



lebensministerium.at

Endbericht

zur 3. Stufe des Forschungsprojekts **BEPFLANZTE BODENFILTER**

August 2009



lebensministerium.at

I M P R E S S U M

Medieninhaber und Herausgeber:

Lebensministerium

Stubenring, A-1012 Wien

Verfasser:

ÖKOREAL

**Gesellschaft für Ökologieprojekte m.b.H.
Forschung & Entwicklung**



Carl Reichert-Gasse 28, A-1170 Wien

Tel.: +43 1 480 50 10-0

Fax.: +43 1 480 50 10-99

Email: office@rohrhofer.at

Wissenschaftliche Begleitung:

Universität für Bodenkultur, Wien

Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)



Muthgasse 18, A-1190 Wien

Tel.: +43 1 36006 5800

Fax.: +43 1 3689949

www: <http://www.wau.boku.ac.at/sig.html>

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG IN DAS PROJEKT	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND PROJEKTZIEL.....	1
1.2	ZIELE UND ERKENNTNISSE DER 1. UND 2. PROJEKTSTUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	2
1.3	ZIELE DER 3. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	5
1.4	PROJEKTTEAM	6
1.5	PROJEKTÜBERBLICK	6
2	VERSUCHSANLAGE, VERSUCHSBETRIEB UND METHODIK	7
2.1	AUFBAU DER VERSUCHSANLAGE.....	7
2.1.1	<i>Abwasserzuleitung</i>	8
2.1.2	<i>Mechanische Vorreinigung der Versuchsanlage</i>	8
2.1.3	<i>Abwasserbeschickung</i>	9
2.1.4	<i>Bodenfilter BF1</i>	9
2.1.5	<i>Bodenfilter BF2</i>	10
2.1.6	<i>Bodenfilter BF3</i>	11
2.1.7	<i>Abwasserableitung</i>	12
2.2	ONLINE MESSUNGEN	13
2.3	BERECHNUNG DER BESCHICKUNGSMENGEN.....	13
2.4	VERSUCHSPROGRAMM.....	14
2.4.1	<i>Allgemeine Beschreibung</i>	14
2.4.2	<i>Tagesgang nach ÖNORM EN 12556-3</i>	14
2.4.3	<i>Versuchsablauf nach ÖNORM EN 12566-3</i>	16
2.5	ANALYSEN	19
2.5.1	<i>Durchgeführte Analysen</i>	19
2.5.2	<i>Vergleich der Analysemethoden</i>	20
2.6	DOKUMENTATION DER RANDBEDINGUNGEN.....	21
2.7	DATENANALYSE UND DATENAUSWERTUNG.....	21
3	ERGEBNISSE.....	22
3.1	VORBEMERKUNGEN	22
3.2	ZULAUFKONZENTRATIONEN UND FLÄCHENBELASTUNGEN.....	22
3.3	ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN.....	25
3.3.1	<i>Diagramme der Zu- und Ablaufkonzentrationen</i>	25
3.3.2	<i>Vergleich der Reinigungsleistung der 1-stufigen und 2-stufigen Bodenfilter bei Nominalbelastung</i>	31
3.4	ERGEBNIS DER KLEINKLÄRANLAGENPRÜFUNG GEMÄß ÖNORM EN 12566-3.....	33
3.4.1	<i>48-wöchiger Prüfbetrieb (31. März – 22. Dezember 2008)</i>	33
3.4.2	<i>Detailbetrachtung der einzelnen Prüfabschnitte</i>	39
3.4.3	<i>Zusätzliche Prüfabschnitte (26. Jänner – 2. März 2009)</i>	44
3.5	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE BODENFILTER BF3.....	49
3.6	BETRIEBSSICHERHEIT VON BODENFILTERN.....	52
3.6.1	<i>Probleme während des Betriebs</i>	52
3.6.2	<i>Infiltrationsleistung</i>	53
3.6.3	<i>Substratkolmation</i>	57
4	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	65
4.1	2-STUFIGER BODENFILTER VS. 1-STUFIGER BODENFILTER	65
4.1.1	<i>Normalbelastung</i>	65
4.1.2	<i>Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3</i>	65
4.1.3	<i>Stickstoffelimination</i>	66

4.2	VERGLEICH VON BODENFILTERN MIT KONVENTIONELLEN KLEINKLÄRANLAGEN	67
4.2.1	<i>Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3</i>	67
4.2.2	<i>Kostenvergleich</i>	67
4.2.3	<i>Betriebssicherheit</i>	69
4.3	KOLMATIONSGEFAHR BEI BODENFILTERN	69
4.3.1	<i>Ursachen der Kolmation</i>	69
4.3.2	<i>Einfluss der mechanischen Vorreinigung</i>	70
4.4	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERE FRAGESTELLUNGEN.....	72
5	ZUSAMMENFASSUNG	73
6	LITERATUR	76
7	ANLAGEN	77
	ANLAGE 1	78
	ANLAGE 2	83
	ANLAGE 3	107

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHER AUFBAU DER BODENFILTER IN ERNSTHOFEN WÄHREND DER 1. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	2
ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHER AUFBAU DER BODENFILTER IN ERNSTHOFEN WÄHREND DER 2. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	3
ABBILDUNG 1: LAGEPLAN DER FORSCHUNGSANLAGE „BEPFLANZTE BODENFILTER“ IN ERNSTHOFEN	7
ABBILDUNG 4: SCHEMATISCHER AUFBAU DER BODENFILTER IN ERNSTHOFEN WÄHREND DER 3. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS	8
ABBILDUNG 2: ERRICHTUNG DER 3-KAMMER-ABSETZANLAGE.....	8
ABBILDUNG 3: DRITTE KAMMER DER 3-KAMMER-ABSETZANLAGE MIT DEN 3 BESCHICKUNGSPUMPEN	8
ABBILDUNG 4: ZUSTAND DER VERSUCHSANLAGE IM SOMMER 2008 (BF1 LINKS, BF2 MITTE UND BF3 RECHTS)	12
ABBILDUNG 5: ABLAUFWIPPE IM ABWASSERPUMPSCHACHT	13
ABBILDUNG 6: TAGESGANGLINIE NACH ÖNORM EN 12556-3 (2005)	15
ABBILDUNG 7: BERECHNUNG DER BESCHICKUNGSZEITEN FÜR BODENFILTER BF2.....	15
ABBILDUNG 8: BERECHNUNG DER BESCHICKUNGSZEITEN FÜR BODENFILTER BF1 UND BF3.....	16
ABBILDUNG 9: BESCHICKUNGSINTENSITÄT VON BF1 UND BF2 WÄHREND DER KLEINKLÄRANLAGENPRÜFUNG NACH ÖNORM EN 12566-3 (2005).....	18
ABBILDUNG 10: TÄGLICHE ZULAUFMENGE ZUR ARA ERNSTHOFEN SOWIE CSB-ZULAUFKONZENTRATIONEN ZUR ARA ERNSTHOFEN UND ZU DEN BODENFILTERN	22
ABBILDUNG 11: CSB-FRACHTEN (<i>DIMENSIONIERUNGSFRACHT 20 G CSB/M²/D FÜR BODENFILTER BF2 BZW. 40 G CSB/M²/D FÜR BODENFILTER BF1 UND BF3</i>)	24
ABBILDUNG 12: SPEZIFISCHE FLÄCHENBELASTUNGEN DER BODENFILTER. (VGL. DIMENSIONIERUNGSWERTE 4 M ² /EW _{CSB} FÜR BODENFILTER BF2 BZW. 2 M ² /EW _{CSB} FÜR BODENFILTER BF1 UND BF3).....	24
ABBILDUNG 13: BSB ₅ – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN.....	26
ABBILDUNG 14: CSB – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	26
ABBILDUNG 15: NH ₄ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	27
ABBILDUNG 16: NO ₂ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	27
ABBILDUNG 17: NO ₃ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	28
ABBILDUNG 18: N _{GES} – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	28
ABBILDUNG 19: PO ₄ -P – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	29
ABBILDUNG 20: P _{GES} – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN	29
ABBILDUNG 21: TEMPERATUR IM ZU- UND ABLAUF	30
ABBILDUNG 22: CSB-FRACHTEN IM ZULAUF WÄHREND DER PRÜFFHASE (<i>DIMENSIONIERUNGSFRACHT 20 G CSB/M²/D FÜR BODENFILTER BF2 BZW. 40 G CSB/M²/D FÜR BODENFILTER BF1</i>).....	34
ABBILDUNG 23: SPEZIFISCHE FLÄCHENBELASTUNGEN DER BODENFILTER WÄHREND DER PRÜFFHASE (VGL. DIMENSIONIERUNGSWERTE 4 M ² /EW _{CSB} FÜR BODENFILTER BF2 BZW. 2 M ² /EW _{CSB} FÜR BODENFILTER BF1)	34
ABBILDUNG 24: BSB ₅ – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	35
ABBILDUNG 25: CSB – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	35
ABBILDUNG 26: NH ₄ -N – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	36
ABBILDUNG 27: NO ₂ -N – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	36
ABBILDUNG 28: NO ₃ -N – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	37
ABBILDUNG 29: N _{GES} – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	37
ABBILDUNG 30: P _{GES} – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER PRÜFFHASE	38
ABBILDUNG 31: ABLAUFMENGENMESSUNG WÄHREND DER ÜBERLASTPHASE.....	40
ABBILDUNG 32: NH ₄ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ÜBERLASTPHASE.....	41

ABBILDUNG 33: NO ₃ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ÜBERLASTPHASE.	41
ABBILDUNG 34: ABLAUFMENGENMESSUNG WÄHREND DER ZWEITEN STROMAUSFALLPHASE.....	42
ABBILDUNG 35: BESCHICKUNGEN UND NH ₄ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZWEITEN STROMAUSFALLPHASE.	43
ABBILDUNG 36: BESCHICKUNGEN UND NO ₃ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZWEITEN STROMAUSFALLPHASE.	43
ABBILDUNG 37: CSB-FRACHTEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE (<i>DIMENSIONIERUNGSFRACHT 20 G CSB/M²D FÜR BODENFILTER BF2 BZW. 40 G CSB/M²D FÜR BODENFILTER BF1</i>).....	45
ABBILDUNG 38: CSB – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE	46
ABBILDUNG 39: NH ₄ -N – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE	46
ABBILDUNG 40: NO ₃ -N – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE	47
ABBILDUNG 41: N _{GES} – ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE	47
ABBILDUNG 42: BESCHICKUNGEN UND NH ₄ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ZUSÄTZLICHEN STROMAUSFALLPHASE.	48
ABBILDUNG 43: BESCHICKUNGEN UND NH ₄ -N ABLAUFKONZENTRATIONEN WÄHREND DER ÜBERLASTPHASE.	48
ABBILDUNG 44: N _{GES} ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN SEIT BEGINN DES BETRIEBS VON BODENFILTER BF3. 50	
ABBILDUNG 45: STICKSTOFFELIMINATION IN DEN 5 BETRIEBSPERIODEN VON BODENFILTER BF3 BEI ABWASSERABLAUFTEMPERATUREN > 8°C.	51
ABBILDUNG 46: SPEZIFISCHE STICKSTOFFELIMINATIONSRATE IN DEN 5 BETRIEBSPERIODEN VON BODENFILTER BF3 BEI ABWASSERABLAUFTEMPERATUREN > 8°C.	51
ABBILDUNG 47: INFILTRATIONSDAUER DES BEAUFSCHLAGTEN ABWASSERS IN BODENFILTER BF1.2	54
ABBILDUNG 48: INFILTRATIONSDAUER DES BEAUFSCHLAGTEN ABWASSERS IN BODENFILTER BF2 WÄHREND DER STUFEN 1 UND 2 DES FORSCHUNGSPROJEKTS	55
ABBILDUNG 49: INFILTRATIONSDAUER DES BEAUFSCHLAGTEN ABWASSERS IN BODENFILTER BF2 WÄHREND STUFE 3 DES FORSCHUNGSPROJEKTS	55
ABBILDUNG 50: INFILTRATIONSDAUER DES BEAUFSCHLAGTEN ABWASSERS IN BODENFILTER BF3.1	56
ABBILDUNG 51: INFILTRATIONSDAUER DES BEAUFSCHLAGTEN ABWASSERS IN BODENFILTER BF3.2	57
ABBILDUNG 52: BF3.1 NACH ENTFERNEN DES SCHILFS: AM RECHTEN RAND DES FOTOS IST DER BEREICH, WO DAS ABWASSER NUR VERZÖGERT INFILTRIERT, DURCH EINEN PFEIL GEKENNZEICHNET.	59
ABBILDUNG 53: FILTERSCHICHT IN BF3.1. BEREICH WO ABWASSER SCHLECHT INFILTRIERT. FILTERMATERIAL STARK VERERDET/VERSCHLAMMT.	59
ABBILDUNG 54: FILTERSCHICHT IN BF3.1, BEREICH NAHE DEM PUMPSCHACHT. FILTERMATERIAL EBENFALLS VERERDET/VERSCHLAMMT, JEDOCH WENIGER STARK.....	60
ABBILDUNG 55: BODENFILTER BF3.1 NACH BEGRADIGUNG DER OBERFLÄCHE AM	60
ABBILDUNG 56: SUBSTRATPROBEN DER HAUPTSCHICHT VON BF3.1 (NR.4, LINKS) UND BF1.1 (NR.1, RECHTS) IN 0-5 CM TIEFE.	61
ABBILDUNG 57: SUBSTRATPROBEN DER HAUPTSCHICHT VON BF3.1 (NR.16, LINKS) UND BF1.1 (NR.13, RECHTS) IN 30-35 CM TIEFE.	61
ABBILDUNG 58: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER ORGANISCHEN TROCKENSUBSTANZ DER IN BF1.1 UND BF3.1 ENTNOMMENEN SUBSTRATPROBEN.....	62
ABBILDUNG 59: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER ORGANISCHEN TROCKENSUBSTANZ DER IN BF1.2, BF2 UND BF3.2 ENTNOMMENEN SUBSTRATPROBEN.	63
ABBILDUNG 60: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER ORGANISCHEN TROCKENSUBSTANZ ALLER SUBSTRATPROBEN.	64
ABBILDUNG 61: ABFILTRIERBARE STOFFE AFS – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	78
ABBILDUNG 62: BSB ₅ – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	79
ABBILDUNG 63: CSB – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	79
ABBILDUNG 64: NH ₄ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	80
ABBILDUNG 65: NO ₂ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	80

ABBILDUNG 66: NO ₃ -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	81
ABBILDUNG 67: N _{GES} – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	81
ABBILDUNG 68: PO ₄ -P – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	82
ABBILDUNG 69: P _{GES} – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN INKL. VERGLEICHSWERTE	82
ABBILDUNG 70: VERSUCHSANLAGE AM 17. JÄNNER 2008	107
ABBILDUNG 71: VERSUCHSANLAGE AM 13. FEBRUAR 2008	107
ABBILDUNG 72: VERSUCHSANLAGE AM 8. APRIL 2008	108
ABBILDUNG 73: VERSUCHSANLAGE AM 15. MAI 2008	108
ABBILDUNG 74: VERSUCHSANLAGE AM 4. JUNI 2008	109
ABBILDUNG 75: VERSUCHSANLAGE AM 7. JULI 2008	109
ABBILDUNG 76: VERSUCHSANLAGE AM 11. AUGUST 2008	110
ABBILDUNG 77: VERSUCHSANLAGE AM 8. SEPTEMBER 2008	110
ABBILDUNG 78: VERSUCHSANLAGE AM 29. SEPTEMBER 2008	111
ABBILDUNG 79: VERSUCHSANLAGE AM 15. DEZEMBER 2008	111
ABBILDUNG 80: VERSUCHSANLAGE AM 2. FEBRUAR 2009	112
ABBILDUNG 81: VERSUCHSANLAGE AM 9. MÄRZ 2009	112
ABBILDUNG 82: VERSUCHSANLAGE AM 25. MÄRZ 2009	113
ABBILDUNG 83: BODENFILTER BF3 AM 25. MÄRZ 2009, VOR DER REINIGUNG DER OBERFLÄCHE VON BF3.1 ..	113
ABBILDUNG 84: BODENFILTER BF3 AM 25. MÄRZ 2009, NACH DER REINIGUNG DER OBERFLÄCHE VON BF3.1	114
ABBILDUNG 85: BODENFILTER BF3 AM 25. MÄRZ 2009, NACH DER REINIGUNG DER OBERFLÄCHE VON BF3.1	114
ABBILDUNG 86: VERSUCHSANLAGE AM 20. APRIL 2009	115
ABBILDUNG 87: BODENFILTER BF3 AM 20. APRIL 2009	115
ABBILDUNG 88: VERSUCHSANLAGE AM 25. MAI 2009	116
ABBILDUNG 89: BODENFILTER BF3 AM 25. MAI 2009	116
ABBILDUNG 90: VERSUCHSANLAGE AM 2. JULI 2009	117

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ZUSAMMENSTELLUNG DER KENNWERTE VON BODENFILTER BF1	9
TABELLE 2: ZUSAMMENSTELLUNG DER KENNWERTE VON BODENFILTER BF2	10
TABELLE 3: ZUSAMMENSTELLUNG DER KENNWERTE VON BODENFILTER BF3	11
TABELLE 4: TAGESGANGLINIE NACH ÖNORM EN 12566-3 (2005)	14
TABELLE 5: BERECHNETE UND REALE BESCHICKUNGSZEITEN.....	16
TABELLE 6: PRÜFABSCHNITTE NACH ÖNORM EN 12566-3 (2005)	17
TABELLE 7: BEGINN DER PRÜFABSCHNITTE NACH ÖNORM EN 12566-3 (2005) BEI DER VERSUCHSANLAGE. ...	17
TABELLE 8: BESCHICKUNGSZEITEN WÄHREND DER ÜBERLASTPHASE (MONTAG 1.9.2008 10:00H BIS MITTWOCH 3.9.2008 10:00H, GRAU HINTERLEGT)	19
TABELLE 9: BEGINN DER ZUSÄTZLICHEN PRÜFABSCHNITTE AN BF1 UND BF2 GEMÄß ÖNORM EN 12566-3 (2005)	19
TABELLE 10: VERGLEICH DER ANALYSEMETHODEN ARA ERNSTHOFEN / SIG-LABOR	20
TABELLE 11: ZULAUFKONZENTRATIONEN IN MG/L (OKTOBER 2007 – MAI 2009)	23
TABELLE 12: CSB-FRACHTEN UND SPEZIFISCHE FLÄCHENBELASTUNGEN (OKTOBER 2007 – MAI 2009, PHASEN MIT NOMINALBELASTUNG).....	23
TABELLE 13: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1	31
TABELLE 14: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2	32
TABELLE 15: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3	32
TABELLE 16: ZULAUFKONZENTRATIONEN IN MG/L WÄHREND DER PRÜFPHASE (31. MÄRZ – 22. DEZEMBER 2008)	33
TABELLE 17: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1 WÄHREND DER PRÜFPHASE	38
TABELLE 18: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2 WÄHREND DER PRÜFPHASE.....	39
TABELLE 19: ZULAUFKONZENTRATIONEN IN MG/L WÄHREND DER ZUSÄTZLICHE PRÜFABSCHNITTE (19. JÄNNER – 10. MÄRZ 2009).....	44
TABELLE 20: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 (1.9.2005 BIS 31.5.2009).....	49
TABELLE 21: STICKSTOFFELIMINATION UND STICKSTOFFELIMINATIONSRATE IN DEN 5 BETRIEBSPERIODEN VON BODENFILTER BF3 BEI ABWASSERABLAUFTEMPERATUREN > 8°C.....	50
TABELLE 22: MEDIANWERTE DER ABLAUFKONZENTRATIONEN (MG/L) UND REINIGUNGSLEISTUNGEN (%) BEI NOMINALBELASTUNG	65
TABELLE 23: KOSTENZUSAMMENSTELLUNG BASISRICHTUNGSKOSTEN FÜR PFLANZENKLÄRANLAGEN (KEINE MECHANISCHE VORREINIGUNG, KEIN ZULAUFPUMPWERK; OHNE NEBENKOSTEN). QUELLE: AMT DER NÖ- LREG (2005).	68
TABELLE 24: PFLANZENKLÄRANLAGEN BASISBETRIEBSKOSTEN. QUELLE: AMT DER NÖ-LREG (2005).	68
TABELLE 25: KOSTENZUSAMMENSTELLUNG BASISRICHTUNGSKOSTEN FÜR TECHNISCHE ANLAGEN (OHNE NEBENKOSTEN, OHNE SCHLAMMSPEICHER). QUELLE: AMT DER NÖ-LREG (2005), ERRECHNET. 68	
TABELLE 26: TECHNISCHE ANLAGEN BASISBETRIEBSKOSTEN. QUELLE: AMT DER NÖ-LREG (2005).	68

1 EINFÜHRUNG IN DAS PROJEKT

1.1 Problemstellung und Projektziel

Der Ausbau der Abwasserentsorgung in Österreich wurde speziell im ländlichen Raum in den letzten Jahren mit beträchtlichem Finanzmitteleinsatz weit vorangetrieben, so dass in den meisten Gebieten Österreichs innerhalb der vom jeweiligen Gemeinderat beschlossenen „gelben Linie“ von einer annähernd flächendeckenden öffentlichen Abwasserentsorgung gesprochen werden kann.

Nur im geringen Maße erfasst sind dabei jene Objekte in Streulage, für die einerseits infolge großer Entfernung zu zentralen Entsorgungsstellen und/oder andererseits infolge geringen Abwasseranfalls weder eine zentrale noch eine dezentrale Entsorgung mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln möglich war.

Zusätzlich erlauben die gesetzlichen Vorgaben (Emissionsverordnung) für die Einleitung von Abwässern nicht mehr, dass diese Objekte in Streulage mittels der früher verwendeten konventionellen Absetzanlagen (z.B. 3-Kammer-Absetzanlagen, u.ä.) entsorgt werden, sondern erfordern

- dichte Senkgruben und Entsorgung (mit Verbringung der Senkgrubeninhalte in zentrale Kläranlagen), oder
- konventionelle Kleinkläranlagen, oder
- bepflanzte Bodenfilter (alte Bezeichnung: Pflanzenkläranlagen) mit mechanischer Vorreinigung.

Sind es bei den Kleinkläranlagen insbesondere die relativ hohen Investitionskosten und hohen Betriebskosten (Energie, Wartung, Reparatur/Instandhaltung), welche die Liegenschaftseigentümer derartiger Objekte vor beträchtliche finanzielle Probleme stellen, so sind es bei den Senkgruben oft die hohen Entsorgungskosten (bei „echten dichten“ Senkgruben und weiten Transportstrecken zu zentralen Entsorgungsstellen), die bei den Liegenschaftseigentümern zu Akzeptanzproblemen und oft nicht „widmungsgemäßer“ Nutzung („Überlauf“ der Senkgrube) führen.

In den letzten Jahren kamen daher für kleine Anlagen, aufgrund

- **geringerer Errichtungskosten** und
- **wesentlich geringerer Betriebskosten**

als bei den beiden o.a. Entsorgungstypen, immer öfter bepflanzte Bodenfilter mit mechanischer Vorreinigung zur Anwendung, die neben ihrer Betriebssicherheit (aufgrund geringer bzw. keiner maschinellen und elektrotechnischen Ausrüstung) auch hervorragende Ablaufwerte erreichen, welche zumeist weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen.

Das vorliegende Forschungsprojekt hat es sich zur Aufgabe gemacht

- die **Einsatzbereiche bepflanzter Bodenfilter zu untersuchen** und allenfalls deren Grenzen aufzuzeigen,
- die vorhandenen **Kostendämpfungspotentiale** bepflanzter Bodenfilter darzustellen und damit einen Beitrag zu leisten, **Investitions- und Betriebskosten zu minimieren** und **Förderungsgelder einzusparen**.
- Grundlagen für Aktualisierung des „**Stand der Technik**“ und der **österreichischen Normung** betreffend bepflanzter Bodenfilter zu schaffen,
- die **Beeinträchtigung von kleinen, besonders sensiblen Vorflutern zu minimieren**.

1.2 Ziele und Erkenntnisse der 1. und 2. Projektstufe des Forschungsprojekts

Im Rahmen der 1. Stufe des Forschungsprojekts „Bepflanzte Bodenfilter“ wurde im Jahr 2003 auf dem Gelände der ARA Ernsthofen eine Versuchsanlage bestehend aus 3 vertikal durchströmten 1-stufigen Bodenfiltern errichtet und der Versuchsbetrieb aufgenommen. Im Technikum des Instituts für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) am Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) wurden zusätzliche Versuche im Labormaßstab durchgeführt. Die 1. Stufe des Forschungsprojekts wurde im April 2005 abgeschlossen.

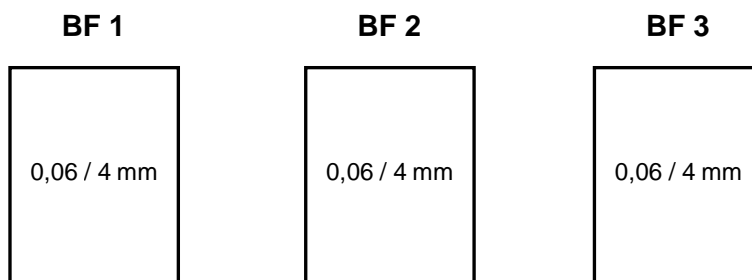


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Bodenfilter in Ernsthofen während der 1. Stufe des Forschungsprojekts mit Angabe des verwendeten Filtermaterials

Die **Hauptziele der 1. Stufe des Forschungsprojekts** waren:

- Die Optimierung des Dimensionierungsansatzes [m^2 Bodenfilterfläche pro Einwohner] für vertikale bepflanzte Bodenfilter gemäß ÖNORM (Entwurf) B 2505.
- Die Gewährleistung einer hohen Reinigungsleistung hinsichtlich der organischen Verunreinigungen und einer vollständigen Nitrifikation in bepflanzten Bodenfiltern bei gleichzeitiger Optimierung der Nährstoffelimination.

Die **wichtigsten Erkenntnisse der 1. Stufe des Forschungsprojekts** waren:

- Dimensionierungsansatz generell:
Die Erkenntnisse der 1. Stufe deuteten darauf hin, dass ein vertretbarer Dimensionierungsansatz für vertikal durchströmte, bepflanzte Bodenfilter gemäß ÖNORM (Entwurf) B 2505 zwischen 3 und 4 m^2 Bodenfilterfläche pro Einwohner liegt. Für die genaue Festlegung auf einen Wert waren zusätzliche Untersuchungen erforderlich.
- Dimensionierungsansatz für nicht ganzjährig voll betriebene Anlagen:
Hinsichtlich jener Anlagen, die nur in den warmen Jahreszeiten (März bis November) unter Vollbetrieb gefahren werden (z.B. Campingplätze, Hotels, Strandbetriebe, etc.) wurde erkannt, dass bei 1-stufigen Anlagen bereits 2 m^2 Bodenfilterfläche pro Einwohner ausreichen können.
- Nährstoffelimination:
Die Technikumsversuche hinsichtlich Nährstoffelimination zeigten neben der prinzipiellen Einsetzbarkeit eines nachgeschalteten Filters zur Phosphorelimination, dass im Laborversuch mit Hilfe eines 2-stufigen Aufbaus eines bepflanzten Bodenfilters eine erhöhte Stickstoffentfernung von ca. 50 % (im Vergleich zu < 10 % bei einer 1-stufigen Anlage) erreicht wurde.

Bei einer Dimensionierung der 2-stufigen Anlage auf $1 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ je Stufe bzw. insgesamt $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ ließ sich im Labormaßstab hinsichtlich organischer Verunreinigung und Nitrifikation die selbe Reinigungsleistung wie mit einem 1-stufigen Filter (dimensioniert auf $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$) erreichen.

Die Ergebnisse der 1. Projektstufe erforderten weitere Untersuchungen, die im Rahmen der 2. Projektstufe des Forschungsprojektes „Bepflanzte Bodenfilter“ durchgeführt wurden.

Die 2. Stufe des Forschungsprojekts "Bepflanzte Bodenfilter" begann im Anschluss an die 1. Stufe im Mai 2005 und wurde im April 2007 beendet. In der 2. Stufe wurde nur mehr die Versuchsanlage auf der ARA Ernthofen betrieben.

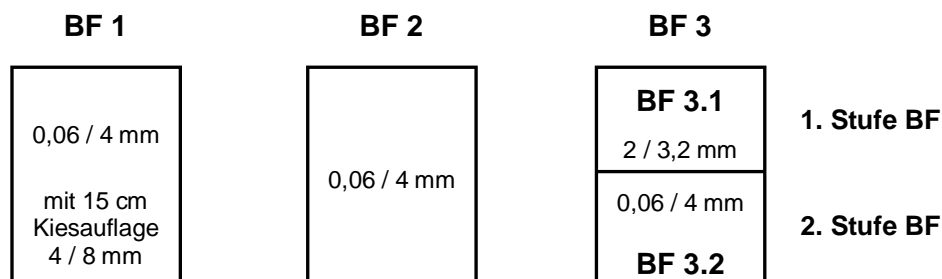


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Bodenfilter in Ernthofen während der 2. Stufe des Forschungsprojekts (mit Angabe des Filtermaterials und der allfälligen Deckschicht)

Aufbauend auf den Ergebnissen der 1. Stufe waren die **Hauptziele der 2. Stufe des Forschungsprojekts**:

- Weitergehende Nährstoffelimination: Die Untersuchung eines 2-stufigen Bodenfilters zur Verbesserung der Stickstoffentfernung (1. Reinigungsstufe: Sand mit einer Körnung von 2/3,2 mm (wurde aufgrund der nicht gegebenen Marktverfügbarkeit von 1/4 mm Sand verwendet), Drainageschicht eingestaut; 2. Reinigungsstufe: Sand mit einer Körnung von 0.06/4 mm) unter realen Bedingungen (im Freien) bei einer Dimensionierung auf insgesamt $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ (Bodenfilter BF3 = BF3.1 + BF3.2).
- Stabilisierung des Winterbetriebs: Eine vergleichende Untersuchung zweier Bau-/Betriebsweisen (1-stufige Bodenfilter mit und ohne Kiesabdeckung) unter kontrollierten Bedingungen bei einer Dimensionierung von $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ (in den Bodenfiltern BF1 und BF2).

Die **Ergebnisse der 2. Stufe des Forschungsprojekts** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Weitergehende Nährstoffelimination:

Ein gesicherter Betrieb eines 2-stufigen bepflanzten Bodenfilters dimensioniert auf $1 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ je Stufe bzw. insgesamt $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ (1.Stufe: Sand mit einer Körnung von 2/3,2 mm, Drainageschicht eingestaut; 2.Stufe: Sand mit einer Körnung von 0.06/4 mm) ist ganzjährig möglich. Im Ablauf der zweiten Stufe des 2-stufigen Bodenfilters (d.h. BF3.2) waren die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen für BSB_5 , CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ sehr stabil und mit den 1-stufigen Bodenfiltern BF1 und BF2 vergleichbar. Bei sehr niedrigen Wassertemperaturen ($< 5^\circ\text{C}$) war die Ablaufkonzentrationen im 2-stufigen System tendenziell geringer als in den 1-stufigen Bodenfiltern, dimensioniert auf $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$, die Reinigungsleistung somit tendenziell besser.

Die gesetzlich geforderten Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen für BSB_5 , CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ wurden eingehalten. Der Grenzwert der $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen

von 10 mg/l wurde erst bei Ablaufwassertemperaturen von $< 5^{\circ}\text{C}$ überschritten (gefordert ist eine Einhaltung des Grenzwerts erst bei Ablauftemperaturen von $> 12^{\circ}\text{C}$). Zusätzlich konnte bei Ablaufwassertemperaturen $> 5^{\circ}\text{C}$ eine Gesamtstickstoffelimination von mehr als 50 % erreicht werden.

- Stabilisierung des Winterbetriebs:

Ein gesicherter Betrieb eines 1-stufigen bepflanzten Bodenfilters mit oder ohne Deckschicht mit einer Dimensionierung auf $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ war nicht nachweisbar,

- da ein gesicherter Winterbetrieb ohne Deckschicht bei tiefen Temperaturen nicht gewährleistet war und
- ein gesicherter Betrieb mit Deckschicht bei einer Dimensionierung des Bodenfilters auf $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ wegen Verstopfungstendenzen ebenfalls nicht nachweisbar war.

Zur Klärung noch offener Fragen und in Erwartung der 3. Stufe des Forschungsprojektes wurde die Dauer der 2. Stufe des Forschungsprojektes, über den ursprünglich geplanten Zeitraum, bis zum Beginn der 3. Stufe im Oktober 2007 hinaus erstreckt.

Im Zuge der in diesem Zeitraum durchgeführten Versuche wurde festgestellt, dass eine genaue Einhaltung der Beschickungsintervalle großen Einfluss auf die Abbauleistung des 2-stufigen BF3 hatte (nach Störungen bei der Pumpensteuerung zwischen BF3.1 und BF3.2 wurde eine stark verringerte Abbauleistung bei gleich bleibender Gesamtbelastung festgestellt).

1.3 Ziele der 3. Stufe des Forschungsprojekts

Aufbauend auf den Erkenntnissen der 2. Stufe, sollten nunmehr in der gegenständlichen 3. Stufe des Forschungsprojekts vor allem die bisherigen Ergebnisse hinsichtlich der Anwendung von 2-stufigen, bepflanzten Bodenfiltern bestätigt werden, da es sich bei solchen Bodenfiltern um ein neuartiges System handelt:

1. Weitere Betriebserfahrungen zum Verhalten von 2-stufigen Bodenfiltern, insbesondere im Winter, werden benötigt. Durch den milden Winter 2006/07 war keine endgültige Aussage über den gesicherten Winterbetrieb möglich. Deshalb sollte der bestehende **2-stufige Bodenfilter (BF3)** (wie bisher) mit einer **Flächenbelastung von $2\text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$** weiter betrieben werden.
2. Der Vergleich mit einem **1-stufigen Bodenfilter (BF2)**, der nach ÖNORM B 2505 dimensioniert und mit einer **Flächenbelastung von $4\text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$** betrieben wurde, sollte dazu führen, dass das 2-stufige System auch von den maßgeblichen Behörden anerkannt wird. Zu diesem Zweck wurde Bodenfilter BF2 ohne Umbaumaßnahmen mit geänderter Flächenbelastung als 1-stufige Referenzanlage weiter betrieben.
3. Der 2-stufige Bodenfilter BF3 wurde während der 2. Stufe des Forschungsprojekts (seit Juni 2005) 8 mal täglich mit einem konstanten Beschickungsintervall von 3 Stunden betrieben. In Stufe 3 des Forschungsprojekts sollten realitätsnahe Beschickungsmuster simuliert werden, bei denen unter anderem Beschickungsunterbrechungen und Intensivphasen vorkommen sollten. **BF1** sollte hierfür ebenfalls in einen **2-stufigen Bodenfilter** umgebaut und mit einer **Flächenbelastung von $2\text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$** betrieben werden. Die Beschickung von BF3 wurde zu Beginn der 3. Projektstufe umgestellt, um einen Tagesgang gemäß ÖNORM EN 12556-3 (2005) zu simulieren.
4. Um bepflanzte Bodenfilter mit konventionellen technischen Kleinkläranlagen besser vergleichen zu können, sollte bei den Bodenfiltern **BF1** und **BF2** das **48-wöchige Versuchsprogramm**, das für die **Typenprüfung von technischen Anlagen** in der ÖNORM EN 12556-3 (2005): *"Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW. Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser"* beschrieben wurde, durchgeführt werden.

1.4 Projektteam

Das Projektteam besteht aus folgenden Institutionen:

- ÖKOREAL GmbH, Wien (Antragsteller)

leitet das Forschungsprojekt und bringt über das verbundene Unternehmen Ökoplan GmbH, Technisches Büro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, das abwassertechnische Know-how ein (Büroverbund Büro Rohrhofer & Partner).

Projektbeteiligte von ÖKOREAL sind:

Dipl.-Ing. Karl Rohrhofer	Projektdirektor
Dipl.-Ing. Roland Rohrhofer, MBA	Stellvertreter
Dipl.-Ing. Dr. Klaus Leroch	Projektleiter
Klärwart Franz Eglseer, Klärwart Karl Hiebl	Probenahme, -analyse, Anlagenpflege vor Ort

- SIG / BOKU, Wien (Subunternehmer)

Das Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) des Departments für Wasser-Atmosphäre-Umwelt an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Raimund Haberl begleitet das Forschungsprojekt wissenschaftlich und führt Vergleichsanalysen durch.

Projektbeteiligte am SIG sind:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Raimund Haberl	Institutsleiter
Dipl.-Ing. Dr. Günter Langergraber	Projektmanagement
Dipl.-Ing. Alexander Pressl	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hr. Philipp Sulyok (bis 05/2008) und Hr. Fritz Kropitz (ab 07/2008)	Techniker

1.5 Projektüberblick

Das Förderungsansuchen gem. §21UFG 1993 wurde am 17.8.2007 bei der Kommunalkredit Public Consulting GmbH zur Einreichung gebracht.

Der Förderungsvertrag aufgrund des UFG, BGBl. Nr. 185/1993, abgeschlossen zwischen dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, vertreten durch die Kommunalkredit Public Consulting GmbH, und der ÖKOREAL GmbH, wurde ÖKOREAL am 4.2.2008 zugesendet und am 15.2.2008 unterfertigt.

Die 3. Stufe des Projekts „Bepflanzte Bodenfilter“ startete am 1.9.2007 und endet am 30.9.2009.

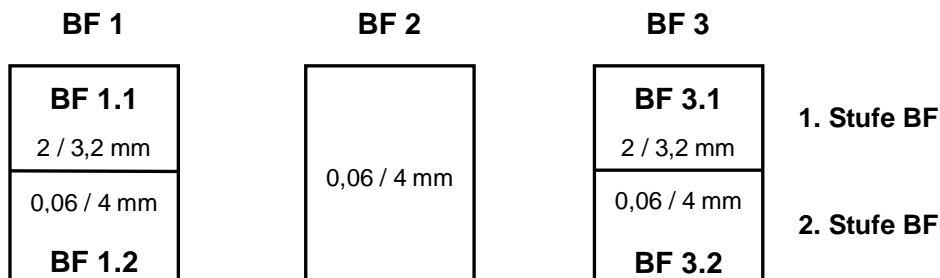


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Bodenfilter in Ernsthofen während der 3. Stufe des Forschungsprojekts (mit Angabe des verwendeten Filtermaterials)

2.1.1 Abwasserzuleitung

Das Abwasser wurde aus dem Zulauf der Kläranlage Ernsthofen (nach Rechen und Sandfang) entnommen und mittels einer Pumpe einer der Versuchsanlage zugehörigen 3-Kammer-Absetzanlage zugeführt, wo die Vorreinigung des Abwassers stattfand. Durch diese Anordnung waren durchgehend kontrollierte Bedingungen auf der Versuchsanlage gewährleistet, da sich die Zusammensetzung des Abwassers, das zur Kläranlage Ernsthofen gelangt, während eines Kalenderjahres kaum ändert.

Um den Zufluss zu dieser 3-Kammer-Absetzanlage möglichst realitätsnah zu gestalten und die Änderung der Abwasserzusammensetzung im Tagesverlauf zu berücksichtigen, wurde Abwasser vom Zulauf der ARA Ernsthofen - korrespondierend zum Tagesgang des Zulaufs zur ARA - zur 3-Kammer-Absetzanlage gepumpt.

2.1.2 Mechanische Vorreinigung der Versuchsanlage

Als mechanische Vorreinigung diente, wie bereits erwähnt, eine 3-Kammer-Absetzanlage mit einem Nutzinhalt von 8,3 m³. Die Aufgabe dieser 3-Kammer-Absetzanlage war die weitestgehende Reduktion der absetzbaren Stoffe, um den Betrieb der Bodenfilter zu optimieren. Hinsichtlich Dimensionierung der 3-Kammeranlage wird auf Kapitel 4.3.2 verwiesen.



Abbildung 5: Errichtung der 3-Kammer-Absetzanlage



Abbildung 6: Dritte Kammer der 3-Kammer-Absetzanlage mit den 3 Beschickungspumpen

2.1.3 Abwasserbeschickung

Aus der 3. Kammer der 3-Kammer-Absetzanlage (letzte Kammer des Durchströmvorgangs) wurde mittels Pumpen (eine Pumpe pro Bodenfilter) das so mechanisch vorgereinigte Abwasser auf die Oberfläche der Bodenfilter aufgebracht. Die Pumpen haben eine Fördermenge von je etwa 1,5 l/s, was eine rasche Beaufschlagung der Bodenfilter ermöglichte. Das eigentliche Beschickungssystem auf den drei Bodenfiltern besteht aus Polypropylen-Rohren DN 50.

Die Beschickungspumpen wurden mit elektronischen Wasseruhren mengengesteuert, um eine präzise Beschickung zu gewährleisten.

Die Bodenfilter BF1.1 und BF2 wurden je nach Beschickungsprogramm unterschiedlich intensiv beschickt. Bodenfilter BF3.1 wurde konstant immer mit einer gleich bleibenden Flächenbelastung von $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ betrieben und zu den gleichen Beschickungszeiten beschickt wie BF1 während der Nominalphase (siehe Tabelle 5).

2.1.4 Bodenfilter BF1

Der ursprünglich 1-stufige Bodenfilter BF1 wurde baugleich zu Bodenfilter BF3 umgebaut und als 2-stufiger Bodenfilter (bestehend aus Bodenfilter BF1.1 und BF1.2) gestaltet. Bodenfilter BF1 wurde mit einer Flächenbelastung von insgesamt $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ betrieben.

- Die 1. Stufe, Bodenfilter BF1.1, ist mit einem gröberen Substrat (gewaschener Sand 2/3,2mm) ausgestattet.
- Die 2. Stufe, Bodenfilter BF1.2, ist mit einem feineren Substrat (gewaschener Sand 0,06/4mm) ausgestattet.

Durch die Pumpe in der 3-Kammer-Absetzanlage wurde Bodenfilter BF1.1 mit Abwasser beschickt. Nach Durchströmen des BF1.1 wurde Bodenfilter BF1.2 durch eine weitere Pumpe in einem Pumpschacht (DN 400) innerhalb des Bodenfilters BF1.1 mit dem so bereits teilweise gereinigten Abwasser beschickt. Dieser Pumpschacht diente gleichzeitig als Probenahmeschacht, um die Reinigungsleistung von Bodenfilter BF1.1 anhand des Abwassers, das BF1.1 bereits durchflossen hat, kontrollieren zu können.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Kennwerte von Bodenfilter BF1

Bodenfilter		BF1.1	BF1 gesamt
Oberfläche	m^2	8,9	17,8
Auslegung nach spezifischer Fläche	$\text{m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$	1	2
CSB-Flächenbelastungen	$\text{g CSB}/\text{m}^2/\text{d}$	80	40

Der vertikale Aufbau der Bodenfilter BF1.1 und BF1.2 entspricht jenem der Bodenfilter BF3.1 und BF3.2:

Von oben nach unten:

- Bodenfilter: bei Bodenfilter BF1.1: 50 cm gewaschener Sand¹ 2/3,2 mm
bei Bodenfilter BF1.2: 50 cm gewaschener Sand¹ 0,06/4 mm
- Übergangsschicht: 10 cm Rundkies 4/8mm
- Drainageschicht: 20 – 30 cm (geneigt) Rundkies 16/32mm
- Dichtungsfolie
- Sandausgleich: 10 cm

Bodenfilter BF1 wurde, so wie die anderen Bodenfilter, mit Schilf (*Phragmites australis*) in einer Dichte von 5 Pflanzen pro m² bepflanzt. Die Entwicklung des Schilfbewuchses im Lauf des bisherigen Versuchszeitraums ist in Anlage 3 (Entwicklung der Bodenfilter während der Projektlaufzeit) dokumentiert.

2.1.5 Bodenfilter BF2

Bodenfilter BF2 wurde während der 3. Stufe des Forschungsprojekts in erster Linie als Vergleichsanlage betrieben um als 1-stufiger Bodenfilter eine Referenz für die 2-stufigen Bodenfilter BF1 und BF3 zu bilden. Gegenüber der 2. Stufe des Forschungsprojekts waren keine Umbauarbeiten am Bodenfilter BF2 nötig. Bodenfilter BF2 wurde somit während aller 3 Projektstufen ohne Umbau durchgehend als 1-stufiger Bodenfilter betrieben, allerdings mit wechselnder Flächenbelastung.

In Projektstufe 3 wurde Bodenfilter BF2 mit einer Flächenbelastung von 4 m²/EW_{CSB} betrieben.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Kennwerte von Bodenfilter BF2

Bodenfilter		Bodenfilter BF2
Oberfläche	m ²	18,5
Auslegung nach spezifischer Fläche	m ² /EW _{CSB}	4
CSB-Flächenbelastungen	g CSB/m ² /d	20

Der vertikale Aufbau von Bodenfilter BF2 ist wie folgt:

Von oben nach unten:

- Bodenfilter: 50 cm gewaschener Sand¹ 0,06/4 mm
- Übergangsschicht: 10 cm Rundkies 4/8mm
- Drainageschicht: 20 – 30 cm (geneigt) Rundkies 16/32 mm
- Dichtungsfolie
- Sandausgleich: 10 cm

¹ Die Bezeichnung Sand folgt hier einer vereinfachten sprechgebräuchlichen Verwendung. Entsprechend einer korrekten geotechnischen Klassifizierung handelt es sich beim Filtersubstrat um einen Feinkies 2/3,2mm bzw. um ein Sand-Kies-Gemisch 0,06/4mm.

Bodenfilter BF2 wurde ursprünglich mit Schilf (*Phragmites australis*) in einer Dichte von 5 Pflanzen pro m² bepflanzt. Für Projektstufe 3 wurde Bodenfilter BF2 nicht umgebaut und auch nicht neu bepflanzt. Die Entwicklung des Schilfbewuchses im Lauf des bisherigen Versuchszeitraums ist in Anlage 3 (Entwicklung der Bodenfilter während der Projektlaufzeit) dokumentiert.

2.1.6 Bodenfilter BF3

Mit Bodenfilter BF3, der als 2-stufiger Bodenfilter aufgebaut ist (bestehend aus Bodenfilter BF3.1 und BF3.2), wurde vorwiegend die weitergehende Nährstoffelimination untersucht. Bodenfilter BF3 wurde mit einer Flächenbelastung von 2 m²/EW_{CSB} betrieben.

- Die 1. Stufe, Bodenfilter BF3.1, ist mit einem gröberen Substrat (gewaschener Sand 2/3,2mm) ausgestattet
- Die 2. Stufe, Bodenfilter BF3.2, ist mit einem feineren Substrat (gewaschener Sand 0,06/4mm) ausgestattet.

Durch die Pumpe in der 3. Kammer der 3-Kammer-Absetzanlage (s. Kapitel 2.1.2) wurde Bodenfilter BF3.1 mit Abwasser beschickt. Nach Durchströmen des BF3.1 wurde Bodenfilter BF3.2 durch eine weitere Pumpe, die in einem Pumpschacht (DN 400) innerhalb des Bodenfilters BF3.1 situiert ist, mit dem so bereits teilweise gereinigten Wasser beschickt. Dieser Pumpschacht dient gleichzeitig als Probenahmeschacht, um die Reinigungsleistung von Bodenfilter BF3.1 anhand des Abwassers, das BF3.1 bereits durchflossen hat, kontrollieren zu können.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Kennwerte von Bodenfilter BF3

Bodenfilter		BF3.1	BF3 gesamt
Oberfläche	m ²	9,1	18,2
Auslegung nach spezifischer Fläche	m ² /EW _{CSB}	1	2
CSB-Flächenbelastungen	g CSB/m ² /d	80	40

Der vertikale Aufbau der Bodenfilter (von oben nach unten) ist wie folgt:

- Bodenfilter: bei Bodenfilter BF3.1: 50 cm gewaschener Sand² 2/3,2mm
bei Bodenfilter BF3.2: 50 cm gewaschener Sand² 0,06/4mm
- Übergangsschicht: 10 cm Rundkies 4/8mm
- Drainageschicht: 20 – 30 cm (geneigt) Rundkies 16/32mm
- Dichtungsfolie
- Sandausgleich: 10 cm

Bodenfilter BF3 wurde ursprünglich mit Schilf (*Phragmites australis*) in einer Dichte von 5 Pflanzen pro m² bepflanzt. Für Projektstufe 3 wurde Bodenfilter BF3 nicht umgebaut und auch nicht neu bepflanzt. Die Entwicklung des Schilfbewuchses im Lauf des bisherigen Versuchszeitraums ist in Anlage 3 (Entwicklung der Bodenfilter während der Projektlaufzeit) dokumentiert.

² Die Bezeichnung Sand folgt hier einer vereinfachten sprechgebräuchlichen Verwendung. Entsprechend einer korrekten geotechnischen Klassifizierung handelt es sich beim Filtersubstrat um einen Feinkies 2/3,2mm bzw. um ein Sand-Kies-Gemisch 0,06/4mm.

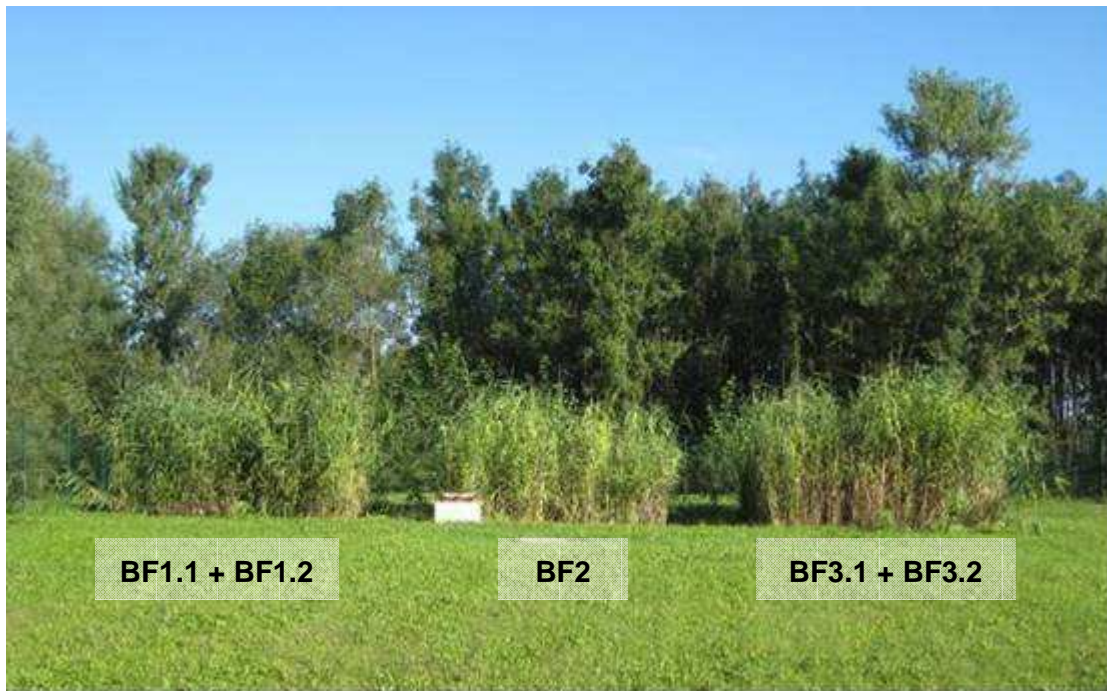


Abbildung 7: Zustand der Versuchsanlage im Sommer 2008 (BF1 links, BF2 Mitte und BF3 rechts)

2.1.7 Abwasserableitung

Das durch die Bodenfilter gereinigte Abwasser wurde durch Drainagesysteme gefasst und über Rohrleitungen einem Abwasserpumpschacht zugeführt. Der Abfluss jedes Bodenfilters wurde beim Zufluss in den Abwasserpumpschacht über je eine Ablaufwippe (sh. Abbildung 8) geleitet, welche die Abflussmenge misst. Das Abwasser wurde schließlich aus dem Abwasserpumpschacht in das Belebungsbecken der ARA Ernthofen abgepumpt und damit dem Reinigungsprozess der Kläranlage Ernthofen wieder zugeführt.

Die Daten der Abflussmengen und deren zeitliche Verteilung werden elektronisch gesammelt und aufgezeichnet.



Abbildung 8: Ablaufwippe im Abwasserpumpschacht

2.2 Online Messungen

Wie zuvor beschrieben, wurde die Abflussmenge mit Ablaufwippen gemessen. Ist die Ablaufwippe voll, entleert sie sich automatisch und es wird ein Impuls ausgelöst. Die Anzahl der Impulse wurde alle 30 Minuten gespeichert.

Die in der Stufe 1 und 2 installierten Sonden zur Wassergehaltsmessung in den Bodenfiltern waren weiter installiert, ebenso die Temperatursonden in der Hauptschicht, die in der Stufe 2 des Forschungsprojektes installiert wurden. Die Ergebnisse der Messungen wurden aber nicht ausgewertet, da sie für die gegenständliche Fragestellung in Stufe 3 des Forschungsprojektes nicht relevant waren.

2.3 Berechnung der Beschickungsmengen

Zur Berechnung der Beschickungsmengen für die einzelnen Bodenfilter wurde auf die Erfahrungen und die Messwerte der 1. und 2. Stufe des Projekts zurückgegriffen. Bodenfilter BF2 wurde mit $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ beschickt, Bodenfilter BF1 und BF3 mit je $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$. Daraus ergibt sich für die Beschickung der ersten Stufen von BF1 und BF3, also BF1.1 und BF3.1, in Wirklichkeit eine Flächenbelastung von $1 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$.

Somit ergeben sich folgende erforderliche CSB-Flächenbelastungen:

Bodenfilter BF1	40 g CSB/(m ² .d) bei $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$	(→ 80 g CSB/(m ² .d) auf BF1.1)
Bodenfilter BF2	20 g CSB/(m ² .d) bei $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$	
Bodenfilter BF3	40 g CSB/(m ² .d) bei $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$	(→ 80 g CSB/(m ² .d) auf BF3.1)

Ausgehend von einer mittleren CSB-Zulaufkonzentration von 560 mg CSB/l zur ARA Ernsthofen resultieren daraus folgende Beschickungsmengen:

Bodenfilter BF1:	1344 l/d	168 Liter pro Beschickung bei 8 Beschickungen pro Tag
Bodenfilter BF2:	680 l/d	170 Liter pro Beschickung bei 4 Beschickungen pro Tag
Bodenfilter BF3:	1360 l/d	170 Liter pro Beschickung bei 8 Beschickungen pro Tag

Die genauen Beschickungsmengen wurden jeweils entsprechend der tatsächlichen CSB-Zulaufkonzentration zur ARA Ernsthofen angepasst.

2.4 Versuchsprogramm

2.4.1 Allgemeine Beschreibung

Wie schon erwähnt, wurde bei Bodenfilter BF1 und BF2 das 48-wöchige Versuchsprogramm, das für die Typenprüfung von technischen Anlagen in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) beschrieben wird, durchgeführt. Bodenfilter BF3 wurde im Gegensatz dazu über den gesamten Versuchszeitraum mit einer konstanten Flächenbelastung betrieben.

Für alle Bodenfilter wurde der Zufluss so gesteuert, dass er dem Tagesgang folgt, wie er in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) vorgegeben ist.

Folgende organische Belastung wurde auf die Bodenfilter aufgebracht, jeweils bezogen auf die Gesamtfläche der Bodenfilter:

Bodenfilter BF1	40 g CSB/(m ² .d)	2 m ² /EW _{CSB}
Bodenfilter BF2	20 g CSB/(m ² .d)	4 m ² /EW _{CSB}
Bodenfilter BF3	40 g CSB/(m ² .d)	2 m ² /EW _{CSB}

2.4.2 Tagesgang nach ÖNORM EN 12566-3

In der ÖNORM EN 12566-3 (2005) ist für die Durchführung des 48-wöchigen Versuchsprogramms die Berücksichtigung der in Tabelle 4 und Abbildung 9 angegebenen Tagesganglinie des Zulaufs zur Anlage vorgesehen. Dieser Tagesgang wurde während des 48-wöchigen Versuchszeitraums durch entsprechende Steuerung des Zulaufs zum Vorlagebehälter (3-Kammer-Absetzanlage) der Versuchsanlage realisiert.

Tabelle 4: Tagesganglinie nach ÖNORM EN 12566-3 (2005)

Tagesuhrzeit	Prozentualer Anteil des Zuflusses (%)
06:00 bis 09:00	30
09:00 bis 12:00	15
12:00 bis 18:00	0
18:00 bis 20:00	40
20:00 bis 23:00	15
23:00 bis 06:00	0

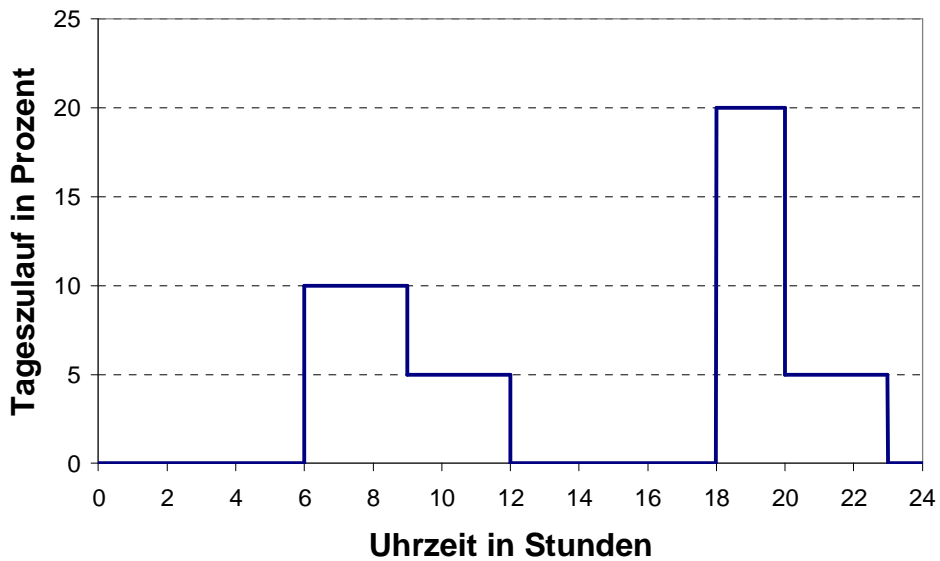


Abbildung 9: Tagesganglinie nach ÖNORM EN 12556-3 (2005)

Die Ermittlung der Beschickungszeiten für die einzelnen Bodenfilter erfolgte mittels Mischrechnung. Es wurde dabei angenommen, dass die Beschickungskammer täglich um 00:00h zu 50 % gefüllt ist. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Berechnung der Beschickungszeiten für die Bodenfilter BF2 (4 Beschickungen pro Tag) bzw. BF1 und BF3 (je 8 Beschickungen pro Tag) zur Realisierung der organischen Belastung von 40 g CSB/(m².d) für BF1 und BF3, bzw. von 20 g CSB/(m².d) für BF2.

Für die vereinfachte Darstellung wurde ein Wert von 200 Liter pro Beschickung gewählt (im Betrieb der Versuchsanlage wurden die tatsächlichen Beschickungsmengen angepasst, um eine konstante CSB-Belastung der Bodenfilter zu gewährleisten). Die sich daraus ergebenden Beschickungszeiten sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

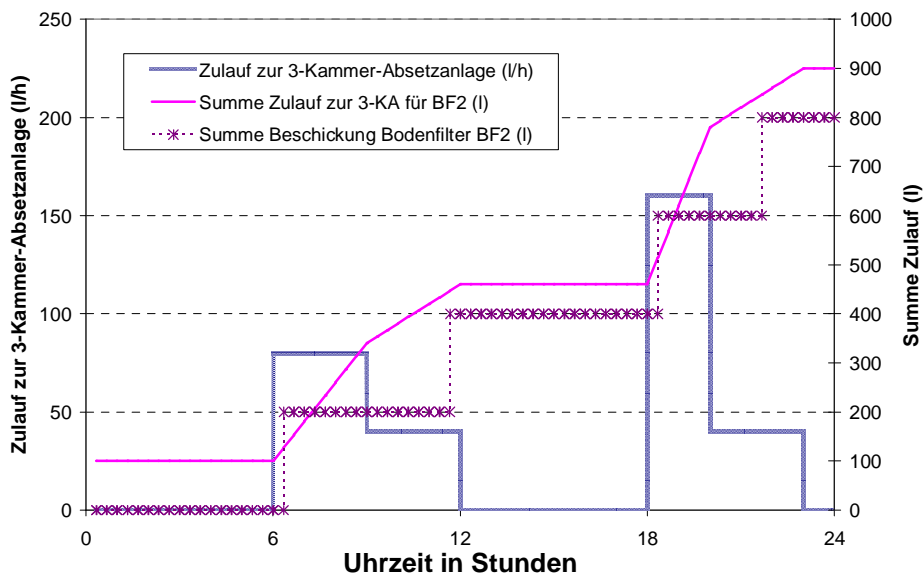


Abbildung 10: Berechnung der Beschickungszeiten für Bodenfilter BF2.

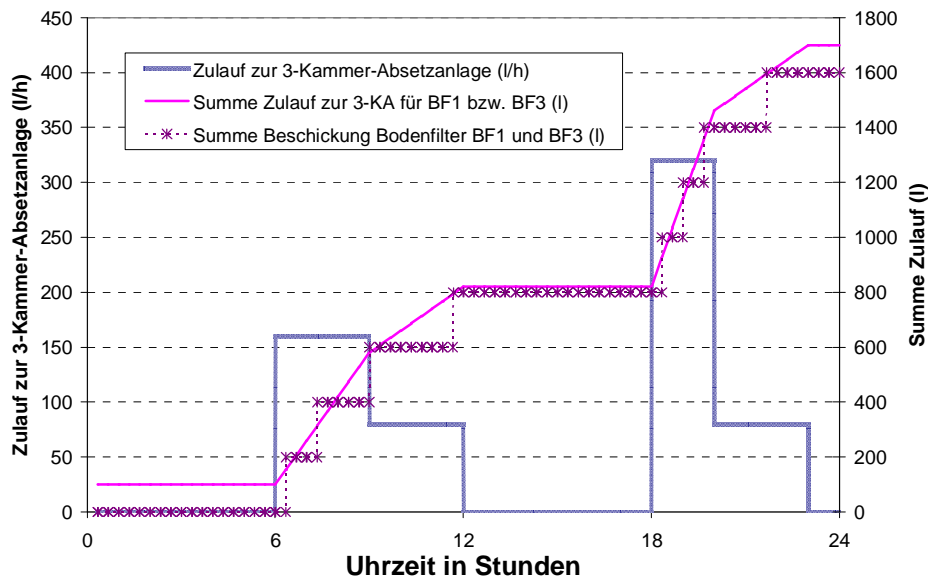


Abbildung 11: Berechnung der Beschickungszeiten für Bodenfilter BF1 und BF3.

Tabelle 5: Berechnete und reale Beschickungszeiten

Beschickung	1	2	3	4	5	6	7	8
Berechnete Beschickungszeiten								
Bodenfilter BF1 und BF3	06:20	07:40	09:00	11:40	18:20	19:00	19:40	21:40
Bodenfilter BF2	08:00	11:40	18:00	21:40				
Tatsächliche Beschickungszeiten								
Bodenfilter BF1	06:18	07:40	09:01	11:40	18:18	19:01	19:40	21:40
Bodenfilter BF2	08:05	11:44	18:05	21:44				
Bodenfilter BF3	06:27	07:48	09:09	11:48	18:27	19:09	19:48	21:48

2.4.3 Versuchsablauf nach ÖNORM EN 12566-3

Tabelle 6 gibt die geforderten Prüfabschnitte nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) an. Der Versuchsablauf wurde am Montag, den 31.03.2008, gestartet. Der Beginn der einzelnen Prüfabschnitte ergibt sich damit wie in Tabelle 7 angegeben. In Abbildung 12 ist die Belastung der Bodenfilter BF1 und BF2, an denen diese Versuche durchgeführt wurden, auch graphisch dargestellt.

Tabelle 6: Prüfabschnitte nach ÖNORM EN 12566-3 (2005)

Prüfabschnitt	Bezeichnung	Messungen	Dauer (Wochen)	Beschreibung
1	Aufbau der Biomasse	-	10	
2	Nominell	4	6	
3	Unterlast	2	2	50% des Nennwerts
4	Nominell - Stromausfall 1	5	6	24 h Stromausfall nach 2 Wo
5	Geringe Belastung	0	2	kein Zulauf
6	Nominell	3	6	
7	Überlast	2	2	48 h Überlast zu Beginn der Periode
8	Nominell - Stromausfall 2	5	6	24 h Stromausfall nach 2 Wo
9	Unterlast	2	2	50% des Nennwerts
10	Nominell	3	6	
Gesamt			48	

Tabelle 7: Beginn der Prüfabschnitte nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) bei der Versuchsanlage.

Prüfabschnitt	Bezeichnung	Beginn des Prüfabschnitts
2	Nominell	Montag, 31. März 2008
3	Unterlast	Montag, 12. Mai 2008
4	Nominell - Stromausfall 1	Montag, 26. Mai 2008
5	Geringe Belastung	Montag, 07. Juli 2008
6	Nominell	Montag, 21. Juli 2008
7	Überlast	Montag, 01. September 2008
8	Nominell - Stromausfall 2	Montag, 15. September 2008
9	Unterlast	Montag, 27. Oktober 2008
10	Nominell	Montag, 10. November 2008
Ende der Prüfabschnitte		Montag, 22. Dezember 2008

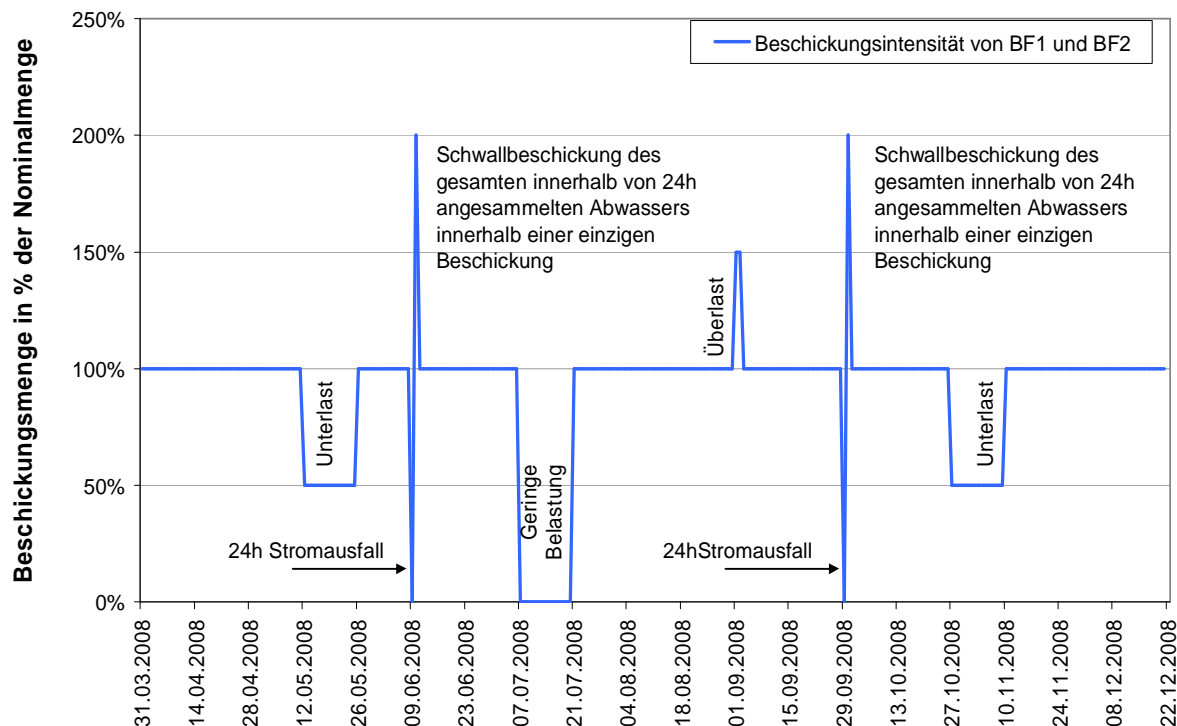


Abbildung 12: Beschickungsintensität von BF1 und BF2 während der Kleinkläranlagenprüfung nach ÖNORM EN 12566-3 (2005)

Beschreibung der verschiedenen Prüfabschnitte:

- **Nominell**: Bodenfilter BF1 und BF2 zu den in Tabelle 8 angegebenen Beschickungszeiten beschickt.
Anmerkung: BF3 wurde während der ganzen 48-wöchigen Prüfphase konstant zu diesen Beschickungszeiten beschickt.
- **Unterlast**: Während eines Zeitraums von 2 Wochen 50 % des Zulaufs. Bei BF1 und BF2 wurde während dieser Phase jede zweite Beschickung ausgelassen.
- **Stromausfall**: Annahme, dass während eines 24-stündigen Stromausfalls (z.B. Montag 10:00h bis Dienstag 10:00h), das zufließende Wasser über einen Zeitraum von 24 Stunden in einem Vorlagebehälter (hier 3-Kammer-Absetzanlage) gespeichert wird. Nach Ende des Stromausfalls Aufbringung des gesamten Abwasseranfall eines Tages auf einmal auf Bodenfilter BF1 und BF2.
- **Geringe Belastung**: Bodenfilter BF1 und BF2 während eines Zeitraums von 14 Tagen nicht beschickt.
- **Überlast**: Während der 48-stündigen Überlastphase 150 % der Nennabwassermenge auf die Bodenfilter aufgebracht. Für die Beschickung der Bodenfilter BF1 und BF2 ergaben sich damit die in Tabelle 8 angegebenen Beschickungszeiten.

Tabelle 8: Beschickungszeiten während der Überlastphase (Montag 1.9.2008 10:00h bis Mittwoch 3.9.2008 10:00h, grau hinterlegt)

Beschickung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bodenfilter BF1												
Sonntag	06:18	07:40	09:01	11:40	18:18	19:01	19:40	21:40				
Montag	06:18	07:40	09:01	11:01	18:01	18:18	18:40	19:01	19:40	21:01	22:40	
Dienstag	06:40	07:18	08:22	09:22	11:01	18:01	18:18	18:40	19:01	19:40	21:01	22:40
Mittwoch	06:40	07:18	08:22	09:22	11:40	18:18	19:01	19:40	21:40			
Donnerstag	06:18	07:40	09:01	11:40	18:18	19:01	19:40	21:40				
Bodenfilter BF2												
Sonntag	07:44	11:44	18:05	21:44								
Montag	07:44	11:05	18:22	19:05	21:05							
Dienstag	06:44	08:22	11:05	18:22	19:05	21:05						
Mittwoch	06:44	08:22	11:44	18:05	21:44							
Donnerstag	07:44	11:44	18:05	21:44								

Nach Ende des 48-wöchigen Versuchsprogramms, das für die Typenprüfung von technischen Anlagen in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) beschrieben wird, wurde beschlossen, dass die Ergebnisse der erfolgreich absolvierten Testphase noch während des Winters 08/09 verifiziert werden sollen. Daher wurden im Zeitraum von 26.1.2009 bis 2.3.2009 alle Prüfabschnitte wie in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) vorgesehen noch einmal in verkürzter Form wiederholt. Es konnte so nachgewiesen werden, dass die untersuchten Bodenfilter BF1 und BF2 auch bei niedrigen Temperaturen (Zulauftemperatur zwischen 5,4°C und 6,7°C) bei sehr guter Reinigungsleistung sehr robust gegenüber unregelmäßiger Beschickung sind. In Tabelle 9 sind die zusätzlichen Prüfabschnitte zusammengefasst.

Tabelle 9: Beginn der zusätzlichen Prüfabschnitte an BF1 und BF2 gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005)

Prüfabschnitt	Bezeichnung	Beginn des Prüfabschnitts
	Nominell	Bis 26. Jänner 2009
A	Überlast	Montag, 26. Jänner 2009
B	Nominell - Stromausfall 1	Montag, 2. Februar 2009
C	Nominell	Montag, 9. Februar 2009
D	Unterlast	Montag, 16. Februar 2009
E	Geringe Belastung	Montag, 23. Februar 2009
Ende der zusätzlichen Prüfabschnitte		Montag, 2. März 2009

2.5 Analysen

2.5.1 Durchgeführte Analysen

Die Reinigungsleistung der Bodenfilter in Ernthofen wurde anhand von Analysen von aus Zulauf und Abläufen gezogenen Proben überprüft:

- mindestens wöchentlich durch die Klärwärter der ARA Ernthofen im kläranlagen-eigenen Labor
- monatlich durch das hauseigene Labor des SIG.

Das BOKU-SIG analysierte dabei Teile derselben Proben welche im ARA-Labor in Ernsthofen analysiert wurden, wodurch wiederum die Exaktheit der Analysen aus Ernsthofen kontrolliert werden konnte.

Die Klärwärter der ARA Ernsthofen analysierten die Zu- und Abläufe auf die Parameter BSB₅, CSB, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N sowie PO₄-P und AFS. Die Anzahl der pro Probe analysierten Parameter war, wie im Antrag beschrieben, für die Winter- und Sommermonate unterschiedlich.

Im Labor des SIG wurden Vergleichsproben auf folgende Parameter analysiert: BSB₅, CSB, TOC, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, N_{org}, AFS, PO₄-P und P_{ges}. Wie schon in Stufe 2 des Projekts wurden die N_{org}-Werte für die Routineanalysen in Ernsthofen aus denjenigen N_{org}/CSB-Verhältnissen berechnet, die aus den Vergleichsanalysen bestimmt wurden. Der Gesamtstickstoff wurde durch die Summation von NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N und N_{org} ermittelt. Ebenso wurden die Werte für den organischen Phosphor P_{org} aus den P_{org}/CSB-Verhältnissen berechnet, die aus den Vergleichsanalysen bestimmt worden waren. Der Gesamtphosphor wurde durch die Summation von PO₄-P und P_{org} ermittelt.

In regelmäßigen Abständen wurden 24h Mischproben aus Zu- und Ablauf der Bodenfilter entnommen.

2.5.2 Vergleich der Analysemethoden

In Tabelle 10 wird ein Überblick über die verwendeten Analysemethoden im Labor der ARA Ernsthofen und im SIG-Labor gegeben:

Tabelle 10: Vergleich der Analysemethoden ARA Ernsthofen / SIG-Labor

Parameter	Labor ARA Ernsthofen	Labor SIG
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	Wasserstrahlpumpe Filter: Millipore 0,45 µm HA	DIN 38409 H2
Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB ₅)	OxiTop	DIN H51 / EN 1899-1
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	Dr. Lange: LCK114, LCK314 Photometrische Bestimmung	DIN 38409 H41
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	-	DIN EN 1484
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	Dr. Lange: LCK302, LCK304 Photometrische Bestimmung	DIN 38406 E5-1
Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N)	Dr. Lange: LCK341 Photometrische Bestimmung	EN 26777 D10
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	Dr. Lange: LCK339, LCK340 Photometrische Bestimmung	DIN D19/EN ISO 10304
Kjehldal-Stickstoff (TKN)	-	DIN EN 25663
Organischer Stickstoff (N _{org})	-	ber. aus TKN und NH ₄ -N
Gesamtstickstoff (N _{ges})	Summe aus NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N u. N _{org}	
Phosphat-Phosphor (PO ₄ -P)	Dr. Lange: LCK350 Photometrische Bestimmung	DIN EN ISO 6878
Gesamtphosphor (P _{ges})	-	DIN EN ISO 6878

2.6 Dokumentation der Randbedingungen

Die Temperatur der Abläufe aus der Versuchsanlage wurde von den Klärwärtern wöchentlich erfasst. Zusätzlich wurden Lufttemperatur und Niederschlagsmenge dokumentiert.

2.7 Datenanalyse und Datenauswertung

Für den Vergleich der Ablaufkonzentrationen und der Reinigungsleistungen wurde der jeweilige Medianwert herangezogen. Der Medianwert (50 %-Wert) ist die Zahl, die genau in der Mitte einer Zahlenreihe liegt. Das heißt, die eine Hälfte der Zahlenreihe hat Werte, die kleiner sind als der Medianwert, und die andere Hälfte hat Werte, die größer sind als der Median.

Für die graphische Darstellung der statistischen Auswertungen werden „Box-and-Whisker-Plots“ verwendet. Box-and-Whisker-Plots stellen die graphische Zusammenfassung mehrerer statistischer Parameter – inklusive der vorhandenen "Ausreißer" – einer Datenmenge dar. Die gesamte Datenmenge wurde in vier Quartile (je 25 %) von gleicher Häufigkeit unterteilt. Die gestreifte "Box" – auch "Interquartil" genannt - beinhaltet die mittleren 50 % aller gemessenen Werte. Der aus sämtlichen Messergebnissen berechnete Medianwert ist als horizontale Linie innerhalb der "Box" und der Mittelwert ist als Kreuz ("+") dargestellt. Von der "Box" geht oben und unten jeweils eine vertikale Linie ("Whisker") aus. Die "Whisker" geben den Datenbereich bis zum kleinsten bzw. größten Wert innerhalb des 1,5-fachen Interquartils an. So reicht zum Beispiel der obere "Whisker" vom oberen Quartil bis zum größten Wert innerhalb des 1,5-fachen Interquartil-Abstands. Daten, welche außerhalb des 1,5-fachen Interquartil-Abstands liegen, werden als "Ausreißer" bezeichnet und als Quadrate dargestellt. Die Einkerbung der "Box" – der so genannte "median notch" – geht vom Median aus. Die Länge dieser Einkerbung repräsentiert das 95 %-Vertrauensintervall (Konfidenzintervall) für den Medianwert. Datengruppen sind dann mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 95 % signifikant unterschiedlich, wenn sich die Vertrauensbereiche ihrer Mediane gegenseitig nicht überschneiden.

3 ERGEBNISSE

3.1 Vorbemerkungen

Im vorliegenden Endbericht sind alle Ergebnisse seit Beginn der 3. Projektstufe (1. September 2007) bis zum Ende der Versuchsphase (31. Mai 2009) berücksichtigt, wobei das Analyseprogramm an der Versuchsanlage ab dem 1. Oktober 2007 durchgeführt wurde.

Ergebnisse aus den ersten beiden Projektstufen wurden jeweils im Anschluss an die jeweilige Projektdurchführung in separaten Endberichten veröffentlicht und sind unter anderem über die Internet-Seite des Lebensministeriums im WASSER-Net abrufbar (ÖKOREAL und BOKU-SIG, 2005 und 2007).

3.2 Zulaufkonzentrationen und Flächenbelastungen

Abbildung 13 zeigt die tägliche Zulaufwassermenge zur ARA Ernsthofen bzw. die CSB-Zulaufkonzentration zur ARA Ernsthofen und zu den Bodenfiltern. Die Schwankungen der CSB Zulaufkonzentration der Bodenfilter können auf die Schwankungen im ARA-Zulauf zurückgeführt werden.

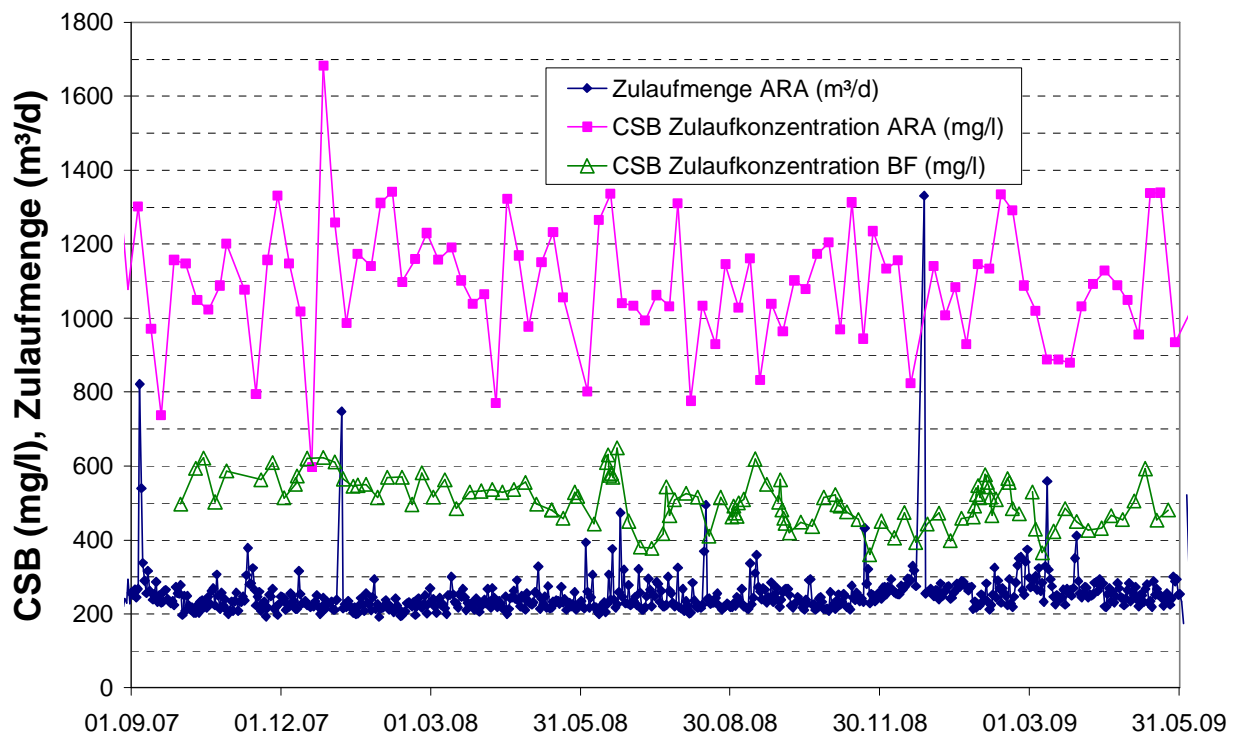


Abbildung 13: Tägliche Zulaufmenge zur ARA Ernsthofen sowie CSB-Zulaufkonzentrationen zur ARA Ernsthofen und zu den Bodenfiltern

Tabelle 11 zeigt die Zulaufkonzentrationen zur Versuchsanlage, Tabelle 12 fasst die sich aus den CSB-Konzentrationen berechneten CSB-Frachten und spezifischen Flächenbelastungen zusammen. Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen die CSB-Frachten bzw. die spezifischen Flächenbelastungen für den Zeitraum Oktober 2007 bis Mai 2009. Die Dimensionierungswerte

(Nominalbelastungen) lagen bei 40 g CSB/m²/d (2 m²/EW_{CSB}) für Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF3 bzw. 20 g CSB/m²/d (4 m²/EW_{CSB}) für Bodenfilter BF2. Anfang Dezember 2008 wurden die Beschickungsmengen adaptiert.

Bei BF1 und BF2 sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 die verschiedenen Phasen der geforderten Prüfabschnitte nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) deutlich anhand der Schwankungen der Belastung zu erkennen. In Phasen mit Nominalbelastungen unterschreitet der Median der CSB-Frachten die rechnerischen Dimensionierungswerte um ca. 8 %.

Tabelle 11: Zulaufkonzentrationen in mg/l (Oktober 2007 – Mai 2009)

	AFS	BSB₅	CSB	NH₄-N	NO₂-N	NO₃-N	N_{ges}[*]	PO₄-P	P_{ges}[*]
Anzahl	77	68	114	156	78 (52 ^{**})	114	114	77	77
Median	110	340	510	66.5	0.015	0.40	82.8	12.0	14.0
Mittelwert	110	341	507	65.9	0.018	0.42	80.9	11.9	13.9
Standardabw.	25	60	63	7.3	0.010	0.08	8.7	1.1	1.3
95% Konf-Int.	6	14	12	1.1	0.002	0.02	1.6	0.3	0.3
Maximum	170	560	649	82.6	0.093	0.74	100.3	15.0	17.4
Minimum	50	230	360	45.1	0.015	0.28	59.0	9.4	10.8

* Berechnet aus Vergleichsproben Labor SIG

** Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (0.015 mg NH₄-N/l)

Tabelle 12: CSB-Frachten und spezifische Flächenbelastungen (Oktober 2007 – Mai 2009, Phasen mit Nominalbelastung)

Parameter	CSB-Fracht (g CSB/m²/d)			Spez. Flächenbelastung (m²/EW_{CSB})		
	BF 1	BF 2	BF 3	BF 1	BF 2	BF 3
Anzahl	72	72	71	72	72	71
Median	36.5	18.4	36.8	2.19	4.34	2.17
Mittelwert	35.2	17.8	36.8	2.40	4.76	2.22
Standardabw.	7.3	3.6	5.5	0.69	1.37	0.33
95% Konf-Int.	1.7	0.8	1.3	0.16	0.32	0.08
Maximum	51.3	25.6	51.3	4.96	9.80	3.11
Minimum	16.1	8.2	25.7	1.56	3.12	1.56

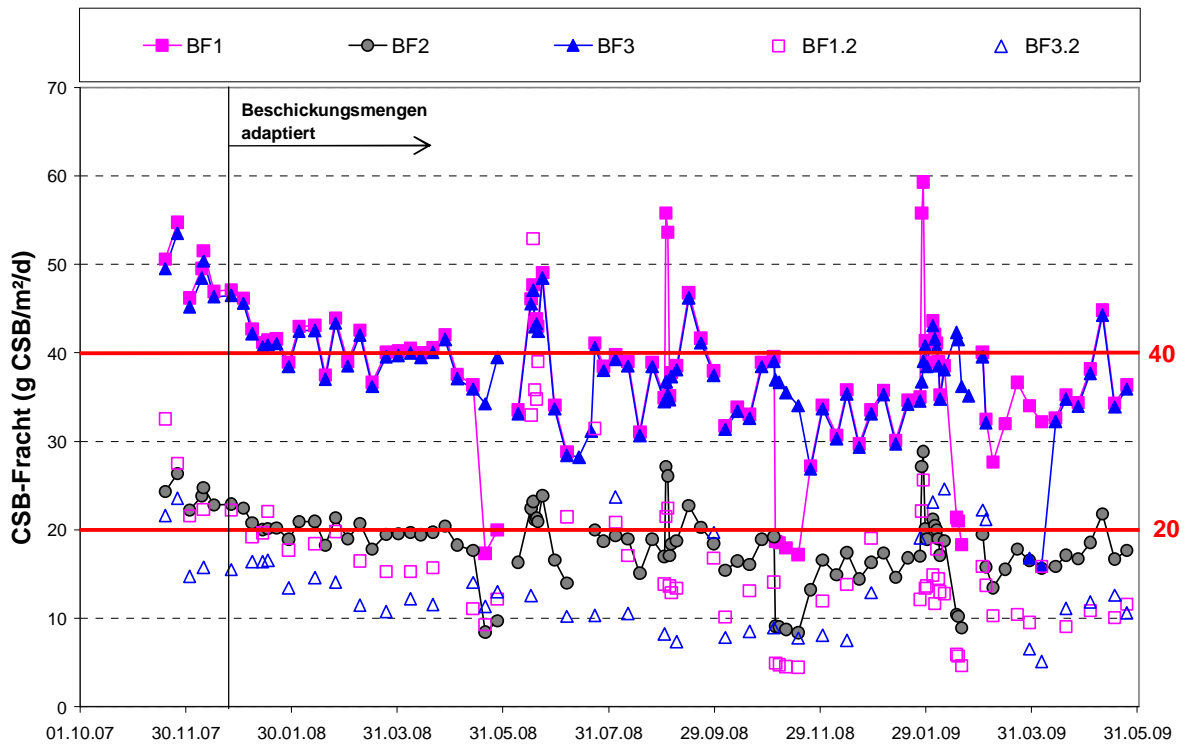


Abbildung 14: CSB-Frachten (Dimensionierungsfracht 20 g CSB/m²/d für Bodenfilter BF2 bzw. 40 g CSB/m²/d für Bodenfilter BF1 und BF3)

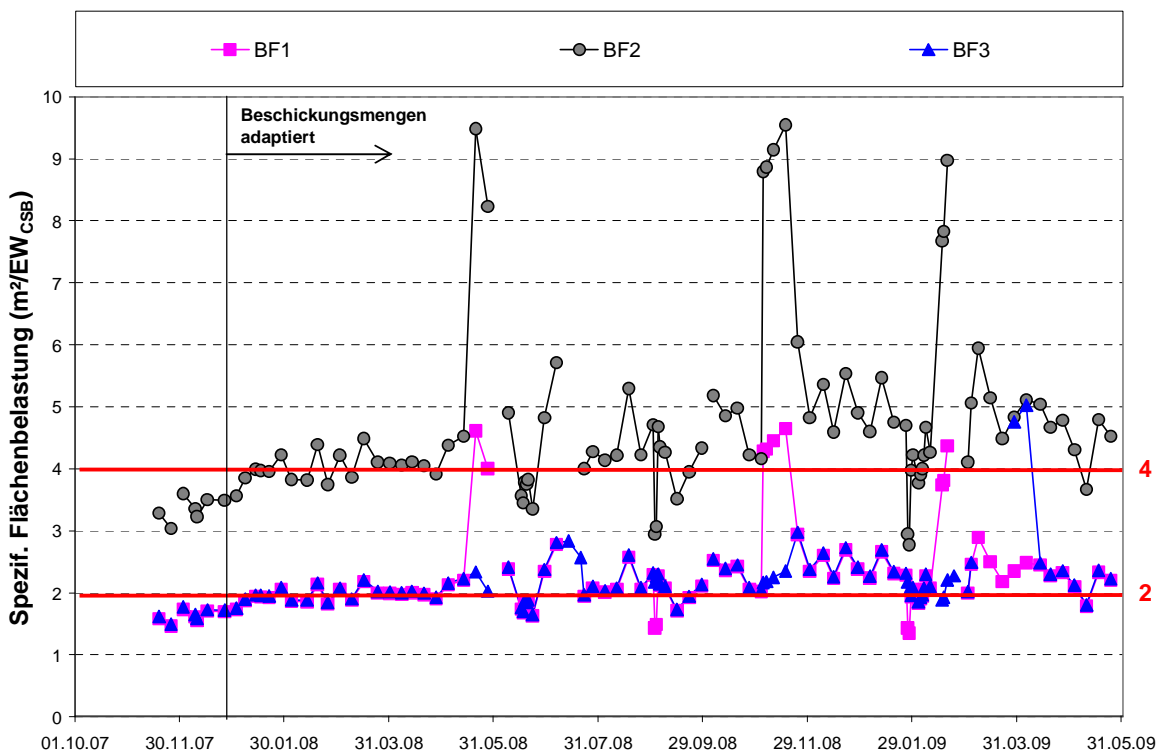


Abbildung 15: Spezifische Flächenbelastungen der Bodenfilter. (vgl. Dimensionierungswerte 4 m²/EW_CSB für Bodenfilter BF2 bzw. 2 m²/EW_CSB für Bodenfilter BF1 und BF3)

3.3 Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen

3.3.1 Diagramme der Zu- und Ablaufkonzentrationen

In Abbildung 16 bis Abbildung 23 werden Zu- und Ablaufkonzentrationen von den folgenden Parametern dargestellt: BSB₅, CSB, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, N_{ges}, PO₄-P und P_{ges}. Wie schon in den vorigen Projektstufen stimmen die Analysewerte des ARA-Labors mit jenen der Vergleichsanalysen des SIG gut überein. In den Diagrammen in Anlage 1 sind auch die Werte der Vergleichsanalysen dargestellt.

Die Zulaufkonzentrationen entsprechen den Konzentrationen im Zulauf von BF1.1, BF2 und BF3.1 und sind für alle 3 Bodenfilter gleich (als „Zulauf“ bezeichnet); die Ablaufkonzentrationen entsprechen den Konzentrationen nach Durchlaufen der einzelnen Bodenfilter (als „BF1.1“, „BF1.2“, „BF2“, „BF3.1“ bzw. „BF3.2“ bezeichnet).

Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit werden im Folgenden nur die Zu- und Ablaufkonzentrationen für BF1.2, BF2 und BF3.2 dargestellt, ohne auf die Reinigungsleistung der jeweils ersten Stufe der 2-stufigen Bodenfilter im Detail einzugehen. Diagramme, die diese Werte, sowie auch die Ergebnisse der Vergleichsanalysen am Labor des SIG enthalten, sind in Anlage 1 dargestellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die im Labor der ARA Ersthofen gemessenen Werte mit den Vergleichsanalysen sehr gut übereinstimmen. Dies trifft besonders bei den Analysen für CSB und die Stickstoffparameter (NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N) zu.

Abbildung 24 zeigt die Temperatur im Zulauf und in den Abläufen. Zwischen Anfang November 2007 bis Ende April 2008, bzw. zwischen Anfang November 2008 und Ende April 2009, war die Ablaufwassertemperatur bei den Routineanalysen geringer als 12°C.

Zur besseren Beurteilbarkeit der Reinigungsleistung wurden die gesetzlichen Grenzwerte rot markiert. Es wurden die Grenzwerte herangezogen, welche in der 1.AEV für kommunales Abwasser (1.AEVka, 1996 idF 2000) für Kläranlagen von 50 – 500 Einwohnergleichwerte definiert sind. Die relevanten gesetzlichen maximalen Ablaufgrenzwerte ergeben sich somit wie folgt:

Parameter	Ablaufgrenzwert
BSB ₅	25 mg/l
CSB	90 mg/l
NH ₄ -N	10 mg/l (nur für Ablauftemperaturen >12°C)

Über die Untersuchungsjahre (2003 - 2009) wurde im Durchschnitt nur für ca. 50 % des Jahres eine Ablaufwassertemperatur von > 12°C gemessen. Das heißt, dass nur für ca. 50 % des Jahres der oben genannte Ablaufgrenzwert für NH₄-N eingehalten werden musste.

In der 1.AEVka (1996) sind keine Ablaufgrenzwerte für NO₂-N, NO₃-N, N_{ges}, PO₄-P und P_{ges} vorgesehen. Als Maßstab werden auch die nach 1.AEVka (1996) für Anlagen mit mehr als 1000 Einwohnergleichwerten vorgeschriebenen Reinigungsleistungen für BSB₅ und CSB von 95 % und 85 % herangezogen.

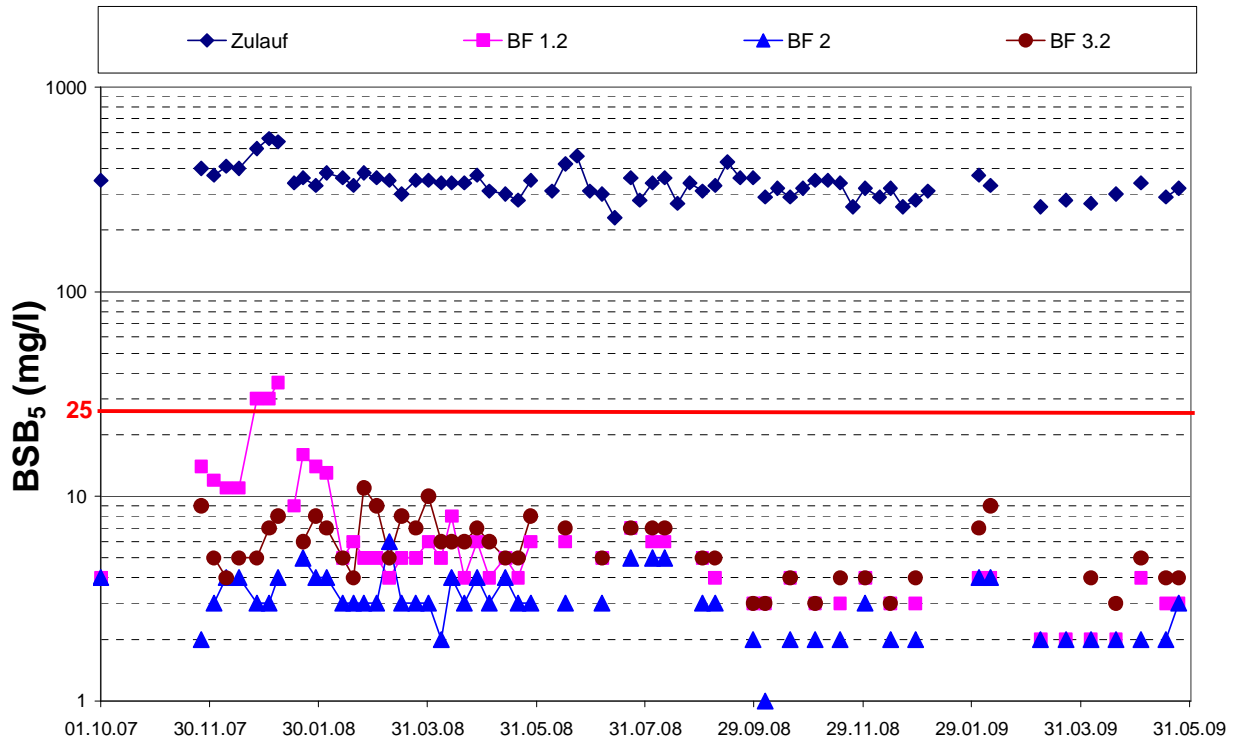


Abbildung 16: BSB₅ – Zu- und Ablaufkonzentrationen

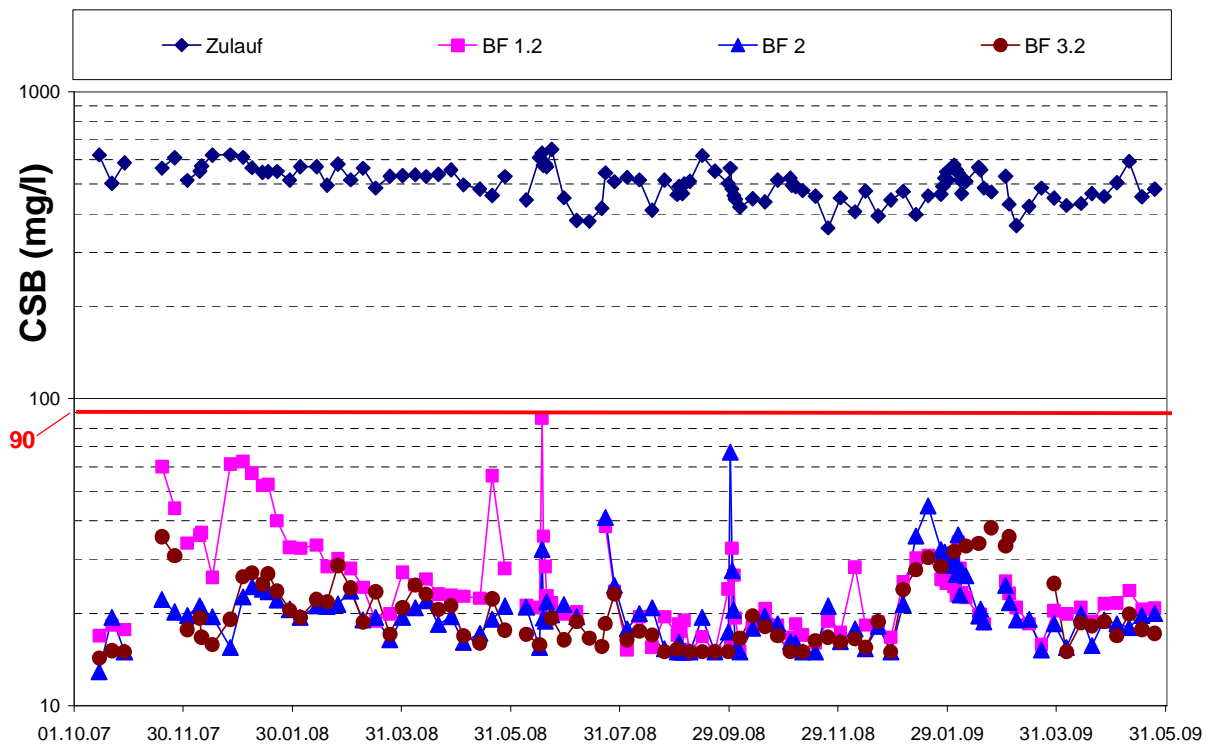


Abbildung 17: CSB – Zu- und Ablaufkonzentrationen

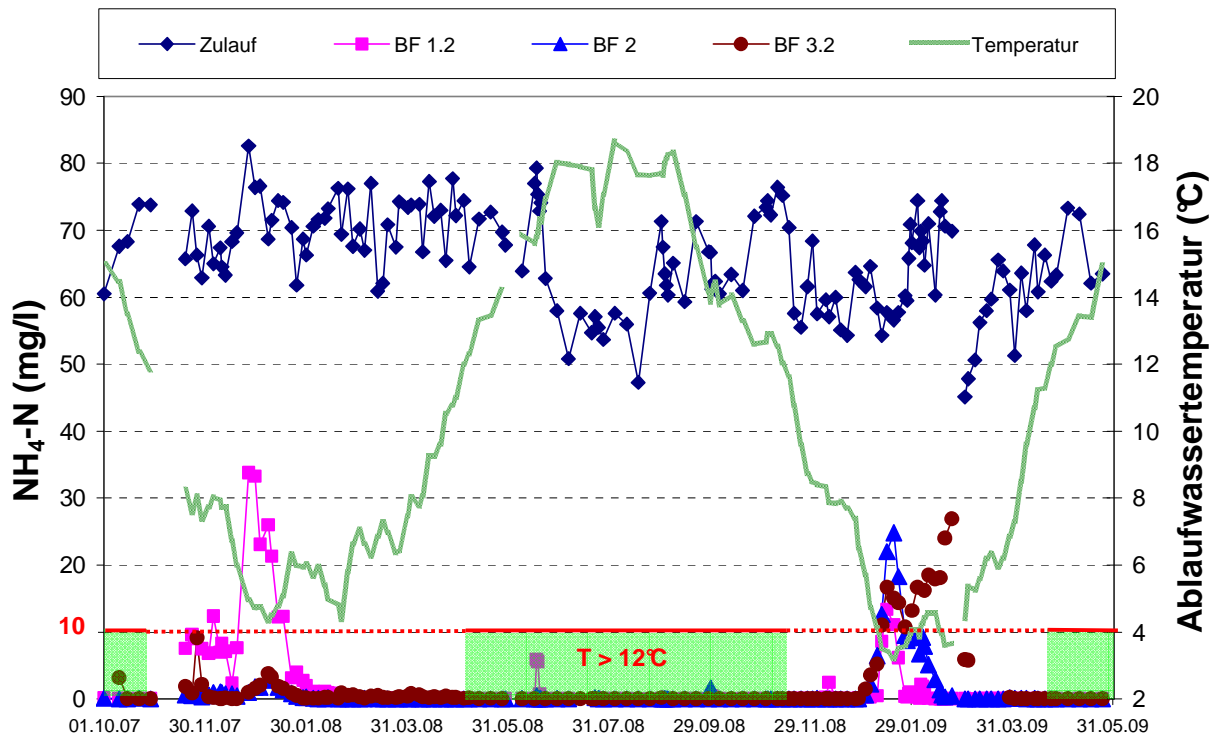


Abbildung 18: NH₄-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen

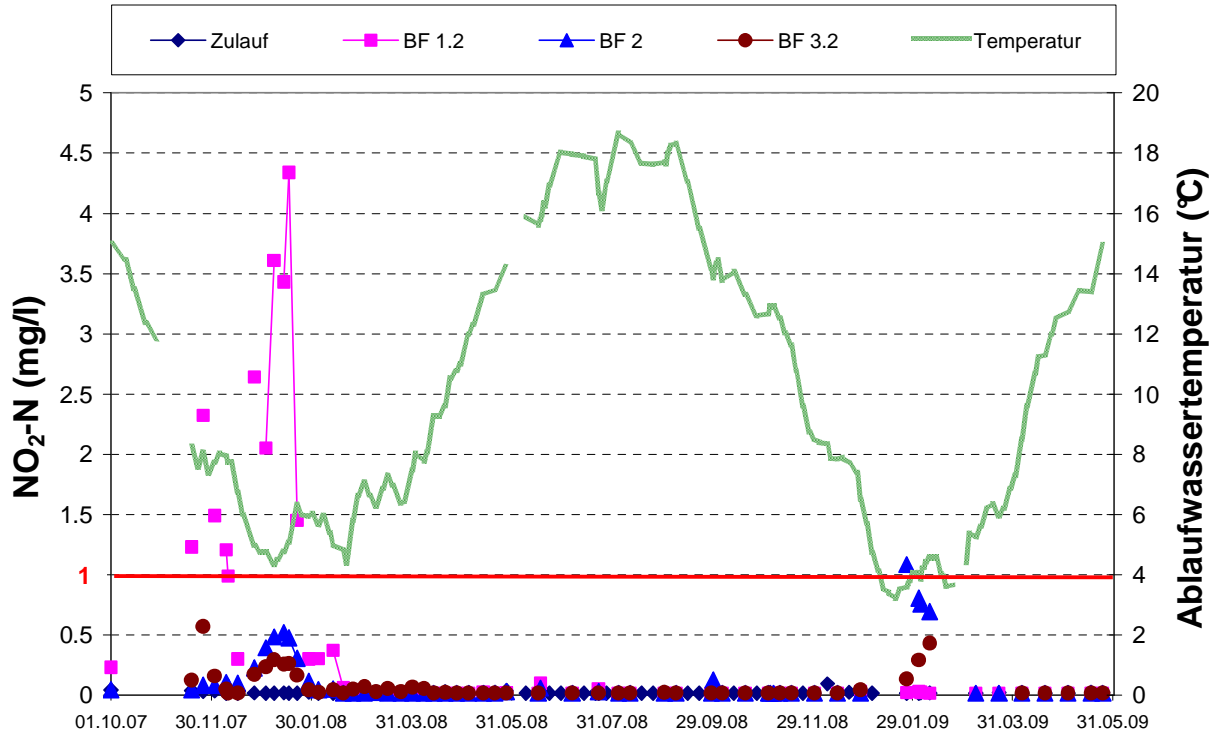


Abbildung 19: NO₂-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen

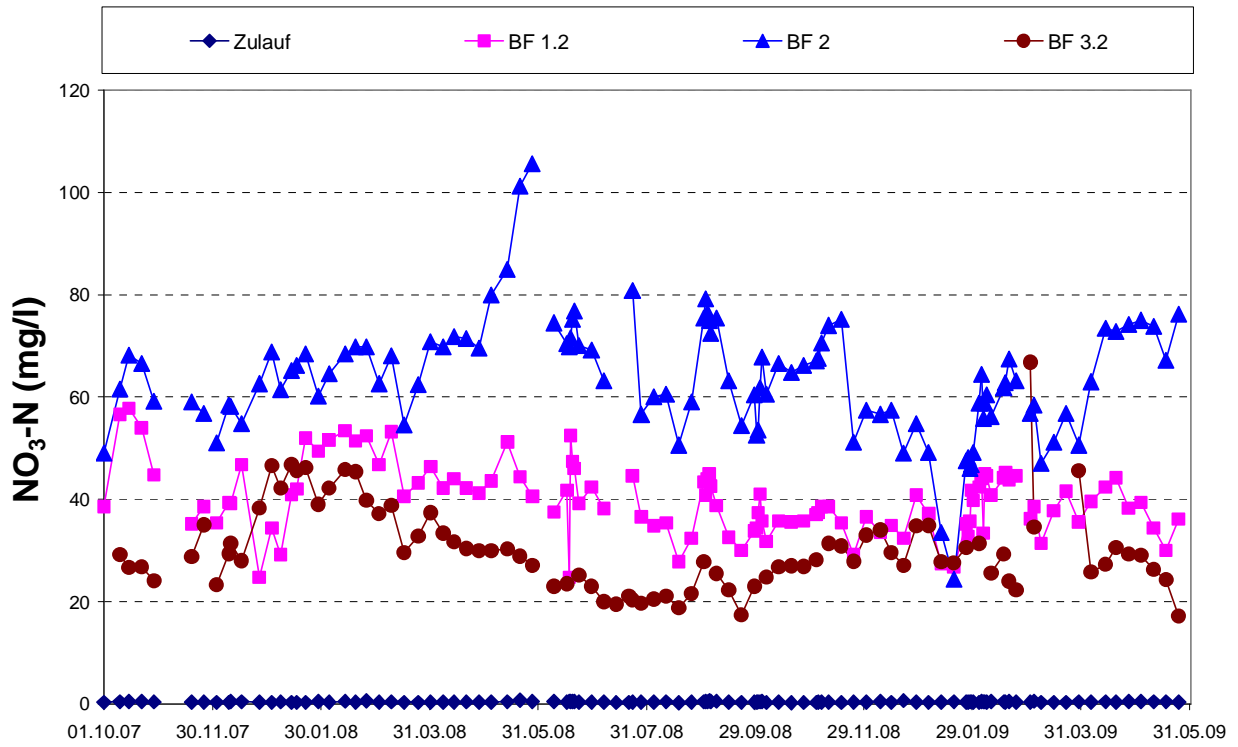


Abbildung 20: NO₃-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen

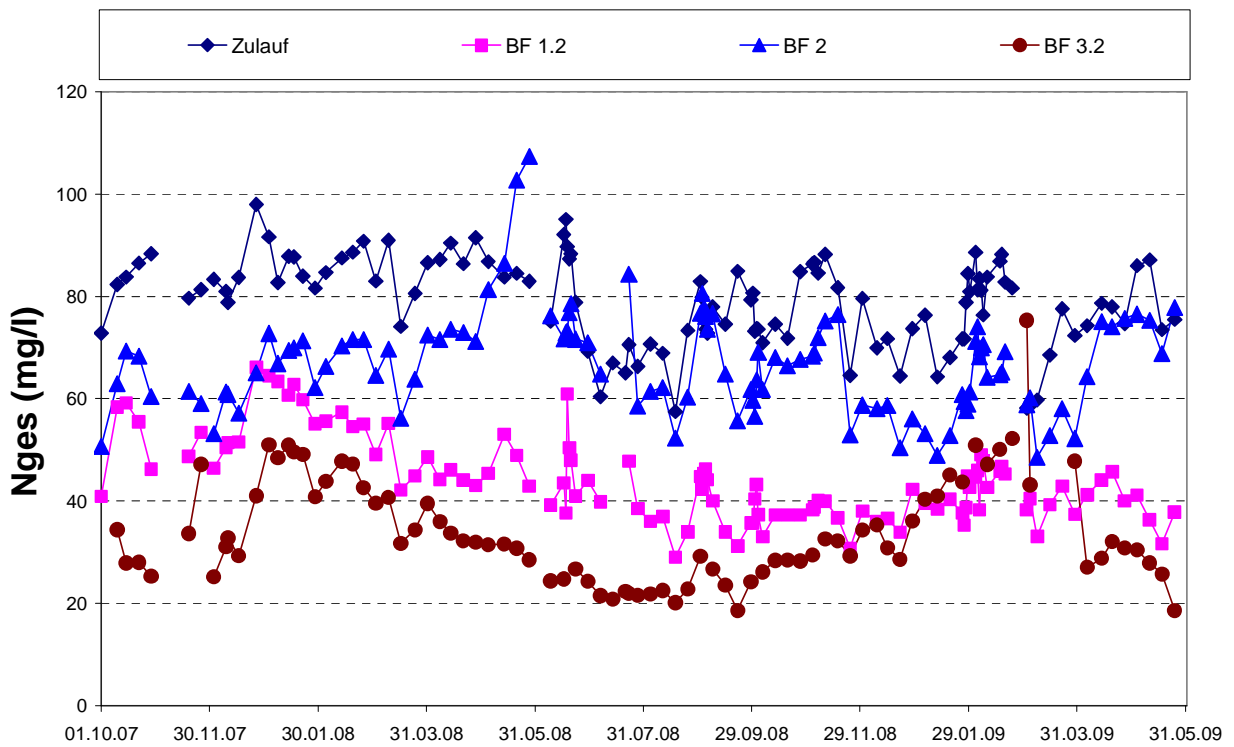


Abbildung 21: N_{ges} – Zu- und Ablaufkonzentrationen

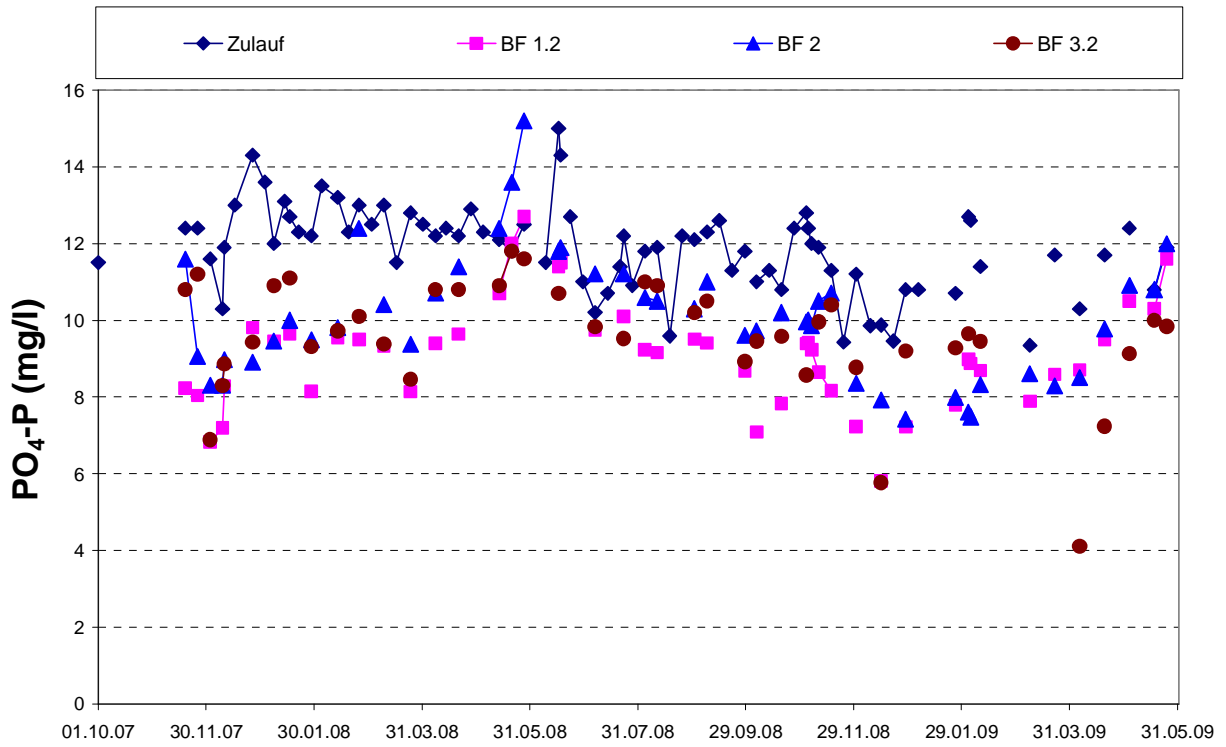


Abbildung 22: PO₄-P – Zu- und Ablaufkonzentrationen

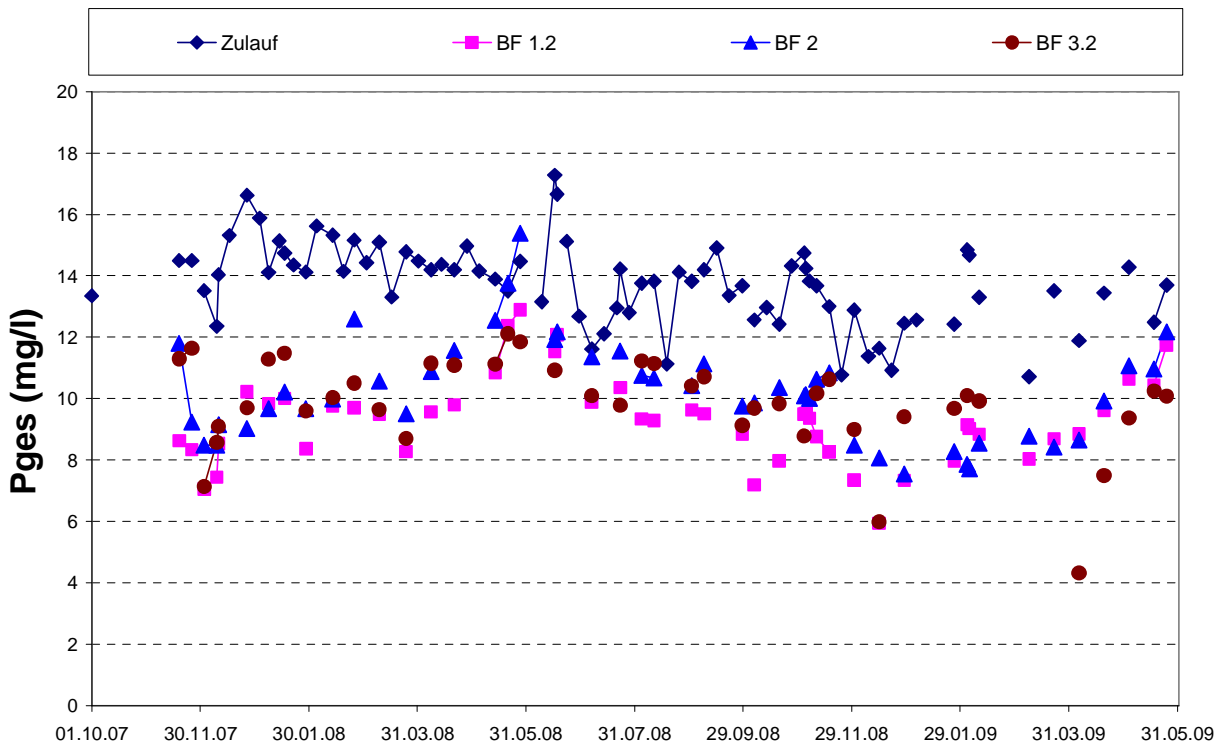


Abbildung 23: P_{ges} – Zu- und Ablaufkonzentrationen

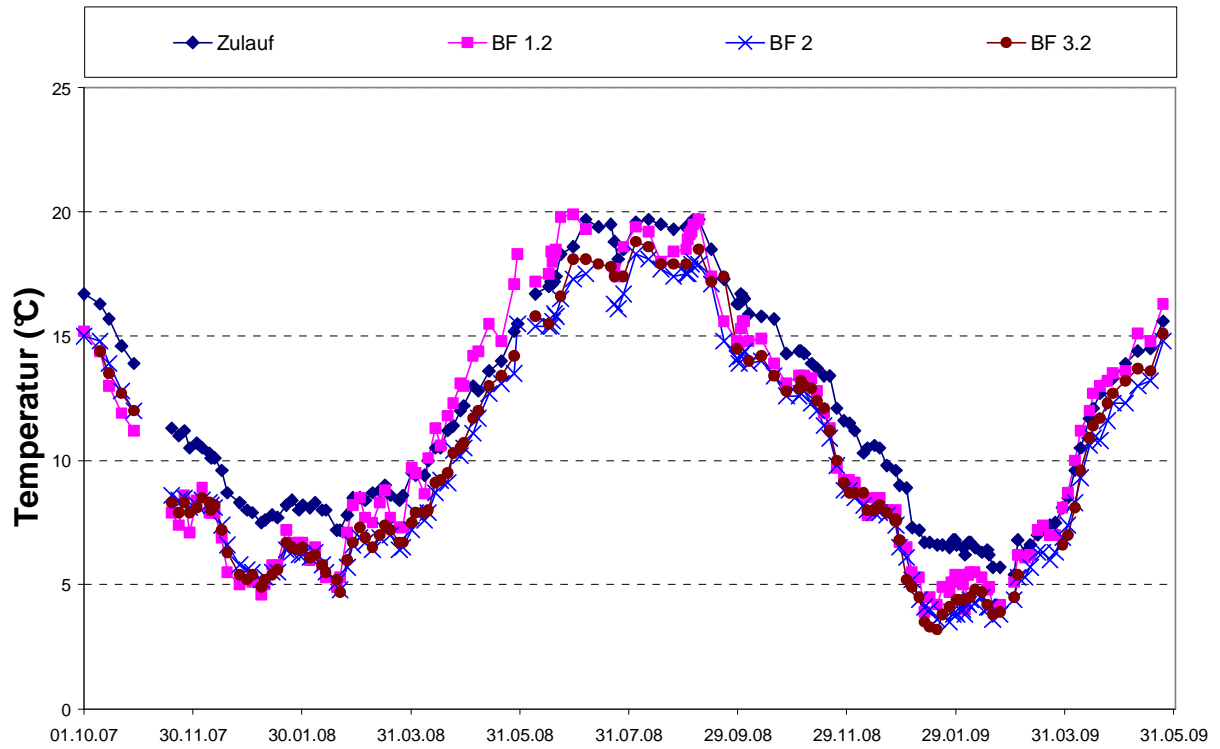


Abbildung 24: Temperatur im Zu- und Ablauf

3.3.2 Vergleich der Reinigungsleistung der 1-stufigen und 2-stufigen Bodenfilter bei Nominalbelastung

Im Folgenden werden die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen der Bodenfilter miteinander verglichen. Dazu wurden nur die Phasen mit Nominalbelastung herangezogen, d.h. für BF1 und BF2 wurden nur jene Daten herangezogen, in denen 40 g CSB/m²/d (BF1, entspricht 2 m²/EW_{CSB}) bzw. 20 g CSB/m²/d (BF2, entspricht 4 m²/EW_{CSB}) belastet wurden. Darüber hinaus wurde für jene Parameter, die während des Winterbetriebs zweimal pro Woche analysiert wurden, pro Woche nur 1 Wert für die Auswertung herangezogen.

In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen des 2-stufigen Bodenfilter BF1 bzw. des 1-stufigen Referenzbodenfilters BF2 zusammengefasst.

Beide Bodenfilter, BF1 und BF2, zeigten über die ganze Versuchsphase eine gute Reinigungsleistung. Beim 2-stufigen Bodenfilter BF1 waren die Ablaufwerte zu Beginn, und vor allem im Winter 2007/2008, noch höher als erwartet, was auf den späten Umbau des Bodenfilters (Beschickungsbeginn erst im Oktober 2007) zurückgeführt werden kann, durch den der Betrieb im ersten Winter ohne Bepflanzung und daher ohne Isolierschicht laufen musste.

Mit Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 wurden vergleichbare Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen erzielt, wobei das 2-stufige System (BF1), wie erwartet, zusätzlich eine höhere Gesamtstickstoffentfernung aufweist. Die gesetzlich geforderten Ablaufgrenzwerte und Reinigungsleistungen für BSB₅, CSB und NH₄-N wurden bei beiden Bodenfiltern im gesamten Versuchszeitraum eingehalten (mit Ausnahme von BSB₅ bei Bodenfilter BF1 im ersten Winter als noch keine Vegetation am neuen BF1.1 ausgebildet war),.

Bei Bodenfilter BF1 kam es im ersten Winter zu einer Überschreitung des in der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV, 1996)³ geforderten NO₂-N Ablaufgrenzwerts von 1 mg/l. Das dürfte auf die späte Inbetriebnahme von BF1 zurückzuführen sein. Bei BF2 kam es im Winter 2008/2009 bei Ablaufwassertemperaturen um 4°C zu erhöhten NO₂-N Ablaufkonzentrationen und einer Überschreitung des NO₂-N Ablaufgrenzwerts, bei BF1 war in diesem Zeitraum keine erhöhte NO₂-N Ablaufkonzentration messbar, was auf einen stabileren Betrieb des 2-stufigen Bodenfilters hindeutet.

Tabelle 13: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen (%)				
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	P _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}	P _{ges}
Anzahl	49	83 (3*)	84 (10*)	53 (30*)	84	83	41	49	83	84	83	41
Median	5	22.4	0.034	0.015	39.0	42.1	9.4	98.6	95.4	99.95	46.5	35.2
Mittelwert	7	25.8	2.154	0.509	39.8	43.6	9.2	98.1	95.0	96.9	45.8	34.1
Standardabw.	7.2	10.9	5.795	1.030	7.1	8.5	1.5	1.4	1.8	7.9	7.8	9.5
95% Konf-Int.	2.0	2.3	1.239	0.277	1.5	1.8	0.4	0.4	0.4	1.7	1.7	2.9
Maximum	36	62.4	33.8	4.340	57.8	64.6	11.9	99.3	97.3	99.98	64.5	67.2
Minimum	2	15	0.015	0.015	24.8	28.7	4.4	93.3	89.3	59.1	27.0	14.1

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

³ Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung gilt nicht für Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen. Die Überschreitung des Grenzwertes für Nitrit-Stickstoff ist nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Tabelle 14: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen (%)				
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	P _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}	P _{ges}
Anzahl	48	83 (7*)	84 (11*)	53 (32*)	83	82	41	48	83	84	82	41
Median	3	19.5	0.028	0.015	62.6	64.8	10.0	99.1	96.2	99.96	21.0	30.2
Mittelwert	3	20.4	0.978	0.118	62.9	65.6	10.1	99.1	95.9	98.4	18.0	27.3
Standardabw.	1.1	5.4	3.339	0.226	10.7	9.4	1.4	0.3	1.3	5.8	11.2	9.7
95% Konf-Int.	0.3	1.2	0.714	0.061	2.3	2.0	0.4	0.1	0.3	1.2	2.4	3.0
Maximum	6	44.8	24.8	1.084	100.0	101.8	12.7	99.7	97.9	99.98	37.6	46.8
Minimum	1	12.9	0.015	0.015	24.4	48.6	7.6	98.3	90.2	56.2	-23.1	2.3

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

In Tabelle 15 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistung des 2-stufigen Bodenfilter BF3 (Nominalbelastung 40 g CSB/m²/d, entspricht 2 m²/EW_{CSB}) zusammengefasst.

Gegenüber BF1 konnte bei Bodenfilter BF3 eine etwas höhere Reinigungsleistung für BSB₅, CSB und NH₄-N festgestellt werden, was auf die anfangs geringeren Reinigungsleistungen von BF1 zurückzuführen ist. Die Stickstoffelimination war bei BF3 mit 62.0 % deutlich höher als bei BF1 mit 46.5 %. Dies kann durch die in Bodenfilter BF3 schon vorhandene Denitrifikation erklärt werden. Erst am Ende der Versuchsphase erreichte die Stickstoffelimination von Bodenfilter BF1 jene von Bodenfilter BF3. Im Gegensatz dazu war die Phosphorelimination in Bodenfilter BF3 geringer als in Bodenfilter BF1, da die Adsorptionskapazität in BF3 durch den längeren Betrieb schon früher erschöpft war.

Tabelle 15: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen (%)				
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	P _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}	P _{ges}
Anzahl	47	82(10*)	82 (19*)	53 (23*)	82	82	41	47	82	82	82	41
Median	5	18.7	0.059	0.019	29.0	31.5	10.1	98.3	96.1	99.90	62.0	25.5
Mittelwert	6	20.7	1.992	0.077	30.1	33.7	10.1	98.3	95.9	96.9	58.1	28.2
Standardabw.	2.0	5.9	4.990	0.116	8.3	10.2	1.3	0.5	1.2	7.5	14.0	9.2
95% Konf-Int.	0.6	1.3	1.080	0.031	1.8	2.2	0.4	0.2	0.3	1.6	3.0	2.8
Maximum	11	38.0	26.9	0.570	66.8	75.3	12.2	99.2	97.7	99.98	78.6	48.7
Minimum	3	14.3	0.015	0.015	17.2	18.6	6.0	97.1	91.7	61.5	-25.0	10.7

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

3.4 Ergebnis der Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3

3.4.1 48-wöchiger Prüfbetrieb (31. März – 22. Dezember 2008)

Wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, wurde in der Periode 31. März – 22. Dezember 2008 an den Bodenfiltern BF1 (2-stufig) und BF2 (1-stufig) das für die Typenprüfung von technischen Anlagen beschriebene 48-wöchige Versuchsprogramm nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) durchgeführt. Während der Phasen mit geänderter Belastung wurden zusätzliche Analysen für CSB, NH₄-N und NO₃-N durchgeführt.

Die Zulaufkonzentrationen zu den Bodenfiltern in dieser Periode sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Laut ÖNORM EN 12566-3 (2005) sollen die Zulaufkonzentration zur Kläranlage (d.h. nicht nach der mechanischen Vorreinigung) in den folgenden Bereichen liegen: 150 bis 500 mg/l für BSB₅, 300 bis 1000 mg/l für CSB, 200 bis 700 mg/l für suspendierte Feststoffe (SS), 25 bis 100 mg/l für Kjehldal-Stickstoff (KN), 22 bis 80 mg/l für NH₄-N, sowie 5 bis 20 mg/l für P_{ges}. Die geforderten Zulaufkonzentrationen wurden im 48-wöchigen Prüfbetrieb erfüllt (so wie auch während der gesamten Versuchsperiode). Der Medianwert der Zulaufwassertemperatur lag bei 15.7°C (Minimum: 9.4 °C, Maximum: 19.7°C).

Tabelle 16: Zulaufkonzentrationen in mg/l während der Prüfphase (31. März – 22. Dezember 2008)

	AFS	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges} *	PO ₄ -P	P _{ges} *
Anzahl	42	38	55	67	43 (34**)	55	55	42	42
Median	110	325	495	65.1	0.015	0.40	78.8	11.9	13.8
Mittelwert	109	328	495	65.5	0.018	0.42	77.9	11.7	13.5
Standardabw.	23	46	64	7.8	0.012	0.09	8.9	1.2	1.4
95% Konf-Int.	7	15	17	1.9	0.004	0.03	2.4	0.4	0.4
Maximum	150	460	649	79.3	0.093	0.74	95.0	15.0	17.3
Minimum	50	230	360	47.3	0.015	0.28	57.5	9.4	10.8

* Berechnet aus Vergleichsproben Labor SIG

** Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (0.015 mg NH₄-N/l)

In Abbildung 25 und Abbildung 26 sind die CSB-Frachten bzw. die spezifische Flächenbelastungen von Bodenfilter BF1 (dimensioniert auf $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$) und BF2 (dimensioniert auf $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$) während der Prüfphase dargestellt. Die einzelnen Prüfabschnitte, in denen die Belastung der Bodenfilter von der Nominalbelastung (40 g CSB/m²/d für BF1 bzw. 20 g CSB/m²/d für BF2) abweicht, sind farblich gekennzeichnet. In der Prüfphase "Stromausfall" ist nur die Woche gekennzeichnet, in der der Stromausfall simuliert wurde. Von Abbildung 27 bis Abbildung 33 sind die Ablaufkonzentrationen der Parameter BSB₅, CSB, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, N_{ges} und P_{ges} für BF1 und BF2 dargestellt.

Während der gesamten Prüfphase kam es zu keinen Überschreitungen der Ablaufgrenzwerte (25 mg/l für BSB₅, 90 mg/l für CSB bzw. 10 mg/l für NH₄-N). Auch die Maxima der CSB und NH₄-N Ablaufkonzentrationen nach der Schwallbeschickung mit dem Tageswasseranfall nach den simulierten 24-stündigen Stromausfällen am 17. Juni und 30. September 2008 waren unter den Grenzwerten. Erhöhte Ablaufkonzentrationen für CSB und NH₄-N wurden auch nach Wiederinbetriebnahme der Bodenfilter nach der Phase mit "Geringer Belastung" (14-tägige Beschickungspause) gemessen, die aber ebenfalls deutlich unter den Grenzwerten lagen. Das Maximum der NH₄-N Ablaufkonzentration am 11. Dezember 2008 ist auf einen Fehler bei der Beschickung von BF1 zurückzuführen.

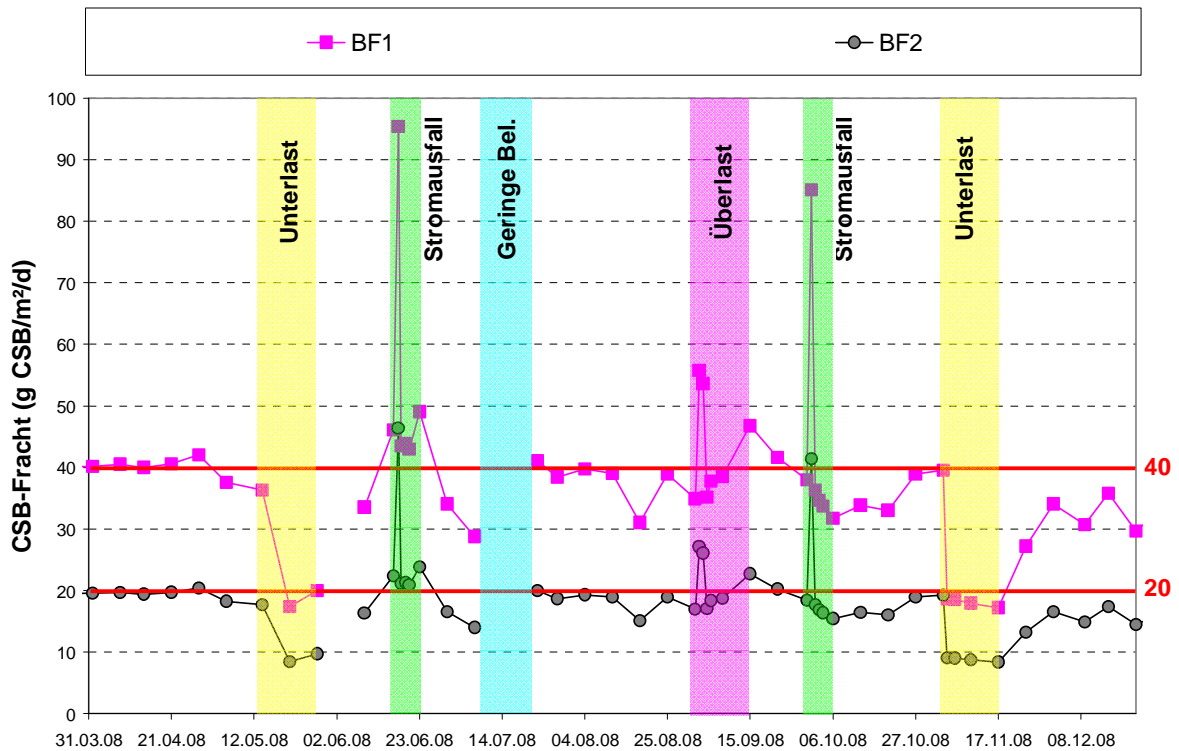


Abbildung 25: CSB-Frachten im Zulauf während der Prüfphase (Dimensionierungsfracht 20 g CSB/m²d für Bodenfilter BF2 bzw. 40 g CSB/m² d für Bodenfilter BF1)

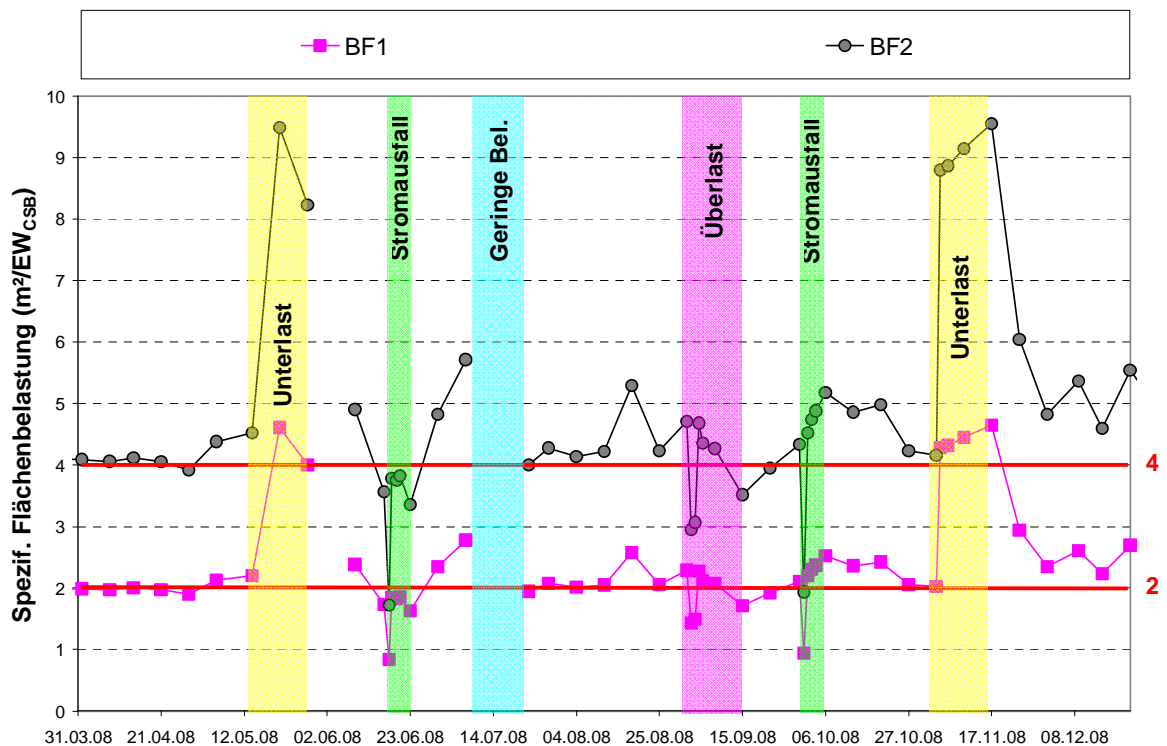


Abbildung 26: Spezifische Flächenbelastungen der Bodenfilter während der Prüfphase (vgl. Dimensionierungswerte 4 m²/EW_{CSB} für Bodenfilter BF2 bzw. 2 m²/EW_{CSB} für Bodenfilter BF1)

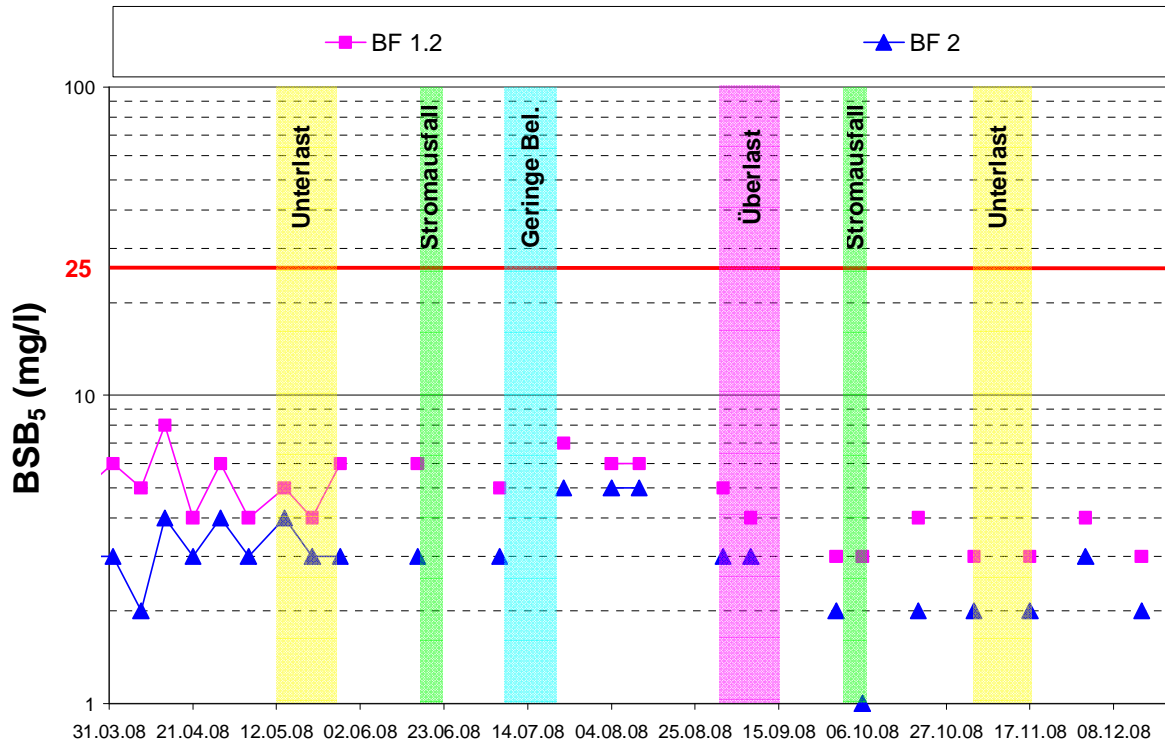


Abbildung 27: BSB₅ – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

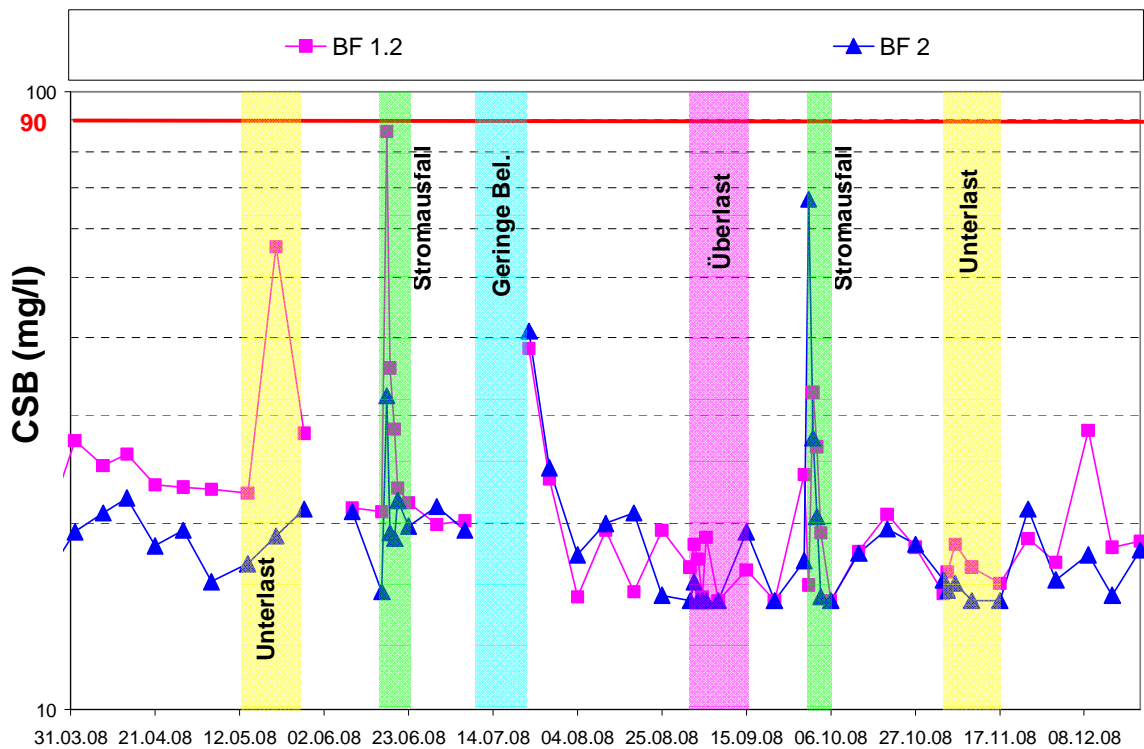


Abbildung 28: CSB – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

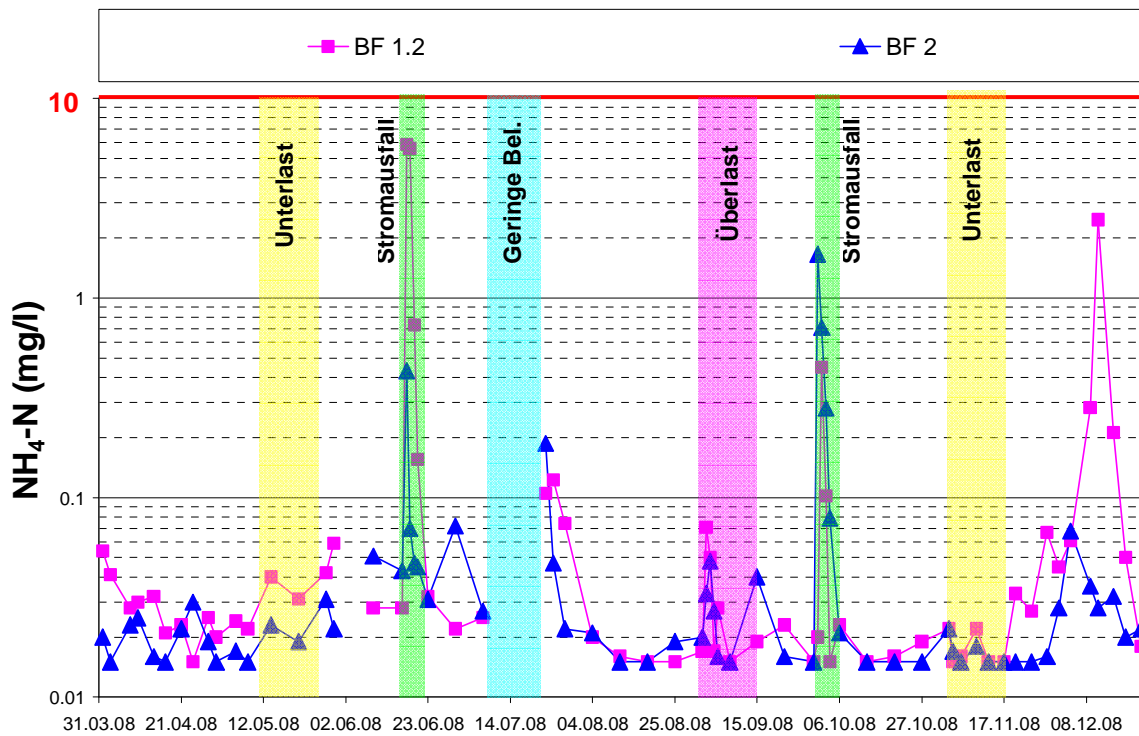


Abbildung 29: $\text{NH}_4\text{-N}$ – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

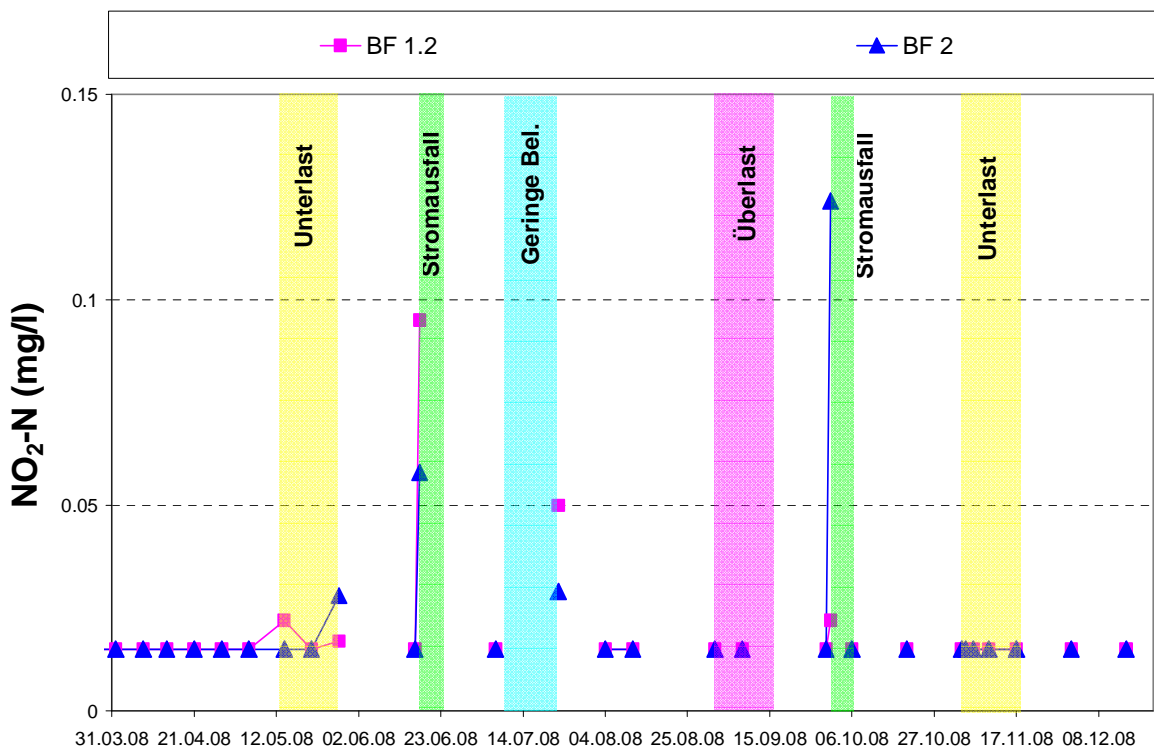


Abbildung 30: $\text{NO}_2\text{-N}$ – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

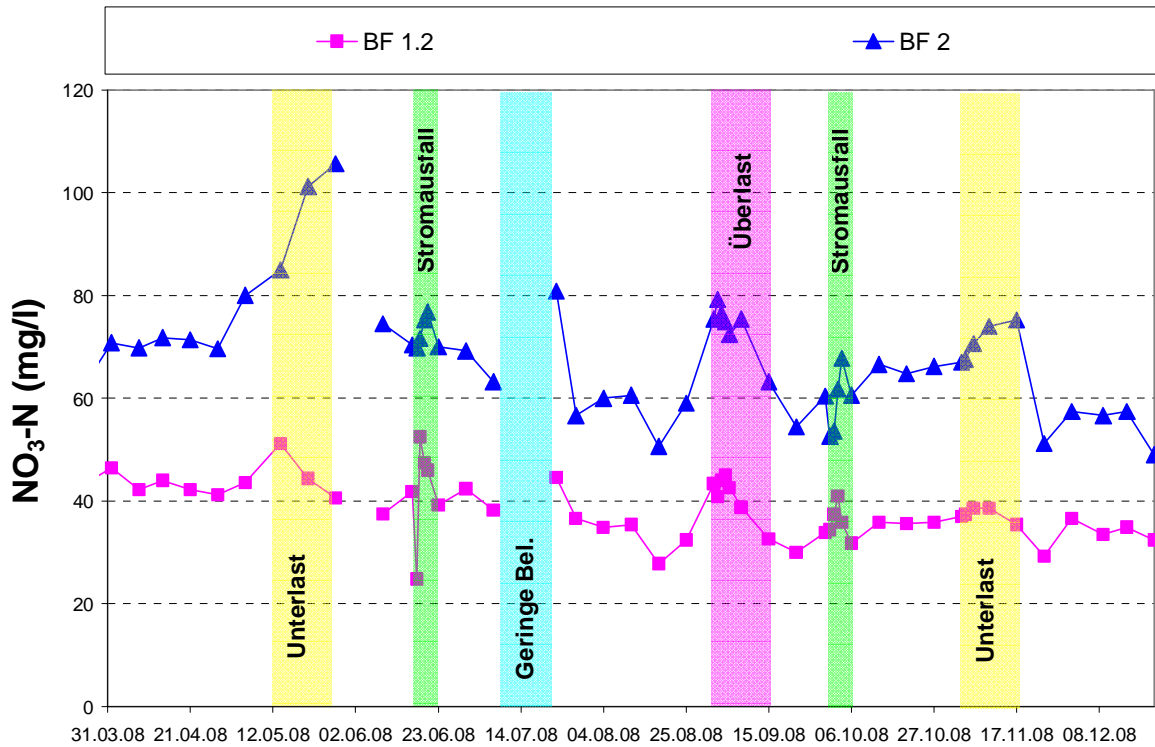


Abbildung 31: NO₃-N – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

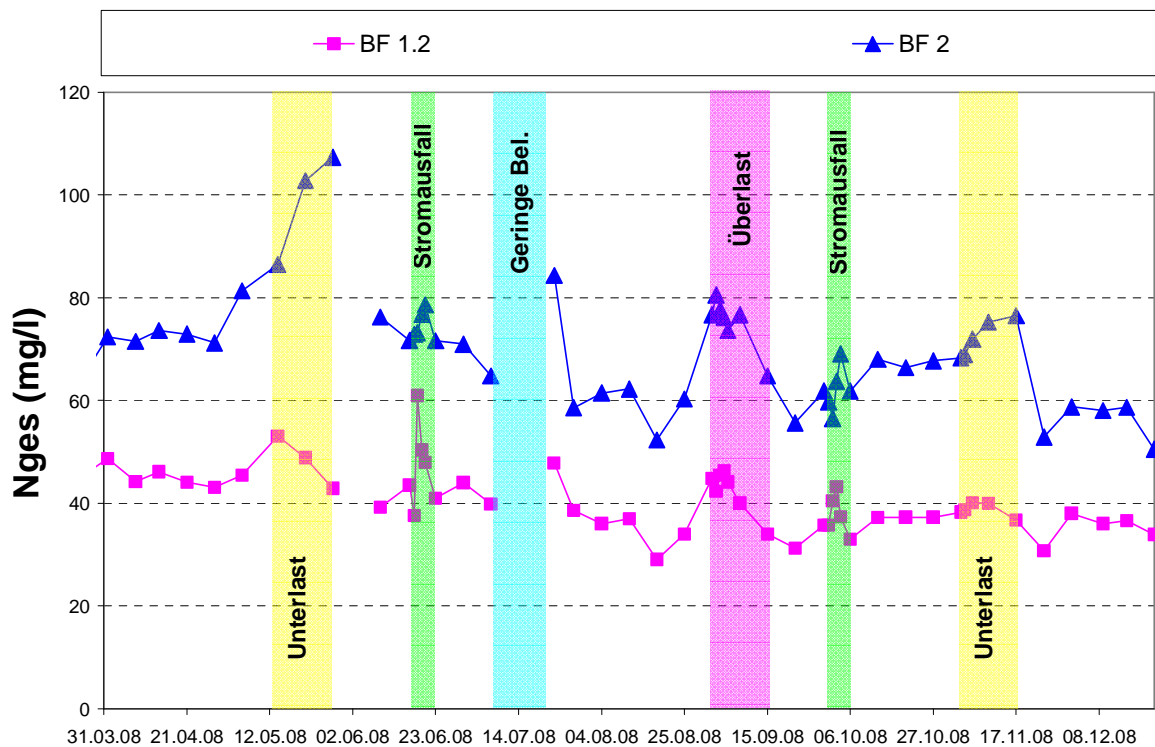


Abbildung 32: N_{ges} – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

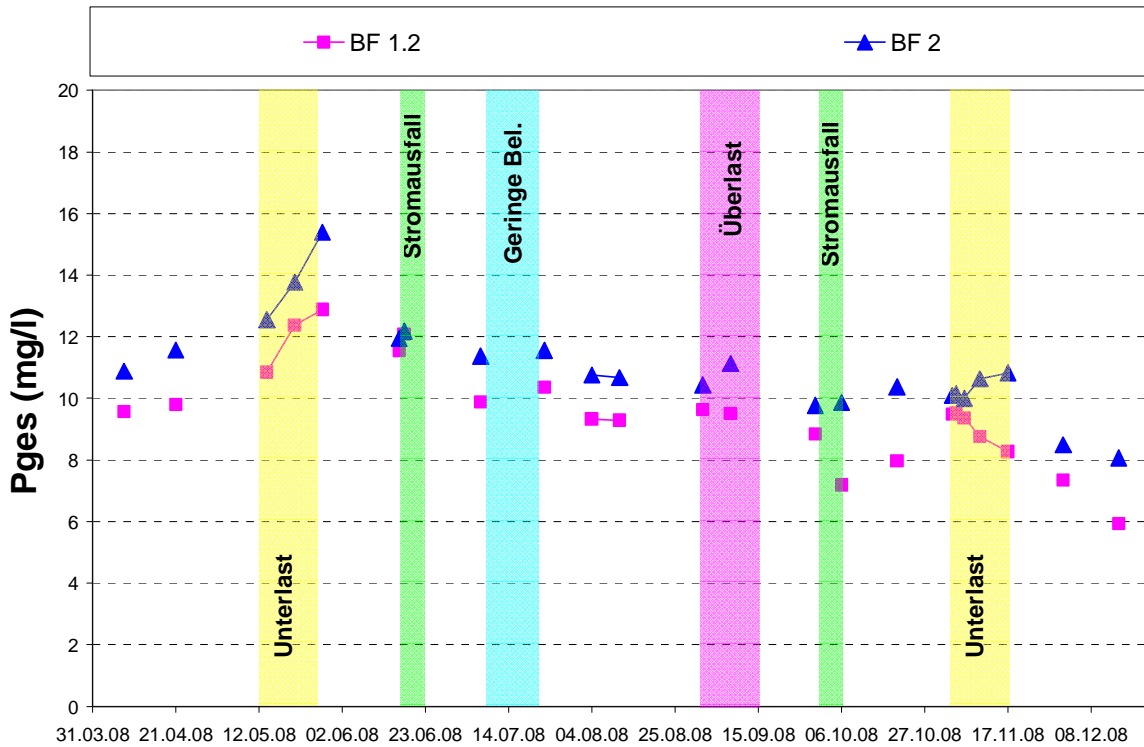


Abbildung 33: P_{ges} – Ablaufkonzentrationen während der Prüfphase

In Tabelle 17 und Tabelle 18 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 bzw. BF2 während der Prüfphase zusammengefasst. Generell betrachtet wurden bei beiden Bodenfiltern vergleichbare Ablaufkonzentrationen für BSB₅, CSB, NH₄-N und NO₂-N erreicht. Wie zu erwarten, war die Stickstoffelimination in BF1 höher als in BF2. Durch das neu eingebaute Substrat in der 1. Stufe von BF1 war auch die Phosphorelimination in BF1 geringfügig höher als in BF2.

Tabelle 17: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1 während der Prüfphase

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen (%)				
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	P _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}	P _{ges}
Anzahl	23	53 (3*)	65 (10*)	28 (23*)	53	53	23	23	53	65	53	23
Median	5	19.9	0.027	0.015	38.2	40.0	9.5	98.6	95.9	99.96	48.5	32.8
Mittelwert	5	23.2	0.272	0.020	38.7	40.8	9.6	98.6	95.3	99.6	47.7	31.1
Standardabw.	1.4	11.4	1.033	0.016	5.7	6.0	1.7	0.4	2.0	1.4	6.9	9.6
95% Konf-Int.	0.6	3.1	0.251	0.006	1.5	1.6	0.7	0.2	0.5	0.3	1.9	3.9
Maximum	8	86.2	5.9	0.095	52.5	60.9	12.9	99.2	97.3	99.98	63.2	49.0
Minimum	3	15	0.015	0.015	24.8	29.0	5.9	97.6	86.3	92.6	32.1	8.4

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

Tabelle 18: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2 während der Prüfphase

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen (%)				
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	P _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}	P _{ges}
Anzahl	23	53 (9*)	65 (16*)	28 (24*)	52	52	23	23	53	65	52	23
Median	3	18.5	0.022	0.015	69.7	71.3	10.8	99.1	96.4	99.97	12.9	22.3
Mittelwert	3	20.2	0.075	0.021	68.9	70.6	11.0	99.1	95.9	99.89	9.8	20.5
Standardabw.	1.1	8.3	0.226	0.022	11.9	11.8	1.6	0.3	1.5	0.3	13.4	10.6
95% Konf-Int.	0.4	2.2	0.055	0.008	3.2	3.2	0.6	0.1	0.4	0.1	3.6	4.4
Maximum	5	67	1.7	0.124	105.6	107.3	15.4	99.7	97.5	99.98	34.5	34.1
Minimum	1	15	0.015	0.015	49.0	50.5	8.1	98.5	88.1	97.5	-29.5	-6.3

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

3.4.2 Detailbetrachtung der einzelnen Prüfabschnitte

3.4.2.1 Unterlast

Das Versuchsprogramm umfasste 2 Phasen "Unterlast" (14 Tage Beschickung mit 50 % der Nominallast), die erste von 12.-26. Mai 2008 und die zweite von 3.-17. November 2008. Die Zulaufwassertemperatur lag in beiden Unterlastphasen bei ca. 14°C.

Wie erwartet, kam es im Bodenfilter BF1 zu keiner Überschreitung der Grenzwerte für Ablaufkonzentrationen von BSB₅, CSB, NH₄-N und NO₂-N, da diese schon in den Normallastphasen sehr gering waren.

Dagegen wurde bei Bodenfilter BF2 in beiden Unterlastphasen eine Erhöhung der NO₃-N und N_{ges} Ablaufkonzentrationen gemessen. Das kann dadurch erklärt werden, dass die geringere Belastung auch zu geringerer Verfügbarkeit von organischen Stoffen für die Denitrifikation führt. Dieser Anstieg konnte bei BF1 nicht festgestellt werden, die NO₃-N und N_{ges} Ablaufkonzentrationen blieben gleich. In der ersten Unterlastphase kam es bei beiden Bodenfiltern zu einem Anstieg der P_{ges} Ablaufkonzentrationen. Bei BF2 wurde ein Anstieg der P_{ges} Ablaufkonzentration auch während der zweiten Unterlastphase gemessen, nicht aber bei BF1.

3.4.2.2 Geringe Belastung

Das Versuchsprogramm umfasst eine Phase "Geringe Belastung" (14 Tage keine Beschickung) von 7.-21. Juli 2008.

Nach der Wiederbeschickung der Bodenfilter kam es zu erhöhten Ablaufkonzentrationen für CSB und NH₄-N. Nach ca. einer Woche wurden wieder Ablaufkonzentrationen wie davor gemessen. Dies kann auf das Nahrungsdefizit im Bodenfilter zurückgeführt werden, das zu einem Absterben von einem Teil der Mikroorganismen führt. In weiterer Folge werden die Mikroorganismen abgebaut, wobei nicht-abbaubarer CSB und NH₄-N entstehen. Bei den ersten Beschickungen werden dann CSB und NH₄-N aus dem Filter ausgespült. Dieser Effekt wurde auch mit Hilfe numerischer Simulation von Langergraber (2008) nachgewiesen.

3.4.2.3 Überlast

Das Versuchsprogramm umfasst eine Phase "Überlast" (2 Tage Beschickung mit 150 % der Nominallast innerhalb von 6 Wochen Nominallast). Die Beschickung mit Überlast erfolgte von 1.- 3. September 2008 zu den in Tabelle 8 angegebenen Zeiten.

In Abbildung 34 ist das Ergebnis der Ablaufmengenmessung dargestellt. Die 48-stündige Überlast ist auch bei der Ablaufmenge deutlich sichtbar.

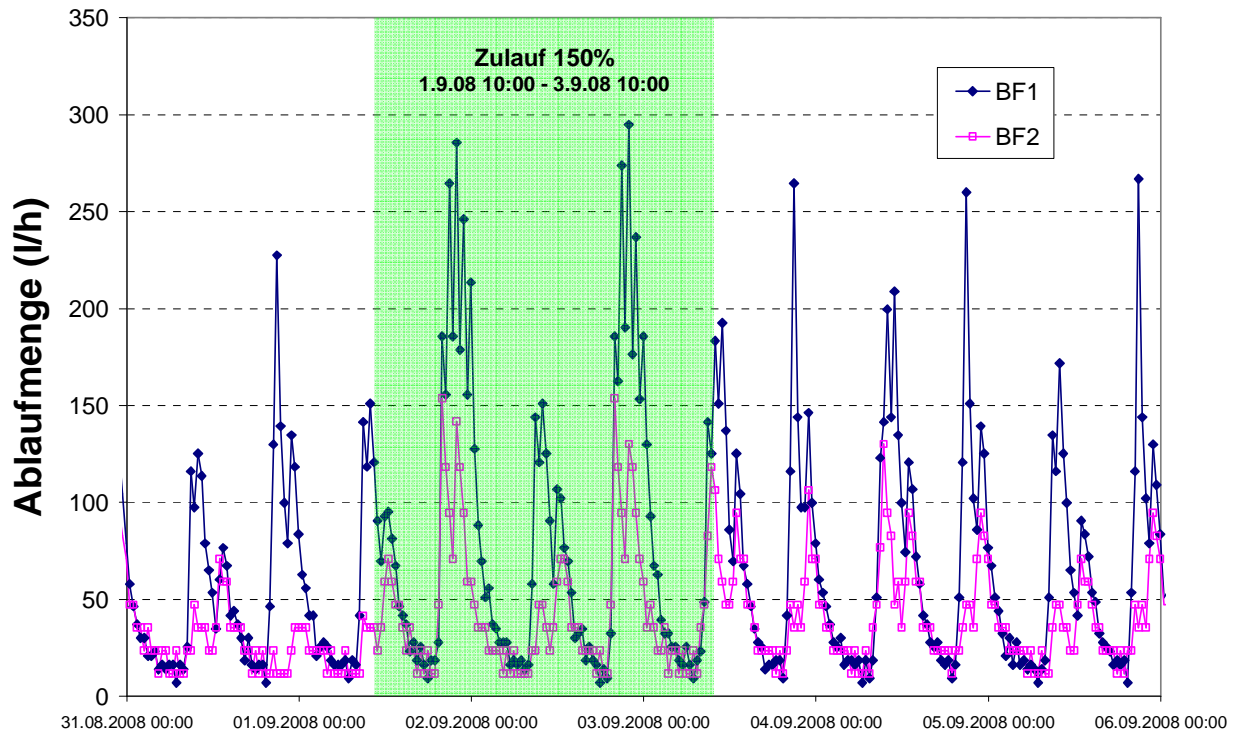


Abbildung 34: Ablaufmengenmessung während der Überlastphase.

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die $\text{NH}_4\text{-N}$ bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen während der Überlastphase. Bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen ist die Auswirkung der Überlast geringfügig erkennbar, allerdings waren die maximal gemessenen $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen noch deutlich unter 0.1 mg/l. Bei allen anderen Parametern war keine signifikante Änderung der Ablaufkonzentration feststellbar, was die hohe Pufferkapazität der Bodenfilteranlagen bestätigt.

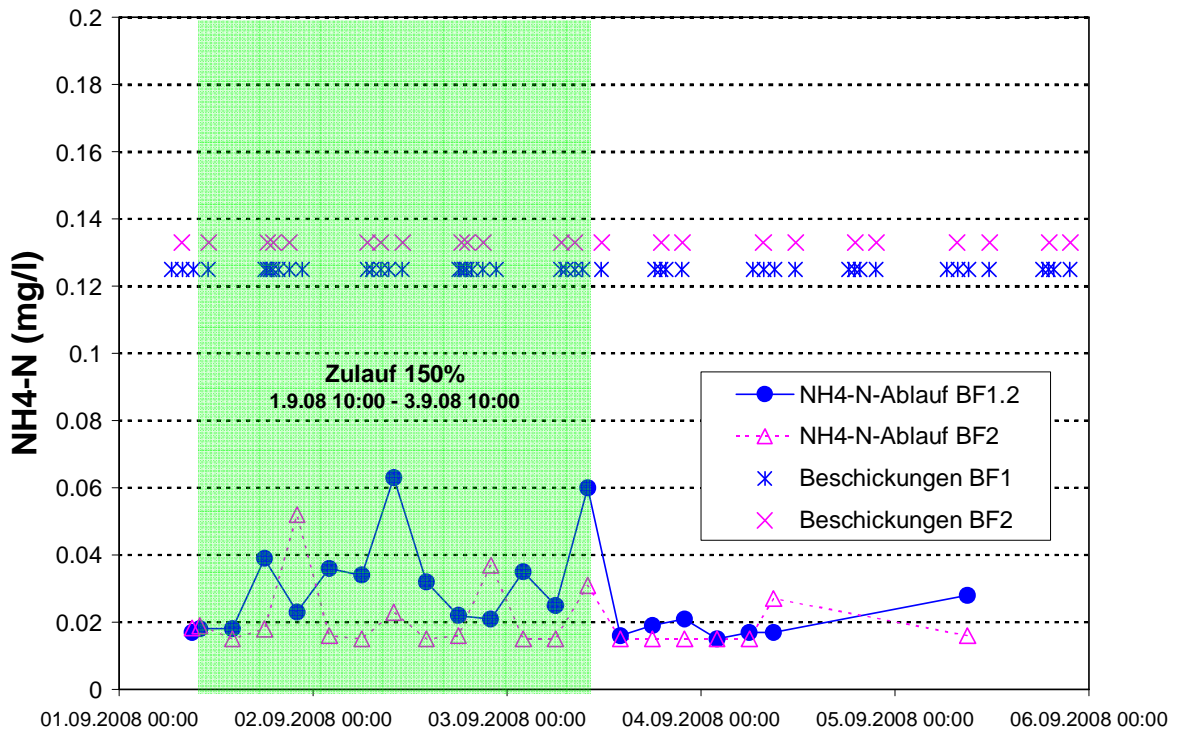


Abbildung 35: NH₄-N Ablaufkonzentrationen während der Überlastphase.

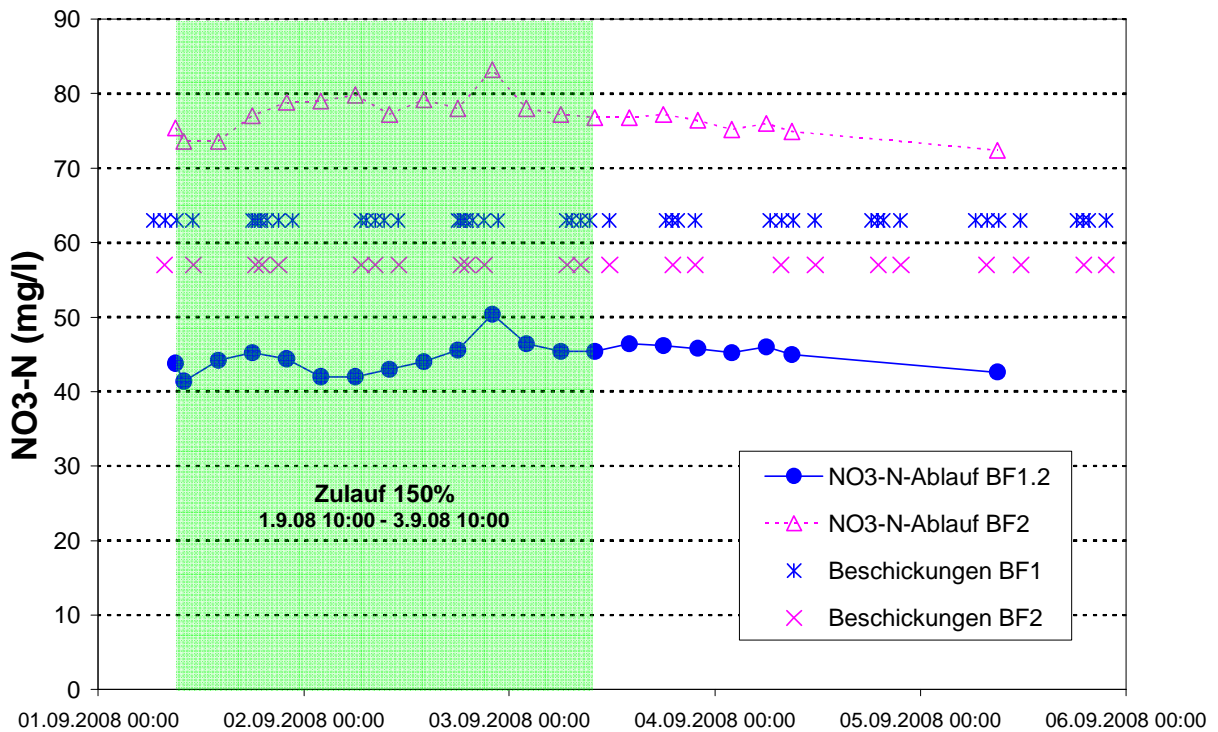


Abbildung 36: NO₃-N Ablaufkonzentrationen während der Überlastphase.

3.4.2.4 Stromausfall

Das Versuchsprogramm umfasst 2 Phasen "Stromausfall", die wie in Kapitel 0 beschrieben durchgeführt wurden. Die Schwallbeschickungen mit einer Tageswassermenge nach einer 24-stündigen Nichtbeschickung erfolgten am 17. Juli 2008 um ca. 11:00 und am 30. September 2008 um ca. 11:00.

In beiden Phasen kam es nach den Beschickungen mit der Tagesabwassermenge zu Spitzen bei den Ablaufkonzentrationen von CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$. Die maximalen Ablaufkonzentrationen blieben aber in beiden Fällen unter den Ablaufgrenzwerte (90 mg/l für CSB bzw. 10 mg/l für $\text{NH}_4\text{-N}$).

Im Folgenden wird die zweite Stromausfallphase, bei welcher zusätzliche Untersuchungen durchgeführt wurden, näher betrachtet. Abbildung 37 zeigt die gemessenen Ablaufmengen. Bei Bodenfilter BF2 ist die Ablaufspitze deutlich höher als bei BF1. Dies ist auf die zweite Stufe des BF1 zurückzuführen, in der die Ablaufspitze der ersten Stufe durch die Beschickungen der zweiten Stufe gedämpft werden.

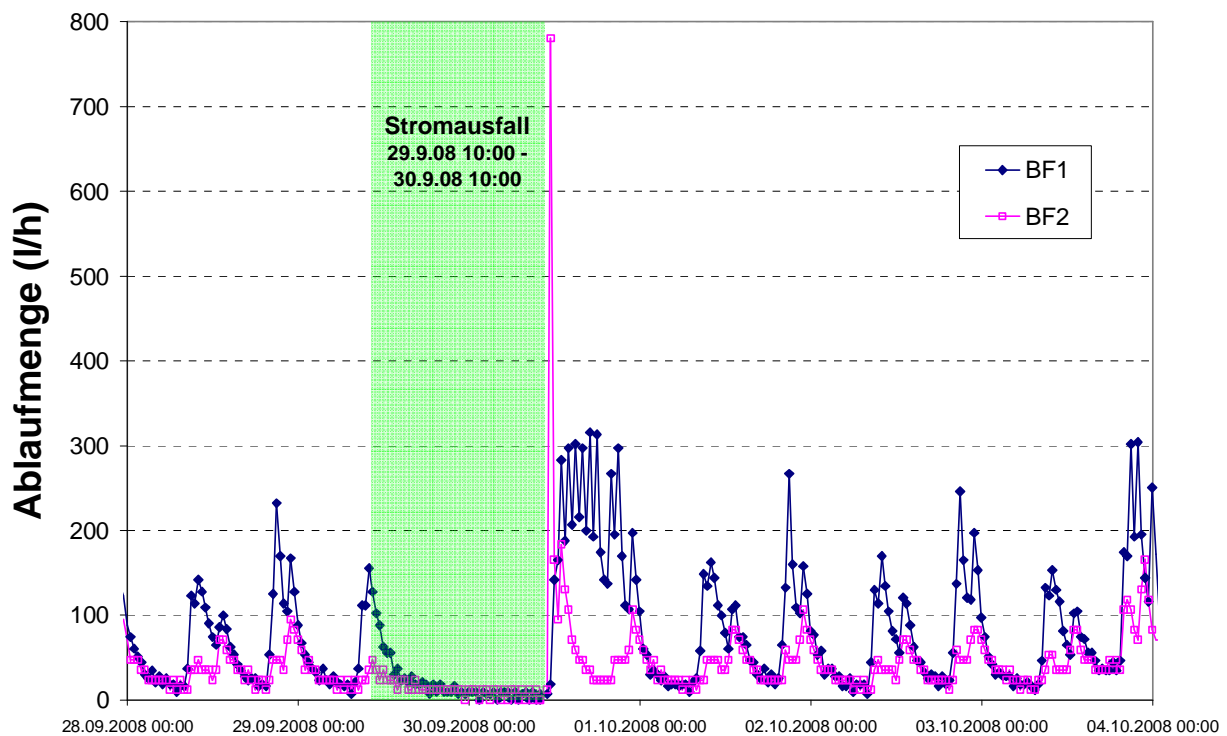


Abbildung 37: Ablaufmengenmessung während der zweiten Stromausfallphase.

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen die $\text{NH}_4\text{-N}$ bzw. die $\text{NO}_3\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen während der zweiten Stromausfallphase. Nach den Schwallbeschickungen mit jeweils einer ganzen Tagesabwassermenge kommt es zu $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufspitzen. Die Ablaufspitze in BF2 (1.65 mg/l) ist höher als jene in BF1 (ca. 0.6 mg/l), in beiden Bodenfiltern liegen die Maxima aber deutlich unter dem Ablaufgrenzwert von 10 mg/l. Bei den $\text{NO}_3\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen ist kein deutlicher Einfluss zu Erkennen, was vor allem auf den anderen Konzentrationsbereich zurück zu führen ist.

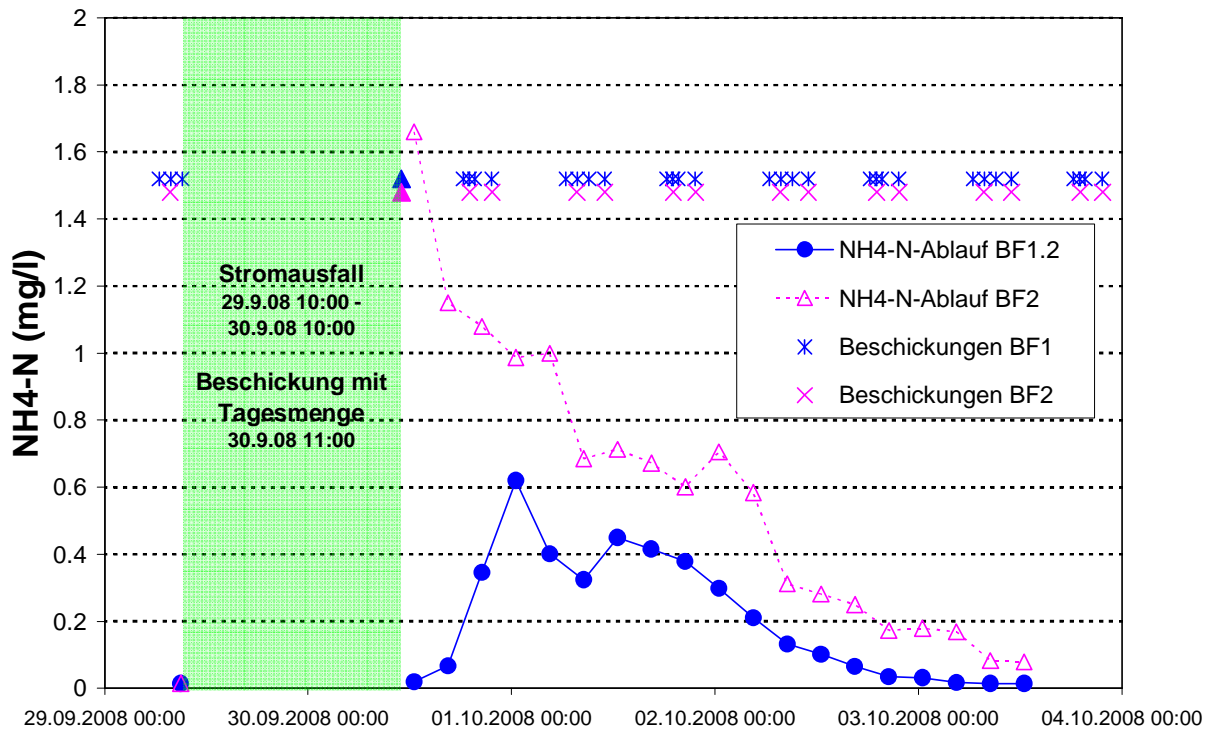


Abbildung 38: Beschickungen und $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen während der zweiten Stromausfallphase.

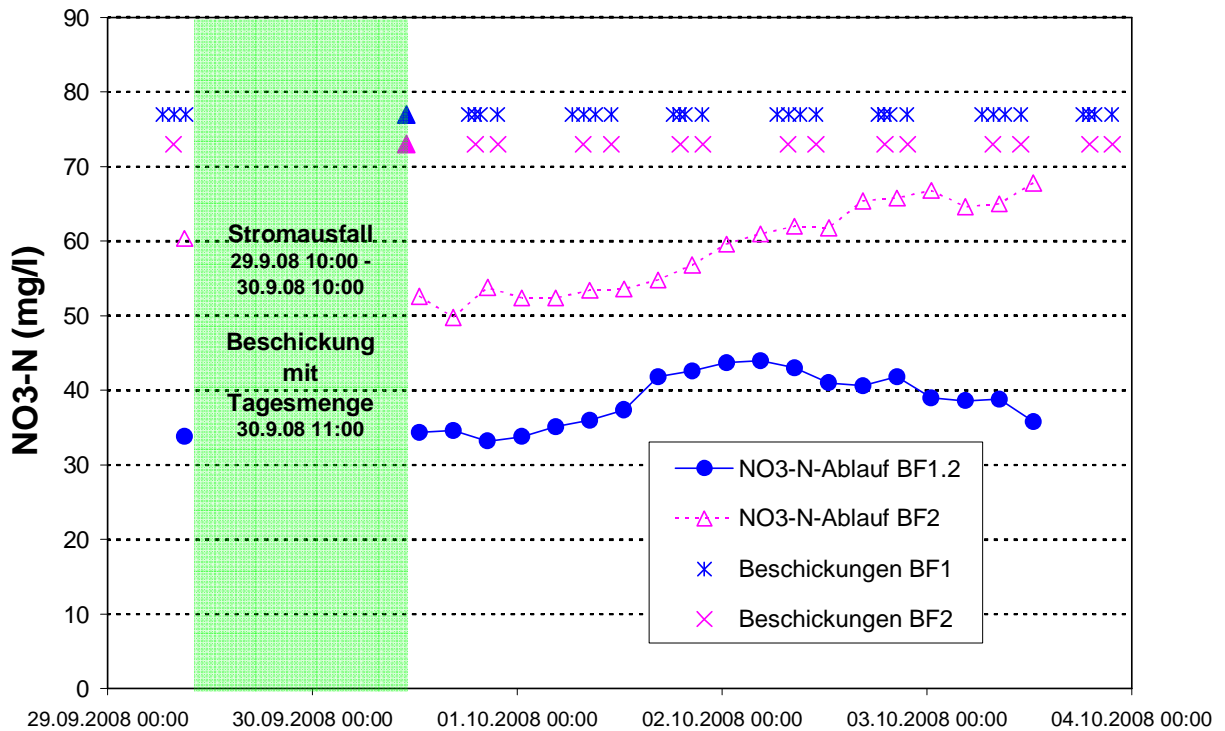


Abbildung 39: Beschickungen und $\text{NO}_3\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen während der zweiten Stromausfallphase.

3.4.3 Zusätzliche Prüfabschnitte (26. Jänner – 2. März 2009)

Wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, wurden anschließend an das 48-wöchige Versuchsprogramm nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) noch zusätzliche Untersuchungen vorgenommen, um Erfahrungen zum Verhalten der Bodenfilter bei Belastungsschwankungen im Winter zu erhalten.

Die Zulaufkonzentrationen in dieser Periode sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Der Medianwert der Zulaufwassertemperatur lag bei 6.5°C (das Maximum bei 6.8°C bzw. das Minimum bei 5.4°C). Wie anhand der Anzahl der genommenen Proben zu erkennen ist, wurde der Schwerpunkt bei der Untersuchung auf die Parameter CSB, NH₄-N, NO₃-N und N_{ges} gelegt.

In Abbildung 40 sind die CSB-Frachten während der zusätzlichen Prüfabschnitte im Jahr 2009 dargestellt.

Tabelle 19: Zulaufkonzentrationen in mg/l während der zusätzliche Prüfabschnitte (19. Jänner – 10. März 2009)

	AFS	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges} [*]	PO ₄ -P	P _{ges} [*]
Anzahl	4	3	19	21	5 (3 ^{**})	19	19	5	5
Median	110	330	515	67.4	0.015	0.42	81.2	11.4	13.3
Mittelwert	108	320	504	64.1	0.016	0.42	77.2	11.4	13.2
Standardabw.	15	56	53	8.7	0.002	0.07	9.8	1.4	1.7
95% Konf-Int.	15	63	24	3.7	0.002	0.03	4.4	1.2	1.5
Maximum	120	370	577	74.4	0.019	0.55	88.6	12.7	14.9
Minimum	90	260	366	45.1	0.015	0.32	58.2	9.4	10.7

* Berechnet aus Vergleichsproben Labor SIG;

** Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (0.015 mg NH₄-N/l)

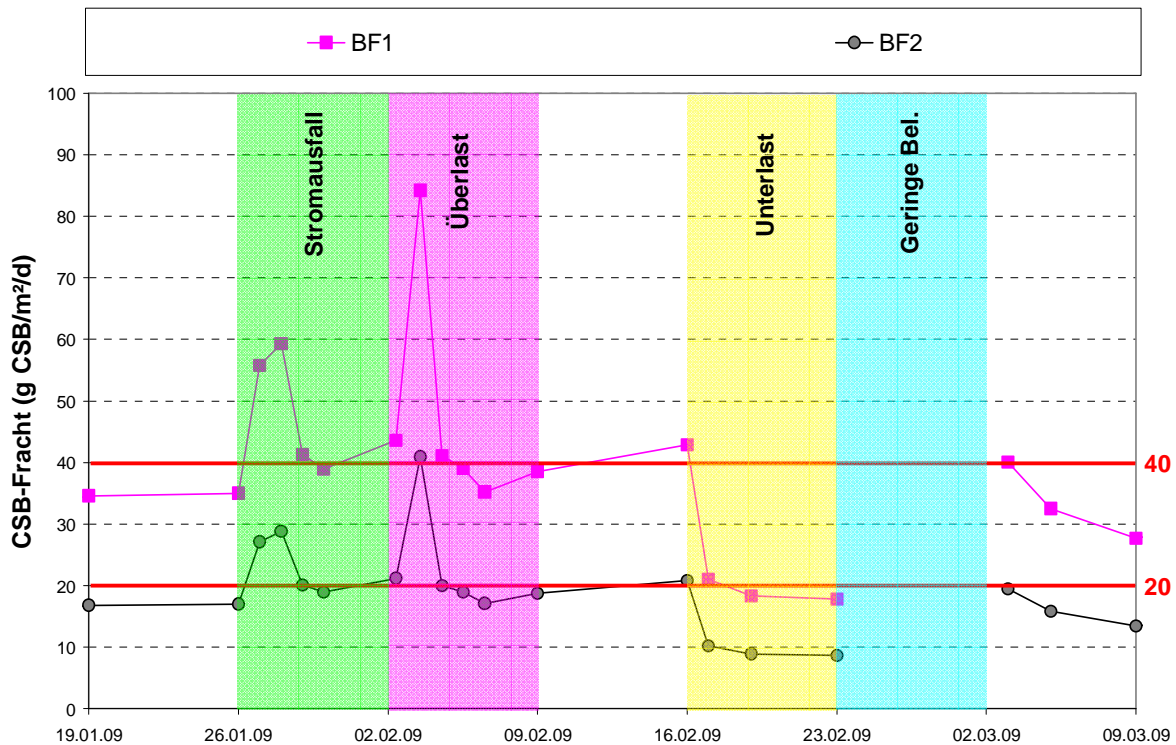


Abbildung 40: CSB-Frachten während der zusätzlichen Prüfabschnitte (Dimensionierungsfracht 20 g CSB/m²/d für Bodenfilter BF2 bzw. 40 g CSB/m²/d für Bodenfilter BF1)

Von Abbildung 41 bis Abbildung 44 sind die Ablaufkonzentrationen der Parameter CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und N_{ges} für BF1 und BF2 im Zeitraum der zusätzlichen Prüfabschnitte dargestellt. In den einzelnen Phasen konnte ein ähnliches Verhalten der Bodenfilter wie schon in den vergleichbaren Phasen während der Prüfphase gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) festgestellt werden, allerdings wurden die Ergebnisse hier von den generell sinkenden Konzentrationen aufgrund der steigenden Temperaturen überlagert.

Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Stromausfallphase bzw. der zusätzlichen Überlastphase. In diesen beiden Phasen lagen die Ablaufwassertemperaturen bei ca. 4°C.

Bei der zusätzlichen Stromausfallphase dauerte die Regeneration der Bodenfilter nach der Beschickung mit der Tageswassermenge aufgrund der geringen Temperaturen länger als bei den gleichen Versuchen in der Prüfphase. Aber auch nach ca. 5 Tagen wurde bei Bodenfilter BF1 wieder die vor dem Stromausfall erzielte Ablaufkonzentration erreicht. Das Maximum der Ablaufspitze lag bei ca. 3 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$, also auch bei 4°C weit unter dem Grenzwert. Die $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentration von BF2 lag vor dem Stromausfall bei knapp unter 10 mg/l, der Ablaufgrenzwert wurde dann bei der Beschickung mit der Tageswassermenge überschritten. Bei der zusätzlichen Überlastphase (Abbildung 46) kam es bei beiden Bodenfiltern zu keiner Erhöhung der $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentration.

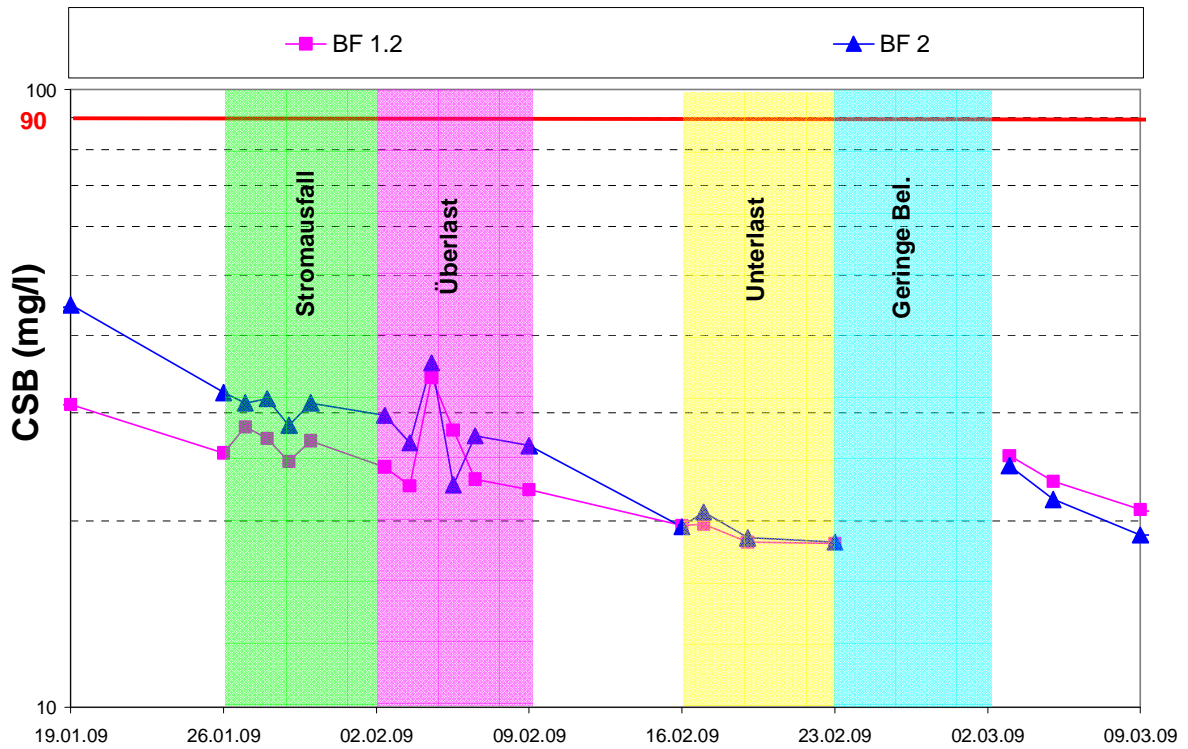


Abbildung 41: CSB – Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Prüfabschnitte

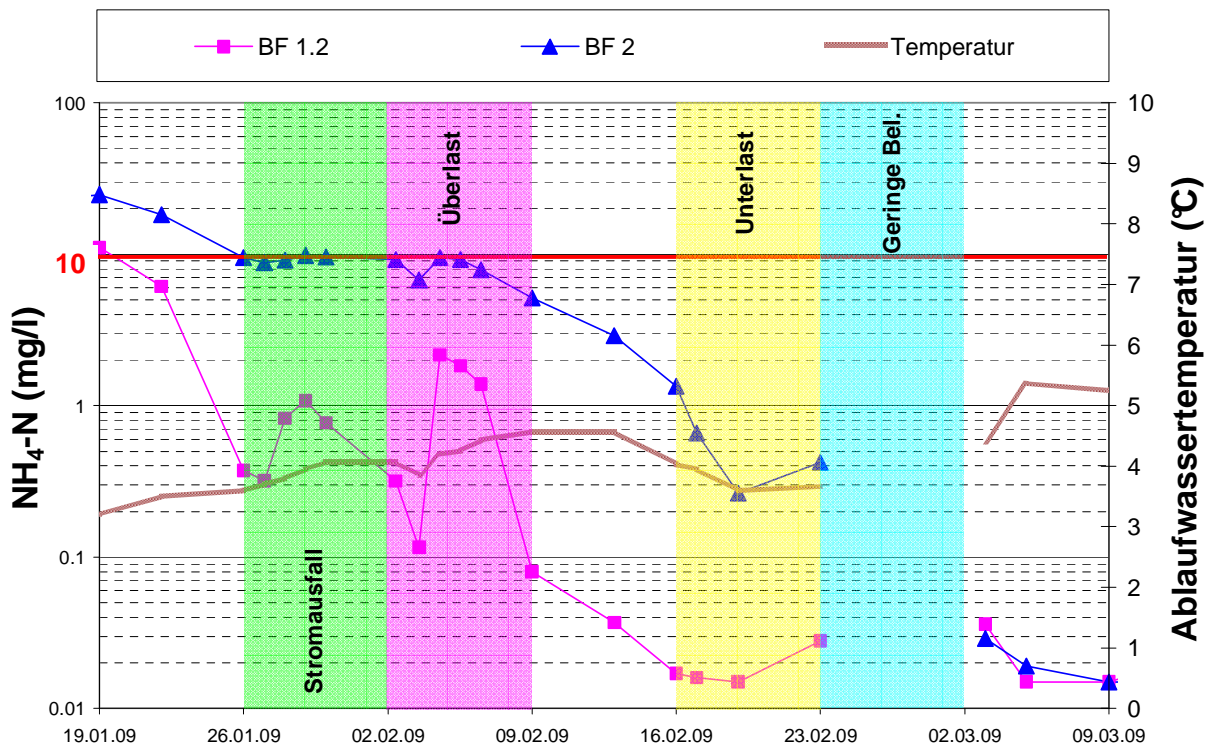


Abbildung 42: NH₄-N – Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Prüfabschnitte

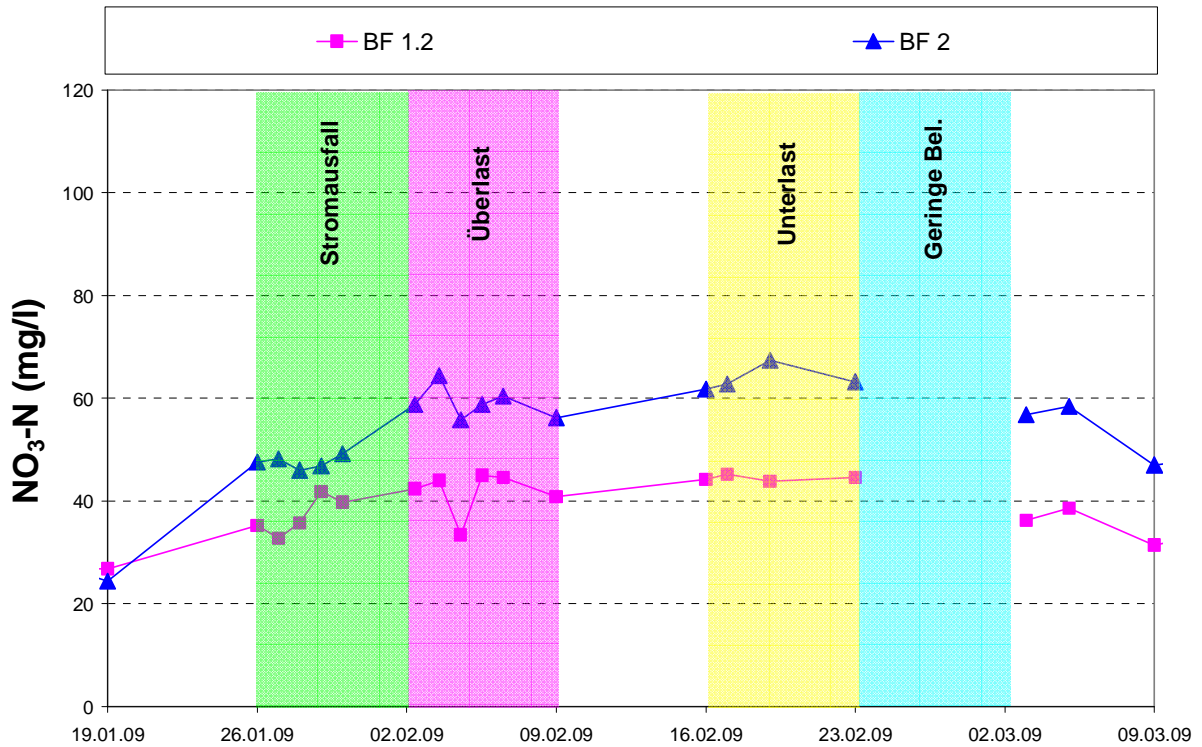


Abbildung 43: NO₃-N – Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Prüfabschnitte

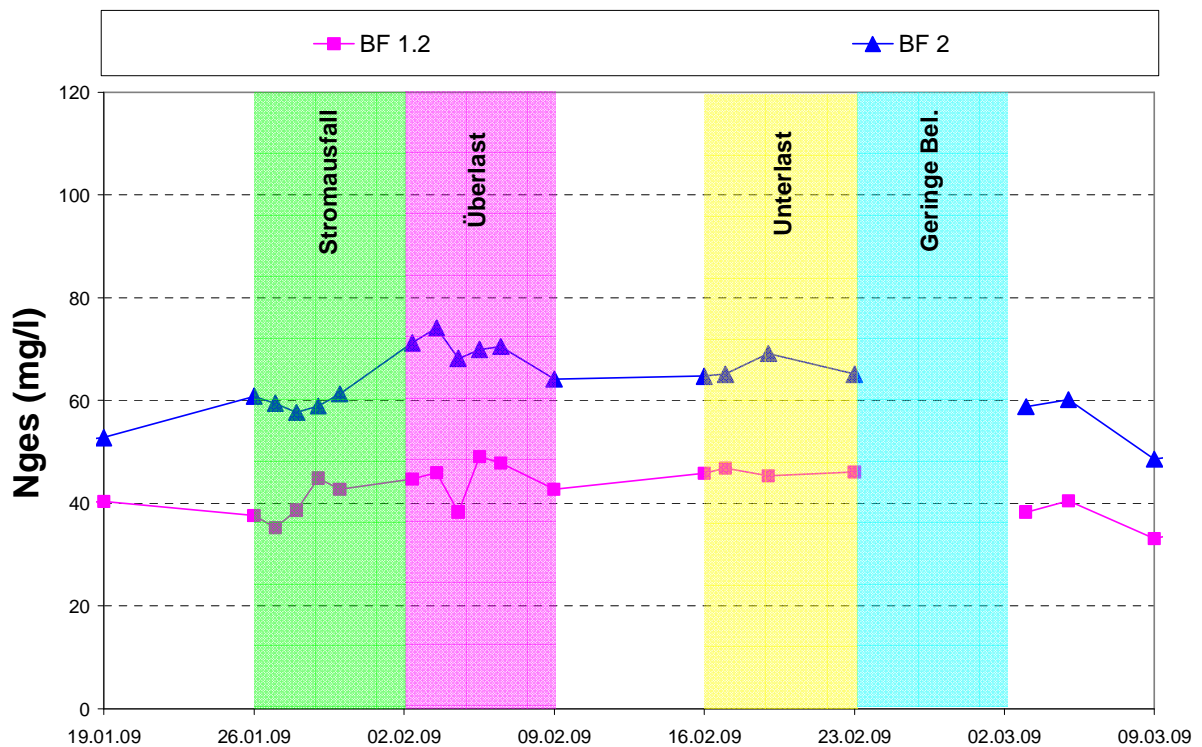


Abbildung 44: N_{ges} – Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Prüfabschnitte

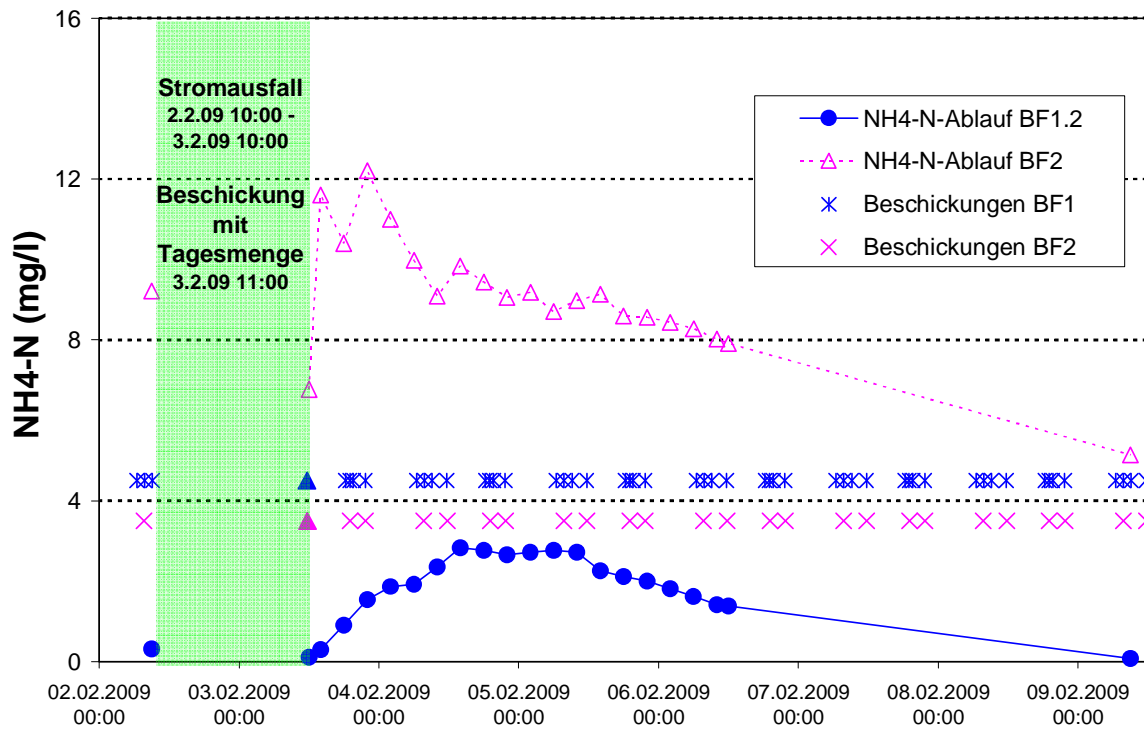


Abbildung 45: Beschickungen und NH₄-N Ablaufkonzentrationen während der zusätzlichen Stromausfallphase.

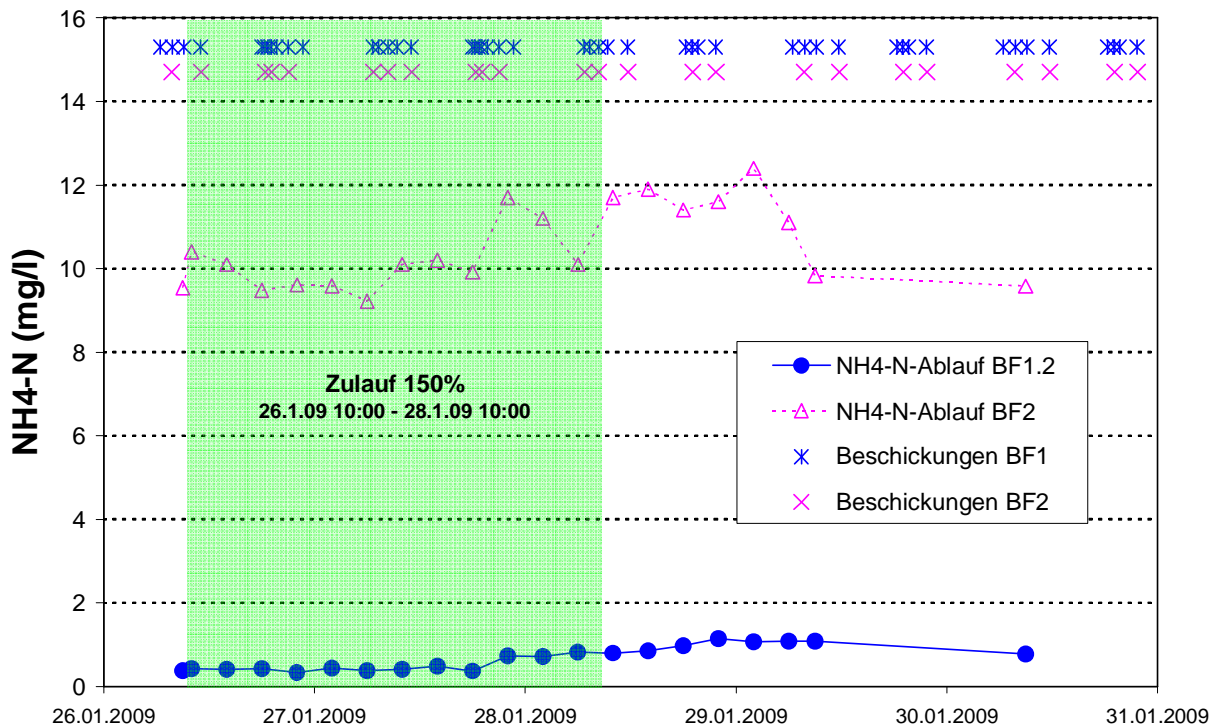


Abbildung 46: Beschickungen und NH₄-N Ablaufkonzentrationen während der Überlastphase.

3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse Bodenfilter BF3

Bodenfilter BF3 wurde in Stufe 2 und 3 des Forschungsprojektes als 2-stufiger Bodenfilter betrieben. Seit 1.9.2005 wurde BF3 mit der gleichen organischen Belastung von 40 g CSB/m²/d betrieben. In Stufe 2 des Forschungsprojektes wurde BF3 mit einem Intervall von 3 Stunden zwischen den Beschickungen betrieben, während BF3 in Stufe 3 an den in Tabelle 5 angegebenen Zeiten beschickt wurde. Die Änderung der Beschickungsintervalle hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ablaufkonzentrationen bzw. die Reinigungsleistungen von BF3.

Tabelle 20 zeigt zusammenfassend für die Projektstufen 2 und 3 des Forschungsprojektes die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3. Während beider Phasen des Forschungsprojektes kam es zu keinen Überschreitungen der zulässigen Ablaufkonzentrationen. Die Medianwerte der Ablaufkonzentrationen lagen weit unter, die der Reinigungsleistungen weit über den geforderten Werten. Auch die Reinigungsleistungen für BSB₅ und CSB, die in der 1.AEV für kommunales Abwasser (1996 idF 2000) für Anlagen > 1000EW gefordert sind, wurden während Projektstufe 2 im Winter 2005/2006 nur fünf bzw. ein Mal nicht erreicht, was jeweils auf eine sehr geringe Zulaufkonzentration in dieser Periode zurückzuführen war (siehe auch ÖKOREAL und BOKU-SIG, 2007).

Tabelle 20: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 (1.9.2005 bis 31.5.2009).

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen (%)			
	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	N _{ges}	BSB ₅	CSB	NH ₄ -N	N _{ges}
Anzahl	131	174(14*)	174(29*)	138(37*)	174	172	127	141	174	172
Median	5	19.9	0.081	0.033	29.6	32.6	98.6	96.1	99.87	56.4
Mittelwert	5	19.9	0.081	0.033	29.6	32.6	98.6	96.1	99.87	56.4
Standardabw.	4	9.2	6.2	0.117	8.2	8.5	1.4	2.3	11.5	13.3
95% Konf-Int.	1	1.4	0.920	0.020	1.2	1.3	0.2	0.4	1.7	2.0
Maximum	26	84.7	44.8	0.911	66.8	75.3	99.4	97.7	99.98	78.1
Minimum	2	14.3	0.009	0.015	1.8	17.7	87.8	78.2	-5.8	-29.4

* Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (15 mg CSB/l, 0.015 mg NH₄-N/l bzw. 0.015 mg NO₂-N/l)

Abbildung 47 zeigt zusammenfassend die Zu- und Ablaufkonzentrationen für Gesamtstickstoff N_{ges} seit Beginn der Projektstufe 2 des Forschungsprojektes. Bereits in Projektstufe 2 (ÖKOREAL und BOKU-SIG, 2007) wurde gezeigt, dass die Ablaufkonzentrationen für Bodenfilter BF3 bei Ablauftemperaturen größer 8°C konstant sind. Um die zeitliche Entwicklung der Stickstoffelimination in Bodenfilter BF3 darzustellen, wird im Folgenden die Stickstoffelimination in den 5 Betriebsperioden mit Ablauftemperaturen größer 8°C (als Jahr 1 bis 5 bezeichnet) verglichen.

In Tabelle 21 sowie in Abbildung 48 und Abbildung 49 sind die Stickstoffelimination (in %) bzw. die Eliminationsrate (in g N/m²/d) für Bodenfilter BF3 für die 5 Betriebsperioden, in denen die Ablauftemperaturen über 8°C lagen, wie oben beschrieben in Box-and-Whisker-Plots dargestellt. Es zeigt sich, dass nach einer hohen Stickstoffelimination im ersten Jahr (Sommer 2005) diese im zweiten Jahr (Sommer 2006) absank und sich im dritten und vierten Jahr wieder auf > 60 % stabilisierte. Ein ähnliches Bild kann auch für die spezifische Stickstoffeliminationsrate beschrieben werden: Im zweiten Betriebsjahr war diese geringer als im ersten und war dann im dritten, vierten und fünften Betriebsjahr wieder statistisch signifikant höher (Medianwert immer >3,8 g N/m²/d).

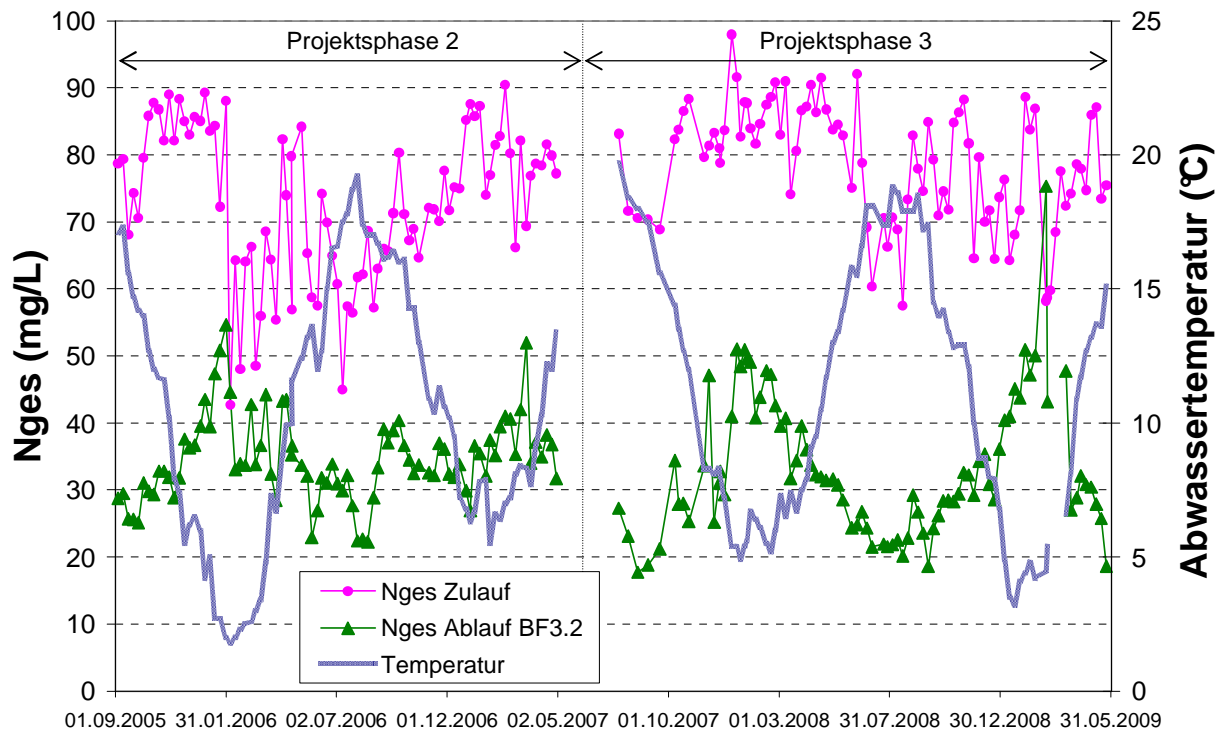


Abbildung 47: N_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen seit Beginn des Betriebs von Bodenfilter BF3

Tabelle 21: Stickstoffelimination und Stickstoffeliminationsrate in den 5 Betriebsperioden von Bodenfilter BF3 bei Abwasserablauftemperaturen > 8°C

	Stickstoffelimination					Eliminationsrate (g N/m ² /d)				
	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
Anzahl	11	34	23	36	7	11	34	22	34	7
Median	63.5%	50.3%	58.4%	65.0%	65.4%	3.51	2.76	4.12	3.84	3.86
Mittelwert	63.4%	51.0%	59.0%	64.7%	65.7%	3.58	2.64	4.10	3.91	3.99
Standardabw.	2.0%	7.6%	11.5%	5.0%	5.6%	0.35	0.68	0.88	0.72	0.45
95% Konf-Int.	1.2%	2.6%	4.7%	1.6%	4.2%	0.21	0.23	0.37	0.24	0.34
Maximum	66.6%	67.6%	74.9%	78.1%	76.0%	4.11	3.86	5.54	5.38	4.61
Minimum	60.0%	33.5%	25.1%	49.5%	59.7%	2.98	1.06	1.55	2.61	3.43

Jahr 1: 5.9.-14.11.2005 (Stufe 2); Jahr 2: 19.4.-14.12.2006 (Stufe 2); Jahr 3: 5.3.-11.12.2007 (Stufe 2+3); Jahr 4: 3.4.-9.12.2008 (Stufe 3); Jahr 5: 14.4.-31.5.2009 (Stufe 3).

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die nach der 2. Projektstufe zu erwartende Stickstoffeliminationsleistung von 53 % und die zu erwartende Stickstoffeliminationsrate von 2.70 g N/m²/d (bzw. von 986 g N/m² pro Jahr) für das 2-stufige System bei einer Dimensionierung auf 2 m²/EW_{CSB} als zu niedrig einzustufen sind. Es kann im Dauerbetrieb mit einer höheren Stickstoffeliminationsleistung und Stickstoffeliminationsrate gerechnet werden.

In der 3. Projektstufe lag der Medianwert der **Stickstoffeliminationsleistung** von Bodenfilter BF3 sogar bei **62 %**, jener der **Stickstoffeliminationsrate** bei **3.8 g N/m²/d** (bzw. von 1380 g N/m² pro Jahr). Es zeigt sich, dass das 2-stufige System im Vollbetrieb eine hohe und stabile Langzeitelimination für Stickstoff gewährleisten kann.

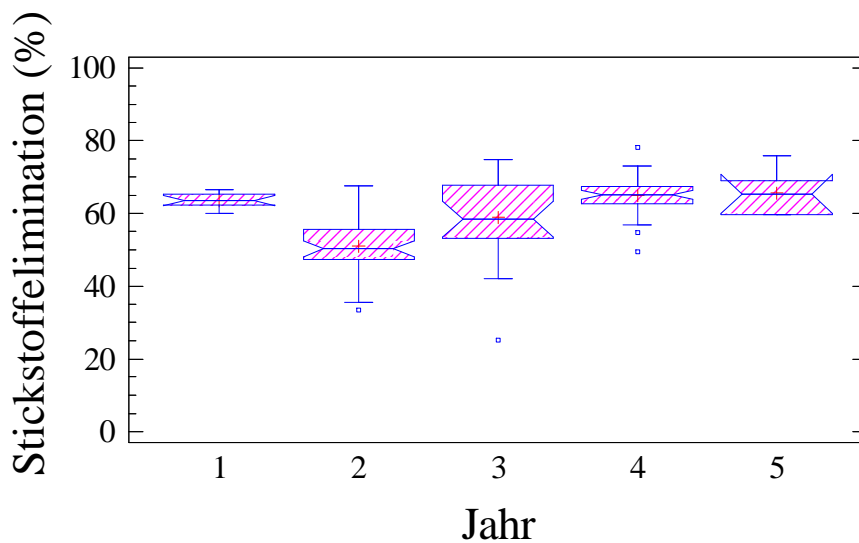


Abbildung 48: Stickstoffelimination in den 5 Betriebsperioden von Bodenfilter BF3 bei Abwasserablauftemperaturen > 8°C.

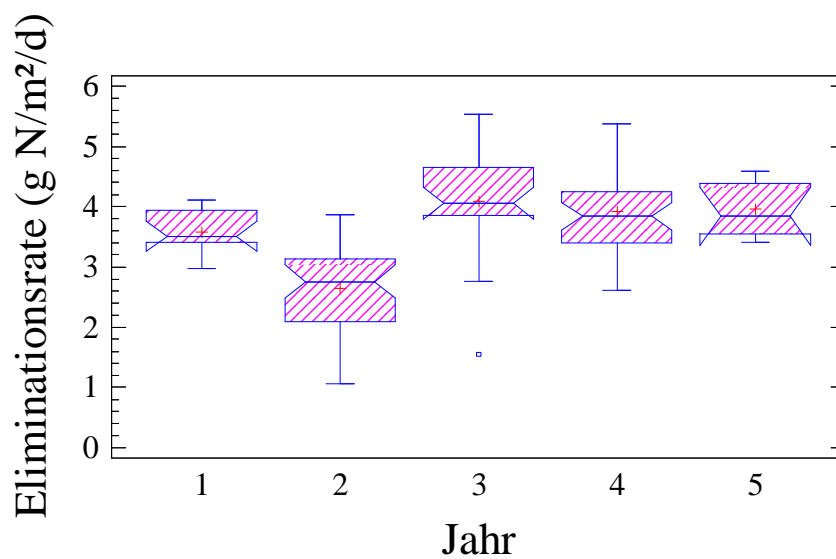


Abbildung 49: Spezifische Stickstoffeliminationsrate in den 5 Betriebsperioden von Bodenfilter BF3 bei Abwasserablauftemperaturen > 8°C.

3.6 Betriebssicherheit von Bodenfiltern

3.6.1 Probleme während des Betriebs

Während der 3 Projektstufen haben sich alle Bodenfilter, sowohl 1-stufig als auch 2-stufig, als robust im Betrieb jedoch keineswegs wartungsfrei erwiesen. Viele der Probleme, die bei der Versuchsanlage auftraten, sind jedoch nur bedingt als praxisrelevant einzustufen, da in der Praxis ein bepflanzter Bodenfilter in der Regel so geplant wird, dass keine Steuerung notwendig ist und der Bodenfilter allenfalls sogar stromlos betrieben werden kann.

Folgende Probleme traten im Betrieb der Versuchsanlage auf:

- ⇒ Ausfall der elektronischen Anlagensteuerung.
- ⇒ Verschmutzung der Wasseruhren.
- ⇒ Defekt des Steuerungscomputers (aufgrund mehrjährigen Dauerbetriebs).
- ⇒ Bewuchs der Bodenfilter mit Ackerwinde, die immer wieder entfernt werden muss.
- ⇒ Einfluss der Streuauflage nach mehrjährigem Betrieb im Grenzlastbereich.
- ⇒ Problem mit den Pumpen zur Beschickung der jeweils zweiten Stufen der 2-stufigen Bodenfilter. Diesem Problem könnte in der Praxis dadurch begegnet werden, dass die zweite Stufe geodätisch tiefer angelegt wird als die erste, wodurch eine stromlose Beschickung möglich wird.
- ⇒ In den Wintern mit langen, sehr kalten Perioden trat das Problem auf, dass (insbesondere bei noch nicht ausreichendem Schilfbewuchs) die Bodenfilter teilweise zufroren und kurzzeitig außer Betrieb genommen werden mussten.

Nach Abschluss der 3. Projektstufe und fast 4 Jahren Betrieb von 2-stufigen Bodenfiltern sind nunmehr auch Aussagen über die Betriebssicherheit von 2-stufigen Bodenfiltern im Vergleich zu 1-stufigen Bodenfiltern möglich. Es ist jedoch zu beachten, dass die einzelnen Bodenfilter über unterschiedlich lange Zeiträume betrieben wurden und dass die Bodenfilter über die 3 Projektstufen hinweg unterschiedlicher hydraulischer und stofflicher Belastung ausgesetzt waren.

Folgende Erfahrungen wurden im Verlauf der letzten 6 Jahre gewonnen:

1. Bodenfilter, die gemäß ÖNOR B 2505 in 1-stufiger Bauweise errichtet wurden, können bei einer Flächenbelastung von $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ dauerhaft stabil und unter Einhaltung der geforderten Ablaufkonzentrationen (und Reinigungsleistung) betrieben werden. Diese Erfahrung wurde während der Projektstufen 1 und 3 gemacht, während derer jeweils durchgehender Betrieb möglich war und eine ausreichende Reinigungsleistung auch in den Wintermonaten festgestellt wurde. Bei höherer Flächenbelastung in Projektstufe 1 und 2 war kein stabiler Betrieb 1-stufiger Bodenfilter möglich, da die Filter offensichtlich überlastet waren.
2. Für Bodenfilter, die in 2-stufiger Bauweise, wie in Kapitel 2.1 für BF1 und BF3 beschrieben, errichtet wurden, war ein dauerhaft stabiler Betrieb bei einer Flächenbelastung von $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ möglich, wobei allerdings bei BF3 nach annähernd 4 Betriebsjahren starke Vererdungstendenzen in der ersten Stufe (BF3.1) festgestellt werden mussten. Eine Aussage darüber, ob dieser Effekt auch bei einer geringeren Flächenbelastung aufgetreten wäre, ist derzeit nicht möglich.
3. Bei den 2-stufigen Bodenfiltern traten immer wieder Probleme bei der Beschickung der jeweils zweiten Stufen (also BF1.2 und BF3.2) auf, da diese niveaugesteuert via Pumpe erfolgte, was eine gewisse Fehleranfälligkeit mit sich bringt. In der Praxis wäre es zu

empfehlen, die intermittierende Beschickung der 2. Stufe von 2-stufigen Bodenfiltern stromlos mittels einer Heberkonstruktion zu bewerkstelligen, da ansonsten ein beträchtlicher Bedienungs- und Wartungsaufwand entstehen kann. Eine stromlose Konstruktion ist allerdings nur möglich, wenn die 2. Stufe geodätisch tiefer angelegt werden kann als die 1. Stufe, z.B. bei Hanglagen.

4. Das Entfernen (Schneiden) des Schilfbewuchses ist nicht jedes Jahr notwendig, empfiehlt sich aber dennoch in regelmäßigen Abständen von maximal 2-3 Jahren, da ein Bodenfilter ansonsten zu stark verwachsen kann und dadurch die Oberfläche des Bodenfilters nicht mehr eingesehen werden kann.
5. Ein Problem, das auf der Versuchsanlage auftrat, war der Bewuchs der Bodenfilter mit Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*), einem Unkraut das nur sehr schwer bis gar nicht entfernt werden kann, und welches durch sein schnelles Wachstum auch das Wachstum des Schilfbewuchses behinderte.
6. Das Gefrieren von Abwasser im Beschickungssystem konnte durch die gewählte Konstruktionsweise (Dimensionierungsansatz nach OTIS, Beschrieben in HANKE, 2001) verhindert werden. Es traten keine Probleme am Verteilsystem auf.
7. Während lang anhaltender Perioden mit sehr tiefen Lufttemperaturen besteht allerdings die Gefahr, dass Bodenfilter an der Oberfläche zufrieren, sodass das aufgebrachte Abwasser nicht mehr infiltrieren kann. In solchen Phasen ist ein erhöhter Beobachtungsbedarf gegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass sich die Abwasserzulauftemperatur in der Praxis von den Temperaturen an der Versuchsanlage unterscheiden wird. Aufgrund kürzerer Ableitung liegt sie tendenziell höher. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass sich sehr niedrige Zulauftemperaturen jedenfalls auch negativ auf die Infiltrationsleistung eines Bodenfilters auswirken können.

3.6.2 Infiltrationsleistung

Da im Verlauf des gegenständlichen Forschungsprojekts Probleme mit der Infiltration des Abwassers in die Bodenfilter auftraten, wurde die Infiltrationsleistung der unterschiedlichen Bodenfilter betrachtet und in Abbildung 50 bis Abbildung 54 graphisch dargestellt.

Die Versickerungszeiten wurden für den Bodenfilter BF1.2 für den Zeitraum der Versuchsphase der Stufe 3 des Forschungsprojekts dargestellt, also von Oktober 2007 – Mai 2009 (Abbildung 50). Im 2-stufigen Bodenfilter BF1.1 (Korngröße 2/3,2 mm) versickerte das aufgebrachte Abwasser immer unmittelbar, weshalb sich eine graphische Darstellung erübrigt.

Die schlechte Infiltrationsleistung des Bodenfilters BF1.2 (Korngröße 0,06/4 mm) während des ersten Winters (2007/2008) könnte auf die durch noch fehlende Bepflanzung (und Isolationswirkung) schlechtere Reinigungsleistung von BF1.1 zurückgeführt werden. Dadurch kam es zu einer höheren stofflichen Belastung von BF1.2, die vermutlich zu der schlechten Infiltrationsleistung führte. Im zweiten Winter (2008/2009) der Versuchsphase trat dieses Problem nicht mehr auf.

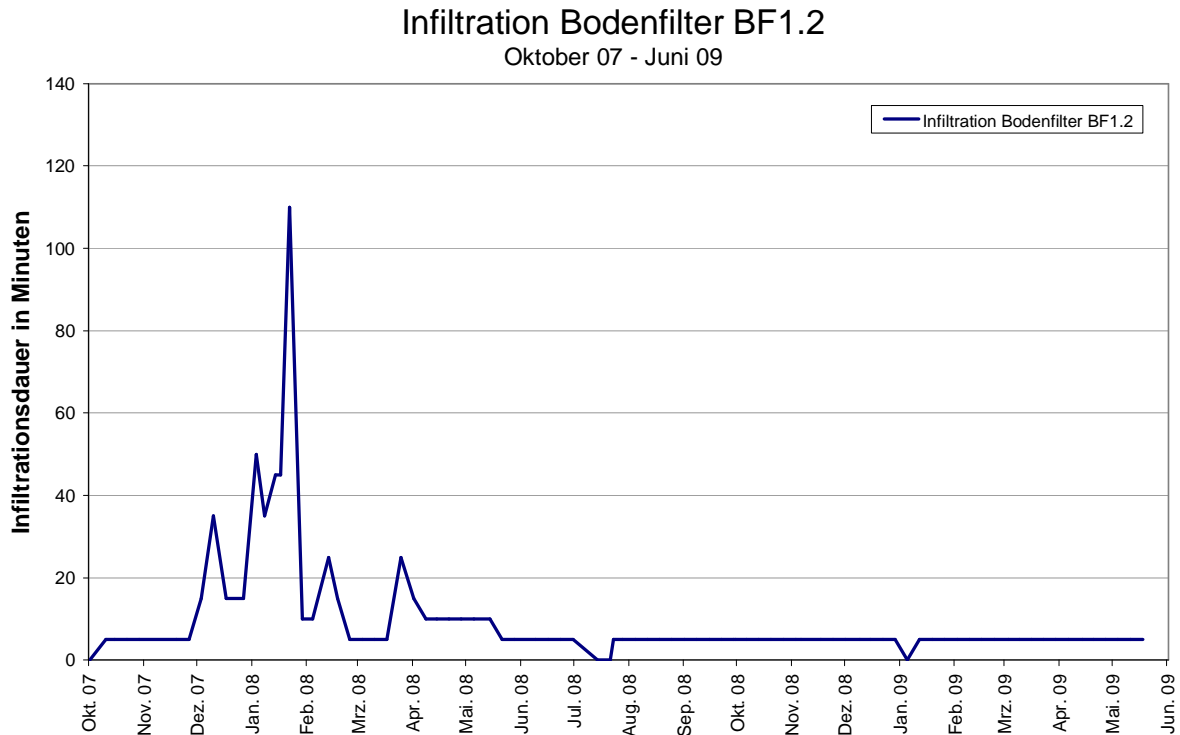


Abbildung 50: Infiltrationsdauer des beaufschlagten Abwassers in Bodenfilter BF1.2

Für den 1-stufigen Bodenfilter BF2 (Korngröße 0,06/4 mm) wurde jeweils der Zeitraum der 1. und der 2., sowie der 3. Projektstufe, also von Dezember 2003 bis September 2007 (Abbildung 51) und von Oktober 2007 – Mai 2009 dargestellt (Abbildung 52). Das entspricht jenen Zeiträumen, während derer der Bodenfilter BF2 durchgehend mit einer Flächenbelastung von $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ (Projektstufen 1 und 2) bzw. $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ (Projektstufe 3) beaufschlagt wurde.

Die Infiltrationsleistung des 1-stufigen Bodenfilters BF2 war während der gesamten 3. Stufe des Forschungsprojekts bei einer Flächenbelastung von $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ durchgehend gut. Davor – in den Stufen 1 und 2 des Forschungsprojekts – war der Bodenfilter BF2 höher belastet worden, nämlich mit ca. $27 \text{ g CSB}/\text{m}^2/\text{d}$, was einer Flächenbelastung von $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ entspricht. Während dieser Zeit zeigte der Bodenfilter BF2 ebenfalls eine konstant gute Infiltrationsleistung. Allerdings musste die Beschickung von Bodenfilter BF2 während eines Zeitraums von ca. 2 Monaten im Winter 2005/2006 eingestellt werden, da der Bodenfilter überlastet war (vergleiche Endbericht Stufe 2 des Forschungsprojekts, ÖKOREAL und SIG, 2007).

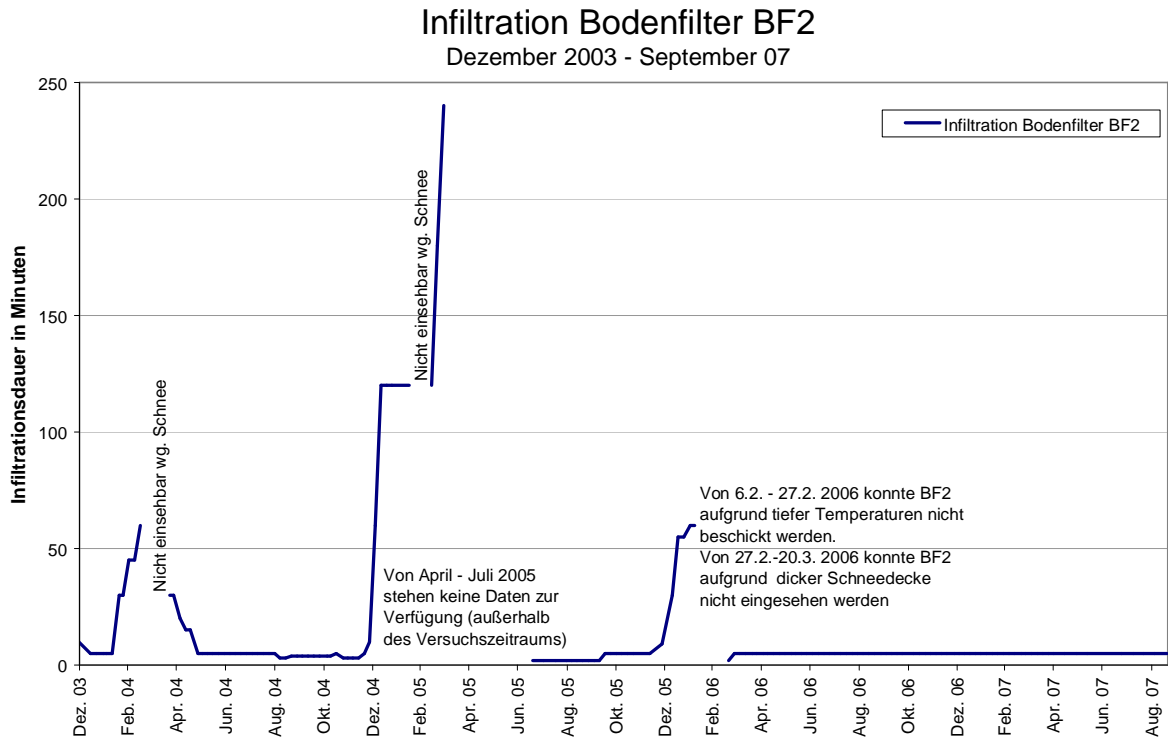


Abbildung 51: Infiltrationsdauer des beaufschlagten Abwassers in Bodenfilter BF2 während der Stufen 1 und 2 des Forschungsprojekts

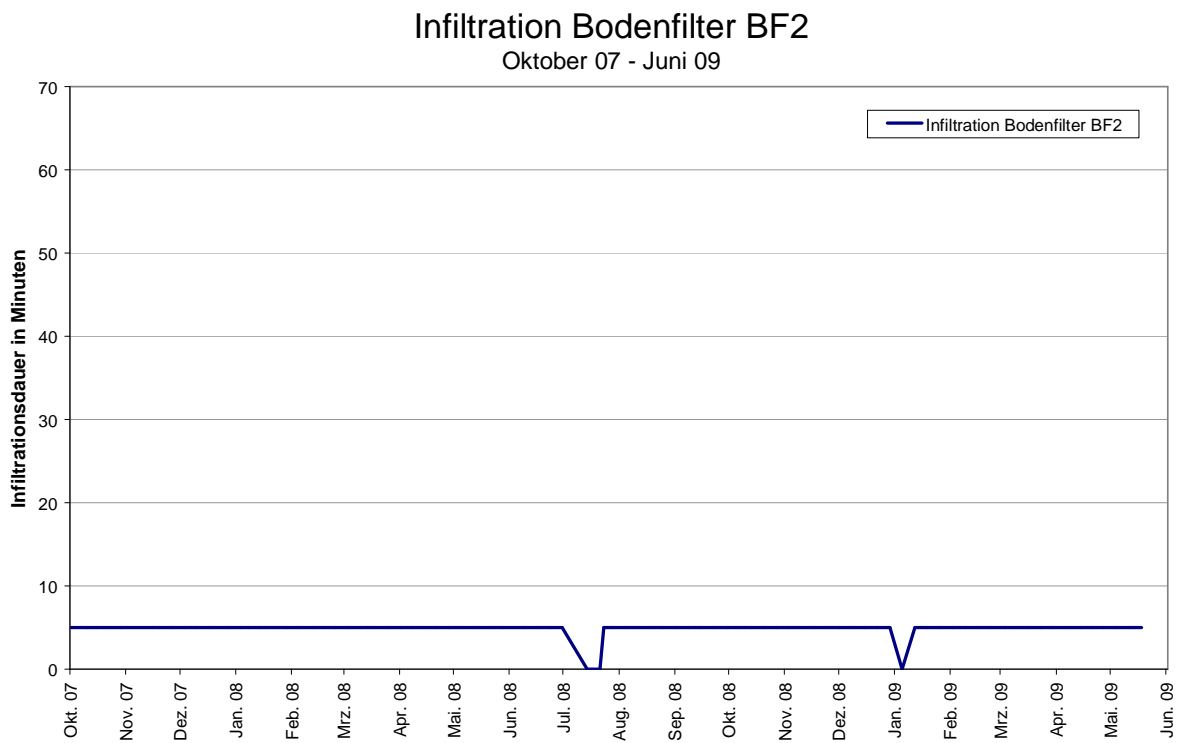


Abbildung 52: Infiltrationsdauer des beaufschlagten Abwassers in Bodenfilter BF2 während Stufe 3 des Forschungsprojekts

Für die 2 Stufen von Bodenfilter BF3, BF3.1 (Korngröße 2/3,2 mm) und BF3.2 (Korngröße 0,06/4 mm), wurde jeweils der Zeitraum von Beginn der Versuchsphase der Stufe 2 des Forschungsprojekts bis zum Ende der Stufe 3 des Forschungsprojekts dargestellt, also von Juli 2005 – Mai 2009 (Abbildung 53 bzw. Abbildung 54). Das entspricht jenem Zeitraum, während dessen der 2-stufige Bodenfilter BF3 durchgehend mit einer Flächenbelastung von $2\text{m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ beaufschlagt wurde.

Am Bodenfilter BF3 traten im Frühjahr 2009 die in weiterer Folge im Kapitel 3.6.3 beschriebenen Probleme auf. Von 23.2. bis 26.3. 2009 wurde Bodenfilter BF3 nicht mit Abwasser beschickt.

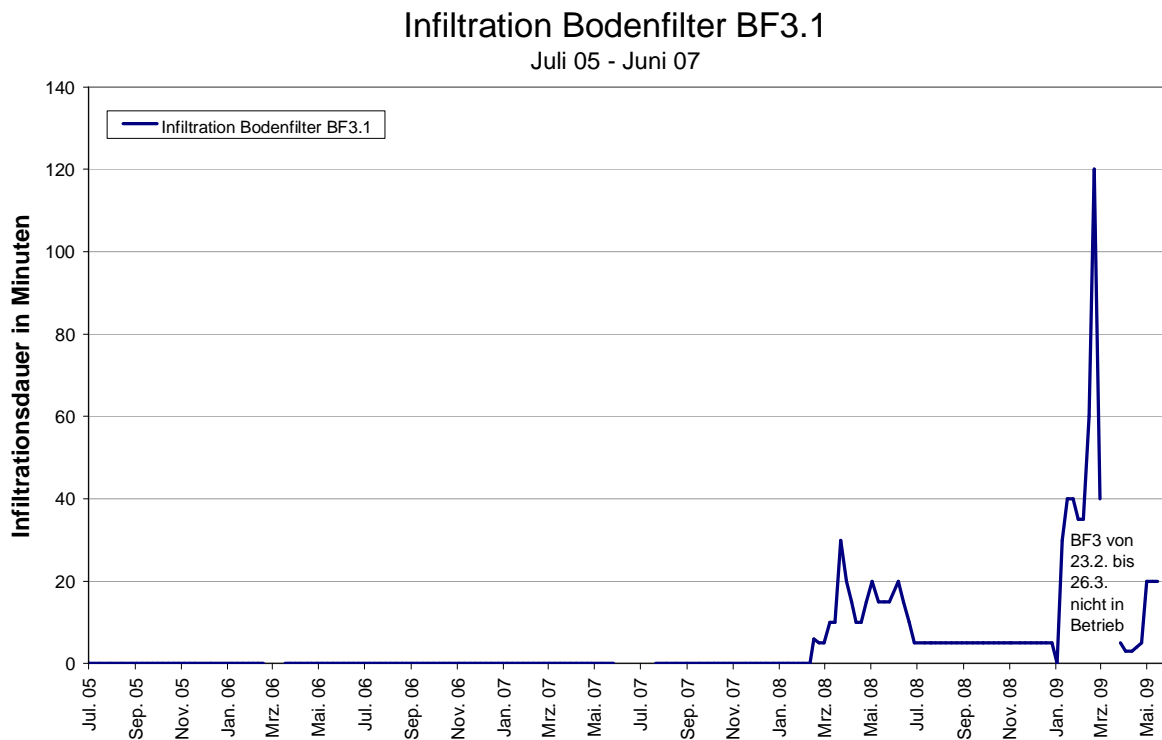


Abbildung 53: Infiltrationsdauer des beaufschlagten Abwassers in Bodenfilter BF3.1

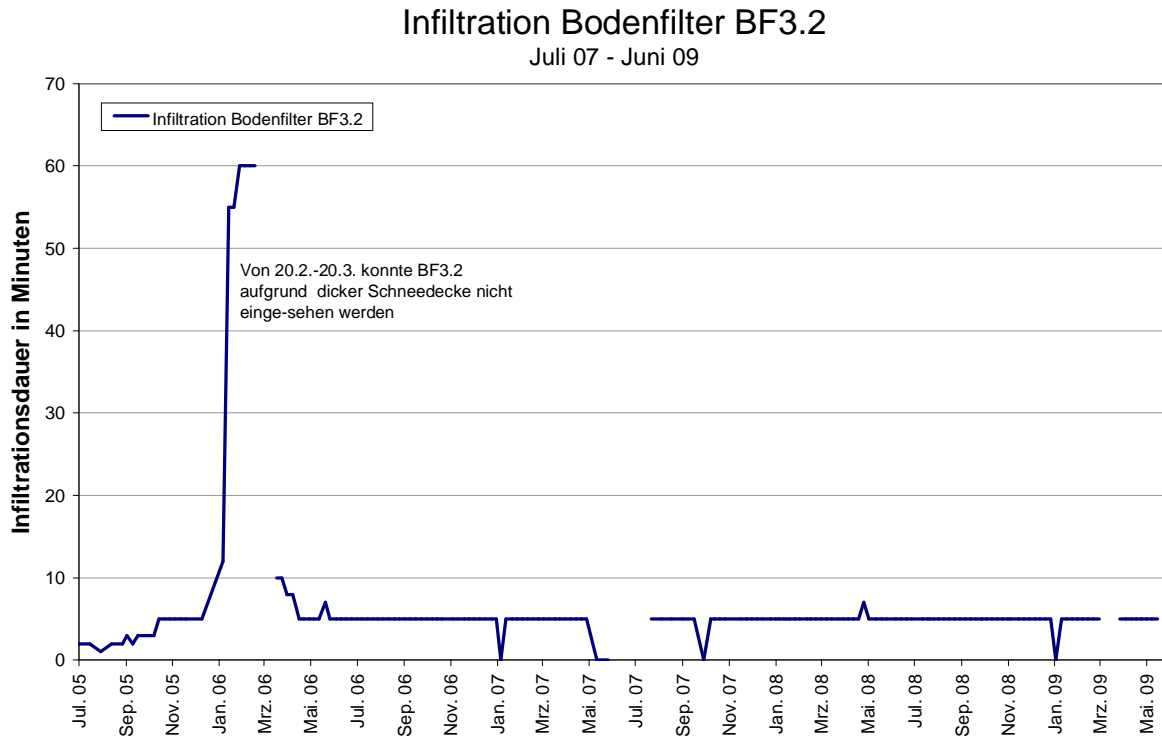


Abbildung 54: Infiltrationsdauer des beaufschlagten Abwassers in Bodenfilter BF3.2

3.6.3 Substratkolmation

An BF1 und BF2 trat während der gesamten Versuchsperiode keine Substratkolmation (englisch: clogging) auf, sie funktionierten während des gesamten Versuchszeitraums einwandfrei. An beiden Bodenfiltern wurde die 48 Wochen dauernde KKA-Prüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3 erfolgreich abgeschlossen.

In Gegensatz dazu musste der 2-stufige Bodenfilter BF3 im März 2009, am Ende seines 4. Betriebswinters, außer Betrieb genommen werden, da das auf den Bodenfilter BF3.1 beschickte Abwasser nicht mehr infiltrierte und die Oberfläche eingestaut war. Es wurde angenommen, dass dieses Problem auf Clogging zurückzuführen ist. Daher wurde beschlossen, die Beschickung von BF3 einzustellen, um den Ursachen für das Clogging auf den Grund gehen zu können. Die genaue Chronologie der Ereignisse stellte sich wie folgt dar:

Sept. 2005: Der 2-stufige Bodenfilter BF3 wurde in Betrieb genommen und seither durchgehend mit einer gleich bleibenden Gesamtbelastung von 40 g CSB/m²/d (2 m²/EW_{CSB}) betrieben.

Okt. 2007: Der 2-stufige Bodenfilter BF1 wurde in Betrieb genommen und seither ebenfalls mit 40 g CSB/m²/d (2 m²/EW_{CSB}) während der Nominalphasen betrieben. Da an BF1 jedoch von März – Dezember 2008 eine Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) simuliert wurde, war hier die Flächenbelastung nicht gleichermaßen konstant wie auf BF3.

Anmerkung: Beide Bodenfilter wurden, gleich wie das 1-stufige Referenzbeet BF2, mit mechanisch vorgereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Ernsthofen beschickt. Der Anteil Abfiltrierbarer Stoffe (AFS) im Zulauf der Versuchsanlage (entspricht dem Ablauf der vorgeschalteten 3-Kammer-Anlage) betrug im Durchschnitt 110 mg/l. Werte für bestimmte AFS-

Zulaufkonzentrationen sind in der ÖNORM B 2505 (Entwurf vom 2008 -09-30) ebenso wenig gefordert wie im DWA-Arbeitsblatt A 262 (DWA 2006). In letzterem ist aber folgende Empfehlung zu finden: „Der Gehalt an Abfiltrierbaren Stoffen nach der Vorbehandlung soll 100 mg AFS/l im Jahresmittel [...] nicht überschreiten.“ Gemäß ÖNORM EN 12566-3 existiert für die Prüfung von Kleinkläranlagen nur eine Forderung für den Parameter suspendierte Feststoffe (SS), die im Zulauf zur Kläranlage im Bereich von 200 - 700 ml/l sein sollen.

Seit **März 2008** wurde in einer Ecke des BF3.1 eine erhöhte Versickerungsdauer beobachtet. Laut Berichten der Klärwärter war die erhöhte Versickerungsdauer nur an einer Stelle zu beobachten, trat also nicht an der ganzen Oberfläche auf. Die Abbauleistung war dadurch nicht beeinträchtigt. Auch an der Abflussganglinie von BF3 war keine Abnormalität zu erkennen. Diese Verhältnisse blieben bis Jänner 2009 konstant.

Am **12.1.2009** wurde bei BF 3.1 erstmals eine stark erhöhte Versickerungsdauer beobachtet (wieder an derselben Stelle). Die erhöhte Versickerungsdauer wurde auf die sehr niedrigen Temperaturen zurückgeführt. Die Reinigungsleistung des BF3 war weiterhin gut.

Am **23.2.2009** wurde die Beschickung von BF3 unterbrochen, da BF3.1 ganzflächig eingestaut war.

Am **2.3.2009** wurden von der Hauptschicht von BF3.1 (und zur Referenz auch von BF1.1) an 3 verschiedenen Tiefen pro Beet Substratproben entnommen (Probenahmetiefen: 0-5 cm, 10-15 cm, 30-35 cm). Nach der Probenahme wurde die Beschickung von BF3 nach 1-wöchiger Unterbrechung wieder aufgenommen und der Ablauf von BF3 routinemäßig beprobt.

Am **5.3.2009** wurde die Beschickung wieder unterbrochen, da die Oberfläche von BF3.1 wieder ganzflächig eingestaut war. Die Proben des am 2.3.2009 entnommenen Filtermaterials wurden am 9.3.2009 von BOKU-SIG abgeholt und analysiert.

Am **11.3.2009** wurde das Schilf auf BF3.1 geschnitten (Abbildung 55). In dem Bereich des Beets wo das Wasser seit ca. 1 Jahr nur verzögert infiltrierte (in Abbildung 55 durch einen Pfeil gekennzeichnet), konnte eine Absenkung der Oberfläche festgestellt werden. Durch die Absenkung der Oberfläche kam es zu der schon oben beschriebenen Ansammlung und nur langsamen Versickerung des Beschickungswassers. Dadurch verursacht und in weiterer Folge durch eine Falte in der Teichfolie kam es auch zu einer Kurzschlussströmung von BF3.1 zu BF3.2. Diese Kurzschlussströmung konnte vor dem Entfernen des Schilfes aufgrund des starken Bewuchses nicht erkannt werden. Weiters war an der abgesenkten Stelle eine verstärkte Vererdung/Verschlämmung festzustellen (Abbildung 56). Ein Zusammenhang mit dem immer wieder beobachteten, teilweisen Einstau an dieser Stelle scheint wahrscheinlich. Jedoch wurde auch an der gesamten Filteroberfläche eine Vererdung/Verschlämmung festgestellt (Abbildung 57).

Am **26.3.2009** wurde die Oberfläche von BF3.1 begradigt (Abbildung 58) und die Teichfolie so befestigt, dass bei einem eventuell wieder auftretenden Einstau keine Kurzschlussströmung mehr auftreten kann. Anschließend wurde Bodenfilter BF3 nach 2-wöchiger Unterbrechung wieder in Betrieb genommen und funktioniert seither ohne Probleme.



Abbildung 55: BF3.1 nach Entfernen des Schilfs: Am rechten Rand des Fotos ist der Bereich, wo das Abwasser nur verzögert infiltrierte, durch einen Pfeil gekennzeichnet.



Abbildung 56: Filterschicht in BF3.1. Bereich wo Abwasser schlecht infiltrierte. Filtermaterial stark vererdet/verschlammt.



Abbildung 57: Filterschicht in BF3.1, Bereich nahe dem Pumpschacht. Filtermaterial ebenfalls vererdet/verschlammt, jedoch weniger stark.



Abbildung 58: Bodenfilter BF3.1 nach Begradigung der Oberfläche am 26.3.2009.

In Abbildung 59 sind Substratproben in 0-5 cm Tiefe von BF3.1 und BF1.1 abgebildet, in Abbildung 60 Substratproben in 30-35 cm Tiefe. Man kann auch optisch klar erkennen, dass die Vererdung/Verschlämmung in beiden Tiefen bei BF3.1 deutlich höher ist als bei BF1.1, sowie dass in BF3.1 die Vererdung/Verschlämmung nicht nur an der Oberfläche auftritt, sondern auch noch in 30-35 cm Tiefe.



Abbildung 59: Substratproben der Hauptschicht von BF3.1 (Nr.4, links) und BF1.1 (Nr.1, rechts) in 0-5 cm Tiefe.



Abbildung 60: Substratproben der Hauptschicht von BF3.1 (Nr.16, links) und BF1.1 (Nr.13, rechts) in 30-35 cm Tiefe.

Abbildung 61 zeigt die aus den Messungen des Glühverlusts berechnete organische Trockensubstanz (oTS) der in BF1.1 und BF3.1 genommenen Substratproben. Wie schon erwähnt, wurden aus allen Tiefen 3 Vergleichsproben genommen (in Abbildung 61 mit a, b und c bezeichnet). Die Probe "BF3.1 a" ist jene, die an der Stelle genommen wurde, an der die Absenkung der Filteroberfläche festgestellt wurde und wo optisch eine verstärkte Vererdung/Verschlämmung festzustellen war. Probe "BF3.1 c" wurde am "BF3.1 a" gegenüberliegenden Eck des Beets und Probe "BF3.1 b" in der Mitte des Beets genommen.

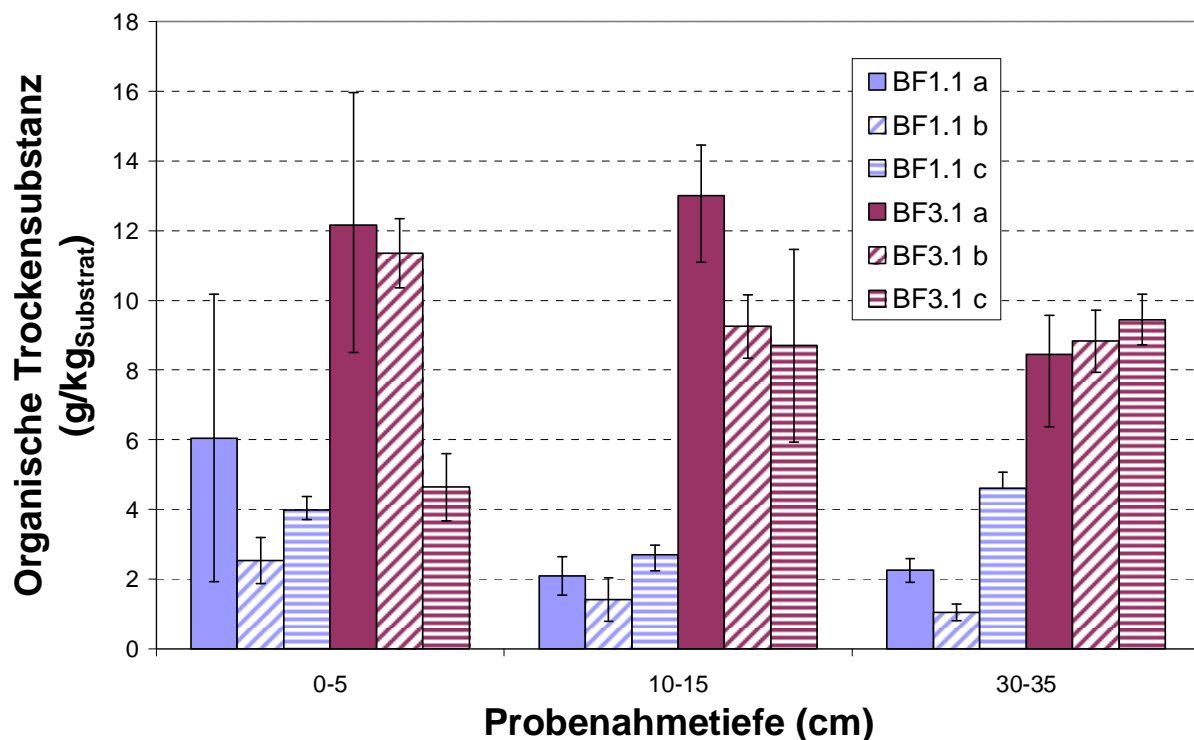


Abbildung 61: Mittelwert und Standardabweichung der organischen Trockensubstanz der in BF1.1 und BF3.1 entnommenen Substratproben.

Zur Berechnung der organischen Trockensubstanz wurde auch der Glühverlust von Proben des Substrats vor dem Einbau (Rückstellproben waren vorhanden) bestimmt und daraus der Feinporenwassergehalt bestimmt. Dieser lag beim 2/3,2 mm Sand bei 1.23 g H₂O/l Substrat. Die gemessenen Werte des Glühverlusts der Proben aus der Hauptschicht wurden um den Feinporenwassergehalt korrigiert und weiters wurde berücksichtigt, dass bei der Glühverlustmessung nur ca. 95 % der organischen Substanz erfasst wird.

Man kann in Abbildung 61 deutlich erkennen, dass die organische Trockensubstanz in BF3.1 mit ca. 8-12 g oTS/kg Substrat in allen Tiefen höher ist als in BF1.1 mit 1-6 g oTS/kg Substrat. Die höheren Werte in BF3.1 können durch den im Vergleich zu BF1 längeren Betrieb des Beets erklärt werden. Es ist keine eindeutige Abnahme der organischen Trockensubstanz mit der Tiefe festzustellen. Bei den Proben "BF3.1 a" (jene Stelle, an der die Absenkung der Filteroberfläche festgestellt wurde), wurde bei den oberen Proben eine leicht höhere organische Trockensubstanz gemessen als an den anderen Stellen in BF3.1, die Unterschiede waren aber nicht signifikant.

Zum Vergleich zeigt Abbildung 62 die organische Trockensubstanz (oTS) von Substratproben, die aus den Hauptschichten jener Beete genommen wurden, die mit 0,06/4 mm Sand gefüllt waren (BF1.2, BF2 und BF3.2). Hier wurden aus allen Tiefen je 2 Vergleichsproben genommen. Der Feinporenwassergehalt, der wiederum aus Proben des Substrats vor dem Einbau bestimmt wurde, lag beim 0,06/4 mm Sand bei 5.27 g H₂O/l Substrat. Die generell höheren Werte der organischen Trockensubstanz sind auf die größere Aufwuchsfläche zurückzuführen, die im 0,06/4 mm Sand im Vergleich zum 2/3,2 mm Sand zur Verfügung steht. Zu berücksichtigen ist, dass – im Gegensatz zu BF2, die Beete BF 1.2 und BF 3.2 mit in den 1. Stufen der 2-stufigen Bodenfilter „vorbehandeltem“ Abwasser beschickt wurden.

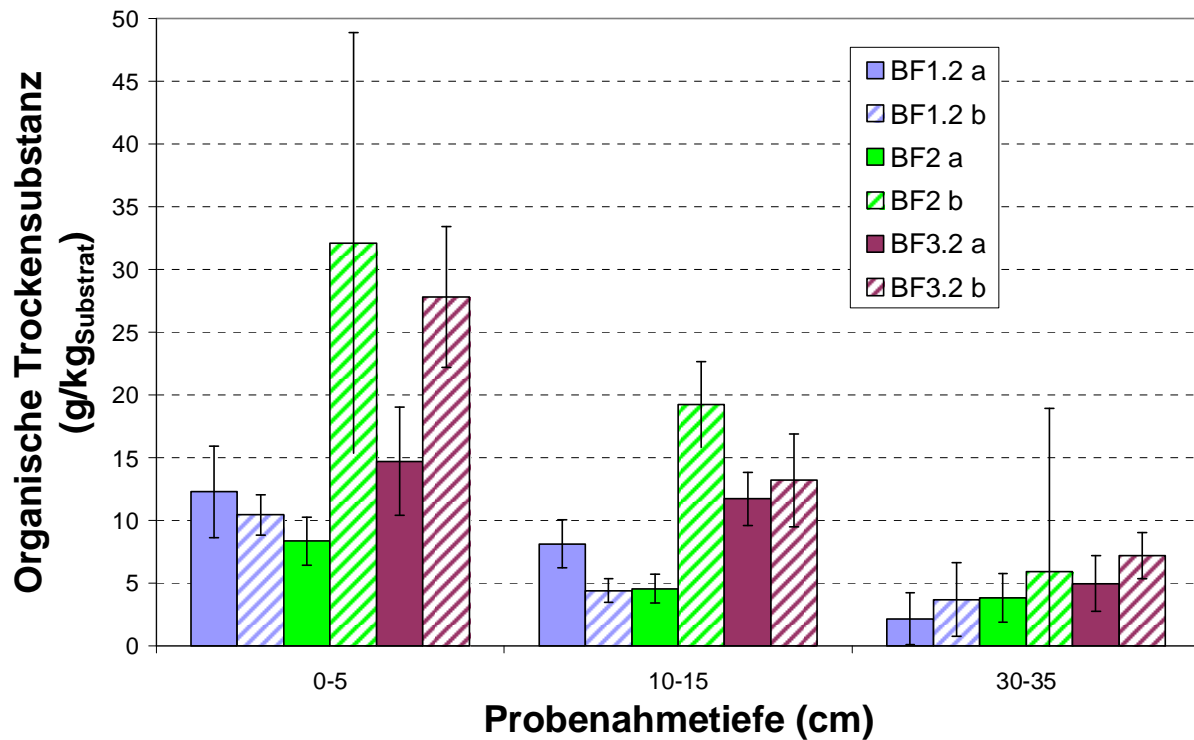


Abbildung 62: Mittelwert und Standardabweichung der organischen Trockensubstanz der in BF1.2, BF2 und BF3.2 entnommenen Substratproben.

Abbildung 63 zeigt zusammengefasst die Ergebnisse aller Messungen der organischen Trockensubstanz. Die Werte für BF2 und BF3.2 liegen im selben Bereich, beide Beete sind gleich lang in Betrieb (seit der Stufe 1 des Forschungsprojekts). Die organische Trockensubstanz nimmt in den Beeten mit der Hauptschicht aus 0,06/4 mm Sand mit der Tiefe ab. Die geringeren Werte für die organische Trockensubstanz für BF1.2 lassen sich durch den während des Umbaus von BF1 erfolgten Abtrag und Austausch der obersten Schicht der alten Hauptschicht erklären. Die Messwerte für BF3.1 liegen im Bereich jener von den organischen Trockensubstanzen der Hauptschichten mit 0,06/4 mm Sand. Die gemessenen Werte von BF1.1 sind deutlich niedriger, da dieses Beet erst am kürzesten in Betrieb ist. BF1.1 wurde dazu den ersten Winter auch ohne Bepflanzung betrieben. Die organische Trockensubstanz ist in den Beeten mit der Hauptschicht aus 2/3,2 mm Sand über die Tiefe relativ konstant, was auf ein tieferes Eindringen organischer Substanz in die Hauptschicht schließen lässt (was bei einem größeren Material auch erwartet werden kann).

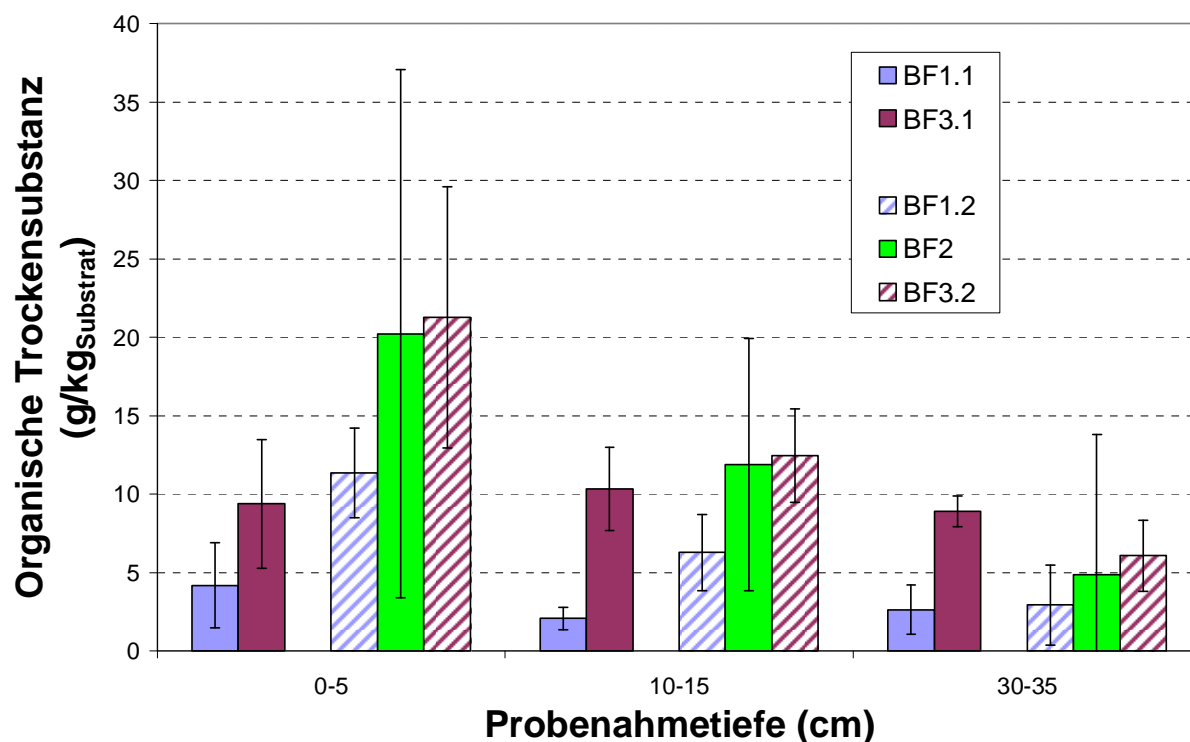


Abbildung 63: Mittelwert und Standardabweichung der organischen Trockensubstanz aller Substratproben.

Aufgrund der Ergebnisse der Messungen an den Substratproben, die aus den Hauptschichten aller 5 Beete genommen wurden, kann geschlossen werden, dass die Probleme mit BF3.1 im Winter 2008/2009 nicht auf eine Überlastung des gesamten Bodenfilters zurückgeführt werden können. Eine Ursache für die Kolmation von BF3.1 dürfte durch das teilweise Absinken der Oberfläche von BF3.1 begründet sein. Dieses Absinken führte dazu, dass das Abwasser nicht mehr ganz gleichmäßig auf der Beetoberfläche verteilt wurde, was an dieser tieferen Stelle zu einem gewissen Zusammenfließen des Abwassers und in der Folge zu Pfützenbildung führte. Diese Pfützenbildung wurde somit einerseits durch das Zusammenlaufen des Beschickungswassers an der Beetoberfläche und andererseits durch das Leerlaufen der Beschickungsleitungen an diesem tiefsten Punkt verursacht. Dadurch kam es zu einer lokalen Überlastung und Verstopfung von Bodenfilter BF3.1. Diese führte in weiterer Folge dann im Winter 2008/2009 in Verbindung mit der an der Oberfläche von BF3.1 sehr dichten organischen Schicht aus abgestorbenem Schilfmateriale zum Einstau der gesamten Oberfläche von BF3.1.

Zusammengefasst kann geschlussfolgert werden, dass zwei Hauptursachen für den Einstau der Beetoberfläche von BF3.1 angenommen werden können:

1. das teilweise Absinken der Beetoberfläche der ersten Stufe, sowie
2. die sehr dichte organische Schicht aus abgestorbenem Schilfmateriale.

Die erhöhten Ablaufkonzentrationen von BF3.2 in diesem Zeitraum sind auf die Kurzschlussströmung zwischen BF3.1 und BF3.2 zurückzuführen. Dadurch kam es zu einer kontinuierlichen Beschickung eines Teils der Oberfläche von BF3.2, durch welche die aeroben Abbauprozesse in diesem Teil des Beets unterbunden wurden.

4 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 2-stufiger Bodenfilter vs. 1-stufiger Bodenfilter

4.1.1 Normalbelastung

Tabelle 22 zeigt zusammengefasst die Medianwerte der Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen für die Parameter BSB₅, CSB, NH₄-N, und N_{ges} für Bodenfilter BF1, BF2 und Bodenfilter BF3 über die gesamte Versuchsperiode bei Nominalbelastung. Die Nominalbelastung war bei den 2-stufigen Bodenfiltern BF1 und BF3 40 g CSB/m²/d (bzw. 2 m²/EW_{CSB}) und beim 1-stufigen Bodenfilter BF2 20 g CSB/m²/d (bzw. 4 m²/EW_{CSB}).

Tabelle 22: Medianwerte der Ablaufkonzentrationen (mg/l) und Reinigungsleistungen (%) bei Nominalbelastung

	Ablaufkonzentration				Reinigungsleistung			
	BSB5	CSB	NH4-N	Nges	BSB5	CSB	NH4-N	Nges
BF1 (2-stufig, 2 m²/EW)	5	22.4	0.034	42.1	98.6%	95.4%	99.95%	46.5%
BF2 (1-stufig, 4 m²/EW)	3	19.5	0.028	64.8	99.1%	96.2%	99.95%	21.0%
BF3 (2-stufig, 2 m²/EW)	5	18.7	0.059	31.5	98.3%	96.1%	99.90%	62.0%

Die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen waren bei Nominalbelastung bei allen 3 Bodenfiltern über die gesamte Versuchsperiode für die Parameter BSB₅, CSB und NH₄-N annähernd gleich, es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die 3 Bodenfilter unterschieden sich, wie zu erwarten war, nur hinsichtlich ihrer Stickstoffelimination.

Die gesetzlich geforderten Ablaufgrenzwerte für BSB₅, CSB und NH₄-N (25 mg/l für BSB₅, 90 mg/l für CSB bzw. 10 mg/l für NH₄-N) wurden bei beiden Bodenfiltern im gesamten Versuchszeitraum eingehalten. Bei Bodenfilter BF1 kam es im ersten Winter (2007/2008) zu einer Überschreitung des in der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV 1996)⁴ geforderten NO₂-N Ablaufgrenzwerts von 1 mg/l. Das dürfte, wie schon erwähnt, auf die späte Inbetriebnahme von BF1 zurückzuführen sein. Bei BF2 kam es im Winter 2008/2009 bei Ablaufwassertemperaturen um 4°C zu erhöhten NO₂-N Ablaufkonzentrationen und einer Überschreitung des NO₂-N Ablaufgrenzwerts, bei den 2-stufigen Bodenfiltern war in diesem Zeitraum keine erhöhte NO₂-N Ablaufkonzentration messbar, was auf einen hinsichtlich Stickstoffelimination stabileren Betrieb des 2-stufigen Bodenfilters – und das trotz doppelter Flächenbelastung – hindeutet.

4.1.2 Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3

Das 48-wöchige Versuchsprogramm nach ÖNORM EN 12566-3 (2005) wurde an BF1 und BF2 in der Periode 31. März – 22. Dezember 2008 durchgeführt. Der Medianwert der Zulaufwassertemperatur lag in dieser Periode bei 15.7°C (Minimum: 9.4°C, Maximum: 19.7°C).

Bei beiden Bodenfiltern kam es während der gesamten Prüfphase zu keinen Überschreitungen der Ablaufgrenzwerte. Die höchsten Ablaufkonzentrationen wurden nach der Schwallbeschickung mit jeweils einem ganzen Tageswasseranfall nach den simulierten 24-

⁴ Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung gilt nicht für Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen. Die Überschreitung des Grenzwertes für Nitrit-Stickstoff ist nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

stündigen Stromausfällen am 17. Juni bzw. 30. September 2008 gemessen. Die Maxima der CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen waren aber deutlich unter den Grenzwerten. Ebenfalls wurden erhöhte CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen nach Wiederinbetriebnahme der Bodenfilter nach der Phase mit "Geringer Belastung" (14-tägige Beschickungspause) gemessen, die aber ebenfalls deutlich unter den Grenzwerten lagen.

Zwischen Jänner und März 2009 wurden noch zusätzliche Prüfabschnitte simuliert, um zusätzliche Erfahrungen zum Verhalten der Bodenfilter bei Belastungsschwankungen im Winter zu erhalten. Während der zusätzlich simulierten Stromausfallphase lagen die Ablaufwassertemperaturen bei ca. 4°C . In dieser Phase wurden bei BF1 (2-stufig) geringere $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablaufkonzentrationen gemessen als bei BF2 (1-stufig). Bodenfilter BF1 erholte sich auch rascher von der Stossbelastung nach der Beschickung mit der Tageswassermenge als BF2.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die beiden Bodenfilter BF1 (2-stufig) und BF2 (1-stufig) die Anforderungen der ÖNORM EN 12566-3 (2005) hinsichtlich Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen erfüllen und nahezu gleiches Verhalten zeigten.

Während der zusätzlichen Prüfabschnitte, die im Winter simuliert wurden, zeigte sich, dass der 2-stufige Aufbau zu gleichmäßigeren Ablaufkonzentrationen führt als der 1-stufige Aufbau. Daraus kann geschlossen werden, dass der 2-stufige Bodenfilter aufgrund einer größeren Robustheit bei Belastungsschwankungen im Winterbetrieb Vorteile gegenüber einem 1-stufigen Bodenfilter bietet.

4.1.3 Stickstoffelimination

Wie bereits festgestellt, unterschieden sich die 3 Bodenfilter bei Nominalbelastung nur hinsichtlich ihrer Stickstoffelimination. Bei Bodenfilter BF3 (2-stufig, drittes und viertes Betriebsjahr) war der Medianwert der Stickstoffelimination 62 %, bei Bodenfilter BF1 (2-stufig, erstes und zweites Betriebsjahr) 47 % und bei BF2 (1-stufig) 21 %.

Die Stickstoffelimination des 2-stufigen Bodenfilters BF1 (Betrieb seit Oktober 2007) war geringer als jene des baugleichen Bodenfilters BF3 (Betrieb seit Juli 2005). Dies ist unter anderem auf die ungünstigen Bedingungen nach Inbetriebnahme des BF1 zurückzuführen, d.h. sehr geringe Einfahrzeit vor und keine Bepflanzung der Stufe 1 im ersten Winter. Im Laufe der Versuchsphase glichen sich die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von BF1 immer mehr jenen von BF3 an.

Aus den Ergebnissen der 3. Projektstufe kann hinsichtlich Stickstoffelimination geschlossen werden, dass die nach der 2. Projektstufe für das 2-stufige System (bei einer Dimensionierung auf $2\text{m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$) angegebene Stickstoffeliminationsleistung von 53 % und die zu erwartende Stickstoffeliminationsrate von $2.70\text{ g N/m}^2/\text{d}$, die an BF3 beobachtet worden waren, möglicherweise als zu niedrig einzustufen sind. Während der 3. Projektstufe lagen die Medianwerte für die Stickstoffeliminationsleistung in Bodenfilter BF3 bei 62 % bzw. für die Stickstoffeliminationsrate bei $3.8\text{ g N/m}^2/\text{d}$ (bzw. 1380 g N/m^2 pro Jahr). Es zeigt sich, dass das 2-stufige System im Vollbetrieb eine hohe und stabile Langzeitelimination für Stickstoff gewährleisten kann.

4.2 Vergleich von Bodenfiltern mit konventionellen Kleinkläranlagen

Generell ist festzuhalten, dass bepflanzte Bodenfilter sich von anderen Kleinkläranlagen dadurch unterscheiden, dass sie bei entsprechender Konstruktion auch stromlos betrieben werden können. Ein wesentlicher Vorteil von Bodenfilter-Kleinkläranlagen ist weiters, dass sie auch in schwer zugänglichen Lagen errichtet werden können, da keine schweren oder großen technischen Bauteile benötigt werden.

4.2.1 Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3

Die Kleinkläranlagenprüfung gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) wurde sowohl am 1-stufigen Bodenfilter BF2 als auch am 2-stufigen Bodenfilter BF1 erfolgreich abgeschlossen. Es können somit folgende Aussagen getroffen werden:

Ein gemäß ÖNORM B 2505 (2008) dimensionierter 1-stufiger Bodenfilter erfüllt hinsichtlich der Reinigungsleistung alle Anforderungen, wie sie in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) für Kleinkläranlagen definiert sind.

Auch ein 2-stufiger Bodenfilter, der auf eine Flächenbelastung von $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ dimensioniert ist, erfüllt hinsichtlich der Reinigungsleistung alle Anforderungen wie sie in der ÖNORM EN 12566-3 (2005) für Kleinkläranlagen definiert sind.

Die anderen in ÖNORM EN 12566-3 (2005) für Kleinkläranlagen vorgesehenen Prüfungen sind für Bodenfilter nicht relevant.

4.2.2 Kostenvergleich

Wie bereits im Endbericht zur 2. Stufe des Forschungsprojektes erwähnt, wurde im Zuge des Forschungsprojektes zwar das Verhältnis der Kosten zwischen 1-stufigen und mehrstufigen Bodenfiltern untersucht, aber keine Marktpreise erhoben.

Dabei konnte für 2-stufige Bodenfilter, die mit einer doppelt so hoher Flächenbelastung betrieben werden wie 1-stufige Bodenfilter, ein Kostenvorteil hinsichtlich Investitionskosten von ca. 40 % gegenüber den 1-stufigen Bodenfiltern errechnet werden; dieser Kostenvorteil kann sich noch erhöhen, wenn der für die Errichtung des Bodenfilters benötigte Platzbedarf mitberücksichtigt werden muss.

Zieht man die vom Amt der niederösterreichischen Landesregierung für die Variantenuntersuchungen im Zuge der Erstellung von „Abwasserplänen im ländlichen Raum“ als Grundlage geltenden „Abwasserentsorgungskonzepte im ländlichen Raum in Niederösterreich, Kostenermittlung und Kostenansätze“ (Amt der NÖ-LReg, 2005) heran, lassen sich für Bodenfilter die in Tabelle 23 und Tabelle 24 dargestellten Berechnungsansätze für Investitionskosten und Betriebskosten anführen. In Tabelle 25 und Tabelle 26 sind zum Vergleich die entsprechenden Werte für technische Anlagen angeführt.

Die Richtigkeit der angeführten Zahlen wurde vom Verfasser nicht überprüft. Die angegebenen Kosten erscheinen generell eher sehr niedrig, doch scheinen die angegebenen Kosten jedenfalls für einen relativen Kostenvergleich geeignet.

Besonders anzumerken ist, dass die angeführten Basiserrichtungskosten für Pflanzenkläranlagen (= bepflanzte Bodenfilter) keine Vorreinigung (3-Kammeranlage) berücksichtigen; auf der anderen Seite enthalten die Basiserrichtungskosten für technische Anlagen keinen Schlamm Speicher. Diese Anlagenkomponenten sind aber für den jeweiligen Anlagentyp in aller

Regel in irgendeiner Form erforderlich, wodurch die Basiserrichtungskosten beider Anlagentypen wieder vergleichbar erscheinen. In manchen Fällen wird für neu gebaute Pflanzenkläranlagen sogar eine bestehende 3-Kammeranlage weiterverwendet werden können, was einen zusätzlichen Kostenvorteil gegenüber technischen Anlagen bedeuten würde.

Tabelle 23: Kostenzusammenstellung Basiserrichtungskosten für Pflanzenkläranlagen (keine mechanische Vorreinigung, kein Zulaufpumpwerk; ohne Nebenkosten). Quelle: Amt der NÖ-LReg (2005).

Ausbaugröße	Baukosten
<i>EW</i>	<i>EUR</i>
5	6.140,-
10	10.220,-
20	17.020,-
50	33.400,-

Tabelle 24: Pflanzenkläranlagen Basisbetriebskosten. Quelle: Amt der NÖ-LReg (2005).

Ausbaugröße	Wartungsaufwand	Wartungskosten	Eigenanalysen	Schlamm-entsorgung	Fremduntersuchungen	Basisbetriebskost.
<i>EW</i>	<i>h/Woche</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>
4	0,15	195,-	30,-	14,-	120,-	380
10	0,33	429,-	30,-	35,-	120,-	660
20	0,55	715,-	30,-	70,-	120,-	990
50	0,90	1.144,-	80,-	175,-	120,-	1.730

Tabelle 25: Kostenzusammenstellung Basiserrichtungskosten für technische Anlagen (ohne Nebenkosten, ohne Schlamm Speicher). Quelle: Amt der NÖ-LReg (2005), errechnet.

Ausbaugröße	Baukosten
<i>EW</i>	<i>EUR</i>
5	9.110,-
10	12.990,-
20	19.280,-
50	32.500,-

Tabelle 26: Technische Anlagen Basisbetriebskosten. Quelle: Amt der NÖ-LReg (2005).

Ausbaugröße	Wartungsaufwand	Wartungskosten	Energiekosten	Eigenanalysen	Schlamm-entsorgung	Fremduntersuchungen	Basisbetriebskost.
<i>EW</i>	<i>h/Woche</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>	<i>EUR/a</i>
4	0,30	390,-	60,-	30,-	28,-	120,-	670,-
10	0,50	650,-	150,-	30,-	70,-	120,-	960,-
20	0,50	650,-	300,-	30,-	140,-	120,-	1.290,-
50	0,50	650,-	750,-	80,-	350,-	120,-	1.950,-

Aus den oben angeführten, vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung veröffentlichten Kostenansätzen, lässt sich ableiten, dass Bodenfilter gegenüber technischen Kleinkläranlagen insbesondere bei sehr geringer Ausbaugröße wesentliche Kostenvorteile bei den Errichtungskosten und bei den Betriebskosten aufweisen. So müssen z.B. für technische 5 EW – Anlagen um bis zu 50 % höhere (Basis-)Errichtungskosten und bis zu 75 % höhere (Basis-)Betriebskosten angenommen werden, als bei einem (gemäß ÖNORM B 2505 dimensionierten) 1-stufigen Bodenfilter für 5 EW.

4.2.3 Betriebssicherheit

Hinsichtlich der Betriebssicherheit von bepflanzten Bodenfiltern („Pflanzenkläranlagen“) sind gegenüber konventionellen Kleinkläranlagen folgende Unterschiede anzuführen:

1. Bepflanzte Bodenfilter werden im Gegensatz zu manchen konventionellen Kleinkläranlagen nicht innerhalb von Gebäuden oder unterirdisch errichtet. Diese Anordnung führt dazu, dass die Abbauleistung witterungsabhängig ist. In sehr langen Frostperioden kann ein bepflanzter Bodenfilter auch zufrieren, insbesondere dann, wenn keine isolierende Schneedecke vorhanden ist, oder wenn der Schilfbewuchs nicht sehr dicht ist.
2. Andererseits gefährdet ein Versagen der Bodenfilter in der Regel nicht die angeschlossenen Gebäude. Eine Bodenfilteranlage kann bei entsprechender Konstruktion auch bei „Versagen“ durch, bzw. überströmt werden (d.h. bei entsprechender Konstruktion des Vorlagebehälters ist kein Rückstau des Abwassers in die angeschlossenen Gebäude möglich) und erfolgt trotz „Versagens“ meist eine Teilreinigung der Abwässer.
3. Bodenfilteranlagen kommen in der Regel ohne komplexe Steuerung aus und können (wenn topografisch möglich) sogar völlig ohne maschinelle Ausrüstung konstruiert und stromlos betrieben werden. Es kann diesfalls auch zu keinen steuerungstechnischen oder maschinellen Problemen kommen, die bei konventionellen Kleinkläranlagen die häufigste Mangelursache bilden und in der Regel einen längeren Stillstand der konventionellen Kleinkläranlage und hohe Reparaturkosten bedeuten (oft kann die Wartung/Reparatur nur der Hersteller durchführen). Bodenfilteranlagen können weitestgehend vom Betreiber gewartet und Mängel behoben werden.

4.3 Kolmationsgefahr bei Bodenfiltern

4.3.1 Ursachen der Kolmation

Wie in der Literatur angeführt, sind die Faktoren, die Ursache für eine Verringerung der Durchlässigkeit von Bodenfiltern sind, sehr komplex und existiert kein einfacher Ursache-Wirkung-Effekt. Die Hauptursachen, die zur Kolmation führen, werden von Langergraber et al. (2003) und Winter und Goetz (2003) wie folgt zusammengefasst:

1. *Anhäufung von suspendierten Feststoffen:* Die Ablagerung organischer und anorganischer Feststoffe an der Oberfläche führt zu einer kolmatierten Schicht (äußere Verstopfung) und zu einer Ablagerung in den Poren des Substrates (innere Verstopfung). Die Neigung eines Bodenfilters zur Kolmation hängt von der Effizienz der Vorbehandlung und vom Substrat ab. Ein Teil der Feststoffe, die den Filter verstopfen, sind organischen Ursprungs und können von Mikroorganismen, sofern Sauerstoff zur Verfügung steht, auch abgebaut werden. Wenn nun Kolmation stattfindet und damit die Sauerstoffversorgung hemmt, steigt die innere Verstopfung exponentiell an.

2. *Überschussschlammproduktion*: Biomasseproduktion infolge des Wachstums von Mikroorganismen und der Abbau von Biomasse sollten sich das Gleichgewicht halten, um Kolmation zu vermeiden.
3. Weitere Faktoren, die eine geringe Rolle spielen, wie
 - chemische Fällung und Ablagerung in den Poren
 - Wurzelwachstum
 - Gasbildung und Lufteinschlüsse in den Poren
 - Entstehung und Ablagerung von CaCO_3
 - Mechanische Verdichtung des Bodenkörpers.

Erfahrungen aus den früheren Projektstufen 1 und 2, lassen die Schlussfolgerung zu, dass bei hoch belasteten Bodenfiltern bei tiefen Temperaturen im Winter eine gewisse Kolmationsgefahr besteht. Diese Kolmationsgefahr scheint von der Konzentration Abfiltrierbarer Stoffe (AFS) im Zulauf zu den Bodenfiltern und von der organischen Flächenbelastung abzuhängen.

Die Probleme am Ende des Winters 2008/2009 bei Bodenfilter BF3 lassen sich ebenfalls auf Kolmation zurückführen. Allerdings war, wie zuvor gezeigt wurde, eine wesentliche Ursache die lokale Überlastung, die durch ein teilweises Absinken der Beetoberfläche bei BF3.1 ausgelöst wurde. In Folge dieser lokalen Überlastung kam es über lange Zeit zu einer an dieser Stelle auftretenden Pfützenbildung durch langsame Versickerung des Beschickungswassers. Diese lokale Überlastung führte, da das Absinken der Beetoberfläche durch den starken Bewuchs bis zur Entfernung des Schilfs nicht erkennbar war, zu einer lokalen Verstopfung der ersten Stufe. Verstärkt durch die sehr dichte organische Schicht aus abgestorbenem Schilfmateriale, verursachte die lokale Verstopfung einen Einstau der gesamten Oberfläche von BF3.1. Daraus kann geschlossen werden, dass das Schilf regelmäßig, alle 2 bis 3 Jahre, entfernt werden soll, damit:

1. die Beetoberfläche besser eingesehen werden kann und dadurch Probleme, wie das Absinken der Oberfläche und eine lokale Pfützenbildung oder auch eine Kurzschlussströmung zwischen den beiden Stufen, rechtzeitig erkannt werden können, und
2. die Menge des organischen Materials aus abgestorbenem Schilfmateriale auf der Beetoberfläche reguliert wird.

Wie schon erwähnt, sind die erhöhten Ablaufkonzentrationen von BF3.2 im Winter 2008/2009 auf die Kurzschlussströmung zwischen BF3.1 und BF3.2 zurückzuführen. Selbst wenn es durch Kolmation der ersten Stufe zu erhöhten Ablaufkonzentration dieser kommt, sollten diese bei funktionierender intermittierender Beschickung der zweiten Stufe abgepuffert werden können.

4.3.2 Einfluss der mechanischen Vorreinigung

Die 3-Kammer Absetzanlage wurde zu Beginn der ersten Projektstufe nach ÖNORM B 2505 (Vorschlag, Stand 19.10.2000) bemessen. Damals (ÖNORM B 2505, 1997) wie heute (ÖNORM B 2505, 2008) ist ein Speichervolumen von $0,25 \text{ m}^3/\text{EW}$ vorgesehen (vgl. $1,5 \text{ m}^3/\text{EW}$ im Arbeitsblatt DWA A-262, DWA 2006). In der letzten Fassung der ÖNORM 2505 wird allerdings festgehalten, dass der Beschickungsschacht für den Bodenfilter hydraulisch von der mechanischen Vorreinigung getrennt sein muss und nicht auf den Nutzinhalt der Vorreinigung angerechnet werden darf. Entsprechend würde sich das verfügbare Gesamtvolumen der Vorreinigung um 25 % reduzieren. Dies ist insofern zu beachten, als das verfügbare Volumen der Vorreinigung auch durch den in der ersten Kammer ansteigenden Absetzschlamm ständig reduziert wird und so jeweils kurz vor der Schlammräumung, die an der Versuchsanlage im Abstand von jeweils ca. 6 Wochen erfolgte, unter den in der Norm geforderten Wert fallen kann.

Während der Nominalphasen der Projektstufe 3 floss durch die mechanische 3-Kammer Absetzanlage eine Abwassermenge, die rund 23 EW_{CSB} pro Tag entspricht, während der Intensivbeschickung der Bodenfilter BF1 und BF2 entsprach die Abwassermenge sogar annähernd 30 EW_{CSB} pro Tag. Es ist also davon auszugehen, dass die Absetzleistung der 3-Kammeranlage nicht immer den heutigen Anforderungen entsprechen konnte (wobei auf der anderen Seite die Vorreinigung im Rechen und Sandfang im Zulauf der Kläranlage (vor Ausleitung zur 3-Kammer Absetzanlage) eine unterstützende Reinigungswirkung hat).

Auf die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Zulauf hatte das aber – zumindest im langjährigen Durchschnitt - nur geringen Einfluss. Sowohl der Medianwert wie auch der Mittelwert der AFS Zulaufkonzentration lagen während der Projektstufe 3 bei 110 mg/l. Während die ÖNORM B 2505 keine Vorgaben hinsichtlich maximaler AFS Zulaufkonzentration gibt, wird im DWA Arbeitsblatt DWA-A262 (DWA 2006) eine maximale Zulaufkonzentration von 100 mg AFS/l im Jahresmittel empfohlen (allerdings für einen 1-stufigen Bodenfilter mit einer Hauptschicht aus Sand, die dem eingesetzten 0,06/4 mm Sand entspricht).

4.4 Schlussfolgerungen und weitere Fragestellungen

Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Versuche ergeben sich folgende Schlussfolgerungen und weitere Fragestellungen:

1. In der ÖNORM B 2505 (2008) fehlen konkrete Vorgaben für die Vorreinigung hinsichtlich AFS Konzentration. Die Dimensionierungsvorgaben für die mechanische Vorreinigung vor Bodenfilteranlagen sind ebenfalls unter diesem Aspekt zu hinterfragen.
2. Wie verhalten sich nach ÖNORM B 2505 (2008) dimensionierte mechanische Vorreinigungen bei unterschiedlichen hydraulischen Belastungen? Kann es bei Stossbelastungen zu einer Erhöhung des ASF Ablaufkonzentration der Vorreinigung, d.h. der AFS Zulaufkonzentration zum Bodenfilter, kommen, die eine Gefahr für den Betrieb der Bodenfilter darstellen?
3. Welches allfällige Optimierungspotenzial für die Dimensionierung des 2-stufigen Bodenfilters ergäbe sich durch eine Änderung der Flächenaufteilung zwischen erster und zweiter Stufe? Die Betriebssicherheit könnte noch erhöht werden, indem die erste Stufe größer dimensioniert wird als die zweite, um somit eine geringere Belastung der ersten Stufe bei gleich bleibender Gesamtbelastung zu erreichen. Die gemessenen organischen Belastungen der zweiten Stufe der Bodenfilter BF1 und BF3 würden das zulassen.
4. Wie ist die Wahrscheinlichkeit einzustufen, dass auch ein nach ÖNORM B 2505 (2008) dimensionierter und konstant mit einer Flächenbelastung von $20 \text{ g CSB/m}^2/\text{d}$ (bzw. $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$) beaufschlagter 1-stufiger Bodenfilter nach wenigen Betriebsjahren kolmatiert? Wie ist in diesem Zusammenhang die Tatsache zu bewerten, dass die meisten in Österreich in Betrieb befindlichen Bodenfilter für die tatsächliche Belastung überdimensioniert sind?
5. Können mehrstufige Bodenfilter auch für jene ländlichen Bereiche ohne geeignete Vorflut angewendet werden, wo derzeit von den Amt sachverständigen der Länder die Herstellung konventioneller Kleinkläranlagen mit nachgeschaltetem Bodenfilter und anschließender großflächiger Versickerung verlangt wird?
6. Wie ist die biologische Abbaubarkeit von AFS in Bodenfiltern zu beurteilen? Da ja die „Filter“-Wirkung des Bodenfilters unbestritten ist, müssen die im Zulauf befindlichen AFS im Filter entweder abgebaut oder nur mechanisch zurückgehalten und nicht abgebaut werden (die Ergebnisse der Bestimmung der organischen Trockensubstanz der Substratproben aus den Hauptschichten der Bodenfilter zeigen, dass die Entfernung der AFS in der Hauptschicht mit $0,06/4 \text{ mm}$ Sand im oberen Teil des Vertikalfilters erfolgt, während bei der Verwendung von einer Hauptschicht mit $2/3,2 \text{ mm}$ Sand die AFS tiefer in die Hauptschicht eindringen und daher über die ganz Filtertiefe zurückgehalten werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschungsanlage des Forschungsprojekts „Bepflanzte Bodenfilter“ wurde im Jahr 2003 am Areal der Kläranlage (ARA) der Gemeinde Ernsthofen in Niederösterreich errichtet und besteht aus 3 vertikal durchströmten, bepflanzten Bodenfiltern. Das Abwasser wurde mittels einer Pumpe aus dem Zulauf (nach Rechen und Sandfang) der ARA Ernsthofen entnommen und einer, der Versuchsanlage zugehörigen, mechanischen Vorreinigung (3-Kammer-Absetzanlage) zugeführt.

Seit 2003 wurden auf der Forschungsanlage die Stufen 1 und 2 des Forschungsprojekts durchgeführt. Im September 2007 wurde mit der gegenständlichen Stufe 3 des Forschungsprojekts begonnen und der Versuchsbetrieb im Mai 2009 abgeschlossen.

Ziel der Stufe 3 des Forschungsprojektes war vor allem, die bisherigen Ergebnisse für den Betrieb **2-stufiger bepflanzter Bodenfilter** zu bestätigen, da es sich beim hier untersuchten 2-stufigen Aufbau um ein neuartiges System handelt. Neben weiteren Betriebserfahrungen, insbesondere hinsichtlich des Winterbetriebs von 2-stufigen Bodenfiltern, sollte zum Vergleich bepflanzter Bodenfilter mit konventionellen, technischen Kleinkläranlagen ein Versuchsprogramm durchgeführt werden, das in der ÖNORM EN 12566-3 für die Typenprüfung von technischen Kleinkläranlagen beschrieben wird. Weiters sollte der Einfluss unterschiedlicher Beschickungsintervalle auf die Reinigungsleistung bepflanzter Bodenfilter untersucht werden.

Mit dem **weiterführenden Betrieb des 2-stufigen Bodenfilter BF3** (dimensioniert auf einen Flächenbedarf von 2 m² / Einwohner, wie schon in Stufe 2 des Forschungsprojekts) wurde untersucht, inwieweit 2-stufige Bodenfilter dauerhaft mit einer derart intensiven Belastung betrieben werden können. Bodenfilter BF3 wurde mit gleicher Flächenbelastung weiterbetrieben wie während der Stufe 2 des Forschungsprojekts, jedoch wurde der Beschickungsrhythmus ebenfalls einem Tagesgang entsprechend ÖNORM EN 12566-3 (2005) angepasst.

Ein weiterer, **baugleicher 2-stufiger Bodenfilter BF1** wurde neu eingerichtet, um an einem 2-stufigen Bodenfilter auch unterschiedliche Betriebsweisen und Beschickungsintensitäten testen zu können. Konkret wurde BF1 der standardisierten Prüfung für Kleinkläranlagen gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) unterzogen.

Als Referenzanlage zu Bodenfilter BF1 wurde der **gemäß ÖNORM B 2505 (Vornorm, Stand 1.5.2005) in 1-stufiger Bauweise errichtete und dimensionierte Bodenfilter BF2** während der gesamten Versuchsphase (dimensioniert auf einen Flächenbedarf von 4 m² / Einwohner) mit dem gleichen Abwasser und den gleichen Beschickungszyklen belastet, wie BF1 (allerdings mit geringerer Flächenbelastung). BF2 wurde ebenfalls der standardisierten Prüfung für Kleinkläranlagen gemäß ÖNORM EN 12566-3 unterzogen. Die Flächenbelastung von Bodenfilter BF1 war – bezogen auf die Gesamtfläche der Bodenfilter – während der gesamten Versuchsphase genau doppelt so hoch wie beim gemäß ÖNORM B 2505 (2005) in 1-stufiger Bauweise errichteten und dimensionierten Bodenfilter BF2.

Folgende Ergebnisse der Stufe 3 des Forschungsprojekts „Bepflanzte Bodenfilter“ können festgehalten werden:

Bodenfilter BF1:

1. Am 2-stufigen Bodenfilter BF1 wurde während der gesamten Projektlaufzeit eine sehr zufrieden stellende Reinigungsleistungen beobachtet. Die Grenzwerte gemäß 1.AEV für kommunales Abwasser (1996 idF 2000, folgend „1.AEVkA (1996)“) wurden mit Ausnahme des ersten Winters (kurzfristig geringfügige BSB₅-Grenzwertüberschreitung im Winter 2007/2008) eingehalten. Dies kann aber auf die späte Inbetriebnahme von

Bodenfilter BF1 und den dadurch erzwungenen Betrieb ohne Bepflanzung im ersten Winter zurückgeführt werden.

2. Es hat sich damit gezeigt, dass ein 2-stufiger Bodenfilter auch unter sehr ungünstigen Randbedingungen (Beschickungsbeginn vor dem Winter und ohne Bepflanzung) in Betrieb genommen werden kann. Während des ersten Winters (2007/2008) kam es bei Bodenfilter BF 1 nur zu einer zeitweiligen, geringfügigen Überschreitung des BSB₅-Ablaufgrenzwerts. Der CSB-Ablaufgrenzwert wurde sofort ab Beginn des Betriebs immer eingehalten. Die Nitrifikationsleistung stabilisierte sich im Jänner 2008 schon bei einer Abwassertemperatur von ca. 5°C, und es wurden NH₄-N Ablaufkonzentrationen unter 5 mg/l gemessen.

Bodenfilter BF2:

3. Am 1-stufigen Bodenfilter BF2 wurde während der gesamten Projektlaufzeit ebenfalls eine sehr zufrieden stellende Reinigungsleistungen beobachtet. Die Grenzwerte gemäß 1.AEVkA (1996) wurden während der gesamten Versuchsdauer eingehalten.

Bodenfilter BF3:

4. Die Umstellung der Beschickung bei Bodenfilter BF3 von einer gleichmäßigen, 3-stündlichen Beschickung in Projektstufe 2 auf eine Beschickung, die dem Tagesgang gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) folgt, hatte keine signifikanten Auswirkungen auf die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von BF3. Wie in Projektstufe 2 wurden die Grenzwerte gemäß 1.AEVkA (1996) während der gesamten Versuchsdauer der Projektstufe 3 eingehalten.
5. An Bodenfilter BF3 zeigte sich, dass das **2-stufige System** im Vollbetrieb eine hohe und stabile Langzeitelimination für Stickstoff gewährleisten kann. In Projektstufe 3 lagen die Medianwerte für die **Stickstoffeliminationsleistung** bei **62 % bzw.** für die **Stickstoffeliminationsrate** bei **3.8 g N/m²/d** (bzw. 1'380 g N/m² pro Jahr). Die Stickstoffeliminationsleistung war damit um 9% höher als noch in Projektstufe 2 (53 %, Stickstoffeliminationsrate 2.70 g N/m²/d bzw. 986 g N/m² pro Jahr).
6. Die Beschickung von Bodenfilter BF3 musste im März 2009 für 4 Wochen unterbrochen werden, da es zu einem Einstau der ersten Stufe des Bodenfilters (BF3.1) kam. Die beobachteten Kolmationserscheinungen konnten sich überwiegend auf die durch das Absinken der Beeteoberfläche ausgelöste lange Zeit an dieser Stelle auftretende Pfützenbildung, in Verbindung mit einer Ablagerung abgestorbener Schilfpartikel an der gesamten Beeteoberfläche, zurückgeführt werden. Eine stoffliche Überlastung der ersten Stufe, BF3.1, als Ursache der Kolmation konnte aufgrund der Ergebnisse der Messungen an den Substratproben, die aus den Hauptschichten aller Bodenfilter genommen wurden, ausgeschlossen werden.

Prüfung für Kleinkläranlagen gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005):

7. Die standardisierte **Prüfung für Kleinkläranlagen** gemäß ÖNORM EN 12566-3 (2005) konnte **für den 1-stufigen Bodenfilter BF2 und den 2-stufigen Bodenfilter BF1 erfolgreich** abgeschlossen werden. Für beide Bodenfilter kam es **während des 48-wöchigen Prüfbetriebs** zu keinen Überschreitungen der erlaubten maximalen Ablaufkonzentrationen. Alle **Grenzwerte** wurden **eingehalten**.
8. Der 2-stufige Bodenfilter BF1 war im Vergleich zum 1-stufigen Bodenfilter BF2 während der im Winter 2008/2009 zusätzlich simulierten Prüfabschnitte gemäß ÖNORM EN 12566-3 bei Belastungsschwankungen robuster. Das deutet auf **Betriebsvorteile des 2-stufigen Bodenfilters** gegenüber einem 1-stufigen Bodenfilter **bei Belastungsschwankungen und tiefen Temperaturen** hin.

Allgemein:

9. 1-stufige und 2-stufigen Bodenfilter erweisen sich im Winterbetrieb als sehr robust. Die nach 1.AEVkA (1996) geforderten Ablaufgrenzwerte werden von beiden Bauarten eingehalten, bei 2-stufigen Bodenfiltern sogar bei doppelt so hoher Flächenbelastung. Bei Ablaufwassertemperaturen von über 8°C wird schon die volle Reinigungsleistung erreicht. Die Reinigungsleistung ist bei Ablaufwassertemperaturen über 8°C sehr stabil und konstant. Der geforderte Ablaufgrenzwert für NH₄-N von 10 mg/l wird von beiden Bauarten schon bei Ablauftemperaturen > 6°C eingehalten (gefordert für Anlagen > 50 EW erst ab > 12°C).
10. Die Erfahrungen zeigen, dass die Reinigungsleistung von 2-stufigen Bodenfiltern robuster ist als jene von 1-stufigen Bodenfiltern. Im Frühjahr erreichten die 2-stufigen Bodenfilter jeweils rascher geringere Ablaufkonzentrationen als die 1-stufigen Bodenfilter.
11. Aufgrund der Erfahrungen empfiehlt sich **bei hoch belasteten Bodenfiltern ein Entfernen (Schneiden) des Schilfbewuchses in regelmäßigen Abständen von maximal 2 Jahren**. Ein Bodenfilter kann ansonsten so stark verwachsen, dass die Oberfläche des Bodenfilters nicht mehr eingesehen werden kann und Betriebsprobleme eventuell nicht rechtzeitig erkannt werden können. Darüber hinaus wird durch das regelmäßige Entfernen des abgestorbenen Schilfmateri als die Menge des organischen Materials auf der Beetoberfläche reduziert bzw. reguliert und die Gefahr von Kolmationen reduziert.

Alle 3 Bodenfilter befinden sich auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt in Betrieb, um eine etwaige Weiterführung von Versuchen auf der Versuchsanlage über das Ende des gegenständlichen Forschungsprojekts hinaus zu ermöglichen.

Zusammenfassend kann als Ergebnis des gegenständlichen Forschungsprojekts festgehalten werden, dass 2-stufige Bodenfilter, auch bei einer Dimensionierung auf den halben Flächenbedarf, vergleichbare Abbauleistungen für BSB₅, CSB und NH₄-N zeigen wie ein 1-stufiger vertikal durchströmter Bodenfilter: Zusätzlich kann mit einem 2-stufigen Bodenfilter eine Gesamtstickstoffelimination von > 60 % erreicht werden. Vor allem im Winterbetrieb erwies sich der 2-stufige Bodenfilter als robuster als ein 1-stufiger vertikal durchströmter Bodenfilter nach ÖNORM B2505 (2008).

Wien, August 2009

6 LITERATUR

1. AEV für kommunales Abwasser (1996 idF 2000): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser), BGBl. Nr. 210/1996 idF BGBl. II Nr. 392/2000

AAEV Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (1996): Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV). BGBl. Nr. 186/1996.

Amt der NÖ-LReg (2005): Abwasserentsorgungskonzepte im ländlichen Raum in Niederösterreich Kostenermittlung und Kostenansätze. Amt der NÖ Landesregierung - Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, St. Pölten.

DWA (2006): DWA Regelwerk – Arbeitsblatt DWA-A 262. Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers. Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Hanke, T. (2001): Einfluss der Abwasserbeschickungssysteme für Vertikalfilter auf die Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit. Diplomarbeit an der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Langergraber, G. (2008): Simulation of the behaviour of the 2-stage constructed wetland system for different load scenarios. In: IWA (Eds.): *Proceedings of the 11th IWA Specialized Group Conference on "Wetland Systems for Water Pollution Control"* – Volume I, 1-7 November 2008, Indore, India, pp.825-830.

Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J., Pressl, A. (2003): Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology* 48(5), 25-34.

ÖKOREAL und BOKU-SIG (2005): Bepflanzte Bodenfilter, Endbericht Projektstufe 1. Herausgeber: Lebensministerium, Stubenring, A-1012 Wien.
(<http://publikationen.lebensministerium.at/>, Abruf: 19.08.2009)

ÖKOREAL und BOKU-SIG (2007): Bepflanzte Bodenfilter, Endbericht Projektstufe 2. Herausgeber: Lebensministerium, Stubenring, A-1012 Wien.
(<http://publikationen.lebensministerium.at/>, Abruf: 19.08.2009)

ÖNORM B 2505 (2005): Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen). Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM B 2505 (2008): Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen). Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM EN 12556-3 (2005): Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW. Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

Winter, K., Goetz, D. (2003): The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology* 48(5), 9-14.

7 ANLAGEN

- Anlage 1:** Diagramme mit der vollständigen Darstellung der gemessenen Zulauf- und Ablaufkonzentrationen an allen Bodenfiltern inklusive der jeweils ersten Stufen der 2-stufigen Bodenfilter.
Vergleich mit den im SIG-Labor gemessenen Werten
- Anlage 2:** Analyseergebnisse der in Ernsthofen gezogenen Proben
Diagramme der Analyseergebnisse aller in Ernsthofen gezogenen Proben (ARA Ernsthofen und Vergleichsanalysen)
- Anlage 3:** Fotodokumentation der Entwicklung der Bodenfilter während der Projektlaufzeit

Anlage 1

Diagramme mit der vollständigen Darstellung der gemessenen Zulauf- und Ablaufkonzentrationen an allen Bodenfiltern inklusive der jeweils ersten Stufen der 2-stufigen Bodenfilter.

Vergleich mit den im SIG-Labor gemessenen Werten.

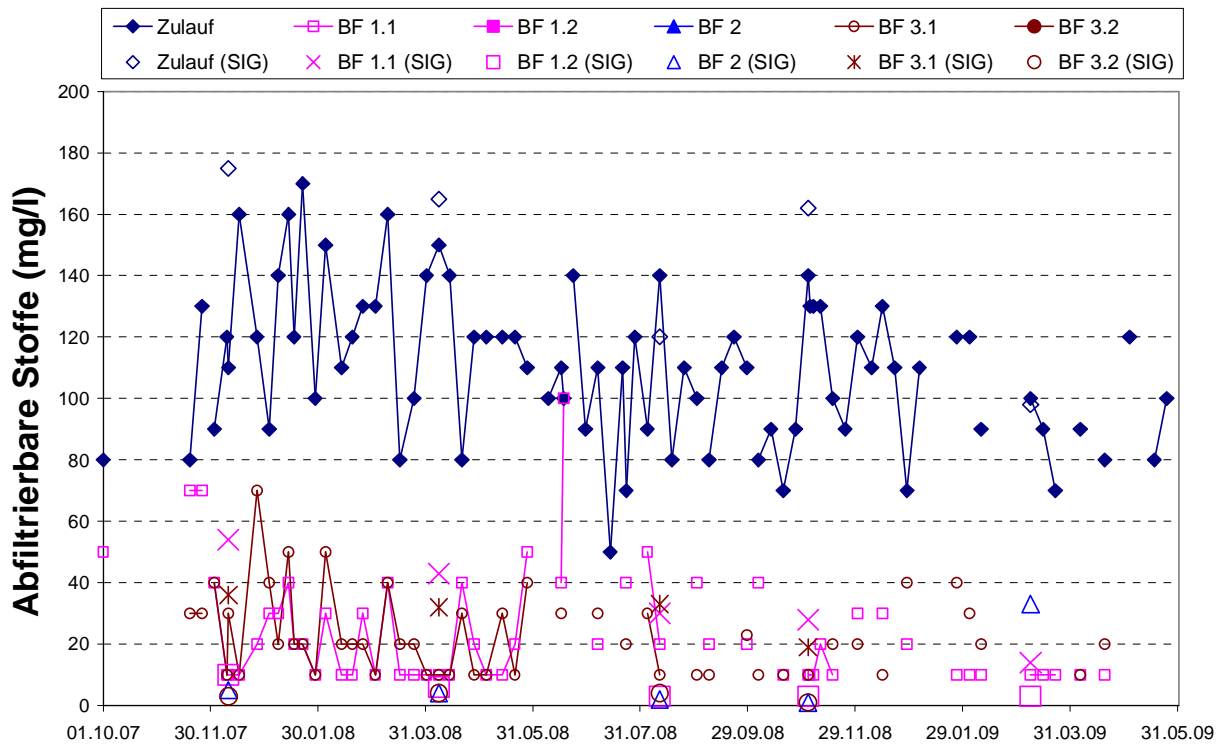


Abbildung 64: Abfiltrierbare Stoffe AFS – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

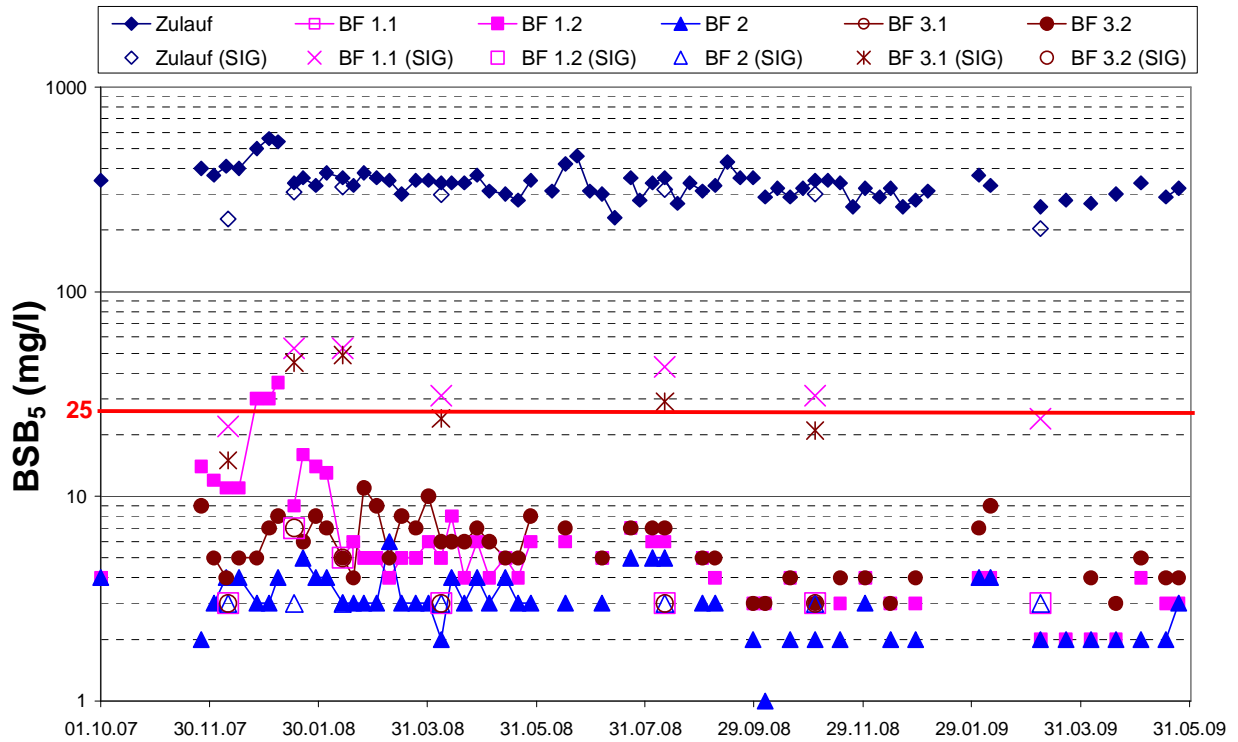


Abbildung 65: BSB₅ – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

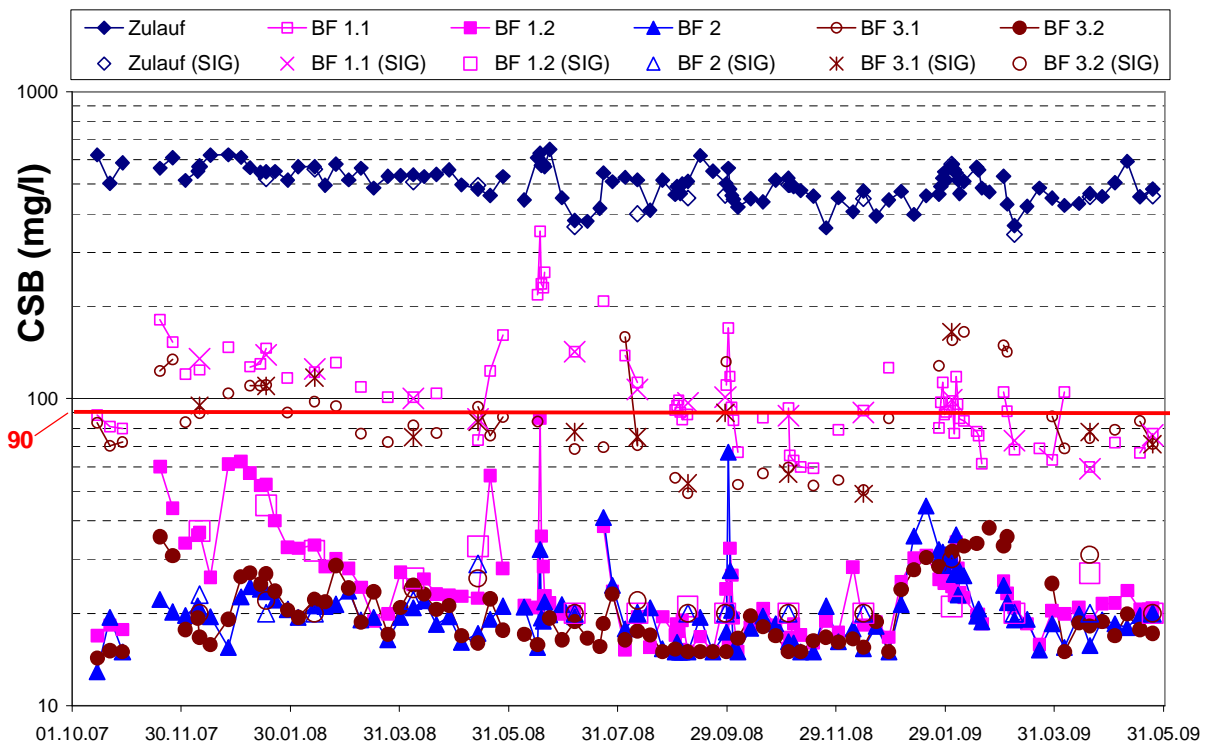


Abbildung 66: CSB – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

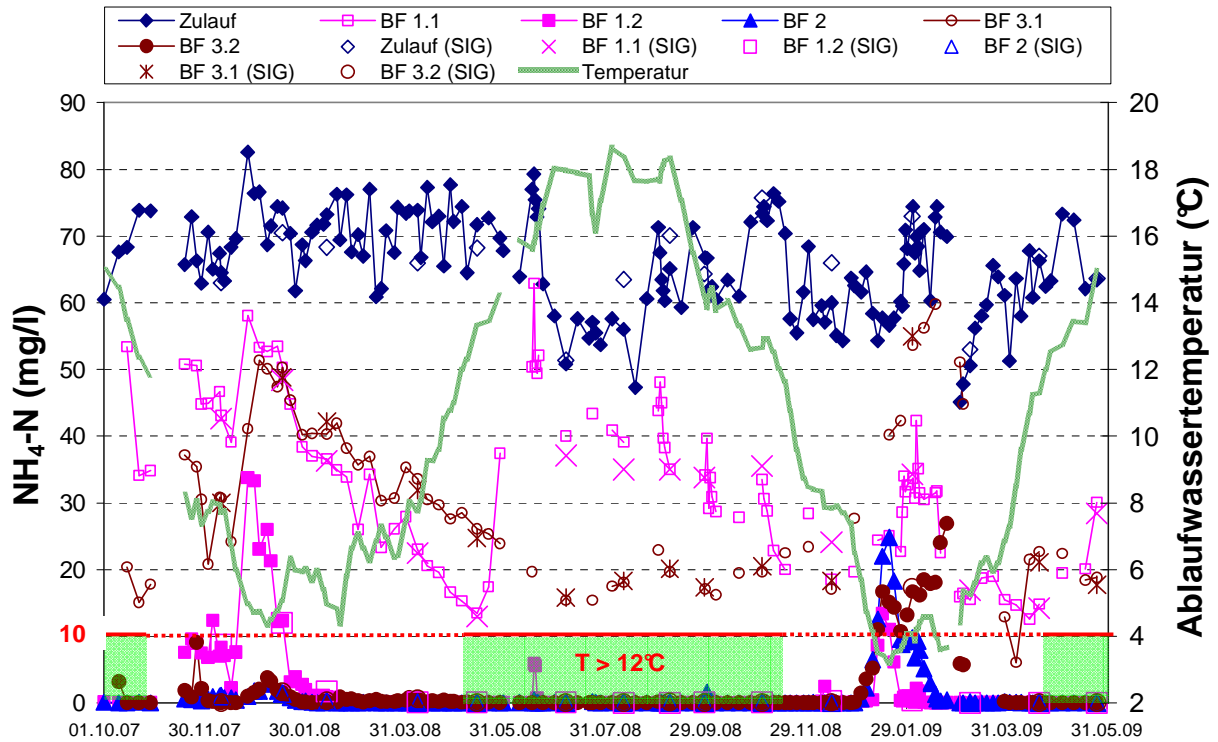


Abbildung 67: NH₄-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

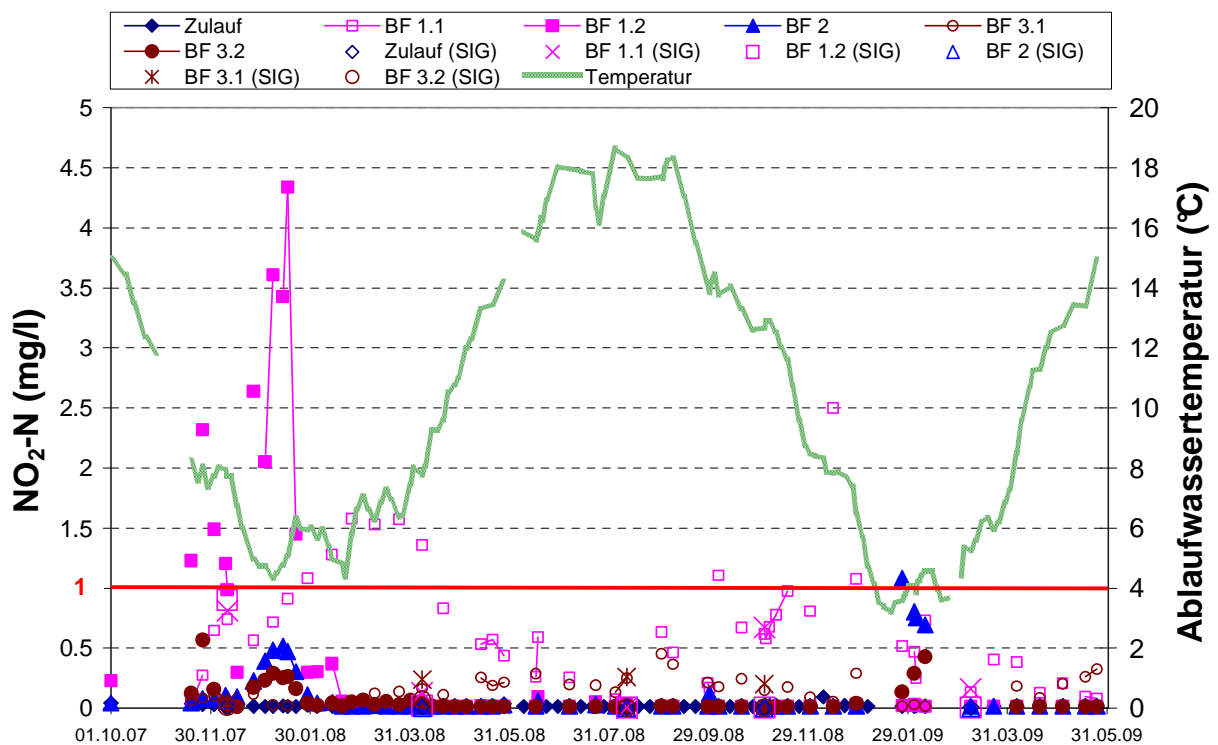


Abbildung 68: NO₂-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

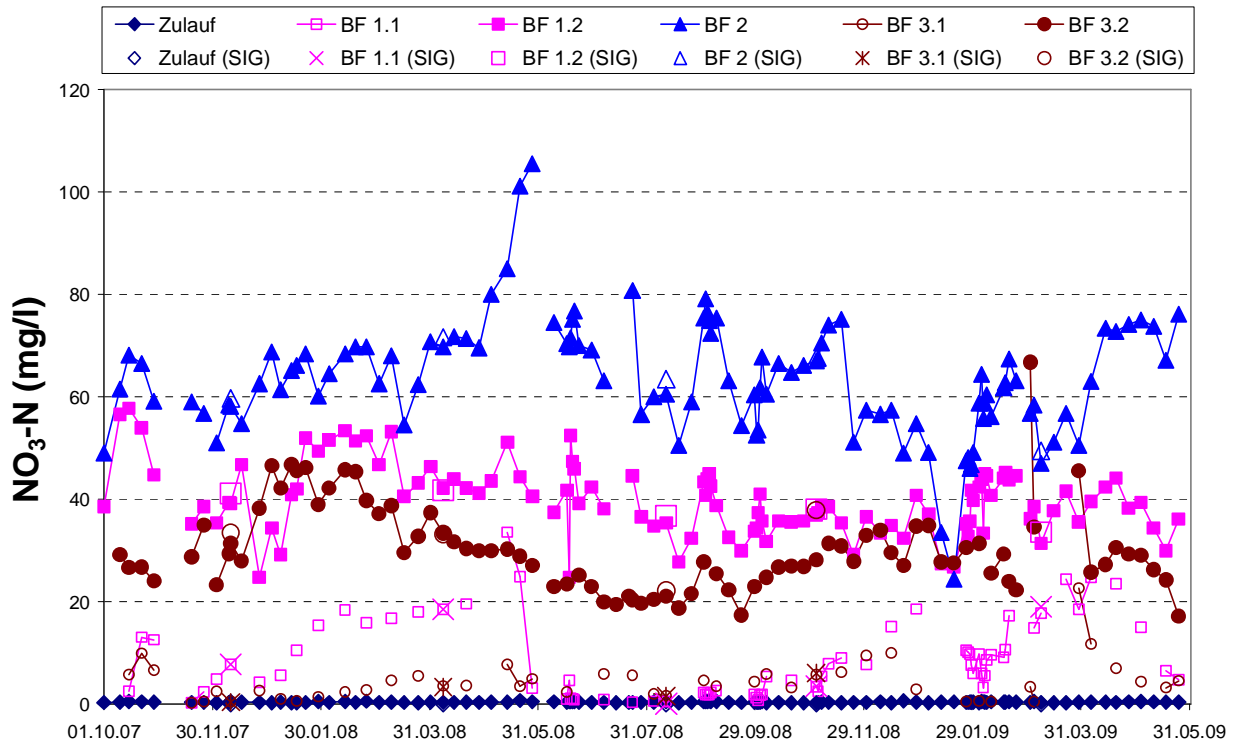


Abbildung 69: NO₃-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

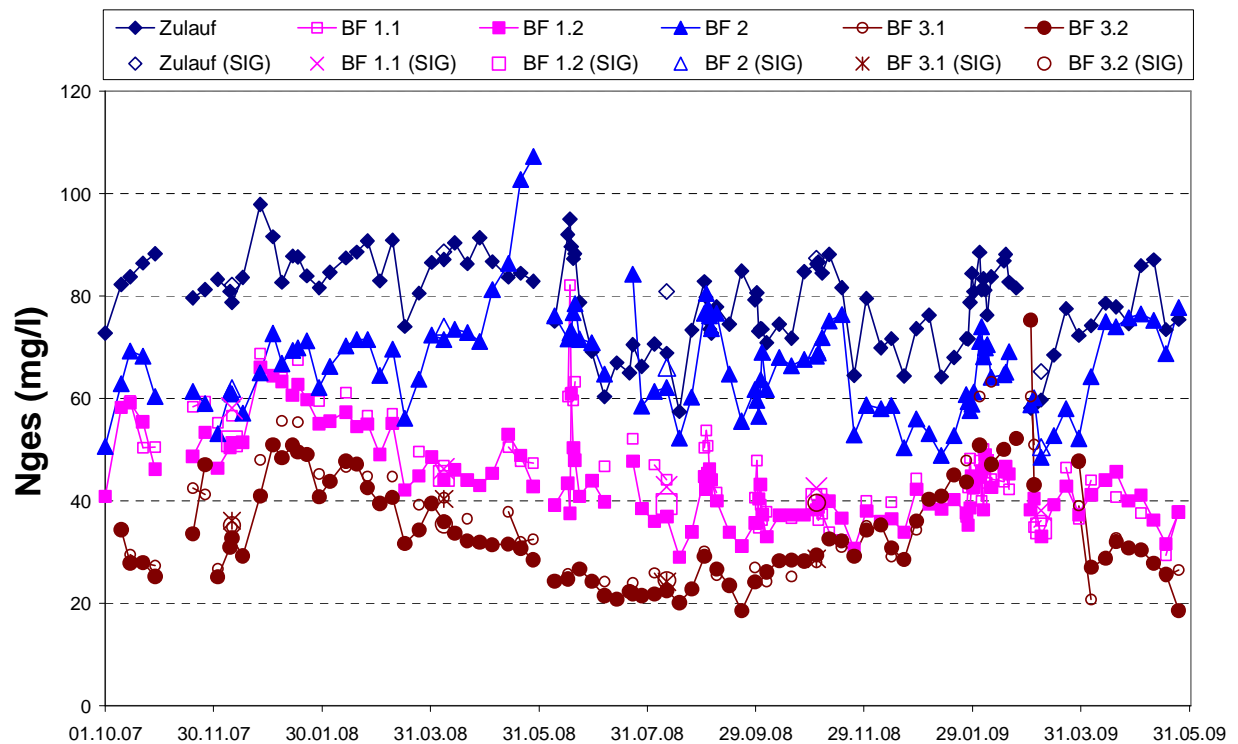


Abbildung 70: N_{ges} – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

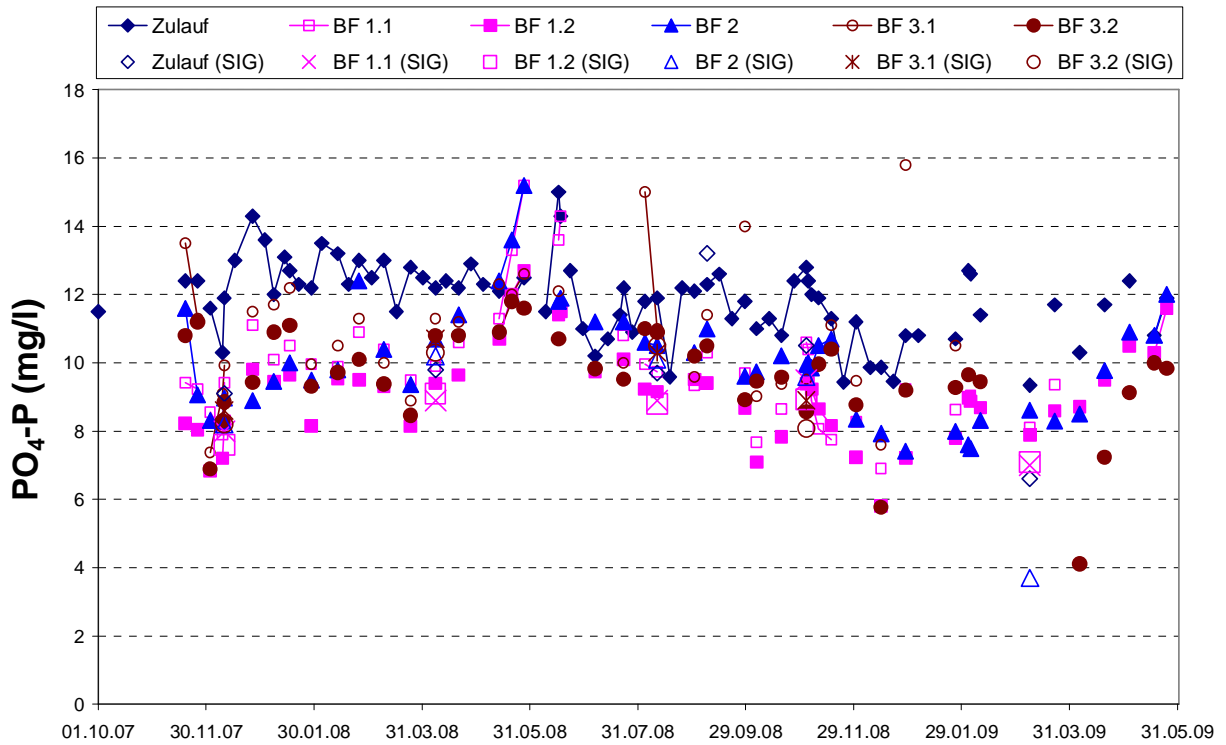


Abbildung 71: PO₄-P – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

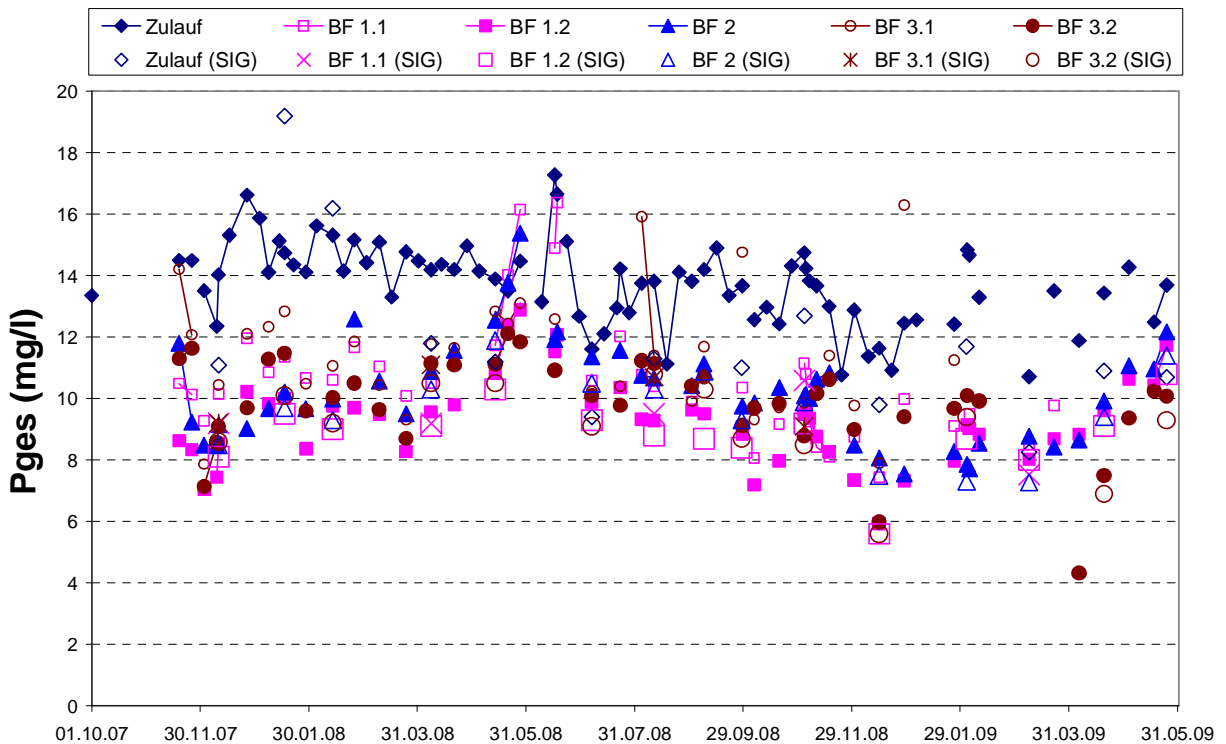


Abbildung 72: P_{ges} – Zu- und Ablaufkonzentrationen inkl. Vergleichswerte

Anlage 2

Analyseergebnisse der in Ernsthofen gezogenen Proben – Messprogramm ÖKOREAL

Legende:

Zulauf Zulauf zu den drei Bodenfiltern aus 3. Kammer der 3-Kammer-Anlage
 Ablauf 1.1..... Ablauf aus Bodenfilter 1 - Stufe 1 (im Schacht)
 Ablauf 1.2..... Ablauf aus Bodenfilter 1 - Stufe 2 (unter Kippe 1)
 Ablauf 2 Ablauf aus Bodenfilter 2 unter Kippe 2
 Ablauf 3.1 Ablauf aus Bodenfilter 3 - Stufe 1 (im Schacht)
 Ablauf 3.2 Ablauf aus Bodenfilter 3 - Stufe 2 (unter Kippe 3)

Temperatur

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	Temperatur					
	[°C]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007	16,6	14,6		16	17,8	16,8
11.06.2007	17,7	15,4		17,2	18,6	17,4
24.07.2007	20,0			18,6	20,7	19,6
07.08.2007	20,2			17,8	19,7	18,4
20.08.2007	19,7			17,9	19,1	18
03.09.2007	19,3			17,3	18,6	17,5
19.09.2007	18,5			15,5	16,6	15,6
01.10.2007	16,7	15,2	15	15		
10.10.2007	16,3	14,4	14,2	14,8	15,3	14,4
15.10.2007	15,7	13	13,1	13,9	14,8	13,5
22.10.2007	14,6	11,9	11,6	12,8	13	12,7
29.10.2007	13,9	11,2	11,5	12	13,1	12
19.11.2007	11,3	7,9	7,9	8,6	8,7	8,3
23.11.2007	11,0	7,4	6,4	8,4	7,9	7,9
26.11.2007	11,2	8,6	7,4	8,5	9,2	8,3
29.11.2007	10,5	7,1	6,1	8,1	8,4	7,9
03.12.2007	10,7	8,4	6,9	8,2	9,1	8,1
06.12.2007	10,5	8,9	7,2	8,4	9,5	8,5
10.12.2007	10,3	7,9	7,2	8,3	9,1	8,3
11.12.2007	10,1	7,9	7	8,2	9	8

13.12.2007	10,1	7,9	6,9	8,1	9,3	8,2
17.12.2007	9,6	6,9	5,6	7,4	7,7	7,2
20.12.2007	8,7	5,5	5,1	6,6	6,9	6,3
27.12.2007	8,3	5	3,7	5,8	6,3	5,4
31.12.2007	8,0	5,2	3,4	5,6	6,1	5,2
03.01.2008	7,9	5,1	3,3	5,5	6,2	5,4
08.01.2008	7,5	4,6	2,9	5,2	5,5	4,9
10.01.2008	7,6	5	3	5,3	5,9	5,2
14.01.2008	7,8	5,8	3,4	5,5	6,1	5,4
17.01.2008	7,7	5,8	4,1	5,5	6,3	5,6
22.01.2008	8,2	7,2	5,9	6,4	7,3	6,7
25.01.2008	8,4	6,7	5,2	6,3	7,2	6,5
29.01.2008	8,0	6,7	5,2	6,2	6,9	6,4
31.01.2008	8,2	6,7	5,4	6,2	7,2	6,5
04.02.2008	8,1	6	4,8	6,1	6,7	6,1
07.02.2008	8,3	6,5	5,4	6,3	7,2	6,2
11.02.2008	8,0	5,8	4,6	5,8	6,7	5,8
13.02.2008	8,0	5,3	4	5,5	6,3	5,5
18.02.2008	7,2	4,9	4,1	5,1	5,7	5,2
21.02.2008	7,2	5,3	3,6	4,8	5,2	4,7
25.02.2008	7,8	7,1	5,7	5,7	6,9	6
28.02.2008	8,5	8,2	6,6	6,6	7,4	6,7
03.03.2008	8,5	8,5	7	6,9	8	7,3
06.03.2008	8,4	7,7	6,3	6,7	7,8	6,9
10.03.2008	8,7	7,5	5,9	6,4	7,2	6,5
14.03.2008	8,8	8,3	6,7	6,9	7,9	7
17.03.2008	9,0	8,8	7,3	7,2	8,3	7,4
20.03.2008	8,6	7,7	6,7	7	7,9	7,2
25.03.2008	8,4	7,3	6	6,4	7,3	6,7
27.03.2008	8,6	7,3	6,1	6,5	7,4	6,7
01.04.2008	9,5	9,7	7,7	7,2	8,5	7,5
03.04.2008	9,4	9,5	8,3	7,9	9,1	7,9
08.04.2008	9,4	8,6	7,8	7,6	8,8	7,9
10.04.2008	10	10,1	8,3	7,9	9	8
14.04.2008	10,5	11,3	10	8,7	10,1	9,1
17.04.2008	10,5	10,6	9,4	9,2	10,2	9,2
21.04.2008	11,2	11,8	10,2	9,1	10,6	9,5
24.04.2008	11,4	12,3	10,9	10,4	11,4	10,3
28.04.2008	12	13,1	11,6	10,2	11,7	10,5
30.04.2008	12,2	13	11,8	10,5	11,7	10,7
05.05.2008	13	14,2	13,2	11,1	12,8	11,7
08.05.2008	12,8	14,4	13,2	11,7	13,2	12
14.05.2008	13,6	15,5	14,2	12,7	13,7	13
21.05.2008	14	14,8	13,9	13,1	14,2	13,4
28.05.2008	15,2	17,1	15	13,5	15,2	14,1
30.05.2008	15,5	18,3	16,7	15,5		
09.06.2008	16,7	17,2	16,5	15,4	17,1	15,8
16.06.2008	17	17,5	15,9	15,4	16,8	15,5
17.06.2008	17,2	18,4	16,2	15,4		
18.06.2008	17,1	18	16,3	15,6		
19.06.2008	17,2	18,3	16,8	15,9		
20.06.2008	17,4	18,5	16,7	15,8		
23.06.2008	18,3	19,8	17,7	16,5	18,8	16,6
30.06.2008	18,6	19,9	18,7	17,3	18,7	18,1
07.07.2008	19,7	19,3	18,3	17,5	19	18,1
14.07.2008	19,4				19,2	17,9
21.07.2008	19,5				18,8	17,9
23.07.2008	18,8	17,7	16,3	16,3	18,5	17,4
25.07.2008	18,1	17,4	16,2	16,1		
28.07.2008	18,5	18,6	17,1	16,7	18,6	17,4
04.08.2008	19,6	19,4	18,9	18,3	19,5	18,8
11.08.2008	19,7	19,2	18,3	18,1	19,7	18,6
18.08.2008	19,5	18	17,4	17,7	18,6	17,9
25.08.2008	19,3	18,4	17,6	17,4	18,9	17,9
01.09.2008	19,4	18,5	17,7	17,5	19	17,9
02.09.2008	19,3	18,9	17,8	17,5		
03.09.2008	19,5	19,1	18,3	17,7		
04.09.2008	19,6	19,2	18,4	17,9		
05.09.2008	19,7	19,5	18,5	18		
08.09.2008	19,7	19,7	18,6	17,9	19,8	18,5
15.09.2008	18,5	17,4	16,9	17,1	18,1	17,2
22.09.2008	17,3	15,6	14,3	14,8	16	15
29.09.2008	16,3	14,8	13,9	14,1	14,8	14,5
30.09.2008	16,3	14,7	13,8	13,9		
01.10.2008	16,7	15,3	14,2	14,2		
02.10.2008	16,6	15,6	14,4	14,3		

03.10.2008	16,5	15,6	14,5	14,4		
06.10.2008	15,9	14,8	13,4	13,9	14,9	14
13.10.2008	15,8	14,9	14	14	15,5	14,2
20.10.2008	15,7	13,9	13,1	13,4	14,3	13,4
27.10.2008	14,3	13,1	12,4	12,6	13,4	12,8
03.11.2008	14,4	13,4	12,5	12,6	13,7	12,9
04.11.2008	14,4	13,4	12,8	12,7	13,8	13,2
06.11.2008	14,3	13,4	12,9	12,8	14,1	13
10.11.2008	13,9	13,3	12,4	12,3	13,7	12,9
13.11.2008	13,7	12,8	11,7	12	13,1	12,4
17.11.2008	13,4	11,9	11,4	11,4	13,3	12,1
20.11.2008	13,4	11,3	10,2	10,9	12,3	11,2
24.11.2008	12,1	9,7	9	9,8	10,5	10
28.11.2008	11,6	9,2	8,3	8,8	9,8	9,1
01.12.2008	11,5	9,2	8	8,8	9,8	8,7
04.12.2008	11,2	9,1	8	8,5	9,6	8,7
09.12.2008	10,3	8,5	8,1	8,2	9,6	8,7
15.12.2008	10,6	8,5	7,6	7,9	9,2	8
18.12.2008	10,5	8,5	7,6	7,9	9,2	8,2
22.12.2008	9,8	8	7,4	7,8	8,5	7,9
27.12.2008	9,6	8	7,2	7,4	8,4	7,6
29.12.2008	9	6,7	6,2	6,5	7,5	6,8
02.01.2009	8,9	6,5	5,8	6,1	6,3	5,2
05.01.2009	7,3	5,5	4,1	5,2	5,5	4,9
09.01.2009	7,2	5,3	3,5	4,4	4,8	4,5
12.01.2009	6,7	3,9	3	4,1	3,4	3,5
15.01.2009	6,7	4,5	2,9	4	3,8	3,3
19.01.2009	6,6	4,2	2,8	3,6	4	3,2
22.01.2009	6,6	4,9	2,9	3,8	4,8	3,8
26.01.2009	6,5	4,7	3,2	3,5	5,2	4,1
27.01.2009	6,7	5,1	3,5	3,9		
28.01.2009	6,8	5,1	3,8	3,8		
29.01.2009	6,8	5,4	4	3,9		
30.01.2009	6,6	5,3	4	3,8	5,2	4,4
02.02.2009	6,5	5	3,8	4	4,9	4,4
03.02.2009	6,2	4	3,9	3,8		
04.02.2009	6,6	5,4	4,1	4,3		
05.02.2009	6,7	5,4	4,3	4,2		
06.02.2009	6,7	5,5	4,4	4,4	5,4	4,5
09.02.2009	6,5	5,5	4,6	4,3	5,6	4,8
13.02.2009	6,3	5,3	4,5	4,5	5,4	4,7
16.02.2009	6,4	4,8	3,8	4,1	5	4,2
17.02.2009	6,2	4,9	3,8	4,1		
19.02.2009	5,7	4	3,4	3,6	4,1	3,8
23.02.2009	5,7	4,2	3,3	3,8	4,4	3,9
03.03.2009	5,4	5,1	4,3	4,4	5,1	4,5
05.03.2009	6,8	6,2	5,4	5,3	5,9	5,4
09.03.2009	6,3	6,1	5,2	5,4		
12.03.2009	6,6	6,2	5,5	5,7		
16.03.2009	7	7,2	6,1	6,3		
19.03.2009	7,3	7,4	6,4	6,3		
23.03.2009	7,4	7	5,9	6		
26.03.2009	7,5	7	6,1	6,3		
30.03.2009	8,1	8,1	7,1	6,9	7,7	6,6
02.04.2009	8,5	8,7	7,5	7,4	8,2	7
06.04.2009	9,6	10	9,1	8,3	10,3	8,1
09.04.2009	10,5	11,2	9,9	9,3	11,6	9,6
14.04.2009	11,7	12	10,6	10,3	12,9	10,9
16.04.2009	12,1	12,7	11,4	10,9	13	11,4
20.04.2009	12,7	13	11,4	10,8	13	11,7
24.04.2009	13,2	13,2	12,1	11,6	13,3	12,3
27.04.2009	13,3	13,5	12,5	12,3	13,9	12,7
04.05.2009	13,9	13,6	12,8	12,3	14,3	13,2
11.05.2009	14,4	15,1	13,6	13	15,3	13,7
18.05.2009	14,5	14,8	13,4	13,2	14,8	13,6
25.05.2009	15,6	16,3	15	14,8	16,1	15,1

Anzahl	155	153	153	153	127	127
Mittelwert	11,6	10,5	9,4	9,6	10,5	9,6
Median	10,5	8,8	7,8	8,3	9,2	8,2
Standardabw.	4,3222	4,8536	4,9012	4,4361	4,493	4,3456
95% Konf.-Int.	0,6804	0,7691	0,7766	0,7029	0,7814	0,7558
Maximum	19,7	19,9	18,9	18,3	19,8	18,8
Minimum	5,4	3,9	2,8	3,5	3,4	3,2

BSB₅

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	BSB ₅					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007						
11.06.2007						
24.07.2007						
07.08.2007						
20.08.2007						
03.09.2007						
19.09.2007						
01.10.2007	350		4	4		
10.10.2007						
15.10.2007						
22.10.2007						
29.10.2007						
19.11.2007						
23.11.2007						
26.11.2007	400		14	2		9
29.11.2007						
03.12.2007	370		12	3		5
06.12.2007						
10.12.2007						
11.12.2007	410		11	4		4
13.12.2007						
17.12.2007	400		11	4		5
20.12.2007						
27.12.2007	500		30	3		5
31.12.2007						
03.01.2008	560		30	3		7
08.01.2008	540		36	4		8
10.01.2008						
14.01.2008						
17.01.2008	340	110	9		80	
22.01.2008	360		16	5		6
25.01.2008						
29.01.2008	330		14	4		8
31.01.2008						
04.02.2008	380		13	4		7
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	360		5	3		5
18.02.2008	330		6	3		4
21.02.2008						
25.02.2008	380		5	3		11

28.02.2008						
03.03.2008	360		5	3		9
06.03.2008						
10.03.2008	350		4	6		5
14.03.2008						
17.03.2008	300		5	3		8
20.03.2008						
25.03.2008	350		5	3		7
27.03.2008						
01.04.2008	350		6	3		10
03.04.2008						
08.04.2008	340		5	2		6
10.04.2008						
14.04.2008	340		8	4		6
17.04.2008						
21.04.2008	340		4	3		6
24.04.2008						
28.04.2008	370		6	4		7
30.04.2008						
05.05.2008	310		4	3		6
08.05.2008						
14.05.2008	300		5	4		5
21.05.2008	280		4	3		5
28.05.2008	350		6	3		8
30.05.2008						
09.06.2008	310					
16.06.2008	420		6	3		7
17.06.2008						
18.06.2008						
19.06.2008						
20.06.2008						
23.06.2008	460					
30.06.2008	310					
07.07.2008	300		5	3		5
14.07.2008	230					
21.07.2008						
23.07.2008						
25.07.2008	360		7	5		7
28.07.2008	280					
04.08.2008	340		6	5		7
11.08.2008	360		6	5		7
18.08.2008	270					
25.08.2008	340					
01.09.2008	310		5	3		5
02.09.2008						
03.09.2008						
04.09.2008						
05.09.2008						
08.09.2008	330		4	3		5
15.09.2008	360					
22.09.2008	360		3	2		3
29.09.2008						
30.09.2008						
01.10.2008						
02.10.2008						
03.10.2008	290		3	1		3
06.10.2008	320					
13.10.2008	290		4	2		4
20.10.2008	320					
27.10.2008	360					
03.11.2008	350		3	2		3
04.11.2008						
06.11.2008						
10.11.2008						
13.11.2008	350					
17.11.2008	340		3	2		4
20.11.2008						
24.11.2008	260					
28.11.2008						
01.12.2008	320		4	3		4
04.12.2008	290					
09.12.2008						
15.12.2008	320		3	2		3
18.12.2008						
22.12.2008	260					
27.12.2008						

29.12.2008	280		3	2		4
02.01.2009						
05.01.2009	310					
09.01.2009						
12.01.2009						
15.01.2009						
19.01.2009						
22.01.2009						
26.01.2009	310		3	3		4
27.01.2009						
28.01.2009						
29.01.2009						
30.01.2009						
02.02.2009	370		4	4		7
03.02.2009						
04.02.2009						
05.02.2009						
06.02.2009						
09.02.2009	330		4	4		9
13.02.2009						
16.02.2009						
17.02.2009						
19.02.2009						
23.02.2009						
03.03.2009						
05.03.2009						
09.03.2009	260		2	2		
12.03.2009						
16.03.2009						
19.03.2009						
23.03.2009	280		2	2		
26.03.2009						
30.03.2009						
02.04.2009						
06.04.2009						
09.04.2009	270		2	2		4
14.04.2009						
16.04.2009						
20.04.2009	300		2	2		3
24.04.2009						
27.04.2009						
04.05.2009	340		4	2		5
11.05.2009						
18.05.2009	290		3	2		4
25.05.2009	320		3	3		4

Anzahl	68	1	53	52	1	49
Mittelwert	339,1	110,0	7,1	3,1	80,0	5,8
Median	340,0	110,0	5,0	3,0	80,0	5,0
Standardabw.	59,343		7,0183	1,0224		1,9713
95% Konf-Int.	14,105		1,8895	0,2779		0,552
Maximum	560,0	110,0	36,0	6,0	80,0	11,0
Minimum	230,0	110,0	2,0	1,0	80,0	3,0

CSB

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	CSB					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007	659	179		24	165	55
11.06.2007	578	182		25	156	44
24.07.2007	639			25	81	24
07.08.2007	572			27	91	25
20.08.2007	544			29	56	20
03.09.2007	434			20	59	16
19.09.2007	463			17	54	16
01.10.2007	497	217	24	18		
10.10.2007	594	120	21	17	58	26
15.10.2007	622	88	17	13	84	14
22.10.2007	503	81	18	19	70	15
29.10.2007	587	79	18	<15	72	<15
19.11.2007	563	181	60	22	123	36
23.11.2007						
26.11.2007	609	153	44	20	134	31
29.11.2007						
03.12.2007	514	120	34	20	84	18
06.12.2007						
10.12.2007	551		36	21		19
11.12.2007	573	124	37	21	90	17
13.12.2007						
17.12.2007	621		26	20		16
20.12.2007						
27.12.2007	623	147	61	16	104	19
31.12.2007						
03.01.2008	611		62	23		26
08.01.2008	565	127	57	24	110	27
10.01.2008						
14.01.2008	545	130	52	24	110	25
17.01.2008	548	146	53	24	111	27
22.01.2008	550		40	22		24
25.01.2008						
29.01.2008	515	117	33	21	90	21
31.01.2008						
04.02.2008	569		33	19		19
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	570	122	33	21	98	22
18.02.2008	496		28	21		22
21.02.2008						
25.02.2008	581	131	30	21	95	29
28.02.2008						

03.03.2008	516		28	24		24
06.03.2008						
10.03.2008	563	109	24	19	77	19
14.03.2008						
17.03.2008	485		19	19		24
20.03.2008						
25.03.2008	530	101	20	16	72	17
27.03.2008						
01.04.2008	532		27	19		21
03.04.2008						
08.04.2008	536	101	25	21	82	25
10.04.2008						
14.04.2008	529		26	22		23
17.04.2008						
21.04.2008	537	104	23	18	77	21
24.04.2008						
28.04.2008	556		23	20		21
30.04.2008						
05.05.2008	497		23	16		17
08.05.2008						
14.05.2008	481	73	22	17	94	16
21.05.2008	459	123	56	19	76	22
28.05.2008	529	161	28	21	87	18
30.05.2008	517	185	29	21		
09.06.2008	444		21	21		17
16.06.2008	610	218	21	16	85	16
17.06.2008	631	350	86	32		
18.06.2008	575	237	36	19		
19.06.2008	580	230	28	19		
20.06.2008	569	258	23	22		
23.06.2008	649		22	20		19
30.06.2008	451		20	21		16
07.07.2008	381	142	20	20	69	19
14.07.2008	378					17
21.07.2008	417					16
23.07.2008	544	208	38	41	69	19
25.07.2008	466	179	31	35		
28.07.2008	509		24	25		23
04.08.2008	526	138	15	18	159	16
11.08.2008	516	113	20	20	71	18
18.08.2008	411		16	21		17
25.08.2008	515		20	15		<15
01.09.2008	462	92	17	15	55	15
02.09.2008	492	94	19	16		
03.09.2008	473	99	18	<15		
04.09.2008	465	90	15	<15		
05.09.2008	500	85	19	<15		
08.09.2008	510	89	<15	<15	49	<15
15.09.2008	619		17	19		<15
22.09.2008	551		<15	<15		<15
29.09.2008	502	111	24	17	132	15
30.09.2008	563	170	16	67		
01.10.2008	481	118	33	28		
02.10.2008	459	94	27	21		
03.10.2008	446	85	19	15		
06.10.2008	420	87	<15	<15	53	17
13.10.2008	448		18	18		20
20.10.2008	437	87	21	20	57	19
27.10.2008	515		18	19		17
03.11.2008	523	93	15	16	60	<15
04.11.2008	495	65	17	16		
06.11.2008	491	63	19	16		
10.11.2008	476	60	17	<15		<15
13.11.2008						
17.11.2008	456	59	16	<15	52	16
20.11.2008						
24.11.2008	360		19	21		17
28.11.2008						
01.12.2008	451	79	17	16	54	16
04.12.2008						
09.12.2008	406		28	18		17
15.12.2008	474	92	18	15	50	16
18.12.2008						
22.12.2008	393		19	18		19
27.12.2008						
29.12.2008	444	126	17	<15	86	<15

02.01.2009						
05.01.2009	473		25	21		24
09.01.2009						
12.01.2009	398		30	36		28
15.01.2009						
19.01.2009	458		31	45		30
22.01.2009						
26.01.2009	463	80	26	32	128	28
27.01.2009	492	98	28	31		
28.01.2009	523	113	27	32		
29.01.2009	547	89	25	29		
30.01.2009	515	90	27	31		
02.02.2009	577	99	25	30	155	32
03.02.2009	557	71	23	27		
04.02.2009	544	118	34	36		
05.02.2009	516	96	28	23		
06.02.2009	466	86	23	28		
09.02.2009	510	85	23	27	165	33
13.02.2009						
16.02.2009	567	78	20	20		34
17.02.2009	556	75	20	21		
19.02.2009	485	61	19	19		
23.02.2009	471					38
03.03.2009	530	105	26	25	149	33
05.03.2009	430	91	23	22	142	36
09.03.2009	366	68	21	19		
12.03.2009						
16.03.2009	423		19	19		
19.03.2009						
23.03.2009	485	69	16	15		
26.03.2009						
30.03.2009	450	63	20	19	87	25
02.04.2009						
06.04.2009	426	105	20	16	69	<15
09.04.2009						
14.04.2009	432		21	20		19
16.04.2009						
20.04.2009	466	60	190	16	74	18
24.04.2009						
27.04.2009	455		22	19		19
04.05.2009	505	72	22	19	79	17
11.05.2009	593		24	18		20
18.05.2009	454	67	21	20	85	18
25.05.2009	481	77	21	20	71	17

Anzahl	114	79	108	101	48	75
Mittelwert	506,8	114,8	27,9	21,8	89,6	21,3
Median	509,5	98,5	22,9	19,8	83,8	19,1
Standardabw.	62,76	52,181	19,675	7,2687	30,727	5,8361
95% Konf-Int.	11,521	11,507	3,7107	1,4176	8,6924	1,3208
Maximum	649,0	350,0	189,8	67,0	165,0	38,0
Minimum	360,0	59,4	15,2	12,9	49,2	14,3

NH₄-N

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	NH ₄ -N					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007	69,50	52,80		0,16	35,20	15,70
11.06.2007	66,90	63,20		0,02	31,30	14,60
24.07.2007	67,40			0,02	14,50	0,03
07.08.2007	57,40			0,02	14,00	>0,015
20.08.2007	57,20			0,05	11,00	0,02
03.09.2007	59,50			0,03	11,60	0,02
19.09.2007	57,40			<0,015	9,03	<0,015
01.10.2007	60,50	46,30	0,17	0,14		
10.10.2007	67,70	57,60	0,05	0,02	29,40	3,17
15.10.2007	68,30	53,40	0,04	0,02	20,40	0,07
22.10.2007	73,90	34,10	0,02	0,09	15,10	<0,015
29.10.2007	73,80	34,80	0,03	0,02	17,80	<0,015
19.11.2007	65,70	50,80	7,55	0,61	37,20	1,88
23.11.2007	72,90		9,60	0,52		0,86
26.11.2007	66,30	50,60	8,97	0,59	35,40	9,12
29.11.2007	62,90	44,80	7,50	0,32	30,50	2,18
03.12.2007	70,60	44,90	6,83	0,52	20,80	0,33
06.12.2007	65,00		12,40	0,94		0,19
10.12.2007	67,40	46,70	6,96	1,06	30,80	0,07
11.12.2007	64,50	43,10	8,32	0,94	30,70	0,04
13.12.2007	63,30		7,11	0,74		0,19
17.12.2007	68,30	39,10	2,33	0,71	24,20	0,02
20.12.2007	69,60		7,63	0,43		0,03
27.12.2007	82,60	58,10	33,80	0,98	41,10	1,02
31.12.2007	76,4		33,30	1,79		1,57
03.01.2008	76,60	53,30	23,10	1,74	51,40	2,07
08.01.2008	68,70	52,70	26,00	3,02	50,10	3,80
10.01.2008	71,50		21,30	2,77		3,28
14.01.2008	74,40	53,50	12,20	1,76	47,40	1,90
17.01.2008	74,20	50,30	12,30	1,37	50,30	1,58
22.01.2008	70,40	44,80	3,15	0,84	45,40	0,88
25.01.2008	61,80		3,96	0,38		0,51
29.01.2008	68,70	38,40	2,81	0,23	40,20	0,17
31.01.2008	66,30		1,98	0,24		0,15
04.02.2008	70,60	37,00	1,15	0,09	40,40	0,08
07.02.2008	71,60		1,06	0,07		0,09
11.02.2008	71,80		1,14	0,07		0,20
13.02.2008	73,20	36,60	0,95	0,21	40,30	0,21
18.02.2008	76,30	34,90	0,83	0,02	41,90	0,08
21.02.2008	69,40		0,52	0,03		0,85
25.02.2008	76,20	33,90	0,24	0,04	38,20	0,50
28.02.2008	67,60		0,13	0,02		0,63

03.03.2008	70,20	26,00	0,03	0,07	35,70	0,35
06.03.2008	67,00		0,07	0,07		0,16
10.03.2008	77,00	34,30	0,05	0,15	36,90	0,39
14.03.2008	60,90		0,07	0,05		0,50
17.03.2008	62,10	23,30	0,04	0,03	30,30	0,21
20.03.2008	70,80		0,05	0,03		0,18
25.03.2008	67,50	26,10	0,13	0,02	30,70	0,18
27.03.2008	74,30		0,15	0,03		0,35
01.04.2008	73,40	27,90	0,05	0,02	35,30	0,41
03.04.2008	73,80		0,04	0,02		0,77
08.04.2008	73,90	23,00	0,03	0,02	33,60	0,57
10.04.2008	66,80		0,03	0,03		0,34
14.04.2008	77,30	20,60	0,03	0,02	30,50	0,18
17.04.2008	72,10		0,02	<0,015		0,38
21.04.2008	73,00	19,10	0,02	0,02	29,70	0,19
24.04.2008	65,60		<0,015	0,03		0,44
28.04.2008	77,70	16,60	0,03	0,02	27,60	0,24
30.04.2008	72,20		0,02	0,02		0,28
05.05.2008	74,40	15,30	0,02	0,02	28,50	0,10
08.05.2008	64,50		0,02	<0,015		0,18
14.05.2008	71,70	13,50	0,04	0,02	26,10	0,03
21.05.2008	72,70	17,40	0,03	0,02	25,30	0,09
28.05.2008	69,70	37,40	0,04	0,03	23,90	0,02
30.05.2008	67,80	39,90	0,06	0,02		
09.06.2008	63,90		0,03	0,05		0,02
16.06.2008	77,00	50,40	0,03	0,04	19,70	<0,015
17.06.2008	79,30	62,90	5,89	0,43		
18.06.2008	75,40	50,50	5,60	0,07		
19.06.2008	72,90	49,40	0,73	0,05		
20.06.2008	74,10	52,10	0,16	0,05		
23.06.2008	62,80		0,03	0,03		<0,015
30.06.2008	58,00		0,02	0,07		<0,015
07.07.2008	50,80	40,00	0,03	0,03	15,40	0,02
14.07.2008	57,60					<0,015
21.07.2008	54,70					<0,015
23.07.2008	57,10	43,40	0,11	0,19	15,40	0,06
25.07.2008	55,50	38,00	0,12	0,05		
28.07.2008	53,70		0,07	0,02		0,03
04.08.2008	57,60	40,90	0,02	0,02	17,50	0,02
11.08.2008	56,00	39,10	0,02	0,02	18,10	0,03
18.08.2008	47,30		<0,015	<0,015		0,02
25.08.2008	60,60		<0,015	0,02		0,02
01.09.2008	71,30	43,80	0,02	0,02	22,90	0,18
02.09.2008	67,50	48,10	0,07	0,03		
03.09.2008	63,50	45,00	0,05	0,05		
04.09.2008	61,80	39,70	0,02	0,03		
05.09.2008	60,30	38,30	0,03	0,02		
08.09.2008	65,10	35,00	<0,015	<0,015	19,70	0,12
15.09.2008	59,30		0,02	0,04		0,06
22.09.2008	71,30		0,02	0,02		0,02
29.09.2008	66,80	34,20	<0,015	<0,015	17,10	0,02
30.09.2008	66,70	39,70	0,02	1,66		
01.10.2008	61,20	39,20	0,45	0,71		
02.10.2008	62,20	33,80	0,10	0,28		
03.10.2008	62,40	30,90	<0,015	0,08		
06.10.2008	60,50	28,70	0,02	0,02	16,20	0,04
13.10.2008	63,40		<0,015	<0,015		0,02
20.10.2008	61,00	27,80	0,02	<0,015	19,50	0,04
27.10.2008	72,10		0,02	<0,015		0,03
03.11.2008	73,40	33,50	0,02	0,02	19,70	0,04
04.11.2008	74,40	30,60	<0,015	0,02		
06.11.2008	72,30	28,80	0,02	<0,015		
10.11.2008	76,40	22,80	0,02	0,02		<0,015
13.11.2008	75,20		<0,015	<0,015		0,04
17.11.2008	70,40	20,00	<0,015	<0,015	22,50	0,04
20.11.2008	57,60		0,03	<0,015		0,03
24.11.2008	55,50		0,03	<0,015		0,02
28.11.2008	61,60		0,07	0,02		<0,015
01.12.2008	68,40	28,30	0,05	0,03	23,40	0,03
04.12.2008	57,50		0,06	0,07		0,02
09.12.2008	59,60		0,28	0,04		<0,015
15.12.2008	60,00	18,50	0,21	0,03	17,10	<0,015
18.12.2008	55,10		0,05	0,02		0,03
22.12.2008	54,30		0,02	0,02		<0,015
27.12.2008	63,70		<0,015	<0,015		<0,015
29.12.2008	62,60	19,70	0,11	0,02	27,70	0,08

02.01.2009	61,60		0,33	0,61		1,49
05.01.2009	64,60		0,29	2,27		3,58
09.01.2009	58,60		0,50	6,47		5,20
12.01.2009	54,30	24,40	8,62	12,60	38,10	11,00
15.01.2009	57,70		13,40	22,00		16,70
19.01.2009	56,60	25,10	11,06	24,80	40,20	15,10
22.01.2009	57,70		6,14	18,30		14,36
26.01.2009	60,20	22,70	0,37	9,54	42,30	10,74
27.01.2009	59,50	28,60	0,32	8,76		
28.01.2009	65,80	34,00	0,82	9,11		
29.01.2009	70,90	31,70	1,08	9,83		
30.01.2009	68,10	32,70	0,77	9,58		13,20
02.02.2009	74,40	33,70	0,32	9,21	53,60	16,70
03.02.2009	67,40	30,70	0,12	6,77		
04.02.2009	69,90	42,30	2,16	9,52		
05.02.2009	68,40	35,10	1,83	9,27		
06.02.2009	64,80	31,50	1,39	7,91		16,20
09.02.2009	71,00	30,50	0,08	5,14	56,20	18,50
13.02.2009	60,30		0,04	2,89		17,90
16.02.2009	72,80	31,50	0,02	1,34	59,80	18,10
17.02.2009	74,40	31,80	0,02	0,66		
19.02.2009	70,60	22,50	<0,015	0,26		
23.02.2009	69,90		0,03	0,42	55,00	26,90
03.03.2009	45,10	15,90	0,04	0,03	51,10	5,89
05.03.2009	47,80	16,40	<0,015	0,02	44,80	5,74
09.03.2009	50,60	15,50	<0,015	<0,015		
12.03.2009	56,20	16,80	0,02	0,02		
16.03.2009	58,00	18,70	0,02	0,02		
19.03.2009	59,70	20,20	0,02	0,02		
23.03.2009	65,60	19,00	0,02	0,02		
26.03.2009	63,90	18,90	0,02	0,02		
30.03.2009	61,10	15,50	0,16	0,15	12,90	0,21
02.04.2009	51,30		0,04	0,09		0,05
06.04.2009	63,60	14,70	0,03	0,09	6,08	0,06
09.04.2009	58,00		0,02	0,06		0,04
14.04.2009	67,80	12,60	0,03	0,05	21,50	0,06
16.04.2009	60,80		0,02	0,03		0,03
20.04.2009	66,30	14,80	<0,015	0,02	22,70	0,03
24.04.2009	62,40		0,02	0,03		0,02
27.04.2009	63,30		0,02	0,02		0,02
04.05.2009	73,30	19,50	<0,015	0,02	22,40	0,02
11.05.2009	72,40		0,03	0,02		<0,015
18.05.2009	62,10	20,10	0,02	0,02	18,50	0,02
25.05.2009	63,50	30,10	0,02	0,02	18,80	0,04

Anzahl	154	99	137	138	66	110
Mittelwert	65,9	33,2	2,4	1,6	30,7	2,4
Median	66,5	33,7	0,1	0,0	29,6	0,2
Standardabw.	7,2302	12,237	5,8591	3,9945	12,512	5,2512
95% Konf-Int.	1,1419	2,4105	0,9811	0,6665	3,0185	0,9813
Maximum	82,6	62,9	33,8	24,8	59,8	26,9
Minimum	45,1	12,6	0,0	0,0	6,1	0,0

NO₂-N

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	NO ₂ -N					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007						
11.06.2007						
24.07.2007						
07.08.2007						
20.08.2007						
03.09.2007						
19.09.2007						
01.10.2007	0,041	0,079	0,229	0,044		
10.10.2007						
15.10.2007						
22.10.2007						
29.10.2007						
19.11.2007	0,037	0,033	1,13	0,044	0,061	0,123
23.11.2007						
26.11.2007	0,031	0,274	2,32	0,081	0,083	0,57
29.11.2007						
03.12.2007	0,032	0,649	1,49	0,078	0,107	0,158
06.12.2007						
10.12.2007	<0,015		1,204	0,104		0,05
11.12.2007	0,02	0,74	0,988	0,074	0,057	<0,015
13.12.2007						
17.12.2007	<0,015		0,3	0,098		<0,015
20.12.2007						
27.12.2007	0,017	0,564	2,64	0,226	0,117	0,172
31.12.2007						
03.01.2008	0,016		2,05	0,393		0,233
08.01.2008	<0,015	0,716	3,61	0,484	0,027	0,292
10.01.2008						
14.01.2008	0,019		3,43	0,516		0,254
17.01.2008	<0,015	0,91	4,34	0,474	0,023	0,264
22.01.2008	0,016		1,45	0,304		0,164
25.01.2008						
29.01.2008	0,024	1,08	0,3	0,113	0,043	0,041
31.01.2008						
04.02.2008	<0,015		0,303	0,045		0,023
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	0,016	1,28	0,37	0,05	0,058	0,041
18.02.2008	>0,015		0,059	>0,015		0,017
21.02.2008						
25.02.2008	0,021	1,58	0,039	<0,015	0,065	0,049
28.02.2008						

03.03.2008	<0,015		<0,015	<0,015		0,069
06.03.2008						
10.03.2008	<0,015	1,53	<0,015	0,021	0,124	0,029
14.03.2008						
17.03.2008	<0,015		<0,015	<0,015		0,055
20.03.2008						
25.03.2008	<0,015	1,57	<0,015	<0,015	0,137	0,029
27.03.2008						
01.04.2008	0,018		<0,015	<0,015		0,066
03.04.2008						
08.04.2008	<0,015	1,36	<0,015	<0,015	0,163	0,053
10.04.2008						
14.04.2008	<0,015		<0,015	<0,015		0,019
17.04.2008						
21.04.2008	0,026	0,833	<0,015	<0,015	0,112	0,021
24.04.2008						
28.04.2008	<0,015		<0,015	<0,015		<0,015
30.04.2008						
05.05.2008	<0,015		<0,015	<0,015		0,016
08.05.2008						
14.05.2008	<0,015	0,532	0,022	<0,015	0,253	<0,015
21.05.2008	0,021	0,572	<0,015	<0,015	0,188	<0,015
28.05.2008	0,036	0,435	0,017	0,028	0,216	<0,015
30.05.2008						
09.06.2008	<0,015					
16.06.2008	<0,015	0,261	0,015	<0,015	0,287	<0,015
17.06.2008	<0,015	0,59	0,095	0,058		
18.06.2008						
19.06.2008						
20.06.2008						
23.06.2008	<0,015					
30.06.2008	<0,015					
07.07.2008	<0,015	0,254	<0,015	<0,015	0,195	<0,015
14.07.2008	<0,015					
21.07.2008	<0,015					
23.07.2008	<0,015	0,021	0,05	0,029	0,191	<0,015
25.07.2008						
28.07.2008	<0,015					
04.08.2008	<0,015	0,075	<0,015	<0,015	0,132	<0,015
11.08.2008	<0,015	0,039	<0,015	<0,015	0,249	<0,015
18.08.2008	<0,015					
25.08.2008	<0,015					
01.09.2008	<0,015	0,636	<0,015	<0,015	0,451	0,021
02.09.2008						
03.09.2008						
04.09.2008						
05.09.2008						
08.09.2008	<0,015	0,464	<0,015	<0,015	0,366	0,017
15.09.2008	<0,015					
22.09.2008	<0,015					
29.09.2008	<0,015	0,211	<0,015	<0,015	0,215	0,015
30.09.2008	0,019	0,172	0,022	0,124		
01.10.2008						
02.10.2008						
03.10.2008						
06.10.2008	<0,015	1,106	<0,015	<0,015	0,179	<0,015
13.10.2008	<0,015					
20.10.2008	<0,015	0,672	<0,015	<0,015	0,244	<0,015
27.10.2008	<0,015					
03.11.2008	<0,015	0,618	<0,015	<0,015	0,15	<0,015
04.11.2008	<0,015	0,578	<0,015	<0,015		
06.11.2008	0,017	0,678	<0,015	<0,015		
10.11.2008	<0,015	0,78	<0,015	<0,015		<0,015
13.11.2008						
17.11.2008	<0,015	0,976	<0,015	<0,015	0,176	<0,015
20.11.2008						
24.11.2008	0,016					
28.11.2008						
01.12.2008	0,015	0,808	<0,015	<0,015	0,089	<0,015
04.12.2008						
09.12.2008	0,093					
15.12.2008	<0,015	2,5	<0,015	<0,015	0,055	<0,015
18.12.2008						
22.12.2008	0,023					
27.12.2008						
29.12.2008	<0,015	1,076	0,031	<0,015	0,29	0,042

02.01.2009						
05.01.2009	<0,015					
09.01.2009						
12.01.2009						
15.01.2009						
19.01.2009						
22.01.2009						
26.01.2009	<0,015	0,518	0,02	1,084	<0,015	0,133
27.01.2009						
28.01.2009						
29.01.2009						
30.01.2009						
02.02.2009	<0,015	0,468	0,031	0,804	0,03	0,29
03.02.2009	<0,015	0,252	0,022	0,754		
04.02.2009						
05.02.2009						
06.02.2009						
09.02.2009	0,017	0,073	<0,015	0,692	<0,015	0,429
13.02.2009						
16.02.2009						
17.02.2009						
19.02.2009						
23.02.2009						
03.03.2009						
05.03.2009						
09.03.2009	<0,015	0,134	<0,015	<0,015		
12.03.2009						
16.03.2009						
19.03.2009						
23.03.2009	0,019	0,406	<0,015	<0,015		
26.03.2009						
30.03.2009						
02.04.2009						
06.04.2009	<0,015	0,384	<0,015	<0,015	0,184	<0,015
09.04.2009						
14.04.2009						
16.04.2009						
20.04.2009	<0,015	0,128	<0,015	<0,015	0,088	<0,015
24.04.2009						
27.04.2009						
04.05.2009	<0,015	0,206	<0,015	<0,015	0,204	<0,015
11.05.2009						
18.05.2009	0,021	0,097	<0,015	<0,015	0,26	<0,015
25.05.2009	0,018	0,079	<0,015	<0,015	0,324	<0,015

Anzahl	26	49	28	25	38	31
Mittelwert	0,0	0,6	0,9	0,3	0,2	0,1
Median	0,0	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1
Standardabw.	0,0157	0,5085	1,2688	0,3004	0,1009	0,1361
95% Konf-Int.	0,006	0,1424	0,47	0,1177	0,0321	0,0479
Maximum	0,1	2,5	4,3	1,1	0,5	0,6
Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NO₃-N

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	NO ₃ -N					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007	0,5	0,4		78,0	1,3	8,7
11.06.2007	0,5	0,8		77,2	5,8	10,2
24.07.2007	0,4			67,6	9,0	25,3
07.08.2007	0,4			60,2	10,0	21,1
20.08.2007	0,3			48,0	5,8	16,1
03.09.2007	0,4			62,6	14,5	24,6
19.09.2007	0,3			53,6	11,0	19,9
01.10.2007	0,3	0,3	38,6	49,0		
10.10.2007	0,4	0,6	56,6	61,6	2,9	29,2
15.10.2007	0,5	2,6	57,8	68,2	5,8	26,7
22.10.2007	0,5	13,1	54,0	66,6	10,0	26,8
29.10.2007	0,4	12,6	44,8	59,2	6,7	24,1
19.11.2007	0,4	0,3	35,2	59,0	0,3	28,8
23.11.2007						
26.11.2007	0,4	2,5	38,6	56,8	0,5	35,0
29.11.2007						
03.12.2007	0,3	4,9	35,4	51,0	2,5	23,3
06.12.2007						
10.12.2007	0,3		39,6	58,4		29,3
11.12.2007	0,5	7,8	39,2	58,2	0,6	31,4
13.12.2007						
17.12.2007	0,4		46,8	54,8		28,0
20.12.2007						
27.12.2007	0,4	4,3	24,8	62,6	2,7	38,3
31.12.2007						
03.01.2008	0,3		34,4	68,8		46,6
08.01.2008	0,4	5,7	29,2	61,4	1,1	42,2
10.01.2008						
14.01.2008	0,3		40,9	65,2		46,8
17.01.2008	0,3	10,5	42,0	66,2	0,6	45,6
22.01.2008	0,3		52,0	68,4		46,2
25.01.2008						
29.01.2008	0,5	15,4	49,6	60,2	1,5	39,0
31.01.2008						
04.02.2008	0,4		51,6	64,6		42,2
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	0,6	18,4	53,4	68,4	2,4	45,8
18.02.2008	0,4		51,4	69,8		45,4
21.02.2008						
25.02.2008	0,6	15,9	52,4	69,8	2,8	39,8
28.02.2008						

03.03.2008	0,4		46,8	62,6		37,2
06.03.2008						
10.03.2008	0,4	16,8	53,2	68,0	4,7	38,8
14.03.2008						
17.03.2008	0,3		40,6	54,6		29,6
20.03.2008						
25.03.2008	0,3	18,0	43,2	62,4	5,6	32,8
27.03.2008						
01.04.2008	0,4		46,4	70,8		37,4
03.04.2008						
08.04.2008	0,4	18,5	42,2	69,8	3,6	33,4
10.04.2008						
14.04.2008	0,4		44,0	71,8		31,7
17.04.2008						
21.04.2008	0,4	19,6	42,2	71,4	3,7	30,4
24.04.2008						
28.04.2008	0,4		41,2	69,6		30,0
30.04.2008						
05.05.2008	0,4		43,6	80,0		30,0
08.05.2008						
14.05.2008	0,4	33,6	51,2	85,0	7,8	30,3
21.05.2008	0,7	24,9	44,4	101,2	3,5	28,9
28.05.2008	0,5	3,1	40,6	105,6	5,0	27,1
30.05.2008	0,5	6,2	45,4	100,0		
09.06.2008	0,5		37,4	74,5		23,0
16.06.2008	0,4	1,0	41,8	70,4	2,4	23,5
17.06.2008	0,5	4,7	24,8	69,8		
18.06.2008	0,5	1,1	52,5	71,6		
19.06.2008	0,5	1,1	47,4	75,2		
20.06.2008	0,5	0,9	46,0	76,8		
23.06.2008	0,4		39,2	70,0		25,2
30.06.2008	0,4		42,4	69,2		23,0
07.07.2008	0,4	0,9	38,2	63,2	5,9	20,0
14.07.2008	0,3					19,5
21.07.2008	0,3					21,1
23.07.2008	0,4	0,5	44,6	80,8	5,7	20,4
25.07.2008	0,5	0,4	35,6	61,4		
28.07.2008	0,4		36,6	56,6		19,7
04.08.2008	0,4	0,6	34,8	60,0	2,0	20,5
11.08.2008	0,5	0,5	35,4	60,6	1,7	21,1
18.08.2008	0,3		27,8	50,6		18,8
25.08.2008	0,4		32,4	59,0		21,6
01.09.2008	0,5	2,3	43,4	75,4	4,7	27,8
02.09.2008	0,5	1,9	40,8	79,2		
03.09.2008	0,5	1,9	44,0	76,4		
04.09.2008	0,6	1,9	45,0	74,9		
05.09.2008	0,5	2,3	42,6	72,4		
08.09.2008	0,6	2,7	38,8	75,4	3,5	25,5
15.09.2008	0,4		32,6	63,2		22,3
22.09.2008	0,3		30,0	54,4		17,4
29.09.2008	0,4	1,9	33,8	60,4	4,4	23,0
30.09.2008	0,4	1,3	34,4	52,6		
01.10.2008	0,4	0,8	37,4	53,6		
02.10.2008	0,4	1,8	41,0	61,8		
03.10.2008	0,5	1,9	35,8	67,8		
06.10.2008	0,3	5,4	31,8	60,6	5,9	24,8
13.10.2008	0,4		35,8	66,6		26,8
20.10.2008	0,3	4,7	35,6	64,8	3,2	27,0
27.10.2008	0,3		35,8	66,2		26,9
03.11.2008	0,3	3,4	37,0	67,0	5,8	28,2
04.11.2008	0,4	2,5	37,4	67,6		
06.11.2008	0,4	5,5	38,6	70,6		
10.11.2008	0,4	7,9	38,6	74,0		31,4
13.11.2008						
17.11.2008	0,3	9,0	35,4	75,2	6,3	30,9
20.11.2008						
24.11.2008	0,4		29,2	51,2		27,9
28.11.2008						
01.12.2008	0,4	7,7	36,6	57,4	9,5	33,0
04.12.2008						
09.12.2008	0,5		33,5	56,6		34,0
15.12.2008	0,3	15,1	34,9	57,4	10,0	29,6
18.12.2008						
22.12.2008	0,7		32,4	49,0		27,1
27.12.2008						
29.12.2008	0,4	18,6	40,8	54,8	2,9	34,8

02.01.2009						
05.01.2009	0,3		37,2	49,2		34,9
09.01.2009						
12.01.2009	0,4		27,4	33,5		27,8
15.01.2009						
19.01.2009	0,5		26,8	24,4		27,6
22.01.2009						
26.01.2009	0,4	10,5	35,2	47,6	0,5	30,8
27.01.2009	0,4	10,2	32,7	48,2		
28.01.2009	0,4	9,8	35,7	46,0		
29.01.2009	0,4	7,7	41,8	46,8		
30.01.2009	0,4	6,0	39,8	49,2		
02.02.2009	0,3	9,8	42,4	58,8	0,6	31,4
03.02.2009	0,5	6,1	44,0	64,4		
04.02.2009	0,5	3,2	33,4	55,8		
05.02.2009	0,4	5,6	45,0	58,8		
06.02.2009	0,4	8,6	44,6	60,4		
09.02.2009	0,5	9,6	40,8	56,2	0,5	25,6
13.02.2009						
16.02.2009	0,4	9,2	44,2	61,8		29,3
17.02.2009	0,4	10,7	45,2	62,8		
19.02.2009	0,5	17,3	43,8	67,4		
23.02.2009	0,4		44,6	63,2		22,3
03.03.2009	0,4	36,9	36,2	56,8	3,4	66,8
05.03.2009	0,6	14,9	38,6	58,4	0,5	34,6
09.03.2009	0,4	17,8	31,4	47,0		
12.03.2009						
16.03.2009	0,3		37,8	51,2		
19.03.2009						
23.03.2009	0,3	24,4	41,6	56,8		
26.03.2009						
30.03.2009	0,4	18,5	35,6	50,6	22,7	45,6
02.04.2009						
06.04.2009	0,4	24,8	39,6	63,0	11,7	25,8
09.04.2009						
14.04.2009	0,5		42,4	73,4		27,2
16.04.2009						
20.04.2009	0,4	23,5	44,2	72,8	7,1	30,6
24.04.2009						
27.04.2009	0,5		38,8	74,2		29,3
04.05.2009	0,5	15,0	39,6	75,0	4,5	29,1
11.05.2009	0,5		34,4	73,8		26,3
18.05.2009	0,4	6,5	30,0	67,2	3,2	24,3
25.05.2009	0,4	4,7	36,2	76,2	4,6	24,0

Anzahl	114	78	112	112	47	84
Mittelwert	0,4	8,7	39,9	64,0	4,4	30,3
Median	0,4	6,0	39,6	63,2	3,5	29,0
Standardabw.	0,0836	8,1585	6,7543	11,732	3,8941	8,2957
95% Konf-Int.	0,0153	1,8105	1,2509	2,1727	1,1133	1,774
Maximum	0,7	36,9	57,8	105,6	22,7	66,8
Minimum	0,3	0,3	24,8	24,4	0,3	17,4

PO₄-P

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	PO ₄ -P					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007						
11.06.2007						
24.07.2007						
07.08.2007						
20.08.2007						
03.09.2007						
19.09.2007						
01.10.2007	11,5	6,4	4,1	8,9		
10.10.2007						
15.10.2007						
22.10.2007						
29.10.2007						
19.11.2007	12,4	9,4	8,2	11,6	13,5	10,8
23.11.2007						
26.11.2007	12,4	9,2	8,0	9,1	11,3	11,2
29.11.2007						
03.12.2007	11,6	8,6	6,8	8,3	7,4	6,9
06.12.2007						
10.12.2007	12,0					
11.12.2007	11,9	9,4	8,3	9,0	9,9	8,9
13.12.2007						
17.12.2007	13,0					
20.12.2007						
27.12.2007	14,3	11,1	9,8	8,9	11,5	9,4
31.12.2007						
03.01.2008	13,6					
08.01.2008	12,0	10,1	9,5	9,5	11,7	10,9
10.01.2008						
14.01.2008	13,1					
17.01.2008	12,7	10,5	9,7	10,0	12,2	11,1
22.01.2008	12,3					
25.01.2008						
29.01.2008	12,2	10,0	8,2	9,5	10,0	9,3
31.01.2008						
04.02.2008	13,5					
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	13,2	9,9	9,5	9,8	10,5	9,7
18.02.2008	12,3					
21.02.2008						
25.02.2008	13,0	10,9	9,5	12,4	11,3	10,1
28.02.2008						

03.03.2008	12,5					
06.03.2008						
10.03.2008	13,0	10,4	9,3	10,4	10,0	9,4
14.03.2008						
17.03.2008	11,5					
20.03.2008						
25.03.2008	12,8	9,5	8,1	9,4	8,9	8,5
27.03.2008						
01.04.2008	12,5					
03.04.2008						
08.04.2008	12,2	9,9	9,4	10,7	11,3	10,8
10.04.2008						
14.04.2008	12,4					
17.04.2008						
21.04.2008	12,2	10,6	9,6	11,4	11,2	10,8
24.04.2008						
28.04.2008	12,9					
30.04.2008						
05.05.2008	12,3					
08.05.2008						
14.05.2008	12,1	11,3	10,7	12,4	12,3	10,9
21.05.2008	11,8	13,3	12,0	13,6	12,0	11,8
28.05.2008	12,5	15,2	12,7	15,2	12,8	11,6
30.05.2008						
09.06.2008	11,5					
16.06.2008	15,0	13,6	11,4	11,8	12,1	10,7
17.06.2008	14,3	14,3	11,5	11,9		
18.06.2008						
19.06.2008						
20.06.2008						
23.06.2008	12,7					
30.06.2008	11,0					
07.07.2008	10,2	9,8	9,7	11,2	9,8	9,8
14.07.2008	10,7					
21.07.2008	11,4					
23.07.2008	12,2	10,8	10,1	11,2	10,0	9,5
25.07.2008						
28.07.2008	10,9					
04.08.2008	11,8	10,0	9,2	10,6	15,0	11,0
11.08.2008	11,9	9,7	9,2	10,5	11,0	10,9
18.08.2008	9,6					
25.08.2008	12,2					
01.09.2008	12,1	9,4	9,5	10,3	9,6	10,2
02.09.2008						
03.09.2008						
04.09.2008						
05.09.2008						
08.09.2008	12,3	10,3	9,4	11,0	11,4	10,5
15.09.2008	12,6					
22.09.2008	11,3					
29.09.2008	11,8	9,7	8,7	9,6	14,0	8,9
30.09.2008	12,2	10,6	8,6	9,3		
01.10.2008						
02.10.2008						
03.10.2008						
06.10.2008	11,0	7,7	7,1	9,7	9,0	9,5
13.10.2008	11,3					
20.10.2008	10,8	8,7	7,8	10,2	9,4	9,6
27.10.2008	12,4					
03.11.2008	12,8	10,6	9,4	10,0	9,5	8,6
04.11.2008	12,4	10,4	9,4	10,0		
06.11.2008	12,0	8,9	9,2	9,9		
10.11.2008	11,9	8,1	8,7	10,5		10,0
13.11.2008						
17.11.2008	11,3	7,8	8,2	10,7	11,1	10,4
20.11.2008						
24.11.2008	9,4					
28.11.2008						
01.12.2008	11,2	8,3	7,2	8,4	9,5	8,8
04.12.2008						
09.12.2008	9,9					
15.12.2008	9,9	6,9	5,8	7,9	7,6	5,8
18.12.2008						
22.12.2008	9,5					
27.12.2008						
29.12.2008	10,8	9,2	7,2	7,4	15,8	9,2

02.01.2009						
05.01.2009	10,8					
09.01.2009						
12.01.2009						
15.01.2009						
19.01.2009						
22.01.2009						
26.01.2009	10,7	8,6	7,8	8,0	10,5	9,3
27.01.2009						
28.01.2009						
29.01.2009						
30.01.2009						
02.02.2009	12,7		9,0	7,6		9,7
03.02.2009	13,6	9,1	8,9	7,5		
04.02.2009						
05.02.2009						
06.02.2009						
09.02.2009	11,4		8,7	8,3		9,5
13.02.2009						
16.02.2009						
17.02.2009						
19.02.2009						
23.02.2009						
03.03.2009						
05.03.2009						
09.03.2009	9,4	8,1	7,9	8,6		
12.03.2009						
16.03.2009						
19.03.2009						
23.03.2009	11,7	9,4	8,6	8,3		
26.03.2009						
30.03.2009						
02.04.2009						
06.04.2009	10,3		8,7	8,5		4,1
09.04.2009						
14.04.2009						
16.04.2009						
20.04.2009	11,7		9,5	9,8		7,2
24.04.2009						
27.04.2009						
04.05.2009	12,4		10,5	10,9		9,1
11.05.2009						
18.05.2009	10,8		10,3	10,8		10,0
25.05.2009	11,9		11,6	12,0		9,8

Anzahl	78	42	49	49	33	41
Mittelwert	11,9	9,9	9,0	10,0	11,0	9,6
Median	12,1	9,7	9,2	10,0	11,1	9,7
Standardabw.	1,1156	1,7781	1,5243	1,6	1,8737	1,5096
95% Konf-Int.	0,2476	0,5377	0,4268	0,448	0,6393	0,4621
Maximum	15,0	15,2	12,7	15,2	15,8	11,8
Minimum	9,4	6,4	4,1	7,4	7,4	4,1

Abfiltrierbare Stoffe

Nominell	Normalbetrieb	31.3.-12.5. 2008 21.7.-1.9. 2008 10.11.-22.12. 2008 22.12.-26.1. 2009 9.2.-16.2. 2009 2.3.-31.5. 2009
Unterlast	50% des Nennwerts	12.5.-26.5. 2008 16.2.-23.2. 2009
Nominell - Stromausfall	24 h Stromausfall 2 Wo nach Beginn des Prüfabschnitts (im Feb 09 Stromausfall gleich zu Beginn)	26.5.-7.7. 2008 15.9.-27.10. 2008 2.2.-9.2. 2009
Geringe Belastung	kein Zulauf	7.7. -21.7. 2008 23.2.-2.3. 2009
Überlast	48 h Überlast zu Beginn des Prüfabschnitts	1.9.-15.9. 2008 26.1.-2.2. 2009

Datum	Abfiltrierbare Stoffe					
	[mg/l]					
	Zu	Ab 1.1	Ab 1.2	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
29.05.2007						
11.06.2007						
24.07.2007						
07.08.2007						
20.08.2007						
03.09.2007						
19.09.2007						
01.10.2007	80	50				
10.10.2007						
15.10.2007						
22.10.2007						
29.10.2007						
19.11.2007	80	70			30	
23.11.2007						
26.11.2007	130	70			30	
29.11.2007						
03.12.2007	90	40			40	
06.12.2007						
10.12.2007	120	0			0	
11.12.2007	110	0			30	
13.12.2007						
17.12.2007	160	10			0	
20.12.2007						
27.12.2007	120	20			70	
31.12.2007						
03.01.2008	90	30			40	
08.01.2008	140	30			20	
10.01.2008						
14.01.2008	160	40			50	
17.01.2008	120	20			20	
22.01.2008	170	20			20	
25.01.2008						
29.01.2008	100	0			0	
31.01.2008						
04.02.2008	150	30			50	
07.02.2008						
11.02.2008						
13.02.2008	110	0			20	
18.02.2008	120	10			20	
21.02.2008						
25.02.2008	130	30			20	
28.02.2008						

03.03.2008	130	10			10	
06.03.2008						
10.03.2008	160	40			40	
14.03.2008						
17.03.2008	80	0			20	
20.03.2008						
25.03.2008	100	10			20	
27.03.2008						
01.04.2008	140	10			10	
03.04.2008						
08.04.2008	150	0			0	
10.04.2008						
14.04.2008	140	0			10	
17.04.2008						
21.04.2008	80	40			30	
24.04.2008						
28.04.2008	120	20			10	
30.04.2008						
05.05.2008	120	10			10	
08.05.2008						
14.05.2008	120				30	
21.05.2008	120	20			0	
28.05.2008	110	50			40	
30.05.2008						
09.06.2008	100					
16.06.2008	110	40			30	
17.06.2008	100	100				
18.06.2008						
19.06.2008						
20.06.2008						
23.06.2008	140					
30.06.2008	90					
07.07.2008	110	20			30	
14.07.2008	50					
21.07.2008	110					
23.07.2008	70	40			20	
25.07.2008						
28.07.2008	120					
04.08.2008	90	50			30	
11.08.2008	140	20			10	
18.08.2008	80					
25.08.2008	110					
01.09.2008	100	40			10	
02.09.2008						
03.09.2008						
04.09.2008						
05.09.2008						
08.09.2008	80	20			10	
15.09.2008	110					
22.09.2008	120					
29.09.2008	110	20			30	
30.09.2008	100	40				
01.10.2008						
02.10.2008						
03.10.2008						
06.10.2008	80	40			10	
13.10.2008	90					
20.10.2008	70	0			10	
27.10.2008	90					
03.11.2008	140	10			10	
04.11.2008	130	0				
06.11.2008	130	0				
10.11.2008	130	20				
13.11.2008						
17.11.2008	100	10			20	
20.11.2008						
24.11.2008	90					
28.11.2008						
01.12.2008	120	30			20	
04.12.2008						
09.12.2008	110					
15.12.2008	130	30			0	
18.12.2008						
22.12.2008	110					
27.12.2008						
29.12.2008	70	20			40	

02.01.2009						
05.01.2009	110					
09.01.2009						
12.01.2009						
15.01.2009						
19.01.2009						
22.01.2009						
26.01.2009	120	10			40	
27.01.2009						
28.01.2009						
29.01.2009						
30.01.2009						
02.02.2009	120	10			30	
03.02.2009						
04.02.2009						
05.02.2009						
06.02.2009						
09.02.2009	90	10			20	
13.02.2009						
16.02.2009						
17.02.2009						
19.02.2009						
23.02.2009						
03.03.2009						
05.03.2009						
09.03.2009	100	10				
12.03.2009						
16.03.2009	90	0				
19.03.2009						
23.03.2009	70	0				
26.03.2009						
30.03.2009						
02.04.2009						
06.04.2009	90	10			10	
09.04.2009						
14.04.2009						
16.04.2009						
20.04.2009	80	0			20	
24.04.2009						
27.04.2009						
04.05.2009	120					
11.05.2009						
18.05.2009	80					
25.05.2009	100					

Anzahl	78	58	0	0	50	0
Mittelwert	109,6	22,1			21,8	
Median	110,0	20,0			20,0	
Standardabw.	24,677	20,754			15,077	
95% Konf-Int.	5,4763	5,3412			4,179	
Maximum	170,0	100,0	0,0	0,0	70,0	0,0
Minimum	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 3

Fotodokumentation - Entwicklung der Bodenfilter während der Projektlaufzeit



Abbildung 73: Versuchsanlage am 17. Jänner 2008



Abbildung 74: Versuchsanlage am 13. Februar 2008



Abbildung 75: Versuchsanlage am 8. April 2008



Abbildung 76: Versuchsanlage am 15. Mai 2008



Abbildung 77: Versuchsanlage am 4. Juni 2008



Abbildung 78: Versuchsanlage am 7. Juli 2008



Abbildung 79: Versuchsanlage am 11. August 2008



Abbildung 80: Versuchsanlage am 8. September 2008



Abbildung 81: Versuchsanlage am 29. September 2008



Abbildung 82: Versuchsanlage am 15. Dezember 2008



Abbildung 83: Versuchsanlage am 2. Februar 2009



Abbildung 84: Versuchsanlage am 9. März 2009



Abbildung 85: Versuchsanlage am 25. März 2009



Abbildung 86: Bodenfilter BF3 am 25. März 2009, vor der Reinigung der Oberfläche von BF3.1



Abbildung 87: Bodenfilter BF3 am 25. März 2009, nach der Reinigung der Oberfläche von BF3.1



Abbildung 88: Bodenfilter BF3 am 25. März 2009, nach der Reinigung der Oberfläche von BF3.1



Abbildung 89: Versuchsanlage am 20. April 2009



Abbildung 90: Bodenfilter BF3 am 20. April 2009



Abbildung 91: Versuchsanlage am 25. Mai 2009



Abbildung 92: Bodenfilter BF3 am 25. Mai 2009



Abbildung 93: Versuchsanlage am 2. Juli 2009