



lebensministerium.at

# Endbericht

## zur 2. Stufe des Forschungsprojekts **BEPFLANZTE BODENFILTER**

August 2007



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, Industrierewasserwirtschaft 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

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DAS PROJEKT .....</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND PROJEKTZIEL.....	1
1.2	ZIELE UND ERKENNTNISSE DER 1. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS.....	2
1.3	ZIELE DER 2. STUFE DES FORSCHUNGSPROJEKTS.....	3
1.4	PROJEKTTEAM.....	5
1.5	PROJEKTÜBERBLICK .....	6
1.5.1	„Bepflanzte Bodenfilter“ - 1. Stufe .....	6
1.5.2	„Bepflanzte Bodenfilter“ - 2. Stufe .....	6
<b>2</b>	<b>BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANLAGE .....</b>	<b>7</b>
2.1	AUFBAU DER VERSUCHSANLAGE .....	7
2.1.1	<i>Abwasserzuleitung</i> .....	8
2.1.2	<i>Mechanische Vorreinigung</i> .....	8
2.1.3	<i>Abwasserbeschickung</i> .....	9
2.1.4	<i>Bodenfilter BF1 und BF2</i> .....	9
2.1.5	<i>Bodenfilter BF3</i> .....	24
2.1.6	<i>Abwasserableitung</i> .....	32
2.2	KONTINUIERLICHE MESSUNGEN .....	33
2.2.1	<i>Wassergehalt</i> .....	33
2.2.2	<i>Temperatur</i> .....	34
2.3	BERECHNUNG DER BESCHICKUNGSMENGEN .....	34
2.4	ANALYSEN.....	36
2.4.1	<i>Durchgeführte Analysen</i> .....	36
2.4.2	<i>Vergleich der Analysemethoden</i> .....	36
2.5	DOKUMENTATION DER RANDBEDINGUNGEN .....	37
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>38</b>
3.1	VORBEMERKUNGEN .....	38
3.2	ZULAUFKONZENTRATIONEN UND FLÄCHENBELASTUNGEN .....	39
3.3	ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN.....	43
3.3.1	<i>Diagramme der Zu- und Ablaufkonzentrationen</i> .....	43
3.3.2	<i>Vergleich Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2</i> .....	48
3.3.3	<i>Bodenfilter BF3</i> .....	58
3.4	KOSTEN .....	73
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>73</b>
4.1	ZIELE .....	75
4.2	BETRIEB.....	75
4.3	ERGEBNISSE .....	76
4.3.1	<i>Stabilisierung des Winterbetriebs</i> .....	76
4.3.2	<i>Weitergehende Stickstoffelimination</i> .....	77
4.4	AUSBLICK.....	79
<b>5</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>80</b>
	<b>ANLAGEN .....</b>	<b>81</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1	LAGEPLAN DER FORSCHUNGSANLAGE „BEPFLANZTE BODENFILTER“ IN ERNSTHOFEN .....	7
ABBILDUNG 2	ERRICHTUNG DER 3-KAMMER-ANLAGE .....	8
ABBILDUNG 3	3. KAMMER DER 3-KAMMER-ANLAGE MIT BESCHICKUNGSPUMPEN .....	8
ABBILDUNG 4	BODENFILTER 1 MIT DECKSCHICHT IM APRIL 2005 .....	10
ABBILDUNG 5	BODENFILTER 2 IM APRIL 2005 .....	11
ABBILDUNG 6	BODENFILTER BF1 IM AUGUST 2005 .....	11
ABBILDUNG 7	BODENFILTER BF2 IM AUGUST 2005 .....	12
ABBILDUNG 8	BODENFILTER BF1, BF2 (UND BF3) IM OKTOBER 2005 .....	12
ABBILDUNG 9	BODENFILTER BF1 IM NOVEMBER 2005 .....	13
ABBILDUNG 10	BODENFILTER BF2 IM NOVEMBER 2005 .....	13
ABBILDUNG 11	BODENFILTER BF1 IM JÄNNER 2006 .....	14
ABBILDUNG 12	BODENFILTER BF2 IM JÄNNER 2006 .....	14
ABBILDUNG 13	BODENFILTER BF1 IM MÄRZ 2006.....	15
ABBILDUNG 14	BODENFILTER BF2 IM MÄRZ 2006.....	15
ABBILDUNG 15	BODENFILTER BF1 IM MAI 2006.....	16
ABBILDUNG 16	BODENFILTER BF2 IM MAI 2006.....	16
ABBILDUNG 17	BODENFILTER BF1 IM JULI 2006 .....	17
ABBILDUNG 18	BODENFILTER BF2 IM JULI 2006 .....	17
ABBILDUNG 19	BODENFILTER BF1 IM SEPTEMBER 2006 .....	18
ABBILDUNG 20	BODENFILTER BF2 IM SEPTEMBER 2006 .....	18
ABBILDUNG 21	BODENFILTER BF1 IM NOVEMBER 2006 .....	19
ABBILDUNG 22	BODENFILTER BF2 IM NOVEMBER 2006 .....	19
ABBILDUNG 23	BODENFILTER BF1 IM JÄNNER 2007 .....	20
ABBILDUNG 24	BODENFILTER BF2 IM JÄNNER 2007 .....	20
ABBILDUNG 25	BODENFILTER BF1 IM MÄRZ 2007.....	21
ABBILDUNG 26	BODENFILTER BF2 IM MÄRZ 2007.....	21
ABBILDUNG 27	BODENFILTER BF1 IM APRIL 2007.....	22
ABBILDUNG 28	BODENFILTER BF2 IM APRIL 2007.....	22
ABBILDUNG 29	BODENFILTER BF1 IM JUNI 2007.....	23
ABBILDUNG 30	BODENFILTER BF2 IM JUNI 2007.....	23
ABBILDUNG 31	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 WÄHREND DER ERRICHTUNG IM APRIL 2005.....	25
ABBILDUNG 32	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM AUGUST 2005 .....	25
ABBILDUNG 33	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM NOVEMBER 2005.....	26
ABBILDUNG 34	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM JÄNNER 2006 .....	26
ABBILDUNG 35	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM MÄRZ 2006 .....	27
ABBILDUNG 36	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM MAI 2006 .....	27
ABBILDUNG 37	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM JULI 2006 .....	28
ABBILDUNG 38	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM SEPTEMBER 2006 .....	28
ABBILDUNG 39	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM NOVEMBER 2006.....	29
ABBILDUNG 40	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM JÄNNER 2007 .....	29
ABBILDUNG 41	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM MÄRZ 2007 .....	30
ABBILDUNG 42	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM APRIL 2007 .....	30
ABBILDUNG 43	BODENFILTER BF3.1 UND BF3.2 IM JUNI 2007 .....	31
ABBILDUNG 44	ABLAUFWIPPE IM ABWASSERPUMPSCHACHT .....	32
ABBILDUNG 45	BESCHICKUNGSNAHER UND -FERNER EINBAU DER SONDEN .....	33
ABBILDUNG 46	BESCHICKUNGSNAHER UND -FERNER EINBAU DER SONDEN .....	34

## Diagrammverzeichnis

DIAGRAMM 1	TÄGLICHE ZULAUFMENGE ZUR ARA ERNSTHOFEN .....	39
DIAGRAMM 2	CSB-ZULAUFKONZENTRATIONEN ARA ERNSTHOFEN UND BODENFILTER .....	40
DIAGRAMM 3	CSB-FRACHTEN (DIMENSIONIERUNGSFRACHT 26.7 G CSB/M <sup>2</sup> /D FÜR BODENFILTER BF1 UND BODENFILTER BF2 BZW. 40 G CSB/M <sup>2</sup> /D FÜR BODENFILTER BF3).....	42
DIAGRAMM 4	SPEZIFISCHE FLÄCHENBELASTUNGEN (DIMENSIONIERUNGSWERT 3 M <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> FÜR BODENFILTER BF1 UND BODENFILTER BF2 BZW. 2 M <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> FÜR BODENFILTER BF3) .....	42
DIAGRAMM 5	ABFILTRIERBARE STOFFE – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	43
DIAGRAMM 6	BSB <sub>5</sub> – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	44
DIAGRAMM 7	CSB – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	44
DIAGRAMM 8	NH <sub>4</sub> -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN (DIE FÄRBIG HINTERLEGTE BEREICHE KENNZEICHNEN DIE PERIODEN 2 UND 4 MIT ABLAUFWASSTERTEMPERATUREN < 12°C).....	45
DIAGRAMM 9	NO <sub>2</sub> -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	45
DIAGRAMM 10	NO <sub>3</sub> -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	46
DIAGRAMM 11	N <sub>GES</sub> – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN .....	46
DIAGRAMM 12	TEMPERATUR IM ZU- UND ABLAUF .....	47
DIAGRAMM 13	TAGESMITTEL, MAXIMA UND –MINIMA DER LUFTTEMPERATUR.....	49
DIAGRAMM 14	TAGESMITTEL, MAXIMA UND –MINIMA DER TEMPERATUR IM ZULAUF .....	49
DIAGRAMM 15	TEMPERATURPROFIL IN BODENFILTER BF1 (MIT KIESSCHICHT, TAGESMITTEL) .....	50
DIAGRAMM 16	TEMPERATURPROFIL IN BODENFILTER BF2 (OHNE KIESSCHICHT, TAGESMITTEL).....	50
DIAGRAMM 17	VERGLEICH DER TEMPERATUR IN 10 CM TIEFE IN BODENFILTER BF1 UND BODENFILTER BF2....	51
DIAGRAMM 18	VERGLEICH DER TEMPERATUR IN 30 CM TIEFE IN BODENFILTER BF1 UND BODENFILTER BF2....	51
DIAGRAMM 19	ABLAUFMENGEN VON BODENFILTER BF1 UND BF2 VON 25.1. BIS 10.2.2006.....	54
DIAGRAMM 20	ABLAUFMENGEN VON BODENFILTER BF1 UND BF2 VON 17.4. BIS 24.4.2006.....	55
DIAGRAMM 21	CSB – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN BF3.1 UND BF3.2 .....	63
DIAGRAMM 22	NH <sub>4</sub> -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN BF3.1 UND BF3.2 (DIE FÄRBIG HINTERLEGTE BEREICHE KENNZEICHNEN DIE PERIODEN 2 UND 4 MIT ABLAUFWASSTERTEMPERATUREN < 12°C). .....	63
DIAGRAMM 23	NO <sub>2</sub> -N – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN BF3.1 UND BF3.2 .....	64
DIAGRAMM 24	N <sub>GES</sub> – ZU- UND ABLAUFKONZENTRATIONEN BF3.1 UND BF3.2 .....	64
DIAGRAMM 25	CSB-ABLAUFKONZENTRATIONEN VON BODENFILTER BF3 ALS FUNKTION DER ABLAUFWASSTERTEMPERATUR.....	65
DIAGRAMM 26	NH <sub>4</sub> -N-ABLAUFKONZENTRATIONEN VON BODENFILTER BF3 ALS FUNKTION DER ABLAUFWASSTERTEMPERATUR.....	66
DIAGRAMM 27	CSB-ABLAUFKONZENTRATIONEN DER BODENFILTER BF1, BF2 UND BF3 ALS FUNKTION DER ABLAUFWASSTERTEMPERATUR.....	71
DIAGRAMM 28	NH <sub>4</sub> -N-ABLAUFKONZENTRATIONEN DER BODENFILTER BF1, BF2 UND BF3 ALS FUNKTION DER ABLAUFWASSTERTEMPERATUR.....	72

## **Tabellenverzeichnis**

TABELLE 1: ZEITPLAN FORSCHUNGSPROJEKT "BEPFLANZTE BODENFILTER" 2. STUFE .....	6
TABELLE 2: ZUSAMMENSTELLUNG DER KENNWERTE VON BODENFILTER BF1 UND BF2.....	9
TABELLE 3: ZUSAMMENSTELLUNG DER KENNWERTE VON BODENFILTER BF3 .....	24
TABELLE 4: ERMITTLUNG DER BESCHICKUNGSMENGE .....	35
TABELLE 5: VERGLEICH DER ANALYSEMETHODEN KA ERNSTHOFEN / SIG-LABOR .....	36
TABELLE 6: ANGEPASSTE BESCHICKUNGSMENGEN AB OKTOBER 2006 .....	40
TABELLE 7: ZULAUFKONZENTRATIONEN IN MG/L (SEPTEMBER 2005 – APRIL 2007) .....	41
TABELLE 8: CSB-FRACHTEN UND SPEZIFISCHE FLÄCHENBELASTUNGEN (SEPTEMBER 2005 – APRIL 2007).....	41
TABELLE 9: BERECHNETE $N_{ORG}/CSB$ VERHÄLTNISSE .....	47
TABELLE 10: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1.....	48
TABELLE 11: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2.....	48
TABELLE 12: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1 (1.9.2005 BIS 31.10.2005, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	52
TABELLE 13: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2 (1.9.2005 BIS 31.10.2005, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	52
TABELLE 14: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1 (7.11.2005 BIS 15.05.2006, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	53
TABELLE 15: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2 (7.11.2005 BIS 15.05.2006, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	54
TABELLE 16: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1 (23.5.2006 BIS 23.10.2006, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	56
TABELLE 17: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2 (23.5.2006 BIS 23.10.2006, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	56
TABELLE 18: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF1 (6.11.2006 BIS 23.4.2007, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	57
TABELLE 19: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF2 (6.11.2006 BIS 23.4.2007, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	57
TABELLE 20: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1.....	58
TABELLE 21: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT.....	58
TABELLE 22: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (1.9.2005 BIS 31.10.2005, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	59
TABELLE 23: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (1.9.2005 BIS 31.10.2005, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	59
TABELLE 24: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (7.11.2005 BIS 15.05.2006, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	60
TABELLE 25: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (7.11.2005 BIS 15.05.2006, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C) .....	60
TABELLE 26: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (23.5.2006 BIS 23.10.2006, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C).....	61
TABELLE 27: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (23.5.2006 BIS 23.10.2006, ABLAUFTEMPERATUR > 12°C) .....	61
TABELLE 28: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (6.11.2006 BIS 23.3.2007, ABLAUFTEMPERATUR < 12°C).....	62
TABELLE 29: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (6.11.2006 BIS 23.4.2007, ABLAUFTEMPERATUR <12°C).....	62
TABELLE 30: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (ABLAUFWASSTERTEMPERATUR > 12°C).....	67
TABELLE 31: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (ABLAUFWASSTERTEMPERATUR > 12°C).....	67
TABELLE 32: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (ABLAUFWASSTERTEMPERATUR8-12°C) .....	68
TABELLE 33: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (ABLAUFWASSTERTEMPERATUR8-12°C) .....	68
TABELLE 34: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (ABLAUFWASSTERTEMPERATUR5-8°C) .....	69

---

TABELLE 35: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (ABLAUFWASSERTEMPERATUR 5-8°C) .....	69
TABELLE 36: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3.1 (ABLAUFWASSERTEMPERATUR <5°C) .....	70
TABELLE 37: ABLAUFKONZENTRATIONEN UND REINIGUNGSLEISTUNGEN BODENFILTER BF3 GESAMT (ABLAUFTEMPERATUR <5°C) .....	70
TABELLE 38: KOSTENVERGLEICH EINSTUFIGER UND ZWEISTUFIGER BODENFILTER .....	74
TABELLE 39: MEDIANWERTE DER ABLAUFKONZENTRATIONEN (MG/L) UND REINIGUNGSLEISTUNGEN (%) FÜR BODENFILTER BF3 BEI VERSCHIEDENEN ABLAUFWASSERTEMPERATUREN .....	77

# **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 jedoch jene Objekte in Streulage, bei denen 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 waren.

Zusätzlich wurden in den letzten Jahren die gesetzlichen Vorgaben für die Einleitung von Abwässern in Vorfluter soweit verschärft, dass für diese Objekte in Streulage mit den konventionellen Absetzanlagen (=3-Kammeranlagen, u.a.) nicht mehr das Auslangen gefunden werden kann und nur mehr mittels

- dichter Senkgruben und Entsorgung (mit Verbringung der Senkgrubeninhalte in zentrale Kläranlagen),
- konventioneller Kleinkläranlagen, oder
- bepflanzter Bodenfilter (alte Bezeichnung: Pflanzenkläranlagen) mit mechanischer Vorreinigung

eine gesetzeskonforme Entsorgung möglich ist.

Sind es bei den Kleinkläranlagen insbesondere die relativ hohen Investitionskosten und Betriebskosten (Energie, Wartung und 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, 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 Ausrüstung) auch hervorragende Ablaufwerte erreichen, welche zumeist weit unter den Grenzwerten der Emissionsverordnung liegen.

Diesem Rechnung tragend hat ÖKOREAL 2002 einen Antrag zum Forschungsprojekt „Bepflanzte Bodenfilter“ beim österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft eingebracht.

Am 17.12.2002 wurde diesem Antrag stattgegeben und ÖKOREAL mit der Durchführung der 1. Stufe des Forschungsprojekts beauftragt.



Das Forschungsprojekt hat es sich zur Aufgabe gemacht

- die **Einsatzbereiche bepflanzter Bodenfilter zu erweitern** und die Abwasserentsorgung in **zersiedelten Bereichen Österreichs kostengünstiger** zu ermöglichen,
- die vorhandenen **Kostendämpfungspotentiale** bepflanzter Bodenfilter aufzuzeigen und zu nutzen,
- den **Stand der Technik und die österreichische Normung** betreffend bepflanzte Bodenfilter zu aktualisieren,
- die **Beeinträchtigung von kleinen, besonders sensiblen Vorflutern zu minimieren**,
- **Investitions- und Betriebskosten zu minimieren** und
- **Förderungsgelder einzusparen.**

## 1.2 Ziele und Erkenntnisse der 1. Stufe des Forschungsprojekts

Nach Errichtung von 3 Bodenfiltern auf dem Gelände der ARA Ernthofen und der Errichtung einer Versuchsanlage im Technikum des Instituts für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) am Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) wurde der Versuchs- und Forschungsbetrieb im Juni 2003 aufgenommen und im April 2005 beendet.

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

- Die Optimierung des Dimensionierungsansatzes [ $\text{m}^2$  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 vertikalen, bepflanzten Bodenfiltern bei gleichzeitiger Optimierung der Nährstoffelimination.

Die **wichtigsten Erkenntnisse** der 1. Stufe (auf denen die gegenständliche 2. Stufe des Forschungsprojekts aufbaut) sind nachfolgend aufgelistet:

- **Dimensionierungsansatz generell:**

Die bisherigen Erkenntnisse deuten darauf hin, dass ein vertretbarer Dimensionierungsansatz für vertikale bepflanzte Bodenfilter in Bauart gemäß ÖNORM (Entwurf) B 2505 **zwischen  $3\text{m}^2$  und  $4\text{m}^2$  Bodenfilterfläche pro Einwohner** liegt.

- **Für nicht ganzjährig im Vollbetrieb betriebene Anlagen:**

Hinsichtlich jener Anlagen, die nur in den warmen Jahreszeiten (März bis November) unter Vollbetrieb gefahren werden (z.B. Campingplätze, Hotels, Strandbetriebe ...) wurde erkannt, dass bereits  **$2\text{m}^2$  Bodenfilterfläche pro Einwohner** ausreichen können.

- **Nährstoffelimination:**

Die Technikumsversuche hinsichtlich Nährstoffelimination zeigten neben der prinzipiellen Einsetzbarkeit eines nachgeschalteten Filters zur **Phosphorelimination**, dass mit Hilfe eines zweistufigen Aufbaus eines bepflanzten Bodenfilters (1.Stufe: Sand mit einer Körnung von 1/4 mm, mit eingestauter Drainageschicht; 2.Stufe: Sand mit einer Körnung von 0.06/4 mm) eine **erhöhte Stickstoffentfernung von ca. 50 %** (im Vergleich zu < 10 % bei einer einstufigen Anlage) erreicht werden kann.

Bei einer Dimensionierung der Anlage auf 1 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> je Stufe, bzw. auf beide Stufen gemeinsam bezogen 2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>, ließ sich dieselbe Reinigungsleistung hinsichtlich **organischer Verunreinigung und Nitrifikation** wie mit einem einstufigen Filter (dimensioniert auf 4 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) erreichen.

Während der Durchführung der 1. Stufe des Forschungsprojekts ergaben sich neue Fragen (siehe Punkt 1.3), zu deren Klärung ÖKOREAL in der Folge im November 2004 einen Antrag zum Forschungsprojekt „Bepflanzte Bodenfilter, Stufe 2“ beim österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft einbrachte.

Am 28.12.2004 wurde diesem Antrag stattgegeben und ÖKOREAL mit der Durchführung der 2. Stufe des Forschungsprojekts beauftragt.

### **1.3 Ziele der 2. Stufe des Forschungsprojekts**

Aufbauend auf die Ergebnisse und Erkenntnisse der 1. Stufe, beschäftigt sich die 2. Stufe des Forschungsprojekts - mittels der Versuchsanlage in Ernsthofen - vor allem mit der Erreichung der im Folgenden beschriebenen Ziele.

Die Innovationen des Forschungsprojektes zielen darauf ab, dass die erforderlichen Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen auch mit

- kleineren, weniger flächenintensiven Anlagen (z. B. auch durch zweistufige Anordnung)
- mit der erforderlichen hohen Sicherheit auch im Winter betrieben werden können,
- was in weiterer Folge zu einer Reduzierung der Investitions- und der Betriebskosten führen soll.

**Hauptziele der 2. Stufe** sind daher:

- **Untersuchung einer weitergehenden Nährstoffelimination:**

Wie bereits in Punkt 1.2 erwähnt, wurde bei den Technikumsversuchen der 1. Stufe an den zweistufigen Anlagen die Möglichkeit der weitergehenden Stickstoffentfernung festgestellt.

Diese erhöhte Stickstoffelimination ermöglicht eine Erweiterung der Einsatzbereiche vertikal durchströmter, bepflanzter Bodenfilter und damit eine kostengünstige Abwasserentsorgung vor allem

- bei sensiblen Vorflutern und
- in Gebieten, in denen die gereinigten Abwässer nur versickert werden können.

- Die Untersuchung eines **zweistufigen Bodenfilters unter realen Bedingungen (im Freien)** stellt daher einen Schwerpunkt der 2. Stufe des Projekts dar (im Bodenfilter BF3).

- **Ausnutzung des Kostendämpfungspotentials:**

Die Zwischenergebnisse der Technikumsversuche aus der 1. Stufe zeigen ebenfalls auf, dass bepflanzte Bodenfilter noch immer ein großes Kostendämpfungspotential beinhalten.

Bei den Technikumsversuchen an der zweistufigen Anlage wurde festgestellt, dass bereits bei einer Dimensionierung von  $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  sehr geringe Ablaufwerte erreicht werden können.

Es galt daher zu untersuchen, ob dieser Anlagentyp bei einer Dimensionierung von  $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  auch unter realen Bedingungen (im Freien) diese Ablaufwerte erreicht. Von besonderem Interesse war dabei die Untersuchung der **Abbauleistung im Winter**, die bei den Technikumsversuchen der 1. Stufe naturgemäß nicht untersucht werden konnte.

- **Stabilisierung des Winterbetriebs:**

Um einen geringer dimensionierten bepflanzten Bodenfilter ganzjährig sicher betreiben zu können, erscheint es wichtig den Filterkörper während der Wintermonate ausreichend gegen tiefe Temperaturen zu schützen.

Zumeist werden Bodenfilteranlagen daher **mit einer Kiesschicht abgedeckt/isoliert**. Während im Winter durch eine mächtige Kiesschicht eine bessere Reinigungsleitung erwartet werden kann, kann sich diese Schicht grundsätzlich negativ auf den Sauerstoffeintrag auswirken, bzw. kann dies vor allem im Sommer zu schlechteren Reinigungsleistungen führen.

Die in Österreich errichteten Anlagen weisen hinsichtlich dieser Kiesschichten sehr unterschiedliche Mächtigkeiten (zwischen 5 und 50 cm) auf.

Da es bisher bei den Experten in Österreich hinsichtlich der idealen Höhe der Isolationsschicht sehr kontroverse Meinungen gibt, sollte in der 2. Stufe des gegenständlichen Forschungsprojekts

- eine **vergleichende Untersuchung zweier Bau-/Betriebsweisen** (mit und ohne Kiesabdeckung) unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden (in den Bodenfiltern BF1 und BF2).

## 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 Rohrhofer & Partner).

Projektbeteiligte von ÖKOREAL sind:

Dipl.-Ing. Karl Rohrhofer	Projektdirektor
Dipl.-Ing. Roland Rohrhofer, MBA	Stellvertreter
Dipl.-Ing. Christoph Prandtstetten	Projektleiter (bis Nov 2005)
Dipl.-Ing. Dr. Klaus Leroch	Projektleiter (ab Nov 2005)
Klärwart Franz Eglseer	Probenahme, -analyse,
Klärwart Karl Hiebl	Anlagenpflege vor Ort

### - Universität für Bodenkultur (Subunternehmer)

Das Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) des Departments für Wasser-Atmosphäre-Umwelt an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) unter der Leitung von 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	Wissenschaftl. Mitarbeiter
Hr. Philipp Sulyok	Techniker

## 1.5 Projektüberblick

### 1.5.1 „Bepflanzte Bodenfilter“ - 1. Stufe

Die 1. Stufe des Forschungsprojekts „Bepflanzte Bodenfilter“ dauerte über den Zeitraum vom 1.1.2003 bis 31.3.2005. Die Einlaufphase dauerte von Anfang Mai 2005 bis Ende August 2005, die Versuchsphase begann am 1. September 2005.

### 1.5.2 „Bepflanzte Bodenfilter“ - 2. Stufe

Die gegenständliche 2. Stufe des Forschungsprojekts begann mit 3.1.2005 und endete im Juni 2007.

#### Förderungsansuchen für 2. Stufe:

Das Förderungsansuchen gem. §21UFG 1993 wurde am 1.12.2004 bei der Kommunalkredit Public Consulting GmbH zur Einreichung gebracht.



#### Förderungsvertrag für 2. Stufe:

Der auf dem UFG, BGBl. Nr. 185/1993 basierende Förderungsvertrag zwischen dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, vertreten durch die Kommunalkredit Public Consulting GmbH, und der ÖKOREAL GmbH wurde ÖKOREAL am 30.12.2004 zugesandt und am 3.1.2005 abgeschlossen.

Der 1. Zwischenbericht wurde im November 2005 übergeben, der 2. Zwischenbericht im August 2006.

Da der Versuchszeitraum nach Absprache mit der Kommunalkredit Public Consulting GmbH um 6 Wochen verlängert wurde, wird der gegenständliche Endbericht ebenfalls um 6 Wochen verspätet vorgelegt, wie auch im untenstehenden, aktualisierten Zeitplan ersichtlich.

Tabelle 1: Zeitplan Forschungsprojekt "Bepflanzte Bodenfilter" 2. Stufe

		ZEITPLAN																			
Versuchs- module	Jahr	2003				2004				2005				2006				2007			
		Quartal				Quartal				Quartal				Quartal				Quartal			
1. STUFE (in Durchführung)																					
	Definitions-, Planungs- und Errichtungsphase <sup>1)</sup>	[Yellow bars]																			
1	Optimierung des Dimensionierungswertes	[Yellow bars]																			
2	Nährstoff-Elimination durch nachgeschaltete Bodenfilter	[Yellow bars]																			
2. STUFE																					
1	Planungs- und Umbauphase (April 2005)	[Green bars]																			
2	Einfahrphase (Mai 2005 - September 2005)	[Green bars]																			
3	Versuchsphase (Oktober 2005 - Juni 2007)	[Green bars]																			
4	Berichtsphase	[Green bars]																			
<b>Legende:</b>  Aktivitäten der 1. Stufe  Aktivitäten der 2. Stufe (gegenständliches Forschungsprojekt)																					

## 2 BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANLAGE

### 2.1 *Aufbau der Versuchsanlage*

Die Forschungsanlage Ernsthofen befindet sich am Areal der zentralen Kläranlage (ARA) der Gemeinde Ernsthofen in Niederösterreich (280 m Seehöhe) und besteht aus 3 vertikal durchströmten, bepflanzten Bodenfiltern (Bodenfilter BF1, BF2 und BF3).

Die Bodenfilter BF1 und BF2 wurden als einstufige, vertikale, bepflanzte Bodenfilter, entsprechend den Anforderungen der ÖNORM B 2505 (Vornorm, Stand: 1.5.2005) hergestellt; Der Bodenfilter BF3 wurde als zweistufiger, vertikaler, bepflanzter Bodenfilter in Anlehnung an die Angaben der ÖNORM B2505 errichtet.

Im Gegensatz zu den Dimensionierungsangaben der ÖNORM (Flächenbedarf: 4 m<sup>2</sup>/EW) wurde die Dimensionierung der gegenständlichen Bodenfilter mit höher belasteten Filterflächen ausgeführt. Die Bodenfilter BF1 und BF2 wurden mit jeweils 26,7 g CSB/m<sup>2</sup>/d belastet (Flächenbedarf: 3 m<sup>2</sup>/EW), während BF3 mit 26,7 g CSB/m<sup>2</sup>/d belastet wurde (Flächenbedarf: 2 m<sup>2</sup>/EW).

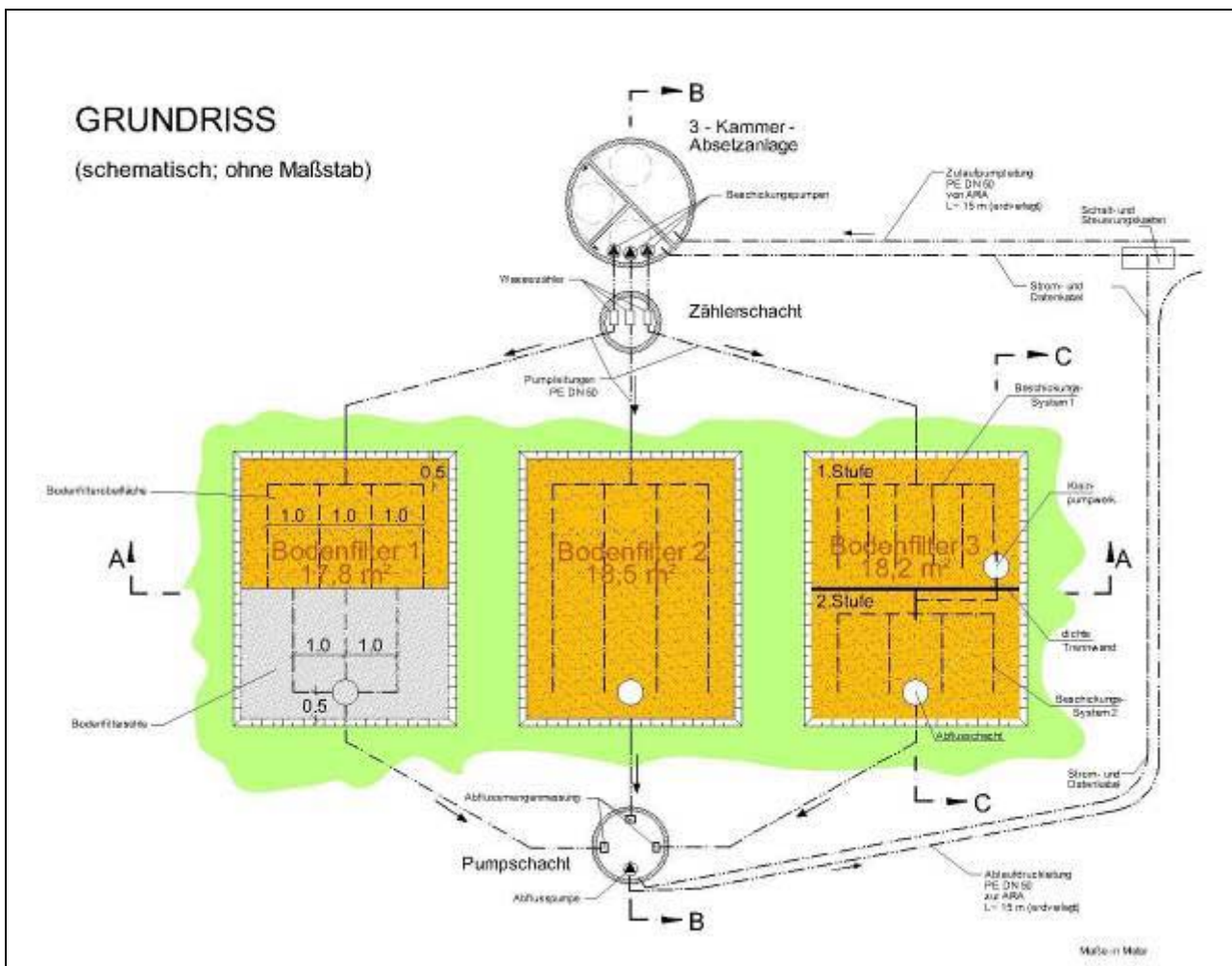


Abbildung 1 Lageplan der Forschungsanlage „Bepflanzte Bodenfilter“ in Ernsthofen

### 2.1.1 Abwasserzuleitung

Das Abwasser wird mittels einer Pumpe aus dem Zulauf (nach Rechen und Sandfang) der Kläranlage (ARA) Ernthofen entnommen und zur mechanischen Vorreinigung einer, der Versuchsanlage zugehörigen, 3-Kammer-Anlage zugeführt.

Um den Zufluss zu dieser 3-Kammer-Anlage möglichst repräsentativ zu gestalten, wird jede halbe Stunde Abwasser vom Zulauf der ARA Ernthofen zur 3-Kammer-Anlage mit einem Durchfluss von etwa 2 l/s gepumpt.

Die Infrastruktur dafür stand schon von der Stufe 1 des Forschungsprojekts zur Verfügung.

### 2.1.2 Mechanische Vorreinigung

Die handelsübliche 3-Kammer-Anlage, die zur mechanischen Vorreinigung dient, verfügt über einen möglichen Nutzinhalt von 8,3 m<sup>3</sup>. Die Aufgabe dieser 3-Kammer-Anlage ist die weitestgehende Reduktion der absetzbaren Stoffe, um den Betrieb der Bodenfilter zu optimieren.



Abbildung 2 Errichtung der 3-Kammer-Anlage



Abbildung 3 3. Kammer der 3-Kammer-Anlage mit Beschickungspumpen

### 2.1.3 Abwasserbeschickung

Aus der 3. Kammer der 3-Kammer-Anlage wird mittels Pumpen (eine Pumpe pro Bodenfilter) das nun mechanisch vorgereinigte Abwasser auf die Oberfläche der Bodenfilter geleitet. Die Pumpen haben eine Fördermenge von etwa 1,5 l/s, was eine rasche Beaufschlagung der Bodenfilter ermöglicht. Das eigentliche Beschickungssystem besteht aus Polypropylen-Rohren DN 50.

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

Die Bodenfilter BF1 und BF2 werden 4-mal pro Tag zu fixen Zeiten beschickt.

Bodenfilter BF3 wird 8-mal pro Tag mit einem konstanten Intervall von 3 Stunden beschickt.

### 2.1.4 Bodenfilter BF1 und BF2

Mit den Bodenfiltern BF1 und BF2 wird vorwiegend die Stabilisierung des Winterbetriebs untersucht.

Die beiden baugleichen Bodenfilter unterscheiden sich lediglich dadurch, dass Bodenfilter BF1 zusätzlich mit einer etwa 15 cm starken Deckschicht (Rundkies 4/8) ausgestattet ist, die im Winter als isolierende und windbrechende Schicht wirken soll.

Die beiden Bodenfilter werden gleichzeitig und mit gleichen Abwassermengen beschickt; es wird versucht, über den gesamten Versuchszeitraum eine konstante CSB-Belastung aufrecht zu erhalten (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Zusammenstellung der Kennwerte von Bodenfilter BF1 und BF2

Bodenfilter		Bodenfilter BF1	Bodenfilter BF2
Oberfläche	m <sup>2</sup>	17,8	18,5
Auslegung nach spezifischer Fläche	m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub>	3	3
CSB-Belastung	g CSB/m <sup>2</sup> /d	26,7	26,7
Beschickungsmenge bis Okt 06	l/d	829	863
Beschickungsmenge ab Okt 06	l/d	1.050	1.095
Belastung der Bodenfilter	EW <sub>CSB</sub>	5,9	6,2

Der vertikale Aufbau der Bodenfilter BF1 und BF2 (von oben nach unten) ist wie folgt:

- Deckschicht: **bei Bodenfilter BF1: 15cm Rundkies 4/8mm**  
**bei Bodenfilter BF2: keine Deckschicht**
- Hauptschicht: 50 cm gewaschener Sand 0,06/4mm
- Übergangsschicht: 10 cm Rundkies 4/8mm
- Drainageschicht: 20 – 30 cm (geneigt) Rundkies 16/32mm
- Dichtungsfolie
- Sandausgleich: 10 cm



Die Bodenfilter wurden mit Schilf (*Phragmites australis*) in einer Dichte von 5 Pflanzen pro m<sup>2</sup> bepflanzt.

Die Beschickungsleitungen liegen bei Bodenfilter BF1 auf der Deckschicht (Abbildung 4), während sie bei Bodenfilter BF2 direkt auf dem Filtermaterial liegen (Abbildung 5). Abgesehen von einer Neubepflanzung mit Schilf gab es bei Bodenfilter BF2 keinerlei Umbauten gegenüber Stufe 1 des Projekts.

In Abbildung 6 bis Abbildung 30 ist die Entwicklung des Schilfbewuchses der Bodenfilter BF1 und BF2 im Lauf des Versuchszeitraums dokumentiert.



Abbildung 4 Bodenfilter 1 mit Deckschicht im April 2005



Abbildung 5 Bodenfilter 2 im April 2005



Abbildung 6 Bodenfilter BF1 im August 2005



*Abbildung 7 Bodenfilter BF2 im August 2005*



*Abbildung 8 Bodenfilter BF1, BF2 (und BF3) im Oktober 2005*



*Abbildung 9 Bodenfilter BF1 im November 2005*



*Abbildung 10 Bodenfilter BF2 im November 2005*



*Abbildung 11 Bodenfilter BF1 im Jänner 2006*



*Abbildung 12 Bodenfilter BF2 im Jänner 2006*



Abbildung 13 Bodenfilter BF1 im März 2006



Abbildung 14 Bodenfilter BF2 im März 2006



*Abbildung 15 Bodenfilter BF1 im Mai 2006*



*Abbildung 16 Bodenfilter BF2 im Mai 2006*



Abbildung 17 Bodenfilter BF1 im Juli 2006



Abbildung 18 Bodenfilter BF2 im Juli 2006





*Abbildung 19 Bodenfilter BF1 im September 2006*



*Abbildung 20 Bodenfilter BF2 im September 2006*



*Abbildung 21 Bodenfilter BF1 im November 2006*



*Abbildung 22 Bodenfilter BF2 im November 2006*



*Abbildung 23 Bodenfilter BF1 im Jänner 2007*



*Abbildung 24 Bodenfilter BF2 im Jänner 2007*



Abbildung 25 Bodenfilter BF1 im März 2007



Abbildung 26 Bodenfilter BF2 im März 2007



Abbildung 27 Bodenfilter BF1 im April 2007



Abbildung 28 Bodenfilter BF2 im April 2007



Abbildung 29 Bodenfilter BF1 im Juni 2007



Abbildung 30 Bodenfilter BF2 im Juni 2007

### 2.1.5 Bodenfilter BF3

Bodenfilter BF3, der als zweistufiger Bodenfilter mit einem Flächenbedarf von  $2 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  dimensioniert ist (bestehend aus den Bodenfiltern BF3.1 und BF3.2 mit jeweils  $1 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ ), wird vor allem hinsichtlich einer weitergehenden **Stickstoffstoffelimination** untersucht.

- 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 der 3-Kammer-Anlage (siehe Punkt 2.1.3) wird Bodenfilter BF3.1 mit Abwasser beschickt. Bodenfilter BF3.2 wird von Bodenfilter BF3.1 durch eine weitere Pumpe beschickt, die in einem Pumpschacht (DN 400) in Bodenfilter BF3.1 situiert ist. Dieser Pumpschacht dient gleichzeitig als Probenahmeschacht, um die Reinigungsleistung von Bodenfilter BF3.1 anhand des Abwassers, das die 1. Stufe bereits durchflossen hat, kontrollieren zu können.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Kennwerte von Bodenfilter BF3

Bodenfilter		BF 3.1	BF 3.2	BF 3 gesamt
Oberfläche	$\text{m}^2$	9,1	9,1	18,2
Auslegung nach spezifischer Fläche	$\text{m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$	1	1	2
CSB-Belastung	$\text{g CSB}/\text{m}^2/\text{d}$	80	variabel	40
Beschickungsmenge bis Okt 06	$\text{l}/\text{d}$	1.278	1.278	1.278
Beschickungsmenge ab Okt 06	$\text{l}/\text{d}$	1.661	1.661	1.661
Belastung des Bodenfilters	$\text{EW}_{\text{CSB}}$	9,1	variabel	9,1

Der vertikale Aufbau von Bodenfilter BF3 (von oben nach unten) ist wie folgt:

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

Für die Bepflanzung von Bodenfilter BF3 wurde Schilf (*Phragmites australis*) gewählt und dieses in einer Dichte von 5 Pflanzen pro  $\text{m}^2$  gesetzt.

In Abbildung 31 sieht man links den Pumpen-/Probenahmeschacht, der oberhalb der Filteroberfläche gegen tiefe Temperaturen isoliert ist. Im Vordergrund ist Bodenfilter BF3.1, im Hintergrund Bodenfilter BF3.2 zu sehen; die Wand zwischen Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 stellt eine wasserdichte Trennung der beiden Filter dar.



Abbildung 31 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 während der Errichtung im April 2005

In Abbildung 32 bis Abbildung 43 ist die Entwicklung des Schilfbewuchses im Bodenfilter BF3 im Lauf des Versuchszeitraums dokumentiert.



Abbildung 32 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im August 2005





Abbildung 33 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im November 2005



Abbildung 34 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im Jänner 2006



Abbildung 35 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im März 2006



Abbildung 36 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im Mai 2006



*Abbildung 37 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im Juli 2006*



*Abbildung 38 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im September 2006*



Abbildung 39 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im November 2006



Abbildung 40 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im Jänner 2007



Abbildung 41 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im März 2007



Abbildung 42 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im April 2007



Abbildung 43 Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 im Juni 2007

### 2.1.6 Abwasserableitung

Das durch die Bodenfilter BF1, BF2 und BF3 gereinigte Abwasser wird durch Drainagesysteme gefasst und über Rohrleitungen einem Abwasserpumpschacht zugeführt. Der Abfluss jedes Bodenfilters wird beim Zufluss in den Abwasserpumpschacht über je eine Ablaufwippe (siehe Abbildung 44) geleitet, die die Abflussmenge misst. Das Abwasser wird schließlich aus dem Abwasserpumpschacht in das Belebungsbecken der ARA Ernsthofen abgepumpt und damit dem Reinigungsprozess der Kläranlage Ernsthofen wieder zugeführt.

Die Daten der Abflussmengen und deren zeitliche Verteilung werden elektronisch gesammelt und mittels PC (der auch die Pumpensteuerungsprogramme bedient) aufgezeichnet.



Abbildung 44 Ablaufwippe im Abwasserpumpschacht

## 2.2 Kontinuierliche Messungen

### 2.2.1 Wassergehalt

Um die hydraulische Leistungsfähigkeit der Bodenfilter zu dokumentieren, werden in den Bodenfiltern kontinuierliche Wassergehaltsmengen mit kapazitiven Sensoren durchgeführt. Ein elektrisches Hochfrequenzfeld baut sich dabei um jeden Sensor auf und dehnt sich durch das Hüllrohr (Access Tube) im Boden aus (siehe Abbildung 45).

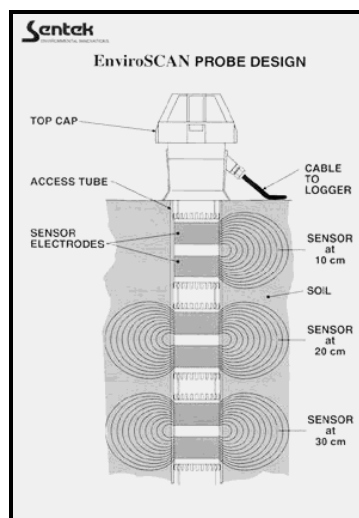


Abbildung 45 Beschickungsnaher und –ferner Einbau der Sonden

Jeweils 5 Sensoren befinden sich in einem Hüllrohr; der Wassergehalt wird dabei in den folgenden Tiefen gemessen: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm und 40-50 cm. Insgesamt sind auf der Versuchsanlage 30 Sensoren im Einsatz, in jedem Bodenfilter sind an 2 Stellen (beschickungsnah und –fern) je 5 Sensoren (in verschiedenen Tiefen) eingebaut. In Bodenfilter BF1 und BF2 sind je 2 Hüllrohre eingebaut, in Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 je ein Hüllrohr.

In jedem Hüllrohr befinden sich mehrere Sensoren, die der Reihe nach in verschiedenen Tiefen positioniert sind. Die Sensoren werden innerhalb eines PVC-Hüllrohrs untergebracht, um den direkten Sensor-Kontakt mit dem Boden zu verhindern. Das Hüllrohr ermöglicht die Wartung der Prüfspitze und die Nachjustierung der Sensor-Tiefen. Die Sensoren von jeweils 3 Hüllrohren sind zusammenschaltet (Run A und Run B). Das eingestellte Messintervall beträgt 15 Minuten. Damit kann der Logger die anfallende Datenmenge über einen Zeitraum von 5 Wochen speichern.





Abbildung 46 Beschickungsnaher und -ferner Einbau der Sonden.

### 2.2.2 Temperatur

Um die Auswirkung der Deckschicht auf den Temperaturhaushalt des Filterkörpers zu messen, wurde die Temperatur an folgenden Punkten gemessen:

- Wassertemperatur im Zulauf von BF1 und BF2
- Temperatur im Filterkörper von Bodenfilter BF1 (mit Deckschicht) in 3 verschiedenen Tiefen (10, 30 und 50cm.)
- Temperatur im Filterkörper von Bodenfilter BF2 (ohne Deckschicht) in 3 verschiedenen Tiefen (10, 30 und 50cm.)
- Lufttemperatur (Sensor befindet sich in Bodenfilter BF2)

## 2.3 Berechnung der Beschickungsmengen

Zur Berechnung der Beschickungsmengen für die einzelnen Bodenfilter wurde auf die Erfahrungen und die Messwerte der 1. Stufe des Projekts zurückgegriffen.

Die Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 wurden mit 26,7g CSB/m<sup>2</sup>/d beschickt, der gesamte Bodenfilter BF3 auf 40,0g CSB/m<sup>2</sup>/d ausgelegt. Die erste Stufe von Bodenfilter BF3, Bodenfilter BF3.1, wird tatsächlich 80,0g CSB/m<sup>2</sup>/d belastet, die zweite Stufe, Bodenfilter BF3.2, wird geringer belastet.

Daraus ergab sich folgender erforderlicher Flächenbedarf:

Bodenfilter BF1	3 m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> Flächenbedarf
Bodenfilter BF2	3 m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> Flächenbedarf
Bodenfilter BF3	2 m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> Flächenbedarf
(für Bodenfilter BF3.1:	1 m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> Flächenbedarf)

In Tabelle 4 wird die Berechnung der ursprünglichen Beschickungsmengen zusammengefasst. Im Oktober 2006 wurden die Mengen korrigiert (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3)

Tabelle 4: Ermittlung der Beschickungsmenge

<b>CSB-Konzentration im Zulauf (3. Kammer der 3-KA) gemittelt aus sämtlichen Analysen der 1. Stufe des Forschungsprojekts:</b>					
Mittelwert	571 mg/l				
<b>Typische CSB-Frachten für Abwasser:</b>					
Rohabwasser	120 g CSB/(EW.d)				
Mech. gereinigtes AW -33%	80 g CSB/(EW.d)				
<b>Dimensionierung [m²/EW] nach hydraulisch Vorgabe:</b>					
	spezif. Abwasseranfall	Spezif. Fläche	Beschickungsmenge	spez. CSB-Fracht	Auslegung der Bodenfilter
	l/(EW.d)	m²/EW(hyd)	l/(m².d)	g CSB/(m².d)	m²/EW(CSB)
Bodenfilter 1	150	3,00	50	28,55	2,80
Bodenfilter 2	150	3,00	50	28,55	2,80
Bodenfilter 3	150	2,00	75	42,83	1,87
<b>GEWÄHLTE Dimensionierung [m²/EW] nach stofflicher (CSB) Vorgabe:</b>					
	spezif. Abwasseranfall	Spezif. Fläche	Beschickungsmenge	spez. CSB-Fracht	Auslegung der Bodenfilter
	l/(EW.d)	m²/EW(hyd)	l/(m².d)	g CSB/(m².d)	m²/EW(CSB)
Bodenfilter 1	150	3,2	47	26,67	3
Bodenfilter 2	150	3,2	47	26,67	3
Bodenfilter 3	150	2,1	70	40,00	2
<b>Beschickungsmenge pro Feld:</b>					
	Oberfläche	Beschickungsmenge	Beschickungsmenge	Intervalle	
	m²	l/d	l/Intervall <sup>1)</sup>	Stück/Tag	
Bodenfilter 1	17,8	829	207	4	
Bodenfilter 2	18,5	863	216	4	
Bodenfilter 3	18,2	1278	160	8	
<sup>1)</sup> bei 4 Beschickungsintervallen pro Tag					
<b>Anforderungen gem. ATV A 262 für eine spezif. Fläche von 4m²/EW erfüllt:</b>					
Abf. Stoffe < 100 mg/l					
Abf. Stoffe < 5 g/(m².d)					
CSB < 20 g/(m².d)					
Beschickungshöhe < 80 mm/d					

Die Beschickungen der Bodenfilter BF1 und BF2 erfolgten 4-mal täglich um 08:00, 13:00, 18:00 und 23:00. Durch das kürzere Beschickungsintervall von 5 Stunden unter Tag wurde ein Tagesgang simuliert. Bodenfilter BF3 wurde so wie in den Vorversuchen der 1. Stufe im Technikum des SIG gleichmäßig 8-mal pro Tag alle 3 Stunden beschickt

## 2.4 Analysen

### 2.4.1 Durchgeführte Analysen

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

- **Wöchentlich** durch die Klärwärter der ARA Ernsthofen im kläranlageneigenen Labor
- **Monatlich** durch das hauseigene Labor des SIG.

Im Labor des SIG an der Universität für Bodenkultur wurden dabei Teile derselben Proben analysiert, welche in Ernsthofen durch die Klärwärter der ARA Ernsthofen analysiert wurden, wodurch wiederum die Exaktheit der Analysen aus Ernsthofen kontrolliert wurde.

Die Zu- und Abläufe der Versuchsanlage wurden von den Klärwärttern wöchentlich auf BSB<sub>5</sub>, CSB, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N sowie abfiltrierbare Stoffe untersucht.

Im Labor des SIG wurden Vergleichsproben auf folgende Parameter analysiert:

- **Monatlich:** TOC, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und N<sub>org</sub>.
- **Alle 2 Monate:** Abfiltrierbare Stoffe, BSB<sub>5</sub> und CSB

### 2.4.2 Vergleich der Analysemethoden

In Tabelle 5 wird ein Überblick über die verwendeten Analysemethoden auf der ARA Ernsthofen und im Labor des SIG gegeben.

Tabelle 5: Vergleich der Analysemethoden KA Ernsthofen / SIG-Labor

Parameter	Labor KA Ernsthofen	Labor SIG
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	Wasserstrahlpumpe Filter: Millipore 0,45 m HA	DIN 38409 H2
Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> )	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 <sub>4</sub> -N)	Dr. Lange: LCK302, LCK304 Photometrische Bestimmung	DIN 38406 E5-1
Nitrit-Stickstoff (NO <sub>2</sub> -N)	Dr. Lange: LCK341 Photometrische Bestimmung	EN 26777 D10
Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N)	Dr. Lange: LCK339, LCK340 Photometrische Bestimmung	DIN D19/EN ISO 10304
Kjehldal-Stickstoff (TKN)	-	DIN EN 25663
Organischer – Stickstoff (N <sub>org</sub> )	-	ber. aus TKN und NH <sub>4</sub> N

## **2.5 Dokumentation der Randbedingungen**

Die Temperaturen der Abläufe wurden von den Klärwärtern wöchentlich erfasst. Zusätzlich wurden die Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge dokumentiert.

Folgende Randbedingungen und Funktionen wurden zumindest wöchentlich überprüft:

1. Zulaufpumpe: Ordentliche Funktion und Richtigkeit der Fördermengen
2. 3-Kammeranlage (3-KA)
  - Schlammanfall; freier Durchfluss; Schwimmschlamm
3. Funktionsfähigkeit der Beschickungspumpen und Wasseruhren:
4. Funktionsfähigkeit des Beschickungssystems
5. Bodenfilterbeete (Auftretender Fremdbewuchs ist umgehend zu entfernen!):
  - Dauer der Versickerung ab Beginn der Beschickung
  - Zustand der Beetoberflächen:
  - Bepflanzung:
6. Ablaufschacht: Funktionsfähigkeit von Ablaufkippen und Ablaufpumpe:
7. Analyseergebnisse
8. Funktion des Steuerungscomputers
9. Sonstiges (besondere Vorkommnisse, Beobachtungen, Reinigungen, Reparaturen)

## 3 ERGEBNISSE

### 3.1 Vorbemerkungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuchsphase dargestellt, ausgewertet und diskutiert, die Ergebnisse der Einlaufphase werden nur tabellarisch im Anhang angeführt. Bei der Beschreibung der Ergebnisse werden 4 Perioden unterschieden:

1. **Periode:** Analysen von 01.09.2005 bis 31.10.2005, Ablaufwassertemperatur  $> 12^{\circ}\text{C}$
2. **Periode:** Analysen von 07.11.2005 bis 15.05.2006, Ablaufwassertemperatur  $< 12^{\circ}\text{C}$
3. **Periode:** Analysen von 23.05.2006 bis 23.10.2006, Ablaufwassertemperatur  $> 12^{\circ}\text{C}$
4. **Periode:** Analysen von 06.11.2006 bis 23.04.2007, Ablaufwassertemperatur  $< 12^{\circ}\text{C}$

Die in den Tabellen dargestellten statistischen Kennwerte beruhen auf den durchgeführten Messungen. Folgende Kennwerte werden angegeben:

- **Anzahl:** Stichprobengröße, d.h. die Anzahl der genommenen Proben bzw. der durchgeführten Analysen
- **Median:** Der Medianwert gibt den 50 % Wert einer Stichprobe an. Das heißt, die eine Hälfte der Zahlen hat Werte, die kleiner sind als der Median, und die andere Hälfte hat Werte, die größer sind als der Median.
- **Mittelwert:** Gibt den arithmetischen Mittelwert der Stichprobe an.
- **Standardabweichung** (Standardabw.): Die Standardabweichung ist ein Maß dafür, wie weit die jeweiligen Werte um den Mittelwert (Durchschnitt) streuen.
- **95% Konfidenzintervall** (95% Konf-Int.): Das 95% Konfidenzintervall ist ein Maß für die Genauigkeit des Medianwerts. Der wahre Medianwert liegt zu 95% im Intervall berechneter Medianwert  $\pm$  Konfidenzintervall.
- **Minimum:** Gibt den kleinsten Wert innerhalb der Stichprobe an.
- **Maximum:** Gibt den größten Wert innerhalb der Stichprobe an.

Bei der Beschreibung der Messwerte wird der Median verwendet. Durch die Verwendung des Medianwerts kann der Einfluss von Ausreißern (Extremwerten) auf die Auswertung vermindert werden. Zwei Stichproben unterscheiden sich zu 95 % voneinander, wenn ihre Medianwerte unterschiedlich sind, d.h. sich die zwei Intervalle "Medianwert  $\pm$  Konfidenzintervall" nicht überschneiden.

### 3.2 Zulaufkonzentrationen und Flächenbelastungen

Diagramm 1 zeigt den täglichen Abwasserzulauf zur ARA Ernthofen. Bis Jänner 2006 war die Zulaufmenge sehr konstant und in dem Bereich, der auch schon in Stufe 1 des Projekts gemessen wurde. Die CSB-Zulaufkonzentration zur ARA Ernthofen lag in diesem Zeitraum über 1000 mg/l, jene zu den Bodenfiltern bei 600 mg/l (Diagramm 2). Ab Februar 2006 kam es während des Probetriebs eines neuen Heizkraftwerks in der Gemeinde Ernthofen zur unregelmäßigen Einleitung von Kühlwasser. Die erhöhten Zulaufmengen bedingten eine Verdünnung des Rohabwassers und in weiterer Folge auch zu geringeren CSB-Zulaufkonzentrationen zum Bodenfilter.

Die Beschickungsmengen wurden deshalb im Oktober 2006 angepasst, um wieder die CSB-Frachten der ursprünglichen Dimensionierung zu erreichen.

Nach Aufnahme des Normalbetriebs des Heizkraftwerks stellten sich ab August/September 2006 wieder konstante Zulaufmengen und auch Zulaufkonzentrationen ein, die jedoch niedriger als früher lagen. Um die geringeren Konzentrationen auszugleichen, wurde im Oktober die Beschickungsmenge erhöht, um die dimensionierten CSB-Frachten wieder zu erreichen (Tabelle 6).

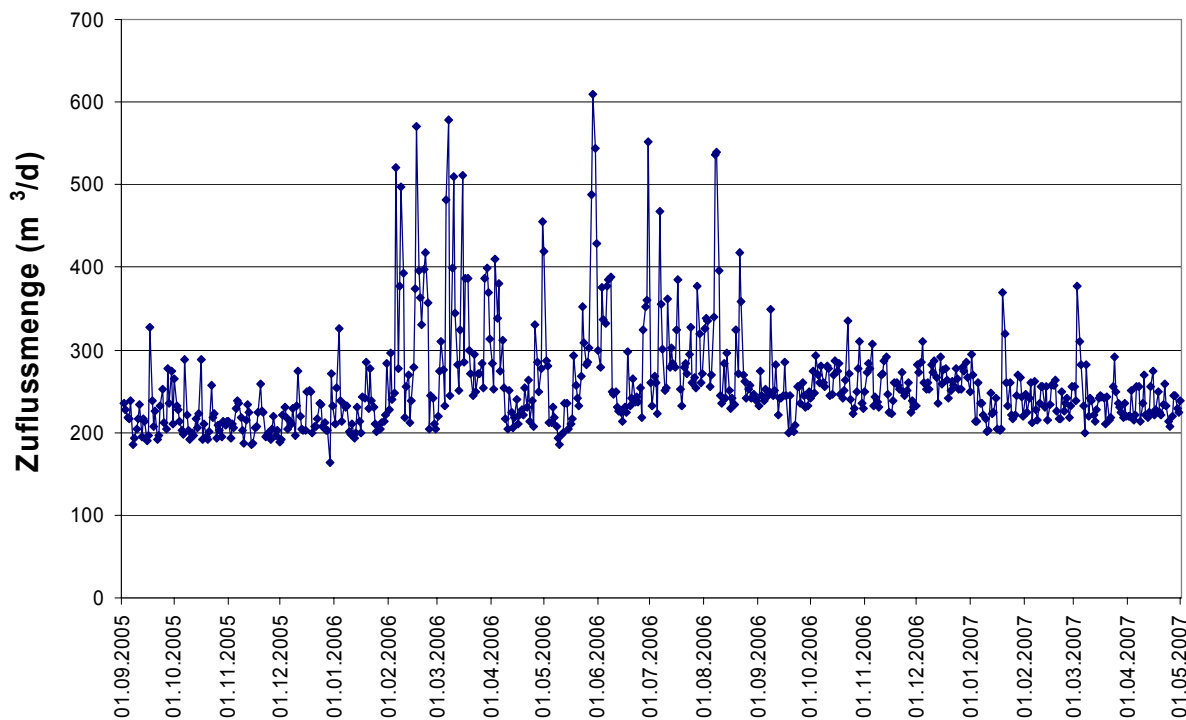


Diagramm 1 Tägliche Zulaufmenge zur ARA Ernthofen

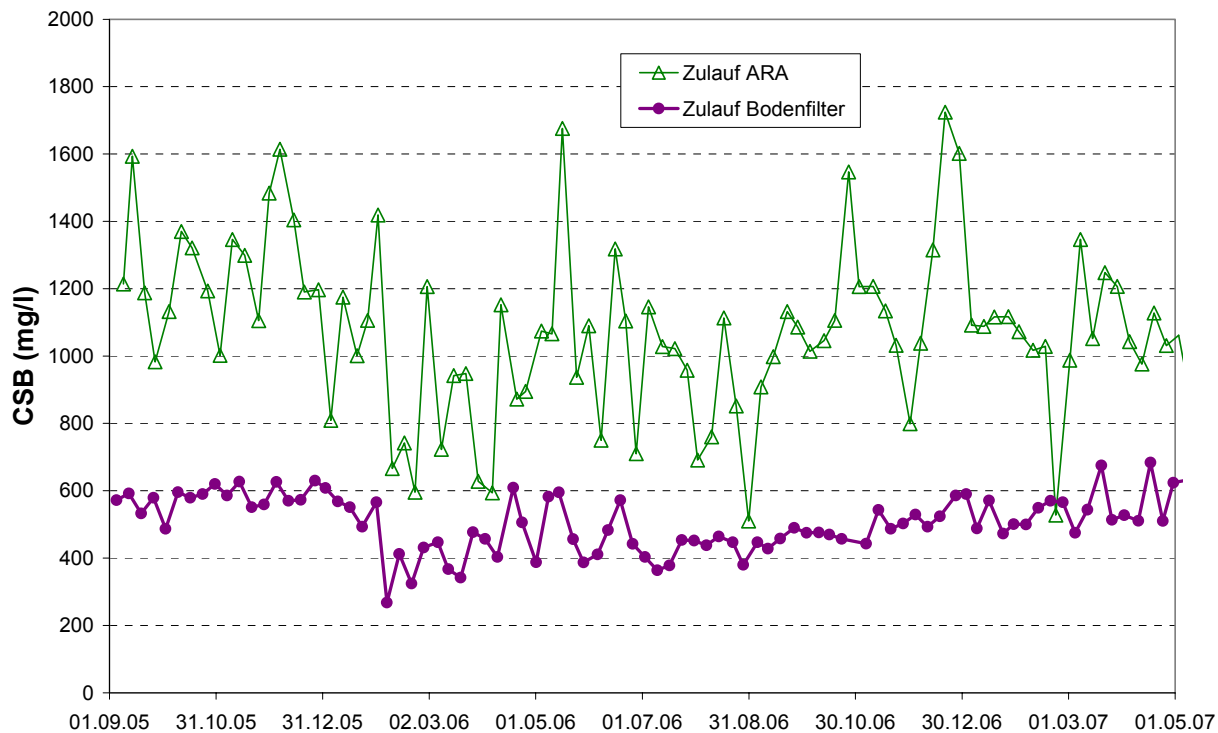


Diagramm 2 CSB-Zulaufkonzentrationen ARA Ernsthofen und Bodenfilter

Tabelle 6: Angepasste Beschickungsmengen ab Oktober 2006

	CSB Zulauf mg/l	Beschickungsmenge in l/d (l/Beschickung)		
		Bodenfilter BF1	Bodenfilter BF2	Bodenfilter BF3
<b>bis September 2006*</b>	571	829 (207)	863 (216)	1278 (160)
<b>ab Oktober 2006</b>	450	1052 (263)	1095 (274)	1621 (203)

\* siehe Tabelle 4

Tabelle 7 zeigt die Zulaufkonzentrationen zu den Bodenfiltern. Tabelle 8 fasst die sich aus den CSB-Konzentrationen berechneten CSB-Frachten und spezifische Flächenbelastungen zusammen. Die Dimensionierungswerte 26.7 g CSB/m<sup>2</sup>/d (3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) für Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 bzw. 40 g CSB/m<sup>2</sup>/d (2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) für Bodenfilter BF3 wurden über den gesamten Versuchszeitraum gesehen sehr gut erreicht. Es sei darauf hingewiesen, dass die erste Stufe von Bodenfilter BF3, Bodenfilter BF3.1, tatsächlich mit 80 g CSB/m<sup>2</sup>/d bzw. 1 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> belastet wurde.

Tabelle 7: Zulaufkonzentrationen in mg/l (September 2005 – April 2007)

	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	NO2-N	NO3-N	Norg	Nges*
Anzahl	86	85	88	19**	88	86	88	19**	86
<b>Median</b>	<b>110</b>	<b>340</b>	<b>505</b>	<b>199</b>	<b>62.0</b>	<b>0.015</b>	<b>0.3</b>	<b>12.8</b>	<b>74.1</b>
Mittelwert	112	335	509	195	60.6	0.022	0.4	12.4	73.0
Standardabw.	24	65	85	38	9.5	0.012	0.08	4.2	11.3
95% Konf-Int.	5	14	18	17	2.0	0.003	0.02	1.9	2.4
Minimum	60	180	268	118	35.9	0.015	0.2	6.6	42.7
Maximum	160	640	684	247	76.4	0.089	0.6	24.3	90.5

\* Berechnet wie beschrieben in Tabelle 9 auf Seite 47

\*\* Vergleichsproben Labor SIG

Tabelle 8: CSB-Frachten und spezifische Flächenbelastungen (September 2005 – April 2007)

Parameter	CSB-Fracht (g CSB/m <sup>2</sup> /d)				Spezifische Flächenbelastung (m <sup>2</sup> /EW <sub>CSB</sub> )		
	1	2	3	3.2	1	2	3
Anzahl	79	82	88	88	79	82	88
<b>Median</b>	<b>27.0</b>	<b>27.3</b>	<b>40.7</b>	<b>13.1</b>	<b>2.96</b>	<b>2.93</b>	<b>1.96</b>
Mittelwert	26.3	26.8	39.5	13.6	3.21	3.13	2.14
Standardabw.	5.7	5.6	8.9	4.9	0.80	0.74	0.54
95% Konf-Int.	1.3	1.2	1.9	1.0	0.18	0.16	0.11
Minimum	12.5	12.5	18.8	6.6	2.01	1.97	1.31
Maximum	39.9	40.5	61.0	29.4	6.42	6.39	4.24

Diagramm 3 und Diagramm 4 zeigen die CSB-Frachten bzw. die spezifischen Flächenbelastungen im Zeitraum September 2005 bis April 2007. Nach der Anpassung der Beschickungsmengen im Oktober 2006 stiegen die Zulaufkonzentrationen im Winter 2006/07 wieder leicht an und dadurch kam es in diesem Zeitraum zu einer erhöhten Belastung der Filter. Dies hatte aber aufgrund des milden Winters keine negativen Auswirkungen auf den Versuchsbetrieb.



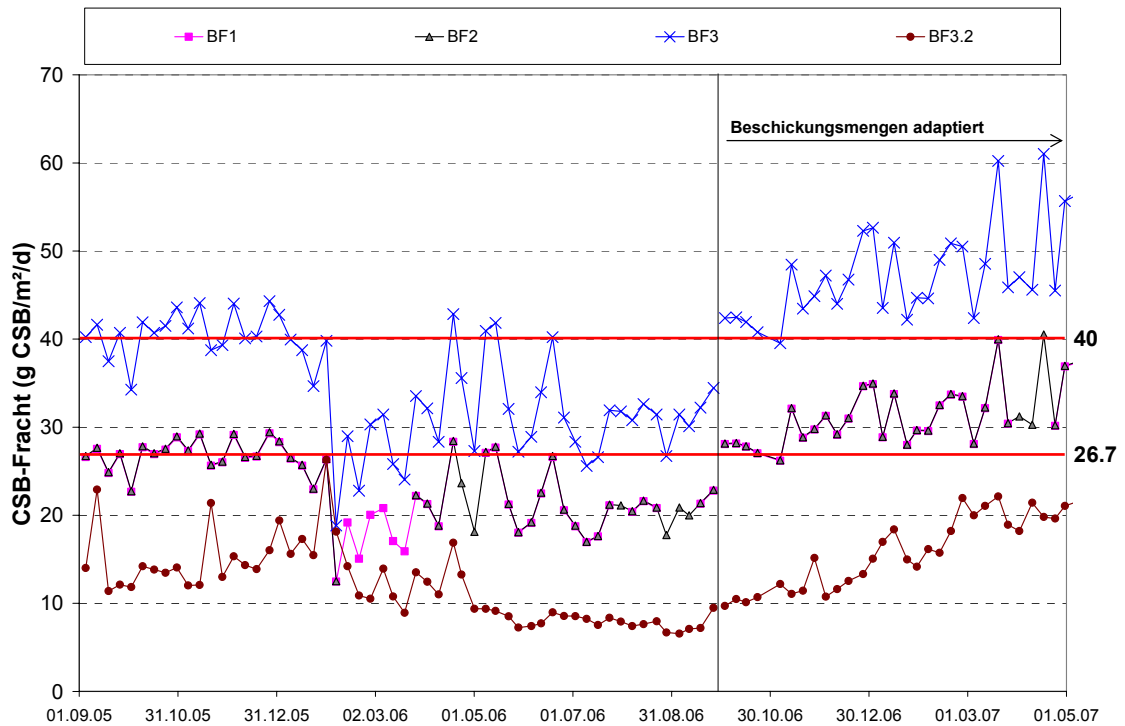


Diagramm 3 CSB-Frachten (Dimensionierungsfracht 26.7 g CSB/m<sup>2</sup>/d für Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 bzw. 40 g CSB/m<sup>2</sup>/d für Bodenfilter BF3)

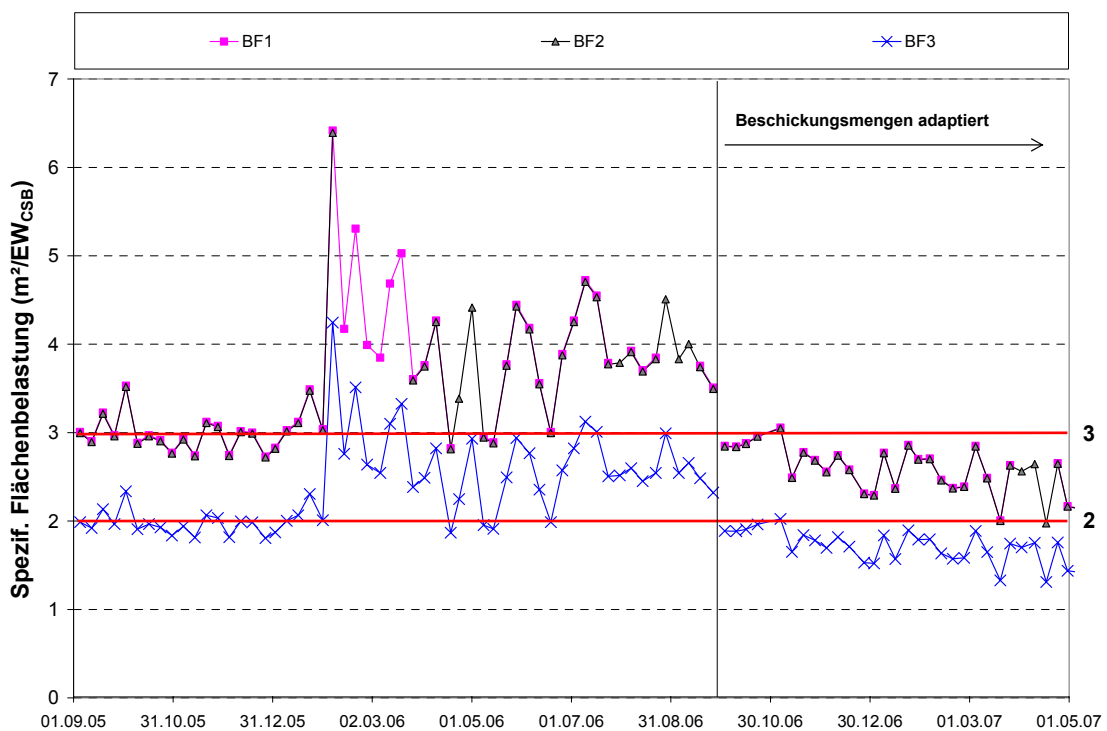


Diagramm 4 Spezifische Flächenbelastungen (Dimensionierungswert: Flächenbedarf 3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> für Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 bzw. 2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> für Bodenfilter BF3)

### 3.3 Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen

#### 3.3.1 Diagramme der Zu- und Ablaufkonzentrationen

In Diagramm 5 bis Diagramm 11 werden die Zu- und Ablaufkonzentrationen der folgenden Parameter dargestellt: Abfiltrierbare Stoffe, BSB<sub>5</sub>, CSB, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und N<sub>ges</sub>.

Diagramm 5 zeigt die Zu- und Ablaufkonzentrationen für abfiltrierbare Stoffe. Man kann erkennen, dass die Ablaufkonzentration in Bodenfilter BF3.1 einen relativ konstanten Wert von 10 bis 20 mg/l hat. Am Ende des zweiten Winters kam es zu leicht höheren Ablaufkonzentrationen. Die Abläufe von Bodenfilter BF1, Bodenfilter BF2 und Bodenfilter BF3.2 werden routinemäßig nicht auf den Parameter abfiltrierbare Stoffe analysiert, da schon in der ersten Stufe des Projekts die Messwerte immer unter der Bestimmungsgrenze im Labor der KA Ernsthofen (10 mg/l) lagen. Dies wurde auch durch die Vergleichsanalysen bestätigt.

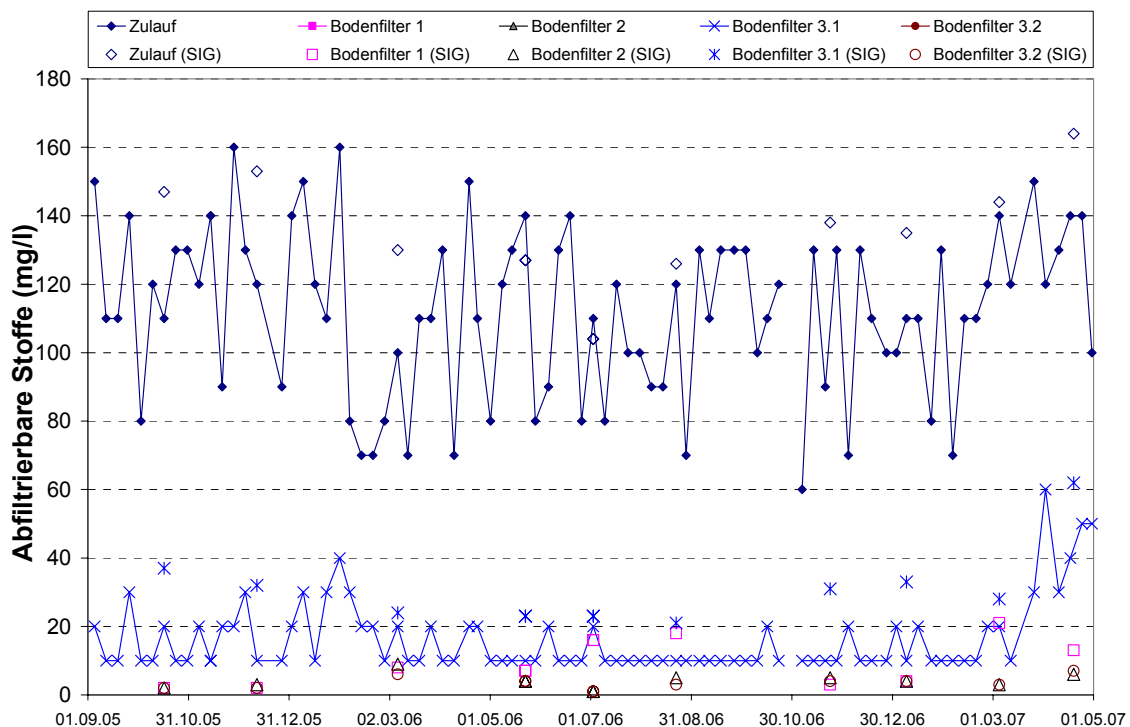


Diagramm 5 Abfiltrierbare Stoffe – Zu- und Ablaufkonzentrationen

Wegen der besseren Übersichtlichkeit werden im Folgenden nur die Zu- und Ablaufkonzentrationen dargestellt. Diagramme, die sowohl die im Labor der ARA Ernsthofen gemessenen Werte als auch die Ergebnisse der Vergleichsanalysen am Labor des SIG enthalten, sind in Anlage 3 dargestellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die im Labor der ARA Ernsthofen gemessenen Werte mit den Vergleichsanalysen sehr gut übereinstimmen. Dies trifft besonders bei den Analysen für CSB und die Stickstoffparameter (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N) zu. Aufgrund der unterschiedlichen Analytikmethoden kam es bei BSB<sub>5</sub> zu den größten Unterschieden, wobei die im Zulauf und Ablauf BF3.1 an der ARA Ernsthofen gemessenen Konzentrationen immer geringer waren als die Vergleichswerte. In den Abläufen der Bodenfilter stimmten die BSB<sub>5</sub> Konzentrationen wiederum gut überein.

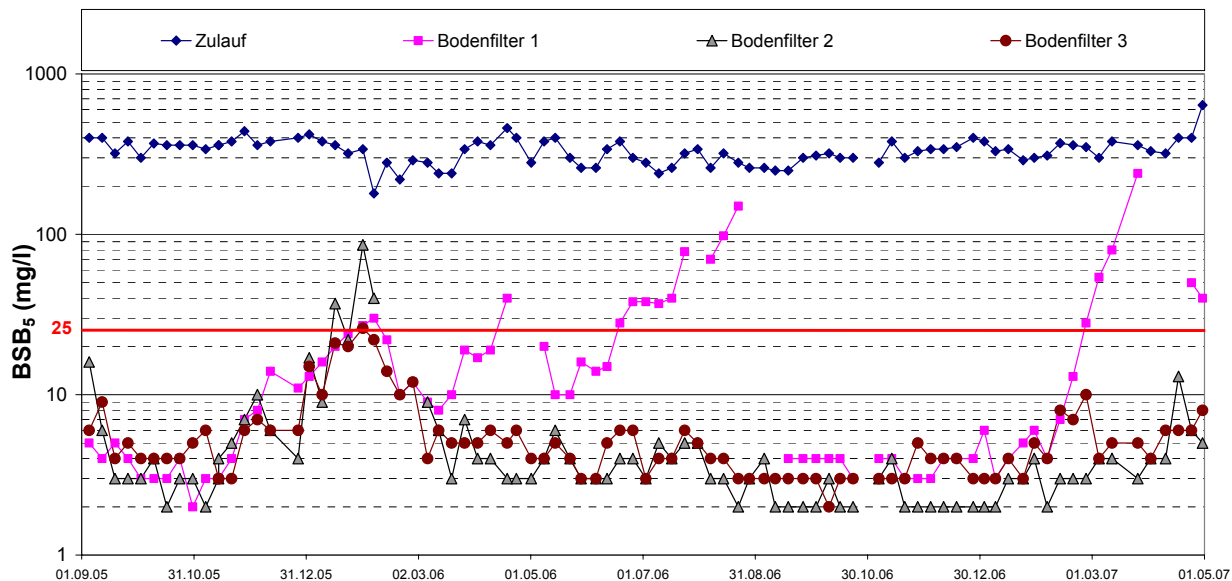


Diagramm 6 BSB<sub>5</sub> – Zu- und Ablaufkonzentrationen

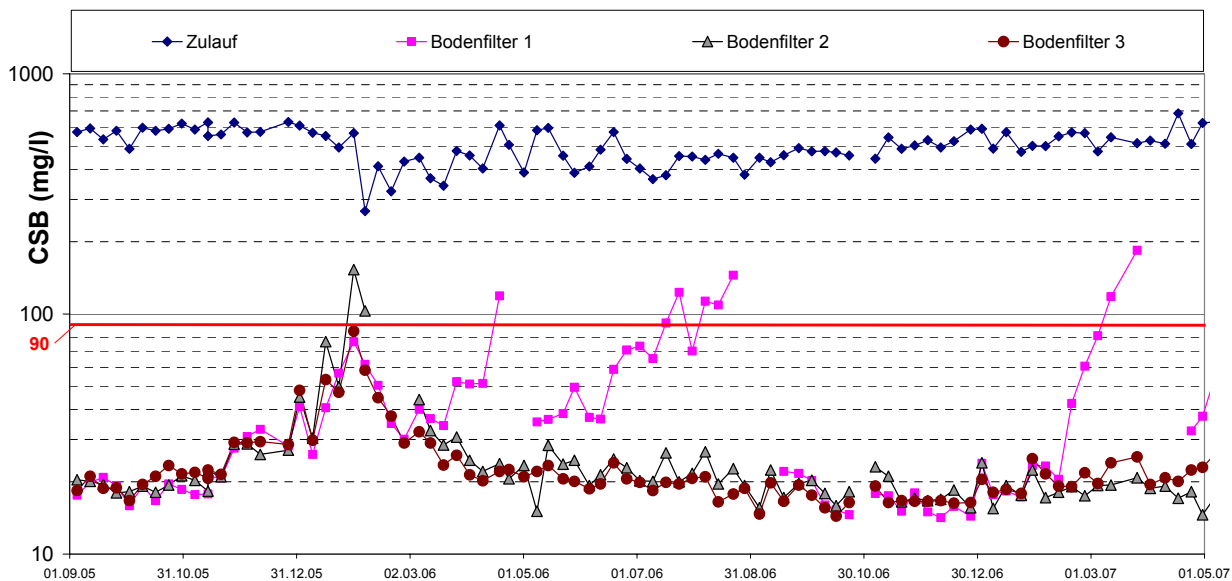


Diagramm 7 CSB – Zu- und Ablaufkonzentrationen

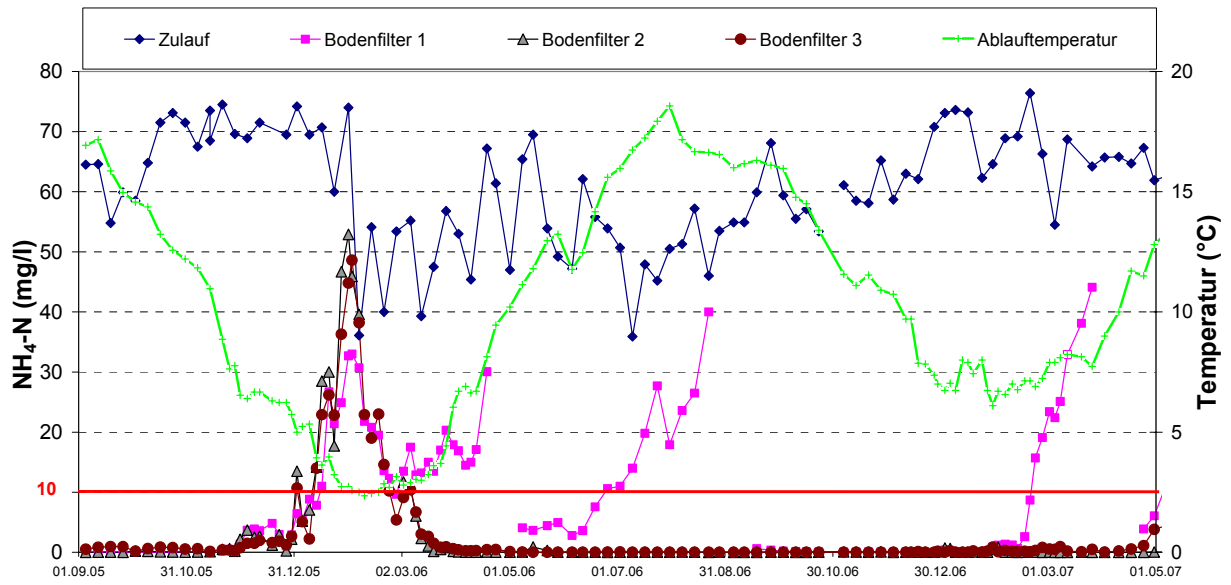


Diagramm 8 NH<sub>4</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen (die färbig hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Perioden 2 und 4 mit Ablaufwassertemperaturen < 12°C).

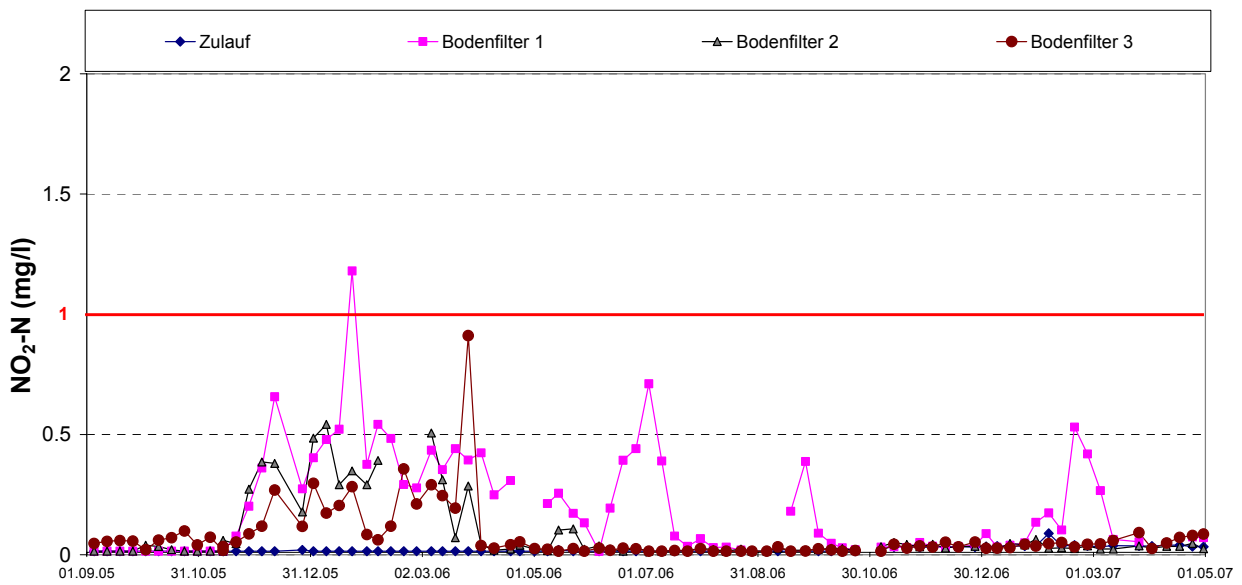


Diagramm 9 NO<sub>2</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen

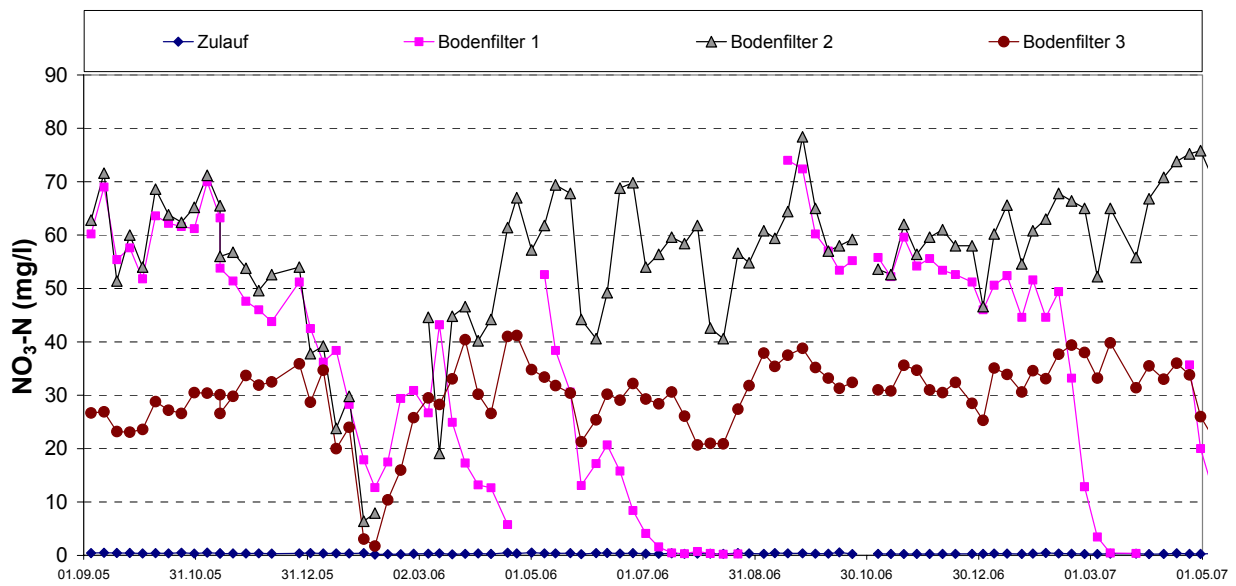


Diagramm 10 NO<sub>3</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen

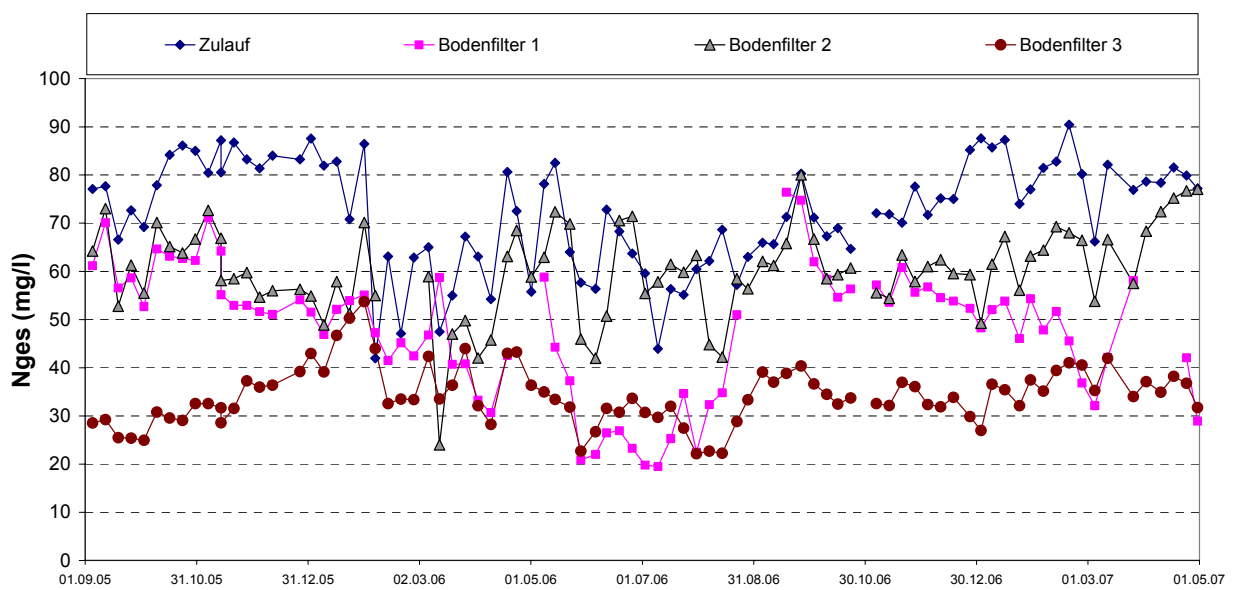


Diagramm 11 N<sub>ges</sub> – Zu- und Ablaufkonzentrationen

Die Werte für N<sub>ges</sub> für die Routineanalysen in Ernthofen in Diagramm 11 wurden wie folgt berechnet: Aus den Vergleichsanalysen des SIG wurden die N<sub>org</sub>/CSB-Verhältnisse berechnet (Tabelle 9). Mit den Medianwerten dieser Verhältnisse wurde der organische Stickstoff (N<sub>org</sub>) aus den CSB-Werten der Routineanalytik berechnet und daraus der Gesamtstickstoff durch die Summation von NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und N<sub>org</sub>.

Tabelle 9: Berechnete  $N_{org}/CSB$  Verhältnisse

	Zulauf	Bodenfilter BF1	Bodenfilter BF2	Bodenfilter BF3.1	Bodenfilter BF3.2
Anzahl	15	15	15	15	15
<b>Median</b>	<b>0.026</b>	<b>0.074</b>	<b>0.085</b>	<b>0.041</b>	<b>0.083</b>
Mittelwert	0.024	0.052	0.080	0.040	0.079
Standardabw.	0.008	0.049	0.033	0.014	0.027
95% Konf-Int.	0.004	0.025	0.017	0.007	0.014
Minimum	0.013	0.013	0.028	0.024	0.039
Maximum	0.045	0.205	0.175	0.087	0.145

Diagramm 12 zeigt zusammenfassend für die Temperatur im Zulauf und in den Abläufen der einzelnen Bodenfilter während des gesamten Versuchszeitraums. Die Ablaufwassertemperatur war bei den Routineanalysen zwischen 7.11.2005 und 15.05.2006 sowie zwischen 6.11.2006 bis 23.04.2007 geringer als 12°C. Der Winter 2006/2007 war deutlich milder als der strenge Winter 2005/2006, es wurden 2006/2007 nie Ablauftemperaturen kleiner 6°C erreicht. In den folgenden Kapiteln 3.3.2 und 3.3.2. werden die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur betrachtet.

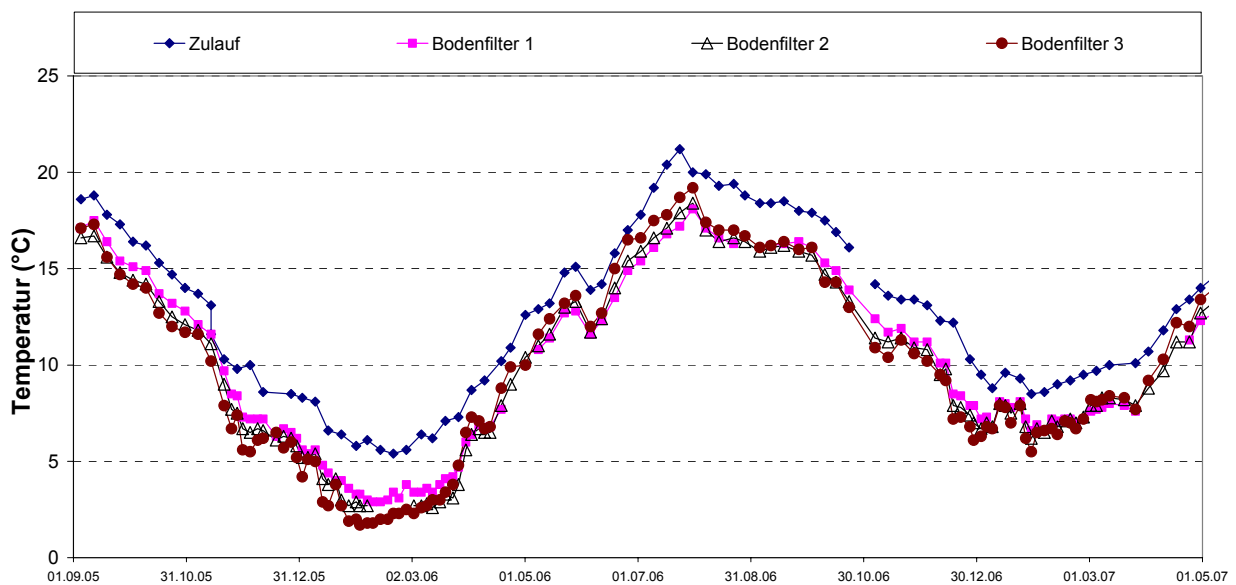


Diagramm 12 Temperatur im Zu- und Ablauf

### 3.3.2 Vergleich Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2

In Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 (mit Deckschicht) bzw. Bodenfilter BF2 (ohne Deckschicht) für die gesamte Versuchsperiode zusammengefasst.

Tabelle 10: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1

	Konzentrationen (mg/l)								Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	TOC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	75	80	19	113	78 (11 <sup>**</sup> )	80	18	78	75	80	80	78
<b>Median</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>10.5</b>	<b>4.07</b>	<b>0.083</b>	<b>42.9</b>	<b>1.9</b>	<b>52.1</b>	<b>97.3%</b>	<b>93.9%</b>	<b>94.13%</b>	<b>34.9%</b>
Mittelwert	24	46	15.0	9.81	0.1961	35.4	2.6	48.6	92.9%	90.7%	82.49%	33.3%
Standardabw.	42.5	38.9	12.7	11.66	0.2169	22.8	1.3	13.1	12.0%	7.9%	22.70%	17.8%
95% Konf-Int.	9.6	8.5	5.7	2.15	0.0481	5.0	0.6	2.9	2.7%	1.7%	4.97%	3.9%
Minimum	2	14.2	4.9	0.02	0.014	0.2	1.0	20.8	33.3%	64.2%	13.04%	-22.6%
Maximum	240	184	44.4	52.80	1.18	74.0	4.7	76.4	99.4%	97.5%	99.98%	65.0%

\* Vergleichsproben Labor SIG (Einfahr- und Versuchsphase)

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l) als 0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l gewertet

Tabelle 11: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2

	Konzentrationen (mg/l)								Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	TOC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	82	85	19	115 (4 <sup>**</sup> )	83 (14 <sup>**</sup> )	85	18	83	82	85	85	83
<b>Median</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>6.7</b>	<b>0.05</b>	<b>0.028</b>	<b>59.2</b>	<b>1.7</b>	<b>60.7</b>	<b>98.9%</b>	<b>96.0%</b>	<b>99.93%</b>	<b>18.1%</b>
Mittelwert	6	25	8.8	3.14	0.0824	56.6	1.9	60.5	98.1%	94.8%	96.16%	16.5%
Standardabw.	10.9	18.6	8.9	9.53	0.1276	13.7	0.7	9.3	3.7%	4.8%	15.15%	14.7%
95% Konf-Int.	2.4	4.0	4.0	1.74	0.0274	2.9	0.3	2.0	0.8%	1.0%	3.22%	3.2%
Minimum	2	14.6	5.2	0.01	0.015	6.4	1.1	24.4	74.7%	61.6%	-9.70%	-31.4%
Maximum	86	153	45.1	52.90	0.542	78.4	3.5	80.0	99.5%	97.7%	99.98%	49.8%

\* Vergleichsproben Labor SIG (Einfahr- und Versuchsphase)

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NH<sub>4</sub>-N/l bzw. 0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l), als 0.015 mg NH<sub>4</sub>-N/l bzw. 0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l gewertet

Diagramm 13 zeigt die Tagesmittel der Lufttemperatur. Während der kältesten Periode im Jänner 2006 kam es durch Kondenswasserbildung im Schaltschrank zur Bildung einer Eisschicht auf dem Datenlogger und dadurch zu einem Datenverlust (von 27.12.2005 bis 7.02.2006). Aufgrund einer Loggerstörung gab es im Juli/August 2006 noch einen weiteren Datenausfall bei der online Temperaturmessung. Als Vergleichsdaten für diese zwei Zeiträume sind in Diagramm 13 die Tagesmittelwerte gemessen an der Messstation St. Valentin des Luftgütemessnetzes der NÖ Landesregierung dargestellt. Die gemessenen Tagesmittelwerte der Lufttemperatur in Ernsthofen und St. Valentin stimmen sehr gut überein. Im strengen Winter 2005/06 lag das Tagesmittel der Lufttemperatur zwischen Anfang Dezember 2005 und Ende März 2006 nur um bzw. unter 0°C mit einem Minimum von -12.1°C am 24. Jänner 2006, im Winter 2006/07 dagegen nur an sehr wenigen Tagen unter 0°C.

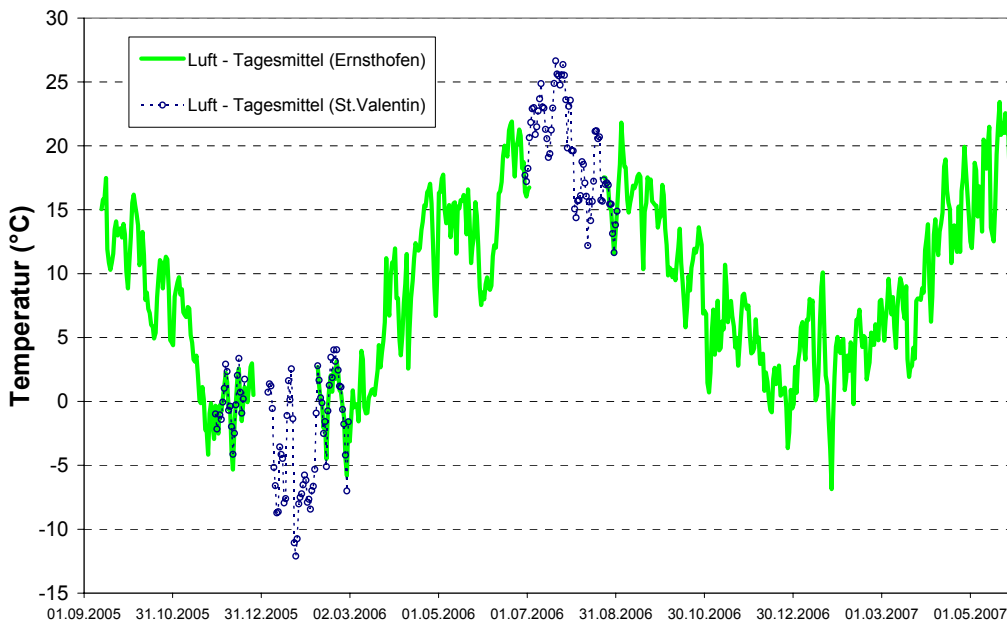


Diagramm 13 Tagesmittel der Lufttemperatur

Diagramm 14 zeigt die Tagesmittel der Temperatur im Zulaufwasser. Die minimale Zulaufwassertemperatur lag im Winter 2005/06 bei ca. 5°C. Im Vergleich dazu lag die minimale Temperatur im Winter 2006/07 nur bei ca. 8.5°C.

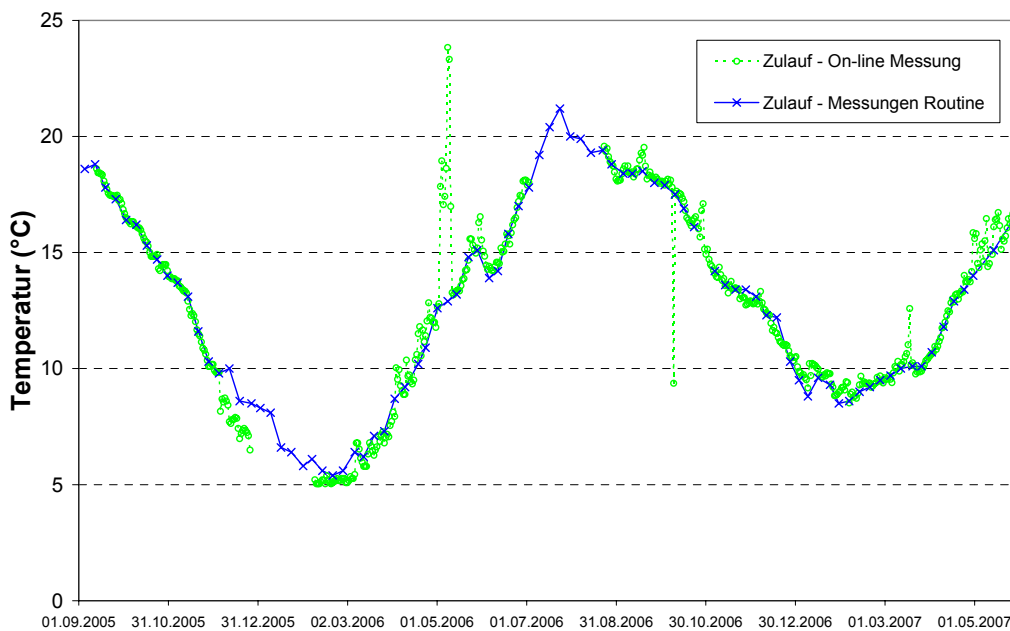


Diagramm 14 Tagesmittel der Temperatur im Zulauf



Diagramm 15 und Diagramm 16 zeigen die Tagesmittel der Temperaturprofile gemessen in Bodenfilter BF1 (mit Kiesschicht) und Bodenfilter BF2 (ohne Kiesschicht). Es wird nur der erste Winter dargestellt, da dort die deutlichsten Unterschiede zwischen den Bodenfiltern BF1 und BF2 festgestellt werden konnten. Durch die Kiesschicht auf Bodenfilter BF1 ist die Isolation verbessert und es ist im Winter eine höhere Temperatur im Bodenfilter messbar. Während Bodenfilter BF1 den Winter durchgängig betrieben werden konnte, froh Bodenfilter BF2 ein.

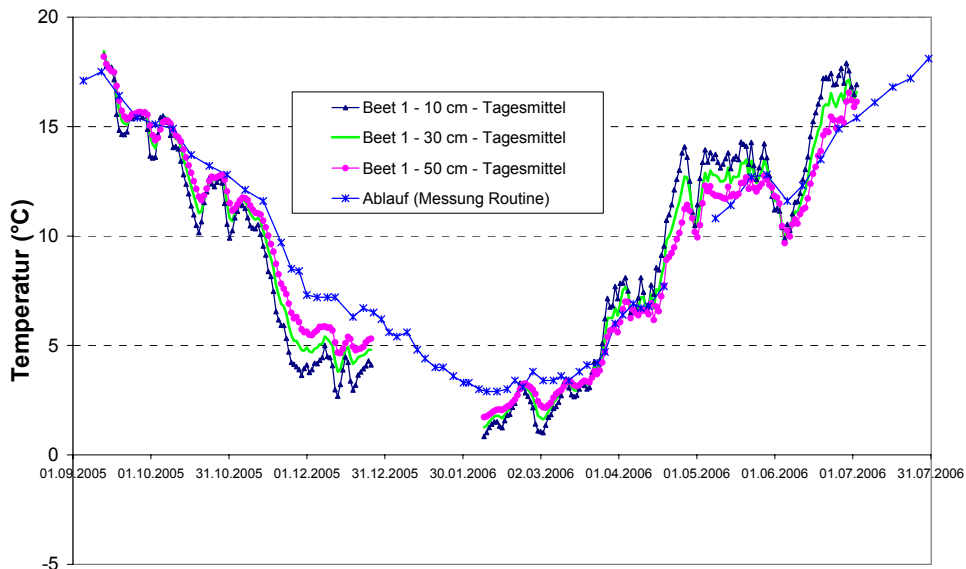


Diagramm 15 Temperaturprofil in Bodenfilter BF1 (mit Kiesschicht, Tagesmittel)

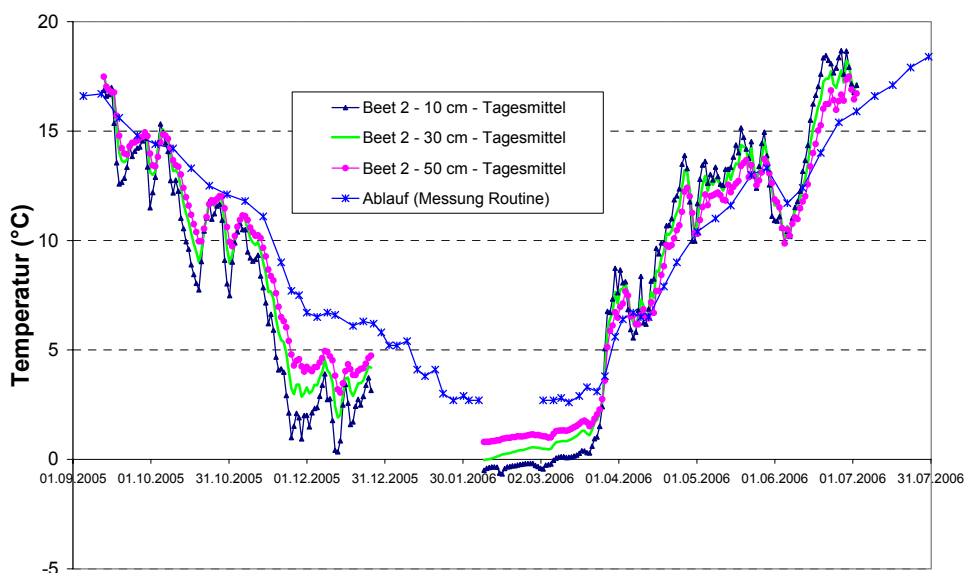


Diagramm 16 Temperaturprofil in Bodenfilter BF2 (ohne Kiesschicht, Tagesmittel)

In Diagramm 17 und Diagramm 18 werden die Temperaturen in 10 cm bzw. 30 cm Filtertiefe in Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 von Mitte November bis Ende Dezember 2005 verglichen. Durch die Kiesschicht auf Bodenfilter BF1 wird die Dynamik des Temperaturgangs deutlich verringert und es ist im BF1 generell eine um 1° C bis 2° C höhere Temperatur messbar.

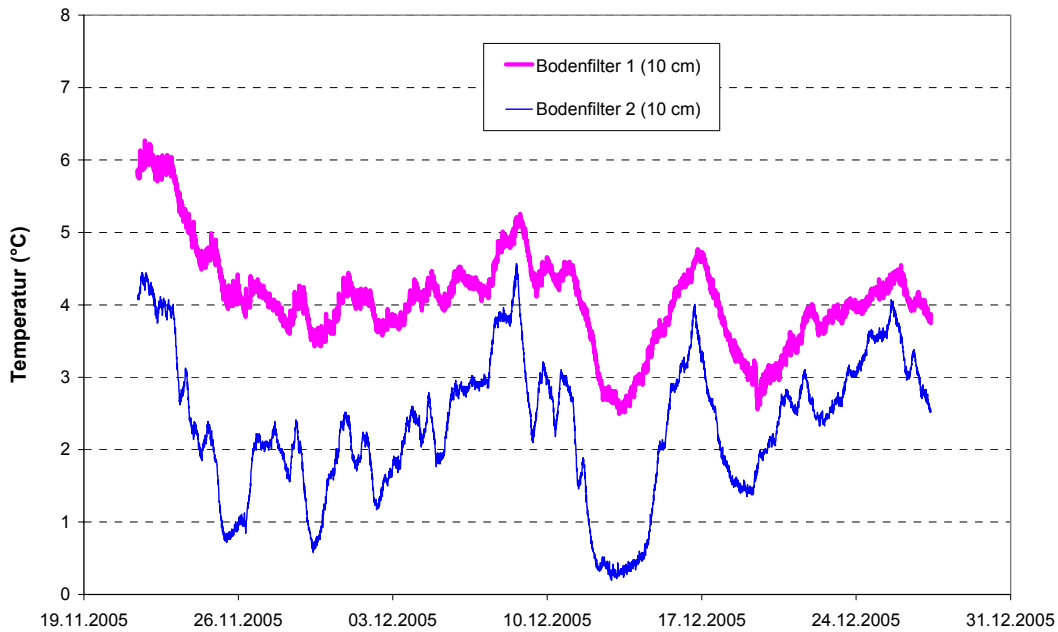


Diagramm 17 Vergleich der Temperatur in 10 cm Tiefe in Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2

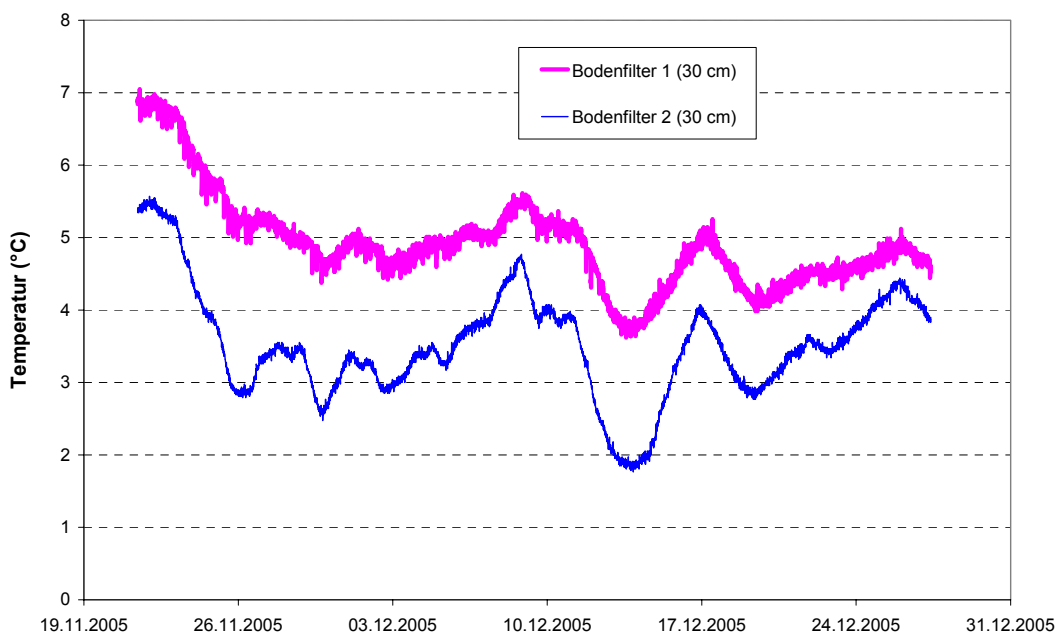


Diagramm 18 Vergleich der Temperatur in 30 cm Tiefe in Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2

### 1. Periode: Analysen von 1.09.2005 bis 31.10.2005, Ablaufwassertemperatur > 12°C

In den ersten beiden Monaten war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 zu erkennen. Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 für Periode 1, bei Ablaufwassertemperaturen größer als 12°C.

Die Eliminationsleistungen für BSB<sub>5</sub> und CSB lagen bei 99% bzw. 97%. Eine vollständige Nitrifikation konnte erreicht werden.

*Tabelle 12: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1 (1.9.2005 bis 31.10.2005, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	9	9	9	9 (9**)	9	9	9	9	9	9
<b>Median</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>0.023</b>	<b>0.015</b>	<b>61.2</b>	<b>62.4</b>	<b>99.0%</b>	<b>96.7%</b>	<b>99.96%</b>	<b>21.4%</b>
Mittelwert	4	19	0.025	0.015	60.3	61.5	99.0%	96.7%	99.96%	21.2%
Standardabw.	1.0	1.6	0.009	2E-18	5.0	4.99	0.3%	0.3%	0.01%	5.8%
95% Konf-Int.	0.7	1.1	0.006	1E-18	3.2	3.26	0.2%	0.2%	0.01%	3.8%
Minimum	2	15.9	0.016	0.015	51.8	52.8	98.4%	96.1%	99.94%	10.6%
Maximum	5	20.9	0.045	0.015	69.0	70.3	99.4%	97.1%	99.98%	27.8%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

*Tabelle 13: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2 (1.9.2005 bis 31.10.2005, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	9	9	9	9 (6**)	9	9	9	9	9	9
<b>Median</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>0.031</b>	<b>0.015</b>	<b>62.8</b>	<b>62.4</b>	<b>99.1%</b>	<b>96.6%</b>	<b>99.95%</b>	<b>20.4%</b>
Mittelwert	5	19	0.072	0.021	62.2	61.5	98.7%	96.6%	99.89%	18.4%
Standardabw.	4.4	1.1	0.072	0.010	6.4	4.99	1.1%	0.2%	0.12%	6.2%
95% Konf-Int.	2.8	0.7	0.047	0.006	4.2	3.26	0.7%	0.1%	0.08%	4.1%
Minimum	2	18	0.017	0.015	51.4	52.8	96.0%	96.3%	99.64%	6.8%
Maximum	16	21.2	0.208	0.040	71.6	70.3	99.4%	96.9%	99.97%	26.5%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

## 2. Periode: Analysen von 7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablaufwassertemperatur < 12°C

Tabelle 14 und Tabelle 15 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 für Periode 2, bei Ablaufwassertemperaturen kleiner als 12°C.

**Bodenfilter BF2 (ohne Kiesschicht)** musste Anfang Februar **für 4 Wochen eingestellt werden**, da die Beetoberfläche aufgrund der tiefen Lufttemperaturen **zugefroren war**. Diagramm 19 zeigt die Ablaufmengenmessungen im Zeitraum von 25.01.-10.02.2006, die abnehmende Dynamik bei Bodenfilter BF2 ist klar erkennbar. Nach einer Beschickungspause von 4 Wochen wurde der Betrieb wieder aufgenommen und der Bodenfilter BF2 funktionierte wieder sehr gut, d.h. die Ablaufwerte für z.B. NH<sub>4</sub>-N waren schon Mitte März bei Abwassertemperaturen um 3°C wieder geringer als 10 mg/l.

**Bodenfilter BF1 (mit Kiesschicht)** konnte hingegen den ganzen Winter betrieben werden, die Beetoberfläche **fror nicht zu**. Die in der AAEV (1996) festgelegte maximale Ablaufkonzentration für NO<sub>2</sub>-N von 1 mg/l wurde bei einer Messung überschritten. Allerdings kam es bei schon steigenden Temperaturen zu einem **Wiederanstieg der Ablaufkonzentrationen**. Deshalb wurde Bodenfilter BF1 zwischen Mitte April und Anfang Mai 2006 für 2 Wochen nicht beschickt, um dem Beet eine Regenerierungspause zukommen zu lassen. Im Gegensatz zu Bodenfilter BF2 war bei Bodenfilter BF1 die hydraulische Funktionsfähigkeit zu diesem Zeitpunkt noch voll vorhanden (Diagramm 20). Nach der Wiederinbetriebnahme von Bodenfilter BF1 waren die NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentrationen wieder geringer als 10 mg/l, jedoch mit ca. 2 mg/l deutlich höher als bei Bodenfilter BF2.

Tabelle 14: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1 (7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablauftemperatur < 12°C)

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	25	26	46	26 (2**)	26	26	25	26	26	26
<b>Median</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>13.1</b>	<b>0.36</b>	<b>37.3</b>	<b>51.6</b>	<b>95.9%</b>	<b>92.8%</b>	<b>83.18%</b>	<b>35.9%</b>
Mittelwert	14	41	12.5	0.36	35.2	49.7	95.6%	91.3%	78.35%	30.0%
Standardabw.	7.6	21.3	9.50	0.24	17.0	8.9	3.3%	4.9%	20.21%	17.3%
95% Konf-Int.	3.0	8.2	2.75	0.09	6.5	3.4	1.3%	1.9%	7.77%	6.7%
Minimum	3	17.7	0.04	0.02	5.8	31.1	83.3%	77.0%	14.96%	-22.8%
Maximum	<b>30</b>	<b>119</b>	<b>33.0</b>	1.18	70.0	71.2	99.2%	97.2%	99.95%	47.2%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

Tabelle 15: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2 (7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablauftemperatur < 12°C)

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	25	25	42	25 (2**)	25	25	25	25	25	25
<b>Median</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	<b>1.70</b>	<b>0.18</b>	<b>49.6</b>	<b>58.3</b>	<b>98.5%</b>	<b>94.6%</b>	<b>98.70%</b>	<b>26.4%</b>
Mittelwert	12	38	8.46	0.21	46.4	56.9	96.1%	92.0%	87.17%	22.2%
Standardabw.	18.3	30.9	14.4	0.18	17.9	10.6	6.4%	8.1%	26.16%	16.5%
95% Konf-Int.	7.2	12.1	4.35	0.07	7.0	4.2	2.5%	3.2%	10.25%	6.5%
Minimum	2	15.1	0.02	0.02	6.4	24.3	74.7%	61.6%	-9.70%	-31.8%
Maximum	<b>86</b>	<b>153</b>	<b>52.9</b>	0.54	71.2	72.8	99.4%	97.4%	99.95%	49.5%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

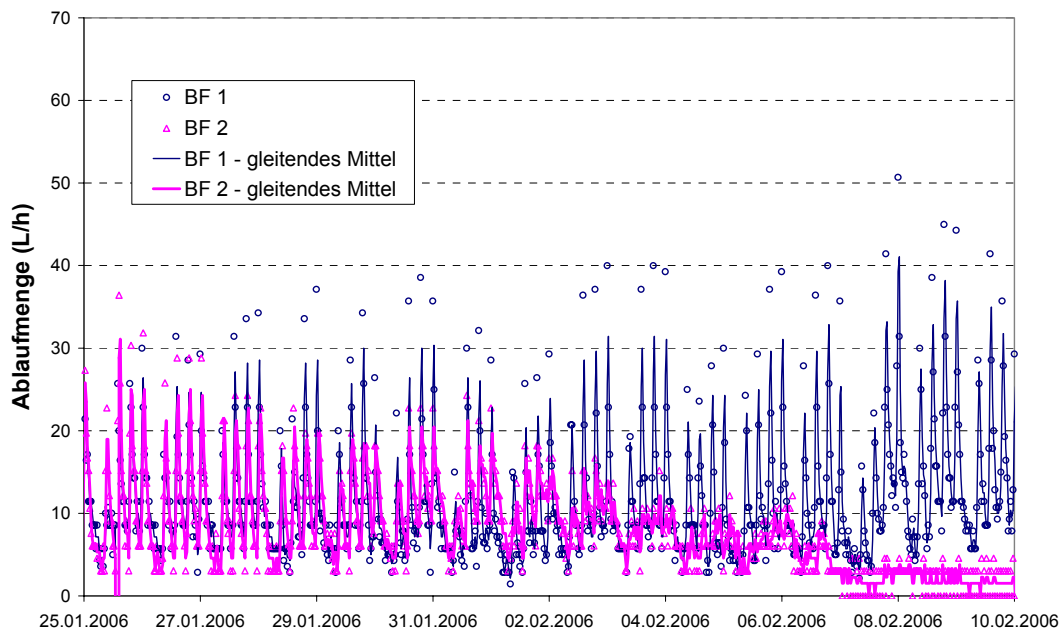


Diagramm 19 Ablaufmengen von Bodenfilter BF1 und BF2 von 25.1. bis 10.2.2006

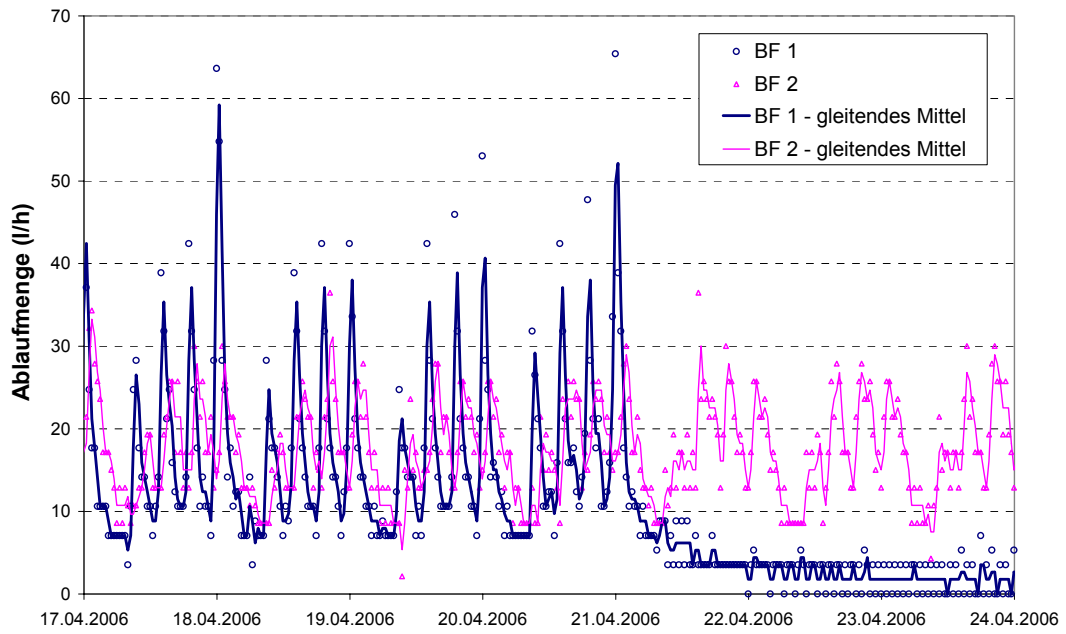


Diagramm 20 Ablaufmengen von Bodenfilter BF1 und BF2 von 17.4. bis 24.4..2006

### 3. Periode: Analysen von 23.05.2006 bis 23.10.2006, Ablaufwassertemperatur > 12°C

Tabelle 16 und Tabelle 17 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 für Periode 3, bei Ablaufwassertemperaturen größer als 12°C.

Während Bodenfilter BF2 die selben Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen erreichte wie im Herbst 2005 kam es bei Bodenfilter BF1 ab Juli 2006 wieder zu einer Überschreitung der maximal zulässigen NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentrationen von 10 mg/l. Wieder war der Bodenfilter hydraulisch voll funktionsfähig. Eine Überprüfung der Messung der Beschickungsmengen und Ablaufmengen ergab, dass beide Bodenfilter hydraulisch gleich belastet wurden.

Es wird angenommen, dass sich im Bodenfilter BF1 eine Kurzschlussströmung gebildet hat. Vor den geplanten Tracerversuchen, die die Kurzschlussströmung lokalisieren sollten, verstopfte BF1 im August 2006 („clogging“). Nach einer 3-wöchigen Beschickungsunterbrechung wurde BF1 Mitte September wieder in Betrieb genommen, ohne jedoch die Tracerversuche durchzuführen.

*Tabelle 16: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1 (23.5.2006 bis 23.10.2006, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	18	20	20	20	20	20	18	20	20	20
<b>Median</b>	<b>16</b>	<b>54</b>	<b>6.3</b>	<b>0.084</b>	<b>14.5</b>	<b>33.6</b>	<b>94.2%</b>	<b>88.5%</b>	<b>88.2%</b>	<b>48.6%</b>
Mittelwert	34	60	10.8	0.173	24.3	39.7	88.2%	86.4%	77.8%	39.2%
Standardabw.	41	40	11.6	0.192	27.0	18.3	14.1%	9.2%	24.6%	23.7%
95% Konf-Int.	19	17	5.1	0.084	11.8	8.0	6.5%	4.0%	10.8%	10.4%
Minimum	3	15	0.1	0.014	0.2	20.8	46.4%	67.6%	13.0%	-7.2%
Maximum	<b>150</b>	<b>145</b>	<b>40.0</b>	0.711	74.0	76.4	99.0%	96.8%	99.9%	65.0%

\* berechnet

*Tabelle 17: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2 (23.5.2006 bis 23.10.2006, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	22	23	23	23	23 (6**)	23	22	23	23	23
<b>Median</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>0.023</b>	<b>0.022</b>	<b>58.4</b>	<b>60.0</b>	<b>98.9%</b>	<b>95.3%</b>	<b>99.95%</b>	<b>6.3%</b>
Mittelwert	3	21	0.038	0.025	57.7	59.4	98.9%	95.2%	99.93%	6.8%
Standardabw.	1.0	3.1	0.060	0.019	9.6	9.6	0.4%	0.9%	0.11%	15.4%
95% Konf-Int.	0.4	1.2	0.025	0.008	3.9	3.9	0.2%	0.4%	0.05%	6.3%
Minimum	2	16	0.013	0.015	40.6	42.2	97.9%	93.0%	99.42%	-29.1%
Maximum	5	27	0.310	0.108	78.4	80.0	99.4%	96.6%	99.98%	38.5%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

#### 4. Periode: Analysen von 06.11.2006 bis 23.04.2007, Ablaufwassertemperatur < 12°C

Tabelle 18 und Tabelle 19 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF1 und Bodenfilter BF2 für Periode 4, bei Ablaufwassertemperaturen kleiner als 12°C.

Im milden Winter 2006/07 funktionierte Bodenfilter BF1 bis Mitte Februar 2007 gut, dann verstopfte BF1 wieder und wurde Ende März 2007 still gelegt. Die nochmalige Inbetriebnahme Ende April 2007 (bei Temperaturen schon über 12°C) scheiterte und BF1 war binnen eines Monats infolge Cloggings wieder verstopft.

Bodenfilter BF2 hingegen funktionierte während der gesamten Periode 4 einwandfrei, bei einer maximalen NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentration von < 1 mg/l.

*Tabelle 18: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF1 (6.11.2006 bis 23.4.2007, Ablauftemperatur < 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	22	22	35	22	22	22	22	22	22	22
Median	5	19	0.2	0.053	50.0	52.2	98.5%	96.1%	99.6%	37.7%
Mittelwert	34	43	6.9	0.108	39.1	50.2	91.0%	92.1%	87.2%	35.2%
Standardabw.	67	48	12.3	0.133	20.8	7.1	17.0%	8.6%	23.2%	11.3%
95% Konf-Int.	28	20	4.1	0.056	8.7	3.0	7.1%	3.6%	9.7%	4.7%
Minimum	3	14	0.03	0.030	0.4	32.1	33.3%	64.2%	27.8%	13.3%
Maximum	<b>240</b>	<b>184</b>	<b>44.1</b>	0.531	59.6	60.8	99.1%	97.5%	100.0%	54.1%

\* berechnet

*Tabelle 19: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF2 (6.11.2006 bis 23.4.2007, Ablauftemperatur < 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	25	25	38 (4**)	25	25	25	25	25	25	25
Median	3	19	0.04	0.035	61.0	63.2	99.1%	96.6%	99.96%	18.9%
Mittelwert	3	19	0.11	0.036	61.6	63.3	99.0%	96.5%	99.88%	18.9%
Standardabw.	2.2	2.2	0.20	0.010	7.1	7.0	0.6%	0.6%	0.24%	9.5%
95% Konf-Int.	0.9	0.9	0.06	0.004	2.8	2.7	0.2%	0.2%	0.09%	3.7%
Minimum	2	16	0.02	0.024	46.6	49.3	96.8%	94.8%	99.02%	-3.6%
Maximum	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>0.84</b>	0.064	75.2	76.7	99.5%	97.5%	99.98%	43.8%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NH<sub>4</sub>-N/l)



### 3.3.3 Bodenfilter BF3

In Tabelle 20 und Tabelle 21 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3.1 bzw. Bodenfilter BF3.2 für die gesamte Versuchsphase zusammengefasst. Eine  $N_{ges}$  Reinigungsleistungen von ca. 53% konnte im Mittel erreicht werden. Die in Tabelle 21 dargestellten Werte für Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen beschreiben gleichzeitig die Gesamtreinigungsleistung des BF3.

Tabelle 20: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen				
	BSB <sub>5</sub>	CSB	TOC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	$N_{ges}$ *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	$N_{ges}$
Anzahl	84	88	19**	120	86	88	19**	86	84	88	88	86
Median	38	85	23.9	25.10	0.233	8.1	2.7	35.2	88.9%	83.1%	64.36%	51.2%
Mittelwert	47	88	23.5	23.73	0.320	11.1	3.8	36.4	85.9%	82.7%	63.73%	49.4%
Standardabw.	33	29	10.6	9.94	0.275	7.9	2.7	6.9	10.0%	5.5%	16.44%	9.9%
95% Konf-Int.	7	6	4.8	1.78	0.058	1.7	1.2	1.4	2.1%	1.2%	3.44%	2.1%
Minimum	14	47	10.9	4.75	0.033	1.0	1.0	24.1	37.5%	51.9%	11.36%	10.6%
Maximum	200	187	51.3	53.10	1.568	35.2	11.2	62.4	94.7%	89.6%	90.06%	64.5%

\* berechnet

\*\* Vergleichsproben Labor SIG

Tabelle 21: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt

	Konzentrationen (mg/l)							Reinigungsleistungen				
	BSB <sub>5</sub>	CSB	TOC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	$N_{ges}$ *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	$N_{ges}$
Anzahl	85	88	19**	121	86	88	19**	86	85	88	88	86
<b>Median</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>7.0</b>	<b>0.30</b>	<b>0.040</b>	<b>30.6</b>	<b>1.6</b>	<b>33.9</b>	<b>98.7%</b>	<b>95.9%</b>	<b>99.68%</b>	<b>53.2%</b>
Mittelwert	6	24	7.8	3.81	0.076	29.7	1.8	34.6	98.2%	95.1%	95.02%	51.5%
Standardabw.	4	11	4.2	9.04	0.118	7.7	0.5	6.3	1.7%	2.7%	14.83%	11.4%
95% Konf-Int.	0.9	2.3	1.9	1.61	0.025	1.6	0.2	1.3	0.4%	0.6%	3.10%	2.4%
Minimum	2.0	14.4	5.2	0.01	0.015	1.8	1.1	22.3	87.8%	78.2%	-5.82%	-4.5%
Maximum	26	85	24.5	48.60	0.911	49.8	2.9	54.7	99.4%	97.2%	99.98%	69.2%

\* berechnet

\*\* Vergleichsproben Labor SIG

### 1. Periode: Analysen von 1.09.2005 bis 31.10.2005, Ablaufwassertemperatur > 12°C

Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3.1 bzw. Bodenfilter BF3.2 für Periode 1, bei Ablaufwassertemperaturen größer als 12°C. Die Ablaufwerte von Bodenfilter BF3.2 unterscheiden sich nicht statistisch signifikant von denen von Bodenfilter BF1 bzw. Bodenfilter BF2. Für den gesamten Bodenfilter BF3 konnte eine hohe stabile Gesamtstickstoffeliminationsrate von ca. 63 % erreicht werden (Tabelle 23). Die Eliminationsrate für Stickstoff war damit deutlich höher als die, die bei den Technikumsversuchen in Stufe 1 des Projekts erreicht wurde.

*Tabelle 22: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (1.9.2005 bis 31.10.2005, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Median	50	98	21.1	0.648	4.0	36.1	86.1%	83.1%	64.8%	60.9%
Mittelwert	48	101	22.2	0.713	4.6	40.5	86.7%	82.4%	65.6%	60.0%
Standardabw.	13	24	2.6	0.373	1.8	10.0	2.9%	3.8%	4.7%	3.0%
95% Konf-Int.	8	16	1.7	0.244	1.2	6.5	1.9%	2.5%	3.0%	2.0%
Minimum	30	80.9	19.5	0.318	2.6	31.2	82.5%	72.5%	57.6%	53.5%
Maximum	70	163	27.4	1.568	7.6	62.0	91.1%	85.1%	72.2%	64.4%

\* berechnet

*Tabelle 23: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (1.9.2005 bis 31.10.2005, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Median</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>0.781</b>	<b>0.057</b>	<b>26.7</b>	<b>36.1</b>	<b>98.7%</b>	<b>96.5%</b>	<b>98.9%</b>	<b>63.3%</b>
Mittelwert	5	20	0.702	0.057	26.3	37.1	98.6%	96.5%	98.9%	63.6%
Standardabw.	1.7	2.0	0.249	0.021	2.6	8.5	0.4%	0.2%	0.4%	1.9%
95% Konf-Int.	1.1	1.3	0.163	0.014	1.7	5.5	0.2%	0.2%	0.3%	1.2%
Minimum	4	16.7	0.195	0.021	23.1	28.4	97.8%	96.0%	98.2%	60.8%
Maximum	9	23.4	0.962	0.099	30.5	54.9	98.9%	96.8%	99.7%	66.5%

\* berechnet

**2. Periode: Analysen von 7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablaufwassertemperatur < 12°C**

Tabelle 24 und Tabelle 25 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3.1 bzw. Bodenfilter BF3.2 für Periode 2, mit Ablaufwassertemperaturen < 12°C. Bei beiden Bodenfiltern kam es zu keinen hydraulischen Problemen, der Winterbetrieb funktionierte einwandfrei. Die NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentration von 10 mg/l wurde nur von Anfang Jänner bis Anfang März 2006 überschritten, bei Ablaufwassertemperaturen keiner 5°C.

*Tabelle 24: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablauftemperatur < 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	27	28	47	28	28	28	27	28	28	28
Median	46	97	27.8	0.15	5.6	37.5	87.4%	80.6%	46.88%	41.9%
Mittelwert	52	100	29.3	0.28	7.3	40.0	84.0%	79.5%	51.35%	43.5%
Standardabw.	24.8	28.3	8.78	0.33	5.6	7.7	8.4%	7.1%	17.12%	12.3%
95% Konf-Int.	9.4	10.5	2.51	0.12	2.1	2.9	3.2%	2.6%	6.34%	4.5%
Minimum	22	63.4	6.60	0.03	1.0	29.5	61.1%	51.9%	11.36%	10.6%
Maximum	120	187	53.1	1.16	28.6	61.9	92.8%	89.1%	89.91%	64.0%

\* berechnet

*Tabelle 25: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (7.11.2005 bis 15.05.2006, Ablauftemperatur < 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	28	28	48	28 (1**)	28	28	28	28	28	28
<b>Median</b>	<b>6</b>	<b>29</b>	<b>1.92</b>	<b>0.1</b>	<b>30.2</b>	<b>36.4</b>	<b>98.4%</b>	<b>94.8%</b>	<b>97.79%</b>	<b>48.5%</b>
Mittelwert	9	32	8.75	0.16	28.1	37.8	97.2%	93.2%	86.36%	45.8%
Standardabw.	6.4	14.8	12.7	0.18	9.9	6.4	2.6%	4.1%	23.95%	14.7%
95% Konf-Int.	2.4	5.5	3.59	0.07	3.7	2.4	1.0%	1.5%	8.87%	5.4%
Minimum	3	20.2	0.02	0.02	1.8	28.3	87.8%	78.2%	-5.82%	-4.2%
Maximum	26	84.7	48.6	0.91	41.2	54.0	99.2%	96.7%	99.97%	64.8%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

### 3. Periode: Analysen von 23.05.2006 bis 23.10.2006, Ablaufwassertemperatur > 12°C

Tabelle 26 und Tabelle 27 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3.1 bzw. Bodenfilter BF3.2 für Periode 3, bei Ablaufwassertemperaturen größer als 12°C. Es konnten vergleichbare Ergebnisse wie im Herbst 2005 erreicht werden, die Reinigungsleistung für N<sub>ges</sub> war mit ca. 50% geringer.

Auffallend sind bei Bodenfilter BF3.1 in Periode 3 die höhere Reinigungsleistung von, 93.1% im Vergleich zu 86.1% im Herbst 2005 für BSB<sub>5</sub> und 87.5% im Vergleich zu 64.8% für NH<sub>4</sub>-N, bzw. die geringeren Ablaufkonzentrationen, war 10.7 mg/l im Vergleich zu 21.1 mg/l für NH<sub>4</sub>-N. Das kann auf den stärkeren Biomassebewuchs in Bodenfilter BF3.1 durch den bereits längeren Betrieb des Bodenfilters zurückgeführt werden.

*Tabelle 26: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (23.5.2006 bis 23.10.2006, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	22	23	23	23	23	23	22	23	23	23
Median	21	56	10.7	0.344	18.3	31.7	93.1%	87.5%	81.6%	50.9%
Mittelwert	21	56	10.7	0.302	18.8	32.1	92.8%	87.3%	79.5%	50.0%
Standardabw.	4.9	5.1	2.7	0.116	5.7	5.8	1.6%	1.3%	6.6%	7.5%
95% Konf-Int.	2.0	2.1	1.1	0.047	2.3	2.4	0.7%	0.5%	2.7%	3.1%
Minimum	14	47	4.8	0.079	9.1	24.1	88.0%	83.9%	61.3%	33.2%
Maximum	36	68	17.8	0.472	31.2	48.2	94.7%	89.6%	90.1%	62.6%

\* berechnet

*Tabelle 27: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (23.5.2006 bis 23.10.2006, Ablauftemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	22	23	23	23 (11**)	23	23	22	23	23	23
<b>Median</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>0.019</b>	<b>0.016</b>	<b>30.4</b>	<b>32.1</b>	<b>98.8%</b>	<b>95.7%</b>	<b>99.96%</b>	<b>49.6%</b>
Mittelwert	4	19	0.023	0.019	29.8	31.4	98.7%	95.8%	99.96%	51.0%
Standardabw.	1.1	2.3	0.013	0.006	5.4	5.4	0.3%	0.7%	0.03%	7.9%
95% Konf-Int.	0.5	0.9	0.005	0.002	2.2	2.2	0.1%	0.3%	0.01%	3.2%
Minimum	2	14	0.009	0.015	20.7	22.3	98.0%	94.7%	99.86%	33.5%
Maximum	6	24	0.070	0.033	38.8	40.4	99.4%	96.9%	99.98%	67.6%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

#### 4. Periode: Analysen von 06.11.2006 bis 23.04.2007, Ablaufwassertemperatur < 12°C

Tabelle 28 und Tabelle 29 zeigen die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen von Bodenfilter BF3.1 bzw. Bodenfilter BF3.2 für die Periode 4, bei Ablaufwassertemperaturen größer als 12°C. Die Reinigungsleistung für N<sub>ges</sub> war mit 55% besser als während Periode 2. Aufgrund des milden Winters war die maximale NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentration nur 1.1 mg/l (bei einer minimalen Ablaufwassertemperatur von 5.5°C).

*Tabelle 28: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (6.11.2006 bis 23.3.2007, Ablauftemperatur < 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	25	25	38	25	25	25	25	25	25	25
Median	54	91	26.9	0.200	8.5	36.3	83.5%	82.3%	62.4%	51.9%
Mittelwert	63	92	24.5	0.231	10.3	37.8	81.7%	82.7%	63.8%	51.5%
Standardabw.	46	21	8.0	0.124	6.5	4.2	14.0%	3.6%	13.0%	6.1%
95% Konf-Int.	18	8	2.5	0.049	2.6	1.7	5.5%	1.4%	5.1%	2.4%
Minimum	23	60	9.8	0.098	1.2	31.1	37.5%	76.4%	39.8%	37.4%
Maximum	200	124	37.4	0.672	21.8	45.7	93.7%	88.6%	83.2%	63.5%

\* berechnet

*Tabelle 29: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (6.11.2006 bis 23.4.2007, Ablauftemperatur <12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	25	25	38	25 (1**)	25	25	25	25	25	25
<b>Median</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>0.14</b>	<b>0.044</b>	<b>33.8</b>	<b>35.4</b>	<b>98.8%</b>	<b>96.3%</b>	<b>99.88%</b>	<b>54.8%</b>
Mittelwert	5	20	0.24	0.044	34.2	36.0	98.7%	96.3%	99.64%	53.7%
Standardabw.	1.7	3.0	0.29	0.018	4.7	4.8	0.5%	0.6%	0.48%	7.7%
95% Konf-Int.	0.7	1.2	0.09	0.007	1.8	1.9	0.2%	0.2%	0.19%	3.0%
Minimum	3	16	0.01	0.015	25.3	27.0	97.1%	95.0%	98.34%	25.1%
Maximum	10	26	1.12	0.092	49.8	52.0	99.3%	97.2%	99.98%	69.2%

\* berechnet

\*\* Anzahl Werte kleiner Bestimmungsgrenze (0.015 mg NO<sub>2</sub>-N/l)

**Gesamte Versuchsperiode**

In Diagramm 21 bis Diagramm 24 werden die Zu- und Ablaufkonzentrationen der Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 für CSB, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N und N<sub>ges</sub> über der Versuchsphase dargestellt. Mit Bodenfilter BF3 konnte eine sehr stabile Reinigungsleistung erreicht werden. Die in der 1.AEVka (1996) geforderten Ablaufgrenzwerte für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N wurden eingehalten. Der in der AAEV (1996) festgelegte Ablaufgrenzwert für NO<sub>2</sub>-N von 1 mg/l wurde ebenfalls nicht überschritten (Diagramm 23).

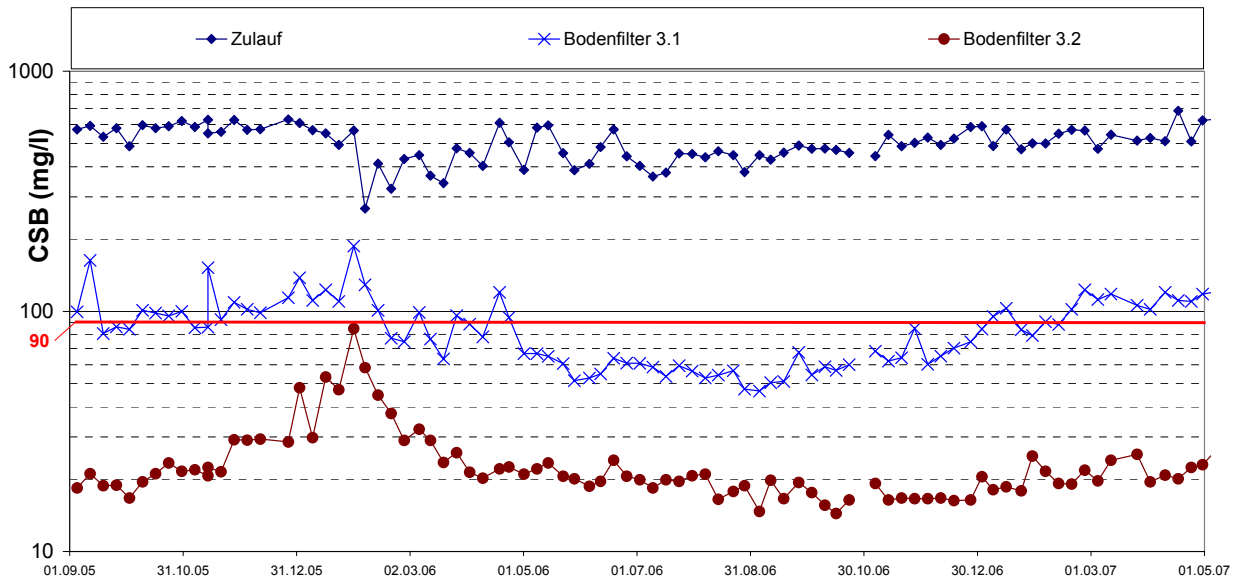


Diagramm 21 CSB – Zu- und Ablaufkonzentrationen BF3.1 und BF3.2

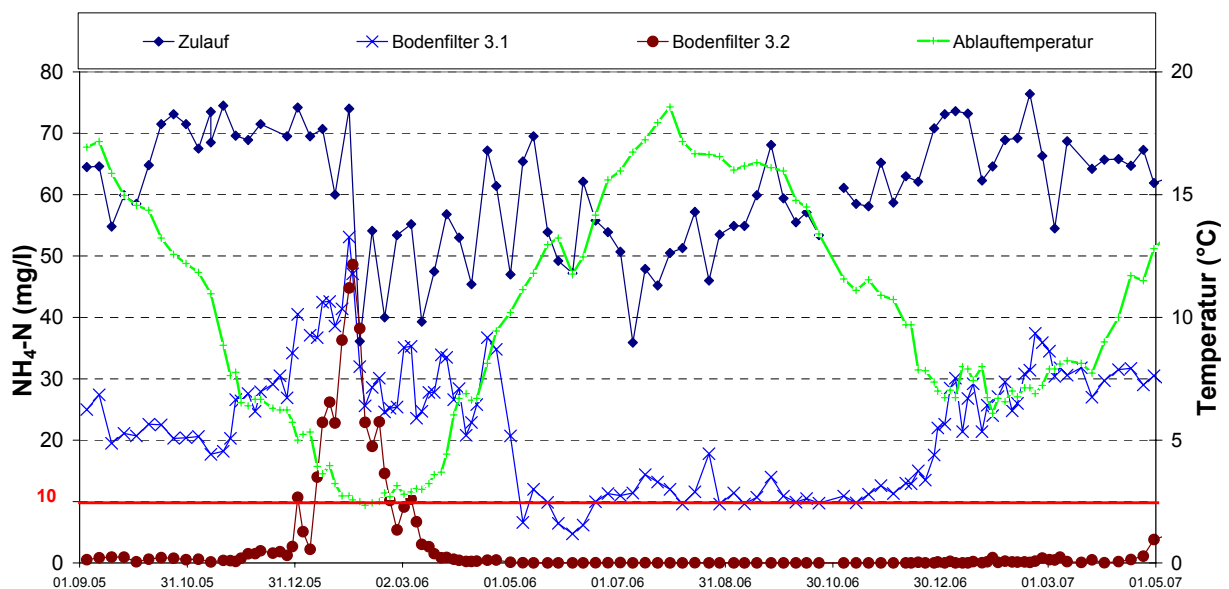


Diagramm 22 NH<sub>4</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen BF3.1 und BF3.2 (die färbig hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Perioden 2 und 4 mit Ablaufwassertemperaturen < 12°C).

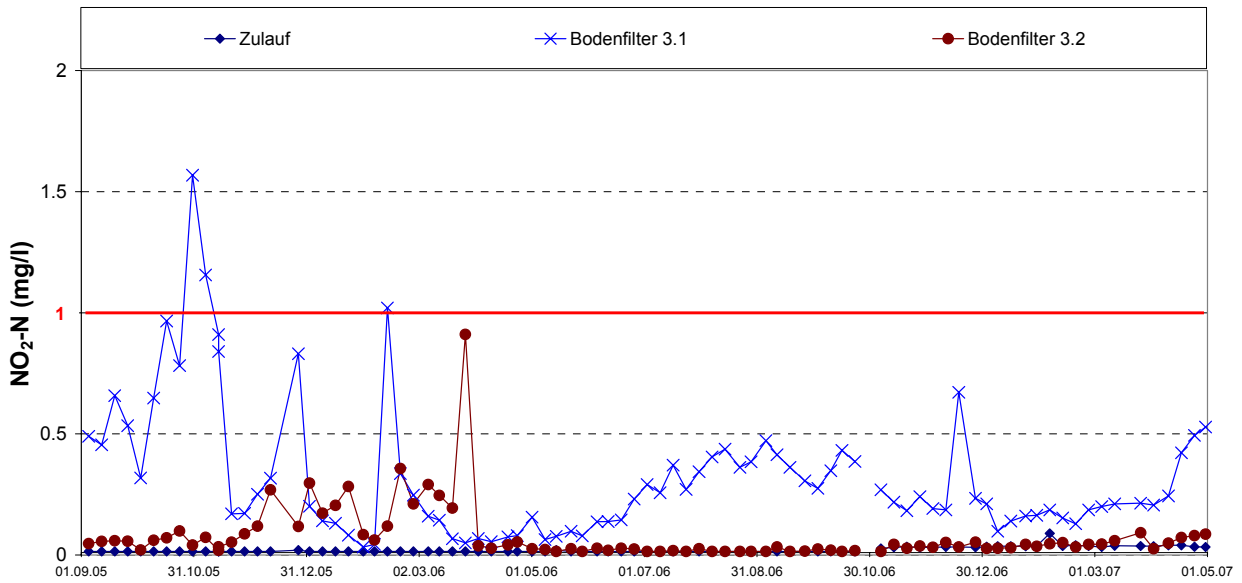


Diagramm 23  $NO_2-N$  – Zu- und Ablaufkonzentrationen BF3.1 und BF3.2

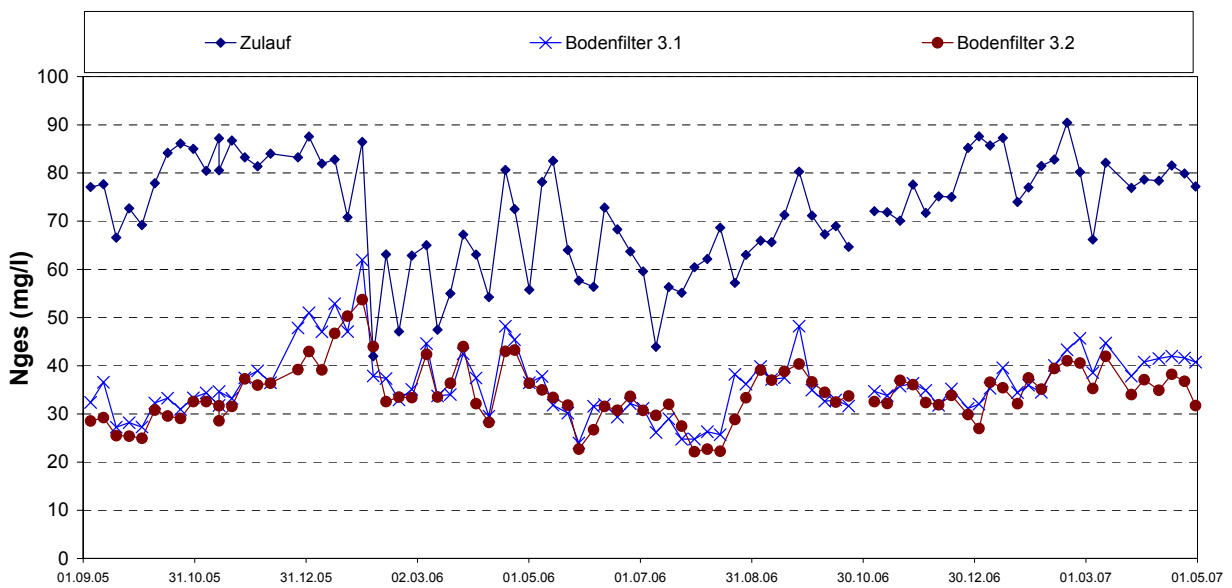


Diagramm 24  $N_{ges}$  – Zu- und Ablaufkonzentrationen BF3.1 und BF3.2

In Diagramm 25 und Diagramm 26 sind die CSB- und  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentrationen des gesamten Bodenfilters BF3 als Funktion der Ablaufwassertemperatur dargestellt. Die Diagramme zeigen den sehr stabilen Betrieb des Bodenfilters. Es kam erst bei Ablauftemperaturen unter  $7^\circ\text{C}$  zu einer Erhöhung der Ablaufkonzentrationen für CSB und  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Die geforderten Ablaufgrenzwerte für CSB wurden auch bei den tiefsten Temperaturen im Winter 2005/06 erreicht. Für  $\text{NH}_4\text{-N}$  wurden die über  $12^\circ\text{C}$  geforderten  $10\text{ mg/l}$  erst bei Ablauftemperaturen unter  $5^\circ\text{C}$  überschritten.

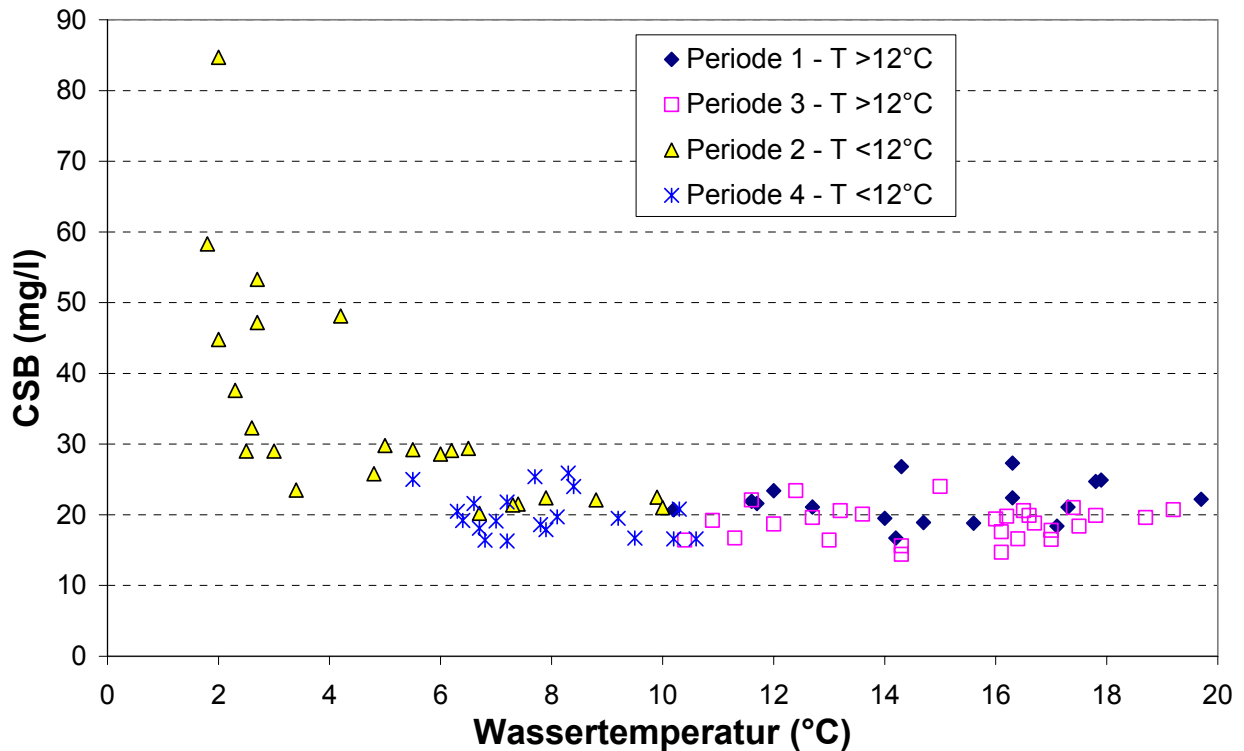


Diagramm 25 CSB-Ablaufkonzentrationen von Bodenfilter BF3 als Funktion der Ablaufwassertemperatur.



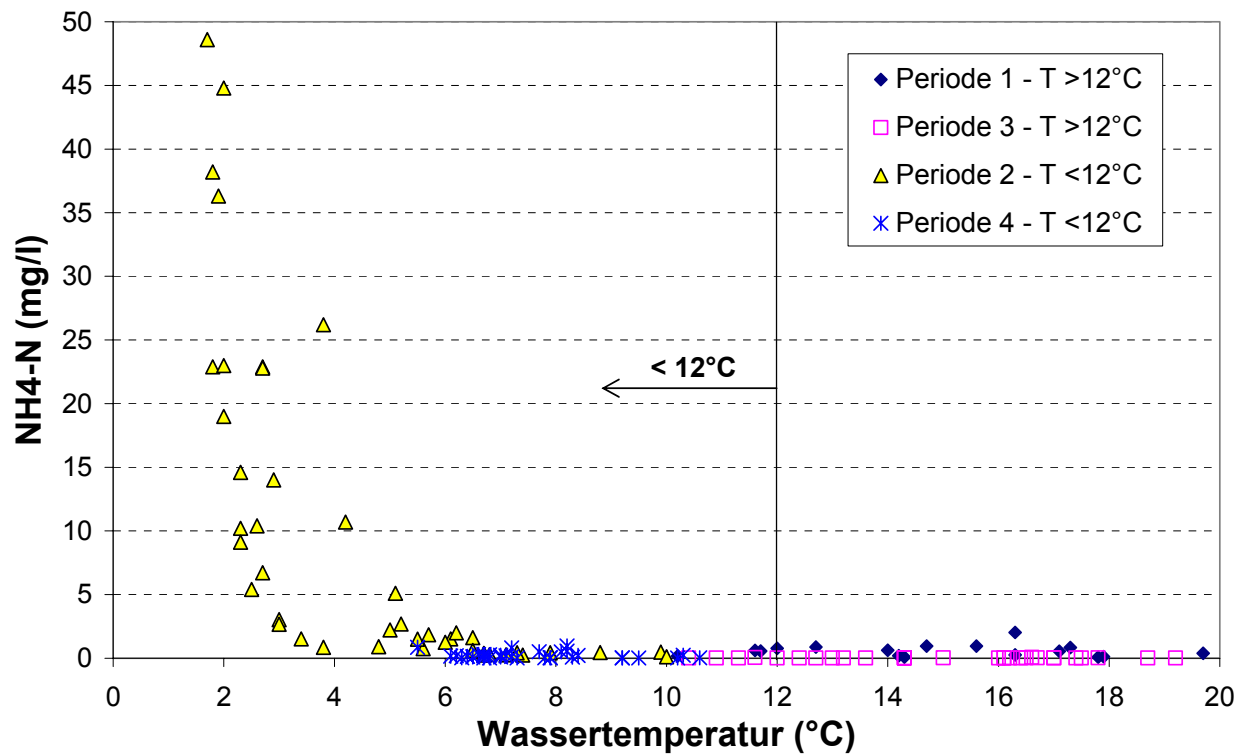


Diagramm 26 *NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen von Bodenfilter BF3 als Funktion der Ablaufwassertemperatur.*

In Tabelle 30 bis Tabelle 37 sind die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen für verschiedene Temperaturbereiche ausgewertet:

- Ablauftemperaturen > 12°C: Tabelle 30 für BF3.1 bzw. Tabelle 31 für BF3 gesamt
- Ablauftemperaturen 8-12°C: Tabelle 32 für BF3.1 bzw. Tabelle 33 für BF3 gesamt
- Ablauftemperaturen 5-8°C: Tabelle 34 für BF3.1 bzw. Tabelle 35 für BF3 gesamt
- Ablauftemperaturen < 5°C: Tabelle 36 für BF3.1 bzw. Tabelle 37 für BF3 gesamt

Bei Ablauftemperaturen > 12°C (Tabelle 30 für BF3.1 bzw. Tabelle 31 für BF3 gesamt) wurden alle geforderten Grenzwerte der Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen eingehalten. Die Ablaufkonzentrationen für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N lagen bei 4, 19 und 0.33 mg/l (gefordert sind 25, 90 bzw. 10 mg/l), die Reinigungsleistungen für BSB<sub>5</sub> und CSB bei 98.7 und 96.0 % (gefordert sind 95 bzw. 85 %). Zusätzlich wurde eine Stickstoffentfernung von ca. 54 % erreicht.

*Tabelle 30: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (Ablaufwassertemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	32	32	32	32	32	32	30	32	32	32
Median	30	71	14.72	0.430	14.2	32.5	91.2%	85.9%	74.0%	53.7%
Mittelwert	22	60	11.50	0.378	14.9	32.2	92.7%	86.8%	79.1%	54.1%
Standardabw.	17	26	6.32	0.280	8.1	5.6	3.3%	3.3%	10.4%	7.5%
95% Konf-Int.	6	9	2.19	0.097	2.8	2.0	1.2%	1.1%	3.6%	2.6%
Minimum	14	47	6.17	0.079	2.6	24.1	82.5%	72.5%	50.7%	35.1%
Maximum	80	163	30.50	1.568	31.2	48.2	94.7%	89.6%	90.1%	63.5%

\* berechnet

*Tabelle 31: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (Ablaufwassertemperatur > 12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	32	32	32	32	32	32	30	32	32	32
<b>Median</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>0.33</b>	<b>0.032</b>	<b>28.9</b>	<b>31.1</b>	<b>98.7%</b>	<b>96.0%</b>	<b>99.50%</b>	<b>55.4%</b>
Mittelwert	4	20	0.03	0.021	29.0	31.4	98.8%	96.2%	99.95%	54.3%
Standardabw.	2	2	0.72	0.023	5.0	5.0	0.3%	0.7%	1.16%	8.4%
95% Konf-Int.	1	1	0.25	0.008	1.7	1.7	0.1%	0.2%	0.40%	2.9%
Minimum	2	14	0.01	0.015	20.7	22.3	97.8%	94.7%	93.83%	35.5%
Maximum	9	24	3.82	0.099	38.8	40.4	99.4%	97.1%	99.98%	68.4%

\* berechnet

Die Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen bei Ablauftemperaturen 8-12°C (Tabelle 32 für BF3.1 bzw. Tabelle 33 für BF3 gesamt) unterschieden sich nicht signifikant von jenen bei Ablauftemperaturen > 12°C. Die Ablaufkonzentrationen für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N lagen bei 4, 20 und 0.23 mg/l, die Reinigungsleistungen für BSB<sub>5</sub>, CSB und Nges bei 98.8, 96.1, und 53.8 %.

*Tabelle 32: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (Ablaufwassertemperatur 8-12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	20	22	25	22	22	22	19	22	22	22
Median	43	89	20.51	0.304	13.5	37.5	88.3%	82.8%	67.1%	51.4%
Mittelwert	37	85	20.60	0.199	9.9	36.0	89.6%	83.4%	71.8%	51.5%
Standardabw.	19	27	9.81	0.293	7.2	5.0	4.7%	4.5%	16.1%	8.1%
95% Konf-Int.	8	11	3.85	0.123	3.0	2.1	2.1%	1.9%	6.7%	3.4%
Minimum	22	53	4.75	0.064	5.0	31.1	76.7%	72.4%	39.8%	37.2%
Maximum	80	152	36.70	1.156	28.6	48.4	93.7%	88.6%	89.9%	65.4%

\* berechnet

*Tabelle 33: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (Ablaufwassertemperatur 8-12°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	22	22	25	22	22	22	21	22	22	22
Median	4	20	0.23	0.040	33.9	35.5	98.8%	96.1%	99.59%	53.8%
Mittelwert	4	21	0.06	0.036	33.2	35.1	98.8%	96.2%	99.76%	55.5%
Standardabw.	1.2	2.7	0.31	0.019	5.4	5.7	0.3%	0.6%	0.45%	9.3%
95% Konf-Int.	0.5	1.1	0.12	0.008	2.3	2.4	0.1%	0.2%	0.19%	3.9%
Minimum	3	16	0.01	0.015	25.4	26.9	98.1%	94.6%	98.34%	27.8%
Maximum	6	26	1.12	0.080	49.8	52.0	99.2%	97.0%	99.98%	67.4%

\* berechnet

Die Medianwerte der Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen bei Ablauftemperaturen 5-8°C (Tabelle 34 für BF3.1 bzw. Tabelle 35 für BF3 gesamt) unterschieden sich nicht signifikant von jenen bei Ablauftemperaturen 8-12°C. Die Ablaufkonzentrationen für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N lagen bei 6, 24 und 0.98 mg/l. Es gab eine einmalige Überschreitung NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen von 10 mg/l, wobei die Einhaltung des Grenzwerts nur bei Ablauftemperaturen > 12°C gefordert wird. Die Reinigungsleistungen für BSB<sub>5</sub>, CSB und N<sub>ges</sub> bei 98.5, 95.8, und 56.2 %.

*Tabelle 34: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (Ablaufwassertemperatur 5-8°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	20	21	39	21	21	21	20	21	21	21
Median	52	98	27.34	0.228	6.7	38.0	86.3%	82.3%	59.1%	53.4%
Mittelwert	52	99	27.00	0.186	5.6	37.6	87.4%	82.1%	59.5%	54.3%
Standardabw.	17	17	5.73	0.186	4.1	5.1	4.7%	2.3%	9.1%	7.1%
95% Konf-Int.	7	7	1.80	0.079	1.7	2.2	2.0%	1.0%	3.9%	3.0%
Minimum	23	70	13.50	0.055	1.2	29.7	76.8%	78.3%	41.0%	39.3%
Maximum	76	138	40.50	0.831	16.7	48.1	93.0%	87.3%	75.85%	64.4%

\* berechnet

*Tabelle 35: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (Ablaufwassertemperatur 5-8°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	21	21	40	21	21	21	21	21	21	21
<b>Median</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>0.98</b>	<b>0.081</b>	<b>32.7</b>	<b>35.7</b>	<b>98.5%</b>	<b>95.8%</b>	<b>99.04%</b>	<b>56.2%</b>
Mittelwert	5	22	0.30	0.046	33.1	36.3	98.6%	95.7%	99.45%	56.9%
Standardabw.	2.9	7.1	1.86	0.077	3.7	4.4	0.6%	0.8%	1.00%	6.6%
95% Konf-Int.	1.3	3.0	0.58	0.033	1.6	1.9	0.2%	0.3%	0.43%	2.8%
Minimum	3	16	0.02	0.027	25.3	27.0	97.1%	94.6%	96.79%	37.1%
Maximum	15	48	10.70	0.297	39.4	44.3	99.3%	97.2%	99.98%	70.0%

\* berechnet

Bei den BSB<sub>5</sub> - und CSB-Ablaufkonzentrationen bei Ablauftemperaturen < 5°C (Tabelle 36 für BF3.1 bzw. Tabelle 37 für BF3 gesamt) kam es mit 26 mg BSB<sub>5</sub>/l zu einer einmaligen Überschreitung des BSB<sub>5</sub> –Grenzwerts von 25 mg/l; ansonsten wurden die geforderten Ablaufkonzentrationen eingehalten. Die erforderlichen Reinigungsleistungen wurden im Winter 2005/06 teilweise nicht erreicht, was aber vor allem auf die niedrige Zulaufkonzentration in dieser Periode zurückzuführen ist. Auch in der kältesten Periode wurde eine Stickstoffentfernung von ca. 37 % erreicht.

*Tabelle 36: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3.1 (Ablaufwassertemperatur < 5°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	11	11	22	11	11	11	11	11	11	11
Median	58	103	33.42	0.210	4.4	42.8	78.5%	74.9%	37.6%	35.6%
Mittelwert	40	99	32.75	0.131	5.0	38.1	81.9%	77.7%	38.5%	36.1%
Standardabw.	35	35	8.14	0.284	1.8	9.7	10.6%	8.6%	10.8%	9.1%
95% Konf-Int.	20	20	3.40	0.168	1.0	5.7	6.3%	5.1%	6.4%	5.4%
Minimum	22	63	23.60	0.033	1.0	33.0	61.1%	51.9%	11.4%	12.8%
Maximum	120	187	53.10	1.020	6.6	62.3	90.8%	82.6%	52.4%	46.4%

\* berechnet

*Tabelle 37: Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen Bodenfilter BF3 gesamt (Ablauftemperatur < 5°C)*

	Konzentrationen (mg/l)						Reinigungsleistungen			
	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub> *	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>
Anzahl	11	11	22	11	11	11	11	11	11	11
<b>Median</b>	<b>13</b>	<b>42</b>	<b>17.46</b>	<b>0.269</b>	<b>21.1</b>	<b>41.4</b>	<b>95.0%</b>	<b>89.5%</b>	<b>67.0%</b>	<b>36.5%</b>
Mittelwert	12	38	14.30	0.211	24.0	42.7	95.5%	90.4%	67.6%	37.1%
Standardabw.	8	18	14.45	0.231	12.3	7.6	3.0%	4.5%	29.5%	14.9%
95% Konf-Int.	5	11	6.04	0.137	7.3	4.5	1.8%	2.6%	17.4%	8.8%
Minimum	4	24	0.85	0.062	1.8	33.1	87.8%	78.2%	-5.8%	-2.1%
Maximum	26	85	48.60	0.911	40.4	54.7	98.6%	93.3%	96.8%	52.5%

\* berechnet

### Vergleich Bodenfilter BF3 mit Bodenfilter BF1 und BF2

In Diagramm 27 und Diagramm 28 wird die Temperaturabhängigkeit der CSB- und  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentrationen von Bodenfilter BF3 mit BF1 und BF2 verglichen. Für Bodenfilter BF1 und BF2 wurden dabei nur jene Werte dargestellt, bei denen die Filter nicht verstopft waren. Bei den tiefsten gemessenen Temperaturen wurden mit dem zweistufigen Bodenfilter BF3 tendenziell geringere Ablaufkonzentrationen erreicht als mit den einstufigen Bodenfiltern BF1 und BF2.

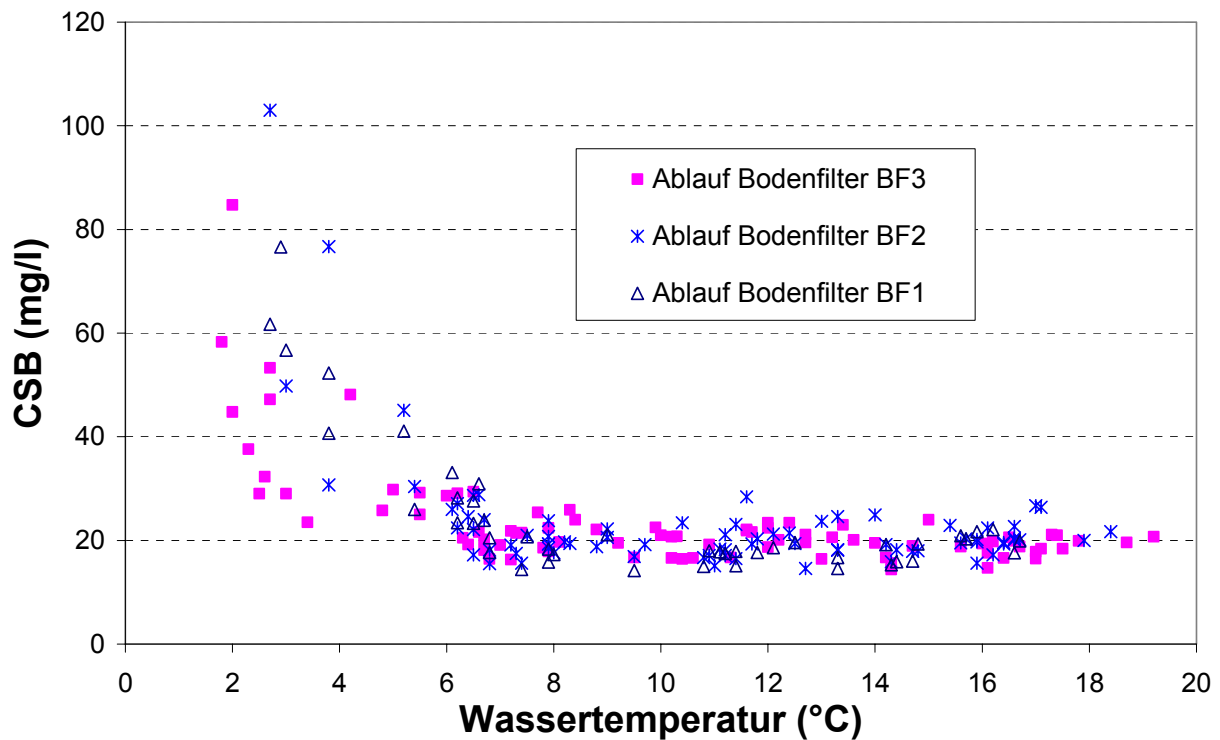


Diagramm 27 CSB-Ablaufkonzentrationen der Bodenfilter BF1, BF2 und BF3 als Funktion der Ablaufwassertemperatur.

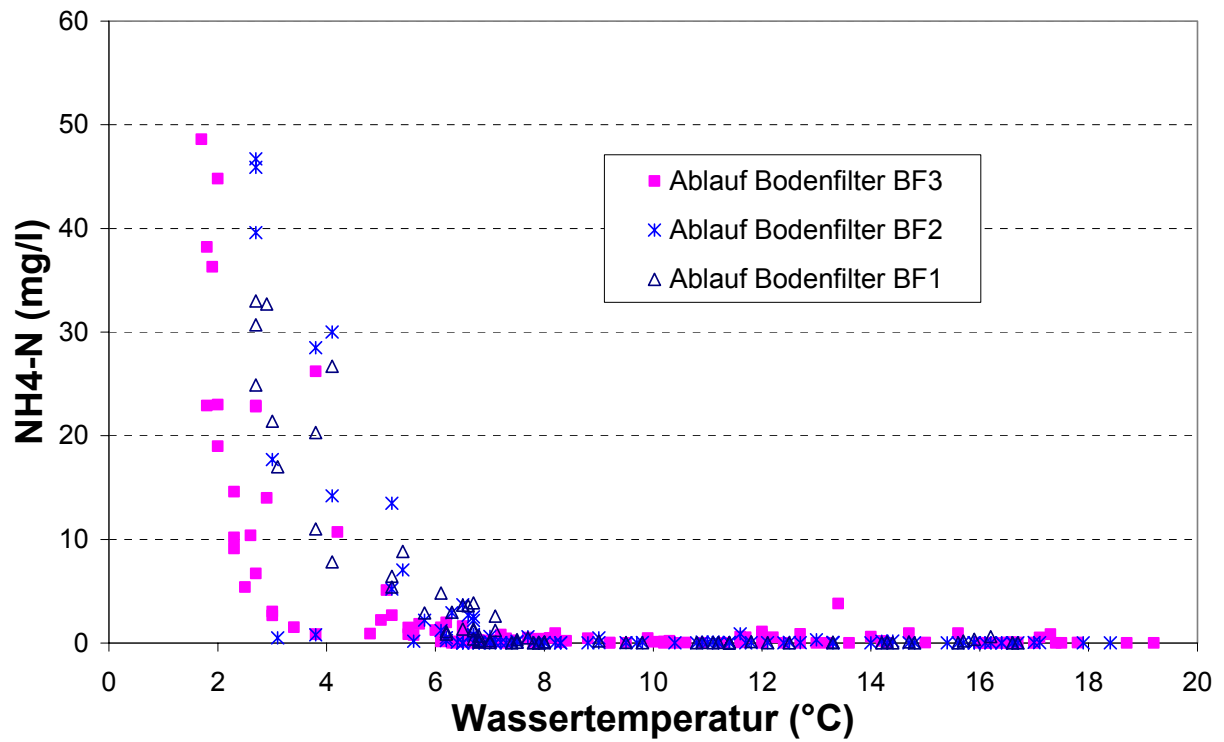


Diagramm 28 *NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen der Bodenfilter BF1, BF2 und BF3 als Funktion der Ablaufwassertemperatur.*

### 3.4 Kosten

Folgend wird ein Vergleich der Errichtungskosten eines einstufigen Bodenfilters (ohne Deckschichte – in der Ausführung gemäß BF2) mit jenen eines zweistufigen Bodenfilters (in der Ausführung gemäß BF3) anhand der Kosten der Versuchsanlage in Ernsthofen durchgeführt. Die Kosten sind aus den Errichtungskosten der einstufigen Bodenfilter und aus den Umbaukosten von BF3 zu einem zweistufigen Bodenfilter berechnet. Die Kostenaufstellung erhebt daher keinen Anspruch, Marktpreise wiederzugeben und ist bloß zur Dokumentation der Unterschiede zwischen einstufigen und zweistufigen Bodenfiltern gedacht.

In Tabelle 38 sind die wesentlichen Massen für die Herstellung der beiden Bodenfiltertypen gegenüber gestellt und aus diesen mit den Einheitspreisen (abgeleitet aus den o.a. Bautätigkeiten) die Positionspreise errechnet.

Wesentliche bauliche Unterschiede zwischen dem einstufigen und dem zweistufigen Bodenfilter sind:

- Trennwand zwischen 1. Stufe und 2. Stufe (Anmerkung: die Trennwand ist nicht nötig, wenn zwei getrennte Beete errichtet werden).
- Unterschiedliche Bodenfiltermaterialien in 1. Stufe und 2. Stufe
- Zusätzlicher Schacht und Abwasserhebeeinrichtung zwischen 1. Stufe und 2. Stufe

Anzumerken ist, dass der gegenständliche BF3 eine Pumpe für die Hebung des Abwassers aus der 1. Stufe (BF3.1) in die 2. Stufe (BF3.2) besitzt, die allerdings bei geeignetem Gelände durch einen mechanischen Heber ersetzt werden kann.

Die 3-Kammer-Anlage wurde kostenmäßig nicht berücksichtigt, da sie in beiden Varianten nötig ist bzw. in der Praxis im Falle der Neuerrichtung einer Bodenfilteranlage oft bereits eine 3-Kammer-Anlage vorhanden ist, welche dann weiterverwendet werden kann.

Zum Vergleich der Errichtungskosten in Tabelle 38 werden die spezifischen Errichtungskosten in EUR pro EW herangezogen. Für einen einstufigen Bodenfilter ergeben sich 2.000 EUR/EW, wenn der Bodenfilter nach ÖNORM B 2505 (i.d.F. 2005) mit  $4 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  bemessen wird, bzw. 1.500 EUR/EW, wenn der Bodenfilter, wie in Stufe 2 des Projekts getestet, mit  $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  bemessen wird.

Durch die zweistufige Ausführung sinken die spezifischen Errichtungskosten auf 1.200 EUR/EW, d.h. auf ca. 60 % des Werts eines nach ÖNORM B 2505 (i.d.F. 2005) dimensionierten einstufigen Bodenfilters. Der Kostenvorteil erhöht sich noch, wenn der für die Errichtung des Bodenfilters nötige Platzbedarf mitberücksichtigt wird.



Tabelle 38: Kostenvergleich einstufiger und zweistufiger Bodenfilter

Position	Einheit	einstufig		zweistufig
		BF2		BF3
spezifische Oberfläche	m <sup>2</sup> /EW	4	3	2
Oberfläche	m <sup>2</sup>	18	18	18
Anlagengröße	EW	4,5	6	9
Vorbereitende Erdarbeiten	EUR	1.700	1.700	1.700
Bausatz Vertikalfilter (Folien, Pumpe, Verteilerrohre, Beschickungsrohre, Einstauhöhenregulierung, etc.)	EUR	2.100	2.100	2.100
Sauberkeitsschicht gesamt, Folie verlegen, Drainageschicht gesamt	EUR	800	800	850
Sand / Kies für Hauptschicht gesamt	EUR	900	900	900
Beschickungsrohre verlegen	EUR	400	400	450
Beschickungsschacht inkl. Pumpe (2.Stufe) gesamt	EUR	0	0	950
Tennwand zwischen 1. u. 2.Stufe gesamt	EUR	0	0	300
Bepflanzung	EUR	200	200	200
Anschlussarbeiten	EUR	1.600	1.600	1.750
Automatisierte Beschickungseinrichtung	EUR	1.000	1.000	1.150
Dichtheitsprüfung	EUR	500	500	500
SUMME, exkl. USt., gerundet	EUR	9.200	9.200	10.850
<b>SUMME, exkl. USt., gerundet</b>	<b>EUR/EW</b>	<b>2.000</b>	<b>1.500</b>	<b>1.200</b>

## 4 ZUSAMMENFASSUNG

### 4.1 Ziele

Aufbauend auf die Ergebnisse und Erkenntnisse der 1. Stufe des Forschungsprojekts "Bepflanzte Bodenfilter" waren die Hauptziele der 2. Stufe Untersuchungen zu folgenden Schwerpunkten:

- **Weitergehender Nährstoffelimination:**  
Die Untersuchung eines zweistufigen Bodenfilters zur Verbesserung der Stickstoffentfernung (1. Reinigungsstufe: Sand mit einer Körnung von 2.0/3.2 mm, mit eingestauter Drainageschicht; 2. Reinigungsstufe: Sand mit einer Körnung von 0.06/4 mm) unter realen Bedingungen (im Freien) bei einer Dimensionierung auf einen Flächenbedarf von 2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> (Bodenfilter BF3).
- **Stabilisierung des Winterbetriebs:**  
Eine vergleichende Untersuchung zweier Bau-/Betriebsweisen (mit und ohne Kiesabdeckung) unter kontrollierten Bedingungen bei einer Dimensionierung auf einen Flächenbedarf von 3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> (in den Bodenfiltern BF1 und BF2).
- **Ausnutzung des Kostendämpfungspotentials:**  
Die Zwischenergebnisse der Technikumsversuche aus der 1. Stufe des Forschungsprojekts hatten aufgezeigt, dass bepflanzte Bodenfilter noch immer ein großes Kostendämpfungspotential beinhalten. Jedoch muss für eine Dimensionierung von einstufigen Filters mit einem Flächenbedarf von weniger als 4 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> (entsprechend ÖNORM B 2505 Vornorm, Stand 1.5.2005) bzw. bei einer Empfehlung zum Bau eines zweistufigen Bodenfilters (wie oben beschrieben) zuerst eine ausreichende Abbauleistung und Betriebssicherheit im Winter gesichert sein.

### 4.2 Betrieb

Die Forschungsanlage Ernthofen wurde auf dem Areal der Kläranlage (ARA) der Gemeinde Ernthofen in Niederösterreich (Seehöhe 280 m) errichtet und besteht aus 3 vertikal durchströmten, jeweils ca. 20 m<sup>2</sup> großen, bepflanzten Bodenfiltern. Das Abwasser wird mittels einer Pumpe aus dem Zulauf (nach Rechen und Sandfang) der ARA Ernthofen entnommen und einer, der Versuchsanlage zugehörigen, mechanischen Vorreinigung (3-Kammer-Anlage) zugeführt.

Im Gegensatz zu den Dimensionierungsangaben der ÖNORM (4m<sup>2</sup>/EW) wurde die Dimensionierung der gegenständlichen Bodenfilter mit höher belasteten Filterflächen ausgeführt. Die Bodenfilter BF1 und BF2 wurden mit jeweils 26.7 g CSB/m<sup>2</sup>/d (3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) belastet, während BF3 mit 40 g CSB/m<sup>2</sup>/d (2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) belastet wurde. Die Versuchsphase erstreckte sich von September 05 bis Juni 07, siehe Zeitplan in Tabelle 1.

## 4.3 Ergebnisse

### 4.3.1 Stabilisierung des Winterbetriebs

Mit den Bodenfiltern BF1 und BF2 (dimensioniert auf  $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$ ) wurde untersucht, inwieweit sich eine 15 cm starke Deckschicht (Rundkies 4/8 gewaschen) auf die Stabilisierung des Winterbetriebs auswirkt. Die beiden baugleichen Bodenfilter wurden gemäß ÖNORM B 2505 (Vornorm, Stand 1.5.2005) errichtet und unterscheiden sich lediglich dadurch von einander, dass Bodenfilter BF1 zusätzlich mit einer 15 cm starken Kiesdeckschicht (Rundkies 4/8) ausgestattet ist, die im Winter als isolierende Schicht wirken soll.

Während des strengen Winters 2005/06 zeigte Bodenfilter BF1 (mit Deckschicht) erhebliche Vorteile gegenüber Bodenfilter BF2 (ohne Deckschicht). Bodenfilter BF2 froh in der Periode mit den tiefsten Lufttemperaturen (Jänner 2006) ein, während Bodenfilter BF1 während der gesamten Periode mit kalten Temperaturen betrieben werden konnte. Daraus kann geschlossen werden, dass ein gesicherter Winterbetrieb ohne Deckschicht bei einer Dimensionierung des Bodenfilters auf  $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  nicht möglich ist. Damit wurden gleichzeitig die Ergebnisse der ersten Stufe des Forschungsprojekts bestätigt.

Nachdem die Deckschicht bei Bodenfilter BF1 im Winter 2005/06 Vorteile im Betrieb bei tiefen Temperaturen zeigte, kam es jedoch im Frühjahr 2006 bei wärmeren Temperaturen zu einem Anstieg der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentrationen bei Bodenfilter BF1 während Bodenfilter BF2 nach einer Betriebspause von 4 Wochen wieder voll funktionsfähig war (auch während der gesamten weiteren Versuchsdauer). Aufgrund der ansteigenden  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentrationen wurde Bodenfilter BF1 (mit Deckschicht) zur Regeneration außer Betrieb genommen und nach einer Beschickungsunterbrechung von einigen Wochen im Frühjahr 2006 wieder in Betrieb genommen, konnte aber trotz warmer Temperaturen nicht mehr die Reinigungsleistung von Bodenfilter BF2 (ohne Deckschicht) erreichen. Im August 2006 kam es dann bei Bodenfilter BF1 zur Verstopfung. Nach einer Regenerationsphase ohne Beschickung von einigen Wochen konnte Bodenfilter BF1 wieder in Betrieb genommen werden, verstopfte aber im März 2007 wieder. Die Verstopfungen traten unabhängig von der Jahreszeit auf.

Aufgrund dieser Betriebserfahrungen kann geschlossen werden, dass ein gesicherter Betrieb mit Deckschicht bei einer Dimensionierung des Bodenfilters auf  $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  ebenfalls nicht erreicht werden kann. Folgende Gründe dürften dafür ausschlaggebend sein:

- Die Deckschicht vermindert den Austausch an der Grenzfläche Boden/Luft und damit den Sauerstoffeintrag in die Hauptschicht. Bei einer Dimensionierung des Bodenfilters auf  $3 \text{ m}^2/\text{EW}_{\text{CSB}}$  dürfte die verfügbare Sauerstoffmenge zu gering sein, um eine vollständige Mineralisierung der organischen Schmutzstoffe zu gewährleisten.
- Die Halme des Schilfs wurden durch die Deckschicht weitgehend immobilisiert, weshalb die Oberfläche der Hauptschicht nicht mehr mit durch den Wind verursachte Bewegung der Halme aufgebrochen wird, so wie das ohne Deckschicht der Fall gewesen wäre.
- Auch wenn gewaschener Kies eingesetzt wird, können noch genügend Feinanteile am Kies anhaften, die den Filter verstopfen können, sobald sie (insbesondere durch starken Niederschlag) ausgewaschen werden. Es wird angenommen, dass das bei BF1 der Fall war. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass die Betriebsprobleme mit Bodenfilter BF1 nach den ersten Starkregenereignissen begannen.

Die Ergebnisse des Vergleichs der Bodenfilter BF1 und BF2 können wie folgt zusammengefasst werden:

Ein **gesicherter Betrieb** eines einstufigen, bepflanzten, vertikal durchströmten Bodenfilters mit oder ohne Deckschicht mit einer Dimensionierung auf **3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> konnte** im Rahmen dieses Projekts **nicht nachgewiesen werden**,

- da ein gesicherter Winterbetrieb **ohne** Deckschicht bei tiefen Temperaturen nicht gewährleistet ist und
- ein gesicherter Betrieb **mit** Deckschicht bei einer Dimensionierung des Bodenfilters auf 3 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> ebenfalls nicht nachweisbar war.

### 4.3.2 Weitergehende Stickstoffelimination

Im zweistufigen Bodenfilter BF3, der mit 40 g CSB/m<sup>2</sup>/d belastet wurde (Flächenbedarf gesamt 2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>, Bodenfilter BF3.1 und BF3.2 mit jeweils 1 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>), wurde eine weitergehende Stickstoffelimination untersucht. Die beiden vertikal durchströmten Filter sind dahingehend unterschiedlich, dass die Hauptschicht von Bodenfilter BF3.1 mit größerem Substrat (geplant war gewaschener Sand 1/4 mm; eingebaut wurde gewaschener Sand 2.0/3.2 mm) ausgestattet ist als die Hauptschicht von Bodenfilter BF3.2 (gewaschener Sand 0.06/4 mm).

Tabelle 39 zeigt zusammengefasst die Medianwerte der Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen der Parameter BSB<sub>5</sub>, CSB, NH<sub>4</sub>-N und N<sub>ges</sub> für Bodenfilter BF3 gesamt für verschiedene Temperaturbereiche. Im Ablauf waren die Konzentrationen von und die Reinigungsleistungen für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N bei Ablaufwassertemperaturen > 12°C sehr stabil und mit einem einstufigen System mit niedriger Belastung (3m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) vergleichbar (z.B. Bodenfilter BF2). Eine N<sub>ges</sub> Elimination von > 50% konnte ohne Rezirkulation erreicht werden. Das bedeutet, dass das **zweistufige System bei geeignetem Gelände auch ohne Pumpen betrieben werden kann**.

Bei Bodenfilter BF3 gab es keine hydraulischen Probleme, der Winterbetrieb funktionierte auch bei tiefen Ablaufwassertemperaturen einwandfrei. Bei den **tiefsten gemessenen Temperaturen** wurden mit dem **zweistufigen Bodenfilter** tendenziell **geringere Ablaufkonzentrationen** erreicht als mit den **einstufigen Bodenfiltern** (BF1 und BF2).

Tabelle 39: Medianwerte der Ablaufkonzentrationen (mg/l) und Reinigungsleistungen (%) für Bodenfilter BF3 bei verschiedenen Ablaufwassertemperaturen.

Parameter	Gesamt		T > 12°C		8°C < T < 12°C		5°C < T < 8°C		T < 5°C	
<b>BSB<sub>5</sub></b>	4	98.7%	4	98.7%	4	98.8%	6	98.5%	13	95.0%
<b>CSB</b>	21	95.9%	19	96.0%	20	96.1%	24	95.8%	42	89.5%
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	0.3	99.68%	0.33	99.5%	0.23	99.59%	0.98	99.0%	17.5	67.0%
<b>N<sub>ges</sub></b>	33.9	53.2%	31.1	55.4%	35.5	53.8%	35.7	56.2%	41.4	36.5%

Die Ergebnisse des zweistufigen Bodenfilters BF3 zur weitergehenden Stickstoffelimination können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Ein **gesicherter Betrieb** eines zweistufigen, bepflanzten, vertikal durchströmten Bodenfilters (1.Stufe: Sand mit einer Körnung von 2.0/3.2 mm, mit eingestauter Drainageschicht; 2.Stufe: Sand mit einer Körnung von 0.06/4 mm mit einem Flächenbedarf von **2 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>** (pro Stufe 1 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) **ist möglich**.
2. Im Ablauf des Bodenfilters BF3 waren die **Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen** für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N **sehr stabil** und mit den einstufigen Bodenfiltern BF1 und BF2 mit niedriger Belastung vergleichbar. Bei sehr niedrigen Ablaufwassertemperaturen (< 5°C) waren die Ablaufkonzentrationen im zweistufigen System tendenziell geringer als in den einstufigen Bodenfiltern.
3. Die **gesetzlich geforderten Ablaufkonzentrationen und Reinigungsleistungen** für BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N **wurden stabil eingehalten**. Der Grenzwert der NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentrationen von 10 mg/l wurde erst bei Ablaufwassertemperaturen von kleiner 5°C überschritten. Gefordert ist eine Einhaltung des Grenzwerts erst bei Ablauftemperaturen von größer 12°C.
4. **Zusätzlich** konnte eine **Stickstoffelimination** von **> 50%** bei Ablaufwassertemperaturen größer 5°C erreicht werden. Die erhöhte Stickstoffelimination kann **ohne Rezirkulation** erreicht werden. Damit ist bei geeignetem Gelände auch ein Bau des zweistufigen Systems ohne Pumpen möglich.
5. Es ergaben sich demgemäß durch die zweistufige Anordnung offensichtlich Vorteile betreffend Reinigungsleistung gegenüber einstufiger Anordnung. Durch den kleineren Flächenbedarf der zweistufigen Anordnung sind die Errichtungskosten per EW geringer als bei einem einstufigen Bodenfilter.

## 4.4 Ausblick

Ausgehend von den Ergebnissen der 1. und 2. Stufe sollen die Untersuchungen an der Versuchsanlage in Ernsthofen weitergeführt werden. Da es sich beim zweistufigen Aufbau vertikal durchströmter, bepflanzter Bodenfilter um ein neuartiges System handelt, soll in einer **3. Stufe des Forschungsprojekts "Bepflanzte Bodenfilter"** eine weitere Verifizierung der Ergebnisse hinsichtlich folgender Punkte erfolgen:

1. Weitere Betriebserfahrungen insbesondere zum Verhalten des zweistufigen Systems im Winter werden benötigt. Durch den milden Winter 2006/07 ist keine endgültige Aussage über den gesicherten Winterbetrieb möglich. Deshalb soll der bestehende zweistufige Bodenfilter BF3 weiter wie bisher mit einer Belastung von 40 g CSB/m<sup>2</sup>/d (2m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub>) betrieben werden.
2. Der Vergleich mit einem einstufigen Bodenfilter, der entsprechend ÖNORM B 2505 (2005) auf 4 m<sup>2</sup>/EW<sub>CSB</sub> dimensioniert wird (20 g CSB/m<sup>2</sup>/d), soll dazu führen, dass das zweistufige System auch von den maßgeblichen Behörden anerkannt wird. Dazu kann Bodenfilter BF2 ohne Umbaumaßnahmen, nur mit gegenüber der 2. Stufe des Forschungsprojekts geänderter Flächenbelastung, weiter betrieben werden.
3. Der zweistufige Bodenfilter BF3 wurde bisher mit einem konstanten Beschickungsintervall von 3 Stunden betrieben. In Stufe 3 des Forschungsprojekts "Bepflanzte Bodenfilter" sollen realitätsnahe Beschickungsmuster simuliert werden.
4. Um bepflanzte Bodenfilter mit konventionellen technischen Kleinkläranlagen besser vergleichen zu können, soll bei den Bodenfiltern BF1 und BF2 das 48-wöchige Versuchsprogramm, das für die Typenprüfung von technischen Anlagen in der "DIN EN 12556-3: Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW. Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser" beschrieben wird, durchgeführt werden. BF1 soll hierfür ebenfalls in einen zweistufigen Bodenfilter umgebaut werden.

Der Antrag für eine 3. Stufe des Forschungsprojekts „Bepflanzte Bodenfilter“ wird gleichzeitig mit dem Endbericht zur 2. Stufe des Forschungsprojekts vorgelegt.

Wien, August 2007

## 5 LITERATUR

1.AEVka (1996). 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser. BGBl.210/1996, Wien.

AAEV (1996). Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV). BGBl.186/1996, Wien.

ATV A 262 (1997), *Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers*, ATV-DVWK-Fachausschuss

ÖNORM B 2505 (Vornorm, Stand: 01.05.2005): *Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen)*. Österreichisches Normungsinstitut

# **ANLAGEN**

## **Anlage 1: Pläne**

- Grundriss
- Längenschnitt
- Detail

## **Anlage 2: Analysen**

- Analyseergebnisse der von Ökoreal in Ernsthofen gezogenen Proben.
- Diagramme der Analyseergebnisse aller in Ernsthofen gezogenen Proben (ARA Ernsthofen und Vergleichsanalysen)



## **Anlage 1**

### **Pläne**

Grundriss

Längenschnitt

Detail

## **Anlage 2**

### **Analysen**

Analyseergebnisse der in Ernsthofen von Ökoreal gezogenen Proben

Diagramme der Analyseergebnisse aller in Ernsthofen gezogenen Proben (ARA Ernsthofen und Vergleichsanalysen)

# Forschungsprojekt "Bepflanzte Bodenfilter"

## Stufe 2

### Messprogramm ÖKOREAL

#### Legende:

- Zulauf ..... Zulauf aus 3. Kammer der 3-Kammer-Anlage  
 Ablauf 1 ..... Ablauf aus Filter 1 unter Kippe 1  
 Ablauf 2 ..... Ablauf aus Filter 2 unter Kippe 2  
 Ablauf 3.1 ... Ablauf aus Filter 3 - Stufe 1 (im Schacht)  
 Ablauf 3.2 ... Ablauf aus Filter 3 - Stufe 2 (unter Kippe 3)

## Temperatur

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Datum	Temperatur				
	[°C]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	16,1	14,7	14	16,6	14,3
04.07.2005	18,5	17,7	16,5	19,4	17,9
18.07.2005	18,9	17,6	16,6	19,4	17,8
01.08.2005	20,4	19,2	18,4	21,4	19,7
16.08.2005	18,1	17,9	16,2	17,9	16,3
17.08.2005	17,7	16,5	15,7	17,2	16
30.08.2005	18,2	15,9	16	16,5	16,3
05.09.2005	18,6	17,1	16,6	18,4	17,1
12.09.2005	18,8	17,5	16,7	18,9	17,3
19.09.2005	17,8	16,4	15,6	16,9	15,6
26.09.2005	17,3	15,4	14,8	16,4	14,7
03.10.2005	16,4	15,1	14,4	15,2	14,2
10.10.2005	16,2	14,9	14,2	15,2	14
17.10.2005	15,3	13,7	13,3	13,5	12,7
24.10.2005	14,7	13,2	12,5	13,2	12
31.10.2005	14	12,8	12,1	12,8	11,7
07.11.2005	13,7	12,1	11,8	13	11,6

14.11.2005	13,1	11,6	11,1	11,8	10,2
21.11.2005	11,6	9,7	9	9	7,9
25.11.2005		8,5	7,7	7,4	6,7
28.11.2005	10,3	8,4	7,5	7,2	7,4
01.12.2005		7,3	6,7	6,6	5,6
05.12.2005	9,8	7,2	6,5	6,9	5,5
09.12.2005		7,2	6,7	7,2	6,1
12.12.2005	10	7,2	6,6	7	6,2
19.12.2005	8,6	6,3	6,1	6,1	6,5
23.12.2005		6,7	6,3	6,9	5,7
27.12.2005	8,5	6,5	6,2	6,9	6
30.12.2005		6,2	5,8	5,9	5,2
02.01.2006	8,3	5,6	5,2	5,6	4,2
05.01.2006		5,4	5,2	5,3	5,1
09.01.2006	8,1	5,6	5,4	6	5
13.01.2006		4,8	4,1	3,7	2,9
16.01.2006	6,6	4,4	3,8	3,8	2,7
20.01.2006		4	4,1	3,3	3,8
23.01.2006	6,4	4	3	4,6	2,7
27.01.2006		3,6	2,7	2	1,9
31.01.2006	5,8	3,3	2,9	2,2	2
02.02.2006		3,3	2,7	1,6	1,7
06.02.2006	6,1	3	2,7	1,9	1,8
09.02.2006		2,9		2	1,8
13.02.2006	5,6	2,9		3	2
17.02.2006		3		3,4	2
20.02.2006	5,4	3,4		4,5	2,3
23.02.2006		3,1		5,1	2,3
27.02.2006	5,6	3,8		4,4	2,5
03.03.2006		3,4	2,7	3	2,3
07.03.2006	6,4	3,4	2,7	4,3	2,6
10.03.2006		3,6	2,8	4,8	2,7
13.03.2006	6,2	3,4	2,6	5,1	3
17.03.2006		3,8	2,9	4,8	3
20.03.2006	7,1	4,1	3,3	4,9	3,4
24.03.2006		4,2	3,1	5,6	3,8
27.03.2006	7,3	4,7	3,8	6,5	4,8
31.03.2006		6	5,6	8,3	6,5
03.04.2006	8,7	6,4	6,4	9,1	7,3
07.04.2006		6,9	6,7	8,7	7,1
10.04.2006	9,2	6,7	6,5	8	6,7
13.04.2006		6,8	6,5	8,5	6,8
19.04.2006	10,2	7,7	7,9	10,6	8,8
24.04.2006	10,9		9	11,7	9,9
02.05.2006	12,6		10,4	11,7	10
09.05.2006	12,9	10,8	11	13,3	11,6
15.05.2006	13,2	11,4	11,6	13,7	12,4
23.05.2006	14,8	12,7	13	13,8	13,2
29.05.2006	15,1	12,8	13,3	15	13,6
06.06.2006	13,9	11,6	11,7	13,2	12
12.06.2006	14,2	12,3	12,4	14,1	12,7
19.06.2006	15,8	13,5	14	16,8	15

26.06.2006	17	14,9	15,4	18,3	16,5
03.07.2006	17,8	15,4	15,9	17,9	16,6
10.07.2006	19,2	16,1	16,6	19,5	17,5
17.07.2006	20,4	16,8	17,1	19,4	17,8
24.07.2006	21,2	17,2	17,9	20,7	18,7
31.07.2006	20	18,1	18,4	20,8	19,2
07.08.2006	19,9	17,1	17	18,9	17,4
14.08.2006	19,3	16,6	16,4	17,9	17
22.08.2006	19,4	16,3	16,6	18,1	17
28.08.2006	18,8		16,4	18,2	16,7
04.09.2006	18,4		15,9	17,6	16,1
11.09.2006	18,4	16,2	16,1	17,5	16,2
15.09.2006					
18.09.2006	18,5	16,3	16,2	17,9	16,4
26.09.2006	18	16,4	15,9	17,5	16
03.10.2006	17,9	16,1	15,7	17,5	16,1
10.10.2006	17,5	15,3	14,7	16	14,3
16.10.2006	16,9	14,9	14,3	16	14,3
23.10.2006	16,1	13,9	13,3	14,8	13
06.11.2006	14,2	12,4	11,4	12,4	10,9
13.11.2006	13,6	11,7	11,2	12,8	10,4
21.11.2006	13,4	11,9	11,4	13	11,3
27.11.2006	13,4	11,2	10,9	12,5	10,6
04.12.2006	13,1	11,2	10,8	11,9	10,2
11.12.2006	12,3	10,1	9,5	10,7	9,5
14.12.2006		10,1	9,8	10,3	9,2
18.12.2006	12,2	8,5	7,9	8,9	7,2
22.12.2006		8,4	7,8	9,1	7,3
27.12.2006	10,3	7,9	7,4	8,4	6,8
29.12.2006		7,9	7	8,2	6,1
02.01.2007	9,5	7,2	6,7	7,9	6,3
05.01.2007		7,3	7	8,3	6,8
08.01.2007	8,8	6,7	6,8	7,9	6,7
12.01.2007		8,1	8	9,4	7,9
15.01.2007	9,6	8	7,9	8,9	7,8
18.01.2007		7,8	7,5	8,2	7
23.01.2007	9,3	8,1	8	8,8	7,9
26.01.2007		7,2	6,8	7	6,2
29.01.2007	8,5	6,6	6,2	6,6	5,5
01.02.2007		6,9	6,7	7,8	6,5
05.02.2007	8,6	6,6	6,5	7,3	6,6
09.02.2007		7,2	7,1	7,7	6,7
12.02.2007	9,0	7,1	6,8	7,7	6,4
16.02.2007		7,2	7,1	8,5	7,1
19.02.2007	9,2	7,2	7,2	8	7
22.02.2007		7	7	7,9	6,7
26.02.2007	9,5	7,2	7,3	8,4	7,2
02.03.2007		7,6	7,9	9,3	8,2
05.03.2007	9,7	7,7	7,9	9	8,1
08.03.2007		7,8	8,3	9,5	8,2
12.03.2007	10,0	8	8,3	9,8	8,4
20.03.2007	10,1	7,9	8,2	9,4	8,3

26.03.2007	10,1	7,6	7,9	9,1	7,7
02.04.2007	10,7		8,8	10,6	9,2
10.04.2007	11,8		9,7	11,7	10,3
17.04.2007	12,9		11,2	13,2	12,2
24.04.2007	13,4	11,3	11,2	13,2	12
30.04.2007	14,0	12,3	12,7	14,6	13,4
14.05.2007	15,1	13	13,8	15,8	14,5
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

Anzahl	89	115	110	122	122
Mittelwert	12,8	9,3	9,9	10,4	9,1
Median	13,1	7,9	6,6	9,1	7,9
Standardabw.	4,3	4,4	5,0	5,0	4,9
95% Konf-Int.	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9
Maximum	21,2	18,1	18,4	20,8	19,2
Minimum	5,4	2,9	2,6	1,6	1,7

**BSB<sub>5</sub>**

- Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)
- Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren
- Beschickungsunterbrechung - Beet 1
- Werte größer 40mg/l werden hier wie 40mg/l gerechnet

Datum	BSB <sub>5</sub>				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	ab 5.9.05: BSB5 analysiert				
04.07.2005					
18.07.2005					
01.08.2005					
16.08.2005					
17.08.2005					
30.08.2005					
05.09.2005	400	5	16	60	6
12.09.2005	400	4	6	70	9
19.09.2005	320	5	3	50	4
26.09.2005	380	4	3	40	5
03.10.2005	300	3	3	30	4
10.10.2005	369	3	4	50	4
17.10.2005	360	3	2	50	4
24.10.2005	360	4	3	32	4

31.10.2005	360	2	3	52	5
07.11.2005	340	3	2	48	6
14.11.2005	360	3	3	44	3
21.11.2005	360	3	4	50	3
25.11.2005					
28.11.2005	380	4	5	48	3
01.12.2005					
05.12.2005	440	7	7	70	6
09.12.2005					
12.12.2005	360	8	10	62	7
19.12.2005	380	14	6	46	6
23.12.2005					
27.12.2005	400	11	4	50	6
30.12.2005					
02.01.2006	420	13	17	76	15
05.01.2006					
09.01.2006	380	16	9	70	10
13.01.2006					
16.01.2006	360	20	37	90	21
20.01.2006					
23.01.2006	320	24	22	120	20
27.01.2006					
31.01.2006	340	27	86	110	26
02.02.2006					
06.02.2006	180	30	40	70	22
09.02.2006					
13.02.2006	280	22		60	14
17.02.2006					
20.02.2006	220	10		36	10
23.02.2006					
27.02.2006	290	12		36	12
03.03.2006					
07.03.2006	280	9	9	40	4
10.03.2006					
13.03.2006	240	8	6	26	6
17.03.2006					
20.03.2006	240	10	3	22	5
24.03.2006					
27.03.2006	340	19	7	33	5
31.03.2006					
03.04.2006	380	17	4	41	5
07.04.2006					
10.04.2006	360	19	4	26	6
13.04.2006					
19.04.2006	460	40	3	40	5
24.04.2006	400		3	46	6
02.05.2006	280		3	30	4
09.05.2006	380	20	4	30	4
15.05.2006	400	10	6	34	5
23.05.2006	300	10	4	36	4
29.05.2006	260	16	3	21	3
06.06.2006	260	14	3	22	3

12.06.2006	340	15	3	18	5
19.06.2006	380	28	4	27	6
26.06.2006	300	38	4	28	6
03.07.2006	280	38	3	18	3
10.07.2006	240	37	5	23	4
17.07.2006					
24.07.2006	320	78	5	22	6
31.07.2006	340	50	5	25	5
07.08.2006	260	70	3	14	4
14.08.2006	320	98	3	19	4
22.08.2006	280	150	2	20	3
28.08.2006	260		3	16	3
04.09.2006	260		4	22	3
11.09.2006	250	40	2	15	3
15.09.2006					
18.09.2006	250	4	2	15	3
26.09.2006	300	4	2	21	3
03.10.2006	310	4	2	18	3
10.10.2006	320	4	3	22	2
16.10.2006	300	4	2	20	3
23.10.2006	300	3	2	22	3
06.11.2006	280	4	3	29	3
13.11.2006	330	4	4	24	3
21.11.2006	300	3	2	27	2
27.11.2006	330	3	2	27	5
04.12.2006	340	3	2	26	4
11.12.2006	340	4	2	27	4
14.12.2006					
18.12.2006	350	4	2	30	4
22.12.2006					
27.12.2006	400	4	2	38	3
29.12.2006					
02.01.2007	380	6	2	38	3
05.01.2007					
08.01.2007	330	3	2	23	3
12.01.2007					
15.01.2007	340	4	3	56	4
18.01.2007					
23.01.2007	290	5	3	50	3
26.01.2007					
29.01.2007	300	6	4	56	5
01.02.2007					
05.02.2007	310	4	2	72	4
09.02.2007					
12.02.2007	370	7	3	42	8
16.02.2007					
19.02.2007	360	13	3	54	7
22.02.2007					
26.02.2007	350	28	3	74	10
02.03.2007					
05.03.2007	300	54	4	70	4
08.03.2007					



12.03.2007	340	>80	4	80	5
20.03.2007	450	220	4	>80	5
26.03.2007	360	240	3	130	5
02.04.2007	330		4	180	4
10.04.2007	320		4	200	6
17.04.2007	>400		13	70	6
24.04.2007	>400	50	6	70	6
30.04.2007	640	40	5	80	8
14.05.2007					
29.05.2007					
11.06.2007					

Anzahl	83	77	79	84	85
Mittelwert	334	24	6	47	6
Median	340	10	5	38	5
Standardabw.	64	42	18	33	4
95% Konf-Int.	14	9	4	7	1
Maximum	640	240	86	200	26
Minimum	180	2	2	14	2

## CSB

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Datum	CSB				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	463	23,3	27,5	93,7	26,8
04.07.2005	523	22,9	25,7	132	24,9
18.07.2005	508	34,1	27,3	114	24,7
01.08.2005	531	22,5	24,2	115	22,2
16.08.2005	508	21,2	24,8	85,5	27,3
17.08.2005					
30.08.2005	554	18,5	22,5	110	22,4
05.09.2005	572	17,6	20,4	99,6	18,4
12.09.2005	592	19,9	20,1	163	21,1
19.09.2005	533	20,9	19,5	80,9	18,8
26.09.2005	579	19,3	18	86,2	18,9
03.10.2005	487	15,9	18,2	84,2	16,7
10.10.2005	596	19,2	19,2	101	19,5
17.10.2005	579	16,7	18,1	98,4	21,1
24.10.2005	590	19,6	19,4	95,8	23,4
31.10.2005	620	18,6	21,2	100	21,6
07.11.2005	586	17,7	20,3	85,5	21,9
14.11.2005	627	17,8	18,3	85,9	20,7
21.11.2005	551	21,1	22,2	152	22,4
25.11.2005					
28.11.2005	559	20,7	21	92,4	21,5
01.12.2005					
05.12.2005	626	27,6	28,7	109	29,2
09.12.2005					
12.12.2005	570	30,9	28,8	102	29,1
19.12.2005	573	33,1	26	98,7	29,4
23.12.2005					
27.12.2005	630	28,2	27,1	114	28,6
30.12.2005					
02.01.2006	608	41,1	45,1	138	48,1
05.01.2006					
09.01.2006	568	26	30,4	111	29,8
13.01.2006					
16.01.2006	551	40,7	76,7	123	53,3
20.01.2006					
23.01.2006	493	56,7	49,8	110	47,2
27.01.2006					
31.01.2006	566	76,6	153	187	84,7
02.02.2006					

06.02.2006	268	61,7	103	129	58,3
09.02.2006					
13.02.2006	412	50,5		101	44,8
17.02.2006					
20.02.2006	324	35		77,3	37,6
23.02.2006					
27.02.2006	431	30,1		74,8	29
03.03.2006					
07.03.2006	447	40,1	44	99	32,3
10.03.2006					
13.03.2006	367	36,7	32,7	76,7	29
17.03.2006					
20.03.2006	342	34,3	28,5	63,4	23,5
24.03.2006					
27.03.2006	477	52,3	30,7	96,1	25,8
31.03.2006					
03.04.2006	457	51,1	24,6	88,5	21,4
07.04.2006					
10.04.2006	403	51,4	22,1	78,3	20,2
13.04.2006					
19.04.2006	609	119	23,8	120	22,1
24.04.2006	506		20,6	94,3	22,5
02.05.2006	388		23,4	66,7	21
09.05.2006	582	35,5	15,1	66,7	22,1
15.05.2006	595	36,4	28,4	65	23,4
23.05.2006	456	38,5	23,7	60,6	20,6
29.05.2006	387	49,5	24,6	51,5	20,1
06.06.2006	411	37,1	19,3	52,8	18,7
12.06.2006	483	36,5	21,4	54,9	19,6
19.06.2006	572	58,8	24,9	63,8	24
26.06.2006	442	70,8	22,9	60,9	20,6
03.07.2006	403	73,5	20,2	60,8	19,9
10.07.2006	364	65,2	20,1	58,6	18,4
17.07.2006	378	91,7	26,4	53,6	19,9
24.07.2006	454	123	20	59,4	19,6
31.07.2006	452	70,1	21,7	56,4	20,7
07.08.2006	438	113	26,7	52,8	21
14.08.2006	464	109	19,6	54,3	16,5
22.08.2006	447	145	22,7	54	17,6
28.08.2006	380		19,3	47,5	18,8
04.09.2006	447		15,6	46,6	14,7
11.09.2006	428	63,3	22,4	50,5	19,6
15.09.2006					
18.09.2006	458	22,1	17,2	51,1	16,6
26.09.2006	490	21,7	19,7	67,5	19,4
03.10.2006	475	20,3	20,3	54,4	17,6
10.10.2006	476	16	17,9	58,8	15,6
16.10.2006	470	15,3	15,9	56,8	14,4
23.10.2006	457	14,6	18,2	60	16,4
06.11.2006	443	17,9	23,1	68,3	19,2
13.11.2006	543	17,5	21,1	62,2	16,4
21.11.2006	487	15,1	16,5	64,1	16,7

27.11.2006	503	18	17,1	84,9	16,6
04.12.2006	529	15	16,7	60,2	16,6
11.12.2006	493	14,2	16,9	65,1	16,7
14.12.2006					
18.12.2006	524	15,8	18,5	70,3	16,3
22.12.2006					
27.12.2006	586	14,4	15,6	74,7	16,4
29.12.2006					
02.01.2007	590	23,9	24	84,4	20,5
05.01.2007					
08.01.2007	488	17,7	15,5	95,2	18,1
12.01.2007					
15.01.2007	571	18,3	19,3	103	18,6
18.01.2007					
23.01.2007	473	17,3	17,6	83,9	17,9
26.01.2007					
29.01.2007	501	23,4	22,4	79,3	25
01.02.2007					
05.02.2007	500	23,3	17,2	90,5	21,6
09.02.2007					
12.02.2007	549	20,5	18,1	88,2	19,2
16.02.2007					
19.02.2007	570	42,4	19,1	102	19,1
22.02.2007					
26.02.2007	566	60,6	17,5	123	21,8
02.03.2007					
05.03.2007	475	81,2	19,3	112	19,7
08.03.2007					
12.03.2007	544	118	19,4	118	24
20.03.2007	675	147	19,7	124	25,9
26.03.2007	514	184,2	20,8	106	25,4
02.04.2007	527		18,8	102	19,5
10.04.2007	511		19,2	120	20,8
17.04.2007	684		17,1	111	20,1
24.04.2007	510	32,6	18,2	110	22,4
30.04.2007	624	37,5	14,6	118	23
14.05.2007	638	82,9	20,8	123	30
29.05.2007	659	179	24,1	165	55,1
11.06.2007	578	182,4	25	156	44,3

Anzahl	89	82	83	89	89
Mittelwert	510	47,7	24,7	88,4	24,2
Median	506	33,7	24,2	85,5	20,7
Standardabw.	85	41,3	30,0	30,0	11,1
95% Konf-Int.	18	8,9	6,5	6,2	2,3
Maximum	684	184,2	153,0	187,0	84,7
Minimum	268	14,2	18,0	46,6	14,4

**NH<sub>4</sub>-N**

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Datum	NH <sub>4</sub> -N				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	67,7	0,035	0,035	23,5	0,087
04.07.2005	66,6	0,041	0,05	37,2	0,11
18.07.2005	56,8	1,12	0,023	27	0,077
01.08.2005	56,7	0,021	0,018	24,8	0,382
16.08.2005	67,3	0,024	0,257	20	2,03
17.08.2005	59,5			19,3	1,15
30.08.2005	59,8	0,04	0,044	26,6	0,265
05.09.2005	64,5	0,016	0,018	25	0,535
12.09.2005	64,6	0,023	0,021	27,4	0,847
19.09.2005	54,8	0,023	0,026	19,5	0,962
26.09.2005	59,9	0,018	0,017	21,1	0,952
03.10.2005	58,5	0,019	0,208	20,7	0,195
10.10.2005	64,8	0,021	0,172	22,6	0,625
17.10.2005	71,5	0,031	0,088	22,5	0,865
24.10.2005	73,1	0,026	0,071	20,3	0,781
31.10.2005	71,5	0,045	0,031	20,4	0,553
07.11.2005	67,5	0,141	0,049	20,6	0,608
14.11.2005	73,5	0,038	0,101	17,7	0,16
21.11.2005	68,5	0,192	0,506	18,2	0,424
25.11.2005		0,492	0,611	20,3	0,372
28.11.2005	74,5	0,347	0,181	26,6	0,254
01.12.2005		1,38	2,19	26,4	0,765
05.12.2005	69,6	3,66	3,7	27,6	1,5
09.12.2005		3,87	2,52	24,7	1,51
12.12.2005	68,9	3,6	2,69	27,9	1,99
19.12.2005	71,5	4,82	1,21	29,1	1,62
23.12.2005		2,99	2,92	30,5	1,85
27.12.2005	69,5	1,11	0,237	26,9	1,25
30.12.2005		2,91	2,2	34,2	2,69
02.01.2006	74,2	6,44	13,5	40,5	10,7
05.01.2006		5,4	5,2		5,1
09.01.2006	69,5	8,84	7,06	37,1	2,23
13.01.2006		7,83	14,2	36,7	14
16.01.2006	70,7	11	28,5	42,5	22,9
20.01.2006		26,7	30	42,6	26,2
23.01.2006	60	21,4	17,7	38,6	22,8
27.01.2006		24,9	46,7	41,4	36,3
31.01.2006	74	32,7	52,9	53,1	44,8
02.02.2006		33	45,9	47,1	48,6

06.02.2006	36,1	30,7	39,6	32	38,2
09.02.2006		21,8		25,6	22,9
13.02.2006	54,1	20,8		28,6	19
17.02.2006		19,5		30,1	23
20.02.2006	40	13,6		24,6	14,6
23.02.2006		12,3		25,2	10,2
27.02.2006	53,4	9,66		25,4	5,4
03.03.2006		13,5	11,7	35,1	9,12
07.03.2006	55,2	17,5	10,8	35,3	10,4
10.03.2006		12,9	6,04	23,6	6,71
13.03.2006	39,3	13,2	2,33	24,7	3,03
17.03.2006		15	1,06	27,8	2,66
20.03.2006	47,5	13,5	0,153	27,8	1,52
24.03.2006		17	0,487	33,9	0,849
27.03.2006	56,8	20,3	0,791	33,5	0,911
31.03.2006		17,9	0,174	26,6	0,606
03.04.2006	53	16,9	0,089	28,4	0,431
07.04.2006		14,5	0,038	20,8	0,26
10.04.2006	45,4	15	0,004	22,9	0,251
13.04.2006		17,1	0,023	25,8	0,287
19.04.2006	67,2	30,06	0,054	36,7	0,452
24.04.2006	61,4		0,038	34,8	0,478
02.05.2006	47		0,022	20,7	0,119
09.05.2006	65,4	4,07	0,053	6,6	0,054
15.05.2006	69,5	3,65	0,902	12	0,02
23.05.2006	53,9	4,43	0,31	9,88	0,018
29.05.2006	49,2	4,95	0,034	6,45	0,023
06.06.2006	47,2	2,79	0,023	4,75	0,024
12.06.2006	62,1	3,62	0,022	6,17	0,022
19.06.2006	55,8	7,57	0,023	9,99	0,032
26.06.2006	53,9	10,6	0,018	11,3	0,035
03.07.2006	50,7	11	0,022	11	0,07
10.07.2006	35,9	14	0,026	11,4	0,023
17.07.2006	47,9	19,8	0,034	14,4	0,032
24.07.2006	45,2	27,7	0,02	13,2	0,019
31.07.2006	50,5	17,9	0,025	12	0,017
07.08.2006	51,3	23,6	0,053	9,59	0,015
14.08.2006	57,2	26,5	0,026	11,6	0,032
22.08.2006	46	40	0,018	10,4	0,021
28.08.2006	53,5		0,025	9,6	0,03
04.09.2006	54,9		0,015	11,4	0,015
11.09.2006	54,9	32	0,013	9,62	0,013
15.09.2006		1,9			
18.09.2006	59,9	0,613	0,013	10,7	0,009
26.09.2006	68,1	0,367	0,045	14	0,018
03.10.2006	59,4	0,202	0,041	10,9	0,018
10.10.2006	55,5	0,127	0,016	9,92	0,012
16.10.2006	57,1	0,076	0,019	10,5	0,012
23.10.2006	53,4	0,074	0,027	9,75	0,014
06.11.2006	61,1	0,045	0,075	10,9	0,011
13.11.2006	58,5	0,056	0,066	9,8	0,014
21.11.2006	58,1	0,041	0,039	11,2	0,015

27.11.2006	65,2	0,067	0,091	12,6	0,031
04.12.2006	58,7	0,032	0,018	11,3	0,012
11.12.2006	63	0,063	0,034	13	0,014
14.12.2006		0,033	0,05	12,9	0,012
18.12.2006	62,1	0,038	0,049	15	0,128
22.12.2006		0,028	0,034	13,5	0,021
27.12.2006	70,8	0,027	0,028	17,6	0,022
29.12.2006		0,055	0,123	22	0,166
02.01.2007	73,1	0,403	0,713	22,6	0,283
05.01.2007		0,241	0,627	28,5	0,261
08.01.2007	73,6	0,108	0,023	30,1	0,016
12.01.2007		0,03	0,058	21,4	0,017
15.01.2007	73,2	0,032	0,045	26,8	0,029
18.01.2007		0,071	0,095	29,2	0,235
23.01.2007	62,3	0,122	0,044	21,4	0,056
26.01.2007		0,234	0,038	25,7	0,198
29.01.2007	64,6	0,883	0,524	24	0,864
01.02.2007		1,19	0,836	27,1	0,1
05.02.2007	68,9	1,35	0,023	29,5	0,295
09.02.2007		1,24	0,044	24,8	0,174
12.02.2007	69,2	0,656	0,015	26	0,153
16.02.2007		2,6	0,023	30,8	0,182
19.02.2007	76,4	8,7	0,053	31,4	0,095
22.02.2007		15,7	0,04	37,4	0,301
26.02.2007	66,3	19,1	<0,015	35,9	0,806
02.03.2007		23,4	0,036	34,5	0,522
05.03.2007	54,5	22,4	<0,015	30,4	0,488
08.03.2007		25,1	0,019	31,8	0,957
12.03.2007	68,7	32,9	<0,015	30,6	0,212
20.03.2007	52,8	38,1	0,036	31,8	0,085
26.03.2007	64,2	44,1	0,016	27	0,508
02.04.2007	65,7		0,015	29,7	0,039
10.04.2007	65,8		<0,015	31,5	0,227
17.04.2007	64,7		0,016	31,7	0,583
24.04.2007	67,3	3,9	0,018	29	1,12
30.04.2007	61,9	6,07	0,046	30,5	3,82
14.05.2007	63,3	16,7	0,022	26,8	5,14
29.05.2007	69,5	52,8	0,161	35,2	15,7
11.06.2007	66,9	63,2	0,016	31,3	14,6

Anzahl	89	116	106	121	122
Mittelwert	60,678	10,397	3,102	23,727	3,897
Median	62,100	4,250	1,210	25,200	0,298
Standardabw.	9,508	12,711	14,722	9,982	9,054
95% Konf-Int.	1,975	2,313	2,803	1,779	1,607
Maximum	76,400	63,200	52,900	53,100	48,600
Minimum	35,900	0,016	0,017	4,750	0,009

**NO<sub>2</sub>-N**

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Werte kleiner als 0,015mg/l wurden hier wie 0,015mg/l gerechnet

Datum	NO <sub>2</sub> -N				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	<0,015	0,015	<0,015	1,54	0,028
04.07.2005	<0,015	<0,015	<0,015	0,12	<0,015
18.07.2005	<0,015	0,059	<0,015	0,058	<0,015
01.08.2005	<0,015	<0,015	<0,015	0,276	0,029
16.08.2005	<0,015	0,016	0,016	1,632	0,127
17.08.2005	<0,015			1,05	0,068
30.08.2005	<0,015	0,02	<0,015	1,146	0,043
05.09.2005	0,015	0,015	0,015	0,49	0,047
12.09.2005	0,015	0,015	0,015	0,455	0,056
19.09.2005	0,015	0,015	0,015	0,658	0,059
26.09.2005	0,015	0,015	0,015	0,534	0,057
03.10.2005	0,015	0,015	0,04	0,318	0,021
10.10.2005	0,015	0,015	0,034	0,648	0,061
17.10.2005	0,015	0,015	0,021	0,966	0,071
24.10.2005	0,015	0,015	0,015	0,782	0,099
31.10.2005	0,015	0,015	0,015	1,568	0,041
07.11.2005	0,015	0,015	0,015	1,156	0,073
14.11.2005	0,015	0,015	0,015	0,91	0,019
21.11.2005	0,015	0,016	0,06	0,84	0,034
25.11.2005					
28.11.2005	0,015	0,078	0,046	0,17	0,053
01.12.2005					
05.12.2005	0,015	0,202	0,273	0,172	0,087
09.12.2005					
12.12.2005	0,015	0,361	0,386	0,251	0,119
19.12.2005	0,015	0,657	0,38	0,317	0,269
23.12.2005					
27.12.2005	0,02	0,274	0,178	0,831	0,118
30.12.2005					
02.01.2006	0,015	0,403	0,485	0,201	0,297
05.01.2006					
09.01.2006	0,015	0,479	0,542	0,141	0,173
13.01.2006					
16.01.2006	0,015	0,522	0,291	0,131	0,205
20.01.2006					
23.01.2006	0,015	1,18	0,349	0,082	0,283
27.01.2006					
31.01.2006	0,015	0,376	0,291	0,033	0,084



02.02.2006					
06.02.2006	0,015	0,542	0,392	0,044	0,062
09.02.2006					
13.02.2006	0,015	0,484		1,02	0,119
17.02.2006					
20.02.2006	0,015	0,292		0,336	0,357
23.02.2006					
27.02.2006	0,015	0,278		0,247	0,211
03.03.2006					
07.03.2006	0,015	0,435	0,506	0,16	0,291
10.03.2006					
13.03.2006	0,015	0,354	0,312	0,144	0,246
17.03.2006					
20.03.2006	0,015	0,441	0,071	0,067	0,194
24.03.2006					
27.03.2006	0,015	0,394	0,286	0,05	0,911
31.03.2006					
03.04.2006	0,015	0,424	0,042	0,068	0,038
07.04.2006					
10.04.2006	0,015	0,249	0,019	0,055	0,028
13.04.2006					
19.04.2006	0,015	0,309	0,024	0,075	0,042
24.04.2006	0,015		0,04	0,08	0,054
02.05.2006	0,015		0,024	0,156	0,026
09.05.2006	0,015	0,213	0,017	0,064	0,023
15.05.2006	0,02	0,256	0,103	0,077	0,015
23.05.2006	0,015	0,172	0,108	0,098	0,026
29.05.2006	0,015	0,133	0,023	0,079	0,015
06.06.2006	0,015	0,014	0,037	0,137	0,028
12.06.2006	0,015	0,194	0,024	0,138	0,019
19.06.2006	0,015	0,393	0,015	0,145	0,028
26.06.2006	0,015	0,441	0,028	0,231	0,025
03.07.2006	0,015	0,711	0,015	0,291	0,015
10.07.2006	0,015	0,39	0,015	0,257	0,015
17.07.2006	0,015	0,078	0,018	0,371	0,018
24.07.2006	0,015	0,035	0,018	0,271	0,015
31.07.2006	0,015	0,067	0,026	0,344	0,026
07.08.2006	0,015	0,03	0,022	0,405	0,015
14.08.2006	0,015	0,032	0,015	0,437	0,015
22.08.2006	0,015	0,02	0,024	0,362	0,015
28.08.2006	0,015		0,015	0,385	0,015
04.09.2006	0,015		0,015	0,472	0,015
11.09.2006	0,015	0,095	0,027	0,414	0,033
15.09.2006					
18.09.2006	0,015	0,181	0,019	0,362	0,015
26.09.2006	0,015	0,388	0,019	0,306	0,016
03.10.2006	0,015	0,09	0,022	0,275	0,025
10.10.2006	0,015	0,048	0,027	0,348	0,02
16.10.2006	0,015	0,029	0,026	0,432	0,015
23.10.2006	0,015	0,021	0,019	0,386	0,018
06.11.2006	0,027	0,032	0,034	0,269	0,015
13.11.2006	0,032	0,033	0,051	0,218	0,044

21.11.2006	0,034	0,03	0,043	0,183	0,028
27.11.2006	0,031	0,051	0,033	0,241	0,037
04.12.2006	0,032	0,036	0,044	0,192	0,032
11.12.2006	0,033	0,031	0,028	0,186	0,052
14.12.2006					
18.12.2006	0,033	0,033	0,035	0,672	0,033
22.12.2006					
27.12.2006	0,033	0,04	0,035	0,234	0,053
29.12.2006					
02.01.2007	0,034	0,088	0,036	0,211	0,027
05.01.2007					
08.01.2007	0,036	0,032	0,025	0,098	0,028
12.01.2007					
15.01.2007	0,036	0,04	0,047	0,14	0,03
18.01.2007					
23.01.2007	0,036	0,05	0,041	0,161	0,044
26.01.2007					
29.01.2007	0,037	0,135	0,064	0,164	0,036
01.02.2007					
05.02.2007	0,089	0,174	0,027	0,186	0,046
09.02.2007					
12.02.2007	0,037	0,103	0,029	0,153	0,051
16.02.2007					
19.02.2007	0,04	0,531	0,026	0,129	0,033
22.02.2007					
26.02.2007	0,037	0,419	0,037	0,186	0,044
02.03.2007					
05.03.2007	0,033	0,267	0,024	0,2	0,045
08.03.2007					
12.03.2007	0,038	0,064	0,024	0,211	0,059
20.03.2007	0,049	0,057	0,042	0,163	0,032
26.03.2007	0,037	0,054	0,037	0,214	0,092
02.04.2007	0,036		0,028	0,206	0,026
10.04.2007	0,04		0,035	0,244	0,049
17.04.2007	0,04		0,035	0,422	0,072
24.04.2007	0,034	0,074	0,047	0,494	0,08
30.04.2007	0,033	0,071	0,025	0,528	0,086
14.05.2007					
29.05.2007					
11.06.2007					

Anzahl	86	79	80	86	86
Mittelwert	0,022	0,195	0,074	0,320	0,076
Median	0,015	0,088	0,053	0,233	0,040
Standardabw.	0,012	0,216	0,182	0,275	0,118
95% Konf-Int.	0,003	0,048	0,040	0,058	0,025
Maximum	0,089	1,180	0,542	1,568	0,911
Minimum	0,015	0,014	0,015	0,033	0,015

**NO<sub>3</sub>-N**

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Datum	NO <sub>3</sub> -N				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	0,451	58,8	59	7,61	29,8
04.07.2005	0,442	53,6	56	0,609	34,2
18.07.2005	0,392	34,4	49	1,34	22,8
01.08.2005	0,401	63,6	63	2,32	24,2
16.08.2005	0,511	55,2	47,4	5,82	19,6
17.08.2005	0,395			3,51	21,5
30.08.2005	0,432	60,2	66,2	5,56	30,2
05.09.2005	0,443	60,2	62,8	3,13	26,7
12.09.2005	0,494	69	71,6	2,56	26,9
19.09.2005	0,454	55,4	51,4	4,03	23,2
26.09.2005	0,459	57,6	60	3,29	23,1
03.10.2005	0,363	51,8	54	3,08	23,6
10.10.2005	0,42	63,6	68,6	5,2	28,8
17.10.2005	0,381	62,2	63,8	6,1	27,2
24.10.2005	0,493	61,6	62,4	6,25	26,6
31.10.2005	0,352	61,2	65,2	7,6	30,5
07.11.2005	0,507	70	71,2	9,38	30,4
14.11.2005	0,392	63,2	65,5	9,9	30,1
21.11.2005	0,339	53,8	56	9,87	26,6
25.11.2005					
28.11.2005	0,367	51,4	56,8	2,95	29,8
01.12.2005					
05.12.2005	0,361	47,6	53,8	5,6	33,7
09.12.2005					
12.12.2005	0,383	46	49,6	6,94	31,9
19.12.2005	0,34	43,8	52,6	3,33	32,5
23.12.2005					
27.12.2005	0,374	51,2	54	15,8	35,9
30.12.2005					
02.01.2006	0,445	42,5	37,8	5,08	28,7
05.01.2006					
09.01.2006	0,369	36,2	39,2	5,6	34,7
13.01.2006					
16.01.2006	0,387	38,4	23,8	5,59	20
20.01.2006					
23.01.2006	0,364	28,3	29,8	4,26	24
27.01.2006					
31.01.2006	0,419	17,9	6,41	1,74	3,08
02.02.2006					

06.02.2006	0,158	12,7	7,91	0,96	1,76
09.02.2006					
13.02.2006	0,24	17,5		3,93	10,4
17.02.2006					
20.02.2006	0,218	29,4		5,04	16
23.02.2006					
27.02.2006	0,304	30,9		6,62	25,8
03.03.2006					
07.03.2006	0,317	26,7	44,6	5,39	29,5
10.03.2006					
13.03.2006	0,382	43,2	19,12	5,99	28,28
17.03.2006					
20.03.2006	0,212	24,92	44,8	3,76	33,08
24.03.2006					
27.03.2006	0,295	17,3	46,6	5,32	40,4
31.03.2006					
03.04.2006	0,367	13,2	40,2	5,64	30,2
07.04.2006					
10.04.2006	0,271	12,68	44,2	3,62	26,6
13.04.2006					
19.04.2006	0,504	5,77	61,4	6,89	41
24.04.2006	0,367		67	6,96	41,2
02.05.2006	0,529		57,2	13,1	34,8
09.05.2006	0,383	52,6	61,8	28,6	33,4
15.05.2006	0,381	38,4	69,4	17,3	31,8
23.05.2006	0,431	30,6	67,8	17,9	30,4
29.05.2006	0,23	13,1	44,2	15,5	21,3
06.06.2006	0,444	17,2	40,6	24,7	25,4
12.06.2006	0,46	20,7	49,2	23,6	30,2
19.06.2006	0,353	15,8	68,8	16,8	29,1
26.06.2006	0,418	8,41	69,8	18,3	32,2
03.07.2006	0,321	4,11	54	17,6	29,3
10.07.2006	0,298	1,6	56,4	12,3	28,4
17.07.2006	0,391	0,463	59,6	12,2	30,6
24.07.2006	0,29	0,32	58,4	9,07	26,1
31.07.2006	0,342	0,732	61,8	10,3	26,7
07.08.2006	0,318	0,373	42,6	14,2	21
14.08.2006	0,294	0,224	40,6	11,5	20,9
22.08.2006	0,431	0,279	56,6	17,8	27,4
28.08.2006	0,361		54,8	24,3	31,8
04.09.2006	0,297		60,8	26,1	37,9
11.09.2006	0,433	1,796	59,4	25,1	35,4
15.09.2006		89,6			
18.09.2006	0,377	74	64,4	24,4	37,5
26.09.2006	0,385	72,4	78,4	31,2	38,8
03.10.2006	0,32	60,2	65	21,6	35,2
10.10.2006	0,317	57	57	20	33,2
16.10.2006	0,568	53,4	58	19,7	31,3
23.10.2006	0,268	55,2	59,2	19,1	32,4
06.11.2006	0,298	55,8	53,6	20,8	31
13.11.2006	0,277	52,2	52,6	21,3	30,8
21.11.2006	0,265	59,6	62	21,8	35,6

27.11.2006	0,283	54,2	56,4	20,1	34,7
04.12.2006	0,281	55,6	59,6	21	31
11.12.2006	0,281	53,4	61	16	30,5
14.12.2006					
18.12.2006	0,286	52,6	58	16,7	32,4
22.12.2006					
27.12.2006	0,298	51,2	58	10,3	28,5
29.12.2006					
02.01.2007	0,288	46	46,6	5,85	25,3
05.01.2007					
08.01.2007	0,344	50,6	60,2	1,31	35,1
12.01.2007					
15.01.2007	0,33	52,4	65,6	8,5	33,9
18.01.2007					
23.01.2007	0,281	44,6	54,6	9,53	30,6
26.01.2007					
29.01.2007	0,331	51,6	60,8	8,62	34,9
01.02.2007					
05.02.2007	0,47	44,6	63	1,2	33,1
09.02.2007					
12.02.2007	0,346	49,4	67,8	10,4	37,7
16.02.2007					
19.02.2007	0,317	33,2	66,4	7,71	39,6
22.02.2007					
26.02.2007	0,269	12,86	65	4,69	38
02.03.2007					
05.03.2007	0,245	3,46	52,2	3,49	33,2
08.03.2007					
12.03.2007	0,319	0,453	65	9,19	39,8
20.03.2007	0,321	0,723	70,2	6,54	49,8
26.03.2007	0,32	0,383	55,8	6,4	31,4
02.04.2007	0,251		66,8	6,79	35,5
10.04.2007	0,283		70,8	4,96	33
17.04.2007	0,391		73,8	5,42	36
24.04.2007	0,299	35,7	75,2	7,71	33,8
30.04.2007	0,276	20	75,8	5	26
14.05.2007	0,447	3,71	64,8	3,37	17,9
29.05.2007	0,508	0,433	78	1,28	8,65
11.06.2007	0,458	0,757	77,2	5,82	10,2

Anzahl	89	83	83	89	89
Mittelwert	0,354	35,195	57,545	10,690	29,580
Median	0,346	42,500	54,000	7,710	30,600
Standardabw.	0,080	23,784	17,519	7,549	7,892
95% Konf-Int.	0,017	5,117	3,769	1,568	1,640
Maximum	0,568	89,600	71,600	31,200	49,800
Minimum	0,158	0,224	6,410	0,960	1,760

## Abfiltrierbare Stoffe

Beschickungsunterbrechung - Beet 2 (eingefroren)

Halbe Beschickungsmenge nach einfrieren

Beschickungsunterbrechung - Beet 1

Werte kleiner als 10mg/l wurden hier wie 10mg/l gerechnet

Datum	Abfiltrierbare Stoffe				
	[mg/l]				
	Zu	Ab 1	Ab 2	Ab 3.1	Ab 3.2
14.06.2005	110	-	-	60	-
04.07.2005	130	-	-	70	-
18.07.2005	120			60	
01.08.2005	130			10	
16.08.2005	140			<10	
17.08.2005	110			10	
30.08.2005	140			20	
05.09.2005	150			20	
12.09.2005	110			10	
19.09.2005	110			10	
26.09.2005	140			30	
03.10.2005	80			10	
10.10.2005	120			10	
17.10.2005	110			20	
24.10.2005	130			10	
31.10.2005	130			10	
07.11.2005	120			20	
14.11.2005	140			10	
21.11.2005	140			10	
25.11.2005					
28.11.2005	90			20	
01.12.2005					
05.12.2005	160			20	
09.12.2005					
12.12.2005	130			30	
19.12.2005	120			10	
23.12.2005					
27.12.2005	90			10	
30.12.2005					
02.01.2006	140			20	
05.01.2006					
09.01.2006	150			30	
13.01.2006					
16.01.2006	120			10	
20.01.2006					
23.01.2006	110			30	
27.01.2006					
31.01.2006	160			40	

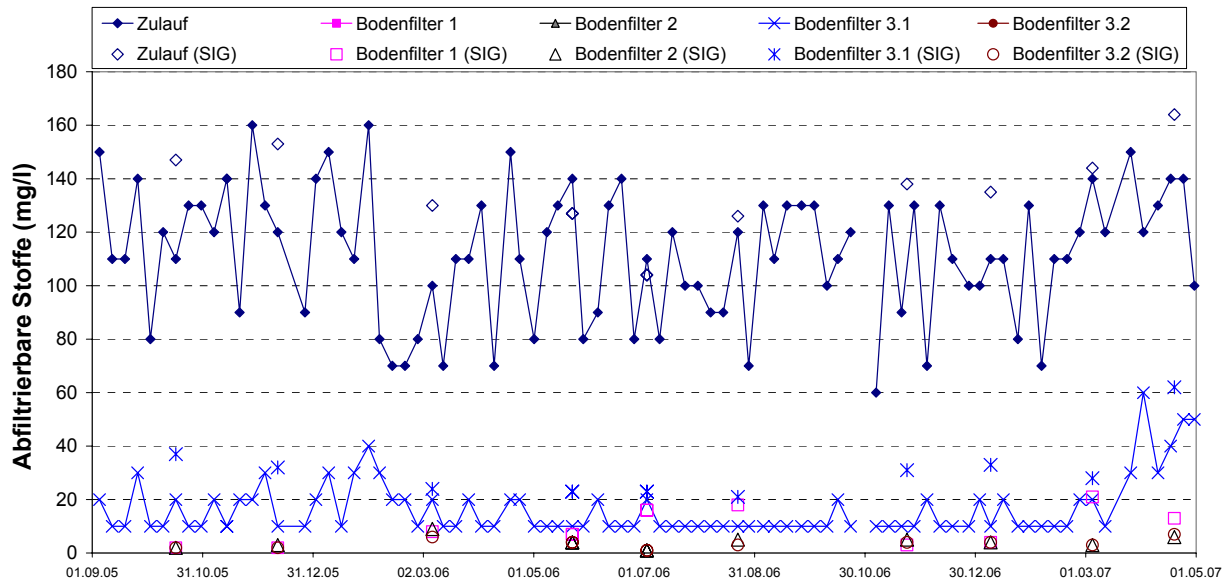
02.02.2006					
06.02.2006	80			30	
09.02.2006					
13.02.2006	70			20	
17.02.2006					
20.02.2006	70			20	
23.02.2006					
27.02.2006	80			10	
03.03.2006					
07.03.2006	100			20	
10.03.2006					
13.03.2006	70			10	
17.03.2006					
20.03.2006	110			10	
24.03.2006					
27.03.2006	110			20	
31.03.2006					
03.04.2006	130			10	
07.04.2006					
10.04.2006	70			10	
13.04.2006					
19.04.2006	150			20	
24.04.2006	110			20	
02.05.2006	80			10	
09.05.2006	120			10	
15.05.2006	130			10	
23.05.2006	140			10	
29.05.2006	80			10	
06.06.2006	90			20	
12.06.2006	130			10	
19.06.2006	140			10	
26.06.2006	80			10	
03.07.2006	110			20	
10.07.2006	80			10	
17.07.2006	120			10	
24.07.2006	100			10	
31.07.2006	100			10	
07.08.2006	90			10	
14.08.2006	90			10	
22.08.2006	120			10	
28.08.2006	70			10	
04.09.2006	130			10	
11.09.2006	110			10	
15.09.2006					
18.09.2006	130			10	
26.09.2006	130			10	
03.10.2006	130			10	
10.10.2006	100				
16.10.2006	110			20	
23.10.2006	120			10	
06.11.2006	60			10	
13.11.2006	130			10	

21.11.2006	90			10	
27.11.2006	130			10	
04.12.2006	70			20	
11.12.2006	130			10	
14.12.2006					
18.12.2006	110			10	
22.12.2006					
27.12.2006	100			10	
29.12.2006					
02.01.2007	100			20	
05.01.2007					
08.01.2007	110			10	
12.01.2007					
15.01.2007	110			20	
18.01.2007					
23.01.2007	80			10	
26.01.2007					
29.01.2007	130			10	
01.02.2007					
05.02.2007	70			10	
09.02.2007					
12.02.2007	110			10	
16.02.2007					
19.02.2007	110			>10	
22.02.2007					
26.02.2007	120			20	
02.03.2007					
05.03.2007	140			20	
08.03.2007					
12.03.2007	120			10	
20.03.2007	130			20	
26.03.2007	150			30	
02.04.2007	120			60	
10.04.2007	130			30	
17.04.2007	140			40	
24.04.2007	140			50	
30.04.2007	100			50	
14.05.2007					
29.05.2007					
11.06.2007					

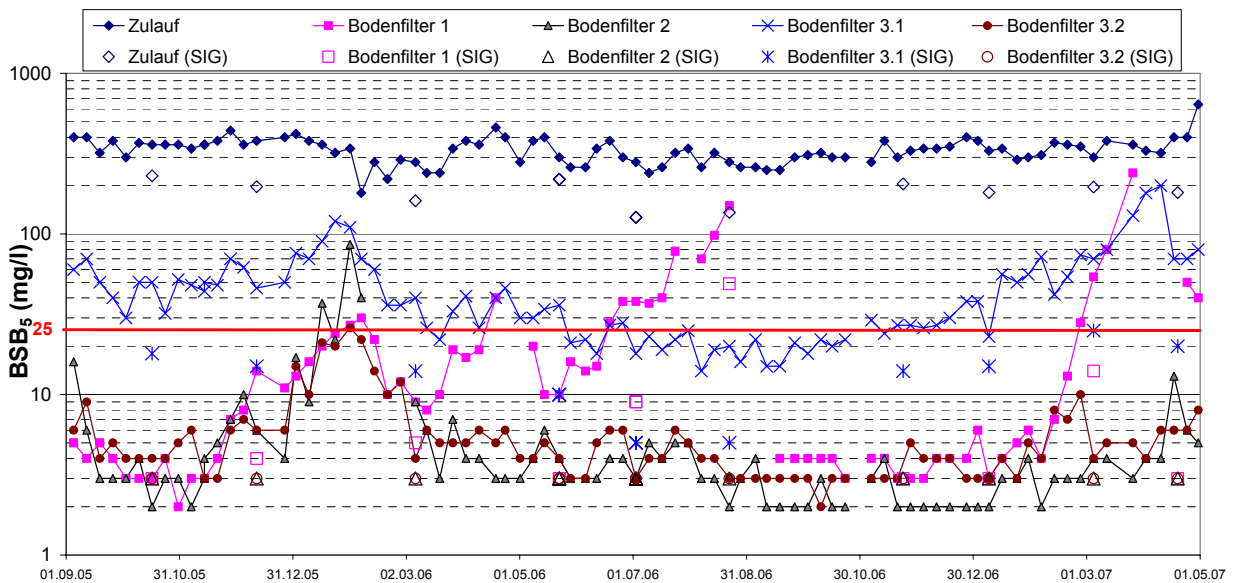
Anzahl	86			74	
Mittelwert	112			17	
Median	110			10	
Standardabw.	24			11	
95% Konf-Int.	5			2	
Maximum	160			60	
Minimum	60			10	



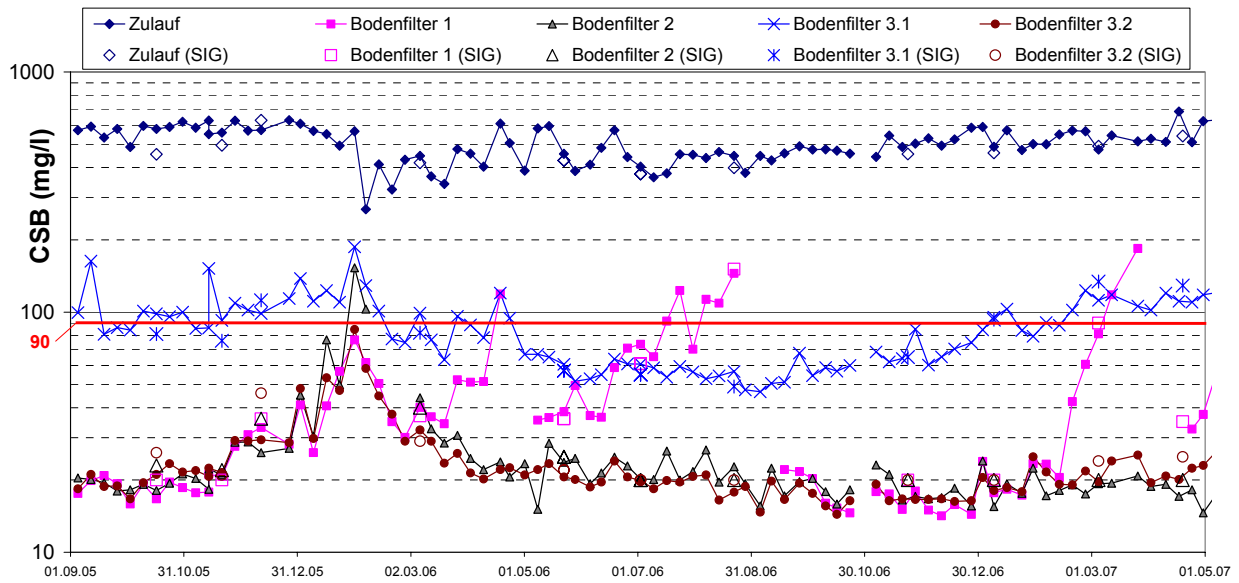
### Diagramme der Analyseergebnisse aller in Ernsthofen gezogenen Proben (ARA Ernsthofen und Vergleichsanalysen)



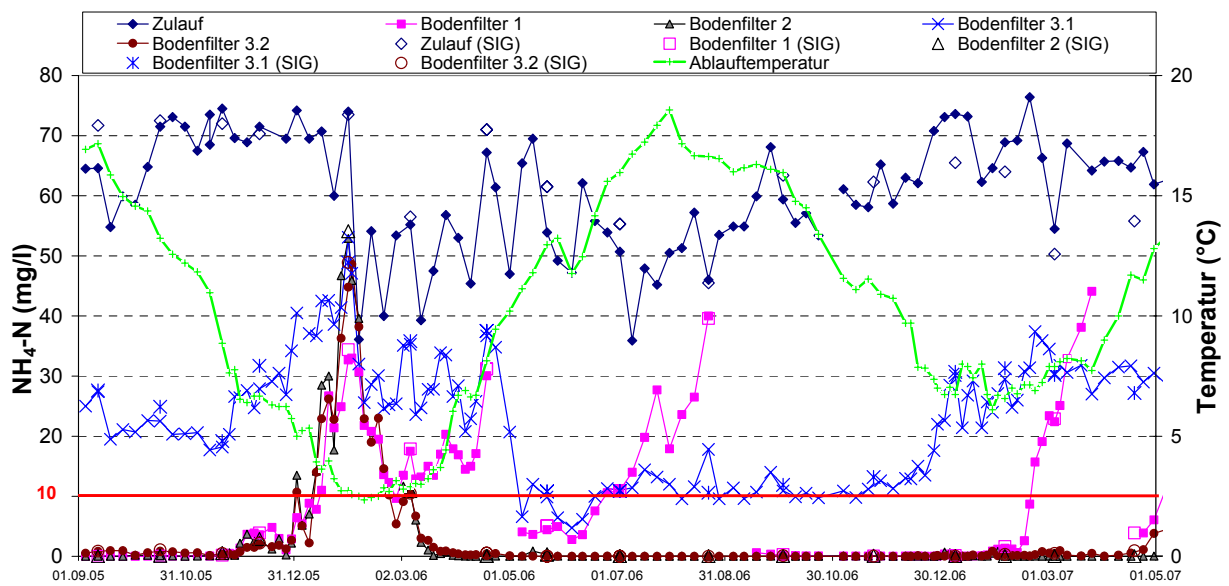
Abfiltrierbare Stoffe – Zu- und Ablaufkonzentrationen



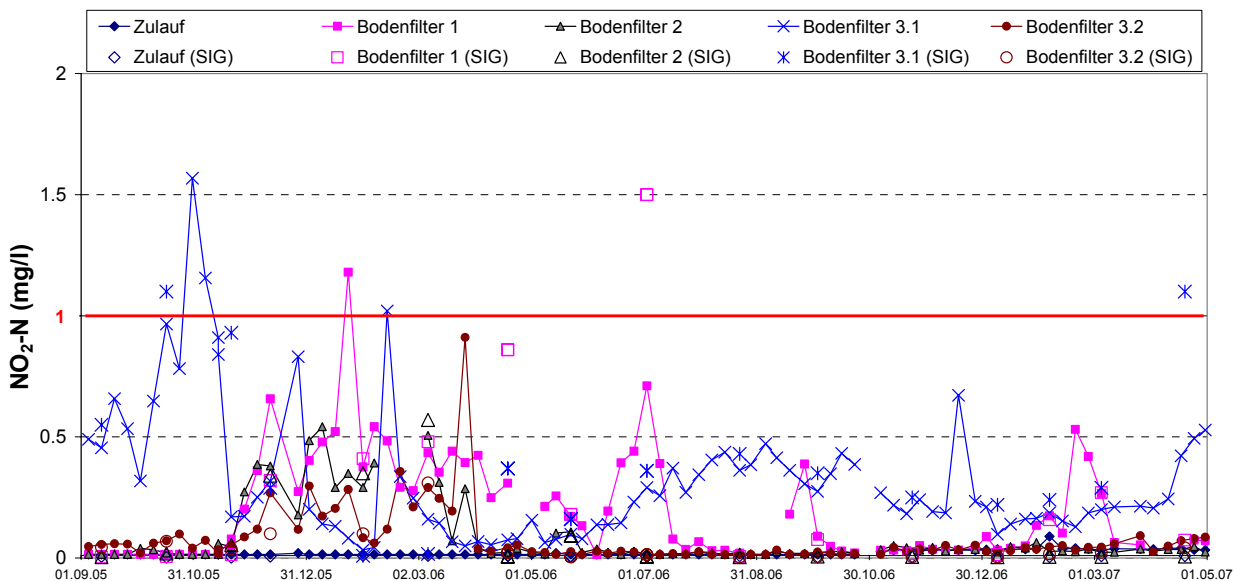
BSB<sub>5</sub> – Zu- und Ablaufkonzentrationen



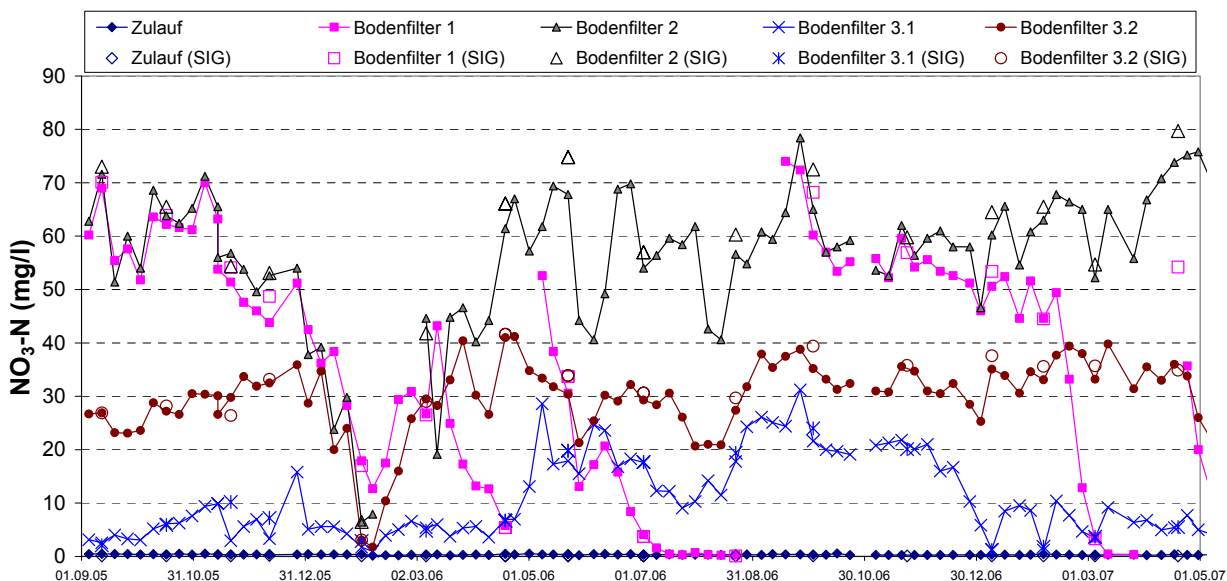
CSB – Zu- und Ablaufkonzentrationen



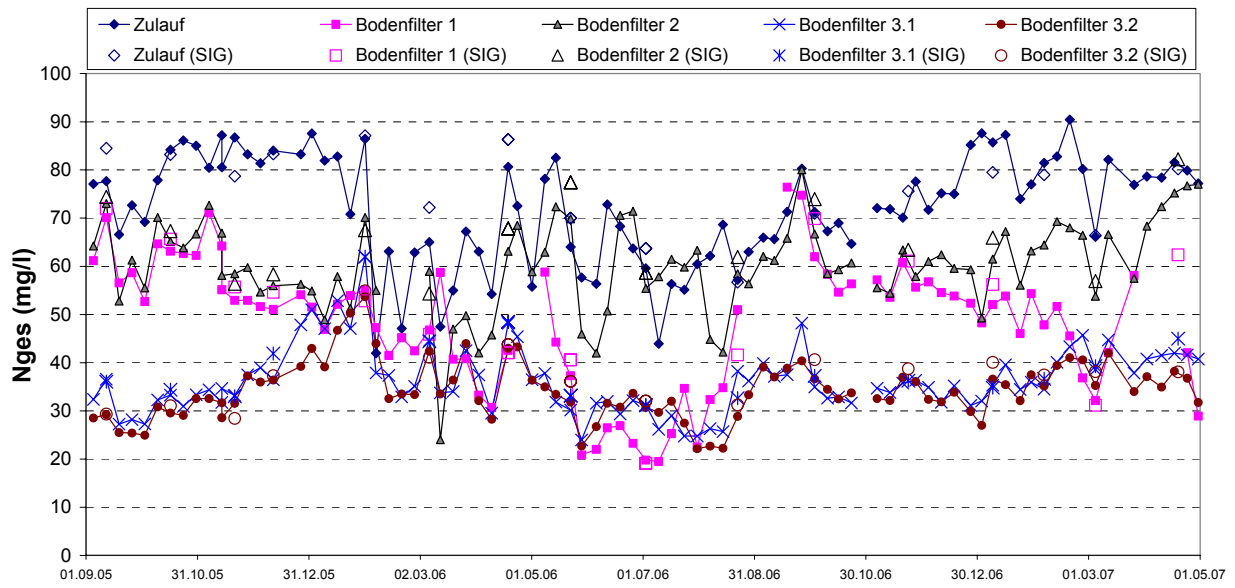
NH<sub>4</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen (die färbig hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Perioden 2 und 4 mit Ablaufwassertemperaturen < 12°C).



NO<sub>2</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen



NO<sub>3</sub>-N – Zu- und Ablaufkonzentrationen



$N_{ges}$  – Zu- und Ablaufkonzentrationen