

Schlußbericht

Biologische Reinigung von Sickerwasser und Abluft

FKZ. 1707098

**Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Jürgen Voigt
Fachhochschule Kaiserslautern
Morlauterer Str.31
67657 Kaiserslautern**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Aufgabenstellung	3
2 Beschreibung des Verfahrens	4
3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
4 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
5 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
6 Darstellung der Versuchsergebnisse	6
6.1 Charakteristik des Sickerwassers	6
6.2 Die Pilotanlage	7
6.3 Betriebsbedingungen	9
6.4 Ergebnisse der Sickerwasserreinigung	10
6.5 Ergebnisse der Desodorierung von Sickerwasser und Abluft	20
7 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen	20
8 Geplante Veröffentlichungen	21
9 Zusammenfassung	22
10 Anlagen	24

1 Aufgabenstellung

Bei der Kompostierung biologischer Abfälle in technischem Maßstab entsteht ein Sickerwasser, auch Prozeßwasser genannt, welches organisch hoch belastet ist (bis zu 60.000 mg/l CSB), äußerst intensiv riecht und darüber hinaus einen sehr hohen Gehalt an den Prozeß störenden Stickstoffverbindungen aufweist. Obwohl der Rotteprozeß eine zusätzliche Bewässerung erfordert, zwecks Einhaltung der optimalen Feuchte für die Mikroorganismen, ist das Prozeßwasser nur in begrenztem Umfang wieder in den Rottevorgang zurückzuführen. Es ist biologisch derart hoch belastet, daß es zur Störung des Rotteablaufs und zu einer Verlängerung der Rottedauer führt. Daher ist das Sickerwasser meist teuer zu entsorgen. Weiterhin kommt es zu einer zusätzlichen Geruchsbelastung der Abluft. Bekanntlich stellt gerade die Abluftreinigung ein großes Problem für die Kompostanlagenbetreiber sowie die nähere und weitere Nachbarschaft dar

Das Prozeßwasser wird, wenn überhaupt, zu Zeit mittels Membranverfahren gereinigt. Hierbei handelt es sich um ein energieaufwändiges Verfahren. Es entsteht zwar ein wieder verwertbarer Permeatanteil. Das mit Schmutzstoffen angereicherte Retentat ist jedoch teuer zu entsorgen.

Weiterhin fallen beim Kompostieren große Mengen übelriechender Abluft an, die mit hohem Energieverbrauch zu reinigen sind. Die Abluftreinigung erfolgt üblicherweise, indem zunächst durch Kühlung die kondensierbaren Anteile abgeschieden werden. Dem folgt als 2. Stufe häufig ein Naßwäscher. Anschließend durchströmt die so vorgereinigte Luft, zwecks Desodorierung und Entfernung sonstiger biologisch abbaubarer Inhaltsstoffe, den Festbett-Biofilter. Das abgeschiedene Kondensat wie auch das Sickerwasser versucht man zur Befeuchtung der Miete einzusetzen. Der überschüssige Anteil ist ebenfalls teuer zu entsorgen.

Die Betriebssicherheit von Festbettfiltern ist, trotz vieler neuer Erkenntnisse auf diesem Gebiet, nicht immer gewährleistet. Es treten Abluftdurchbrüche und Austrocknungen auf, die zu starker Geruchsbelastung - auch der umliegenden Nachbarschaft - führen. Bei größeren Störungen ist das gesamte Filtermaterial auszutauschen.

Voruntersuchungen im Labormaßstab haben ergeben, daß Sickerwasser aus Kompostanlagen biologisch weitgehend von wasserverschmutzenden Inhaltsstoffen (ausgedrückt durch den CSB – Wert in mg/l), störenden Stickstoffverbindungen und Geruchsstoffen entfrachtet werden kann. Das gereinigte Abwasser eignet sich dann zur Befeuchtung der Miete, ohne Störung des Kompostprozesses. Überschüssige Mengen wären in einer kommunalen Kläranlage mit nur geringem Starkverschmutzerzuschlag zu reinigen.

Verwendet man nun anstelle der für die Abwasserreinigung üblichen Frischluft die geruchsbeladene Abluft aus der Kompostanlage, so müßte auch diese im

Bioreaktor gleichzeitig mit zu reinigen sein. Das hätte Kosteneinsparungen und eine höhere Betriebssicherheit zur Folge.

Das Vorhaben hat daher die Aufgabe, mit Hilfe einer direkt im Kompostwerk zu betreibenden Pilotanlage den Nachweis eines betriebssicheren und weniger energieaufwändigen Verfahrens zur gemeinsamen Reinigung von Prozeßwasser und Abluft zu erbringen. Die Anlage wäre auch in anderen ähnlich gelagerten Anwendungsfällen einsetzbar, z. B. zur Reinigung von Prozeßwässern aus der Methanisierung von Biomüll.

2 Beschreibung des Verfahrens

Das vorgeschlagene Sickerwasser- und Abluftreinigungsverfahren basiert auf dem an sich bekannten Prinzip der biologischen Reinigung kommunaler Abwässer. Insbesondere gilt dies für die biochemischen Umsetzungen im Belebungsbecken sowie bei der Stickstoffeliminierung. Die Wässer unterscheiden sich jedoch von kommunalen durch 10 bis 100 fach höhere Konzentrationen verschiedener Inhaltsstoffe wie CSB, BSB und Stickstoffverbindungen. Bei dem Verfahren nehmen Mikroorganismen die Schmutzfracht des Wassers wie auch der Abluft als Nahrung auf und wandeln sie in Kohlendioxid, Wasser und zusätzliche Organismenmasse um. Kombiniert man dies mit der ebenfalls bekannten biologischen Entfernung von Stickstoff-Verbindungen, so ist das auf diese Weise gereinigte Wasser wieder dem Kompostprozeß zurückzuführen bzw. ohne größere Zuschläge in einer kommunalen Kläranlage zu reinigen.

Die Pilotanlage besteht aus 2 Komponenten, dem aerob/anaerob arbeitenden Bioreaktor für CSB-Abbau und Nitrifikation und einem Sedimentationsbecken. Die Denitrifikation (anaerob) läuft in der unbelüfteten Phase des Bioreaktors ab. Dieser ist bestückt mit einem für diesen Einsatz neuartigen statischen Durchströmungsmischer für Luft, Wasser und Bioschlamm. Er ermöglicht den feinstblasigen Eintrag auch feststoffhaltiger Abluft bei wesentlich geringerem Energieaufwand im Vergleich zu konventionellen Membranen.

3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Pilotanlage wurde im Kompostwerk Grünstadt/Pfalz betrieben, dessen Leitung und Mitarbeiter sich sehr kooperativ verhielten. Etwa 2 bis 3x wöchentlich waren Mitarbeiter der Projektleitung (Studien- und Diplomarbeitkandidaten, Laborantin und Assistent/in) bei der Anlage. Ihr Aufgabenbereich umfaßte eine systematische Probennahme und Überprüfung des Betriebszustandes sowie die Durchführung der Analytik. Weiterhin waren die Durchsatzmengen der Pumpen zu ermitteln und gegebenenfalls anzupassen, alle Verstopfungsmöglichkeiten zu inspizieren, die Zeittaktung der Steuerung wie auch pH-Wert und Sauerstoffmessungen zu kontrollieren und zu kalibrieren. Von Bedeutung war gleichfalls die genaue Ermittlung der Wassermengenströme.

In Bezug auf die Analytik wurden vor Ort einfache Messungen wie Schlammvolumen und pH-Wert vorgenommen. Die chemische Analytik der meisten Parameter erfolgte im Labor der Fachhochschule gemäß den DIN/DEV-Analysenvorschriften für die Abwasserbehandlung.

Trotz verschiedener Vorkehrungen kam es während der Inbetriebnahmephase öfters zu Stillständen. Der Anteil grober Feststoffe war höher als erwartet, so daß es zu Verstopfungen in Rohrleitungen und Armaturen kam. Auch war beispielsweise der „preisgünstige“ Heimwerker-Kompressoren nicht ausreichend betriebstüchtig. Die Durchflußmengenmesser führten ebenfalls zu Störungen.

4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Juni 1998 erreichte uns der Zuwendungsbescheid. Die relativ langen Lieferzeiten von Bioreaktor (Neuanfertigung), Sulzermischern und Pumpen hatten zur Folge, daß die Anlage erst zum Jahresende 1998 betriebsbereit war und in der 2. Januar-Woche 1999 startete. Nach Ausfall und Neuanschaffung des Kompressors konnte die Inbetriebnahme erst in KW 7 fortgesetzt werden.

Bekanntlich laufen biologische Prozesse relativ langsam ab. Daher stellt sich erst nach mehreren Betriebswochen ein stetiger Betriebszustand ein. Die Anwesenheit vor Ort war trotzdem meist erforderlich.

Technische Schwierigkeiten traten im Verlauf der Untersuchung relativ häufig auf. So kam es wegen des hohen Feststoffanteils im Prozeßwasser anfangs zu Verstopfungen der Ventile. Bei den Voruntersuchungen im Labor war dies nicht feststellbar. Ein Sieb im Zulauf der Anlage schaffte Abhilfe. Weiterhin traten, meist übers Wochenende, nicht ergründbare Stromausfälle auf, die zum Anlagenstillstand führten. Erfreulich war die dabei gewonnene Erkenntnis, daß die Anlage auch nach 2-tägigem Stillstand in wenigen Stunden wieder ihre Leistung erbrachte. Insgesamt herrschen in einem Kompostwerk äußerst rauhe Betriebsbedingungen, für die diese Pilotanlage - auch aus Kostengründen - nicht eingerichtet war.

Besonders hervorzuheben ist die Einsatzbereitschaft der die Anlage betreuenden Diplomarbeitkandidaten und Mitarbeiter der Fachhochschule. Der eingangs erwähnte starke Gestank in feuchter und warmer Luft, Ratten als ständige Arbeitsbegleiter und manches andere, forderte von allen eine außergewöhnliche Hingabe für das Projekt.

Desgleichen ist die Hilfsbereitschaft und große Unterstützung von Seiten der Kompostanlagenbetreiber hervorzuheben, die damit einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen des Vorhabens leisteten.

5 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Verfahren basiert auf dem bewährten Prinzip der biologischen Abwasserreinigung kommunaler Gewässer mit Hilfe von z.B. in Kläranlagen (und auch in natürlichen Gewässern) vorkommenden Mikroorganismen. Jedoch unterscheidet es sich sehr stark in Bezug auf die stoffliche Zusammensetzung und Konzentration. Der CSB-Wert, als Summenparameter für die Schmutzkonzentration, liegt in kommunalem Abwasser bei ca. 500 mg/l und weist keine größeren Schwankungen auf. Sickerwasser erreicht CSB-Werte von 5.000 bis 60.000 mg/l bei einem sehr hohen Anteil von Ammonium-Stickstoff. Es ging also nicht nur um eine Adaption bereits bekannter Verfahren.

Diese hohen Konzentrationen erfordern einen im Vergleich zu kommunalem Abwasser 10 bis 100 fachen Luftbedarf je m³ zu reinigenden Wassers. Das führt zu entsprechend hohen Verdunstungsverlusten und der Anreicherung von Salzen, was wiederum zur Schädigung der Mikroorganismen beitragen kann. Auch läßt sich eine derart hohe Luftmenge nicht mehr mit den in der Abwassertechnik üblichen Membranen eintragen. Es wurden statische Mischer (Fabrikat Sulzer) eingesetzt, die sich bestens bewährten.

Das Vorhaben basiert auf den Erfahrungen des Verfassers mit der Reinigung ebenfalls biologisch höchstbelasteter Abwässer aus Winzerbetrieben. Sie weisen CSB-Werte bis zu 30.000 mg/l auf, haben jedoch eine völlig andere stoffliche Zusammensetzung. Hierbei konnte, auf dem Pilotbetrieb einer kleineren Anlage aufbauend, eine Betriebsanlage für 30 m³/Tag errichtet werden, die seit einigen Jahren erfolgreich läuft. (J. VOIGT: Reinigung von biologisch hochbelastetem Abwasser aus Kellereibetrieben mittels Hochleistungs-Compakt-Reaktor (HCR)-Anlage. In: Ökosystemanalyse und Umweltforschung, Band 2, B. Frenzel/C. Servatius (Herausg.), Regionaler Naturhaushalt: Bewertung und Naturpotential. Akademie der Naturwissenschaften und Literatur, Mainz, 1995)

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen war hier nicht gegeben.

6 Darstellung der Versuchsergebnisse

6.1 Charakteristik des Prozeßwassers

Die Menge des in der Kompostanlage anfallenden Prozeßwassers hängt hauptsächlich vom Inputmaterial, der Durchsatzmenge, der Jahreszeit, den Rottetemperaturen und Rottebedingungen ab. Sie liegt zwischen 3 und 6 m³ pro Tag. In viel stärkerem Maße schwankte die chemische Zusammensetzung des Wassers, wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist. Insbesondere sei auf den hohen Anteil NH₄-Stickstoff hingewiesen, der besondere Anforderungen an die Stickstoffelimination stellt und auch merklich zum hohen CSB-Wert beiträgt.

Tabelle 1: Einige typische Sickerwasseranalysen

Datum	14.04.99	26.04.00	29.05.00	20.06.00	21.07.00
CSB [mg/l]	50.000	8.850	15.380	20.300	28.493
NO ₃ -N [mg/l]	58	16	55	43	33
NH ₄ -N [mg/l]	8.932	629	1.017	1.733	1.681
Kjeld.-N [mg/l]	12.270	879	1.057	2.206	2.198
Nges. [mg/l]	12.328	895	1.102	2.249	2.230

Das Verhältnis CSB/BSB liegt bei ca. 1,5. Mit 8 – 20 mg/l sind die PO₄-P Konzentrationen gemessen worden. Der Salzgehalt erreichte Werte bis zu 6 g/l, der pH-Wert um 7,2. Während des Reinigungsprozesses stieg er bis auf pH 8,6. Wegen der aus Phosphormangel erforderlichen Phosphorsäurezugabe konnte er im neutralen Bereich gehalten werden.

6.2 Die Pilotanlage

Der prinzipielle Aufbau der Pilotanlage mit ihren wesentlichen Meß-, Steuer- und Regeleinrichtungen ist in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Hieraus wird auch der Schmutzwasserfluß ersichtlich, der von links nach rechts folgendermaßen abläuft: Aus dem im Boden der Kompostanlage befindlichen Speicherbunker wird das Sickerwasser in den Vorlagebehälter gepumpt. Dieser hat ein Fassungsvermögen von ca. 1000 Litern, ausreichend für den Betrieb der Anlage von ca. 2 – 4 Tagen, je nach Höhe der Schmutzfracht. Die Wasseraufgabe zur Anlage erfolgt über Pumpe 1, taktweise etwa im 2 – 3 Stundenrhythmus. Sie kann, in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen, direkt in das Belebungsbecken (BB) oder auch zum Nachklärbecken (NKB) geleitet werden. Das Belebungsbecken hat bei einem Durchmesser von 1,3 m und ein Nutzvolumen von ca. 1,5 m³. Mit einem Durchmesser von 1,1 m wies das Nachklärbecken ein Nutzvolumen von ca. 1 m³ auf. Über Pumpe 2 sind die Kreislaufmengen einzustellen.

Bild 1: Verfahrensfließbild der Pilotanlage

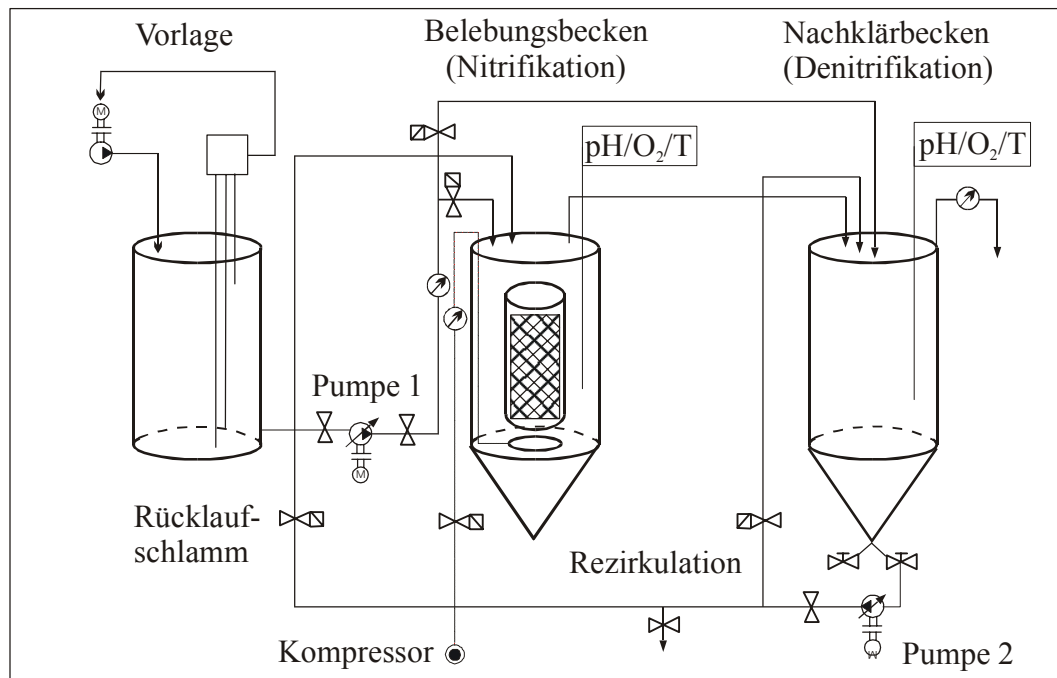
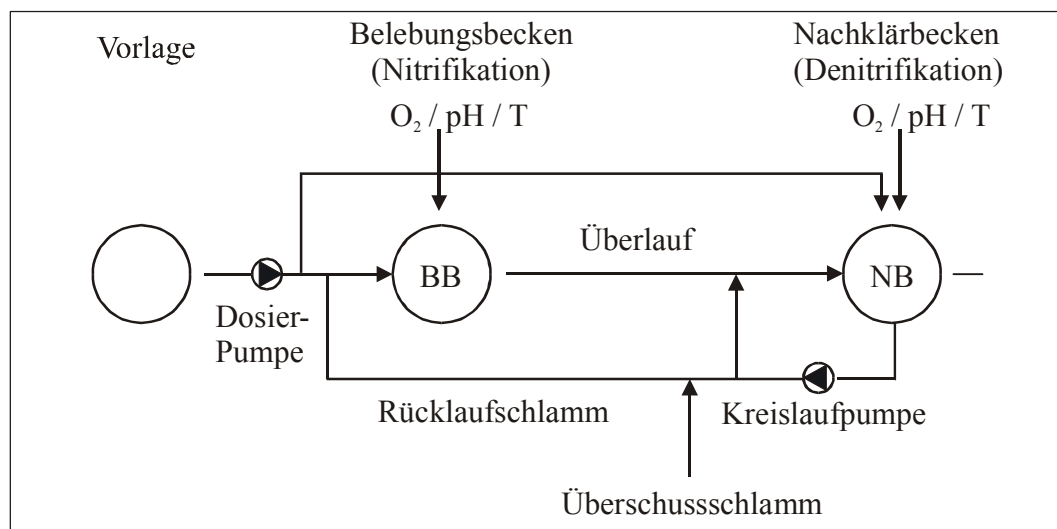
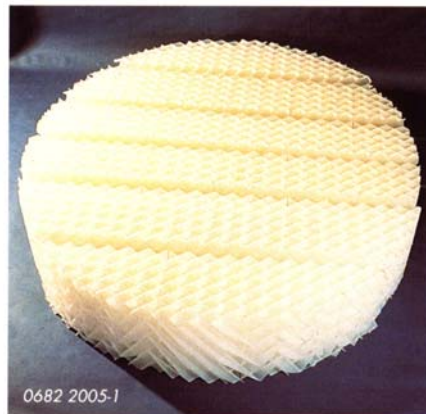


Bild 2: Mögliche Wasser- und Schlammströme



Ein Seitenkanalgebläse mit einer Luftdurchsatzmenge von max. $180 \text{ m}^3_{\text{n}}/\text{h}$ ermöglicht den Lufteintrag zum BB. Es handelt sich hierbei um die stark riechende Abluft aus der Kompostanlage. Da es ein Ziel war, auch möglichst große Abluftmengen mit zu reinigen, konnten die üblichen Gummimembranen zum feinblasigen Lufteintrag nicht verwendet werden. Statt dessen nahm man statische Mischer des Fabrikats Sulzer (Bild 3). Diese hatten eine Bauhöhe und einen Durchmesser von jeweils 0,9 m und befanden sich konzentrisch im mittleren Ringraum.

Bild 3: Sulzer Mischelemente



Aus dem NKB läuft das gereinigte Wasser in den 1 m³ fassenden Klarwasserbehälter. Dem entnahm man die Wasserproben zur Analyse. Es war in der Regel eine Mischprobe von 2 – 3 Betriebstagen. Wegen der hohen Verweilzeit in der Anlage unterscheidet sie sich kaum von einer Probe aus dem Belebungsbecken.

Zur Anlage gehört ein kleiner Schaltschrank. Er enthält alle erforderlichen Steuer- und Regelelemente sowie die kontinuierliche Sauerstoffmessung.

6.3 Betriebsbedingungen

Die Untersuchung erfolgte in 4 Arbeitsperioden, die sich jeweils über einen Zeitraum von je 2 bis 4 Monaten erstreckten. Als Ziel war ein CSB Abbaugrad von ca. 90 % ins Auge gefaßt, da, wie sich aus Voruntersuchungen ergab, das so weit gereinigte Wasser ausreichend desodoriert war und nicht mehr entsorgt werden mußte. Es kann direkt auf der Miete verrieselt werden, ohne den Kompostprozeß zu stören. Parallel hierzu war ein größtmöglicher Stickstoffabbau anzustreben.

Wie eingangs erwähnt traten sehr große Schwankungen in der Zusammensetzung des Sickerwassers auf. In Tabelle 1 sind beispielhaft einige Analysenergebnisse dargestellt.

Zur Ermittlung des Abbaugrades ging man von der täglichen Schmutzfracht der einzelnen Bezugsparameter aus, da Wassermengen und Konzentrationen stark schwankten. Die Fracht F [g/d] errechnet sich aus dem Produkt von Konzentration c_w [g/m³] und täglich durchgesetztem Wasservolumen v_w [m³/d] z.B. $F = 10.000$ [g/m³] x $0,5$ [m³/d] = 5.000 [g/d].

Die Einhaltung eines Schlammvolumens von ca. 400 ml/l mit einem Trockensubstanzgehalt von etwa 4 bis 6 g/l hatte sich als günstig erwiesen. Wurde dieser Wert merklich überschritten, so führte das zu einem schnellen Zerfall der Flocken, d.h. der Schlamm war nicht mehr absetzbar. Es mußten dann etwa 0,5 m³ dieser Trübe abgelassen und durch Frischwasser ersetzt werden.

Zur Aufrechterhaltung eines für die Biologie optimalen C/N/P-Verhältnisses waren Stickstoffverbindungen in ausreichendem Maße vorhanden. Dagegen mußte der P-Mangel durch Zudosierung von Phosphorsäure ausgeglichen werden.

Bekanntlich sind bei der Stickstoffeliminierung für den Denifikationsprozeß leicht abbaubare Kohlenwasserstoffe erforderlich. Diese wurden versuchsweise in Form von Essigsäure zugesetzt. Es machte sich eine deutliche Verbesserung des Stickstoffabbaus bemerkbar. Auf eine weitere Zugabe wurde jedoch verzichtet, da das gereinigte Wasser auch ohne maximalen Stickstoffabbau recycelbar ist.

Bei größeren Durchsatzleistungen der Anlage kam es zu sehr starken und den Betrieb störenden Schaumbildungen. Es konnten dabei zu sahneartigen Schichten kommen. Die Schaumbildung wurde durch Zugabe von Entschäumungsmitteln in Grenzen gehalten. Es ist zu vermuten, daß sich bei kontinuierlichem Betrieb die Schaumbildung weiter vermindert.

6.4 Ergebnisse der Sickerwasserreinigung

Für den Start der Anlage wurden Belebungs- und Nachklärbecken mit Belebtschlamm einer benachbarten kommunalen Kläranlage gefüllt und langsam die Sickerwasseraufgabe erhöht. Nach dem Erreichen stabiler Betriebsbedingungen erfolgte die Prozeßwasserzufuhr i.d.R. zu Beginn der anaeroben Phase. Zur Unterstützung des Stoffaustauschs war die Kreislaufpumpe taktweise auf inneren Kreislauf gestellt, d.h. vom unteren Auslauf BB wurde der Schlamm oben ins BB gefördert. Während der aeroben Phase erfolgte der Kreislauf BB – NKB.

Die Versuchsergebnisse sind in den Diagrammen 1 bis 8 graphisch dargestellt. Man beachte den logarithmischen Maßstab der Ordinate. Alle dazugehörigen Meßwerte sind den Anlagen 1 bis 8 im Anhang zu entnehmen

Diagramm 1 zeigt den CSB Abbau der ersten Versuchsperiode (siehe auch Anlage 1). Die Zulaufkonzentration schwankte zwischen 4.000 und 50.000 mg/l. Derartige Schwankungen waren für uns nicht beeinflussbar. Sie wurden durch entsprechende Anpassung der Wasseraufgabemenge ausgeglichen. Die CSB Ablaufkonzentrationen lagen zwischen 400 und 2.000 mg/l.

Eine Aussage über die BSB-Abbauraten der Anlage ist jedoch nur durch den Vergleich der Zulauf- und Ablaufmengen zu erhalten. Die Abbauraten liegen i.d.R. über 90 %. Alle Werte für den Zeitraum 14.4.-30.4.99. wurden zur Ermittlung des Abbaugrads nicht mit einbezogen, da die Schlammflockung aussetzte. Es mußte Leitungswasser zugegeben werden, wonach sich die Flockung wieder einstellte. (gleiches gilt auch für die Ergebnisse der Stickstoffelimination und für andere Störungen). Der auf das Reaktorvolumen bezogene CSB Abbau lag zwischen 600 und 2.900 g/m³d.

Diagramm 1: CSB - Konzentration, Fracht und Abbaurrate

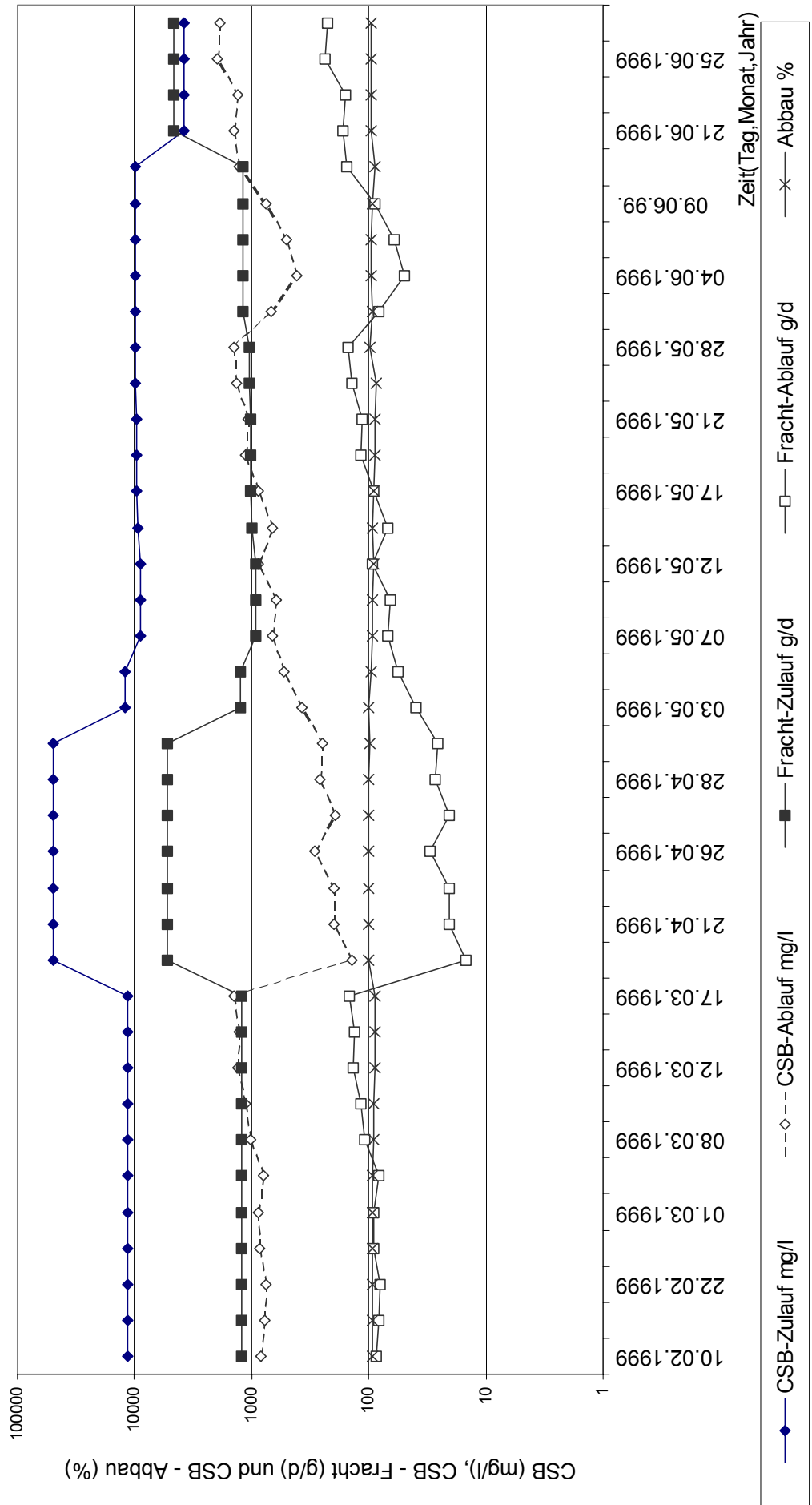
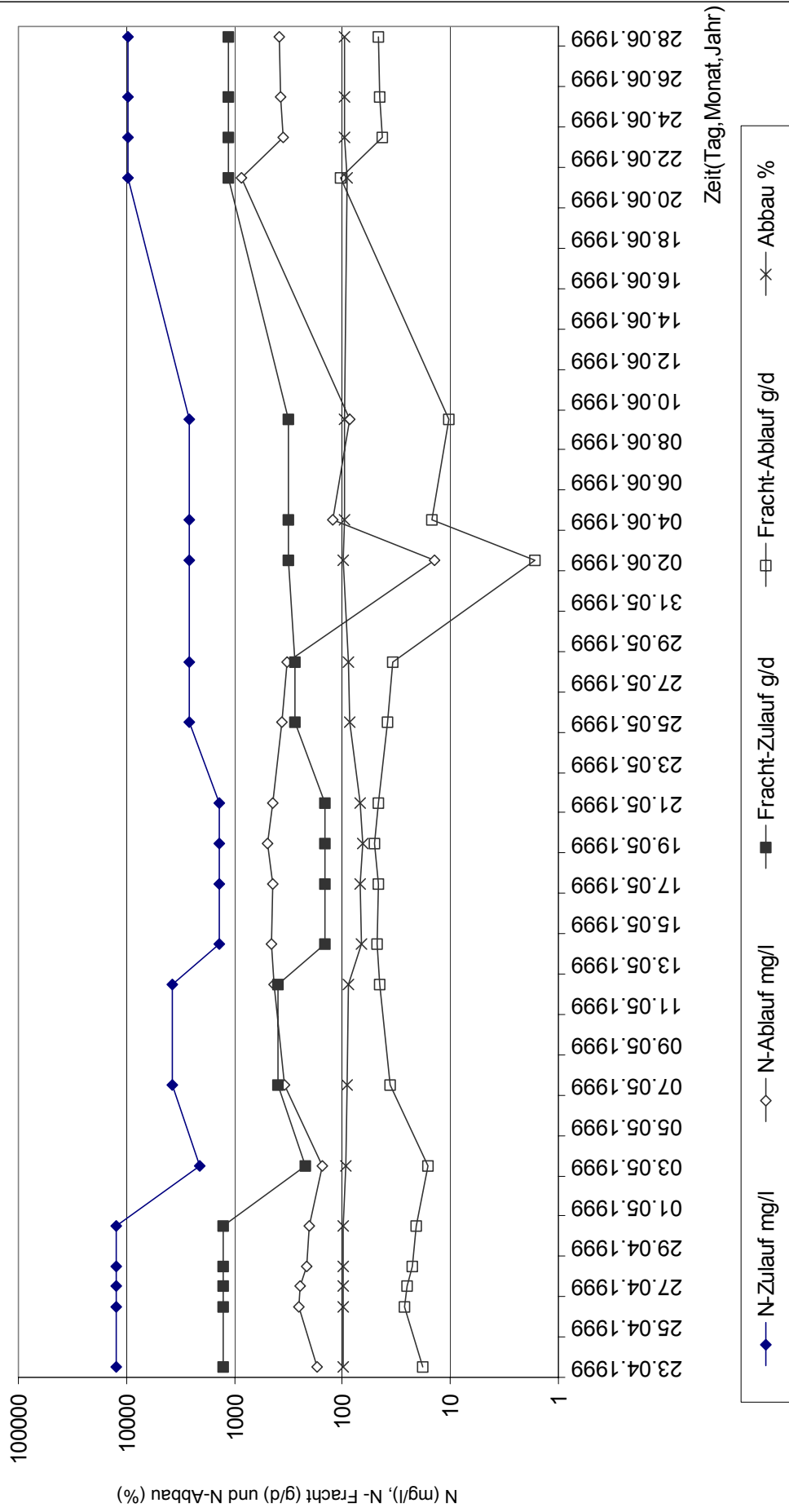


Diagramm 2: N - Konzentration, Fracht und Abbaerate



Der Stickstoffabbau für diese Versuchsperiode ist Diagramm 2 und Anlage 2 zu entnehmen. Es handelt sich hier um den Gesamtstickstoffgehalt. Nitrit-Stickstoff war im Wasser nicht anzutreffen. Charakteristisch sind die hohen Gehalte, die über 12.000 mg/l erreichen. Mit ca. 1.400 mg/l war der niedrigste Wert dieser Periode festzustellen. Der N- Abbau lag zwischen 60 % und 90 %, der volumenbezogene zwischen 60 und 740 g/m³d.

Mit CSB Zulaufkonzentrationen von bis zu 60.000 mg/l startete die 2. Untersuchungsperiode (Diagramm 3 und Anlage 3). Auch hier konnten Abbaugrade von 90 % und mehr ermittelt werden. Im Vergleich zur 1. Periode war der volumenbezogene Abbau mit 1.500 bis 2.500 g/m³d deutlich höher. Gleiches gilt auch für die Stickstoffelimination (Diagramm 4 und Anlage 4). Volumenbezogen wurden im September Leistungen bis zu 2.700 g/m³d erreicht. Dies war jedoch nur aufgrund einer Zudosierung von Essigsäure als leicht zugänglichem Kohlenwasserstoff für die Stickstoffelimination möglich. Weiterhin ist auch der sommerliche Temperaturanstieg zu berücksichtigen. Dieser auf den CSB und N-Abbau positive Einfluß machte sich bereits am Ende der 1. Untersuchungsperiode bemerkbar.

Bei winterlichen Temperaturen und damit auch niedrigeren volumenbezogenen Abbauleistungen startete die 3. Arbeitsperiode (Diagramme 5 und 6, Anlagen 5 und 6). Hier war es das Ziel, auf Kosten einer Verschlechterung des Abbaugrades einen höheren auf das Reaktorvolumen bezogenen Durchsatz zu erreichen. Im Mai wurden CSB-Abbauwerte um 8.000 g/m³d erhalten, wobei der Stickstoffabbau bei 1.200 g/m³d lag. Die unter diesen Bedingungen aufgetretene starke Schaumbildung konnte durch Zugabe von Entschäumungsmitteln in Grenzen gehalten werden.

In der letzten Betriebsperiode (Diagramme 7 und 8, Tabellen 7 und 8) bestätigten sich die vorher erzielten Ergebnisse in etwa. Es traten in diesem Arbeitszyklus häufiger Betriebsstörungen auf, so daß ihre Aussagekraft eingeschränkt ist.

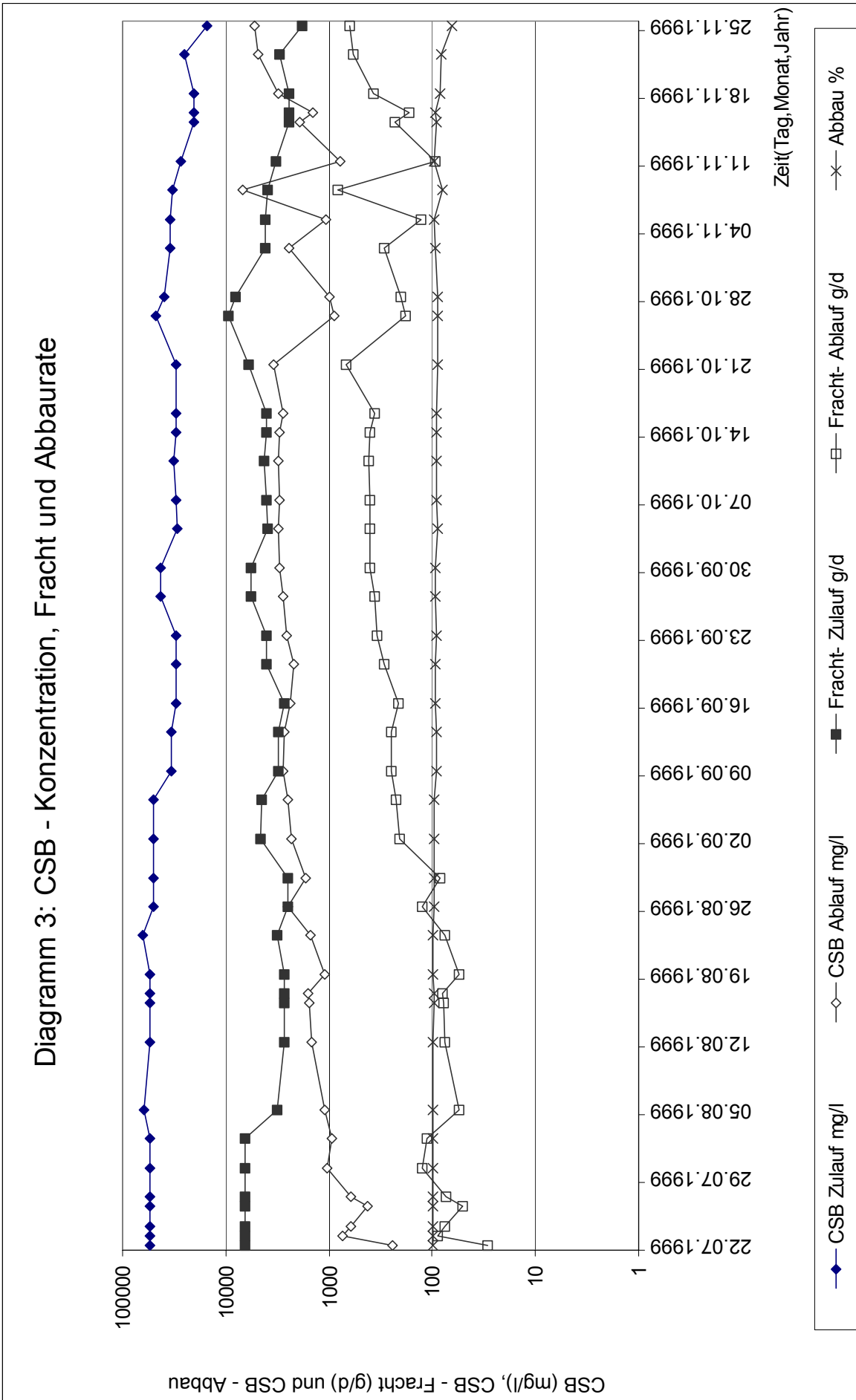
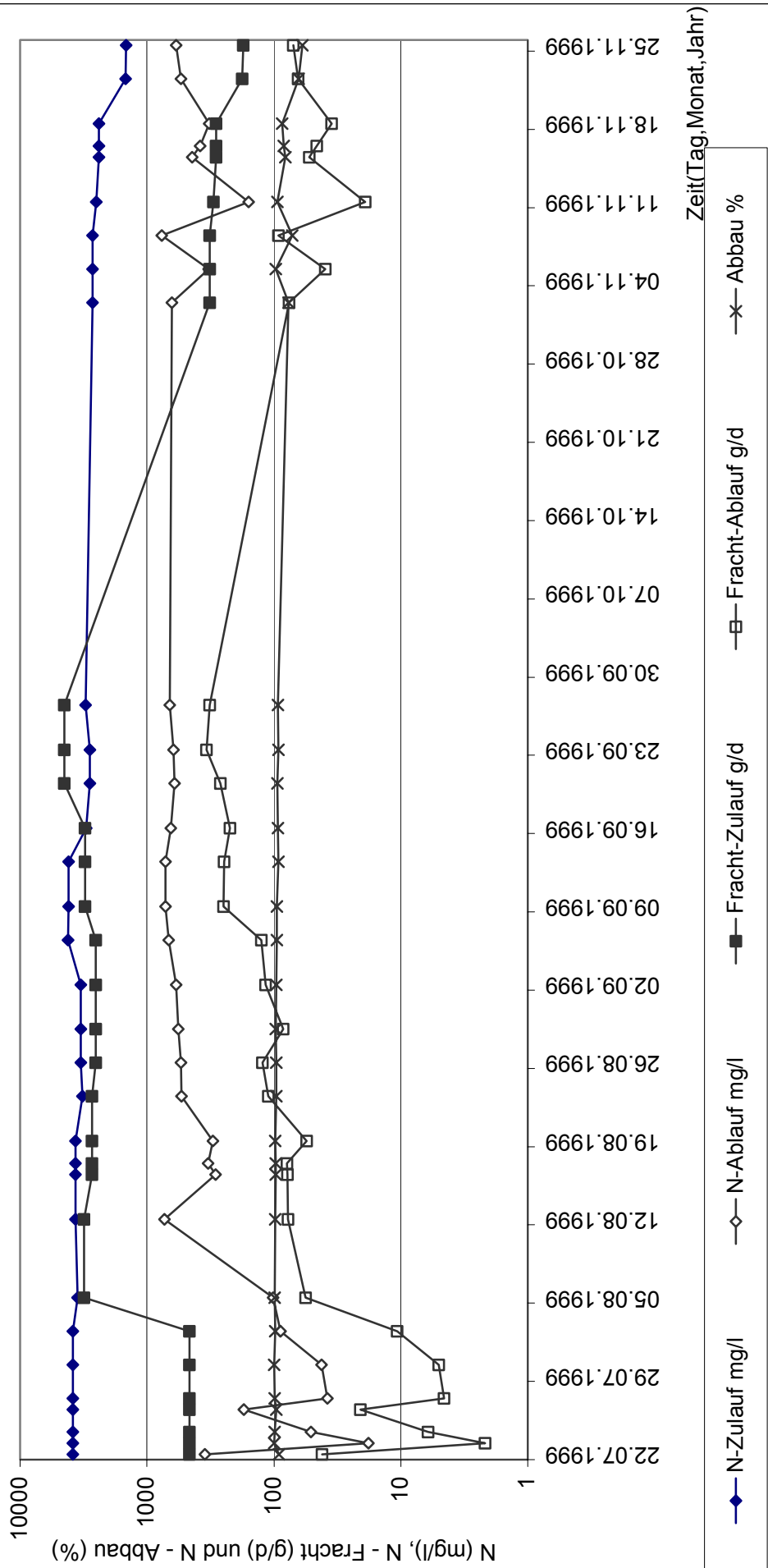


Diagramm 4: N - Konzentration, Fracht und Abbaurrate



Legend:

- N-Zulauf mg/l (Blue line with diamonds)
- N-Ablauf mg/l (Black line with open diamonds)
- Fracht-Zulauf g/d (Black line with solid squares)
- Fracht-Ablauf g/d (Black line with open squares)
- N - Abbau % (Black line with crosses)

Diagramm 5: CSB - Konzentration, Fracht und Abbaerate

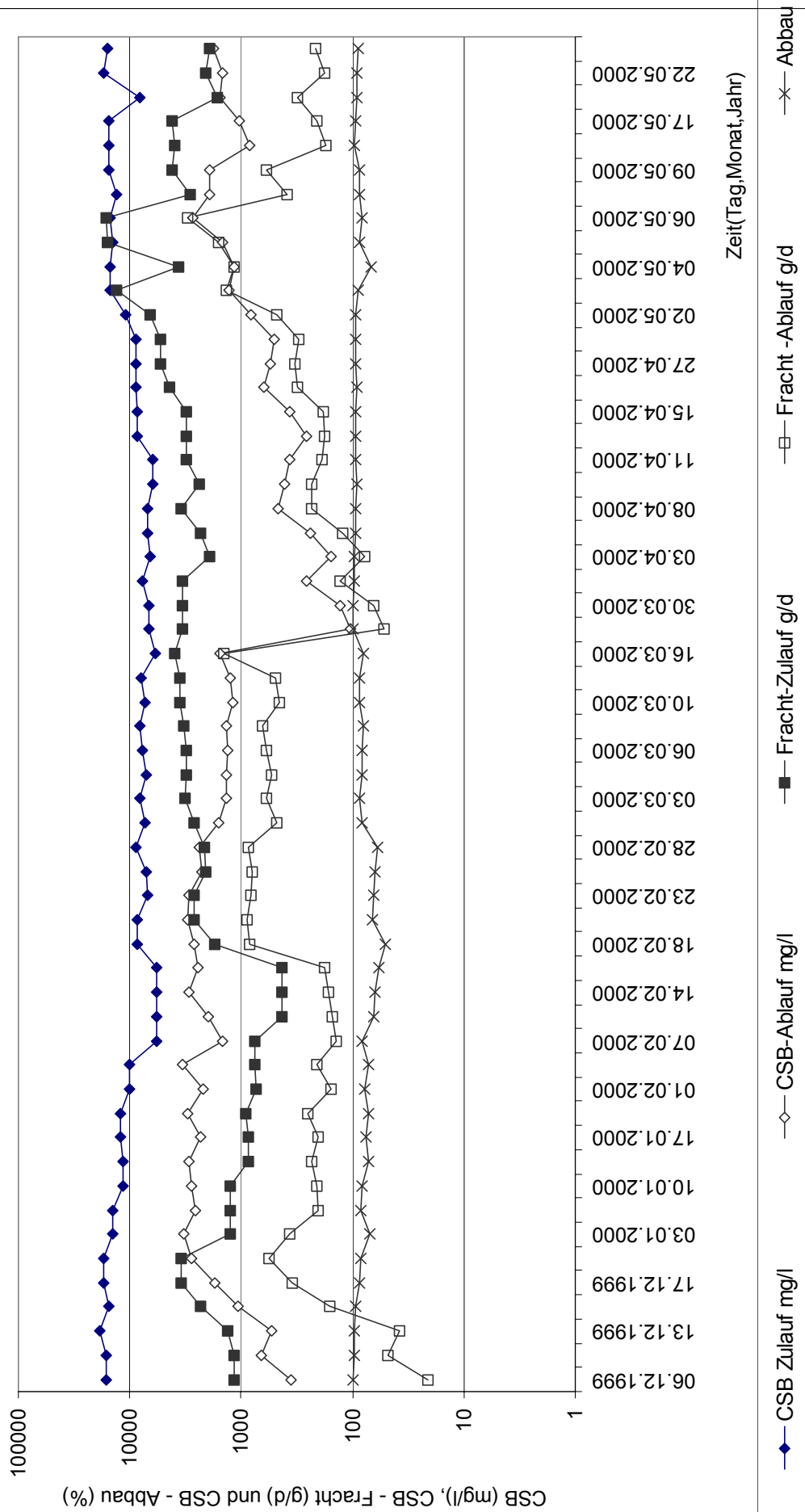


Diagramm 6: N - Konzentration, Fracht und Abbaureate

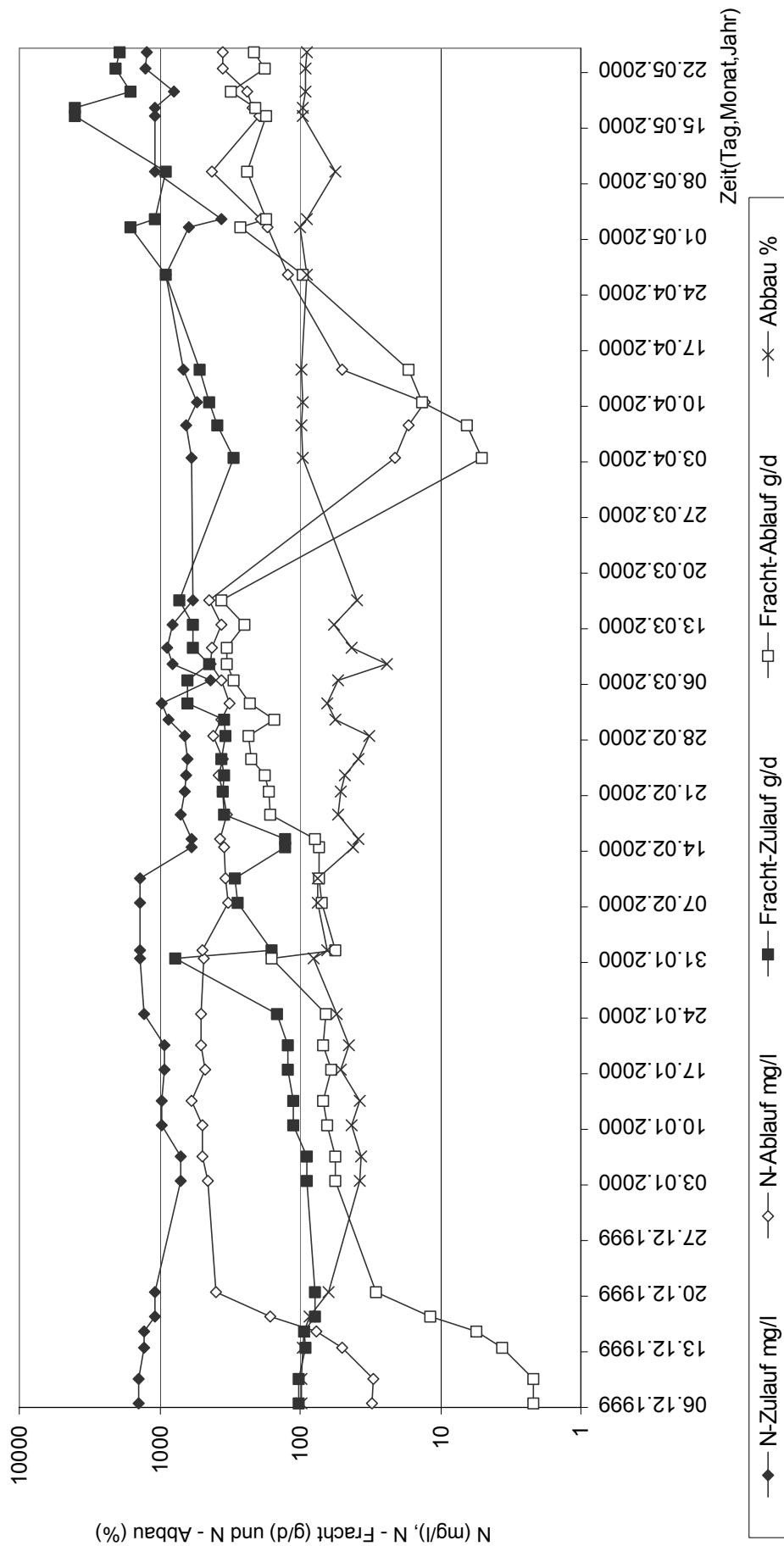


Diagramm 7: CSB - Konzentration, Fracht und Abbaerate

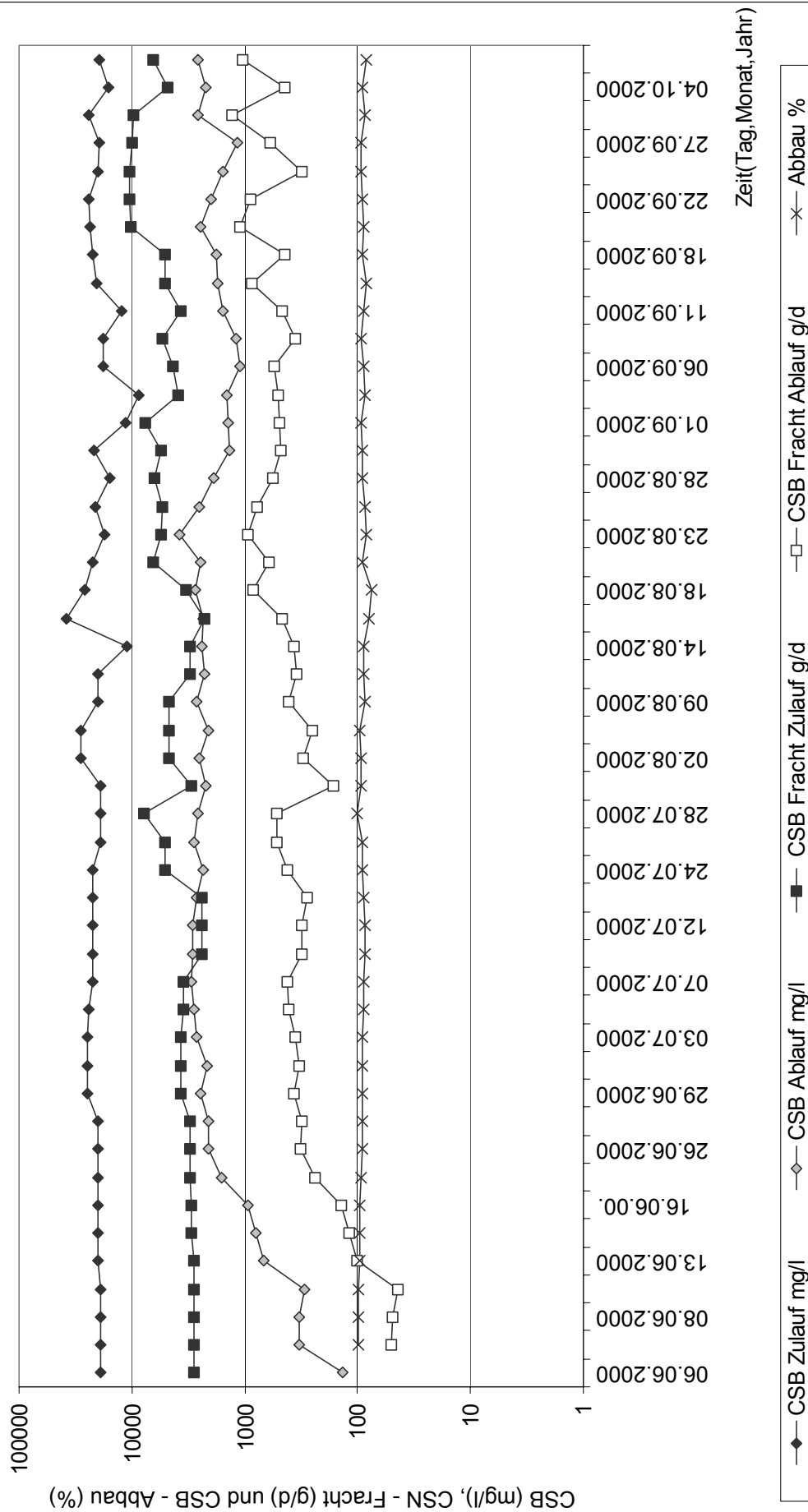
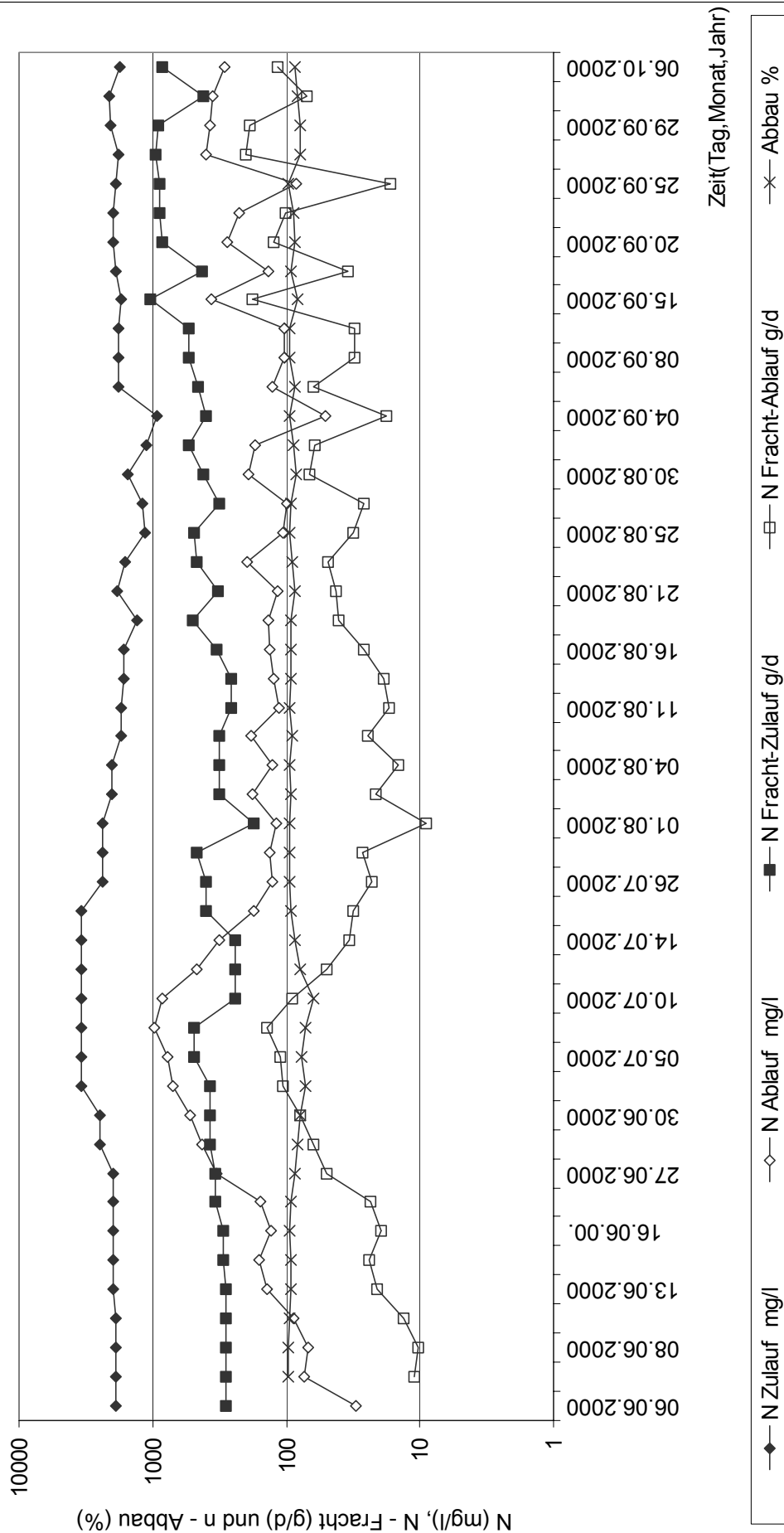


Diagramm 8: N - Konzentration, Fracht und Abbaerate



6.5 Ergebnisse der Desodorierung von Sickerwasser und Abluft

In den Voruntersuchungen zur biologischen Reinigung dieses Prozeßwassers im Labor konnte eine weitgehende Desodorierung des Wassers mittels einfacher Geruchsprobe festgestellt werden. Diese Ergebnisse wurden jedoch mit geruchlich unbelasteter Umgebungsluft als Sauerstoffträger erhalten. Es lag daher nahe, daß die gleichen Mikroorganismen auch zur Reinigung der Abluft einer Kompostanlage geeignet sein müßten. Die Pilotanlage stellte man deshalb in räumlicher Verbindung zur Kompostierung auf.

Mit einem Probennahmegerät der Firma ECOMA–Emmissionstechnik und Consult Mannebeck GmbH -, Honigsee, wurden Luftproben gezogen. Gleichzeitig erfolgte auch eine Wasserprobennahme. Die Olfaktometermessung führte ECOMA nach VDI-RL 3881,3882 und prEN13725 durch. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse aufgezeigt.

Tabelle 3: Ergebnisse der olfaktometrischen Messungen

Proben- Nummer	Bezeichnung	Z50 GE/m ³	Z50 dB
1	Raumluft Kompostanlage	14.000	41,5 +/- 1,3
2	Zuluft Versuchsanlage	10.000	40,0 +/- 1,2
3	Abluft, gereinigt	570	27,6 +/- 1,0
4	Prozeßwasser	45.000	46,6 +/- 1,2
5	Prozeßwasser, gereinigt	3.600	35,6 +/- 2,02

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist die Luft der Rottehalle mit 14.000 GE/m³ belastet. Im Bereich der Versuchsanlage liegt die Geruchsbelastung bei 10.000 GE/m³. Dieser Wert entspricht der Zuluft zum Abluftreinigungsprozeß. Er konnte auf 570 GE/m³ gesenkt werden, wobei die Probe mit Hilfe eines in das Belebungsbecken eingetauchten Trichters genommen wurde. Die Geruchsintensität der Luft im halbgefüllten Sickerwasser-Vorlagebehälter erreichte mit 45.000 GE/m³ den höchsten aller gemessenen Werte. Das gereinigte Prozeßwasser wies noch 3.600 GE/m³ auf.

7 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Als wesentlicher Erfolg des Vorhabens kann der Nachweis gelten, daß Sickerwasser aus Kompostanlagen biologisch soweit gereinigt werden kann, um es problemlos, anstelle von Frischwasser, zur notwendigen zusätzlichen Befeuchtung der Miete einsetzen zu können. Die Geruchs- wie auch die Schmutzfracht wurde auf ein Maß reduziert, welches eine Störung des Rotteprozesses weitgehend ausschließt. Hinzu kommt eine beachtliche Entfrachtung der Abluft aus der gesamten Kompostanlage bezüglich der Geruchskomponenten. Hier wäre zu berücksichtigen, daß es durch die Rückverrieselung des unbehandelten Prozeßwassers, aufgrund der Mietenbelüftung, zu einem bevorzugten Ausblasen dieser Geruchsstoffe kommt.

Es entsteht ein sich verstärkenden Kreislauf der Geruchsfracht, der die Abgasreinigung zusätzlich belastet.

Weiterhin wurde der Nachweis erbracht, daß eine bis zu 5 fach größere Abluftmenge in der Prozeßwasserreinigungsanlage desodoriert werden kann, als für die eigentliche Abwasserreinigung erforderlich. Eine Betriebsanlage würde die Abluft merklich von Geruchsstoffen entfrachten, d.h. das durchschnittliche Niveau an Geruchseinheiten senken und den Biofilter, als letzter Reinigungsstufe für die anfallende Abluft, entlasten.

Die große in das Belebungsbecken feinstblasig einzutragende Abluftmenge läßt sich nicht mit den in der konventionellen Abwasserreinigung eingesetzten Membranfiltern bzw. Kerzen erreichen. Zum einen setzen sich die Membranen wegen der staubhaltigen Luft zu, zum anderen wäre der Druckverlust, d.h. der Energieaufwand, zu hoch. Mit der Verwendung eines statischen Sulzermischers konnte die Betriebssicherheit und Wirksamkeit dieses Lufteintragungssystems nachgewiesen werden.

Als gewonnene Erfahrung kann die Erfordernis der Vorschaltung eines Feinsiebs zur Abtrennung des im Prozeßwasser relativ hohen Feststoffanteils gesehen werden. Die Feststoffe führten verschiedentlich zu Anlagenausfällen.

Pro m³ zu reinigenden Sickerwassers muß, im Vergleich zu kommunalem Abwasser, (basierend auf der bis zu 100 x größeren Schmutzkonzentration) eine bis zu 100 x größere Luftmenge durchgesetzt werden. Das hat ein Vielfaches an Verdunstungsverlusten zur Folge und führt zu einer Aufsalzung des Prozesses. Zum Ausgleich der Verdunstungsverluste ist daher eine Frischwasserzugabe erforderlich.

Auf Basis der im Projekt gesammelten Erfahrungen wäre es jetzt möglich eine Betriebsanlage zu bauen, bei deren Einsatz die Entsorgungskosten des Prozeßwassers merklich geringer wären. Sie hätte den zusätzlichen Nutzen, daß dabei gleichzeitig ein Teil der Abluft von Geruchsstoffen entlastet werden könnte. Man hätte also eine biologisch arbeitende Geruchsstoffsenke für die gesamte Kompostanlage.

8 Geplante Veröffentlichungen

Das Verfahren wurde als Laborversuch und in Form von Postern bereits auf der Umweltmesse in Saarbrücken vorgestellt. Weiterhin ist ein Vortrag oder Postervortrag auf Fachveranstaltungen der Arbeitsbereiche Kompostierung und/oder Abwasserbehandlung vorgesehen. Hinzu kommt eine Veröffentlichung im Fachhochschuljournal der Fachhochschule Kaiserslautern.

9 Zusammenfassung

Beim Rotteprozeß biologischer Abfälle entsteht ein Prozeßwasser, auch Sickerwasser genannt, welches organisch sehr stark belastet ist (4.000 – 60.000 mg/l CSB) und äußerst intensiv stinkt (ca. 60.000 GE/m³). Das Wasser ist weiterhin durch sehr hohe Ammonium-Stickstoff Werte gekennzeichnet, die bis zu 10.000 mg/l erreichen, bei einem NO₃ Gehalt von ca. 60 mg/l. Verrieselt man dieses Prozeßwasser auf der Miete, so kommt es zu Störungen des Rotteprozesses kommen und zur Rückführung von Geruchsstoffen in konzentrierter Form auf die belüftete Miete. Es muß daher teuer entsorgt werden

Daraus resultierte die Aufgabe, das Sickerwasser zumindest so weit zu reinigen, um es dann problemlos auf der Miete recyceln zu können, bzw. ohne all zu hohe Starkverschmutzerzuschläge in einer kommunalen Kläranlage zu reinigen. Weiterhin war zu untersuchen, in welchem Umfang die Abluft der Kompostanlage gleichfalls mit zu reinigen ist. Das erforderliche Seitenkanalgebläse wurde entsprechend größer ausgelegt.

Basierend auf Reinigungsversuchen in einer Laboranlage war der Nachweis möglich, mit einer adaptierten Biologie dieses Problem zu lösen. Als zusätzlicher Erfolg stellte sich auch eine weitgehende Desodorierung der Sickerwassers ein.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurde eine Pilotanlage konzipiert und gebaut, bestehend aus Belebungsbecken (Nutzvolumen ca. 1,5 m³) und Nachklärbecken (Nutzvolumen ca. 1 m³). Zum Lufteintrag in das Belebungsbecken diente ein Seitenkanalgebläse mit einer Leistung vom 180 m³/h. Anstelle des in der kommunalen Abwasserreinigung üblichen Lufteintrags mittels Membran wurde ein statischer Sulzermischer verwendet. Mit ihm waren große Luftmengen problemlos in den Bioreaktor einzutragen.

Ein Schaltschrank enthielt alle erforderlichen Meß- und Regelkomponenten. Bedingt durch die hohe Schmutzkonzentration und das daraus resultierende relativ geringe Aufgabevolumen wurde die Anlage taktweise beschickt. Der Versuchsbetrieb mit der Pilotanlage in einem Kompostwerk erstreckte sich mit Unterbrechungen über ca. 2 Jahre. In Januar 1999 erfolgte die Inbetriebnahme.

Beim Start der Anlage wurden Belebungs- und Nachklärbecken mit Belebtschlamm einer benachbarten kommunalen Kläranlage gefüllt und langsam die Sickerwasseraufgabe erhöht. Nach dem Erreichen stabiler Betriebsbedingungen erfolgte die Prozeßwasserzufuhr i.d.R. zu Beginn der anaeroben Phase. Zur Unterstützung des Stoffaustauschs war die Kreislaufpumpe taktweise auf inneren Kreislauf gestellt, d.h. vom unteren Auslauf BB wurde der Schlamm oben ins BB gefüllt. Während der aeroben Phase zirkulierte das Wasser im Kreislauf BB – NKB.

Zwecks Einstellung des erforderlichen C/N/P-Verhältnisses war die Zugabe von Phosphorsäure notwendig. Das bewirkte zusätzlich die Absenkung des pH-Werts in den neutralen Bereich, der sich ohne Säure um pH 8,4 einstellte.

Zur Ermittlung des CSB Abbaus und der Stickstoffelimination setzte man die errechneten Frachten ($\text{kg/m}^3\text{d}$) aus dem Produkt von Konzentration und Durchsatzmenge pro Tag ein.

Die CSB-Abbaugrade hängen bekanntlich von der Raumbelastung ab. Ein CSB-Abbaugrad von über 90 % war bei einem auf das Reaktorvolumen bezogenen CSB-Abbau von $2 \text{ kg/m}^3\text{d}$ gut erreichbar. Dieser Wert ließ sich bei etwas geringeren Abbaugraden verdoppeln, ohne daß sich beim gereinigten Wasser wesentliche geruchliche Veränderungen bemerkbar machten.

Die Stickstoffelimination hängt bekanntlich von der Temperatur ab. In der kalten Periode lag sie bei ca. 50 % mit einer volumenbezogenen Abbauleistung von 0,1 bis $0,5 \text{ kg/m}^3\text{d}$, gerechnet als Gesamtstickstoff. Im Sommer wurden Abbaugrade um 90 % erreicht mit $2 \text{ kg/m}^3\text{d}$. Durch Zugabe von Essigsäure zur Verbesserung der Denitrifikation waren ebenfalls verbesserte Werte erzielt. Die Stickstoffelimination insgesamt ist jedoch noch zu optimieren.

Betrachtet man die Geruchsbelastung mit 10.000 GE/m^3 in der Zuluft und 570 GE/m^3 in der Abluft, so ist dies zumindest als ein befriedigendes Ergebnis zu bezeichnen. Gleiches gilt auch für das Prozeßwasser. Im ungereinigten Zustand wurden 45.000 GE/m^3 gemessen und gereinigt 3.600 GE/m^3 . Es kommt also zu einer effektiven Geruchsfrachtsenke, welche die gesamte Kompostanlage auf ein niedrigeres Geruchsniveau bringt.

10 Anlagen

Anlage 1: CSB – Abbau

Datum	CSB-Zulauf mg/l	CSB-Ablauf mg/l	Fracht- Zulauf g/d	Fracht- Ablauf g/d	Abbau %
10.02.1999	11570	824	1215	86,5	92,9
17.02.1999	11570	777	1215	81,6	93,3
22.02.1999	11570	757	1215	79,5	93,5
24.02.1999	11570	866	1215	91,0	92,5
01.03.1999	11570	870	1215	91,4	92,5
05.03.1999	11570	792	1215	83,1	93,2
08.03.1999	11570	1031	1215	108,2	91,1
10.03.1999	11570	1124	1215	118,0	90,3
12.03.1999	11570	1307	1215	137,0	88,7
15.03.1999	11570	1271	1215	133,0	89,0
17.03.1999	11570	1412	1215	148,0	87,9
14.04.1999	50000	141	5250	15,0	
21.04.1999	50000	196	5250	20,5	
23.04.1999	50000	197	5250	20,7	
26.04.1999	50000	286	5250	30,0	
27.04.1999	50000	193	5250	20,3	
28.04.1999	50000	265	5250	27,0	
30.04.1999	50000	250	5250	26,0	
03.05.1999	11980	376	1258	39,5	
05.05.1999	11980	534	1258	56,0	
07.05.1999	8819	663	926	69,6	92,5
10.05.1999	8819	620	926	65,0	93,0
12.05.1999	8819	883	926	93,0	89,9
14.05.1999	9400	658	987	69,1	93,0
17.05.1999	9655	871	1013	91,5	91,0
19.05.1999	9655	1123	1013	118,0	88,4
21.05.1999	9655	1086	1013	114,0	88,7
25.05.1999	9898	1347	1039	141,0	86,4
28.05.1999	9898	1425	1039	150,0	98,6
02.06.1999	9848	686	1187	82,3	93,1
04.06.1999	9848	411	1187	49,3	95,8
06.06.1999	9848	505	1187	60,6	94,9
09.06.99.	9848	745	1187	89,4	92,5
18.06.1999	9848	1292	1187	155,0	89,6
21.06.1999	3819	1403	4598	168,0	96,3
23.06.1999	3819	1327	4598	159,0	96,5
25.06.1999	3819	1988	4598	239,0	94,8
28.06.1999	3819	1875	4598	225,0	95,1

Anlage 2: N - Abbau

Datum	N-Zulauf mg/l	N-Ablauf mg/l	Fracht-Zulauf g/d	Fracht-Ablauf g/d	Abbau %
23.04.1999	12270	172	1280	18,1	
26.04.1999	12270	253	1280	26,5	
27.04.1999	12270	243	1280	25,5	
28.04.1999	12270	212	1280	22,4	
30.04.1999	12270	200	1280	21,0	
03.05.1999	2119	155	223	16,2	92,7
07.05.1999	3762	340	395	35,7	91,0
12.05.1999	3762	430	395	45,0	88,6
14.05.1999	1389	456	146	48,0	67,1
17.05.1999	1389	440	146	46,0	68,5
19.05.1999	1389	490	146	51,0	65,0
21.05.1999	1389	446	146	46,8	67,9
25.05.1999	2653	363	278	38,0	86,3
28.05.1999	2653	325	278	34,0	87,8
02.06.1999	2653	14	318	1,7	99,4
04.06.1999	2653	123	318	14,8	95,4
09.06.1999	2653	85	318	10,2	96,8
21.06.1999	9576	868	1149	104,0	90,9
23.06.1999	9576	352	1149	42,2	96,3
25.06.1999	9576	377	1149	45,2	96,1
28.06.1999	9576	384	1149	46,1	95,9

Anlage 3: CSB - Abbau

Datum	CSB Zulauf mg/l	CSB Ablauf mg/l	Fracht- Zulauf g/d	Fracht- Ablauf g/d	Abbau %
22.07.1999	53985	241	6478	28,9	
23.07.1999	53985	737	6478	88,4	
24.07.1999	53985	621	6478	74,5	
26.07.1999	53985	420	6478	50,4	
27.07.1999	53985	620	6478	74,4	
30.07.1999	53985	1040	6478	125,0	
02.08.1999	53985	940	6478	113,0	
05.08.1999	62750	1110	3138	55,5	98,2
12.08.1999	54200	1490	2710	74,5	97,3
16.08.1999	54200	1560	2710	78,0	97,1
17.08.1999	54200	1580	2710	79,0	97,1
19.08.1999	54200	1100	2710	55,0	98,0
23.08.1999	63344	1500	3167	75,0	97,6
26.08.1999	50740	2496	2537	124,8	95,1
29.08.1999	50740	1686	2537	84,3	96,7
02.09.1999	50740	2328	4567	209,5	95,4
06.09.1999	50373	2500	4534	225,0	95,0
09.09.1999	34127	2783	3071	250,5	91,9
13.09.1999	34127	2745	3071	247,1	92,0
16.09.1999	30444	2365	2740	212,9	92,2
20.09.1999	30400	2200	4013	290,4	92,8
23.09.1999	30400	2570	4013	339,2	91,5
27.09.1999	42920	2753	5665	363,4	93,6
30.09.1999	42920	3034	5665	400,5	92,9
04.10.1999	29450	3070	3887	405,2	89,6
07.10.1999	30414	3034	4015	400,5	90,0
11.10.1999	32264	3090	4259	407,9	90,4
14.10.1999	30380	3020	4010	398,6	90,1
16.10.1999	30380	2770	4010	365,6	90,9
21.10.1999	30380	3411	6076	682,2	88,8
26.10.1999	47000	900	9400	180,0	88,1
28.10.1999	40000	1000	8000	200,0	87,5
02.11.1999	34790	2420	4175	290,0	93,0
05.11.1999	34790	1080	4175	130,0	96,9
08.11.1999	32640	6860	3917	823,0	78,9
11.11.1999	26900	781	3226	94,0	97,0
15.11.1999	20140	1910	2417	228,0	90,6
16.11.1999	20140	1420	2417	168,0	93,0
18.11.1999	20140	3125	2417	375,0	84,5
22.11.1999	25085	4840	3010	580,0	80,7
25.11.1999	15160	5310	1819	636,0	64,9

Anlage 4: N - Abbau

Datum	N-Zulauf mg/l	N-Ablauf mg/l	Fracht- Zulauf g/d	Fracht- Ablauf g/d	Abbau %
22.07.1999	3845	348	461	41,8	
23.07.1999	3845	18	461	2,2	
24.07.1999	3845	51	461	6,1	
26.07.1999	3845	173	461	20,8	
27.07.1999	3845	38	461	4,6	
30.07.1999	3845	42	461	5,0	
02.08.1999	3845	89	461	10,7	
05.08.1999	3508	101,7	3137	56,5	98,2
12.08.1999	3664	729	3137	77,5	97,5
16.08.1999	3664	287	2710	78,0	97,1
17.08.1999	3664	329	2710	79,0	97,1
19.08.1999	3664	302	2710	55,0	98,0
23.08.1999	3219	533	2710	110,5	95,9
26.08.1999	3329	539	2537	122,8	96,1
29.08.1999	3329	565	2537	84,3	96,7
02.09.1999	3329	590	2537	116,0	95,4
06.09.1999	4209	676	2537	125,0	95,1
09.09.1999	4134	717	3071	250,0	94,5
13.09.1999	4134	717	3071	247,0	92,0
16.09.1999	3015	652	3071	223,0	92,7
20.09.1999	2816	604	4488	265,0	94,1
23.09.1999	2816	620	4488	339,0	92,4
27.09.1999	3050	662	4488	319,0	92,9
02.11.1999	2680	634	322	76,1	76,3
05.11.1999	2680	328	322	39,4	97,0
08.11.1999	2680	764	322	91,7	71,5
11.11.1999	2501	159	300	19,1	93,6
15.11.1999	2400	440	286	52,6	81,5
16.11.1999	2400	383	286	46,0	83,9
18.11.1999	2400	325	286	35,0	86,4
22.11.1999	1476	538	177	64,6	63,5
25.11.1999	1460	587	175	70,4	59,7

Datum	CSB Zulauf mg/l	CSB-Ablauf mg/l	Fracht- Zulauf g/d	Fracht – Ablauf g/d	Abbau %
06.12.1999	16088	352	1156	21,0	
09.12.1999	16088	659	1156	47,5	
13.12.1999	18375	534	1318	38,0	
15.12.1999	15326	1058	2299	161,0	
17.12.1999	17140	1730	3428	346,0	
20.12.1999	17140	2785	3428	557,0	83,8
03.01.2000	14340	3247	1244	367,0	70,5
06.01.2000	14340	2600	1244	202,0	83,7
10.01.2000	11360	2800	1244	210,0	83,0
13.01.2000	11360	2950	852	232,5	72,7
17.01.2000	12127	2321	852	204,2	76,0
24.01.2000	11980	3020	910	252,0	72,3
01.02.2000	10000	2165	725	157,0	78,0
03.02.2000	10000	3363	750	211,0	72,0
07.02.2000	5800	1458	750	140,0	81,0
10.02.2000	5800	1994	435	153,0	64,0
14.02.2000	5800	2932	435	164,0	62,0
15.02.2000	5800	2470	430	180,0	58,0
18.02.2000	8630	2671	1710	840,0	51,0
21.02.2000	8660	3010	2658	892,0	66,4
23.02.2000	7005	2955	2658	818,0	64,0
25.02.2000	7075	2262	2100	804,0	62,0
28.02.2000	8835	2394	2124	861,0	59,0
01.03.2000	7322	1584	2650	480,0	81,8
03.03.2000	8131	1338	3163	594,0	86,5
04.03.2000	7180	1372	3087	530,0	81,0
06.03.2000	7710	1320	3087	590,0	82,8
08.03.2000	8200	1364	3315	639,0	80,7
10.03.2000	7250	1197	3526	454,0	87,0
13.03.2000	7850	1258	3526	496,0	85,9
16.03.2000	5914	1540	3925	1417,0	80,4
29.03.2000	6715	103	3358	51,5	
30.03.2000	6715	130	3358	65,0	
31.03.2000	7640	260	3358	128,8	
03.04.2000	6550	157	1910	77,8	
07.04.2000	6846	239	2293	122,5	
08.04.2000	6846	461	3423	230,5	
10.04.2000	6250	405	2395	230,5	90,4
11.04.2000	6250	371	3125	185,5	94,1
14.04.2000	8485	257	3125	177,5	94,3
15.04.2000	8485	370	3125	185,0	94,1
26.04.2000	8850	632	4425	316,0	92,3
27.04.2000	8850	540	5310	331,0	93,8
28.04.2000	8850	502	5310	301,0	94,3
02.05.2000	11000	808	6600	480,0	92,7
03.05.2000	14980	1298	13200	1353,0	89,8
04.05.2000	14980	1140	3600	1140,0	68,3
05.05.2000	14310	1460	15741	1606,0	86,6
06.05.2000	14980	2720	16478	2992,0	81,8
08.05.2000	12980	1913	2862	382,0	86,7
09.05.2000	15510	1930	4154	595,0	85,7
16.05.2000	15510	847	4000	174,0	
17.05.2000	15510	1048	4192	209,6	
19.05.2000	8135	1560	1627	312,0	
22.05.2000	17203	1478	2064	177,4	
24.05.2000	15950	1765	1915	212,0	89,7

Analge 6: N - Abbau

Datum	N-Zulauf mg/l	N-Ablauf mg/l	Fracht-Zulauf g/d	Fracht-Ablauf g/d	Abbau %
06.12.1999	1421	31	102,0	2,2	
09.12.1999	1421	30	102,0	2,2	
13.12.1999	1282	50	92,3	3,6	
15.12.1999	1302	76	94,2	5,5	
17.12.1999	1082	162	77,9	11,7	
20.12.1999	1082	399	77,9	28,7	63,1
03.01.2000	715	449	88,5	55,5	37,3
06.01.2000	715	492	88,5	56,0	36,7
10.01.2000	959	500	112,0	64,0	42,8
13.01.2000	959	590	112,0	69,0	37,8
17.01.2000	921	471	122,4	59,6	51,5
20.01.2000	921	512	122,4	69,0	45,0
24.01.2000	1287	503	145,0	65,0	55,0
31.01.2000	1382	481	778,0	158,0	79,7
01.02.2000	1382	492	158,0	56,0	64,4
07.02.2000	1382	326	277,0	69,4	74,9
10.02.2000	1382	343	294,0	73,1	75,2
14.02.2000	597	346	127,0	73,7	42,0
15.02.2000	597	368	127,0	78,4	38,2
18.02.2000	704	335	351,0	162,0	54,0
21.02.2000	657	359	354,0	168,0	51,0
23.02.2000	651	378	346,0	178,0	48,0
25.02.2000	637	355	364,0	225,0	38,0
28.02.2000	662	415	342,0	232,0	32,2
01.03.2000	874	361	351,0	154,0	56,0
03.03.2000	960	318	635,0	227,0	64,0
06.03.2000	431	362	635,0	295,0	53,6
08.03.2000	805	434	440,0	332,0	24,0
10.03.2000	891	423	581,0	329,0	43,0
13.03.2000	818	363	581,0	251,0	56,8
16.03.2000	580	440	731,0	363,0	39,7
03.04.2000	596		295,0	5,1	
07.04.2000	650		385,0	6,5	
10.04.2000	537	13	443,0	13,6	
14.04.2000	678	50	521,0	17,0	
26.04.2000	896	122	914,0	96,0	89,5
02.05.2000	620	169	1604,0	269,0	99,8
03.05.2000	362	190	1076,0	174,0	89,1
09.05.2000	1085	427	909,0	238,0	55,9
16.05.2000	1085	196	4000,0	174,0	95,7
17.05.2000	1085	217	4000,0	209,6	94,8
19.05.2000	790	240	1627,0	312,0	92,2
22.05.2000	1256	357	2064,0	177,0	91,4
24.05.2000	1229	354	1915,0	212,0	89,7

Anlage 7: CSB-Abbau

Datum	CSB Zulauf mg/l	CSB Ablauf mg/l	CSB Fracht Zulauf g/d	CSB Fracht Ablauf g/d	Abbau %
06.06.2000	18995	134	2849		
07.06.2000	18995	333	2849	50,0	
08.06.2000	18995	326	2849	48,9	
09.06.2000	18995	294	2849	44,1	
13.06.2000	20000	684	2849	102,0	
14.06.2000	20000	796	3000	119,0	
16.06.2000	20000	940	3000	141,0	
23.06.2000	20000	1605	3045	241,0	
26.06.2000	20000	2111	3045	317,0	89,9
27.06.2000	20000	2078	3045	311,0	89,7
29.06.2000	24640	2473	3696	371,0	90,0
30.06.2000	24640	2168	3696	325,0	91,2
03.07.2000	24640	2700	3696	357,0	90,3
05.07.2000	24013	2813	3458	405,0	88,3
07.07.2000	22490	2939	3458	423,0	87,8
10.07.2000	22490	2930	2384	310,0	87,0
12.07.2000	22490	2904	2384	308,0	87,1
14.07.2000	22490	2652	2384	281,0	88,2
24.07.2000	22490	2330	5129	419,0	91,8
26.07.2000	18906	2850	5129	513,0	90,0
28.07.2000	18906	2600	7902	520,0	
01.08.2000	18906	2204	2962	165,0	94,4
02.08.2000	28224	2527	4741	303,0	93,6
04.08.2000	28224	2080	4741	250,0	94,7
09.08.2000	20117	2705	4741	406,0	86,5
11.08.2000	20117	2294	3017	344,0	88,6
14.08.2000	11040	2420	3017	363,0	88,0
16.08.2000	38492	2320	2280	464,0	79,6
18.08.2000	26163	2769	3312	831,0	74,9
21.08.2000	22310	2455	6540	614,0	90,6
23.08.2000	17651	3781	5578	945,0	83,0
25.08.2000	20859	2562	5295	769,0	85,5
28.08.2000	15638	1866	6258	560,0	91,1
30.08.2000	21945	1382	5474	484,0	91,2
01.09.2000	11232	1408	7681	490,0	93,6
04.09.2000	8726	1434	3931	502,0	87,2
06.09.2000	18110	1089	4363	545,0	87,5
08.09.2000	18110	1200	5433	360,0	93,3
11.09.2000	12269	1561	3681	469,0	87,3
15.09.2000	20304	1728	5097	864,0	83,0
18.09.2000	22550	1763	5076	441,0	91,3
20.09.2000	23242	2454	10148	1104,0	89,1
22.09.2000	24365	1970	10458	890,0	91,2
25.09.2000	20131	1581	10458	316,0	93,5
27.09.2000	19267	1175	10066	588,0	94,2
29.09.2000	23933	2580	9633	1290,0	86,6
04.10.2000	15984	2203	4787	441,0	90,8
06.10.2000	19613	2583	6394	1033,0	83,8

Anlage 8: N - Abbau

Datum	N Zulauf mg/l	N Ablauf mg/l	N Fracht- Zulauf g/d	N Fracht- Ablauf g/d	Abbau %
06.06.2000	1875	30	281		
07.06.2000	1875	73	281	11,0	
08.06.2000	1875	69	281	10,4	
09.06.2000	1875	88	281	13,2	
13.06.2000	1981	140	281	21,0	
14.06.2000	1981	158	297	23,7	
16.06.2000	1981	131	297	19,7	
23.06.2000	1981	155	337	23,3	
27.06.2000	1981	329	337	49,4	85,3
29.06.2000	2476	422	371	63,3	82,9
30.06.2000	2476	521	371	78,2	78,9
03.07.2000	3391	700	371	105,0	71,7
05.07.2000	3391	775	488	112,0	77,1
07.07.2000	3391	965	488	139,0	71,5
10.07.2000	3391	847	240	89,6	62,5
12.07.2000	3391	468	240	49,6	79,3
14.07.2000	3391	320	240	33,9	85,8
24.07.2000	3391	174	401	31,3	92,2
26.07.2000	2366	127	401	22,9	94,3
28.07.2000	2366	134	473	26,8	94,3
01.08.2000	2366	120	174	9,0	94,8
02.08.2000	2021	180	319	21,6	93,2
04.08.2000	2021	127	319	14,4	95,5
09.08.2000	1735	183	319	24,5	90,6
11.08.2000	1735	114	260	17,1	93,4
14.08.2000	1659	124	260	18,6	92,8
16.08.2000	1649	132	332	26,4	92,0
18.08.2000	1300	136	498	40,8	91,8
21.08.2000	1862	117	325	42,5	86,9
23.08.2000	1625	197	466	49,2	89,4
25.08.2000	1138	105	488	31,5	93,5
28.08.2000	1186	100	314	26,5	92,6
30.08.2000	1521	191	415	66,9	83,9
01.09.2000	1124	173	540	60,6	88,8
04.09.2000	920	51	401	17,9	
06.09.2000	1798	126	460	63,1	86,3
08.09.2000	1798	103	537	30,9	94,2
11.09.2000	1788	103	536	30,5	94,2
15.09.2000	1713	362	1045	181,0	82,7
18.09.2000	1867	137	428	34,3	92,0
20.09.2000	1978	274	840	123,0	85,3
22.09.2000	1972	225	890	101,6	88,6
25.09.2000	1901	84	890	16,6	95,8
27.09.2000	1802	399	951	199,5	79,0
29.09.2000	2069	373	901	186,5	79,3
04.10.2000	2105	354	414	70,8	82,9
06.10.2000	1750	287	844	114,8	86,4