

F & E-Vorhaben

„Reduktion des Überschussschlammes
***und Erhöhung der Prozessstabilität
mit Hilfe des Bioserve-Verfahrens
auf der Kläranlage Neuss-Ost***“

Abschlussbericht

***Finanziell gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)***

AZ 20512

Dezember 2004

Auftraggeber: Bioserve GmbH
Hechtsheimer Straße 2
Gebäude 51
55131 Mainz

Bearbeitung: IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e.V.
Bonn – Sankt Augustin – Siegen
Oelgartenstraße 18
53757 Sankt Augustin
Telefon: (0 22 41) 34 10 87 / 33 31 23
Telefax (0 22 41) 33 40 42
E-Mail: IWB-mail@t-online.de
Internet: <http://www.iwb-bonn.de>

**Wissenschaftlicher
Beirat des IWB:** Prof. Dr.-Ing. Horst Görg (Universität Siegen) (Sprecher)
Prof. Dr.-Ing. Rainer Feldhaus (Fachhochschule Köln)

Sankt Augustin, den 23. Dezember 2004

Dr.-Ing. Jörg Strunkheide
(Vorsitzender und Geschäftsführer)

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	III
TABELLENVERZEICHNIS.....	V
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG.....	1
2 EINSATZ VON HILFSSTOFFEN IN KLÄRANLAGEN SOWIE MECHANISCHE, THERMISCHE, CHEMISCHE UND BIOCHEMISCHE DESINTEGRATIONSVERFAHREN.....	5
2.1 ÜBERBLICK ÜBER DEN EINSATZ VON HILFSSTOFFEN IN KLÄRANLAGEN MIT UNTERSCHIEDLICHEN WIRKUNGSWEISEN	5
2.2 EINSATZ VON HILFSSTOFFEN MIT DEM PROZESSZIEL DER KLÄRSCHLAMMREDUKTION	9
2.3 MECHANISCHE, THERMISCHE, CHEMISCHE UND BIOCHEMISCHE VERFAHREN ZUR DESINTEGRATION VON KLÄRSCHLÄMMEN.....	10
2.3.1 <i>Mechanische Desintegration.....</i>	<i>10</i>
2.3.2 <i>Thermische, chemische und biochemische Verfahren zur Desintegration.....</i>	<i>11</i>
2.4 KLÄRSCHLAMMREDUKTIONSPOTENZIALE UND WIRTSCHAFTLICHKEIT.....	14
3 EIGENSCHAFTEN UND WIRKMECHANISMEN DER BEIM <i>BIOERVE</i>-VERFAHREN EINGESetzten TENSIDE (LIPISOL) SOWIE EINSATZKRITERIEN IM KLÄRANLAGENBETRIEB - DOSIERSTELLE, MESSPROGRAMM, ÜBERSCHUSSSCHLAMM-ABZUGSREGIME	19
3.1 EINTEILUNG DER TENSIDE IN TENSIDKLASSEN.....	19
3.2 WIRKMECHANISMEN DER BEIM <i>BIOERVE</i> -VERFAHREN EINGESetzten TENSIDE.....	19
3.3 DOSIERSTELLE UND -MENGE (LIPISOL) IM KLÄRANLAGENBETRIEB	25
3.4 MESSPROGRAMM	25
3.5 ÜBERSCHUSSSCHLAMM-ABZUGSREGIME.....	27
4 ERGEBNISSE GROßTECHNISCHER BETRIEBSVERSUCHE MIT DEM <i>BIOERVE</i>- VERFAHREN AUßERHALB DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST	28
5 UNTERSUCHUNGEN AUF DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST	32
5.1 SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE RANDBEDINGUNGEN.....	32
5.2 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	36
5.2.1 <i>Arbeitsschritte und zeitliche Abwicklung des Projektes.....</i>	<i>36</i>
5.2.2 <i>Analysenprogramm.....</i>	<i>38</i>

5.3	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	40
5.3.1	<i>LIPISOL-Dosierstelle und -menge</i>	40
5.3.2	<i>Überschussschlamm-Abzugsregime</i>	41
5.3.3	<i>Festlegung des Referenz- und Versuchszeitraumes</i>	42
6	BELASTUNGSANALYSE DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST, SCHLAMMPARAMETER UND ABLAUFWERTE IM REFERENZ- UND VERSUCHSZEITRAUM	43
6.1	BELASTUNGSANALYSE DER B-STUFE.....	43
6.1.1	<i>Abwassermenge und Schmutzfrachten (CSB, NH₄-N und PO₄-P) als Belastungsgrößen der B-Stufe im Referenz- und Versuchszeitraum</i>	43
6.1.2	<i>Betriebsprobleme bei länger andauernden Mischwasserzuflüssen und Lösungsansatz</i>	47
6.2	SCHLAMMPARAMETER	54
6.3	ABLAWFWERTE (NACHKLÄRBECKEN/ VOR DER FILTRATION)	63
7	FESTSTOFFMASSENbilANZEN UND MIKROBIOLOGISCHE PARAMETER	69
7.1	FESTSTOFFMASSENbilANZEN.....	69
7.2	MIKROBIOLOGISCHE PARAMETER.....	72
8	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG	76
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	78
9.1	PROJEKTZIELE	78
9.2	METHODIK	78
9.3	ERGEBNISSE	79
9.4	WIRTSCHAFTLICHKEIT	81
9.5	AUSBLICK	81
	LITERATURVERZEICHNIS	83
	A N H A N G	85

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2-1:	ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DER KLÄRSCHLAMMDESINTEGRATION [ATV, 2000].....	11
ABBILDUNG 2-2:	ÜBERSICHT ÜBER THERMISCHE, CHEMISCHE UND BIOCHEMISCHE VERFAHREN ZUR DESINTEGRATION [ATV, 2003].....	12
ABBILDUNG 2-3:	KOSTENANTEILE BEI DER ERRICHTUNG UND DEM BETRIEB DER MECHANISCHEN KLÄRSCHLAMMDESINTEGRATION VOR DER FAULUNG [ATV, 2001]	17
ABBILDUNG 3-1:	LIPHILER UND HYDROPHILER TEIL EINES TENSID-MOLEKÜLS	19
ABBILDUNG 3-2:	TYPISCHER AUFBAU EINER ZELLMEMBRAN.....	21
ABBILDUNG 3-3:	DISPERGIERUNG VON ÖLTRÖPFCHEN DURCH TENSIDE.....	22
ABBILDUNG 3-4:	WIRKMECHANISMEN DES <i>BIOSEIVE</i> -VERFAHRENS	24
ABBILDUNG 4-1:	STROMVERBRAUCH ULTRAFILTRATION	30
ABBILDUNG 4-2:	CSB IM ABLAUF DER AKTIVKOHLEFILTER UND STANDZEITEN.....	30
ABBILDUNG 5-1:	AUFBAU DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST	34
ABBILDUNG 5-2:	SCHEMATISCHER AUFBAU DER 1. UND 2. KASKADE SOWIE DIE ABWASSER-/ SCHLAMMAUFTEILUNG	35
ABBILDUNG 5-3:	LIPISOL-DOSIERFASS UND -PUMPE IM ZULAUF ZUR 1. KASKADE DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST	40
ABBILDUNG 5-4:	LIPISOL-DOSIERSTELLE IM ZULAUF ZUR 1. KASKADE DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST	41
ABBILDUNG 5-5:	LIPISOL-DOSIERUNG (KONZENTRAT) IM ZULAUF ZUR 1. KASKADE DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST IM VERSUCHSZEITRAUM	41
ABBILDUNG 6-1:	ABWASSERVOLUMENSTROM (ZULAUF B-STUFE).....	44
ABBILDUNG 6-2:	BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER ABWASSERVOLUMENSTRÖME (B-STUFE)	44
ABBILDUNG 6-3:	CSB-FRACHT (ZULAUF A- UND B-STUFE) 45	
ABBILDUNG 6-4:	BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER CSB-FRACHT (ZULAUF B-STUFE)	45
ABBILDUNG 6-5:	NH ₄ -N-FRACHT (ZULAUF A- UND B-STUFE).....	46
ABBILDUNG 6-6:	BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER NH ₄ -N-FRACHT (ZULAUF B-STUFE).....	46
ABBILDUNG 6-7:	PO ₄ -P-FRACHT (ZULAUF A- UND B-STUFE)	47
ABBILDUNG 6-8:	BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER PO ₄ -P-FRACHT (ZULAUF B-STUFE).....	47
ABBILDUNG 6-9:	ABSETZBARE STOFFE IM ABLAUF DER ZWISCHENKLÄRUNG.....	49
ABBILDUNG 6-10:	CALCIUMKONZENTRATIONEN IM ABLAUF DER ZWISCHENKLÄRUNG (ZULAUF B-STUFE).....	50
ABBILDUNG 6-11:	FESTSTOFFGEHALT IN DER B-STUFE	50
ABBILDUNG 6-12:	ABFILTRIERBARE STOFFE IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG.....	51
ABBILDUNG 6-13:	SICHTTIEFE IM NACHKLÄRBECKEN	52
ABBILDUNG 6-14:	KATIONENFRACHTEN IM ABLAUF DER ZWISCHENKLÄRBECKEN (ZKB).....	52
ABBILDUNG 6-15:	NATRIUMKONZENTRATIONEN IM ABLAUF DER ZWISCHENKLÄRUNG (ZKB) UND IM ABLAUF DER NACHKLÄRBECKEN (NKB)	53
ABBILDUNG 6-16:	FESTSTOFFGEHALT IN DER B-STUFE	56

ABBILDUNG 6-17: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DES FESTSTOFFGEHALTES IN DER BELEBUNG (B-STUFE).....	56
ABBILDUNG 6-18: FESTSTOFFGEHALT IM RÜCKLAUFSCHLAMM DER B-STUFE	57
ABBILDUNG 6-19: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DES FESTSTOFFGEHALTES IM RÜCKLAUFSCHLAMM.....	57
ABBILDUNG 6-20: SCHLAMMINDEX (ISV) IN DER B-STUFE	58
ABBILDUNG 6-21: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DES SCHLAMMINDEX (ISV) IN DER B-STUFE	58
ABBILDUNG 6-22: MITTLERE SICHTTIEFE IN DEN NACHKLÄRBECKEN (B-STUFE)	59
ABBILDUNG 6-23: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER MITTLEREN SICHTTIEFE IN DEN NACHKLÄRBECKEN (B-STUFE)	59
ABBILDUNG 6-24: ÜBERSCHUSSSCHLAMM-VOLUMENSTROM (B-STUFE)	60
ABBILDUNG 6-25: ÜBERSCHUSSSCHLAMM-FESTSTOFFMASSE (B-STUFE).....	61
ABBILDUNG 6-26: SCHLAMMALTER (B-STUFE)	62
ABBILDUNG 6-27: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DES SCHLAMMALTERS IN DER BELEBUNG (B-STUFE)	62
ABBILDUNG 6-28: CSB IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG (B-STUFE).....	64
ABBILDUNG 6-29: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER CSB-KONZENTRATION (ABLAUF NKB)	64
ABBILDUNG 6-30: $N_{\text{GES.ANORG}}$ IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG (B-STUFE).....	66
ABBILDUNG 6-31: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER $N_{\text{GES.ANORG}}$ -KONZENTRATION (ABLAUF NKB)	66
ABBILDUNG 6-32: $PO_4\text{-P}$ IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG (B-STUFE)	67
ABBILDUNG 6-33: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER $PO_4\text{-P}$ -KONZENTRATION IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG.....	67
ABBILDUNG 6-34: ABFILTRIERBARE STOFFE IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG (B-STUFE)	68
ABBILDUNG 6-35: BOX & WHISKER-DARSTELLUNG DER ABFILTRIERBAREN STOFFE IM ABLAUF DER NACHKLÄRUNG (B-STUFE)	68
ABBILDUNG 7-1: BERECHNUNGSGRUNDLAGEN ZUR ERMITTLUNG DES ÜBERSCHUSSSCHLAMMANFALLS (MASSENBILANZ).....	69
ABBILDUNG 7-2: GLOCKENTIERCHEN	73
ABBILDUNG 7-3: FREISCHWIMMENDE WIMPERTIERCHEN	74
ABBILDUNG 7-4: RÄDERTIERCHEN.....	75

Tabellenverzeichnis

TABELLE 2-1:	BETRIEBSVERHALTEN DER MECHANISCHEN VERFAHREN ZUR DESINTEGRATION KOMMUNALEN KLÄRSCHLAMMS [ATV, 2001]	10
TABELLE 2-2:	ÜBERBLICK ÜBER DIE ANWENDUNG DER THERMISCHEN, CHEMISCHEN UND BIOCHEMISCHEN DESINTEGRATIONSVERFAHREN [ATV, 2003]	13
TABELLE 3-1:	BIOINDIKATOREN	26
TABELLE 4-1:	BETRIEBSERGEBNISSE MIT DEM <i>BIOERVE</i> -VERFAHREN BEI AUSGEWÄHLTEN KLÄRANLAGEN	31
TABELLE 5-1:	BETRIEBSVARIATIONEN UND BECKENVOLUMINA	35
TABELLE 5-2:	ARBEITSSCHRITTE UND ZEITLICHE ABWICKLUNG	36
TABELLE 5-3:	ANALYSENPROGRAMM	38
TABELLE 7-1:	FESTSTOFFMASSENBLANZ IM REFERENZZEITRAUM	71
TABELLE 7-2:	FESTSTOFFMASSENBLANZ IM VERSUCHSZEITRAUM	72
TABELLE 8-1:	ERMITTLUNG DER JAHRESKOSTEN FÜR DEN BEREICH SCHLAMMBEHANDLUNG UND - ENTSORGUNG FÜR DIE KLÄRANLAGE NEUSS-OST <i>OHNE</i> DAS <i>BIOERVE</i> -VERFAHREN (REFERENZJAHR AUGUST 2002 BIS JULI 2003)	76
TABELLE 8-2:	ERMITTLUNG DER JAHRESKOSTEN FÜR DEN BEREICH SCHLAMMBEHANDLUNG UND - ENTSORGUNG FÜR DIE KLÄRANLAGE NEUSS-OST <i>MIT</i> DEM <i>BIOERVE</i> -VERFAHREN	77

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Im letzten Jahrzehnt wurde in Deutschland mit fortschreitender Anlagentechnik ein hoher Entwicklungsstand der Kläranlagentechnologie erreicht [z.B. ATV-DVWK, 2003]. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben und Betriebserfahrungen mit vorhandenen Kläranlagenkapazitäten sowie der sich intensivierenden Kostendiskussion [Coburg et al., 2003], [Helbig/Foltys-Schmidt, 2003] haben sich im Hinblick auf die Abwasserreinigung folgende Ziele als dominant herausgestellt:

- Stetige Verbesserung der Gewässerqualität
- Sichere Einhaltung der Kläranlagenablaufgrenzwerte
- Verfahrenstechnische Optimierung der Kläranlagen
- Energie- und Kosteneinsparung.

Wegen der stetigen, jedoch regional zeitlich unterschiedlichen Ausbautätigkeit hat sich ein regional unterschiedlicher Innovationsstand eingestellt. Darüber hinaus führte die Inbetriebnahme neuer Anlagen zu bisher nicht bekannten Betriebserfahrungen. Beispielsweise führte die Umstellung des Belebtschlammprozesses auf die Prozessziele Stickstoff- und Phosphorelimination seit Anfang der 90er Jahre zu Stabilitätsproblemen durch Bildung fadenförmiger Bakterien (u.a. *Microthrix*) und damit auch zu Problemen bei der Einhaltung der Ablaufwerte der Kläranlage.

Auf der Suche nach Handlungsstrategien steht als eine Möglichkeit der Einsatz von **Hilfsstoffen** (Tenside, Kalk etc.) zur Unterstützung der Prozesstechnologie zur Verfügung. In unterschiedlichem Umfang kann die für die Abbauprozesse erforderliche aktive Biomasse erhöht werden. Die Senkung der **Überschussschlammproduktion** sowie des **Schlammindex** durch Hilfsstoffe ermöglicht die Anhebung des im Belebungsbecken eingestellten Schlammalters. Dies ermöglicht eine Prozessoptimierung. Durch eine gezielte Hilfsstoffzugabe ist man also in der Lage, Beckenvolumina bzw. Reaktionszeiten für andere biologische Prozesse (z.B. Denitrifikation oder biologische P-Elimination) zu gewinnen.

Für die Optimierung der **Reststoffentstehung** insgesamt und die zukünftige **Entsorgungssicherheit** der Reststoffe sind tragfähige Strategien zu entwickeln. Auch hier gilt es, zunächst den Markt der chemischen und biologischen Hilfsstoffe hinsichtlich einer Reduzierung der Reststoffe, im Besonderen des Klärschlammes, zu sondieren und damit verbundene Syn-

ergien zu beobachten und nützliche wie auch möglicherweise schädliche Nebenwirkungen herauszustellen.

Die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen sollte ins Blickfeld gründlicher Analysen vor Ort gestellt werden. Sie steht im Zusammenhang mit der **baulichen Konzeption**, die bei Änderungen der Ausrüstung nicht immer angepasst wurde. Vielfach wurde bei (notwendiger) standardisierter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse gemäß den geltenden Regeln der Technik nicht das mögliche technische Optimum gefunden. An leidvolle Erfahrungen mit den aus Sparsamkeitsgründen zu flach konzipierten Absetzbecken nach dem alten ATV-Arbeitsblatt A 131 sei erinnert. Die Situation hat sich inzwischen deutlich verbessert. Es steckt hier jedoch in Abhängigkeit von örtlichen Verhältnissen noch ein Einsparpotenzial, welches bei dem Wirkungsgrad der Feststoffabtrennung und -führung Verbesserungen bringen kann.

Die Durchführung von **Strömungssimulationen** (räumliche Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren) kann Defizite bei der Ausnutzung von Beckenvolumina aufzeigen, so dass dann entsprechende Lösungsansätze erarbeitet werden können (z.B. Veränderung von Ein- und Auslaufbereichen, Installation von Leitblechen etc.). Dies kann durchaus monetäre Konsequenzen haben, wenn es z.B. hierdurch gelingt, mit einfachen Maßnahmen, möglicherweise mit ohnehin erforderlichen Ersatzbeschaffungen für eine Erniedrigung der Abwasserabgabe zu sorgen und damit eine kostenneutrale Leistungsverbesserung in Bezug auf das Gewässer herbeizuführen.

Die **Verbundsteuerung** bzw. -bewirtschaftung des Kanalnetzes und der nachgeschalteten Kläranlage gewinnt zunehmend an Bedeutung. Auch hier sind in der Regel signifikante Einsparpotenziale gegeben, die ermittelt und in ein Gesamtkonzept integriert werden können.

Weiter wird es notwendig sein, auf den Kläranlagen nach dem Einspar- und Optimierungspotenzial der **Ausstattung** zu suchen. Hier wird sich z.B. die Frage nach dem vorhandenen Belüftungssystem stellen, wo sich der wachsende Erkenntnisstand in maschinelle Innovationsmöglichkeiten weiterentwickelt hat und dies im Zusammenhang mit der weiterentwickelten Prozesstechnologie. Es hat sich aber auch herausgestellt, dass früher nur bei der Trinkwasserversorgung genutzte Verfahren der Feststoffabtrennung durch Membrantechniken auch in der Abwassertechnik zu Verbesserungen führen kann. Nicht nur die Leistungsfähigkeit der Trenntechnik, sondern auch die Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit einer Modifikation der Prozesstechnologie sind hierbei ein Thema.

Auch durch Modifikation der **Prozesstechnologie** (Verfahrenstechnik) und der **MSR-Technik** sollte es möglich sein, Kläranlagenablaufwerte deutlich zu verbessern, **Energie** und somit Kosten im Betrieb der Belebungsanlage einzusparen. Zum Thema Energieeinsparung in Kläranlagen kann das vom MUNLV in NRW erstellte Handbuch „Energie in Kläranlagen“ (1999) hilfreich sein. Dieses Handbuch vermittelt eine praktische Anleitung zu einer systematischen und effizienten Vorgehensweise zur Energieoptimierung auf den Kläranlagen und ist ein praktisches Nachschlagewerk zur Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Maschinenteknik und Energiebereitstellung. Großes Gewicht wird dabei auf wirtschaftliche Fragen gelegt, welche bezogen auf den Zeitpunkt der Handbucherstellung heute schon fortgeschrieben werden können.

Es wird deutlich, dass im **komplexen System der Kläranlage** die ablaufenden Prozesse ineinander greifen und nicht unabhängig voneinander ablaufen. Eine Hilfsstoffdosierung beispielsweise ist trotz der erzielbaren positiven Effekte häufig nur wirtschaftlich, wenn die gewonnenen Ressourcen konsequent genutzt werden, auch wenn dafür weitere Optimierungsschritte notwendig werden. Die Kombination von Hilfsstoffen oder Ausstattungsverbesserungen verdienen hierbei ein besonderes Augenmerk. Dies gilt in gleicher Weise für die anderen aufgezeigten Innovations- und Einsparpotenziale.

Folgende Elemente im Bereich der Abwasserreinigung lassen sich beispielsweise als innovations- und einsparrelevant herausstellen:

- **Hygienisierung von gewaschenem Sand**

Der hygienisch noch bedenkliche Reststoff kann damit in einen echten Wertstoff umgewandelt werden, der sich dank niedriger Entsorgungskosten rechnet.

- **Überschussschlammreduktion**

Die Reduzierung von Überschussschlamm kann bereits im Prozess der biologischen Abwasserbehandlung dafür sorgen, dass die Schlammbehandlung wegen geänderter Schlammeigenschaften erleichtert wird und dass wegen verminderter Trockensubstanzmengen auch geringere Entsorgungskosten anfallen.

- **Einsatz von Membranstufen**

Die Effektivität der biologischen Behandlung kann ggf. durch Membranstufen verbessert, teilweise erst ermöglicht werden.

- **Intensivierung des Faulungsprozesses**

Der Faulungsprozess kann intensiviert werden, so dass geringere Mengen an Faulschlamm anfallen, andererseits der nutzbare Faulgasanfall erhöht wird.

- **Energieeinsparung/-rückgewinnung**

Eine Energieeinsparung durch Verbesserung der Belüftung im Belebungsbecken ist denkbar. Andererseits ist eine Energie-Rückgewinnung in der Belebungsanlage möglich.

- **Bessere Steuerung durch Online-Messung**

Eine bessere Steuerung durch Online-Messung bestimmter Inhaltsstoffe in den Prozessströmen oder hydraulische Gegebenheiten mit der Folge einer verbesserten Steuerung des hydraulischen Geschehens kann ökonomisch und ökologisch Sinn machen.

Eine ganzheitliche Strategie zur Ermittlung des Innovations- und Einsparpotenzials bei kommunalen Kläranlagen zur Abstimmung der denkbaren technischen Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen existiert bisher nicht. Auch eine weiterführende dynamische Optimierung des Gesamtsystems im Sinne von Variantenuntersuchungen mit Kombination von Einzelmaßnahmen unter Berücksichtigung zeitlicher Entwicklungen ist nicht vorhanden und muss gesucht werden. Dies wird das Ziel weiterer Untersuchungsvorhaben sein.

In dem vorliegenden Projekt wurde ein Element der zu entwickelnden ganzheitlichen Strategie näher untersucht: die Reduzierung des Überschussschlammes mit dem Hilfsstoff LIPISOL (Tenside) der Fa. Bioserve GmbH (Mainz) am Beispiel der Kläranlage Neuss-Ost. Das Projekt wurde finanziell von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) in Osnabrück unterstützt.

Die Zielsetzung des Projektes war es, anhand des Beispiels der Kläranlage Neuss-Ost in Nordrhein-Westfalen den Wirknachweis des *Bioserve*-Verfahrens zu führen. Die Untersuchung dieser Ziele mit einer abschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Einbeziehung sämtlicher Prozessstufen der Kläranlage (Abwasserreinigung und Schlammbehandlung) war Gegenstand der Untersuchungen.

Das Gemeinnützige Institut Wasser und Boden e.V. (IWB), St. Augustin, unter dem Vorsitz von Dr.-Ing. Jörg Strunkheide wurde von der Fa. Bioserve GmbH beauftragt, die wissenschaftliche Begleitung durchzuführen.

2 EINSATZ VON HILFSSTOFFEN IN KLÄRANLAGEN SOWIE MECHANISCHE, THERMISCHE, CHEMISCHE UND BIOCHEMISCHE DESINTEGRATIONSVERFAHREN

2.1 Überblick über den Einsatz von Hilfsstoffen in Kläranlagen mit unterschiedlichen Wirkungsweisen

Der Einsatz von Hilfsstoffen lässt sich hinsichtlich ihrer Natur oder auch ihrer Wirkungsweise in vier Gruppen aufgliedern:

- Chemische Hilfsstoffe: z.B. Fällmittel Kalk, Eisen oder Aluminium, Oxidantien usw.
- Biologische Hilfsstoffe: z.B. Enzyme, adaptierte Bakterien
- Physikalische Hilfsstoffe: z.B. Aktivkohle, Kalk
- Kombinationsprodukte: z.B. aktivierte Aluminiumverbindungen.

Hinsichtlich ihrer Herkunft kann man diese Gliederung weitgehend durchhalten, hinsichtlich ihrer Wirkung jedoch nicht unbedingt. So gibt es z.B. beim Eisen sowohl rein chemische Wirkungseigenschaften der Fällung als auch die physikalisch wirksame Größe einer Schlamm-beschwerung. Hilfsstoffe können aber auch schädliche Auswirkungen haben. So ist es z.B. möglich, dass beim Gebrauch von Fällmitteln zusätzlich Schwermetalle in den Behandlungsprozess eingeschleppt werden oder einfach die Inertmasse, welche die zu entsorgende Schlammmenge vergrößert. Dieses Thema wurde vom IWB bereits vor längerer Zeit untersucht [IWB, 1998].

Chemische Hilfsstoffe

Bei den chemischen Hilfsstoffen sind zunächst die altbekanntesten Fällmittel

- Kalk [Witte et al., 2000]
- Eisensalze [ATV-DVWK, 2003a]
- Aluminiumsalze [ATV-DVWK, 2003a]
- Natriumaluminat [ATV-DVWK, 2003a].

zu nennen, die seit der jüngeren Vergangenheit häufig genutzt werden, um den Phosphorgehalt der Kläranlagenabläufe zu reduzieren. Aber auch andere Anwendungsgebiete sind bekannt [Witte et al., 2000], [IWB 1998]. Dazu wurden und werden insbesondere Kalk und

Eisensalze zur Verbesserung der Entwässerbarkeit von Klärschlamm eingesetzt. Diese Stoffe sind nun nicht als besonders innovativ zu bezeichnen, jedoch müssen sie mit betrachtet werden, wenn es um Einsatzverbesserungen, Kombinationspräparate oder Synergien mit anderen Hilfsstoffen geht, die in der Verfahrenstechnik eingesetzt werden. Hinzu kommen in dieser Kategorie organische Hilfsstoffe, z.B. Polyelektrolyte, die bereits seit langer Zeit bei der Klärschlamm-entwässerung im Einsatz sind. Diese Stoffe wurden als nicht toxisch eingestuft, zeichnen sich aber in der Praxis wegen der Langkettigkeit der Moleküle auch in ihren Metaboliten als besonders langlebig aus. Sie sind hier der Vollständigkeit halber genannt, werden bei den weiteren Betrachtungen aber nur dann eine Rolle spielen, wenn sie in der Prozessveränderung verzichtbar werden und somit ökonomisch zu bewerten sind.

In dieser Gruppe tauchen in jüngerer Zeit verstärkt organische Hilfsstoffe, **Tenside** [Strunkheide, 2003 und 2003a] auf, die, richtig angewendet, eine bedeutsame Rolle bei der ökonomischen Optimierung des Belebtschlammprozesses und der Überschussschlammreduzierung spielen können. Die Tenside sind innerhalb der klassischen Prozesskette der biologischen Abwasserreinigung wirksam und haben prozessverbessernde Eigenschaften (Produkt LIPISOL, *Bioserve*-Verfahren). Die Wirksamkeit des Produktes kann inzwischen als nachgewiesen betrachtet werden.

Daneben sind chemisch oxidierende Stoffe im Einsatz, z.B. als **Oxidate** [Strunkheide, 2004], die sowohl die biologischen Prozesse der Abwasserbehandlung beeinflussen können als auch ergänzende Wirkungen zeigen. Solche Oxidate werden in speziellen Elektrolyseprozessen (Diaphragmalyse) gewonnen und haben wegen der direkten kurzfristigen Kontaktmöglichkeiten mit den in Frage kommenden Prozessmedien eine hohe oxidierende Wirkung. Diese Oxidate wurden zunächst in der Trinkwasserversorgung angewendet, können nach jüngsten Erfahrungen aber auch im Abwasser eingesetzt werden. Bekannt geworden ist hier ein preiswertes Mittel (OXIDAT der Firma Sincerus GBM), gewonnen aus einer Kochsalz/Wasser-Mischung, dessen Einsatz an mehreren Stellen des Abwasserreinigungsprozesses denkbar ist:

- beim Belebtschlammprozess zur Unterdrückung von fädigen Bakterien,
- im Ablauf der Kläranlage zur Abwasserdesinfektion bei gleichzeitiger Desinfektion des Abwassers bis zur Erreichung der Badewasserqualität und der Reduzierung des Rest-CSB, bei welchem u.a. auch endokrin wirkende Stoffe abgebaut werden, mit gleichzeitiger Reduzierung auch der fälligen Abwasserabgabe,

- zur Desinfektion von Brauchwasser,
- zur Desinfektion gewaschener Sande,
- zur Desinfektion möglicherweise auch des Klärschlammes,
- zur Geruchsbekämpfung.

Dieses relativ neue Produkt steht zur weiteren Praxiserprobung an, die begleitend in F & E-Vorhaben vorgenommen werden muss.

Biologische Hilfsstoffe

In der Gruppe der „biologischen Hilfsstoffe“ sind **aktivierte Bakterien** zu nennen. Solche Bakterien werden für bestimmte Prozessstufen gezüchtet und zusammen mit Trägermaterial, meist in trockener Konsistenz, angeliefert. Hierzu gehört z.B. das Produkt HISTOSOL der Firma Ekolution, welche Trägermaterial auf Ligninbasis einsetzt. Dieser Stoff kann zur Aktivierung des Faulprozesses eingesetzt werden. Reduzierungen des oTR-Gehalts von 10 % erscheinen möglich bei gleichzeitiger Steigerung des Gasanfalls [Strunkheide/Littmann, 2003]. Auch für dieses Produkt sind weitere Praxisuntersuchungen zur Qualifizierung der Prozessparameter erforderlich.

Als biologische Hilfsstoffe sind auch die **Enzyme** zu bezeichnen. Diese Stoffe sind für viele biologische Prozessstufen angeboten und auch schon untersucht worden. Häufig war das Ergebnis negativ, weil auf Dauer unwirksam oder wirtschaftlich nicht vertretbar. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können nicht alle Stoffe in dieser Kategorie gesehen, sondern es müssen Differenzierungen vorgenommen werden. Bei der enzymkatalysierten Faulung beispielsweise konnte in großtechnischen Versuchen der TR-Ausfaulungsgrad im Bereich von 10 bis 20 % mit entsprechend höherem Gasertrag verbessert werden [Burbaum et al., 2002]. Versuche mit einem weiteren Produkt laufen zur Zeit auf der Kläranlage Moosburg a. d. Isar.

Weiter in der Erprobungsphase ist die biologisch wirksame **Folsäure (Vitamin B)**, welche als Element der menschlichen Nahrung bereits einen Stellenwert erreicht hat. Versuche von Betreibern kommunaler und industrieller Kläranlagen (hauptsächlich in Brasilien) haben ergeben, dass auch der Belebtschlammprozess durch dieses Mittel beeinflusst und eine Überschussschlammreduktion in der Größenordnung von 40 bis 60 % erzielt werden kann. Erfahrungen gibt es aber auch in Deutschland schon bei verschiedenen Kläranlagen [Strunkheide,

2004]. Die Anwendung dieses Mittels in der kommunalen Abwasserreinigung ist z.Z. in der Erprobungsphase und bedarf ergänzender Praxisversuche. Ein umfangreicherer Einsatz ist bisher an der preisgünstigen Lieferung größerer Mengen gescheitert, was nach Angaben der Lieferfirma inzwischen behoben sein soll.

Physikalische Hilfsstoffe

Physikalisch wirkende Hilfsstoffe sind seit langem bekannt. So trägt der poröse **Natur-Zeolith**, abgesehen von seinen ionenselektiven Eigenschaften zur Ansiedlung und Beschwerung von Belebtschlammflocken bei. Frühere Untersuchungen [Witte/Keding, 1992] müssten durch neuere Entwicklungen in der Praxis hinsichtlich der Ökonomie untersucht werden.

Ähnliche Eigenschaften werden dem **Bentonit** zugeschrieben. Diese Stoffe haben den Vorteil der Betriebserleichterung bei leichten Belebtschlammflocken, den Nachteil der erhöhten Menge zu entsorgenden Klärschlamms.

Von der **Aktivkohle** ist zu sagen, dass sie gleichzeitig beschwerende und adsorptive Eigenschaften ausweist. Hier gilt es, vorhandene Literatur auszuwerten und für den Anwendungsbereich aufzubereiten. Neu im „Angebot“ ist ein australisches Produkt (DARK EARTH), welches in die Untersuchungen mit aufgenommen werden sollte, um die Palette der Hilfsstoffe möglichst vollständig zu machen.

Biologisch/chemische Anwendungsmechanismen

Für den praktischen Betrieb besonders interessant und auch neu ist die Kombination/Koppelung von Hilfsstoffen im Prozess. Eine Mischung aus biologischen und chemischen Anwendungsmechanismen stellt z.B. eine **aktivierte Aluminiumverbindung** der Firma Hei-ENTEC dar. Ziel des Einsatzes ist, mit der sogenannten „C-N-P-Strategie“ durch Bakterien-selektion im Prozess den Kohlenstoff für den Faulbehälter zu konservieren, Stickstoff und Phosphor weitgehend in der Biomasse zu speichern und damit auf Nitrifikation sowie Denitrifikation zu verzichten [Heimann, 2002]. Dieses Mittel soll auf diese Weise zur Energieeinsparung im Belüftungsprozess, zur Verstärkung der Biogaserzeugung und letztlich zu Einsparungen bei der Vorentwässerung führen. Eine Ammonium- und Phosphor-Rückgewinnung aus dem Substrat der anaeroben Behandlung wäre anzudenken.

Aber auch die **additive Koppelung** von Hilfsstoffen, z.B. Tenside und Oxidat oder Folsäure sind weiter im Hinblick auf Prozessverbesserung und Einsparung zu untersuchen.

Die obige Aufzählung zeigt, dass die Möglichkeiten des Einsatzes der Hilfsstoffe erheblich ist. Die obige Auflistung beansprucht nicht, vollständig zu sein. Viele Stoffe sind am Markt genutzt und weiterentwickelt, andere wegen Unbrauchbarkeit verworfen worden. Hier wird es darum gehen, praxisbewährte oder praxiswahrscheinliche Produkte herauszufiltern und in einer Matrix zu verarbeiten. Ferner wird es zweckmäßig sein, selektiv Kombinationsmöglichkeiten von Produkten herauszuarbeiten und, wo möglich, Praxisversuche durchzuführen – alles unter dem Ziel der möglichen Kosteneinsparung, aus welcher ein Großteil der Versuche auch finanziert werden können.

2.2 Einsatz von Hilfsstoffen mit dem Prozessziel der Klärschlammreduktion

Aus den oben beschriebenen Hilfsstoffgruppen sind drei Produkte hervorzuheben, die gegenwärtig im Bereich der Forschung mit der Zielsetzung der Klärschlammreduktion intensiv untersucht werden. Es handelt sich hierbei um die Produkte:

- Tenside (Produktname LIPISOL der Fa. Bioserve GmbH) [Strunkheide, 2003 und 2003a]
- Folsäure (Produktname DOSFOLAT der Fa. TBA GmbH) [Strunkheide, 2004]
- Enzyme (Fa. Schmidt Umwelttechnik).

Während die Produkte LIPISOL und DOSFOLAT dem Abwasserreinigungsprozess (Belebtschlammverfahren zur Überschussschlammreduktion und Erhöhung der Prozessstabilität) zugeführt werden, werden Enzyme direkt in den Faulungsprozess zur Schlammreduktion und Erhöhung der Gasausbeute eingebracht.

Die eingehende Untersuchung dieser Hilfsstoffe erfolgt zur Zeit in einem F&E-Projekt, das vom Ministerium für Umwelt und Forsten in Rheinland-Pfalz finanziell unterstützt wird. Es ist auch vorgesehen, weitere Kläranlagen in Deutschland, bei denen schon die Hilfsstoffe Tenside, Folsäure und Enzyme eingesetzt werden, in die Betrachtungen – insbesondere beim Ergebnismodell – mit einzubeziehen. Auf diese Weise wird es möglich sein, auch unterschiedliche Verfahrenstechniken und Betriebsweisen der Kläranlagen entsprechend zu berücksichtigen, so dass ein Leitfaden für die Praxis erstellt werden kann (Expertensystem).

Der Einsatz von Hilfsstoffen für das Prozessziel Schlammreduktion wird in den meisten Fällen leichter zu realisieren und darüber hinaus auch deutlich wirtschaftlicher sein, als zusätzli-

che Maßnahmen im Bereich in der technischen Ausstattung, wie z.B. die Desintegration, auf die nachfolgend noch näher eingegangen wird.

2.3 Mechanische, thermische, chemische und biochemische Verfahren zur Desintegration von Klärschlämmen

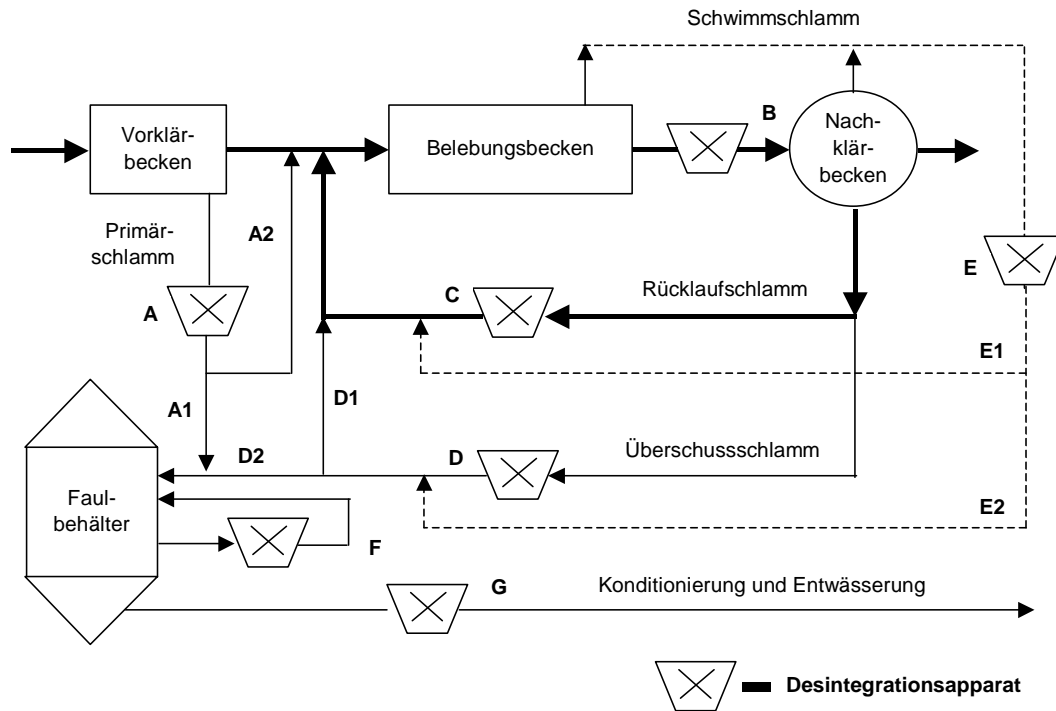
2.3.1 Mechanische Desintegration

Die Desintegration verfolgt als Zielsetzungen das Freisetzen von Zellinhaltsstoffen, um den Schlamm weitergehend als bisher zu stabilisieren bzw. zu mineralisieren, sowie die Bekämpfung von Schaumproblemen. Konkrete Einsatzgebiete sind die Bereitstellung von internen H-Quellen zur Verbesserung der Denitrifikation sowie die Verbesserung der Absetzbarkeit von Schlämmen. Dies kann durch unterschiedliche Desintegrationsverfahren erreicht werden wie Rührwerkskugelmühle, Ultraschallreaktor, Hochdruckhomogenisator sowie durch Neuentwicklungen wie Hochleistungspulsreaktor, Prallstrahlgerät und Lysat-Zentrifuge (s. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Betriebsverhalten der mechanischen Verfahren zur Desintegration kommunalen Klärschlamms [ATV, 2001]

	Rührwerkskugelmühle	Ultraschall-desintegrator	Hochdruckhomogenisator	Hochleistungspulstechnik	Lysat-Zentrifuge	Prallstrahlverfahren
Umfang der Betriebserfahrung:						
- Labor	++	++	++	+	--	+
- PilotAnlage	++	++	++	-	--	--
- großtechn. Versuchsbetrieb	+	+	-	- 2)	+	--
- Dauerbetrieb	-	-	--	--	+	--
Stabilität gegenüber Störstoffen	+/- 1)	++	--	++	+	-
Technischer Entwicklungsstand für den Einsatz auf Kläranlagen:	+	+	--	-	+	-

In Abbildung 2-1 sind mögliche Einsatzorte der Desintegration im Kläranlagenprozess aufbereitet [ATV, 2001].



- A Optimierung der Faulung
- B Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
- C Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
Verminderung des Überschussschlammanfalls
- D Optimierung der Denitrifikation
Verminderung des Überschussschlammanfalls (D)
- D1 Optimierung der Denitrifikation (D1)
- D2 Optimierung der Faulung (D2)
- E Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
- F Optimierung der Faulung
- G Beeinflussung des Entwässerungsverhaltens

Abbildung 2-1: Anwendungsmöglichkeiten der Klärschlammdesintegration [ATV, 2000]

2.3.2 Thermische, chemische und biochemische Verfahren zur Desintegration

Sowohl bei der thermischen als auch bei der chemischen und biochemischen Desintegration sind die Hydrolyse und/ oder Oxidation als grundlegende Prozesse anzusehen [ATV, 2003].

Man versteht unter *Hydrolyse* die (Ab-)Spaltung langkettiger organischer Moleküle in monomere Bausteine durch Anlagerung von Wasser. Die Hydrolyse erfolgt:

- physikalisch durch Druck und Temperaturerhöhung,
- chemisch durch Säuren oder Laugen,
- biochemisch katalysiert durch Enzyme, anaerob oder aerob,
- durch Kombination davon.

Im Schlammbereich kommen als Hydrolysemittel in Betracht:

- Wasser und anorganische Säuren bzw. Basen,
- Alkohole oder organische Säuren,
- Wasser und Enzyme.

Die Oxidation ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Atom oder Molekül Elektronen abgibt. Hierbei nimmt das Oxidationsmittel die abgegebenen Elektronen auf und wird damit selbst reduziert. Beispiele für Oxidationsmittel sind Sauerstoff, Ozon und Wasserstoffperoxid.

Eine Übersicht über thermische, chemische und biochemische Verfahren zur Desintegration ist in Abbildung 2-2 gegeben.

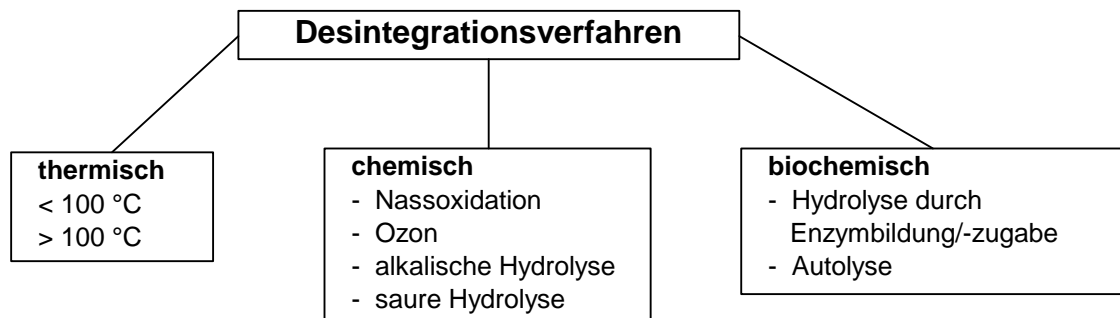


Abbildung 2-2: Übersicht über thermische, chemische und biochemische Verfahren zur Desintegration [ATV, 2003]

Exemplarisch sind in Tabelle 2-2 für einige Verfahren die derzeit zur Verfügung stehenden Daten vor allem aus großtechnischer Anwendung dargestellt.

Tabelle 2-2: Überblick über die Anwendung der thermischen, chemischen und biochemischen Desintegrationsverfahren [ATV, 2003]

Verfahrensprinzip	Schlammart /Maßstab/ Verfahrensbez.	Aufwand				Ergebnis		Quelle
		Reagenzien	Druck [MPa]	Temp. [C°]	Behandlungsdauer	Aufschluss-/ Freisetzungsgrad	Bemerkungen	
Alkalische Hydrolyse	ÜS/ großtech.	25 %ige NaOH		95	0.13 - 0.5 h	< 65 % ³⁾	- Verringerung ÜS-Anfall bis zu 50 % - Verbesserung der Entwässerung nach höherer Kalkzugabe von 33 auf 43 % TR - Anstieg CSB-Fracht um 20 % und N-Fracht um 27 % im Zulauf der KA	Burghardt, 1999
Saure Hydrolyse	ÜS/ großtech./ Chemolyse	HCl	1 - 2	> 130	0.5 h	ca. 50 % ²⁾	- Reduktion der Filterkuchenmenge nach Entwässerung um 80 %	Köster, 2002
	ÜS/ halbtech./ Krepro	H ₂ SO ₄	2	140	1 h	ca. 30 % ²⁾	- Verbesserung Entwässerung (45 % TR) - Desintegrat als H-Donator für die Denitrifikation verwendbar	Recktenwald, 2002
Autolyse	PS/großtech.			17 - 20	bis 5 d	9 - 16 % ²⁾	- Verbesserung der Bio-P-Elimination und Denitrifikation	Andreasen et al., 1997
	ÜS/großtech.			8 - 17	ca. 7 d	2,5 % ²⁾	- Reduktion der P-Ablaufwerte auf die Hälfte	
Oxidation	ÜS/großtech.	O ₃					- Überschussschlammfall 60 bis 100 % verringert	Yasui, 1996
							- Überschussschlammfall bis 35 % verringert	Ried und Peters, 1999
							- Überschussschlammfall bis 60 % verringert	Mené und Lebrun, 2002
Nassoxidation	RS/großtech./ Loprox	O ₂	0,05 - 0,2	< 200	1 - 3 h	90 % ³⁾	- 70 % der org. Feststoffe werden vollständig oxidiert, weitere 20 % gelöst	Holzer, Horak, 1999
	RS/großtech./ Osaka Gas	O ₂	0,9	270	0.4 h		- Freisetzung von über 60 % des im Schlamm gebundenen Stickstoffs	Weemaes und Verstraete, 1998
Thermische Desintegration	ÜS/labortech./ Limus			100 - 180	0.5 - 1 h	18 - 54 % ²⁾	- Linearer Anstieg der CSB- und N-Freisetzung mit der Behandlungstemp. - verminderter Filtrationswiderstand nach Behandlung hoher Temperatur	Elbing und Dünnebeil, 1999
	RS/großtech./ Cambi			130 - 180	0.5 h	ca. 30 % ²⁾	- ca. 60 % CSB-Abbau - weitgehende Hygienisierung - Anstieg TR Filterkuchen von 20 auf 35 % TR - Anstieg NH ₄ -N im Filtrat auf 2.500 mg/l	Kepp et al., 1999
Thermochemische Kombination	ÜS/halbtech./ Thadis	Ammoniak	1	180	0.1 - 0.3 h	100 % ¹⁾	- oTR-Verringerung im Faulschlamm auf 41 %	Lippert, 2001
Dosierung von Enzymen	RS/großtech.	Enzymgemisch					- Verbesserung oTR-Abbau ca. 20 % - 500 - 800 mg Enzym / kg oTR	Burbaum et al., 2002
Oxidation	ÜS/großtech.	O ₃				35 % ¹⁾	- Verbesserung org. Abbaugrad um 20 % - Erhöhung Polymermittelbedarf um 29 % - Verbesserung Entwässerungsergebnis - Steigerung Schlammwasserbelastung um 60 % (CSB) bzw. 16 % (NH ₄ -N)	Winter, 2003
Schlammhydrolyse	PS/großtech.			25	3 d	8 % ²⁾	Erhöhung der Denitrifikationsrate um 44 %	Brinch et al., 1994
Thermochemische Desintegration	ÜS/ halbtech./ Kepro	H ₂ SO ₄		140 - 160	0.5 - 0.75 h	ca. 30 % ²⁾	Einsatz des Hydrolysats führt zu ähnlichen Denitrifikationsraten wie andere Kohlenstoffquellen.	Mönnich-Jung, 1994
Thermische Desintegration	RS/Pilotanlage/ (1m ³ /d)			180	0.5 h	28 % ²⁾	- stabiler Betrieb über 1 Jahr; - 2/3 des CSB des Desintegrats als H-Donator verwertet	Barlindhaug und Odegart, 1996
Th+B9ermisch	40 % RS - 60 % ÜS/ labortech.			80-121	1 h	25 - 48 % ¹⁾	- Nach Behandlung bei 121 °C vollständige Schaumreduktion im Faulbehälter - Anstieg der TKN-Rückbelastung um 5 bis 15 % - Rückgang der Pges-Rückbelastung um ca. 20 % - Steigerung der Gasausbeute bis 22 %	Kopplow und Barjenbruch, 2001
Chemisch	BS/großtech.	H ₂ O ₂					Abtötung der Fadenorganismen	Schwarzer et al., 1980

FS: Faulschlamm, PS: Primärschlamm, RS: Rohschlamm, ÜS: Überschussschlamm, BS: Belebtschlamm

1) ACSB = (CSB_{Probe} - CSB_{Nullprobe} / CSB_{Natronlauge} - CSB_{Nullprobe})

2) CSB_{gelöst} / CSB_{gesamt}

3) Abnahme des oTR

2.4 Klärschlammreduktionspotenziale und Wirtschaftlichkeit

Zur Beurteilung und Vergleich der Reduktionspotenziale und Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren zur Klärschlammreduktion ist zu berücksichtigen,

- welche *Prozessziele* mit dem jeweiligen Verfahren verfolgt werden bzw. welche Sekundäreffekte sich ergeben,
- an welcher *Stelle* im Klärwerksprozess auf den Schlamm eingewirkt wird,
- welche mechanischen, biologischen und/oder chemischen Verfahren im Bereich der Abwasserreinigung/ Schlammbehandlung mit Grad der jeweiligen Ausprägung im Einzelfall vorliegen.

Die vorgenannten Randbedingungen bzw. *Prozessziele* können von Verfahren zu Verfahren, aber auch von Kläranlage zu Kläranlage stark variieren, so dass ein direkter Vergleich der Reduktionspotenziale und Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren sehr sorgfältig durchzuführen ist. Beispielsweise verfolgt das *Bioserve*-Verfahren das Prozessziel der Überschussschlammreduktion mit einhergehender Reduzierung der Stickstoff-Rückbelastung durch geringere Laufzeiten der Überschussschlamm-Eindickzentrifugen, Reduzierung von Fällmitteln sowie Stabilisierung des Kläranlagenbetriebes. Bei der Klärschlammintegration vor der Faulung liegt das Prozessziel nicht nur in der Reduktion der Schlammfeststoffmasse, sondern hier wird auch eine Erhöhung der Faulgasausbeute bzw. eine Bereitstellung von zusätzlichen C-Quellen für die Stickstoffelimination (Vorteil für Kläranlagen, die zu wenig Kohlenstoff für die Stickstoffelimination haben) in der Regel angestrebt. Die Stickstoff-Rückbelastung der Kläranlage wird sich bei der Klärschlammintegration im Gegensatz zum *Bioserve*-Verfahren in der Regel mit den bekannten Auswirkungen auf den Kläranlagenprozess erhöhen. Die Ausrichtung der Verfahren auf unterschiedliche Prozessziele macht die Schwierigkeit deutlich, hier eine entsprechende Bezugsbasis für die Wirtschaftlichkeit – z.B. Angabe von Kosteneinsparungen je Tonne Schlammfeststoffmasse – für alle Verfahren annähernd herzustellen.

In die Betrachtung mit einzubeziehen sind die unterschiedlichen *Stellen* im Klärwerksprozess, an denen die verschiedenen Verfahren im Hinblick auf eine Schlammreduzierung einwirken können, d.h. die Bereiche *Abwasserreinigung* sowie *Schlammbehandlung* [Dichtl, 2002]. Die verschiedenen Verfahren zur Schlammreduktion in den Bereichen *Abwas-*

serreinigung sowie *Schlammbehandlung* können verfahrensbedingt zu unterschiedlichen Wirkungsgraden und Wirtschaftlichkeiten führen, wie nachfolgend dargelegt wird.

➤ **Mögliche Maßnahmen im Abwasserreinigungsprozess**

(z.B. Erhöhung des Schlammalters, Dosierung von Enzymen, Tensiden, physikalische/chemische Beanspruchung des Belebtschlammes, mechanische oder chemische Beeinflussung des Belebtschlammes)

Es ist nicht zuletzt aus Erkenntnissen/Erfahrungen mit dem Betrieb von Druckmembrananlagen bekannt, dass durch **Erhöhung des Schlammalters** bei gleichzeitig feststofffreiem Zufluss zum Belebungsbecken die Überschussschlammproduktion auf nahe Null gesenkt werden kann. Diese Randbedingungen sind für den praktischen Betrieb der Kläranlagen in Deutschland so gut wie nicht einhaltbar; diese würden darüber hinaus zu einem deutlichen Mehrschlammfall in der Vorreinigung führen [Dichtl, 2002]. Dennoch ist es bei einigen Kläranlagen möglich – sofern die Belüftung und die Nachklärbecken ausreichend dimensioniert sind – den Feststoffgehalt in der Belebung in bestimmten Grenzen anzuheben, um auf diese Weise die Schlammbelastung und damit einhergehend das Schlammalter zu erhöhen, wodurch eine gewisse Reduzierung der Überschussschlammproduktion erzielt werden kann. Das erzielbare Reduktionspotenzial hängt von den spezifischen Randbedingungen der jeweiligen Kläranlage ab.

Quasi zum Ergebnis „Null Überschussschlamm“ [Sakai, 1997] führen in der Tat erste großtechnische Versuche aus Japan mit einer **Ozonisierung** von Teilen des Überschussschlammes. Anstelle von Ozon wurden auch Untersuchungen mit Natronlauge zur teilweisen Behandlung des Überschussschlammes mit etwa vergleichbaren Ergebnissen durchgeführt [Watanabe, 2000]. Jedoch treten hier erhebliche Nachteile, wie z.B. kontinuierliche Anreicherung des anorganischen Anteils im Schlamm der Anlage, Anreicherung von Schwermetallen, erhöhter Schlammabtrieb aus der Nachklärung sowie fehlende Möglichkeit zur Phosphatelimination auf, so dass dieses Verfahren für deutsche Verhältnisse nicht in Frage kommen dürfte [Dichtl, 2002].

Beim *Bioserve*-Verfahren werden **Tenside** direkt in die belüftete Stufe oder wahlweise in den Rücklaufschlamm der Belebungsanlage dosiert. Zielsetzung ist die Reduzierung des biologischen Überschussschlammes im Belebungsbecken. Die Wirkung der Tenside ist im Wesentlichen auf die folgenden Mechanismen zurückzuführen:

- Zerstörung der Zellmembran an der Dosierstelle,
- Herabsetzung des Transportwiderstandes der Zellmembran,
- Koaleszenzhemmung der Luftblasen und
- Dispergierung nicht mischbarer C-Verbindungen (Fette).

Im Rahmen von großtechnischen Untersuchungen konnten mittlere Eliminationsleistungen des Überschussschlammes in der Größenordnung von 30 % nachgewiesen werden [IWB, 2003]. Dem Betreiber entstehen keine Investitionskosten, da Dosierfass und Pumpe zur Verfügung gestellt werden. Die Vergütung des *Bioserve*-Verfahrens wird voraussichtlich im Mittel bei 150 € je Tonne Feststoff reduziertem Überschussschlamm liegen, so dass sich für den Betreiber in Abhängigkeit von der jeweiligen Schlammbehandlungs- und Entsorgungssituation Einsparpotenziale in der Größenordnung von 50 bis 100 € je Tonne Feststoff ergeben dürften. Einsparungen infolge verminderter Rückbelastung durch geringere Laufzeiten von Entwässerungsaggregaten sowie Einsparungen von Fällmitteln sind hierbei noch nicht berücksichtigt und führen zu einer weiteren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

➤ **Mögliche Maßnahmen im Schlammbehandlungsprozess**

(z.B. Desintegration mit unterschiedlichen technischen Einrichtungen, enzymatische und/oder thermische Vorbehandlung, chemische und/oder thermische Behandlung bzw. Hydrolyse).

Bei der **Klärschlamm-desintegration** kann je nach Randbedingungen bei vertretbaren Aufschlussgraden bzw. dem damit verbundenen Energieeinsatz eine Minderung der Schlammfeststoffmasse in Bezug auf deren organischen Anteil in der Größenordnung von 10 bis 20 % erzielt werden. Der Gasmehrertrag fällt etwa in der gleichen Größenordnung aus [Dichtl, 2002]. Es muss aber in jedem Fall berücksichtigt werden, dass durch einen weitestgehenden Abbau der organischen Schlamminhaltsstoffe nicht nur die CSB-Rückbelastung aus der Schlammbehandlung für die Kläranlage steigt, sondern dass vor allem auch die inerten Anteile des CSB in der Rückbelastung ebenso wie Stickstoff und Phosphor zunehmen, was auch bei der monetären Bewertung Berücksichtigung finden muss. Nach bisherigem Erkenntnisstand ist von folgenden Leistungssteigerungen der Faulung auszugehen:

- | | |
|--|------|
| • Organischer Abbaugrad im Faulbehälter | 26 % |
| • Rückgang der zur Entsorgung anstehenden Schlamm-trockenmasse | 12 % |
| • Zunahme der Gasausbeute | 20 % |

Inwieweit diese Leistungssteigerungen jeweils zu einem wirtschaftlichen Vorteil führen, ist im Einzelfall zu prüfen. Beispielsweise ist zu untersuchen, ob die Gasmehrmenge auch wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Hierbei ist auch zu untersuchen, welche Auswirkungen und Mehrkosten die Rückbelastung bei der Prozessführung der Kläranlage verursacht. Der reibungslose großtechnische Betrieb der Klärschlammintegration bereitet jedoch noch Probleme [ATV, 2001]. Die Kosten für die Klärschlammintegration liegen zur Zeit noch auf einem hohen Niveau. Abbildung 2-3 liefert hier eine erste Abschätzung der Kostenanteile für die Errichtung und den Betrieb der mechanischen Klärschlammintegration vor der Faulung. Nach bisherigen Erkenntnissen ist ein kostendeckender Betrieb dieser Verfahrenstechnik ab spezifischen Entsorgungskosten von ca. 600 €/t TR denkbar [Dichtl, 2002].

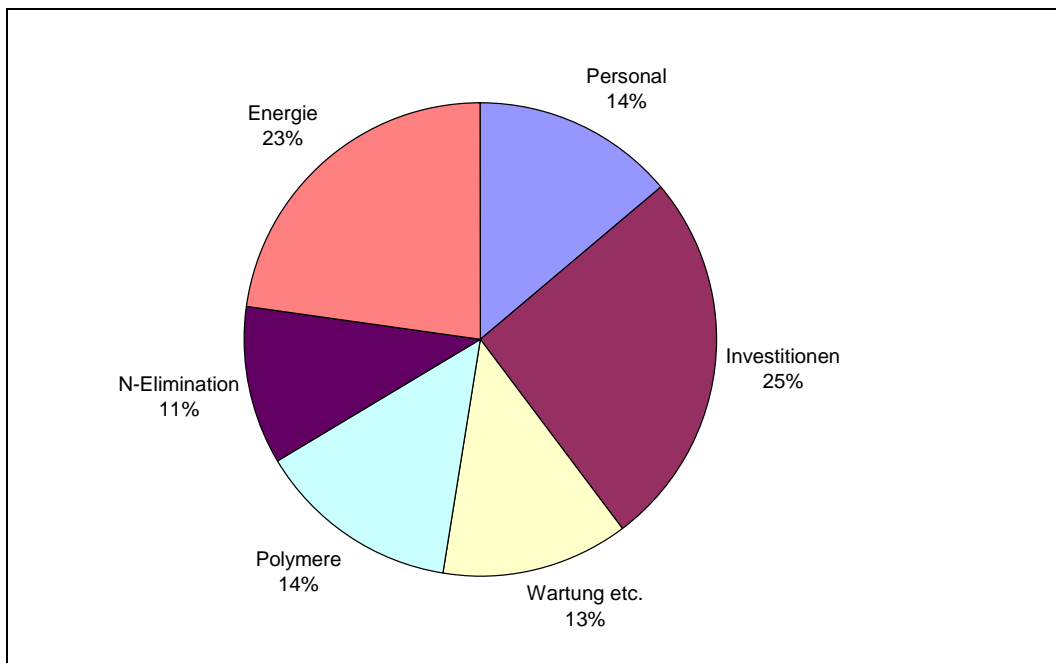


Abbildung 2-3: Kostenanteile bei der Errichtung und dem Betrieb der mechanischen Klärschlammintegration vor der Faulung [ATV, 2001]

Für die Zukunft gilt es daher, insbesondere Verfahrenstechniken mit Niedrigenergieeinsatz und geringen Investitionen weiter zu untersuchen.

Bei der **enzymkatalysierten Faulung** konnte in großtechnischen Versuchen der TR-Ausfaltungsgrad im Bereich von 10 bis 20 % mit entsprechend höherem Gasertrag verbessert werden [Burbaum, 2002].

Auch hier sind stets die spezifischen Randbedingungen der Kläranlage wie

- Anteil des Primärschlammes am Gesamtrohschlammanfall,
- Auslastung und Prozessbedingungen der Faulungsstufe etc.,

in die Betrachtung mit einzubeziehen. Langzeitversuche hierzu stehen noch aus, so dass z.Zt. keine abgesicherten Aussagen über die Wirtschaftlichkeit möglich sind. Es ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen der Kläranlagen (Entsorgungskosten, Konditionierungsmittelkosten, Faulgasverwertung) zu erwarten, dass für die einzelnen Kläranlagen auch unterschiedliche wirtschaftliche Ergebnisse erzielt werden.

3 EIGENSCHAFTEN UND WIRKMECHANISMEN DER BEIM *BIOSEERVE*-VERFAHREN EINGESETZTEN TENSIDE (LIPISOL) SOWIE EINSATZKRITERIEN IM KLÄRANLAGENBETRIEB - DOSIERSTELLE, MESSPROGRAMM, ÜBERSCHUSSSCHLAMM-ABZUGSREGIME

3.1 Einteilung der Tenside in Tensidklassen

Der grundsätzliche Aufbau eines Tensid-Moleküls ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Das Tensid-Molekül besteht somit aus einem hydrophilen (wasserliebenden) und einem lipophilen (fettliebenden) Teil.

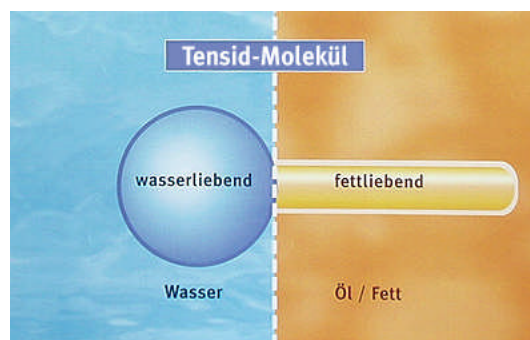


Abbildung 3-1: Lipophiler und hydrophiler Teil eines Tensid-Moleküls

Die Einteilung der Tenside in Tensidklassen erfolgt nach der Ladung der hydrophilen Gruppe in anionische Tenside, kationische Tenside, amphotere Tenside und nichtionische Tenside. Es scheint zunächst paradox zu sein, Tenside in die Kläranlage gezielt zu dosieren. Abwasser enthält bekanntlich bereits sehr viele Tenside aus Haushalts- und Industriereinigern. Die tensidische Wirkung der meisten, großtechnisch in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzten Tenside geht jedoch bereits nach einer Aufenthaltszeit von nur drei Stunden im Kanal oder in der Kläranlage verloren (Primärabbau) [Steber, 2000]. Die Einzelbestandteile der Tenside sind noch im Wasser enthalten, aber durch Abspaltung des lipophilen vom hydrophilen Molekülteil sind die typischen tensidischen Eigenschaften (Abbildung 3-1) nicht mehr wirksam.

3.2 Wirkmechanismen der beim *Bioserve*-Verfahren eingesetzten Tenside

Das beim *Bioserve*-Verfahren eingesetzte Produkt LIPISOL wird direkt in das Belebungsbecken dosiert. Es ist eine Mischung aus

- einem oder mehreren nichtionischen Tensiden
- und stoffwechselanregenden Substanzen (z.B. Thymian).

Die Zusammensetzung und -menge wird nach der jeweiligen Aufgabenstellung und Kläranlage variiert.

Die nichtionischen Tenside

- bestehen aus natürlichen Rohstoffen (tierische oder pflanzliche Fette, Stärke etc.),
- sind "leicht biologisch abbaubar" nach OECD 301 A-F und
- werden in Kläranlagen hoch eliminiert und sind auch unter anaeroben Verhältnissen abbaubar.

Das *Bioserve*-Verfahren ist nicht auf die Hilfsstoffdosierung beschränkt. Es handelt sich um die **Kombination**

- einer für jede Kläranlage individuell angepassten Hilfsstoffdosierung und
- einer schrittweisen Verfahrensumstellung im Bereich des Schlammabzugsregimes.

In Abbildung 3-4 sind die elementaren Wirkmechanismen dargestellt, auf denen das *Bioserve*-Verfahren basiert. Diese werden nachfolgend erläutert.

Wirkmechanismus 1: Herabsetzung des Zellmembran-Transportwiderstandes durch Einlagerung von Tensid-Molekülen in die Zellmembran

Die Zellmembran ist der äußere Abschluss des Zellinhalts jeder Zelle. Bei Pflanzen- und Bakterienzellen liegt ihr außen noch eine Zellwand auf. Die Zellmembran ist als Doppelmembran ausgebildet. Alle Membranen bestehen aus Protein und Lipid (Phosphorlipid = Biotensid). Die Anteile der beiden Bestandteile variieren jedoch.

Der grundsätzliche Aufbau einer Zellmembran ist in der Abbildung 3-2 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Lipide in einer **Doppelschicht** angeordnet und Proteine in verschiedenen Formen in die Membran eingelagert sind. Nach außen ragen die Fortsätze verschiedener Glycolipide und Lipoproteide.

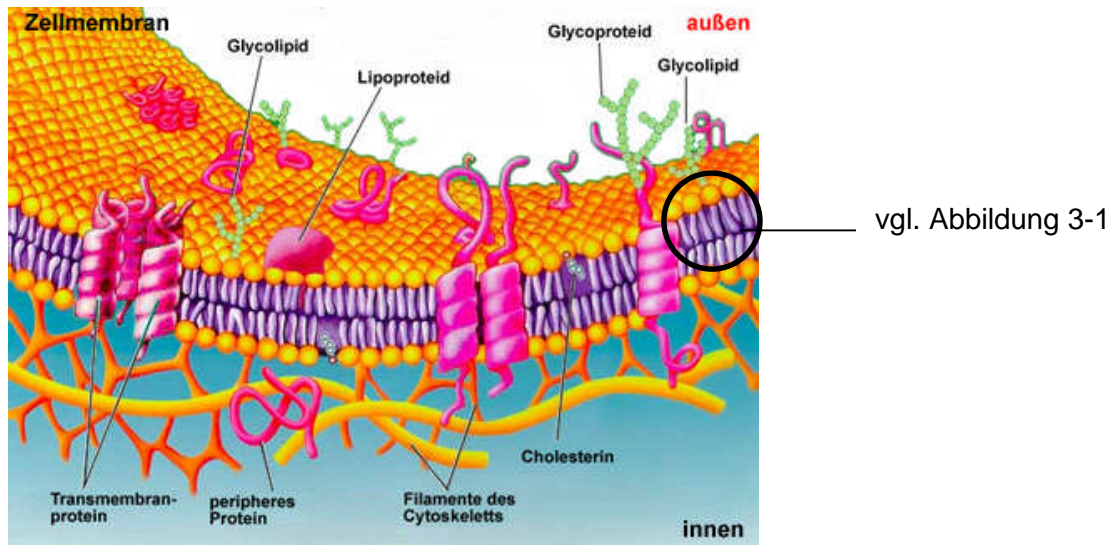


Abbildung 3-2: Typischer Aufbau einer Zellmembran

Die Lipidmoleküle sind in Abbildung 3-2 als Kugeln mit in der Regel 2 Schwänzen dargestellt. Diese lagern sich so aneinander, dass die Kugeln eine Ebene bilden und die Schwänze senkrecht aus dieser Ebene herausstehen. Bei einer Doppelmembran sind die Schwänze einander zugerichtet. Die Kugeln bilden aufgrund der hydrophilen Eigenschaften immer den äußeren Abschluss. Die beiden Schwänze stellen den hydrophoben Teil dar. Eine Membran ist demnach außen wasserlöslich und innen fettlöslich. Durch den Aufbau der Membran aus diesen speziellen Lipidmolekülen hat die Membran ganz bestimmte Permeabilitätseigenschaften. Allgemein gesagt ist sie semipermeabel, d.h. bestimmte Stoffe passieren die Membran, andere nicht.

Typisch für die beim *Bioserve*-Verfahren eingesetzten Tenside ist, dass sie in Wechselwirkungen mit der Zellmembran der Abwasserbakterien treten. Die strukturellen Voraussetzungen sind bei der Zellmembran gegeben, wie oben beschrieben und in Abbildung 3-2 verdeutlicht. Durch Adsorption bzw. Komplexbildung können Tenside die Struktur der Zellmembran verändern. Je nach Konzentration der eingesetzten Tenside kommt es zu einer Einlagerung der Tenside in die Membran und dadurch zu einem verringerten Transportwiderstand oder zu einer irreversiblen Schädigung der Zellmembran [Kosswig/Stache, 1993]. Das *Bioserve*-Verfahren nutzt diesen Effekt in kontrolliertem Umfang im Rahmen der Abwasserreinigung, um eine Beschleunigung des biologischen Abbaus des Belebtschlammes zu erzielen.

Wirkmechanismus 2: Koaleszenzhemmung der Luftblasen

In Bezug auf den eingeblasenen Sauerstoff im Belebungsbecken ist bekannt, dass Mikroorganismen nach [Tsao et al., 1972] in der Lage sind, sich auch direkt an Luftbläschen anzuschließen. Da Tenside erwiesenermaßen [Zlokarnik, 1980], [Wagner, 1991] koaleszenzhemmend auf Luftblasen wirken, bleiben wesentlich mehr sehr kleine Blasen länger im Belebungsbecken und können so in Kontakt mit den Mikroorganismen treten. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung der Sauerstoffversorgung, die jedoch mit Sauerstoffmesssonden nicht feststellbar ist, da die Konzentration an gelöstem Sauerstoff durch Tenside in der Regel nicht erhöht wird.

Wirkmechanismus 3: Dispergierung der nicht mischbaren Kohlenstoffverbindungen

Die Wirkung der im Rahmen des *Bioserve*-Verfahrens eingesetzten Tenside führt zu einer Dispergierung (siehe Abbildung 3-3) der im Abwasser befindlichen, mit Wasser nicht mischbaren Kohlenstoffverbindungen (v.a. Fette). Durch die Dispersion dieser Stoffe in feinste Tröpfchen wird die Angriffsfläche für Mikroorganismen um ein Vielfaches erhöht. Diese können mit Hilfe der Tenside direkt über ihre Zellmembran mit den dispergierten Tröpfchen in Kontakt treten.

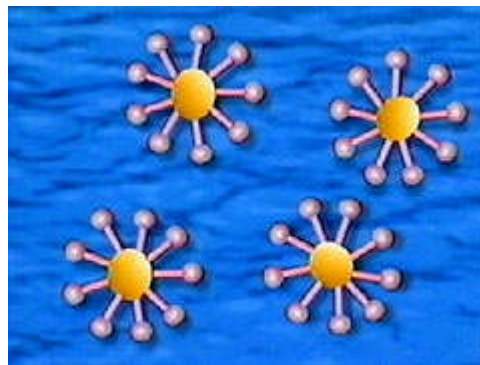


Abbildung 3-3: Dispergierung von Öltröpfchen durch Tenside

Wirkmechanismus 4: Desintegration des Belebtschlammes an der Dosierstelle

Die relativ hohe Tensid-Konzentration an der Dosierstelle bewirkt bei einigen Zellen eine Zerstörung der Zellmembran, so dass der Zellinhalt freigesetzt und als Substrat von den anderen Bakterien eliminiert wird.

In der Summe führen die oben genannten Wirkmechanismen der Tenside zu einem weitergehenden und schnelleren Abbau der Abwasserinhaltsstoffe und zusätzlich zu einem Abbau von Teilen des Belebtschlammes.

Die Folge ist, dass höher organisierte – vorzugsweise räuberische – Organismen (z.B. Rädertierchen, Wimpertierchen) verbesserte Überlebenschancen bekommen [Eikelboom, 1983]. Ihre Zahl steigt mit Beginn der Tensid-Dosierung drastisch an. Die räuberischen Organismen benötigen viel Nahrung, denn sie verbrauchen viel Energie zum Fangen der von ihnen bevorzugten Beuteorganismen. So wird ein Großteil der verfügbaren Nahrungsenergie in CO₂ – und nicht in Biomasse – umgewandelt. Der Überschussschlammanfall wird so auf ein niedriges Niveau gebracht.

Die Steuerung des *Bioserve*-Verfahrens erfolgt mit Hilfe von Bioindikatoren (s. Tabelle 3-1).

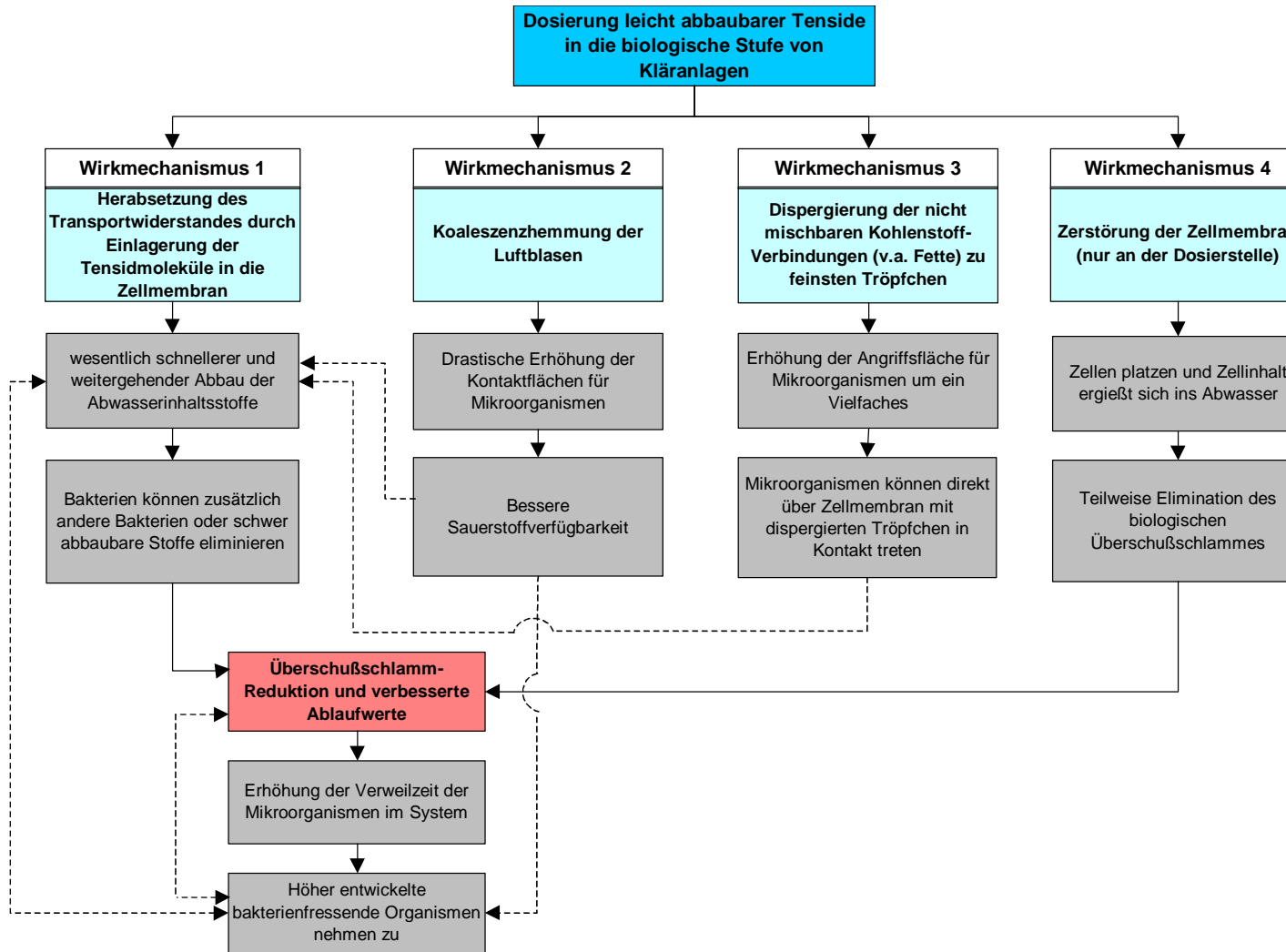


Abbildung 3-4: Wirkmechanismen des *Bioserve*-Verfahrens

3.3 Dosierstelle und -menge (LIPISOL) im Kläranlagenbetrieb

Das LIPISOL wird direkt in die belüftete Zone der Belebungsanlage dosiert. Die tägliche Dosiermenge hängt von den betrieblichen Randbedingungen der Kläranlage ab.





3.4 Messprogramm



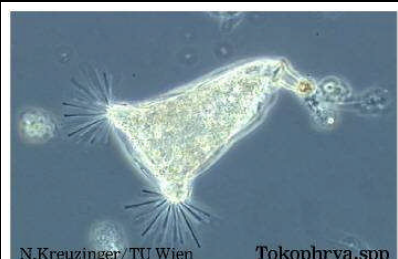
Im Rahmen des versuchsbegleitenden Messprogramms werden die Belastungsdaten (BSB₅-, CSB-, N- und P-Frachten) der Belebungsstufe, die Überschussschlammfraktionen, die Schlammkennwerte (TS_{BB}, GV, ISV etc.) und die Bioindikatoren (Tabelle 3-1) im Rahmen wöchentlich durchgeführter mikroskopischer Belebtschlammuntersuchungen erfasst.

Die Beobachtung der Bioindikatoren soll Aufschluss darüber geben, inwieweit sich durch das *Bioserve*-Verfahren Veränderungen hinsichtlich der Parameter Schlammbelastung, Sauerstoffversorgung und Schlammalter ergeben. In Tabelle 3-1 ist schematisch dargestellt, welche Mikroorganismen als Bioindikatoren für die Schlammbelastung, die Sauerstoffversorgung und das Schlammalter herangezogen werden können. In den ersten beiden Versuchswochen des *Bioserve*-Verfahrens werden sich hauptsächlich die Bioindikatoren Schlammbelastung und Sauerstoff verändern (1. und 2. Spalte). Die Schlammalter-Bioindikatoren (3. Spalte) werden sich in der Regel ab der dritten Versuchswoche verändern, wenn das Schlammabzugsregime entsprechend modifiziert wurde.


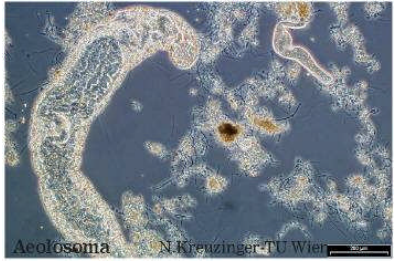
Tabelle 3-1: Bioindikatoren


Schlammbelastung 	Sauerstoff 	Schlammalter 
Cephalodella sp. („Zangen-Rädertier“)	Aspidisca cicada („Schildkrötentierchen“)	Nematoden („Fadenwürmer“)
 N.Kreuzinger/ TU Wien Cephalodella spp.		 N.Kreuzinger/ TU Wien Nemathode

Schlammbelastung	Sauerstoff	Schlammalter
Chilodonella sp. 	Epistylis plicatilis („Säulen-Glockentier“)	Epistylis plicatilis 
 N.Kreuzinger/ TU Wien Chilodonella spp.	 Epistylis spp. © Lugsteiner	

Schlammbelastung	Sauerstoff	Schlammalter
Litonotus fasciola („Zuckrüßeltierchen“)	Vorticella convallaria („Maiglöckchen“)	Tocophyra infusionum („Aufguss-Sauginfusor“)
	 Vorticella convallaria © Lugsteiner	 N.Kreuzinger/ TU Wien Tokophrya.spp

Fortsetzung Tabelle 3-1: Bioindikatoren

Schlammbelastung	Sauerstoff	Schlammalter
Paramecium sp. („Geschwänztes Pantoffeltier“)	Paramecium sp.	Aelosoma sp. („Öltröpfchenwürmer“)
		

Schlammbelastung	Sauerstoff	Schlammalter
Rotaria rotatoria („Teleskop-Rädertierchen“)	Rotaria rotatoria	Rotaria rotatoria
		

Schlammbelastung	Sauerstoff	Schlammalter
Flagellaten		Tardigrada („Bärtierchen“)
		

3.5 Überschussschlamm-Abzugsregime

Nach Dosierbeginn (LIPISOL) ist das Schlammabzugsregime zunächst unverändert beizubehalten. Die Bioindikatoren für Schlammalter, Schlammbelastung und Sauerstoffversorgung werden parallel beobachtet und dokumentiert. Sobald sich eine ausreichend große Anzahl höher organisierter Mikroorganismen (Mehrzeller) im System eingestellt hat, ist der Schlammabzug schrittweise – beispielsweise um 5 % je Woche – zu reduzieren.

4 ERGEBNISSE GROßTECHNISCHER BETRIEBSVERSUCHE MIT DEM *BIOSEERVE*-VERFAHREN AUßERHALB DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST

Erste Erfahrungen mit dem *Bioserve*-Verfahren konnten bereits im Jahr 2002 auf den Kläranlagen Neuss-Süd und Lemke gewonnen werden [Strunkheide, 2003a; IWB, 2003]. Mittlerweile liegen umfangreiche Betriebsergebnisse mit dem *Bioserve*-Verfahren auf 31 Kläranlagen mit unterschiedlichen abwassertechnischen Randbedingungen vor, die die Wirkung der Tensid-Dosierung (LIPISOL) hinsichtlich der Reduzierung der biologischen Überschussschlammreduktion belegen.

Die Auswirkungen des *Bioserve*-Verfahrens auf die Kläranlagenbetriebsdaten wurden jeweils ab dem Zeitpunkt der Erstdosierung fortlaufend dokumentiert und mit dem korrespondierenden Vergleichszeitraum (Referenzzeitraum *ohne Bioserve*-Verfahren) unter Einbeziehung der abwassertechnischen Randbedingungen verglichen.

Bei der Ermittlung des reduzierten biologischen Überschussschlammmanfalls hat sich die Technik der Massenbilanzierung als geeignetes Instrument herausgestellt und zwar unabhängig davon, ob der Wirknachweis des *Bioserve*-Verfahrens im Vorher/Nachher-Vergleich

- über die spezifische biologische Überschussschlammproduktion oder
- über die absoluten biologischen Überschussschlammmassen

geführt wird.

Welche Vorgehensweise sinnvoll ist, hängt von den zur Verfügung stehenden Betriebsdaten und der Belastungssituation der biologischen Stufe (Einzelfallbetrachtung) im Vorher/Nachher-Vergleich ab. Die Führung des Wirknachweises über die absoluten biologischen Überschussschlammmassen kann dann erfolgen, wenn Zulauffrachten und die Feststoffgehalte in der Belebung (gleiche Schlammbelastung) sowohl im Referenz- als auch im Versuchszeitraum nahezu identisch sind. Beide Vorgehensweisen führen letztendlich im Ergebnis zu einer Aussage über den reduzierten biologischen Überschussschlamm [t TS] im betrachteten Zeitraum.

Der reduzierte biologische Überschussschlamm [t TS] bildet die Grundlage für die Vergütung des *Bioserve*-Verfahrens. Die Vergütung des *Bioserve*-Verfahrens erfolgt somit auf einer rein erfolgsorientierten Basis. Bei der Preisbildung sind die spezifischen Randbedingungen der Kläranlage (Schlammbehandlungs- und -entsorgungskosten) mit einzubeziehen, so dass für beide Seiten – Betreiber und Bioserve GmbH – ein signifikanter Ertrag erwirtschaftet werden

kann. In der Praxis gestaltet sich die Kostenanalyse nicht immer einfach, da Betreiber von Kläranlagen nicht immer ohne weiteres in der Lage sind – ohne selbst aufwendige differenzierte Berechnungen anzustellen – abzuschätzen, ob ihre aktuellen Kosten für Schlammbehandlung und -entsorgung je Tonne TS Überschussschlamm unter- bzw. oberhalb des avisierten Vergütungsbetrages liegen. Der Vergütungsbetrag ist hierbei nicht von den Entsorgungskosten abhängig, sondern von der Produktzusammensetzung und -menge (LIPISOL) und dem Betreuungsaufwand und liegt in Abhängigkeit von den spezifischen Randbedingungen der jeweiligen Kläranlage im Bereich von 100 bis 150 € je reduzierter Überschussschlamm-Feststofftonne.

In Tabelle 4-1 sind die entsprechenden Daten ausgewählter Kläranlagen aufbereitet. Aus dieser Tabelle geht hervor, dass bei den bisher untersuchten Kläranlagen Überschussschlamm-Reduktionsraten zwischen 17 und 40 % festgestellt wurden. In Tabelle 4-1 sind ferner die neben der Überschussschlammreduktion festgestellten Sekundäreffekte dokumentiert. Die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass die Wirkung des *Bioserve*-Verfahrens sich nicht ausschließlich auf die Reduktion des biologischen Überschussschlammes erstreckt, so dass weitere Einsparpotenziale und Erhöhung der Prozessstabilität als Sekundäreffekte denkbar sind. Hierzu zählen beispielsweise die Verminderung von Trübwasser-rückbelastungen durch geringere Betriebszeiten der Entwässerungsaggregate, die Einsparung von Fällmitteln durch Erhöhung des Schlammalters, bedingt durch die Erhöhung der mittleren Fällmittel-Verweilzeit im System, das Freischalten von Beckenkapazitäten durch Erhöhung der aktiven Biomasse, Erhöhung der Prozessstabilität (N-Elimination), die Verbesserung der Schlammstruktur (ISV), Erhöhung der Sichttiefe in den Nachklärbecken sowie Verminderung der Blähschlammproblematik. Die Quantifizierung dieser Sekundäreffekte wird auch Gegenstand weiterer Forschungsaktivitäten sein.

Weitere Erkenntnisse in der Anwendung des *Bioserve*-Verfahrens über die Überschussschlamm-Reduktion hinaus konnten bei der Deponiesickerwasserreinigungsanlage „Haus Forst“ gewonnen werden. Die Kläranlage „Haus Forst“ ist mit einer Druckbelebung ausgestattet. Dieser nachgeschaltet sind eine Ultrafiltration und ein Aktivkohlefilter.

Es zeigten sich hier im Verlauf des *Bioserve*-Verfahrens folgende positive Effekte:

- Rückgang des Stromverbrauches der Ultrafiltration (Abbildung 4-1)
- Zunahme der Standzeiten des Aktivkohlefilters (Abbildung 4-2)
- Erhöhung des Feststoffgehaltes in der Belebung von 22,5 g/l auf rund 30 g/l.

Diese Ergebnisse sollten Anlass genug sein, die Thematik Membran-Technologie in Verbindung mit dem *Bioserve*-Verfahren künftig näher zu untersuchen.

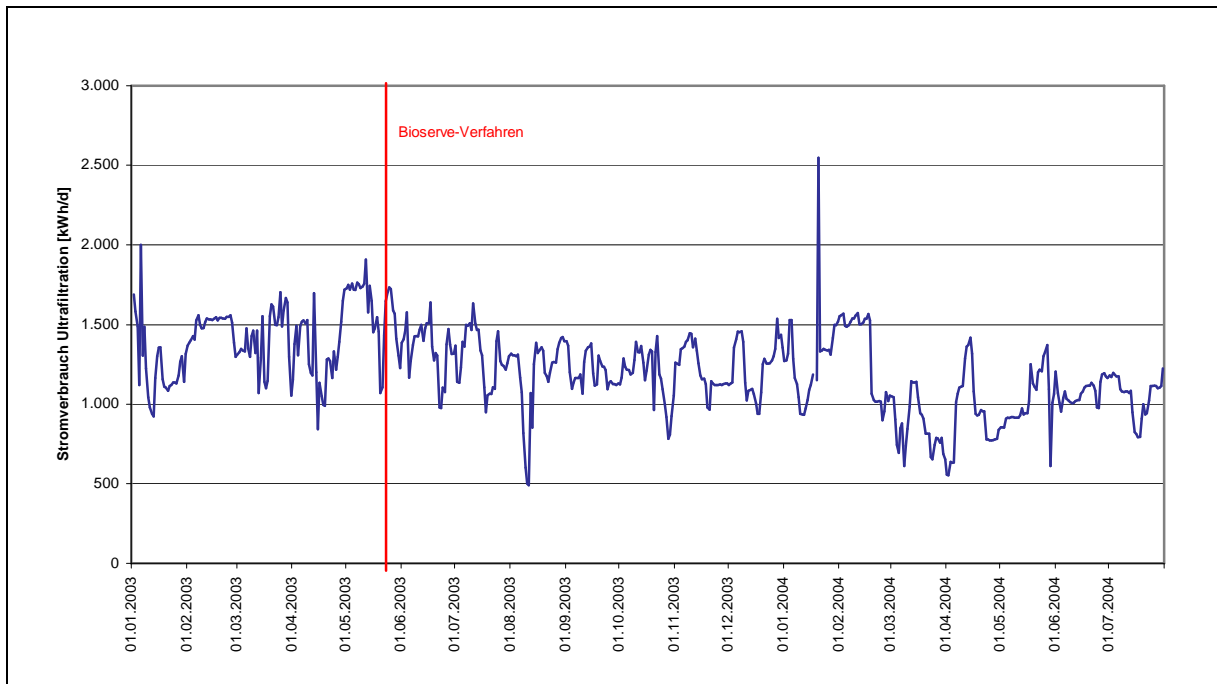


Abbildung 4-1: Stromverbrauch Ultrafiltration

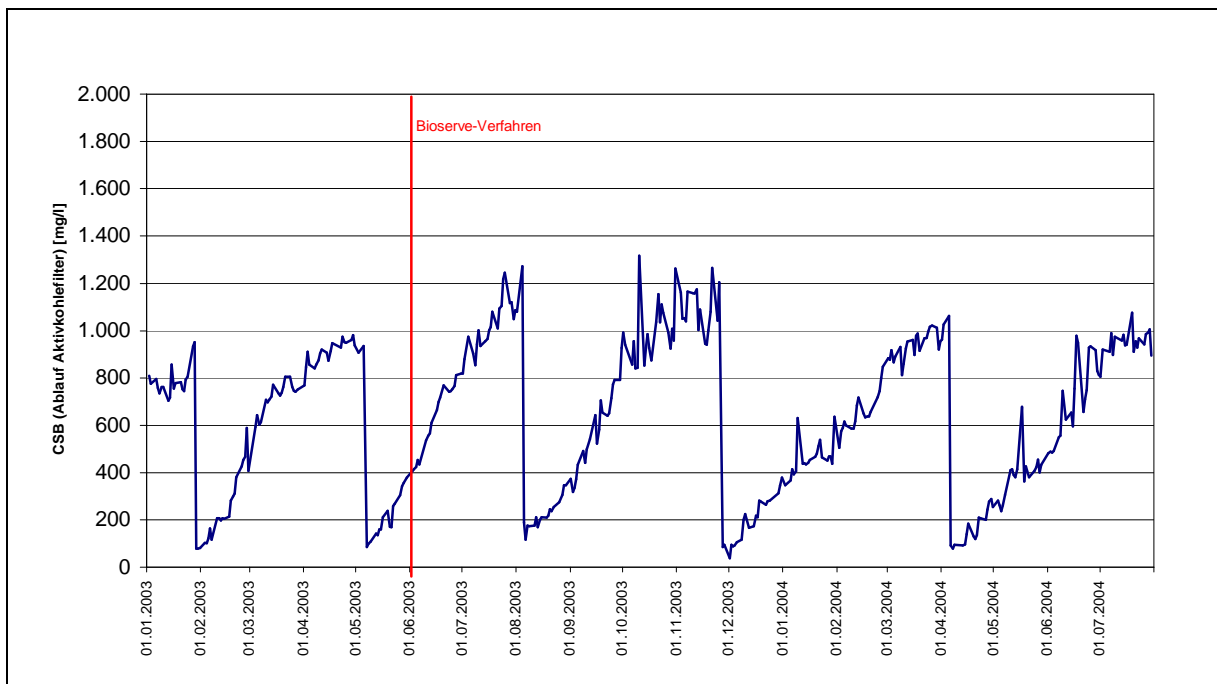


Abbildung 4-2: CSB im Ablauf der Aktivkohlefilter und Standzeiten

Tabelle 4-1: Betriebsergebnisse mit dem *Bioserve*-Verfahren bei ausgewählten Kläranlagen

Kläranlage	Verfahrenstechnik	Größe [EW]	mit <i>Bioserve</i> -Verfahren seit ...	Überschussschlamm-Reduktionsrate [%]	Sekundäreffekte
Neuss-Süd	kommunale KA mit Faulturm	90.000	April 02	22	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Lemke	aerobe Stabilisierung; hoher Industrieabwasseranteil	30.000	Mai 02	28	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Mühlheim/Main	kommunale KA mit Faulturm	60.000	März 03	50	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien im Belebungsbecken und im Faulturm; bessere Entwässerbarkeit nach dem Faulturm
Deponie "Haus Forst"	Deponiesickerwasserreinigung; Druckbelebung; Ultrafiltration; A-Kohle-Filter	3.500	April 03	17	Deutlich geringere Kosten für mobile Schlammtransporte; geringerer Stromverbrauch für Belüftung und Ultrafiltration; geringerer Aktivkohleverbrauch
Bad Vilbel	kommunale KA mit Faulturm	60.000	August 03	22	
Alzey	kommunale KA mit Faulturm	30.000	August 03	36	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Hirzenhain	aerobe Stabilisierung; kommunales Abwasser	10.000	September 03	40	
Horlofftal	aerobe Stabilisierung, kommunales Abwasser	30.000	Oktober 03	30	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Moosburg a.d. Isar	kommunale KA mit Faulturm	50.000	November 03	26	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Limburg	kommunale KA mit Faulturm	60.000	April 04	26	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe
Nestle Weiding	Industriekläranlage; aerobe Stabilisierung	100.000	Mai 04	26	
Stolzenau	aerobe Stabilisierung; hoher Industrieabwasseranteil	11.000	Mai 04	50	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; Stabilisierung der N-Elimination; höhere Sichtiefe; bessere Eindickung des Nassschlammes
Zweibrücken	kommunale KA mit Faulturm	70.000	Mai 04	24	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; geringerer PAC-Verbrauch
Weinheim	kommunale KA mit Faulturm	170.000	Juni 04	40	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien
Worms	kommunale KA mit Faulturm	145.000	Juli 04	24	Deutliche Reduktion der Fadenbakterien; stabilerer Betrieb während der Weinkampagne
Deponie Breitenberg	Deponiesickerwasserreinigung	1.000	August 04	40	

5 UNTERSUCHUNGEN AUF DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST

5.1 Siedlungswasserwirtschaftliche Randbedingungen

Die Kläranlage Neuss-Ost reinigt die Abwässer aus der Innenstadt, den Gewerbe- und Industriegebieten Hammfeld und Hafen sowie aus Teilen des nördlichen Stadtgebietes. Der industrielle Abwasseranteil liegt bei ca. 70 %. Die Ausbaugröße liegt bei rund 300.000 EW. Der Trockenwetterzufluss in der Tagesspitze beträgt als 85%-Unterschreitungswert 420 l/s ($Q_{d,TW} = 28.000 \text{ m}^3/\text{d}$), der Mischwasserzufluss ist auf 1.200 l/s begrenzt.

Die **Abwasserreinigung** auf der Kläranlage Neuss-Ost selbst erfolgt mit Hilfe des AB-Verfahrens (hochbelastete A-Stufe und schwachbelastete B-Stufe) mit getrennten Rücklaufschlammkreisläufen. Nachfolgend sind die wesentlichen Prozessstufen aufgeführt:

- **Einlaufhebewerk**
- **Rechenanlage**
- **Sandfang (alt und neu)**

- **A-Stufe**, bestehend aus
 - Hochlastbelebung
 - Zwischenklärbecken
 - Ausgleichsbecken
 - Zwischenhebewerk

- **B-Stufe** (Schwachlastbelebung), bestehend aus:
 - 1. Kaskade (6 Straßen mit je 2 Becken)
 - 2. Kaskade (6 Straßen mit je 1 Becken)
 - Phosphatelimination durch Zugabe von Fällmitteln (Eisen-III)
 - Nachklärbeckenhebewerk
 - Nachklärbecken
 - Filtrationsanlage

Die **Klärschlammbehandlung** setzt sich zusammen aus den Prozessstufen:

- Voreindicker
- maschinelle Überschussschlamm-Vorentwässerung mittels Zentrifugen
- Faulungsstufe (Faulbehälter)
- Nacheindicker
- maschinelle Entwässerung des ausgefaulten Schlammes mittels Zentrifugen

Die **Faulgasverwertung** erfolgt mittels Blockheizkraftwerken (BHKW). Zusätzlicher Fremdenenergiebedarf wird über Erdgas abgedeckt.

Zur Minderung der Geruchsemissionen wird die Abluft aus den abgedeckten Bauwerken über einen **Biofilter** (Rindenmulch/Kompost) geführt.

Da sich die Untersuchungen des F & E – Projektes hinsichtlich der Überschussschlammreduktion auf die B-Stufe erstreckten, wird diese nachfolgend näher beschrieben.

Die B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost besteht aus zwei Kaskaden, die in jeweils sechs Straßen aufgeteilt sind.

- **Kaskade 1:**

Jede Straße der ersten Kaskade besteht aus zwei parallelen Längsbecken (in Summe 12 Becken), die im Ablaufbereich miteinander verbunden sind. Die einzelnen Längsbecken der ersten Kaskade sind jeweils in vier Kammern unterteilt. Das Abwasser-Schlammgemisch von jeweils zwei Becken der ersten Kaskade fließt in das jeweils zugehörige Längsbecken der zweiten Kaskade.

- **Kaskade 2:**

Die sechs Längsbecken der zweiten Kaskade bestehen aus jeweils 2 Kammern.

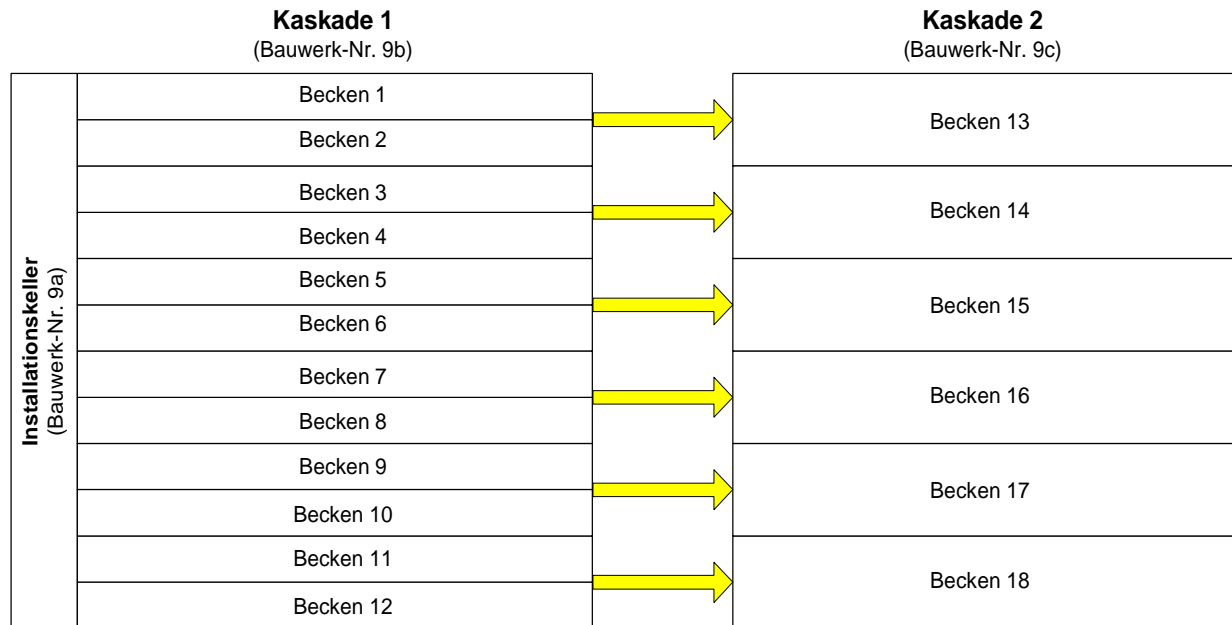


Abbildung 5-1: Aufbau der B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost

Das gesamte vorbehandelte Abwasser aus der A-Stufe wird durch das Zwischenpumpwerk zunächst auf eine gemeinsame Sammelleitung geführt und anschließend im Regelbetrieb gleichmäßig zu je 50 % auf die zwölf Becken der ersten Kaskade und zu 50 % auf die sechs Becken der zweiten Kaskade aufgeteilt.

Zusätzlich wird in jedes Becken der ersten Kaskade mengenproportional zum Zulauf der Rücklaufschlamm im Verhältnis 2 : 1 aus der Nachklärung eingeleitet, um den erforderlichen Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken aufrecht zu erhalten.

Die verfahrenstechnische Verknüpfung einer Straße der 1. Kaskade mit der entsprechenden Straße der 2. Kaskade sowie die Abwasser-/Schlammaufteilung ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

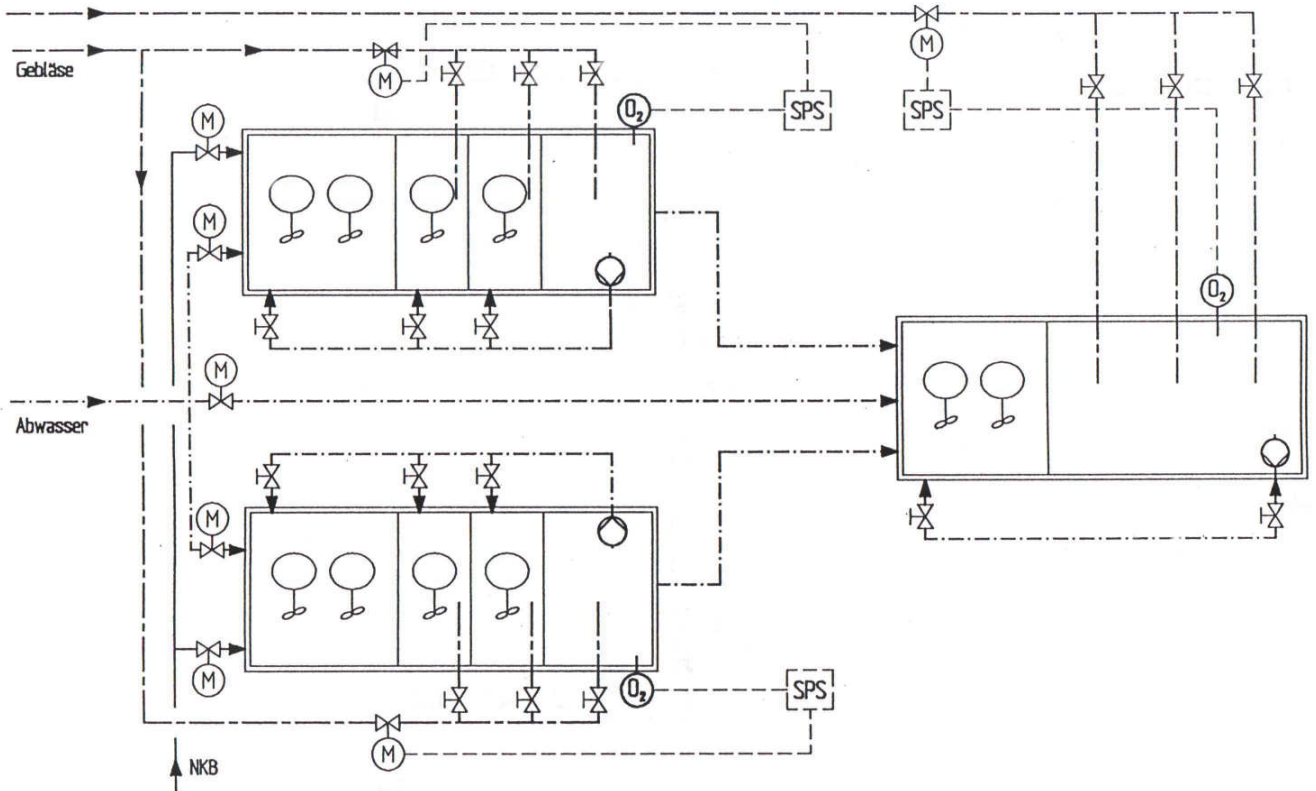


Abbildung 5-2: Schematischer Aufbau der 1. und 2. Kaskade sowie die Abwasser-/ Schlamm-aufteilung

Alle sechs Straßen der ersten und zweiten Kaskade werden aus verfahrenstechnischer Sicht (anaerobe, aerobe und anoxische Bereiche) gleich betrieben. Folgende Betriebsvariationen sind hier möglich:

Tabelle 5-1: Betriebsvariationen und Beckenvolumina

Kaska-de	Kammer	Betriebsweise	Einzelbecken-Volumina [m ³]	Anzahl je Kaskade [-]	Gesamt-Volumina [m ³]
1	1	Bio-P oder Denitrifikation	293	12	3.520
	2	Bio-P, Denitrifikation oder Nitrifikation	145	12	1.740
	3	Denitrifikation und Nitrifi-kation	145	12	1.740
	4	Nitrifikation	225	12	2.696
2	1	Denitrifikation	873	6	5.237
	2	Nitrifikation	716	6	4.298
1 + 2					19.231

5.2 Untersuchungsprogramm

5.2.1 Arbeitsschritte und zeitliche Abwicklung des Projektes

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Arbeitsschritte sowie die zeitliche Abwicklung sind aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 5-2: Arbeitsschritte und zeitliche Abwicklung

Stufe	Arbeitsschritte	2003												2004											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D
1	<p>Dokumentation des IST-Zustandes sowie Implementierung der erforderlichen Mess-, Lager- und Dosiereinrichtungen (1 Monat)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zulauf- und Ablaufdaten (Q, C, N, P), • Charakteristika des Belebtschlammes (ISV, TS, GV, etc.) sowie • Sämtliche Parameter, die zur Beurteilung der Wirkung des Verfahrens (Überschussschlammproduktion, Energie- und Hilfsstoffverbräuche etc.) erforderlich sind, • Realisierung einer Steuerungstechnik für die Produktzugabe (z.B. Dosierung proportional über die in die Belebung eingetragene Luftmenge) *) 																								

Fortsetzung Tabelle 5-2:

Stufe	Arbeitsschritte	2003												2004											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D
2	<p>Versuchsbetrieb der Kläranlage Neuss-Ost (12 Monate):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortlaufende Ermittlung und Auswertung der Belastungs- und Betriebsdaten • Aufstellen von Massenbilanzen (Schlamm Bilanz), Hilfsstoff-, Ionen- sowie Energie-Bilanzen • Ermittlung des reduzierten Überschussschlammes und Vergleich mit dem Ist-Zustand (Wirknachweis) • Wissenschaftlicher Nachweis *) über die Veränderung der nitrifizierenden und fädigen Bakterienarten • Entwicklung eines Berechnungsmodells zur Abschätzung des reduzierten Überschussschlammmanfalls als Funktion der relevanten Parameter • Erprobung von möglichen Steuerungskonzepten für das <i>Bio-serve</i>-Verfahren *) • Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 																								
3	Abschlussbericht (1 Monat)																								

*) entfiel aufgrund Mittelkürzung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

5.2.2 Analysenprogramm

In der nachfolgenden Tabelle ist das projektbegleitende Analysenprogramm aufbereitet.

Tabelle 5-3: Analysenprogramm

Stufe	Arbeitsschritte	Analytik (B-Stufe)
1	<p>Dokumentation des IST-Zustandes sowie Implementierung der erforderlichen Lager- und Dosiereinrichtungen (1 Monat)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zulauf- und Ablaufdaten (Q, C, N, P), • Charakteristika des Belebtschlammes (ISV, TS, GV, Mikroskopisches Bild) • sämtliche Parameter, die zur Beurteilung der Wirkung des Verfahrens (Überschussschlammproduktion, Energie- und Hilfsstoffverbräuche etc.) erforderlich sind, • Installation der Dosieranlage (winterfest) 	<ul style="list-style-type: none"> • Zu-/Ablauf: CSB, BSB₅, NH₄-N, NO₃-N; NO₂-N, P_{ges.}, P_{ortho} (täglich) • Belebtschlamm ISV (werktäglich) Absetzkurve (wöchentl.) GV (wöchentlich) mikroskopische Belebtschlammuntersuchung (wöchentlich) 1x quantitative Untersuchung des Belebtschlammes auf nitrifizierende Bakterien über Gensonden *) • Fällmittelmengen

Fortsetzung Tabelle 5-3:

Stufe	Arbeitsschritte	Analytik
2	<p>Versuchsbetrieb der Kläranlage Neuss-Ost (12 Monate):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortlaufende Ermittlung und Auswertung der Belastungs- und Betriebsdaten • Aufstellen von Feststoff-Massenbilanzen (Schlamm Bilanz), Hilfsstoff-Bilanzen sowie Energie-Bilanzen • Ermittlung des reduzierten Überschussschlammes und Vergleich mit dem Ist-Zustand (Wirknachweis) • Nachweis über die Veränderung der nitrifizierenden und fädigen Bakterienarten *) • Entwicklung eines Berechnungsmodells zur Abschätzung des reduzierten Überschussschlammmanfalls als Funktion der relevanten Parameter *) • Erprobung von möglichen Steuerungskonzepten für das <i>Bioserve</i>-Verfahren *) • Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 	<ul style="list-style-type: none"> • Zu-/Ablauf: CSB, BSB₅, NH₄-N, NO₃-N; NO₂-N, P_{ges.}, P_{ortho} Na, K, Ca, Mg, Ks_{4,3} (täglich) • Belebtschlamm ISV (werktätlich) Absetzkurve (wöchentl.) GV (wöchentlich) mikroskopische Belebtschlammuntersuchung (wöchentlich) quantitative Untersuchung des Belebtschlammes auf nitrifizierende Bakterien über Gensonden (monatlich) *) • Fällmittelmengen
3	<p>Abschlussbericht (1 Monat)</p>	

*) entfiel aufgrund Mittelkürzung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

5.3 Versuchsdurchführung

5.3.1 LIPISOL-Dosierstelle und -menge

Die Dosierung des speziell auf die Kläranlage Neuss-Ost abgestimmten Produktes LIPISOL erfolgte direkt in den Zulauf zur 1. Kaskade der B-Stufe (Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4). Bei der Kläranlage Neuss-Ost wurde erstmalig eine LIPISOL-Rezeptur eingesetzt, die auch nach der Passage der Denitrifikation noch wirksam war. Auf diese Weise war es möglich, die LIPISOL-Dosierstellen von 12 auf 1 zu reduzieren.

Ab August 2003 wurde zunächst mit einer Anfangsdosierung von insgesamt 87 kg LIPISOL/Monat (Konzentrat) gefahren. Die Dosiermenge wurde im Verlauf des Versuchszeitraumes erhöht (Abbildung 5-5), um zu untersuchen, inwieweit durch Steigerung der LIPISOL-Dosierung einer Erhöhung der Überschussschlammreduktion möglich war. Es zeigte sich doch, dass eine Erhöhung der LIPISOL-Zugabe über 350 kg LIPISOL/Monat (Konzentrat) nicht zu einer weiteren Erhöhung der Überschussschlamm-Reduktionsrate geführt hat, so dass eine Dosierung von 350 LIPISOL/Monat (Konzentrat) bei der Kläranlage Neuss-Ost im Dauerbetrieb als ausreichend anzusehen ist.



Abbildung 5-3: LIPISOL-Dosierfass und -pumpe im Zulauf zur 1. Kaskade der B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost



Abbildung 5-4: LIPISOL-Dosierstelle im Zulauf zur 1. Kaskade der B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost

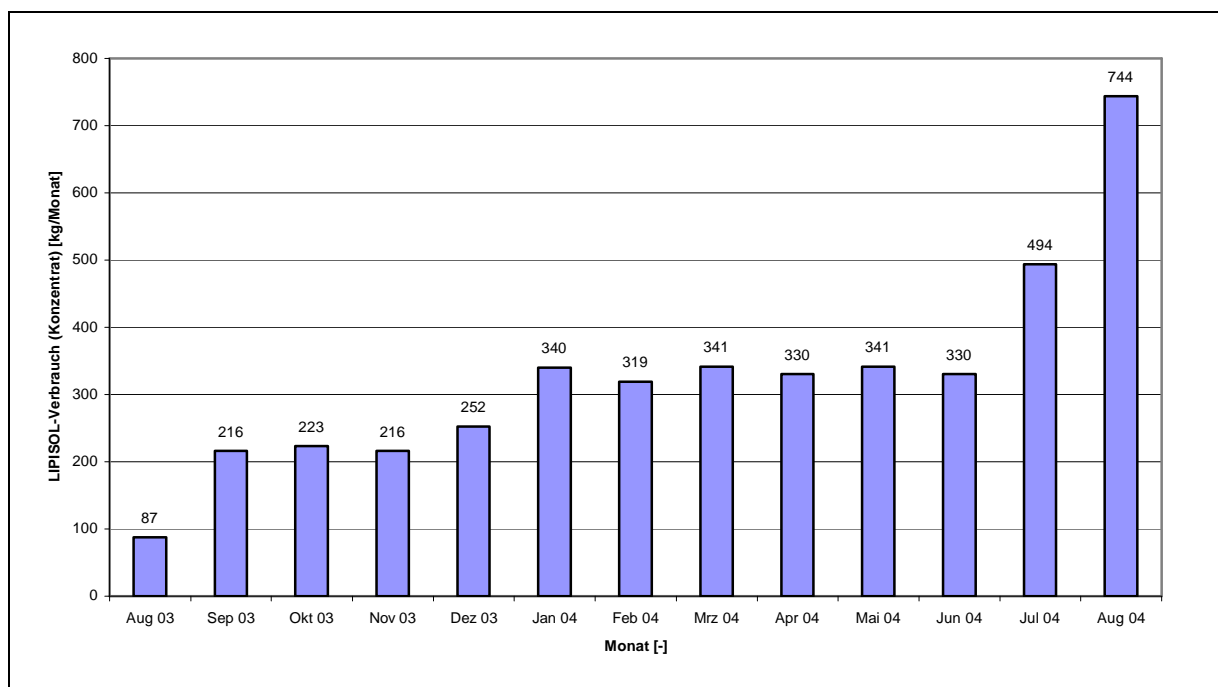


Abbildung 5-5: LIPISOL-Dosierung (Konzentrat) im Zulauf zur 1. Kaskade der B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost im Versuchszeitraum

5.3.2 Überschussschlamm-Abzugsregime

Nach Dosierbeginn (LIPISOL) wurde das Schlammabzugsregime zunächst unverändert beibehalten. Die Bioindikatoren für Schlammalter, Schlammbelastung und Sauerstoffversorgung wurden parallel beobachtet und dokumentiert (s. Kapitel 7.2). Sobald sich eine ausreichend

große Anzahl höher organisierter Mikroorganismen (Mehrzeller) im System eingestellt hatte, wurde der Schlammabzug schrittweise reduziert (Abbildung 6-24).

5.3.3 Festlegung des Referenz- und Versuchszeitraumes

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Tensidzugabe (LIPISOL) auf den Betrieb der Kläranlage Neuss-Ost war es erforderlich, die Betriebsdaten im Sinne eines Vorher-/Nachher-Vergleiches in entsprechenden Zeitabschnitten zu analysieren und miteinander zu vergleichen:

➤ **Referenzzeitraum (ohne LIPISOL-Dosierung)**

Als Referenzzeitraum wurde der Zeitraum vom Juni 2002 bis Juli 2003 herangezogen.

➤ **Versuchszeitraum (mit LIPISOL-Dosierung)**

Der im Rahmen dieses Projektes betrachtete Versuchszeitraum mit LIPISOL-Dosierung umfasste den Zeitabschnitt zwischen dem August 2003 und August 2004.

6 BELASTUNGSANALYSE DER B-STUFE DER KLÄRANLAGE NEUSS-OST, SCHLAMMPARAMETER UND ABLAUFWERTE IM REFERENZ- UND VERSUCHSZEITRAUM

6.1 Belastungsanalyse der B-Stufe

Da die Tenside in die B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost dosiert wurden, ist die zu betrachtende Systemgrenze für die Ermittlung der Überschussschlammreduktion um die Prozessstufen

- Zwischenklärbecken (ZBK),
- 1. und 2. Kaskade der B-Stufe und
- Nachklärbecken (NKB)

unter Einbeziehung der Schlammvolumenströme (Rücklauf- und Überschussschlamm) und dosierter Fällmittel zu ziehen.

6.1.1 Abwassermenge und Schmutzfrachten (CSB, NH₄-N und PO₄-P) als Belastungsgrößen der B-Stufe im Referenz- und Versuchszeitraum

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Verläufe der Abwassermenge und der Schmutzfrachten für die Parameter CSB, NH₄-N und PO₄-P sowie die jeweiligen statistischen Auswertungen für den Referenz- und Versuchszeitraum dargestellt. Folgende Aussagen lassen sich hieraus ableiten:

Die **Abwassermenge** schwankte im Referenzzeitraum zwischen 12.160 (Minimalwert) und 88.780 m³/d (Maximalwert). Im Versuchszeitraum lag der Maximalwert bei 72.900 m³/d, während der Minimalwert 18.670 m³/d betrug (Abbildung 6-2). Der Medianwert (50%) der Abwassermenge lag im Versuchszeitraum mit 30.270 m³/d unter dem des Referenzzeitraumes (33.955 m³/d).

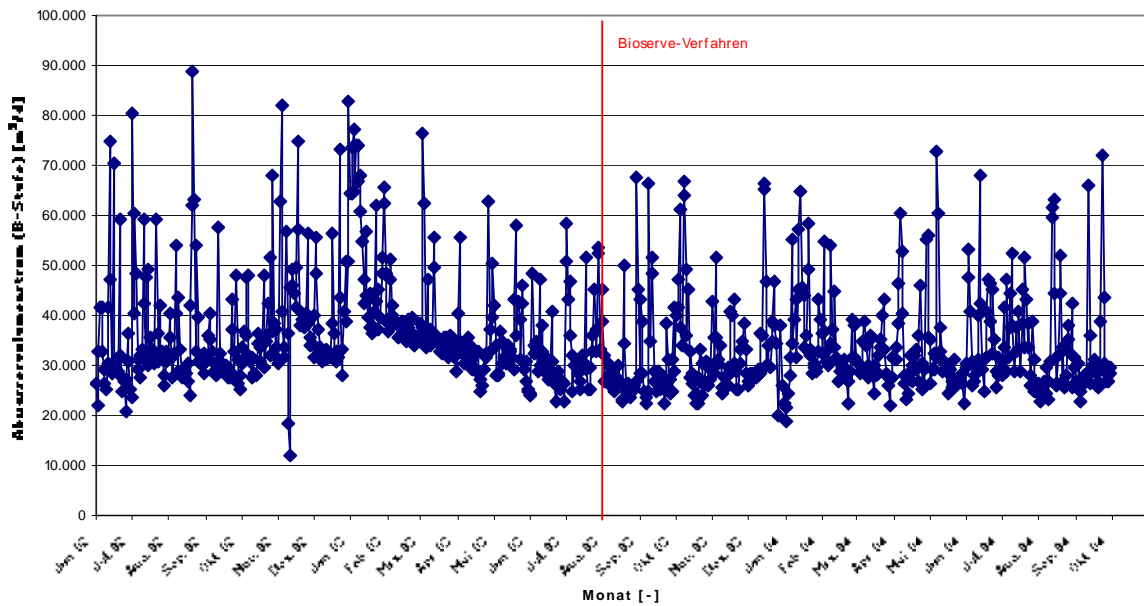


Abbildung 6-1: Abwasservolumenstrom (Zulauf B-Stufe)

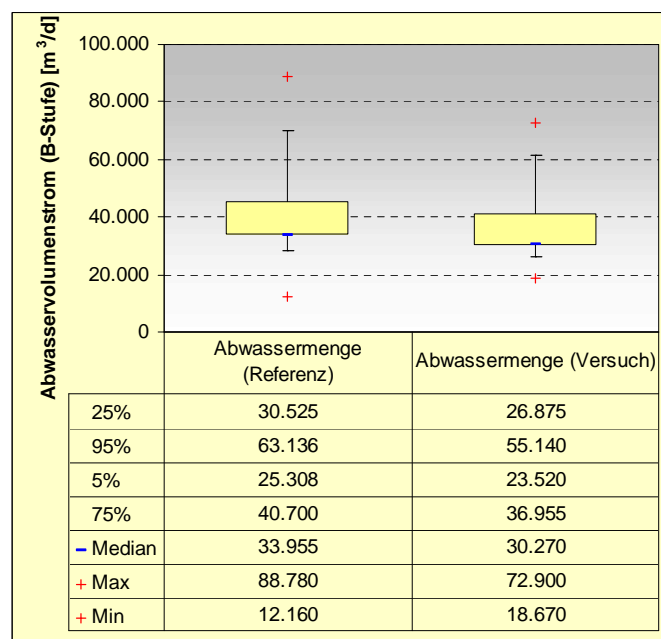


Abbildung 6-2: Box & Whisker-Darstellung der Abwasservolumenströme (B-Stufe)

Bei der **CSB-Fracht** im Zulauf zur A- bzw. B-Stufe war im zeitlichen Verlauf (Referenz- bis Versuchszeitraum) eine stetige Zunahme zu beobachten (Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3).

Die CSB-Medianwerte im Zulauf zur B-Stufe lagen bei 14,04 (Referenzzeitraum) bzw. 15,46 t/d (Versuchszeitraum) (Abbildung 6-4). Die zeitweise erhöhten CSB-Frachten in den

Monaten Dezember bis März sind auf Betriebsprobleme zurückzuführen, auf die in Kapitel 6.1.2 noch im Detail eingegangen wird.

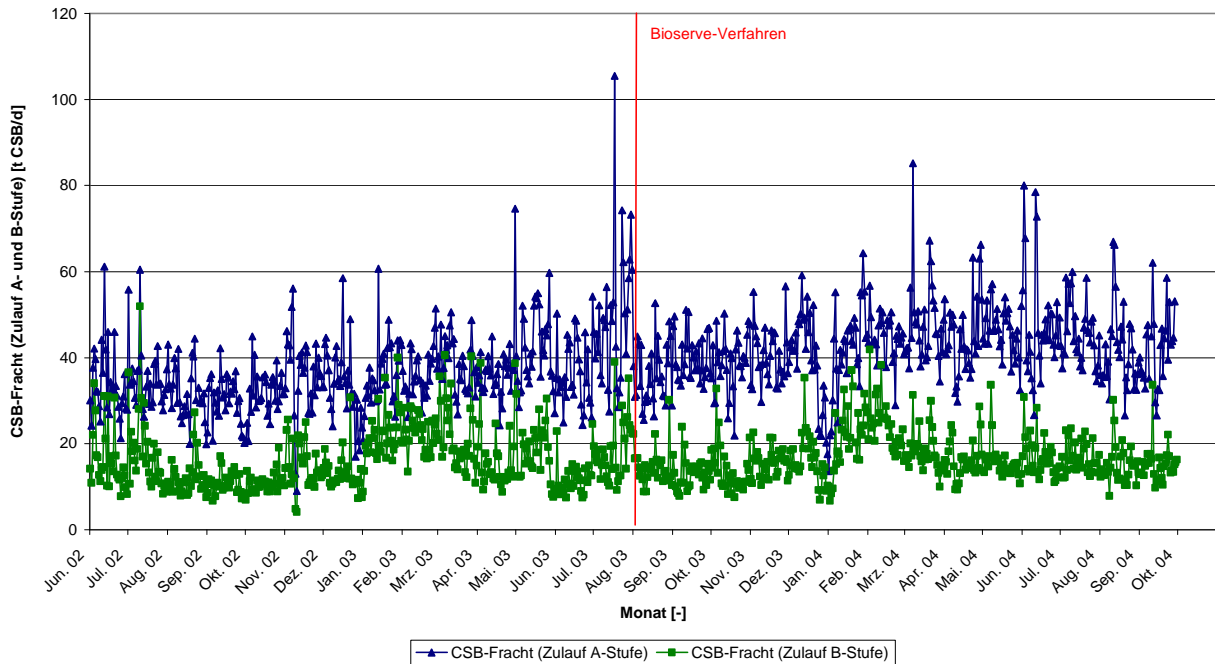


Abbildung 6-3: CSB-Fracht (Zulauf A- und B-Stufe)

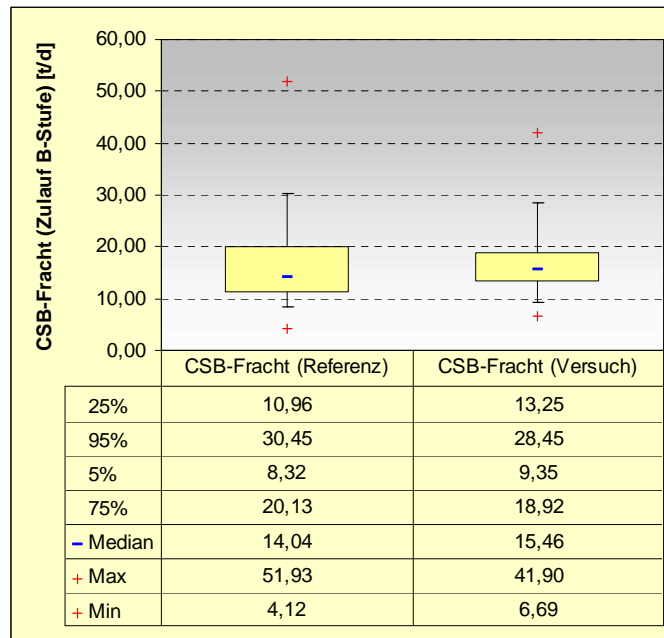


Abbildung 6-4: Box & Whisker-Darstellung der CSB-Fracht (Zulauf B-Stufe)

Bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Frachten im Zulauf zur B-Stufe waren keine signifikanten Unterschiede im Referenz- und Versuchszeitraum zu verzeichnen (Abbildung 6-5 und Abbildung 6-6).

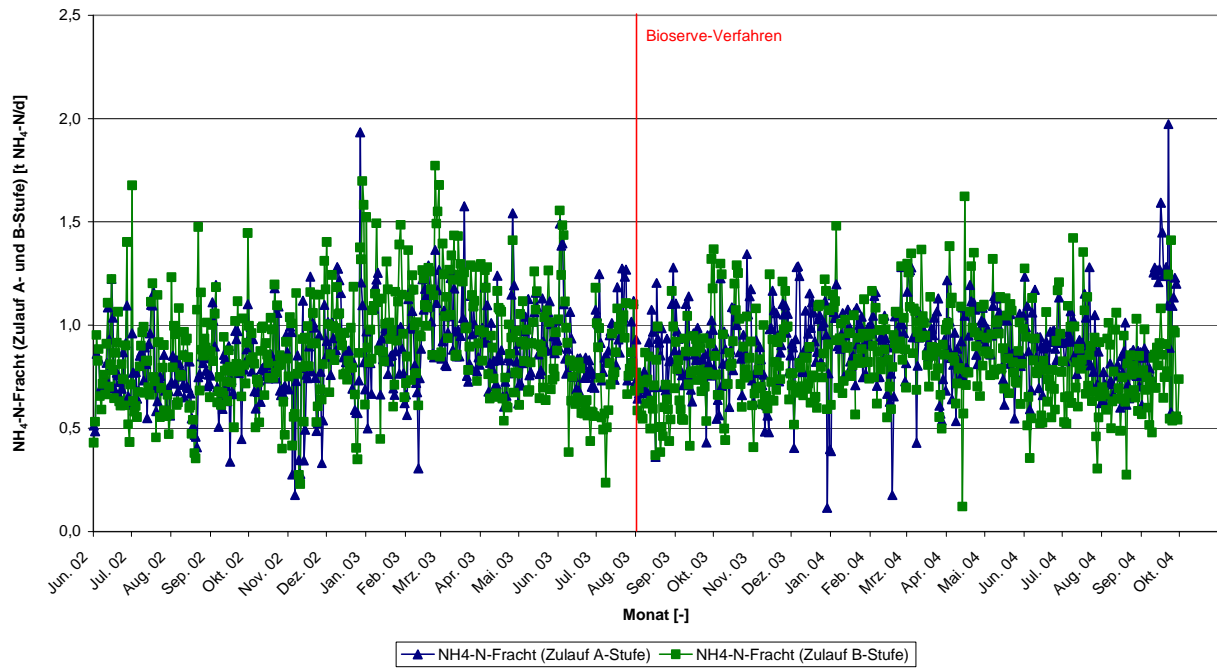


Abbildung 6-5: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Fracht (Zulauf A- und B-Stufe)

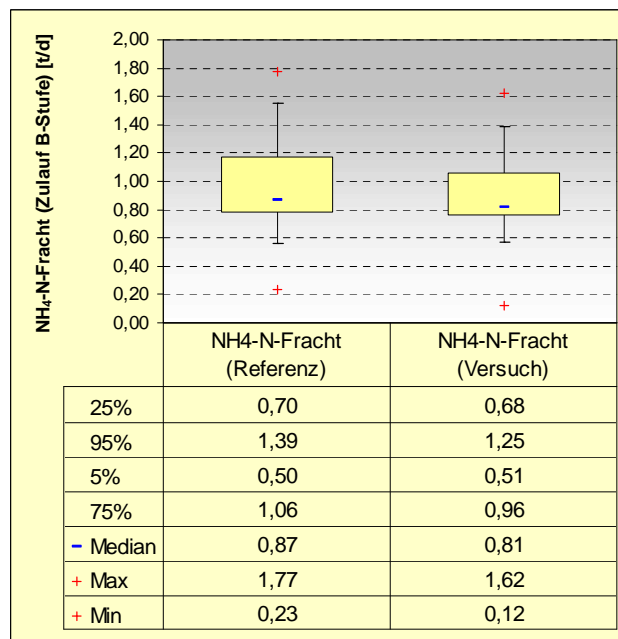


Abbildung 6-6: Box & Whisker-Darstellung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Fracht (Zulauf B-Stufe)

Die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Fracht im Zulauf zur B-Stufe lag mit dem Medianwert 0,18 t/d im Versuchszeitraum um 0,04 t/d höher als im Referenzzeitraum (0,14 t/d) (Abbildung 6-8). Auch hier wird auf die Ausführungen in Kapitel 6.1.2 verwiesen.

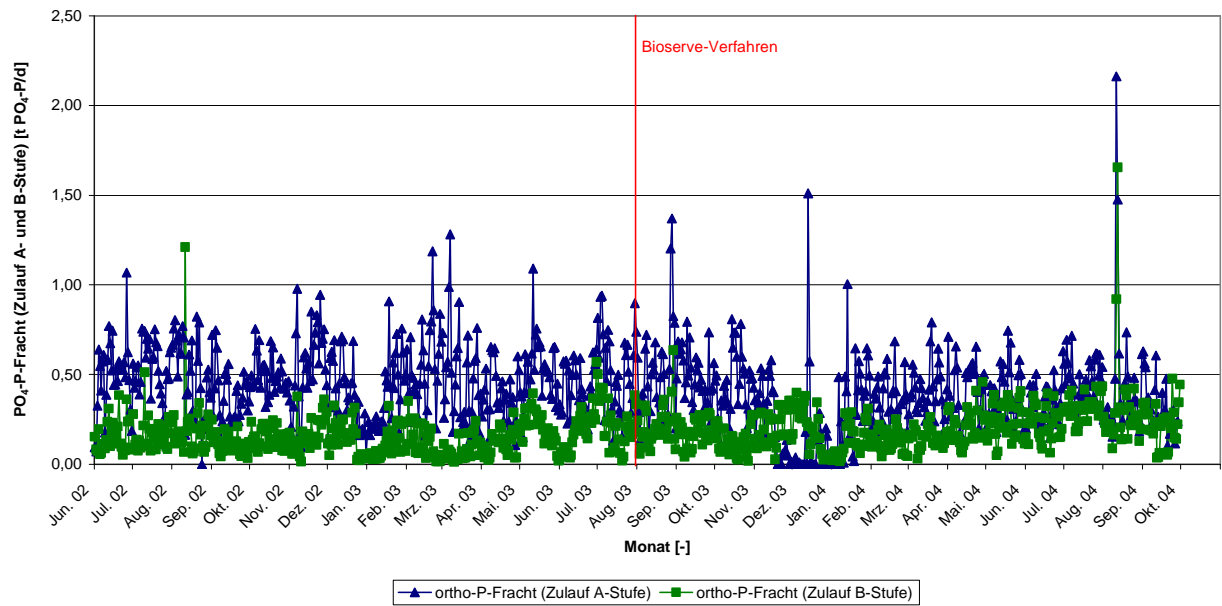


Abbildung 6-7: PO₄-P-Fracht (Zulauf A- und B-Stufe)

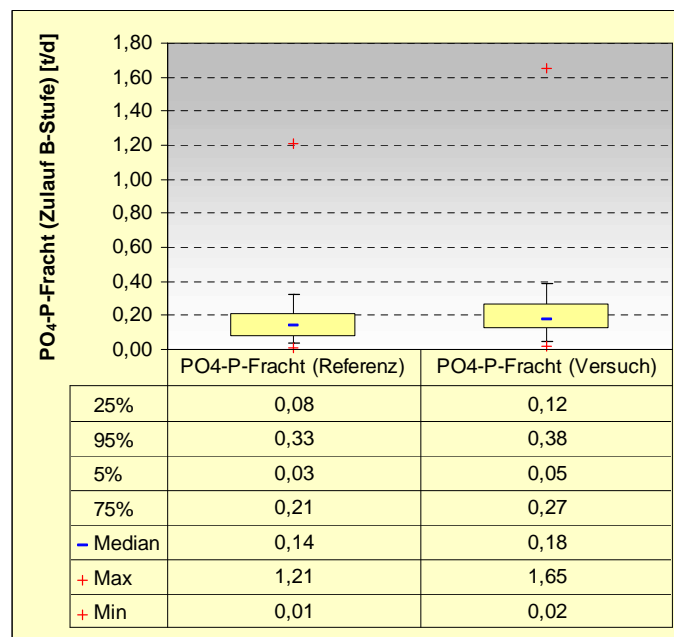


Abbildung 6-8: Box & Whisker-Darstellung der PO₄-P-Fracht (Zulauf B-Stufe)

6.1.2 Betriebsprobleme bei länger andauernden Mischwasserzuflüssen und Lösungsansatz

In den letzten drei Jahren führten länger andauernde Mischwasserzuflüsse in den Monaten Dezember bis März wiederholt zu Betriebsproblemen, die sich wie folgt äußerten:

- In der A-Stufe erhöhte sich der Schlammaustrag aus der Zwischenklärung.
- In der B-Stufe erhöhte sich dadurch der Schlammgehalt, so dass vermehrt Schlamm aus der B-Stufe abgezogen werden musste.
- Gleichzeitig verschlechterte sich das Schlammabsetzverhalten der B-Stufe.
- Die Klarwasserzone der Nachklärung trübte sich durch feinteilige Eisenphosphatverbindungen gelblich ein.
- Der Phosphorgehalt im Ablauf der B-Stufe war deutlich erhöht.
- Durch den erhöhten Schlammabtrieb aus der B-Stufe sowie den vermehrten Schlammabzug aufgrund des Schlammeintrages aus der A-Stufe sank die Anzahl an Nitrifikanten. Die Nitrifikationsleistung ging zurück.
- Die der B-Stufe nachgeschaltete Filtrationsanlage wurde durch den erhöhten Partikelgehalt im Ablauf der B-Stufe überlastet.
- Die gesetzlich geforderten Ablaufkonzentrationen konnten bezüglich Pges. und NH₄-N zeitweise nicht sicher eingehalten werden.

Um die Ursachen für diese Betriebsprobleme zu analysieren, wurden zeitgleich zum Forschungsprojekt *Ionenanalysen* (Na, K, Mg, Ca, Sulfat, Chlorid, P etc.) im Zu- und Ablauf der B-Stufe durch ein externes Labor durchgeführt. Ferner wurden die *abfiltrierbaren Stoffe* im Zu- und Ablauf der B-Stufe bestimmt. Der Untersuchungszeitraum lag in der Zeit vom 16.06.2003 bis zum 30.04.2004, um sowohl einen Zeitraum ohne Betriebsprobleme in der B-Stufe als auch den problematischen Zeitraum Dezember – März untersuchen zu können.

Folgende Erkenntnisse ergaben sich durch dieses zusätzliche Analysenprogramm:

Schlammaustrag aus der A-Stufe in die B-Stufe

Mit Beginn der regenintensiven Phase Mitte Dezember begann der Gehalt an absetzbaren Stoffen im Ablauf der Zwischenklärung (Zulauf B-Stufe) kontinuierlich zu steigen (Abbildung 6-9). Gleichzeitig sanken die Ca-Konzentrationen im Ablauf der Zwischenklärung unter 100 mg/l ab (Abbildung 6-10). Infolge des Schlammabtriebs aus der A-Stufe erhöhte sich der TS-Gehalt in der B-Stufe von 5 – 6 g/l auf > 8 g/l (Abbildung 6-11). Der Überschussschlammabzug aus der B-Stufe musste darauf hin deutlich erhöht werden.

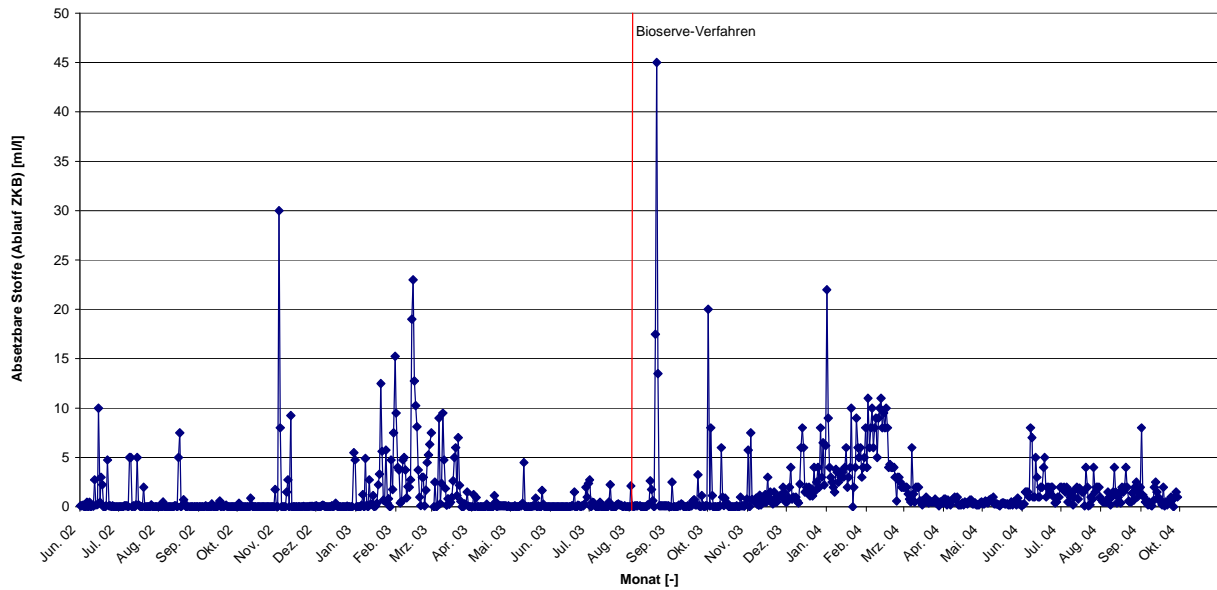


Abbildung 6-9: Absetzbare Stoffe im Ablauf der Zwischenklärung

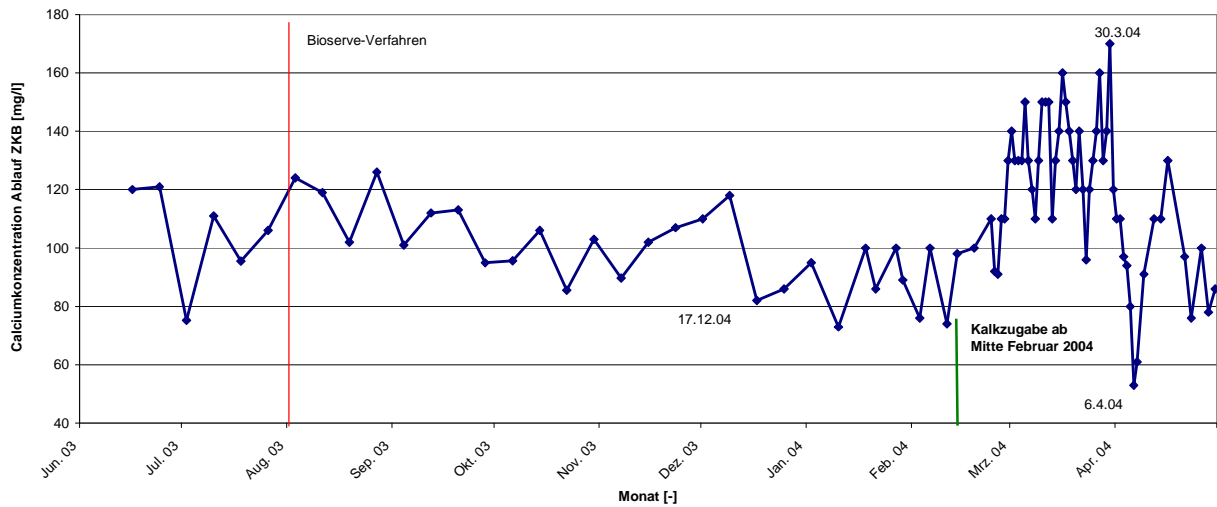


Abbildung 6-10: Calciumkonzentrationen im Ablauf der Zwischenklärung (Zulauf B-Stufe)

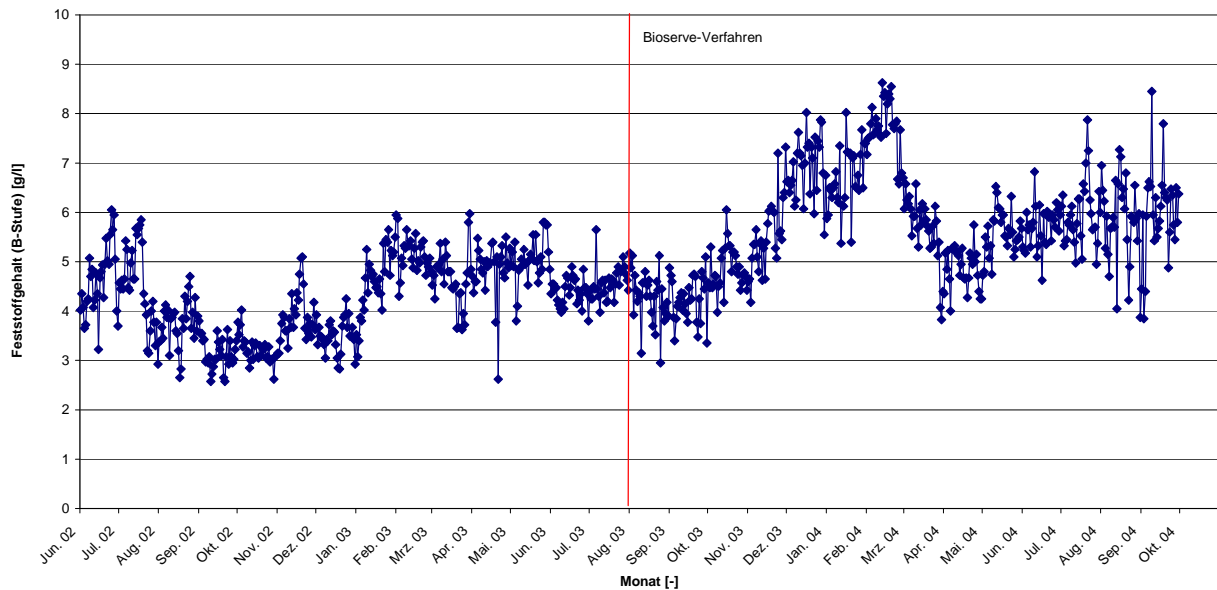


Abbildung 6-11: Feststoffgehalt in der B-Stufe

Als *Gegenmaßnahme* wurde ab Mitte Februar 2004 Kalk in die A-Stufe dosiert. Hierdurch konnten die Ca-Gehalte wieder deutlich angehoben werden (siehe Abbildung 6-10). Auch die Konzentration an absetzbaren Stoffen im Ablauf der Zwischenklärung ging im anschließenden Zeitraum auf das Normalmaß zurück (siehe Abbildung 6-9). Etwa einen Monat nach Inbetriebnahme der Kalkdosierung konnte der Schlammaustrag aus der A-Stufe gestoppt wer-

den. Der TS-Gehalt in der B-Stufe ging infolge dessen wieder auf Werte um 5 g/l zurück und der Überschussschlammanfall normalisierte sich. Die zeitweise aufgetretene Schlammverlagerung aus der A-Stufe in die B-Stufe ist bei der Massenbilanz zur Ermittlung der Überschussschlammproduktion zu berücksichtigen (s. Kapitel 7.1)

Abnahme der Sichttiefe und Erhöhung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der B-Stufe (Eintrübung der Nachklärung)

Die Probleme in der Nachklärung traten im Jahr 2004 schlagartig auf. Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen stieg in den letzten Januartagen (ab 29.01.2004) sprunghaft von 0 – 10 mg/l auf Werte zwischen 30 und 40 mg/l an (siehe Abbildung 6-12). Die Untersuchung ergab, dass es sich bei den abfiltrierbaren Stoffen um äußerst feinteiliges Eisenphosphat handelte, das dem Abwasser im Nachklärbecken eine milchige, gelb-bräunliche Farbe verlieh und das sich nicht absetzte, sondern in den nachfolgenden Filtern abgeschieden werden musste. Durch die milchige, gelbliche Trübung ging die Sichttiefe im Nachklärbecken gleichzeitig mit dem Anstieg der abfiltrierbaren Stoffe deutlich zurück (Ende Januar, siehe Abbildung 6-13).

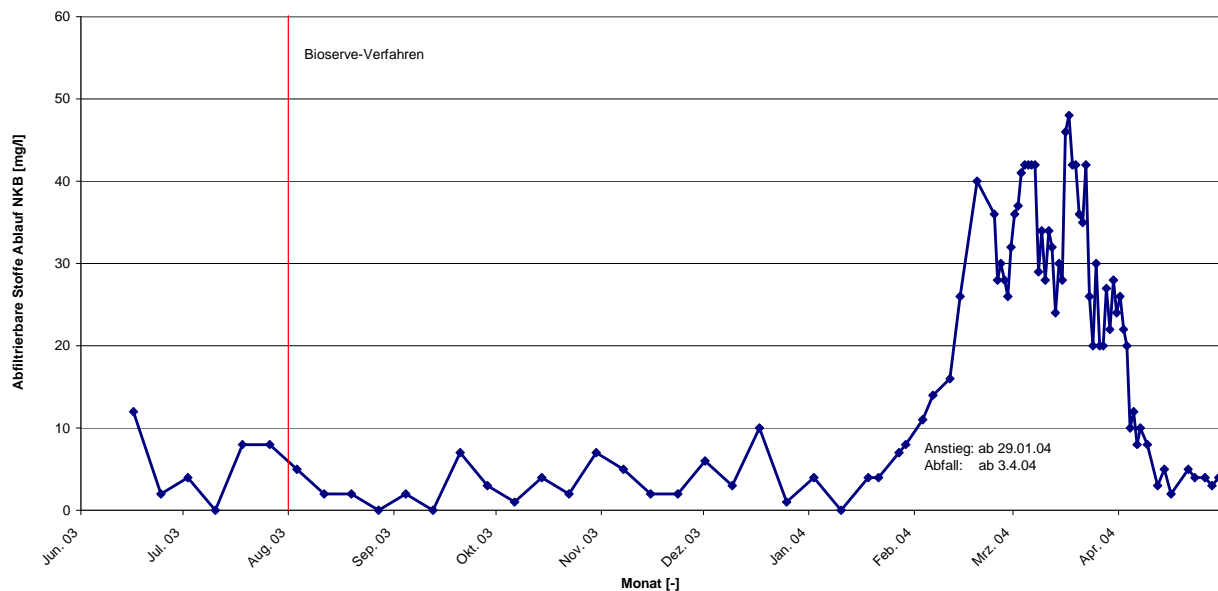


Abbildung 6-12: Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Nachklärung

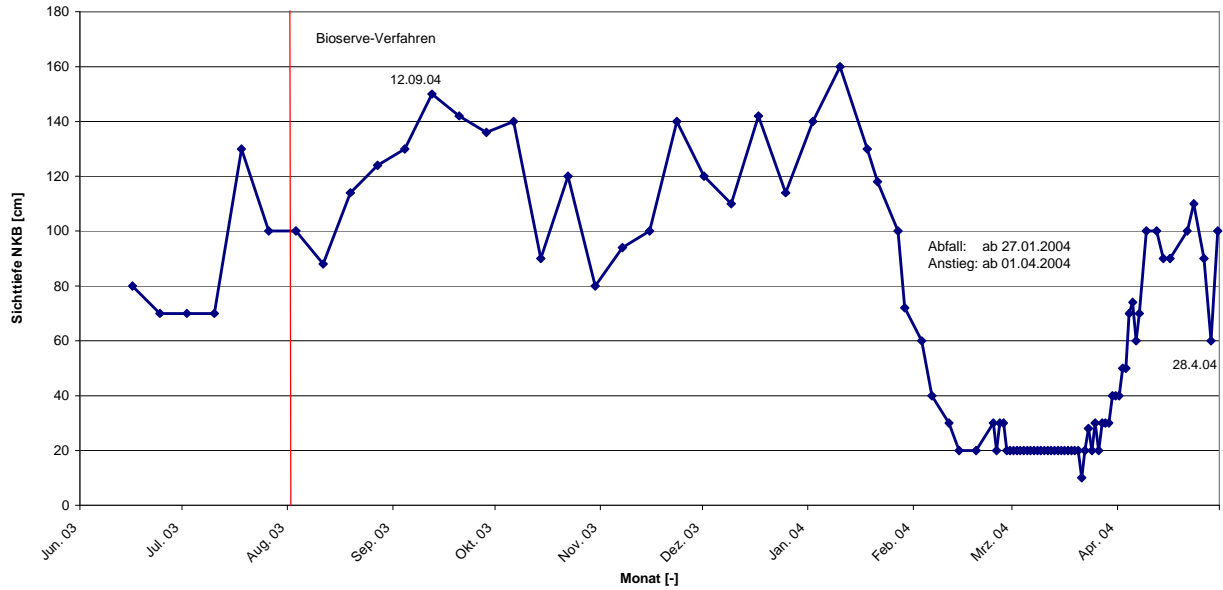


Abbildung 6-13: Sichttiefe im Nachklärbecken

Die Eintrübung der Nachklärung begann, wie oben beschrieben, etwa am 27.01.2004 und verschwand ab dem 01.04.2004. Anhand der durchgeführten Ionenanalysen auf Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Sulfat und Chlorid konnte festgestellt werden, dass der Beginn der Eintrübung Ende Januar mit einer stark erhöhten *Natriumkonzentration und -fracht* am 27.01.2004 und 29.01.2004 in zeitliche Übereinstimmung gebracht werden kann (Anreicherung mit Natrium; siehe Abbildung 6-14).

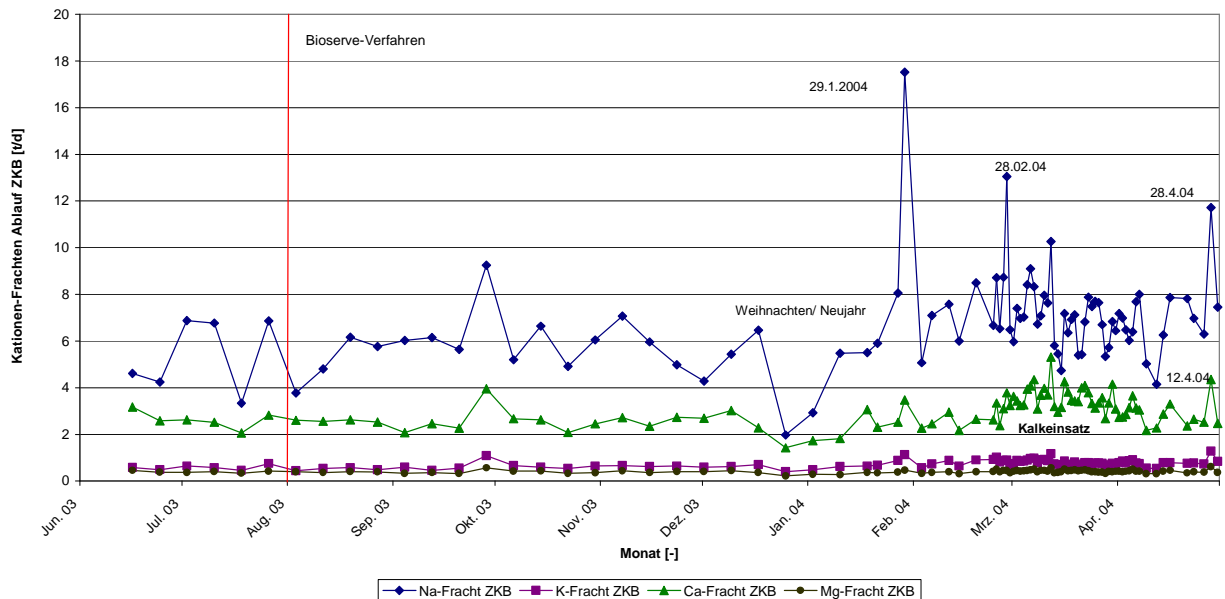


Abbildung 6-14: Kationenfrachten im Ablauf der Zwischenklärbecken (ZKB)

Das Abklingen der Eintrübung ist dagegen mit einem starken Abfall der Natriumkonzentration bzw. -fracht ab Anfang April bis zu einem Minimum am 06.04.2004 (sehr starker Regen) verbunden (Ausspülen des Natriums; siehe Abbildung 6-15).

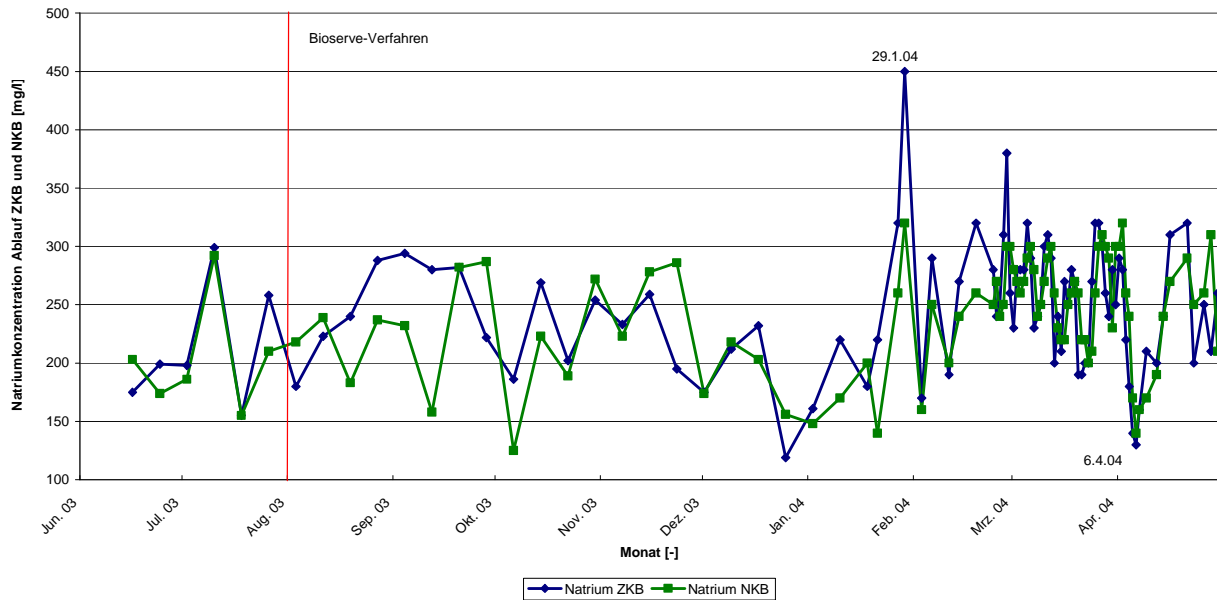


Abbildung 6-15: Natriumkonzentrationen im Ablauf der Zwischenklärung (ZKB) und im Ablauf der Nachklärbecken (NKB)

Niedrige Natriumkonzentrationen konnten ebenfalls zwischen Weihnachten 2003 und Neujahr 2004 festgestellt werden, was auf einen industriellen Einfluss der Natriumeinleitungen schließen lässt.

Der negative Einfluss von Natrium auf Fällungsreaktionen ist ein des öfteren beobachtetes Phänomen. Bei der Ausfällung von Sulfat mit Kalk (Gipsfällung; CaSO_4) führen höhere Natriumgehalte zu einer starken Zeitverzögerung der Fällungsreaktion, so dass es zu unvollständigen Ausfällungen kommt. Dies führt dazu, dass in den eigentlichen Fällungsbecken die Ausfällung nicht quantitativ abläuft und es erst Stunden später in den Absetzbecken, Rezirkulations- oder Ablaufleitungen zur vollständigen Ausfällung kommt. Dies führt zu erheblichen Inkrustationen in diesen Anlagenteilen. Als Gegenmaßnahme ist eine erhöhte (überstöchiometrische) Kalkzugabe und eine Kontaktschlammzugabe in die Reaktionsbecken erforderlich.

Ähnliches scheint ab einer Natriumkonzentration von ca. 300 mg/l bei gleichzeitig durch Mischwasserzufluss erniedrigten Calciumkonzentrationen auf der KA Neuss-Ost stattzufin-

den. Die Ausfällung des Eisenphosphates mit Eisensalzen erfolgt zeitverzögert im Nachklärbecken. Dort steht das gefällte Produkt nicht mehr mit Belebtschlamm in Kontakt, so dass es nicht in den Belebtschlamm eingebunden werden kann, sondern so feinkristallin, wie es entsteht, im Abwasser verbleibt und die oben beschriebene Trübung verursacht. Die Verweilzeit in den Nachklärbecken ist offensichtlich vor allem bei Mischwasserzufluss zu gering, um die Fällungsreaktion zum Abschluss zu bringen.

Ergänzend zur bereits in diesem Jahr realisierten Kalkzugabe in die A-Stufe (Calcium kompensiert den negativen Einfluss von Natrium und verhindert den Schlammübertrag aus der A-Stufe und somit zu hohe TS-Gehalte in der B-Stufe) kommen folgende weitere Gegenmaßnahmen zur Bekämpfung der zuvor beschriebenen Betriebsprobleme in Betracht:

- Identifizierung des Verursachers der Natriumeinleitungen und Reglementierung der zulässigen Natriumfrachten,
- Zugabe der Eisensalze am frühestmöglichen Punkt der B-Stufe,
- hoher Energieeintrag an der Eisenzugabestelle.

Es sollte jedoch mit der Kalkzugabe begonnen werden, bevor der A-Stufen-Schlamm in die B-Stufe abzutreiben beginnt. Die Kalkzugabe beginnt etwa einen Monat nach Inbetriebnahme der Dosierung zu wirken, so dass ein Beginn spätestens ab Anfang Dezember sinnvoll erscheint.

6.2 Schlammparameter

Aus der betriebsbegleitenden Eigenüberwachung der Kläranlage Neuss-Ost wurden die Parameter

- Feststoffgehalt in der Belebung [g/]
- Feststoffgehalt im Rücklaufschlamm [g/l]
- Schlammindex [ml/g]
- Sichttiefe in den Nachklärbecken [cm]
- Überschussschlamm-Volumenstrom [m³/d]
- Überschussschlamm-Feststoffmasse [t TS/d] und
- Schlammalter [d]

für den Referenz- und Versuchszeitraum analysiert und vergleichend gegenübergestellt. Als Ergebnis dieses Vergleiches lassen sich folgende Aussagen ableiten:

Der **Feststoffgehalt in der B-Stufe** war sowohl im Referenz- als auch im Versuchszeitraum einer relativ großen Schwankungsbreite unterworfen (Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17). Die Ursache hierfür war auf die zeitweise aufgetretenen Betriebsprobleme in den Wintermonaten zurückzuführen (s. Kapitel 6.1.2). Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 4,4 g/l (Maximalwert: 6,1 g/l), im Versuchszeitraum lag dieser deutlich höher bei 5,6 g/l (Maximalwert: 8,6 g/l).

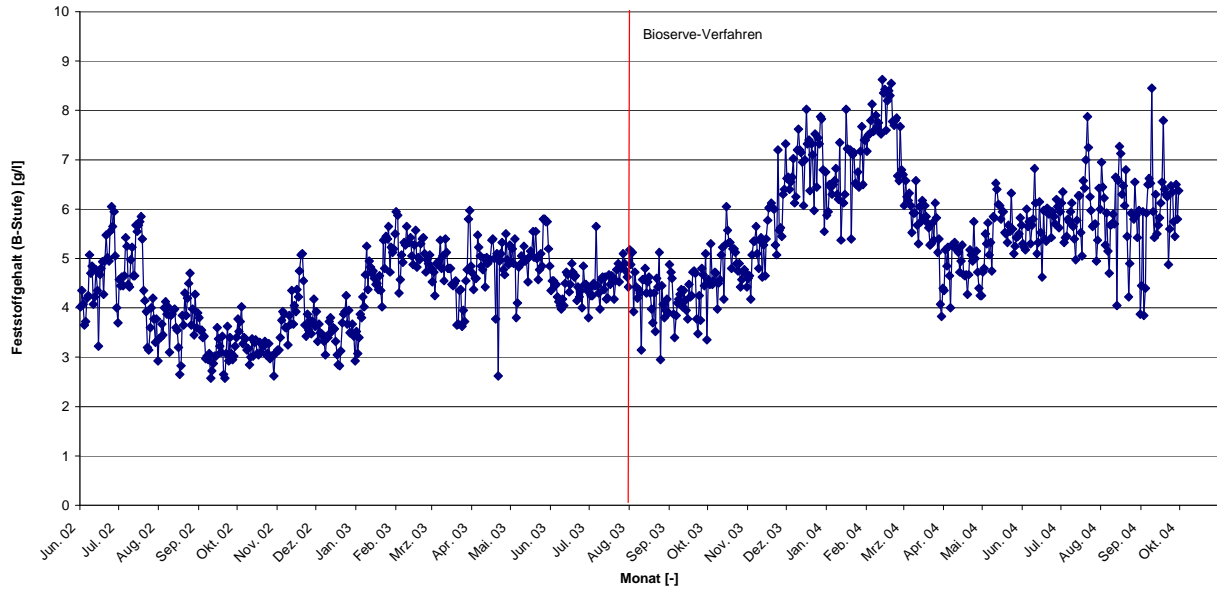


Abbildung 6-16: Feststoffgehalt in der B-Stufe

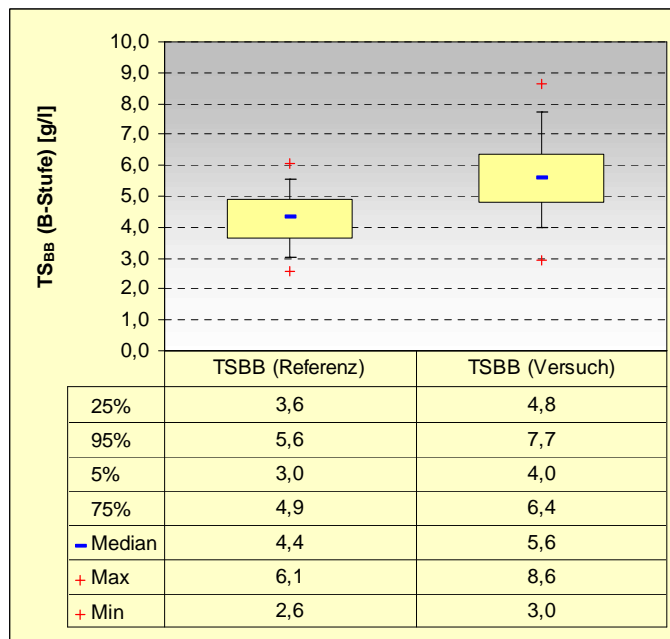


Abbildung 6-17: Box & Whisker-Darstellung des Feststoffgehaltes in der Belebung (B-Stufe)

Analog zur Feststoffentwicklung in der Belebung der B-Stufe war auch eine Erhöhung des **Feststoffgehaltes im Rücklaufschlamm** im Vergleich Referenz- und Versuchszeitraum in gleicher Größenordnung zu beobachten. Im Referenzzeitraum betrug der Medianwert 6,8 g/l, während dieser im Versuchszeitraum um einen Betrag von 1,2 g/l höher bei 8,0 g/l lag (Abbildung 6-18 und Abbildung 6-19). Die Maximalwerte lagen bei 8,5 g/l im Referenzzeitraum bzw. bei 11,0 g/l im Versuchszeitraum.

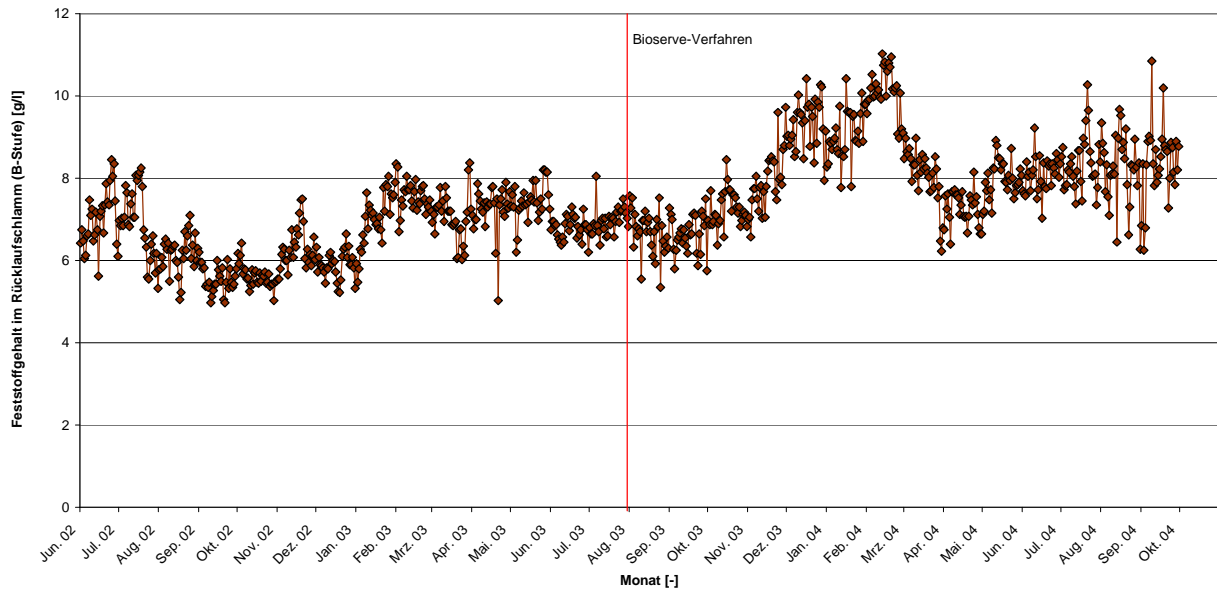


Abbildung 6-18: Feststoffgehalt im Rücklaufschlamm der B-Stufe

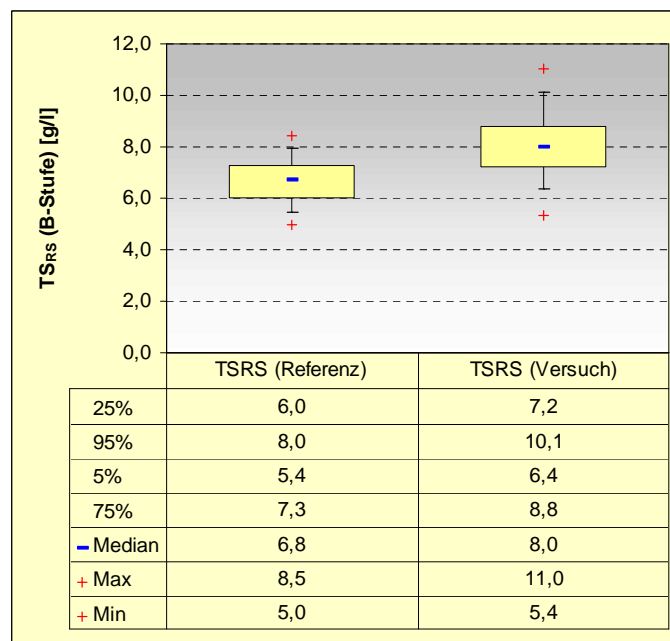


Abbildung 6-19: Box & Whisker-Darstellung des Feststoffgehaltes im Rücklaufschlamm

Die Schwankungsbreite des **Schlammindex (ISV)** war in beiden Betrachtungszeiträumen näherungsweise gleich ausgeprägt. Im Referenzzeitraum schwankte der ISV zwischen 35 und 108 ml/g, während er sich im Versuchszeitraum zwischen 32 und 99 ml/g bewegte (Abbildung 6-20 und Abbildung 6-21). Die Medianwerte der Schlammindizes lagen im Referenz- und Versuchszeitraum eng beieinander (52 ml/g im Referenzzeitraum und 56 ml/g im Versuchszeitraum).

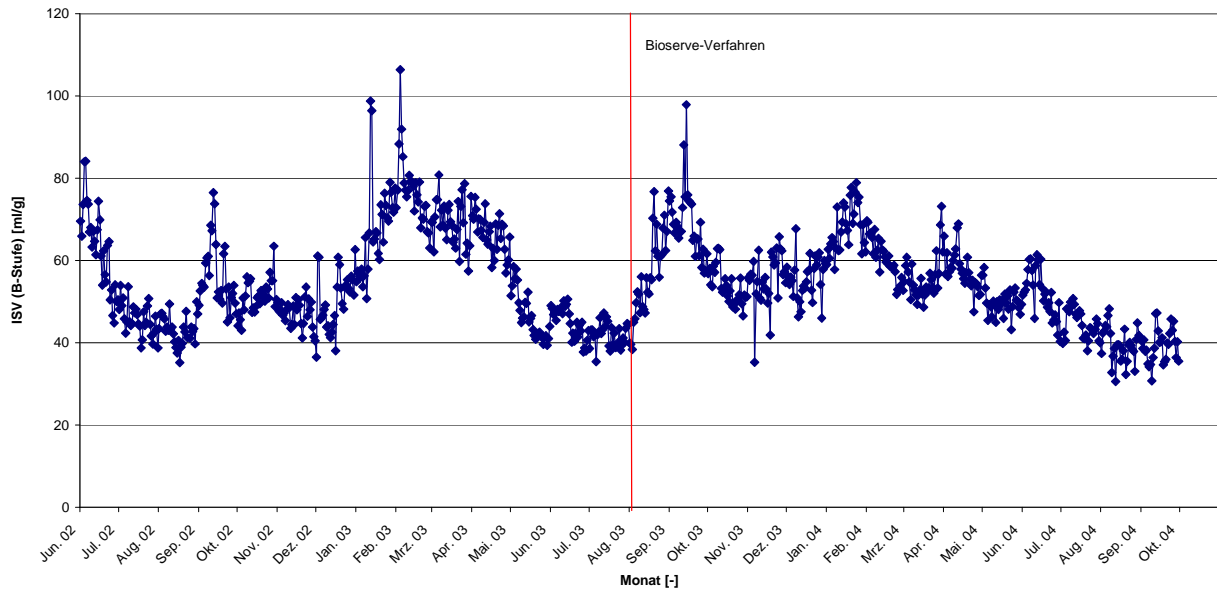


Abbildung 6-20: Schlamminde (ISV) in der B-Stufe

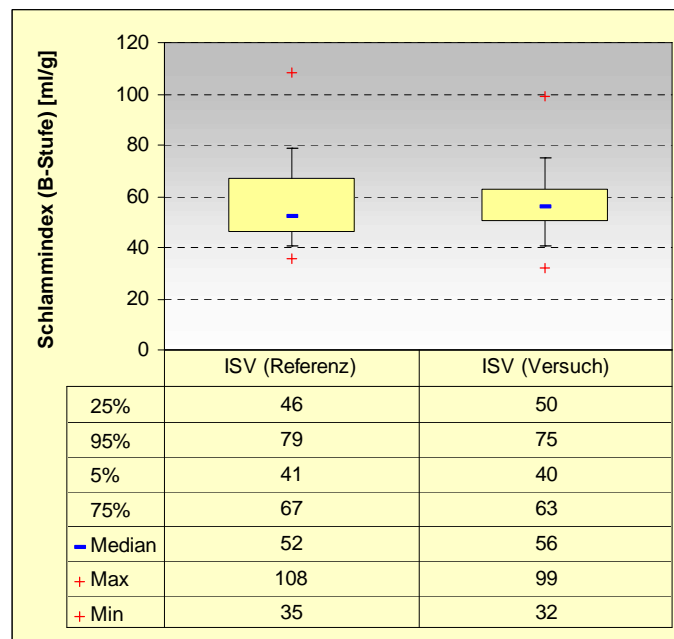


Abbildung 6-21: Box & Whisker-Darstellung des Schlamminde (ISV) in der B-Stufe

Die **Sichttiefe** in den Nachklärbecken der B-Stufe hatte sich im Versuchszeitraum deutlich gegenüber dem Referenzzeitraum verbessert (Abbildung 6-22 und Abbildung 6-23). Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 60 cm, im Versuchszeitraum stieg die Sichttiefe als Medianwert auf 106 cm an. Die Maximalwerte lagen bei 140 cm (Referenzzeitraum) und 188 cm (Versuchszeitraum). Die in Abbildung 6-22 beobachteten „Einbrüche“ der Sichttiefe bis herunter auf Minimalwerte von 10 cm stehen in direkter Beziehung zu den in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Betriebsproblemen in den Wintermonaten.

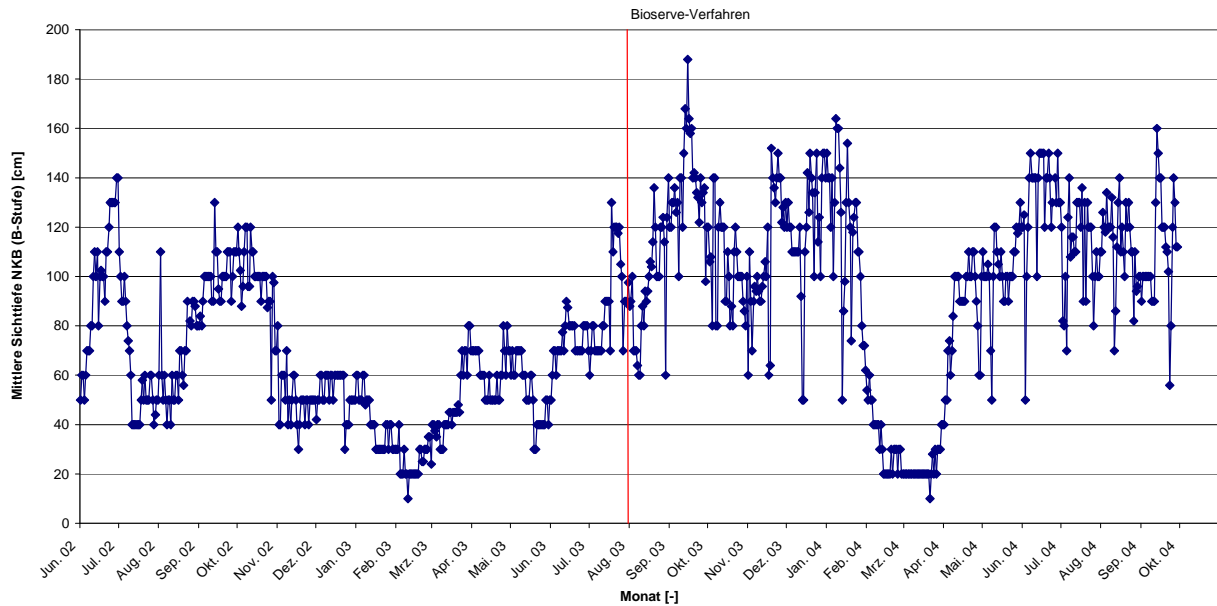


Abbildung 6-22: Mittlere Sichttiefe in den Nachklärbecken (B-Stufe)

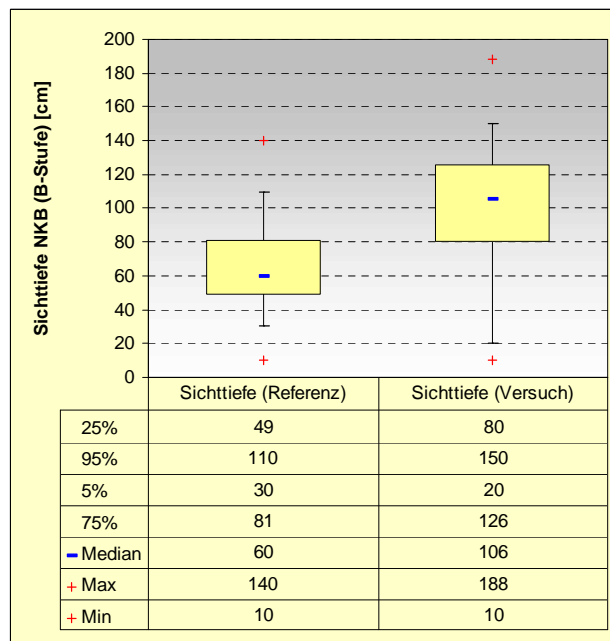


Abbildung 6-23: Box & Whisker-Darstellung der mittleren Sichttiefe in den Nachklärbecken (B-Stufe)

In Abbildung 6-24 und Abbildung 6-25 ist der **Überschussschlammabzug** im Referenz- und Versuchszeitraum als Volumenstrom [m³/d] und Feststofffracht [t/d] dokumentiert. Nach Inbetriebnahme der LIPISOL-Dosierung im August 2003 konnte zunächst – wie aus Abbildung 6-24 zu entnehmen ist – der Überschussschlammabzug bis Ende des Jahres 2003 schrittweise heruntergefahren werden, bis zu dem Zeitpunkt des Eintretens der oben beschriebe-

nen Betriebsprobleme im Zeitraum Januar bis März 2004, wo der Schlammabzug infolge des starken Anstieges des Feststoffgehaltes in der B-Stufe wieder erhöht werden musste. Ab April 2004 konnte der Überschussschlammabzug dann wieder schrittweise bis zum Versuchsende reduziert werden. Aus diesen Darstellungen allein lässt sich jedoch noch nicht die Größe der Überschussschlammreduktion ableiten, da noch die zeitlichen Änderungen des Schlammbestandes in der Belebung sowie die Fällschlämme und die CSB-Frachten als Belastungsgröße der Belebung mit einzubeziehen sind. Zur Ermittlung der Überschussschlammreduktion ist eine Massenbilanzierung durchzuführen. Die Massenbilanzierung unter Einbeziehung der relevanten Massenströme im Referenz- und Versuchszeitraum ist Gegenstand des Kapitels 7.1.

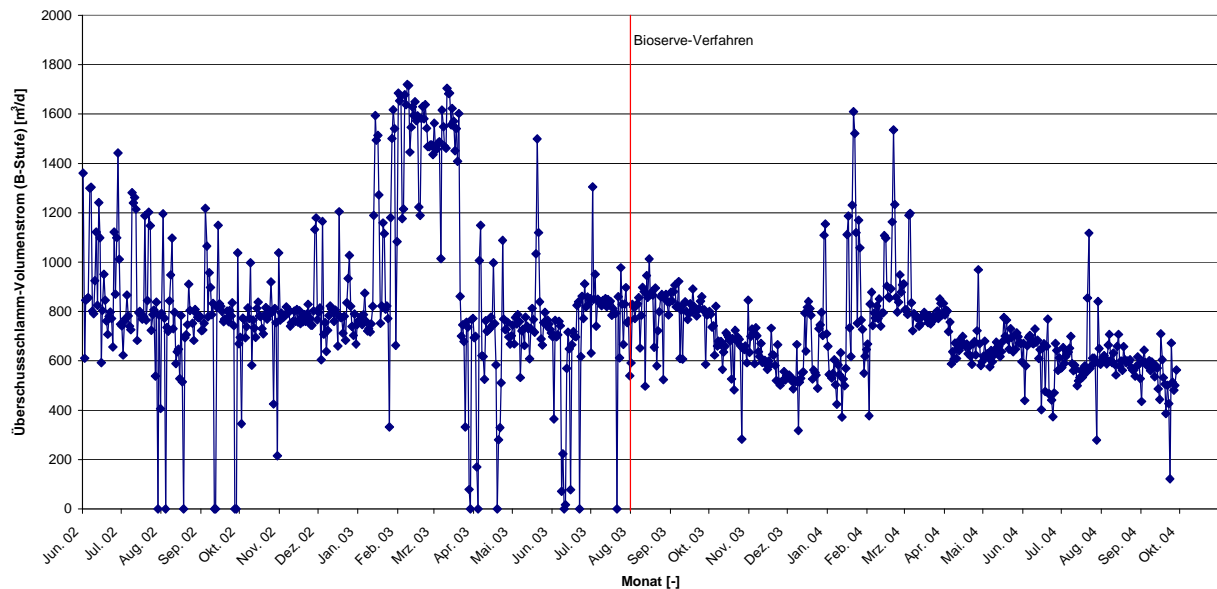


Abbildung 6-24: Überschussschlamm-Volumenstrom (B-Stufe)

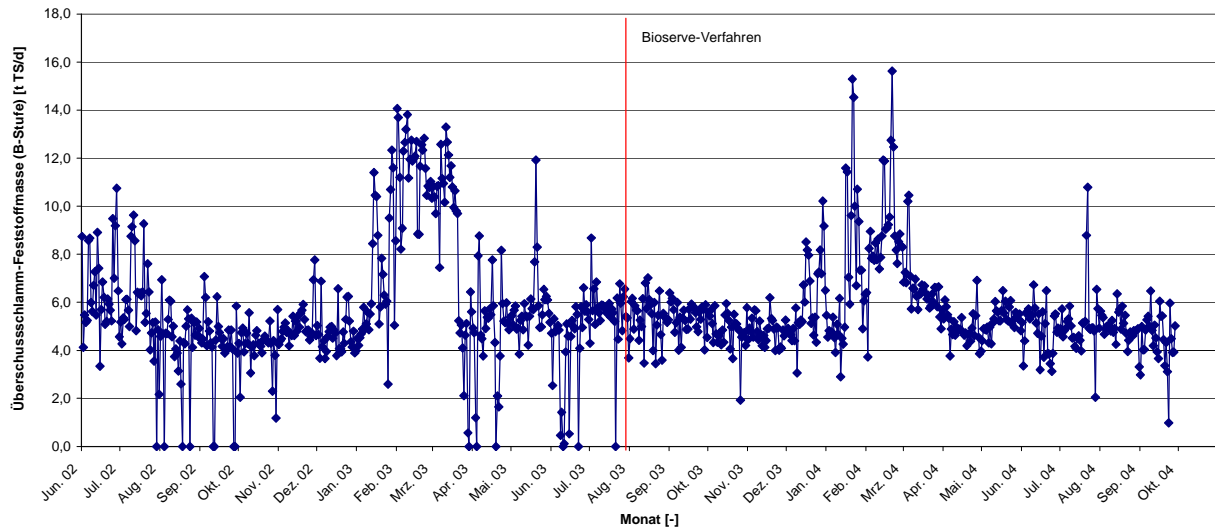


Abbildung 6-25: Überschussschlamm-Feststoffmasse (B-Stufe)

In Abbildung 6-26 sind die Verläufe der ermittelten **Schlammalter** für den Referenz- und Versuchszeitraum dargestellt. Die entsprechende Statistik ist in Abbildung 6-27 aufbereitet. Nach Inbetriebnahme der LIPISOL-Dosierung wurde das Schlammalter zunächst bis Ende des Jahres 2003 schrittweise erhöht, auch hier nur bis zu dem Zeitpunkt des Eintretens der oben beschriebenen Betriebsprobleme im Zeitraum Januar bis März 2004, wo der Schlammabzug infolge des starken Anstiegs des Feststoffgehaltes in der B-Stufe wieder erhöht werden musste, mit einhergehender Abnahme des Schlammalters in diesem Zeitraum. Ab April 2004 konnte dann das Schlammalter wieder planmäßig gesteigert werden. Der Medianwert des Schlammalters betrug im Referenzzeitraum 13,8 Tage; im Versuchszeitraum wurde der Medianwert zu 18,1 Tagen ermittelt, so dass im Mittel eine Steigerung des Schlammalters um 4,3 Tage vorlag.

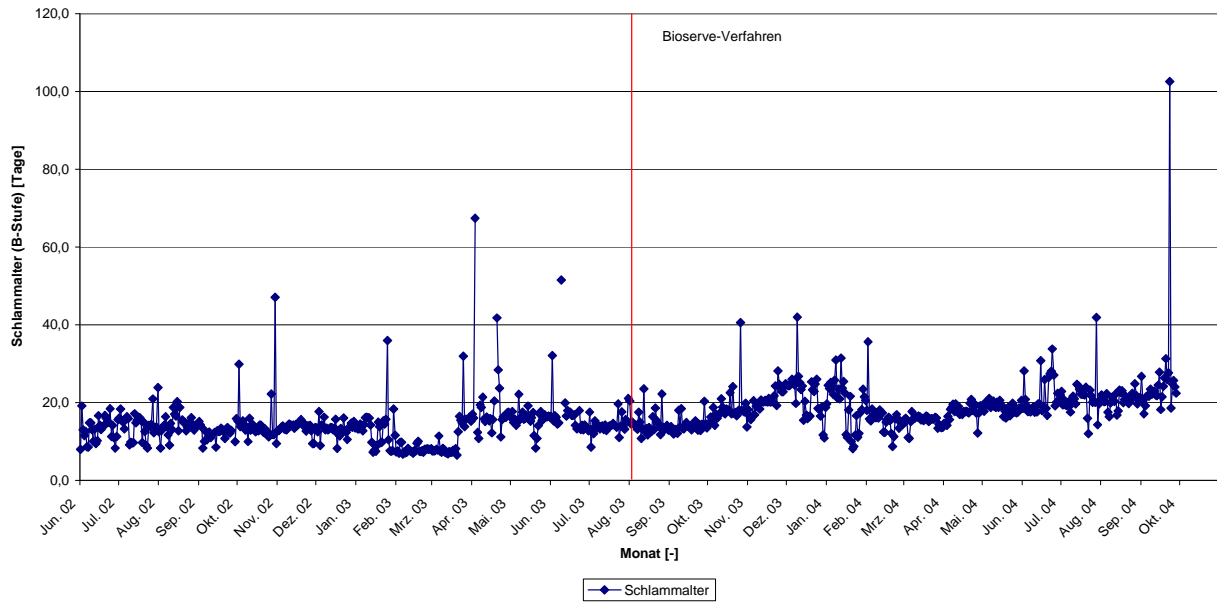


Abbildung 6-26: Schlammalter (B-Stufe)

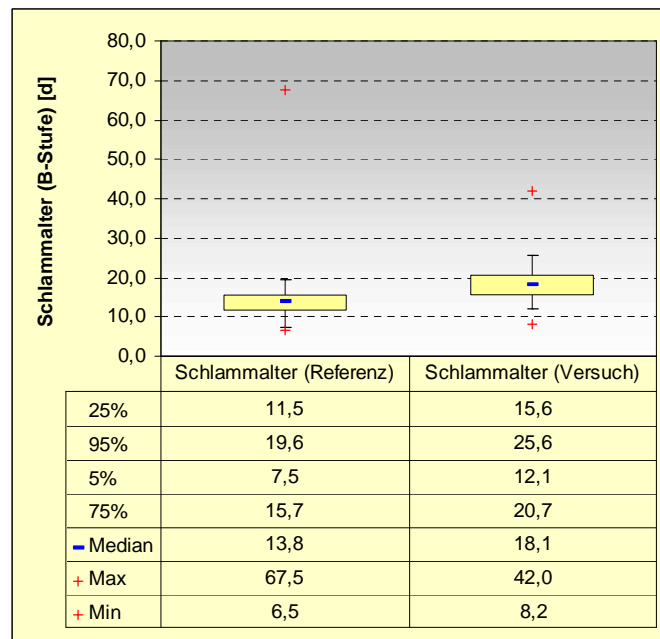


Abbildung 6-27: Box & Whisker-Darstellung des Schlammalters in der Belegung (B-Stufe)

6.3 Ablaufwerte (Nachklärbecken/ vor der Filtration)

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Verläufe der Ablaufwerte (Nachklärbecken/ vor der Filtration) für die Parameter CSB, $N_{\text{ges.anorg.}}$, $PO_4\text{-P}$ und abfiltrierbare Stoffe sowie die jeweiligen statistischen Auswertungen für den Referenz- und Versuchszeitraum dargestellt. Folgende Aussagen lassen sich hieraus ableiten:

Die **CSB-Konzentration** im Ablauf der Nachklärbecken war im Referenz- und Versuchszeitraum den in Abbildung 6-28 dargestellten Schwankungsbreiten unterworfen. Im Referenzzeitraum lag der CSB-Medianwert bei 43,6 mg/l (Maximalwert: 100 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 6,2 mg/l höher bei 49,8 mg/l (Maximalwert: 114 mg/l) (Abbildung 6-29). Die Ursache hierfür war auf den Anstieg der CSB-Fracht im Zulauf zur B-Stufe im Versuchszeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum zurückzuführen (siehe Abbildung 6-3) sowie auf die in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Betriebsprobleme in den Wintermonaten.

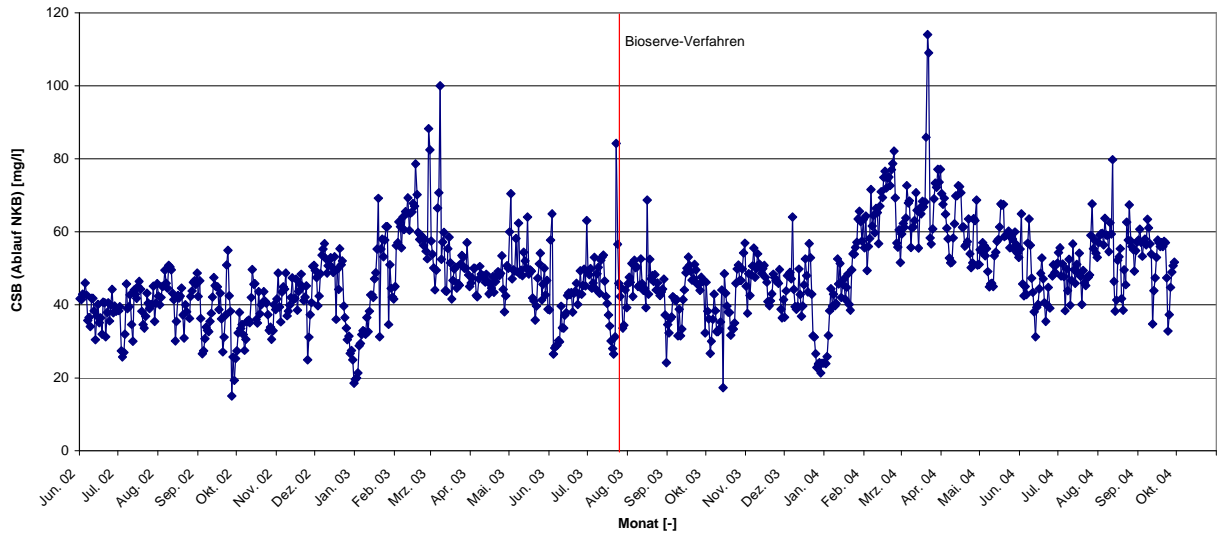


Abbildung 6-28: CSB im Ablauf der Nachklärung (B-Stufe)

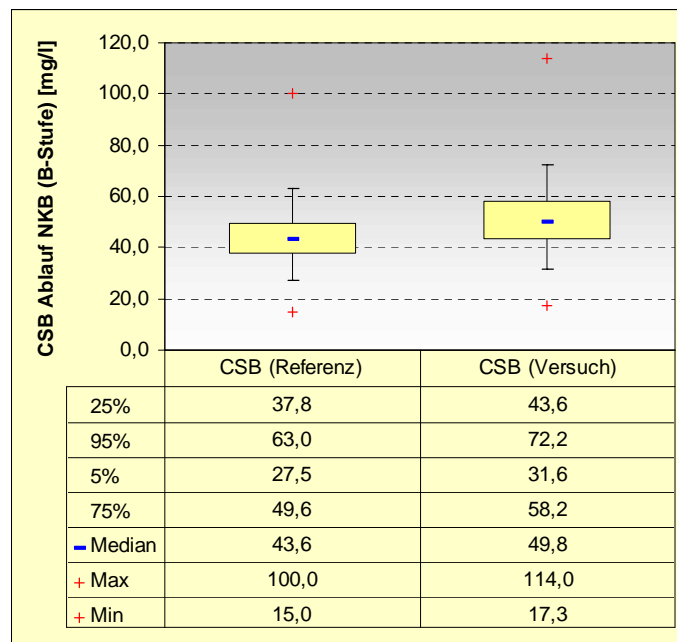


Abbildung 6-29: Box & Whisker-Darstellung der CSB-Konzentration (Ablauf NKB)

In Abbildung 6-30 sind die Verläufe des $N_{\text{ges.anorg.}}$ (Summe aus $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) im Referenz- und Versuchszeitraum dargestellt. Die entsprechende statistische Auswertung ist in Abbildung 6-31 aufbereitet. Aus diesen Abbildungen geht hervor, dass die $N_{\text{ges.anorg.}}$ -Konzentrationen im Versuchszeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum deutlich weniger Spitzen aufwiesen und sich insgesamt auf einem geringeren Niveau bewegten. Der Medianwert lag im Referenzzeitraum bei 5,20 mg/l (Maximalwert: 19,25 mg/l), im Versuchszeitraum lag der Medianwert bei 3,13 mg/l (Maximalwert: 14,67 mg/l). Die Ursachen hierfür waren zurückzuführen auf

- die Erhöhung der Prozessstabilität (Schlammaltererhöhung bzw. Freischalten von Beckenkapazitäten) durch das Bioserve-Verfahren,
- die verminderte Trübwasserrückbelastung durch das Bioserve-Verfahren sowie
- die Erhöhung der Kohlenstoffquellen (CSB-Fracht) im Zulauf der B-Stufe.

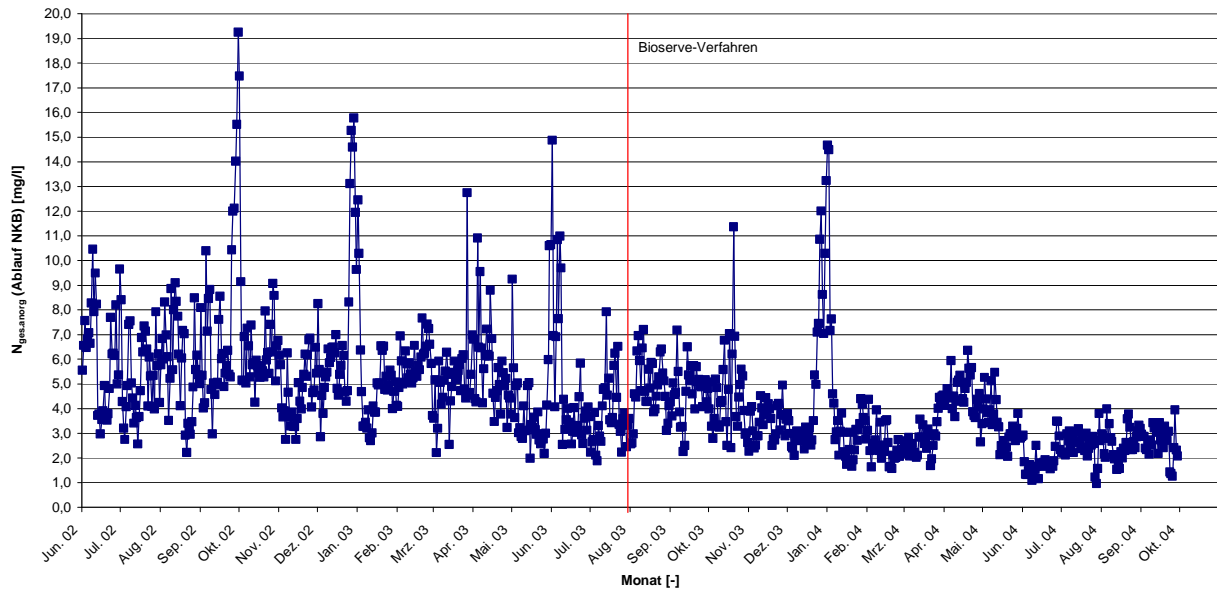


Abbildung 6-30: $N_{ges.anorg.}$ im Ablauf der Nachklärung (B-Stufe)

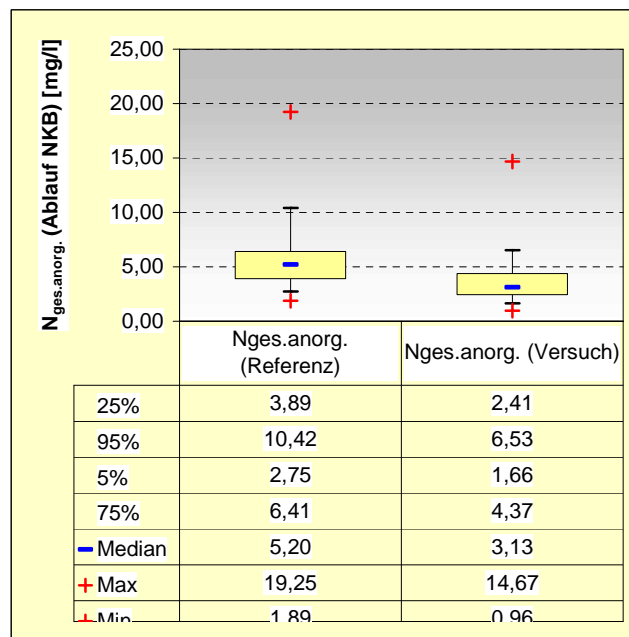


Abbildung 6-31: Box & Whisker-Darstellung der $N_{ges.anorg.}$ -Konzentration (Ablauf NKB)

Die **PO₄-P-Konzentration** im Ablauf der Nachklärbecken verlief im Referenz- und Versuchszeitraum in den in Abbildung 6-32 dargestellten Schwankungsbreiten. Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 0,29 mg/l (Maximalwert: 1,58 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 0,06 mg/l tiefer bei 0,23 mg/l (Maximalwert: 2,00 mg/l) (Abbildung 6-33).

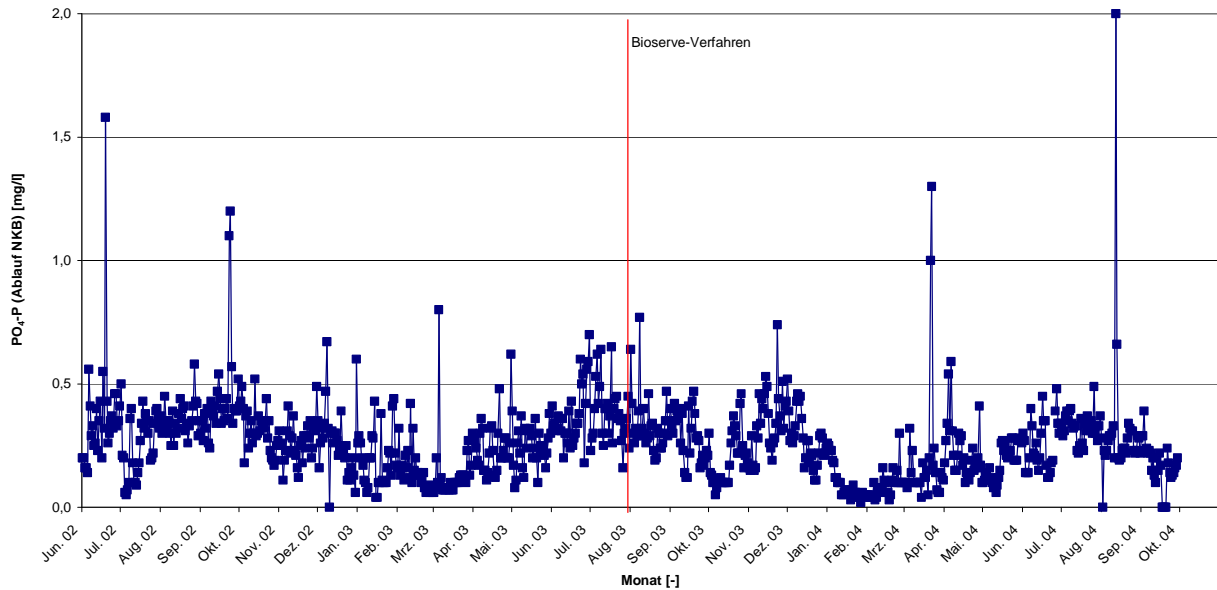


Abbildung 6-32: PO₄-P im Ablauf der Nachklärung (B-Stufe)

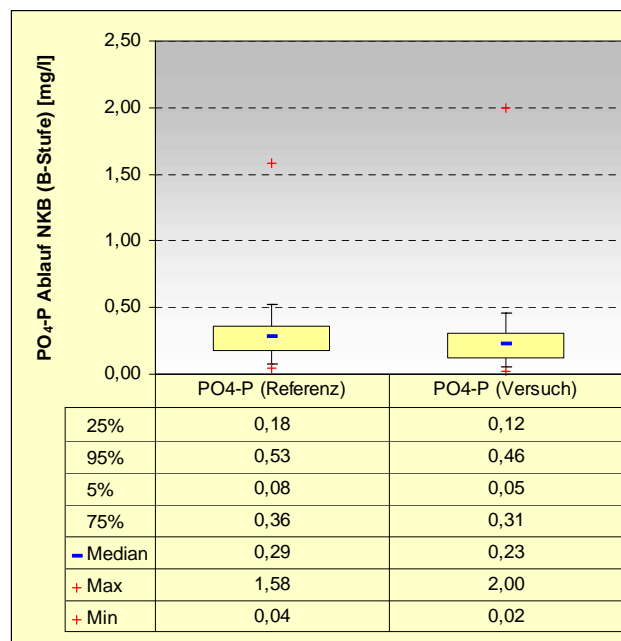


Abbildung 6-33: Box & Whisker-Darstellung der PO₄-P-Konzentration im Ablauf der Nachklärung

Die **abfiltrierbaren Stoffe** im Ablauf der Nachklärbecken waren im Referenz- und Versuchszeitraum in den in Abbildung 6-34 dargestellten Schwankungsbreiten ausgeprägt. Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 8,0 mg/l (Maximalwert: 48 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 4,0 mg/l tiefer bei 4,0 mg/l (Maximalwert: 48 mg/l) (Abbildung 6-35). Hier wirkte sich zum einen die Kalkzugabe in die A-Stufe im Frühjahr 2004, zum anderen die erhöhte

Prozessstabilität infolge des *Bioserve*-Verfahrens positiv auf die abfiltrierbaren Stoffe aus. Auch gingen die abfiltrierbaren Stoffe im Zeitraum der in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Betriebsprobleme (Dezember bis März) im Versuchszeitraum schneller von den erhöhten Werten auf Normalwerte zurück, als dies im Referenzzeitraum der Fall war.

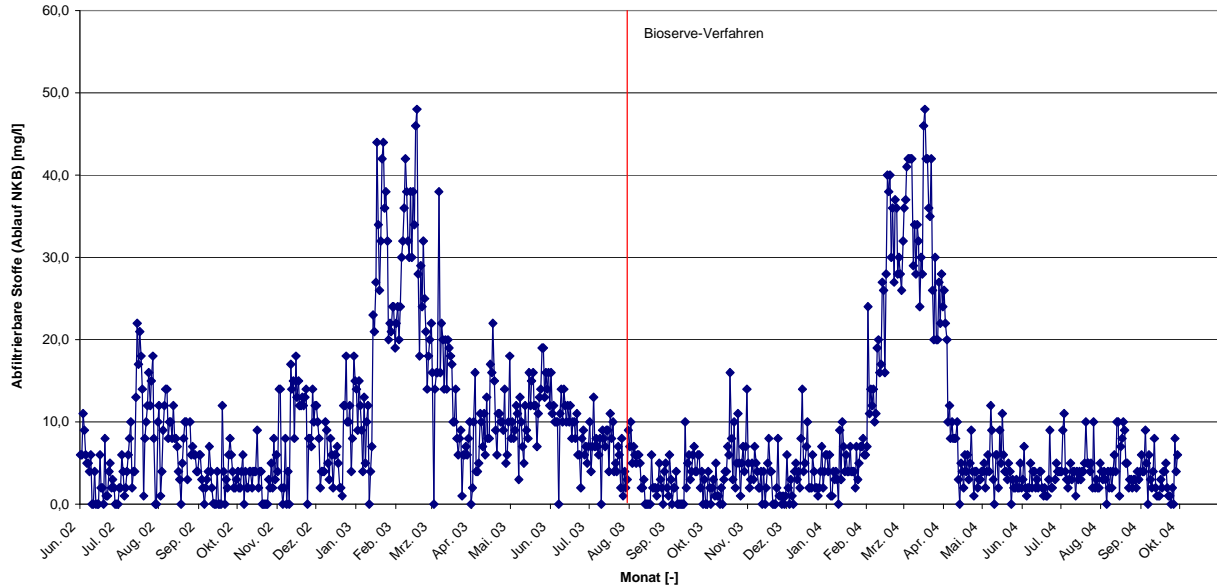


Abbildung 6-34: Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Nachklärung (B-Stufe)

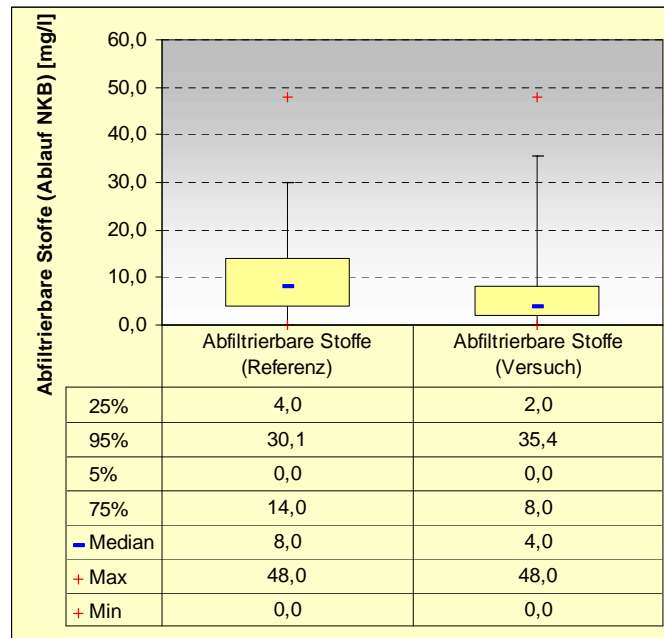


Abbildung 6-35: Box & Whisker-Darstellung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Nachklärung (B-Stufe)

7 FESTSTOFFMASSENbilANZEN UND MIKROBIOLOGISCHE PARAMETER

7.1 Feststoffmassenbilanzen

Um Aussagen über die Wirksamkeit des *Bioserve*-Verfahrens treffen zu können, ist eine begleitende Massenbilanzierung des Überschussschlammanfalls durchzuführen. Der Überschussschlammanfall setzt sich additiv zusammen aus der Schlammbestandsdifferenz [Tonne TS] im Belebungsbecken innerhalb eines Bilanzzeitraumes – z.B. eines Monats – (Schlammbestand am letzten Tag minus Schlammbestand am ersten Tag) und der in diesem Zeitraum in der Summe abgezogenen Überschussschlammmenge [Tonne TS]. Dabei liegt die folgende Berechnung zugrunde (Abbildung 7-1):

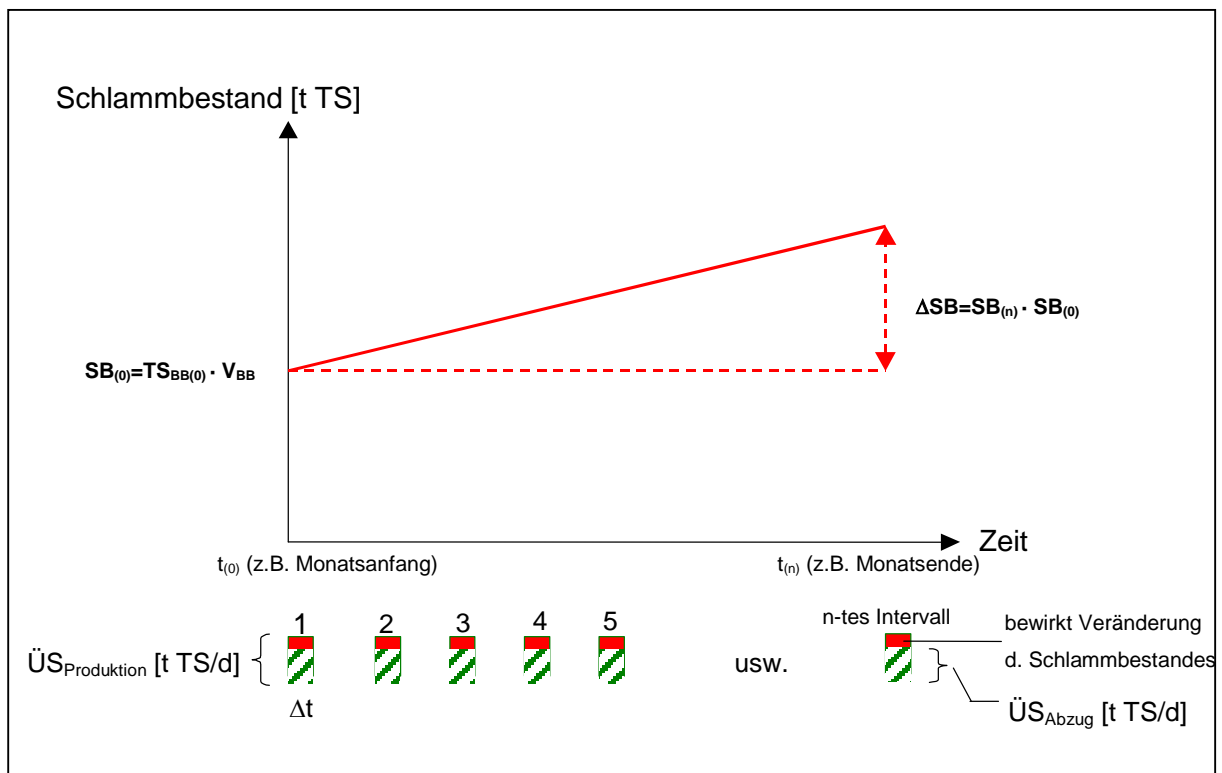


Abbildung 7-1: Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung des Überschussschlammanfalls (Massenbilanz)

mit: $SB_{(i)}$ = Schlammbestand zum Zeitpunkt i [t TS]
 $\ddot{U}S_{\text{Produktion}(i)}$ = Überschussschlammproduktion zum Zeitpunkt i [t TS]
 $\ddot{U}S_{\text{Abzug}(i)}$ = Überschussschlammabzug zum Zeitpunkt i [t TS]

Es gilt:

$$\Delta SB_{(i)} = \ddot{U}S_{\text{Produktion}(i)} - \ddot{U}S_{\text{Abzug}(i)}$$

Die Feststoff-Massenbilanz ergibt sich somit in 1. Näherung zu:

$$SB_{(n)} - SB_{(0)} = \sum \Delta SB_{(i)} = \sum \{ (\ddot{U}S_{\text{Produktion}(i)} - \ddot{U}S_{\text{Abzug}(i)}) \cdot \Delta t_{(i)} \}$$

$$\Rightarrow SB_{(n)} = SB_{(0)} + \sum \{ (\ddot{U}S_{\text{Produktion}(i)} - \ddot{U}S_{\text{Abzug}(i)}) \cdot \Delta t_{(i)} \} = SB_{(0)} + V_{\text{BB}} \cdot (TS_{\text{BB}(n)} - TS_{\text{BB}(0)})$$

Für die Auswertung der tatsächlich produzierten Überschussschlammmenge werden somit jeweils die Schlammbestandsdifferenzen mit der Menge des abgezogenen Überschussschlammes pro Monat (Werte aus Monatsprotokollen) verrechnet.

In dem auf diese Weise ermittelten tatsächlichen Überschussschlammfall sind noch die Fällschlämme infolge P-Elimination enthalten. Diese sind in Abzug zu bringen, um den *biologischen Überschussschlammfall* zu ermitteln. Bei der Kläranlage Neuss-Ost ist darüber hinaus die Schlammverlagerung aus der A- in die B-Stufe (s. Kapitel 6.1.2) durch Einbeziehung der abfiltrierbaren Stoffe (Zulauf B-Stufe und Ablauf Nachklärbecken) zu berücksichtigen. Die spezifische biologische Überschussschlammproduktion [kg TS/kg CSB] ergibt sich dann als Quotient aus dem biologischen Überschussschlamm und der korrespondierenden CSB-Fracht.

Diese Massenbilanzierungen wurden sowohl für den Referenz- als auch für den Versuchszeitraum durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 7-1 (Referenzzeitraum) und Tabelle 7-2 (Versuchszeitraum) aufbereitet.

Im Referenzzeitraum ergab sich im Ergebnis eine mittlere spezifische biologische Überschussschlammproduktion in Höhe von 0,30 kg TS/kg CSB, während die mittlere spezifische biologische Überschussschlammproduktion im Versuchszeitraum bei 0,22 kg TS/kg CSB lag.

Die mit dem *Bioserve*-Verfahren erzielte Überschussschlammreduktion ermittelt sich demnach zu:

$$(1 - 0,22/0,30) \cdot 100 = \mathbf{26,7 \%}$$

Tabelle 7-1: Feststoffmassenbilanz im Referenzzeitraum

Spalte	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Berechnungsschritt	(1)*V _{BB}	(2)*V _{BB}	(2)-(1)			
	Schlammbestand zum Monatsbeginn	Schlammbestand zum Monatsende	Differenz Schlammbestand	ÜS-Abzug	Abfiltrierbare Stoffe (anorg.) Ablauf ZKB	Abfiltrierbare Stoffe Ablauf NKB
Monat	t TS	t TS	t TS	t TS/Monat	t TS/Monat	t TS/Monat
Jun 02	69,8	83,2	13,4	195,9	10,4	2,9
Jul 02	83,2	57,5	-25,7	177,6	8,1	8,3
Aug 02	57,5	68,0	10,5	132,7	4,0	6,2
Sep 02	68,0	65,6	-2,4	121,6	0,5	2,9
Okt 02	65,6	54,6	-11,0	129,1	0,8	2,9
Nov 02	54,6	68,0	13,4	151,5	29,1	11,5
Dez 02	68,0	63,7	-4,3	145,3	7,4	8,9
Jan 03	63,7	103,1	39,4	213,5	22,8	24,4
Feb 03	103,1	82,2	-20,9	324,1	37,8	23,5
Mrz 03	82,2	84,1	1,9	259,7	16,5	13,9
Apr 03	84,1	87,9	3,8	141,8	1,8	9,0
Mai 03	87,9	77,9	-10,0	179,7	1,9	10,2
Jun 03	77,9	75,5	-2,4	122,4	2,2	7,7
Jul 03	75,5	91,7	16,2	171,5	3,5	5,4
Spalte	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Berechnungsschritt	(3)+(4)-(5)+(6)		(7)-(8)		(9)/(10)	
	ÜS-Produktion	Fällschlamm-anfall	biologischer ÜS-Anfall	CSB-Fracht (Zulauf B-Stufe)	spez. biol. ÜS-Anfall bez. auf CSB	
Monat	t TS/Monat	t TS/Monat	t TS/Monat	t CSB/Monat	kg TS/kg CSB	
Jun 02	201,7	28,3	173,4	493,9	0,35	
Jul 02	152,1	29,7	122,4	560,6	0,22	
Aug 02	145,4	40,1	105,3	376,8	0,28	
Sep 02	121,6	21,9	99,7	320,5	0,31	
Okt 02	120,2	29,8	90,3	335,0	0,27	
Nov 02	147,3	25,5	121,8	451,7	0,27	
Dez 02	142,5	26,5	115,9	406,3	0,29	
Jan 03	254,4	16,1	238,4	675,0	0,35	
Feb 03	288,9	26,1	262,8	632,8	0,42	
Mrz 03	259,0	15,1	243,9	670,7	0,36	
Apr 03	152,7	30,7	122,0	487,5	0,25	
Mai 03	177,9	31,0	146,9	558,3	0,26	
Jun 03	125,5	5,3	120,2	357,6	0,34	
Jul 03	189,6	44,5	145,1	570,6	0,25	
Mittelwert	177,1	26,5	150,6	492,7	0,30	

Tabelle 7-2: Feststoffmassenbilanz im Versuchszeitraum

Spalte	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Berechnungsschritt	(1)*V _{BB}	(2)*V _{BB}	(2)-(1)			
	Schlammbestand zum Monatsbeginn	Schlammbestand zum Monatsende	Differenz Schlammbestand	ÜS-Abzug	Abfiltrierbare Stoffe (anorg.) Ablauf ZKB	Abfiltrierbare Stoffe Ablauf NKB
Monat	t TS	t TS	t TS	t TS/Monat	t TS/Monat	t TS/Monat
Aug 03	91,7	84,6	-7,1	165,6	21,6	2,7
Sep 03	84,6	81,3	-3,3	160,5	4,0	2,1
Okt 03	81,3	80,8	-0,5	150,0	20,4	4,1
Nov 03	80,8	118,4	37,6	144,9	17,8	2,5
Dez 03	118,4	107,4	-11,0	187,4	33,9	4,3
Jan 04	107,4	115,3	7,9	213,0	49,1	5,4
Feb 04	115,3	106,4	-8,9	259,2	47,3	19,6
Mrz 04	106,4	77,9	-28,5	203,1	10,2	28,1
Apr 04	77,9	83,6	5,7	147,9	4,6	6,5
Mai 04	83,6	95,5	11,9	150,3	3,1	4,0
Jun 04	95,5	112,2	16,7	152,9	20,0	2,8
Jul 04	112,2	124,1	11,9	169,4	15,9	4,3
Aug 04	124,1	102,6	-21,5	160,9	14,7	4,2
Spalte	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Berechnungsschritt	(3)+(4)-(5)+(6)		(7)-(8)		(9)/(10)	
	ÜS-Produktion	Fällschlamm-anfall	biologischer ÜS-Anfall	CSB-Fracht (Zulauf B-Stufe)	spez. biol. ÜS-Anfall bez. auf CSB	
Monat	t TS/Monat	t TS/Monat	t TS/Monat	t CSB/Monat	kg TS/kg CSB	
Aug 03	139,7	43,9	95,8	453,5	0,21	
Sep 03	155,3	41,4	113,9	389,6	0,29	
Okt 03	133,2	32,0	101,2	425,9	0,24	
Nov 03	167,1	84,3	82,8	464,2	0,18	
Dez 03	146,7	27,6	119,1	500,5	0,24	
Jan 04	177,2	35,0	142,2	663,4	0,21	
Feb 04	222,6	27,3	195,3	706,6	0,28	
Mrz 04	192,5	38,7	153,8	566,3	0,27	
Apr 04	155,6	34,6	120,9	487,9	0,25	
Mai 04	163,1	50,9	112,2	486,0	0,23	
Jun 04	152,5	65,6	86,9	507,3	0,17	
Jul 04	169,7	69,5	100,3	516,9	0,19	
Aug 04	128,9	65,9	63,0	465,9	0,14	
Mittelwert	161,9	47,4	114,4	510,3	0,22	

7.2 Mikrobiologische Parameter

Im Versuchszeitraum wurden wöchentlich mikroskopische Untersuchungen zur Erfassung der Bioindikatoren (vgl. Tabelle 3-1) durchgeführt. Die Beobachtung der Bioindikatoren sollte Aufschluss darüber geben, inwieweit sich durch das *Bioserve*-Verfahren Veränderungen hinsichtlich der Parameter Schlammbelastung, Sauerstoffversorgung und Schlammalter er-

geben. Die insgesamt untersuchten Organismen sowie deren Häufigkeit sind **im Anhang** aufbereitet. Auf die drei Organismengruppen, die für die Beurteilung der Wirkung des *Bioserve-Verfahrens* als wichtige Indikatoren anzusehen sind, wird nachfolgend noch näher eingegangen. Es handelt sich hierbei um die Glockentierchen, freischwimmenden Wimpertierchen und Rädertierchen.

Glockentierchen (Abbildung 7-2):

Vor dem Start des *Bioserve-Verfahrens* war das Individuum *Vorticella convallaria* im Belebtschlamm als Indikator für eine ausreichende Sauerstoffversorgung bereits deutlich mit wechselhaften Häufigkeiten im Bereich von 1 bis 4 nachzuweisen. *Epistylis* spp. war dagegen deutlich weniger im Belebtschlamm präsent, während *Opercularia* spp. gar nicht nachzuweisen war.

Im Versuchszeitraum war eine starke Zunahme von *Epistylis* spp. mit einer Häufigkeit von zunächst 3 und ab März 2004 mit einer Häufigkeit von 4 zu beobachten (Indikator für eine gute Sauerstoffversorgung sowie hohes Schlammalter). *Vorticella convallaria* blieb wie im Referenzzeitraum wechselhaft. Das Individuum *Opercularia* spp. konnte erstmals ab Juni 2004 nachgewiesen werden.

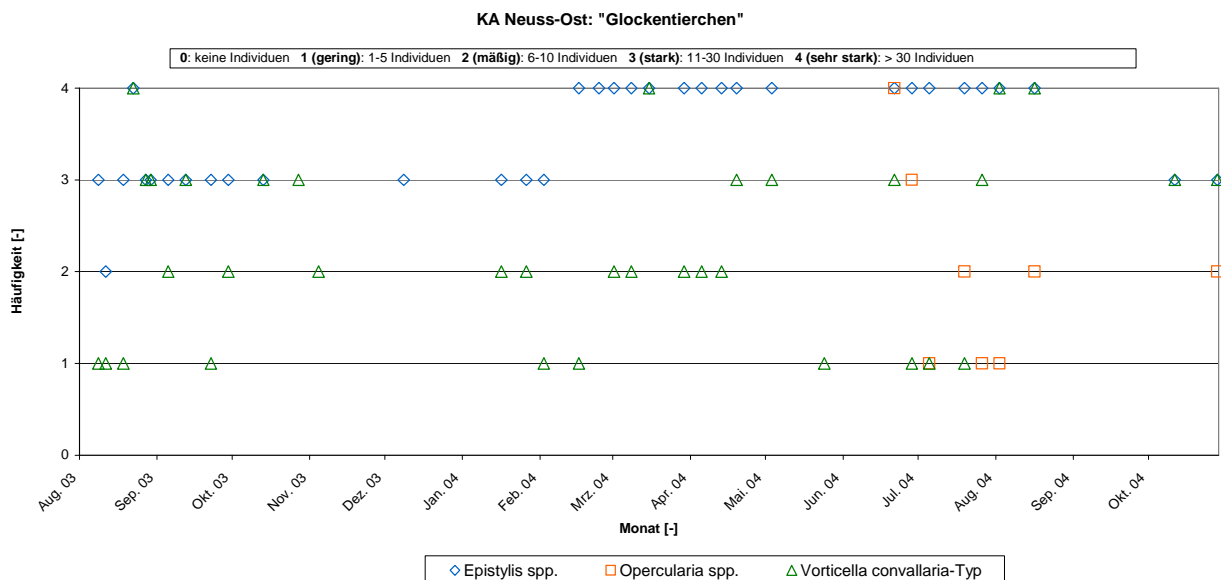


Abbildung 7-2: Glockentierchen

Freischwimmende Wimpertierchen (Abbildung 7-3):

Das Individuum *Paramecium* spp. als Indikator für Stoßbelastungen (vgl. Kapitel 6.1.2) war vor dem Start des *Bioserve*-Verfahrens deutlich nachzuweisen, während die Amphileptiden nur in geringer Häufigkeit – für die Belastungsverhältnisse der B-Stufe normal – präsent waren. Die Aspidiscen waren mit einer Anzahl von 5 – 15 pro Probe in gleicher Weise normal vertreten.

Im Verlauf des Versuchszeitraumes nahmen die Amphileptiden deutlich zu. Diese räuberischen Organismen fressen u.a. Rädertierchen, Schalenamöben und tragen somit zur Reduzierung des Überschussschlammes bei. *Paramecium* spp. waren deutlich weniger vertreten, aber massenhaft Ende Mai 2004 – ggf. lag hier eine Störung bzw. Stoßbelastung vor. Zu diesem Zeitpunkt waren auch die anderen Organismen nur mit geringer Häufigkeit vertreten. Die Aspidiscen (Sauerstoffanzeiger, Flockenpflüge) traten zeitweise massenhaft auf.

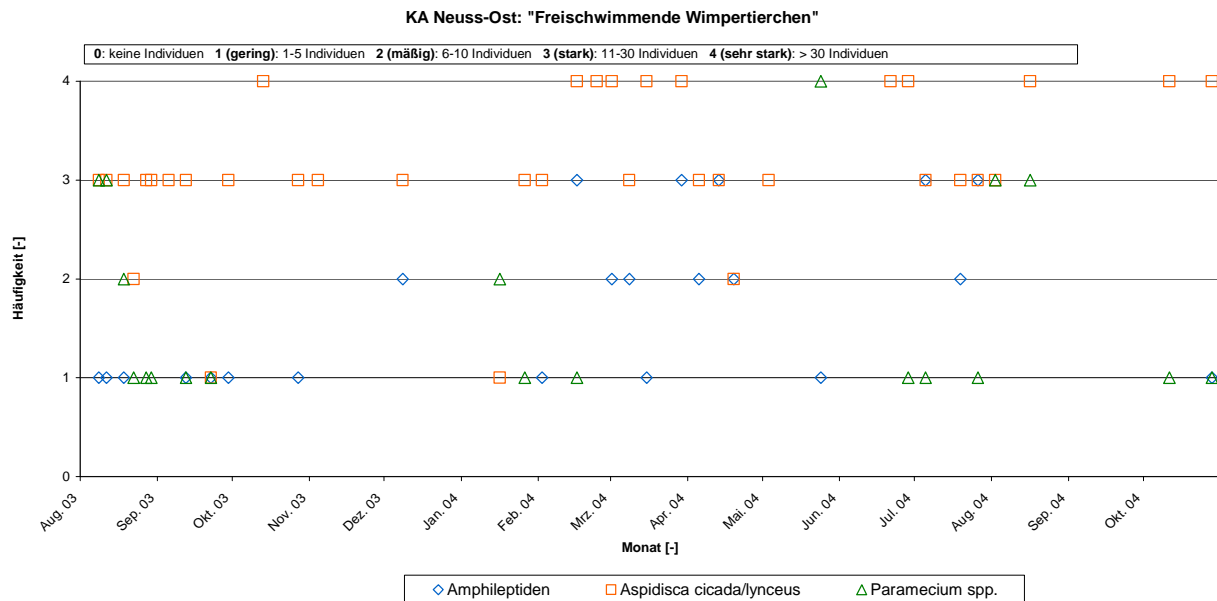


Abbildung 7-3: Freischwimmende Wimpertierchen

Rädertierchen (Abbildung 7-4):

Vor dem Start des *Bioserve*-Verfahrens lag die Anzahl der Cephelodellen unter 10 pro Probe. Die Cephelodellen deuten auf einen stabilen Betrieb, niedrige Schlammbelastung und gute Sauerstoffversorgung hin. Andere Rädertierchen wurden nicht beobachtet.

Relativ kurz nach dem Start des *Bioserve*-Verfahrens traten zusätzlich Rotaria spp. auf, und ab Februar 2004 konnte auch Colurella spp. nachgewiesen werden, die gegenüber Cephelodella noch etwas anspruchsvollere Milieubedingungen zur Vermehrung benötigen. Colurella spp. konnte zeitweise mit mehr als 60 Individuen pro Probe nachgewiesen werden (zeitweise massenhaftes Auftreten). Alle Rädertierchen sind grundsätzlich bedeutende Schlammfresser.

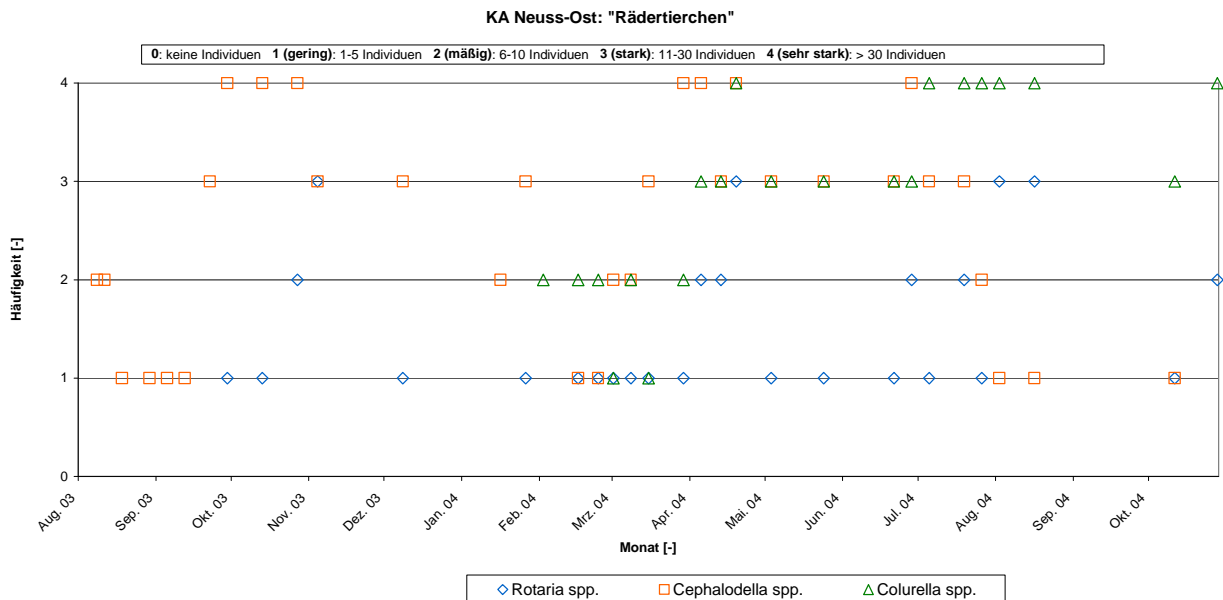


Abbildung 7-4: Rädertierchen

8 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

Als Bezugsbasis für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des *Bioserve*-Verfahrens bei der Kläranlage Neuss-Ost wurde der biologische Überschussschlammanfall im Zeitraum August 2002 bis Juli 2003 (Referenzzeitraum: 12 Monate) herangezogen. Der in diesem Zeitraum angefallene biologische Überschussschlamm wurde zu 1.812,3 t TS ermittelt. Diese Überschussschlammfraktion durchläuft im Bereich der Schlammbehandlung die Prozessstufen

- maschinelle Eindickung,
- Faulungsprozess und
- maschinelle Entwässerung gemeinsam mit dem Klärschlamm der Kläranlage Neuss-Süd mit anschließender Entsorgung.

Die nach der maschinellen Eindickung in die Faultürme eingebrachten Feststoffe wurden durch anaerobe Abbauvorgänge im Mittel um 35 % reduziert. Dies war bei der Kostenermittlung in Tabelle 8-1 zu berücksichtigen. Somit ergab sich für die hier betrachtete Überschussschlammfraktion eine Feststoffreduktion von 1.812,3 t TS (*vor* der Faulung) auf 1.178,0 t TS (*nach* der Faulung). Insgesamt beliefen sich die Kosten für den 12-monatigen Betrachtungszeitraum (August 2002 bis Juli 2003) auf 299.874,07 €.

Tabelle 8-1: Ermittlung der Jahreskosten für den Bereich Schlammbehandlung und -entsorgung für die Kläranlage Neuss-Ost ohne das *Bioserve*-Verfahren (Referenzjahr August 2002 bis Juli 2003)

<i>ohne Bioserve-Verfahren</i>				
Kostenstelle	Kostenart	spezifische Kosten	biologische Überschussschlammmenge bei der jeweiligen Kostenstelle (Aug. 2002 - Juli 2003)	Kosten (Aug. 2002 - Juli 2003)
		€/t TS	t TS/(Jahr)	€/(Jahr)
Maschinelle Eindickung (KA Neuss-Ost)	Energieverbrauch, Personalkosten	35,00	1.812,3	63.432,23
Maschinelle Entwässerung (KA Neuss-Ost)	Flockungshilfsmittel, Energieverbrauch, Personalkosten	40,00	1.178,0	47.121,09
Klärschlamm Entsorgung	Entsorgungsfirma	160,71	1.178,0	189.320,75
Summe				299.874,07

In der Tabelle 8-2 wurde die gleiche Berechnung für die im Versuchsverlauf erzielten und um 26,7 % reduzierten Überschussschlammengen durchgeführt. Hiernach ergaben sich Kosten in Höhe von 263.358,45 €.

Tabelle 8-2: Ermittlung der Jahreskosten für den Bereich Schlammbehandlung und -entsorgung für die Kläranlage Neuss-Ost mit dem Bioserve-Verfahren

mit Bioserve-Verfahren		Wirkungsgrad [%]: 26,7		
Kostenstelle	Kostenart	spezifische Kosten	biologische Überschussschlammmenge bei der jeweiligen Kostenstelle	Kosten
		€/t TS	t TS/(Jahr)	€/(Jahr)
Maschinelle Eindickung (KA Neuss-Ost)	Energieverbrauch, Personalkosten	35,00	1.328,5	46.495,83
Maschinelle Entwässerung (KA Neuss-Ost)	Flockungshilfsmittel, Energieverbrauch, Personalkosten	40,00	863,5	34.539,76
Klärschlammentsorgung	Entsorgungsfirma	160,71	863,5	138.772,11
Vergütung Bioserve-Verfahren	€ je Tonne ÜS _{reduziert}	90,00	483,9	43.550,76
Summe				263.358,45

Die Anwendung des *Bioserve*-Verfahrens führte somit zu Kosteneinsparungen in Höhe von **36.515,62 €** in dem betrachteten Zeitraum von 12 Monaten.

Bei dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist noch nicht die potentielle Fällmitteleinsparung berücksichtigt, die sich nach bisherigen Erkenntnissen aufgrund der Erhöhung der Fällmittel-Verweilzeit im System – bedingt durch die Erhöhung des Schlammalters – ergeben wird, wenn der Fällmitteleinsatz entsprechend reduziert wird.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

9.1 Projektziele

Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojektes war es, anhand des Beispiels der Kläranlage Neuss-Ost in Nordrhein-Westfalen den Wirknachweis des Produktes LIPISOL (*Bioserve*-Verfahren) hinsichtlich der Prozessziele

- Überschussschlammreduktion und
- Erhöhung der Prozessstabilität

zu führen. Die Untersuchung dieser Ziele mit einer abschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Einbeziehung sämtlicher Prozessstufen der Kläranlage (Abwasserreinigung und Schlammbehandlung) war Gegenstand der Untersuchungen.

Das Gemeinnützige Institut Wasser und Boden e.V. (IWB) Bonn - Sankt Augustin - Siegen war von der Firma Bioserve GmbH (Mainz) beauftragt worden, die wissenschaftliche Begleitung wahrzunehmen und den Abschlussbericht zu erstellen. Das Forschungsprojekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanziell unterstützt.

9.2 Methodik

Die Untersuchungen mit dem *Bioserve*-Verfahren liefen auf der Kläranlage Neuss-Ost im großtechnischen Maßstab über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die Implementierung des *Bioserve*-Verfahrens in der B-Stufe der Kläranlage Neuss-Ost erfolgte im August 2003 (Kapitel 5). Die Dosierung des speziell auf die Kläranlage Neuss-Ost abgestimmten Produktes LIPISOL erfolgte direkt in den Zulauf zur 1. Kaskade der B-Stufe (Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4). Bei der Kläranlage Neuss-Ost wurde erstmalig eine LIPISOL-Rezeptur eingesetzt, die auch nach der Passage der Denitrifikation noch wirksam war. Die Steuerung des Überschussschlamm-Abzugsregimes im Versuchszeitraum erfolgte anhand der Veränderung der Bioindikatoren (Kapitel 7.2).

Die Auswirkungen des *Bioserve*-Verfahrens auf die Kläranlagenbetriebsdaten wurden jeweils vom Zeitpunkt der Erstdosierung bis zum Versuchsende im August 2004 fortlaufend dokumentiert und mit dem korrespondierenden Vergleichszeitraum des Vorjahres (Referenzzeit-

raum *ohne Bioserve*- Verfahren) unter Einbeziehung der abwassertechnischen Randbedingungen verglichen.

Um Aussagen über die Wirksamkeit des *Bioserve*-Verfahrens treffen zu können, wurde eine begleitende Massenbilanzierung des Überschussschlammanfalls durchgeführt (Kapitel 7, Abbildung 7-1). Der Überschussschlammanfall setzt sich additiv zusammen aus der monatlich berechneten Schlammbestandsdifferenz [Tonne TS] im Belebungsbecken (B-Stufe) (Schlammbestand am Monatsende minus Schlammbestand am Monatsanfang) und der in diesem Zeitraum in der Summe abgezogenen Überschussschlammmenge [Tonne TS]. In dem auf diese Weise ermittelten tatsächlichen Überschussschlammanfall sind noch die Fällschlämme infolge P-Elimination enthalten. Diese sind in Abzug zu bringen, um letztendlich den biologischen Überschussschlammanfall zu ermitteln.

Der Wirknachweis des *Bioserve*-Verfahrens im Vorher/Nachher-Vergleich wurde über die spezifische biologische Überschussschlammproduktion [kg TS/kg CSB] geführt.

Mit Hilfe der jeweils vorliegenden spezifischen Kostenansätze im Bereich der Schlammbehandlung und -entsorgung war es möglich, Aussagen über die Wirtschaftlichkeit des *Bioserve*-Verfahrens abzuleiten.

9.3 Ergebnisse

➤ Überschussschlammreduktion und Schlammaltererhöhung

Bei der Kläranlage Neuss-Ost wurde im Versuchszeitraum August 2003 bis August 2004 in der B-Stufe eine mittlere spezifische Überschussschlammproduktion von 0,22 kg TS ÜS/kg CSB ermittelt. Gegenüber dem Vergleichszeitraum Juni 2002 bis Juli 2003, der eine mittlere spezifische Überschussschlammproduktion von 0,30 kg TS ÜS/kg CSB aufwies, ergab sich somit eine Reduktionsrate in Höhe von **26,7 %** (Kapitel 7.1). Das Schlammalter in der B-Stufe konnte entsprechend gesteigert werden: Der Medianwert des Schlammalters betrug im Referenzzeitraum 13,8 Tage, im Versuchszeitraum wurde der Medianwert zu 18,1 Tagen ermittelt, so dass im Mittel eine Steigerung des Schlammalters um 4,3 Tage vorlag.

➤ **Veränderung der Schlammeigenschaften**

Der **Feststoffgehalt in der B-Stufe** war sowohl im Referenz- als auch im Versuchszeitraum einer relativ großen Schwankungsbreite unterworfen (Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17). Die Ursache hierfür war auf die zeitweise aufgetretenen Betriebsprobleme in den Wintermonaten zurückzuführen (s. Kapitel 6.1.2). Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 4,4 g/l (Maximalwert: 6,1 g/l), im Versuchszeitraum lag dieser deutlich höher bei 5,6 g/l (Maximalwert: 8,6 g/l).

Analog zur Feststoffentwicklung in der Belebung der B-Stufe war auch eine Erhöhung des **Feststoffgehaltes im Rücklaufschlamm** im Vergleich Referenz- und Versuchszeitraum in gleicher Größenordnung zu beobachten. Im Referenzzeitraum betrug der Medianwert 6,8 g/l, während dieser im Versuchszeitraum um einen Betrag von 1,2 g/l höher bei 8,0 g/l lag (Abbildung 6-18 und Abbildung 6-19). Die Maximalwerte lagen bei 8,5 g/l im Referenzzeitraum bzw. bei 11,0 g/l im Versuchszeitraum.

Die Schwankungsbreite des **Schlammindex (ISV)** war in beiden Betrachtungszeiträumen näherungsweise gleich ausgeprägt. Im Referenzzeitraum schwankte der ISV zwischen 35 und 108 ml/g, während er sich im Versuchszeitraum zwischen 32 und 99 ml/g bewegte (Abbildung 6-20 und Abbildung 6-21). Die Medianwerte der Schlammindices lagen im Referenz- und Versuchszeitraum eng beieinander (52 ml/g im Referenzzeitraum und 56 ml/g im Versuchszeitraum).

Die **Sichttiefe** in den Nachklärbecken der B-Stufe hatte sich im Versuchszeitraum deutlich gegenüber dem Referenzzeitraum verbessert (Abbildung 6-22 und Abbildung 6-23). Im Referenzzeitraum lag der Medianwert bei 60 cm, im Versuchszeitraum stieg die Sichttiefe als Medianwert auf 106 cm an. Die Maximalwerte lagen bei 140 cm (Referenzzeitraum) und 188 cm (Versuchszeitraum).

➤ **Ablaufwerte (Nachklärbecken/ vor der Filtration)**

Im Referenzzeitraum lag der **CSB**-Medianwert bei 43,6 mg/l (Maximalwert: 100 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 6,2 mg/l höher bei 49,8 mg/l (Maximalwert: 114 mg/l) (Abbildung 6-29). Die Ursache hierfür war auf den Anstieg der CSB-Fracht im Zulauf zur B-Stufe im Versuchszeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum zurückzuführen (siehe Abbildung 6-3) sowie auf die in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Betriebsprobleme in den Wintermonaten.

Die $N_{\text{ges.anorg.}}$ -Konzentrationen (Summe aus $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) wiesen im Versuchszeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum deutlich weniger Spitzen auf und bewegten sich insgesamt auf einem geringeren Niveau. Der Medianwert lag im Referenzzeitraum bei 5,20 mg/l (Maximalwert: 19,25 mg/l), im Versuchszeitraum lag der Medianwert bei 3,13 mg/l (Maximalwert: 14,67 mg/l). Die Ursachen hierfür waren zurückzuführen auf

- die Erhöhung der Prozessstabilität (Schlammaltererhöhung bzw. Freischalten von Beckenkapazitäten) durch das Bioserve-Verfahren,
- die verminderte Trübungsrückbelastung durch das Bioserve-Verfahren sowie
- die Erhöhung der Kohlenstoffquellen (CSB-Fracht) im Zulauf der B-Stufe.

Im Referenzzeitraum lag der Medianwert der $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration bei 0,29 mg/l (Maximalwert: 1,58 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 0,06 mg/l tiefer bei 0,23 mg/l (Maximalwert: 2,00 mg/l) (Abbildung 6-33).

Bei den **abfiltrierbaren Stoffen** im Ablauf der Nachklärbecken lag der Medianwert im Referenzzeitraum bei 8,0 mg/l (Maximalwert: 48 mg/l), im Versuchszeitraum lag dieser um 4,0 mg/l tiefer bei 4,0 mg/l (Maximalwert: 48 mg/l) (Abbildung 6-35). Hier wirkte sich zum einen die Kalkzugabe in die A-Stufe im Frühjahr 2004, zum anderen die erhöhte Prozessstabilität infolge des *Bioserve*-Verfahrens positiv auf die abfiltrierbaren Stoffe aus. Auch gingen die abfiltrierbaren Stoffe im Zeitraum der in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Betriebsprobleme (Dezember bis März) im Versuchszeitraum schneller von den erhöhten Werten auf Normalwerte zurück, als dies im Referenzzeitraum der Fall war.

9.4 Wirtschaftlichkeit

Bei der Kläranlage Neuss-Ost führte die Anwendung des *Bioserve*-Verfahrens zu einer Kostenersparnis in Höhe von rund **36.515,62 €/a**. Die Vergütung für das *Bioserve*-Verfahren ist hier bereits berücksichtigt (Kapitel 8).

9.5 Ausblick

Die bei der Kläranlage Neuss-Ost mit dem *Bioserve*-Verfahren gewonnenen Erkenntnisse bestätigen insgesamt das Ergebnisbild, das mittlerweile von 31 weiteren, mit dem *Bioserve*-Verfahren betriebenen Kläranlagen vorliegt (Kapitel 4).

Besonderes Augenmerk wird in Zukunft auf die Verfahrenskombination der Membrantechnologie mit dem *Bioserve*-Verfahren zu richten sein. Bei der Kläranlage Haus Forst, die von der RWE Umwelt AG betrieben wird, liegen bereits erste Ergebnisse für diese Verfahrenskombination vor. Durch das *Bioserve*-Verfahren konnte bei dieser Kläranlage der Feststoffgehalt in der Belebung von rund 22,5 g/l auf rund 32 g/l gesteigert werden; der Stromverbrauch der Ultrafiltration konnte sogar gesenkt werden (s. Kapitel 4).

Die Verknüpfung der Membrantechnologie mit dem Einsatz von Tensiden könnte insgesamt zu folgenden Vorteilen führen, die in weiteren Forschungsvorhaben noch zu untersuchen sind:

- Bessere Sauerstoffversorgung der Biozönose
- Überschussschlammreduktion
- Einstellung höherer TS-Gehalte
- Ggf. Wegfall der kostenintensiven Zusatzbelüftung
- Erhöhung der Membran-Standzeit.

Eine solche Betrachtungsweise kann dann möglicherweise bei zukünftigen Investitionen zu anderen Entscheidungen führen, als dies nach gegenwärtigen Untersuchungen aus Kostengründen der Fall war.

Literaturverzeichnis

- ATV (2000) ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Klärschlammdeintegration“: Arbeitsbericht „Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlammdeintegration“, Teil 1, 2000
- ATV (2001) ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Klärschlammdeintegration“: Arbeitsbericht „Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlammdeintegration“, Teil 2, 2001
- ATV (2003) ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Klärschlammdeintegration“: Arbeitsbericht „Thermische, chemische und biochemische Desintegrationsverfahren“, Teil 3, 2003
- ATV-DVWK (2003) ATV-DVWK: *Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2002*, KA Heft 10/2003, S. 1268 ff
- ATV-DVWK (2003a) ATV-DVWK: *Kennzahlen zur gezielten P-Elimination in Kommunalen Kläranlagen*, Arbeitsbericht der ATV-DVWK Arbeitsgruppe KA 8.2, 2003, 29 Seiten, ISBN 3-924063-76-1
- Burbaum et al. (2002) Burbaum, H.; Dickmann, T.; Kéry, K.; Pascik, I.; Radermacher, H.: *Biokatalytische Verbesserung der Klärschlammfäulung durch Enzyme*, KA Heft 8/2002, S. 1110 ff
- Coburg et al. (2003) Coburg, R.C.; Stadtfeld, R.; Oehmichen, U.; Lohaus, J.; Willms, M.: *Marktdaten Abwasser 2002 – Ergebnisse der gemeinsamen Umfrage zur Abwasserentsorgung der ATV-DVWK und des BGW*, KA Heft 4/2003, S. 491 ff
- Dichtl (2002) Dichtl, N.: *Verfahrenstechnische Möglichkeiten und Kosten bei Minimierung des Klärschlammfalls*, Vortrag im Rahmen der Essener Tagung vom 20. bis 23. März 2002, Band 27; S. 70/1-70/14
- Eikelboom (1983) Eikelboom D. H.; van Buisen, H. J. J.: *Microscopic sludge investigation manual*. IMG-TNO Report Nr. A 94a, TNO Delft, 1983, The Netherlands
- Heimann (2003) Heimann, M.: *Leistungserhöhung der Kläranlage senkt Betriebskosten*, wwt/awt Heft 5/2002, S. 26 ff
- Helbig/Foltys-Schmidt (2003) Helbig, A.; Foltys-Schmidt, C.: *Ganzheitliches und qualifiziertes Benchmarking als ein Instrument zur zukunftsorientierten Modernisierung der Wasserwirtschaft*, KA Heft 5/2003, S. 631 ff
- IWB (1998) IWB: *Einsatz von Hilfsstoffen zur Abwasserreinigung auf kommunalen Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen*, ATV-Schriftenreihe Nr. 13, Dezember 1998
- IWB (2003) Strunkheide, J.; Witte, H.: *Gutachten zur Überschussschlammreduzierung mit Hilfe des Bioserve-Verfahrens am Beispiel der Kläranlagen Neuss-Süd und Lemke*, März 2003
- Kosswig/Stache (1993) Kosswig, K./Stache, H.: *Die Tenside*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1993, S. 484
- Sakai (1997) Sakai, Y.; Fukase, T.; Yasui, H.; Shibata, M.: *An activated sludge process without excess sludge production*, Wat. Sci. Tech. Vol. 36, No. 11, pp. 163-170, 1997

- Steber (2000) Steber, J.: *Umweltverträglichkeit der Tenside in Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln*, Henkel Waschmittel GmbH, Düsseldorf, 2000 (unter www.theoprax.de)
- Strunkheide (2003) Strunkheide, J.: *Überschussschlammreduzierung durch den Einsatz von Tensiden*, Vortrag, 3. ATV-DVWK-Klärschlammstage, Würzburg, 5.-7.5.2003
- Strunkheide (2003a) Strunkheide, J.: *Überschussschlammreduktion durch Tenside*, wwt, Heft 12/2003, S. 34 ff
- Strunkheide (2004) Strunkheide, J.: *Entseuchung gewaschener Sande*; wwt Heft 3, 2004, S. 29 ff
- Strunkheide/Littmann (2003) Strunkheide, J.; Littmann, R.: *Ekolution-Verfahren zur Klärschlammreduzierung*, wwt, Heft 7/8, 2003, S. 29 ff
- Tsao et al. (1972) Tsao, G. T.; Mukerjee, A., Lee, Y. Y.: *Gas-liquid-cell oxygen absorption in fermentation*, Ferment. Technol. Today, pp. 65-71, 1972
- Wagner (1991) Wagner: *Einfluss oberflächenaktiver Substanzen auf Stoffaustauschmechanismen und Sauerstoffeintrag*, Dissertation, TH Darmstadt, Schriftenreihe WAR Nr. 53, Darmstadt (1991)
- Witte et al. (2000) Witte, H.; Strunkheide, J.; Priebe, L.: *Senkung des Schlammindex durch gezielte Steuerung der Kalkdosierung am Beispiel der Kläranlage Wathlingen*, Wasser und Abfall, Heft 1-2/2000, S. 52 ff
- Witte/Keding (1992) Witte, H.; Keding, M.: *Erste Versuchsergebnisse zum Einsatz natürlicher Zeolithe zur Stickstoff-Elimination auf einer deutschen Kläranlage*, abwassertechnik, Heft 2/92, S. 56-60
- Zlokarnik (1980) Zlokarnik: *Koaleszenzphänomene im System gasförmig/flüssig und deren Einfluss auf den O₂-Eintrag bei der biologischen Abwasserreinigung*, KA Heft 11/1980, S. 728 ff

A N H A N G

**Dokumentation und Bewertung
des mikroskopischen Bildes für Belebungsanlagen**

Kläranlage Neuss-Ost

IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e. V.

Datum		08.08.03	11.08.03	18.08.03	22.08.03	27.08.03	29.08.03	05.09.03	12.09.03	22.09.03	29.09.03
freie Bakterien	V				1	1			1	1	
Spirillen/Spirochäten	V				1	1	1	1		1	
Zoogloea	V										
Microthrix parvicella	F										
Goldalge	H										
ISV relevante Fädigkeit	0 bis 7		2						2		
Carchesium spp.	H										
Epistylis spp.	H	3	2	3	4	3	3	3	3	3	3
Opercularia spp.	H										
Vorticella campanula	H										
Vorticella convallaria-Typ	H	1	1	1	4	3	3	2	3	1	2
Vorticella microstoma-Typ	H										
Zoothamnium spp.	H			2	1	1			1		
Sauginfusorien	H								1		1
Vasentierchen	H										
Amphileptiden	H	1	1	1					1	1	1
Aspidisca cicada/lynceus	H	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3
Chilodonella spp.	H		1	1		3	3	1		1	
Coleps spp.	H										
Dexiostoma spp./Colpidium spp.	H										
Euplotes spp.	H					1	1	1			
Holophryiden	H										
Paramecium spp.	H	3	3	2	1	1	1		1	1	
Spirostomum teres	H	1		1							
Nacktamöben	H			3		1	1				
Schalenamöben	H	3	2	3	4	3	3	3	3	2	3
Kleine Zooflagellaten	V		3				1	1	1		
Weitere Zooflagellaten	H										
Farblose Augenflagellaten	H		1	1	1	1	1	1	1	2	2
Schwärmerzellen	H								1		
Pilzfäden	F										
Rotaria spp.	H										1
Philodina spp.	H										
Cephalodella spp.	H	2	2	1			1	1	1	3	4
Colurella spp.	H										
Milnesium tardigr./Bauchhärlinge	H		2	1	2	1	1	1	1	1	1
Nematoden	H	2					1	1			1
Öltropfenwurm	H										1

Häufigkeit H 1: 1-5 Organismen 2: 6-10 Organismen 3: 11-30 Organismen 4: > 30 Organismen
 Fädigkeit F 0: selten 1: geringe 2: mäßig 3: stark 4: sehr stark
 Vorkommen V

IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e. V.

Datum		13.10.03	27.10.03	04.11.03	08.12.03	16.01.04	26.01.04	02.02.04	16.02.04	24.02.04	01.03.04
freie Bakterien	V			1		1			1		1
Spirillen/Spirochäten	V	2			1	1			2		1
Zoogloea	V										
Microthrix parvicella	F										
Goldalge	H										
ISV relevante Fädigkeit	0 bis 7										
Carchesium spp.	H		1								
Epistylis spp.	H	3			3	3	3	3	4	4	4
Opercularia spp.	H										
Vorticella campanula	H										
Vorticella convallaria-Typ	H	3	3	2		2	2	1	1		2
Vorticella microstoma-Typ	H										
Zoothamnium spp.	H	2		1			2				
Sauginfusorien	H	1	1	1					1	1	1
Vasentierchen	H								1		
Amphileptiden	H		1		2			1	3		2
Aspidisca cicada/lynceus	H	4	3	3	3	1	3	3	4	4	4
Chilodonella spp.	H						1				1
Coleps spp.	H										
Dexiostoma spp./Colpidium spp.	H										
Euplotes spp.	H										
Holophryiden	H						1	1	1	1	
Paramecium spp.	H					2	1		1		
Spirostomum teres	H			1							
Nacktamöben	H			1							
Schalenamöben	H	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
Kleine Zooflagellaten	V										
Weitere Zooflagellaten	H										
Farblose Augenflagellaten	H	1		1				1	1	1	
Schwärmerzellen	H										
Pilzfäden	F										
Rotaria spp.	H	1	2	3	1		1		1	1	1
Philodina spp.	H										
Cephalodella spp.	H	4	4	3	3	2	3		1	1	2
Colurella spp.	H							2	2	2	1
Milnesium tardigr./Bauchhärlinge	H							1			
Nematoden	H						1	1	1	1	1
Öltropfenwurm	H										

Häufigkeit H 1: 1-5 Organismen 2: 6-10 Organismen 3: 11-30 Organismen 4: > 30 Organismen
 Fädigkeit F 0: selten 1: geringe 2: mäßig 3: stark 4: sehr stark
 Vorkommen V

IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e. V.

Datum		08.03.04	15.03.04	29.03.04	05.04.04	13.04.04	19.04.04	03.05.04	24.05.04	21.06.04	28.06.04
freie Bakterien	V		2			2	1				
Spirillen/Spirochäten	V	1	2	1	1	2	1				
Zoogloea	V										
Microthrix parvicella	F										
Goldalge	H										
ISV relevante Fädigkeit	0 bis 7									2	
Carchesium spp.	H										
Epistylis spp.	H	4	4	4	4	4	4	4		4	4
Opercularia spp.	H									4	3
Vorticella campanula	H										
Vorticella convallaria-Typ	H	2	4	2	2	2	3	3	1	3	1
Vorticella microstoma-Typ	H										
Zoothamnium spp.	H										
Sauginfusorien	H	2		1				1	1	1	3
Vasentierchen	H		1		1			1			
Amphileptiden	H	2	1	3	2	3	2		1		
Aspidisca cicada/lynceus	H	3	4	4	3	3	2	3		4	4
Chilodonella spp.	H	1	1	1							
Coleps spp.	H									1	
Dexiostoma spp./Colpidium spp.	H										
Euplotes spp.	H										
Holophryiden	H										1
Paramecium spp.	H								4		1
Spirostomum teres	H										
Nacktamöben	H					1	1	1		1	
Schalenamöben	H	1	4	4	4	4	4	4	4	3	4
Kleine Zooflagellaten	V										
Weitere Zooflagellaten	H										
Farblose Augenflagellaten	H		1	2	1	1	1		1	1	1
Schwärmerzellen	H										
Pilzfäden	F										
Rotaria spp.	H	1	1	1	2	2	3	1	1	1	2
Philodina spp.	H										
Cephalodella spp.	H	2	3	4	4	3	4	3	3	3	4
Colurella spp.	H	2	1	2	3	3	4	3	3	3	3
Milnesium tardigr./Bauchhärlinge	H										
Nematoden	H							1			
Öltropfenwurm	H										

Häufigkeit H 1: 1-5 Organismen 2: 6-10 Organismen 3: 11-30 Organismen 4: > 30 Organismen
 Fädigkeit F 0: selten 1: geringe 2: mäßig 3: stark 4: sehr stark
 Vorkommen V

IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e. V.

Datum		05.07.04	19.07.04	26.07.04	02.08.04	16.08.04	11.10.04	28.10.04
freie Bakterien	V					1	1	
Spirillen/Spirochäten	V					1	0	
Zoogloea	V							
Microthrix parvicella	F							
Goldalge	H							
ISV relevante Fädigkeit	0 bis 7		0	0	0	0	0	1
Carchesium spp.	H							
Epistylis spp.	H	4	4	4	4	4	3	3
Opercularia spp.	H	1	2	1	1	2		2
Vorticella campanula	H							
Vorticella convallaria-Typ	H	1	1	3	4	4	3	3
Vorticella microstoma-Typ	H							
Zoothamnium spp.	H			1				
Sauginfusorien	H			1	1	1		
Vasentierchen	H							
Amphileptiden	H	3	2	3				1
Aspidisca cicada/lynceus	H	3	3	3	3	4	4	4
Chilodonella spp.	H							
Coleps spp.	H			1				1
Dexiostoma spp./Colpidium spp.	H							
Euplotes spp.	H							2
Holophryiden	H							2
Paramecium spp.	H	1		1	3	3	1	1
Spirostomum teres	H							
Nacktamöben	H	1	3	3	2	2		3
Schalenamöben	H	4	3	3	4	3	4	4
Kleine Zooflagellaten	V		1	1	1			
Weitere Zooflagellaten	H							
Farblose Augenflagellaten	H		1	1				
Schwärmerzellen	H							1
Pilzfäden	F							
Rotaria spp.	H	1	2	1	3	3	1	2
Philodina spp.	H							
Cephalodella spp.	H	3	3	2	1	1	1	
Colurella spp.	H	4	4	4	4	4	3	4
Milnesium tardigr./Bauchhärlinge	H		1					
Nematoden	H							
Öltropfenwurm	H							

Häufigkeit H 1: 1-5 Organismen 2: 6-10 Organismen 3: 11-30 Organismen 4: > 30 Organismen
 Fädigkeit F 0: selten 1: geringe 2: mäßig 3: stark 4: sehr stark
 Vorkommen V