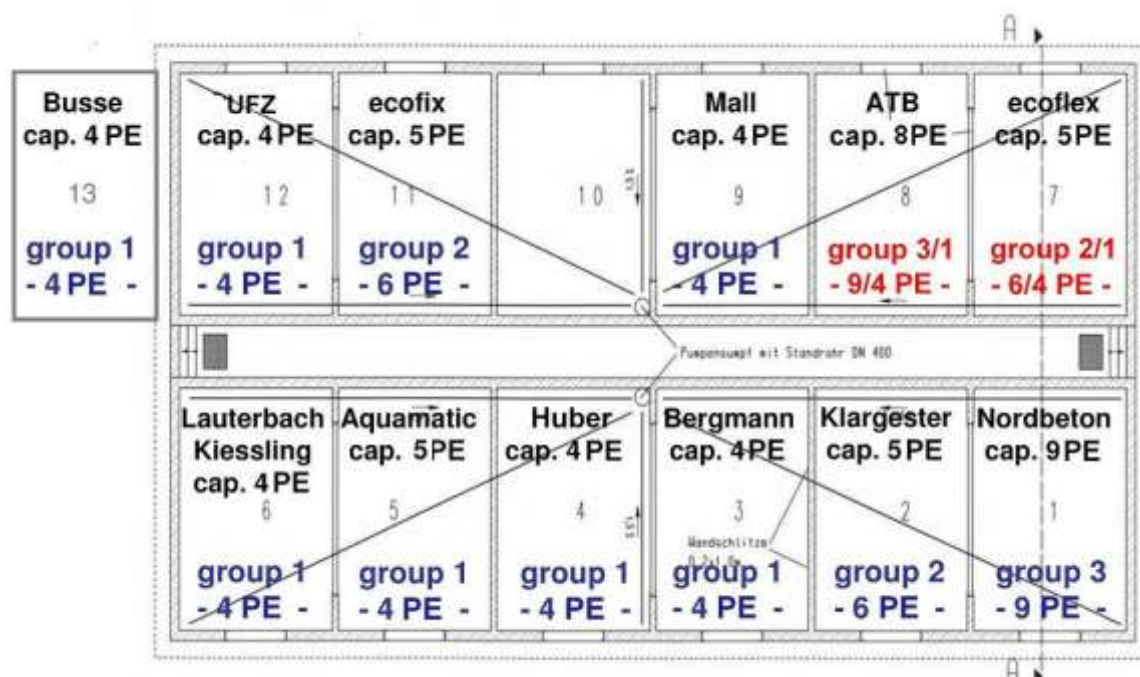


Abbildung 8: Testfeldaufteilung in Gruppen nach nominalem Einwohnerwert

4.3 Technische Informationen

Tabelle 4: Technische Informationen der beteiligten Anlagen

Anlagen	Gewicht / schwerstes Bauteil	Flächenbedarf	hydraulischer Höhenverlust (Zulaufhöhe - Ablaufhöhe)
	[kg]		[m ²]
Aquamatic – STM 5	180	4,5	21
Bergmann – BIO- WSB®-N	11.100 / 3.400	4,91	20
Klargester – BioDisk BA	325	3,14	7
Nordbeton – Biofilter KP253 PAL	12.232 inkl. La- va / 3.000 Bo- denteil	4,91	25
PREMIER TECH – EcoflexTM*) **)			
HUBER - 3K PLUS®	2.200	4,91	10
Lauterbach-Kießling – BKF 4	15.007 / 2.110 Bodenteil	7,46 ohne Pump- schacht	164
UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E	2420	35	0-20 (Pumpen)
PREMIER TECH – Ecofix Typ STB 500			
Busse – MF Typ MF-HKA4	85 kg	Ca. 3 m ²	Nicht relevant
ATB – AQUA max BASIC		4,91	Nicht relevant
Mall – SanoClean XL	6.000 / 4.529	3,14	Nicht relevant

4.4 Aquamatic – STM 5

4.4.1 Hersteller

Aquamatic GmbH & Co. KG

Bischofsweg 33

04779 Wermsdorf

Herr Stähler

4.4.2 Systembezeichnung

STM 5

4.4.3 Auslegungsgröße

4 PE

4.4.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-55.5-24 vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt),

4.4.5 Funktionsweise

Systembeschreibung

- Mechanische Vorreinigung bestehend aus: Mehrkammerabsetzgrube mit gemeinsamer Mischschlammspeicherung
- STÄHLERMATIC-Kombibecken bestehend aus Biobecken und Nachklärbecken mit gravimetrischer Rückführung des sedimentierten Schlammes zum Biobecken und Überschussschlammmentnahme mittels Schöpfbecher

In das Biobecken ist der Tauchkörper eingebaut, ein außen liegender Antriebsmotor bzw. die Belüftung dreht den Tauchkörper um die Wellenachse.

Technologische Beschreibung

Das "STM System" zur biologischen Abwasserreinigung besteht aus der Kombination des Tauchkörper- und des Belebungsverfahrens. Diese Verfahrenseinheit wird wie ein konventionelles Belebungsbecken mit einer hoch leistungsfähigen Belebtschlammkomponente und mit Schlammrückführung zur Aufkonzentrierung der Belebtschlamm suspension betrieben. Durch die höhere Konzentration der Belebtschlammkomponente und durch die sessile Biomasse wird die Gesamtleistungsfähigkeit deutlich vergrößert.

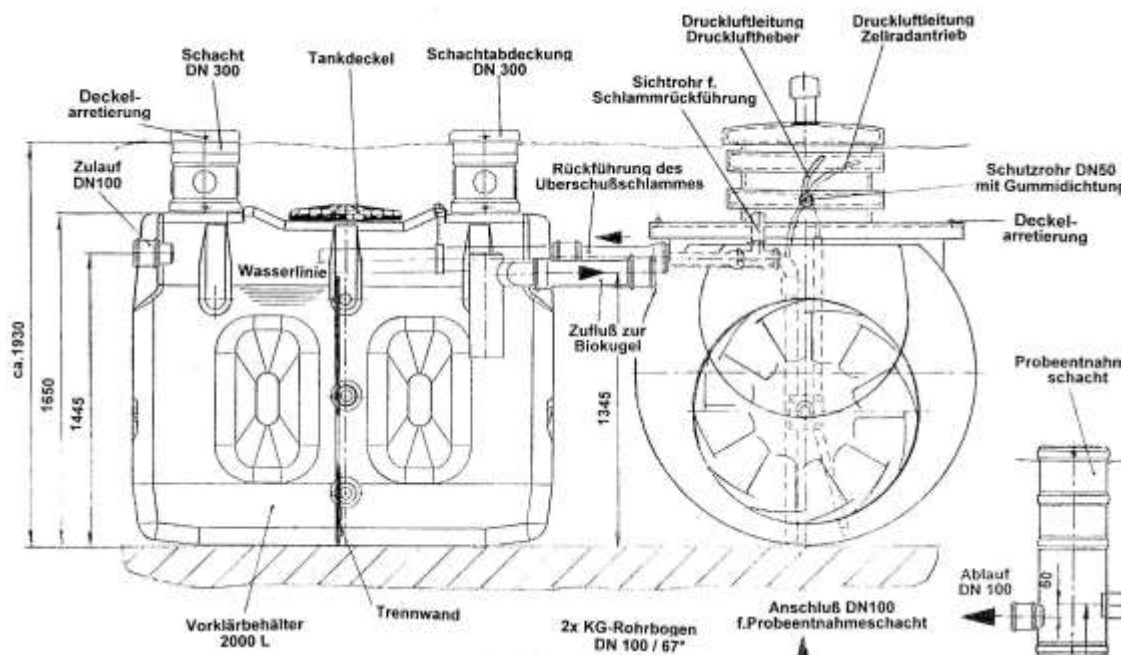


Abbildung 9: Prinzipskizze Tauchkörper (<http://www.aquamatic-klaeranlagen.de>)



Abbildung 10: Photo, Anlage im Betrieb (BDZ Leipzig)

4.4.6 Abmessungen

Tabelle 5: Bemessungsgrundlagen (links); Abmessungen der mechanischen Stufe (rechts)

Bemessungsgrundlagen				Anlagentyp			
Anlagentyp			STM 5	Mechanische Behandlungsstufe mit gemeinsamer Mischschlamm-speicherung			STM 5
Einwohner		EW	5	Bauform: Dreikammerabsetzgrube			1 Behälter
spez. Abwassermenge		l/(EW x d)	150,00	Durchmesser	D	mm	1500
Tägliche Schmutzwassermenge		m ³ /d	0,75	Wassertiefe	T	mm	1700
Abwassermenge in der Spitzstunde	10	m ³ /h	0,08	Nutzvolumen mechanische Vorbehandlung	V _{MV}	m ³	3
	24	m ³ /h	0,03	Spez. Nutzvolumen Mischschlamm-speicher	V _{spez.}	l/EW	73,5
Organische Schmutzfracht				Nutzvolumen Mischschlamm-speicher	V _{MS}	m ³	0,37
Organische Schmutzfracht ohne Vorklärung	BSB ₅ 60		0,3	Gesamtvolumen	V _{GES}	m ³	3,37
Organische Schmutzfracht mit Vorklärung 1,5 h	BSB ₅ 40		0,2				

Tabelle 6: Abmessungen der biologische Stufe (Zulassungsunterlagen)

Anlagentyp				Anlagentyp			
Biobecken			STM	Nachklärbecken			STM
Durchmesser	D	mm	1600	Anzahl der Nachklär-taschen	n		2
Breite	B	mm	585	Oberfläche	A _{NK}	m ²	0,78
Scheibenanzahl	n		5	Volumen	V _{NK}	m ³	0,56
Bewuchsfläche	A	m ²	16,5	Oberflächenbeschickung	q _A	m ³ /(m ² ·h)	0,10
Wassertiefe	H	m	1,1	Wassertiefe	H _{NK}	m	1,10
Nutzvolumen	V	m ³	1,3	Durchlaufzeit	t _{NK}	h	7,47
BSB ₅ -Flächenbelastung	B _A	g/(m ² x d)	4				
BSB ₅ -Abbau Tauchkörper	B _T	kg BSB ₅ /d	0,07				
BSB ₅ -Abbau Belebtschlammkomponente	B _{BB}	kg BSB ₅ /d	0,13				
Trockensubstanzgehalt	TS _{BB}	kg /m ³	4,00				
BSB ₅ Schlammbelastung	B _{TS}	kg/(kgxd)	0,03				
BSB ₅ -Raumbelastung	B _R	kg/(m ³ xd)	0,10				
Sauerstoffzufuhr im Betriebszustand	O ₂	kg O ₂ /d	0,28				

4.4.7 Aggregate

Kompressor 50 W für die Drehbewegung des Zellrades und für zusätzlichen Sauerstoffeintrag.

4.4.8 Stromverbrauch nominal

1,0 kWh/d (vgl. Prüfzeugnis PIA, 2008)

4.4.9 Betriebsparameter

Reinigungsleistung (Nominalphasen):

COD 87,1 %

BOD₅ 93,7 %

SS 93,3 %

(vgl. Prüfzeugnis PIA, 2008)

4.4.10 Wartung

Es ist der Schlammgehalt zwischen 300-350 ml/L zu halten.

Während des laufenden Betriebes ist eine regelmäßige Wartung und Kontrolle (zweimal im Jahr) der Anlage und der Betriebsbedingungen unerlässlich (s. Zulassungsunterlagen).

4.5 Bergmann – BIO- WSB® -N

4.5.1 Hersteller

Martin Bergmann Umwelttechnik

Am Zeisig Nr. 8

09322 Penig OT Wernsdorf

Internet: www.wsb-clean.com

E-Mail: kontakt@wsb-clean.com

4.5.2 Systembezeichnung

BIO- WSB®-N

Kleinkläranlage mit Abwasserbelüftung aus Beton, belüftetes Wirbel-/Schwebebett

Typ: WSB® –clean Basic

4.5.3 Auslegungsgröße

4 PE

4.5.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

National German General Approval in accordance with DIN EN 12566-3

vorhandene Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung:

Kleinkläranlagen mit Abwasserbelüftung, WSB®: Z-55.6-64 Klasse N

Patentanmeldung: Nr. DE 101 27 554 A1 Verfahren zur biologischen Reinigung von Abwasser.

4.5.5 Funktionsweise

Vorklärung

Das häusliche Schmutzwasser wird der ersten Kammer zugeführt, die vor allem als Vorklärung/Sedimentationsstufe für eingebrachte Grobstoffe fungiert. Diese Kammer dient zugleich als Schlamm-speicher. Das auf diese Weise mechanisch vorbehandelte Schmutzwasser wird danach dem Bioreaktor zugeführt. Das Verfahren eignet sich zur bedarfsgerechten Schlamm-entsorgung, so dass während der Wartung der Schlamm-spiegel ermittelt wird und gegebenenfalls die Schlamm-räumung in Auftrag gegeben wird. Durch den geringen Schlamm-anfall (Primär- plus Sekundärschlamm-anfall) werden Schlamm-stapelzeiten von ca. 2 Jahren erzielt.

Biologische Reinigungsstufe

Die vollbiologische Reinigungsstufe basiert auf dem WSB® - Verfahren (Wirbel – Schwebbett – Biofilmverfahren - ohne Rückführung von Belebtschlamm aus der Nachklärung in den Biofilmreaktor).

Auf Kunststoff – Trägermaterialien mit einer spezifischen Oberfläche $\geq 300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ siedeln sich Mikroorganismen an, welche die angebotenen Nährstoffe des Abwassers und den über Membranbelüfter feinblasig eingetragenen Sauerstoff zu ihrer Synthese und Stoffwechsellätigkeit nutzen. Die feinblasige Belüftung des Bioreaktors erzeugt zudem ausreichende Scherkräfte, die eine dauerhafte Deckschichtkontrolle des Trägermaterials gewährleisten. Ein Zuwachsen des Trägers ist ausgeschlossen. Auf dem Trägermaterial wird ein dünner und hochaktiver Biofilm erzeugt.

Der Eintrag des Sauerstoffes erfolgt intermittierend. Wird Sauerstoff eingetragen (Wirbelbett), laufen aerobe Prozesse ab (vorrangig Kohlenstoffabbau und Nitrifikation). Erfolgt kein Sauerstoffeintrag, so schweben die Träger unter der Wasseroberfläche in dichter Packung. Dieses Prinzip führt im Reaktor bzw. im schwebenden Bett zu wechselnden Betriebszuständen (aerob / anoxisch).

Durch Füllgrade von bis zu 55% werden geringe Flächenbelastungen erzeugt, durch die auch Überlaststöße ohne Probleme abgebaut werden.

Zum Rückhalt des Trägermaterials in der Biologie wird eine angeströmte Fangvorrichtung (Gebrauchsmuster) eingesetzt. Durch Ihre strömungstechnische Anordnung werden Verstopfungen vermieden.

Nachklärung

Der Boden der Nachklärkammer ist als $\frac{1}{4}$ Kegelstumpf ausgebildet. Der Sekundärschlamm sammelt sich am Boden. Er wird von mit einem Heber oder einer Tauchmotorpumpe in die Vorklärung gefördert.

Damit eine sichere Schlammräumung gewährleistet werden kann, sind Anordnung des Heber bzw. der Sekundärschlammpumpe so konstruiert, dass der sich absetzende Schlamm in jedem Fall in den Saugbereich der Pumpe gleitet.

Aus der Nachklärkammer gelangt das biologisch gereinigte Schmutzwasser über einen Revisions- oder Probenahmeschacht, bzw. eine Ablaufvorrichtung (Integrierte Probenahme – INPN - als Option lieferbar) zum Vorfluter oder zur Verrieselung.

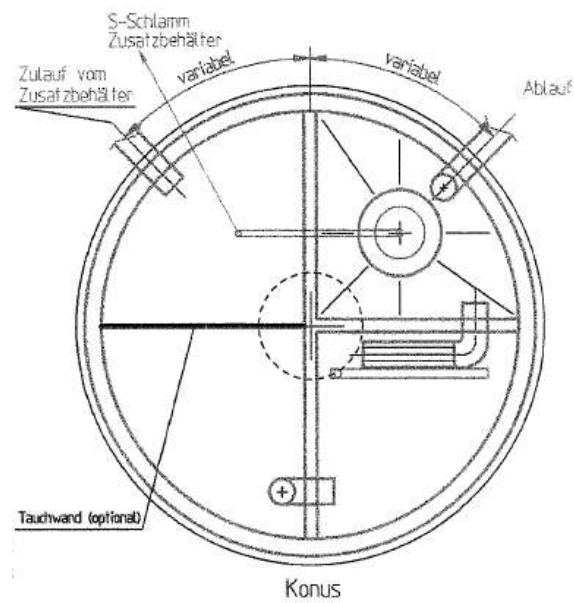


Abbildung 11: Systemskizze (Zulassungsunterlagen)



Abbildung 12: Trägermaterial (BDZ Leipzig)

4.5.6 Abmessungen

Auslegung nach DIN EN 12566-3 und den Zulassungsgrundsätzen des DIBt:

Tabelle 7: Abmessungen gemäß Zulassungsunterlagen

S1-WSB Klasse N Beton-Einbehälteranlage		S1-2500-N	EWG (E)	4
Bemessung		3K	DN BIO mm	2500
Grobentschlammung	Nutzvolumen theoretisch min. inkl. Schlammstapel		m ³	2,00
	Nutzvolumen min inkl. Schlammstapel		m ³	2,83
	Nutzvolumen max inkl. Schlammstapel		m ³	3,54
	Nutzvolumen konstr. inkl. Schlammstapel		m ³	2,95
	Wassertiefe konstrukt.		m	1,25
	Wassertiefe WT-VK _{min}		m	1,20
	Wassertiefe WT-VK _{max}		m	1,50
Biofilmreaktor	Nutzvolumen min	einschl. Option Paraboloid	m ³	0,96
	Nutzvolumen max		m ³	1,64
	Wassertiefe WT-BIO _{min}		m	1,15
	Wassertiefe WT-BIO _{max}		m	1,45
	Biofilm - Trägeroberfläche min.		m ²	162
	Biofilm-Trägeroberfläche theoretisch min für max. Flächenbelastung		m ²	100
	Flächenbelastung	bei Nutzvolumen BIO-min max	g BSB ₅ / (m ² d)	≤ 2,0
	Füllgrad Biofilmtträger 46 bis 55 %	K1 bzw. K2	m ³ min	0,46
	TYP KALDNES	K1 bzw. K2	m ³ max	0,82
Paraboloid zur Volumenverkleinerung	optional	nach Bedarf		
Nachklärung	Nutzvolumen min		m ³	1,10
	Nutzvolumen max		m ³	1,45
	Wassertiefe WT-NK _{min}		m	1,10
	Wassertiefe WT-NK _{max}		m	1,40
	Mindestoberfläche	A _{NK} konstruktiv ANK = Q ₁₀ /q _f	m ²	1,13
	Oberflächenbeschickung	q _f =Q ₁₀ /A _{NK}	≤ 0,4 m ³ /(m ² h)	0,70
	Verweilzeit bei Nutzvolumen	t _{NK} =V _{NK} /Q ₁₀	(≥ 3,5) h	18,4
	Schlammabzug Nachklärung	≥ 5 L/(E·d)	min. m ³ /d	0,020

4.5.7 Aggregate

- Verdichter (Membrankompressor oder Tauchmotorverdichter)
- Tauchmotor-/ oder Heber (Mammutpumpe) mit Magnetventil zur Schlammräumung
- SPS mit anwenderfreundlicher Software und USB Schnittstelle / optional GSM Modul zur Fernüberwachung
- Steuerschrank für Innen- bzw. Außenaufstellungsvarianten

(s. Zulassungsunterlagen und Herstellerinformation)

4.5.8 Stromverbrauch nominal

ca. 55 kWh/ Jahr und Einwohner für eine 4 EW Anlage Klasse C

(gem. Herstellerinformation)

4.5.9 Betriebsparameter

BOD₅: ≤ 15 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert

≤ 20 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert

COD: ≤ 75 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert

≤ 90 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert

NH₄-N: ≤ 10 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, filtriert

SS: ≤ 50 mg/l aus einer Stichprobe

4.5.10 Wartung

Die Wartung ist vom Antragsteller oder einem Fachbetrieb mind. zweimal im Jahr (im Abstand von 6 Monaten) durchzuführen. Der Inhalt der Wartung ist folgender:

- Einsichtnahme in das Betriebsbuch; Kontrolle Betriebsstundenzähler und Soll/Ist-Vergleich
- Funktionskontrolle von Steuerung, Verdichter und Schlammpumpe, Luftverteilung
- Wartung Verdichter
- Eventuell Änderung der Taktzeiten von Verdichter (nach Messung der O₂-Konzentration im Bioreaktor) und Sekundärschlammpumpe
- Messung der Schlammspiegelhöhe im ersten Becken der Vorklärung, gegebenenfalls Veranlassung der Schlammabfuhr
- Reinigungsarbeiten (Integrierte Probenahme, Beseitigung von Schwimmschlamm und Ablagerungen)
- Kontrolle des baulichen Zustandes der Anlage auf Korrosion, Zugänglichkeit, Lüftung
- Stichprobe des Ablaufes (Temperatur, pH-Wert, NH₄-N, abgesetzte Stoffe, COD)

Die durchgeführte Wartung wird im Betriebsbuch vermerkt und im Wartungsprotokoll dokumentiert.

Es ist ein Wartungsbericht zu erfassen und dem Betreiber zuzuleiten. Der Betreiber hat den Wartungsbericht dem Betriebshandbuch beizufügen und diesen der zuständigen Bauaufsichtsbehörde bzw. der zuständigen Wasserbehörde auf Verlangen vorzulegen.

4.5.11 Referenzen

- 25.000 installierte Anlagen WSB® clean weltweit.

4.6 Klargester – Bio-Disk BA

4.6.1 Hersteller

Kingspan Environmental GmbH,
Am Schornacker 2;
D-46485 Wesel
Klargester ist eine Marke der Kingspan

Telefon: +49 (0) 0281 - 95 250 45

Telefax: +49 (0) 0281 - 95 250 50

Email: verkauf@klargester.de

4.6.2 Systembezeichnung

Klargester BioDisk BA

4.6.3 Auslegungsgröße

5 PE (6 PE)

4.6.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

Die Klargester BioDisc® Anlagen arbeiten nach dem Scheibentauchkörperverfahren und werden gemäß DIN 4261 Teil 2 für Haushaltsabwasser in verschiedenen Anschlussgrößen (bis zu 50 EW) unter der Zulassungs-Nr. Z 55.5-22 industriell hergestellt.

4.6.5 Funktionsweise

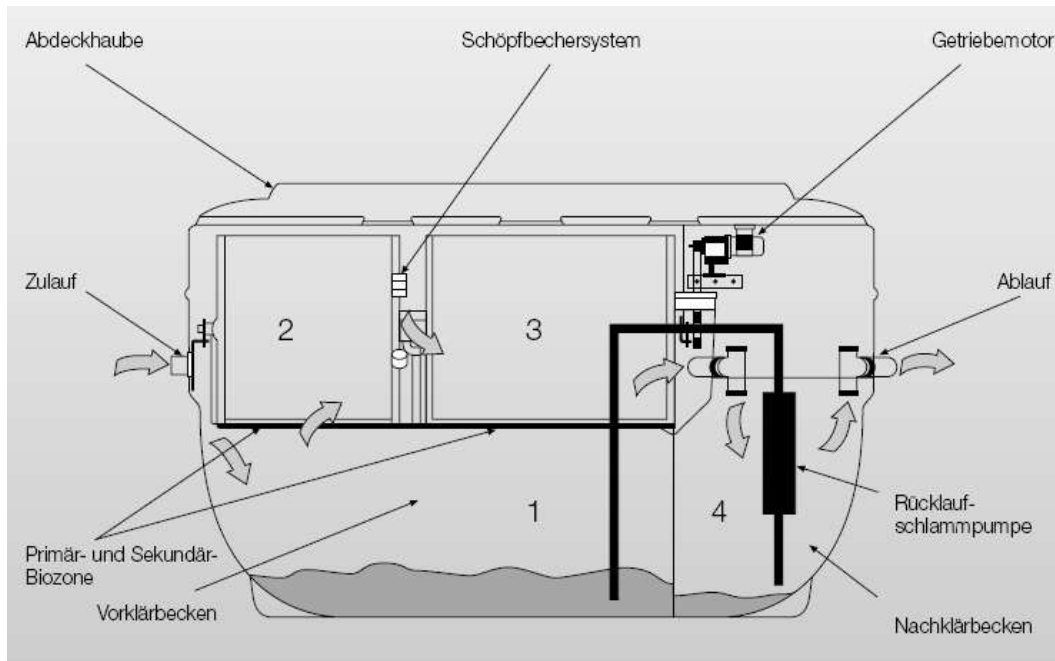


Abbildung 13: Schnitt durch die Klargestern-Anlage

Die Anlage besteht aus einem Vorklärbecken, einer zweiteiligen Biozone, Scheibentauchkörper und einem Nachklärbecken mit Rücklaufschlammpumpe. Das Schöpfbechersystem ist im Biorotor eingebaut. Die BioDisc® wird von einem kleinen Getriebemotor angetrieben. Jede Anlage wird komplett mit zugehörigem Schaltschrank geliefert.

Vorklärbecken (1):

Das im Trennsystem erfasste Abwasser gelangt zunächst in das Vorklärbecken der Anlage. Hier werden Schwebstoffe zurückgehalten, absetzbare Stoffe sedimentieren als Schlamm am Boden der Vorklärung und können mit Saugwagen entnommen werden. Das teilgeklärte Abwasser mit den enthaltenen Schwebstoffen wird jetzt der Biozone zugeführt.

Biozonen (2-teilig, 2 und 3):

Die biologische Stufe arbeitet nach dem Scheibentauchkörperverfahren. Sie befindet sich im Beckenbereich über der Vorklärung. Mit einem speziellen Zuflussausgleichssystem (managed flow), einem Schöpfbecherwerk, werden schwankende Zuflussbedingungen abgepuffert und Konzentrationsveränderungen des Abwassers weitgehend ausgeglichen. Dabei steht die erste Biostufe als Hochlastwalze in ständiger Verbindung mit dem Vorklärbecken, während das nachfolgende Scheibenpaket unabhängig als zweite Biostufe hydraulisch mit einem Schöpfwerk beschickt wird. Beim Scheibentauchkörperverfahren sind mehrere Pakete runder, perforierter Scheiben nebeneinander auf einer Antriebswelle befestigt. Sie tauchen teilweise ins Abwasser ein. Auf den Scheiben siedeln sich in wenigen Tagen selbstständig Mikroorganismen und Kleinlebewesen als biologischer Rasen / Biofilm an. Während des Eintauchens nimmt dieser gelöste organische Stoffe auf. Im oberen Kreissegment, dem aeroben Anlageteil der biologischen Reini-

gungsstufe gelangt der zum Stoffwechsel notwendige Sauerstoff an den Rasen. Die organischen Verunreinigungen werden oxydiert oder zu neuer Biomasse umgebaut. Überschüssige Biomasse fällt von den Scheiben ab und bleibt im Becken weiterhin biologisch aktiv. In der Nachklärung wird sie vom gereinigten Abwasser getrennt. Zur Stabilisierung des Klärprozesses wird ein Teil des Überschussschlammes mit einer Tauchpumpe in das Vorklärbecken zurückgeführt. Damit wird ein Belastungsausgleich geschaffen.

Schöpfbechersystem (patentiert):

Dieses System ist speziell konstruiert worden, um Reinigungsmittel und Haushaltschadstoffe zu beseitigen, die sich im häuslichen und industriellen Abwasser befinden. Das Schöpfbechersystem von Klargester ermöglicht einen regelmäßigen Strom durch die Anlage, um große Stöße während der Hauptflusszeiten zu vermeiden. Dadurch entsteht vollbiologisch gereinigtes Abwasser, das höchsten Qualitätsansprüchen gerecht wird. Die BioDisc® mit Schöpfbechersystem ist daher in der Lage höhere Konzentrationen von organischen Stoffen zu bearbeiten. Das Schöpfbechersystem verbessert die Qualität des Abwassers durch die erhöhte Produktion von absetzbaren Stoffen. Der Zufluss zum Nachklärbecken wird hiermit ebenso gesteuert.

Nachklärbecken (4):

Das biologisch gereinigte Wasser fließt von der 2. Biozone durch ein Abflussrohr in das, durch eine Trennwand abgeschottete, Nachklärbecken. Die Schwebstoffe setzen sich dort entweder ab oder treiben als Schwimmstoff auf der Oberfläche des Nachklärbeckens. Diese werden dann in regelmäßigen Abständen durch eine Rücklaufschlamm-pumpe in die Vorkläreinrichtung zurückgefördert.

(s Firmenangaben, Prospekt)

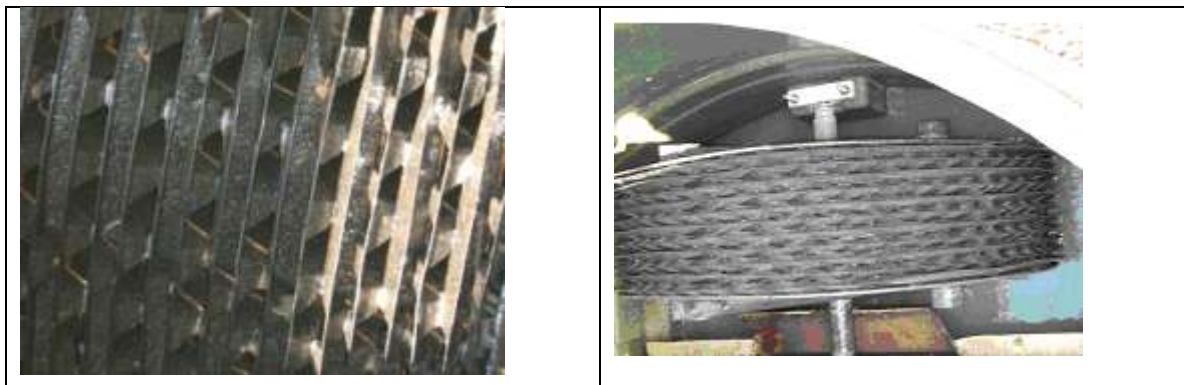
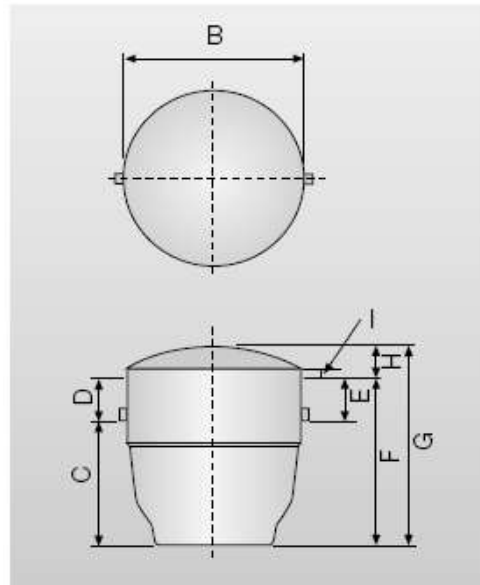


Abbildung 14: Scheibentauchkörper Klargester BioDisk BA (BDZ Leipzig)

4.6.6 Abmessungen



BA - BC BioDisc®

Abbildung 15: Systemskizze zur Bemaßung (Herstellerprospekt)

Tabelle 8: Abmessungen (Firmenangaben, Prospekt)

BioDisc®	Einheit	BA
Anschlussgröße		5 EW
Tägliche Abwassermenge	m³/d	0,75
Tägliche Schmutzfracht	kg BSB ₅ /d	0,3
Abwasserspitze Q ₁₀	m³/h	0,075
Einbaumaße		
A-Länge	mm	-
B-Durchmesser/Breite	mm	1995
C-Tiefe unter Zulauf	mm	1400
D-Zulauftiefe	mm	450/750/1250
E-Ablauftiefe	mm	520/820/1320
F-Einbautiefe	mm	1850/2150/2650
G-Gesamthöhe	mm	2160/2460/2960
H-Höhe über GOK	mm	310
I-Höhe GOK-Deckel	mm	95
J-Zwischenmaß Zu-/Ablauf	mm	-
K-Zulaufposition	mm	-
L-Ablaufposition	mm	-
Zu-/Ablaufdurchmesser	mm	DN 150
Massen		
Gesamtmasse, leer	kg	310/325/380

4.6.7 Aggregate

Pumpe/Motor:

Motorleistung: 0,050 kW

Pumpenleistung: 0,480 kW

(Firmenangaben, Prospekt)

4.6.8 Betriebsparameter

BOD₅: 25 mg/l 24 Std. Mischprobe

COD: 110 mg/l 24 Std. Mischprobe

SS: 30 mg/l 24 Std. Mischprobe

(Firmenangaben, Prospekt)

4.6.9 Wartung

Die BioDisc® Anlage erfordert nur geringen Wartungsaufwand, da sie zum großen Teil aus GFK (glasfaserverstärktem Polyester) und aus korrosionsgeschützten Teilen hergestellt wird. Die Biomasse ist ein biologischer Systembestandteil und darf nicht gereinigt oder entfernt werden. Wie bei allen elektrischen und mechanischen Teilen ist eine regelmäßige Wartung erforderlich. In der Bedienungsanleitung der Anlage ist diese definiert. Zur sachgerechten Durchführung empfehlen wir den Abschluss eines Wartungsvertrages mit Ihrem Klargester Partner (Firmenangaben, Prospekt). Angaben zur Wartungshäufigkeit liegen nicht vor.

4.7 Nordbeton – KP253 PAL

4.7.1 Hersteller

Nordbeton GmbH

Industriestr. 2

26169 Friesoythe

Ansprechpartner Herr Uphoff

Tel.: 04497- 9241 – 13

Fax: 04497 – 9241 - 70

E-Mail juphoff@nordbeton.com

4.7.2 Systembezeichnung

Tropfkörper KP253 PAL (Tropfkörperschüttung Lava Korngröße 40/ 90)

Kleinkläranlage mit Abwasserbelüftung aus Beton: "Klärpott"; Ablaufklasse C

4.7.3 Auslegungsgröße

9 PE

4.7.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

National German General Approval

No. Z-55.2-13 in accordance with

DIN 4261

4.7.5 Funktionsweise

Die Vorklärung

Die Vorkammer ist als Zweikammer-Absetzgrube im BORDBETON KLÄRPOTT integriert. Das Abwasser wird in der ersten Kammer der VK eingeleitet, es beruhigt sich. Die mit eingebrachten ungelösten Fest- und Schwimmstoffe werden zurückgehalten. Sie setzen sich als Schlamm in der Vorklärung ab.

Die Tropfkörpereinheit:

Das in der Vorklärung mechanisch vorgereinigte Abwasser wird über die Erstverteilung dem Tropfkörper zugeführt. Gleichzeitig durchströmt Luft den Tropfkörperfüllstoff in entgegen gesetzter Richtung. Es bildet sich nach wenigen Betriebswochen ein biologischer Rasen aus. Nachdem das Wasser den Tropfkörperfüllstoff durchrieselt hat, sammelt sich das Wasser im Pumpenschacht. Hier sind zwei Schwimmschalter installiert. Ist Wasser im Pumpenschacht, gibt der Trockenlaufschutz die Pumpe (Rieselpumpe) frei. Sie wird dann in den von der Steuerung vorgegebenen Zeitintervallen angesteuert. Bei einem zu hohen Wasserstand wird der Hochwassermelder aktiviert, die Rieselpumpe wird direkt angesteuert und geht in Dauerlauf (Niveauschaltung). Gelingt es der der Pumpe nicht, das Wasser abzuarbeiten, wird ein Hochwasseralarm ausgelöst. Während der Laufzeit

ten der Pumpe wird Wasser in einen Verteilerkopf, der sich oberhalb des Tropfkörpers befindet, gefördert. Von dem Verteilerkopf wird das Wasser folgendermaßen aufgeteilt:

- Ein Teil des Wassers wird über Sprühverteiler erneut über den Tropfkörper verteilt.
- Ein anderer Teil des Wassers wird in die VK zurückgepumpt, um hier schon eine Teilreinigung des Abwassers zu erreichen.
- Ein weiterer Teil wird schließlich in die NK eingebracht.

Das Nachklärbecken:

Das eingebrachte gereinigte Wasser wird im NK beruhigt. Der Schlamm sedimentiert und wird durch eine Schlammpumpe in die Vorklärung zurückgepumpt. Das gereinigte Wasser wird in eine Vorflut eingeleitet.

(s. Zulassungsunterlagen)

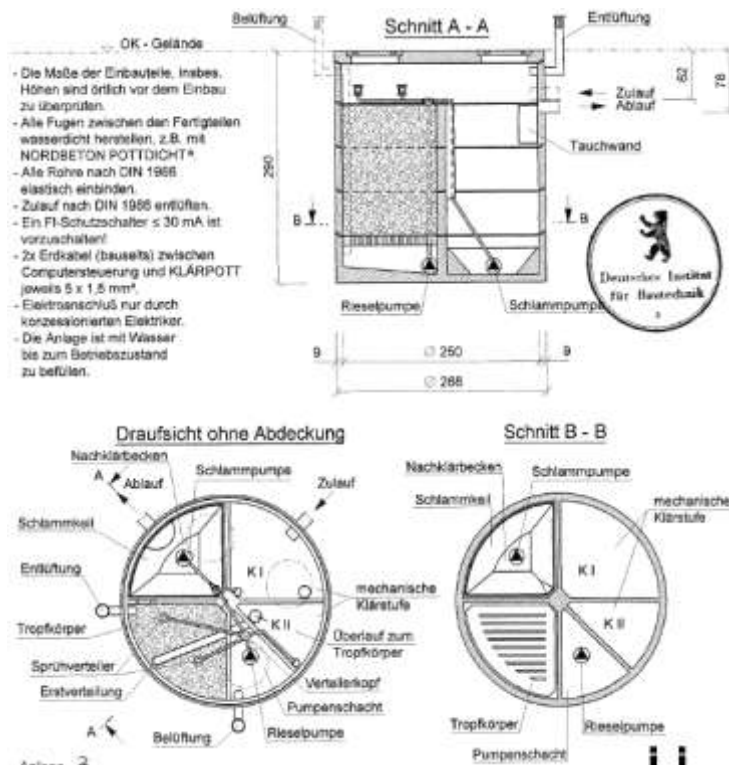


Abbildung 16: Systemskizze Tropfkörper KP253 PAL (Zulassungsunterlagen)



Abbildung 17: Tropfkörper KP253 PAL und Vorklärung (BDZ Leipzig)

4.7.6 Abmessungen

Tabelle 9: Abmessungen Tropfkörper KP253 PAL (Zulassungsunterlagen)

I. Vorklärung als 2 - Kammergrube im KLÄRPOTT integriert			
Behälteranteil			3/8
Vol. der Vorklärung	V_{VK}	m^3	3,344
spez. Vorklärvolumen	$V_{VKspez.}$	m^3/EW	0,372
II. Biologische Stufe			
Behälteranteil			1/4
Tropfkörperfüllstoff			Lava
Tropfkörpervolumen	V_{TK}	m^3	2,099
Tropfkörperhöhe	h_{TK}	m	1,77
Raumbelastung	B_R	$kg/(m^3 \cdot d)$	0,172
Tagesspeichervolumen	$V_{Tsp.}$	m^3	0,706
benötigtes Volumen des Tagesspeichers	$V_{Tsp.}$	m^3	0,270
III. Nachklärung im KLÄRPOTT integriert			
Behälteranteil			1/4
Volumen	V_{NK}	m^3	2,200
Wassertiefe	h_{NK}	m	2,03
Oberfläche	F_{NK}	m^2	1,17
Durchflußzeit	t_{NK}	h	16,30
Oberflächenbeschickung	q_E	$m^3/(m^2 \cdot h)$	0,12
IV. Abmessungen			
Einbautiefe	ET	cm	290
Innendurchmesser	Di	cm	250
Außendurchmesser	Da	cm	268

4.7.7 Aggregate

Rieselpumpe DAB NOVA 203 Nennleistung 0,22 kW

Schlammpumpe DAB NOVA 180 Nennleistung 0,20 kW

Steuerung Mikroprozessorsteuerung Nennleistung 10 W

4.7.8 Stromverbrauch nominal

Max. tägliche Stromaufnahme: 0,9 kW/d

4.7.9 Betriebsparameter

BOD₅: ≤ 25 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert

≤ 40 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert

COD: ≤ 100 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert

≤ 150 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert

SS: ≤ 75 mg/l aus einer Stichprobe

(Zulassungsunterlagen)

4.7.10 Wartung

Die Wartung ist vom Antragsteller oder einem Fachbetrieb mind. zweimal im Jahr (im Abstand von 6 Monaten) durchzuführen.

Der Inhalt der Wartung ist folgender (Zulassungsunterlagen):

- Einsichtnahme in das Betriebsbuch
- Funktionskontrolle der betriebswichtigen maschinellen, elektronischen und sonstigen Anlagenteile, Wartung dieser Anlagenteile nach den Angaben der Hersteller
- Funktionskontrolle von Steuerung und Alarmfunktionen
- Einstellung optimaler Betriebsparameter, hier insbesondere das RV
- Reinigung der Verteilereinrichtung, falls erforderlich
- Prüfung der Schlammhöhe in der Vorklärung. Ggf. Schlammentsorgung.
- Prüfung der NK auf Schwimm- und Bodenschlamm
- allgemeine Reinigungsarbeiten
- Überprüfung des baulichen Zustandes der Anlage
- Kontrolle der ausreichenden Be- und Entlüftung
- Vermerkung der Wartung im Betriebsbuch
- Stichprobe des Ablaufes (Temperatur, pH-Wert, abgesetzte Stoffe, COD)

Es ist ein Wartungsbericht zu erfassen und dem Betreiber zuzuleiten. Der Betreiber hat den Wartungsbericht dem Betriebshandbuch beizufügen und diese der zuständigen Bauaufsichtsbehörde bzw. der zuständigen Wasserbehörde auf Verlangen vorzulegen.

4.8 PREMIER TECH - Ecoflex™

4.8.1 Hersteller

PREMIER TECH LTEE

4.8.2 Systembezeichnung

Textile Biofilter Ecoflex™ model EFX-300

4.8.3 Auslegungsgröße

Model EFX-300 corresponding to 5 PE

4.8.4 Zulassung

European patent 1301441

USA patent 6602407

Canadian patent 2410541

4.8.5 Funktionsweise

The Ecoflex™ Wastewater Treatment Technology (WTT) consists of a primary reactor (septic tank), a dosing chamber and the Ecoflex™ textile Biofilter (see Abbildung 18)

The Ecoflex™ Textile Biofilter is a package bed filter composed of vertical layers of attached growth filtering media composites that utilize a combination of geotextile and peat material prepared in rolls (US patent 6602407, European patent 1301441, Canadian patent 240541), where septic tank effluent is sprayed under low pressure.

The Ecoflex™ WTT uses physical, biochemical and biological processes to treat septic tank effluent. The septic tank effluent trickles through the highly porous media which provides a high surface area to volume ratio for microbial attachment and the design feature provides for naturally aerated conditions.

The flow is split into three channels equally then the filtrate is collected for discharge or recirculation. Each roll is 600 mm high and has an effective surface area of 0.5 square meters. The system is available in different version: in individual polyethylene container (3 rolls for 5PE, 4 rolls for 6PE, 6 rolls for 10 PE, etc.), in concrete tank and in fiberglass container with 4-10 rolls.

The Ecoflex™ WTT is equipped to recirculate flows back to the primary tank (septic tank) to promote denitrification where denitrification to reduce nitrate discharges is required. If denitrification is not required, a part of the treated effluent is recirculated in dosing chamber.

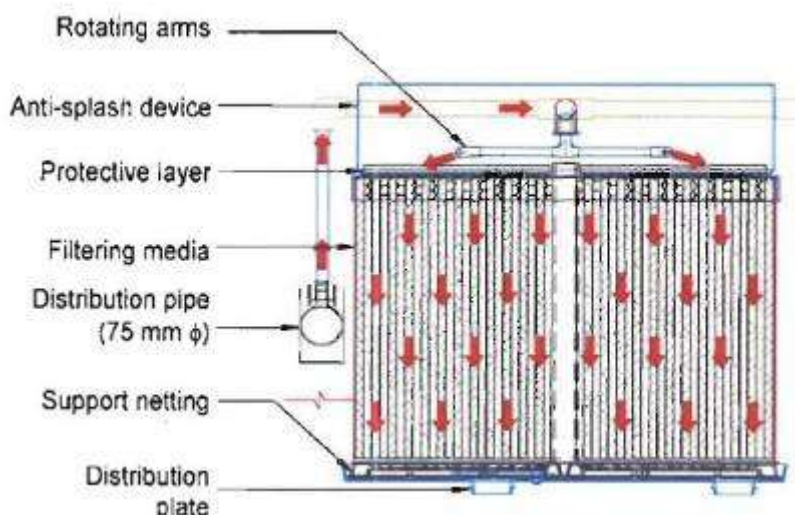


Abbildung 18: Ecoflex™ Filtermodule

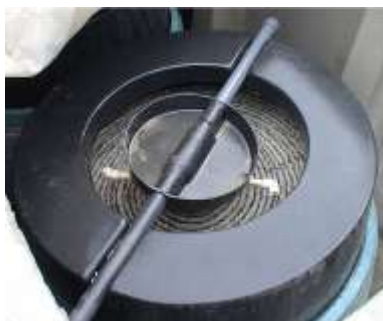


Abbildung 19: Ecoflex™ patented textile filter

The flow scheme is following (see also Abbildung 20)

1. Primary treatment usually consisting of a septic tank equipped with an effluent filter with a minimal hydraulic retention time (HRT) of 36 hours at average daily flow rate. A grease trap has to be provided forward of the septic tank for some commercial projects (e.g. restaurants).
2. Equalization and dosing tank providing 12-hour HRT in case of the commercial performance and 8.5-hour HRT in case of the municipal performance. The equalization and dosing tank is operated under anoxic conditions, which allows transforming the nitrates in a recirculated flow to the nitrogen gas (denitrification).
3. The Ecoflex™ Textile Biofilter combining physical treatment by filtration and biological treatment by fixed micro organisms.
4. Partial flow recirculation to optimize nitrogen removal (2/3 of the treated water).
5. Effluent disposal towards surface (subsurface) discharge or disinfection by UV.

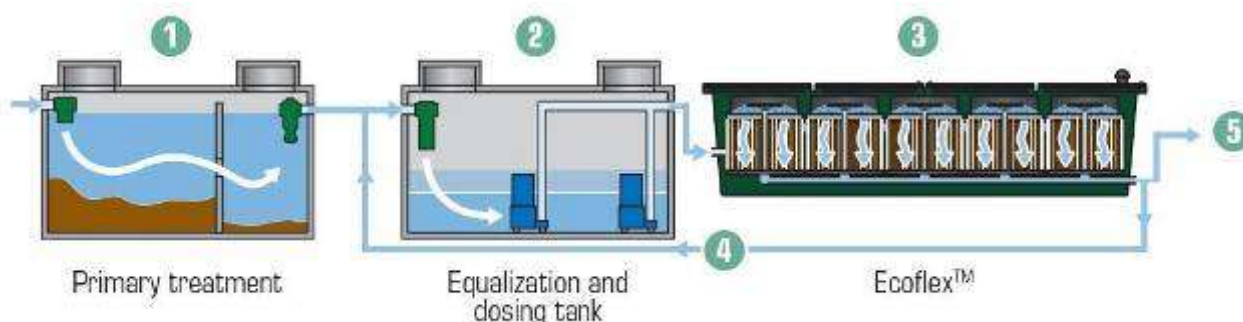


Abbildung 20: Aufbau der Ecoflex™-KKA

4.8.6 Abmessungen

Ecoflex™ system of 3 filter modules (rolls) for 5 PE : 0,75 m³/d

Hydraulic loading on the filter (excluding recirculation): 0,50 m³/(m²·d)

Total Filter surface area: 1,5 m²

Volume of septic tank: 4,0 m³

Volume of equalization and dosing tank: 0,50 m³

Biology: fixed micro organisms

4.8.7 Aggregate

Dosing pump to apply septic tank effluent on filtering media (0,3 kW)

4.8.8 Stromverbrauch nominal

The nominal power consumption corresponds to 0,80 kWh/d

4.8.9 Betriebsparameter

Based on 150 l per 1 PE and hydraulic loading 50 cm/d, the decrease of the main pollutions (TSS, COD, BOD₅, and NH₄) comes to the following values.

Rate of the pollution removal measured between the septic tank influent and the Ecoflex™ Textile biofilter effluent:

Tabelle 10: Reinigungsleistung Ecoflex™ Textile-Biofilter, einschließlich VK

Parameter	TSS	BOD ₅	COD	NH ₄
Rate of removal, %	≥ 96	≥ 97	≥ 92	≥ 82

4.8.10 Wartung

An annual follow up which consists of an inspection and maintenance of the system is performed on the Ecoflex™ Biofilter. The lifespan of the filtering media is 8 to 10 years (under normal utilization conditions) and its replacement is carried out with a portable lift. The filtering media can also be subject to revalorization in landfill site.

4.8.11 Referenzen

More than 1,000 Ecoflex™ rolls have been installed in the world till the end of 2005.

4.9 HUBER - 3K PLUS®

4.9.1 Hersteller

HUBER DeWaTec GmbH, Brassertstrasse 251, 45768 Marl,

Kontakt: Jens Köhler Ferreira, +49 2365 696578, jens.koehler-ferreira@huber.de

4.9.2 Systembezeichnung

HUBER 3K PLUS®

4.9.3 Auslegungsgröße

4 PE

4.9.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

nach DIN EN 12566 Teil 3 sowie nach der Huber erteilten Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-55.6-2 - Ablaufklasse C

4.9.5 Funktionsweise

Die Kleinkläranlagen von HUBER DeWaTec arbeiten mit einem getauchten Festbett, das bei Nachrüstung und Neubau einfach in die zweite Kammer einer 3- Kammer-Grube oder auch Mehrbehälteranlage eingebaut wird. Dieses aus Kunststoffröhren mit spezieller Gitterstruktur aufgebaute Festbett bildet den mikrobiellen Lebensraum. Die erste der drei Kammern übernimmt die mechanische Vorklärung. Danach wird das Abwasser zur biologischen Reinigung in die zweite Kammer geleitet. Hier sind am Boden Belüfter angebracht, die das Abwasser in regelmäßigen Abständen mit einer genau definierten Luftmenge vermischen. Über den Belüftern ist das getauchte Festbett installiert. Überschüssige Mikroorganismen werden durch die aufströmende Luft zwischenzeitlich immer wieder vom Festbett gelöst und mit dem biologisch gereinigten Wasser in die dritte Kammer zur Nachklärung gespült. Dort setzen sie sich am Boden als sogenannter Überschussschlamm ab, der über einen Druckluftheber 2 zurück in die erste Kammer zur Vorklärung befördert wird, bevor das gereinigte Wasser die Anlage verlässt.

(s. Herstellerinformationen)

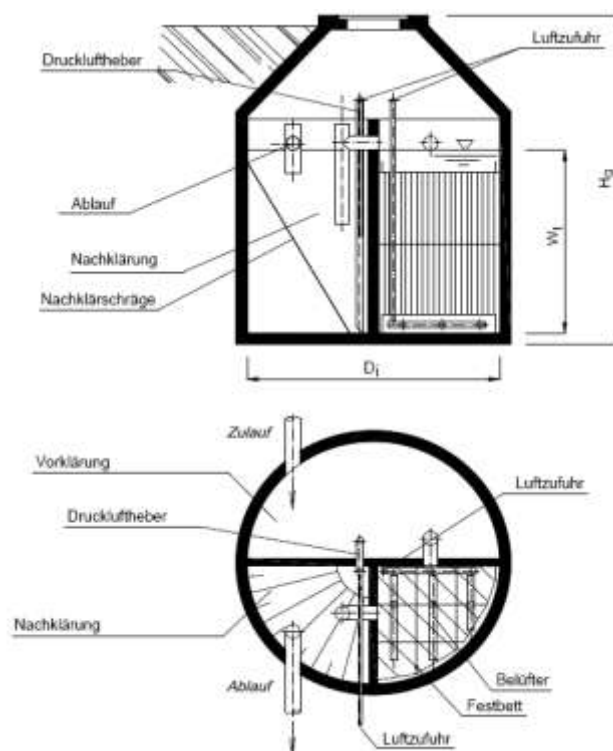


Abbildung 21: Systemskizze (Zulassungsunterlagen)

4.9.6 Abmessungen

Tabelle 11: Abmessungen der einzelnen Anlagenteile (Zulassungsunterlagen)

Erforderliche Behälter			
(Die angegebenen Maße sind Mindestmaße. Bitte informieren Sie bei geplanten Abänderungen zunächst Uponor)			
	Vorklärung	Bioreaktor	Nachklärung
Behälteranzahl	1/2	1/4	1/4
H ₀ [m]			
W _t [m]	1,35	1,35	1,35
D _i [m]	2,50	2,50	2,50
Volumen [m ³]	3,31	1,66	1,66
Schlammstapel [m ³]	0,60	-	-

4.9.7 Aggregate

Luftverdichter Typ: Nitto LA 120

Installierte Motorleistung: 0,13 kW

Tägliche Laufzeit ca.: ca. 11,50 Stunden

4.9.8 Stromverbrauch nominal

1,50 kWh/d; 0,37 kWh/(PE·d)

4.9.9 Betriebsparameter

Reinigungsleistung

BOD₅: 98,7%

COD:	92,9%
SS:	97,1%
N _{tot,inorg} :	67,1%
NH ₄ -N:	97,9%
P _{tot} :	48,6%

4.9.10 Wartung

Eine Wartung findet halbjährlich statt.

4.9.11 Referenzen

Mehr als 30.000 Anlagen wurden eingebaut.

4.10 Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1

4.10.1 Hersteller

Lauterbach-Kießling GmbH

Industriestraße 2-4

95517 Seybothenreuth

Ansprechpartner:

Johann Schmidschneider Betriebswirt (VWA), Betriebsleiter

Tel.: (09275) 981-51

Fax: (09275) 981-11

E-Mail: schmidschneider@lauterbach-kiessling.de

4.10.2 Systembezeichnung

Lauterbach BKF 4 DN2000 Z1

4.10.3 Auslegungsgröße

4 PE

4.10.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

National German General Approval

No. Z-55.4-44 in accordance with

DIN 4261/1.

4.10.5 Funktionsweise

Die Abwasserreinigung in Bodenkörperfilterschächten wird von Mikroorganismen bewirkt, die sich als Biofilm auf dem Füllstoff und dem Einkornbeton (Leichtbeton nach DIN 1045) in den Filtertassen ansiedeln. Im Bodenkörperfilterschacht schreitet der Reinigungsvorgang von oben nach unten fort. In den verschiedenen Reinigungszonen sind jeweils Biozönosen unterschiedlicher Zusammensetzung beteiligt.

Für eine gesicherte Leistungsfähigkeit der Bodenkörperfilterschächte sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Auf eine gleichmäßige, flächenproportionale Verteilung des Abwassers über der Tassenoberfläche ist zu achten.
- Die Belüftung erfolgt üblicherweise durch das Ablaufrohr der BKFA und die Belüftungsöffnungen der Schachtdeckel.
- Das im Bereich der untersten Filterschicht als Drainrohr ausgebildete Ablaufrohr darf nur Teil gefüllt sein und ist in Behältermitte mit einem nach oben gerichteten Rohrstützen für den Luftaustritt zu versehen.

Vorbehandlung

Bodenkörperfilteranlagen sind eine ausreichend dimensionierte Vorklärung vorzuschalten. Das Mindestvolumen soll nach DWA Arbeitsblatt DWA-A 262 ausgelegt werden.

In der letzten Kammer ist eine Drosselgarnitur einzubauen, die den Badewannenstoß vergleichmäßig an den Bodenkörperfilterschacht weitergibt und damit für eine kontinuierliche Beschickung sorgt, eine Stoßbeschickung mit Überlastung wird dadurch vermieden.

Aufwuchsmaterial

Das Aufwuchsmaterial dienen Betontassen deren Boden aus Einkornbeton (Leichtbeton nach DIN 1045) besteht sowie deren Füllung.

Wenn mehrere Tassen übereinander angeordnet werden sollten die Tassen unten konisch verjüngt sein, damit überlaufendes Abwasser wieder in die darunter liegende Tasse fließen kann.

Auf dem Tassenboden wird eine 1 – 3 mm dicke Schicht aus Kunststoffgranulat mit großer spezifischer Oberfläche aufgeschüttet. Darüber wird ein engmaschiges unverrottbares Trenngewebe gebreitet.

In diesen Tassen befindet sich das Aufwuchsmaterial, eine 90 mm dicke Schicht aus Diabas-Edelsplitt 2/5.

Der Boden des Bodenkörperfilterschachtes wird bis Oberkante Drainrohr mit gewaschenen Kies oder gleichwertigem Material aufgefüllt der weitere Aufbau erfolgt analog wie bei den Tassen beschrieben.

Bemessung

Pro Einwohner ist eine Filterfläche von jeweils 2m² vorzusehen. Die Filterfläche errechnet sich aus der Summe der jeweiligen innerhalb des oberen Ringdurchmessers liegenden Kreisfläche der übereinander angeordneten Bodenkörperfilter und der untersten Filterschicht (auf dem Boden des Behälters)

Bei Anlagen mit mehr als 20 Einwohnern ist der Einbau von zwei Bodenkörperfilteranlagen als Parallelanordnung vorgesehen, deren gleichmäßige Beschickung mit Abwasser aus Mehrkammergruben (Ausfaulgruben) ebenfalls in Form einer Zweierwippe bewerkstelligt wird.

Probeentnahmeschacht - Belüftungseinrichtung

Die Belüftung des Bodenkörperfilterschachtes erfolgt durch Lufteintrag über den freien Auslauf nach außen. Falls dies nicht möglich ist muss ein Probeentnahmeschacht nachgeschaltet werden, in Verbindung mit gelochten Deckeln wird hier eine Kaminwirkung erzeugt, die die Luft gezielt in den Bodenkörperfilterschacht leitet.

Betriebliche Hinweise

Die Filtertassen sind horizontal auszurichten.

Es ist darauf zu achten, dass eine ausreichende Belüftung über die gelochten Deckel gewährleistet ist.

Das Abwasser ist auf der Oberfläche des Tropfkörpers gleichmäßig zu verteilen.

Für einen ungehinderten Abfluss des gereinigten Abwassers ist zu sorgen.

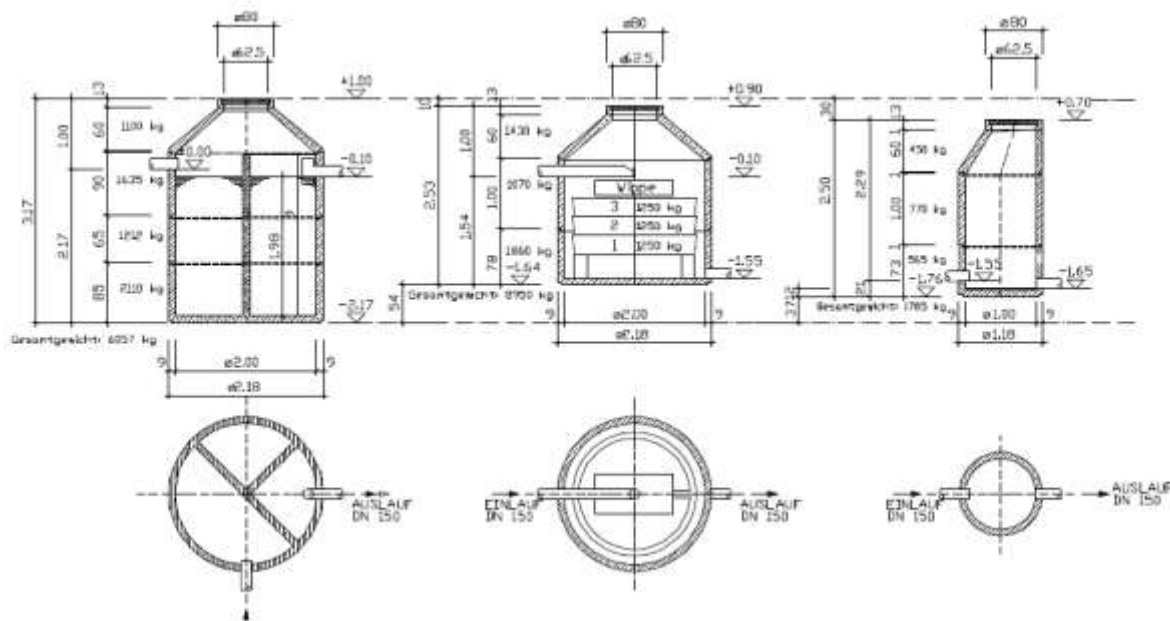


Abbildung 22: Aufbau der KKA, Systemskizze

4.10.6 Abmessungen

Kleinkläranlage

Volumen: 6,00 m³, Durchmesser: 2,00 m, Gesamthöhe: ca. 3,17 m

Bodenkörperfilterschacht

Durchmesser: 2,00 m, Gesamthöhe: ca. 2,53 m,

3 Bodenkörperfilter, 1 Verteilwippe, Bodenstückfüllung

Probeentnahmeschacht

Durchmesser: 1,00 m, Gesamthöhe: ca. 2,50 m

4.10.7 Aggregate

In der Regel nicht erforderlich

4.10.8 Stromverbrauch nominal

./.

4.10.9 Betriebsparameter

Kleinkläranlagen dieses Typs sind in der Lage, folgende Anforderungen im Vor-Ort-Einsatz einzuhalten:

Anforderungen, bestimmt am Ablauf der Kleinkläranlage:

BOD₅: ≤ 15 mg/l aus einer 24-h-Mischprobe, homogenisiert

≤ 20 mg/l aus einer qualifizierten Stichprobe, homogenisiert

COD: ≤ 75 mg/l aus einer 24-h-Mischprobe, homogenisiert
 ≤ 90 mg/l aus einer qualifizierten Stichprobe, homogenisiert

NH₄-N ≤ 10 mg/l aus einer 24-h-Mischprobe, filtriert

SS ≤ 50 mg/l aus einer qualifizierten Stichprobe

(Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung)

4.11 UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4 E

4.11.1 Hersteller

UFZ

Der Hersteller ist die ÖKOTEC GmbH. Die Kleinkläranlage ist eine speziell entwickelte zweistufige Pflanzenkläranlage, in welche Erfahrungen des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ und der ÖKOTEC GmbH eingeflossen sind. Die Dimensionierung und der funktionelle Aufbau der Anlage (Konzeptionelles Design) erfolgten nach Vorgaben des UFZ. Die praktische Umsetzung (Technisches Design) und der Bau erfolgen durch die ÖKOTEC GmbH.

<p>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ Head of Environmental and Biotechnology Centre (UBZ) Dr. Roland A. Müller Permoserstr. 15 04318 Leipzig</p> <p>Tel.: (+49 341) 235-3000 Fax.: (+49 341) 235-2885 E-Mail: roland.mueller@ufz.de http://www.ufz.de</p>

<p>ÖKOTEC GmbH (Zentrale) Ingenieurbüro für Wassertechnologie, Ingenieurbiologie und Umweltmanagement</p> <p>Rosa-Luxemburg-Straße 89 D-14806 Belzig</p> <p>Tel.: +49 (0) 33841-3889-0 Fax: +49 (0) 33841-3889-10 E-Mail: info@oekotec-gmbh.com http://www.oekotec-gmbh.com/</p>
--

<p>ÖKOTEC GmbH - Büro Sachsen Manfred Gröner Reichenberger Str. 44 02763 Zittau</p> <p>Tel.: +49 (0) 3583-795598 Fax: +49 (0) 3583-696828 E-Mail: groener@oekotec-gmbh.com http://www.mangro.net/</p>
--

4.11.2 Systembezeichnung

Pflanzenkläranlage Typ UFZ C + H 4 E

Die Systembezeichnung der Pflanzenkläranlage lautet für 3 bzw. 4 Einwohnerwerte:

- Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 3 E (nach Zulassungskriterien DIBt)

- **Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4 E (nach praktischen Ergebnissen)**

C steht für die Einhaltung der Reinigungsklasse C nach den DIBt -Zulassungskriterien.

H steht für die Anlagengestaltung mittels UV-Anlage zur weitergehenden Hygienisierung, und damit für die prinzipielle Zielstellung der Einhaltung der Reinigungsklasse C+H nach den DIBt -Zulassungskriterien.

3 E leitet sich daraus ab, dass die Bemessung der ersten Anlagenstufe in Anlehnung an die allgemein anerkannten Regeln der Technik und die DIBt -Zulassungskriterien für Kleinkläranlagen für 3 Einwohnerwerte mit $3 \text{ EW} \cdot 4 \text{ m}^2 / \text{EW} = 12 \text{ m}^2$ erfolgte. Beide Standards orientieren sich an Arbeitsblatt DWA-A 262 [1], das für Pflanzenkläranlagen dieser Größenordnung $4 \text{ m}^2 / \text{EW}$ vorschreibt. Eine von diesen Standards abweichende Bemessung mit nur $3 \text{ m}^2 / \text{EW}$ ist unabhängig vom eingesetzten Filtermaterial beim DIBt für als Pflanzenkläranlagen eingestufte Systeme bisher nicht zulassungsfähig. Deshalb muss die Pflanzenkläranlage gemessen an ihrer Zulassungsfähigkeit als Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 3 E geführt werden.

Gemessen an ihrer Leistungsfähigkeit und den praktischen Ergebnisse des Kleinkläranlagenvergleichs kann die Pflanzenkläranlage aus Sicht des Herstellers als Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4 E geführt werden.

4 E leitet sich aus der Bemessung des Herstellers abweichend von den allgemein anerkannten Bemessungsgrundsätzen ab. Aus Sicht des Herstellers ist die Bemessung mit $3 \text{ m}^2/\text{EW} \cdot 4 \text{ EW} = 12 \text{ m}^2$ für die erste Bodenfilterstufe (vertikaler Bodenfilter) ausreichend. Zusätzlich wird die Vorklärung mit $900 \text{ L}/\text{EW}$ abweichend von den Vorgaben des Arbeitsblatt DWA-A 262 [1] bemessen, welches $1.500 \text{ L}/\text{EW}$ für diese Anlagengröße für Bodenfilter mit Sand zwingend vorschreibt. Die Ergebnisse des Kleinkläranlagenvergleichs am Standort Leutzsch demonstrieren, dass mit der vorhandenen Ausbaugröße für dieses Verfahren eine Bemessung für 4 Einwohnerwerte mit $3 \text{ m}^2/\text{EW}$ möglich ist und die Reinigungsanforderungen für eine Kleinkläranlage für 4 Einwohner für die Klasse C sicher erfüllt werden.

4.11.3 Auslegungsgröße

4 Einwohnerwerte (4 EW)

Dimensionierung:

Baugröße: 4 EW (Hersteller)

(3 EW (DIBt) nur für 3 EW zulässig - entsprechend a.a.R.d.T. nach DWA-A 262)

Die Anlage ist vom Hersteller für vier Einwohnerwerte (4 EW) konzipiert.

Dreikammergrube und vertikaler Bodenfilter entsprechen nach einschlägiger Fachmeinung der DWA für Pflanzenkläranlagen mit vertikalen Bodenfiltern aus Sand jedoch nur der zulässigen Größe von drei Einwohnerwerten (3 EW).

1. - Mechanische Stufe (Vorklärung):

Typ: Dreikammergrube

Volumen: $3,7 \text{ m}^3$

Bemessung: $925 \text{ L} / \text{EW}$ ($1500 \text{ L} / \text{EW}$ Vorgabe für Bodenfilter nach DWA-A 262)

Baugröße: 4 EW (3 EW nach DWA-A 262)

2. - Biologische Stufe (Kohlenstoffelimination):

Typ: Vertikaler Bodenfilter (Blähton)
Fläche: 12 m²
Bemessung: 3,0 m² / EW (4,0 m²/EW nach DWA-A 262 Vorgabe)
Baugröße: 4 EW (3 EW nach DWA-A 262)

3. - Biologische Stufe (Hygienisierung):

Typ: Horizontaler Bodenfilter (Sand):
Fläche: 6 m²
Bemessung: 1,5 m² / EW (keine normativen Vorgaben)
Baugröße: 4 EW

4. - Physikalische Stufe (Hygienisierung):

Typ: UV-Strahler 253,7 Nm (VDI 6022 erfüllt)
Leistung: 16 W
Bemessung: -
Baugröße:

4.11.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

ohne Prüfzeichen

Eine zweistufige Pflanzenkläranlage in abweichender Bauart, jedoch nach ähnlichem Grundprinzip, befindet sich gegenwärtig in der praktischen Prüfung nach DIN-EN 12566-3 auf einem Prüffeld, das durch das Deutsche Institut für Bautechnik Berlin (DIBt) anerkannt ist.

4.11.5 Funktionsweise und Skizze

naturnahes Verfahren

Die zweistufige Pflanzenkläranlage wurde vom UFZ Leipzig entwickelt und von der ÖKOTEC GmbH errichtet. Sie besteht aus den vier folgenden Abwasserbehandlungsstufen:

1. Dreikammergrube (Mechanische Reinigungsstufe)
2. Vertikaler Bepflanzter Bodenfilter (1.Biologische Reinigungsstufe)
3. Horizontaler Bepflanzter Bodenfilter (2.Biologische Reinigungsstufe)
4. UV-Strahler (Physikalische weitergehende Reinigungsstufe)



Abbildung 23: Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4 E in der Demobox BDZ Leutzsch

Anlagenaufbau

- Dreikammergrube (MKG)
- Pumpenschacht 1 (PS1)
- Pflanzenbeet 1 (Beet 1) - vertikal durchströmter bepflanzter Bodenfilter, Blähton
- Pumpenschacht 2 (PS2)
- Pflanzenbeet 2 (Beet 2) - horizontal durchströmter bepflanzter Bodenfilter, Sand
- UV-Schacht (UVS) mit UV-Anlage
- Ablauf-Kontrollschacht (AS)

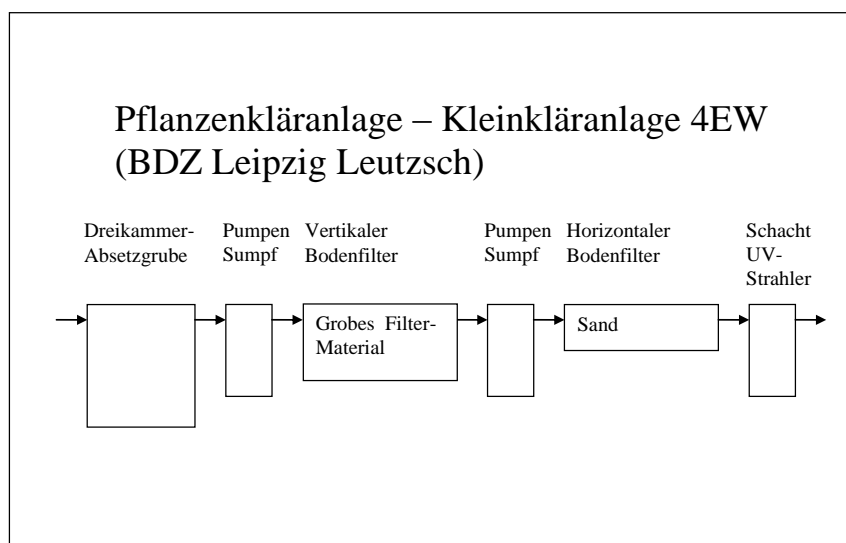


Abbildung 24: Prinzipbild der Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4E

Weg des Abwassers durch die Pflanzenkläranlage

Erste Reinigungsstufe - Mechanische Abwasserreinigung

Das Wasser fließt von der Beschickungseinrichtung im freien Gefälle durch die Dreikammer-Absetzgrube o. Mehrkammergrube MKG und im freien Ablauf in den Pumpenschacht PS1.

Zweite Reinigungsstufe - Biologische Abwasserreinigung

Eine Unterwassertauchpumpe (Beschickungspumpe) im Pumpenschacht PS1 fördert das Abwasser schwallweise über das Verteilerrohrsystem ins Beet 1. Das Wasser durchströmt den Vertikalen Bodenfilter (Filterschicht aus Blähton) von oben nach unten und wird dabei biologisch gereinigt. Durch eine Drainageschicht mit Drainrohr am Boden des Filters fließt das Abwasser in den Pumpenschacht PS 2 ab.

Dritte Reinigungsstufe - Biologische Abwasserreinigung

Eine Unterwassertauchpumpe (Beschickungspumpe) im Pumpenschacht PS2 fördert das Abwasser schwallweise über ein Beschickungsdrainagerohr in die Kiesschicht des Zulaufbereiches von Beet 2. Das Wasser durchströmt im Horizontalen Bodenfilter die Filterschicht aus Sand und wird dabei weitergehend biologisch gereinigt. Aus der Kiesschicht des Ablaufbereichs läuft das Wasser im freien Gefälle durch ein Drainagerohr zum UV-Schacht (UVS).

Vierte Reinigungsstufe - Physikalische Abwasserbehandlung

Im UV-Schacht (UVS) passiert das Wasser durch eine Rohrleitung fließend die UV-Anlage, wo durch eine definierte Dosis an UV-Strahlung noch im Abwasser enthaltene aktive Keime weitestgehend deaktiviert werden, und fließt in den Ablaufschacht (AS).

Ablauf-Kontrollschacht (AS)

Im Ablauf-Kontrollschacht ermöglicht die Rohrleitungsführung die Kontrolle der Abwasserqualität mittels Stich- oder 24-Stunden-Mischprobenahme, bevor das weitgehend gereinigte Abwasser in die Ablaufleitung fließt oder zur Verwendung entnommen werden könnte.

Alarm-Kontroll-System

Im Falle des Ausfalls von Beschickungspumpen oder sonstiger hydraulischer Probleme lösen Schwimmerschalter in PS1 oder PS2 ein optisches und akustisches Alarmsignal aus.

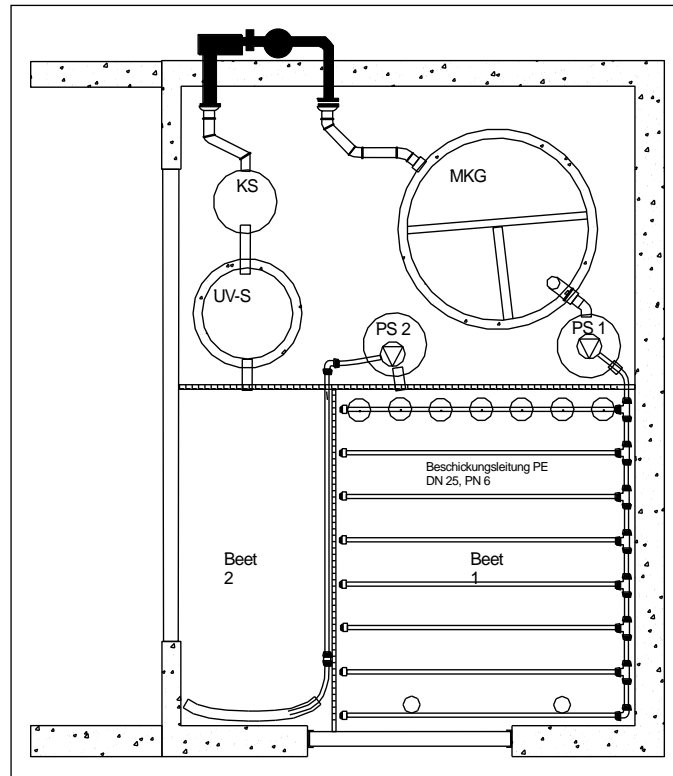


Abbildung 25: Grundriss der Pflanzenkläranlage Typ UFZ C+H 4E in der Demobox in Leutzsch

4.11.6 Abmessungen

Dreikammerabsetzgrube: $4 \text{ EW} \cdot 0,925 \text{ m}^3 = 3,7 \text{ m}^3$ (ca. 900 l/EW)

Aufbau Vertikaler Bodenfilter (von unten nach oben)

- Geotextil RK 4
- PE-Folie 1 mm
- Geotextil RK 4
- Dränschicht: Kies 2/8, mit Drainageleitungen
- Filterschicht: Blähton 2/5
- Deckschicht: Kies 2/8

Vertikaler bepflanzter Bodenfilter: $4 \text{ EW} \cdot 3,0 \text{ m}^2 / \text{EW} = 12 \text{ m}^2$

Aufbau Horizontaler Bodenfilter (von unten nach oben)

- Geotextil RK 4
- PE-Folie 1 mm
- Geotextil RK 4
- Dränschicht: Kies 2/8
- Filterschicht: Sand 0/2

Horizontaler bepflanzter Bodenfilter:: $4 \text{ EW} \cdot 1,5 \text{ m}^2 / \text{EW} = 6 \text{ m}^2$

4.11.7 Aggregate

Dreikammerabsetzgrube aus Beton
 BBW Beton- und Bausteinwerk GmbH
 Altdorfer Weg 13, 14823 Niemege, Brandenburg
 T: +49 3384351222 F: +49 3384351229

Pumpen in Pumpschacht 1 und Pumpschacht 2
 KSB Amar-Drainer 301.2
 KSB S.A.S., 128, rue Carnot, 59320 Sequedin/Lille (France)

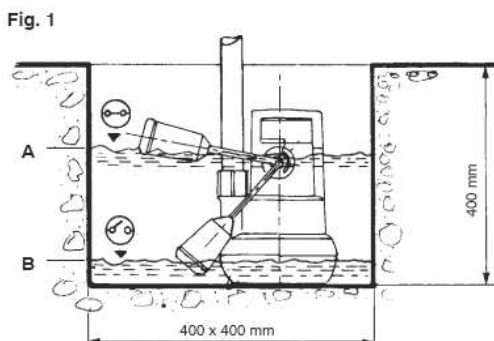


Abbildung 26: Pumpe Typ KSB Amar-Drainer 301.2

UV-Strahler

Tabelle 12: UVC - 1.2 // UVC - 2.4 (Stand 06.03.2008)

Abmessungen (Ø x Länge): 100 mm x 560 mm
Entkeimungsleistung für E. coli, Legionellen, etc: 2400 l / h
Entkeimbare Wasservolumen bei Kreislaufsystemen (bei 20 °C): bis 60.000 L (Teiche, Tanks mit Wasserkreislauf etc.)
Quarzglaserohr: 20 mm x 380 mm
Zulässiger Wasserdruck: 6 bar
Dichtung (UV-beständig): O - Ring
Wasseranschluss: 1,5"
Anzahl von Lampen: 1 - 2
El. Leistung Lampen: bis zu 2 x 16 W
Netzanschluss: 120 - 260 VAC oder 12 / 24 VDC
Lebensdauer der Lampen: 9.000 h
Vorschaltgerät: EVG

4.11.8 Stromverbrauch nominal

Anhand der unten aufgezeigten Beispielrechnung ergibt sich der jährliche Stromverbrauch zu maximal ca. 90 kWh, wenn die Abwassermenge noch um 100 % gegenüber dem Betrachtungszeitraum verdoppelt wird. Das bedeutet Stromkosten in der Größenordnung von 10 bis 20 Euro pro Jahr für 4 Einwohner ohne UV-Strahler (Hygienisierung) bzw. zuzüglich 140 kWh á 0,25 € ca. 35 € mehr, wenn mit einem UV Strahler das Wasser hygienisiert werden soll.

Zeit [d]	kWh
28.03.2008 14:00	33,350
31.03.2008 11:20	33,700
2,89	0,35
0,121	kWh/d
44	kWh/a
0,016	kW für UV
24	h
0,384	kWh/d
140,16	kWh/a
184,16	kWh/a gesamt

4.11.9 Betriebsparameter

Die Belüftung der Bodenfilter erfolgt passiv durch die intervallartige Schwallbeschickung. Das Schwallvolumen ist über Schwimmerschalter an den Pumpen fest eingestellt, die die Beschickung zwischen Oberwasserstand und Unterwasserstand automatisch ein- und ausschalten. Es werden keine weiteren Parameter geregelt oder eingestellt.

4.11.10 Wartung

Der Wartungsaufwand kann als sehr gering beschrieben werden.

- 2/a: Kontrolle der Schlammhöhe (max. Entleerung 1/a)
- Wartung/Kontrolle der Pumpe zur Sicherstellung der richtigen Position
- Schneiden des Schilfs im Frühjahr
- Nur bei zusätzlicher Hygienisierung: Wechseln der 16 W Lampe (1/a)
- Nur bei zusätzlicher Hygienisierung: Kontrolle der 16 W Lampe (2/a)

4.11.11 Literaturverzeichnis/Referenzen

[1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Arbeitsblatt DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers, 1. Aufl. 21.03.2006, Bad Hoenf, März 2006

4.12 PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500

4.12.1 Hersteller

PREMIER TECH LTEE

4.12.2 Systembezeichnung

Ecofix® Biofilter type STB 500

4.12.3 Auslegungsgröße

5 PE

4.12.4 Zulassung

European patents 0 836 585 and 1 539 325, ASTM

USA patents 5 618 414 and 7 097 768

Canadian patent 2 149 202

4.12.5 Funktionsweise

The Ecofix® Biofilter (Abbildung 27) provides biological domestic wastewater treatment (after the bloc of primary treatment) till the water quality that allows effluent disposal towards surface or subsurface discharge. The proposed treatment procedure is based on the 0,8m deep filtering media consisting of coco shavings. The filtering media of coco shavings permit to combine filtration, adsorption, absorption and biofiltration properties.



Abbildung 27: Schematische Prinzipskizze des Ecoflex™ Biofilters



Abbildung 28: Abwasser-Verteilungssystem des Ecoflex™ Biofilters

To be treated, the wastewater goes first into the septic tank where it is submitted to a primary treatment. The septic tank has to be equipped with a prefilter. A grease trap has to be provided forward of the septic tank for some commercial projects (e.g. restaurants, kitchens etc.). The septic tank effluent enters to the Ecofix® Biofilter after the primary treatment. Once inside the Ecofix® Biofilter, the water is directed into the tipping bucket in order to be split equally over the distribution plates located on both sides of the central support plate. These plates include channels with orifices to distribute the effluent evenly on top of the filtering media. Afterwards, wastewater trickles down into the filtering media where its organic content is consumed by bacteria. The treated effluent is collected in the bottom bed and evacuated by gravity (filters marked as ST) or with an integrated pump (filters marked as STB, see also Abbildung 29)

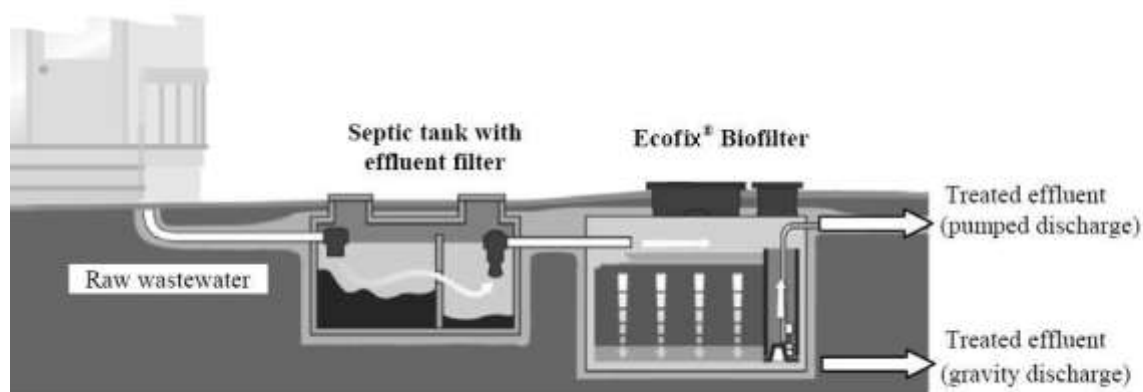


Abbildung 29: Fließschema der KKA mit Ecofix® Biofilter

To be efficient, the system requires enough oxygen so that the filtering media's bacteria do their work. In order to achieve this goal, the filtering media is fed oxygen by air flowing both at the top and at the bottom of the filtering media. Air comes into the system by the intake located on the main access lid, flows to the extremities of the filter bed via the air ducts, on top of the filtering media underneath the distribution plates, and enters the filtering media via the water infiltration that takes it to the bottom. Moreover, a gas exchange occurs at the top and bottom of the filtering media promoting its oxygenation. The air coming out of the bottom of the filtering media is taken back towards the water supply line through the opening located in the access funnel and is directed by convection to the home air vent via the septic tank (Fig.4).

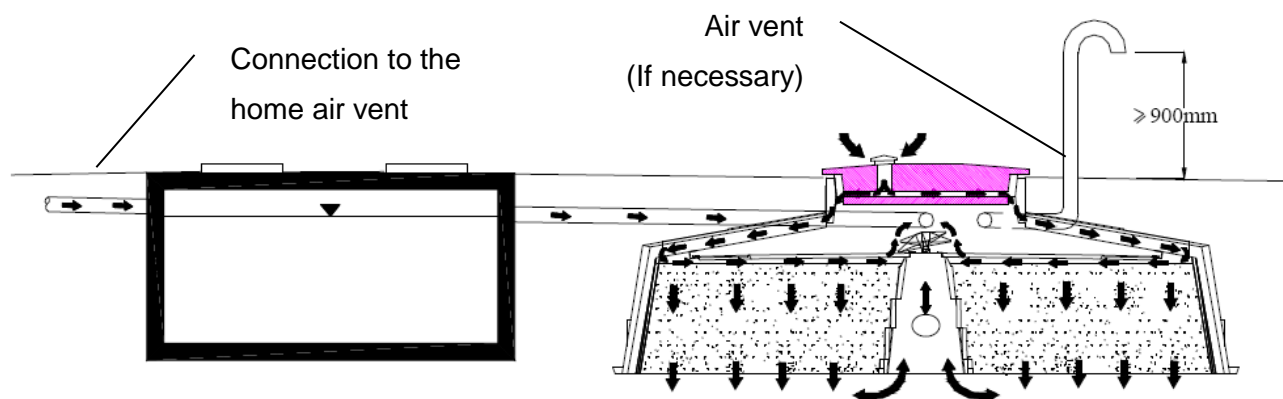


Abbildung 30: Luftströmungsdiagramm

4.12.6 Abmessungen

Average flow rate for 6PE: 0,9 m³/d

Usable filtration area: 4,9 m² for 6 PE

Depth of filtration layer: 0,8 m

Number of distribution plates: 4

Coco volume: 3,9 m³

Average size of filtering elements:

- ordinary elements: 3 mm (no elements < 2mm)
- filter bottom (for STB type): 4,7 mm (no elements < 4mm)
- reinforcing and top layers: 4,7 mm (no elements < 4mm)

Filter dimensions, mm:

Tabelle 13: Abmessungen

Parameter	ST500	STB500
Total height	1320	1700
Water depth	965	1350
Minimal width	2320	2320
Length	3345	3360

4.12.7 Aggregate

4.12.8 Stromverbrauch nominal

4.12.9 Betriebsparameter

Based on 150 l per 1 PE and hydraulic loading 18,4 cm/d, the decrease of the main pollutants (TSS, COD, BOD₅, NH₄) comes to the following values.

Rate of the pollution removal measured between the septic tank effluent and the Ecofix® biofilter effluent:

Tabelle 14: Reinigungsleistung für den Ecofix® Biofilter

Parameter	TSS	COD	NH ₄
Rate of removal, %	≥ 86	≥ 82	≥ 59

Rate of the pollution removal measured between the septic tank influent and the Ecofix® biofilter effluent:

Tabelle 15: Reinigungsleistung für den Ecoflex™ Biofilter, einschließlich der VK

Parameter	TSS	BOD ₅	COD	NH ₄
Rate of removal, %	≥ 96	≥ 97	≥ 91	≥ 74

4.12.10 Wartung

An annual follow up which consists of an inspection and maintenance of the system is performed on the Ecofix® Biofilter. The lifespan of the filtering media is 10 years (under normal utilization conditions) and its replacement is carried out with the same type of truck to empty septic tanks. This particularity allows easy access to the lid of Ecofix® and therefore the owner avoids excavating works and keeps the landscaping intact. The filtering media can also be subject to revalorization.

4.12.11 Referenzen

There are more than 5,000 installations of Ecofix® Biofilters in the world till the end of 2007.

4.13 Busse – Typ MF-HKA4

4.13.1 Hersteller

BUSSE IS GmbH

Zaucheweg 6

D-04316 Leipzig

Telefon: 0341-65984-25

Telefax: 0341-65984-26

4.13.2 Systembezeichnung

Typ MF-HKA4

4.13.3 Auslegungsgröße

Tabelle 16: Anschlussgröße

Anschlussgröße	Ein bis vier	Einwohner
max. tägliche Abwassermenge	0,6	m ³ /d
max. tägliche Schmutzlast	0,24	kg BOD ₅ /d

4.13.4 Zulassung

4.13.5 Funktionsweise

Die Kleinkläranlage des Typs MF-HKA4 besteht aus doppelwandigen Sicherheitsbehältern, die in einem frostfreien Raum (z.B. im Keller oder in angrenzenden Gebäuden wie Garage, Gartenhaus usw.) aufgestellt werden.



Abbildung 31: 2-Kammer-System

„Die Kleinkläranlage BUSSE-MF ist in Anlehnung an die DIN 4261 Teil 2 ausgelegt und besteht aus zwei Verfahrensstufen, der Vorklärung (1) und der Belebung (2). In der Vorklärstufe, die zusätzlich als Abwasserspeicher dient, werden die biologisch abbaubaren Grobstoffe wie z. B. Fäkalien, Toilettenpapier aufgelöst und die nicht lösbaren Bestand-

teile über ein belüftetes Sieb (3) vom Abwasser getrennt. Eine Pumpe (4) fördert das von Grobstoffen befreite Abwasser in die Belebungsstufe. In dieser Verfahrensstufe werden die organischen Bestandteile des Abwassers mit Hilfe von Mikroorganismen und Sauerstoffzufuhr (5) biologisch abgebaut. Zusätzlich wird das Abwasser durch Mikrofiltrationsmembranen (6) (Feinstfilter mit einer Porengröße von 0,4 µm) physikalisch gereinigt. Diese Membranfilter halten nicht nur Schwebstoffe, sondern auch Bakterien und Keime zurück, so dass absolut klares, geruchsfreies, hygienisch unbedenkliches Abwasser (Filtrat) aus der Anlage abfließt.

Die BUSSE-MF wurde durch die Universität Hannover bzw. die TU Berlin erfolgreich geprüft und unterschreitet im praktischen Betrieb sogar die vom DIBt Berlin* (Z-55.3-60) und von Gesetzgeber geforderten Grenzwerte mehr als deutlich. Durch die getauchten Mikrofiltrationsmembranen in Kombination mit einer verfahrenstechnisch bedingten hohen Biomassekonzentration lässt sich der COD-Wert im Ablauf auf unter 30 mg/l* und der BOD₅-Wert auf unter 5 mg/l* vermindern.“

(aus: <http://www.busse-is.de/de/busse-mf/funktionsprinzip.asp>)

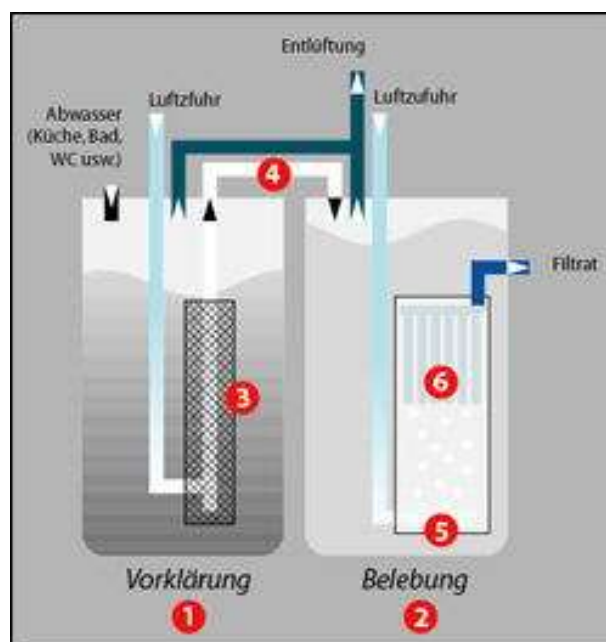


Abbildung 32: Schematische Prinzipskizze der BUSSE-MF

4.13.6 Abmessungen

Tabelle 17: Abmessungen

Breite	0,75	m
Tiefe	1,15	m
Höhe		
Mindesthöhe	2	m
Behälterzahl	2	Stück

Aufstellmöglichkeiten

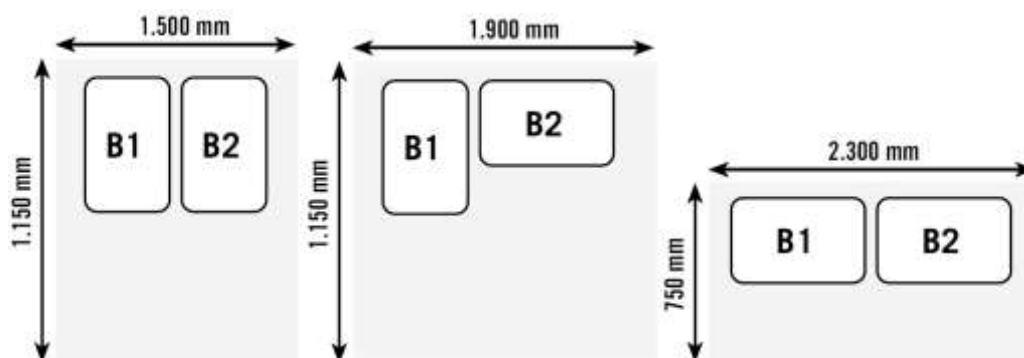


Abbildung 33: Aufstellmöglichkeiten

4.13.7 Aggregate

Mammutpumpe (Hebeanlage von der VK in die Belebung)

2 Gebläse

4.13.8 Stromverbrauch nominal

4.13.9 Betriebsparameter

Anforderungen, bestimmt am Ablauf der Kleinkläranlage:

- BSB₅: ≤ 15 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert
- ≤ 20 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert
- CSB: ≤ 75 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe, homogenisiert
- ≤ 90 mg/l aus einer Stichprobe, homogenisiert
- NH₄-N: ≤ 10 mg/l aus einer 24h-Mischprobe, filtriert
- Abfiltrierbare Stoffe: ≤ 50 mg/l aus einer Stichprobe
- faecal coliforme Keime ≤ 100/100 ml aus einer Stichprobe

4.13.10 Wartung

Eine Wartung ist dreimal jährlich durchzuführen. Neben den üblichen Wartungsarbeiten darf die Membran nicht im eingebauten Zustand chemisch gereinigt werden und muss einmal im Jahr ausgetauscht werden.

4.13.11 Referenzen

4.14 ATB – AQUA max BASIC

4.14.1 Hersteller

ATB Umwelttechnologien GmbH

Mr. Mirco Koppmann

Suedstr. 2

D – 32457 Porta Westfalica

Mail: m.koppmann@aquamax.net

4.14.2 Systembezeichnung

AQUAmax® BASIC

4.14.3 Auslegungsgröße

2 to 8 PE;

9 to 16 PE

(0,3 to 1,2 m³/d; 1,35 to 2,4 m³/d)

Flexible capacity, depending on water depth and tank geometry

4.14.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

National German General Approval (DiBt)

No. Z-55.3-53, Z-55.3-106, Z-55.3-139, Z-55.3-144, Z-55.3-151, Z-55.3-182, Z-55.3-200, Z-55.3-210, in accordance with DIN 4261 and EN 12566-3.

CE-Mark? Yes, self-evident

Some International, European and German patents. The most important patents regarding the AQUAmax® BASIC are:

EP 1 650 169

EP 1 213 265

4.14.5 Funktionsweise

The AQUAmax (Abbildung 34) from ATB Umwelttechnologien GmbH is based on the SBR technology (sequential batch reactor) which basically carries out every step of the depuration treatment taking place in municipal wastewater treatment plants. The only difference is that the AQUAmax® uses one tank alone to fulfil all phases of the process in a temporal sequence. This saves so much space that it can be installed on your property. A preliminary tank is necessary to separate the solids. The wastewater is treated biologically in the reactor, where it is aerated which allows the micro organisms to degrade the organic load using oxygen. The purified water can be evacuated without causing problems to the environment, letting it flow to a stream or seep into a suitable ground, with the permission of the respective authorities. The essential micro organisms are retained in the reactor. The remaining sludge of the preliminary tank must be extracted ap-

proximately once a year and can then be brought to a nearby central wastewater treatment plant or it is transformed into manure.



Abbildung 34: AQUAmax® BASIC

The wastewater treatment plant is operated with a cycle time of 8 hours. The sedimentation takes two hours. The clearwater removal may take till 20 minutes. A submerged aerator brings in oxygen into the system during 6 hours of the aeration period.

An accumulating zone has to be provided forward of the main working zone to accumulate primary and secondary sludge as well as an influent. The accumulation zone has to store the maximal influent during at least 4 hours. 4 hours is a maximal time when no wastewater can enter the SBR (2 hours of primary clarification and 2 hours of secondary clarification)

The wastewater goes into the aeration zone from the accumulation zone through the communicating pipes. These pipes are filled by the excess sludge pump every 2 hours during the aeration phase. Finally the water level in the accumulating zone has to be equal to the water level in the aeration zone.

The tank is filled the last time 2 hours prior to the sedimentation phase. An excess sludge is pumped to the accumulating zone once per cycle.

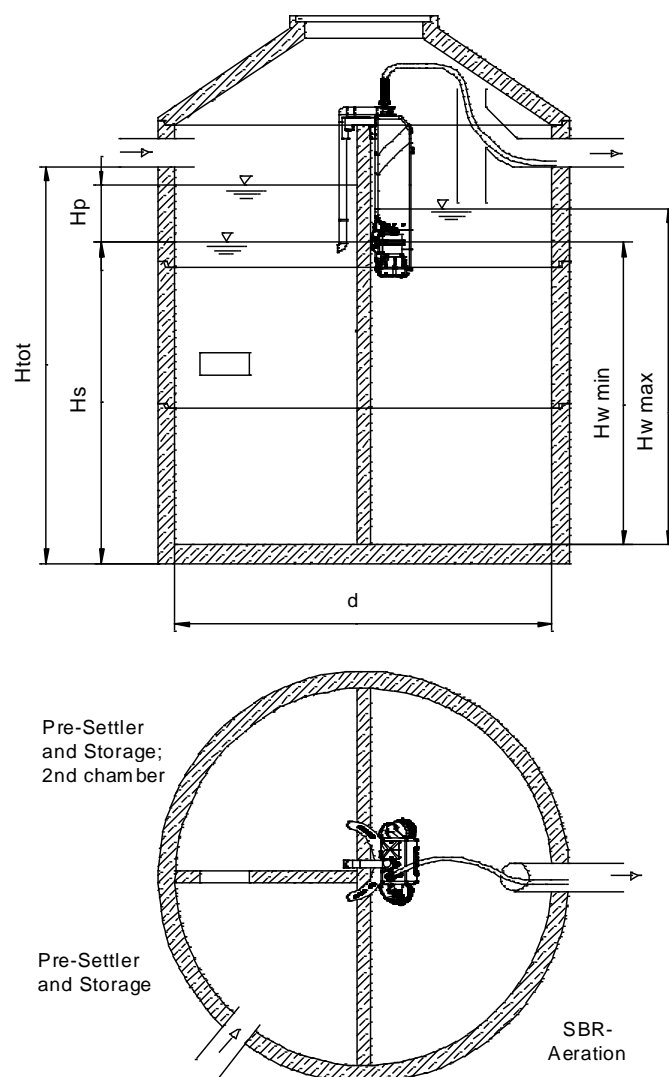


Abbildung 35: Aufbau der KKA AQUAmax BASIC

4.14.6 Abmessungen

Surface area of the SBR reactor: 2.02 m²

Surface area of the accumulating zone: 1.96 m²

$H_{tot} = 1.68$ m

Organic loading: 0.24 g BOD₅/d

Diameter: $d = 2.30$ m

Person equivalent: 4 PE

Maximal water level in the SBR reactor: HW max = 1.23 m

Minimal water level in the SBR reactor: HW min = 1.13 m

Minimal water level in the accumulating zone: HS = 1.13 m

Water depth in the accumulating zone: HP = 0.22 m

Minimal water depth between the bottom edge of the inlet and the water level of the tank (HS+HP): = 1.35 m

Flow rate of waste water: $Q_d = 0.6 \text{ m}^3/\text{d}$

Maximal flow rate of waste water: $Q_{10} = 0.06 \text{ m}^3/\text{h}$

Waste water volume per cycle (=3cycles a day): $VdZ = 0.20 \text{ m}^3$

Average reactor volume: 2.38 m^3

Maximal reactor volume: 2.48 m^3

Minimal reactor volume: 2.28 m^3

Total volume of the accumulating zone: 2.65 m^3

Sludge volume in the accumulating zone: 2.21 m^3

Waste water volume in the accumulating zone: 0.44 m^3

4.14.7 Aggregate

The AQUAmax® is based on the submerged motor aerator and one submerged pump.

- Submerged motor aerator with 0,33 kW
- Submerged pump with 0,2 kW
- Control panel 0,003 kW.

4.14.8 Stromverbrauch nominal

Tabelle 18: Energieverbrauch

<u>Yearly energy consumption AQUAmax® BASIC</u>							
PE	2	4	6	8	10	12	16
<u>Aerator</u>							
Power consumption [kW]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Energy consumption/Annum [kWh/a]	255,1	361,4	456,4	542,0	619	690	754
<u>Discharge pump</u>							
Power consumption [kW]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energy consumption/Annum [kWh/a]	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	43,8
<u>Sludge pump</u>							
Power consumption [kW]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energy consumption/Annum [kWh/a]	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,5	3,6
Control panel (0,003 kW) [kWh/a]	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
<u>Total Energy [kWh/a]</u>	289,7	401,6	502,2	593,4	676	752	828

4.14.9 Betriebsparameter

Small wastewater treatment plants with aeration of the class C such as AQUAmax® have been tested according to EN 12566-3. The following requirements for effluent concentrations have been achieved by this plant:

BOD ₅ :	≤ 25 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
	≤ 40 mg/l for a random homogeneous sample
COD:	≤ 100 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
	≤ 150 mg/l for a random homogeneous sample
TSS	≤ 75 mg/l for a random sample

Over this the AQUAmax® is also tested for stronger german effluent requirements (class D):

BOD ₅ :	≤ 15 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
	≤ 20 mg/l for a random homogeneous sample
COD:	≤ 75 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
	≤ 90 mg/l for a random homogeneous sample
NH ₄ -N	≤ 10 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
N _{inorg}	≤ 25 mg/l for a 24 h-mixed homogeneous sample
TSS	≤ 50 mg/l for a random sample

4.14.10 Wartung

The AQUAmax® is a full-biological wastewater treatment plant according EN 12566 part 3. Therewith the plant has to be maintained by a specialised enterprise twice a year.

The maintenance consists in following:

- Examination of the performance book to establish all regular processes
- Controlling of the main units (especially compressors and air lifts), comparison their operation with the manufacturer data
- Checking of the automatic control units
- Assessment of optimality such operation parameters as DO (dissolved oxygen) and SVI (sludge volume index)
- Checking of the sludge depth in the zone of primary clarification
- Carrying out of the general cleaning such as sludge removal
- Checking of the structural parts of the treatment plant
- Controlling of the aeration adequacy
- Measuring of DO, SVI, t, pH, TSS, COD
- Making a note about the maintenance in the performance book.

4.14.11 Referenzen

Since 1999, the year the German company ATB Umwelttechnologien GmbH was founded by Mr. Markus Baumann, more than 38,000 units of the AQUAmax have been sold and installed. During these years, ATB's products have been delivered all over Europe and to overseas countries such as Canada, Mexico, Vietnam and China. The AQUAmax has also won several environmental awards and ATB has become the market leader in Germany.

4.15 Mall – SanoClean XL

4.15.1 Herstellername

Mall GmbH, Hüfingener Straße 39 – 45, 78166 Donaueschingen, Ansprechpartner, Stephan Klemens, Tel: 771 / 8005 - 201 Fax: 0771 / 8005 – 3201, stephan.klemens@mall.inft

4.15.2 Systembezeichnung

SanoClean XL 4 EW H20, Reinigungsklasse D+P

4.15.3 Auslegungsgröße

4 PE

4.15.4 CE und/oder DIBt-Zulassung

National German General Approval
No. Z-55.3-118 in accordance with
DIN 4261, DIN EN 12566 - 3

4.15.5 Funktionsweise

Das SBR - Verfahren in Form der SanoClean-Technologie ist eine nach dem Prinzip des SBR - Verfahrens (Sequencing Batch Reactor) arbeitende Kleinkläranlage der neuesten Generation.

Sequencing Batch bedeutet, dass die Anlage nicht mit dem natürlichen Abwasseranfall frei durchflossen wird, sondern dass stattdessen festgelegte Mengen Abwassers aus dem integrierten Puffer jeweils in den SBR – Reaktor befördert und nacheinander in Reinigungszyklen abgearbeitet werden (die Kleinkläranlage arbeitet nach dem Aufstausystem) .

Bei der SanoClean Technologie setzt die Mall GmbH im Abwasser weder drehende noch elektrische Teile ein. Der Abwasser- und Schlammtransport erfolgt über Druckluft betriebene Verschleiß freie Hebeanlagen (Mammutpumpen).

Anlagenaufbau

Die Anlage besteht immer aus:

- einer mechanischen Reinigungsstufe mit Pufferwirkung und dem
- nachgeschalteten SBR - Reaktor.

Mechanische Reinigungsstufe

Die mechanische Reinigungsstufe erfüllt dabei die folgenden Aufgaben:

- Das mit Grobstoffen belastete Abwasser fließt der Anlage im freien Gefälle zu. Die Grobstoffe werden in dieser ersten Stufe durch mechanische Trennung (Abscheidung durch Schwerkraft) abgeschieden.
- Zusätzlich wird in der mechanischen Reinigungsstufe der Überschussschlamm aus dem biologischen Prozess gespeichert.

- Darüber hinaus wird ein Teil der ersten Stufe als Pufferraum genutzt.

Der Puffer ist auf die Speicherung der während eines SBR-Zyklus zufließenden Abwassermenge ausgelegt. Die Größe des Puffers ergibt sich aus einer einfachen Speicherbemessung unter Berücksichtigung der üblichen Verteilung des Abwasserzuflusses über den Tag incl. eines Badewannenstoßes.

Um bei hydraulischer Überlastung einen Rückstau in das Zulaufrohr auszuschließen, wurde zwischen der ersten Stufe (mechanische Reinigung, Schlamm-speicher und Puffer) und zweiter Stufe (SBR - Reaktor) ein Notüberlauf vorgesehen.

SanoClean - Reaktor

Phase Beschickung:

Die biologische Reinigungsstufe wird aus dem Puffer über eine Mammutpumpe zu Beginn des Zyklus einmal mit einer definierten und erfassten Abwassermenge (rechnerisch bei gleichmäßigem Abwasserzufluss ca. 1/4 der Tagesmenge) beschickt.

Phase Belüftung:

Es folgt die Phase der biologischen Reinigung, in der die feinblasige Druckbelüftung den Behälterinhalt aus Belebtschlamm und Abwasser periodisch umwälzt und die Mikroorganismen mit dem für den Reinigungsprozess notwendigen Sauerstoff versorgt.

Absetzphase:

In dieser Phase erfolgt keine Belüftung, so dass sich der durchmischte Behälterinhalt in eine Schlamm- und eine Klarwasserphase trennt.

Phase Klarwasserabzug:

Das gereinigte Wasser wird im Anschluss an die Absetzphase aus dem Bioreaktor abgezogen und einem Vorfluter bzw. einer Versickerung zugeführt.

Die Klarwasserabzugsphase wird nach Erreichen des minimalen Wasserstandes im Reaktor bzw. nach Vorgabe der Steuerung beendet.

Phase Überschussschlammabzug:

Der Überschussschlamm wird mit einem Druckluftheber in den Schlamm-speicher gefördert.

Die Steuerung aller Prozesse erfolgt über eine Mikroprozessor-Steuerung sowie über die Höhenstandserfassung. Über die Ausgänge der Steuerung werden der Luftverdichter sowie die Steuerventile für die eingesetzten Mammutpumpen geschaltet.

Eingebaut ist eine Spar- und Urlaubsschaltung, für belastungsarme Zeiten.

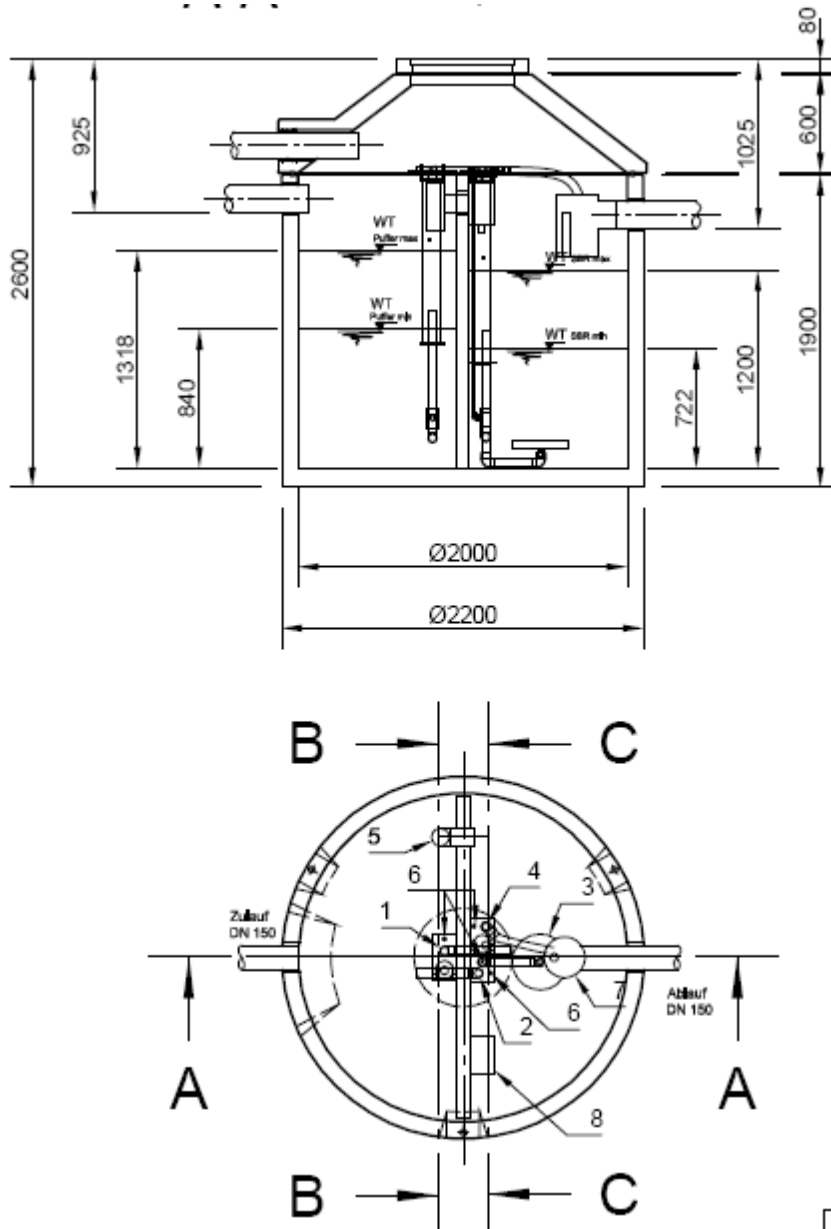


Abbildung 36: Aufbau der Anlage ATB – AQUA max BASIC

4.15.6 Abmessungen

Tabelle 19: Zusammenstellung aller Daten

Anlagentyp	SanoClean XL	4 EW	Bauart H20
Reinigungsklasse	D+P		
Reinigungsziel:	Nitrifikation + Denitrifikation + Phosphorelimination		
Reinigungsverfahren	Belebungsanlage im Aufstaubetrieb		
Angeschlossene Einwohnerwerte	4 EW		
Zulaufsituation			
tägliche Wassermenge	150 l/EW/d	600,00 l/d	
Tagesmittel	Q/24	25,00 l/h	
Tagesspitze	Q/10	60,00 l/h	

tägliche Menge an BOD ₅	60 g/EW/d	240,00 g/d
tägliche Menge an COD	120 g/EW/d	480,00 g/d
tägliche Menge an NH(4)-N	13 g/EW/d	52,00 g/d
tägliche Menge an P	1,8 g/EW/d	7,20 g/d
Konzentration BOD ₅		400,00 mg/l
Konzentration COD		800,00 mg/l
Konzentration NH(4)-N		86,67 mg/l
Konzentration PO(4)-P		12,00 mg/l
Anzahl der Zyklen je Tag		4,00 1/d
Wassermenge je Zyklus	Q/zyk	150,00 l/zyk

Volumen des Vorbeckens (Schlammspeicher + Puffer)

Volumen für Schlammspeicher	250 l/EW	1000,00 L
Volumen Zulaufpuffer	6 x Q/10+200 l	560,00 L
Volumen für vorgeschaltete Deni	3 x Qzyk	450,00
erf. Gesamtvolumen für Vorbecken	V (VB)	2010,00 L
Gewähltes Volumen		
Innendurchmesser Vorbecken	DI (VB)	2000,00 Mm
Anteil Vorbecken	Ant.(VB)	0,50 -
Oberfläche Vorbecken	A(VB)	1,57 m ²
Wassertiefe Max	TW(VB max)	1318 Mm
Wassertiefe min.	TW (VBmin)	840 Mm
Volumen Vorbecken max	V(VB max)	2,07 m ³
Volumen Vorbecken min	V(VB min)	1,32 m ³

Volumen des SBR Beckens

zul. Raumbelastung	BR (min) kg BOD ₅ /m ³	0,20 kg/m ³
Volumen SBR	V(min SBR)	1200,00 L
Volumen für simultane Deni	4 x Q/zyk	600,00 L
Erf. Gesamtvolumen SBR	V(SBR)	1800,00
Innendurchmesser SBR Becken	DI (SBR)	2000,00 Mm
Anteil SBR Becken	Ant.(SBR)	0,50 -
Oberfläche SBR Becken	A(SBR)	1,57 m ²
Wassertiefe max.	TW(SBR max)	1200 mm
Wassertiefe min.	TW (SBR-min)	722 mm
Volumen SBR Becken max	V(SBR max)	1,88 m ³
Volumen SBR Becken min	V(SBR min)	1,13 m ³

Belüftung:

Sauerstoffbedarf für C Abbau	OB C 1,4 g O ₂ / g BOD ₅	336,00 g/d
Sauerstoffbedarf für Nitrifikation	OB N 4,6 g O ₂ / g BOD ₅	239,20 g/d
Sauerstoffbedarf gesamt	OB	575,20 g/d
	OC Load	2,40 g/g

Gewähltes Gebläse:

Fabrikat / Typ	NITTO / LA 60	
Luft eintrag bei maximalem Wasserspiegel		4,80 m ³ /h
Elektrische Leistungsaufnahme		64,00 W

Begaser:

spezifische Sauerstoffausnutzung	Gummi Membran Platte	18,00 g/m/m ³
Sauerstoffeintrag		72,58 g/h
erf. Laufzeit des Gebläses je Tag		7,93 h/d
erf. Laufzeit des Gebläses je Zyklus		1,98 h/zyk

Fällmitteldosierung:

zu fällende P Konzentration		4,00 mg/l
zu fällende P Fracht		2,40 g/d
eingesetztes Fällmittel:	PAC 2	
Aluminiumgehalt		8,90 %
		kg AL/ kg
Aluminiumbedarf		1,30 P
Aluminiumbedarf		3,12 g/d
Fällmittelbedarf		35,06 g/d
Fällmittelbedarf	(Dichte 1,37)	25,59 ml/d
Bevorratungszeitraum		150 Tage
erf. Fällmittelvorrat		3,84 L
gew. Fällmitteltank		8,00 L
Fällmittel Zugabe	4 * 7 ml	28,00 ml/d
		28,00 ml/d

Heber:

mittlere Leistung des Zulaufhebers:		1,50 m³/h
Maximale Wassermenge je Zyklus	5 x Q/zyk	750,00 l/zyk
Laufzeit des Zulaufhebers		0,50 h/zyk
mittlere Leistung des Ablaufhebers		1,50 m³/h
Maximale Wassermenge für Ablauf		300,00 l/zyk
Laufzeit Ablaufheber		0,20 h/zyk
Schlamm/Nitratrückführung		450,00 l/zyk
mittlere Leistung des Rückführhebers		1,00 m³/h
Laufzeit für Schlammrückführung		0,45 h/zyk
Sedimentationszeit		1,00 h/zyk
Zeit für simultane Deni		1,00 h/zyk
Belüftungszeit		2,85 h/zyk
Gebläsetakt		6,00 1/h
Laufzeitfaktor		0,70
Laufzeit Gebläse		7,00 Min
Pause Gebläse		3,00 Min

Zyklusablauf Programm

Start Beschickung		0,00 H
Ende Beschickung		0,50 H
Start Deni		0,50 H
Ende Deni		1,50 H
Start Belüftung		1,50 H
Ende Nitrifikation		4,35 H
Start Sedimentation		4,35 H
Ende Sedimentation		5,35 H
Start Ablauf		5,35 H
Ende Ablauf		5,55 H
Start Überschussschlamm		5,55 H
Ende Überschussschlamm		6,00 H
Beschickung Ventil rot Belüftung ein	31 min.	T1
Teillaufzeit Gebläse	31 min.	
Beschickungsstöße PAC Zugabe	1 Stück	P
Laufzeit Deni	60 min.	T2
Deni Ventil 2 blau Belüftung ein	1 min.	T3

Deni Ventil 2 blau Belüftung aus	9 min.	T4
Teillaufzeit Gebläse	6 min.	
Laufzeit C / N	168 min.	T5
C / N Ventil 2 blau Belüftung ein	7,00 min.	T6
C / N Ventil 2 blau Belüftung aus	3,00 min.	T7
Teillaufzeit Gebläse	117 min.	
Sedimentationszeit	60 min.	T8
Laufzeit Klarwasser	13 min.	T9
Klarwasser Ventil 3 weiß Belüftung ein	13 min.	T10
Klarwasser Ventil 3 weiß Belüftung aus	0 min.	T11
Teillaufzeit Gebläse	13 min.	
Laufzeit N/S rück Ventil 4 grün ein	28 min.	T12
Teillaufzeit Gebläse	28 min.	
Pause Ventil 2 blau Belüftung aus	10 min.	T13
Pause Ventil 2 blau Belüftung ein	1 min.	T14
Ferien Ventil 2 blau Belüftung ein	5 min.	T15
Ferien Ventil 2 blau Belüftung aus	55 min.	T16
Zykluszeit	360 min.	
Gebläselaufzeit je Zyklus	195 min.	
Gebläselaufzeit je Tag	780 min.	
	13,0 h/d	

Innendurchmesser di		2.000	mm
Einbautiefe	GT	2.600	mm
Zulauftiefe / Ablauftiefe Version K	TZ / TA(K)	"600/925	mm
Zulauftiefe / Ablauftiefe Version B	TZ / TA(B)	"925/1030	mm
Wassertiefe, Vorbecken, max.	Puffer max.	1.318	mm
Wassertiefe, Vorbecken, min.	Puffer min.	840	mm
Wassertiefe, SBR-Becken, max	SBR max.	1.200	mm
Wassertiefe, SBR-Becken, min.	SBR min.	722	mm
schwerstes Einzelteil	GE	4.530	kg
Gesamtgewicht	GG	6.000	kg

4.15.7 Aggregate

Verdichter (Gebläse) 64 W, Ventile 10 W, Steuerung 5 W

4.15.8 Stromverbrauch nominal

1,1 kWh/d

4.15.9 Betriebsparameter

Standardparameter

Reinigungsleistungen der SanoClean XL- Kleinkläranlagen

Tabelle 20: Reinigungsleistung

Parameter	Einheit	Probe	Behandlung	Ablaufkonzentration
BOD ₅	mg / l	24 h Mischprobe	homogenisiert	< 15
BOD ₅	mg / l	Stichprobe	homogenisiert	< 20
COD	mg / l	24 h Mischprobe	homogenisiert	

COD	mg / l	Stichprobe	homogenisiert	< 75
NH ₄ -N	mg / l	24 h Mischprobe	filtriert	< 10
N _{inorg}	mg / l	24 h Mischprobe	filtriert	< 25
SS	mg / l	Stichprobe		< 50
Phosphat	mg / l	Stichprobe	homogenisiert	< 2 mg/l

4.15.10 Wartung

Die Wartungshäufigkeit beträgt dreimal im Jahr (wegen P-Zulassung).

Wartung der SanoClean-Vorklärung (Schlamm Speicher und Puffer)

Bei der Wartung der SanoClean-Vorklärung ist entsprechend der Konstruktion und Auslegung dieses Anlagenteils auf folgende Punkte zu achten:

Checkliste Vorklärung

- Sind die Schachtabdeckungen in einwandfreiem Zustand?
- Sind die Zu- und Ablaufrohre sowie die Tauchrohre zum ungehinderten Durchfluss frei?
- Sind Mängel durch Korrosion eingetreten?
- Ist Schwimmschlamm vorhanden?
- Wurde die Beschickungspumpe auf ihre Funktion geprüft?
- Ist ein Fettabscheider vorhanden: Ist die Funktionssicherheit gegeben?
- Ist ein Fettabscheider vorhanden: Wird dieser regelmäßig entsorgt?
- Erfolgt die Schlammabfuhr ordnungsgemäß?
- Sind sonstige bauliche Mängel vorhanden?

Wartung des SBR-Reaktors von SanoClean-Anlagen

Bei der Wartung von SanoClean-Anlagen ist entsprechend der Konstruktion und Auslegung des SBR-Reaktors auf folgende Punkte zu achten:

Checkliste SBR-Reaktor

- Ist der Zulauf des SBR-Reaktors frei von Grobstoffen?
- Funktioniert der Sauerstoffeintrag?
- Ist die Sauerstoffkonzentration ausreichend?
- Ist genügend Belebtschlamm im Reaktor (Belebtschlammvolumen)?
- Funktioniert der Abzug des Überschussschlammes?
- Funktioniert der Klarwasserabzug? – Ist die Sichttiefe ausreichend?
- Ist Schwimmschlamm vorhanden?
- Wird der aktuelle Stand des Betriebsstundenzählers „Gebläse“ regelmäßig dokumentiert?

- Wird die Gebläselaufzeit regelmäßig kontrolliert (Soll-Ist-Vergleich)?
- Sind sonstige Mängel vorhanden?

Wartungspflichten des Betreibers

Der Betreiber oder eine beauftragte Person muss in den angegebenen Abständen die folgenden Funktionskontrollen und Arbeiten ausführen sowie gegebenenfalls die Schlammabfuhr veranlassen. Festgestellte Betriebsstörungen sind in dem vom Betreiber zu führenden Betriebsbuch zu vermerken und umgehend für deren Beseitigung zu sorgen

Tägliche Kontrollen

Es ist zu kontrollieren, ob die Anlage ordnungsgemäß in Betrieb ist. Dies ist beim Brennen der grünen Kontrollleuchten gegeben. Eine Störung, durch Rotfärbung der Leuchten angezeigt, weist auf einen technischen Defekt hin.

Monatliche Kontrollen

Sichtkontrolle auf Schlammabtrieb im Ablauf

Kontrolle der Zu- und Abläufe auf Verstopfung

Feststellung von eventuell vorhandenem Schwimmschlamm und gegebenenfalls abschöpfen in den Schlamm Speicher

Ablesen der Betriebsstundenzähler des Verdichters und der Ventile und Eintrag in das Betriebstagebuch

Die Ergebnisse der Eigenkontrollen müssen im Betriebstagebuch eingetragen werden! Insbesondere Mängel und Störungen sind zu vermerken

4.15.11 Referenzen

Jährlich werden zwischen 1.000 und 1.500 Anlagen eingebaut.

Kapitel 5

Untersuchungsbedingungen

5.1 Versuchsprogramm (Phase 1 bis 10)

Ziel der Studie COMPAS war es, eine große Bandbreite von Kleinkläranlagensystemen unter möglichst verschärften Betriebsbedingungen, die über die Vorgaben des Bauartenzulassungsverfahrens und EU-Zertifizierung hinausgehen, über den Zeitraum eines Betriebsjahres zu untersuchen. Insbesondere sollten dabei Betriebszustände simuliert werden, die vom Auftraggeber Veolia als repräsentativ für Einfamilienhaushalte in Frankreich ermittelt wurden mit vergleichsweise hohen spezifischen Wasserverbräuchen und starken über das Jahr verteilten Schwankungen der Nutzungsintensität. Dazu gehören auch regelmäßige Badewannenentlastungen sowie Zusatzbelastungen durch Gäste, aber auch Urlaubseerlauf und Stromausfälle. Darüber hinaus existieren in Frankreich keine Bemessungsvorgaben, so dass Kleinkläranlagen unter strengen Bedingungen getestet werden müssen, um möglichst viele Extremsituationen zu erfassen.

Das Versuchsprogramm wurde aufbauend auf die Vorgaben der EN 12566-3 mit phasenweiser erhöhter Abwassermenge entwickelt (Veolia-Versuchsprogramm: "Protocole en conditions sollicitantes[®]"). Das Beschickungsprogramm ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst, Änderungen gegenüber der EN 12566-3 sind fett gedruckt (s. Tabelle 21).

Für alle in der Studie untersuchten Kleinkläranlagensysteme galten die gleichen Bedingungen. Die Anlagen wurden mit dem gleichen Abwasser beschickt, wodurch eine einheitliche Abwasserqualität (Temperatur, Zusammensetzung) ermöglicht wurde. Auch bei der hydraulischen Belastung wurden keine Unterschiede gemacht.

Tabelle 21: Versuchsprogramm: "Protocole en conditions sollicitantes[®]" (Dauer in Wochen)

Phase	Beschreibung Versuchsprogramm	gepl. Dauer	tats. Dauer	Beschreibung EN 12566-3	Dauer
1	Inokkulation: 100 % Belastung	4	7	Inokkulation	X ^{a)}
2	Einstellung eines stabilen Gleichgewichts	4	4	Normaler Betrieb	6
3	Normaler Betrieb: 100 % Belastung	8	21	Betrieb mit nur 50 % Belastung	2
4	Betrieb mit 100% Belastung, außer für jeweils 3 Tage am Wochenende, dann 200 % (4 Wochen)	4	4	Normaler Betrieb - Stromausfall	6
5	Betrieb mit 200% Belastung	3	3	Keine Belastung	2
6	Keine Belastung	3	3	Normaler Betrieb	6

Phase	Beschreibung Versuchsprogramm	gepl. Dauer	tats. Dauer	Beschreibung EN 12566-3	Dauer
7	<i>Normaler Betrieb, außer für jeweils 3 Tage am Wochenende, dann 200 %</i>	2	2	Betrieb mit 125 - 150% Belastung (48 h zu Beginn der Phase)	2
8	Normaler Betrieb	4	4	Normaler Betrieb - Stromausfall	6
9	Betrieb mit nur 50 % Belastung	2	4	Betrieb mit nur 50 % Belastung	2
10	<i>Normaler Betrieb mit 3 simulierten Stromausfällen von 24 Stunden in 48 Stunden Intervallen in der dritten Woche</i>	6	4	Normaler Betrieb	6

a) wird vom Hersteller angegeben

Wegen eines Öleintrags in die Mischwasserkanalisation aus einem nahe gelegenen Fabrikgelände (s. Kapitel 5.2.5), von der das BDZ-Testfeld betroffen war, musste die Dauer der Phase 3 verlängert werden. Dadurch wurde allen Anlagen nach Entfernung des Ölfilms aus den jeweiligen Vorklärungen die Möglichkeit gegeben, sich wieder soweit zu stabilisieren, dass der weitere Versuchsablauf nicht beeinträchtigt wurde.

Zudem erhielten vor dem Beginn der Phase 4 alle Hersteller die Möglichkeit, ihre Anlagen an die erhöhte hydraulische Belastung anzupassen. Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- Nordbeton: Das Pumpenregime wurde angepasst
- ATB: In der Steuerung erfolgte eine Anpassung des Zeitintervalls
- Aquamatic: Es wurde ein stärkerer Kompressor eingebaut.

Phase 9 (50%-Belastung) wurde zur eingehenderen Untersuchung von Unterlastsituationen, wie sie eher für Deutschland typisch sind, um 2 Wochen verlängert. Dadurch wurde Phase 10 um entsprechend zwei Wochen verkürzt.

5.1.1 Simulierter Stromausfall

Für Phase 10 waren ursprünglich 3 simulierte Stromausfälle von 24 Stunden in 48 Stunden Intervallen in der dritten Woche vorgesehen. Versehentlich dauerte der erste Stromausfall 48 Stunden und das dazwischen liegende Intervall verkürzte sich dementsprechend auf 24 Stunden:

Tabelle 22: Simulierter Stromausfall, Zeitangaben

	27.01.09	28.01.09	29.01.09	30.01.09	31.01.09	01.01.09	02.01.09
geplanter Verlauf:							
Stromausfall	X			X			X
Normalbetrieb		X	X		X	X	
realisierter Verlauf							
Stromausfall	X	X		X			X
Normalbetrieb			X		X	X	

Die Beschickung der Anlagen erfolgte auch während des Stromausfalls. Lediglich bei der Anlage PREMIER TECH – Ecoflex™ wurde der Zulauf gestoppt, um einen Überlauf zu verhindern.

Für den Stromausfall waren alle Aggregate in Betrieb, die üblicherweise nicht zur Funktion der Anlagen benötigt werden. Dazu gehören also auch diejenigen Komponenten, die speziell zur Hebung des ablaufenden Klarwassers eingebaut wurden. So wurden dementsprechend die Pumpen (s. Tabelle 23: (x)) folgender Anlagen auch während des Stromausfalls weiter betrieben:

- Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1,
- PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500 und
- Busse – MF Typ MF-HKA4.

Folgende Stromverbraucher (s. Tabelle 23) waren bei den einzelnen Anlagen in Betrieb, und somit auch vom Stromausfall betroffen:

Gebläse/Kompressor:	Luftverdichter jeglicher Bauweise
Pumpen:	jeglicher Art
Motoren:	Antrieb für Rotationstauchkörper
Sonstiges:	Steuerung, UV-Desinfektion

Tabelle 23: elektrische Verbraucher aller Anlagen

Nr.	Hersteller/Anlage	Gebläse / Kompressor	Pumpen	Motoren	sonstiges
1	Aquamatic GmbH&Co. KG STM 5	1			
2	Martin Bergmann Umwelttechnik BIO- WSB®-N	1	1		
3	Klargester Environmental Ltd Klargester BioDisk BA		1	1	
4	Nordbeton GmbH Biofilter KP253 PAL (PAB)		2		1
5	PREMIER TECH LTEE Textile Biofilter Ecoflex™		1		
6	HUBER DeWaTec GmbH HUBER 3K PLUS®	1			
7	Lauterbach-Kießling GmbH Lauterbach BKF 4 DN2000 Z1		(1)		
8	UFZ Typ UFZ C+H 4 E		1		1
9	PREMIER TECH LTEE Ecofix® Biofilter type STB 500		(1)		
10	BUSSE IS GmbH BUSSE MF type MF-HKA4	2	1 (1)		
11	ATB Umwelttechnologien GmbH AQAU max BASIC	1	2		
12	Mall Umweltsysteme GmbH SanoClean XL 4 EW H20	1	3		

In Klammern: Alle Pumpen, die im Normalbetrieb nicht benötigt werden (s.o.)

5.1.2 Hydraulische Belastung

Die 100 % hydraulische Belastung (Nominal-Beschickung) entspricht 150 L/(E-d). Am 23.7.2008 wurde nach Festlegung des Steering-Komitees die 100%-Last von 150 L/(E-d) auf 225 L/(E-d) (entspricht 150%) angehoben, um auf dies Weise die geringe Rohwasserkonzentration durch eine Frachterhöhung auszugleichen (vgl. Kapitel 5.2)

Grundsätzlich entspricht der Betrieb mit 150 % hydraulischer Belastung den Testbedingungen der EN 12566 Teil 3. Bei der 200 % hydraulische Belastung werden jedoch die ursprünglichen 150 L/(E-d) verdoppelt zu 300 L/(E-d). Tabelle 24 verdeutlicht, welche hydraulischen Belastungen sich daraus jeweils für die einzelnen Anlagen ergeben.

Jeden Freitag bis Dienstag erfolgte zusätzlich zum Tageszufluss um 20.00 Uhr ein „Badewannenstoß“ mit einem Schmutzwasservolumen von jeweils 200 L über einen Zeitraum von 3 min. Auch hier wurden gegenüber den Vorgaben der EN 12556, Teil 3, die Bedingungen verschärft, da hier nur ein Badewannentest einmal pro Woche vorgesehen ist. Die Anlagen werden hierdurch im wöchentlichen Mittel mit täglich ca. 114 L zusätzlich belastet.

Tabelle 24: Hydraulische Belastung

Hydraulische Belastung [%]	Hydraulische Belastung [L/(E·d)]	Anlagen mit 4 E [L/d]	Anlagen mit 6 E [L/d]	Anlagen mit 9 E [L/d]
100	150	600	900	1.350
100 (150)	225	900	1.350	2.250
200	300	1.200	1.800	2.700
50	75	300	450	675

Die Beschickung der Anlagen wurde im Tagesgang gemäß EN 12566-3 durchgeführt. Tabelle 25 zeigt den dazu gehörenden Tagesverlauf.

Tabelle 25: Verlauf der täglichen Beschickung gemäß EN 12566-3

Uhrzeit	Tagesabschnitt	Prozent der täglichen Beschickung
6 – 9	3 Stunden	30 %
9 – 12	3 Stunden	15 %
12 - 18	6 Stunden	0 %
18 - 20	2 Stunden	40 %
20 - 23	3 Stunden	15 %
23 - 6	7 Stunden	0 %

5.2 Zulaufbeschaffenheit

5.2.1 Zulaufkonzentration

Da die Zulaufkonzentrationen zu Anfang des Versuchsprogramms im unteren Bereich des „Normabwassers“ nach EN 12566, Teil 3 lagen, wurde zur Erhöhung der Zulauffrachten ab dem 23.07.2008 eine Anhebung der hydraulischen Last auf 150 % vorgenommen.

In Tabelle 26 sind die mittleren Zulaufkonzentrationen bis bzw. nach Anhebung der hydraulischen Beschickung sowie die Mittelwerte über die gesamte Laufzeit aufgeführt.

Tabelle 26: Zulaufkonzentrationen vor und nach Umstellung der hydraulischen Last

Parameter [mg / l]	BSB ₅	CSB	TS ₀	N	P
BDZ Leipzig Mittelwert vor dem 23.07.2008	196	447	286	40	6,3
BDZ Leipzig Mittelwert ab dem 23.07.2008	214	463	263	51	7,3
BDZ Leipzig Mittelwert insgesamt	203	454	262	47	7,0

Tabelle 27 zeigt die mittleren Zulaufkonzentrationen auf dem Testfelds im Vergleich zu anderen durchschnittlichen Rohabwasserkonzentrationen. Die Mittelwerte in Leipzig-Leutzsch liegen in der angenommenen Bandbreite gemäß EN 12566 Teil 3. Die Minimalwerte werden jedoch teilweise unterschritten. Im Vergleich mit den Standardwerten der DWA für Rohabwasser sind die Mittelwerte für alle Parameter geringer als dort angenommen. Auch der Vergleich mit den Ergebnissen aus den Landesverbänden Sachsen-Thüringen und Bayern, wie auch der bundesweite Vergleich (DWA LV Deutschland) zeigen relativ geringe Zulaufkonzentrationen aller untersuchten Parameter. Diese Einschätzung wird auch durch die mittleren Zulaufkonzentrationen des Versuchs in Nantes und der Prüffelder Altentreptow und Weimar bestätigt. Die mittlere Zulaufkonzentration vom Testfeld Cebedeau (Belgien) zeigt die Rohwasserqualität eines Hauses ohne Regenwasser (728 mg/L).

Tabelle 27: Referenzen der Zulaufkonzentrationen

Parameter [mg / l]	BSB ₅	CSB	TS ₀	N	P
EN 12566-3 (2003)	150 - 500	300 – 1.000	200 - 700	22 - 80	5 -20
Rohabwasser (DWA-Standard) ¹⁾	400	800	466	73	12
BDZ Leipzig Mittelwert	203	454	262	47	7,0
BDZ Leipzig Maximum	276	730	570	72	10,2
BDZ Leipzig Minimum	78	180	140	20	2,9
DWA LV Sachsen-Thüringen (2007)	292	611	n. b.	55	8,9
DWA LV Deutschland (2007)	283	513	n. b.	47	7,6
Frankreich Nantes	313	679	313	75	n. b.
DWA Landesverband Bayern	306	560	n. b.	58	9,8
Testfeld Altentreptow	554	815	623	64 ²⁾	7,5
Prüffeld Weimar	275	615	330	62 ²⁾	10,7
Testfeld Cebedeau, Belgien ³⁾	728	-	-	-	-

¹⁾ mit 150 l/(E·d)

²⁾ nur NH₄-N

³⁾ Dieses Testfeld erhält ausschließlich Wasser von einem Gebäude ohne Regenwasser

Kennwerte

Die Kennwerte, die sich aus dem Verhältnis COD zu Konzentrationen anderer Parameter ergeben, entsprechen in etwa den üblichen Relationen:

Tabelle 28: COD-Relationen im Vergleich

Parameter	BDZ-Leipzig	ATV A 131	Nantes
COD/BOD ₅	2,2	2	2,2
COD/N	10,0	11	9,1
COD/SS	1,8	1,7	2,2

5.2.2 Beeinflussung der Abwasserqualität durch den Niederschlag

Die Beeinflussung der Abwasserkonzentration durch Regenwassereinträge wurde anhand von Niederschlagsmessungen untersucht. Abbildung 37 zeigt die Niederschlagswerte in mm/Tag, von März 2008 bis Februar 2009 im Vergleich zu den COD-Konzentrationen im Zulauf.

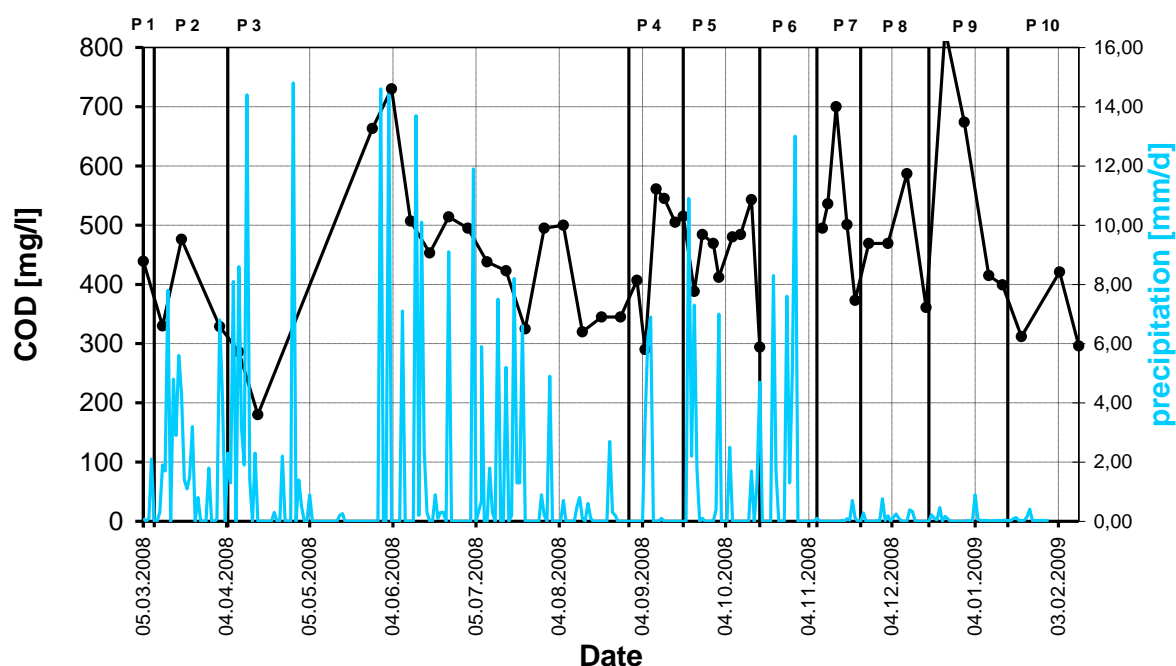


Abbildung 37: Niederschlagsverteilung und COD-Konzentrationen im Zulauf

Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich jedoch kein klarer Zusammenhang ableiten. Auch mit Korrelation zwischen den COD-Zulaufkonzentrationen und Niederschlagshöhen in Abbildung 38 kann ein Zusammenhang zwischen Niederschlagshöhe und Zulaufkonzentration nicht bestätigt werden. Vermutlich wird das verdünnte Abwasser vorwiegend durch andere Ursachen wie z.B. Fremdwassereinleitungen ggf. in Kombination mit Niederschlagsereignissen erzeugt.

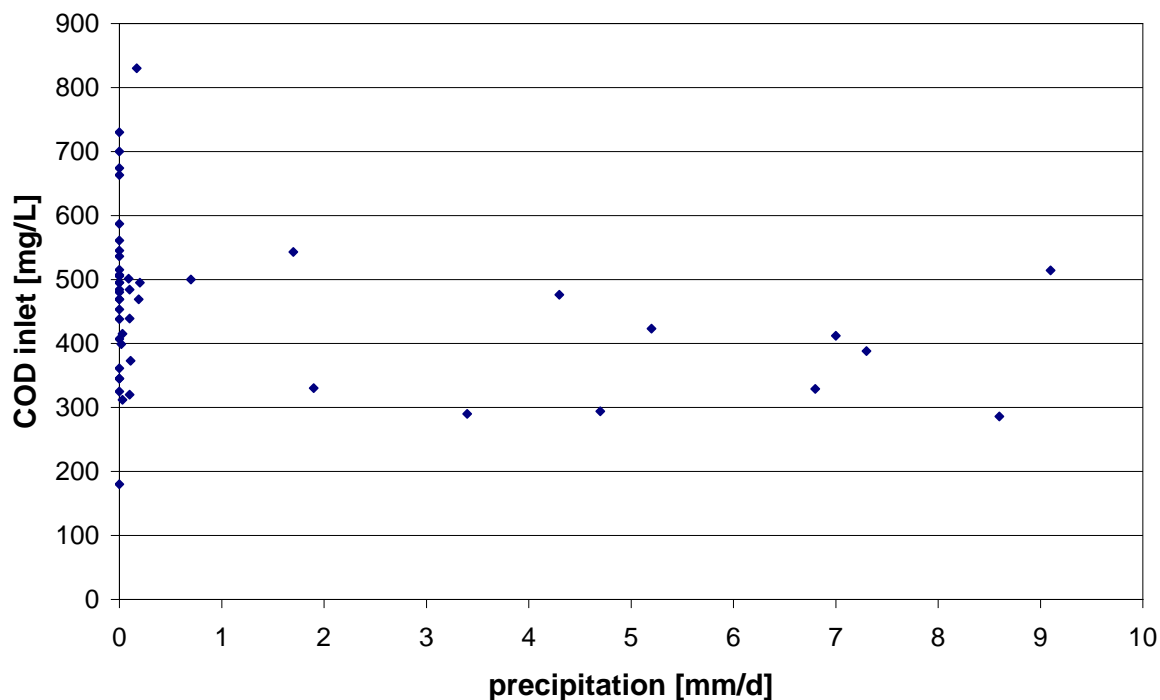


Abbildung 38: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen COD-Zulaufkonzentration und Niederschlagshöhen

5.2.3 Organische Belastung und Auslastung der Anlagen

Die Auslastung bezogen auf die organische Last der Anlagen lag zu Anfang zwischen 54 und 65 %. Mit Steigerung der hydraulischen Last ab dem 23.07.2008 konnte der frachtbezogene Einwohnerwert dem nominalen Einwohnerwert (vgl. Kapitel 2.5) tatsächlich angenähert werden. Die Auslastung nach der Umstellung bis zu Beginn der Phase 4 (200 % Belastung an drei Tagen) lag zwischen 70 und 78 %. Tabelle 29 zeigt die frachtbezogenen Einwohnerwerte sowohl vor als auch nach Erhöhung der hydraulischen Last bis zum Beginn der Phase 4 mit der jeweiligen Auslastung in Prozent. Darüber hinaus sind die frachtbezogenen Einwohnerwerte mit zugehöriger Auslastung über den Gesamtzeitraum dargestellt. Insgesamt konnte die geplante organische Nominalauslastung aber nicht erreicht werden. Mit Auslastungsgraden um die 80 % konnten jedoch zufriedenstellende Belastungen eingestellt werden.

Tabelle 29: Frachtbezogener Einwohnerwert und Auslastung

Anlagen- gruppe	spez. EW vor dem 23.07.08	Auslas- tung vor dem 23.07.08	spez. EW ab dem 23.07.08 bis zum 27.08.2008 (Beginn Phase 4)	Auslastung ab dem 23.07.08 bis zum 27.08.2008 (Beginn Phase 4)	spez. EW Gesamt- zeitraum	Auslas- tung Gesamt- zeitraum
[E]	[E]	[%]	[E]	[%]	[E]	[%]
4	2,6	65	3,1	78	3,4	86
6	3,6	61	4,4	73	4,9	81
9	4,9	55	6,3	70	7,0	77

Die Anlagen wurden entsprechend der drei separat programmierbaren Beschickungsvarianten in drei Gruppen in Anlehnung an die Herstellerangaben zur Nominalbelastung der eingebauten Anlagen aufgeteilt, bei einigen Gruppen weicht die Einwohnerzahl der Gruppe jedoch von der Angabe der Hersteller ab. Für diese Anlagen ergaben sich folgende Auslastungen:

Aquamatic – STM 5: Laut Zulassung ist diese Anlage für 5 PE ausgelegt. Das ergab eine Auslastung über den Gesamtzeitraum von 68 %.

Klargester – BioDisk BA: Laut Herstellerangaben ist diese Anlage für 5 PE ausgelegt. Das ergab eine Auslastung über den Gesamtzeitraum von 98 %.

PREMIER Tech - Ecoflex®: Laut Herstellerangaben ist diese Anlage für 5 PE ausgelegt. Das ergab eine Auslastung über den Gesamtzeitraum von 98 %.

PREMIER Tech - Ecoflix®: Laut Herstellerangaben ist diese Anlage für 5 PE ausgelegt. Das ergab eine Auslastung über den Gesamtzeitraum von 73 %.

ATB – AQUAmax BASIC: Laut Herstellerangaben ist diese Anlage für 8 PE ausgelegt. Das ergab eine Auslastung über den Gesamtzeitraum von 70 %.

5.2.4 Temperatur

Die Temperatur des zulaufenden Abwassers wurde nicht gemessen. Stattdessen liegen wöchentliche Temperaturmessungen in allen Reaktoren vor (s. Abbildung 39). Der Verlauf der Kurve entspricht weitestgehend der Lufttemperaturkurve (s. Abbildung 40). Der Mittelwert der gemessenen Abwassertemperatur liegt bei ca. 14°C. Die höchste Temperatur (21,5°C) wurde im Juli gemessen. Im Januar sank die Temperatur wegen des ungewöhnlich kalten Winterwetters bis auf 3,3°C ab.

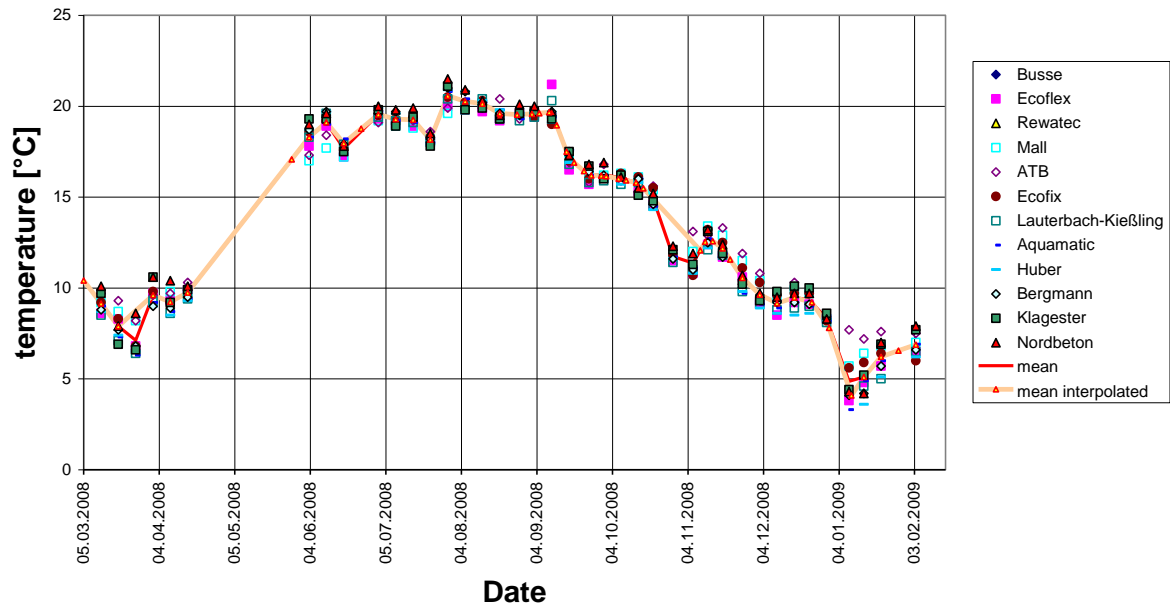


Abbildung 39: Abwassertemperatur

Abbildung 40 zeigt den Lufttemperaturverlauf einer privaten Messstation in Neukirchen, 35 km von der Versuchsanlage entfernt. Für Einflüsse auf die Messergebnisse ist dieser Verlauf hinreichend genau. Die maximalen Lufttemperaturen lagen bei ca. 34°C. Im Januar 2009 wurden Temperaturen unter -20°C gemessen.

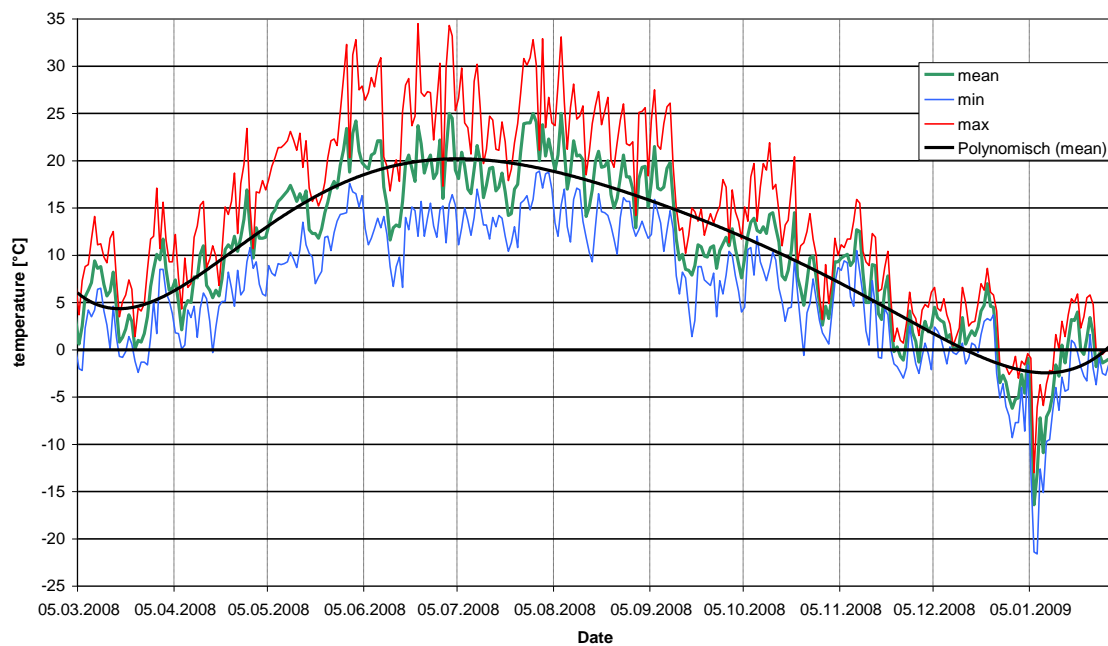


Abbildung 40: Lufttemperaturverlauf "Neukirchen"

Die Verteilung der Abwassertemperaturen (insgesamt 394 Daten) wurde mit der Verteilung einer PIA-Studie (2005) aus den Jahren 2001 bis 2005 (insgesamt 1.248 Daten) verglichen. Die Anteile der beiden Extreme, also der Werte über 20°C und unter 6°C, sind fast identisch. Eine größere Abweichung gibt es bei dem Anteil an Temperaturen zwischen 16 und 20°C (22% bei der PIA-Studie und 42% bei der COMPAS-Studie) und bei dem Anteil an Temperaturen zwischen 11 und 15°C. 33% der Werte in der PIA-Studie lagen in diesem Bereich und hier nur ca. die Hälfte (16%). Insgesamt gab es demnach mehr Abwasserproben in einem höheren Temperaturbereich als bei der Referenzstudie, was auch der Vergleich der Mittelwerte bestätigt. Bei der PIA-Studie ergab sich eine mittlere Temperatur von 12,7°C, die bei den am BDZ durchgeführten Untersuchungen mit ca. 13,7°C etwas höher lag (vgl. Abbildung 41 und Abbildung 42).

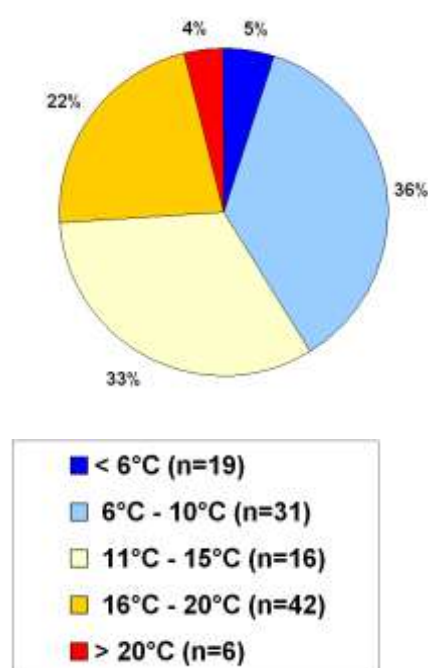


Abbildung 41: Verteilung der Abwassertemperaturen, PIA-Studie (PIA, 2005)

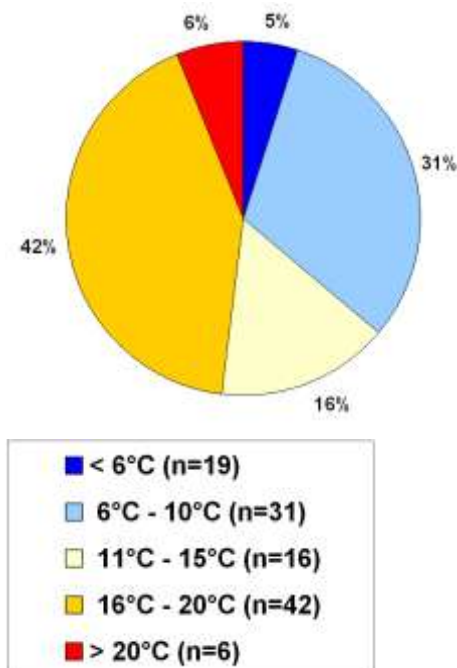


Abbildung 42: Verteilung der Abwassertemperaturen, BDZ

5.2.5 Ölhavarie

Am 11.06.2008 wurde von einem nahe gelegenen Industriegelände ca. 150 L Öl in die Mischkanalisation abgelassen, wovon über einen Teilstrom auch das BDZ-Testfeld betroffen war, das in einer Entfernung von etwa 1 km zur Einleitungsstelle liegt.

Als Sofortmaßnahme wurde der Zulauf bei allen Anlagen von 8:00 bis 18:00 Uhr abgeschaltet. Bei fast allen Anlagen musste mittels Ölbindemittel (Produkt Conex WB1) Öl entfernt werden. Besonders betroffen waren die Vorklärungen. Teilweise wurde der belebte Schlamm neu angeimpft (ATB – AQUA max BASIC). Bei der Membrananlage (BUSSE – MF Typ MF-HKA4) wurde der Schlamm ausgetauscht und die Membran gereinigt. Auch das getauchte Festbett (HUBER - 3K PLUS®) wurde gereinigt. Abbildung 43 zeigt den Ölbindemittel und das Absaugen des Ölbindemittels aus der Vorklärung.



Abbildung 43: Ölhavarie – Ölbindemittel in den Anlagen

Als Maßnahme wurde Phase 3 auf 21 Wochen verlängert, sodass sich bei allen Anlagen wieder stabile Ablaufwerte einstellen konnten.

5.3 Probenahme

5.3.1 Aufbau der Probenahmeverrichtung

Auf dem Testfeld des BDZ wurde eigens zur Durchführung der Studie Compas ein an die bestehenden technischen Bedingungen adaptiertes Probenahmesystem installiert. Das Probenahmesystem sollte die Entnahme einer repräsentativen 24Stunden-Mischprobe (entsprechend DIN 12566-3) für alle Zu- und Abläufe der Demonstrationsanlagen gewährleisten. Der gemeinsame Zulauf aller Anlagen sowie jeder einzelne Ablauf der installierten Kleinkläranlagen wurden mit einem separaten Probenahmesystem ausgerüstet.

5.3.1.1 Zulaufprobenehmer

Die Probenahme des Zulaufes wurde direkt aus der Ringleitung zur Versorgung der Kleinkläranlagen mit Abwasser vorgenommen. Mittels einer Schikane wurde das Abwasser in der „druckentspannten“ Ringleitung ca. 50 mm hoch angestaut und bildete somit ein ständig durchspültes und gut durchmisches Wasserreservoir zur repräsentativen Probenahme (s. Abbildung 44). Die Probenahme erfolgte mit Hilfe des Probenehmers PB8 der Firma WTW mengen- und später ereignisproportional.

Die einwandfreie Funktion dieser Probenentnahmestelle wurde durch Sichtprüfung ermittelt. Die Übereinstimmung der Analysenwerte an der Zulaufprobenahmestelle und am Hauptzulaufschacht wurde durch wiederholte vergleichende Analysen evaluiert und die Protokolle dem Auftraggeber übergeben (vgl. Kapitel 5.3.5).

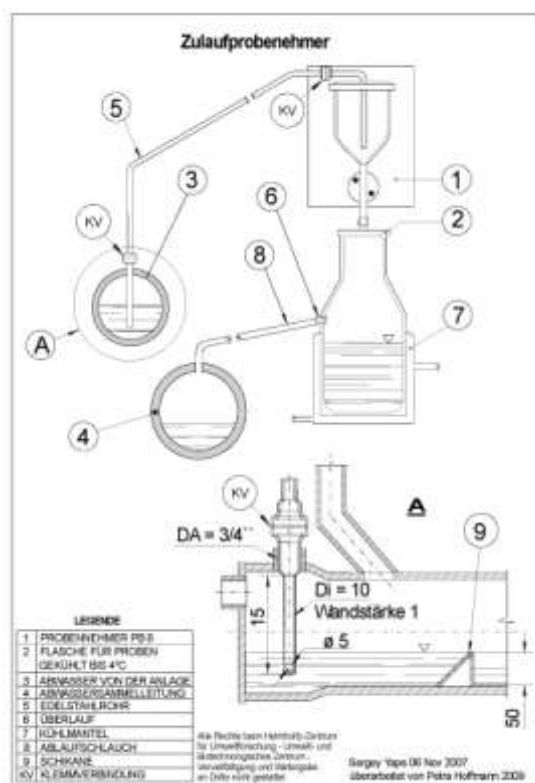


Abbildung 44: Zulaufprobenehmer am BDZ

5.3.1.2 Ablaufprobenehmer

Im Ablaufrohr der Kläranlagen (4) wurde ein Probenahmestutzen mit kreuzweise 5 mm großen Bohröffnungen angebracht. Für die Zeit der Probenahme wurde über einen Kugelhahn (A) ein Teilstrom (20% des Gesamtvolumenstroms) in die Vorlageflasche (3) perkoliert (*durchgeseiht*). Die 2-L-Vorlageflasche diente als Puffer und wurde kontinuierlich mit dem ablaufenden gereinigten Abwasser durchströmt. Mit Hilfe des Probennehmers PB8 der Firma WTW (1) wurden der Pufferflasche zeit- bzw. mengenproportionale Proben entnommen und über einem Zeitraum von 24 Stunden in einer Probenflasche (2) gesammelt. Die Vorlageflasche und die Probenflasche wurden mit Hilfe einer Kälteanlage der Firma REIMA auf 4°C gekühlt (8).

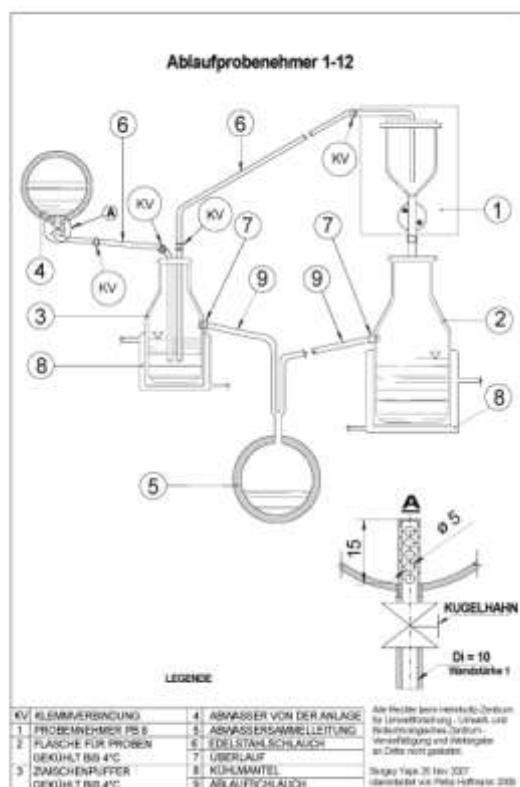


Abbildung 45: Ablaufprobenehmer am BDZ

5.3.2 Beprobungsregime Zulauf

Der Zulaufprobenehmer war ab der Versuchsphase 4 mit einer SPS verbunden, welche die Dosierschieber zur Beschickung der Anlagen mit Schmutzwasser steuert. Somit erfolgte bei jedem Dosiervorgang zur Referenz-Kläranlage (5.7 PREMIER TECH - Ecoflex™) jeweils eine Probenahme am Zulauf (s. Abbildung 46).

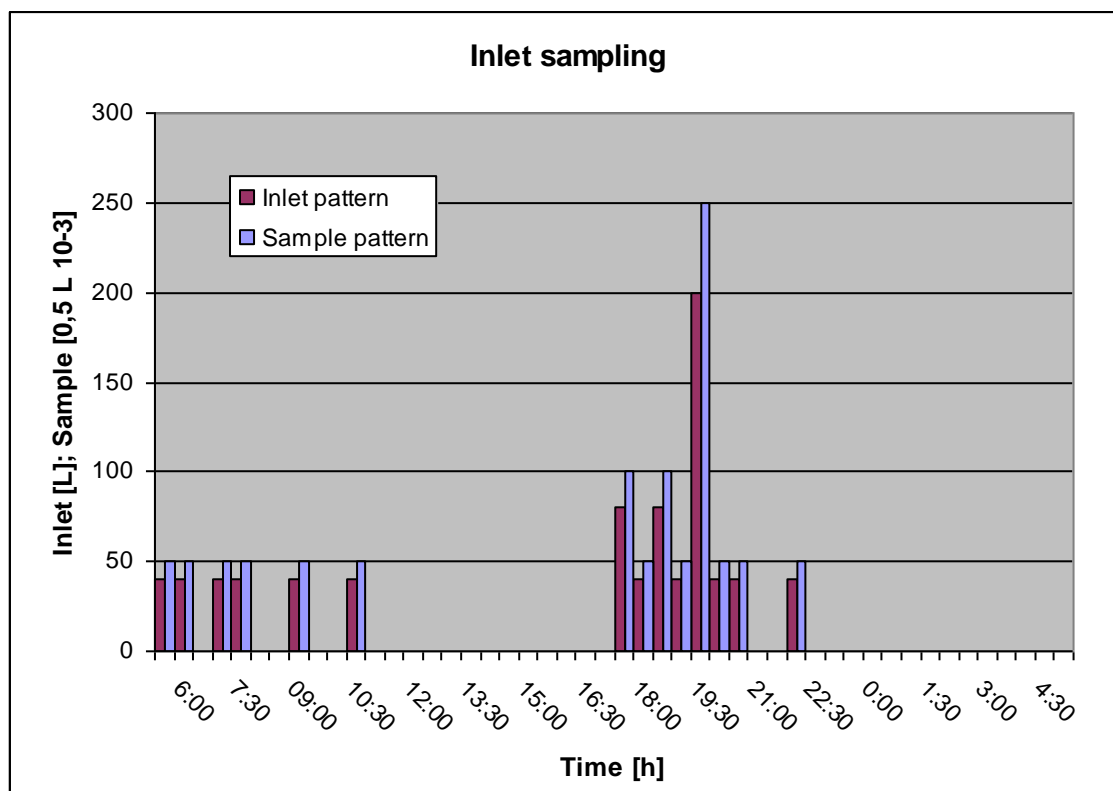


Abbildung 46: Beprobungsmuster der Zulaufprobe ab Versuchshase 4

5.3.3 Beprobungsregime Ablauf

Aufgrund der technischen Gegebenheiten am BDZ und des unterschiedlichen Entwässerungsverhaltens der verschiedenen Kleinkläranlagen war ein einheitliches Probenahmeregime für alle Abläufe nicht realisierbar.

Abhängig vom Ablaufverhalten wurden die Anlagen in zwei Gruppen eingeteilt. Anlagen, welche ihr gereinigtes Abwasser nur dann entwässern, wenn frisches Schmutzwasser zufließt und Anlagen, welche abhängig von einer internen Steuerung entwässern.

Die Kleinkläranlagen mit einer kontinuierlichen Entwässerung wurden während der ersten beiden Versuchsphasen zeitproportional und ab Versuchsphase 3 mengenproportional (mit einer so genannten 4-Phasen Beprobung) beprobt. Bei den Anlagen mit diskontinuierlichem Ablaufverhalten erfolgte eine zeitproportionale Beprobung. Alle Ablaufproben wurden als 24-Stunden-Mischproben entnommen.

Die Probenahme des Zulaufes erfolgte zuerst ebenfalls durch eine 4-Phasen Beprobung und ab der Versuchsphase 4 als mengenproportionale, ereignisabhängige 24 Stunden-Mischprobe.

Eine Anlagenübersicht mit dem dazugehörigen Beprobungsregime ist in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30: Beprobungsregime der einzelnen Anlagen

Hersteller	Anlage	Ablauf	Beprobung
Aquamatic GmbH&Co. KG	STM 5	kontinuierlich	mengenproportional
Martin Bergmann Umwelttechnik	BIO- WSB [®] -N	kontinuierlich	mengenproportional
Klargester Environmental Ltd	Klargester BioDisk BA	kontinuierlich	mengenproportional
Nordbeton GmbH	Biofilter KP253 PAL (PAB)	kontinuierlich	mengenproportional
PREMIER TECH LTEE	Textile Biofilter Ecoflex TM	diskontinuierlich	zeitproportional
HUBER DeWaTec GmbH	HUBER 3K PLUS [®]	kontinuierlich	mengenproportional
Lauterbach-Kießling GmbH	Lauterbach BKF 4 DN2000 Z1	diskontinuierlich (Pumpenschacht)	zeitproportional
UFZ	Typ UFZ C+H 4 E	kontinuierlich	mengenproportional
PREMIER TECH LTEE	Ecofix [®] Biofilter type STB 500	diskontinuierlich (Pumpenschacht)	zeitproportional
BUSSE IS GmbH	BUSSE MF type MF- HKA4	diskontinuierlich	zeitproportional
ATB Umwelttechnologien GmbH	AQAU max BASIC	diskontinuierlich	zeitproportional
Mall Umweltsysteme GmbH	SanoClean XL 4 EW H20	diskontinuierlich	zeitproportional
Zulauf	-	-	ereignisabhängig

5.3.3.1 Mengenproportionale Beprobung

Die Beprobung der Kläranlagenabläufe mit kontinuierlichem Ablauf wurden ab der Versuchsphase 3 durch eine 4-Phasen-Probenahme (in Anlehnung an eine mengenproportionale Beprobung) realisiert.

Die Zeiten und die Menge der Probenahme richteten sich nach den Perioden des Gesamttageszufusses des Schmutzwassers (s. Tabelle 25).

Zur Realisierung der mengenproportionalen Beprobung wurden die 24-h-Probenahme in vier Phasen unterteilt (s. Tabelle 31).

Tabelle 31: Probenahme für Ereignisbeprobung (4-Phasen-Beprobung)

Phase	Uhrzeit	Probenvolumen/ Zeit
Phase 1	06:00 – 12:30 Uhr	50 ml/ 30 min
Phase 2	12:30 – 18:00 Uhr	keine Beprobung
Phase 3	18:00 – 23:30 Uhr	50 ml/ 10 min
Phase 4	23:30 – 06:00 Uhr	keine Beprobung

Das Verhältnis der Beschickungsmenge von Phase 1 zu Phase 3 betrug im Tagesgang 0,43. Das Verhältnis der entnommenen Probemenge von Phase 1 zu Phase 3 betrug

0,41. Somit war mit dem in Tabelle 31 dargestellten Probenregime eine mengenproportionale Beprobung der kontinuierlichen Abläufe gewährleistet.

Wie in Abbildung 47 dargestellt, erfolgte während der Phase 1 alle 30 min eine Proben- dosierung von 50 ml Probe. Diese Beprobungsphase dauerte 6,5 Stunden und somit 30 min länger als die ersten beiden Beschickungsphasen des Gesamttageszuflusses. Diese zusätzliche Zeit wurde gewählt, um die eventuell auftretenden zeitlichen Verzögerungen der Abläufe der einzelnen Anlagen zu erfassen.

Danach folgte eine 5,5 stündige Pause in welcher die Anlagen nicht beschickt und somit auch nicht beprobt wurden. In Phase 3 wurde die Probendosierung auf 50 ml pro 10 Minuten erhöht, da in dieser Phase die Anlagen mit 40% und 15% der Gesamttageslast beschickt wurden. Während Phase 4 erfolgte wiederum keine Beprobung der Kläranlagenabläufe.

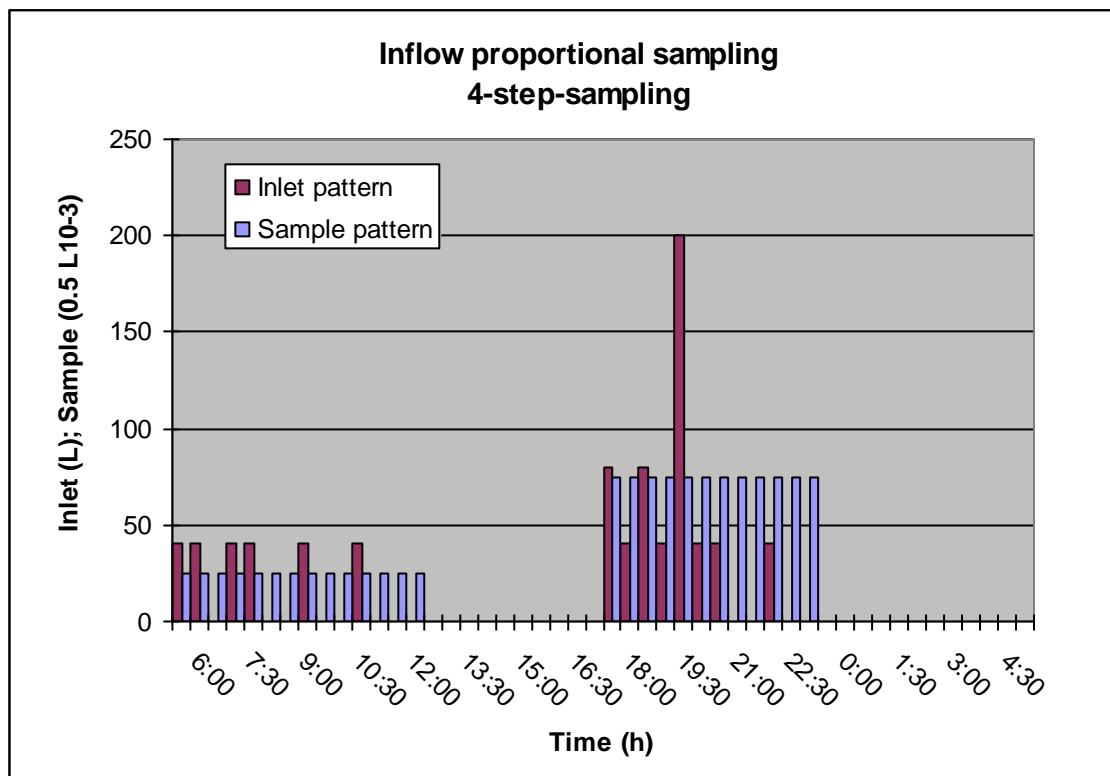


Abbildung 47: Beprobungsmuster zur 4-Phasen Beprobung

5.3.3.2 Zeitproportionale Beprobung

Bei den Kleinkläranlagen mit interner Entwässerungssteuerung erfolgte eine zeitproportionale Beprobung aus den Vorlageflaschen. Ebenso bei den Anlagen, welche verfahrensbedingt über einen Pumpenschacht mit Tauchpumpe entwässert wurden. Da die Anlagen zu jeweils unterschiedlichen bzw. unbekanntenen Zeitpunkten entwässerten, wurde fortlaufend über 24 Stunden alle 30 min jeweils 50 ml Ablaufwasserprobe aus der Vorlageflasche, die ständig von Ablaufwasser durchspült wurde, entnommen und in einer gekühlten Probenflasche gesammelt (s. Abbildung 48).

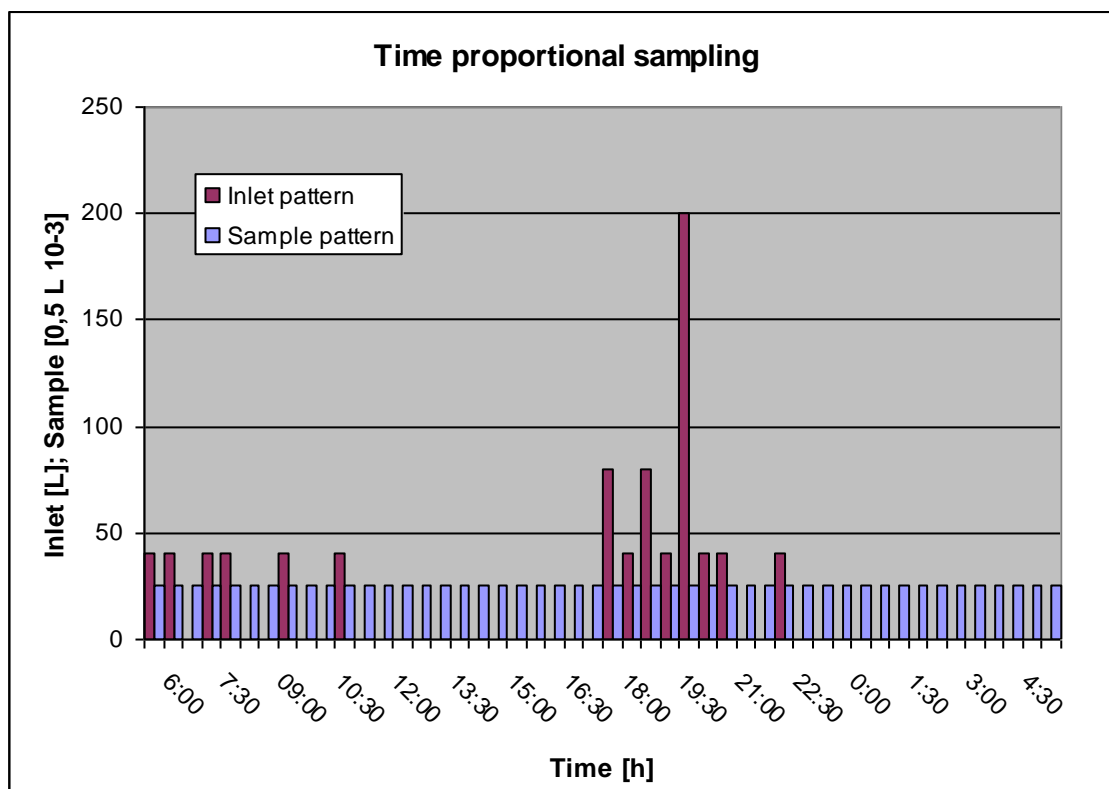


Abbildung 48: Beprobungsmuster zur zeitproportionalen Beprobung

5.3.4 Probenahmeverfahren

Die Beprobung der Abläufe und des Zulaufes erfolgte am Probenahmetag um 6.00 Uhr mit Beginn der Beschickung der Anlagen und endete um 6.00 Uhr des darauf folgenden Tages. Die 24-h-Mischproben wurden während der Probenahme auf 4°C gekühlt. Zur Analytik aller physiko-chemischen Parameter waren ca. 2 Liter Probemenge erforderlich. In der gesammelten Probe wurde direkt nach der Probenahme das Redoxpotential vermessen. Danach wurde die Probe durch mehrmaliges leichtes Schütteln homogenisiert und in den Probentransportbehälter überführt. Nach dem Vermessen der Leitfähigkeit und des pH-Wertes im Labor am BDZ erfolgte umgehend der Transport der Proben ins Analysenlabor, wo sie sofort aufbereitet und analysiert wurden. Die Probenahmeflaschen und die Vorlageflaschen der Probenahmeverrichtung wurden danach für die nächste Probenahme vollständig gereinigt.

5.3.5 Verifizierung der Zulaufprobenahme

Zu Anfang des Versuchsprogramms musste die Zulaufprobenahme verifiziert werden. Unplausible Messwerte führten zu einer genaueren Untersuchung der Probenahmestelle. Dazu wurden Messreihen von drei möglichen Entnahmestellen verglichen (s. Abbildung 49):

- Entnahmestelle A: Pumpenschacht (Zulauf)
- Entnahmestelle B: Ringleitung (Zulauf)
- Entnahmestelle C: Ablaufschacht der Ringleitung

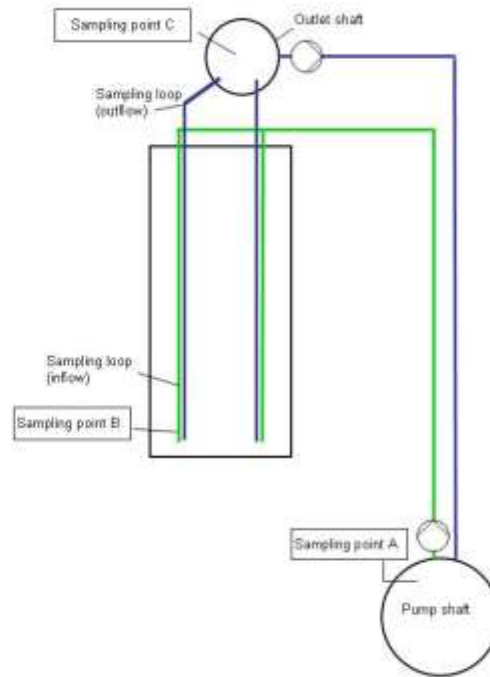


Abbildung 49: Schema der Zulaufprobenahmestellen

Hingegen der Vermutung, dass die Proben aus dem Zulaufpumpenschacht (Entnahmestelle A) durch den Rücklauf des gereinigten Abwassers aus dem Ablaufschacht (Entnahmestelle C) geringere Konzentrationen aufweisen würden, erwiesen sich die Konzentrationen hier oftmals höher (vgl. Tabelle 32). Eventuell ist eine unzureichende Homogenisierung dafür verantwortlich.

Tabelle 32: COD-Werte von 24-h-Mischproben des Zulaufs aus drei verschiedenen Entnahmestellen

Date	Inflow (pump shaft)		Entrance of sampling loop		Outlet of sampling loop		Weather data
	Sampling point A		Sampling point B		Sampling point C		
	COD	SS	COD	SS	COD	SS	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
23.04.2008	249	230	171	130			dry
24.04.2008	267	160	221	210			dry
28.04.2008	395	230	225	160	253	200	dry/ Rain
29.04.2008	145	150	206	210			Rain
13.04.2008	271	200	256	200	285	200	dry
14.04.2008	256	220	177	110	220	200	dry
15.04.2008	241	190	241	290	207	130	dry
mean	264	197	214	187	241	183	

In der Ringleitung wird eine bessere Homogenisierung erreicht als im Pumpenschacht, weshalb auch diese Entnahmestelle für die repräsentative Beprobung des Zulaufs ausgewählt wurde.

5.4 Analytik / Untersuchungsparameter

5.4.1 Chemisch/physikalische Analyseparameter

Die Kläranlagenabläufe und ein Zulauf wurden zur Bestimmung der Chemisch/physikalischen Parameter meistens wöchentlich beprobt. Folgende Parameter wurden mit den in Tabelle 33 aufgeführten Methoden untersucht.

Tabelle 33: Chemisch/physikalische Parameter - Analysemethoden

Parameter	Verfahren/ Methodik
COD	DIN 38409/H41
BOD ₅	EN 1899-1
SS	EN 872
P _{tot}	EN ISO 6878
NH ₄ -N	EN ISO 11732
NO ₃ -N	EN ISO 10304-2
NO ₂ -N	EN ISO 10304-2
N _{tot}	TN _b gesamt gebundener Stickstoff nach DIN 38409 Teil 27
pH	mit pH-Meter pH 340 (WTW, Weilheim)
Redox	Mit pH-Meter pH 340i und Elektrode SenTix ORP 103 648 (WTW, Weilheim)
conductivity	mit Microprozessor Conductivity Meter LF 340 (WTW, Weilheim)

5.4.2 Mikrobiologische Analysenparameter

Die Probennahme für die mikrobiologische Analyse erfolgte in einer begrenzten Messkampagne mit insgesamt 3 Proben an den Tagen 1.12, 2.12, und 3.12.2008. Folgende Parameter wurden mit den in Tabelle 34 aufgeführten Methoden untersucht.

Tabelle 34: Mikrobiologische Parameter - Analysemethoden

Parameter	Verfahren/ Methodik
Gesamtcoliforme Bakterien	ISO 9308-2 (MPN-Verfahren)
Fäkalcoliforme Bakterien (E.coli)	ISO 9308-2 (MPN-Verfahren)
Intestinale Enterokokken	EN ISO 7899-1 (MPN-Verfahren)
Salmonellen	In Anlehnung an ISO 6340:1995 (modif. MPN-Verfahren)
Intestinale Nematoden	Modif. Bailinger-Methode

5.4.3 Analysenprotokolle

Die Analyse-Daten wurden auf der Basis der Originalprotokolle in eine Excel-Datei eingepflegt.

5.4.4 Umgang mit Analysegrenzen

Da bei der Bestimmung der Parameter in einigen Fällen Analysegrenzwerte unterschritten wurden, sind diese Werte zur statistischen und grafischen Auswertungen zu Null angenommen. Ausschließlich bei der statistischen Auswertung der Minima wurden diese Werte nachträglich durch die Grenzwerte ersetzt (z.B. < 3 mg/L). Tabelle 35 zeigt die Analysegrenzen für verschiedene Parameter.

Tabelle 35: Analysegrenzen für BOD₅, SS und NH₄-N

BOD ₅	Messungen < 3mg/L wird mit 0 angenommen
SS	Messungen < 1mg/L wird mit 0 angenommen
NH ₄ -N	Messungen < 0,5mg/L wird mit 0 angenommen

Kapitel 6

Ergebnisübersicht

Dieses Kapitel soll einen Kurzüberblick der Ergebnisse des gesamten Versuchablaufs aller Anlagen geben mit vergleichenden orientierenden Aussagen zum Verhalten der unterschiedlichen „Anlagentypen“ (sessile, suspendierte Biomasse, Biofilter, Membran). Eine detaillierte Beschreibung der gewonnenen Resultate und entsprechende Erläuterungen zum Verhalten jeder einzelnen Anlage erfolgt dann in Kapitel 7.

6.1 Reinigungsleistung

6.1.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung (Tabelle 36) der gesamten Laufzeit zeigt die mittleren Zu- und Ablaufkonzentrationen aller Anlagen gestaffelt nach den Versuchsabschnitten. Aufgeführt werden die Parameter COD und SS. Die Anzahl der Proben belief sich bei fast allen Anlagen auf 50.

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Der COD im Zulauf lag im Mittel bei 456 mg/L. Das Maximum betrug 830 mg/L und das Minimum 180 mg/L. Die Ablaufwerte im Gesamtzeitraum aller Anlagen lagen zwischen 14 mg/L (Minimum) und 741 mg/L (Maximum). Die Mittelwerte bewegten sich in einer Spanne von 34 und 196 mg/L. Im Vergleich dazu lag die COD-Ablaufkonzentration gemäß des jährlich durchgeführten Leistungsvergleichs der DWA in deutschen Kläranlagen der Größenklasse I bis V im Jahr 2007 im Mittel bei 28 mg/L (DWA, 2008), was auf eine deutlich bessere Reinigungsleistung von Großkläranlagen hinweist. Mit Ausnahme von zwei Anlagen wurde sowohl der deutsche als auch der „französische Überwachungswert“ von 150 mg/L bzw. 125 mg/L im Mittel unterschritten.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Der BOD₅ im Zulauf lag im Mittel bei 207 mg/L. Das Maximum betrug 301 mg/L und das Minimum 78 mg/L. Die Ablaufwerte im Gesamtzeitraum aller Anlagen lagen zwischen < 3 mg/L (Minimum) und 424 mg/L (Maximum). Die Mittelwerte bewegten sich in einer Spanne von 3 und 64 mg/L. Im Vergleich dazu lag die BOD₅- Ablaufkonzentration in Deutschland von Kläranlagen der Größenklasse I bis V 2007 im Mittel bei 4,1 mg/L (DWA, 2008). Der deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde von zwei Anlagen im Mittel überschritten. Vier Anlagen lagen im Mittel über dem „französischen Überwachungswert“ von 25 mg/L.

Ammonium (NH₄-N)

Die Ammoniumkonzentration im Zulauf lag im Mittel bei 35,1 mg/L. Das Maximum betrug 54,5 mg/L und das Minimum 11,6 mg/L. Die Ablaufwerte im Gesamtzeitraum aller Anlagen lagen zwischen < 0,5 mg/L (Minimum) und 49,9 mg/L (Maximum). Die Mittelwerte bewegten sich in einer Spanne von 8,1 und 23,7. Im Vergleich dazu lag die NH₄-N- Ablaufkonzentration in Deutschland von Kläranlagen der Größenklasse I bis V 2007 im Mittel bei 1,18 mg/L (DWA, 2008). Zwei Anlagen mit sessiler Biomasse erreichten Ammoniumwerte < 10 mg/L (Nitrifikation).

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Die abfiltrierbaren Stoffe im Zulauf lagen im Mittel bei 269 mg/L. Das Maximum betrug 730 mg/L und das Minimum 120 mg/L. Die Ablaufwerte im Gesamtzeitraum aller Anlagen lagen zwischen < 1 mg/L (Minimum) und 1.100 mg/L (Maximum). Die Mittelwerte bewegten sich in einer Spanne von 5 und 117 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde von zwei Anlagen überschritten. In Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Tabelle 36: Statistische Auswertung, mittlere Ablaufwerte der einzelnen Versuchsschnitte

Anlagen	mittlere Ablaufwerte									
	Normal-Belastung (16°C Sommer)		200% hydraulische Belastung		50% hydraulische Belastung		Stromausfall		Normal-Belastung (10°C Winter)	
	CSB	AFS	CSB	AFS	CSB	AFS	CSB	AFS	CSB	AFS
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
mittlere Zulaufwerte	429	264	447	247	580	390	343	190	471,5	270
Grenzwerte	150¹⁾	35²⁾	150¹⁾	35²⁾	150¹⁾	35²⁾	150¹⁾	35²⁾	150¹⁾	35²⁾
Aquatic – STM 5	79	35	475	322	254	179	186	96	244	78
ATB – AQUA max BASIC ^{**) ***)}	79	36	204	97	27	5	475	373	35	8
Bergmann – BIO-WSB ^{®)} -N	42	10	68	23	39	8	88	31	62	21
Busse – MF Typ MF-HKA4	23	2	164	59	76	29	43	9	129	54
HUBER - 3K PLUS ^{®)}	42	8	81	20	48	8	81	23	63	11
Klargester – BioDisk BA	70	17	96	35	48	8	102	33	75	22
Lauterbach-Kießling – BKF 4	48	9	57	9	50	13	127	39	57	13
Mall – SanoClean XL	48	10	103	35	83	35	91	24	61	14
Nordbeton – Biofilter KP253 PAL	60	13	135	46	55	11	119	31	98	28
PREMIER TECH – Ecofix Typ STB 500	52	11	56	9	58	16	77	20	57	13
PREMIER TECH – EcoflexTM ^{®)} ***)	44	8	-	-	49	11	41	7	38	5
UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E	37	6	29	3	31	5	40	4	30	4

¹⁾ konnte verfahrensbedingt nicht während der Hochleistungsphase geprüft werden

²⁾ wurde während der 200%-Phase auf 4 E umgestellt

³⁾ Anlage war auf die Spitzenwassermenge nicht ausgelegt

¹⁾ Deutscher Grenzwert gem. AbwV

²⁾ Französischer Grenzwert gem. "arrêté du 22/6/2007"

6.1.2 Ganglinien

Die Ganglinien der 12 Anlagen wurden zugunsten der Übersichtlichkeit auf zwei Abbildungen aufgeteilt. Jeweils die erste Abbildung beinhaltet die Werte des Zuflusses und die Ablaufwerte folgender Anlagen:

1. Aquamatic – STM 5
2. Bergmann – BIO-WSB[®]-N
3. Klargestar – BioDisk BA
4. Nordbeton – Biofilter KP253 PAL
5. PREMIER TECH – Ecoflex[™]
6. HUBER - 3K PLUS[®]

Die jeweils zweite Abbildung beinhaltet die Werte des Zuflusses und die Ablaufwerte folgender Anlagen:

7. Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1
8. UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4 E
9. PREMIER TECH – Ecofix[®] Typ STB 500
10. Busse – MF Typ MF-HKA4
11. ATB – AQUA max BASIC
12. Mall – SanoClean XL

6.1.2.1 Chemischer und biochemischer Sauerstoffbedarf (COD, BOD₅)

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter der organischen Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchzeitraums analysiert. Die BOD₅-Ganglinien haben einen ähnlichen Verlauf. Der chemische Sauerstoffbedarf schwankte im Zulauf von 180 mg/L bis knapp über 830 mg/L. Der Ablauf der meisten Anlagen lag in weiten Teilen der Testablaufes unter 100 mg/L. Erhöhungen, wenn auch zum Teil verzögert, wurden bei allen Anlagen wegen der Ölhavarie festgestellt. Dennoch lagen zu dieser Zeit die Werte bis auf eine Ausnahme unter 150 mg/L. Spätestens 14 Tage nach der Ölhavarie erreichten alle Anlagen wieder das Ausgangsniveau der Ablaufwerte. Ab Phase 4 konnte bei nahezu allen Anlagen ein Anstieg der Ablaufwerte bedingt durch die verstärkte hydraulische Belastung verzeichnet werden, der jedoch unterschiedlich stark ausfiel. Drei Anlagen haben bereits hier die Marke von 150 mg/L überschritten (suspendierte Biomasse, Tropfkörper). Bei 200 % hydraulischer Belastung (Phase 5) kam es bei vier Anlagen (suspendierte Biomasse, Tropfkörper, kombiniertes Verfahren) zu Ablaufspitzen, die weit über 150 mg/L und teilweise sogar über den Zulaufkonzentrationen lagen. Das Ecoflex-System war in diesem Abschnitt funktionsuntüchtig. Bei den übrigen Anlagen stellten sich auch erhöhte COD-Abläufe ein (Mittelwerte zwischen 28,6 bis 102,9 mg/L). Nach Phase 6 (keine Belastung) erreichten fast alle Anlagen wieder stabile Werte. Direkt nach Wiederinbetriebnahme traten COD-Peaks vorzugsweise bei suspendierter Biomasse auf, die in Kapitel 7 näher erläutert werden. In der vierwöchigen 50 % Unterlastphase lagen bei fast allen Anlagen die Abläufe unter 100 mg COD/L. Lediglich bei zwei Anlagen traten erhöhte Werte (suspendierte Biomasse, Tropfkörper) auf. Bei den simulierten Stromausfällen in Phase 10 erhöhten sich die Werte aller Anlagen. Dies könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde.

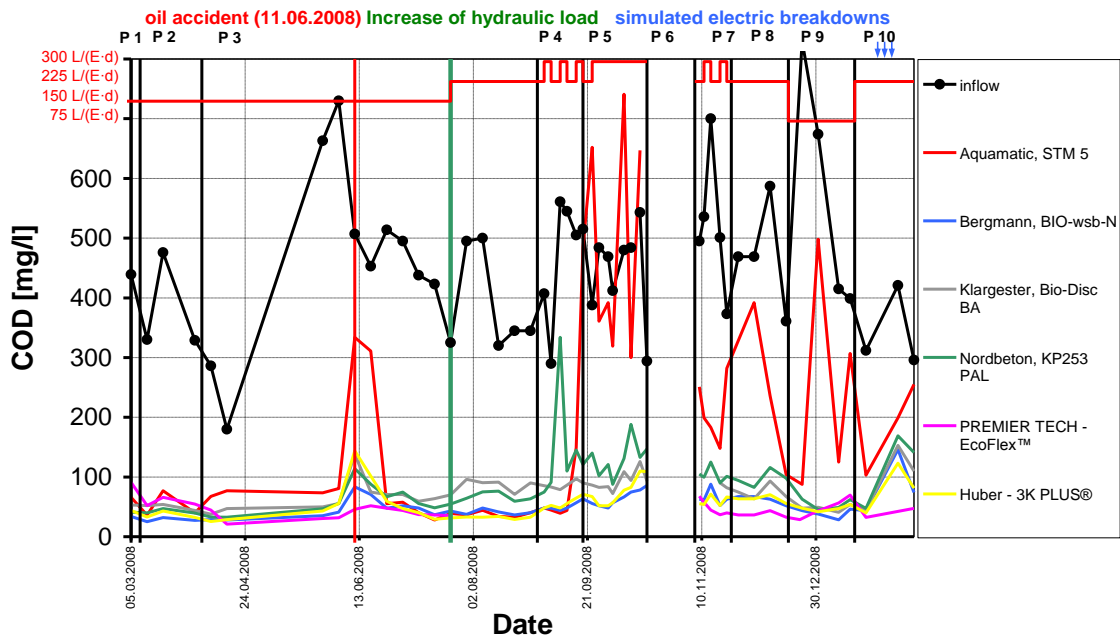


Abbildung 50: Ganglinien COD Anlagen 1-6

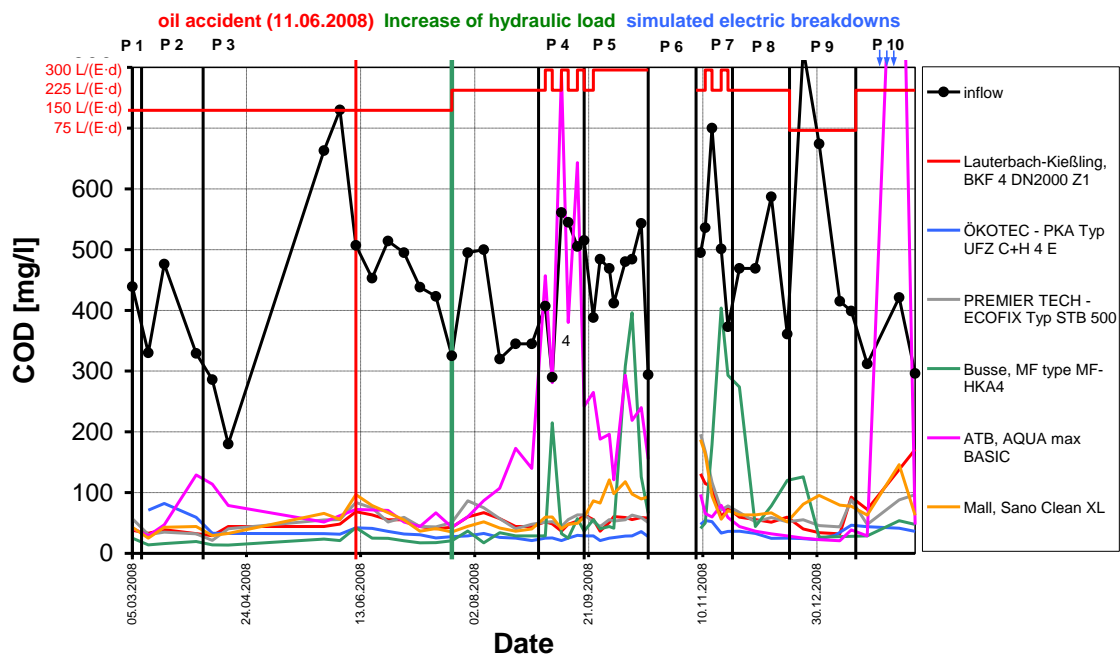


Abbildung 51: Ganglinien COD Anlagen 7-12

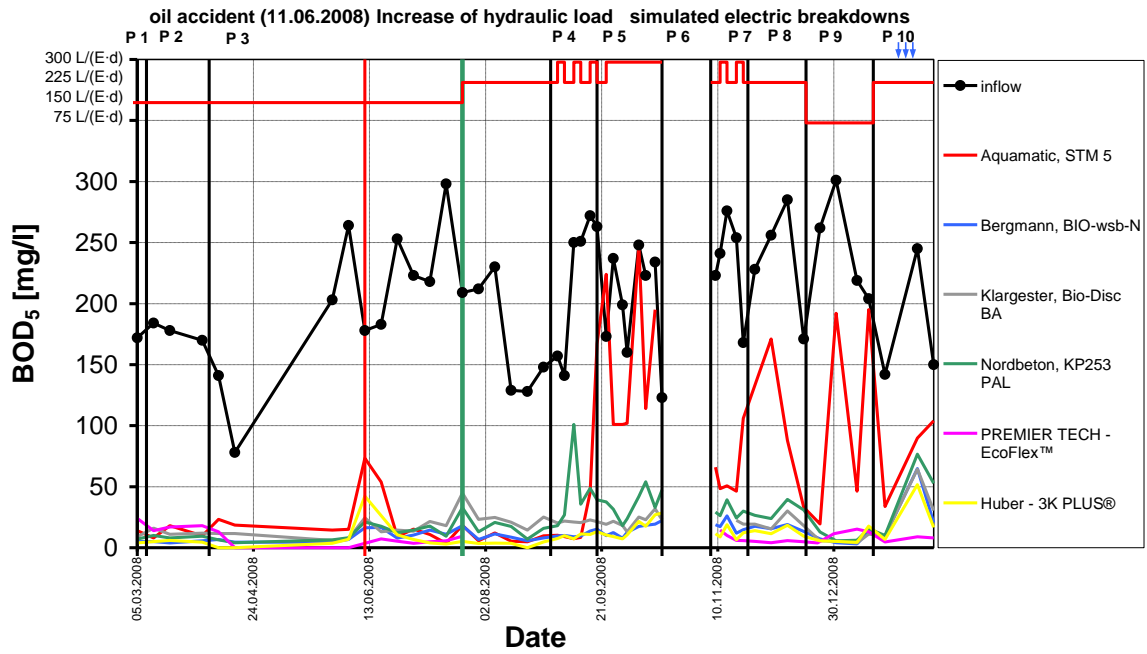


Abbildung 52: Ganglinien BOD₅ Anlagen 1-6

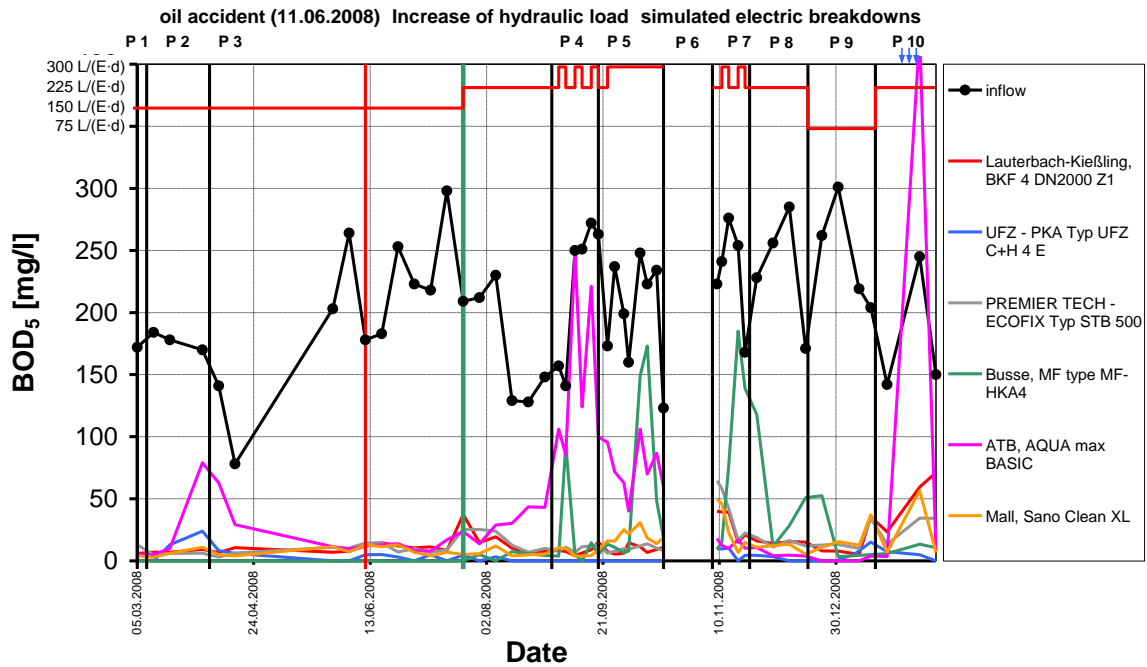


Abbildung 53: Ganglinien BOD₅ Anlagen 7-12

Ammonium (NH₄-N)

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Die Konzentration des Ammoniums variierte im Zulauf von 11,6 mg/L bis 54,5 mg/L. Der Ablauf der einzelnen Anlagen zeigte starke Schwankungen über die verschiedenen Phasen und sehr große Abweichungen zwischen den einzelnen Anlagen, wobei eine Erhöhung im Bereich des Öl-Störfalles bei vielen Anlagen zu beobachten war. Während der hydraulischen Nominalbelastung (Phase I bis IV) kam es bei dem überwiegenden Teil der Anlagen auch bei Temperaturen unter 6,3°C zur Nitrifikation. Mit der zusätzlichen Belastung stiegen auch die Ablaufwerte an. Lediglich bei der Pflanzenkläranlage konnte die Nitrifikation aufrecht erhalten werden. Durch die Reduzierung der Last ab Phase 8 sanken die Ablaufwerte trotz niedriger Temperaturen (< 9°C) wieder. Durch die Erhöhung der Zulaufkonzentrationen am Ende der Phase 9 und die sehr geringen Abwassertemperaturen (< 4°C) stiegen die Ablaufkonzentrationen wieder an, teilweise bis zum Zusammenbruch der Nitrifikation. Die Stromausfälle in Phase 10 verschlechterten die Situation für alle Anlagen.

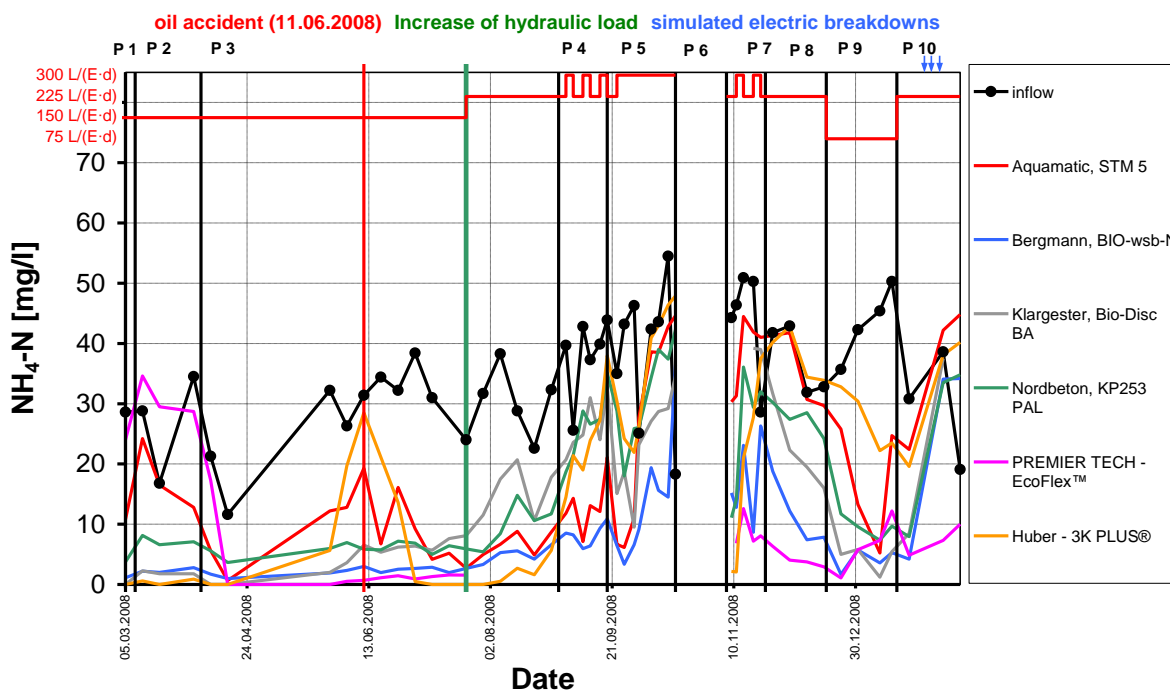


Abbildung 54: Ganglinien NH₄-N Anlagen 1-6

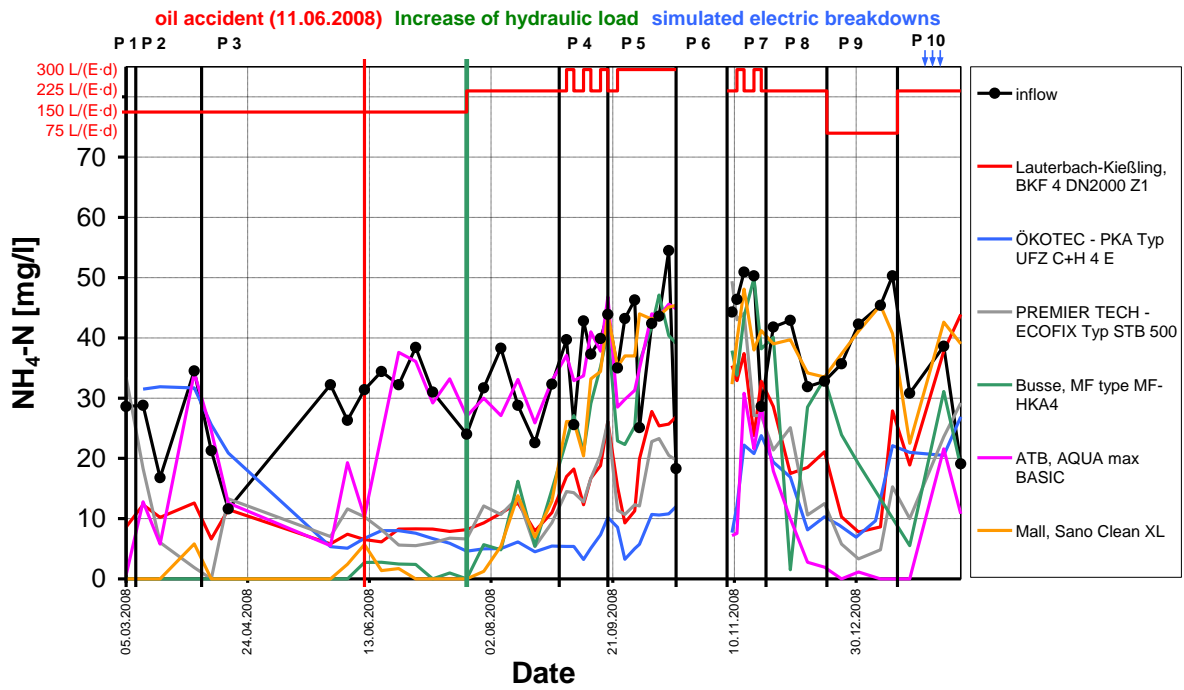


Abbildung 55: Ganglinien NH₄-N Anlagen 7-12

6.1.2.2 Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe schwankte im Zulauf von knapp 120 mg/L bis 730 mg/L. Der Ablauf lag in weiten Teilen der Testablaufes und der meisten Anlagen unter 50 mg/L, wobei es sehr leichte Erhöhungen im Bereich des Öl-Störfalles gab. Außerdem gab es noch erhöhte Ablaufkonzentrationen in Phase 4 und 5 (Überlast) durch teilweisen Schlammabtrieb (suspendierte Biomasse und kombiniertes Verfahren) und 10 (simulierte Stromausfälle), die vorwiegend bei suspendierter Biomasse auftraten. Auch der Tropfkörper zeigte erhöhten Feststoffabtrieb. Insgesamt verlaufen die Ablaufganglinien nahezu parallel zu den COD-Ganglinien.

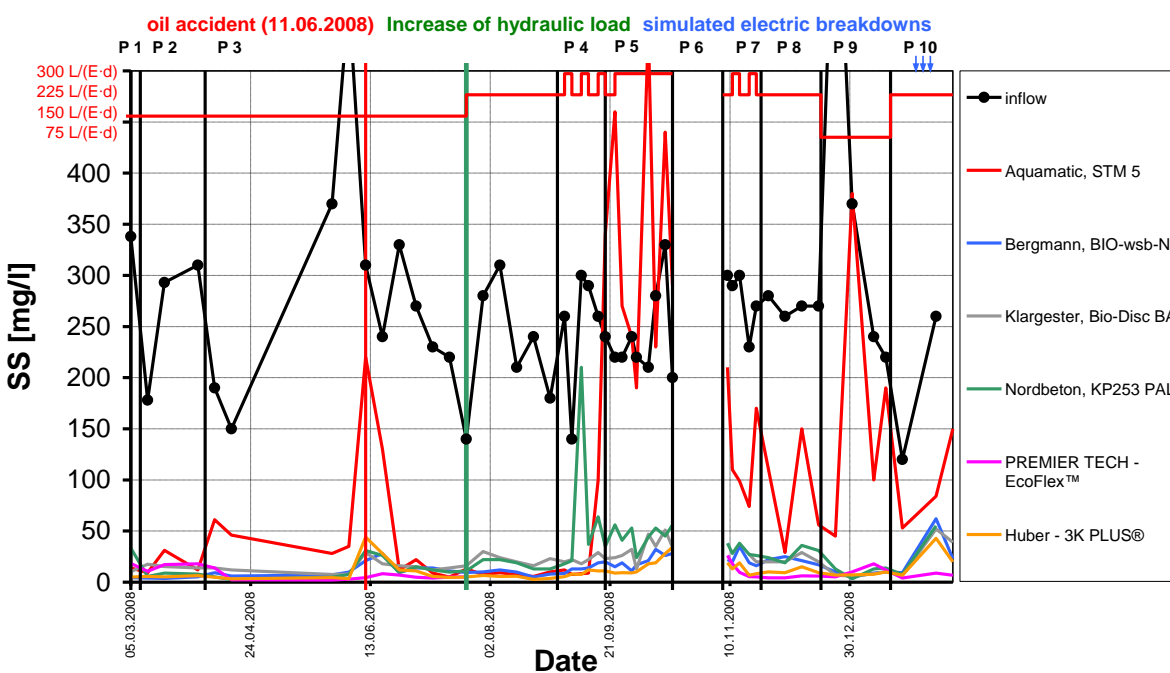


Abbildung 56: Ganglinien SS Anlagen 1 - 6

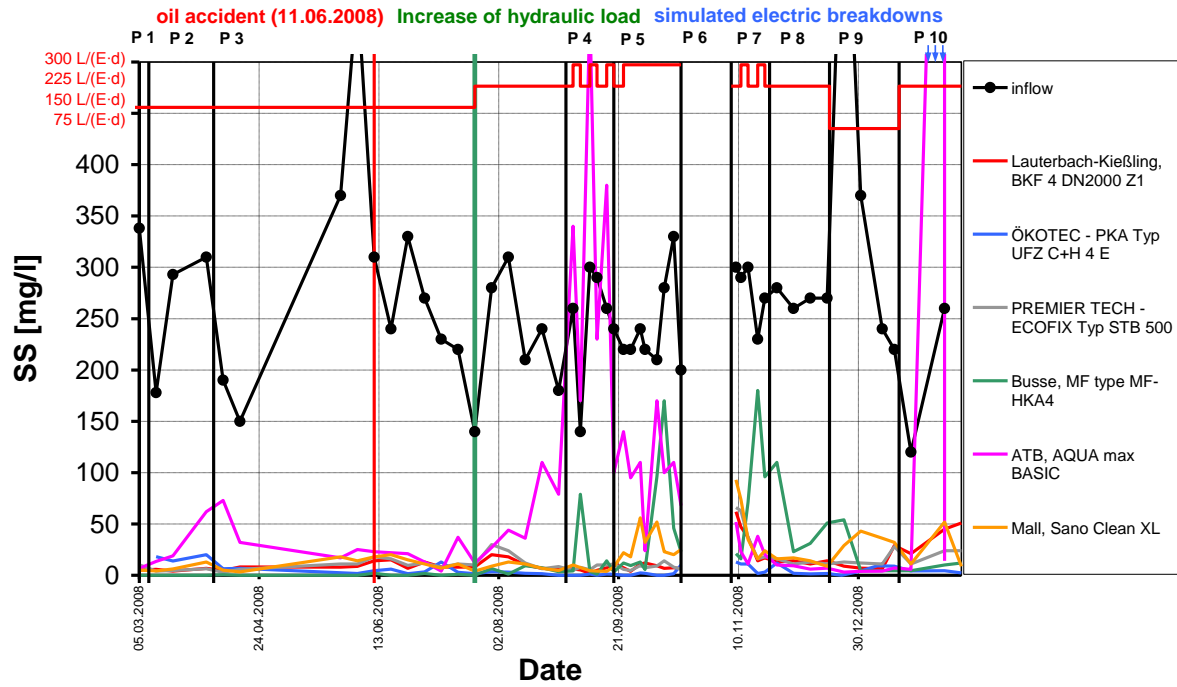


Abbildung 57: Ganglinien SS Anlagen 7 – 12

6.1.2.3 Phosphor

Die Konzentration des Gesamtposphors schwankte im Zulauf von 2,8 mg/L bis 10,2 mg/L. Der Ablauf lag in weiten Teilen der Testablaufes unter 10 mg/L und pendelte um den Wert 5 mg/L. Der Verlauf der Ablaufkonzentrationen ist meist parallel zu den Zulaufkonzentrationen, allerdings mit einer zeitlichen Verzögerung. Erhöhte P-Ablaufwerte traten gleichzeitig mit erhöhten SS-Werten auf, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgebracht wurde.

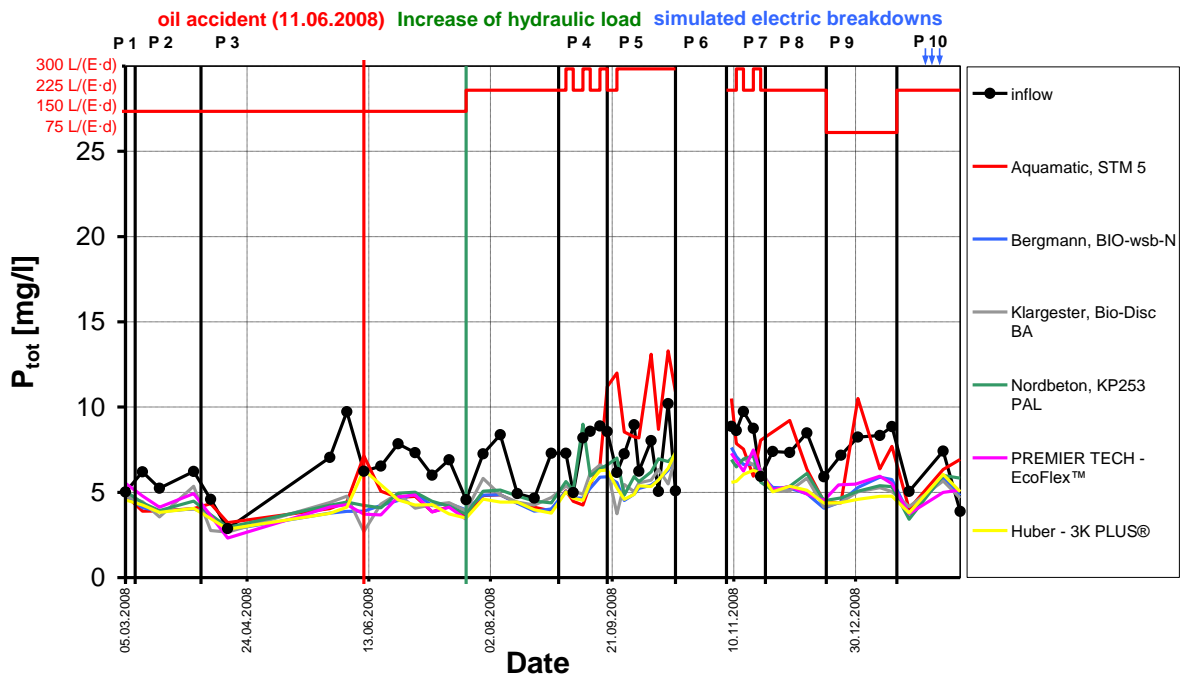


Abbildung 58: Ganglinien P_{tot} Anlagen 1 - 6

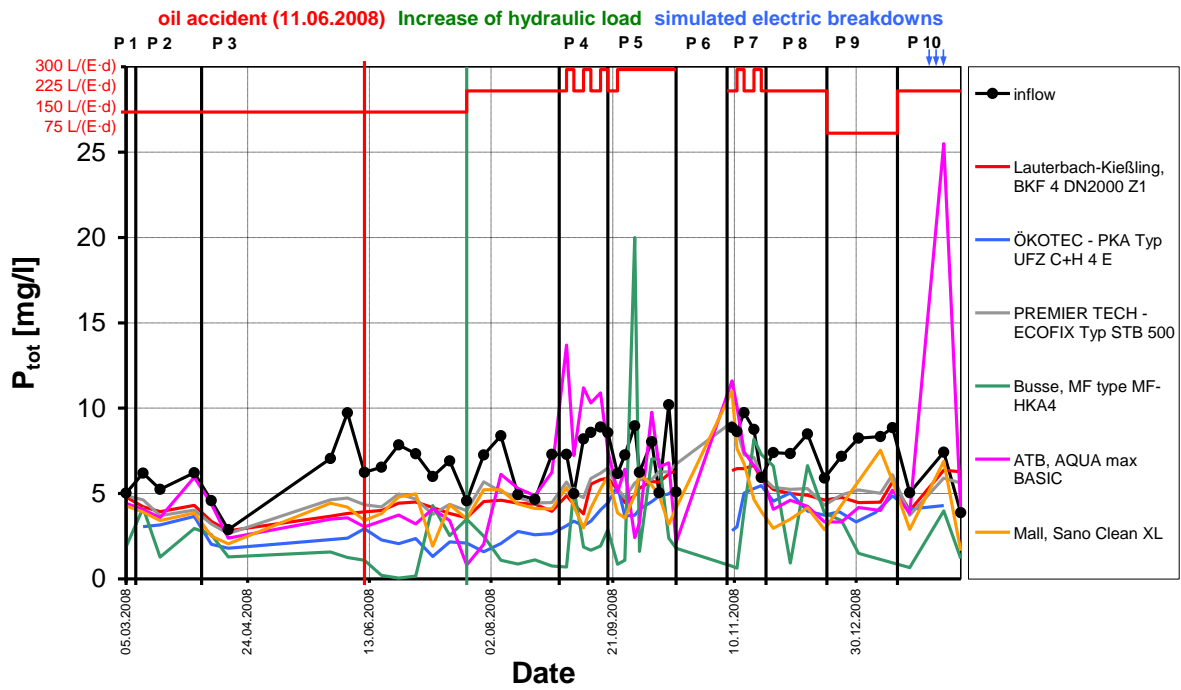


Abbildung 59: Ganglinien P_{tot} Anlagen 7 – 12

6.1.3 Abbaugrad

Der Abbaugrad (vgl. Kapitel 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass im Zulauf kleinere Konzentrationen als im Ablauf gemessen wurden. In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-) Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben.

Die Tabelle 37 zeigt den Mittelwert, das Maximum und das Minimum des Abbaugrades von allen Anlagen über den gesamten Versuchszeitraum für die Parameter COD, BOD₅, SS und NH₄-N.

Der mittlere Abbaugrad von COD lag zwischen 56 und 92 %. Teilweise wurden auch nahezu 100 % abgebaut (Maxima).

Beim BOD₅ konnten Reinigungsleistungen im Mittel zwischen 68 und 98 % erreicht werden.

Die mittlere Reinigungsleistung von Ammonium lag deutlich darunter. Die Mittelwerte bewegten sich in einer Spanne von 29 und 73 %.

Bei den abfiltrierbaren Stoffen zeigt sich ein ähnlicher Rückhalt wie bei BOD₅, die Mittelwerte lagen zwischen 53 und 98 %

Tabelle 37: Abbaugrad in % für alle Anlagen der Parameter COD, BOD₅, SS und NH₄-N

Anlagen	COD			BOD ₅			SS			NH ₄ -N		
	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Aquamatic – STM 5	56	93	-68	68	99	-43	53	98	-157	41	94	-144
Bergmann – BIO-WSB [®] -N	88	95	65	94	99	74	94	99	76	73	96	-99
Klargester – BioDisk BA	81	94	63	90	98	74	91	99	70	52	100	-89
Nordbeton – Biofilter KP253 PAL	79	93	88	88	98	60	89	99	30	47	87	-131
PREMIER TECH – Ecoflex ^{TM*} **)	88	100	69	95	100	80	95	100	65	73	100	-76
HUBER - 3K PLUS [®]	87	94	63	95	100	76	96	99	83	44	100	-162
Lauterbach-Kießling – BKF 4	86	95	42	92	98	53	95	99	79	48	82	-130
UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E	92	97	78	98	100	86	98	100	90	60	93	-90
PREMIER TECH – Ecofix Typ STB 500	86	93	60	92	98	71	95	99	78	54	100	-53
Busse – MF Typ MF-HKA4	83	97	18	87	100	17	90	100	22	47	100	-114
ATB – AQUA max BASIC ^{**})	62	97	-221	75	100	-73	62	100	-323	29	100	-145
Mall – SanoClean XL	84	93	62	93	98	77	92	99	69	34	100	-148

*) konnte verfahrensbedingt nicht während der Hochleistungsphase geprüft werden

**) wurde während der 200%-Phase auf 4 E umgestellt

6.1.4 Betriebs- und Prozessstabilität

An dieser Stelle soll nur der Parameter COD ausgewertet werden. Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit dargestellt (vgl. Kapitel 2.10.9). Je steiler die Kurve verläuft, umso „stabiler“ arbeitet die Anlage. Weiterhin kann aus der Abbildung 60 abgelesen werden, zu welchem Anteil (in Prozent) die Messwerte unterhalb der Überwachungswerte lagen.

Die Prozessstabilität bezogen auf den COD zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Anlagen. Sehr steile aber auch flache Kurven sind vertreten. Bei 8 von 12 Anlagen wird in mehr als 90 der Fälle sowohl der deutsche (150 mg/L) als auch der „französische Überwachungswert“ (125 mg/L) eingehalten. Die Ausnahme sind Anlagen mit suspendierter und sessiler Biomasse und das kombinierte Verfahren.

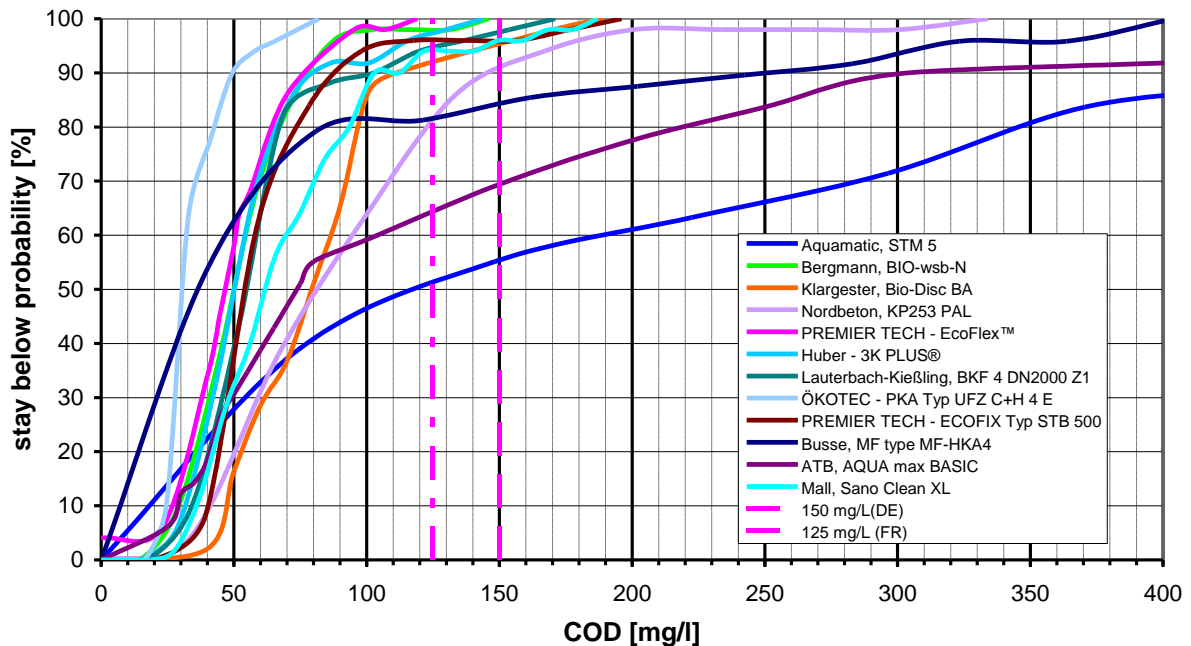


Abbildung 60: Unterschreitungshäufigkeiten aller Anlagen für COD

6.1.5 Raumbelastung

Die Raumbelastung B_R ist der Quotient aus organischer Fracht und dem Rauminhalt des biologischen Reaktors (vgl. Kapitel 2.7). Sie ist insbesondere für Systeme mit sessiler Biomasse ein bedeutender Auslegungsparameter.

In Tabelle 38 sind die Raumbelastungen zur Bemessung von Kleinkläranlagen gemäß DIBt (2006) aufgeführt. Vergleichend sind die Bemessungsansätze von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten gemäß ATV-Arbeitsblatt 122 (DWA, 1991) gegenübergestellt.

Tabelle 38: Raumbelastung zur Bemessung von Kleinkläranlagen

Verfahren	BOD ₅ -Raumbelastung [kg/(m ³ ·d)]	
	DIBt (2006)	DWA (1991)
Tropfkörper	≤ 0,15 ¹	0,15 – 0,4
Belebungsbecken	≤ 0,2	≤ 0,2
Belebungsbecken mit Membranfiltration	≤ 0,75	–
SBR-Becken	≤ 0,2	–

Abbildung 61 zeigt die Raumabbauleistung in Abhängigkeit der Raumbelastung. Die Raumabbauleistung beschreibt den abgebauten Teil der Raumbelastung (s. Kapitel 2.8). Je weiter die Wertepaare unter der 100%-Linie (100% der Raumbelastung werden abgebaut) liegen, umso schlechter ist die Abbauleistung. Ab einer Raumbelastung von 0,1 kg/(m³·d) zeigt sich eine deutliche Streuung der Werte unter die 80%-Linie. Zwischen 0,1 und 0,3 kg/(m³·d) liegt die Raumabbauleistung von drei Anlagen unter 50 % (suspendierte Biomasse und kombiniertes Verfahren). Ab einer Raumbelastung von 0,3 kg/(m³·d) wird nur noch von drei Anlagen ein Abbaugrad von über 80 % erreicht, darunter Anlagen mit sessiler und suspendierter Biomasse.

¹ Dieser Wert kann auf 0,25 kg/(m³·d) erhöht werden, wenn durch eine Speicherung des Tagesflusses eine gleichmäßige Beschickung sicher gestellt ist.

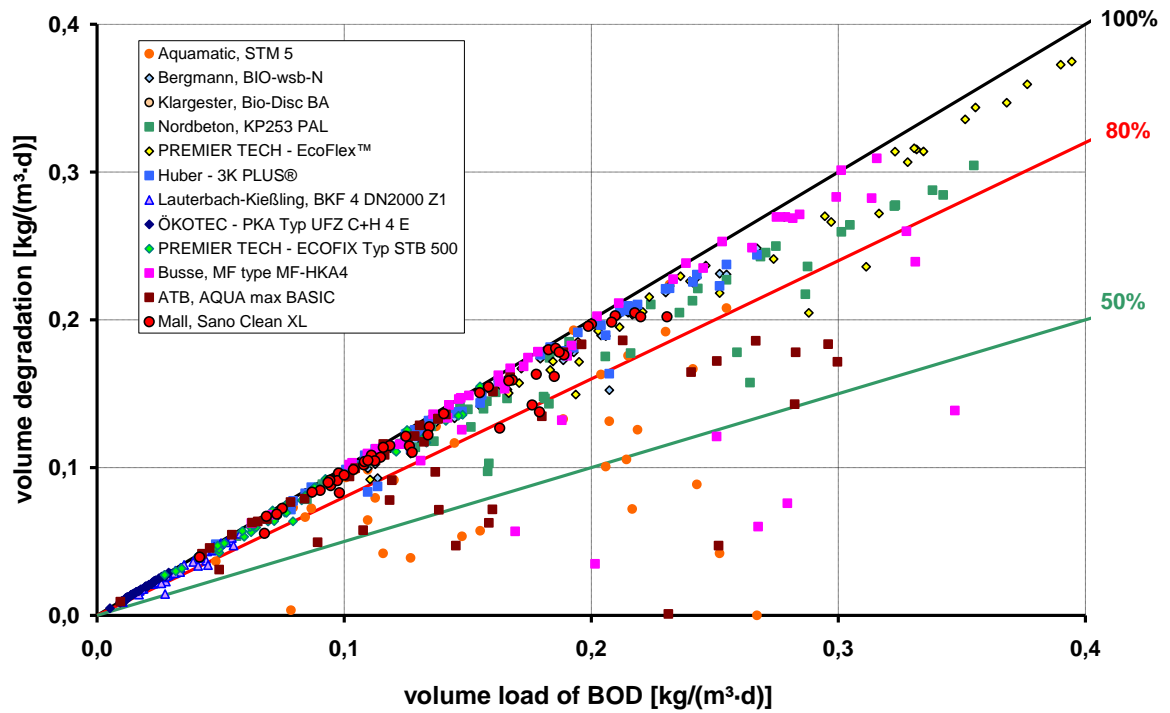


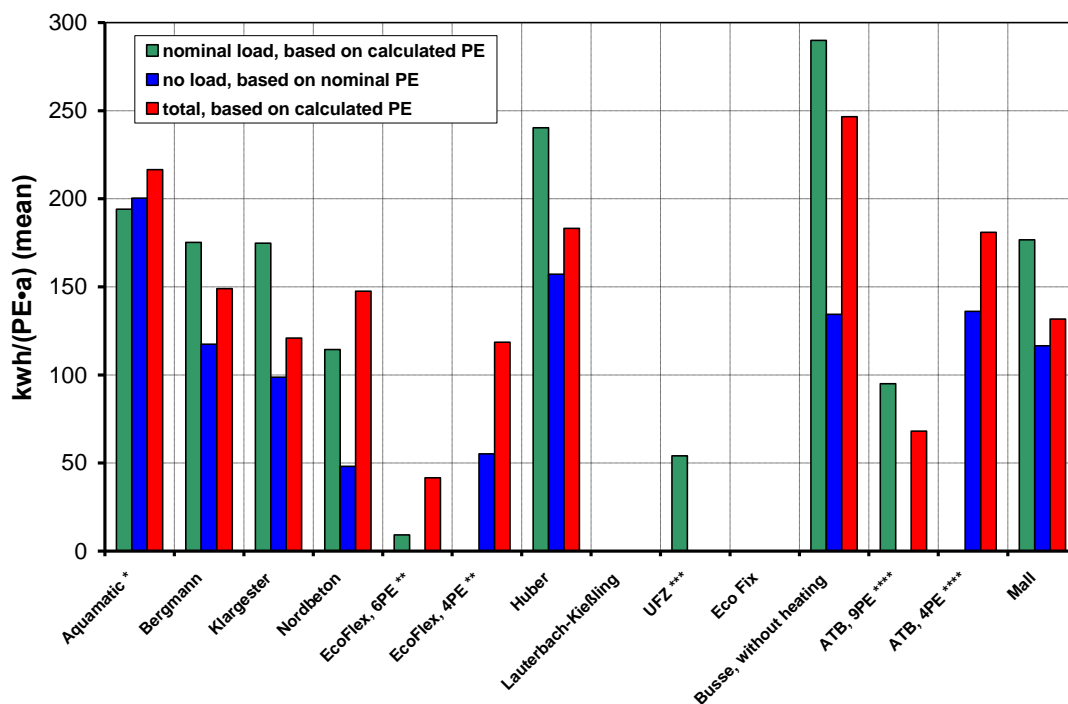
Abbildung 61: Raumabbauleistung in kg/(m³-d) über Raumbelastung (BOD₅) in kg/(m³-d), alle Anlagen

6.2 Energieverbrauch

Die Mittelwerte des Energieverbrauchs pro Einwohner und Jahr für alle Anlagen sind im Folgenden für die Nominalbelastung (150 l/(E·d)), die Phase 6 (keine Belastung) und den gesamten Versuchszeitraum aufgeführt (s. Abbildung 62).

- bei 150 l/(E·d): Mittelwert: 127 kWh/(E·a)
- kein Q: Mittelwert: 97 kWh/(E·a)
- total Mittelwert: 123 kWh/(E·a)

Neben der Unterteilung in Belastungsphasen wurde bei zwei Anlagen eine weitere Unterteilung vorgenommen, in die Phase vor und nach der Umstellung der grundlegenden hydraulischen Belastung (Ecoflex™ von 6 E auf 4 E und ATB von 9 E auf 4 E).



* Aquamatic: Gebläseleistung von 30 auf 50 Watt erhöht (11.4.2008 s. Kap. 7.1.9)
Gebläseleistung auf 80 Watt erhöht (18.7.2008 s. Kap. 7.1.9)

** PremierTech-Ecoflex: Umstellung von 6 PE auf 4 PE am 10.10.2008

*** UFZ: basierend auf drei Messungen

**** ATB: Umstellung von 9 PE auf 4 PE am 30.9.2008

Abbildung 62: Spezifischer Energieverbrauch der einzelnen Anlagen

Während der Nominalbelastung lagen die Mittelwerte der einzelnen Anlagen zwischen 9 und 290 kWh/(PE·a). Zwei Anlagen hatten keinen Energieverbrauch (Bodenfilter und Kokosfil-

ter). Während Phase 6 (keine Belastung) lag die Spanne zwischen 48 und 200 kWh/(PE·a). In dieser Phase liefen drei Anlagen ohne Energiezufuhr, bei einer Anlage wurde der Zulauf unterbrochen. Die Mittelwerte über den gesamten Versuchszeitraum lagen zwischen 42 und 247 kWh/(PE·a), wobei Anlagen ohne Energieverbrauch ausgenommen wurden.

Vergleichend ist in Abbildung 63 der mittlere spezifische Energieverbrauch von Kläranlagen der Größenklasse (GK) I bis V aus dem Leistungsvergleich der DWA für das Jahr 2008 dargestellt (DWA, 2009 in Bearbeitung). Die Werte lagen zwischen 31 kWh/(E·a) (GK V) und 78 kWh/(E·a) (GK I). Den größten Verbrauch zeigten die Kläranlagen der Größenklasse I mit einem mittleren Verbrauch von 65 kWh/(E·a). Mit diesem Wert lagen diese Anlagen aber noch deutlich unter dem mittleren Verbrauch der Kleinkläranlagen während des gesamten Versuchszeitraums von 123 kWh/(E·a) (s. oben).

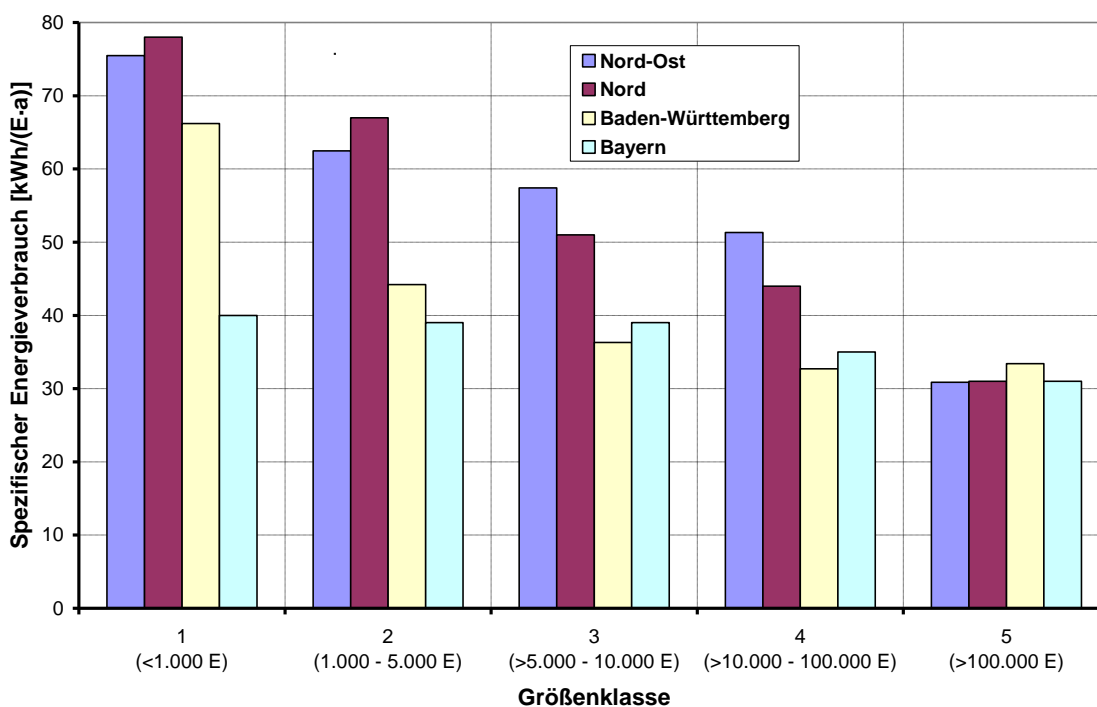


Abbildung 63: Spezifischer Energieverbrauch von Kläranlagen der GK I bis V aus dem Jahr 2008 (DWA, 2009)

6.3 Schlamm

Nach Abschluss des Projektes wurde jeder Anlage jeweils eine Schlammprobe entnommen und auf Trockensubstanzgehalt und Glühverlust analysiert. Das Schlammvolumen wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Die Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) ist die in einem Volumen enthaltene Trockenmasse, gemessen in kg/m^3 bzw. g/l . Bei den untersuchten Anlagen lag der TS-Gehalt zwischen 6,5 und 77,1 g/l und der Mittelwert bei 37 g/l .

Der Glühverlust ist die Ausgangsmasse abzüglich des Glührückstands und entspricht dem organischen Schlammanteil eines Schlammes. Die Werte des Glühverlusts lagen zwischen 61 und 80 %. Im Mittel ergab sich ein Glühverlust von 69 %.

Abbildung 64 zeigt die ungefähre spezifische Schlammmenge (TR-Fracht) aller Anlagen in $\text{g}/(\text{PE}\cdot\text{d})$. Die Schlammmenge ergibt sich aus dem Produkt von Schlammvolumen und TS-Gehalt.

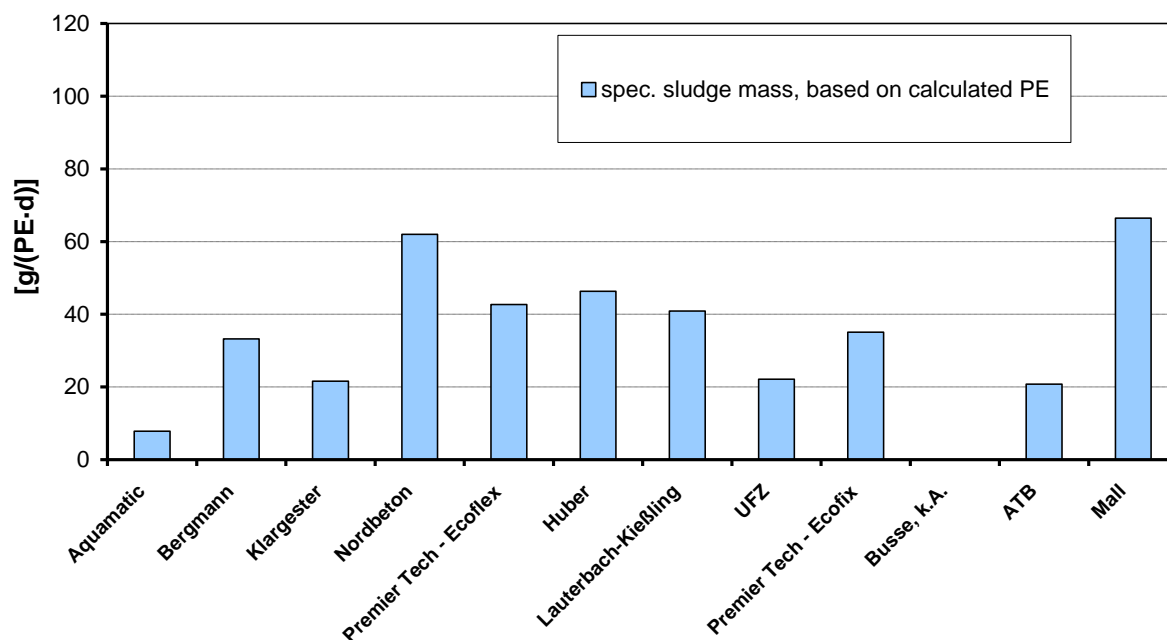


Abbildung 64: Spezifische Schlammengen, alle Anlagen

Die mittlere spezifische Schlammmenge aller Anlagen lag mit 36 $\text{g}/(\text{PE}\cdot\text{d})$ deutlich unter dem aus der Literatur zu erwartendem Wert von ca. 70 $\text{g}/(\text{PE}\cdot\text{d})$ (vgl. „Schlammliste, DWA 2003). Der niedrigste Wert von 8 $\text{g}/(\text{PE}\cdot\text{d})$ wurde bei einer Anlage (kombiniertes Verfahren), bedingt durch starken Schlammabtrieb, gemessen. Der höchste Wert (66 $\text{g}/(\text{PE}\cdot\text{d})$) stammt aus einer Anlage mit sessiler Biomasse.

6.4 Betrieb und Wartung

An dieser Stelle wird lediglich ein Überblick der Wartungshäufigkeiten und Betriebsstörungen aller Anlagen gegeben. Detaillierte Informationen aus dem Betriebstagebuch (Routinekontrollen, Änderung von Betriebseinstellungen, Betriebsmittel/Schlamm, Betriebsstörungen, Wartungsarbeiten, Sonstiges) folgen separat für jede Anlage in Kapitel 7.

Zu Beginn wurde die Zulaufleitung zu allen Anlagen mehrmals gespült. Auf Grund einer Ölhavarie am 11.6.2008 wurden alle Anlagen durch die KWL und zum Teil durch die Hersteller überprüft und gereinigt. Weitere Maßnahmen bei den einzelnen Anlagen nach der Ölhavarie werden in Kapitel 7 unter „Betrieb und Wartung“ beschrieben. Beide Vorgänge sind nicht im unten genannten Wartungsaufwand erfasst.

Tabelle 39 zeigt die Wartungshäufigkeiten, wie sie in Abhängigkeit von der Ablaufklasse vom DIBT (2006) vorgeschrieben werden, im Vergleich zu den tatsächlich durchgeführten Wartungshäufigkeiten. Die Auflistung der „Betriebsstörungen und Reparaturen“ ist dem Betriebstagebuch entnommen worden.

Die Anlagen wurden größtenteils entsprechend ihrer Zulassung gewartet. Der Gesamtaufwand betrug dabei zwischen 90 und 150 Minuten (111 Minuten im Mittel) für alle Wartungen im Versuchszeitraum.

Tabelle 39: Wartungshäufigkeiten und Betriebsstörungen, alle Anlagen

Anlage	Wartung			Betriebsstörungen und Reparaturen (Bemerkungen zu notwendigen Ersatzteilen etc.)
	Soll [1/a]	Ist [1/a] ¹	Ist [min]	
Aquamatic – STM 5	2	3	140	Am 11.4.08 neues stärkeres Gebläse (von 30W auf 50W) Am 18.7.08 wurde ein neuer 80W-Kompressor eingebaut.
Bergmann – BIO- WSB®-N	2	2	90	-
Klargester – BioDisk BA	k.A.	3	90	Am 10.11.08 kurze hydraulische Überlastung der Anlage, da Magnetventile nicht geschlossen haben (nicht Bestandteil der Anlage selbst)
Nordbeton – Biofilter KP253 PAL	2	3	150	Während des gesamten Versuchszeitraumes fiel die Rieselpumpe mehrmals aufgrund von Hochwasser aus
Anlage	Wartung			Betriebsstörungen und Reparaturen (Bemerkungen zu notwendigen Ersatzteilen etc.)

¹ Wartungen innerhalb des gesamten Versuchszeitraums (ca. 1 Jahr, vom 05.02.2008 bis 11.02.2008)

PREMIER TECH – Ecoflex™	1	k.A.	k.A.	Vom 30.7. bis zum 17.10. 08 rotierten die Verteilerarme über den Filtern nicht gleichmäßig und waren zeitweise verstopft. Vom 2.10. bis zum 8.10.2008 Anlage außer Betrieb, da Störung in der Druckfilteranlage. Am 6.11.08 Umleitung der Rezirkulationsleitung von der Vorklärung in den Pumpenschacht.
HUBER - 3K PLUS®	2	3	120	-
Lauterbach-Kießling – BKF 4	2	2	90	-
UFZ - PKA Typ UFZ	k.A.	k.A.	k.A.	-
PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500	1	k.A.	k.A.	Am 20.8. 08 konnten aufgrund einer Störung keine Laufzeiten der Pumpe ausgelesen werden (Pumpe im Normalfall nicht notwendig). Vorklärung komplett überstaut.
Busse – MF Typ MF-HKA4	3	k.A.	k.A.	Am 26.11.08 Notüberlauf angesprungen. Zufluss wurde abgestellt, Wiederinbetriebnahme am 1.12.08. Vom 2.12.08 bis 3.12.08 Zufluss abgestellt. Am 8.1.09 Zufluss abgestellt, wegen defekter Begleitheizung Ablaufleitung eingefroren.
ATB – AQUA max BASIC	2	3	180	Vom 1.4. bis zum 14.4.2008 Gebläse auf Grund des Verschleißes der Pumpe sowie des Belüfterelementes defekt. Am 13.8.2008 Wasserstand in der Biologie leicht erhöht. Abwasser trat teilweise über den Notüberlauf von der Vorklärung in die Biologie. Am 20.8.2008 trat Wasser über die gesamte Tauchwand von der Vorklärung in die Biologie über. Am 1.12.2008 wurde die Steuerung vom Hersteller ausgetauscht.
Mall – SanoClean XL	3	2	90	Am 27.03.2008 wurde eine neue Steuerung eingebaut.

6.5 Mikrobiologische Parameter

Für die mikrobiologische Analyse wurden an drei aufeinanderfolgenden Tagen Proben aus dem Zulauf und dem Ablauf der Anlagen genommen. Untersucht wurden folgende Parameter (vgl. Kapitel 2.3):

- Gesamtcoliforme Bakterien
- Fäkalcoliforme Bakterien
- intestinale Enterokokken
- Salmonellen
- intestinale Nematoden (Wurmeier)

Für die mikrobiologischen Parameter wurden im Zulauf deutlich höhere Werte gemessen als in den KKA-Abläufen. Zu beachten ist bei der Bewertung, dass Zulauf und Ablauf der Reaktoren zum gleichen Termin beprobt wurden. Damit ist der Zulaufwert nur begrenzt mit den parallel genommenen Ablaufproben in Relation zu setzen. Die mikrobiologischen Untersuchungen belegen, dass in allen Anlagen eine deutliche Reduzierung der mikrobiellen Belastung stattfand. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen waren aber sehr groß (vgl. UIS, 2009).

Der quantitative Nachweis von Nematoden ist sehr abhängig davon, wie stark die Abwasserprobe aufkonzentriert werden kann. Bei Proben, in denen viele Schwebstoffe enthalten sind, kann das Probenvolumen nicht so stark eingeengt werden. Zudem erschwert eine große Anzahl von Ciliaten die Auswertung, da diese hinsichtlich Form und Größe den Wurmeiern sehr ähnlich sind. Insgesamt konnten nur ganz vereinzelt Wurmeiergattungen von seuchenhygienischer Relevanz in den Proben wiedergefunden werden (vgl. IDUS, 2008).

Tabelle 40 zeigt die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von allen Anlagen in der Übersicht.

Tabelle 40: Reduzierung der mikrobiologischen Parameter (UIS,2009 und IDUS,2008)

Reduzierung mikrobiologischer Parameter, Mittelwerte aus 3 orientierenden Werten					
Anlagen	Gesamt-coliforme	Fäkal-coliforme	Enterokokken	Salmonellen	Nematoden
	[log]	[log]	[log]	[log]	[Eier]
Aquamatic – STM 5	0,5	0,6	1,2	1,9	-11
Bergmann – BIO-WSB®-N	0,2	0,8	1,3	1,8	2
Klargester – BioDisk BA	1,1	0,8	1,7	1,5	-6
Nordbeton – Biofilter KP253 PAL	1,1	0,8	1,3	0,6	0,0
PREMIER TECH – Ecoflex™	1,5	0,9	1,8	1,5	-1
HUBER - 3K PLUS®	1,3	1,2	1,7	1,9	2
Lauterbach-Kießling – BKF 4	1,4	1,1	1,6	1,1	2
UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E	6,0	0 MPN/ml im Ablauf	5,3	0 MPN/ml im Ablauf	4
PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500	1,3	0,8	1,7	1,5	1
Busse – MF Typ MF-HKA4	0 MPN/ml im Ablauf	0 MPN/ml im Ablauf	0 MPN/ml im Ablauf	0 MPN/ml im Ablauf	4
ATB – AQUA max BASIC	1,4	0,8	2,1	2,2	4
Mall – SanoClean XL	1,2	0,8	1,3	1,6	2

Für Kleinkläranlagen der Ablaufklassen ohne Hygienisierung gibt es keine Richtlinien bezüglich mikrobiologischer Parameter. Für einen Vergleich werden die Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2006) herangezogen (s. Tabelle 41). Eine ausgezeichnete Badegewässerqualität für Küstengewässer und Übergangsgewässer bezogen auf die Parameter „Intestinale Enterokokken“ und „Escherichia coli“ konnte nur bei den Ablaufproben von Anlagen mit gezielter Hygienisierung (UV-Bestrahlung und Membrantechnik) nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 66 und Abbildung 65).

Tabelle 41: Beurteilung der Gewässerqualität mittels mikrobiologischer Parameter (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2006)

Binnengewässer					
	A	B	C	D	E
	Parameter	Ausgezeichnete Qualität	Gute Qualität	Ausreichende Qualität	Referenzanalysemethode
1	Intestinale Entero kokken (cfu/100 mL)	200 (*)	400 (*)	330 (**)	ISO 7899-1 oder ISO 7899-2
2	Escherichia coli (cfu/100 mL)	500 (*)	1000 (*)	900 (**)	ISO 9308-3 oder ISO 9308-1
Küstengewässer und Übergangsgewässer					
	A	B	C	D	E
	Parameter	Ausgezeichnete Qualität	Gute Qualität	Ausreichende Qualität	Referenzanalysemethode
1	Intestinale Entero kokken (cfu/100 mL)	100 (*)	200 (*)	185 (**)	ISO 7899-1 oder ISO 7899-2
2	Escherichia coli (cfu/100 mL)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	ISO 9308-3 oder ISO 9308-1
(*) Auf der Grundlage einer 95-Perzentil-Bewertung. (**) Auf der Grundlage einer 90-Perzentil-Bewertung.					

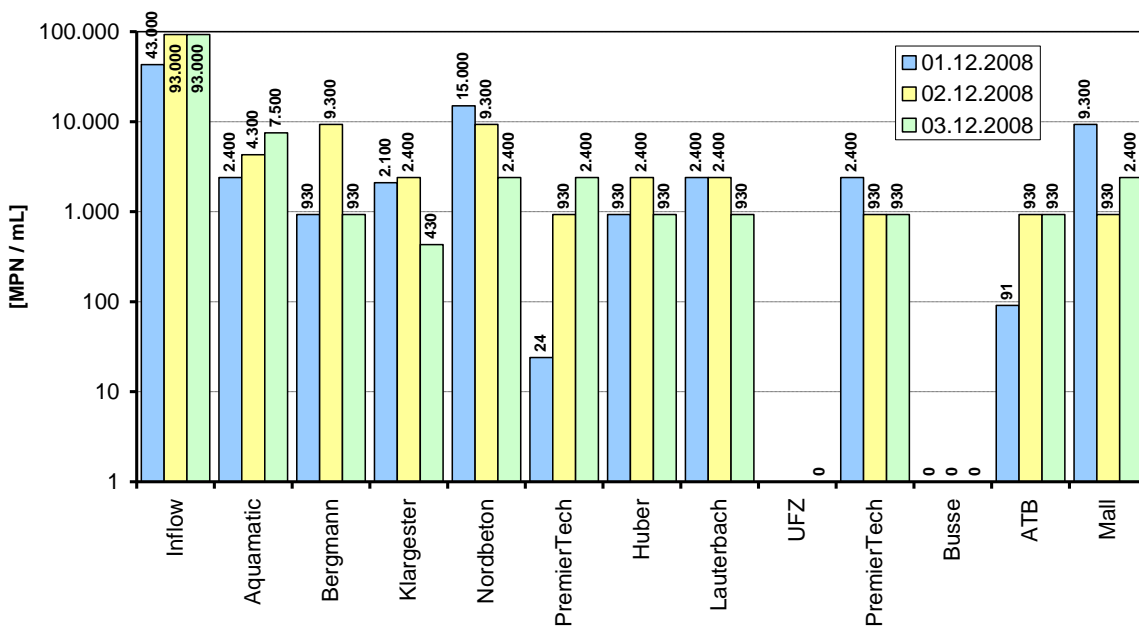


Abbildung 65: Intestinale Enterokokken, alle Anlagen

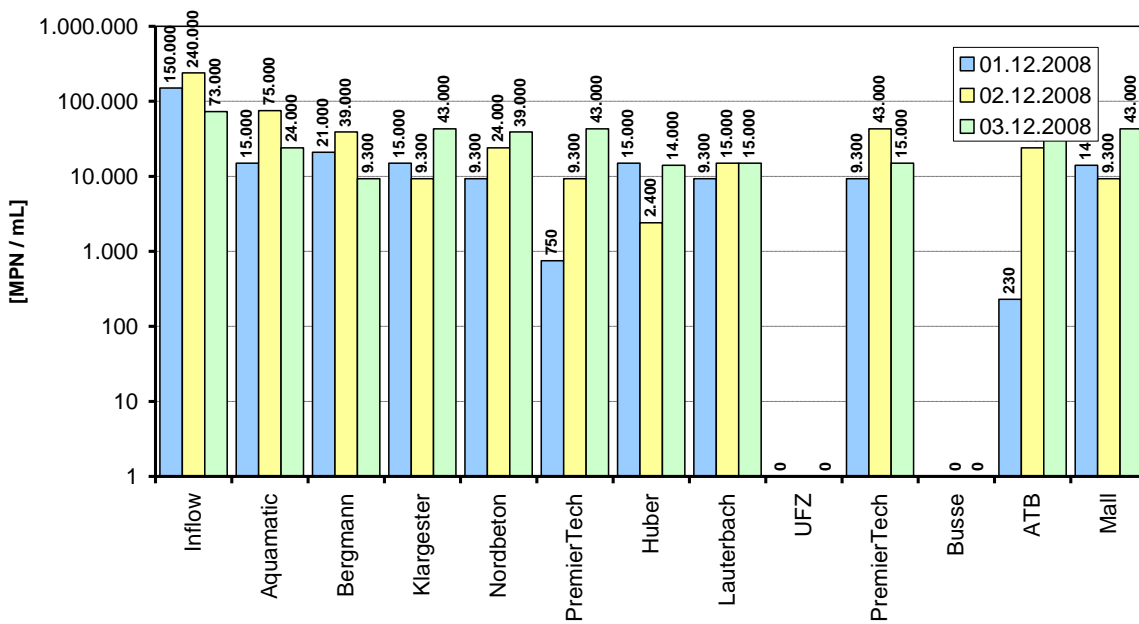


Abbildung 66: Fäkalcoliforme Bakterien, alle Anlagen

Die von der WHO (2004) empfohlene Anzahl an Darmnematoden in gereinigtem Abwasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft beträgt ≤ 1 (arithm. Mittel Eier pro Liter). Auch dieser Wert wurde in vielen Fällen überschritten (vgl. Abbildung 67).

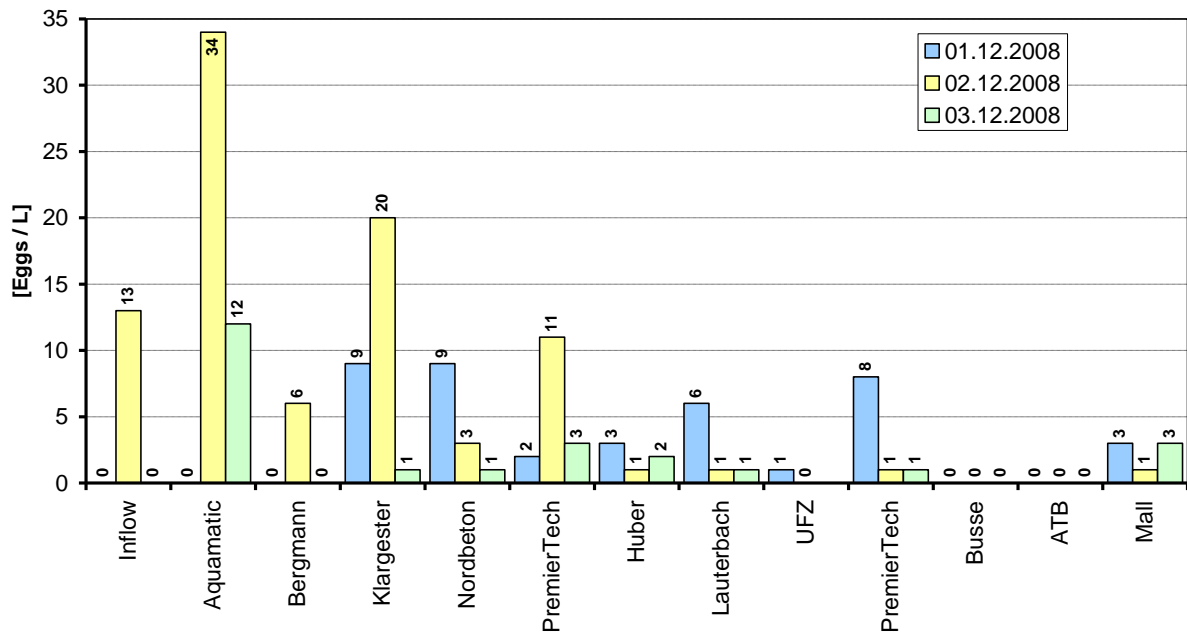


Abbildung 67: Intestinale Nematoden (Eier), alle Anlagen

Kapitel 7

Ergebnisse der untersuchten Anlagen

7.1 Aquamatic – STM 5

7.1.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Aquamatic wurde eine Anlage vom Typ STM 5 eingebaut, die laut Zulassung für 5 PE ausgelegt ist, aber durch die testfeldbedingte Gruppenfestlegung (4 PE, 6 PE und 9 PE) im Rahmen des Versuchsprogramms nur mit 4 PE beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 240 g BSB₅/d. Laut Zulassung wäre eine Zulauf-fracht bis zu 300 g BSB₅/d möglich.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannen-beschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 750 L/d be-schickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08*: 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung minimale und maximale Volumina an. Bei der Vorklä-rung ist das Minimum erreicht, wenn die maximale Schlammmenge angesammelt wurde. Daraus ergaben sich für die hydraulische Belastung aus 4 PE Aufenthaltszeiten von 2 bis 3 Tagen für die Vorklärung, 1,3 Tage für den Bioreaktor und 0,6 Tage für die Nachklärung. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 4,9 bis 5,9 Tagen für 4 PE für die gesamten Anlage (Durchschnittlich 4,4 Tage 4 PE) (s. Kap. 2.6).

7.1.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 42 und Tabelle 43) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, französische (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unter-schreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N,

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauf-fracht aufzustocken

N_{tot} und P_{tot} . Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

Tabelle 42: Aquamatic - STM 5 - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Aquamatic, STM 5	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	50	49	49	49
mean	456	196	207	3,4	64	269,0	116,8
median	469	104	215	3,2	34	260,0	56,0
min.	180	28	78	1,0	4	120,0	5,0
max.	830	741	301	5,8	248	730,0	540,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		57%			51%		
stay below of legally binding value (FR)		51%			47%		41%

* Load (real) siehe 2.3

Tabelle 43: Aquamatic - STM 5 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Aquamatic, STM 5	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	49	50	49
mean	35,1	19,6	47,4	38,9	7,0	6,4
median	34,8	13,3	46,5	34,2	7,3	5,1
min.	11,6	0,7	19,8	14,4	2,9	3,2
max.	54,5	44,8	71,6	81,9	10,2	13,3
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 169 mg/L, der maximale Wert lag bei 741 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 57%, der „französische Überwachungswert“ (Kapitel 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 51 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 21 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 24 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.1.4). Die Anlage erreichte etwa in der Hälfte der Fälle die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 64 mg/L, der maximale Wert lag bei 248 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 51%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 47 % aller Messungen

unterschritten, d.h. es gab 24 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 26 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.1.4). Die Anlage erreichte etwa in der Hälfte der Fälle die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erzielte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 117 mg/L, der maximale Wert lag bei 540 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 41% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 29 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.1.6). Die Anlage erreichte in knapp der Hälfte der Fälle die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 19,6 mg/L, der maximale Wert lag bei 44,8 mg/L (s. Kap. 7.1.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 38,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 81,9 mg/L (s. Kap. 7.1.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 6,4 mg/L, der maximale Wert lag bei 13,3 mg/L (s. Kap. 7.1.7).

7.1.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 68) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

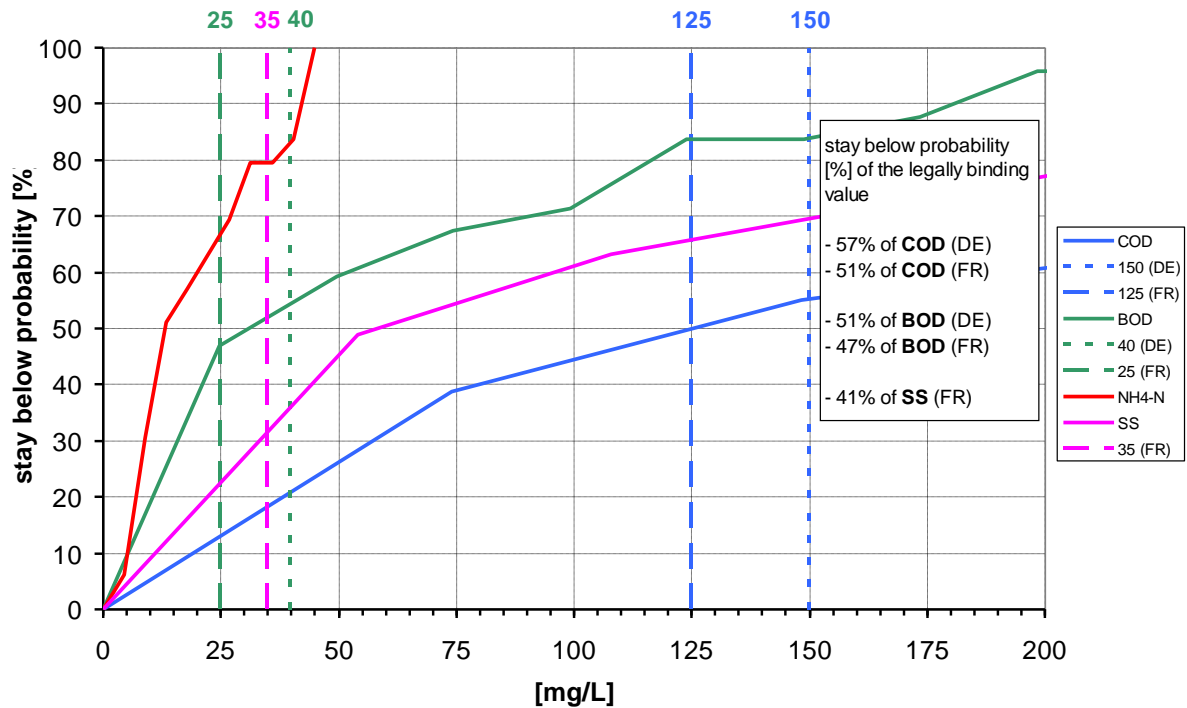


Abbildung 68: Aquamatic - STM 5 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.1.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter der organischen Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 69) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 70 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 3 zu 1.

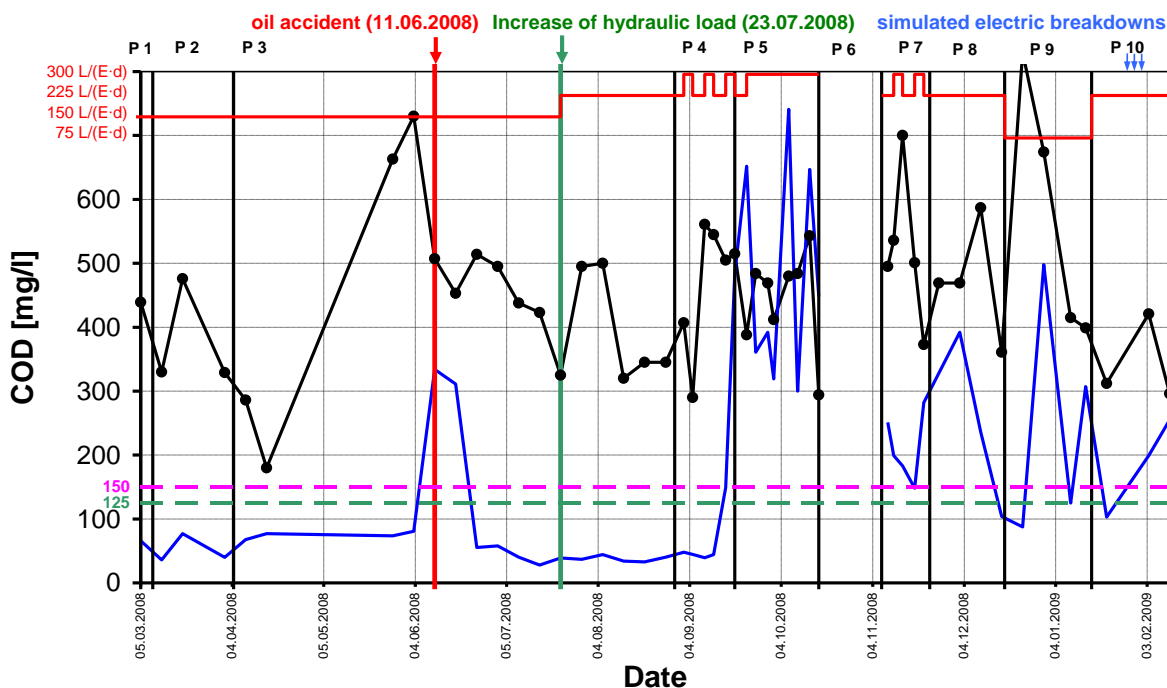


Abbildung 69: Aquamatic - STM 5 - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 69) bleibt bis zur Mitte der Phase 4 unter 100 mg/L. Nur zum Zeitpunkt des Ölunfalls erhöhte sich der COD-Ablaufwert auf über 300 mg/L. Obwohl mit Ausnahme der Ölentfernung aus der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen wurden, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Anhebung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss.

Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche zeigte in der Mitte der Phase 4 einen sprunghaften Anstieg der Ablaufkonzentration auf über 700 mg/L. Bei überdurchschnittlichen Abwassertemperaturen von ca. 17°C sanken zunächst die O₂-Gehalte und anschließend kam es zu massivem Verlust der suspendierten Biomasse, was sich durch den starken Abfall des Schlammvolumens von durchschnittlich ca. 310 mL/L auf unter 20 mL/L bis zum 25.9.2008 belegen lässt. Der Sauerstoffgehalt stieg wieder an, was ebenfalls belegt, dass nur eine reduzierte Atmung der Biomasse auftrat. Die sessile Biomasse konnte diesen Verlust offenbar nicht kompensieren, da sich in den folgenden Phasen stark schwankende COD-Ablaufwerte auf hohem Niveau einstellten. Vermutliche Ursache des Schlammabtriebs (s. Abbildung 72) ist die Überschreitung der zulässigen Flächenbeschickung der Nachklärung, die herstellerseits mit 0,10 m/h angegeben wird. Bei einer hydraulischen Belastung von 200% liegt bezogen auf Q_d/10 (nach Zulassungskriterien DIBt) die gefahrene Flächenbeschickung bei 0,15 m/h und bei Berücksichtigung des Badewannstoßes sogar bei 0,17 m/h.

Bedingt durch die in einem Ausschwemmreaktor ähnliche Situation erhöhte sich das Schlammvolumen nach dem 25.9.2008 nicht mehr, und der COD im Ablauf blieb weitestgehend oberhalb von 150 mg/L. Eine leichte Verbesserung war zu Beginn der Phase 7 zu registrieren, aber mit Steigerung der hydraulischen Beaufschlagung erhöhten sich die COD-Werte wieder. Bei den dann folgenden niedrigen Temperaturen konnte sich keine ausreichende Biomasse mehr aufbauen. Auch die sessile Biomasse konnte vermutlich aufgrund der niedrigen Kontaktzeit von 0,8 bis 1,3 Tagen (Phase 5 und Phase 8) keinen ausreichenden Biofilm aufbauen.

Bei den simulierten Stromausfällen trat ein maximaler Wert von ca. 200 mg/L ein, der nach den Stromausfällen noch leicht anstieg. Dies könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.1.13).

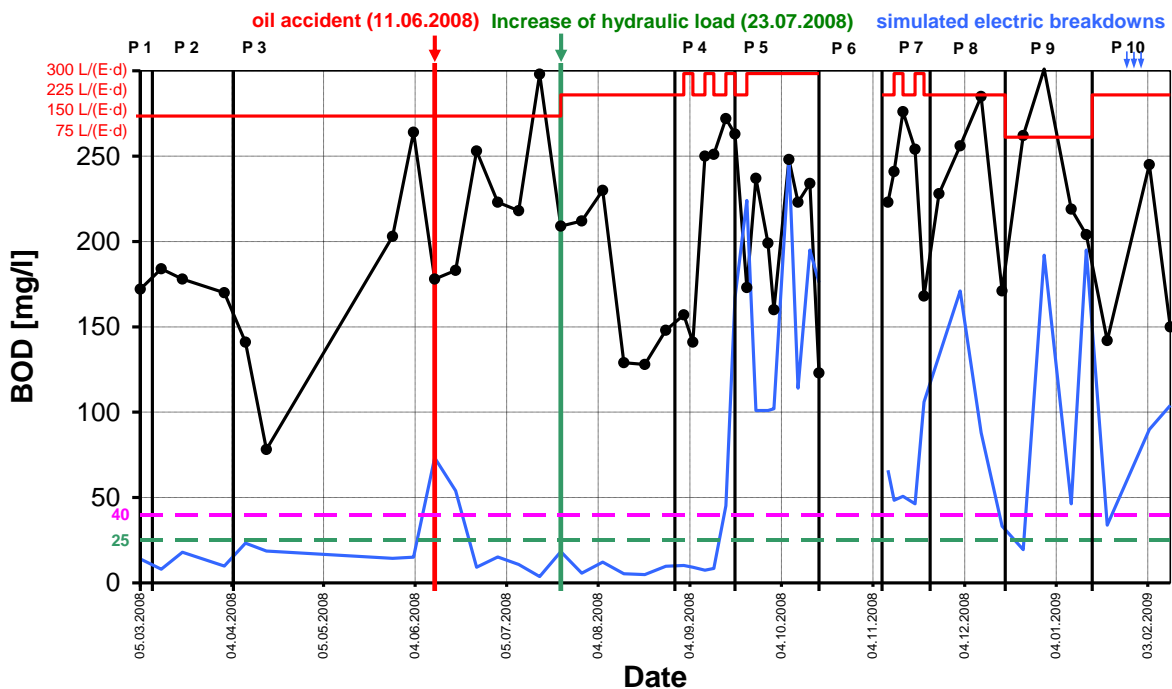


Abbildung 70: Aquamatic - STM 5 - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.1.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 71) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab, die sehr sensibel auf Veränderungen der Randbedingungen reagiert und daher als Indikator für die Stabilität des Prozesses herangezogen werden kann.

Die Anlage erreichte bis zur Mitte der Phase 5 (300 L/PE-d) meistens Ablaufwerte von unter 20 mg/L, häufig auch unter 10 mg/L. In Phase 5 gab es einen sprunghaften Anstieg auf 40 mg/L, obwohl die Temperaturen noch in einem sehr hohen Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 16,4°C für Phase 5). Der betrieblich gemessene Sauerstoffgehalt lag zu diesem Zeitpunkt im Bereich von guten 2,5-6 mg O₂/L, was für biologische Prozesse ausreichend ist. Der schlechte Abbau kann also auch hier (s.o.) nur durch die massive Reduzierung der Biomasse, bedingt durch Schlammabrieb, erklärt werden.

Die kurzzeitige Verbesserung des Abbaus von Ammonium in Phase 9 (5,2 mg/L) lässt sich wohl mit der geringen hydraulischen Belastung und dem Ausfall des Zulaufes am 6.1.2009 (s. Kap. 7.1.11) und der damit verlängerten Aufenthaltszeit in der Anlage erklären.

Durch die Erhöhung der Zulaufkonzentration am Ende von Phase 9 steigt auch die Ablaufkonzentration kontinuierlich an und lässt die Nitrifikation erneut zusammenbrechen (über 20 mg/L). Nach den Stromausfällen (s.o. – COD) war sogar mehr Ammonium im Ablauf als im Zulauf, was eventuell auch mit den sehr geringen Abwassertemperaturen (ca. 3°C) zusammenhängt.

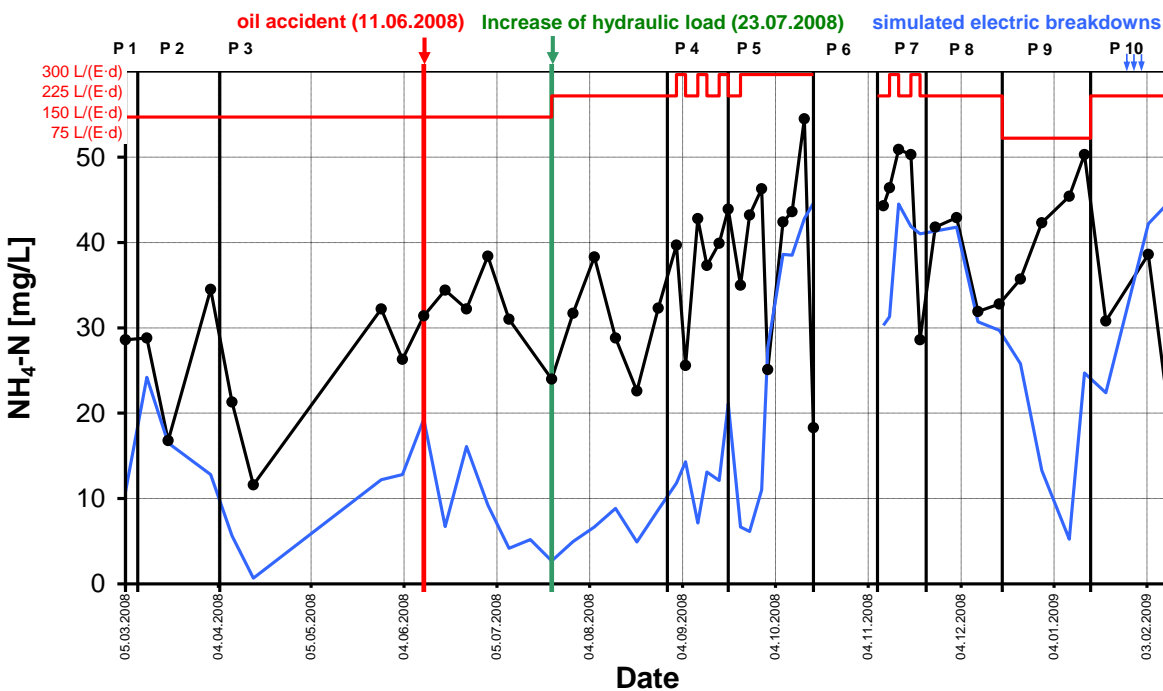


Abbildung 71: Aquamatic - STM 5 - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs nimmt bis zum Ende der 3. Phase Werte von 10-20 mg/L an. Diese Werte liegen 5-10 mg/L unter den Zulaufkonzentrationen, so dass bis dahin eine Teildenitrifikation (bis ca. 50%) angenommen werden kann. Durch den Ölundfall wurde die Denitrifikation kaum gestört. Erst ab der Phase 4 steigt die Konzentration des anorganischen Stickstoffs auf bis zu 50 mg/L an (s. Kap. 7.1.4 – Ursache: zu geringes Schlammvolumen). Eine nennenswerte Denitrifikation findet danach nicht mehr statt.

7.1.6 Feststoffentnahme

Die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf (Abbildung 72) bleibt bis zur Mitte der Phase 4 größtenteils unter 35 mg/L. Nur beim Übergang von Phase 2 zu Phase 3 gab es eine Erhöhung des Ablaufwertes. Außerdem erhöhte sich zum Zeitpunkt des Ölundfalls der SS-Ablaufwert auf über 200 mg/L. Obwohl mit Ausnahme der Ölentfernung aus der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen wurden, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Anhebung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss.

Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche zeigte in der Mitte der Phase 4 einen sprunghaften Anstieg der Ablaufkonzentration auf über 500 mg/L. Bei überdurchschnittlichen Abwassertemperaturen von ca. 17°C sanken zunächst die O₂-Gehalte und anschließend kam es zu massivem Verlust der suspendierten Biomasse, was sich durch den starken Abfall des Schlammvolumens von durchschnittlich ca. 310 mL/L auf unter 20 mL/L bis zum 25.9.2008 belegen lässt. Der Sauerstoffgehalt stieg wieder an, was ebenfalls belegt, dass nur eine reduzierte Atmung der Biomasse auftrat. Die sessile Biomasse konnte diesen Verlust offenbar nicht kompensieren, da sich in den folgenden Phasen stark schwankende SS-Ablaufwerte auf hohem Niveau einstellten. Vermutliche Ursache des Schlammabtriebs (s. Abbildung 72) ist die Überschreitung der zulässigen Flächenbeschickung der Nachklärung, die herstellerseits mit 0,10 m/h angegeben wird. Bei einer hydraulischen Belastung von 200% liegt bezogen auf $Q_d/10$ (nach Zulassungskriterien DIBt) die gefahrene Flächenbeschickung bei 0,15 m/h und bei Berücksichtigung des Badewannstoßes sogar bei 0,18 m/h.

Bedingt durch einen Ausschwemmreaktor erhöhte sich das Schlammvolumen nach dem 25.9.2008 nicht mehr, und die Feststoffe im Ablauf blieben weitestgehend oberhalb von 200 mg/L. Eine leichte Verbesserung war von Beginn der Phase 7 bis zum Ende von Phase 8 zu registrieren, wo sich Werte von 200 mg/L bis unter 35 mg/L einstellten. Bei den dann folgenden niedrigen Temperaturen konnte sich keine ausreichende Biomasse mehr aufbauen. Auch die sessile Biomasse konnte vermutlich aufgrund der niedrigen Kontaktzeit keinen ausreichenden Biofilm aufbauen.

Bei den simulierten Stromausfällen trat ein maximaler Wert von ca. 100 mg/L ein, der nach den Stromausfällen noch leicht anstieg. Dies könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.1.13).

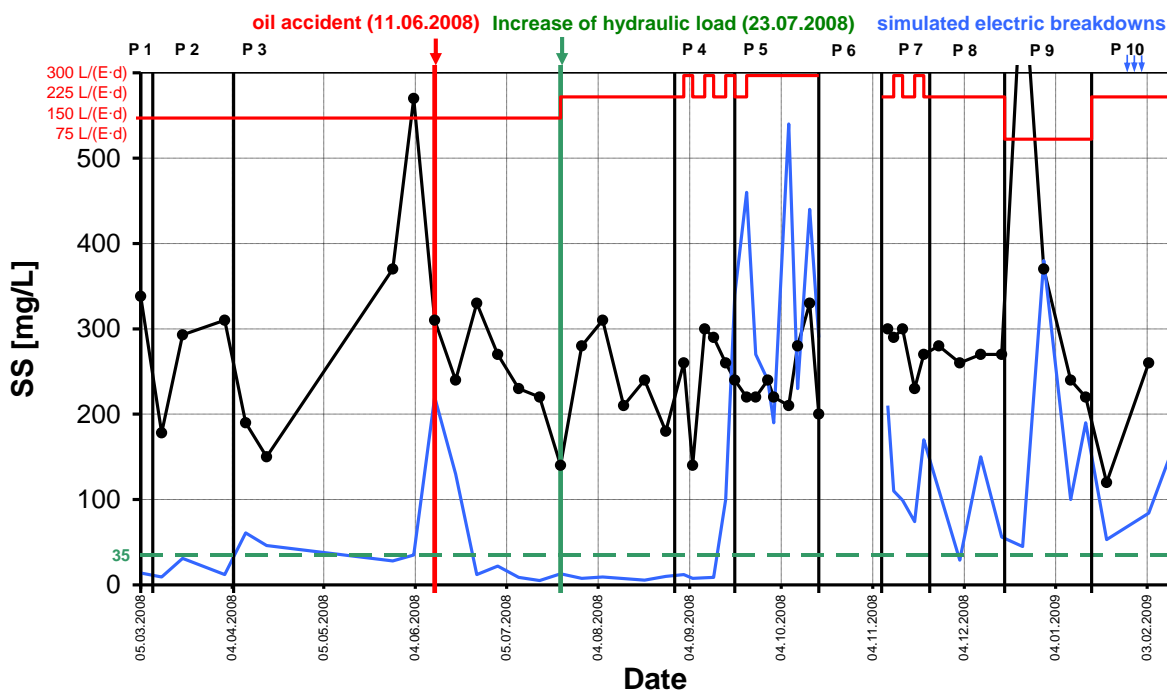


Abbildung 72: Aquamatic - STM 5 - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.1.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 73) ist gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist meist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung. Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm und in diesem Falle mit den abtreibenden Schwebstoffen entfernt.

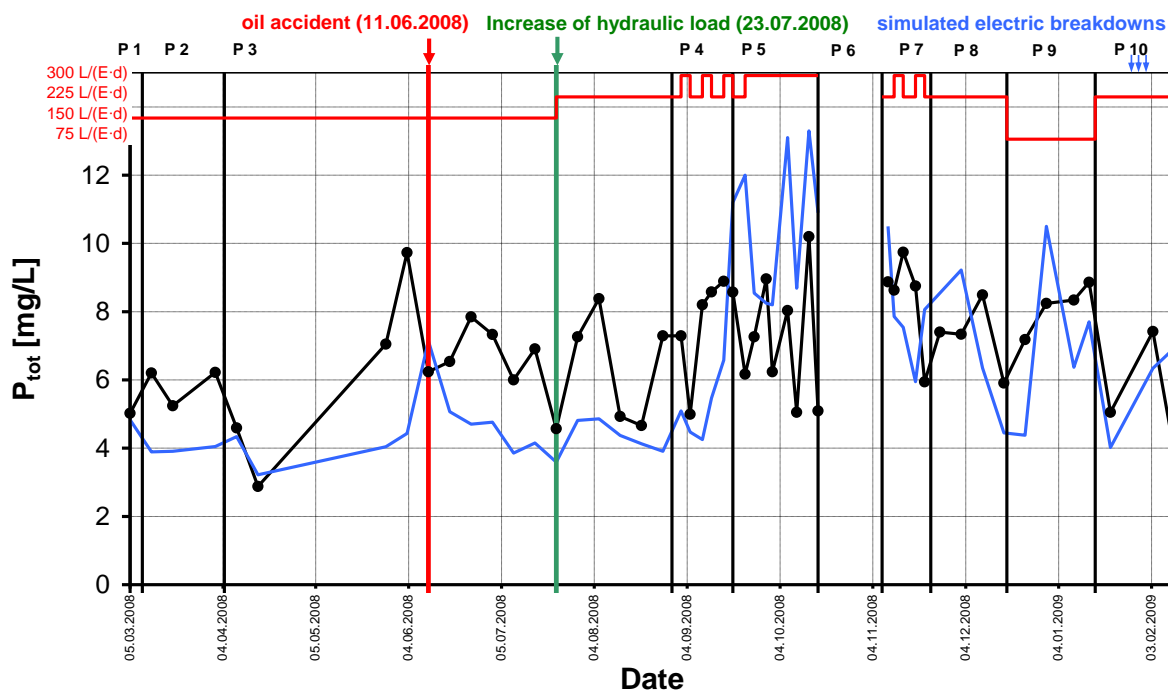


Abbildung 73: Aquamatic - STM 5 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.1.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 44, Tabelle 45 und Tabelle 46, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 45 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 46 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 56%, von BOD₅ bei 68%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 41%, von Gesamtstickstoff bei 15% und von Phosphor bei 5%.

Tabelle 44: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P

Aquamatic, STM 5	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	49	49	49	49	49	48
mean	56	68	41	15	5	53
median	70	82	52	23	20	69
min.	-68	-43	-144	-132	-114	-157
max.	93	99	94	66	54	98

Tabelle 45: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-hydraulischen Belastungsphasen (Phase 1,2 und 3)

Aquamatic, STM 5	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	81	90	66	31	26	87
median	89	94	73	29	34	95
min.	31	59	2	-12	-14	29
max.	93	99	94	66	54	98

Tabelle 46: Aquamatic - STM 5- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)

Aquamatic, STM 5	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	33	52	30	7	-15	17
median	38	57	33	12	-18	30
min.	-68	-43	-144	-132	-114	-157
max.	93	97	86	50	48	97

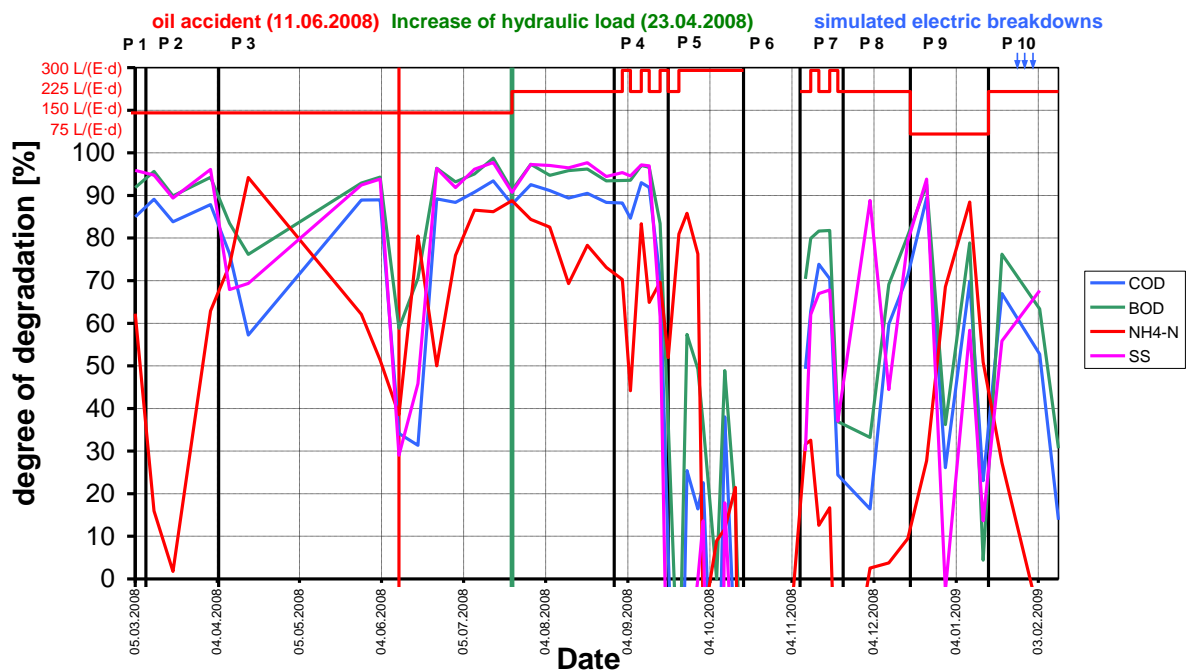


Abbildung 74: Aquamatic - STM 5 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die hydraulische Nominalbelastung ergibt sich ein besserer COD-Abbaugrad (81%) als im Gesamtzeitraum (56%), bedingt durch den geringeren Zufluss. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell deutlich niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war in der Phase 5 (300 L/d) zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 74) zeigen, dass bis zur Mitte von Phase 5 der Abbaugrad zwischen 80 und 90% lag. Der erste Abfall Mitte April liegt an den geringen Zulaufkonzentrationen und den relativ konstanten Ablaufwerten. Der Ölunfall ließ die Abbaugrade stark auf ca. 30-40 % (COD, NH₄-N und SS) und 60% (BOD₅) sinken. Eine Erholung nach dem Unfall erfolgte in ca. 14 Tagen.

Ab dem Ende von Phase 4 brechen dann alle Abbaugrade (COD, BOD₅, NH₄-N, SS) sehr stark ein und erholen sich über den Rest des Versuches nicht mehr. Alle Abbaugrade schwanken dabei zwischen unter 0% bis teilweise über 90%, was keinem stabilen Betrieb entspricht.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.1.4 erläutert.

7.1.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 75) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE·d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE·a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenem Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch entstehen. Der hydraulische Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Die Drehbewegung des Rotationstauchkörpers sowie die Belüftung wird mit Hilfe eines „Druckluftantriebes“ gewährleistet, kann alternativ aber auch mit einem Motorantrieb in Rotation versetzt werden (s. Kap. 4.4). Folgender Verbraucher ist deswegen hier zu berücksichtigen:

- Kompressor/Gebälse (von 30W auf 50W auf 80W erhöht, s. 7.1.11)

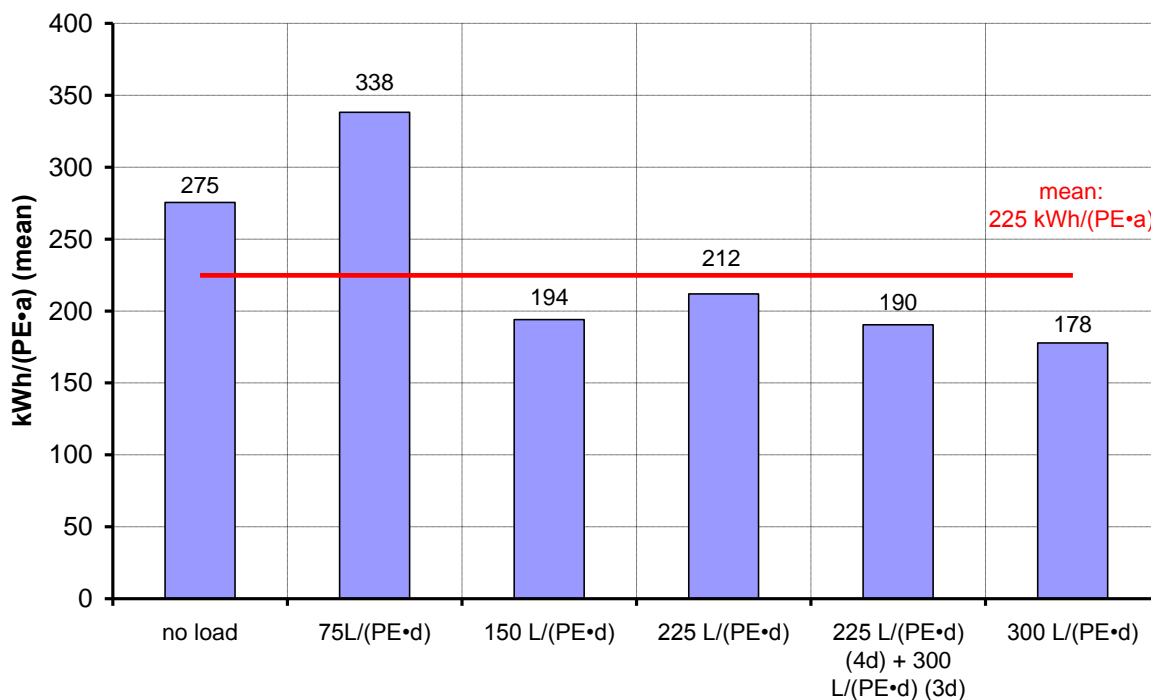


Abbildung 75: Aquamatic - STM 5 - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 225 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 2,1 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 275 kWh/(PE·a) und 4 PE zu 3,0 kWh/d

7.1.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind. Zudem ist zu berücksichtigen, dass während des Untersuchungszeitraumes eine erhebliche Menge an Schlamm über die Nachklärung abgetrieben ist, die dem mittlerem SS-Gehalt im Ablauf zu ca. 100 g/TS(E·d) abgeschätzt werden kann. Außerdem „fließt“ der Rücklaufschlamm aus der Nachklärung über ein Schräge (60°) direkt wieder in den Bioreaktor, wo er mit Hilfe eines Schlammschildes, welches am Scheibenrad befestigt ist, aufgenommen und gleichmäßig im Biobecken verteilt wird. Der Schlamm wird also nur unzureichend eingedickt, was zu einem sehr geringen TS-Gehalt im Bio-Reaktor und im Überschussschlamm führt.

Die Schlammproduktion lag über den gesamten Versuchszeitraum bei 1,5 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 6,51 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 9,75 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 8,0 gTS/(E·d).

7.1.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 76 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

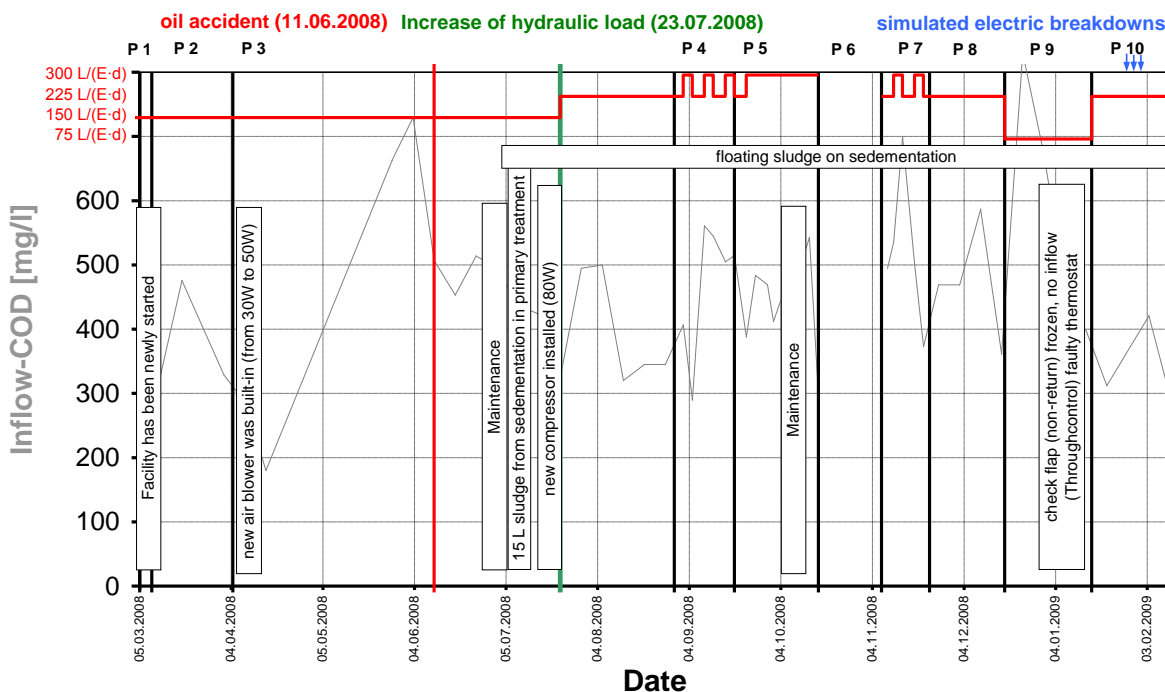


Abbildung 76: Aquamatic STM 5 - Auswertung des Zyklentagebuchs

Eine (hier nicht eingezeichnete) Wartung für die gesamte Kleinkläranlage war am 15.2.2008. Weitere Wartungen waren am 9.7. und am 10.10.08.

Am 7.3.2008 wurde die Anlage neu angefahren.

Am 9.3., 9.7. und 10.10.2008 wurde die Anlage gewartet.

Am 11.4.2008 wurde ein neues stärkeres Gebläse eingebaut (von 30W auf 50W)

Am 9.7.2008 wurde ca. 15L Schlamm aus der Nachklärung in die Vorklärung geschöpft, am 18.7.2008 wurde ein neuer 80W-Kompressor eingebaut.

Ab dem 2.7.2008 befand sich durchgehend leichter Schwimmschlamm auf der Nachklärung.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Aquamatic sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Aquamatic auf.

7.1.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 47 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 0,5 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,6 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,2 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,9 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt einen Anstieg um 11 Eier/L, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,6 log-Stufen) nicht erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badege-wässerqualität.

Tabelle 47: Aquamatic - STM 5 - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	0,31	390.000	5,59	0,72	430.000	5,63	1,00	0,5
	Ablauf	460.000	5,66		75.000	4,88		43.000	4,63		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,00	240.000	5,38	0,51	73.000	4,86	0,48	0,6
	Ablauf	15.000	4,18		75.000	4,88		24.000	4,38		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,25	93.000	4,97	1,34	93.000	4,97	1,09	1,2
	Ablauf	2.400	3,38		4.300	3,63		7.500	3,88		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,96	750	2,88	1,23	46.000	4,66	2,22	1,9
	Ablauf	230	2,36		44	1,64		280	2,45		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		0	13 ¹⁾		-21	<1		-12	-11
	Ablauf	<1			34			12 ¹⁾			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

7.1.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 100 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 47% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 100 mg/L in 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum der Phasen 1 bis 3 (100%-Last, Mittel ca. 79 mg/L) entspricht. Über den

Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 196 mg/L, also wesentlich höher. Auf dem Prüffeld PIA lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 913 mg/L (180 mg/L - 760 mg/L).

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationstauchkörper, die diesem System Aquamatic am ähnlichsten sind, im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 144 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 196 mg/L deutlich über diesem Wert.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 96 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum aber etwas mehr als für die 100%-Phase (79 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 25 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 47% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L in 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum der Phasen 1 bis 3 (100%-Last, Mittel ca. 17 mg/L) entspricht. Über den Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 64 mg/L, also wesentlich höher.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationstauchkörper, die diesem System Aquamatic am ähnlichsten sind, im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 23 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 64 mg/L deutlich über diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (Anlage, 4 PE, 7 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 23 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum aber etwas mehr als für die 100%-Phase (17 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. Selbst mit dieser hydraulischen Last (Phase 1 bis 3) erreicht diese Anlage selten diesen Wert (Mittelwert 10 mg/L) und über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 19,6 mg/L fast viermal so hoch wie der Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationskörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 34 mg/L, d.h. diese Anlage liegt leicht unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 19,6 mg/L), wobei bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 10 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum aber exakt dem Wert für die 100%-Phase (10 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 75 mg/L für eine Stichprobe erreicht werden. Die 75-mg/L-Konzentration (aus einer Mischprobe) wurde in 55% aller Messungen unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was unter dem Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum der Phasen 1-3 (100%-Last, Mittelwert 34 mg/L) liegt. Über den Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 117 mg/L, also wesentlich höher.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationskörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 29 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 116,8 mg/L deutlich über diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 25 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum aber nur etwas geringer als für die 100%-Phase (34 mg/L).

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 69, Abbildung 70, Abbildung 71 und Abbildung 72) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert bzw. mit schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf auch direkt durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 2,1 kWh/d. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 3 Rotationstauchkörper-Anlagen, die dem System (Druckluftgebläse als Antrieb des Rotationstauchkörpers und zur Belüftung) am ehesten vergleichbar sind, bei 0,3 kWh/(PE·d), also etwa halb so groß wie der ermittelte Durchschnittswerte von 0,62 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,28 kWh/(PE·d) bis zu 0,32 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt also im oberhalb dieses Bereiches.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige Rotations-tauchkörper-Anlage einen Energieverbrauch von 44 kWh/(PE-a). Dies entspricht 0,5 kWh/d, also etwas geringer als der Energieverbrauch dieser Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert mit 8,0 g/(PE-d) aus der errechneten IST-Belastung weist nur ein zehntel des erwartenden Schlammanfalls aus. Dieses wird vorwiegend durch den stark erhöhten Schlammabtrieb verursacht, der zu ca. 100 g TS/(E-d) abgeschätzt wurde. (s. Ablaufwerte von abfiltrierbaren Stoffen Abbildung 72).

Aus der Zulassung des Herstellers geht hervor, dass der Schlammgehalt bei der Wartung zwischen 300 und 350 mL/L gehalten werden soll. Der Durchschnitt bis zum 17.9.2008 betrug 310 ml/L, also genau in diesem Bereich. Nach dem 17.9.2008 fiel dieser Wert drastisch auf einen Durchschnitt von 13,5 mL/L, was auch die dramatische Verschlechterung der gesamten Reinigungsleistung der Anlage erklären kann. Einen Grund für diese Verschlechterung des Schlammgehaltes ist wahrscheinlich der Abtrieb von Schwimmschlamm über die Klarwasser-Überlaufrinne der Anlage (s. Kap. 7.1.4).

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 43.000 bis 460.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt weit oberhalb des Bereichs der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 8.400 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für Festbett-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 570, der Maximalwert bei 24.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,6 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,1 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotations-tauchkörper-Anlage (4 PE) eine gesamtcoliforme Belastung von $7,2 \cdot 10^4/100$ mL, eine fäkalcoliforme Belastung von $4,1 \cdot 10^4/100$ mL im Ablauf, also wesentlich geringere Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,5 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,2 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.1.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Bis zur Mitte von Phase 4 waren die Ablaufwerte, mit Ausnahme des Ölunfalls, gering. Durch die Erhöhung der hydraulischen Last ab Phase 4 wurde massiv Schlamm ausgetragen (vermutlich durch Überlastung der Nachklärung) und die Anlage verfügte nicht mehr über eine ausreichende Mikrobiologie, was zu einer starken Verschlechterung der Ablaufwerte führte. Da sich bis zum Ende des Versuches keine ausreichende Schlammmenge mehr bildete, lagen nach dem 17.9.2008 auch die Ablaufwerte weitestgehend über den Überwachungswerten. Insgesamt konnte bis zum 16.9.2008 eine sehr stabil laufende Reini-

gungsleistung festgestellt werden. Danach war die Reinigungsleistung eher unzufriedenstellend (s.o.).

Die Belüftung wurde zweimal durch den Einbau eines stärkeren Kompressors erhöht. Die Anlage hatte nach dem Ölunfall fast durchgehend Schwimmschlamm auf der Nachklärung.

Der Energiebedarf liegt über den Erfahrungswerten anderer Rotationskörperanlagen, die allerdings nur bedingt als Referenz herangezogen werden können, da sie nicht über einen Kompressor als Antrieb und zur Belüftung verfügen.

7.2 Bergmann – BIO- WSB®-N

7.2.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Bergmann wurde die Anlage vom Typ BIO- WSB®-N eingebaut, die für 4 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung laut Zulassung entspricht einer Fracht von 240 g BOD₅/d.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d plus einer Badewanne pro Woche beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08* : 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung (Grobentschlammung), für den Biofilmreaktor sowie für die Nachklärung minimale und maximale Volumina an. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von 2,0 bis 2,6 Tagen für die Vorklärung, 0,8 bis 1,2 Tagen für den Biofilmreaktor und 0,8 bis 1,2 Tagen für die Nachklärung. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 3,6 bis 4,9 Tagen in der gesamten Anlage (Durchschnittlich 4,3 Tage) (s. Kap. 2.6).

7.2.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 48 und Tabelle 49) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulaufkraft aufzustocken

Tabelle 48: Bergmann BIO- WSB®-N - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Bergmann, BIO-wsb-N	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	49	50
mean	456	53	207	3,4	13	269,0	15,7
median	469	48	215	3,2	11	260,0	13,5
min.	180	25	78	1,0	3	120,0	3,7
max.	830	146	301	5,8	65	730,0	62,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		- / 35
stay below of legally binding value (DE)		100%			98%		
stay below of legally binding value (FR)		98%			96%		96%

* Load (real) siehe 2.3

Tabelle 49: Bergmann BIO- WSB®-N - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Bergmann, BIO-wsb-N	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	50
mean	35,1	8,8	47,4	39,1	7,0	5,0
median	34,8	5,8	46,5	37,6	7,3	4,8
min.	11,6	1,0	19,8	24,6	2,9	2,8
max.	54,5	36,4	71,6	64,2	10,2	7,6
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 53 mg/L, der maximale Wert lag bei 146 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (Kapitel 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 100%, der „französische Überwachungswert“ (Kapitel 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 98 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab keinen Messwert, der den deutschen Überwachungswert und einen Messwert, der den „französischen Überwachungswert“ überschritten hatte (s. Kap. 7.2.4). Die Anlage erreichte in (fast) allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 13 mg/L, der maximale Wert lag bei 65 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 98%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 96 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab einen Messwert, der den deutschen Überwachungswert und 2 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.2.4).

Die Anlage erreichte in (fast) allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 15,7 mg/L, der maximale Wert lag bei 62 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 96% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.2.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- **Ammonium (NH₄-N):**

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 8,8 mg/L, der maximale Wert lag bei 36,4 mg/L (s. Kap. 7.2.5). Somit wurden die Anforderungen der DIBt-Klasse N erfüllt.

- **Gesamtstickstoff (N_{tot})**

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 39,1 mg/L, der maximale Wert lag bei 64 mg/L (s. Kap. 7.2.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 5,0 mg/L, der maximale Wert lag bei 7,6 mg/L (s. Kap. 7.2.7).

7.2.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 77) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

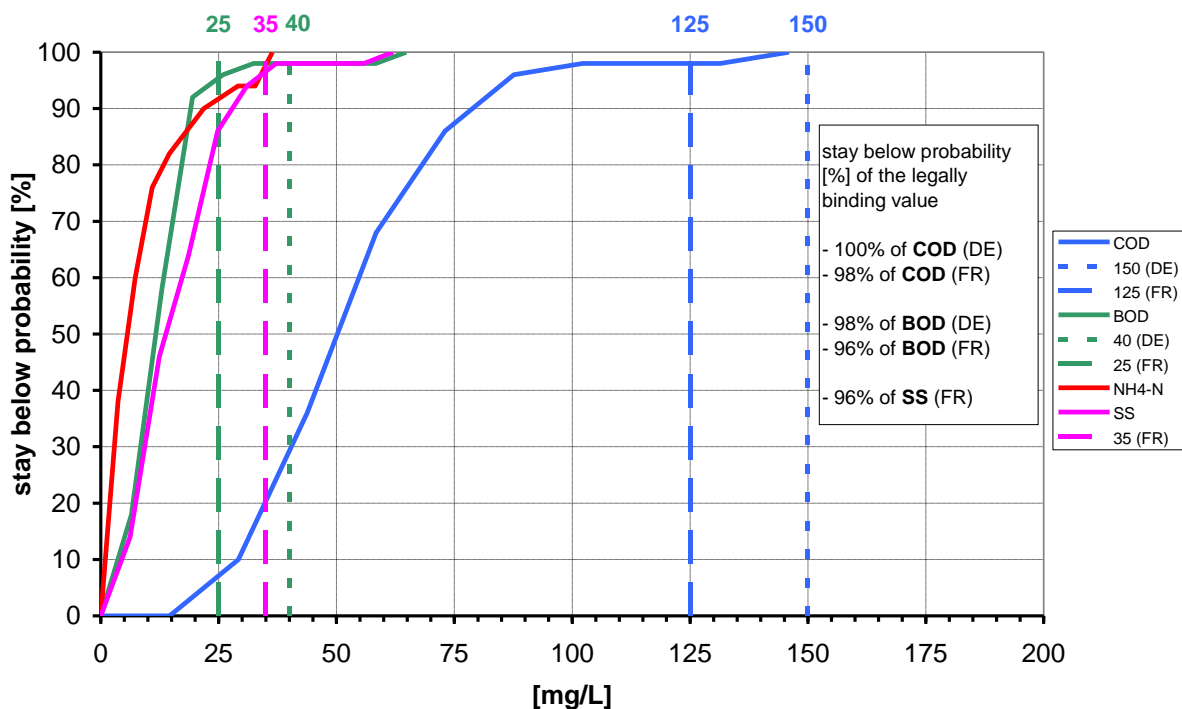


Abbildung 77: Bergmann BIO- WSB®-N - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.2.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 78) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 79 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 4 zu 1.

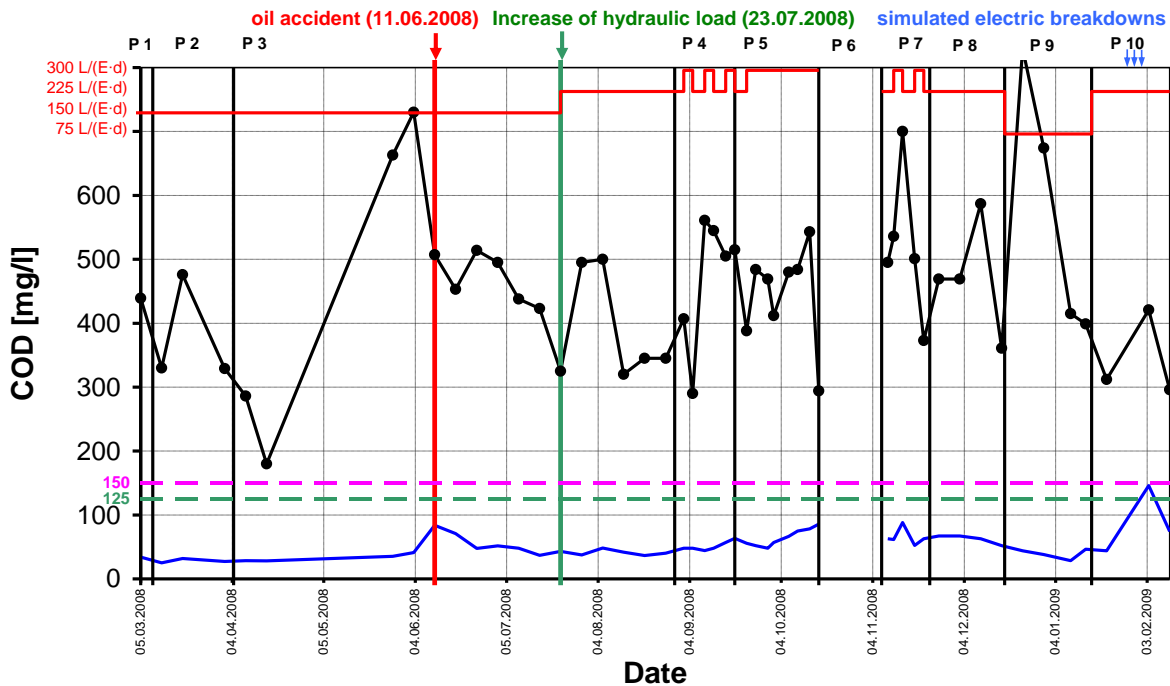


Abbildung 78: Bergmann BIO- WSB®-N - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 78) bleibt bis auf eine Ausnahmen unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine geringe Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Ölentfernung aus der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss. Auch die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche sowie die Dauerbeaufschlagung von 200% hydraulischer Belastung über 4 Wochen (Phase 5) hatte nur eine sehr geringfügige Erhöhung der Ablaufkonzentration auf einen Maximalwert von 85 mg/L zur Folge.

Auch nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) gibt es keine weitere nennenswerte Erhöhung. In Phase 8 und 9 bei geringerer hydraulischer Last geht der COD im Ablauf wieder auf ein Minimum von 28 mg/L zurück, trotz hoher Zulaufkonzentration und niedrigen Temperaturen von über 830 mg/L.

Die kurzfristige Erhöhung des Ablaufwertes für COD nach dem Neustart der Anlage im Anschluss an die simulierten Stromausfälle könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.2.13).

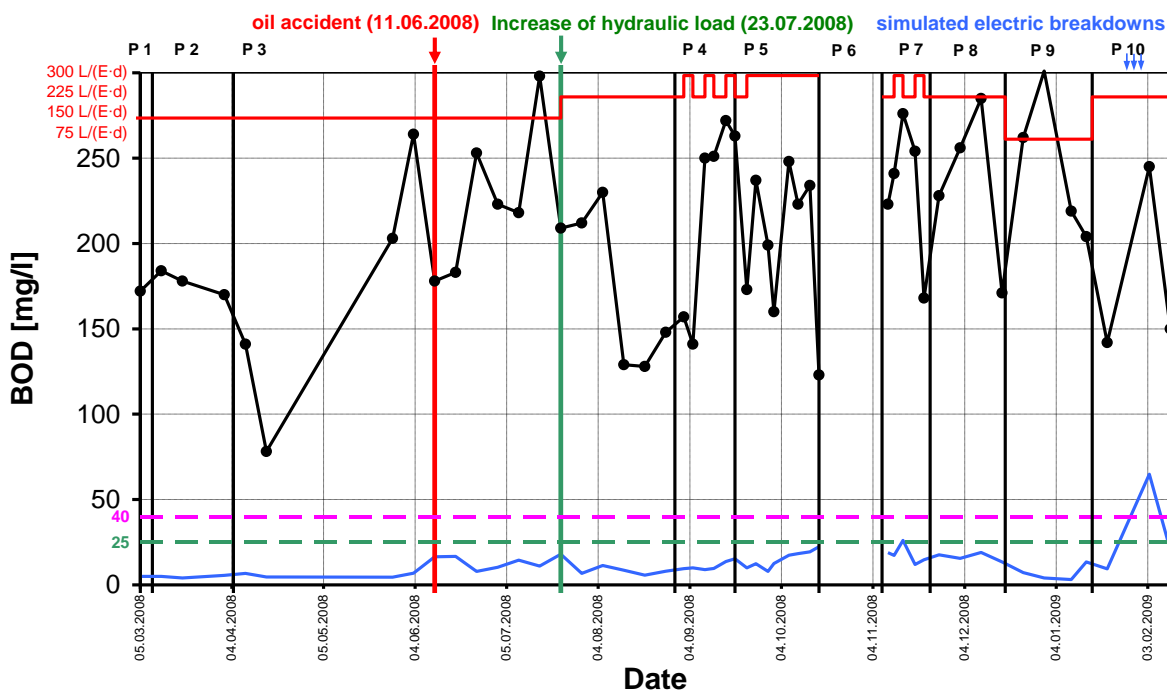


Abbildung 79: Bergmann BIO- WSB®-N - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.2.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 80) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Vorgang reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE-d) auf 225 L/(PE-d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf kontinuierlich von ca. 3 mg/L auf ca. 7 mg/L an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 18,4°C für Phase 4). Der betrieblich gemessene Sauerstoffgehalt lag zu diesem Zeitpunkt im Bereich von 5-7 mg O₂/L, was für biologische Prozesse ausreichend ist. Bis zum Ende von Phase 5 steigt die Ammoniumkonzentration dann auf ca. 35 mg/L an, was beim Vergleich mit dem Zulauf eine Nitrifikation ausschließt.

Nach der Reduzierung der hydraulischen Last ab Phase 8 sinkt die Ammoniumkonzentration wieder auf ein Minimum von 1,7 mg/L und das trotz der geringen Abwassertemperatur von weit unter 12°C (bis auf 5°C).

Erst die simulierten Stromausfälle in Phase 10 lassen die Konzentration wieder sehr stark ansteigen, so dass danach keine Nitrifikation mehr erfolgte.

Die Nitrifikation wird also nur durch die Überlast von 300 L/d in Phase 5 und teilweise auch noch in Phase 7 durch die vermutlich geringere Aufenthaltszeit unterbrochen, aber während der niedrigen Temperaturen im Januar wurde die Nitrifikation nicht beeinträchtigt.

Auch durch die Stromausfälle und vermutlich durch die damit unterbrochene Belüftung bzw. die nicht mehr vorhandene Durchmischung (Schwebebettverfahren) wird kein Ammonium mehr umgesetzt.

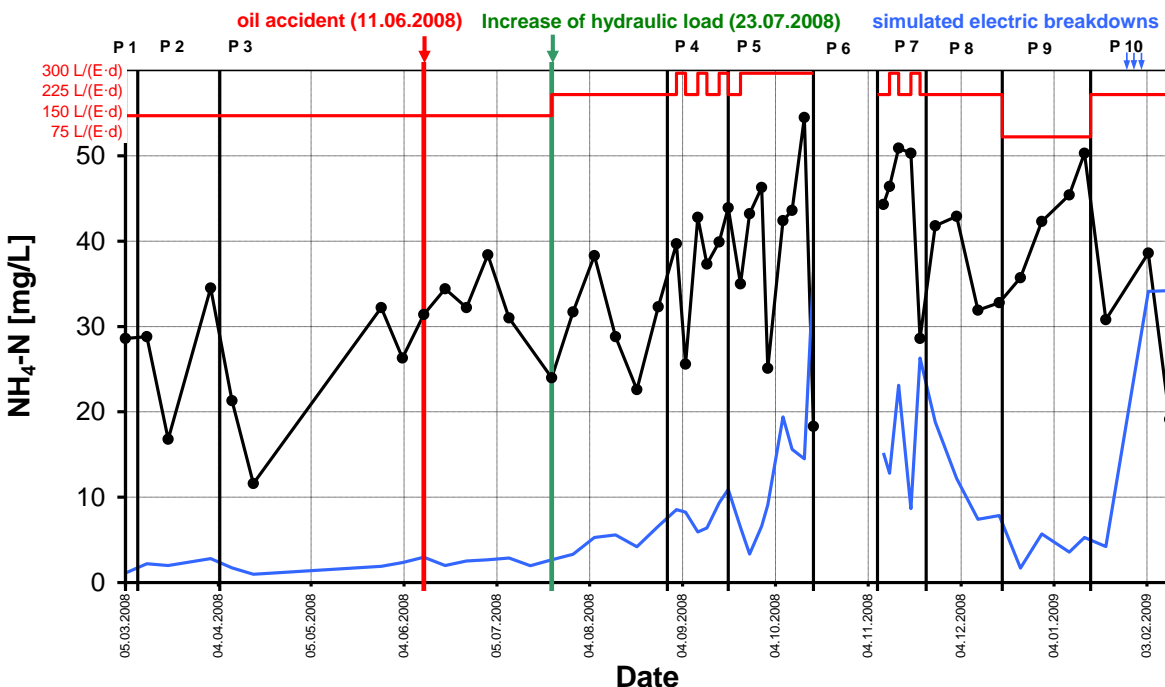


Abbildung 80: Bergmann BIO- WSB®-N - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Ablaufkonzentration entspricht in weiten Teilen des Versuchs der Zulaufkonzentration, so dass keine nennenswerte Denitrifikation zu registrieren war.

7.2.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 81) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 25 mg/L. Durch die Erhöhung der hydraulischen Last in Phase 4, 5 und 7 gibt es eine leichte Vergrößerung der Ablaufkonzentration. In Phase 8 und 9 fällt diese wieder auf einen sehr niedrigen Wert von unter 10 mg/L. Erst in Phase 10 durch die si-

mulierten Stromausfälle steigt der Feststoffanteil im Ablauf kurzzeitig auf einen Maximalwert von 62 mg/L. Dies kann an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Substanz im Zulauf liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und dieser auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennbar ist (Abbildung 78 und Abbildung 79).

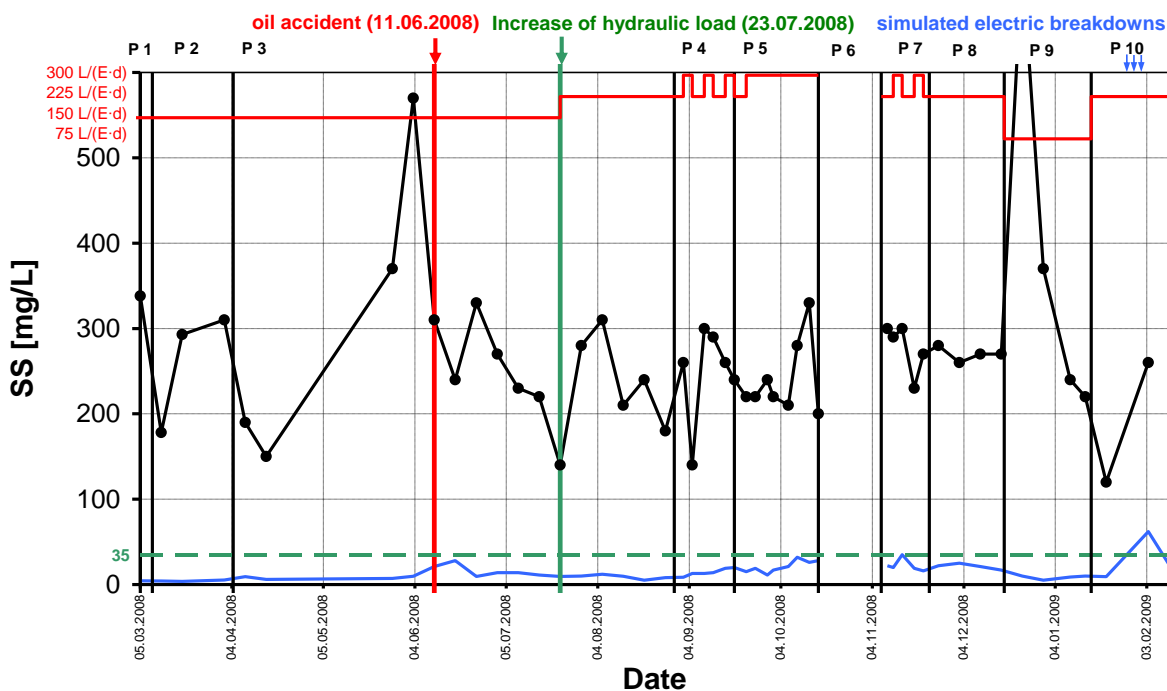


Abbildung 81: Bergmann BIO- WSB®-N - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.2.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 82) ist gering bei ca. 2 mg/L und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulischen Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Durch den sehr geringen Feststoffaustrag (s. Abbildung 81) ist kein direkter Zusammenhang zwischen Feststoff und Phosphor erkennbar, obwohl Phosphor nicht abgebaut sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt wird. Der Phosphorgehalt im Ablauf ist also fast ausschließlich vom Zulaufwert abhängig.

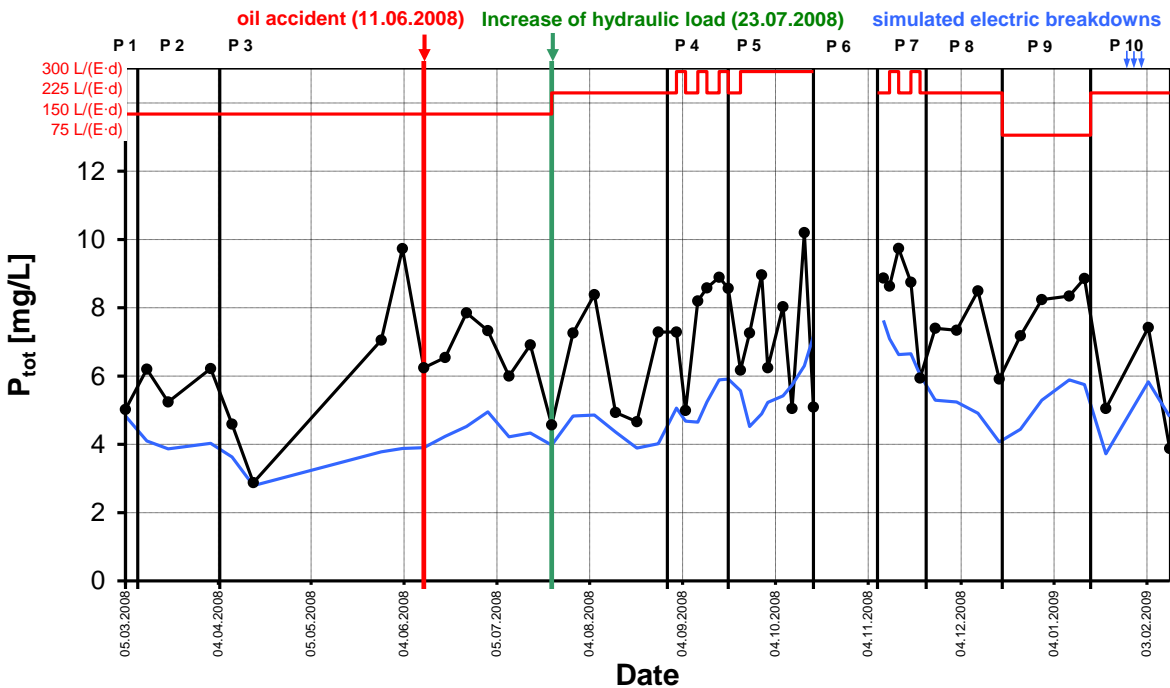


Abbildung 82: Bergmann BIO- WSB®-N - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.2.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 50, Tabelle 51 und Tabelle 52, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 51 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 52 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 88%, von BOD₅ bei 94%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 73%, von Gesamtstickstoff bei 14% und von Phosphor bei 26%.

Tabelle 50: Bergmann BIO- WSB®-N- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Bergmann, BIO-wsb-N	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	50	50	50	50	50	49
mean	88	94	73	14	26	94
median	88	94	84	17	31	94
min.	65	74	-99	-51	-41	76
max.	95	99	96	53	60	99

Tabelle 51: Bergmann BIO- WSB®-N- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Bergmann, BIO-wsb-N	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	90	95	90	-2	30	96
median	90	95	91	2	34	96
min.	83	91	80	-70	3	88
max.	95	98	96	50	60	99

Tabelle 52: Bergmann BIO- WSB®-N- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)

Bergmann, BIO-wsb-N	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	87	93	61	2	21	92
median	87	93	73	13	31	92
min.	71	82	-99	-107	-41	86
max.	92	96	92	42	45	97

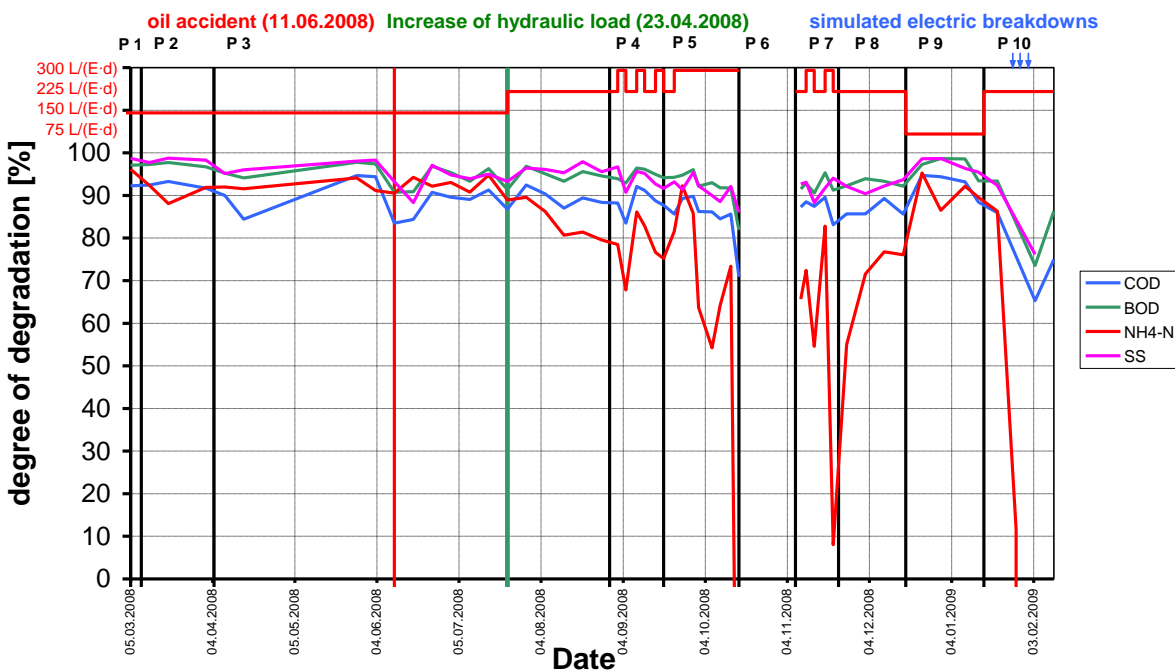


Abbildung 83: Bergmann BIO- WSB®-N - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig besserer COD-Abbaugrad (90%) als im Gesamtzeitraum (88%), bedingt durch die geringere hydraulische Belastung. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell etwas niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war nach den simulierten Stromausfällen zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 83) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein Abfall im Abbaugrad hauptsächlich bei Ammonium zu verzeichnen ist, der am Ende von Phase 5 (wie auch bei COD, BOD₅, SS) ein Minimum annimmt. In Phase 7 ist der Abbaugrad von Ammonium noch sehr wechselhaft (von 10% bis über 80%), normalisiert sich dann aber in Phase 8 und 9 auf über 90%. Erst die simulierten Stromausfälle lassen alle Abbaugrade (COD, BOD₅, NH₄-N und SS) stark abfallen, NH₄-N sogar auf einen negativen Minimalwert.

Diese sehr gute Reinigungsleistung ist trotz leichtem Schwimmschlamm auf der Nachklärung erreicht worden.

Genauere Analysen der Ablaufwerte erfolgen ab Abschnitt 7.2.4.

7.2.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 84) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE·a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenen Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

- Verdichter (Membrankompressor)
- Tauchmotor-/ oder Heber (Mammutpumpe) mit Magnetventil zur Schlammräumung

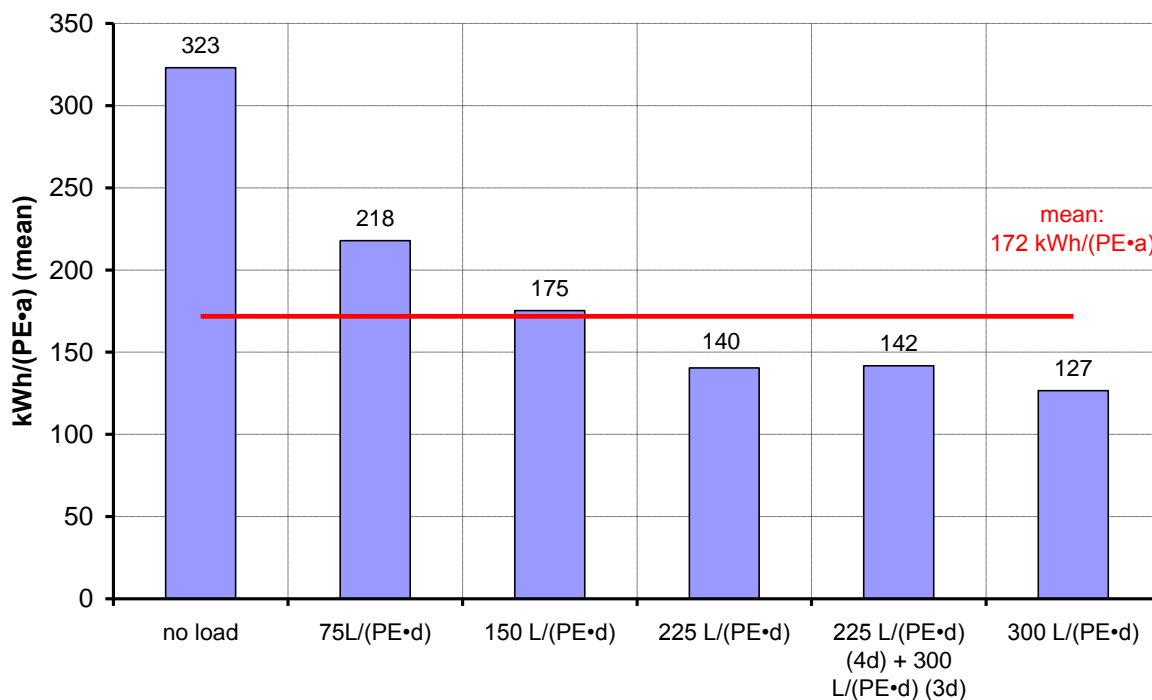


Abbildung 84: Bergmann BIO- WSB[®]-N - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 125 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 1,6 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 323 kWh/(PE·a) und 4 PE zu 3,5 kWh/d

7.2.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über den gesamten Versuchszeitraum bei 2,15 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 19,2 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 41,23 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 33,5 gTS/E-d.

7.2.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 85 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

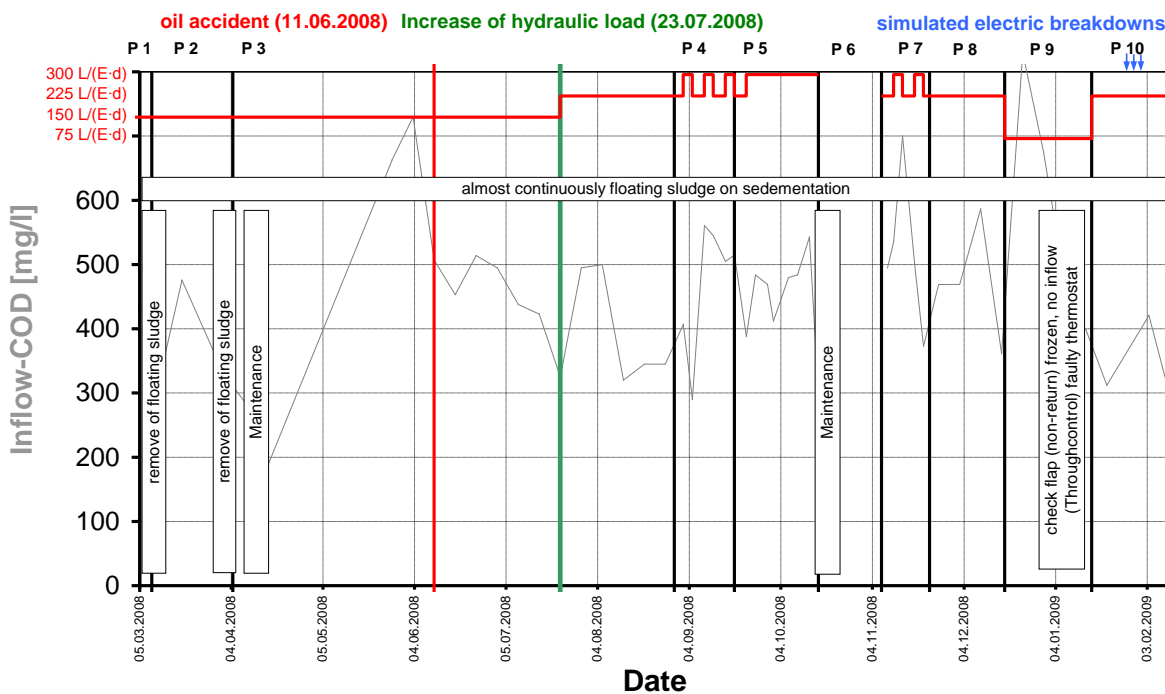


Abbildung 85: Bergmann BIO- WSB®-N - Auswertung des Zyklentagebuchs

Über den gesamten Zeitraum gab es fast durchgehend Schwimmschlamm auf der Nachklärung. Am 12.3. und 2.4.2008 wurde Schwimmschlamm umgeschöpft. Die gesamte Anlage wurde am 15.4. und 23.10.2008 gewartet.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Bergmann sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Bergmann auf.

7.2.12 Mikrobiologie

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 53 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 0,2 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,3 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,8 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 2 Eier/L.

Bei gesamtcoliformen Bakterien gab es am 1.12.2008 einen leichten Anstieg vom Zu- in den Ablauf, was eventuell mit einer zeitlichen Verzögerung des Durchflusses durch die Anlage erklärt werden kann.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 53: Bergmann BIO- WSB®-N - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	-0,07	390.000	5,59	0,72	430.000	5,63	1,25	0,2
	Ablauf	1.100.000	6,04		75.000	4,88		24.000	4,38		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	0,85	240.000	5,38	0,79	73.000	4,86	0,89	0,8
	Ablauf	21.000	4,32		39.000	4,59		9.300	3,97		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,66	93.000	4,97	1,00	93.000	4,97	2,00	1,3
	Ablauf	930	2,97		9.300	3,97		930	2,97		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	1,00	750	2,88	0,41	46.000	4,66	2,22	1,8
	Ablauf	210	2,32		290	2,46		280	2,45		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		0	13 ¹⁾		7	<1		0	2
	Ablauf	<1			6			<1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

7.2.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.5.9 liegt der COD in einer 24-h-Mischprobe unter 75 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2, Ablaufklasse N). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 90% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L in 95% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 53 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 98 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 53 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Schwebbetтанlagen eine mittleren Ablaufwert von 64,2 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 53 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 35 Festbett-/Wirbelbett-Anlagen mit 62 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 147 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 53 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.5.9 liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 15 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2, Ablaufklasse N). Die 15-mg/L-Konzentration wurde in 68% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 85% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 13 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 12 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 13 mg/L sehr knapp über diesem Durchschnitt.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Schwebbetтанlagen eine mittleren Ablaufwert von 7,2 mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 13 mg/L. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 liegt diese Anlage mit 9 mg/L etwa auf dem gleichen Mittelwert wie bei FLASCHE 2002.

Ammonium

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.5.9 liegt die Ammoniumkonzentration in einer Mischprobe unter 10 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2, Ablaufklasse N). Die 10-mg/L-Konzentration

wurde in 74% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 10 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. Mit dieser hydraulischen Last (Phase 1 bis 3) erreicht diese Anlage Werte (Mittel 3 mg/L), die unter 5 mg/L liegen. Erst mit Erhöhung auf 200% hydraulischer Last sowie bei Stromausfällen wird dieser Wert häufig überschritten.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern nach STRAUB 2008 liegt bei 37 mg/L, d.h. diese Anlage weit unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 8,8 mg/L), obwohl bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Nach FLASCHE 2002 erreichten 3 Schwebbetтанlagen einen mittleren Ablaufwert von 10,8 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 8,8 mg/L.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.5.9 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 50 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2, Ablaufklasse N). Die 50-mg/L-Konzentration wurde in 98% aller Messungen unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was weit höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 16 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern nach STRAUB 2008 liegt bei 37 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 16 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 78, Abbildung 79, Abbildung 80 und Abbildung 81) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 172 kWh/(PE·a) und ist damit wesentlich höher als die vom Hersteller angegebenen 55 kWh/(PE·a).

Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 3 Schwebekörperbelebungs-Anlagen bei 0,25 kWh/(PE-d), also niedriger als die ermittelten Durchschnittswerte von 0,47 kWh/(PE-d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,19 kWh/(PE-d) bis zu 0,25 kWh/(PE-d), diese Anlage liegt also weit über diesem Bereich.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 33,5 g/(PE-d) zeigt, dass die Belastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag. Dies kann daran liegen, dass die Zulauf-Fracht geringer war und/oder dass eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden hat, d.h. mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben wird.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von 24.000 bis $1,1 \cdot 10^6$ fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt weit oberhalb des Bereichs der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 1.900 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für Wirbelbett-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 21, der Maximalwert bei 6.900 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,2 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 2,4 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

7.2.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 53 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung unter 100 mg/L gehalten werden, mit Ausnahme des Stromausfalls, wo ein Spitze von 146 mg/L auftrat.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 16 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf. Eine Ausnahme bildet der Schwimmschlamm, der aber keine Auswirkungen auf die Reinigungsleistungsleistung gehabt hatte.

Der Stromverbrauch ist wesentlich höher als die Angabe des Herstellers.

7.3 Klargestern – BioDisk BA

7.3.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Klargestern wurde die Anlage vom Typ BioDisk BA eingebaut, die für 5 PE ausgelegt ist, aber durch die testfeldbedingte Gruppenfestlegung (4 PE, 6 PE und 9 PE) im Rahmen des Versuchsprogramms mit 6 PE beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 360 g BSB₅/d. Laut Zulassung wäre eine Zulauffracht nur bis zu 300 g BSB₅/d möglich.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 900 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut DIBt-Zulassung hätte die Anlage allerdings nur mit einer hydraulischen Belastung von maximal 750 L/d beschickt werden dürfen.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08^{*}: 3,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 4,4 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 4,9 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 81% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung sowie für die Nachklärung nur ein maximales Volumen an. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von 2,1 Tagen für die Vorklärung, 0,3 Tagen für die Nachklärung und eine Aufenthaltszeit (s. Kap. 2.6) von 2,4 Tagen in der gesamten Anlage, ohne das Volumen für den Bioreaktor, was nicht vorlag.

Wegen eines defekten Magnetventils und einer damit verbundenen kurzzeitigen Überlast (s. 7.3.11) wurde 1 Messwert nach Phase 6 (14.11.2008) nicht in die Analyse mit einbezogen. Das defekte Magnetventil gehört nicht zur Anlage sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Klargestern auf.

7.3.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 54 und Tabelle 55) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte.

^{*} s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

Tabelle 54: Klargestern BioDisk BA - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Klargestern Bio-Disc BA	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	48	50	50	48	49	48
mean	456	78	207	4,9	19	269,0	21
median	469	77	215	4,4	19	260,0	20
min.	180	38	78	1,5	4	120,0	6
max.	830	153	301	8,3	64	730,0	52
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		98%			96%		
stay below of legally binding value (FR)		94%			83%		88%

* Load (real) siehe 2.3

Tabelle 55: Klargestern BioDisk BA - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Klargestern Bio-Disc BA	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	48	50	48	50	48
mean	35,1	15,9	47,4	34,6	7,0	5,0
median	34,8	15,6	46,5	34,9	7,3	5,0
min.	11,6	< 0,3	19,8	10,9	2,9	2,7
max.	54,5	39,2	71,6	51,3	10,2	7,1
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 78 mg/L, der maximale Wert lag bei 153 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (Kapitel 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 98%, der „französische Überwachungswert“ (Kapitel 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 94 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 1 Messwert, der den deutschen und 5 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.3.4). Die Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 19 mg/L, der maximale Wert lag bei 64 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wur-

de in 96%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 83 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 8 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.3.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 21 mg/L, der maximale Wert lag bei 52 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 88% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 6 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.3.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für SS.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 15,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 39,2 mg/L (s. Kap. 7.3.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 34,6 mg/L, der maximale Wert lag bei 51,3 mg/L s. Kap. 7.3.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 5,0 mg/L, der maximale Wert lag bei 7,1 mg/L (s. Kap. 7.3.7).

7.3.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 86) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

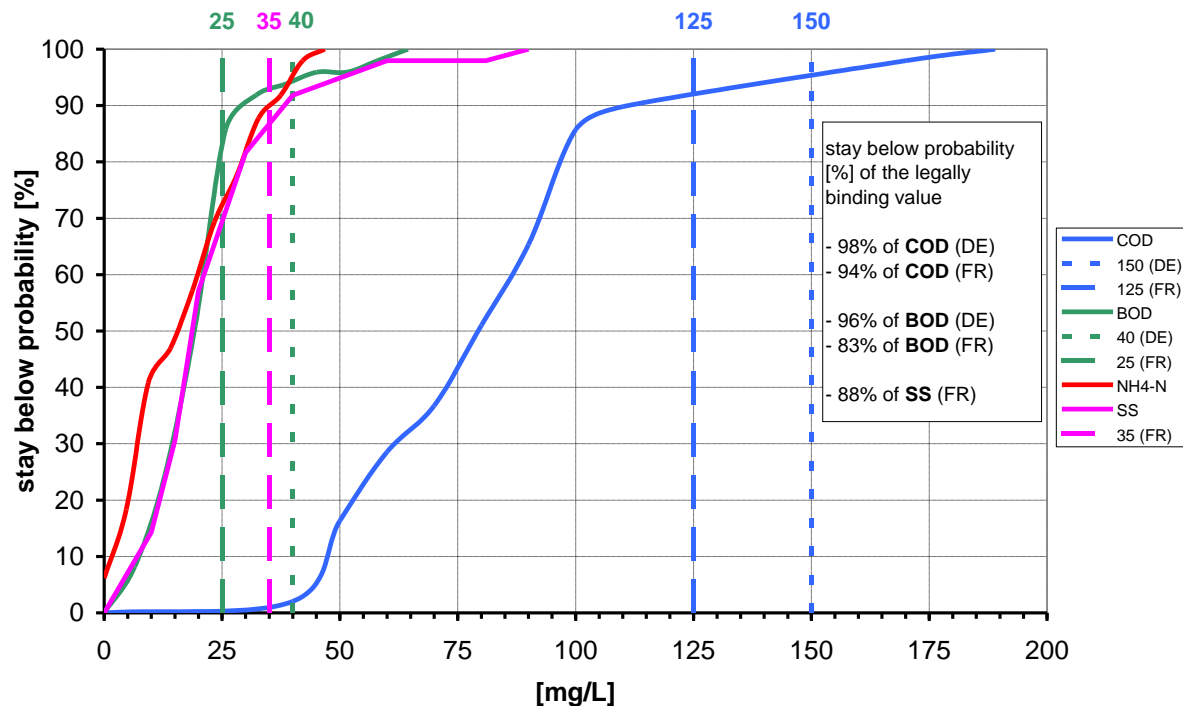


Abbildung 86: Klargestern BioDisk BA - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.3.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 87) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“. Wegen eines defekten Magnetventils wurde 1 Messwert in Phase 7 gelöscht (s. Kap. 7.3.11). Das defekte Magnetventil gehört nicht zur Anlage sondern zum Versuchstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Klargestern auf.

Die in Abbildung 88 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 4,1 zu 1.

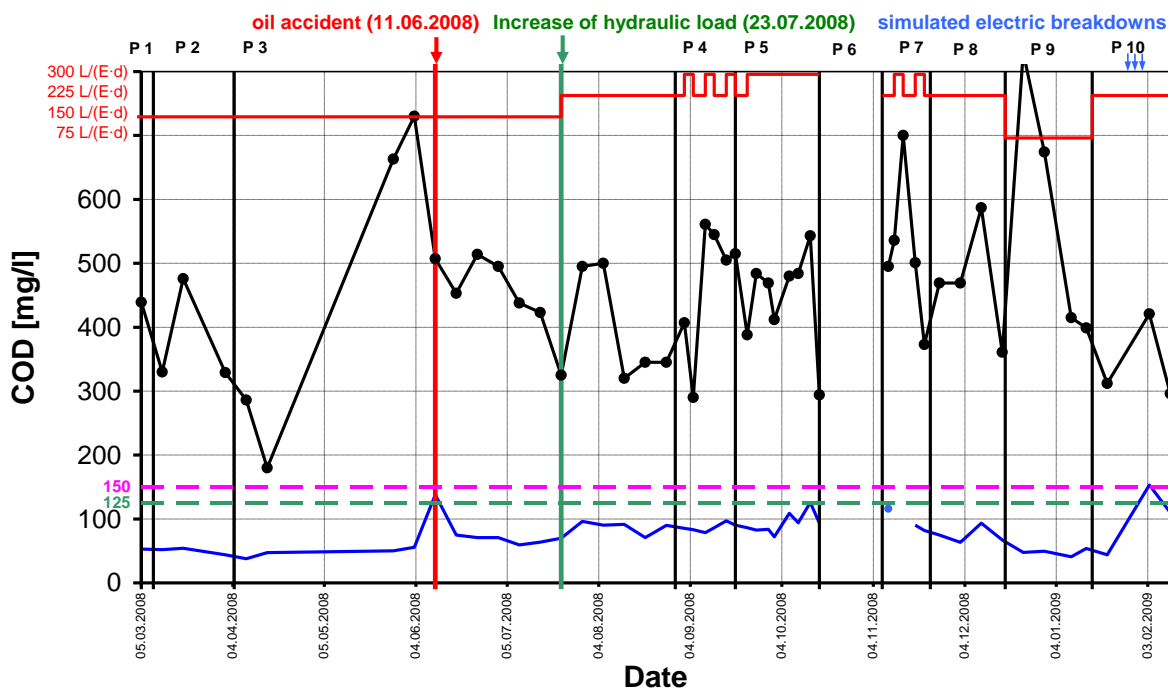


Abbildung 87: Klargestern BioDisk BA - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 87) blieb bis auf wenige Ausnahmen unter 100 mg/L, in weiten Teilen bis zum 23.7.2008 und in Phase 9 sogar um 50 mg/L. Der Ölunfall bewirkte eine starke Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Ölentfernung aus der Vorklä- rung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 7-8 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 bewirkte nur eine sehr geringe Verschlechterung der Ablaufwerte. Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche hatte keine nennenswerte Erhöhung der Ablaufkonzentration zur Folge, obwohl die erste biologische Stufe zum Teil überstaut war. Allerdings bewirkte die Dauerbeaufschlagung von 200% hydraulischer Belastung über 4 Wochen (Phase 5) einen Anstieg der Ablaufkonzentration, die aber dennoch unter 125 mg/L lag.

Auch nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) wurde kein erhöhter Wert für COD verzeichnet. Der Rückgang der hydraulischen Last auf 75 L/(PE-d) ließ auch die Ablaufwerte wieder etwas auf ca. 50 mg/L zurückgehen.

Die kurzfristige Erhöhung des Ablaufwertes für COD nach dem Neustart der Anlage im Anschluss an die simulierten Stromausfälle könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.3.13).

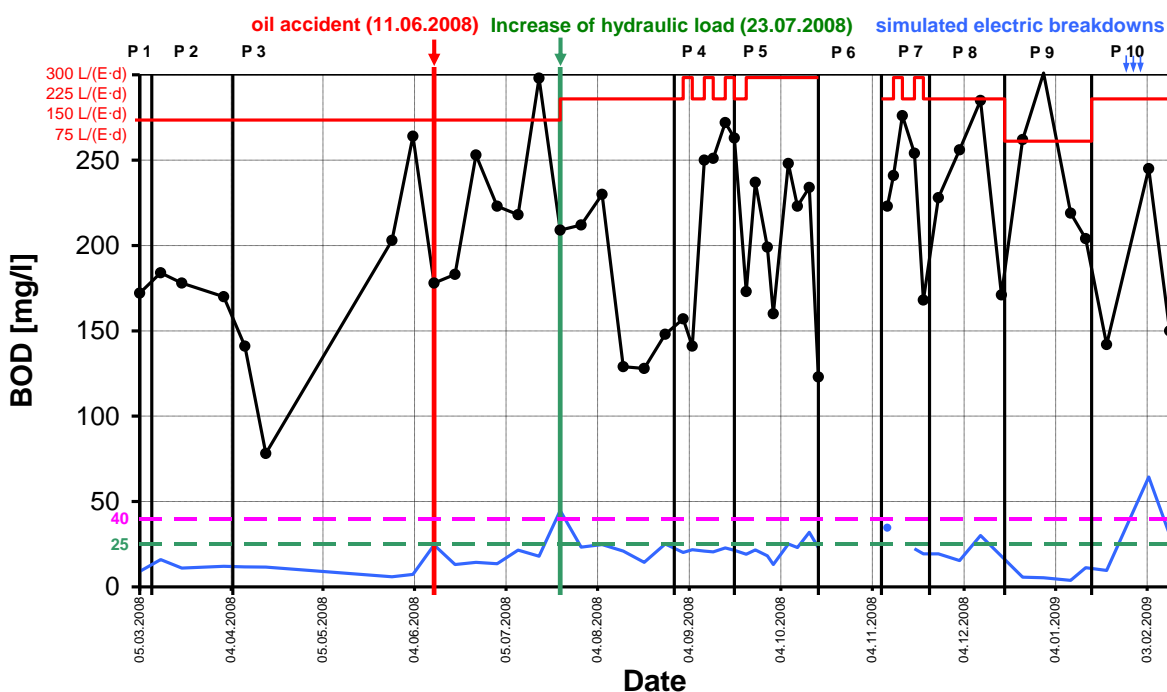


Abbildung 88: Klargestern BioDisk BA - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.3.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 89) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Bis zur Phase 3 konnte eine nahezu vollständige Nitrifikation beobachtet werden. Im Verlauf der Phase 3 stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf von ca. 0-2 mg/L kontinuierlich an. Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE-d) auf 225 L/(PE-d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) wurde der Anstieg noch leicht verstärkt, mit einem kurzen Abfall vor Phase 4, der sich genau mit der abnehmenden Zulaufkonzentration deckt. Der NH₄-N-Ablaufwert pendelte in Phase 4 und 5 zwischen 10 und 30 mg/L, was eine stark eingeschränkte Nitrifikation erkennen lässt. Der Konzentrationsanstieg erfolgte, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 17,4°C für Phase 4) und erst zum Ende von Phase 5 auf knapp 12°C fielen

Bei Abnahme der hydraulischen Last von Phase 7 bis 9 fällt auch die NH₄-N-Ablaufkonzentration stark und eine nennenswerte Nitrifikation wurde wieder erreicht (NH₄-N = 10 mg/L), trotz der minimalen Temperaturen des Abwassers von 4,4°C.

Die Stromausfälle störten die Nitrifikation sehr empfindlich und die Ablaufkonzentration stieg bis den Zulaufwert und darüber.

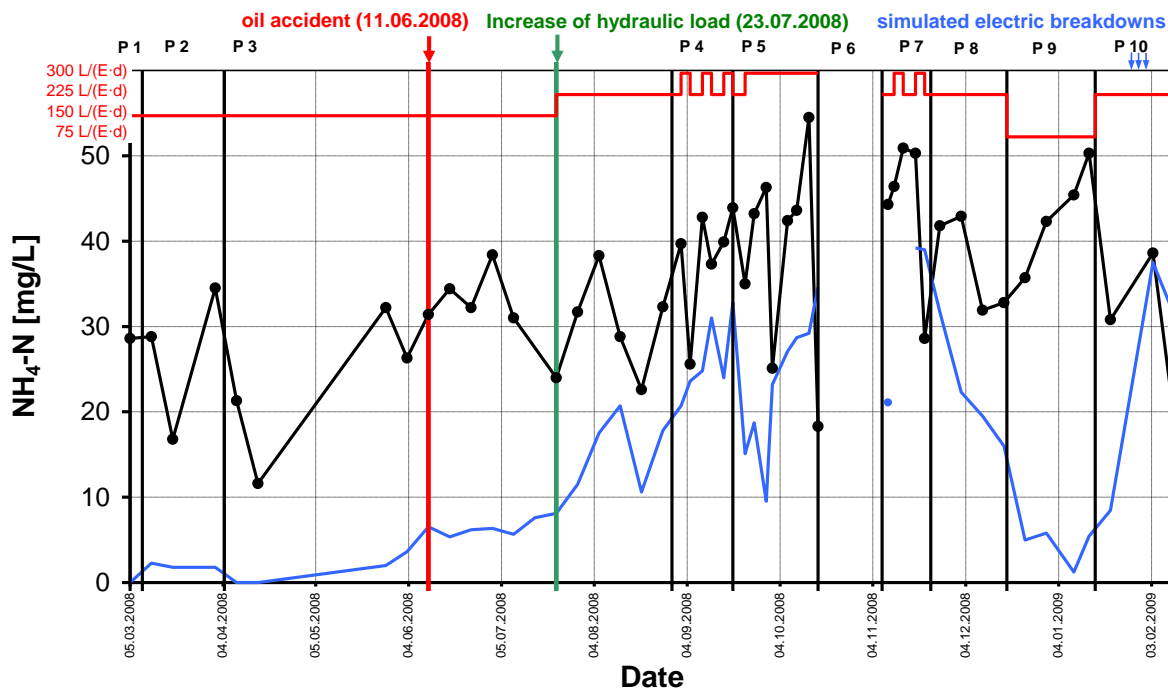


Abbildung 89: Klargester BioDisk BA - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs verlief bis kurz vor Phase vier parallel mit ca. 5 mg/L unter dem Zulaufwert, d.h. es erfolgte eine leichte Denitrifikation von ca. 30% bis 50%. Erst ab Phase vier gibt es keine nennenswerte Denitrifikation mehr, was sich bis zum Ende des Versuches kaum ändert.

7.3.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 90) blieb meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 35 mg/L. In Phase 5 (300 L/(E-d)) gibt es zwei Spitzen, die bis auf 50 mg/L anstiegen. Vermutliche Ursache des Schlammabtriebs (s. Abbildung 90) ist die Überschreitung der zulässigen Flächenbeschickung der Nachklärung, die herstellereits mit 0,075 m/h angegeben wird. Bei einer hydraulischen Belastung von 200% liegt bezogen auf $Q_d/10$ (nach Zulassungskriterien DIBt) die gefahrene Flächenbeschickung bei 0,26 m/h und bei Berücksichtigung des Badewannstoßes sogar bei 0,28 m/h.

Nach der Ruhephase (Phase 6) sinkt der Maximal-Wert von 36 mg/L in ca. 7 Tagen auf den Normalzustand von unter 35 mg/L.

In Phase 9 sank die Konzentration auf den niedrigsten Wert von unter 6 mg/L, was durch die geringe hydraulische Belastung zu erklären ist

In Phase 10 gab es erneut eine kurze Überschreitung des Überwachungswertes von 35 mg/L. Dies kann an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Substanz liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt. Da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und man dies auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennen kann (Abbildung 87 und Abbildung 88).

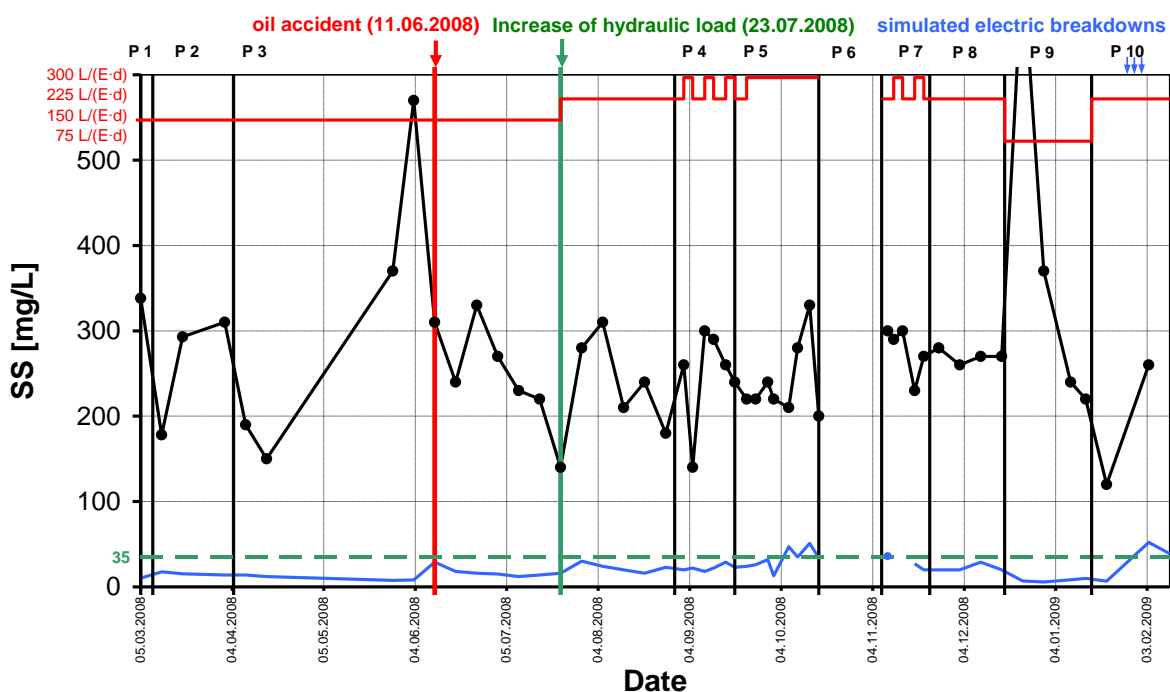


Abbildung 90: Klargestern BioDisk BA - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.3.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 91) ist gering und über den gesamten Zeitraum relativ unabhängig von der hydraulischen Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Durch den sehr geringen Feststoffaustrag (s. Abbildung 90) ist kein direkter Zusammenhang zwischen Feststoff und Phosphor erkennbar, obwohl Phosphor nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm ausgetragen wird. Der Phosphorgehalt im Ablauf ist also nur vom Zulaufwert abhängig.

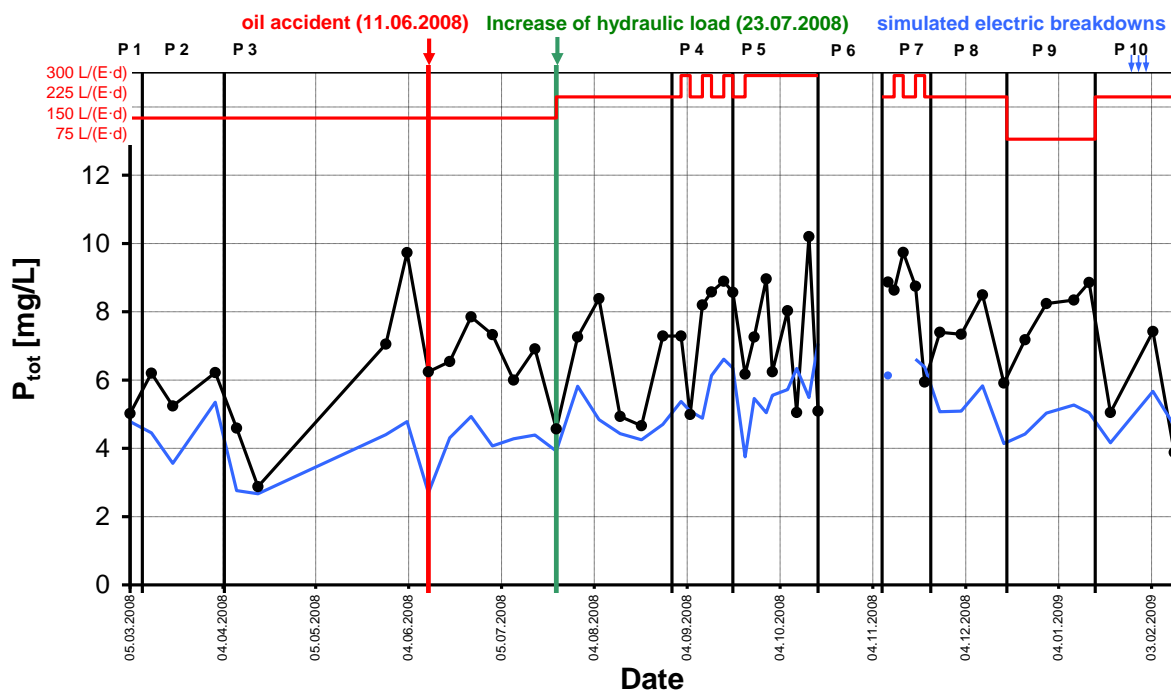


Abbildung 91: Klargestern BioDisk BA - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.3.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 56, Tabelle 57 und Tabelle 58, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 57 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 58 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD lag bei 82%, von BOD₅ bei 90%. Die mittlere Elimination von Ammonium betrug 53%, von Gesamtstickstoff 24% und von Phosphor 25%.

Tabelle 56: Klargestern - BioDisk BA - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P

Klargestern Bio-Disc BA	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	η_{tot}	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	48	48	48	48	48	47
mean	82	90	53	24	25	91
median	82	91	56	25	29	92
min.	63	74	-89	-74	-39	78
max.	94	98	100	65	57	99

Tabelle 57: Klargestern - BioDisk BA - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Klargestern Bio-Disc BA	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	83	90	78	27	29	93
median	85	92	83	32	33	93
min.	71	79	28	-7	5	87
max.	92	97	100	66	57	99

Tabelle 58: Klargestern - BioDisk BA- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)

Klargestern Bio-Disc BA	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	17	17	17	17	17	17
mean	79	89	26	-4	19	88
median	81	90	36	9	26	88
min.	68	81	-89	-153	-39	78
max.	86	92	79	40	46	94

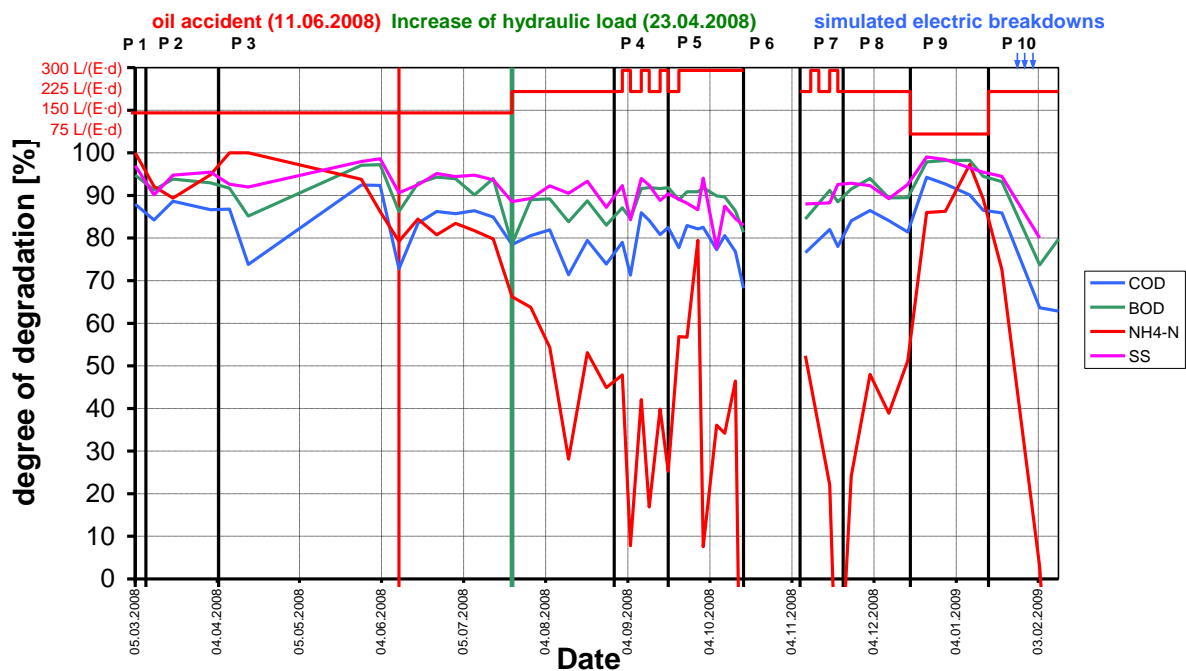


Abbildung 92: Klargestern BioDisk BA - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig besserer COD-Abbaugrad (83%) als im Gesamtzeitraum (82%). Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war nach den simulierten Stromausfällen zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 92) zeigen, dass seit der Phase 3 ein Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist. Erst in Phase 9 ist der Abbaugrad von Ammonium auf einen Maximalwert von über 95% angestiegen, um dann bei den Stromausfällen wieder sehr stark abzufallen.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.3.4 erläutert.

7.3.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 93) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Beschickung (6 PE, s. Kap. 7.3.1).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (6 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenem Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energiever-

brauch entstehen. Der Einwohnerwert (PE) lag bei hohen Belastungen häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Überschussschlammpumpe
- Getriebemotor

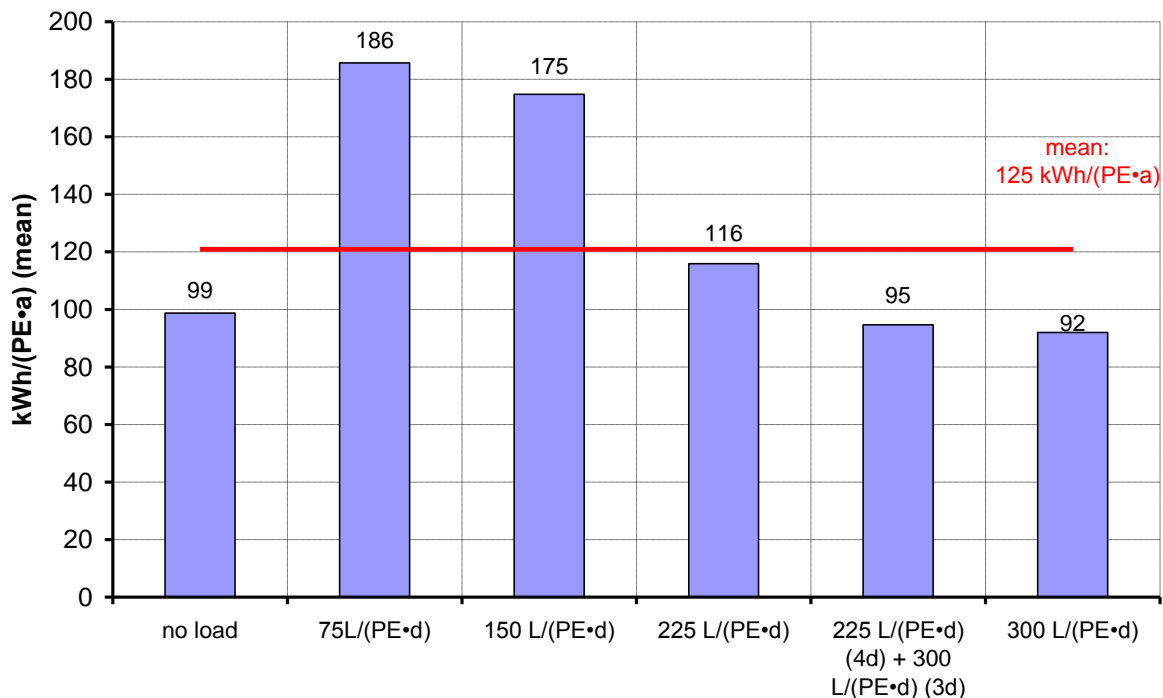


Abbildung 93: Klargestern BioDisk BA - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 125 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 4,8 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 1,6 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 99 kWh/(PE·a) und 6 PE zu 1,6 kWh/d.

7.3.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 0,89 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 42,5 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 37,8 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 4,8 PE beträgt 21,7 gTS/E-d.

7.3.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 94 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

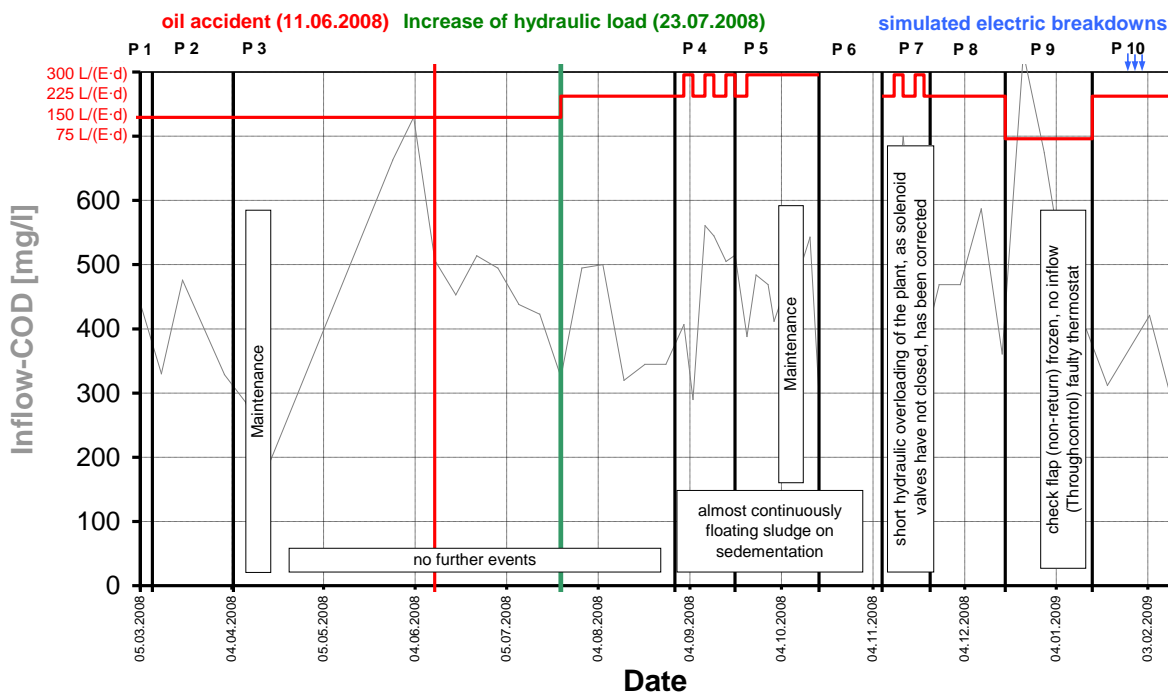


Abbildung 94: Klargester BioDisk BA - Auswertung des Zyklentagebuchs

Eine 30-minütige Wartung der Anlage wurde am 29.01. (nicht in Abbildung 94 vorhanden), 15.4. und am 9.10.2008 durchgeführt.

Vom 28.8. – 29.10.2008 war fast durchgehend leichter Schwimmschlamm auf der Nachklärung.

Am 10.11.2008 gab es eine kurze hydraulische Überlastung der Anlage, da Magnetventile nicht geschlossen haben. Das Magnetventil gehört nicht zur Klargester-Anlage, so der Fehler außerhalb der Verantwortung der Firma Klargester auftrat. Der Fehler wurde behoben. Entsprechende Messwerte wurden nicht berücksichtigt.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Klargester sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Klargester auf.

7.3.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 59 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,1 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,7 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,5 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt einen Anstieg um 6 Eier/L, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Die Reduzierung von Mikroorganismen ist nur oberhalb eines $\Delta[\log]$ von 1 effizient, was hier bei den gesamtcoliformen Bakterien, bei den intestinalen Enterokokken und bei den Salmonellen der Fall war.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 59: Klargester - BioDisk BA - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	1,67	390.000	5,59	1,41	430.000	5,63	0,66	1,1
	Ablauf	20.000	4,30		15.000	4,18		93.000	4,97		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,00	240.000	5,38	1,41	73.000	4,86	0,23	0,8
	Ablauf	15.000	4,18		9.300	3,97		43.000	4,63		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,31	93.000	4,97	1,59	93.000	4,97	2,34	1,7
	Ablauf	2.100	3,32		2.400	3,38		430	2,63		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,28	750	2,88	0,24	46.000	4,66	2,79	1,5
	Ablauf	1.100	3,04		430	2,63		74	1,87		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-9	13 ¹⁾		-7	<1		-1	-6
	Ablauf	9			20			1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

7.3.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus dem Zulassungsbericht und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.6.8 liegt der COD in einer 24-h-Mischprobe unter 110 mg/L (laut DIBt in Tabelle 2 maximal 100 mg/L für 24-h-Mischprobe). Die 110-mg/L-Konzentration wurde in 90% aller Messungen unterschritten, die 100 mg/L in 88%. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 110 mg/L sowie von 100 mg/L (s.o.) zu 95 % unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was nur etwas unter dem Mittelwert dieser Anlage über dem Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 78 mg/L liegt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationskörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 beträgt 144 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 78 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 96 mg/L, also höher als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.6.8 liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 25 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 83% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L zu 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 19 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationstauchkörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 23 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 19 mg/L knapp unter diesem Durchschnitt.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. Diese Anlage erreicht einen durchschnittlichen Ablaufwert von 15,9 mg/L über den Gesamtversuchszeitraum und liegt damit weit über diesem Durchschnitt. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde hingegen ein Ablaufwert von 7 mg/L erreicht, was dem Mittelwert aus dem Prüffeld PIA in Aachen entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationstauchkörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 24 mg/L, d.h. diese Anlage liegt unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 15,9 mg/L), obwohl bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 10 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum (15,9 mg/L) aber etwas mehr als für die 100%-Phase (7 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.6.8 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer 24-h-Mischprobe unter 30 mg/L liegen (laut DIBt in Tabelle 2 maximal 75 mg/L für qualifizierte Stichprobe). Die 30-mg/L-Konzentration wurde in 81%, die 75 mg/L in 100% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 30 mg/L in 95%, der Wert von 75 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was dem entspricht, was diese Anlage als Mittelwert über den Gesamtzeitraum von 21 mg/L erreicht hat.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Rotationstauchkörper-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 29 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 21 mg/L unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotationsstauchkörper-Anlage (4 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 25 mg/L, was in etwa dem Ablaufwert dieser Anlage über den gesamten Versuchszeitraum entspricht (21 mg/L).

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 87, Abbildung 88, Abbildung 89 und Abbildung 90) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 1,6 kWh/d. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 3 Rotationstauchkörper-Anlagen bei

0,3 kWh/(PE·d), also unwesentlich niedriger als der ermittelte Durchschnittswert von 0,34 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,28 kWh/(PE·d) bis zu 0,32 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt knapp oberhalb dieses Bereiches.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige Rotations-tauchkörper-Anlage einen Energieverbrauch von 44 kWh/(PE·a). Dies entspricht 0,5 kWh/d, also etwas höher als der Energieverbrauch dieser Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE·d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 21,52 g/(PE·d) liegt deutlich unter dem Literaturwert, was zum einen an der geringeren Feststoffbelastung liegen könnten und zum anderen, dass eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden hat, d.h. mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben wird.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 930.000 bis 430.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt weit oberhalb des Bereiches der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 32.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für SBR-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 120.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,8 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Rotations-tauchkörper-Anlage eine gesamtcoliforme Belastung von $1,37 \cdot 10^7/100$ mL, eine fäkal-coliforme Belastung von $6,8 \cdot 10^6/100$ ml im Ablauf, also wesentlich höhere Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,1 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,2 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.3.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 4,8 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 78 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung unter 150 mg/L gehalten werden. Lediglich während der simulierten Stromausfälle trat ein erhöhter Wert auf.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 21 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L. Im Abschnitt mit 200 % hydraulischer Beschickung kam es allerdings zweimal zu Ablaufwerten von ca. 50 mg/L und auch während der simulierten Stromausfälle war ein erhöhter Feststoffablaufwert zu registrieren.

Insgesamt konnte eine sehr stabil laufende Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf, und trotz leichtem Schwimmschlamm auf der Nachklärung waren die Reinigungsergebnisse sehr gut.

7.4 Nordbeton – Biofilter KP253 PAL „Klärpott“

7.4.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Nordbeton wurde die Anlage vom Typ Biofilter KP253 PAL (Klärpott) eingebaut, die für 9 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 540 g BSB₅/d, wobei sie laut DIBt-Zulassung nur bei 360 g BSB₅/d liegt.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 1.350 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 1.350 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08¹: 4,9 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 6,3 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 7,0 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 77% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Aus den Volumina der Vorklärung, des Bioreaktors und der Nachklärung ergaben sich Aufenthaltszeiten von 1,6 Tagen für die Vorklärung, 1,0 Tage für den Bioreaktor und 1,1 Tagen für die Nachklärung. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von Durchschnittlich 3,8 Tagen in der gesamten Anlage (s. Kap. 2.6).

7.4.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 60 und Tabelle 61) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

¹ s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Tabelle 60: Nordbeton KP253 PAL - Statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Nordbeton, Biofilter KP253 PAL	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	49	49
mean	456	92	207	7,0	25	269,0	28,7
median	469	85	215	6,4	21	260,0	22,0
min.	180	33	78	2,0	4	120,0	2,6
max.	830	334	301	12,4	101	730,0	210,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		94%			86%		
stay below of legally binding value (FR)		80%			58%		69%

* Load (real) siehe 2.3

Tabelle 61: Nordbeton KP253 PAL - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Nordbeton, Biofilter KP253 PAL	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	50
mean	35,1	18,0	47,4	25,1	7,0	5,3
median	34,8	12,9	46,5	22,9	7,3	5,1
min.	11,6	3,6	19,8	8,8	2,9	3,0
max.	54,5	42,3	71,6	47,4	10,2	9,0
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 92 mg/L, der maximale Wert lag bei 334 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (Kapitel 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 94%, der „französische Überwachungswert“ (Kapitel 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 80 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 3 Messwerte, die den deutschen und 10 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.4.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 25 mg/L, der maximale Wert lag bei 101 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 86%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 58 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 7 Messwerte, die den deutschen und 21 Messwerte, die den

„französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.4.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen den geforderten Ablaufwert für Deutschland und in mehr als der Hälfte der Fälle die geforderten Ablaufwert für Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 29 mg/L, der maximale Wert lag bei 210 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 69% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 14 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.4.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- **Ammonium (NH₄-N):**

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 18,0 mg/L, der maximale Wert lag bei 42,3 mg/L (s. Kap. 7.4.5).

- **Gesamtstickstoff (N_{tot})**

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 25,1 mg/L, der maximale Wert lag bei 47,4 mg/L (s. Kap. 7.4.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 5,3 mg/L, der maximale Wert lag bei 9 mg/L (s. Kap. 7.4.7).

7.4.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 95) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

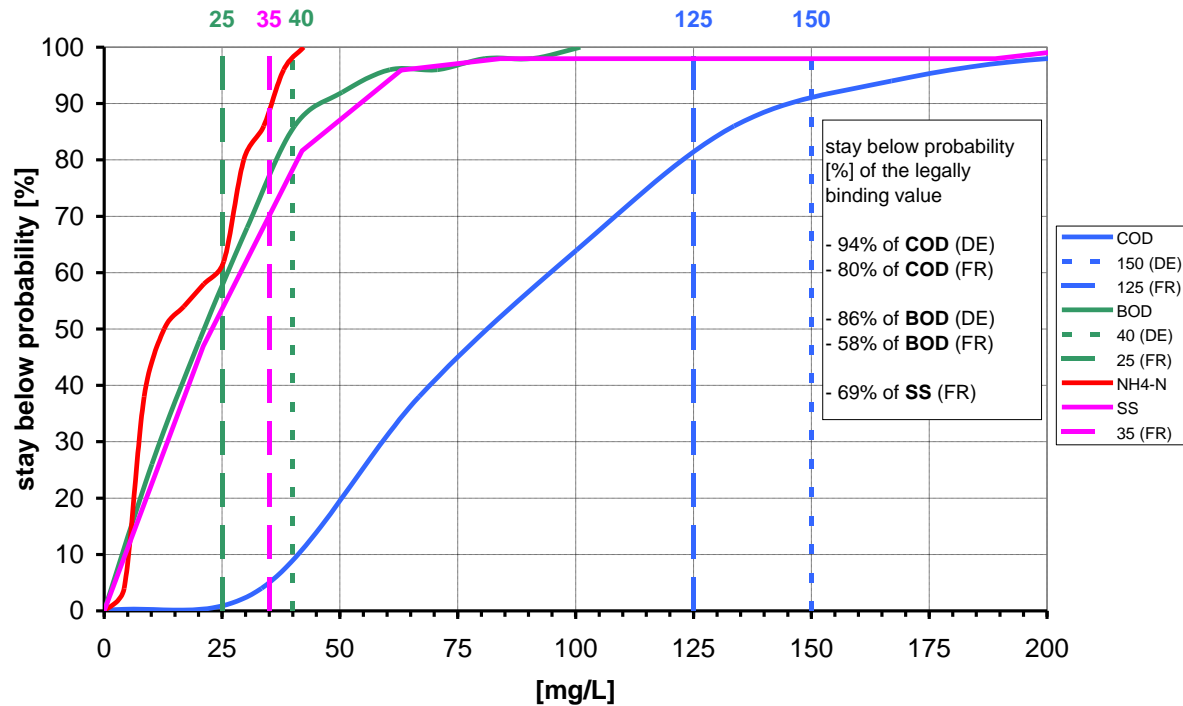


Abbildung 95: Nordbeton KP253 PAL - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.4.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 96) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 97 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel ca. 3,7 zu 1.

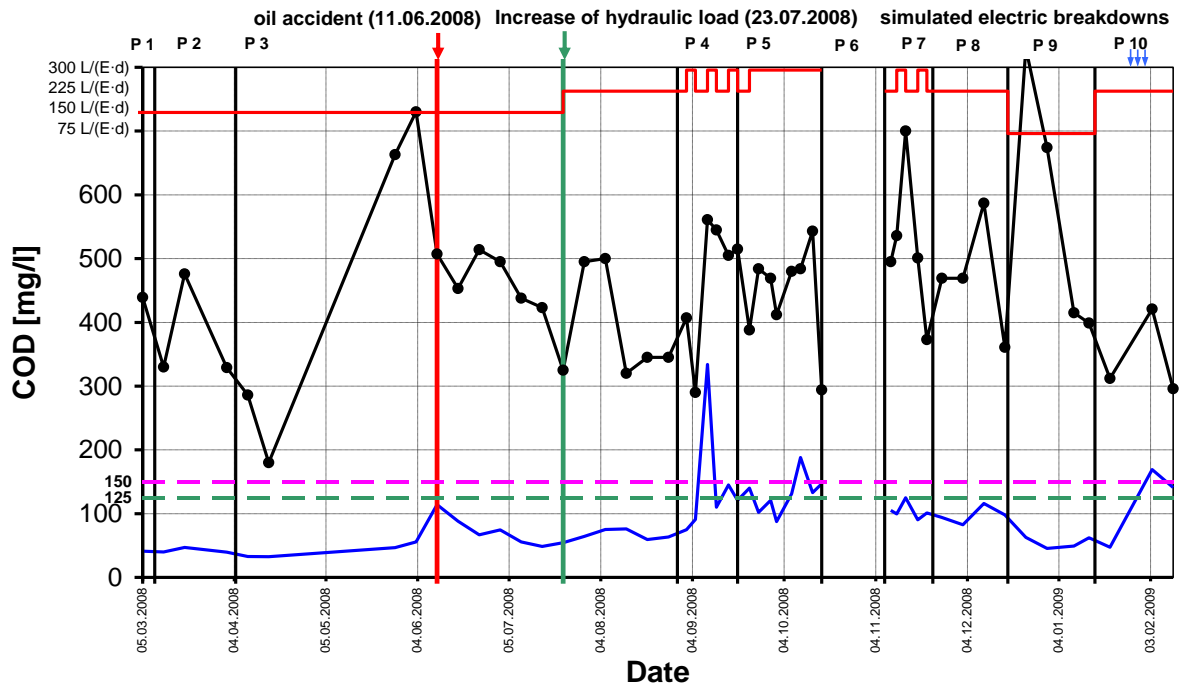


Abbildung 96: Nordbeton KP253 PAL - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 96) bleibt in Phase 1 bis Phase 3 bis auf eine Ausnahme unter 100 mg/L: Der Ölunfall bewirkt eine Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ablaufkonzentration.

Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche in Phase 4 hatte eine kurzfristige aber sehr starke Erhöhung auf über 300 mg COD/L zur Folge. Diese sehr starke Erhöhung in Phase 4 und auch der Peak in Phase 5 trat zeitgleich mit einer Grobstoffablagerung auf der Verteilerrinne (s. Kap. 7.4.11) auf, die auf eine Überlastung der Vorklärung hindeutet und somit zur Verschlechterung der Abwasserverteilung beitrug, was die erhöhten Ablaufwerte erklärbar macht

Die Ruhephase hatte einen positiven Einfluss auf den COD-Abbau, da ab Phase 7 nur noch einmal während der simulierten Stromausfälle der „französische Überwachungswert“ überschritten wurde. Dies könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.4.12).

Während Phase 9 sank auf Grund der geringen hydraulischen Belastung der COD im Ablauf auf ca. 50 mg/L.

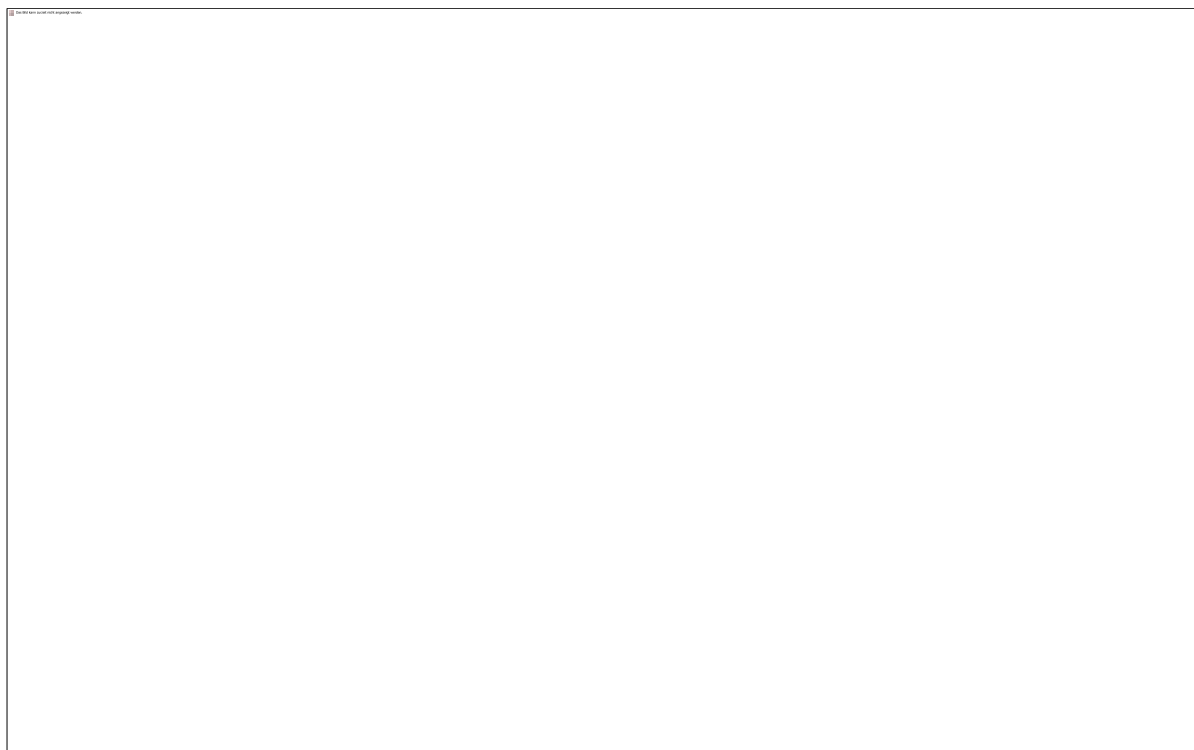


Abbildung 97: Nordbeton KP253 PAL - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.4.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 98) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Bis zum 23.7.2008 blieb die Ablaufkonzentration auf einem sehr geringen Niveau von durchschnittlich ca. 5 mg/L. Der Ölunfall hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Ablaufwerte.

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE·d) auf 225 L/(PE·d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) steigt die Ammoniumkonzentration im Ablauf kontinuierlich von ca. 8 mg/L auf über 40 mg/L zum Ende von Phase 5 stark an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 17,4°C für Phase 4 und 5). Die Nitrifikation ist in Phase 4 und 5 sehr eingeschränkt, was eindeutig durch die erhöhte hydraulische Last erklärbar ist.

Nach der Ruhephase war die Ammoniumkonzentration wieder sehr gering (ca. 10 mg/L), stieg dann aber auf einen Wert von über 35 mg/L an.

In den Phasen 7 bis 9 fiel die Ablaufkonzentration kontinuierlich auf ein Minimum von unter 10 mg/L in Phase 9 ab, obwohl die Abwassertemperatur in diesem Zeitraum auf unter 5 °C fällt (ca. 4,2 °C am 14.1.2009).

In Phase 10 stieg die Konzentration wieder auf über 30 mg/L an, was wahrscheinlich durch die Stromausfälle zu erklären ist.

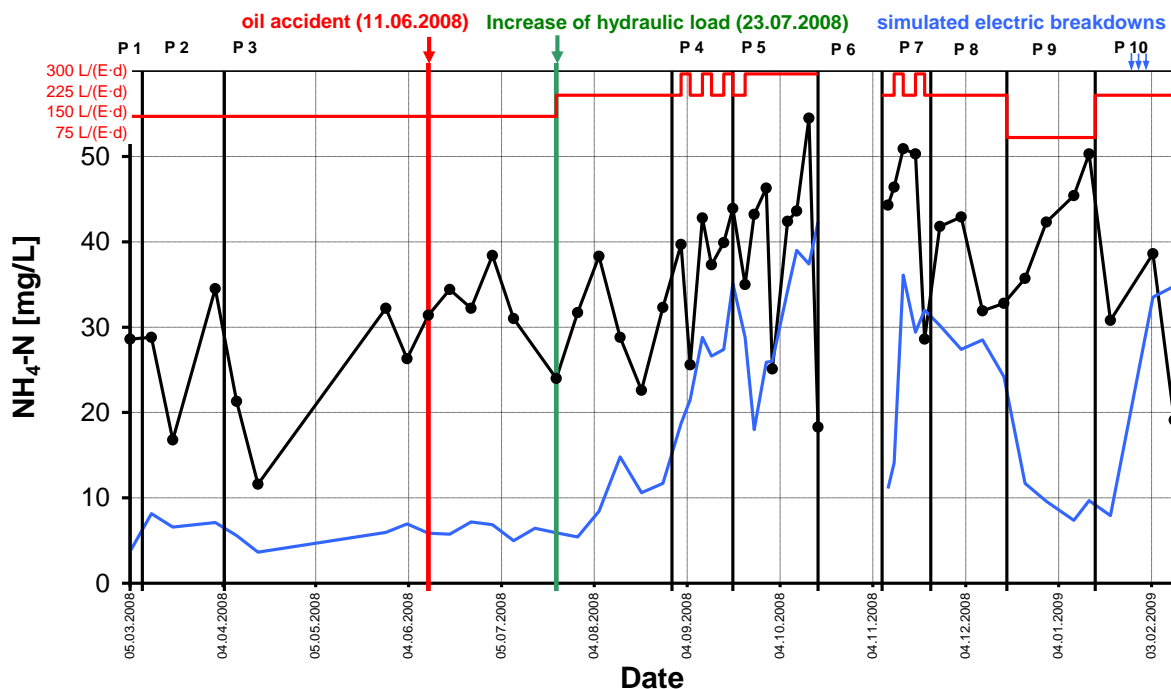


Abbildung 98: Nordbeton KP253 PAL - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs verläuft bis zum Ende der 3. Phase zwischen 10-20 mg/L, was mit einer simultanen oder in der Vorklärung stattfindenden Denitrifikation zu erklären ist.

In Phase 4 und 5 stieg die Konzentration des anorganischen Stickstoffs auf über 40 mg/L an.

Mit Abnahme der hydraulischen Last über Phase 7 bis 9 fällt auch die Ablaufkonzentration auf ca. 20 mg/L, trotz der geringen Abwassertemperaturen von unter 5°C. Dies zeigt, dass wieder eine Denitrifikation eingesetzt hat.

Nur durch die simulierten Stromausfälle steigt die Ablaufkonzentration noch mal auf über 30 mg/L an.

Der Ölunfall hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Ablaufwerte.

7.4.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 99) blieb bis zu Beginn von Phase 4 relativ konstant bei einem geringen Wert von unter 35 mg/L. In Phase 4 gab es eine Ablauf-Spitze von über 200 mg/L und danach eine leicht erhöhte Ablaufkonzentration von 30 bis 60 mg/L. Diese leicht erhöhten Ablaufwerte beruhten auf der erhöhten hydraulischen Last ab Phase 4 (s. Kap. 7.4.4).

Nach der Ruhephase (Phase 6) wurde eine relativ konstante Ablaufkonzentration von ca. 35 mg/L erreicht, die unter der Unterlast von 75 L/(PE·d) auf 10 bis 20 mg/L abfällt. Nur die simulierten Stromausfälle ließen die Konzentration noch mal auf über 50 mg/l ansteigen. Dies kann an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Substanz liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und man dies auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennen kann (Abbildung 96 und Abbildung 97).

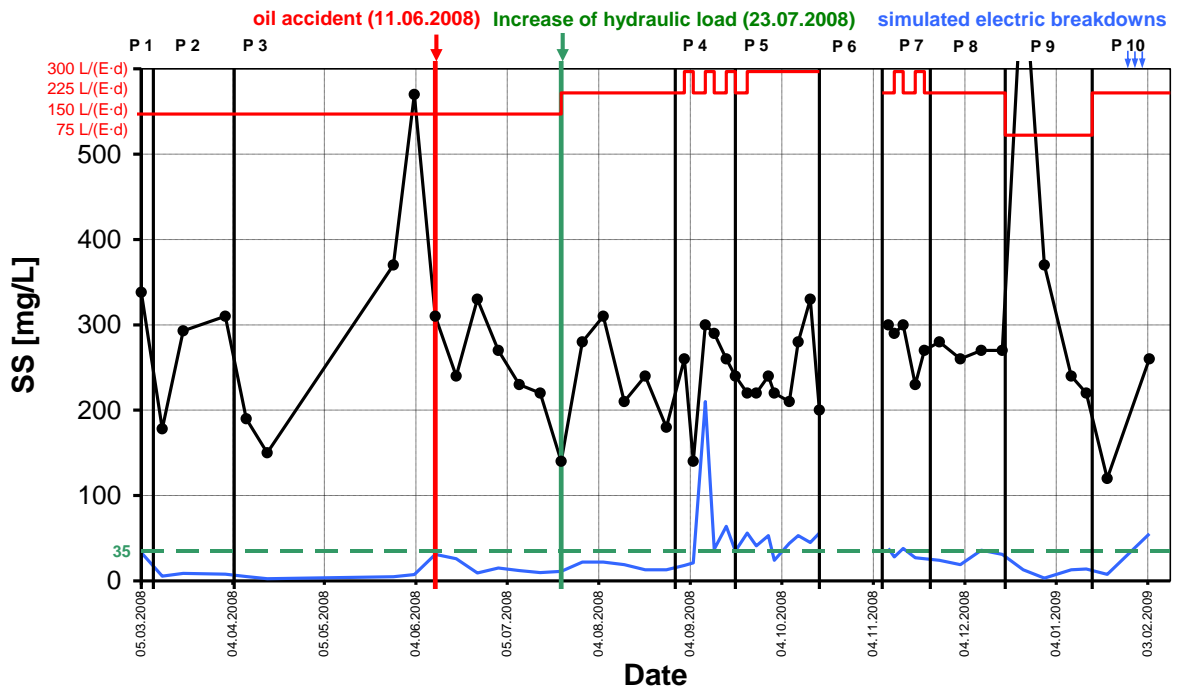


Abbildung 99: Nordbeton KP253 PAL - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.4.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 100) war gering (3 bis 5 mg/L) und im Zeitraum der erhöhten hydraulischen Last (Phase 4, 5, und 7) war der Ablaufwert leicht erhöht (6 bis 8 mg/L). Eine Elimination fand in dieser Zeit nur sehr begrenzt statt. Der Verlauf ist relativ parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung. Die durch Feststoffe hervorgerufen Spitze von über 9 mg/L in Phase 4 verringert sich innerhalb von einer Woche und es wird ein durchschnittlicher Wert von ca. 6 mg/L erreicht.

Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt. Außerdem ist die Phosphorkonzentration im Ablauf auch teilweise von der Phosphorkonzentration im Zulauf abhängig.

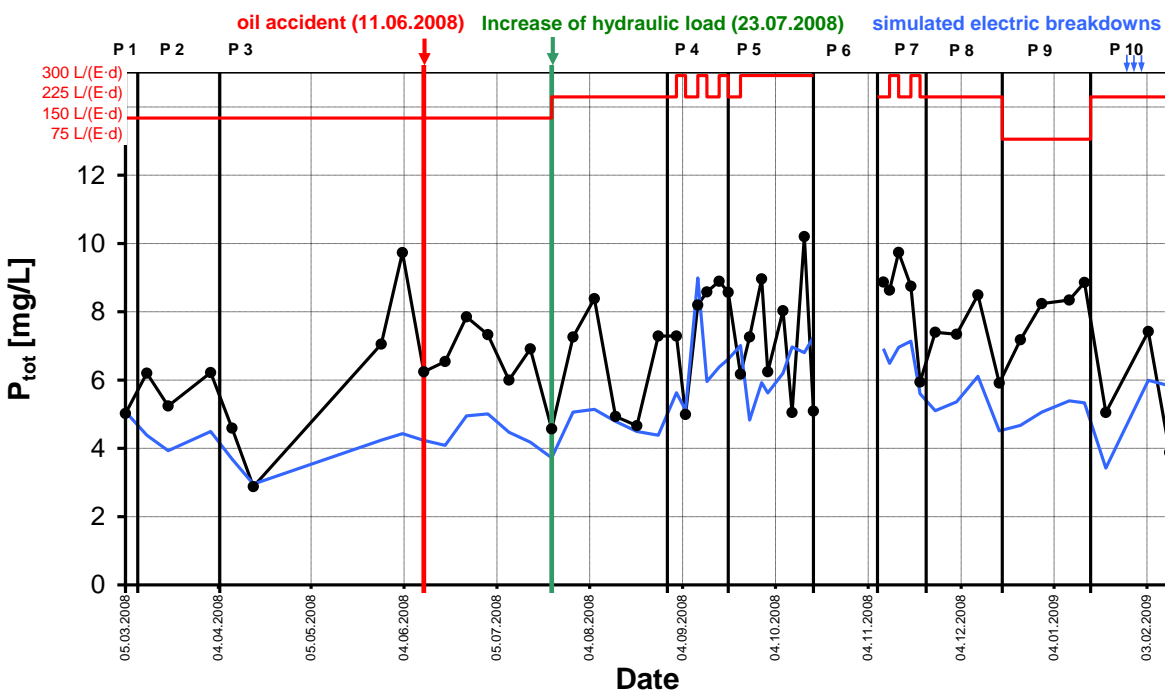


Abbildung 100: Nordbeton KP253 PAL - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.4.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 62, Tabelle 63 und Tabelle 64, siehe s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 63 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 64 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in der Biomasse inkooperiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 79%, von BOD₅ bei 88%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 47%, von Gesamtstickstoff bei 45% und von Phosphor bei 20%.

Tabelle 62: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P

Nordbeton, Biofilter KP253 PAL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	50	50	50	50	50	49
mean	79	88	47	45	20	89
median	82	89	60	49	27	91
min.	40	60	-131	-65	-50	30
max.	93	98	87	78	54	99

Tabelle 63: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Nordbeton, Biofilter KP253 PAL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	86	93	74	57	26	95
median	87	94	78	62	30	95
min.	76	84	49	18	-2	89
max.	93	97	87	81	54	99

Tabelle 64: Nordbeton KP253 PAL - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Nordbeton, Biofilter KP253 PAL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	72	82	23	20	12	81
median	76	85	29	29	23	85
min.	40	60	-131	-131	-43	30
max.	82	91	75	58	34	93

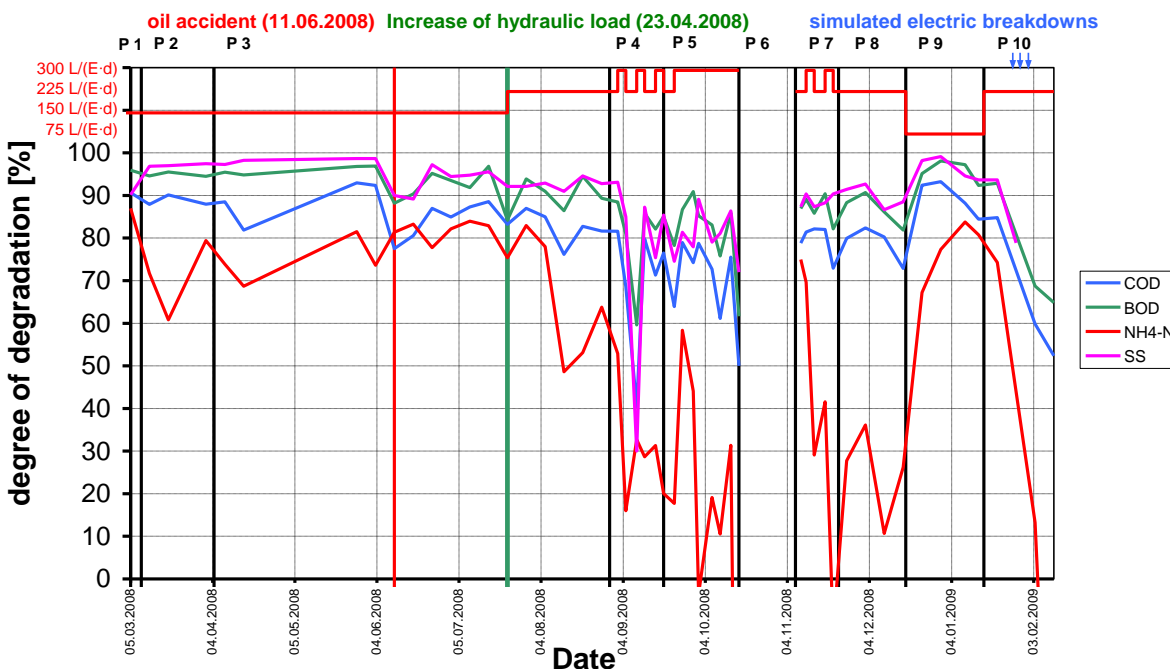


Abbildung 101: Nordbeton KP253 PAL - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig besserer COD-Abbaugrad (86%) als im Gesamtzeitraum (79%), bedingt durch die geringere hydraulische Belastung. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war in der Phase 5 (maximale hydraulische Belastung) und nach den simulierten Stromausfällen zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 101) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein starker Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Außerdem ist erkennbar, dass bei Überlast (Phase 4 und 5) sowie bei den simulierten Stromausfällen alle Abbaugrade um ca. 10 bis 20%-Punkte abnehmen, innerhalb einiger Tage aber wieder auf die durchschnittlichen Werte ansteigen. Dies zeigt sich in Phase 9 (Unterlast), in der die Abbaugrade wieder auf Werte von 80 bis fast 100% ansteigen.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.4.4 erläutert.

7.4.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 171) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (9 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (9 PE) bezogen wird,

kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenen Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Rieselpumpe (220 W, laut Herstellerangaben)
- Schlammpumpe (200 W, laut Herstellerangaben)
- Steuerung (10 W, laut Herstellerangaben)

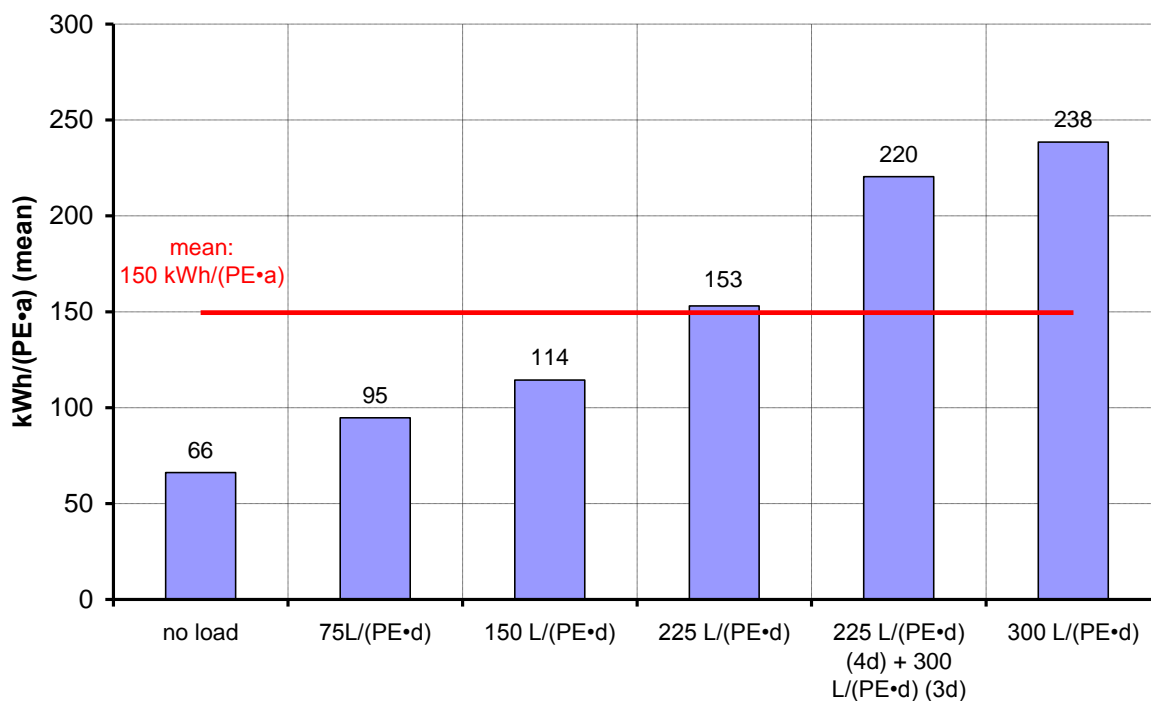


Abbildung 102: Nordbeton KP253 PAL - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 150 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 6,9 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 2,8 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 66 kWh/(PE·a) und 9 PE zu 1,6 kWh/d

7.4.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über den gesamten Versuchszeitraum bei 2,02 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 77,1 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 156 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung von 6,9 PE beträgt 62 g TS/(PE·d).

7.4.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 103 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

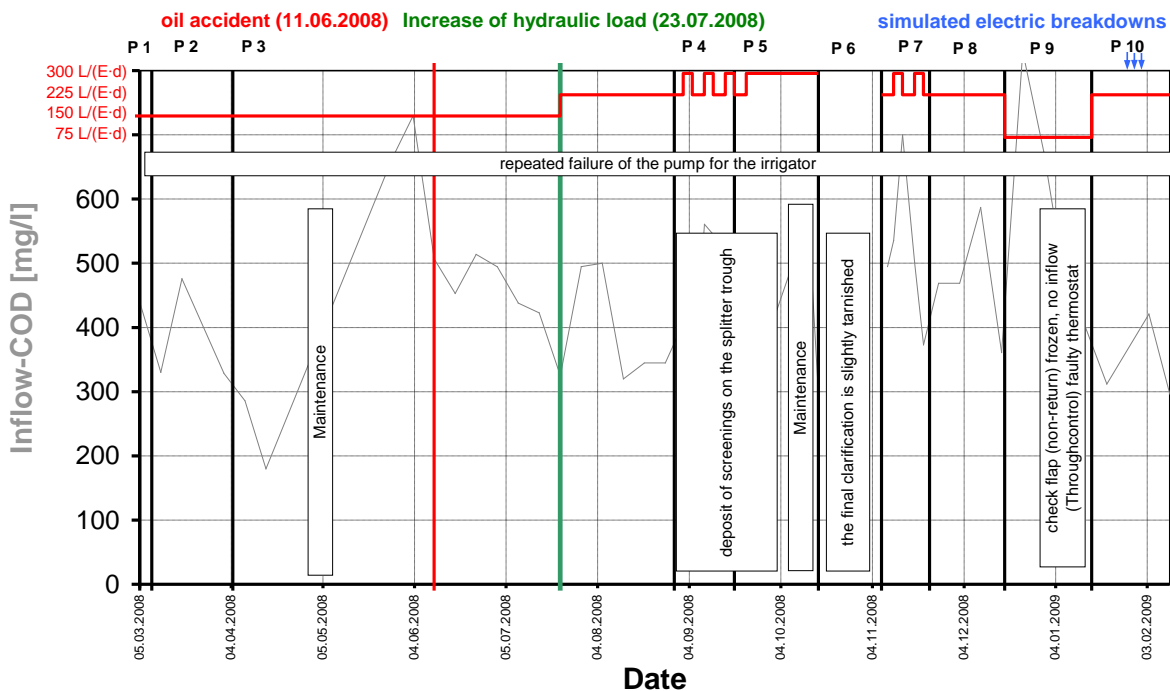


Abbildung 103: Nordbeton KP253 PAL - Auswertung des Zyklentagebuchs

Wartungen wurden am 21.1. (nicht in Abbildung 103 vorhanden), 6.5. und 9.10.2008 durchgeführt.

Während des gesamten Versuchszeitraumes fiel die Rieselpumpe mehrmals aufgrund von Hochwasser aus. Diese Ausfälle waren meist nur für kurze Zeit (10-15 min).

Zwischen dem 28.8. und dem 25.9.2008 gab es eine Grobstoffablagerung auf der Verteiler-
rinne, was eventuell durch einen Überlauf durch Hochwasser zu erklären ist.

Am 21. und 29.10.2008 (Phase 6, keine Last) war die Nachklärung leicht getrübt.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Nordbeton sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Nordbeton auf.

7.4.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 65 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,1 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,3 log-Stufen und von Salmonellen bei 0,6 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt keine Änderung der Anzahl. An einzelnen Tagen gab es aber einen Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 65: Nordbeton KP253 PAL - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	1,34	390.000	5,59	1,21	430.000	5,63	0,83	1,1
	Ablauf	43.000	4,63		24.000	4,38		64.000	4,81		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,21	240.000	5,38	1,00	73.000	4,86	0,27	0,8
	Ablauf	9.300	3,97		24.000	4,38		39.000	4,59		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	0,66	93.000	4,97	1,59	93.000	4,97	1,93	1,3
	Ablauf	9.300	3,97		2.400	3,38		1.100	3,04		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,28	750	2,88	1,55	46.000	4,66	0,58	0,6
	Ablauf	1.100	3,04		21	1,32		12.000	4,08		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-9	13 ¹⁾		10	<1		-1	0
	Ablauf	9			3 ¹⁾			1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

7.4.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben unter Kap. 4.7.9 liegt der COD in einer 24-h-Mischprobe unter 100 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 64% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 100 mg/L in 95 % unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was dem Durchschnitt dieser Anlage in den 100%-Phasen von 59 mg/L entspricht. Über den Gesamtzeitraum (durch die verschärften Bedingungen) liegt der Mittelwert aber bei 92 mg/L, also höher als auf dem Prüffeld PIA in Aachen.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 108 mg/L. Dies entspricht in etwa dem Mittelwert dieser Anlage von 92 mg/L.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 207 mg/L, also mehr als das Doppelte dieser Anlage (92 mg/L). Hier war allerdings über einen langen Zeitraum eine ungleichmäßige Verteilung eingestellt. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen eine mittleren Ablaufwert von 69,9 mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 92 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 121 Tropfkörper-Anlagen mit 486 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 160 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 92 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben unter Kap. 4.7.9 liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 25 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 58% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L in 95% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was dem Durchschnitt dieser Anlage in den 100%-Phasen von 13 mg/L entspricht. Über den Gesamtzeitraum (durch die verschärften Bedingungen) liegt der Mittelwert aber bei 25 mg/L, also wesentlich höher als auf dem Prüffeld PIA in Aachen.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 21 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 25 mg/L knapp über diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 6 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 27 mg/L. Dies entspricht in etwa dem mittleren Ablaufwert dieser Anlage (20 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen eine mittleren Ablaufwert von 69,9mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 92 mg/L.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. Dies entspricht in etwa dieser Anlage in dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008). Erst über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 18,0 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 19 mg/L, d.h. diese Anlage liegt leicht unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 18,0 mg/L), obwohl bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 13 mg/L, also weniger als bei dieser Anlage (18 mg/L). Jedoch in den 100%-Phasen 1 bis 3 ist der Mittelwert im Ablauf mit 7 mg/L nur noch halb so groß wie im auf der Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen einen mittleren Ablaufwert von 9,1 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 18 mg/L.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben unter Kap. 4.7.9 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 75 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 98% aller Messungen aus einer 24-h-Mischprobe unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was nur sehr leicht unter dem Wert dieser Anlage mit 28,7 mg/L über den Gesamtzeitraum liegt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörper-Anlagen im Praxistest nach STRAUB 2008 liegt bei 47 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 28,7 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 45 mg/L, also wesentlich höher als bei dieser Anlage (28,7 mg/L).

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 96, Abbildung 97, Abbildung 98 und Abbildung 99) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert bzw. mit schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf auch direkt durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da sich bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 2,8 kWh/d und liegt damit etwa dreimal so hoch wie der durchschnittliche Energieverbrauch von max. 0,9 kWh/d laut Herstellerangaben (s. Kap. 4.7.9).

Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) für 5 Tropfkörperanlagen beträgt 0,05 kWh/(PE-d), also weit niedriger als die ermittelten Durchschnittswerte von 0,4 kWh/(PE-d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,01 kWh/(PE-d) bis zu 0,1 kWh/(PE-d), d.h. diese Anlage liegt weit darüber.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE) einen Energieverbrauch von 131 bis 152 kWh/(PE-a). Dies entspricht 1,8 bis

2,1 kWh/d, also etwas weniger als der Energieverbrauch dieser Anlage, obwohl hier über längere Zeiträume erhöhte Rückläufe eingestellt waren.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Dies entspricht in etwa dem Schlammanfall von 62 gTR/(PE-d) dieser Anlage.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 24.000 bis 64.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 32.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für SBR-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 120.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,8 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage eine gesamtcoliforme Belastung von $7,23 \cdot 10^4/100$ mL, eine fäkalcoliforme Belastung von $4,1 \cdot 10^4/100$ ml im Ablauf, also nur unwesentlich höhere Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,1 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,2 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.4.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 6,9 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 92 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung größtenteils unter 150 mg/L gehalten werden.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 19,9 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L. Im Abschnitt mit 200% hydraulischer Beschickung und auch nach den Stromausfällen in Phase 10 kam es allerdings mehrmals zu erhöhten Ablaufwerten.

Insgesamt konnte eine sehr stabil laufende Reinigungsleistung festgestellt werden.

Während der Phasen mit höherer Beschickung gab es Probleme mit der Rieselpumpe, die mehrmals aufgrund von Hochwasser ausgefallen war.

Der Stromverbrauch ist wesentlich höher als der Stromverbrauch nach Angaben des Herstellers. Der Schlammanfall entspricht den Literaturangaben.

7.5 PREMIER TECH - Ecoflex™

7.5.1 Belastungssituation

Seitens der Firma PREMIER TECH wurde die Anlage vom Typ Ecoflex™ eingebaut, die für 5 PE ausgelegt ist, aber durch die testfeldbedingte Gruppenfestlegung (4 PE, 6 PE und 9 PE) im Rahmen des Versuchsprogramms zunächst mit 6 PE beschickt wurde. Nach Erhöhung der hydraulischen Belastung ab Phase 4 und Präsentation von Ergebnissen der Ablaufwerte wurde am 10.10.2008 auf Wunsch des Herstellers PremierTech die nominale Einwohnerzahl auf 4 PE reduziert und die Anlage dementsprechend beschickt.

Die Nominalbelastung bis zum 10.10.2008 entspricht einer Fracht von 360 g BOD₅/d, ab dem 10.10.2008 einer Fracht von 240 g BOD₅/d. Laut Hersteller wäre eine Fracht 300 g BOD₅/d zulässig.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt bis zum 10.10.2008 900 L/d, danach 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Hersteller hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 750 L/d beschickt werden können.

Auf Grund von Verstopfungen im Verteilersystem (s. Kap. 7.5.11), die durch Überlaufen von Grobstoffen in den Ausgleichstank mit Beschickungspumpe verursacht wurden, wurden Messwerte vom 30.7. bis zum 17.10.2008 (hydraulische Höchstlast) nicht für die Auswertung herangezogen. Dieser Fehler muss bei der Bewertung der Anlage berücksichtigt werden. **Im Folgenden werden nur Auswertungen ohne Berücksichtigung des Ausfalls beschrieben. Diese Leistungen führen zur Übereinschätzung der Leistungsfähigkeit der Anlage, so dass die Ergebnisse nicht belastbar sind.**

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08¹: 3,6 PE_{BOD,60}
- vom 23.7.08 bis zum 17.10.08: keine Werte, s.o.
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,6 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage bis zum 23.7.9.08 zu 61% bezogen auf den Parameter BOD₅ und einer nominalen Einwohnerzahl von 6 PE ausgelastet, für 5 PE (s.o.) wäre die Auslastung 73%. Ab dem 17.10.08 lag die Auslastung bezogen auf den Parameter BOD₅ und einer nominalen Einwohnerzahl von 4 PE bei 90%.

Aus den Volumina der Vorklärung ergaben sich Aufenthaltszeiten für die Belastung aus 6 PE von 5,4 Tagen für die Vorklärung. Aus der spez. Belastung der Filter und der Filterfläche ergab sich eine Durchflusszeit von 1,3 Tagen. Bei einer Belastung von 4 PE ergaben sich Aufenthaltszeiten von 6,2 Tagen für die Vorklärung. Die Durchflusszeit lag bei 1,3 Tagen.

¹ s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 6,7 Tagen für 6 PE und 7,5 Tagen für 4 PE für die gesamte Anlage (Durchschnittlich 7,1 Tage) (s. Kap. 2.6).

7.5.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 66 und Tabelle 67) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

Tabelle 66: PREMIER TECH - Ecoflex™ - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)

PREMIER TECH LTEE - Ecoflex	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	31	50	31	31	49	31
mean	456	45	207	3,6	9	269,0	9
median	469	44	215	3,4	6	260,0	6
min.	180	21	78	1,5	< 3	120,0	2
max.	830	91	301	5,6	24	730,0	26
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		100%			100%		
stay below of legally binding value (FR)		100%			100%		100%

* Load (real) siehe 2.3

Tabelle 67: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)

PREMIER TECH LTEE - Ecoflex	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	31	50	31	50	31
mean	35,1	8	47,4	38	7,0	5
median	34,8	6	46,5	40	7,3	5
min.	11,6	< 0,5	19,8	12	2,9	2
max.	54,5	35	71,6	69	10,2	7
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 45 mg/L, der maximale Wert lag bei 91 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 150 mg/L (Kapitel 2.2.1.1) sowie der „französische Überwachungswert“ von 125 mg/L (Kapitel 2.2.1.2) wurden in 100% aller Messungen unterschritten. Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich (s. Kap. 7.5.4), konnte aber zeitweise nicht beschickt werden.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 9 mg/L, der maximale Wert lag bei 24 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L (Kapitel 2.2.1.1) sowie der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L (Kapitel 2.2.1.2) wurden in 100% aller Messungen unterschritten. Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich (s. Kap. 7.5.4), konnte aber zeitweise nicht beschickt werden.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 9 mg/L, der maximale Wert lag bei 26 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 100% aller Messungen unterschritten. Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für SS (s. Kap. 7.5.6).

Stickstoff (Nitrogen)

- **Ammonium (NH₄-N):**
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 8 mg/L, der maximale Wert lag bei 35 mg/L (s. Kap. 7.5.5).
- **Gesamtstickstoff (N_{tot})**
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 38 mg/L, der maximale Wert lag bei 69 mg/L (s. Kap. 7.5.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 4,5 mg/L, der maximale Wert lag bei 11 mg/L (s. Kap. 7.5.7).

7.5.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 104) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

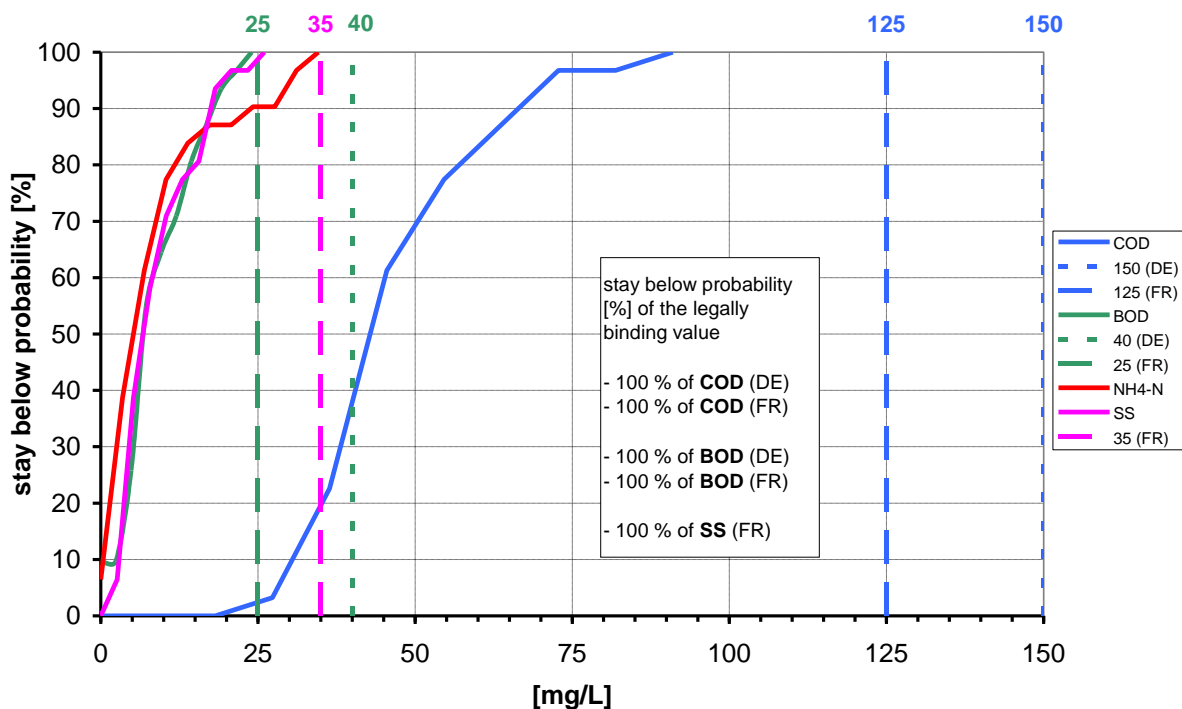


Abbildung 104: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)

7.5.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 105) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“. Der 10.10.2008 (vertikale gestrichelte Linie) markiert die Umstellung von 9 PE auf 4 PE, einschließlich der Änderung der hydraulischen Belastung.

Die in Abbildung 106 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 5 zu 1.

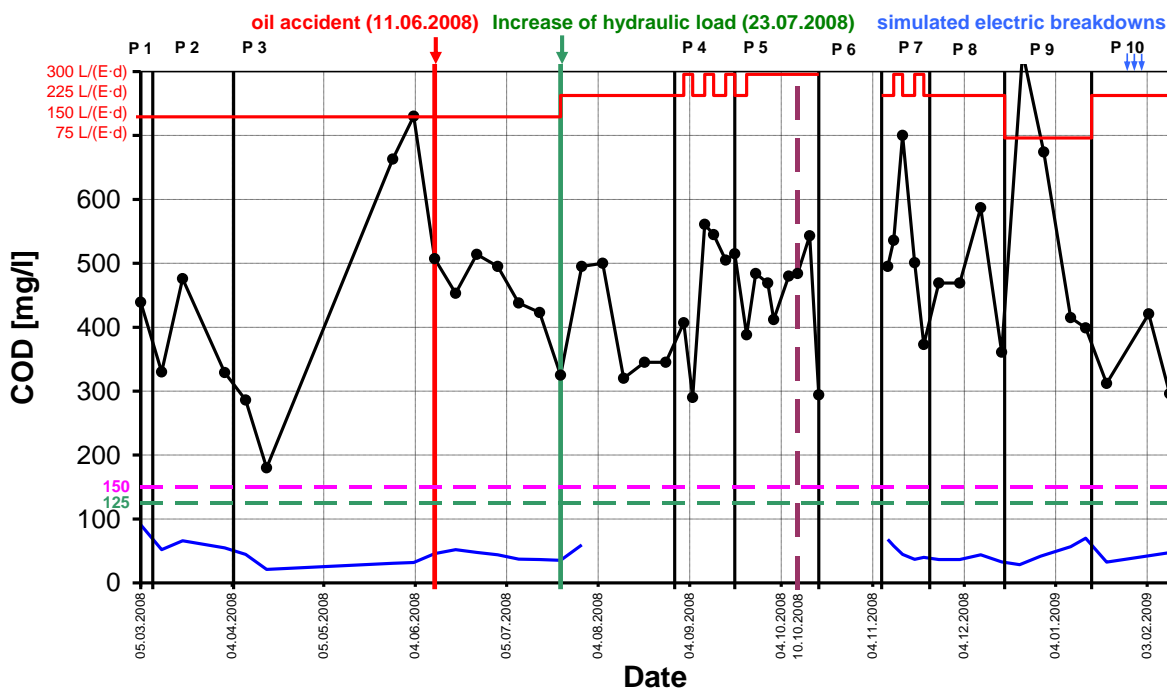


Abbildung 105: PREMIER TECH - Ecoflex™ - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 105) bleibt ausnahmslos unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkte eine nur sehr geringe und zeitlich versetzte Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte eine Erhöhung des Ablaufes zur Folge, was aber auf Grund eines Problems (Verstopfung Drehsprenger) in der Verteilung des Abwassers über den Filtern (s. Kap. 7.5.11) nicht weiter verfolgt werden konnte.

Nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) war eine sehr leichte Erhöhung der Konzentration festzustellen.

Die simulierten Stromausfälle scheinen keine Auswirkung auf die Reinigungsleistung gehabt zu haben.

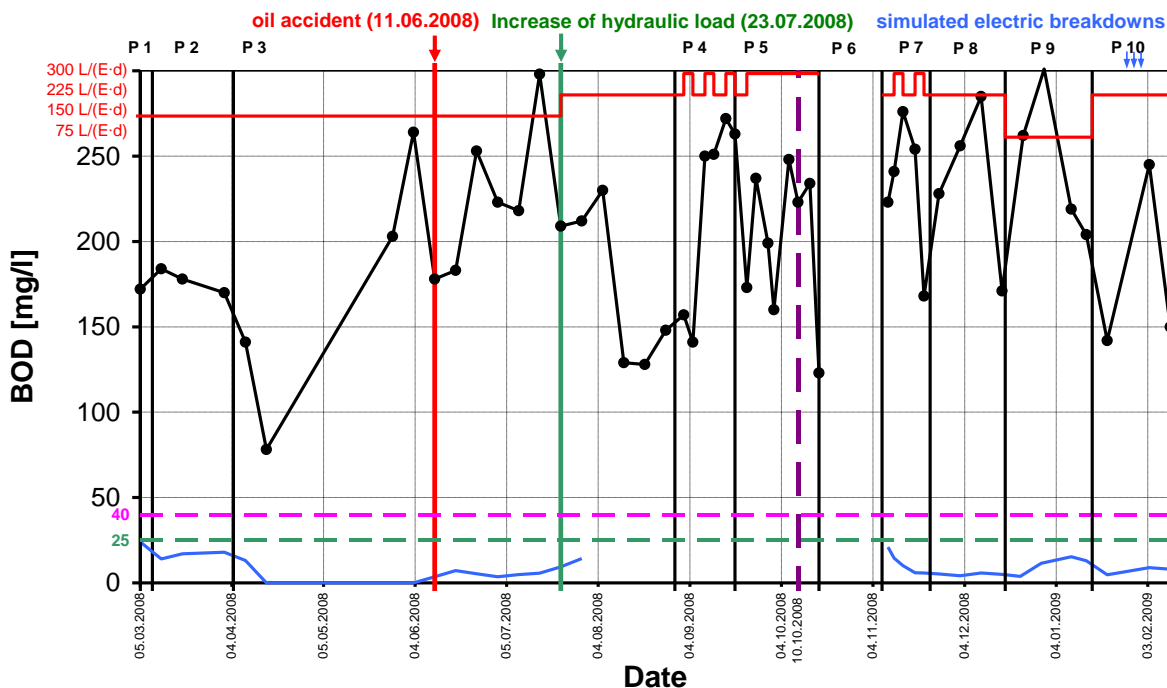


Abbildung 106: PREMIER TECH - Ecoflex™ - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.5.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 107) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Zu Beginn des Versuches in Phase 1 und 2 fand noch keine nennenswerte Nitrifikation statt, was darauf schließen lässt, dass sich noch keine ausreichende Nitrifikantenpopulation auf dem Filtermaterial ausgebildet hatte. Außerdem lag die Abwasser-Temperatur in diesem Zeitpunkt mit 8,8°C sehr niedrig, was sich ungünstig auf die Nitrifikation auswirkt. Der Ölunfall hatte keinen messbaren Einfluss auf die Ablaufkonzentration.

Seit Beginn von Phase 3 bis zum 30.7.2008 (s. Kap. 7.5.11) lagen die Ablaufwerte unter 2 mg/L, was auf eine sehr gute Nitrifikation bei durchschnittlich 18°C Wassertemperatur hindeutet.

Ab Phase 7 stieg die Ablaufkonzentration zweimal auf knapp über 12 mg/L an, was zeitlich genau mit erhöhten Zulaufkonzentrationen von über 50 mg/L übereinstimmt aber unbeeinflusst von der hydraulischen Belastung war. Die zweite Spitze lässt sich auch durch die sehr

niedrige Abwassertemperatur zu dieser Zeit von unter 3°C erklären. Ansonsten bleibt der Ablaufwert während dieser Phasen (auch während der simulierten Stromausfälle) unter 10 mg/L, teilweise sogar knapp über 1 mg/L.

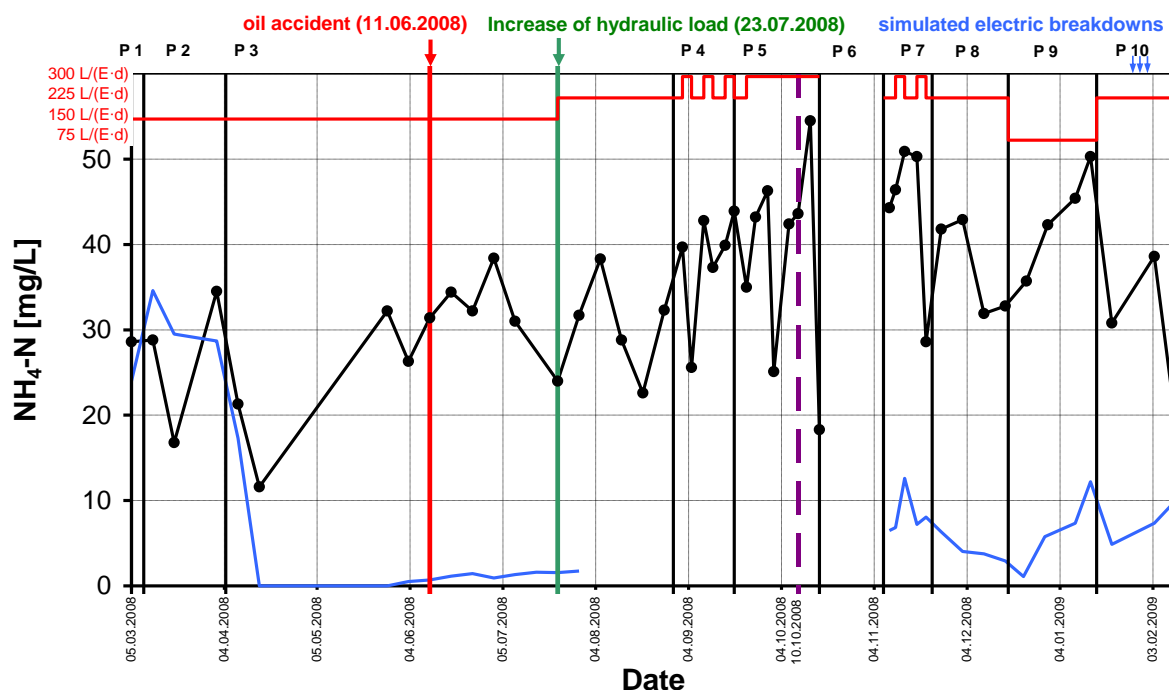


Abbildung 107: PREMIER TECH - Ecoflex™ - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Bis zum 16.4.2008 gab es keine Denitrifikation, was auf die kaum vorhandene Nitrifikation zurückzuführen ist. Erst ab diesem Zeitpunkt (entspricht dem Beginn der guten Nitrifikation) gab es eine Teildenitrifikation von 50% bis 60% bis zum 30.7.2008 (s. Kap. 7.5.11).

Ab Phase 7 gab es keine nennenswerte Denitrifikation mehr, was eventuell durch die erhöhte hydraulische Last in Phase 7 zu erklären ist, und danach durch die sehr stark gesunkenen Abwassertemperaturen von unter 12 °C bis auf 3,8 °C.

7.5.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 108) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 26 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine nur sehr geringe und zeitlich versetzte Erhöhung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf (maximal 8,4 mg/L). Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration von ca. 4 mg/L nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Er-

höhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte eine Erhöhung des Ablaufes zur Folge, was aber auf Grund eines Problems in der Verteilung des Abwassers über den Filtern (s. Kap. 7.5.11) nicht weiter verfolgt werden konnte.

Nach der Ruhephase (Phase 6) sank der Maximal-Wert von 26 mg/L in ca. 7 Tagen auf den Normalzustand von knapp über 5 mg/L. Der anfänglich erhöhte Wert ist mit einem teilweisen Ausspülen von Biomasse nach der Ruhephase zu erklären.

Die simulierten Stromausfälle hatten keinen Einfluss auf die Ablaufwerte der abfiltrierbaren Stoffe.

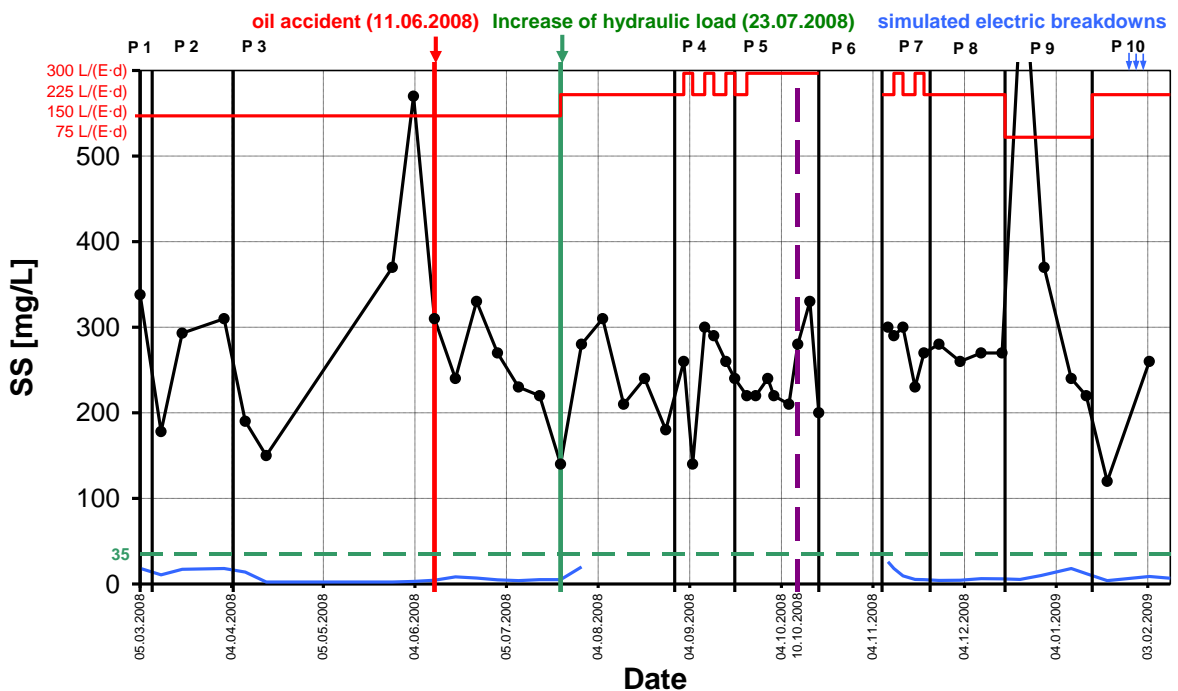


Abbildung 108: PREMIER TECH - Ecoflex™ - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.5.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 109) ist größtenteils gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist fast immer parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Durch den sehr geringen Feststoffaustrag (Abbildung 108) ist kein direkter Zusammenhang zwischen Feststoff und Phosphor erkennbar, obwohl Phosphor nicht abgebaut sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt wird. Der Phosphorgehalt im Ablauf ist also fast ausschließlich vom Zulaufwert abhängig.

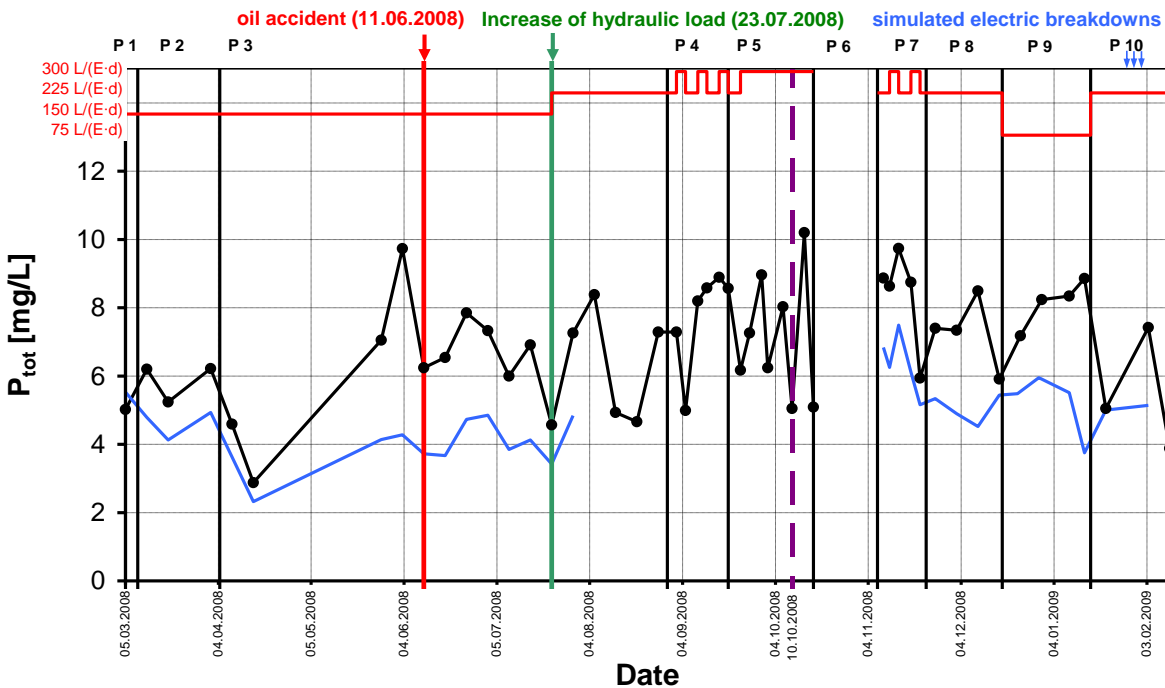


Abbildung 109: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.5.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 68, Tabelle 69 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 69 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in der Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 89%, von BOD₅ bei 96%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 72%, von Gesamtstickstoff bei 21% und von Phosphor bei 26%.

Tabelle 68: PREMIER TECH - Ecoflex™- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum (Achtung nur Phasen ohne hydraulische Höchstlast!)

PREMIER TECH LTEE - Ecoflex	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	η_{tot}	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	31	31	31	31	31	30
mean	89	96	72	21	26	97
median	90	97	86	15	27	97
min.	79	86	-76	-56	-32	91
max.	97	100	100	69	56	99

Tabelle 69: PREMIER TECH - Ecoflex™- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

PREMIER TECH LTEE - Ecoflex	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	89	95	67	34	30	96
median	89	96	95	46	34	97
min.	79	86	-76	-80	-10	92
max.	96	100	100	71	56	99

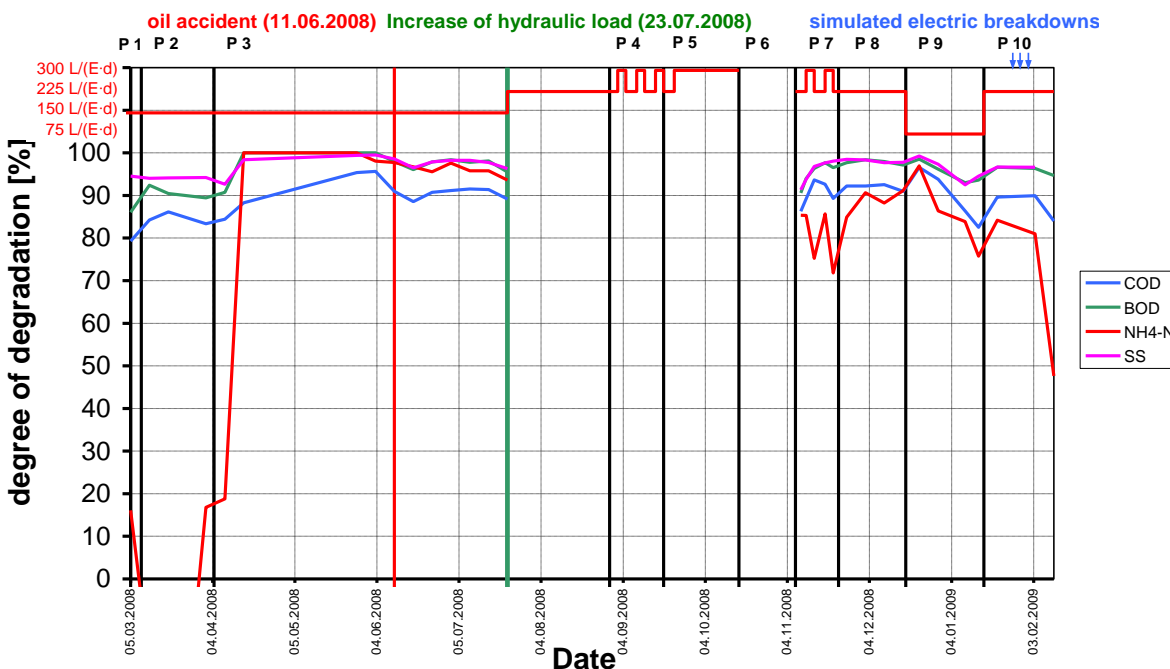


Abbildung 110: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich kein besserer COD-Abbaugrad (89%) als im Gesamtzeitraum. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen (hier nur Phase 7) sind tendenziell etwas niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war zu Beginn des Versuches (Phase 1) und am Ende (Phase 9 und 10) zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 110) zeigen, dass in Phase 1 und 2 und zum Ende von Phase 10 ein starker Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.5.4 erläutert.

7.5.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 111) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht den Herstellerangaben (bis zum 10.10.2008 = 6 PE, ab dem 10.10.2008 = 4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenen Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energiever-

brauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Beschickungspumpe (0,3 kW)

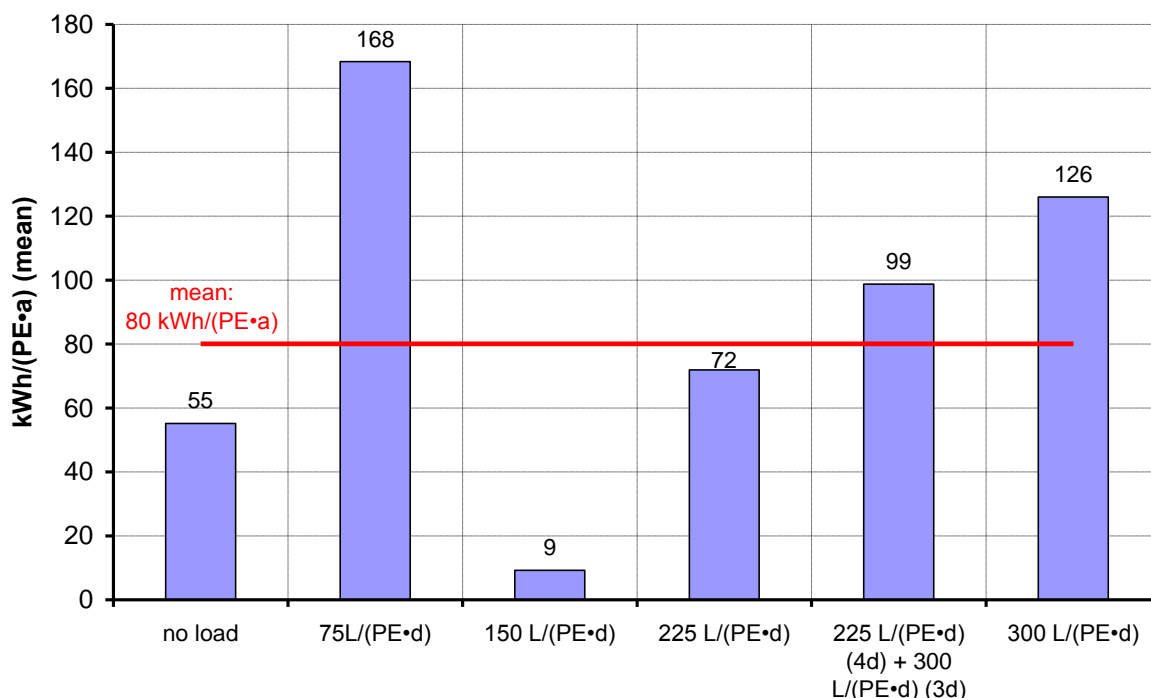


Abbildung 111: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 80 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,6 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 0,8 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 55 kWh/(PE·a) und 4 PE (zu diesem Zeitpunkt eingestellte Belastung) zu 0,6 kWh/d

7.5.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über den gesamten Versuchszeitraum bei 0,63 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 46,9 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 61,73 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,6 PE beträgt 47,0 gTS/E-d.

7.5.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 112 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

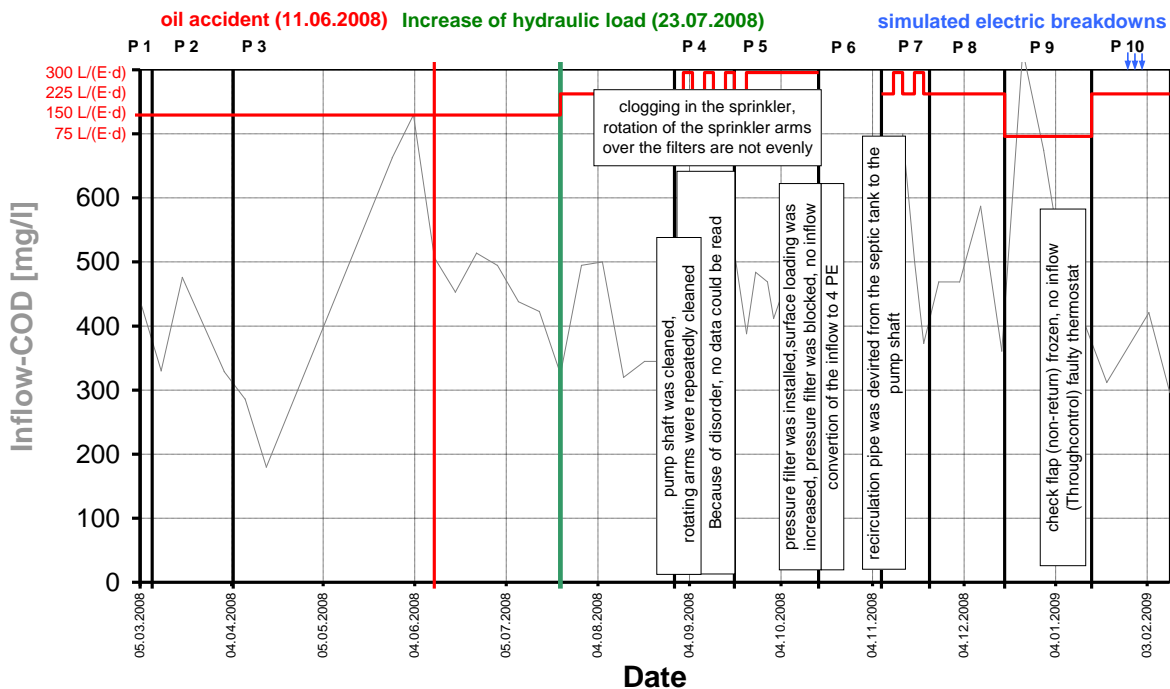


Abbildung 112: PREMIER TECH - Ecoflex™ - Auswertung des Zyklentagebuchs

Vom 30.7. bis zum 17.10.2008 rotierten die Verteilerarme über den Filtern nicht gleichmäßig und waren zeitweise verstopft. Dadurch wurde teilweise nur ein Filtermodul beschickt bzw. Abwasser tropfte immer auf die gleiche Stelle eines Filters. Der Hersteller versuchte dies durch vorschalten ein Siebes auszugleichen, was nicht gelang. Ein gleichmäßiger Betrieb konnte erst ab dem 17.10.2008 wieder aufgenommen werden.

Zwischen den 28.8. und dem 17.9.2008 konnten auf Grund einer Störung keine Daten ausgelesen werden.

Am 3.9.2008 wurde der Pumpenschacht mit einem Schlammsaugwagen gereinigt und auch die Drehsprengler wurden mehrmals gereinigt.

Folgende Änderungen erfolgten in der 39.KW:

- a. Einbau einer neuen Steuerplatine
- b. Einbau eines Druckfilters vor den Drehsprenglern gegen Verstopfung
- c. Erhöhung der Beschickungsmengen (lt. Hersteller auf 50L/15min)
- d. Störung „Hochwasser“
- e. Pumpe hatte keine Förderleistung mehr da der Druckfilter verstopft war
- f. Zufluss abgeschaltet

Vom 2.10. bis zum 8.10.2008 war die Anlage außer Betrieb, da eine Störung in der Druckfilteranlage vorlag, die am 8.10.2008 vom Hersteller behoben wurde.

Am 13.10.2008 wurde der Zufluss von 6 PE auf 4 PE umgestellt.

Die Rezirkulationsleitung wurde am 6.11.2008 von der Vorklärung in den Pumpenschacht umgeleitet.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Premier Tech sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Premier Tech auf.

7.5.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 70 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,5 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,9 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,8 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,5 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt einen Anstieg um 1 Ei/L, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,9 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 70: PREMIER TECH - Ecoflex™ - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	2,79	390.000	5,59	1,62	430.000	5,63	1,00	1,5
	Ablauf	1.500	3,18		9.300	3,97		43.000	4,63		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	2,30	240.000	5,38	1,41	73.000	4,86	0,23	0,9
	Ablauf	750	2,88		9.300	3,97		43.000	4,63		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	3,25	93.000	4,97	2,00	93.000	4,97	1,59	1,8
	Ablauf	24	1,38		930	2,97		2.400	3,38		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,28	750	2,88	- 2)	46.000	4,66	2,03	1,5
	Ablauf	> 1.100	3,04		< 0,3	- 2)		430	2,63		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-2	13 ¹⁾		2	<1		-3	-1
	Ablauf	2 ¹⁾			11			3 ¹⁾			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

2) 0 MPN/ml im Ablauf, keine log-Reduktion bestimmbar

"< 1" wird zu Null angenommen

"<0,3" wird zu Null angenommen

">1.100" wird zu 1.100 angenommen

7.5.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus dem Zulassungsbericht und aus der Literatur

Bei der Bewertung der Ecoflex™ ist jedoch zu beachten, dass die Anlage insbesondere während der hohen Belastungsphasen aufgrund von Verstopfungsproblemen in den Drehsprengern nicht einwandfrei betrieben werden konnte, so dass die Messwerte aus diesen schwierigsten Messphasen in der Auswertung nicht enthalten sind.

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 100 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten, was auch die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 zutrifft.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (45 mg/L) bzw. für die 100%-Phasen 1, 2 und 3 (46 mg/L).

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen, die diesem System Ecoflex™ am ähnlichsten sind, im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 108 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 45 mg/L deutlich unter diesem Wert.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 207 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum (45 mg/L). Im Dorf Mecklen-

burg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen einen mittleren Ablaufwert von 69,9 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 45 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 121 Tropfkörper-Anlagen mit 486 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 160 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 45 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 25 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten, was auch die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 zutrifft.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (9 mg/L) bzw. für die 100%-Phasen 1, 2 und 3 (8 mg/L).

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen, die diesem System Ecoflex™ am ähnlichsten sind, im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 21 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 9 mg/L deutlich unter diesem Wert.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 6 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 27 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum (9 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen einen mittleren Ablaufwert von 6,7 mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 9 mg/L.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage doppelt so hoch im Mittel (10 mg/L). Über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 8,1 mg/L immer noch über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 21 mg/L, d.h. diese Anlage liegt weit unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 8,1 mg/L), obwohl bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 13 mg/L, also mehr als

diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum (8,1 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Tropfkörperanlagen einen mittleren Ablaufwert von 9,1 mg/L, was etwa dem Mittelwert dieser Anlage von 10 mg/L (gesamter Versuchszeitraum) bzw. 8,1 mg/L (100%-Phasen) entspricht.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 75 mg/L für eine Stichprobe erreicht werden. Die 75-mg/L-Konzentration (aus einer Mischprobe) wurde in 100% aller Messungen unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was wesentlich höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (9 mg/L) bzw. für die 100%-Phasen 1, 2 und 3 (8 mg/L).

Der durchschnittliche Ablaufwert von Tropfkörperanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 47 mg/L, d.h. diese Anlage liegt weit unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 9 mg/L).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 45 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum aber (9 mg/L).

Simulierte Stromausfälle

Die simulierten Stromausfälle hatten keinen Einfluss auf die Reinigungsleistung dieser Anlage bei den Parametern COD, BOD₅ und SS (Abbildung 105, Abbildung 106 und Abbildung 108). Nur bei Ammonium (Abbildung 107) ging die Ablaufkonzentration geringfügig nach oben, was auch durch die niedrigen Temperaturen erklärbar ist.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 0,8 kWh/d und entspricht den Herstellerangaben. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 5 Tropfkörperanlagen 0,05 kWh/(PE·d), also wesentlich weniger als der ermittelte Durchschnittswert von 0,22 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,01 kWh/(PE·d) bis zu 0,1 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt also darüber.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE·d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 22,4 g/(PE·d) liegt weit unter dem Erfahrungswert. Zum einen könnte eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden haben, d.h.

mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben. Ein weiterer Grund für die geringe Schlammmenge könnte die Unsicherheit in der Messmethode sein: Es wurde nur ein Wert gemessen, obwohl es sich um eine 2-Kammer-Grube handelte.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von 1.500 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 32.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für SBR-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 120.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,9 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Tropfkörper-Anlage (5 PE) eine gesamtcoliforme Belastung von $7,23 \cdot 10^7/100 \text{ mL}$, also ein wesentlich höherer Wert als in dieser Anlage gemessen wurden. Es gab eine fäkalcoliforme Belastung von $4,1 \cdot 10^4/100\text{ml}$ im Ablauf, was in etwa der Belastung dieser Anlage entspricht. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,5 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,2 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.5.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde bis zum 10.10.2008 mit 6 PE betrieben. Ab dem 10.10.2008 wurde die Anlage wegen des auftretenden Überstaus auf Wunsch des Herstellers mit 4 PE betrieben.

Da es in der Zeit vom 20.7. bis zum 17.10.2008 Probleme mit der Verteilung des Abwassers auf die Filter gab (s. Kap. 7.5.11), wurden diese Werte aus der Analyse entfernt. Dies beeinflusst die Gesamtübersicht, da gerade in dieser Zeit die Anlage mit der maximalen hydraulischen Last beschickt wurde und muss bei der Bewertung des Systems berücksichtigt werden, so dass **eine belastbare Aussage zu dieser Technologie nicht erfolgen kann.**

Während der normalen Funktionsweise der Anlage erreicht sie zumeist hervorragende Ablaufwerte im Bereich COD, BOD₅, SS und NH₄. Alle Werte lagen unterhalb der deutschen und „französischen Überwachungswerte“.

Außer den Verstopfungsproblemen bei hydraulischer Hochlast konnte eine sehr stabil laufende Reinigungsleistung festgestellt werden.

Der Stromverbrauch ist höher als vergleichbare Anlagen aus der Literatur.

7.6 HUBER - 3K PLUS®

7.6.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Huber DeWaTec wurde die Anlage vom Typ 3K PLUS® eingebaut, die für 4 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 240 g BSB₅/d, was der Zulaufkraft laut DIBt-Zulassung entspricht.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08*: 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung ein Volumen sowie ein Schlammstapelvolumen an. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von 2,7 bis 3,3 Tagen für die Vorklärung, 1,7 Tagen für den Bioreaktor und 1,7 Tage für die Nachklärung. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 6,1 bis 6,7 Tagen in der gesamten Anlage (Durchschnittlich 6,4 Tage) (s. Kap. 2.6).

7.6.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 71 und Tabelle 72) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulaufkraft aufzustocken

Tabelle 71: Huber - 3K Plus - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Huber - 3K Plus®	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	50	49	49	49
mean	456	56	207	3,4	11	269,0	11,2
median	469	52	215	3,2	8	260,0	8,4
min.	180	25	78	1,0	0	120,0	2,8
max.	830	144	301	5,8	52	730,0	44,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		- / 35
stay below of legally binding value (DE)		100%			96%		
stay below of legally binding value (FR)		98%			92%		96%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 72: Huber - 3K Plus - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Huber - 3K Plus®	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	49	50	49
mean	35,1	19,5	47,4	28,9	7,0	4,9
median	34,8	21,4	46,5	28,0	7,3	4,7
min.	11,6	< 0,5	19,8	9,7	2,9	2,8
max.	54,5	47,9	71,6	56,4	10,2	7,4
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 56 mg/L, der maximale Wert lag bei 144 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 100%, der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 98 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab keinen Messwert, der den deutschen Überwachungswert und einen Messwert, der den „französischen Überwachungswert“ überschritten hatte (s. Kap. 7.6.4). Die Anlage erreichte in alle Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und bis auf eine Ausnahme die geforderten Ablaufwerte für Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 11 mg/L, der maximale Wert lag bei 52 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 96%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 92 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 4 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.6.4). Die

Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 11,2 mg/L, der maximale Wert lag bei 44 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 96% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.6.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 19,5 mg/L, der maximale Wert lag bei 47,9 mg/L (s. Kap. 7.6.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 28,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 56,4 mg/L (s. Kap. 7.6.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 4,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 7,4 mg/L (s. Kap. 7.6.7).

7.6.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 113) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

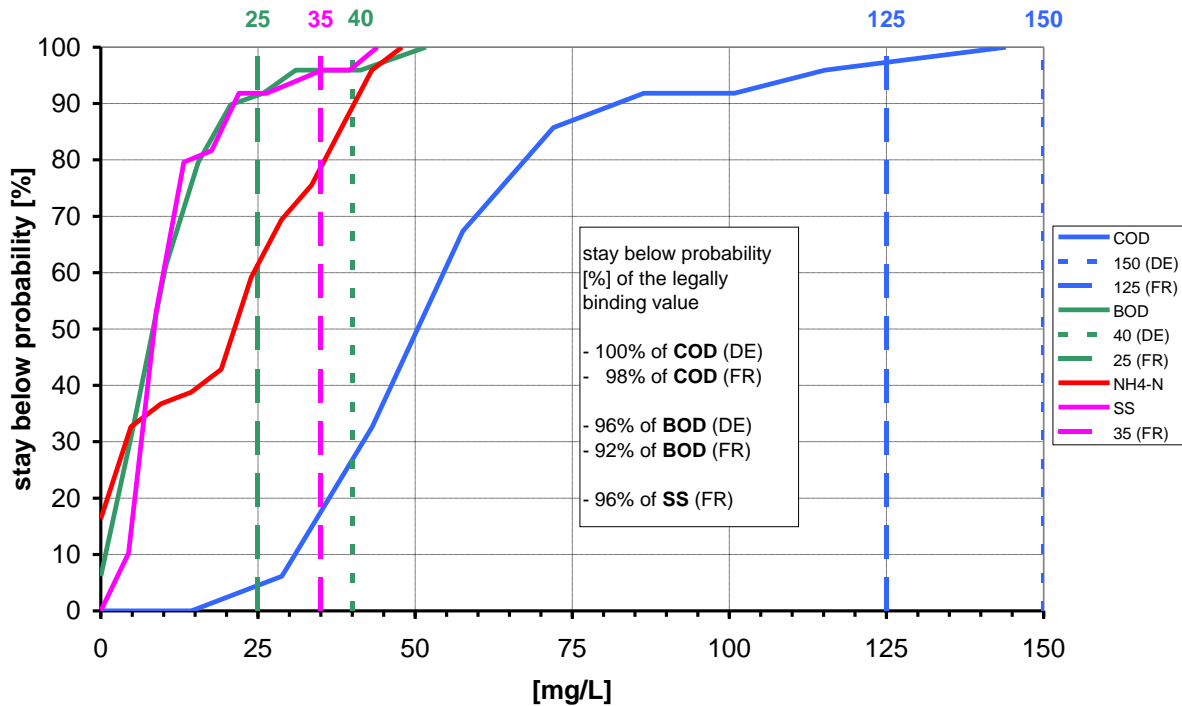


Abbildung 113: Huber - 3K Plus - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.6.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 114) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 115 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 5 zu 1.

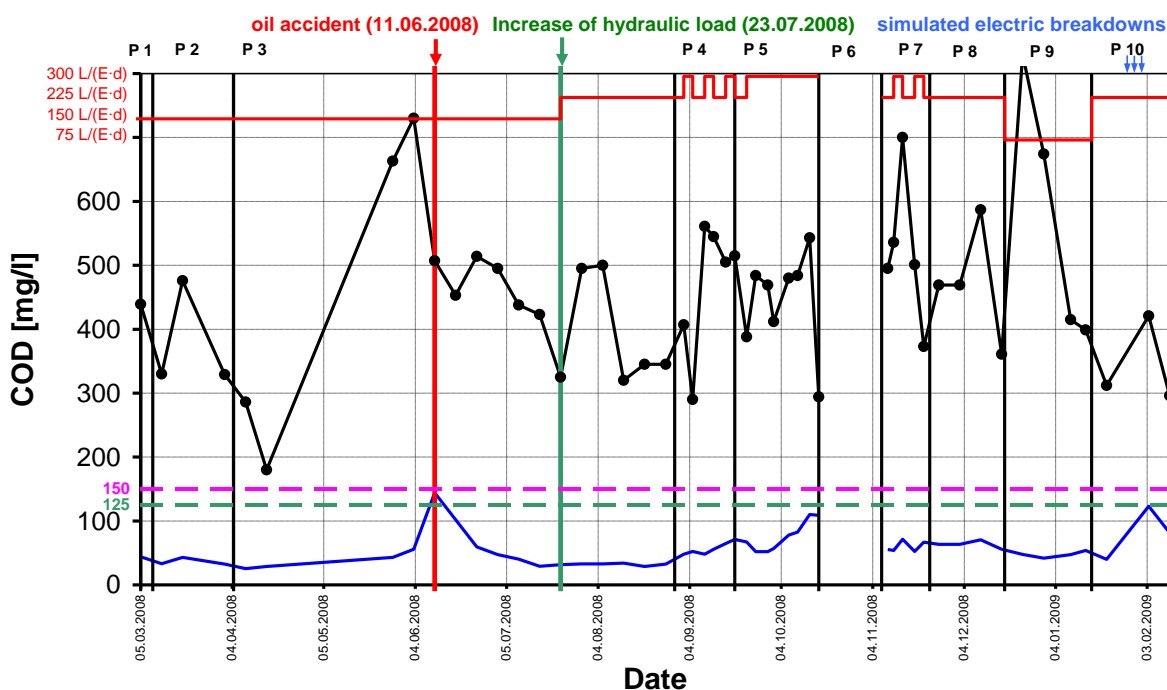


Abbildung 114: Huber - 3K Plus - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 114) bleibt bis auf wenige Ausnahmen unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine sehr starke Erhöhung des COD-Wertes auf über 125 mg/L. Nach der Reinigung der Vorklärung und gründlichem Abspritzen des Festbettes am 17.6.2008 (s. Kap. 7.6.11) stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss. Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche (Phase 4) hatte eine Erhöhung der Ablaufkonzentration auf ca. 50 mg/L zur Folge. Dieser Anstieg setzt sich in Phase 5 fort, und erreicht zu Beginn von Phase 6 ca. 110 mg/L. Zu dieser Zeit waren der Sauerstoffgehalt (Mittelwert von Phase 5: 5,4 mg/L) und die Abwassertemperatur (Mittelwert von Phase 5: 16°C) ausreichend, so dass der Grund für den Anstieg der Ablaufkonzentration die hohe hydraulische Belastung gewesen sein muss.

Nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) war kein Anstieg zu verzeichnen. Der COD-Ablauf blieb bis zur Mitte von Phase 10 auf ca. 50 mg/L. Nur während der simulierten Stromausfälle stieg der Ablaufwert kurzfristig auf knapp 125 mg/L an, was mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden könnte, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 0).

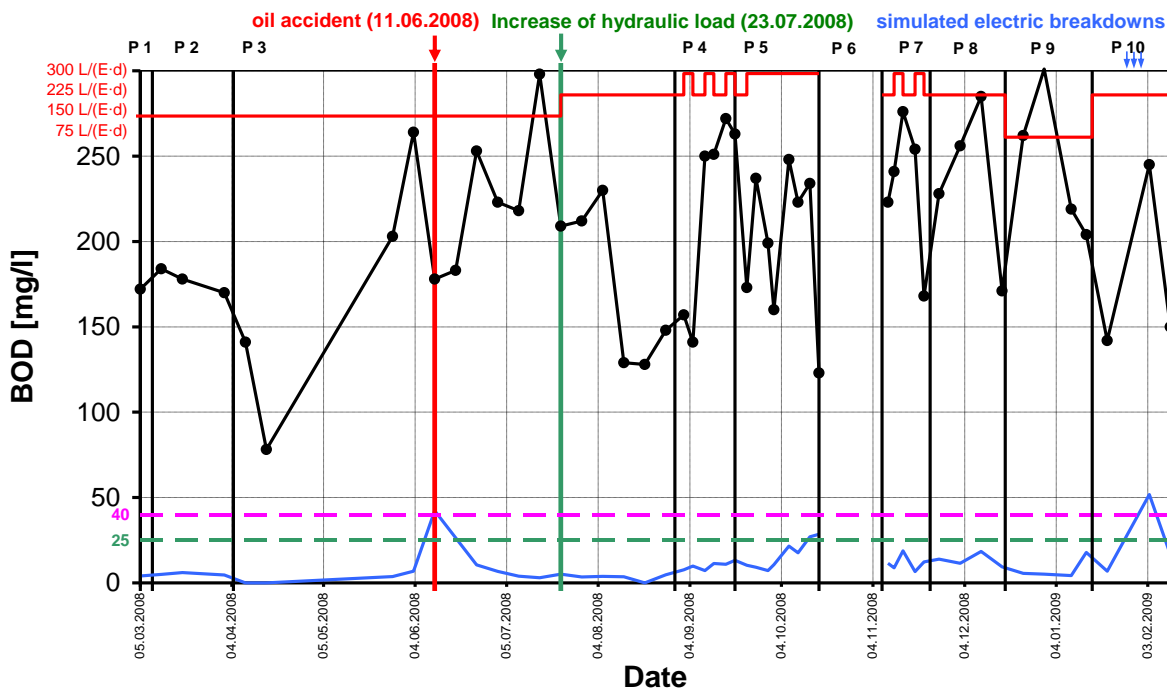


Abbildung 115: Huber - 3K Plus - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.6.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 116) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Während des Ölunfalls brach die Nitrifikation vollständig zusammen, erholte sich aber innerhalb von ca. 14 Tage nach einer gründlichen Reinigung des Festbetts am 17.6.2008 (s. Kap. 7.6.11)

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE-d) auf 225 L/(PE-d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf von ca. 0 mg/L auf 45 mg/L (zum Ende von Phase 5) kontinuierlich stark an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 17°C für Phase 4 und 5). Der betrieblich gemessene Sauerstoffgehalt lag zu diesem Zeitpunkt im Bereich von 6,2 mg O₂/L, was für biologische Prozesse mehr als ausreichend ist.

Eine nennenswerte Nitrifikation wird danach nur noch zu Beginn von Phase 7 und zum Ende von Phase 9 erreicht. Die Verbesserung der Ablaufkonzentration in Phase 9 kann durch die

geringe hydraulische Belastung erklärt werden. Auch die simulierten Stromausfälle verhindern eine Nitrifikation, wobei danach der Ablaufwert sogar höher ist als der Zulaufwert. Die teilweise schlechte Nitrifikation ab Phase 7 kann also auf Temperaturen unter 12°C bis zu 5°C und auf die erhöhte hydraulische Belastung zurückgeführt werden.

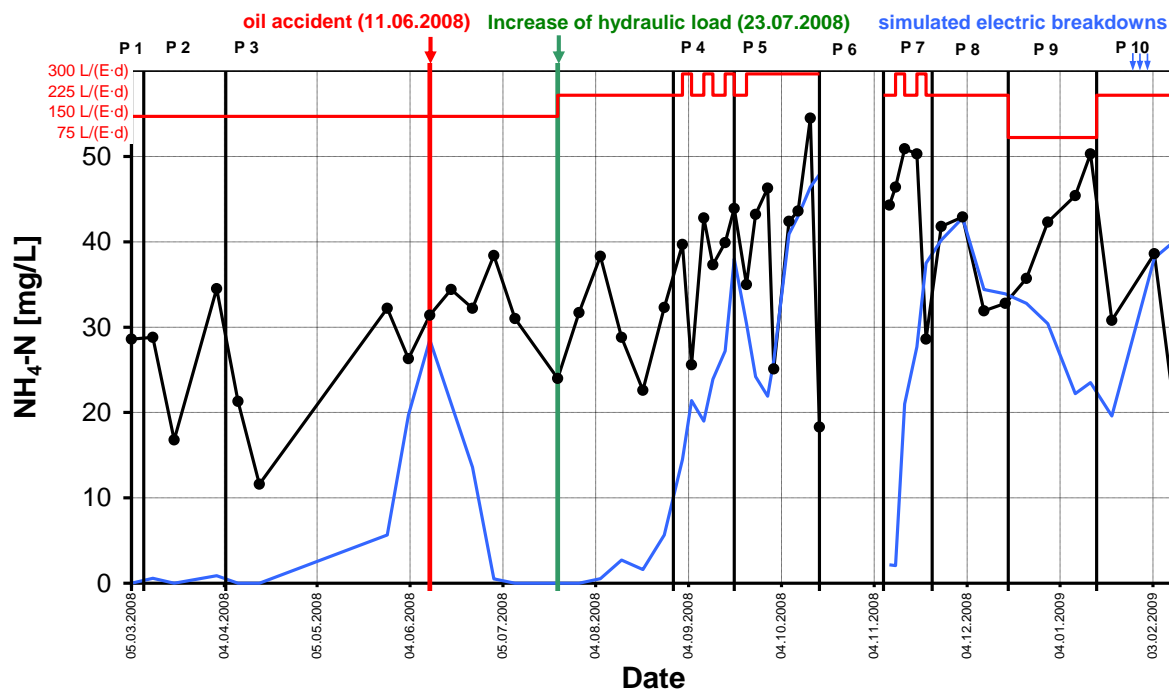


Abbildung 116: Huber - 3K Plus - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs nimmt bis zum Ende der 3. Phase Werte um 10 mg/L an. Diese Werte liegen 10-20 mg/L unter den Zulaufkonzentrationen und die Ammoniumkonzentration ist in diesen Bereich größtenteils gering, so dass eine Teildenitrifikation von ca. 30-60% angenommen werden kann. Nur der Ölunfall verhindert eine Denitrifikation. Erst ab der Phase 4 steigt die Konzentration des anorganischen Stickstoffs auf bis zu 50 mg/L an, um dann auf einem Mittelwert von ca. 40 mg/L zu bleiben und dabei fast auf den Werten der Ammoniumkonzentration im Ablauf zu liegen. Eine nennenswerte Denitrifikation findet demnach nicht mehr statt. Trotz der geringen Temperaturen ist zwischen Phase 9 und 10 noch eine kurzfristige Denitrifikation von ca. 60% zu erkennen.

7.6.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 117) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von meist unter 10 mg/L. Der Ölunfall ließ dem Ablaufwert kurzfristig auf 44 mg/L ansteigen. Nach der gründlichen Reinigung des Festbetts am 17.6.2008 (s. Kap. 7.6.11) stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. In Phase 5 (300 L/(E-d)) stieg die Konzentration kontinuierlich auf 34 mg/L bis zum Beginn von Phase 6, was durch die hohe hydraulische Belastung zu erklären ist: Die Aufenthaltszeit in der Nachklärung wird geringer und der Absetzvorgang wirkt limitierend. Die maximale Flächenbeschickung laut Herstellerangaben mit 150 L/(E-d) bezogen auf $Q_d/10$ (nach Zulassungskriterien DIBt) beträgt 0,049 m/h, während der Phase mit 300 L/(E-d) ($Q_d/10$) stieg diese auf 0,1 m/h und bei Berücksichtigung des Badewannenstoßes sogar auf 0,11 m/h an.

Ab Phase 7 ist der Ablaufwert wieder konstant bei unter 10 mg/L, was nur noch einmal kurzfristig durch die simulierten Stromausfälle mit einem Maximalwert von 43 mg/L überschritten wird. Dies kann an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Substanz im Zulauf liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und dieser auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennbar ist (Abbildung 114 und Abbildung 115).

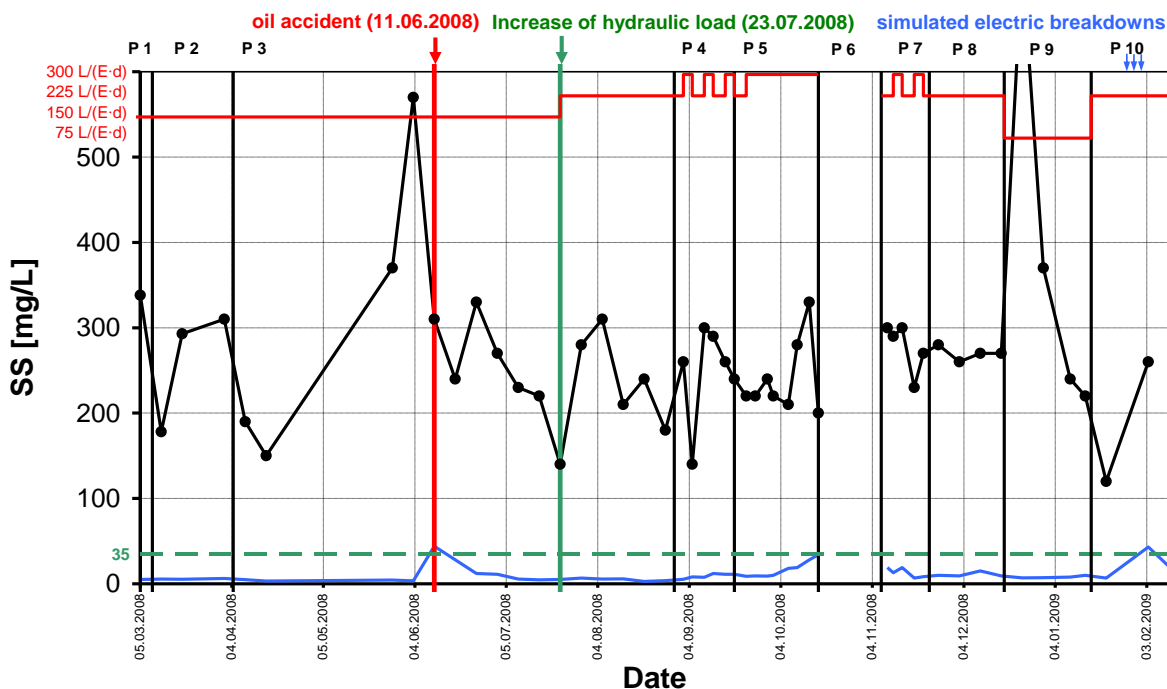


Abbildung 117: Huber - 3K Plus - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.6.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 169) war gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulischen Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zufluss, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung. Die durch Feststoffe hervorgerufene Spitze über 6 mg/L während des Ölunfalls verringert sich innerhalb von 2 Wochen und es wird ein durchschnittlicher Ablaufwert von ca. 4 mg/L erreicht.

Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt.

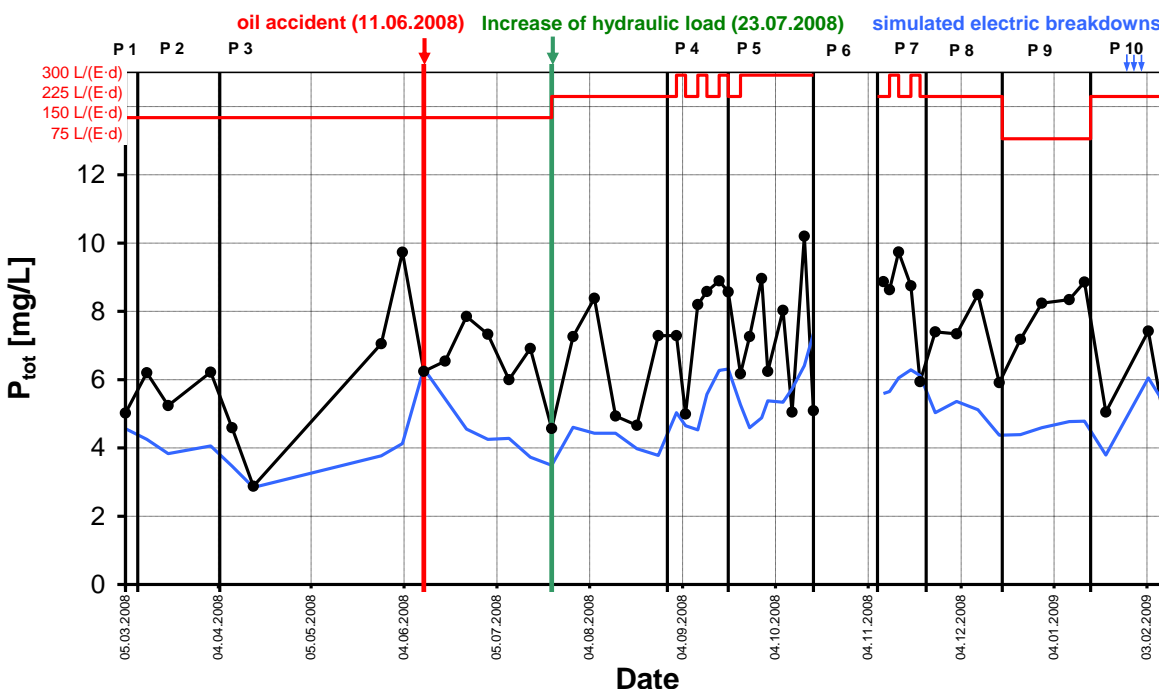


Abbildung 118: Huber - 3K Plus - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.6.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 73, Tabelle 74 und Tabelle 75, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 74 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet

wurde. Tabelle 75 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkooperiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 87%, von BOD₅ bei 95%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 44%, von Gesamtstickstoff bei 37% und von Phosphor bei 27%.

Tabelle 73: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Huber - 3K Plus®	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	49	49	49	49	49	48
mean	87	95	44	37	27	96
median	89	96	51	41	31	96
min.	63	76	-162	-78	-44	83

Tabelle 74: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Huber - 3K Plus®	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	90	97	86	53	30	97
median	91	98	99	58	31	98
min.	72	76	9	19	-1	86
max.	94	100	100	79	58	99

Tabelle 75: Huber - 3K Plus- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Huber - 3K Plus®	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	85	93	23	31	23	95
median	87	95	32	35	31	96
min.	63	77	-162	-78	-44	83
max.	91	97	96	60	46	98

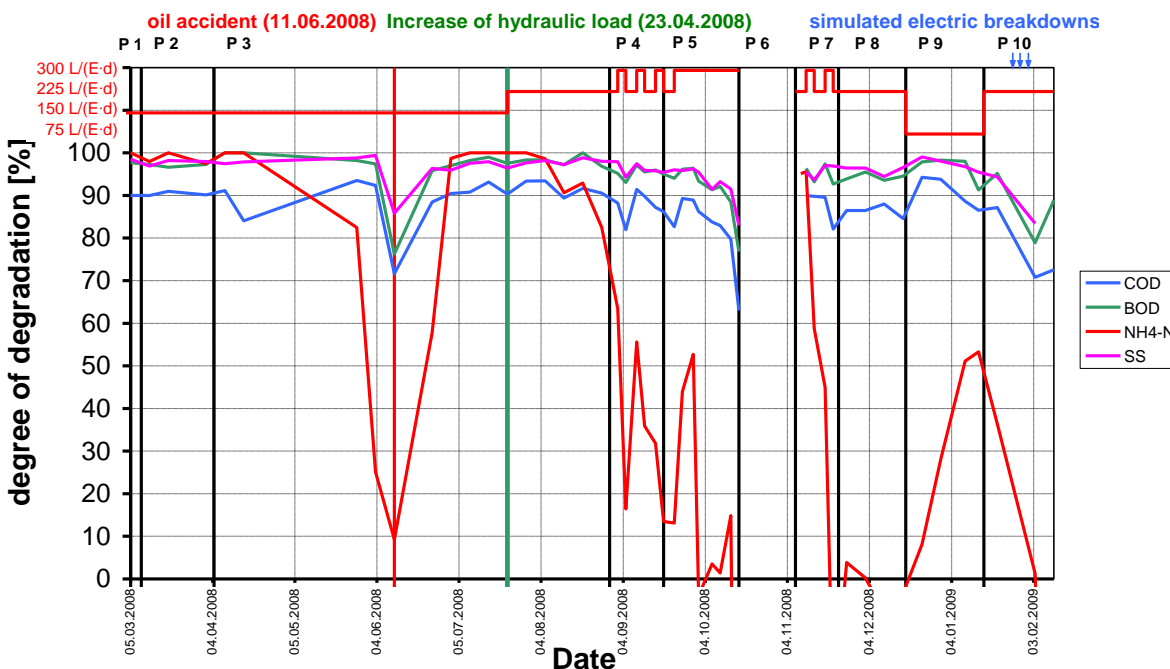


Abbildung 119: Huber - 3K Plus - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig besserer COD-Abbaugrad (90%) als im Gesamtzeitraum (87%). Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war zum Ende von Phase 5 (300 L/(PE-d)) zu registrieren (ca. 60%). Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 119) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Außerdem ist erkennbar, dass bei Überlast (Phase 5) sowie bei Unterbrechungen (Phase 10: simulierte Stromausfälle) alle Abbaugrade um ca. 20%-Punkte abnehmen, innerhalb einiger Tage aber wieder auf die durchschnittlichen Werte ansteigen.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.6.4 erläutert.

7.6.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 120) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenem Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energiever-

brauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Motor für Luftverdichter (0,13 kWh)

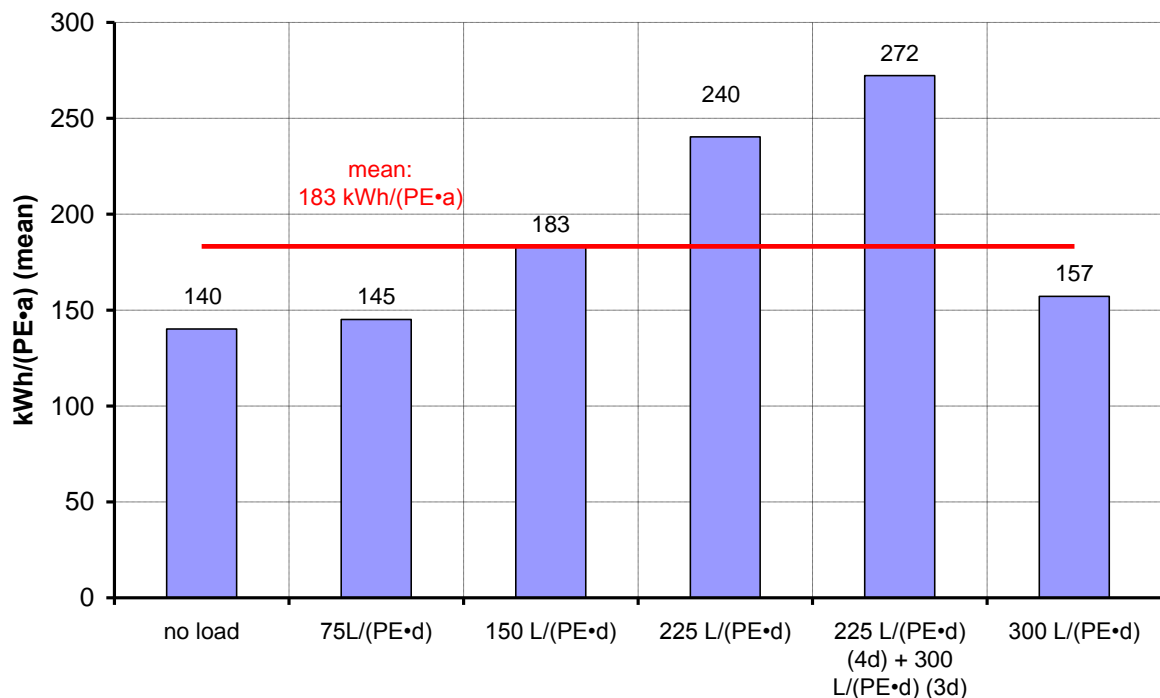


Abbildung 120: Huber - 3K Plus - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 183 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. Kap. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 1,7 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 140 kWh/(PE·a) und 4 PE zu 1,7 kWh/d.

7.6.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 2,02 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 28,4g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 57,51 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 47 gTS/E-d.

7.6.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 172 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

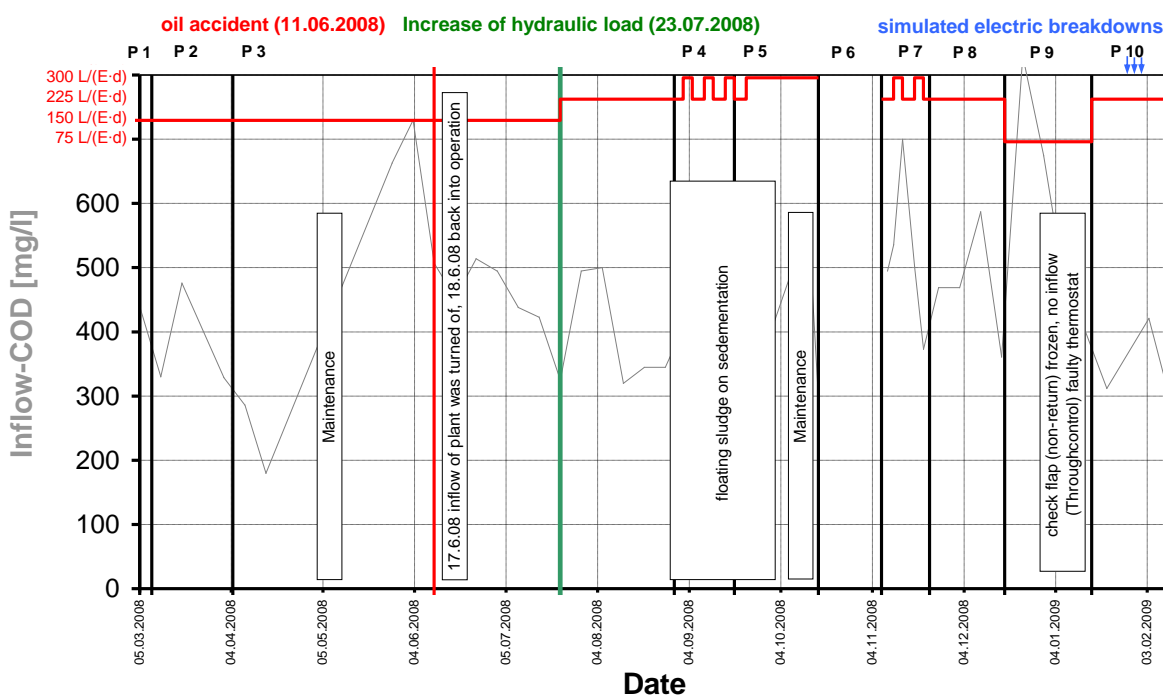


Abbildung 121: Huber - 3K Plus - Auswertung des Zyklentagebuchs

Wartungen wurden am 29.1. (nicht in Abbildung 121 vorhanden), 6.5. und 9.10.2008 durchgeführt.

Nach dem Ölunfall wurde der Zufluss der Anlage am 17.06.08 um 9:10 Uhr abgeschaltet. Die komplette Anlage wurde entleert, das Festbett wurde ausgebaut und gereinigt und der Membranrohrbelüfter wurde ausgetauscht.

Am 18.06.08 wurde die Vorklärung mit Abwasser befüllt, Biologie und Nachklärung wurden mit Klarwasser befüllt und um 09:20 Uhr wurde die Anlage wieder in Betrieb genommen.

Vom 28.8. bis zum 25.9.2008 war leichter Schwimmschlamm auf der Nachklärung.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap)

gehört nicht zur Anlage Huber sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Huber auf. Insgesamt lief die Anlage ohne interne Störungen.

7.6.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 76 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,3 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 1,2 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,7 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,9 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 2 Eier/L, an einzelnen Tagen aber auch einen Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998). In diesem Leistungsbereich lag auch der Mittelwert der Anlage (1,2 log-Stufen).

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 76: Huber - 3K Plus - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	1,34	390.000	5,59	1,62	430.000	5,63	1,04	1,3
	Ablauf	43.000	4,63		9.300	3,97		39.000	4,59		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,00	240.000	5,38	2,00	73.000	4,86	0,72	1,2
	Ablauf	15.000	4,18		2.400	3,38		14.000	4,15		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,66	93.000	4,97	1,59	93.000	4,97	2,00	1,7
	Ablauf	930	2,97		2.400	3,38		930	2,97		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,69	750	2,88	1,43	46.000	4,66	2,52	1,9
	Ablauf	430	2,63		28	1,45		140	2,15		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-3	13 ¹⁾		12	<1		-2	2
	Ablauf	3 ¹⁾			1			2			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

7.6.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 100 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 92% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 100 mg/L in 95 %.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 56 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von überstauten belüfteten Festbettanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 139 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 56 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Festbett-Anlage (4 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 106 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach BOLLER 2004 erreichten 5 Festbettanlagen einen mittleren Ablaufwert von 69,8 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 56 mg/L.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 35 Festbett-/Wirbelbett-Anlagen mit 62 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 147 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 56 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 25 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 92% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L in 95% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 11 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von überstauten belüfteten Festbettanlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 33 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 11 mg/L bei nur einem Drittel der Praxiswerte.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Festbett-Anlage (4 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 27 mg/L. Dies ist höher als der mittlere Ablaufwert dieser Anlage (11 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Festbetтанlagen eine mittleren Ablaufwert von 8,6 mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 11 mg/L.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage noch knapp unter diesem Mittelwert bei ca. 4 mg/L. Erst über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 19,5 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von überstauten belüfteten Festbetтанlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 68 mg/L, d.h. diese Anlage liegt weit unter diesem Durchschnitt (Mittelwert von 19,5 mg/L), obwohl bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Festbett-Anlage (4 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 27 mg/L, also leicht mehr als bei dieser Anlage (19,5 mg/L). Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Festbetтанlagen eine mittleren Ablaufwert von 10,5 mg/L, was weit unter dem Mittelwert dieser Anlage von 19,5 mg/L liegt aber etwa dem entspricht, was die Anlage in den 100%-Phasen von 6 mg/L erreichte.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 75 mg/L für eine Stichprobe erreicht werden. Die 75-mg/L-Konzentration aus einer Mischprobe wurde in 100% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L ebenfalls in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was sogar höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 11,2 mg/L. Für die 100%-Phasen 1-3 ergibt sich ein mittlerer Ablaufwert von 8 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von überstauten belüfteten Festbetтанlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 33 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 11,2 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Festbett-Anlage (4 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 13 mg/L, also etwas mehr als diese Anlage über den gesamten Versuchszeitraum.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 114, Abbildung 115, Abbildung 116 und Abbildung 117) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 1,7 kWh/d und entspricht damit in etwa den Herstellerangaben mit einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1,5 kWh/d. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 9 belüftete Festbett-Anlagen bei 0,25 kWh/(PE·d), also etwa halb so groß wie die ermittelte Durchschnittswert von 0,5 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,18 kWh/(PE·d) bis zu 0,39 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt leicht darüber.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige Festbett-Anlage (4 PE) einen Energieverbrauch von 173 bis 370 kWh/(PE·a). Dies entspricht 1,9 bis 4 kWh/d, also wesentlich mehr als der Energieverbrauch dieser Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE·d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 47 g/(PE·d) liegt deutlich darunter. Dies kann daran liegen, dass eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden hat, d.h. mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben wird.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 10.000 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 8.400 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für Festbett-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 570, der Maximalwert bei 24.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,2 log-Stufen. Dies entspricht in etwa der log-Reduktion von 1,1 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige Festbett-Anlage (4 PE) eine gesamtcoliforme Belastung von $1,04 \cdot 10^8/100 \text{ mL}$, eine fäkalcoliforme Belastung von $4,05 \cdot 10^7/100 \text{ ml}$ im Ablauf, also wesentlich höher Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,3 log-

Stufen. Dies liegt deutlich über der fäkalcoliformen log-Reduktion von 0,1 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.6.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 56 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung mit Ausnahme des Ölunfalls unter 125 mg/L gehalten werden.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 19,9 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L. Nur während des Ölunfalls und den Stromausfällen waren erhöhte Feststoffablaufwerte zu registrieren.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf.

Der Stromverbrauch entspricht in etwa den Angaben des Herstellers.

7.7 Lauterbach-Kießling – BKF 4 DN2000 Z1

7.7.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Lauterbach-Kießling wurde die Anlage vom Typ „BKF 4 DN2000 Z1“ eingebaut, die für 4 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung liegt bei einer Fracht von 240 g BOD₅/d, was der Zulauf fracht laut DIBt-Zulassung entspricht.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08*: 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung (laut Hersteller: Kleinkläranlage) ein Volumen von 6 m³ an. Daraus ergab sich eine Aufenthaltszeit von 6 Tagen für die Vorklärung (s. Kap. 2.6). Aus der Fläche der Filtertassen (1,88 m²) und der durchschnittlichen Zulaufmenge von 1,0 m³/d ließ sich eine Durchtropfgeschwindigkeit von 1,88 m/d oder 7,9 cm/h ermitteln. Daraus folgte eine Durchflusszeit bei einer Höhe von ca. 1,1 m von 14 h oder 0,58 Tagen. Die ungefähre Aufenthaltszeit betrug demnach ca. 6,58 Tage für die gesamte Anlage.

7.7.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 77 und Tabelle 78) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauf fracht aufzustocken

Tabelle 77: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Lauterbach-Kießling, BKF 4 DN2000 Z1	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	49	50
mean	456	60	207	3,4	15	269,0	13,7
median	469	55	215	3,2	11	260,0	8,5
min.	180	29	78	1,0	4	120,0	2,0
max.	830	171	301	5,8	71	730,0	62,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		98%			94%		
stay below of legally binding value (FR)		94%			86%		90%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 78: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Lauterbach-Kießling, BKF 4 DN2000 Z1	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	50
mean	35,1	17,1	47,4	37,2	7,0	4,9
median	34,8	12,6	46,5	35,2	7,3	4,6
min.	11,6	5,8	19,8	21,1	2,9	2,8
max.	54,5	43,9	71,6	65,4	10,2	6,7
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 60 mg/L, der maximale Wert lag bei 171 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 98 %, der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 94 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab einen Messwert, der den deutschen Überwachungswert und 3 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.7.4). Die Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 15 mg/L, der maximale Wert lag bei 71 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 94%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 86 % aller Messungen un-

terschritten, d.h. es gab 3 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 7 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.7.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erzielte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 13,7 mg/L, der maximale Wert lag bei 62 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 90 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 5 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.7.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 17,1 mg/L, der maximale Wert lag bei 43,9 mg/L (s. Kap. 7.7.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 37,2 mg/L, der maximale Wert lag bei 65,4 mg/L (s. Kap. 7.7.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 4,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 6,7 mg/L (s. Kap. 7.7.7).

7.7.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 122) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

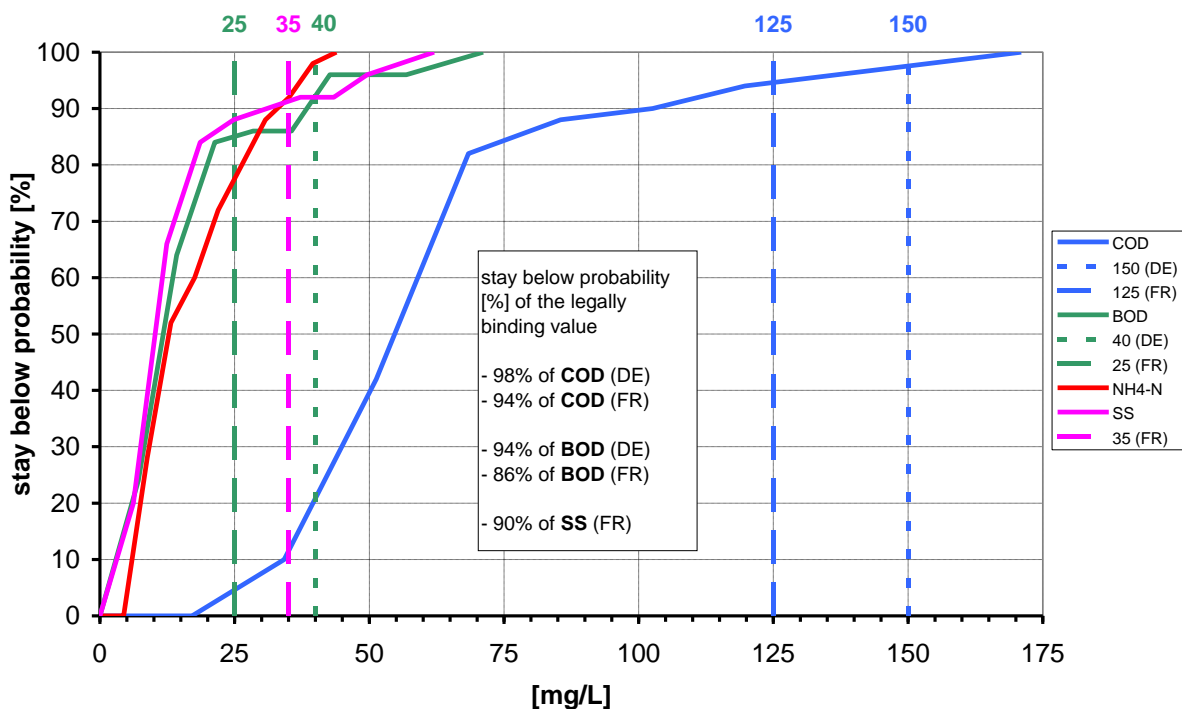


Abbildung 122: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.7.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 123) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 124 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 4 zu 1.

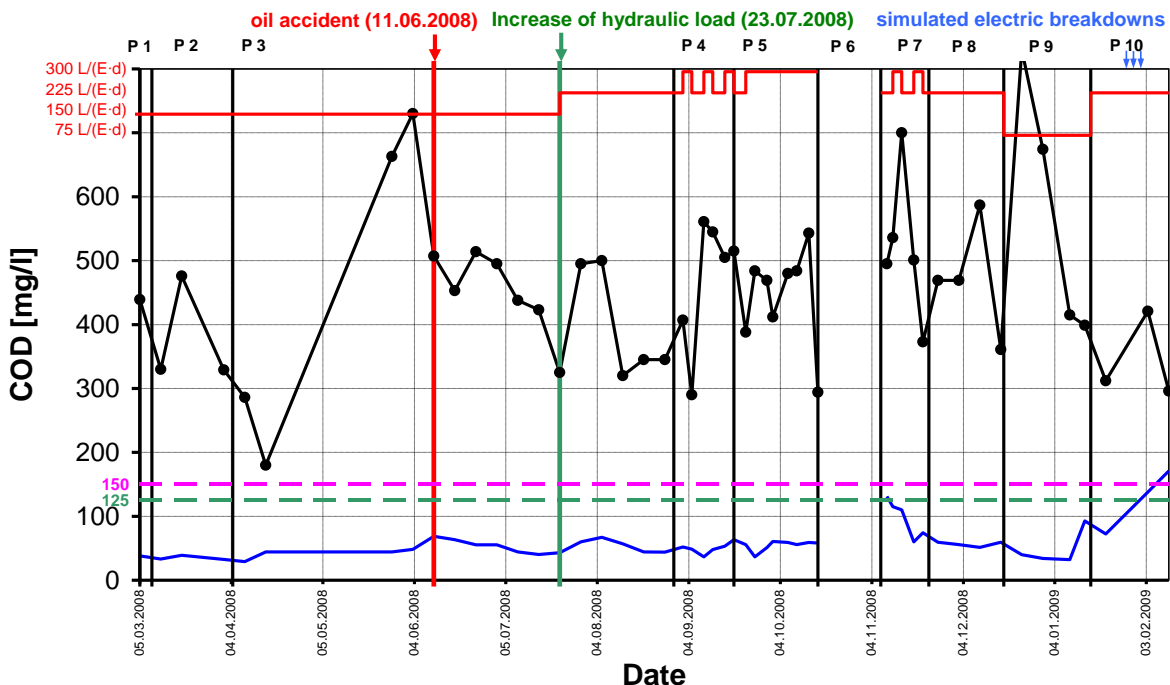


Abbildung 123: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - COD Zu- und Ablaufgaglien

Der COD im Ablauf (Abbildung 123) bleibt bis auf zwei Ausnahmen unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine sehr geringe Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte einen sehr geringen Einfluss, was aber auch an der höheren Zulaufkonzentration gelegen haben könnte. Auch die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche (Phase 4) sowie die die Dauerbeaufschlagung von 200% hydraulischer Belastung über 4 Wochen (Phase 5) hatte keine nennenswerte Erhöhung der Ablaufkonzentration zur Folge.

Nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) wurde ein deutlich erhöhter Wert für COD (131 mg/L) verzeichnet, der sich aber bis zur Mitte von Phase 7 wieder normalisierte (ca. 60-70 mg/L). Dies könnte sich dadurch erklären, dass beim Wiederanfahren im erhöhten Maße abgestorbene Biomasse ausgetragen wurde.

Die kurzfristige Erhöhung des Ablaufwertes für COD nach dem Neustart der Anlage im Anschluss an die simulierten Stromausfälle könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 0).

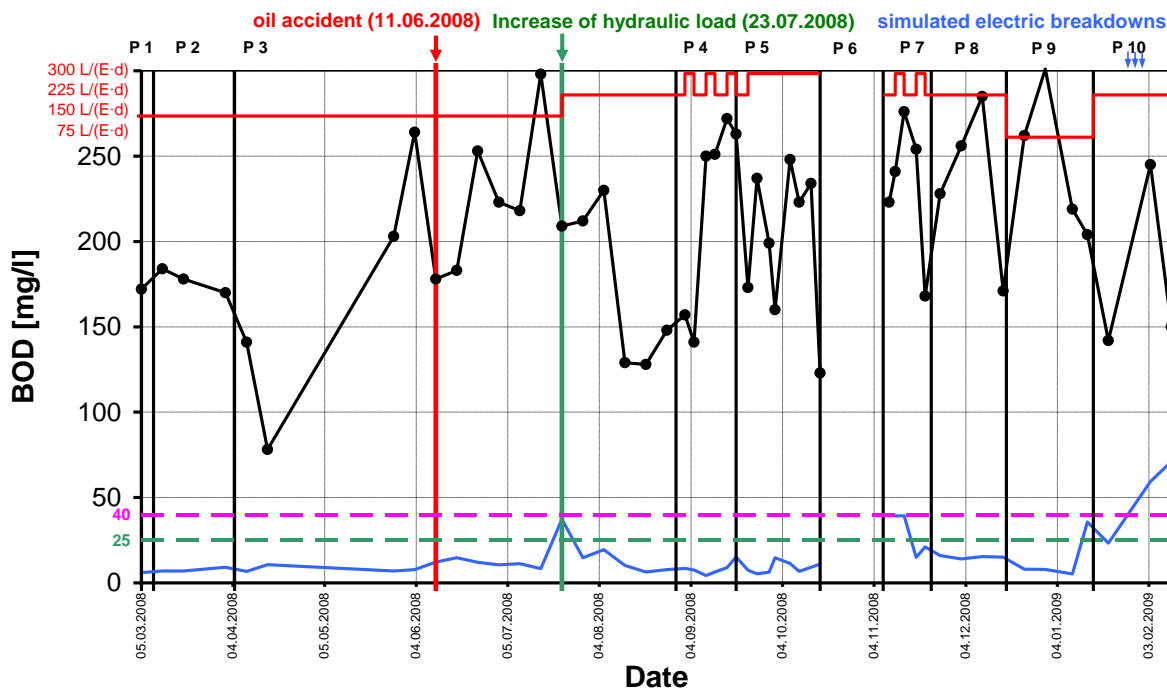


Abbildung 124: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.7.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 125) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Bis zur Phase 4 konnte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte $< 10 \text{ mg/L}$ erreicht werden. Nicht einmal der Ölunfall hatte einen nennenswerten Einfluss auf die Ablaufkonzentration, obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind.

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last in Phase 4 stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf langsam und diskontinuierlich auf ca. 28 mg/L an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: $17,1^\circ\text{C}$ für Phase 4 und 5).

Nach Phase 6 fällt der Ablaufwert bis zur Mitte von Phase 9 wieder auf unter 10 mg/L ab, was durch die Verringerung der hydraulischen und stofflichen Belastung zu erklären ist. Der

Anstieg ab Phase 9 wird seine Ursachen in der geringen Abwassertemperatur (ca. 5,8 °C in Phase 9 und 10) und in Phase 10 in den simulierten Stromausfällen haben.

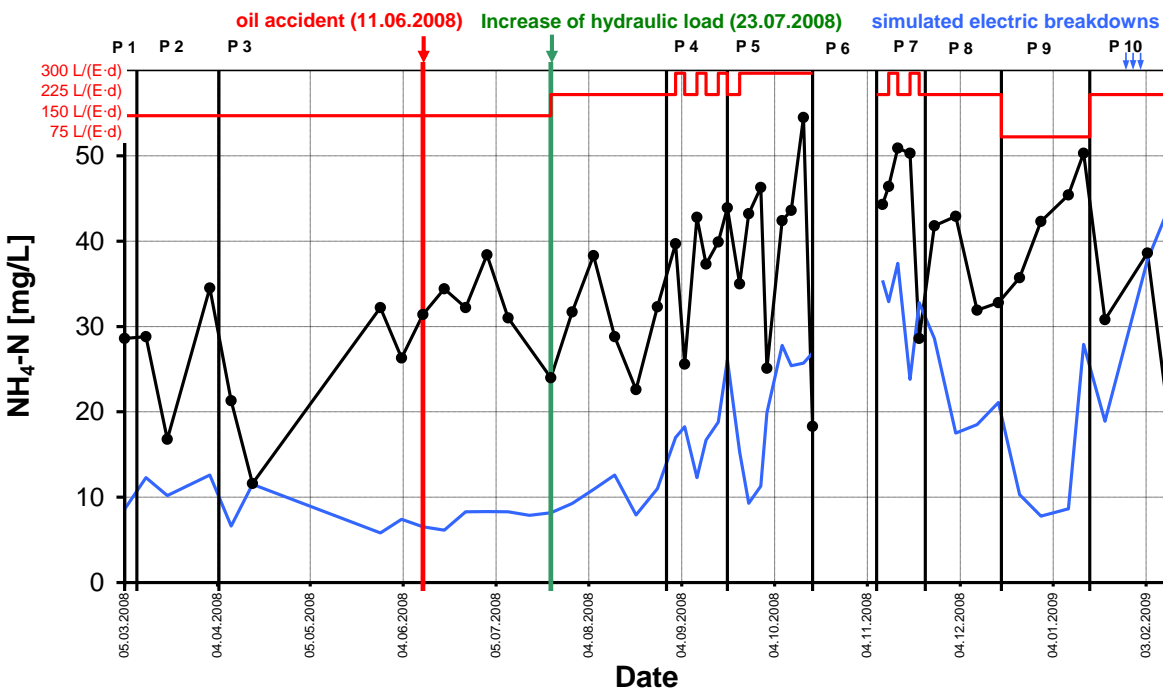


Abbildung 125: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs ist fast durchgehend identisch mit der Konzentration am Zulauf. Nur in der Mitte von Phase 3 kann von einer Teildenitrifikation von max. 30% gesprochen werden, im restlichen Versuchszeitraum gab es keine nennenswerte Denitrifikation.

7.7.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 126) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 15 mg/L, auch in den Phasen der hydraulischen Überlast (Phase 4 und 5). Nur nach Phase 6 ist ein erhöhter Wert von 62 mg/L zu beobachten, was vermutlich durch den Abtrieb abgestorbener Biomasse während der Phase ohne Beschickung zu erklären ist.

In 10 gab es erneut kurze Überschreitung des Überwachungswertes von 35 mg/L, was an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Sub-

stanz im Zulauf liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und dieser auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennbar ist (Abbildung 123 und Abbildung 124).

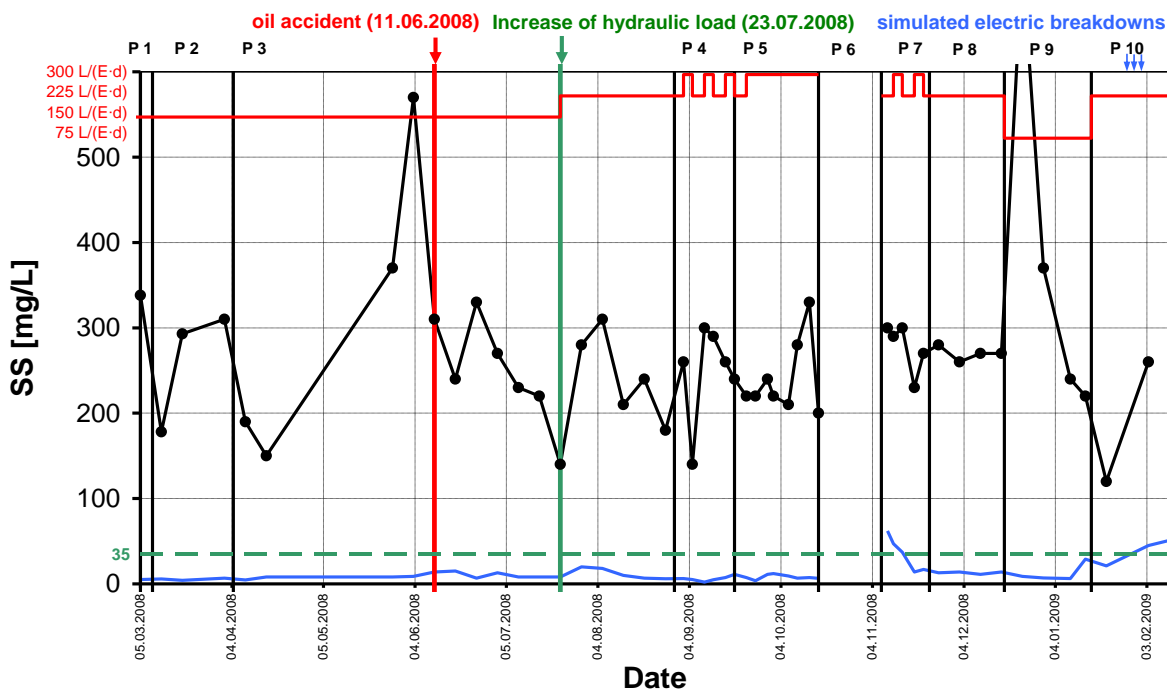


Abbildung 126: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.7.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 127) war gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist relativ parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Durch den sehr geringen Feststoffaustrag (s. Abbildung 126) ist kein direkter Zusammenhang zwischen Feststoff und Phosphor erkennbar, obwohl Phosphor nicht abgebaut sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt wird. Der Phosphorgehalt im Ablauf ist also fast ausschließlich vom Zulaufwert abhängig.

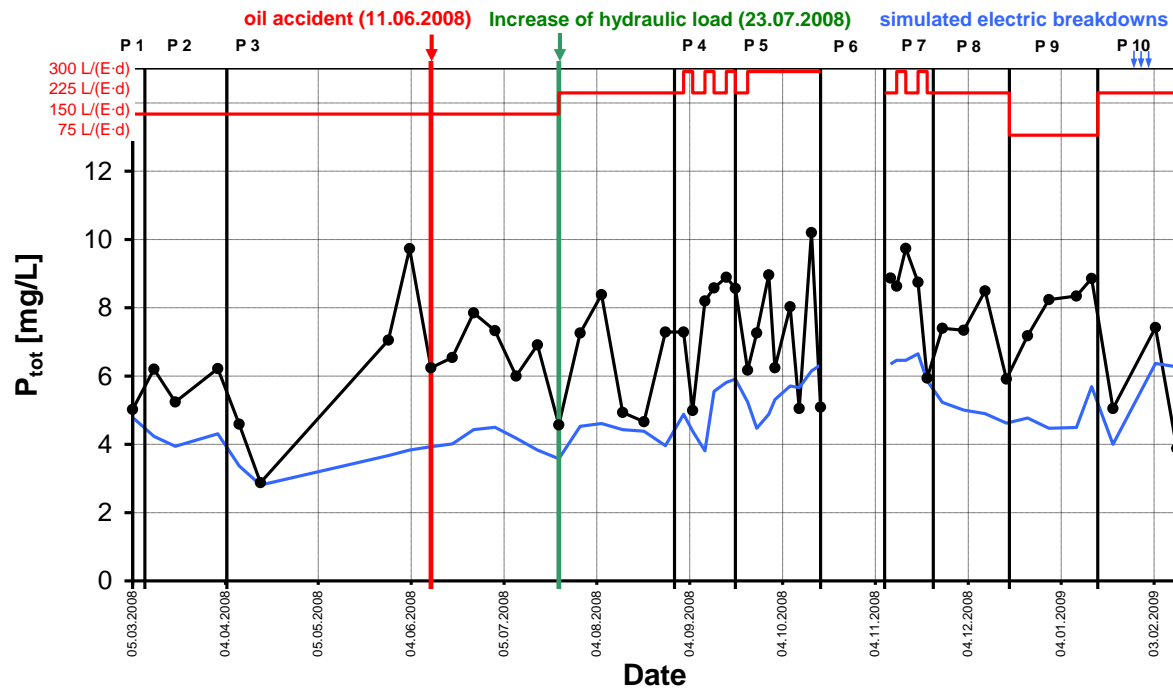


Abbildung 127: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.7.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 109, Tabelle 110 und Tabelle 111, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 110 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 111 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 84%, von BOD₅ bei 93%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 34%, von Gesamtstickstoff bei 26% und von Phosphor bei 35%.

Tabelle 79: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Lauterbach-Kießling, BKF 4 DN2000 Z1	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	50	50	50	50	50	49
mean	86	92	48	18	27	95
median	88	95	57	22	31	96
min.	42	53	-130	-83	-62	79
max.	95	98	82	44	61	99

Tabelle 80: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Lauterbach-Kießling, BKF 4 DN2000 Z1	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	88	94	66	22	31	96
median	89	95	70	24	34	97
min.	76	82	1	-29	2	93
max.	93	97	82	44	61	99

Tabelle 81 : Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Lauterbach-Kießling, BKF 4 DN2000 Z1	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	86	93	39	18	24	94
median	88	95	42	22	29	96
min.	74	82	-47	-56	-24	79
max.	93	98	79	44	54	99

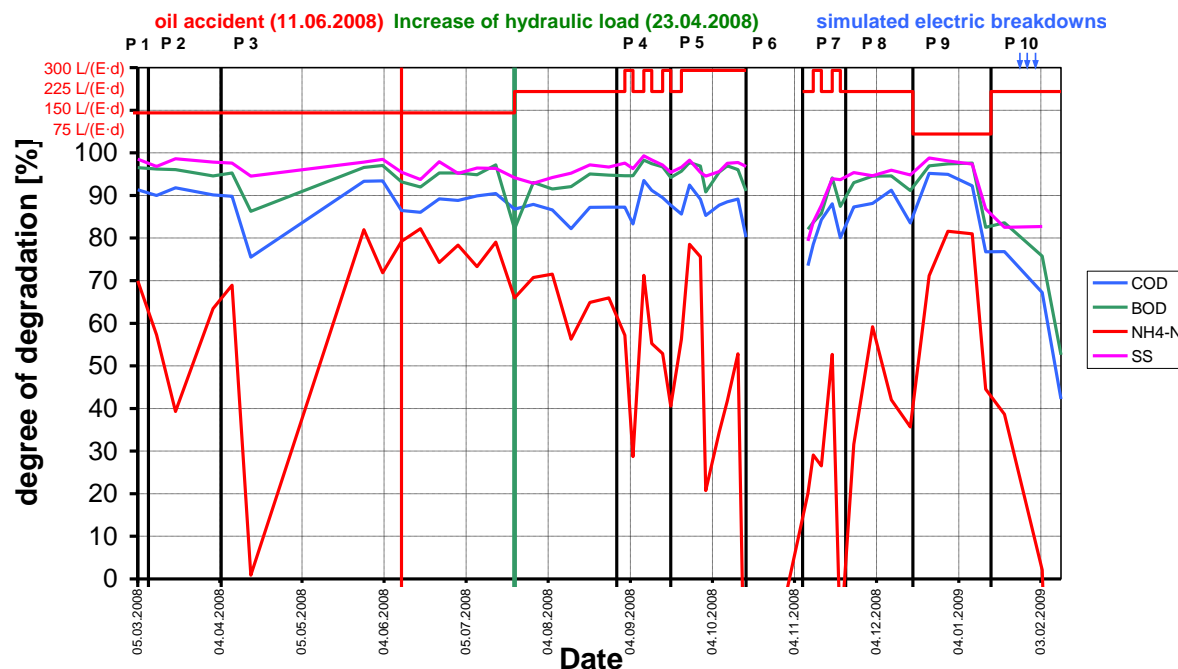


Abbildung 128: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein marginal besserer COD-Abbaugrad (88%) als im Gesamtzeitraum (86%), bedingt durch die geringere hydraulische Belastung. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell geringfügig niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war nach den simulierten Stromausfällen zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 128) zeigen, dass seit dem Ölunfall ein diskontinuierlicher Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist. Während der Unterlastphase treten trotz niedrigster Temperaturen kurzfristig wieder höher NH₄-N-Abbaugrade auf.

Der geringere COD-Abbaugrad nach Phase 6 normalisiert sich innerhalb einer Woche wieder. Der starke Abfall ab der Mitte von Phase 9 ist durch die sehr geringen Abwassertemperaturen und eventuell durch die simulierten Stromausfälle zu erklären.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.7.4 erläutert.

7.7.9 Energieverbrauch

Diese Anlage braucht für eine konventionelle Installation keine elektrische Energie. Lediglich bei ungünstigen Gefälleverhältnissen muss das gereinigte Abwasser gepumpt werden, die benötigte Pumpenergie hängt dann von der spezifischen Situation ab. Der Verbrauch, der auf dem BDZ-Versuchsfeld entstand dadurch, dass das gereinigte Abwasser mit einer Pum-

pe vom Probeentnahmeschacht auf das Auslauf-Niveau des Versuchsstandes gefördert werden musste.

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird deshalb über den gesamten Versuchszeitraum zu 0 kWh/d angesetzt.

7.7.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 1,1 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 49,7 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 54,65 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 44,7 gTS/E·d.

7.7.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 129 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

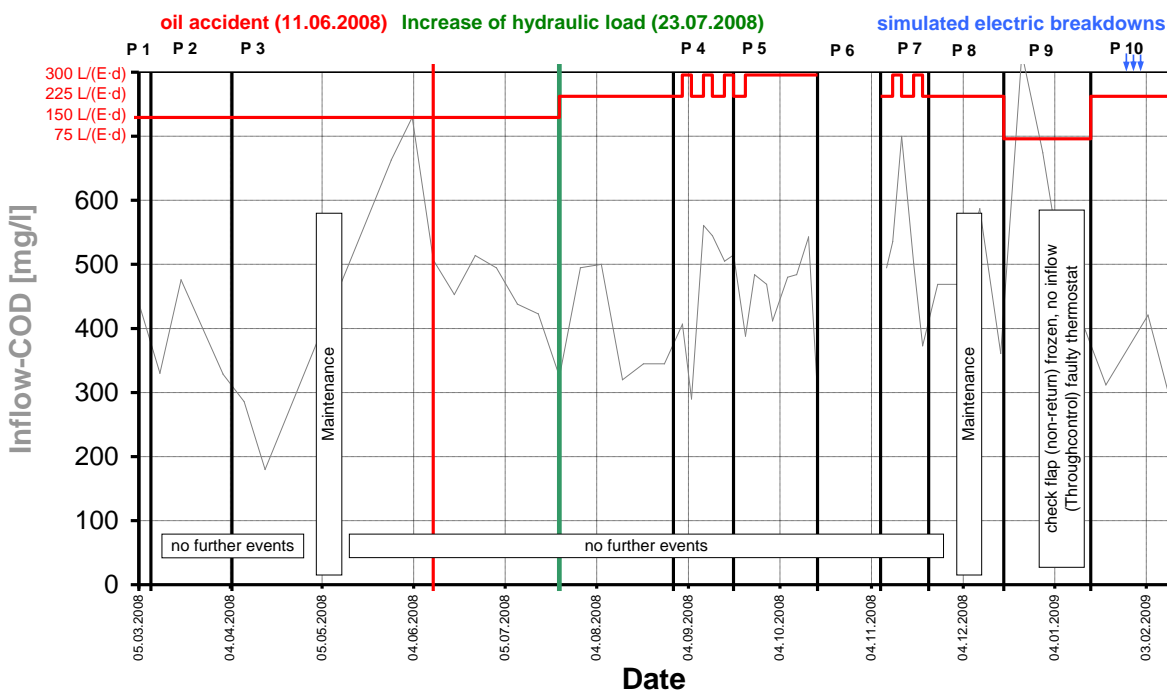


Abbildung 129: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - Auswertung des Zyklentagebuchs

Am 9.5.08 und am 10.12.08 wurde die Anlage durch den Hersteller gewartet.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Lauterbach-Kießling sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Lauterbach auf.

7.7.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 82 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,4 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 1,1 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,6 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,1 log-Stufen. Bei Salmonellen hat es am 2.12.2008 eine Zunahme der Salmonellen vom Zu- in den Ablauf gegeben. Dies kann daran liegen, dass die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss der Anlage durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt wurde. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 2 Eier/L, an einzelnen Tagen

aber auch eine Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998). Dieser Bereich wurde von der Anlage im Mittel (1,1 log-Stufen) erreicht.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 82: Lauterbach-Kießling - BKF 4 DN2000 Z1 - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	2,00	390.000	5,59	0,96	430.000	5,63	1,46	1,4
	Ablauf	9.300	3,97		43.000	4,63		15.000	4,18		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,21	240.000	5,38	1,20	73.000	4,86	0,69	1,1
	Ablauf	9.300	3,97		15.000	4,18		15.000	4,18		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,25	93.000	4,97	1,59	93.000	4,97	2,00	1,6
	Ablauf	2.400	3,38		2.400	3,38		930	2,97		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,28	750	2,88	-0,09	46.000	4,66	1,34	1,1
	Ablauf	> 1.100	3,04		930	2,97		2.100	3,32		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-6	13 ¹⁾		12	<1		-1	2
	Ablauf	6 ¹⁾			1			1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

">1.100" wird zu 1.100 angenommen

7.7.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.10.9 liegt der COD in einer Stichprobe unter 75 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 88% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L in 100 % unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa höher als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 60 mg/L liegt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 107 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 60 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 26 Messungen), die diesem System am ähnlichsten ist, einen mittleren Ablaufwert von 107 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 54,9 mg/L, was dem Mittelwert dieser Anlage von 60 mg/L entspricht.

Nach BOLLER 2004 erreichten 12 Biofilter-Anlagen mit 22 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 71 mg/L, was etwas über den Wert dieser Anlage mit 60 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.10.9 liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 15 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 15-mg/L-Konzentration wurde in 72% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 15 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 46 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 15 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 2 Messungen), die diesem System am ähnlichsten ist, einen mittleren Ablaufwert von 47 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 4,4 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 15 mg/L für den gesamten Versuchszeitraum bzw. 11 mg/L für die 100%-Phasen.

Ammonium

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.10.9 liegt die Ammoniumkonzentration in einer Mischprobe unter 10 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2). Die 10-mg/L-Konzentration wurde in 32% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 10 mg/L in 65% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage noch über diesem Mittelwert bei ca. 9 mg/L. Über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 17,1 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 15 mg/L, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 17,1 mg/L entspricht. Über die Nominalphasen 1-3 erreichte diese Anlage einen Wert von 9 mg/L, also etwas besser als der Durchschnitt nach STRAUB 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 20 Messungen), die diesem System am ähnlichsten ist, einen mittleren Ablaufwert von 17 mg/L, was den Wert dieser Anlage von 17,1 mg/L entspricht. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 6,5 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 17,1 mg/L für den gesamten Versuchszeitraum bzw. nur leicht niedriger liegt als 11 mg/L für die 100%-Phasen.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.10.9 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 50 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 50-mg/L-Konzentration wurde in 96% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 50 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was sogar höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 13,7 mg/L. Für die 100%-Phasen 1-3 ergibt sich ein mittlerer Ablaufwert von 9 mg/L.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 10 Messungen), die diesem System am ähnlichsten ist, einen mittleren Ablaufwert von 12 mg/L, was den Wert dieser Anlage von 13,7 mg/L entspricht.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 123, Abbildung 124, Abbildung 125 und Abbildung 126) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigen. Auch bei den Untersuchungen

in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Diese Anlage benötigt konstruktionsbedingt im Normalfall keine Energie. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 5 Tropfkörper-Anlagen, die diesem System am ähnlichsten ist, bei 0 bis 0,1 kWh/(PE-d), was auch dieser Anlage entspricht.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE), die diesem System am ähnlichsten ist, einen Energieverbrauch von 0,05 bis 0,06 kWh/(PE-d).

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 44,7 g/(PE-d) zeigt, dass die Feststoff-Belastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag, da es sich bei dieser Anlage ausschließlich um Primärschlamm handelt.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 9.300 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 35.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für Tropfkörper-Anlagen (ähnlichstes System), der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 200.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,1 log-Stufen. Dies entspricht in etwa der log-Reduktion von 1,2 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (ähnlichstes System) eine gesamtcoliforme Belastung von $5,6 \cdot 10^4/100$ mL, eine fäkalcoliforme Belastung von $3,49 \cdot 10^4/100$ ml im Ablauf, also wesentlich höher Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 1,4 log-Stufen bei gesamtcoliformen Bakterien. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,3 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.7.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 60 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung teilweise weit unter 100 mg/L gehalten werden. Lediglich nach der Phase ohne Belastung (no load) und während der simulierten Stromausfälle traten erhöhte Werte beim Anfahren der Anlage auf.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 13,7 mg/L) lagen überwiegend deutlich unter 35 mg/L. Beim Anfahren nach der Phase ohne Belastung sowie nach den simulierten Stromausfällen war ein erhöhter Feststoffablaufwert zu registrieren.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf.

Die Anlage verbrauchte keine elektrische Energie.

7.8 UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4 E

7.8.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Ökotec wurde die Anlage vom Typ PKA Typ UFZ C+H 4E eingebaut. Diese Anlage ist laut Zulassungskriterien des DIBt für Kleinkläranlagen für 3 PE ausgelegt, kann aber laut Hersteller mit 4 PE beschickt werden (s. Kap. 4.11.3). Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 240 g BSB₅/d, was der Zulauffracht laut Hersteller entspricht.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 L pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Herstellerangaben hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d beschickt werden können. Die Vorklärung wurde mit 900 L/PE bemessen (s. Kap. 4.11.3).

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08*: 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,5 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung ein Volumen von 3,7 m³, für die beiden Filterbecken eine Fläche von 12 bzw. 6 m² an. Diese Fläche wird mit einer Höhe von 1 m zu den Volumina für die Filterbecken. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von 3,7 Tagen für die Vorklärung, 12 Tagen für den vertikalen Bodenfilter und 3 Tagen für den horizontalen Filter. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 21,7 Tagen in der gesamten Anlage (s. Kap. 2.6). Die theoretische Berechnung ist sehr ungenau für den ungesättigten vertikalen Bodenfilter. Deshalb ist die durchschnittliche Aufenthaltszeit des Abwassers in der gesamten Kläranlage (ohne Vorklärung) durch zwei Tracer-Tests mit NaCl bestimmt worden (5,25 und 6,3 Tag).

7.8.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 83 und Tabelle 84) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Tabelle 83: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

UFZ - UFZ C+H 4E	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	50	47	49	48
mean	456	34	207	3,5	3	269,0	4,5
median	469	31	215	3,2	0	260,0	2,4
min.	180	21	78	1,0	< 3	120,0	< 1,0
max.	830	82	301	5,8	24	730,0	20,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		100%			100%		
stay below of legally binding value (FR)		100%			100%		100%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 84: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

UFZ - UFZ C+H 4E	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	49	50	48
mean	35,1	12,0	47,4	29,8	7,0	3,5
median	34,8	8,1	46,5	30,5	7,3	3,5
min.	11,6	3,2	19,8	14,5	2,9	1,3
max.	54,5	31,9	71,6	51,6	10,2	5,5
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 34 mg/L, der maximale Wert lag bei 82 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L sowie der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurden in 100 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab keine Messwerte, die den deutschen bzw. den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.8.4). Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf(BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 3 mg/L, der maximale Wert lag bei 24 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L sowie der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L wurden in 100 % aller Messungen

unterschritten, d.h. es keinen Messwerte, der den deutschen bzw. den „französischen Überwachungswert“ überschritten hatte (s. Kap. 7.8.4). Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 4,5 mg/L, der maximale Wert lag bei 20 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 100% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab keinen Messwert, der den „französischen Überwachungswert“ überschritten hatte (s. Kap. 7.8.6). Die Anlage erreichte in allen Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 12,0 mg/L, der maximale Wert lag bei 31,9 mg/L (s. Kap. 7.8.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 29,8 mg/L, der maximale Wert lag bei 51,6 mg/L (s. Kap. 7.8.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 3,5 mg/L, der maximale Wert lag bei 5,5 mg/L (s. Kap. 7.8.7).

7.8.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 130) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

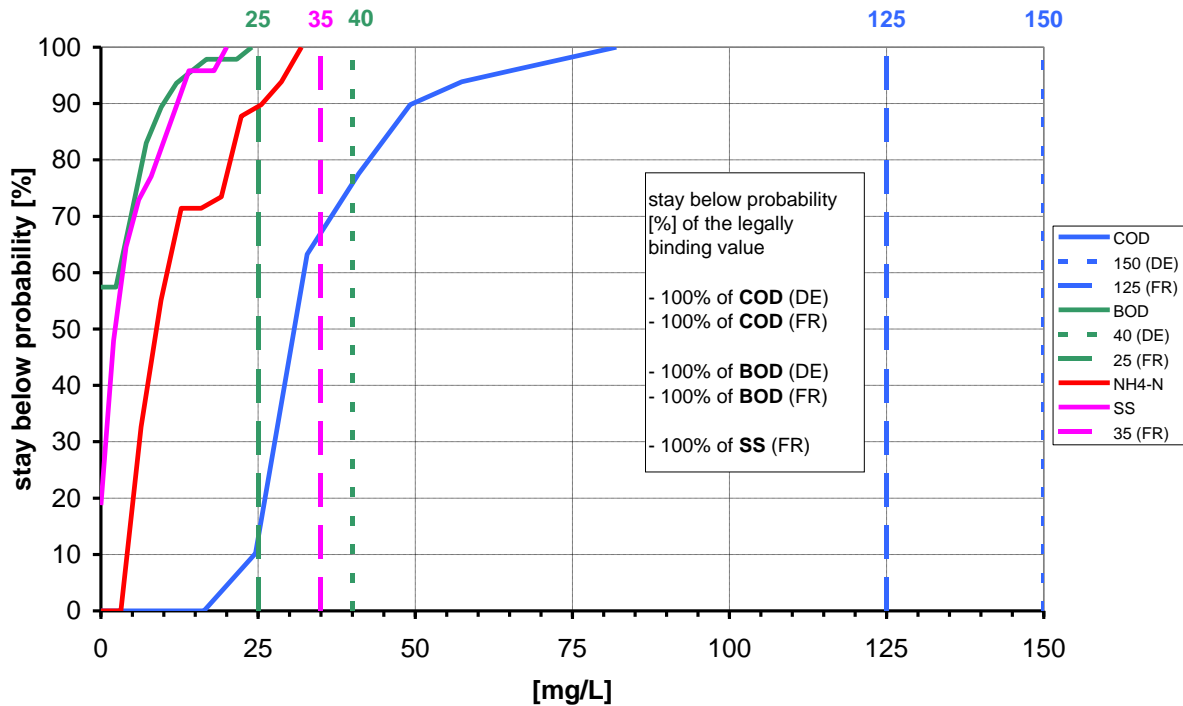


Abbildung 130: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.8.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 131) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 132 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel ca. 11 zu 1.

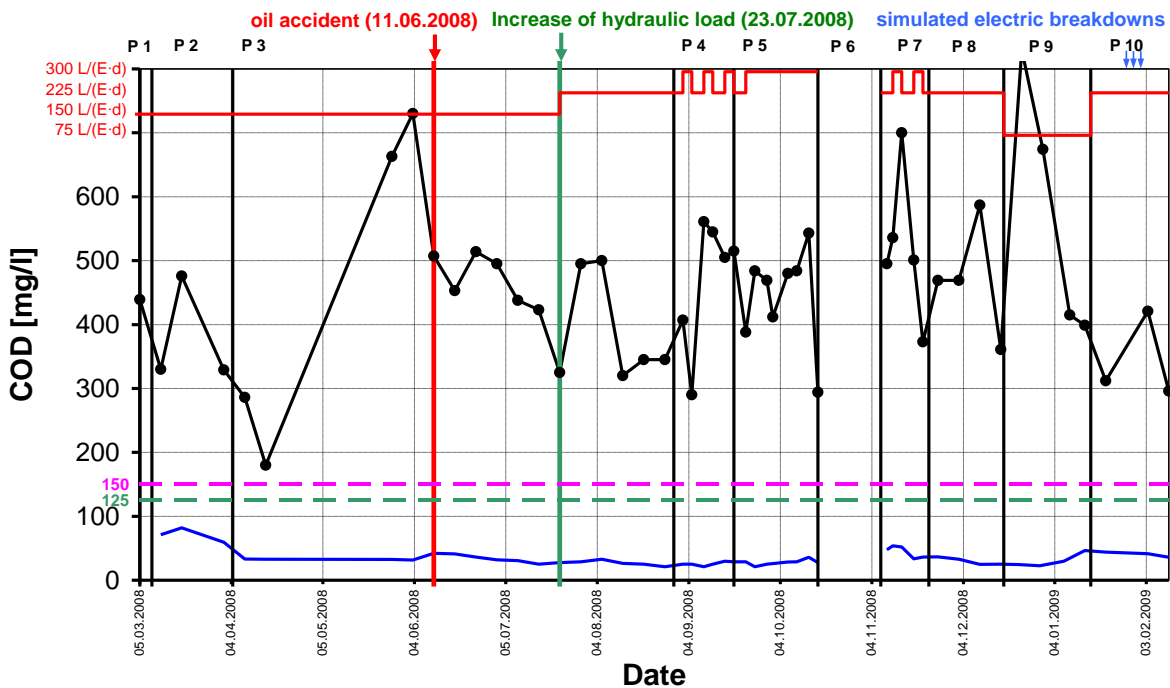


Abbildung 131: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 131) bleibt während des gesamten Versuchszeitraumes unter 100 mg/L, meistens sogar unter 50 mg/L. Nur zu Beginn des Versuches bis zum Anfang von Phase 3 war die Ablaufkonzentration aufgrund der Einarbeitungsphase noch bei bis zu 82 mg/L und fiel dann auf ca. 32 mg/L. Der Ölunfall bewirkt keine nennenswerte Erhöhung des COD-Wertes, obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind. Auch die Erhöhung der hydraulischen Last am 23.7.2008 sowie in Phase 4 und 5 hatten keine messbaren Einflüsse auf die Ablaufkonzentration. Die Erhöhung des Ablaufwertes nach der Ruhephase (Phase 6) ist nur minimal (53 mg/L) und fiel innerhalb einer Woche auf unter 35 mg/L. Ebenfalls eine leichte Erhöhung der Konzentration konnte zu Ende von Phase 9 beobachtet werden, was auf sehr niedrige Abwassertemperatur von unter 5°C und auf eine verzögerte Reaktion auf den extrem hohen Zulaufwert von über 800 mg/L zurückzuführen sein kann. Die simulierten Stromausfälle hatte keine nennenswerte Reaktion auf die Ablaufwerte.

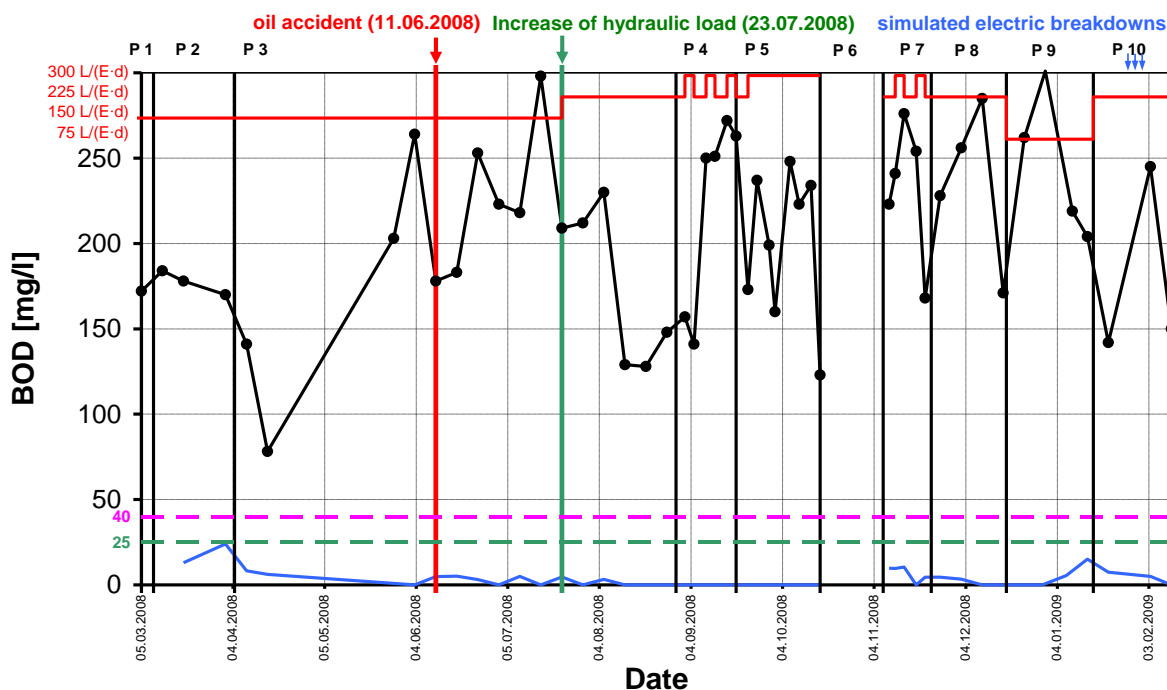


Abbildung 132: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.8.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 133) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Bis zum 28.5.2008 konnte noch keine nennenswerte Nitrifikation verzeichnet werden, was an einer langen Einfahrphase bei geringen Temperaturen (bis zum 16.4.2008 unter 10°C) liegen könnte.

Zwischen dem 28.5.2008 und dem Beginn der Phase 6 blieb die Ammoniumkonzentration im Ablauf weitestgehend unter 10 mg/L, nur am Ende von Phase 5 stieg der Wert kurzfristig auf 12 mg/L an, was an der hydraulischen Last von 300 L/(PE·d) liegen könnte.

Nach der Ruhephase stieg dann die Konzentration von 7 auf über 20 mg/L an. Dieser Anstieg könnte bedeuten, dass Nitrifikanten während der Phase 6 teilweise abgestorben sind, und nicht mehr in ausreichender Menge vorhanden waren. Diese Aussage wird noch bestärkt durch die anschließend wieder fallende Konzentration in Phase 8 und 9 auf unter 10 mg/L. Der Anstieg zum Ende von Phase 9 könnte wieder durch die geringe Temperatur

von unter 5°C zu erklären sein. Die simulierten Stromausfälle scheinen erst verzögert die Ablaufwerte zu Erhöhen, was durch die lange Durchflusszeit erklärbar ist.

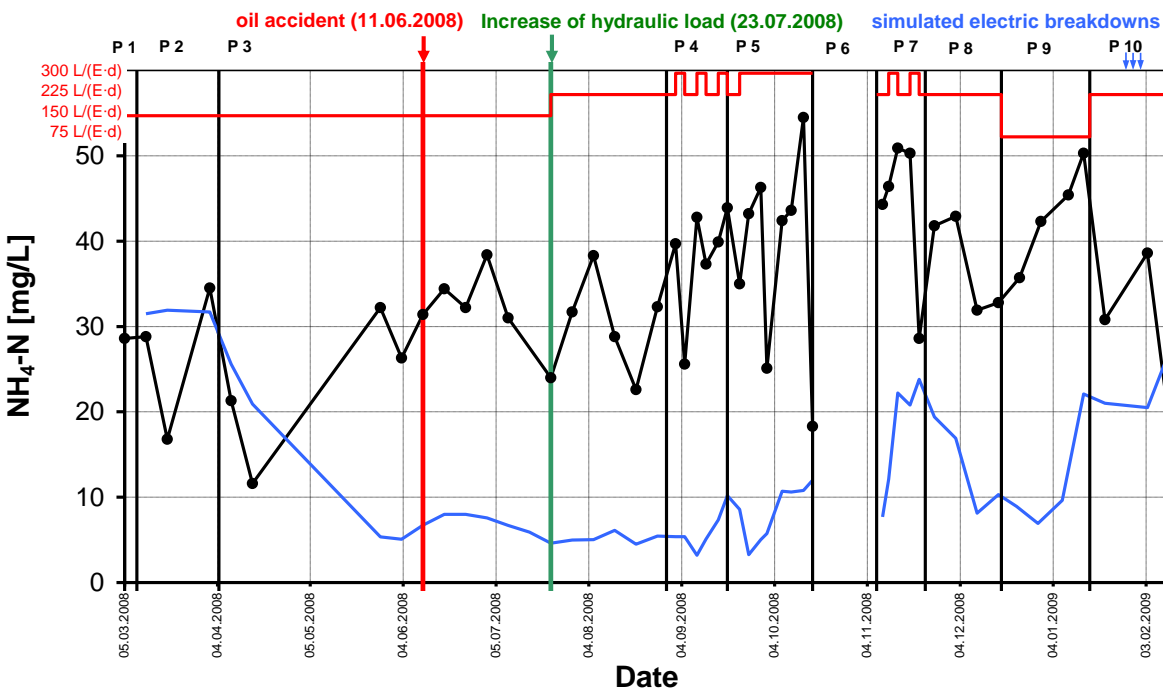


Abbildung 133: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs nimmt bis zum Ende der 3. Phase Werte von 10-20 mg/L an. Diese Werte liegen 5-10 mg/L unter den Zulaufkonzentrationen und die Ammoniumkonzentration ist in diesen Bereich größtenteils sehr gering, so dass bis dahin eine Teildenitrifikation von ca. 25-75% angenommen werden kann. Seit dem Ölunfall bis zum Ende von Phase 5 steigt die Konzentration des anorganischen Stickstoffs kontinuierlich auf bis zu 30 mg/L an um dann nach Phase 6 auf einem Mittelwert von ca. 40 mg/L zu bleiben und dabei leicht unter Werten der Ammoniumkonzentration im Zulauf zu liegen. Eine Teil-Denitrifikation findet nur noch in einem Bereich von unter 25% statt.

7.8.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 134) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert weit unter 15 mg/L. Selbst während der erhöhten Zulaufphasen (Phase 4 und 5) sowie bei Pausen (Phase 6 und simulierte Stromausfälle) werden Ablaufwerte von teilweise weit unter 15 mg/L erreicht.

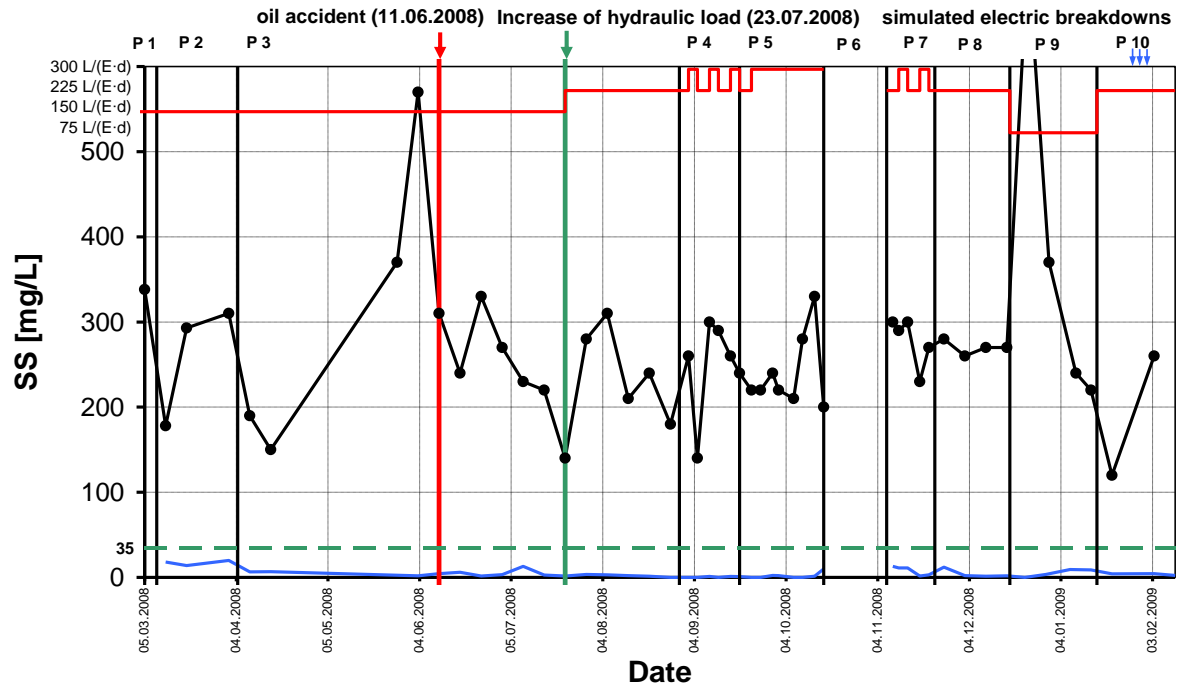


Abbildung 134: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.8.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 135) war gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Durch den sehr geringen Feststoffaustrag (s. Abbildung 134) ist kein direkter Zusammenhang zwischen Feststoff und Phosphor erkennbar, obwohl Phosphor nicht abgebaut sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt wird. Der Phosphorgehalt im Ablauf ist also fast ausschließlich vom Zulaufwert und bedingt von der hydraulischen Belastung (s. Abbildung 135: Phase 4 und 5) abhängig.

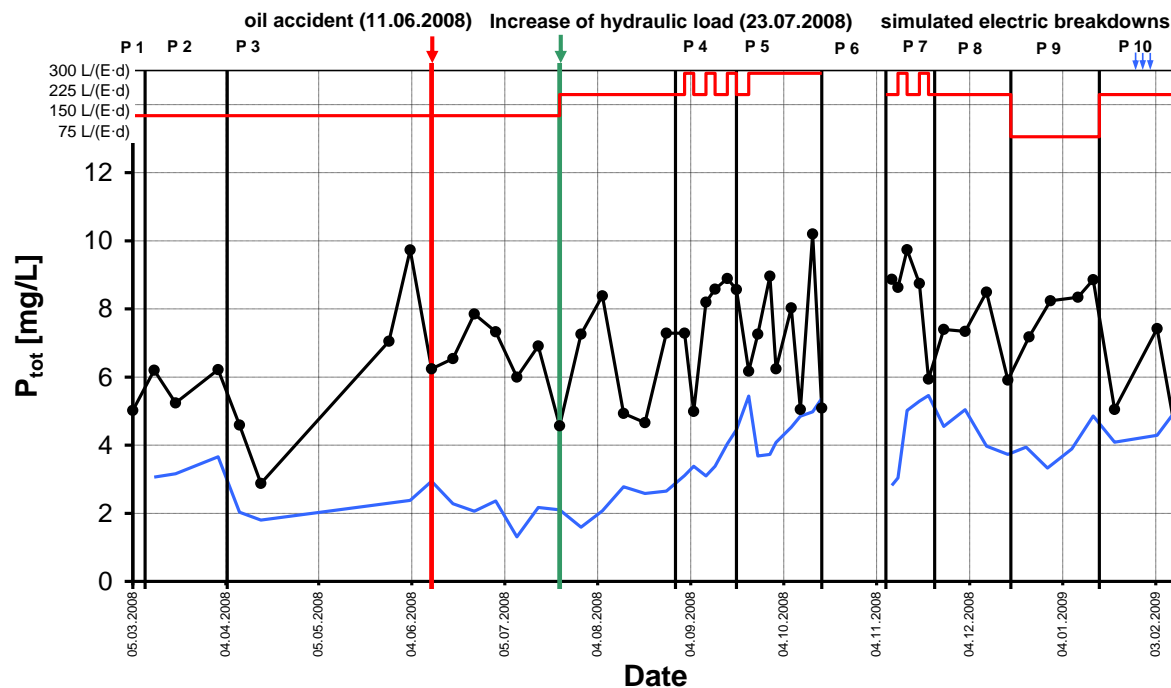


Abbildung 135: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.8.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 85, Tabelle 86 und Tabelle 87, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 86 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 87 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 92%, von BOD₅ bei 98%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 60%, von Gesamtstickstoff bei 33% und von Phosphor bei 47%.

Tabelle 85: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

UFZ - UFZ C+H 4E	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	49	47	49	49	48	47
mean	92	98	60	33	47	98
median	93	100	77	36	50	99
min.	78	86	-90	-47	-32	90
max.	97	100	93	64	78	100

Tabelle 86: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

UFZ - UFZ C+H 4E	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	17	19	19	18	18
mean	90	97	49	35	59	97
median	93	99	79	47	60	99
min.	78	86	-90	-33	38	90
max.	96	100	87	64	78	100

Tabelle 87: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

UFZ - UFZ C+H 4E	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	93	99	73	35	42	99
median	94	100	77	41	48	100
min.	90	96	17	-33	-6	95
max.	96	100	93	60	68	100

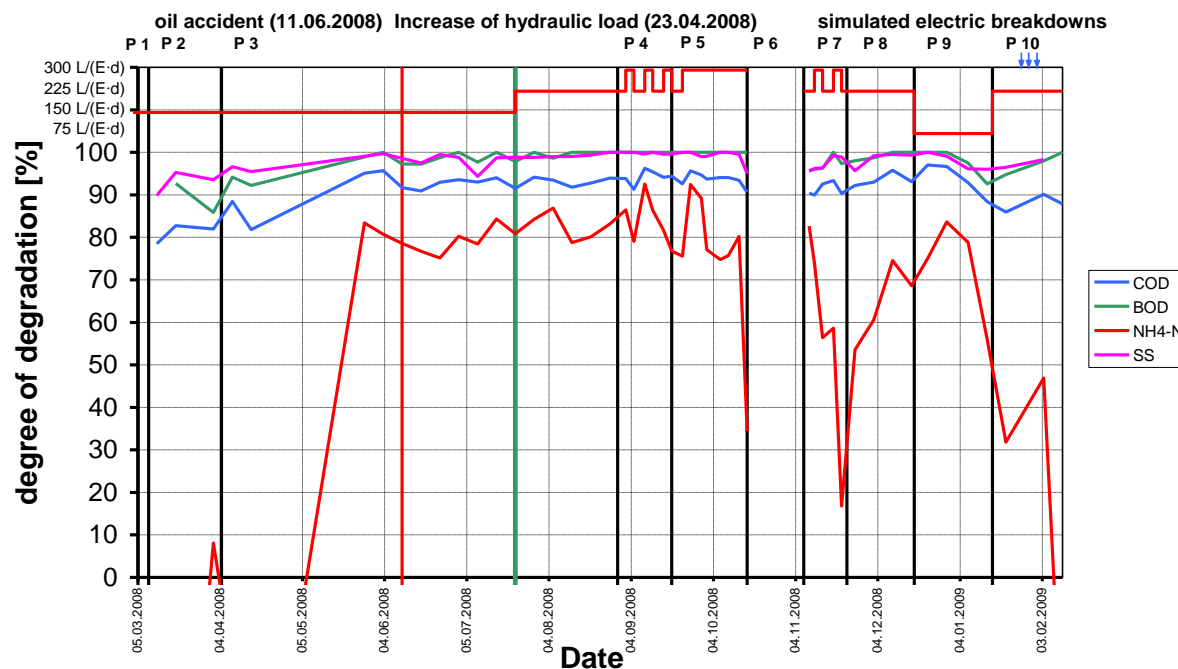


Abbildung 136: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig schlechterer COD-Abbaugrad (90%) als im Gesamtzeitraum (92%), bedingt durch die etwas schlechteren Werte zu Beginn des Versuchszeitraums. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell etwas besser (s.o.). Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war zu Beginn und zum Ende des Versuches zu verzeichnen. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 136) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) Schwankungen im Abbaugrad vor allem bei Ammonium zu verzeichnen sind.

Außerdem ist erkennbar, dass bei Überlast (Phase 5) sowie bei Unterbrechungen (nach Phase 6 und in Phase 10: simulierte Stromausfälle) Abbaugrade wie COD, BOD₅ und SS geringfügig, Ammonium aber stark abnehmen.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.8.4 erläutert.

7.8.9 Energieverbrauch

Aufgrund fehlender Daten konnte kein durchschnittlicher Energieverbrauch ermittelt werden.

Laut Herstellerbewertung (s. S. 71, ermittelt über 3 Tage) verbraucht diese Anlage für die Pumpen 44 kWh/a und für die UV-Desinfektion 140 kWh/a und somit insgesamt 184 kWh/a.

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 54,1 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. Kap. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 0,5 kWh/d.

7.8.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 0,79 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 35 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 27,5 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 22,1 gTS/E·d.

7.8.11 Betrieb und Wartung

Für die Anlage UFZ – PKA Typ UFZ C+H 4E liegen keine Angaben zum Thema Betrieb und Wartung vor. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass keine Störungen am Pflanzenbeet aufgetreten sind,

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage UFZ sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Ökotec auf. Obwohl es keine speziellen Angaben für die Pflanzkläranlage gibt, wird davon ausgegangen, dass diese Unterbrechung des Zuflusses für alle Anlagen gilt.

7.8.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 88 dargestellt. Die Anlage wurde mit einer nachgeschalteten UV-Desinfektion betrieben.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 6,0 log-Stufen und von intestinalen Enterokokken bei 5,3 log-Stufen. Bei fäkalcoliformen Bakterien und bei Salmonellen konnte die log-Reduktion nicht bestimmt werden, da die Ablaufwerte an allen drei Tagen bei 0 MPN/mL bzw. kleiner 0,3 MPN/mL lagen (< 0,3 wird zu Null angenommen). Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 4 Eier/L, an einzelnen Tagen aber auch einen Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die

zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage vollends erreicht wurde (log-Stufe nicht bestimmbar, 0 MPN/ml im Ablauf).

Der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter hatte für „Binnengewässer“ ausgezeichnete Badewasserqualität. Dies ergibt sich aus den einzuhaltenden Werten für intestinale Enterokokken (200 pro 100mL) und für Escherichia coli (500 pro 100 mL). Die Ablaufwerte dieser Anlage lagen für intestinale Enterokokken bei max. 73 pro 100 mL, für Escherichia coli (fäkalcoliforme Bakterien) bei 91 pro 100 mL. Die gute Reinigungsleistung im Bereich der Bakterien lag an der nachgeschaltete UV-Desinfektion.

Tabelle 88: UFZ - PKA Typ UFZ C+H 4 E - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	6,41	390.000	5,59	5,63	430.000	5,63	6,08	6,0
	Ablauf	0,36	-0,44		0,91	-0,04		0,36	-0,44		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	- 2)	240.000	5,38	- 2)	73.000	4,86	- 2)	- 2)
	Ablauf	< 0,3	- 2)		0,0	- 2)		< 0,3	- 2)		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	5,08	93.000	4,97	5,11	93.000	4,97	- 2)	5,3
	Ablauf	0,36	-0,44		0,73	-0,14		< 0,3	- 2)		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	- 2)	750	2,88	- 2)	46.000	4,66	- 2)	- 2)
	Ablauf	< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-1	13 ¹⁾		13	<1		0	4
	Ablauf	1			< 1			< 1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

2) 0 MPN/ml im Ablauf, keine log-Reduktion bestimmbar

"< 1" wird zu Null angenommen

"<0,3" wird zu Null angenommen

7.8.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben handelt es sich um eine Anlage der Ablaufklasse C + H für 4 PE. Der COD in einer Mischprobe liegt also unter 100 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten. Dies gilt auch für die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, wobei der Mittelwert dieser Anlage mit 34 mg/L noch weit darunter liegt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von horizontal durchströmten Pflanzenkläranlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 141 mg/L, von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen bei 84 mg/L. Diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 34 mg/L weit unter diesen beiden Durchschnitten, war aber auch zweistufig mit vertikalem und horizontalem Beet ausgeführt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 107 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Die dortige horizontal durchströmte Pflanzenkläranlage (1 PE, 26 Messungen) erreichte 36 mg/L, also in etwa den Wert dieser Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 54,9 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 34 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 31 Pflanzenkläranlagen mit 97 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 72 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 34 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben handelt es sich um eine Anlage der Ablaufklasse C + H für 4 PE. Der BOD₅ in einer Mischprobe liegt also unter 25 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten. Dies gilt auch für die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, wobei der Mittelwert dieser Anlage mit 3 mg/L noch weit darunter liegt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von horizontal durchströmten Pflanzenkläranlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 39 mg/L, von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen bei 30 mg/L. Diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 3 mg/L weit unter diesen beiden Durchschnitten, hatte aber auch ein horizontales und ein vertikales Filterbecken.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 2 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 47 mg/L, die horizontal durchströmte Pflanzenkläranlage (1 PE, 10 Messungen) erreichte 35 mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 54,9 mg/L, was etwas höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 34 mg/L.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase

(Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) sowie im gesamten Versuchszeitraum liegt diese Anlage weit über diesem Mittelwert bei ca. 12 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von horizontal durchströmten Pflanzenkläranlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 26 mg/L, von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen bei 22 mg/L. Diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 12 mg/L unter diesen beiden Durchschnitten, war aber auch zweistufig ausgeführt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 17 mg/L, also mehr als diese Anlage. Die dortige horizontal durchströmte Pflanzenkläranlage (1 PE, 20 Messungen) erreichte 6 mg/L, also weniger als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben handelt es sich um eine Anlage der Ablaufklasse C + H für 4 PE. Die SS-Konzentration in einer Mischprobe liegt also unter 75 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten. Dies gilt auch für die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was sogar höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 4,5 mg/L. Für die 100%-Phasen 1-3 ergibt sich ein mittlerer Ablaufwert von 6 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von horizontal durchströmten Pflanzenkläranlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 10 mg/L, von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen bei 43 mg/L. Diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 4,5 mg/L unter diesen beiden Durchschnitten.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 12 mg/L, also mehr als diese Anlage. Die dortige horizontal durchströmte Pflanzenkläranlage (1 PE, 20 Messungen) erreichte 4 mg/L, also in etwa den Wert dieser Anlage.

Energieverbrauch

Der Hersteller gibt für diesen Versuch aus einem Zeitraum von 3 Tagen einen Verbrauch von 0,5 kWh/d an (entspricht 0,148 kWh/(E·d) bei 3,4 EW).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE) einen Energieverbrauch von 0,05 bis 0,06 kWh/(PE·d), die horizontal durchströmte Anlage 0,039 kWh/(PE·d), also insgesamt wesentlich weniger als diese Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE·d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 21 g/(PE·d) zeigt, dass die Feststoff-Belastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag, da es sich bei dieser Anlage ausschließlich um Primärschlamm handelt. Außerdem ist ein Teil des Schlamms im Filter verblieben.

7.8.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 34 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung unter 100 mg/L gehalten werden.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 4,5 mg/L) lagen unter 20 mg/L.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden.

Der Stromverbrauch nach Angaben des Herstellers entspricht Vergleichswerten aus der Literatur.

Diese Anlage erreichte für Binnengewässer ausgezeichnete Badewasserqualität.

7.9 PREMIER TECH – Ecofix® Typ STB 500

7.9.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Premier Tech wurde die Anlage vom Typ Ecofix® Typ STB 500 eingebaut, die für 5 PE ausgelegt, aber durch die testfeldbedingte Gruppenfestlegung (4 PE, 6 PE und 9 PE) im Rahmen des Versuchsprogramms mit 6 PE beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 360 g BOD₅/d. Laut Zulassung wäre eine Zulauffracht nur bis zu 300 g BSB₅/d möglich.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 900 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 144 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Herstellerangaben hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 750 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08*: 3,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 4,4 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 4,9 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 81% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Laut Hersteller hat die Vorklärung ein Volumen von 4 m³ und der Filter ein Volumen von 3,9 m³. Daraus folgte eine Aufenthaltszeit von 2,8 Tagen für die Vorklärung und 2,7 Tagen für den Filter und somit 5,5 Tage für die gesamte Anlage (s. Kap. 2.6).

7.9.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 89 und Tabelle 90) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Tabelle 89: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Premier Tech - ECOFIX	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	49	50
mean	456	63	207	4,9	16	269,0	14,2
median	469	55	215	4,4	12	260,0	11,0
min.	180	21	78	1,5	3	120,0	2,8
max.	830	196	301	8,3	65	730,0	66,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		96%			94%		
stay below of legally binding value (FR)		96%			84%		94%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 90: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Premier Tech - ECOFIX	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	50	50	50	50	50
mean	35,1	15,6	47,4	40,1	7,0	5,3
median	34,8	12,4	46,5	37,7	7,3	5,1
min.	11,6	0,0	19,8	15,5	2,9	2,7
max.	54,5	49,4	71,6	99,4	10,2	9,2
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 63 mg/L, der maximale Wert lag bei 196 mg/L. Der geforderte deutsche sowie der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) von 150 mg/L bzw. 125 mg/L wurde in 96 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den deutschen bzw. „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.9.4). Die Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf(BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 16 mg/L, der maximale Wert lag bei 65 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 94%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 84 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 3 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 6 Mess-

werte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.9.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 14,2 mg/L, der maximale Wert lag bei 66 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 94% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 3 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.9.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 15,6 mg/L, der maximale Wert lag bei 49,4 mg/L (s. Kap. 7.9.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 40,1 mg/L, der maximale Wert lag bei 99,4 mg/L (s. Kap. 7.9.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 5,3 mg/L, der maximale Wert lag bei 9,2 mg/L (s. Kap. 7.9.7).

7.9.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 137) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

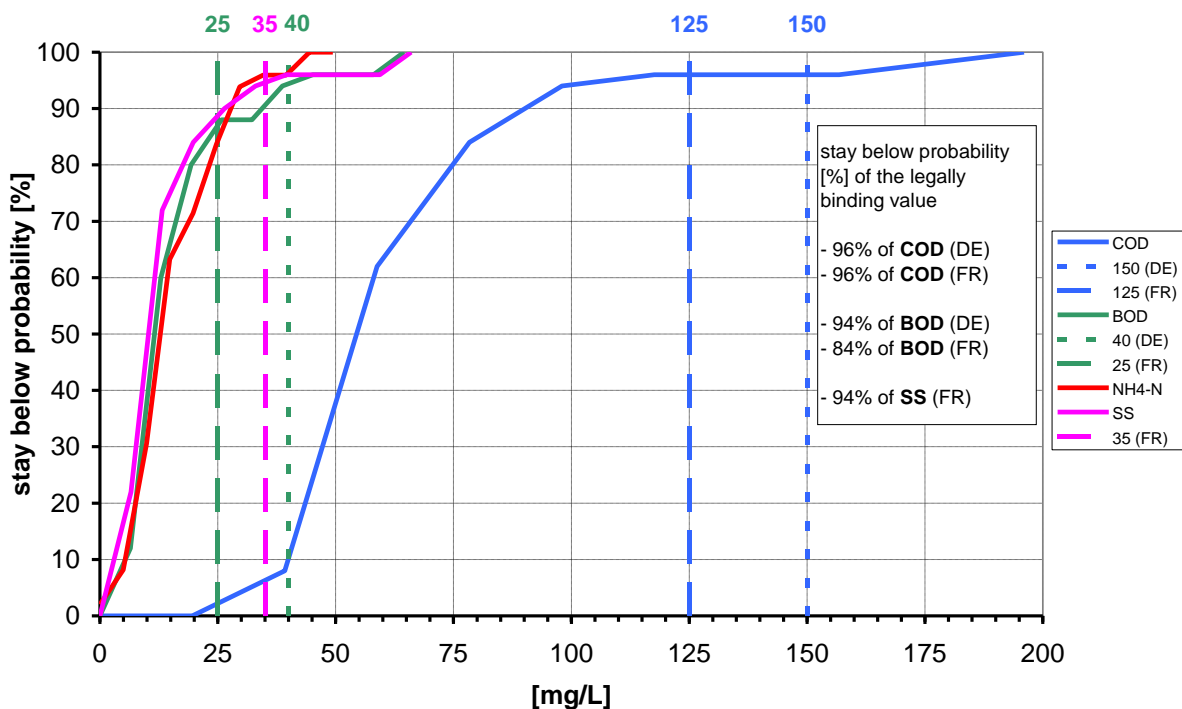


Abbildung 137: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.9.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 138) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 139 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 4 zu 1.

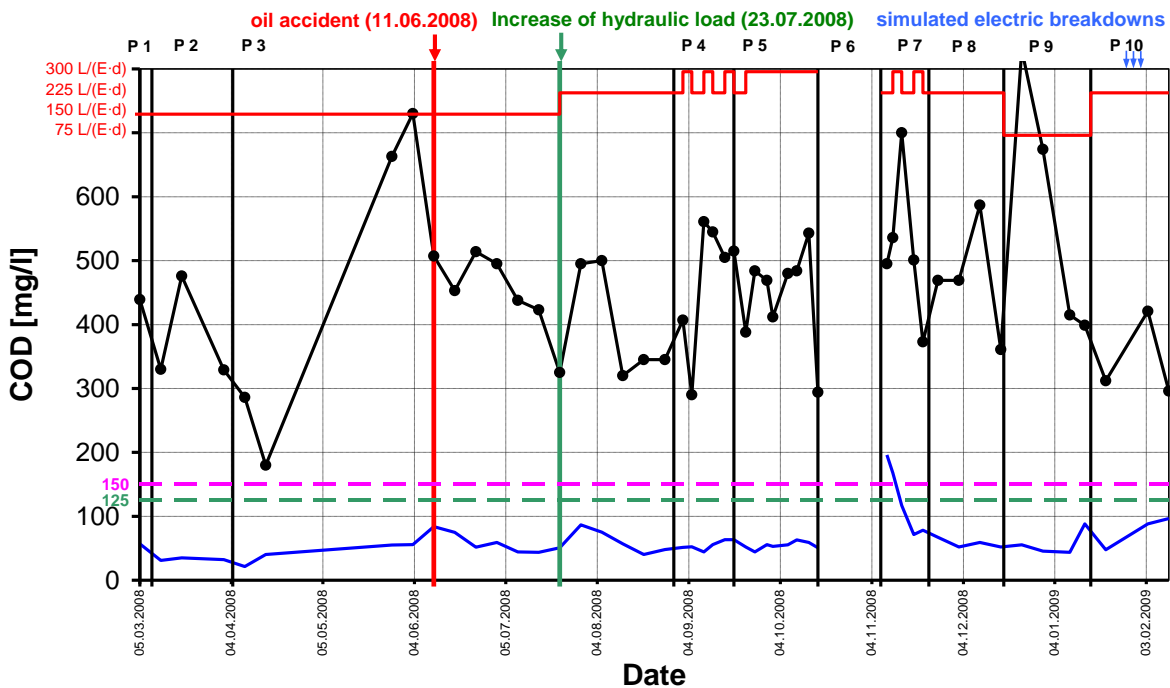


Abbildung 138: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 138) blieb bis auf eine Ausnahmen unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine geringe Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte einen kurzfristigen Anstieg zu folge, was aber auch durch den Anstieg der Zulaufkonzentration zu erklären wäre. Die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche (Phase 4) sowie die Dauerbeaufschlagung von 200% hydraulischer Belastung über 4 Wochen (Phase 5) hatte wiederum keine Erhöhung der Ablaufkonzentration zur Folge.

Nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) wurde der höchste COD-Wert mit 196 mg/L verzeichnet, der sich aber bis zur Mitte von Phase 7 wieder normalisierte (ca. 70 mg/L). Dies könnte sich dadurch erklären, dass beim Wiederaufstart im erhöhten Maße abgestorbene Biomasse ausgetragen wurde.

Eine kurzfristige Erhöhung der Ablaufwerte zum Ende von Phase 9 könnte sich durch den Ausfall des Zulaufes (s. Kap. 7.9.11: Eingefrorene Rückschlagklappe) oder durch die geringe Abwassertemperatur von unter 6°C erklären.

Die simulierten Stromausfälle hatten nur eine sehr geringfügige Erhöhung der Ablaufkonzentration zur folge, da diese Anlage im Normalfall auch ohne Energie betrieben wird. Der

dennoch vorhandene leichte Anstieg könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.9.13).

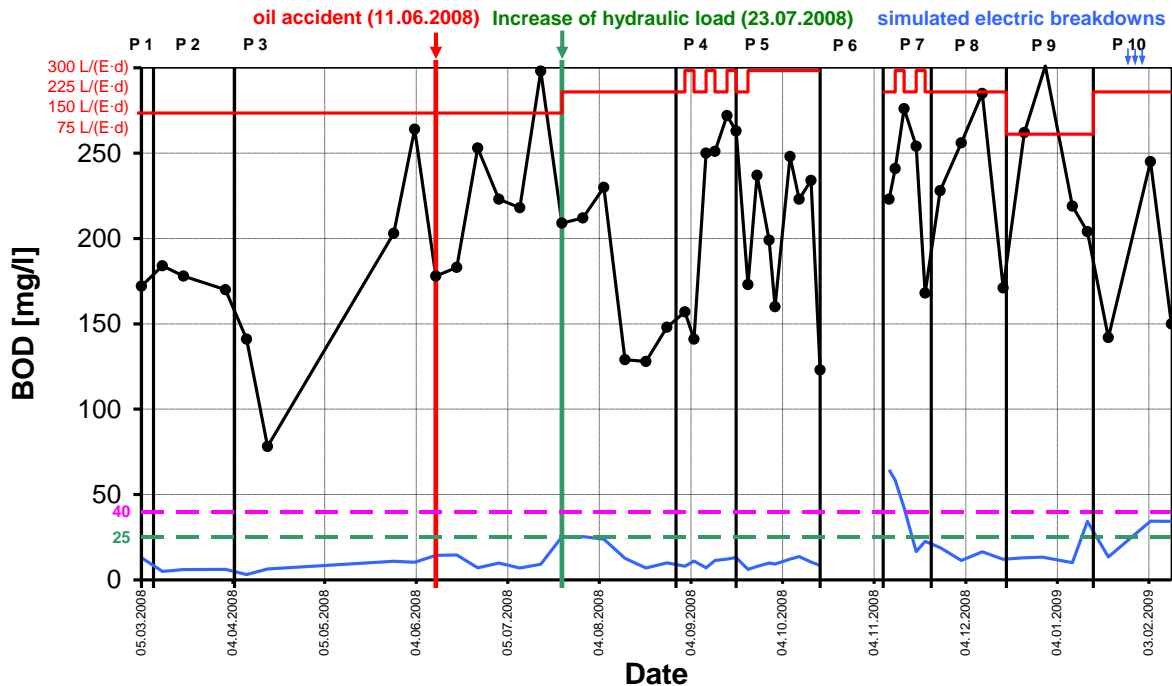


Abbildung 139: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - BOD₅ Zu- und Ablaufgangelinien

7.9.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 140) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Bis auf wenige Ausnahmen erreichte Ammonium in Phase 1 bis 3 Ablaufwerte von unter 10 mg/L. Erst durch die gesteigerte hydraulische Last ab Phase 4 schwankt die Ammoniumkonzentration im Ablauf zwischen 10 und 25 mg/L, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 16,7°C für Phase 4 bis 5).

Eine nennenswerte Nitrifikation in Phase 7 wird nicht erreicht. Dies kann daran liegen, dass die Nitrifikanten während der Ruhephase abgestorben und teilweise ausgeschwemmt wurden, so dass es ca. 4 Wochen braucht, um die benötigte Anzahl von Mikroorganismen wieder zu etablieren. Dies zeigt sich auch in Phase 8 und 9, wo die Ablaufwerte von 25 auf un-

ter 5 mg/L fielen, was aber ebenfalls durch die reduzierte hydraulische und stoffliche Last von Phase 8 und 9 sein verursacht wird.

Die Verschlechterung der Nitrifikation zum Ende von Phase 9 und in Phase 10 dürfte vor allem auf die sehr geringe Abwassertemperatur, auf die kurze Unterbrechung während der eingefrorenen Rückschlagklappe zurückzuführen sein.

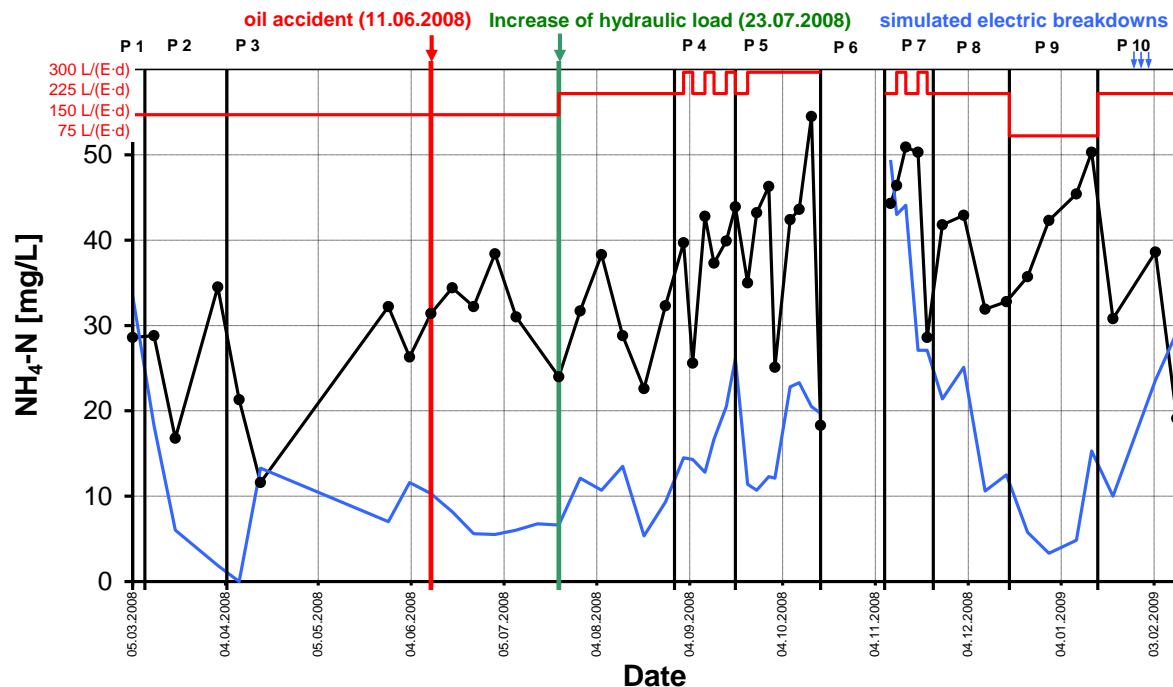


Abbildung 140: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Während des gesamten Versuchszeitraumes gab es keine nennenswerte Denitrifikation, die Zulauf und Ablaufwerte waren weitestgehend gleich.

7.9.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 141) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 15 mg/L.

Nach der Ruhephase (Phase 6) trat der Maximal-Wert von 66 mg/L auf (s. COD), der nach ca. 7 Tagen auf den Normalzustand absank. Der anfänglich erhöhte Wert ist mit einem teilweisen Ausspülen von abgestorbener Biomasse nach der Ruhephase zu erklären.

Die Verschlechterung der Ablaufwerte zum Ende von Phase 9 und in Phase 10 dürfte vor allem auf die sehr geringe Abwassertemperatur, auf die kurze Unterbrechung während der eingefrorenen Rückschlagklappe zurückzuführen sein (Absterben und Ausschwemmen von Biomasse durch kurzfristig unterbrochene Beschickung). Bei den simulierten Stromausfällen könnte das Biomasseabsterben auch durch eine temporäre Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt sein, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und dieser auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennbar ist (Abbildung 138 und Abbildung 139, s. Kap. 7.9.13).

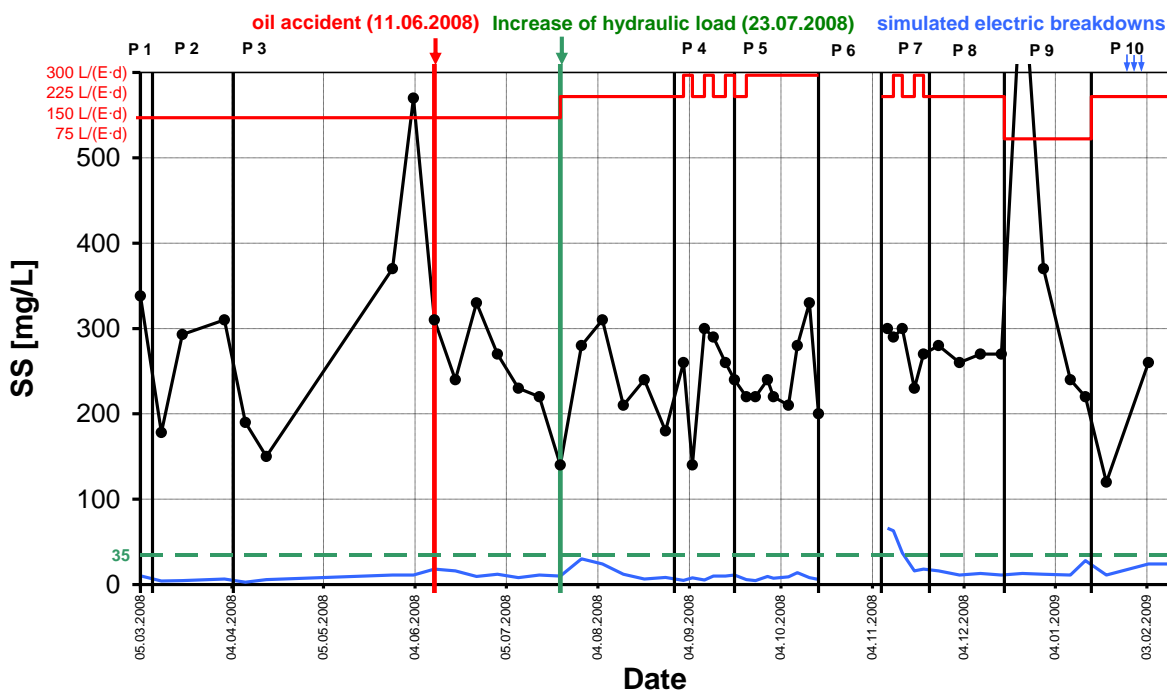


Abbildung 141: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.9.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 142) war gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung.

Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt.

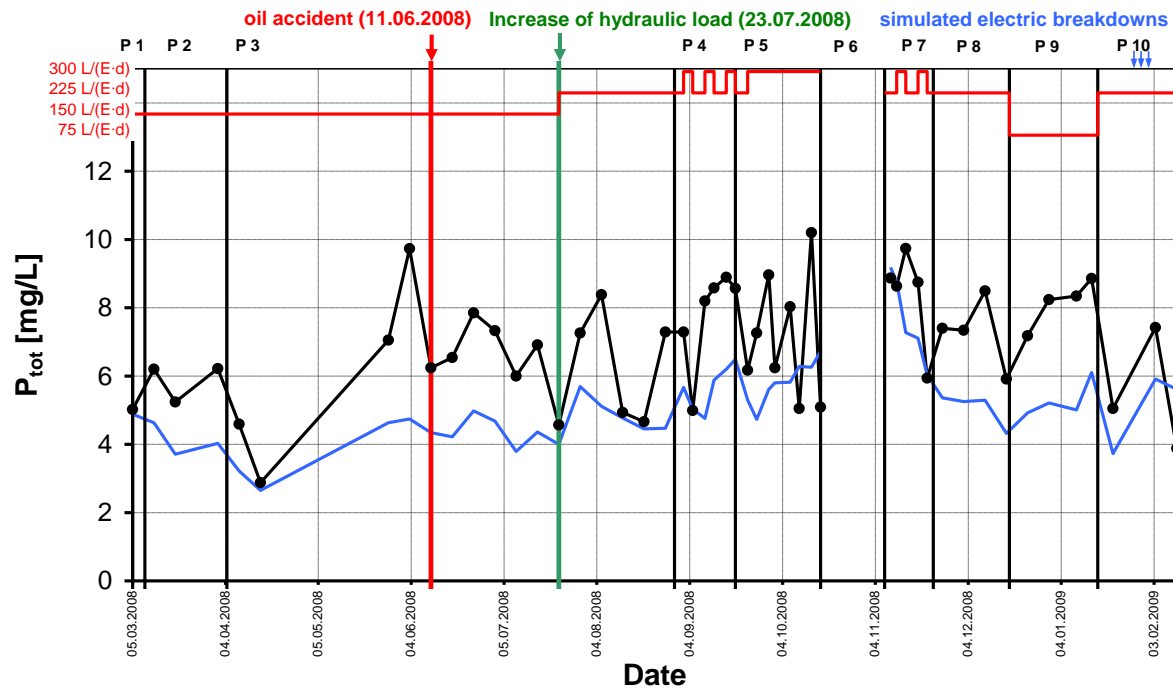


Abbildung 142: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.9.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 91, Tabelle 92 und Tabelle 93, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 92 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 93 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 86%, von BOD₅ bei 92%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 54%, von Gesamtstickstoff bei 13% und von Phosphor bei 22%.

Tabelle 91: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Premier Tech - ECOFIX	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	50	50	50	50	50	49
mean	86	92	54	13	22	95
median	87	94	63	20	28	96
min.	60	71	-53	-70	-45	78
max.	93	98	100	50	51	99

Tabelle 92: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Premier Tech - ECOFIX	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	87	94	64	17	27	96
median	88	95	72	20	32	96
min.	78	88	-17	-19	3	89
max.	93	98	100	50	51	99

Tabelle 93: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Premier Tech - ECOFIX	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N}_{\text{tot}}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	84	92	42	12	15	94
median	87	95	47	23	22	96
min.	60	71	-12	-57	-32	78
max.	92	97	75	43	42	98

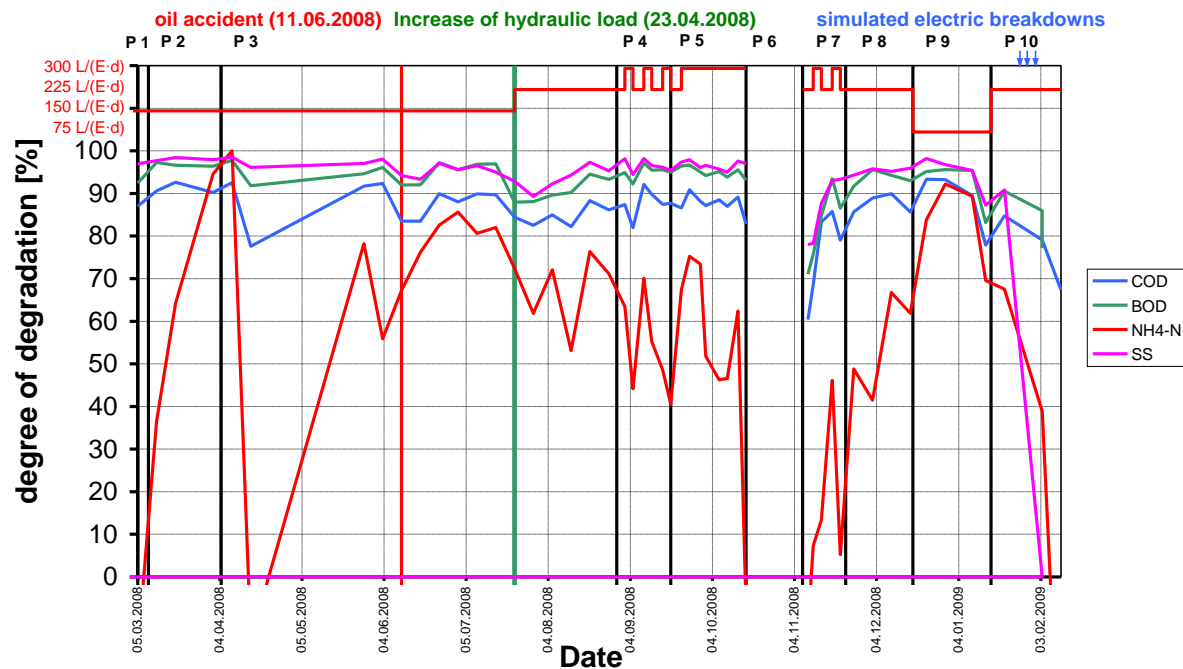


Abbildung 143: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich nahezu derselbe COD-Abbaugrad (87%) als im Gesamtzeitraum (86%). Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen blieben mit Ausnahme von Ammonium in etwa auf dem gleichen Level. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war nach der Phase 6 (Stillstand) zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 143) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein leichter diskontinuierlicher Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.9.4 erläutert.

7.9.9 Energieverbrauch

Diese Anlage braucht für die konventionelle Installation keine elektrische Energie. Der Verbrauch, der auf diesem Versuchsfeld entstand, beruht auf der Tatsache, dass das gereinigte Abwasser mit einer Pumpe (3,2 A, 600 W, max Q=300 l/min) auf das Auslauf-Niveau des Versuchsstandes gefördert werden musste.

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird deshalb zu 0 kWh/d über den gesamten Versuchszeitraum angesetzt.

7.9.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 1,88 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 32,7 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 61,48 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 4,8 PE beträgt 35,2 gTS/E-d.

7.9.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 144 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

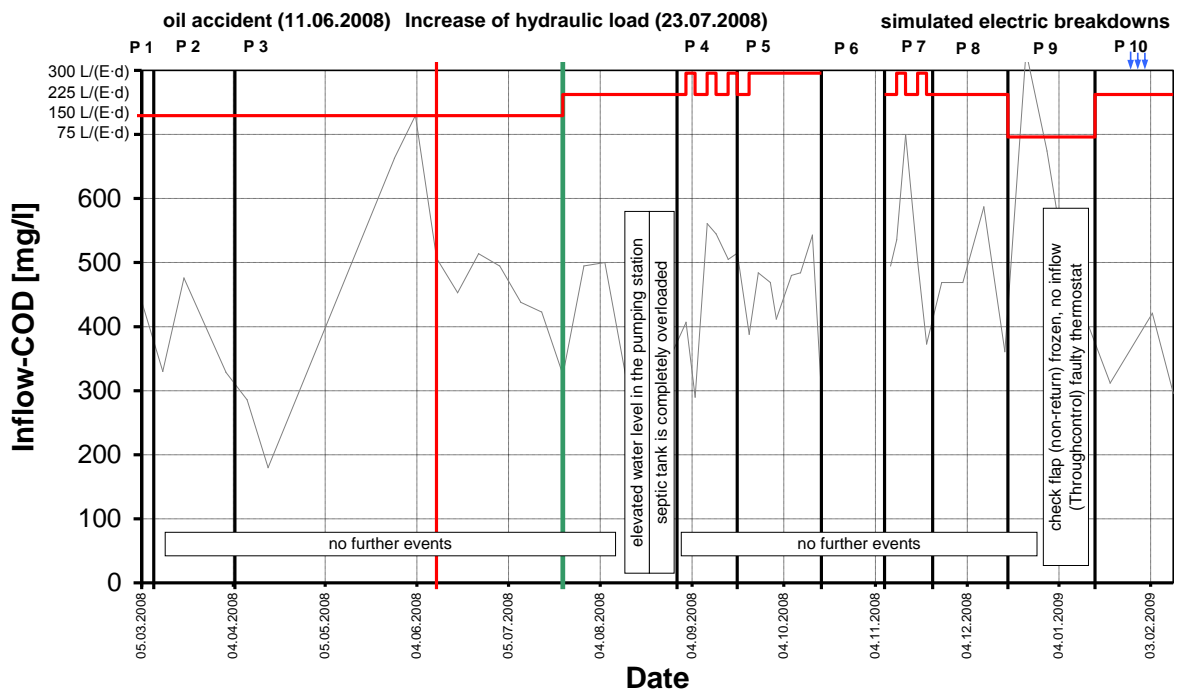


Abbildung 144: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - Auswertung des Zyklentagebuchs

Am 11.8.2008 war der Wasserstand im Pumpenschacht sehr erhöht.

Aufgrund einer Störung konnten am 20.8.2008 keine Laufzeiten ausgelesen werden. Die Vorklärung war komplett überstaut.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Premier Tech sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Premier Tech auf.

7.9.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 94 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,3 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,7 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,5 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 1 Ei/L, an einzelnen Tagen aber einen Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 94: Premier Tech - Ecofix® Typ STB 500 - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	1,59	390.000	5,59	0,96	430.000	5,63	1,46	1,3
	Ablauf	24.000	4,38		43.000	4,63		15.000	4,18		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,21	240.000	5,38	0,75	73.000	4,86	0,69	0,8
	Ablauf	9.300	3,97		43.000	4,63		15.000	4,18		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	1,25	93.000	4,97	2,00	93.000	4,97	2,00	1,7
	Ablauf	2.400	3,38		930	2,97		930	2,97		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	0,28	750	2,88	0,70	46.000	4,66	2,30	1,5
	Ablauf	> 1.100	3,04		150	2,18		230	2,36		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-8	13 ¹⁾		12	<1		-1	1
	Ablauf	8			1			1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

">1.100" wird zu 1.100 angenommen

7.9.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 100 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 94% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 100 mg/L in 100 %.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 63 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 107 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 63 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 107 mg/L, also geringfügig mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 54,9 mg/L, was etwas niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 63 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 12 Biofilter-Anlagen mit 22 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 71 mg/L, was leicht über den Wert dieser Anlage mit 63 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 25 mg/L für eine Mischprobe erreicht werden. Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 84% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L in 90 %.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 16 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 46 mg/L, was wesentlich höher ist als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 16 mg/L.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 2 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 47

mg/L, also wesentlich mehr als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 4,4 mg/L, was etwas wesentlich höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 16 mg/L (für den gesamten Versuchszeitraum) bzw. 11 mg/L für die 100%-Phasen.

Ammonium

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage über diesem Mittelwert bei ca. 10 mg/L und über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 15,6 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von Bodenkörperfilter-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 15 mg/L, was dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 15,4 mg/L entspricht.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 2 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 17 mg/L, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 15,4 mg/L entspricht. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 14 Filteranlagen einen mittleren Ablaufwert von 6,5 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 15,6 mg/L aber nur leicht über dem Mittelwert der 100%-Phasen von 11 mg/L.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut DIBt in Tabelle 2 darf für die Zulassung für die Ablaufklasse C nur max. 75 mg/L für eine Stichprobe erreicht werden. Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 100% aller Messungen unterschritten, auch bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was etwas höher ist als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 14,2 mg/L.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 12 mg/L, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 14,2 mg/L entspricht.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 165, Abbildung 166, Abbildung 167 und Abbildung 168) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder

durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Diese Anlage benötigt konstruktionsbedingt im Normalfall keine Energie. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 5 Tropfkörper-Anlagen, die diesem System am ähnlichsten ist, bei 0 bis 0,1 kWh/(PE·d), was auch dieser Anlage entspricht.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (6 PE), einen Energieverbrauch von 0,05 bis 0,06 kWh/(PE·d).

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammmanfall von ca. 70 gTR/(PE·d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 35,2 g/(PE·d) zeigt, dass möglicherweise die Feststoffbelastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von 15.000 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt über dem Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 8.400 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für Pflanzenkläranlagen, der Minimalwert lag dabei bei 5, der Maximalwert bei 33.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,8 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,9 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage eine gesamtcoliforme Belastung von $5,61 \cdot 10^4/100$ mL, also etwas höher als bei dieser Anlage, und eine fäkalcoliforme Belastung von $3,49 \cdot 10^4/100$ ml im Ablauf, was dieser Anlage entspricht. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion bei gesamtcoliformen Bakterien von 1,3 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 3,3 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.9.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 4,8 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 63 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200%

hydraulischer Beschickung unter 100 mg/L gehalten werden. Lediglich nach der Phase ohne Belastung (no load) traten erhöhte Werte beim Anfahren der Anlage auf.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 14,2 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L. Beim Anfahren nach der Phase ohne Belastung war ein erhöhter Feststoffablaufwert zu registrieren.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf.

Der Stromverbrauch entspricht den Angaben des Herstellers.

7.10 Busse –Typ MF-HKA4

7.10.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Busse wurde die Anlage vom Busse – MF Typ MF-HKA4 eingebaut, die für 4 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 240 g BOD₅/d, was der Zulauffracht laut DIBt-Zulassung entspricht.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 144 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08* : 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung sowie für die Belebung ein Volumen von jeweils 1.000 L an. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von einem Tag jeweils für die Vorklärung und für die Belebungsstufe. Daraus folgte eine Aufenthaltszeit von 2,1 Tagen in der gesamten Anlage (s. Kap. 2.6).

7.10.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 95 und Tabelle 96) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

Tabelle 95: Busse - Typ MF-HKA4 - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Busse, MF HKA 4	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	48	50	50	48	49	48
mean	456	77	207	3,3	27	269,0	24,9
median	469	37	215	3,1	6	260,0	6,1
min.	180	14	78	1,0	< 3	120,0	< 1,0
max.	830	404	301	5,8	185	730,0	180,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		- / 35
stay below of legally binding value (DE)		85%			79%		
stay below of legally binding value (FR)		81%			77%		79%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 96: Busse - Typ MF-HKA4 - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Busse, MF HKA 4	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	48	50	48	50	48
mean	35,1	19,1	47,4	27,6	7,0	2,9
median	34,8	20,1	46,5	25,1	7,3	1,8
min.	11,6	< 0,5	19,8	4,9	2,9	0,1
max.	54,5	49,9	71,6	60,9	10,2	20,0
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 77 mg/L, der maximale Wert lag bei 404 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 85%, der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 81 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 7 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 9 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.10.4). Die Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 27 mg/L, der maximale Wert lag bei 185 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 79%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 77 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 10 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 11

Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.10.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 24,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 180 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 79% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 10 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.10.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 19,1 mg/L, der maximale Wert lag bei 49,9 mg/L (s. Kap. 7.10.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 27,6 mg/L, der maximale Wert lag bei 60,9 mg/L (s. Kap. 7.10.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 2,9 mg/L, der maximale Wert lag bei 20 mg/L (s. Kap. 7.10.7).

7.10.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 145) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9). Der weitere Verlauf der COD-Linie ist linear ansteigend bis zu einem Maximum von 404 mg/L.

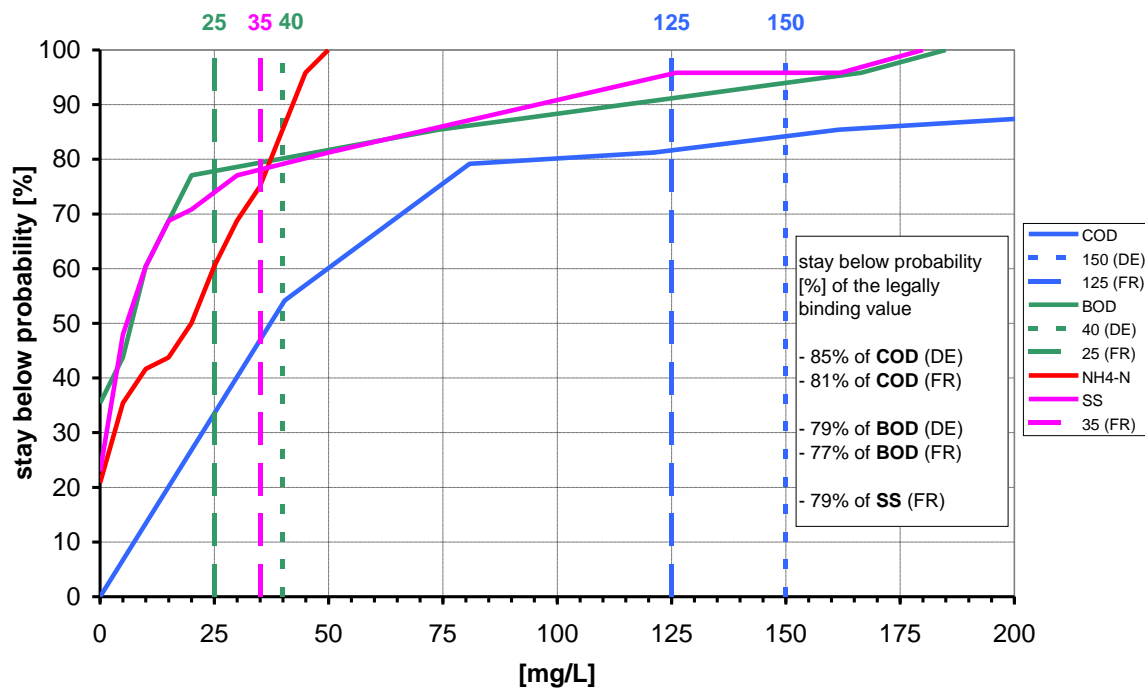


Abbildung 145: Busse - Typ MF-HKA4 - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.10.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 146) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 147 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 5 zu 1.

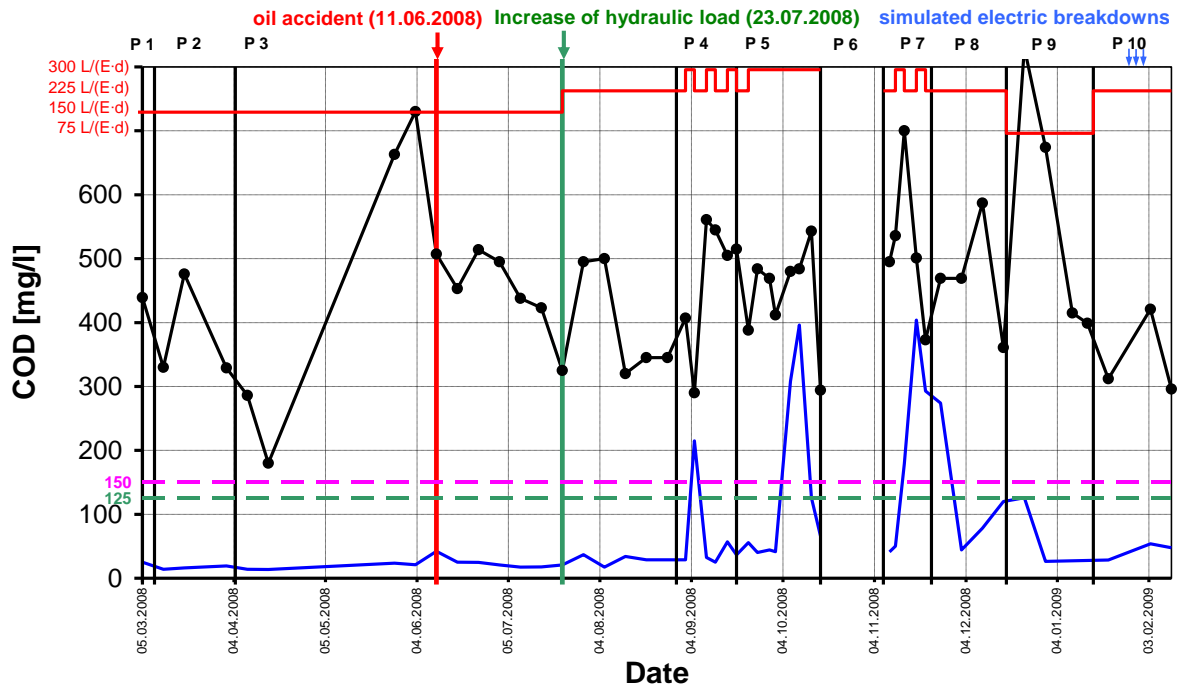


Abbildung 146: Busse - Typ MF-HKA4 - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 146) blieb bis auf wenige Ausnahmen unter klar 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkte eine nur sehr geringe Erhöhung des COD-Wertes. Die Anlage wurde komplett entleert die Membran ausgetauscht und mit Schlamm neu angeimpft, was eine Normalisierung der Ablaufwerte zur nächsten Messung (nach 7 Tagen) zur Folge hatte. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss. Durch die hydraulische Überlast in Phase 4 und 5 bzw. 7 stieg die Ablaufkonzentration dreimal kurzfristig rapide an, um dann wieder auf einen „Normalwert“ von unter 100 mg/L zu fallen. Diese Anstiege erklären sich durch das Anspringen des Notüberlaufs direkt aus der Vorklärung in den Ablauf, was auch bei den abfiltrierbaren Stoffen (s. Abbildung 149) zu drei „Peaks“ im Ablauf führte. Erhöhte Feststoffe im Ablauf sind bei Membrananlagen üblicherweise nicht zu erwarten. Laut Hersteller erfolgt eine Installation normalerweise ohne Notüberlauf, bzw. sollte der Vorspeicher zu voll sein, wird ein Alarm ausgegeben, so dass der Nutzer den Wasserverbrauch drosseln kann, bis Wartungspersonal vor Ort ist. Ein weiterer nicht ganz so gravierender Anstieg der Ablaufkonzentration mit vermutlich gleicher Ursache war zwischen Phase 8 und 9 zu beobachten.

Nach der Reduzierung der hydraulischen Last ab Phase 9 blieb die Ablaufkonzentration auf unter 30 mg/L. Nur die simulierten Stromausfälle ließen den Ablaufwert kurzfristig auf knapp über 50 mg/L ansteigen was mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen

fen im Zulauf erklärt werden kann, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.10.13).

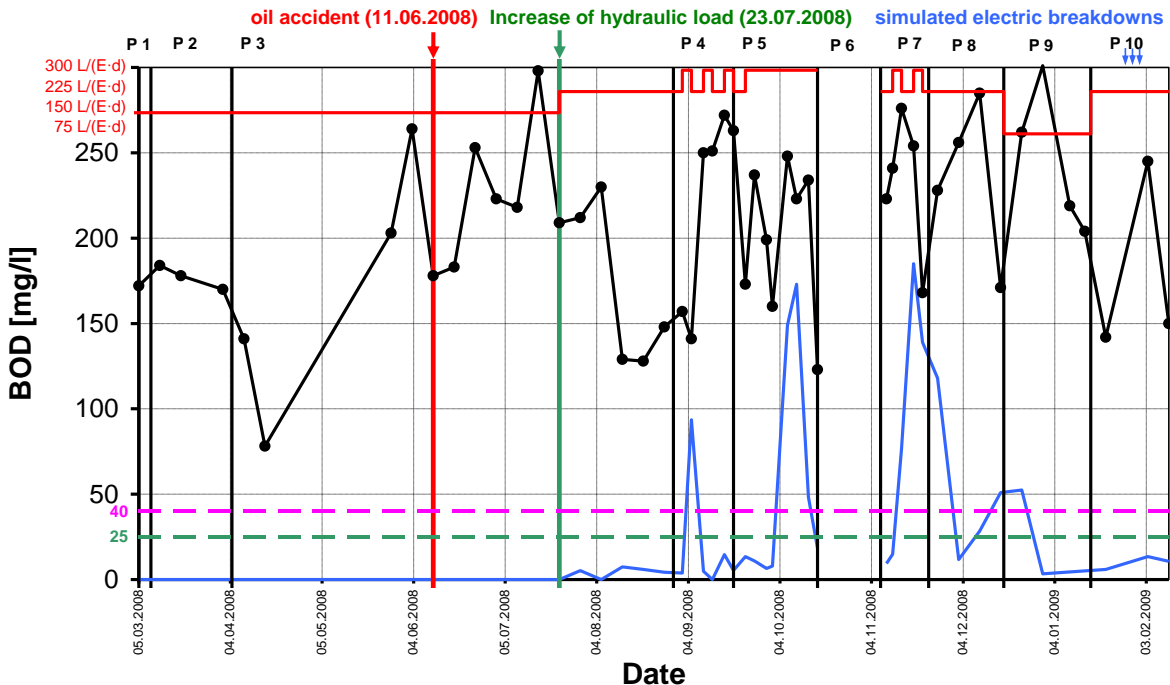


Abbildung 147: Busse - Typ MF-HKA4 - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.10.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 148) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Der Ölunfall bewirkte eine ca. 4 Wochen dauernde leichte Verschlechterung der Nitrifikation, was offensichtlich durch die Adaptation der angeimpften Biomasse verursacht wird. Vor der Erhöhung der hydraulischen Last erreichte die Anlage wieder ein Minimum von < 0,5 mg/L.

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE-d) auf 225 L/(PE-d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf diskontinuierlich von ca. 0 mg/L auf 47 mg/L in Phase 5 stark an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (ca. 18 °C). Eine nennenswerte Nitrifikation fand in Phase 4, 5 und 7, vermutlich bedingt durch die verkürzten Aufenthaltszeiten bzw. die erhöhte Fracht, nicht statt,

Die kurzfristige Verbesserung des Ablaufes in der Mitte von Phase 8 beruhte auf der Abschaltung des Abwasserzuflusses (s. Kap. 7.10.11) und der damit verbundenen längeren Aufenthaltszeit in der Anlage.

Ab Phase 9 nahm die Konzentration kontinuierlich ab, was durch die geringere hydraulische und stoffliche Belastung zu erklären ist. Auch die niedrigen Abwassertemperaturen von teilweise unter 5 °C hatten keinen negativen Einfluss auf die Ablaufwerte.

Erst die simulierten Stromausfälle und die damit verbundene Unterbindung des Sauerstoffeintrags (Belüftung) und die vermutlich geringe Sauerstoffkonzentration in der Belebung hatte einen kurzfristig starken Anstieg der Ablaufkonzentration auf über 30 mg/L zur Folge. Nach den Stromausfällen fiel die Konzentration wieder auf unter 20 mg/L.

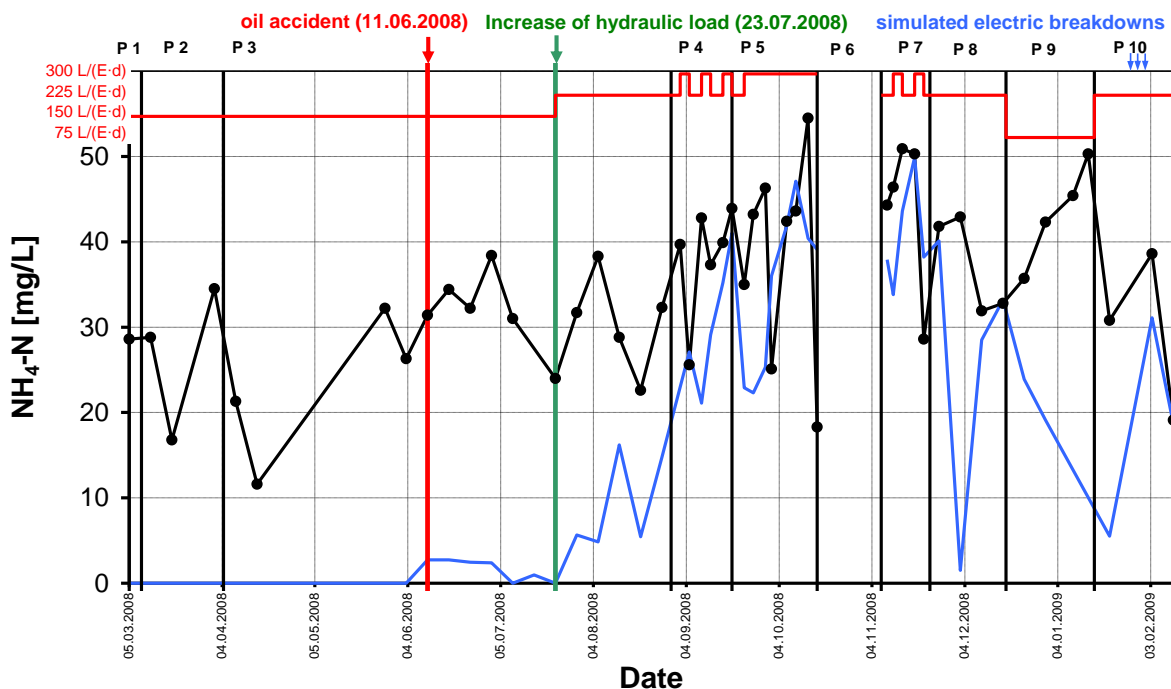


Abbildung 148: Busse - Typ MF-HKA4 - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs nimmt bis zum Ende der 3. Phase Werte von 5-20 mg/L an. Diese Werte liegen 5-10 mg/L unter den Zulaufkonzentrationen und die Ammoniumkonzentration ist in diesen Bereich größtenteils sehr gering, so dass bis dahin eine Teildenitrifikation von ca. 25-75% angenommen werden kann. Erst ab der Phase 4 steigt die Konzentration des anorganischen Stickstoffs auf über 45 mg/L an. Eine nennenswerte Denitrifikation findet demnach bis zum Ende von Phase 9 nicht mehr statt.

In Phase 9 und 10 erreicht die Anlage wieder eine Teildenitrifikation von ca. 60%, was durch die simulierten Stromausfälle zum Erliegen gebracht wurde.

7.10.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 149) bleibt bis zum 23.7.2008 relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 2 mg/L. Ab der Erhöhung der hydraulischen Last auf 225 L/(E·d) steigt der Ablaufwert leicht auf knapp unter 10 mg/L an. Erst die hohe hydraulische Beschickung in Phase 4, 5 und 7 führen jeweils kurzfristig zu massiven Ausschwemmungen von abfiltrierbaren Stoffen über den Notüberlauf. Das Vorklärvolumen von 1.000 L reicht als Speicher für diese Belastungssituation nicht aus. Auch die Erhöhung der Ablaufkonzentration zwischen Phase 8 und 9 kann nur durch Anspringen des Notüberlaufes erklärt werden, da diese Anlage konstruktionsbedingt auf Grund der Membran nur sehr geringe SS-Ablaufwerte erreichen dürfte. Ein defekt der Membran kann auch ausgeschlossen werden, da sie nicht ausgetauscht wurde und dennoch die Anlage im weiteren Verlauf in Phase 9 und 10 wieder sehr geringe Ablaufwerte von unter 12 mg/L erreichte. Da die Ablaufwerte von unter 2 mg/L nicht mehr erreicht wurden, kann an Ablagerungen im Ablauf liegen, die durch den Notüberlauf ausgespült und im Weiteren durch Klarwasser abgetragen werden.

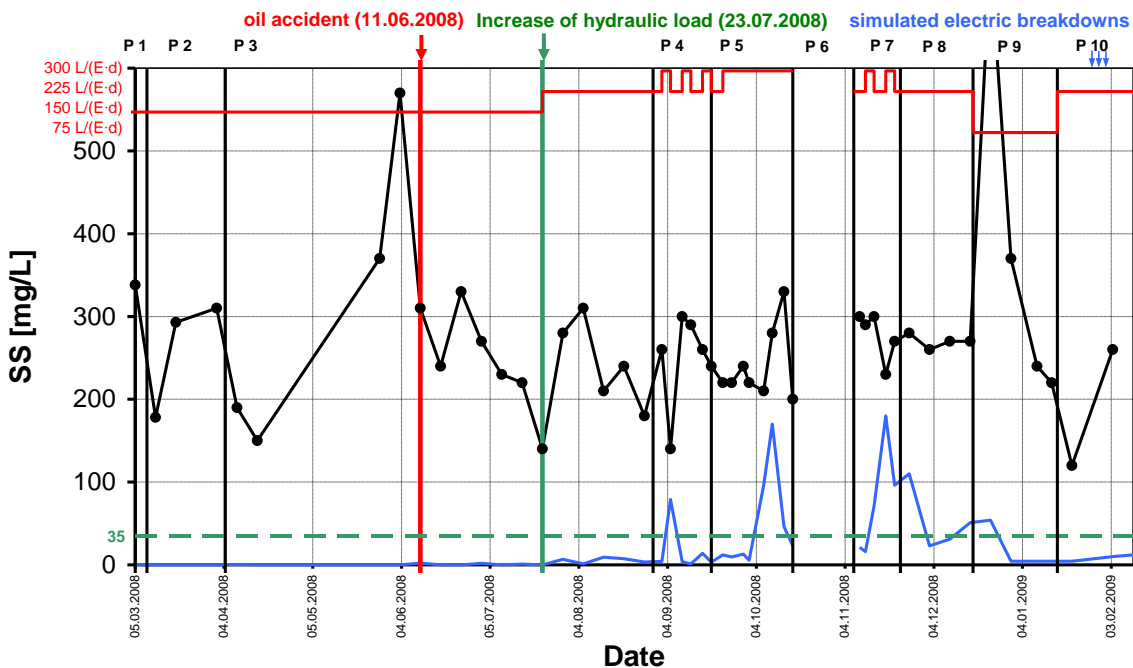


Abbildung 149: Busse - Typ MF-HKA4 - SS Zu- und Ablaufanglinie

7.10.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 150) schwankt sehr stark. Für Phase 1 bis 3 wurde Phosphor zwischen 30 und 100% eliminiert. Die Erhöhten Ablaufwerte in Phase 4, 5, 7 und 8 sind eindeutig auf die erhöhten SS-Konzentrationen zurückzuführen, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt.

Die Verbesserung der Ablaufkonzentration in Phase 9 beruhte auf der Verringerung der hydraulischen Last. Der erhöhte Wert durch die simulierten Stromausfälle könnte an einer Rücklösung von Phosphor durch die längere Aufenthaltszeit in der Anlage liegen.

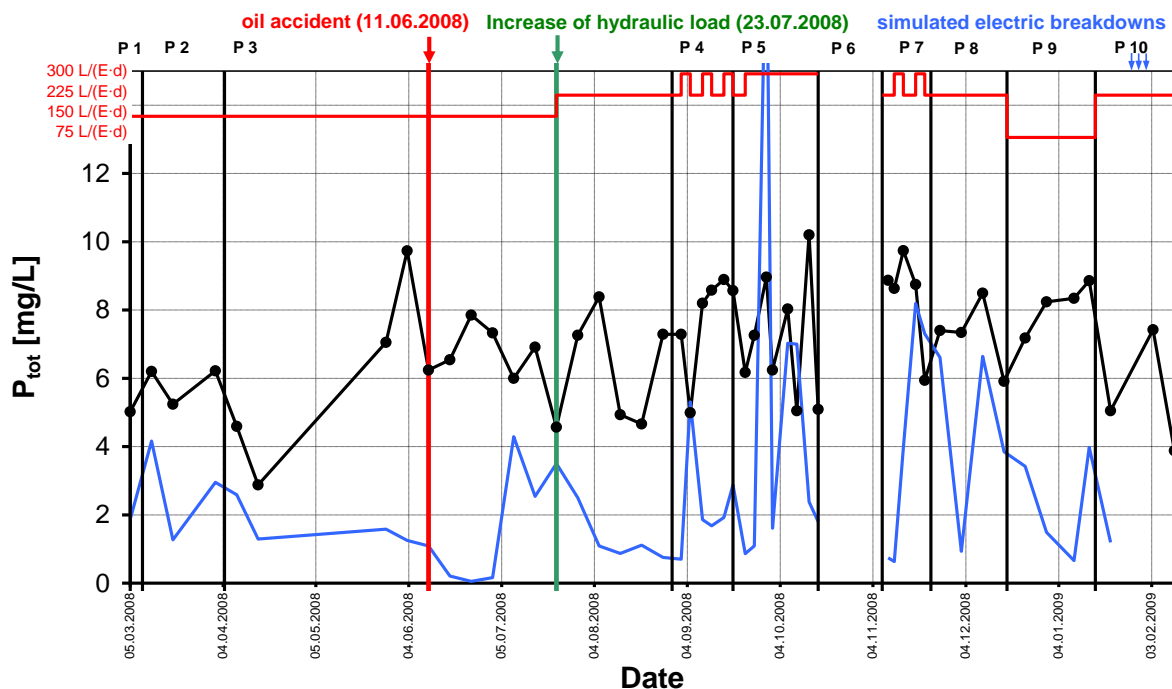


Abbildung 150: Busse - Typ MF-HKA4 - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.10.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 97, Tabelle 98 und Tabelle 99, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 98 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 99 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkoooperiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 83%, von BOD₅ bei 87%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 47%, von Gesamtstickstoff bei 40% und von Phosphor bei 57%.

Tabelle 97: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Busse, MF HKA 4	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	48	48	48	48	48	47
mean	83	87	47	40	57	90
median	92	96	47	43	72	97
min.	18	17	-114	-46	-123	22
max.	97	100	100	88	99	100

Tabelle 98: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Busse, MF HKA 4	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	94	99	91	60	69	99
median	95	100	99	63	76	100
min.	89	94	44	15	23	96
max.	97	100	100	88	99	100

Tabelle 99: Busse - Typ MF-HKA4 - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Busse, MF HKA 4	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	71	76	7	22	45	81
median	89	94	14	28	74	94
min.	18	17	-114	-46	-123	22
max.	95	100	51	58	93	100

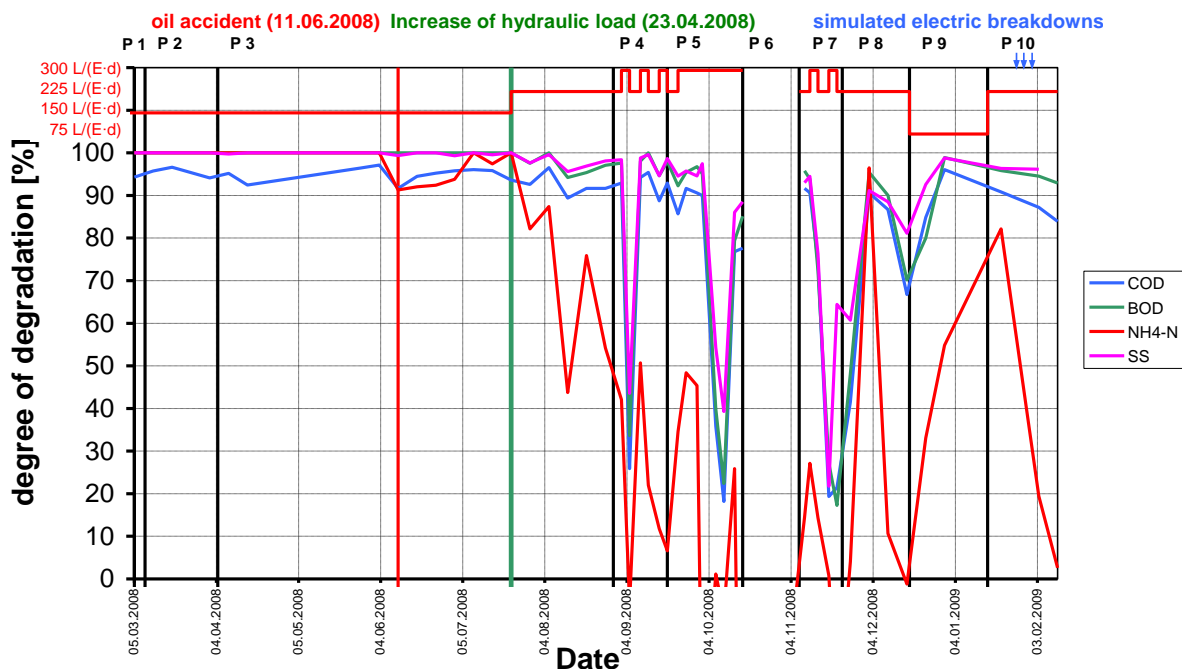


Abbildung 151: Busse - Typ MF-HKA4 - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein deutlich besserer COD-Abbaugrad (94%) als im Gesamtzeitraum (83%), bedingt durch die geringere hydraulische Belastung, durch die ein Anspringen des Notüberlaufes nicht auftrat. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war jeweils in Phase 4, in Phase 5 und in Phase 7 beim Anspringen des Notüberlaufes. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 151) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein starker Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.10.4 erläutert.

7.10.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 153) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenem Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energiever-

brauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur als Summe für die gesamte Anlage gemessen. Da diese Anlage in einem Container auf dem Versuchsfeld aufgebaut wurde und nicht wie gefordert in einem frostfreien Raum, wurde während der sehr kalten Winterperiode eine elektrische Heizung installiert. Diese Heizung lief über den Zähler der Anlage, was einen sehr hohen Energieverbrauch während des Winters suggerierte. Um einen Vergleich zu gewährleisten, wurde abschätzend der Energieverbrauch der Heizung herausgerechnet, was durch den diskontinuierlichen Betrieb und nicht eindeutige Leistungsangabe erschwert wurde. Dieses betrifft den Zeitraum nach dem 3.12.2008.

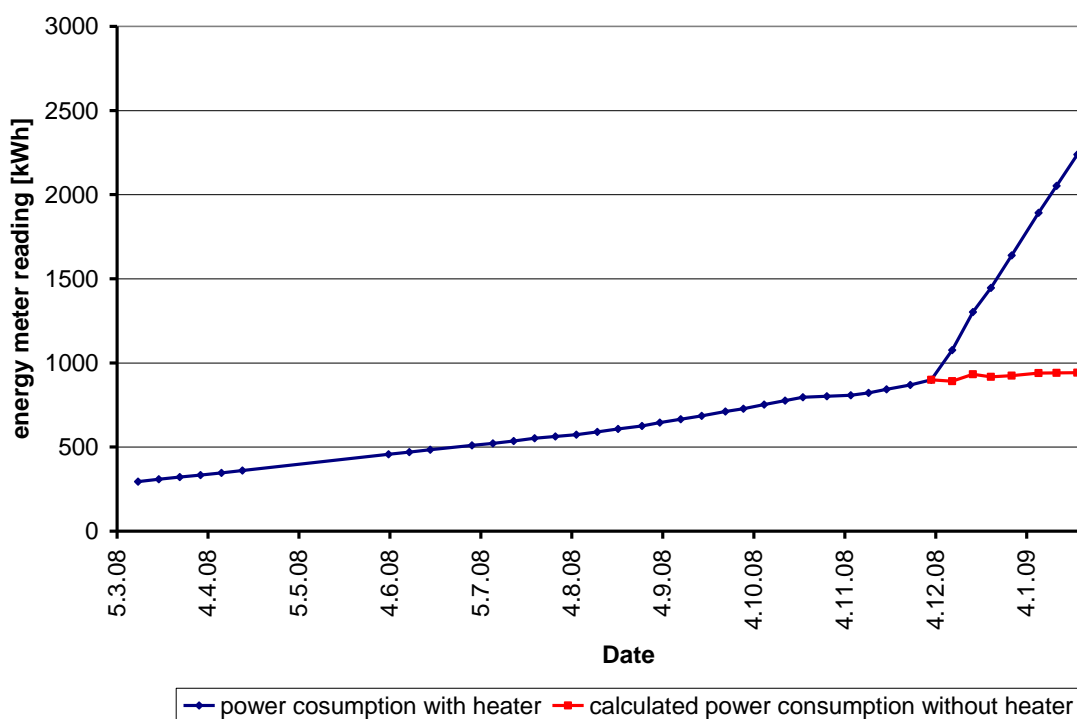


Abbildung 152: Busse – Typ MF-HKA4 – Energiezählerstand mit/ohne Heizung

Folgende Verbraucher sind für Abbildung 153 zu berücksichtigen:

- Mammutpumpe (Hebeanlage von der VK in die Belebung)
- 2 Gebläse

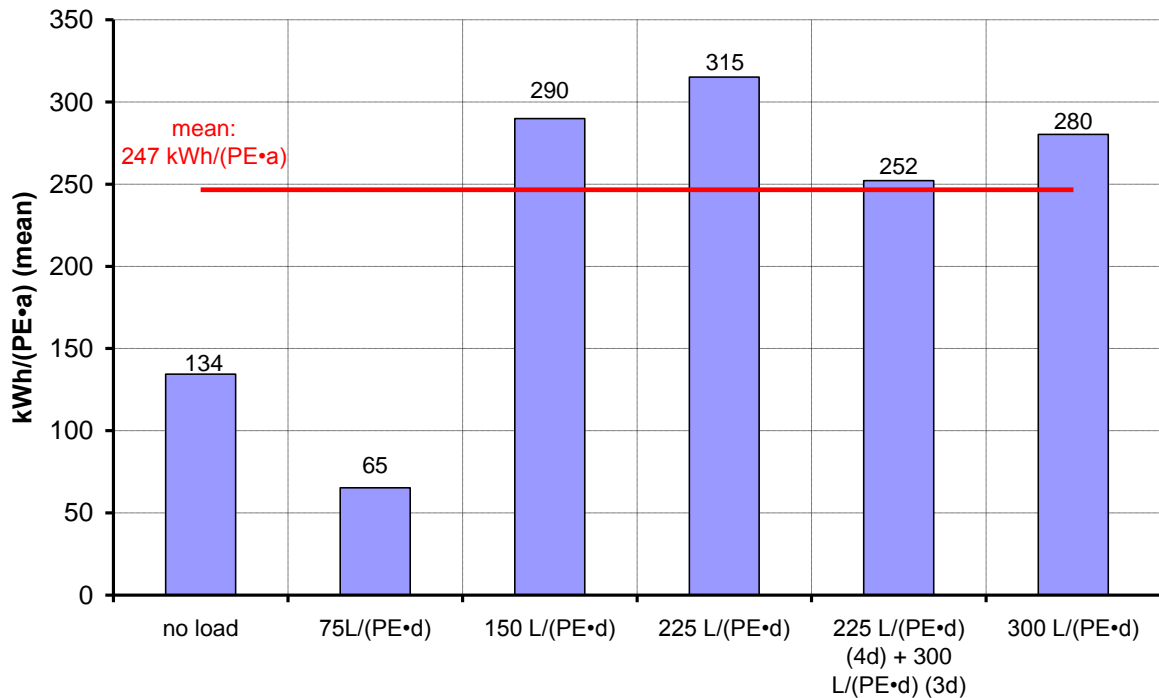


Abbildung 153: Busse - Typ MF-HKA4 - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 247 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. Kap. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 2,3 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 134 kWh/(PE·a) und 4 PE zu 1,5 kWh/d.

7.10.10 Schlamm

Für die Anlage Busse wurde weder Schlammmenge, noch Trockenrückstand, noch Glühverlust ermittelt.

7.10.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 154 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

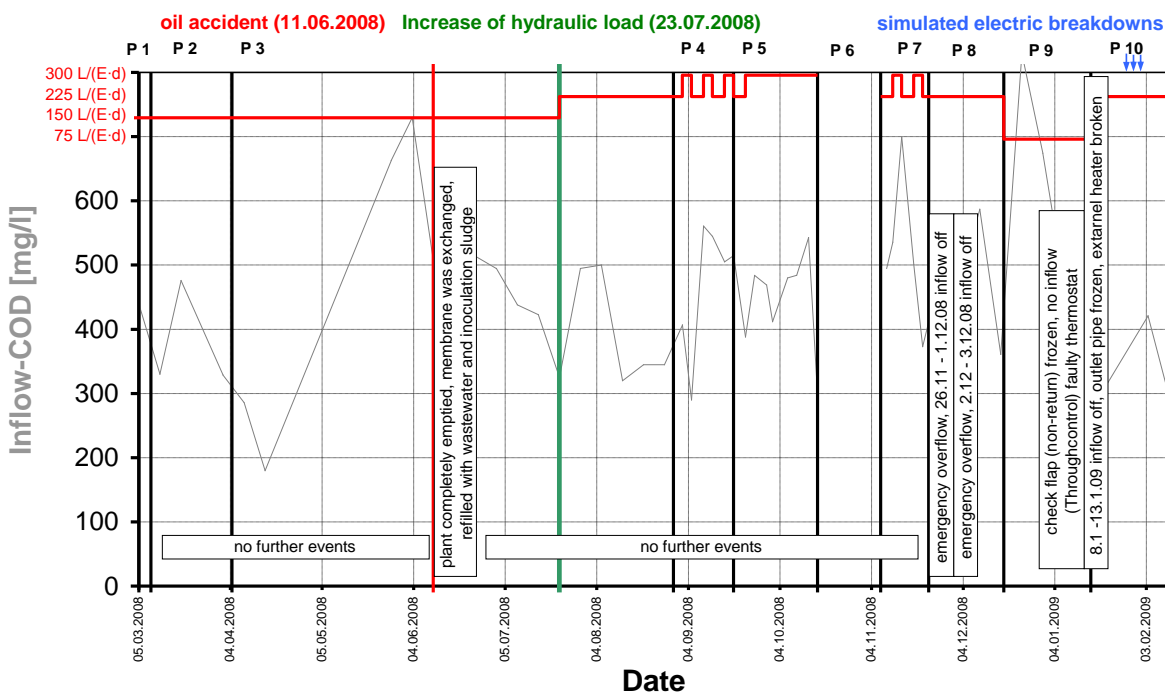


Abbildung 154: Busse - Typ MF-HKA4 - Auswertung des Zyklentagebuchs

Aufgrund der Ölhavarie wurde die Anlage durch den Hersteller am 11.6.08 abgeschaltet und komplett entleert. Die Membran wurde ausgetauscht, neuer Schlamm wurde angeimpft und die Anlage am 12.6.08 wieder in Betrieb genommen.

Am 26.11.08 war der Notüberlauf angesprungen. Der Zufluss wurde nach Hersteller-rücksprache abgestellt. Die Anlage wurde am 1.12.08 wieder in Betrieb genommen.

Am 2.12.08 wurde der Zufluss nach Herstellerrücksprache abgestellt. Die Anlage wurde am 3.12.08 wieder in Betrieb genommen.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Busse sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Busse auf.

Am 8.1.09 wurde der Zufluss abgestellt, da die Begleitheizung defekt war und daraufhin die Ablaufleitung aufgrund der sehr geringen Temperaturen eingefroren war. Da die Anlage laut Zulassung in einem frostfreien Raum aufgestellt werden muss, kann dieser Vorfall sich im „Normalbetrieb“ nicht ereignen. Am 13.1.09 wurde die Anlage wieder in Betrieb genommen.

7.10.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intesti-

nale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 100 dargestellt.

Die log-Reduktion von gesamtcoliformen, von fäkalcolifomen Bakterien, von intestinalen Enterokokken und von Salmonellen konnte nicht bestimmt werden, da die Ablaufwerte an allen drei Tagen bei 0 MPN/mL bzw kleiner 0,3 MPN/mL lagen (< 0,3 wird zu Null angenommen). Bei intestinalen Nematoden gab es im Durschnitt eine Reduktion um 4 Eier/L.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel vollends erreicht wurde (log-Stufe nicht bestimmbar, 0 MPN/ml im Ablauf).

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter aufgrund der verfahrensbedingten Membranfiltration ausgezeichnete Badewasserqualität.

Tabelle 100: Busse - Typ MF-HKA4 - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	- 2)	390.000	5,59	- 2)	430.000	5,63	- 2)	- 2)
	Ablauf	0	- 2)		< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	- 2)	240.000	5,38	- 2)	73.000	4,86	- 2)	- 2)
	Ablauf	0	- 2)		< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	- 2)	93.000	4,97	- 2)	93.000	4,97	- 2)	- 2)
	Ablauf	< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	- 2)	750	2,88	- 2)	46.000	4,66	- 2)	- 2)
	Ablauf	< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		< 0,3	- 2)		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		0	13 ¹⁾		13	<1		0	4
	Ablauf	<1			<1			<1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

2) 0 MPN/ml im Ablauf, keine log-Reduktion bestimmbar

"< 1" wird zu Null angenommen

"<0,3" wird zu Null angenommen

7.10.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben liegt der COD in einer Stichprobe unter 75 mg/L (entspricht der DIBt für Ablaufklasse N). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 77% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 6 Membran-KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 21 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was wesentlich geringer ist als bei dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 77 mg/L. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 erreichte diese Anlage einen Mittelwert von 23 und entspricht damit den 6 Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Membrananlagen einen mittleren Ablaufwert von 41,6 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 77 mg/L für den gesamten Versuchszeitraum. Bezogen auf die 100%-Phasen liegt diese Anlage mit 23 mg/L weit unterhalb der Prüfanlagen nach FLASCHE 2002.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 15 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2 für Ablaufklasse N). Die 15-mg/L-Konzentration wurde in 75% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 6 Membran-KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 2 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, d.h. diese Anlage liegt mit 27 mg/L weit über diesem Wert. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 liegt diese Anlage aber mit einem Durchschnittswert von 1 mg/L etwa gleichauf mit den Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Membrananlagen einen mittleren Ablaufwert von 2,7 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 27 mg/L für den gesamten Versuchszeitraum. Bezogen auf die 100%-Phasen liegt diese Anlage mit 1 mg/L weit unterhalb der Prüfanlagen nach FLASCHE 2002.

Ammonium

Laut Herstellerangaben liegt die Ammoniumkonzentration in einer Mischprobe unter 10 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2 für Ablaufklasse N). Die 10-mg/L-Konzentration wurde in 42% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 6 Membran-KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 4 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage noch unter diesem Mittelwert bei ca. 3 mg/L. Erst über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 19,1 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 5 Membrananlagen eine mittleren Ablaufwert von 6,5 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 19,1 mg/L für den gesamten Versuchszeitraum. Bezogen auf die 100%-Phasen liegt diese Anlage mit 3 mg/L weit unterhalb der Prüfanlagen nach FLASCHE 2002.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 50 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 50-mg/L-Konzentration wurde in 81% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 50 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 6 Membran-KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 1 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, d.h. diese Anlage liegt mit einem Durchschnittswert von 24,9 mg/L weit über diesem Wert. Bezogen auf die 100%-Phase (2 mg/L) aber entspricht diese Anlage dem Prüffeld PIA in Aachen.

Simulierte Stromausfälle

Die teilweise nur leichte Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 146, Abbildung 147, Abbildung 148 und Abbildung 149) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 2,3 kWh/d und entspricht damit in etwa den Herstellerangaben mit einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1,8 bis 3,0 kWh/d. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 6 Membran-Anlagen bei 0,39 kWh/(PE·d), also etwas niedriger als die ermittelten Durchschnittswerte von 0,68 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,29 kWh/(PE·d) bis zu 0,55 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt also etwas höher im Verbrauch.

Schlamm

Es gibt wegen fehlender Daten keine Schlammauswertung.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte durchweg Ablaufwerte von unter 0,3 Keimen (gesamtciliforme und fäkalcoliforme Bakterien, intestinale Enterokokken und Salmonellen) oder Eiern (Intestinale Nematoden) pro 100 ml.

7.10.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben.

Die COD-, BOD₅- und SS-Ablaufwerte (Mittelwert: 77, 27 und 25 mg/L) verlief mit drei Ausnahmen immer weit unterhalb der Grenzwerte. Die Ausnahme bildeten drei Überläufe aus der Belebung, was durch die hohe hydraulische Last zu erklären ist. Während der 100%-Last-Phasen 1-3 waren die Ablaufwerte hervorragend.

Insgesamt konnte eine stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf, bis auf das Anspringen des Notüberlaufs.

Der Stromverbrauch entspricht den Angaben des Herstellers.

Die Anlage erreichte ausgezeichnete Badewasserqualität für Binnengewässer im Ablauf.

7.11 ATB – AQUA max BASIC

7.11.1 Belastungssituation

Seitens der Firma ATB wurde eine Anlage vom Typ AQUA max BASIC eingebaut, die für 8 PE ausgelegt ist, aber durch die testfeldbedingte Gruppenfestlegung (4 PE, 6 PE und 9 PE) im Rahmen des Versuchsprogramms zunächst mit 9 PE beschickt wurde. Nach Erhöhung der hydraulischen Belastung ab Phase 4 und Präsentation von Ergebnissen der Ablaufwerte wurde am 30.9.2008 auf Wunsch des Herstellers ATB die nominale Einwohnerzahl auf 4 PE reduziert und die Anlage dementsprechend beschickt.

Die Nominalbelastung bis zum 30.09.2008 entspricht einer Fracht von 540 g BSB₅/d, ab dem 30.9.2008 einer Fracht von 240 g BSB₅/d. Laut Zulassung wäre eine Zulauffracht bis zu 480 g BSB₅/d möglich.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt bis zum 16.9.2008 1.350 L/d, danach 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung kann die Anlage allerdings mit einer hydraulischen Belastung von maximal 1.200 L/d beschickt werden.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08* : 4,7 PE_{BOD,60}
- vom 23.7.08 bis 27.8.08: 6,3 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 5,6 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage über den gesamten Versuchszeitraum bezogen auf den Parameter BOD₅ und einer nominalen Einwohnerzahl von 9 PE zu 62% ausgelastet, für 8 PE (s.o.) wäre die Auslastung 70%.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung (accumulating zone) sowie für das SBR-Becken (reactor) minimale und maximale Volumina an. Bei der Vorklärung ist das Minimum erreicht, wenn die maximale Schlammmenge angesammelt wurde. Daraus ergaben sich für die hydraulische Belastung aus 9 PE Aufenthaltszeiten von 1,4 bis 0,2 Tagen für die Vorklärung und 1,2 bis 1,3 Tagen für das SBR-Becken. Für 4 PE betragen die Aufenthaltszeiten 1,9 bis 0,3 Tage für die Vorklärung und 1,7 bis 1,8 Tage für das SBR-Becken. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 1,4 bis 2,7 Tagen für 9 PE und 2,0 bis 3,7 Tagen für 4 PE für die gesamte Anlage (Durchschnittlich 2,1 Tage für 9 PE und 2,8 Tage für 4 PE) (s. Kap. 2.6).

7.11.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 101 und Tabelle 102) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „franzö-

* s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulauffracht aufzustocken

sische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

Tabelle 101: ATB AQUA max BASIC - Statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

ATB, AQUA max BASIC	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	50	49	49	49
mean	456	163	207	5,7	50	269,0	93,0
median	469	72	215	5,2	17	260,0	27,0
min.	180	21	78	0,4	<3	120,0	3,0
max.	830	1350	301	12,0	424	730,0	1100,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		69%			61%		
stay below of legally binding value (FR)		65%			55%		53%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 102: ATB AQUA max BASIC - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

ATB, AQUA max BASIC	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Number of samples	50	49	50	49	50	49
mean	35,1	23,1	47,4	37,8	7,0	5,8
median	34,8	27,1	46,5	34,5	7,3	4,4
min.	11,6	<0,1	19,8	12,0	2,9	0,8
max.	54,5	46,8	71,6	113,0	10,2	25,5
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 163 mg/L, der maximale Wert lag bei 1.350 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 69%, der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 65 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 15 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 17 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.11.4). Die Anlage erreichte in ca. zwei Dritteln aller Fälle die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf(BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 50 mg/L, der maximale Wert lag bei 424 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 61%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 55 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 19 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 22 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.11.4). Die Anlage erreichte in etwas mehr als der Hälfte aller Fälle die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 93 mg/L, der maximale Wert lag bei 1.100 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 53% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 23 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.11.6). Die Anlage erreichte in rund der Hälfte der Fälle die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 23 mg/L, der maximale Wert lag bei 47 mg/L (s. Kap. 7.11.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 38 mg/L, der maximale Wert lag bei 113 mg/L (s. Kap. 7.11.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 6 mg/L, der maximale Wert lag bei 26 mg/L (s. Kap. 7.11.7)..

7.11.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 155) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

Der Verlauf über 200 mg/L wurde aufgrund der Übersichtlichkeit ausgeblendet, die Kurven verlaufen ab diesem Bereich mit gleicher Steigung weiter.

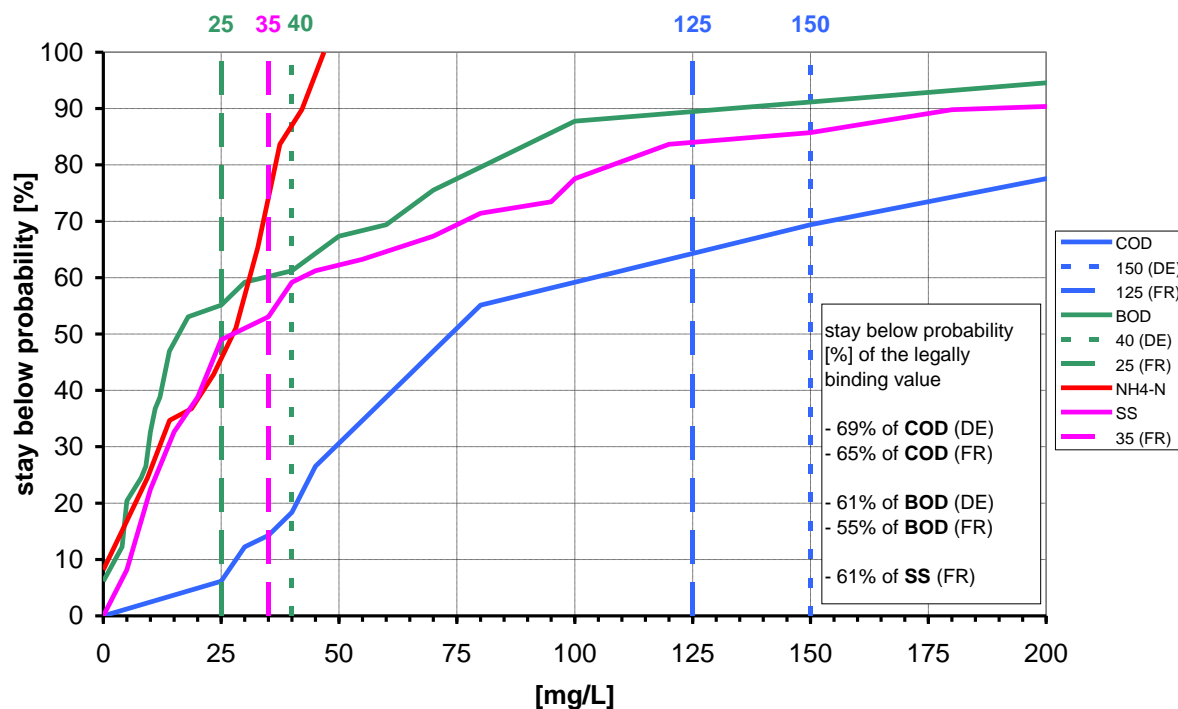


Abbildung 155: ATB AQUA max BASIC - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.11.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 156) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“. Der 30.9.2008 (vertikale gestrichelte Linie) markiert die Umstellung von 9 PE auf 4 PE, einschließlich der Änderung der hydraulischen Belastung.

Die in Abbildung 157 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 3,2 zu 1.

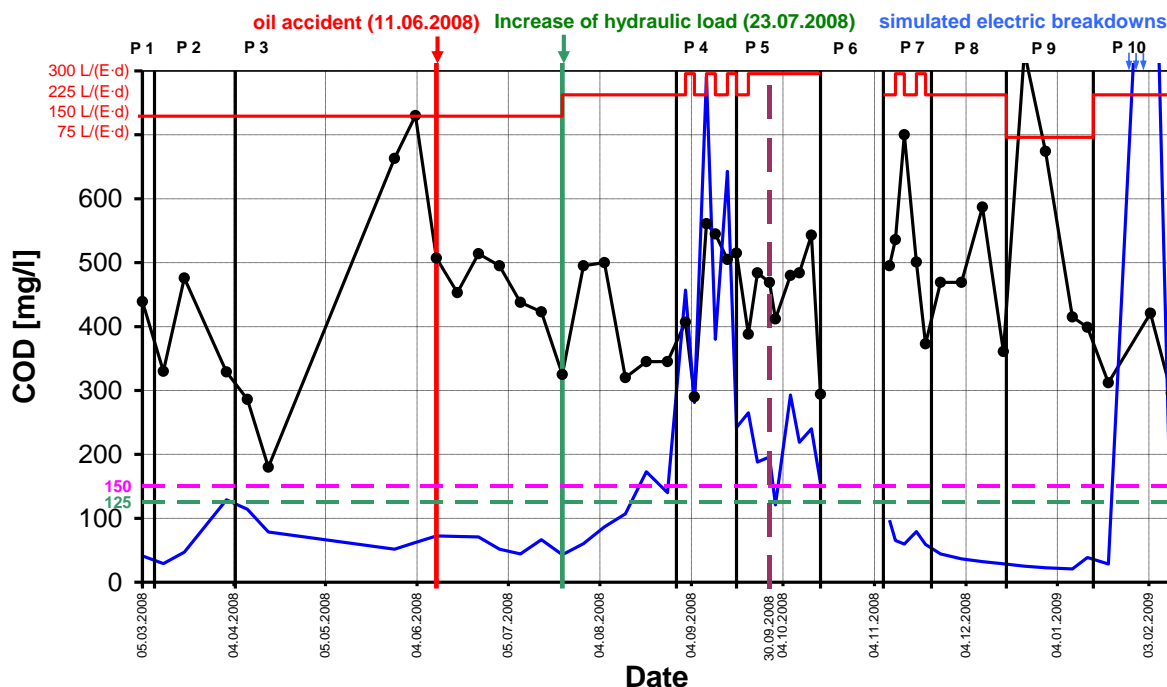


Abbildung 156: ATB AQUA max BASIC - COD Zu- und Ablaufganglinien

Bis zum 23.7.08 blieb der COD im Ablauf (Abbildung 156) mit einer Ausnahme unter 100 mg/L. Der erhöhte Wert in diesem Zeitraum war zum Ende der Phase 2 und hat seine Ursache sehr wahrscheinlich in dem zweiwöchigen Ausfall des Belüfters seit dem 1.4.2008. Der Ölunfall bewirkt keine Erhöhung des COD-Wertes, was vermutlich durch die gründliche Reinigung der Anlage einschließlich eines Animpfens mit externem belebtem Schlamm erreicht wurde.

Diese Anlage wurde bis zum 30.9.2008 mit einer Überlast von einem Einwohner (150 l/(E-d)) sowie den fünf zusätzlichen Badewannen betrieben (s. Kap. 5.1.2). Durch die weitere Erhöhung der hydraulischen Belastung in Phase 3 ab dem 23.7.2008 wurde die Anlage mit einer Überlast von ca. 178% beschickt, was einen Anstieg von ca. 50 mg/L auf über 150 mg/L zum Ende von Phase 3 zur Folge hatte. Dieser starke Anstieg wird durch Anspringen des Notüberlaufs (13.8. und 20.8.08) von der Vorklärung in die Biologie verursacht und erzeugte vermutlich folgende Effekte:

- Absetzbare Stoffe wurden teilweise während des Klarwasserabzugs von der Vorklärung über den Notüberlauf in die Biologie gespült und konnten so in den Ablauf gelangen.
- Die hydraulische sowie die stoffliche Belastung in der biologischen Stufe stiegen durch den unkontrollierten Zufluss und erhöhten den Sauerstoffbedarf in der Biolo-

gie. Der nicht mehr ausreichende Sauerstoffgehalt von teilweise nur 0,1 mg/L ermöglichte keine ausreichende biologische Reinigung und verursachte vermutlich dadurch die erhöhten Ablaufwerte in dieser Phase.

Ein weiterer Anstieg der hydraulischen Belastung in Phase 4 erhöhte den COD im Ablauf erheblich auf über 800 mg/L (wesentlich höher als im Zulauf). Außerdem fiel das Schlammvolumen in der Anlage massiv von ca. 170 mL/L auf unter 30 mL/L ab, was mit Abtrieb von Schlamm durch den hohen Zufluss zu erklären ist (s.a. Abbildung 159 (SS-Ganglinie)). Beim erhöhten Zufluss kam es zum Überlaufen der Vorklärung, was durch Partikelreste auf den Trennwänden dokumentiert werden konnte. Dadurch gelangte der Schlamm wahrscheinlich während der Belüftungsphase durch den Notüberlauf aus der Biologie in den Ablauf. Zum Ende von Phase 4 erreichte die Anlage dann einen Ablaufwert von 250 mg/L, obwohl das Schlammvolumen immer noch niedrig (20 mL/L) war. Der Sauerstoffgehalt verbesserte sich während dieser Phase, was durch das geringe Schlammvolumen und die damit verbundene niedrigere Anzahl von Mikroorganismen zu erklären ist.

Am 30.9.2008 wurde die Anlage auf 4 PE umgestellt, was einen nennenswerten Anstieg des Schlammvolumens innerhalb von ca. 10 Tagen auf 100 mL/L zur Folge hatte. Der COD-Ablaufwert fiel auf unter 200 mg/L. Während Phase 6 (ohne Beschickung) verringerte sich das Schlammvolumen auf ca. 30 mL/L, was durch die Komprimierung/Eindickung des Schlamms zu erklären ist und ein geringeres Schlammvolumen bei gleich bleibender Schlammmenge bedeutet.

Ab Phase 7 verbesserte sich der COD kontinuierlich von unter 100 mg/L auf knapp 20 mg/L in der Mitte von Phase 9, was sich auch im höheren Schlammvolumen (um 300 mg/L) und gutem Sauerstoffgehalt von ca. 3 mg/L widerspiegelt. Diese Ablaufwerte wurden trotz niedriger Abwassertemperaturen von unter 5°C und sehr hohen Zulaufkonzentrationen von teilweise über 800 mg/L erreicht.

Bei den simulierten Stromausfällen trat ein maximaler Wert von 1.350 mg/L ein, der nach den Stromausfällen aber wieder auf unter 50 mg/L sank. Dies könnte mit einem Überlauf der Vorklärung und ein damit verbundenen Eintrag von Schlamm in den Bioreaktor erklärt werden. Auch ein damit verbundener Überlauf des Bio-Reaktor wäre denkbar. Diese Vermutung wird durch die sehr hohe Ablaufkonzentration von abfiltrierbaren Stoffen (siehe Abbildung 159) unterstützt. Eine weitere Erklärung könnte die temporäre Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf sein, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 0).

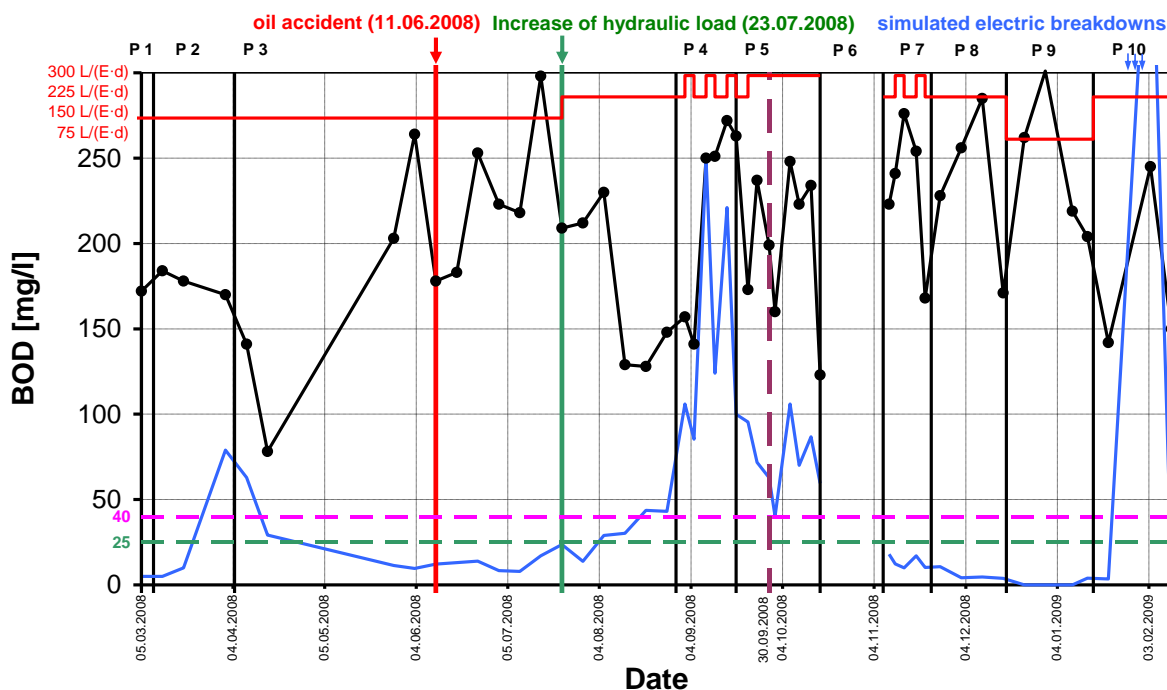


Abbildung 157: ATB AQUA max BASIC - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.11.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 158) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab, die sehr sensibel auf Veränderungen der Randbedingungen reagiert und daher als Indikator für die Stabilität des Prozesses herangezogen werden kann.

Bis zum Ölunfall war der Ammoniumkonzentration im Ablauf bei ca. 10 mg/L. Eine Ausnahme ist am Ende von Phase 2 und zu Beginn von Phase 3 zu erkennen. Dort waren die Zu- und Ablaufkonzentrationen identisch, d.h. es fand keine Nitrifikation mehr statt. Der Grund dafür könnte der Ausfall der Belüftung sein.

Da die Anlage nach dem Ölunfall komplett entleert und mit externem Schlamm aufgefüllt wurde, der vermutlich aus einer nicht nitrifizierenden Anlage stammte, war bis Ende der Phase 5 unter der hohen hydraulischen Last keine nennenswerte Nitrifikation zu beobachten. Und das, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 16,5°C).

Erst nach der Ruhephase (Phase 6) wurde ein Ablaufwert von unter 10 mg/L erreicht, der zum Ende von Phase 7 noch mal auf 30 mg/L anstieg. Dieser kurze Anstieg könnte an einer verkürzten Aufenthaltszeit in der Anlage liegen. Dabei gelangte möglicherweise das Abwas-

ser direkt aus der Vorklärung in die Biologie, was durch eine Meldung „Hochwasserwarnung“ der Anlage bekräftigt wird.

In Phase 8 und 9 fiel die Ammoniumkonzentration auf unter 0,5 mg/L, was einerseits wahrscheinlich auf die reduzierte hydraulische Last und andererseits möglicherweise auf den Austausch der Steuerung durch den Hersteller zurückzuführen war. Diese Verringerung erfolgte trotz der äußerst niedrigen Abwassertemperaturen von unter 5°C.

Nur die simulierten Stromausfälle ließen den Ablaufwert kurzfristig auf über 20 mg/L ansteigen. Dies könnte an der durch die Stromausfälle unterbrochenen Belüftung liegen (s. Abbildung 158: 4.4.2008, Ausfall der Belüftung).

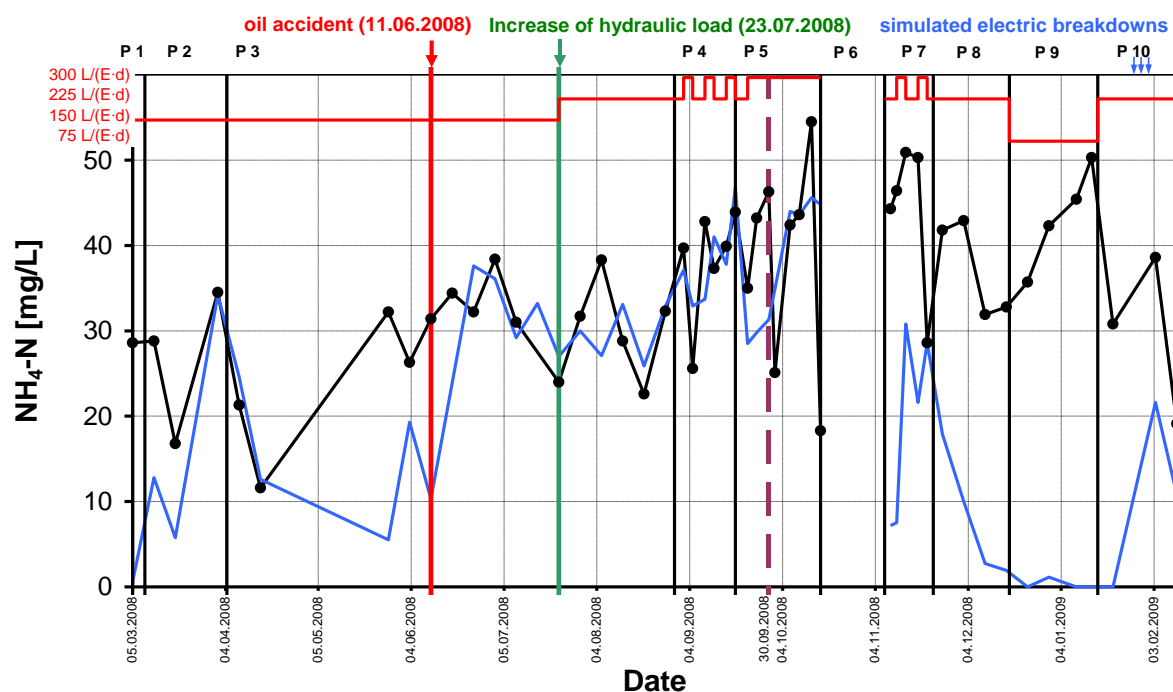


Abbildung 158: ATB AQUA max BASIC - NH₄-N Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff verläuft bis Phase 5 fast völlig parallel zum Ammonium (s. Abbildung 158). Das bedeutet, dass es bei einer ausreichenden Nitrifikation ebenfalls eine teilweise Denitrifikation gab. Erst nach dem Ölunfall, wo kein Ammonium mehr in Nitrat umgewandelt wurde, konnte auch keine Denitrifikation erfolgen.

Ab Phase 8 konnte wieder eine nennenswerte Denitrifikation (bis 50%) erzielt werden, was auch nicht durch die Stromausfälle vermindert wurde.

7.11.6 Feststoffentnahme

Bis zum 23.7.08 blieb die SS-Konzentration im Ablauf (Abbildung 159) mit einer Ausnahme unter 35 mg/L. Der erhöhte Wert in diesem Zeitraum war zum Ende der Phase 2 und hatte seine Ursache wahrscheinlich in dem zweiwöchigen Ausfall des Belüfters seit dem 1.4.2008. Der Ölunfall bewirkte keine Erhöhung der abfiltrierbaren Stoffe, was vermutlich durch die gründliche Reinigung der Anlage und Austausch des Schlammes erreicht wurde.

Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 ab dem 23.7.2008 hatte einen Anstieg von ca. 10 mg/L auf über 200 mg/L zum Ende von Phase 3 zur Folge. Dieser starke Anstieg ist durch den Notüberlauf von der Vorklärung in die Biologie zu erklären. Ein weiterer Anstieg der hydraulischen Belastung in Phase 4 erhöhte die Konzentration der AFS im Ablauf erheblich auf 550 mg/L (wesentlich höher als im Zulauf). Zum Ende von Phase 4 erreichte die Anlage dann einen Ablaufwert von ca. 100 mg/L, der bis zur Mitte von Phase 5 auf unter 35 mg/L fiel. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Anlage am 30.9.2008 auf 4 PE umgestellt. Ab Phase 7 ist ein Ablaufwert von unter 35 mg/L, teilweise von unter 5 mg/L zu verzeichnen. Lediglich nach den simulierten Stromausfällen wird ein maximaler Wert von 1.100 mg/L registriert, der nach den Stromausfällen aber wieder auf unter 15 mg/L fällt. (weitere Erläuterungen siehe Kap. 7.11.4.)

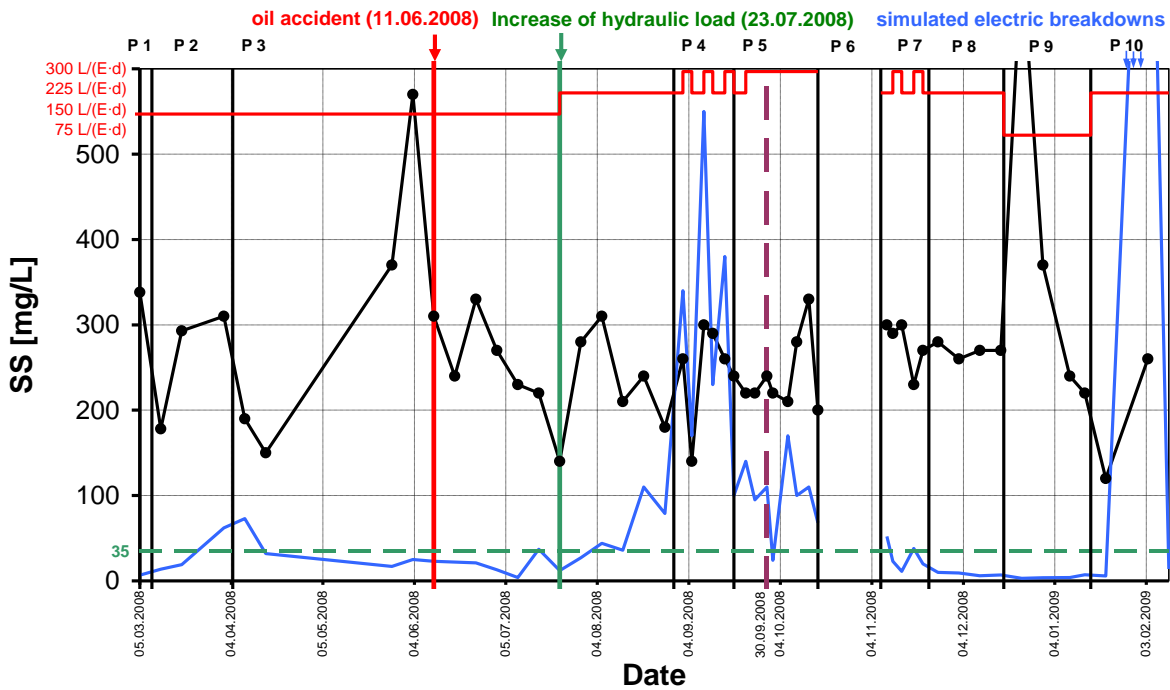


Abbildung 159: ATB AQUA max BASIC - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.11.7 Phosphor

Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm und in diesem Falle mit den abtreibenden Schwebstoffen entfernt.

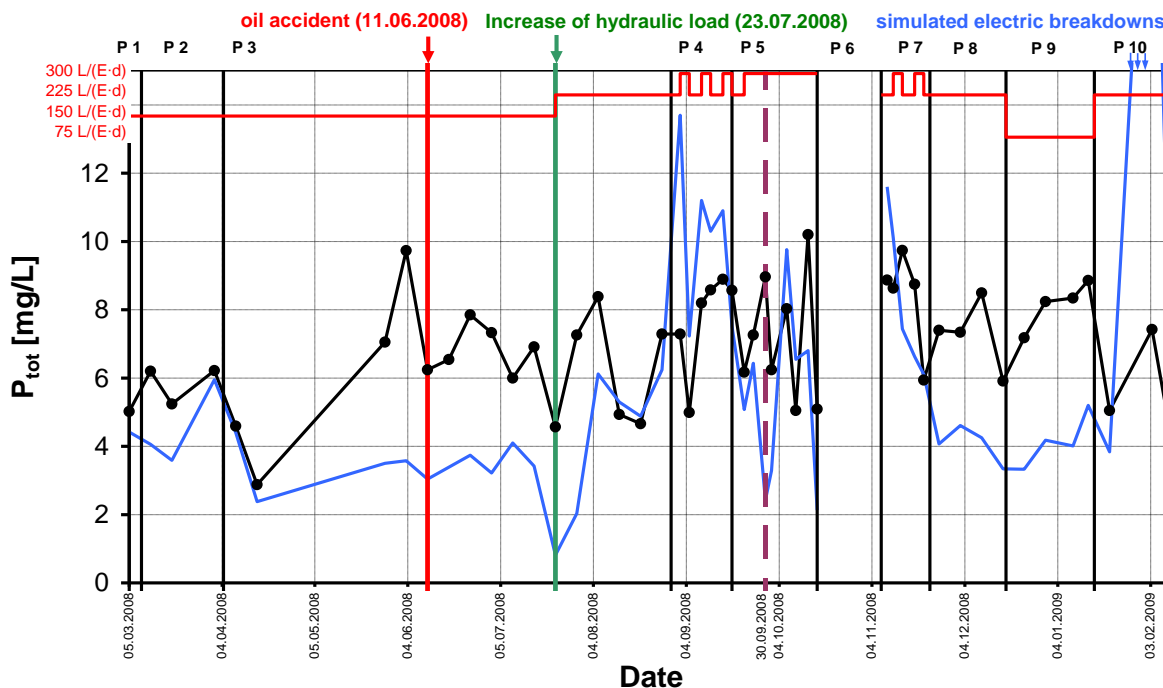


Abbildung 160: ATB AQUA max BASIC - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.11.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 103, Tabelle 104 und Tabelle 105, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann ein Schlammabtrieb, eine Rücklösung, oder (Rück-)Umwandlung stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 104 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 105 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in der biologischen Stufe in Biomasse inkooperiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 62%, von BOD₅ bei 75%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 29%, von Gesamtstickstoff bei 18% und von Phosphor bei 16%.

Tabelle 103: ATB AQUA max BASIC- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

ATB, AQUA max BASIC	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	η_{Norg}	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	49	49	49	49	49	48
mean	62	75	29	18	16	62
median	84	93	21	21	24	87
min.	-221	-73	-145	-85	-244	-323
max.	97	100	100	75	82	100

Tabelle 104: ATB AQUA max BASIC - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

ATB, AQUA max BASIC	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	η_{Norg}	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	60	73	7	16	20	60
median	83	87	5	15	27	83
min.	-41	0	-29	-21	-88	-83
max.	92	96	83	75	82	98

Tabelle 105: ATB AQUA max BASIC - Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4,5 und 7)

ATB, AQUA max BASIC	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	η_{Norg}	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	65	76	26	18	19	68
median	71	75	31	21	24	83
min.	-27	19	-145	-80	-31	-46
max.	95	98	94	65	73	98

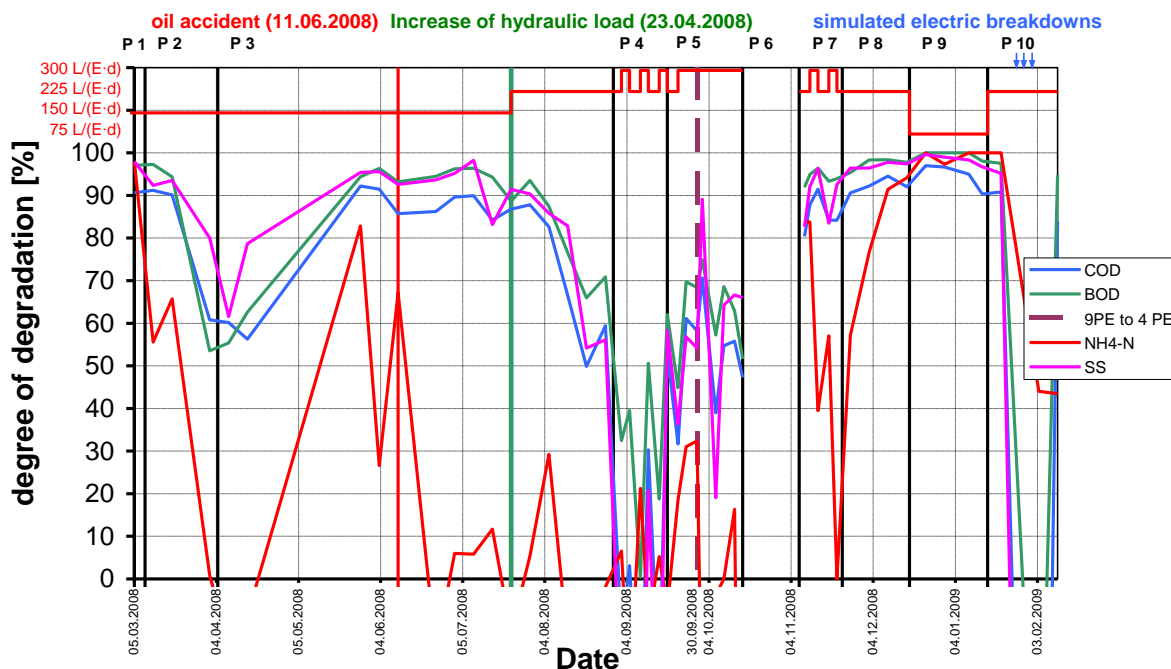


Abbildung 161: ATB AQUA max BASIC - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung (mit 9 PE) ergibt sich ein etwas geringerer COD-Abbaugrad (60%) als im Gesamtzeitraum, bedingt durch die erhöhten Ablaufwerte in Phase 3. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind ebenfalls etwas höher, da die Nominalbelastung auf 4 PE abgesenkt wurde. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 161) zeigen, dass der Ausfall der Belüftung alle Abbaugrade um ca. 40 Prozentpunkte (COD, BOD₅, SS) bis hin zu über 90 Prozentpunkte (NH₄-N) abfallen ließ.

Für Ammonium zeigt sich, dass der Ölunfall den Ammoniumabbau völlig zum Erliegen gebracht hat. Dies hielt, mit kleinen Ausnahmen, bis zum Beginn von Phase 8 an, wo sich der Umsatz von Ammonium wieder auf einen Wert von über 90% einpendelte. Erst die simulierten Stromausfälle lassen den Abbaugrad wieder auf unter 50% sinken.

Beim Abbaugrad von COD, BOD₅ und AFS zeigt sich, dass erst die Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein starker Abfall zur Folge hat. Erst nach der Reduzierung der Einwohnerzahl von 9 auf 4 PE und nach Phase 6 (no load) konnte sich der Abbaugrad wieder auf einen stabilen Wert von über 90% einpendeln, was erst durch die simulierten Stromausfälle unterbrochen wurde. Nach den Ausfällen steigt der Abbaugrad bei COD, BOD₅ und AFS wieder stark an.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits im Abschnitt 7.11.4 erläutert.

7.11.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 162) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE·d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Beschickung (bis zum 30.9.2008 = 9 PE, ab dem 30.9.2008 = 4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE·a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenem Energieverbrauch und angeschlossenem Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Belüfter
- Schlammpumpe
- Klarwasserabzug

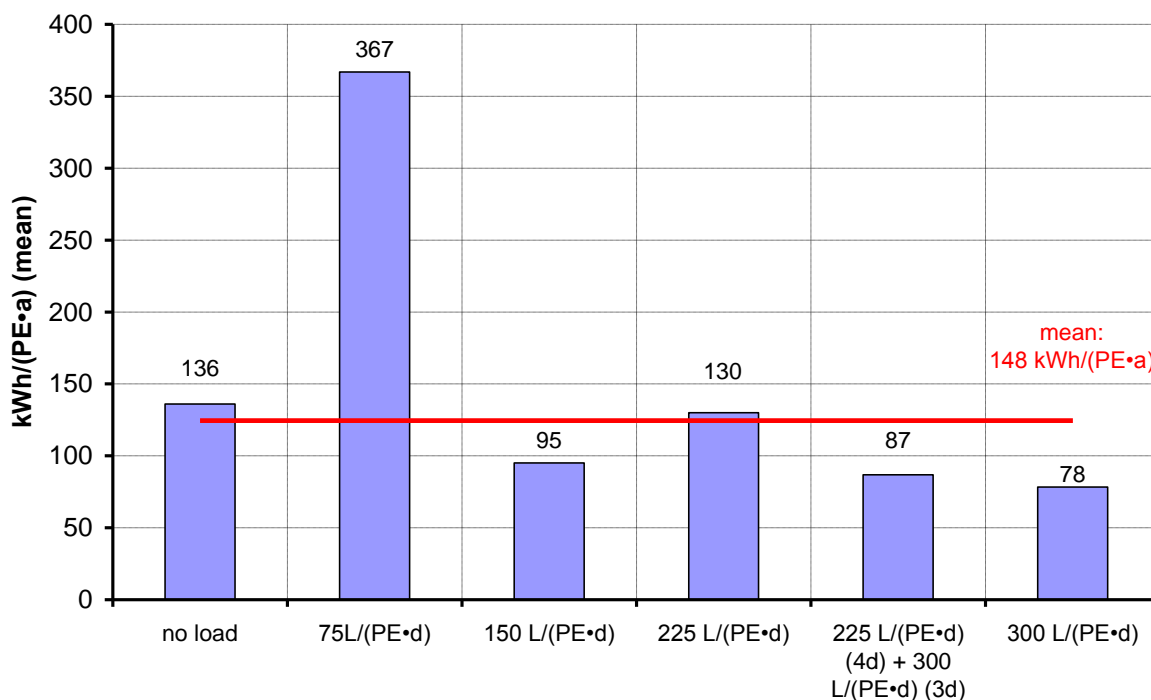


Abbildung 162: ATB AQUA max BASIC - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 148 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von

4,9 PE (bezogen auf BOD₅ und dem gesamten Versuchszeitraum) an (s. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 1,7 kWh/d.

Ein einwohnerunabhängiger Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 160 kWh/(PE·a) und 4 PE (zu diesem Zeitpunkt eingestellte Belastung) zu 1,5 kWh/d.

7.11.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind. Zudem ist zu berücksichtigen, dass während des Untersuchungszeitraumes eine erhebliche Menge an Schlamm über die Nachklärung abgetrieben ist.

Die Schlammproduktion lag über den gesamten Versuchszeitraum bei 1,05 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 35,3 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 36,9 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung von 4,7 PE beträgt 21,5 gTS/(E·d).

7.11.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 163 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

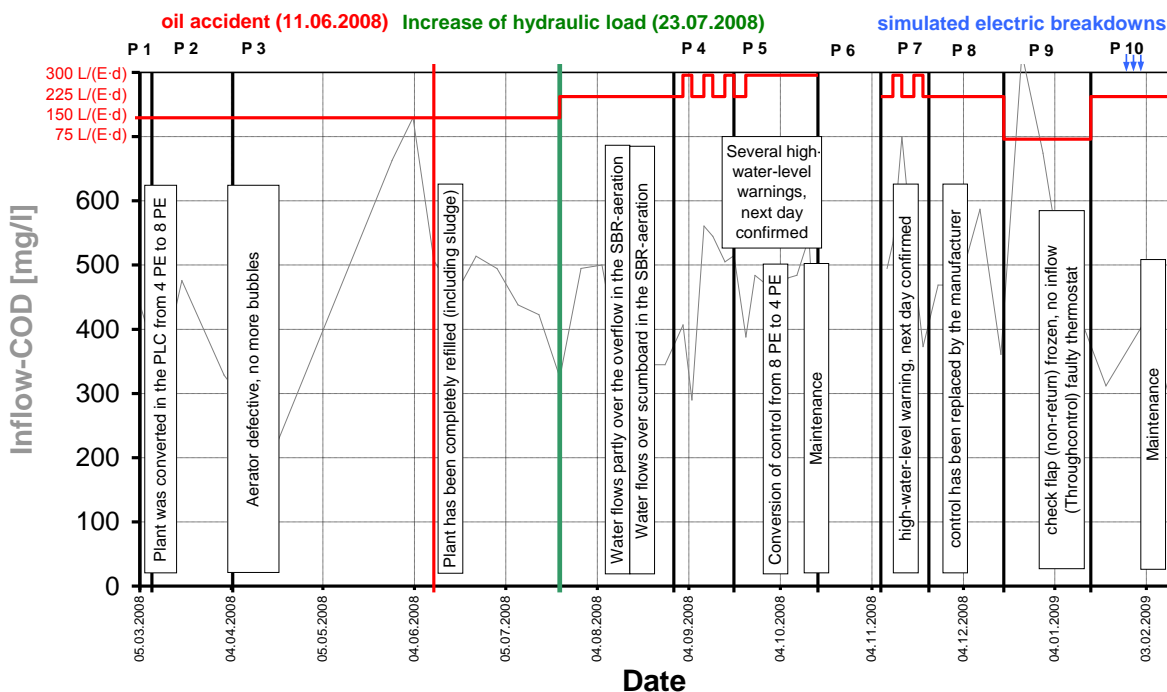


Abbildung 163: ATB AQUA max BASIC - Auswertung des Zyklentagebuchs

Eine Wartung erfolgte an folgenden Tagen:

- 15.02.2008
- 14.10.2008
- 05.02.2009

Vom 1.4. bis zum 14.4.2008 war das Gebläse auf Grund des Verschleißes der Pumpe sowie des Belüfterelementes defekt.

Nach dem Ölunfall wurde die Anlage am 18.06.08 um 12 Uhr wieder in Betrieb genommen, der Zufluss wurde zugeschaltet. Die Vorklärung wurde mit Abwasser gefüllt, die Biologie mit externem Schlamm (Menge: 1,5m³) angimpft. Außerdem wurde ein Grobstofffilter nachgerüstet, ein Sieb am Notüberlauf angebracht, der Belüfter erneuert und der Klarwasserabzug wurde von 25min auf 30min geändert.

Am 13.8.2008 war der Wasserstand in der Biologie leicht erhöht. Das Abwasser trat teilweise über den Notüberlauf von der Vorklärung in die Biologie. Am 20.8.2008 trat das Wasser über die gesamte Tauchwand von der Vorklärung in die Biologie über.

Am 30.9.2008 wurde die Steuerung von 9 PE auf 4 PE umgestellt.

In der Zeit vom 16.9. bis zum 19.11.2008 gab es 7 Hochwassermeldungen, die jeweils am nächsten Tag quittiert wurden.

Am 1.12.2008 wurde die Steuerung vom Hersteller ausgetauscht.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma ATB auf.

7.11.12 Mikrobiologie

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 106 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,4 log-Stufen, von fäkalcolifomen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 2,1 log-Stufen und von Salmonellen bei 2,2 log-Stufen. Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt eine Reduktion um 4 Eier/L.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 106: ATB AQUA max BASIC - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	3,61	390.000	5,59	1,21	430.000	5,63	1,00	1,4
	Ablauf	230	2,36		24.000	4,38		43.000	4,63		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	2,81	240.000	5,38	1,00	73.000	4,86	0,23	0,8
	Ablauf	230	2,36		24.000	4,38		43.000	4,63		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	2,67	93.000	4,97	2,00	93.000	4,97	2,00	2,1
	Ablauf	91	1,96		930	2,97		930	2,97		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	- 2)	750	2,88	0,43	46.000	4,66	3,12	2,2
	Ablauf	< 0,3	- 2)		280	2,45		35	1,54		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		0	13 ¹⁾		13	<1		0	4
	Ablauf	<1			<1			<1			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

2) 0 MPN/ml im Ablauf, keine log-Reduktion bestimmbar

"< 1" wird zu Null angenommen

"<0,3" wird zu Null angenommen

7.11.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.14.9 liegt der COD in einer 24-h-Mischprobe unter 100 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2, Ablaufklasse C). Die 100-mg/L-Konzentration wurde in 59% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 100 mg/L in 74 %, der Wert unterschritten

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum bis zum 23.7.2008 (100%-Last, Mittel ca. 77 mg/L) entspricht. Über den Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 163 mg/L, also wesentlich höher.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 143 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 163 mg/L leicht über diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 50 mg/L, also wesentlich weniger als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen eine mittleren Ablaufwert von 43,8 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 92 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 136 SBR-Anlagen mit 249 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 102 mg/L, was weit über den Wert dieser Anlage mit 77 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.14.9 liegt die BOD₅-Konzentration in einer 24-h-Mischprobe unter 25 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2, Ablaufklasse C). Die 25-mg/L-Konzentration wurde in 55% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 25 mg/L in 63% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, wobei der Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum bis zum 23.7.2008 (100%-Last, Mittel ca. 22 mg/L) meist über diesem Wert liegt. Über den Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 50 mg/L, also wesentlich höher.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 22 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 50 mg/L ca. doppelt so hoch.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 11 mg/L, also wesentlich we-

niger als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen einen mittleren Ablaufwert von 4,3 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 22 mg/L in den 100%-Phasen.

Ammonium

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.14.9 („... is also tested for stronger german effluent requirements (class D)...“) liegt die Ammoniumkonzentration in einer Mischprobe unter 10 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2, Ablaufklasse D). Die 10-mg/L-Konzentration wurde in 24% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 10 mg/L in 16% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. Diese geringen Ablaufwerte erreicht diese Anlage erst nach der Umstellung auf 4 PE und einer 75%-Belastung, dort aber auch weit darunter. Über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 23,1 mg/L weit über diesem Durchschnitt, was ungefähr auch dem Mittel aus den Phase 1-3 (100%-Last, 23 mg/L) entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 21 mg/L, d.h. diese Anlage liegt leicht über diesem Durchschnitt (Mittelwert von 23,1 mg/L), wobei bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 1 mg/L, also wesentlich weniger als bei dieser Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen einen mittleren Ablaufwert von 2,8 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 23,1 mg/L in den 100%-Phasen.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.14.9 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 75 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2, Ablaufklasse C). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 69% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L in 89% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was leicht unter dem Mittelwert dieser Anlage über den Zeitraum der Phasen 1-3 (100%-Last, Mittelwert 34 mg/L) liegt. Über den Gesamtzeitraum lag der Mittelwert dieser Anlage bei 93 mg/L, also wesentlich höher.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 57 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 93 mg/L über diesem Durchschnitt.

Aus der Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) gibt es keinen Messwert für abfiltrierbare Stoffe.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 156, Abbildung 157, Abbildung 158 und Abbildung 159) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert bzw. mit schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf auch direkt durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da sich bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 1,7 kWh/d und ist damit leicht höher als der Verbrauch aus den Herstellerangaben (s. Kap. 4.14.9) mit einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1,4 kWh/d (Mittelwert aus 4 PE und 9 PE, da die Anlage ungefähr in der Mitte des Versuchs umgestellt wurde).

Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 23 SBR-Anlagen bei 0,25 kWh/(PE-d), also etwas niedriger als die ermittelten Durchschnittswerte über den gesamten Versuchszeitraum mit 9 PE und 4 PE von 0,35 kWh/(PE-d) für diese Anlage. Für 9 PE ergibt sich ein Verbrauch von 0,19 kWh/(PE-d), für 4 PE von 0,5 kWh/(PE-d). Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,1 kWh/(PE-d) bis zu 0,75 kWh/(PE-d), diese Anlage liegt also im Mittelfeld.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige SBR-Anlage (6 PE) einen Energieverbrauch von 96 kWh/(PE-a). Dies entspricht 1,6 kWh/d, also in etwa dem Energieverbrauch dieser Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 21,5 g/(PE-d) zeigt, dass die Belastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag. Dies kann daran liegen, dass die Zulauf-Fracht geringer war und/oder dass eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden hat, d.h. mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben und/oder das Schlamm ausgespült wurde (s. Ablaufwerte von abfiltrierbaren Stoffen Abbildung 159).

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 230 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 32.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für SBR-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 120.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,8 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE) eine gesamtcoliforme Belastung von $3,6 \cdot 10^6/100$ mL, eine fäkalcoliforme Belastung von $1,8 \cdot 10^6/100$ mL im Ablauf, also wesentlich höhere Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche gesamtcoliforme log-Reduktion von 1,4 log-Stufen. Dies entspricht in etwa der fäkalcoliformen log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.11.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde bis zum 30.9.2008 mit 9 PE betrieben. Ab dem 30.9.2008 wurde die Anlage wegen des auftretenden Überstaus auf Wunsch des Herstellers mit 4 PE betrieben.

Auf Grund der Ganglinien ist zu erkennen, dass die Anlage im Bereich COD, BOD₅ und AFS Schwierigkeiten mit der erhöhten hydraulischen Last hatte. Eine nennenswerte Nitrifikation erfolgte nach dem Ölunfall erst wieder nach der Ruhephase (ab Phase 7).

Der gesamte biologische Abbau kam durch den Ausfall der Belüftung in der Anfangsphase des Tests fast völlig zum Erliegen.

Die Reinigungsleistung war außerhalb der Störungen und der simulierten Stromausfälle der Anlage (s.u.) gut bis befriedigend. Während der Störungen war die Reinigungsleistung mangelhaft bis nicht mehr vorhanden. Störungen in dieser Anlage waren der Ausfall der Belüftung und das öfter auftretende Hochwasser einschließlich der Überspülung der Trennwände. Dadurch wurde auch Schlamm ausgespült. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anlage mit fast 235% über der hydraulischen Nominalbelastung beaufschlagt wurde.

Der Stromverbrauch entspricht in etwa den Angaben des Herstellers.

7.12 Mall – SanoClean XL

7.12.1 Belastungssituation

Seitens der Firma Mall wurde die Anlage vom Typ SanoClean XL eingebaut, die für 4 PE ausgelegt ist und dementsprechend beschickt wurde. Die Nominalbelastung entspricht einer Fracht von 240 g BOD₅/d, was der Zulaufkraft laut Zulassung entspricht.

Die nominale hydraulische Belastung beträgt 600 L/d. Außerdem gab es die Badewannenbeschickung mit 5 mal 200 l pro Woche, was in etwa 114 L/d entspricht (s. Kap. 5.1.2). Laut Zulassung hätte die Anlage mit einer hydraulischen Belastung von maximal 600 L/d beschickt werden können.

In Abhängigkeit der Zulaufbeschaffenheit wurde folgende Auslastung erreicht:

- Bis 23.7.08¹: 2,6 PE_{BOD,60}
- Ab 23.7.08 bis 27.8.08: 3,1 PE_{BOD,60}
- Durchschnitt gesamter Versuchszeitraum: 3,4 PE_{BOD,60}

Damit wurde die Anlage im Gesamtzeitraum zu 86% bezogen auf den Parameter BOD₅ ausgelastet.

Der Hersteller gibt für die Vorklärung sowie für das SBR-Becken minimale und maximale Volumina an. Daraus ergaben sich Aufenthaltszeiten von 1,3 bis 2,1 Tagen für die Vorklärung und Aufenthaltszeiten von 1,1 bis 1,9 Tagen für das SBR-Becken. Daraus folgten Aufenthaltszeiten von 2,4 bis 4 Tagen in der gesamten Anlage (Durchschnittlich 3,2 Tage) (s. Kap. 2.6).

7.12.2 Statistische Ergebnisübersicht

Die statistische Ergebnisübersicht (Tabelle 107 und Tabelle 108) der gesamten Laufzeit zeigt die Anzahl der Proben, die Mittelwerte, die Median-Werte, die min-max-Werte, „französische“ (FR) und deutsche (DE) Überwachungswerte (s. Kap. 2.2.1.1 und 2.2.1.2) sowie die Unterschreitungshäufigkeit der Überwachungswerte für die Parameter COD, BOD₅, SS, NH₄-N, N_{tot} und P_{tot}. Die Einheit mg/L bezieht sich auf den Mittelwert, den Medianwert, die min-max-Werte sowie die „französischen“ (FR) und deutschen (DE) Überwachungswerte. Die Probenanzahl ist dimensionslos, die Unterschreitungshäufigkeit wird in Prozent angegeben.

¹ s. Kap. 5.1.2: Die Erhöhung der hydraulischen Last (auf 150%) wurde eingestellt, um aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen die Zulaufkraft aufzustocken

Tabelle 107: Mall SanoClean XL - statistische Auswertung für COD, BOD₅ und SS

Mall, Sano Clean XL	COD		BOD			SS	
	In	Out	In	Load (real)*	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[E]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
number of samples	50	50	50	50	50	49	50
mean	456	70	207	3,4	14	269,0	19,9
median	469	63	215	3,2	11	260,0	14,0
min.	180	25	78	1,0	3	120,0	3,2
max.	830	187	301	5,8	57	730,0	93,0
legally binding value (DE / FR)		150 / 125			40 / 25		-- / 35
stay below of legally binding value (DE)		96%			94%		
stay below of legally binding value (FR)		94%			88%		84%

* Load (real) s. Kap. 2.3

Tabelle 108: Mall SanoClean XL - Statistische Auswertung für Stickstoff und Phosphor

Mall, Sano Clean XL	NH ₄ -N		N _{tot}		P _{tot}	
	In	Out	In	Out	In	Out
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
number of samples	50	50	50	49	50	50
mean	35,1	23,7	47,4	34,8	7,0	4,5
median	34,8	32,8	46,5	36,1	7,3	4,2
min.	11,6	< 0,5	19,8	11,9	2,9	1,6
max.	54,5	48,1	71,6	76,0	10,2	11,0
legally binding value (DE / FR)		-- / --		-- / --		-- / --
stay below of legally binding value (DE)						
stay below of legally binding value (FR)						

Chemischer Sauerstoffbedarf (COD)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren COD-Ablauf von 70 mg/L, der maximale Wert lag bei 187 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert (s. Kap. 2.2.1.1) von 150 mg/L wurde in 96%, der „französische Überwachungswert“ (s. Kap. 2.2.1.2) von 125 mg/L wurde in 94 % aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 2 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 3 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.12.4). Die Anlage erreichte in den weit überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Biochemischer Sauerstoffbedarf(BOD₅)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage einen mittleren BOD₅-Ablauf von 14 mg/L, der maximale Wert lag bei 57 mg/L. Der geforderte deutsche Überwachungswert von 40 mg/L wurde in 94%, der „französische Überwachungswert“ von 25 mg/L in 88 % aller Messungen un-

terschritten, d.h. es gab 3 Messwerte, die den deutschen Überwachungswert und 6 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.12.4). Die Anlage erreichte in den überwiegenden Fällen die geforderten Ablaufwerte für Deutschland und Frankreich.

Abfiltrierbare Stoffe (SS)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere SS-Ablaufkonzentration von 20 mg/L, der maximale Wert lag bei 93 mg/L. Der geforderte „französische Überwachungswert“ von 35 mg/L wurde in 84% aller Messungen unterschritten, d.h. es gab 8 Messwerte, die den „französischen Überwachungswert“ überschritten haben (s. Kap. 7.12.6). Die Anlage erreichte in den meisten Fällen die geforderten Ablaufwerte von Frankreich. Für Deutschland gibt es keinen gesetzlichen Überwachungswert für abfiltrierbare Stoffe.

Stickstoff (Nitrogen)

- Ammonium (NH₄-N):
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Ammonium-Ablaufkonzentration von 23,7 mg/L, der maximale Wert lag bei 48,1 mg/L (s. Kap. 7.12.5).
- Gesamtstickstoff (N_{tot})
Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtstickstoff-Ablaufkonzentration von 35 mg/L, der maximale Wert lag bei 76 mg/L (s. Kap. 7.12.5).

Gesamtphosphor (total phosphorus)

Im Gesamtzeitraum erreichte die Anlage eine mittlere Gesamtphosphor-Ablaufkonzentration von 4,5 mg/L, der maximale Wert lag bei 11 mg/L (s. Kap. 7.12.7).

7.12.3 Betriebs- und Prozessstabilität

Die Prozessstabilität wird mit Hilfe der Unterschreitungshäufigkeit (Abbildung 164) dargestellt. Je steiler die Kurve verläuft, um so „stabiler“ arbeitet die Anlage, d.h. die Anlage erreicht trotz Schwankungen im Zulauf, in der Temperatur usw. sehr ähnliche Ablaufwerte (s. Kap. 2.10.9).

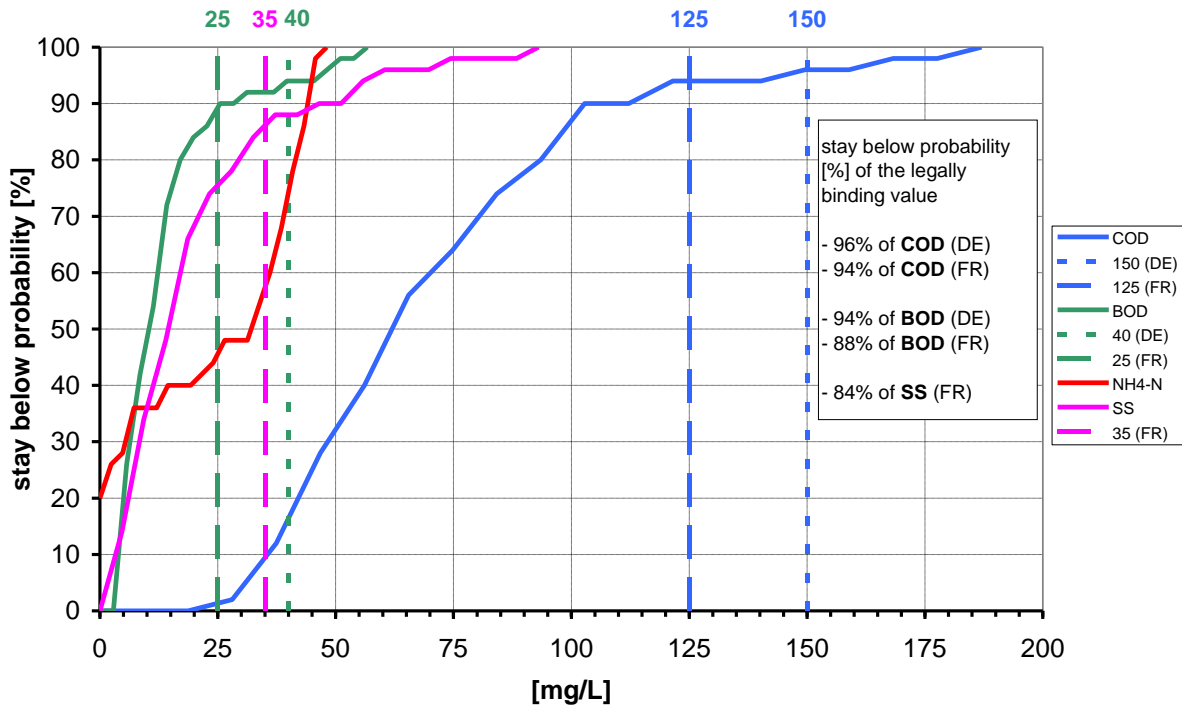


Abbildung 164: Mall SanoClean XL - Unterschreitungshäufigkeit für COD, BOD₅, NH₄-N und SS

7.12.4 COD- und BOD₅-Elimination

Nachfolgend wird der Verlauf der Summenparameter für organische Stoffe über die COD-Ganglinie des gesamten Versuchszeitraums analysiert. Die horizontalen Linien (Abbildung 165) bei 150 mg/L (125 mg/L) entsprechen den deutschen bzw. „französischen Überwachungswerten“.

Die in Abbildung 166 dargestellte BOD₅-Ganglinie hat einen ähnlichen Verlauf wie die COD-Ganglinie. Das COD/BOD₅-Verhältnis im Ablauf beträgt im Mittel 5 zu 1.

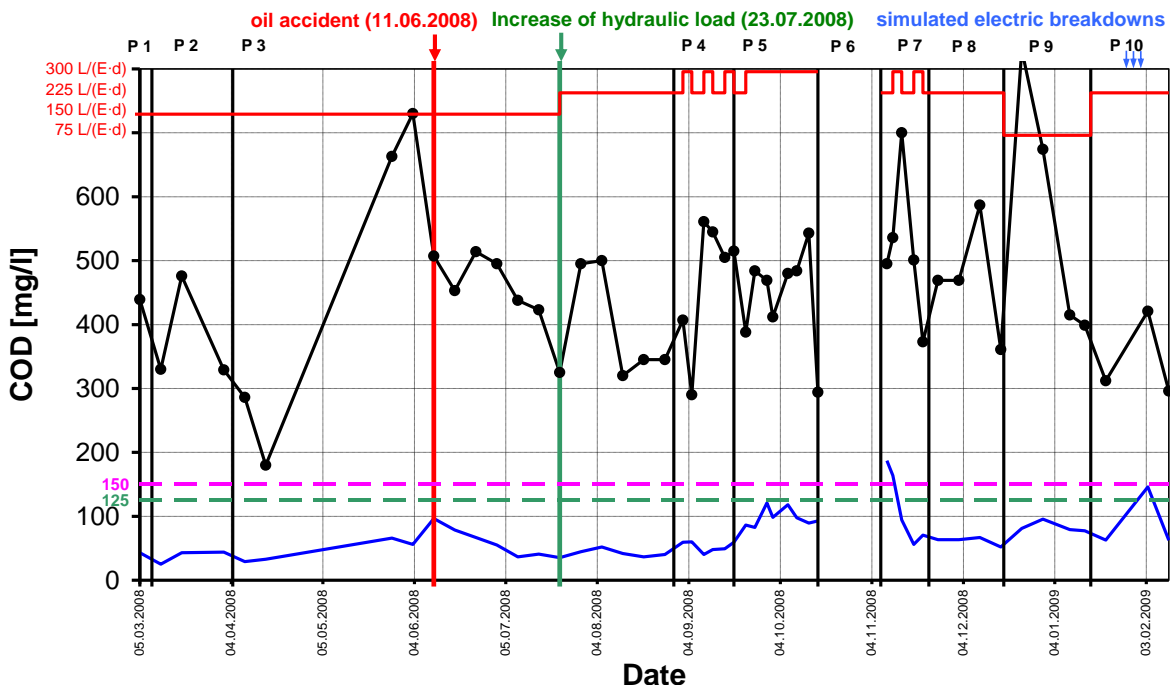


Abbildung 165: Mall SanoClean XL - COD Zu- und Ablaufganglinien

Der COD im Ablauf (Abbildung 165) bleibt bis auf wenige Ausnahmen unter 100 mg/L. Der Ölunfall bewirkt eine geringe Erhöhung des COD-Wertes. Obwohl mit Ausnahme der Reinigung der Vorklärung keine Gegenmaßnahmen ergriffen worden sind, stellte sich die Ausgangskonzentration nach ca. 14 Tagen wieder ein. Die Erhöhung der hydraulischen Nominalbelastung in Phase 3 hatte keinen messbaren Einfluss. Auch die zusätzliche hydraulische Belastung von 200% an 3 Tagen pro Woche hatte keine Erhöhung der Ablaufkonzentration zur Folge. Allerdings bewirkte die Dauerbeaufschlagung von 200% hydraulischer Belastung über 4 Wochen (Phase 5) eine Verdopplung der Ablaufkonzentration, die aber dennoch deutlich unter 150 mg/L lagen.

Nach Beendigung von Phase 6 (3 Wochen ohne Last) wurde der höchste Wert für COD (187 mg/L) verzeichnet, der sich aber bis zur Mitte von Phase 7 wieder normalisierte (ca. 70 mg/L). Dies könnte sich dadurch erklären, dass beim Wiederaufstart im erhöhten Maße Biomasse ausgetragen wurde.

Die kurzfristige Erhöhung des Ablaufwertes für COD nach dem Neustart der Anlage im Anschluss an die simulierten Stromausfälle könnte mit einer temporären Erhöhung von schwer abbaubaren Stoffen im Zulauf erklärt werden, da dieses Phänomen gleichzeitig bei nahezu allen untersuchten Anlagen beobachtet wurde (s. Kap. 7.12.13).

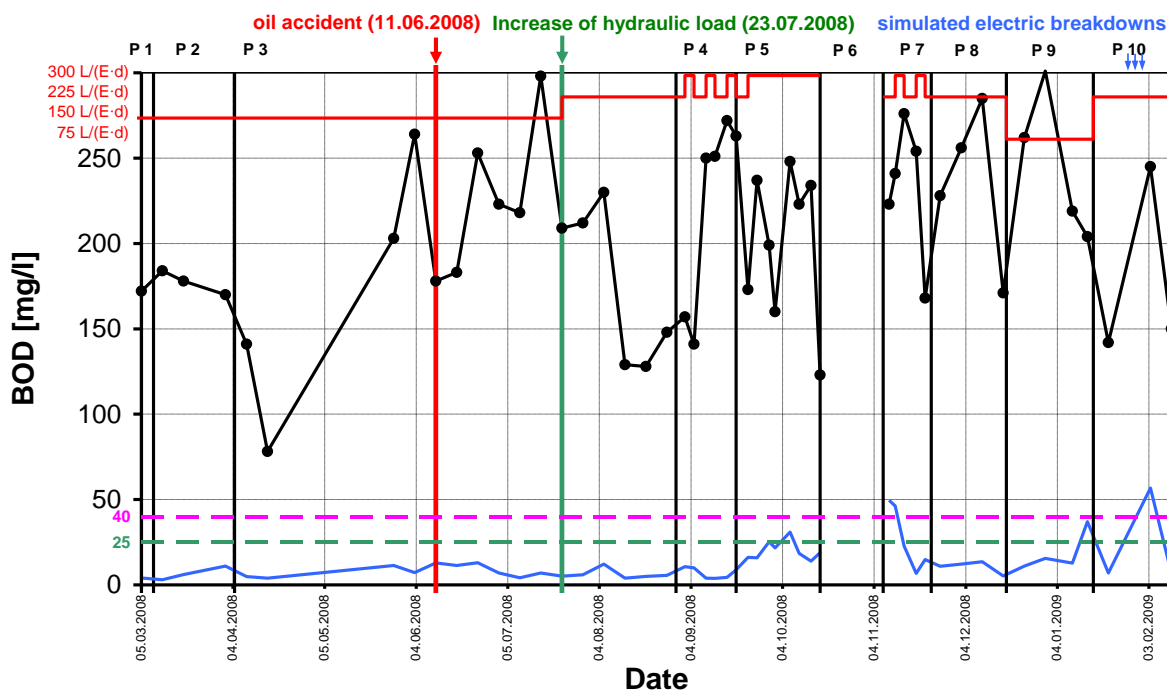


Abbildung 166: Mall SanoClean XL - BOD₅ Zu- und Ablaufganglinien

7.12.5 Stickstoff

Ammonium

Der Verlauf der Ammoniumkonzentration (Abbildung 167) bildet das Verhalten der Nitrifikation ab. Dieser biologische Prozess reagiert sehr sensibel auf Veränderungen in der Prozessführung und kann daher als Indikator für Veränderungen im Anlagensystem herangezogen werden.

Auf Grund der gesteigerten hydraulischen Last von 150 L/(PE-d) auf 225 L/(PE-d) (ab dem 23.07.2008, increase of hydraulic load) stieg die Ammoniumkonzentration im Ablauf von ca. 0 mg/L auf 20 mg/L stark an, obwohl die Temperaturen im höchsten Bereich des gesamten Versuchszeitraums lagen (Mittelwert: 19,7°C für Phase 4). Der betrieblich gemessene Sauerstoffgehalt lag zu diesem Zeitpunkt im Bereich von 1-2 mg O₂/L, was für biologische Prozesse ausreichend sein müsste. Ab der Phase 4 pendelt die Ammoniumkonzentration dann um ca. 40 mg/L, bedingt durch die kürzere Aufenthaltszeit.

Eine nennenswerte Nitrifikation wird aber im restlichen Versuchszeitraum nicht mehr erreicht, was ab Phase 8 auch auf Temperaturen unter 12°C bis zu 5°C zurückgeführt werden kann.

Nach dem 23.07.2008 verläuft die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration ziemlich parallel zur Zulaufkonzentration, und ab Phase 4 findet keine nennenswerte Nitrifikation mehr statt.

Die schlechte Nitrifikation kann also auf die erhöhte hydraulische Belastung und auf die niedrigen Abwassertemperaturen ab Phase 8 zurückgeführt werden.

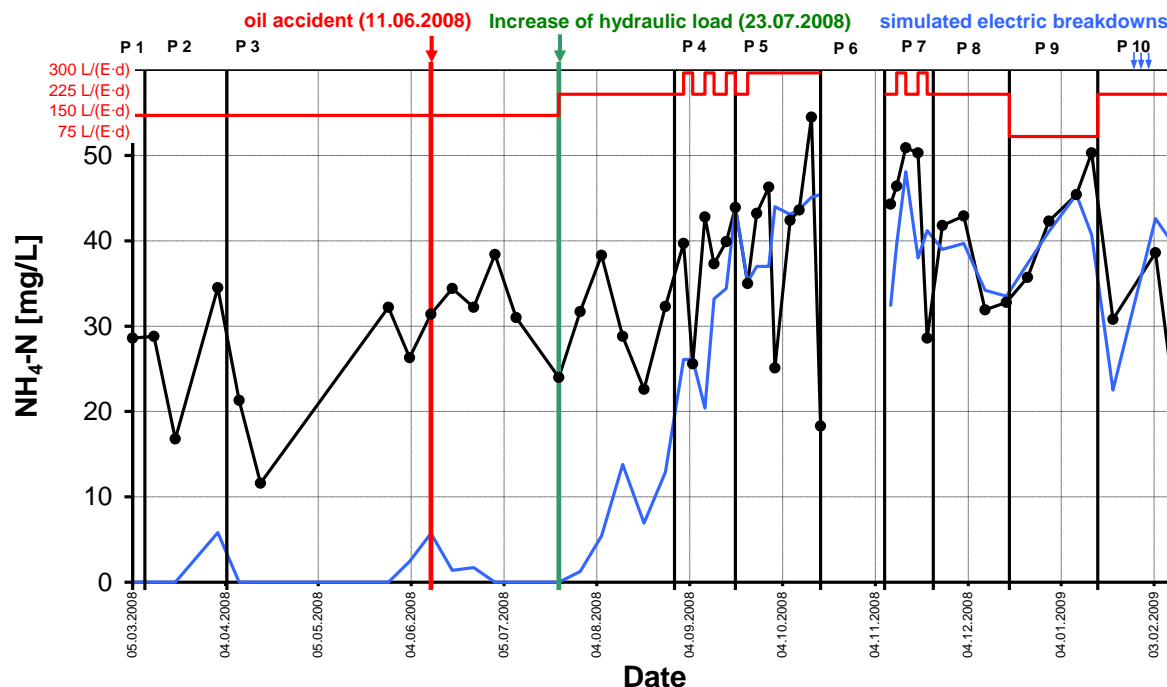


Abbildung 167: Mall SanoClean XL - $\text{NH}_4\text{-N}$ Zu- und Ablaufganglinie

Anorganischer Stickstoff

Die Ganglinie für anorganischen Stickstoff ist im Anhang dokumentiert.

Die Konzentration des anorganischen Stickstoffs nimmt bis zum Ende der 3. Phase Werte von 10-20 mg/L an. Diese Werte liegen 5-10 mg/L unter den Zulaufkonzentrationen und die Ammoniumkonzentration ist in diesen Bereich größtenteils sehr gering, so dass bis dahin eine Teildenitrifikation von ca. 25-75% angenommen werden kann. Erst ab der Phase 4 steigt die Konzentration des anorganischen Stickstoffs auf bis zu 50 mg/L an, um dann auf einem Mittelwert von ca. 40 mg/L zu bleiben und dabei fast auf den Werten der Ammoniumkonzentration um Ablauf zu liegen. Eine nennenswerte Denitrifikation findet demnach nicht mehr statt.

Nach einer Spitze (64,7 mg/L) in Phase 7 (nach der Ruhephase ohne hydraulische Last) normalisiert sich die Ablaufkonzentration in ca. 10-14 Tagen auf das Niveau von ca. 40 mg/L.

7.12.6 Feststoffentnahme

Die Feststoffkonzentration (Abbildung 168) bleibt meistens relativ konstant bei einem sehr geringen Wert von unter 25 mg/L. In Phase 5 (300 L/(E-d)) gibt es zwei Spitzen, die bis auf 50 mg/L ansteigen. Diese Spitzen können mit einem höheren Schlammvolumen in dem betreffenden Zeitraum erklärt werden (bis zu 360 ml/L).

Nach der Ruhephase (Phase 6) sinkt der Maximal-Wert von 93 mg/L in ca. 7 Tagen auf den Normalzustand. Der anfänglich erhöhte Wert ist mit einem teilweisen Ausspülen von Biomasse nach der Ruhephase zu erklären.

In Phase 9 und 10 gab es erneut jeweils eine kurze Überschreitung des Überwachungswertes von 35 mg/L. In Phase 10 kann es an den simulierten Stromausfällen (siehe Kapitel 5.1.1) oder an einer schwer abbaubaren Substanz im Zulauf liegen, die zum Biomasseabsterben und -abtrieb führt, da dieser Peak bei fast allen Anlagen aufgetreten ist und dieser auch im Zulauf bei COD und BOD₅ erkennbar ist (Abbildung 165 und Abbildung 166).

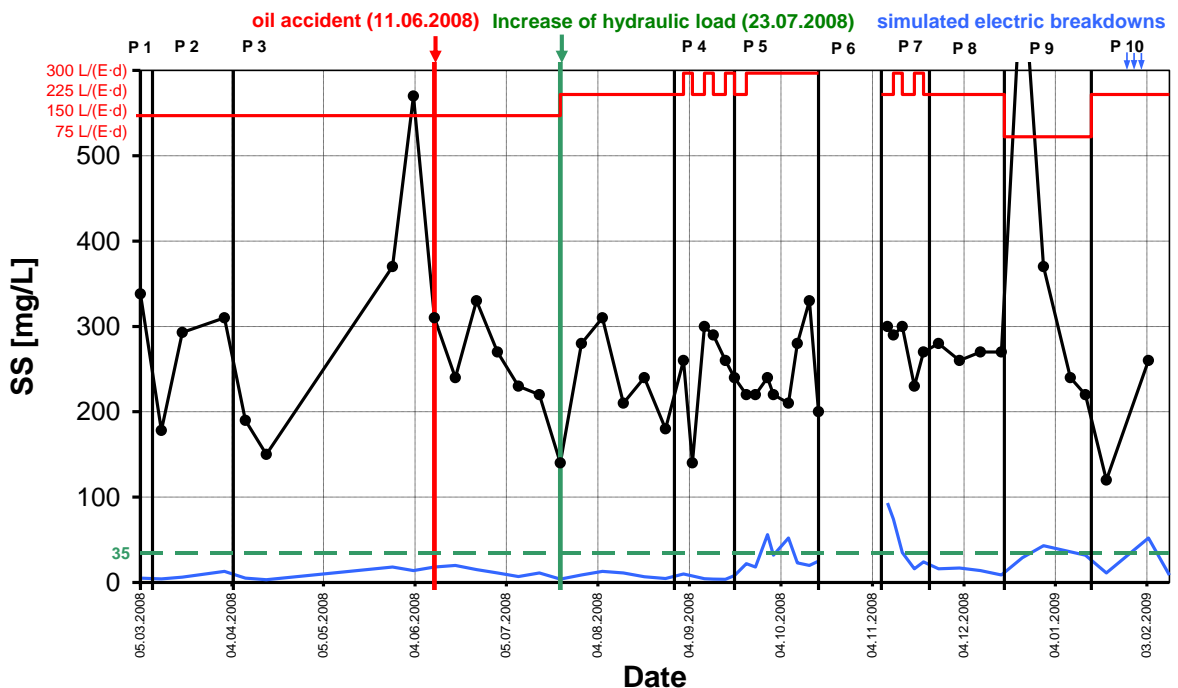


Abbildung 168: Mall SanoClean XL - SS Zu- und Ablaufganglinie

7.12.7 Phosphor

Die Phosphorelimination (Abbildung 169) war gering und über den gesamten Zeitraum unabhängig von der hydraulische Belastung. Der Verlauf ist parallel zur Konzentration im Zulauf, zeigt aber eine meist leichte zeitliche Verzögerung. Die durch Feststoffe hervorgerufen

Spitze von über 10 mg/L nach Phase 6 (ohne hydraulische Last) verringert sich innerhalb von 2 Wochen und es wird ein durchschnittlicher Ablaufwert von ca. 4 mg/L erreicht.

Der Vergleich mit den Werten für Feststoffe (SS) zeigt, dass der Phosphorgehalt im Ablauf direkt mit den Feststoff-Werten in Verbindung steht, da mit den Feststoffen auch der gebundene Phosphor ausgetragen wird. Phosphor wird also nicht abgebaut, sondern im Schlamm „fixiert“ und mit dem Schlamm entfernt.

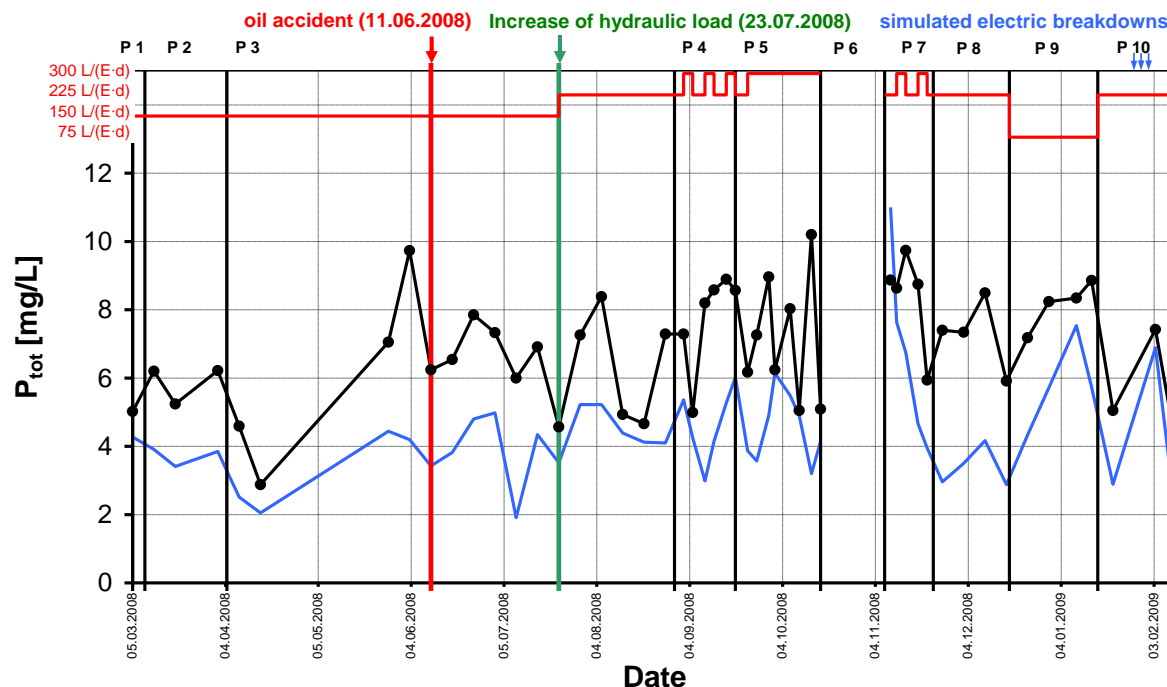


Abbildung 169: Mall SanoClean XL - Phosphor Zu- und Ablaufganglinie

7.12.8 Abbaugrade

Die Abbaugrade (Tabelle 109, Tabelle 110 und Tabelle 111, s. Kap. 2.9) von COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, P_{tot} und SS werden in Prozent angegeben. Negative Werte bedeuten, dass der Zufluss kleiner ist als der Ablauf: In diesem Fall kann eine Rücklösung, Ausspülung oder (Rück-)Umwandlung aus der Biomasse stattgefunden haben. Messfehler sind ebenfalls möglich, wurden aber im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft. Tabelle 110 beinhaltet nur Messwerte der Phasen 1, 2 und 3, in denen die Anlage mit 100% hydraulisch belastet wurde. Tabelle 111 ist nur für die Phase 4, 5 und 7, bei denen die Anlage mit einer hydraulischen Überlast beschickt wurde.

Phosphor wird nicht eliminiert, sondern in der Vorklärung zum Teil abgesetzt sowie in die Biomasse inkorporiert, und dann mit dem Überschussschlamm in die Vorklärung überführt.

Der durchschnittliche Abbaugrad von COD liegt bei 84%, von BOD₅ bei 93%. Die mittlere Elimination von Ammonium liegt bei 34%, von Gesamtstickstoff bei 26% und von Phosphor bei 35%.

Tabelle 109: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P über den gesamten Versuchszeitraum

Mall, Sano Clean XL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
number of samples	50	50	50	49	50	49
mean	84	93	34	26	35	92
median	86	95	22	31	37	95
min.	62	77	-148	-82	-24	69
max.	93	98	100	71	69	99

Tabelle 110: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die 100%-Phasen (Phase 1,2 und 3)

Mall, Sano Clean XL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
number of samples	20	20	20	20	20	20
mean	89	96	90	48	36	96
median	90	97	98	50	37	97
min.	81	93	52	30	11	92
max.	92	98	100	71	68	99

Tabelle 111: Mall SanoClean XL- Abbaugrad in % für COD, BOD₅, NH₄-N, N_{tot}, SS und P für die Überlast-Phasen (Phase 4, 5 und 7)

Mall, Sano Clean XL	η_{COD}	η_{BOD}	$\eta_{\text{NH}_4\text{-N}}$	$\eta_{\text{N-tot}}$	η_{P}	η_{SS}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
number of samples	19	19	19	19	19	19
mean	81	91	-2	10	31	89
median	81	92	11	16	32	92
min.	62	78	-148	-82	-24	69
max.	93	98	52	54	69	99

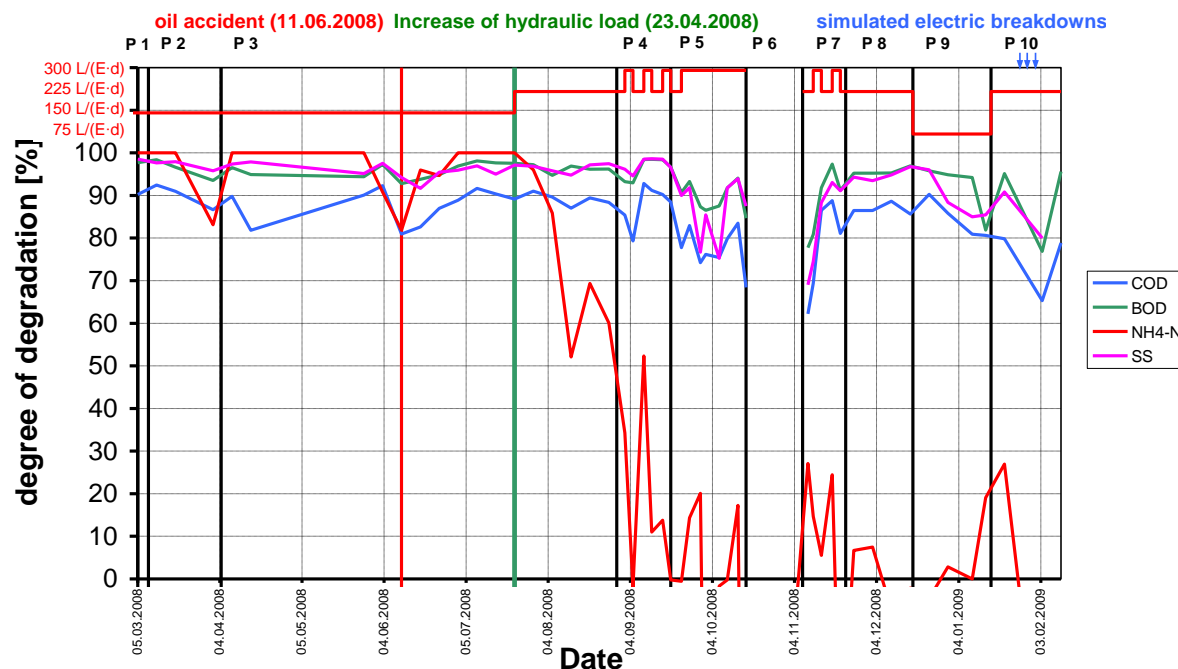


Abbildung 170: Mall SanoClean XL - Ganglinie Abbaugrad COD, BOD₅, NH₄-N, SS

Für die Nominalbelastung ergibt sich ein geringfügig besserer COD-Abbaugrad (89%) als im Gesamtzeitraum (84%), bedingt durch die geringere hydraulische Belastung. Die Abbaugrade in den hydraulischen Überlastphasen sind tendenziell niedriger. Der geringste Wirkungsgrad hinsichtlich der COD-Elimination war nach der Phase 6 (Stillstand) zu registrieren. Die Ganglinien der Abbaugrade (Abbildung 170) zeigen, dass nach der Erhöhung des nominalen Zuflusses von 150 auf 225 L/(PE-d) ein starker Abfall im Abbaugrad bei Ammonium zu verzeichnen ist.

Außerdem ist erkennbar, dass bei Überlast (Phase 5) sowie bei Unterbrechungen (nach Phase 6 und in Phase 10: simulierte Stromausfälle) alle Abbaugrade um ca. 10%-Punkte abnehmen, innerhalb einiger Tage aber wieder auf die durchschnittlichen Werte ansteigen.

Genauere Analysen der Ablaufwerte sind bereits ab Abschnitt 7.12.4 erläutert.

7.12.9 Energieverbrauch

Die Werte für den Energieverbrauch der Anlage (Abbildung 171) werden den unterschiedlichen einwohnerspezifischen hydraulischen Belastungen (no load, 75, 150, 225, 225+300, 300 L/(PE-d)) zugeordnet; die nominale Einwohnerzahl entspricht die der Zulassung (4 PE).

Der durchschnittliche Energieverbrauch wird in kWh/(PE-a) angegeben (s. Kap. 2.3). Da bei Phase 6 (no load) das Ergebnis auf den nominalen Einwohnerwert (4 PE) bezogen wird, kann für andere Belastungen wegen der Quotientenbildung aus gemessenen Energiever-

brauch und angeschlossenen Einwohnerwert auch ein geringerer spezifischer Energieverbrauch entstehen. Der Einwohnerwert liegt bei hohen Belastungen aber häufig über dem nominalen Einwohnerwert, sodass der Energieverbrauch pro Einwohner kleiner wird.

Die Energie wurde nur pauschal für die gesamte Anlage gemessen. Folgende Verbraucher sind hier zu berücksichtigen:

- Beschickungspumpe
- Rückführschlammpumpe
- Klarwasserabzug
- Gebläse

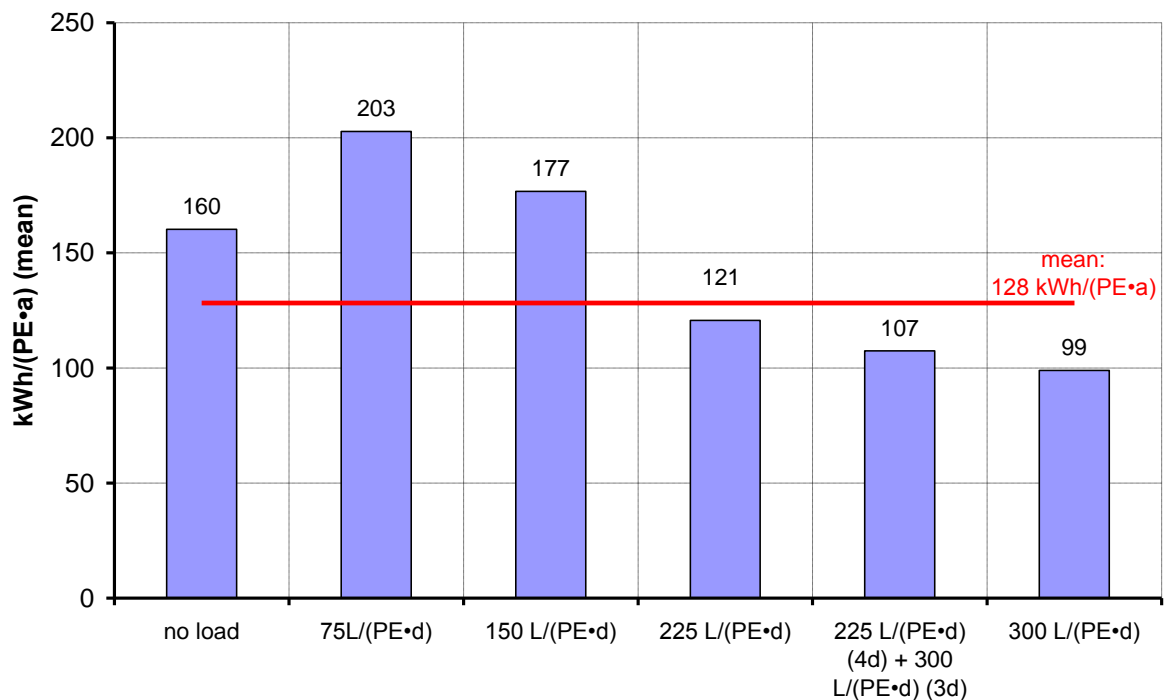


Abbildung 171: Mall SanoClean XL - Energieverbrauch

Der durchschnittliche Energieverbrauch der Anlage über den gesamten Versuchszeitraum beträgt 128 kWh/(PE·a). Nimmt man den durchschnittlichen errechneten Einwohnerwert von 3,4 PE (bezogen auf BOD₅) an (s. Kap. 2.3), ergibt sich einen Verbrauch von 1,2 kWh/d.

Einen einwohnerunabhängigen Verbrauch ergibt sich aus dem Verbrauch der Phase 6 (no load) von 160 kWh/(PE·a) und 4 PE zu 1,8 kWh/d.

7.12.10 Schlamm

Die Schlammmenge wurde über die Schlammhöhe im Behälter und dessen Geometrie bestimmt. Diese Messung ist (abhängig von der Geometrie) relativ ungenau, so dass die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind.

Die Schlammproduktion lag über dem gesamten Versuchszeitraum bei 2,51 m³. Dies entspricht bei einem Trockenrückstand von 32,8 g/L (gemessen) einer Schlammmasse von 82,44 kg.

Die spezifische Schlammmenge bezogen auf die berechnete Ist-Belastung 3,4 PE beträgt 67,2 gTS/E-d.

7.12.11 Betrieb und Wartung

In Abbildung 172 sind alle außergewöhnlichen Ereignisse während des Betriebes der Anlage über den gesamten Zeitraum dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die hydraulische Last und der COD-Zulaufwert ebenfalls dargestellt. Die Ereignisse werden in zeitlicher Reihenfolge gelistet.

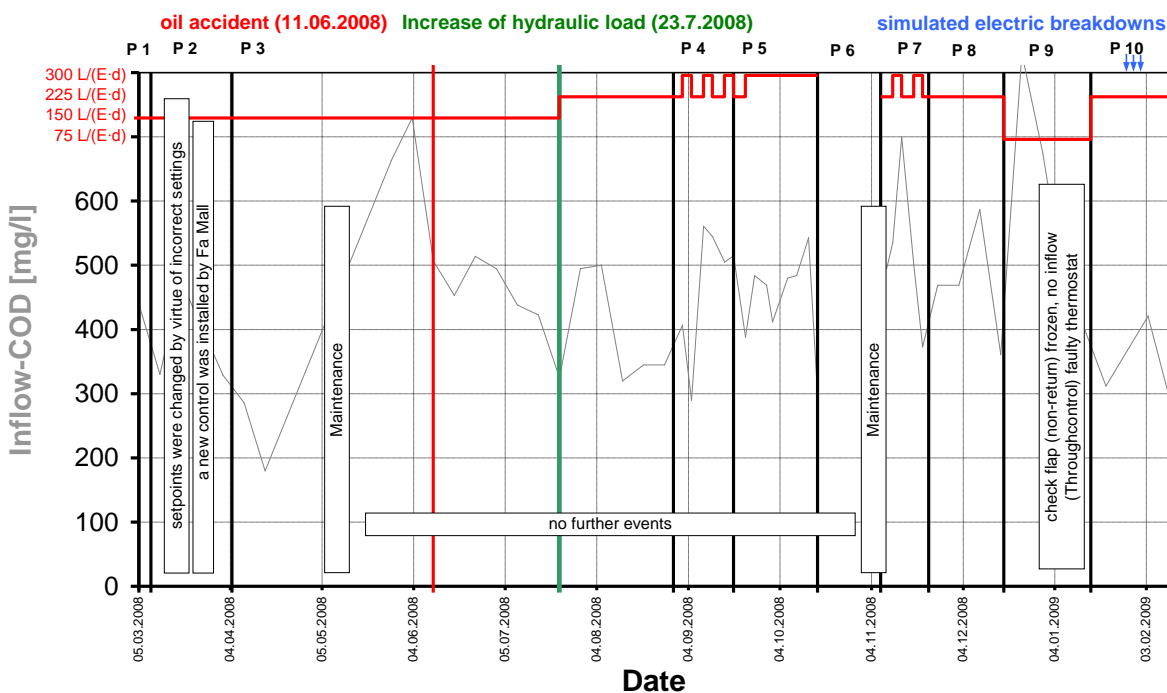


Abbildung 172: Mall SanoClean XL - Auswertung des Zyklentagebuchs

Die Anlage wurde am 9.5. und am 2.11.2008 gewartet.

Der Sollwert wurde aufgrund falscher Einstellung am 20.03.08 geändert. Am 27.03.2008 wurde durch Fa. Mall eine neue Steuerung eingebaut. Aufgrund der Ölhavarie wurde am 11.6.2008 von 8 Uhr bis 18 Uhr der Zufluss abgeschaltet.

Am 06.01.2009 08:00 Uhr bis 07.01.2009 12:00 Uhr war die Rückschlagklappe eingefroren, dadurch gab es keinen Zufluss. Die eingefrorene Rückschlagklappe (non-return check flap) gehört nicht zur Anlage Mall sondern zum Versuchsstand. Dieser Fehler trat außerhalb der Verantwortung der Firma Mall auf.

7.12.12 Mikrobiologische Parameter

Es wurden an drei aufeinander folgenden Tagen Proben genommen und auf gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Intestinale Enterokokken, Salmonellen und Intestinale Nematoden untersucht (s. Kap. 5.4.2). Die Zu- und Ablaufwerte sind in nachfolgender Tabelle 112 dargestellt.

Die Reduktion von gesamtcoliformen Bakterien lag als Mittelwert von drei aufeinander folgenden Tagen bei 1,2 log-Stufen, von fäkalcoliformen Bakterien bei 0,8 log-Stufen, von intestinalen Enterokokken bei 1,3 log-Stufen und von Salmonellen bei 1,6 log-Stufen. Bei Salmonellen hat es am 2.12.2008 eine Zunahme der Salmonellen vom Zu- in den Ablauf gegeben. Dies kann daran liegen, dass die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss der Anlage durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt wurde.

Bei intestinalen Nematoden gab es im Durchschnitt einen Anstieg um 2 Eier/L, an einzelnen Tagen aber auch einen Anstieg, wobei dies eventuell durch eine statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl zu erklären ist. Auch die zeitliche Verzögerung durch den Durchfluss durch die Anlage wurde durch die gleichzeitige Probenahme im Zu- und Ablauf nicht berücksichtigt.

Bei der Reduzierung der fäkalcoliformen Bakterien kann üblicherweise von ein bis zwei log-Stufen je Reinigungsstufe ausgegangen werden (vgl. DWA, 1998), was bei dieser Anlage im Mittel (0,8 log-Stufen) fast erreicht wurde.

Wie erwartet hatte der Ablauf im Bereich der mikrobiologischen Parameter keine Badewasserqualität.

Tabelle 112: Mall SanoClean XL - mikrobiologische Auswertung

Datum		01.12.2008			02.12.2008			03.12.2008			Mittelwert
		[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	[MPN/ mL]	[log]	Δ [log]	Δ [log]
Gesamtcoliforme Bakterien	Zulauf	930.000	5,97	1,82	390.000	5,59	0,96	430.000	5,63	1,00	1,2
	Ablauf	14.000	4,15		43.000	4,63		43.000	4,63		
Fäkalcoliforme Bakterien	Zulauf	150.000	5,18	1,03	240.000	5,38	1,41	73.000	4,86	0,23	0,8
	Ablauf	14.000	4,15		9.300	3,97		43.000	4,63		
Intestinale Enterokokken	Zulauf	43.000	4,63	0,66	93.000	4,97	2,00	93.000	4,97	1,59	1,3
	Ablauf	9.300	3,97		930	2,97		2.400	3,38		
Salmonellen	Zulauf	2.100	3,32	1,86	750	2,88	-0,17	46.000	4,66	3,23	1,6
	Ablauf	29	1,46		> 1.100	3,04		27	1,43		
		[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	[Eier/L]		Δ [Eier]	Δ [Eier]
Intestinale Nematoden	Zulauf	<1		-3	13 ¹⁾		12	<1		-3	2
	Ablauf	3 ¹⁾			1			3 ¹⁾			

1) statistische Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl der Eier

"< 1" wird zu Null angenommen

">1.100" wird zu 1.100 angenommen

7.12.13 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben verschiedener Berichte und aus der Literatur

Chemischer Sauerstoffbedarf

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.15.9 liegt der COD in einer Stichprobe unter 75 mg/L (laut DIBt in Tabelle 2 maximal 90 mg/L für Stichprobe aber max. 75 mg/L für eine Mischprobe). Die 75-mg/L-Konzentration wurde in 64% aller Messungen unterschritten, die 90 mg/L in 78%. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 75 mg/L in 90 %, der Wert von 90 mg/L in 95% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 65 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum (trotz verschärften Bedingungen) von 70 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 143 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 70 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 26 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 50 mg/L, also weniger als diese Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 1.087 mg/L (223 mg/L - 2.128 mg/L) bei 135 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen eine mittleren Ablaufwert von 43,8 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 70 mg/L.

Nach BOLLER 2004 erreichten 136 SBR-Anlagen mit 249 Messwerten einen mittleren Ablaufwert von 102 mg/L, was weit über dem Wert dieser Anlage mit 70 mg/L liegt.

Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.15.9 liegt die BOD₅-Konzentration in einer Mischprobe unter 15 mg/L (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 15-mg/L-Konzentration wurde in 74% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 12 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was in etwa dem Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 14 mg/L entspricht.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 22 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 14 mg/L knapp unter diesem Durchschnitt.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 10 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 11 mg/L. Dies entspricht in etwa dem mittleren Ablaufwert dieser Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 598 mg/L (160 mg/L - 960 mg/L) bei 136 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen einen mittleren Ablaufwert von 4,3 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 14 mg/L.

Ammonium

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.15.9 liegt die Ammoniumkonzentration in einer Mischprobe unter 10 mg/L (entspricht der DIBt Tabelle 2). Die 10-mg/L-Konzentration wurde in 36% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 15 mg/L in 90% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA mit Stickstoffelimination auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 5 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase. In dieser Phase (Phase 1 bis 3 bis zum 23.7.2008) liegt diese Anlage noch unter diesem Mittelwert bei ca. 3 mg/L. Erst über den Gesamtzeitraum liegt die Konzentration mit einer mittleren Ablaufkonzentration von 23,7 mg/L weit über diesem Durchschnitt.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen im Praxisbetrieb nach STRAUB 2008 liegt bei 21 mg/L, d.h. diese Anlage liegt leicht über diesem Durchschnitt (Mittelwert von 23,7 mg/L), wobei bei dieser Anlage auch Messwerte mit Wassertemperaturen unter 12°C herangezogen wurden (vgl. STRAUB 2008).

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE, 20 Messungen) einen mittleren Ablaufwert von 1 mg/L, also wesentlich weniger als bei dieser Anlage. Im Dorf Mecklenburg lag die Zulaufkonzentration im Mittel bei 72 mg/L (24 mg/L - 114 mg/L) bei 137 Messungen.

Nach FLASCHE 2002 erreichten 15 SBR-Anlagen einen mittleren Ablaufwert von 2,8 mg/L, was deutlich niedriger liegt als der Mittelwert dieser Anlage von 23,7 mg/L.

Abfiltrierbare Stoffe

Laut Herstellerangaben in Kap. 4.15.9 sollte die Feststoffkonzentration (SS) in einer Stichprobe unter 50 mg/L liegen (entspricht der DIBt in Tabelle 2). Die 50-mg/L-Konzentration wurde in 90% aller Messungen unterschritten. Bezogen auf die Nominalbelastungsphasen 1, 2, und 3 wurde der Herstellerzielwert von 50 mg/L in 100% unterschritten.

Der Vergleichswert von 51 KKA auf dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt bei ca. 25 mg/L als Mittelwert in der 100% Phase, was sogar höher liegt als der Mittelwert dieser Anlage über den Gesamtzeitraum von 20 mg/L. Für die 100%-Phasen 1-3 ergibt sich ein mittlerer Ablaufwert von 10 mg/L.

Der durchschnittliche Ablaufwert von SBR-Anlagen nach STRAUB 2008 liegt bei 57 mg/L, d.h. diese Anlage liegt mit einem Mittelwert von 20 mg/L weit unter diesem Durchschnitt.

Aus der Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) gibt es keinen Messwert für abfiltrierbare Stoffe.

Simulierte Stromausfälle

Die Erhöhung der Ablaufkonzentration im Bereich der Stromausfälle (Abbildung 165, Abbildung 166, Abbildung 167 und Abbildung 168) kann sich trotz erhöhtem Zulaufwert oder durch schwer abbaubare Stoffe im Zulauf auch durch die Stromausfälle selbst erklären. Dies zeigt sich im Vergleich zur Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), da bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Energieverbrauch

Der ermittelte Energieverbrauch liegt bei 1,2 kWh/d und entspricht damit in etwa den Herstellerangaben mit einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1,1 kWh/d. Der durchschnittliche Verbrauch aus dem Prüffeld PIA in Aachen (DORGELOH 2008) liegt für 23 SBR-Anlagen bei 0,25 kWh/(PE·d), also etwas niedriger als die ermittelten Durchschnittswerte von 0,35 kWh/(PE·d) für diese Anlage. Die Bandbreite des Verbrauchs der Anlagen auf dem Prüffeld PIA in Aachen reicht dabei von ca. 0,1 kWh/(PE·d) bis zu 0,75 kWh/(PE·d), diese Anlage liegt also im Mittelfeld.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) hatte die dortige SBR-Anlage (6 PE) einen Energieverbrauch von 96 kWh/(PE·a). Dies entspricht 1,6 kWh/d, also etwas mehr als der Energieverbrauch dieser Anlage.

Schlamm

Aus DWA, 2003 war ein spezifischer Schlammanfall von ca. 70 gTR/(PE-d) zu erwarten. Der hier ermittelte Wert aus der errechneten IST-Belastung 67,2 g/(PE-d) zeigt, dass die Belastung des Abwassers unter der zu erwartenden Belastung lag. Dies kann daran liegen, dass die Zulauf-Fracht geringer war und/oder dass eine erhöhte Mineralisierung stattgefunden hat, d.h. mehr Biomasse als üblich wurde umgewandelt und als CO₂ abgegeben wird.

Mikrobiologische Parameter

Diese Anlage erreichte Ablaufwerte von knapp 10.000 bis 43.000 fäkalcoliformen Keimen pro 100 ml. Dies liegt im Bereich der Untersuchung von STRAUB ET AL. 2008 von 32.000 Keimen als Mittelwert pro 100 ml für SBR-Anlagen, der Minimalwert lag dabei bei 93, der Maximalwert bei 120.000 Keimen pro 100 ml. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche log-Reduktion von 0,8 log-Stufen. Dies liegt deutlich unter der log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach STRAUB ET AL. 2008.

Aus einer Versuchsreihe im Dorf Mecklenburg (JIROUDI 2005) erreichte die dortige SBR-Anlage (6 PE) eine gesamtcoliforme Belastung von $3,65 \cdot 10^6/100$ mL, eine fäkalcoliforme Belastung von $1,83 \cdot 10^6/100$ ml im Ablauf, also wesentlich höhere Werte als in dieser Anlage gemessen wurden. Diese Anlage erreichte eine durchschnittliche fäkalcoliforme log-Reduktion von 1,2 log-Stufen. Dies liegt unter der fäkalcoliformen log-Reduktion von 1,5 log-Stufen nach JIROUDI 2005.

7.12.14 Zusammenfassung

Die Anlage wurde im gesamten Versuchszeitraum mit einer Belastung von 3,4 PE betrieben. Die COD-Ablaufwerte (Mittelwert von 70 mg/L) konnten auch in dem Zeitraum mit 200% hydraulischer Beschickung mit Ausnahme von 2 Messwerten unter 150 mg/L und mit Ausnahme von 3 Messwerten unter 125 mg/L gehalten werden. Lediglich nach der Phase ohne Belastung (no load) traten erhöhte Werte beim Anfahren der Anlage auf.

Die Feststoffablaufwerte (Mittelwert von 19,9 mg/L) lagen überwiegend unter 35 mg/L. Im Abschnitt mit 200 % hydraulischer Beschickung kam es allerdings zweimal zu Ablaufwerten von ca. 50 mg/L und auch beim Anfahren nach der Phase ohne Belastung war ein erhöhter Feststoffablaufwert zu registrieren.

Insgesamt konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung festgestellt werden. Störungen traten während des Untersuchungszeitraumes nicht auf.

Der Stromverbrauch entspricht den Angaben des Herstellers.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Alle auf dem europäischen Markt verfügbaren Kleinkläranlagensysteme müssen der EU-Zertifizierung EN 12566-3 entsprechen, die einen Mindeststandard bezüglich Betriebssicherheit und Reinigungsleistung garantiert. Darüber hinaus müssen je nach nationalen oder regionalen Vorgaben zusätzliche Richtlinien beachtet werden. Diese Mindestanforderungen liefern aber nur wenige Informationen über Effizienz, Betriebszuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit im realen Betrieb der sehr unterschiedlichem Grad der Technologisierung am Markt verfügbaren Kleinkläranlantypen, was aber gerade für Kunden und auch für die Anbieter von Abwasserdienstleistungen von hohem Interesse ist. Insbesondere für die Veolia Wasser-Gruppe sind die Ergebnisse von großer Bedeutung, da Bürger gern auf die Fachkompetenz und die unabhängige Beratung der regionalen Unternehmen der Veolia Wasser zurückgreifen. Von der Beratung über die Planung, den Bau oder Ausbau der Anlagen, die Inbetriebnahme, die Wartung bis hin zur Unterstützung bei der Finanzierung und Förderung der Anlagen werden Dienstleistungen angeboten.

Mit Durchführung der Studie COMPAS wurde ein erster Schritt getan, diese Lücke zu schließen. Die vor Ort in Leipzig auf dem Demonstrationsfeld des BDZ installierten Anlagen repräsentieren die breite Vielfalt an technischen Lösungen des europäischen Marktes für Kleinkläranlagen, darunter Anlagen mit sessiler Biomasse, verschiedene Ausführungen von Bodenfiltern, suspendierter Biomasse als Membranverfahren und SBR-Technik. Im Rahmen der Studie COMPAS wurden diese unter realitätsnahen Betriebsbedingungen, die über die Anforderungen der Bauartenzulassungsverfahren und EU-Zertifizierung hinausgehen, verglichen und evaluiert. Als Ergänzung zu den Vorgaben der EN 12566-3 wurde das Versuchsprogramm um erhöhte Betriebsanforderungen erweitert, um so besondere örtliche Randbedingungen, wie sie häufig in französischen Einfamilienhaushalten identifiziert wurden, simulieren zu können. Regelmäßige Badewannenablässe, genauso wie Zusatzbelastungen durch Gäste, aber auch Urlaubsleerlauf und Stromausfälle wurden so durch Anpassung der Prüfphasen berücksichtigt. Diese Situation ist untypisch für deutsche Randbedingungen beim Einsatz von Kleinkläranlagen, bei dem sich aufgrund des wassersparenden Betriebs hohe Konzentrationen und ein geringer spezifischer Abwasseranfall ergeben.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Kleinkläranlagensysteme wurde eine möglichst große Bandbreite der am Deutschen und Europäischen Markt eingesetzten Verfahren berücksichtigt. Die meisten der ausgewählten Kleinkläranlagen waren zu Demonstrationszwecken vorinstalliert, so dass eine besondere technische Anpassung an die geplanten speziellen Versuchsbedingungen nur sehr eingeschränkt erfolgen konnte. Zwei Anlagen wurden zusätzlich in noch freie Demo-Boxen eingebaut. Die Studie liefert Informationen zu den Leistungsmerkmalen der unterschiedlichen Technologien hinsichtlich Reinigungsleistung, Ab-

laufwerte, Betriebs- und Wartungsaufwand, Betriebsstabilität, Schlammanfall, Energiebedarf etc.. Aus diesen Daten können möglichst verlässliche Kleinkläranlagetypen ermittelt werden.

Da die Zulaufkonzentrationen während des Versuchsprogramms im unteren Bereich des „europäischen Normabwassers“ nach EN 12566, Teil 3 lagen, wurde zur Erhöhung der nominalen Fracht eine Anhebung der hydraulischen Last auf 150 % veranlasst. Die Kennwerte, die sich aus dem Verhältnis COD zu Konzentrationen anderer Parameter ergeben, entsprechen in etwa den üblichen Relationen.

Neben der wöchentlichen Analyse von chemische/physikalischen Parametern im Zu- und Ablauf der Kläranlagen wurden auch drei Proben zur mikrobiologischen Untersuchung genommen, um die Leistung bezüglich der Abwasserdesinfektion zu bestimmen. Ebenfalls wurden alle Betriebsdaten aufgezeichnet.

Es zeigt sich, dass unterschiedliche Systeme in den jeweiligen Testabschnitten die geringsten Ablaufwerte aufweisen. Bei erhöhter hydraulischer Beaufschlagung erreichten nicht alle Anlagen einen stabilen Betrieb, was allerdings durch zusätzliche Vorspeicher bzw. vergrößerte Nachklärungen verbessert werden könnte.

In Betriebssituationen mit simulierten Stromausfällen kam es bei fast allen Anlagen temporär zu erhöhten Ablaufwerten, für die keine eindeutige plausible Erklärung gefunden werden konnte. Ähnliche Phänomene zeigten sich auch in der Studie in Nantes (VIGNOLES, CAUCHI, 2009), wo bei den dort simulierten Stromausfällen ein ähnlicher Peak in (fast) allen Anlagen aufgetreten ist, unabhängig davon, ob die Anlagen überhaupt Strom benötigten. Auch bei den Untersuchungen in Nantes konnte keine plausible Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Eine ausgezeichnete Badegewässerqualität für Küstengewässer und Übergangsgewässer bezogen auf die Parameter „Intestinale Enterokokken“ und „Escherichia coli“ konnte nur bei den Ablaufproben von Anlagen mit gezielter Hygienisierung erzielt werden.

Mit einem Überblick zum Betriebsverhalten von unterschiedlichen technischen Lösungen der Abwasserbehandlung mit Kleinkläranlagen kann diese Studie einen Beitrag zur weiteren Etablierung von Kleinkläranlagen als dauerhafte Lösung der dezentralen Abwasserentsorgung im ländlichen Raum liefern.

Für das weitere Vorgehen empfiehlt es sich, ein ergänzendes Versuchsprogramm durchzuführen, das auch weitere vor allem in Deutschland auftretende Randbedingungen berücksichtigt, wie:

- Extreme Unterlast (z.B. Verhalten bei einem Einwohnerwert)
- Ferienwohnungsbetrieb (Lastwechsel, Sommer- Winterhalbjahr)
- Einleitung von Desinfektionsmitteln
- Einleitung von Haushaltsreinigern
- Verhalten bei Medikamentenbelastung

Kapitel 9

Literatur

- AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2006 Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG
- BOLLER 2004 Boller, R., 2004, Betriebsstörungen von marktüblichen Kleinkläranlagen, 5. Rostocker Abwassertage, 4.-5. Oktober 2004
- DIBT 2006 Deutsches Institut für Bautechnik, Anstalt des öffentlichen Rechts, Zulassungsgrundsätze für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen (Stand Dezember 2006)
- DORGELOH 2008 DORGELOH Dr.-Ing. E., Kleinkläranlagen für Europa, Ergebnisse PIA Aachen In: PROF. DR.-ING. PINNEKAMP, J., 2. Aachener Kongress / Dezentrale Infrastruktur. GWA215
- DWA, 1991 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., ATV-Arbeitsblatt 122: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlußwerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten, Juni 1991
- DWA, 1998 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., ATV-Merkblatt 205: Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser, Juli 1998
- DWA, 2003 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., ATV-Merkblatt-368: Biologische Stabilisierung von Klärschlamm, April 2003 (siehe Tabelle 113, Anhang C)
- DWA, 2008 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 20. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2007, Hennef 2008
- DWA, 2009 in Bearbeitung Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 21. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2008, 2009 in Bearbeitung
- FLASCHE 2002 FLASCHE, K., 2002: Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit von Kleinkläranlagen, Veröffentlichung der ISAH Hannover, Heft 120, 2002

- HAHN ET AL., 2009 Helmut Hahn, Stefan H. E. Kaufmann, Thomas F. Schulz und Sebastian Suerbaum, Springer-Lehrbuch, Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, 6., komplett überarbeitete Auflage, 10.1007/978-3-540-46362-7 86, März 2009
- HEBST 2008 HERBST, H.B., 2008, Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme, GWA 213
- HÜLS 2008 HÜLS, R., 2008: Zentrale Qualitätssicherung für den Betrieb dezentraler Anlagen. In: PROF. DR.-ING. PINNEKAMP, J., 2. Aachener Kongress / Dezentrale Infrastruktur. GWA215
- IDUS, 2008 IDUS Biologisch Analytisches Umweltlabor GmbH, Kurzbericht: „Quantitativer Nachweis von Wurmeiern in Abwasserproben“, Leipzig 2008
- JIROUDI 2005 JIROUDI, D.A., 2005, Vor-Ort-Vergleich von technischen und naturnahen Kleinkläranlagen bei gleichen Untersuchungsbedingungen. Dissertation der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock
- MEEDDM (FRENCH MINISTRY OF ECOLOGY), 2007 Arrêté du 22/06/07 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO5
- PIA, 2005 Temperaturuntersuchungen in Kleinkläranlagen, Forschungsvorhaben des Landes NRW, Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik, RWTH Aachen 2005
- POPP, W. 2000 Abwasserdesinfektion – Grundlagen und gesetzliche Vorgaben, ATV-DVWK Seminar 2050/2000: „Weitergehende Abwasserreinigung“ 30./31.08.2000 in Münster
- STRAUB 2008 STRAUB, A., 2008, Einfache Messmethoden zur Charakterisierung sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit biologischer Kleinkläranlagen. Dissertation von der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
- STRAUB ET AL. 2008 STRAUB, A., ILIAN, J., ESCHENHAGEN, M., BERGMANN, M., RÖSKE, I., Nutzung biologisch gereinigter Abwässer aus Kleinkläranlagen für Bewässerungszwecke. In: DWA Landesverband Sachsen/Thüringen (Hrsg.), Jahrbuch Kleinkläranlagen 2009
- Vignoles, Cauchi, persönliche Information bezüglich der Studie bei CSTB, Nan-

2009	tes
UIS, 2009	UIS Umweltinstitut synlab GmbH, Kurzbericht: „Untersuchung der mikrobiellen Belastung von Kleinkläranlagen“, Leipzig 2009
WHO, 2004	WHO World Health Organization, Auszug aus WHO (1989) in Cornel (2004): „Empfohlene mikrobiologische Qualitätsrichtlinien für die Verwendung von gereinigtem Abwasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft, Tabelle.

Anhang A

Einzugsgebiet KA Leutzsch



Abbildung 173: Einzugsgebiet KA Leutzsch

Anhang B

Tabellarische Auflistung der Ergebnisse

Siehe anliegende CD-ROM.

1. AFS- bzw. BSB₅-Frachten im Rohabwasser werden mit typischen Werten von 70 g TR/(E·d) bzw. 60 g BSB₅/(E·d) angesetzt.
- 1a) Typische Eliminationsraten: $\Delta\text{AFS} = 43\%$, $\Delta\text{BSB}_5 = 16,7\%$
- 1b) Typische Eliminationsraten: $\Delta\text{AFS} = 50\%$, $\Delta\text{BSB}_5 = 25,0\%$
- 1c) Typische Eliminationsraten: $\Delta\text{AFS} = 57\%$, $\Delta\text{BSB}_5 = 33,3\%$
2. Bei einer Bemessungstemperatur von 10 °C nimmt die Überschussschlammproduktion um rund 4 % zu.
3. Bei einer Bemessungstemperatur von 10 °C nimmt die Überschussschlammproduktion um rund 5,5 % zu.
4. Bei einer Bemessungstemperatur von 10 °C nimmt die Überschussschlammproduktion um rund 6 % zu.
5. Die mit externen C-Quellen zu denitrifizierende NO₃-N-Fracht $\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ wird mit 8 g/(E·d) angesetzt (z.B. nach vollständiger Nitrifikation); bei geringeren $\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten verringert sich der Überschussschlammanteil anteilmäßig.
6. Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Ablauf der Nachklärung wird mit TSE = 20 mg/l angesetzt.
7. Die mit Bio-P zu eliminierende P-Fracht $\Delta\text{PBIO-P}$ wird unter Berücksichtigung einer P-Zulauf fracht von 1,8 g/(E·d), der P-Elimination in der Vorklärung von ca. 0,25 g/(E·d) ($t_{\text{A,VK}} = 1,0\text{ h}$; $P_{\text{K,PS}} = 0,7\%$), der P-Inkorporation in Überschussschlamm ($t_{\text{TS}} = 15\text{ d}$; $P_{\text{K,US}} = 1,7\%$) von rund 0,59 g/(E·d), einer Abauf fracht von 0,2 g P g/(E·d) mit 0,96 g P/(E·d) angesetzt.
8. Die P_{ges}-Fracht im Zulauf der biologischen Stufe wird unter Berücksichtigung einer P-Zulauf fracht von 1,8 g/(E·d), der P-Elimination in der Vorklärung von ca. 0,25 g/(E·d) und durch Inkorporation in den biologischen Überschussschlamm von rund 0,59 g/(E·d) = 1,16 g/(E·d) angesetzt.