

Forschungszentrum Karlsruhe

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6483

Effiziente Abwasserreinigung durch einfache Prozessmodifikation und Nutzung von Küchenabfällen

Amend, J., Bumiller, W., Kusche, I., Donnert, D.

Bereich Technische Infrastruktur
Institut für Technische Chemie

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2000

Zusammenfassung

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt eine Betriebskläranlage mit 1000 EW im Belebungsverfahren, wobei der Zufluss über eine Trennkanalisation zugeführt wird. Es treten somit stark schwankende Abwassermengen und gleichzeitig Abwasser mit hohem Ammoniumkonzentrationen auf, wodurch eine optimale Reinigungsleistung erschwert wird. Dadurch besitzt das Abwasser im Forschungszentrum Karlsruhe ein Nährstoffverhältnis (BSB/N), das für eine weitergehende Stickstoffelimination nicht optimal ist.

Da die Kläranlage in einen kleinen Vorfluter einleitet, wurden Ende 1997 die Abgabewerte im Zuge einer neuen wasserrechtlichen Genehmigung geändert. Die neuen Grenzwerte orientieren sich nun an den Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser nach der Abwasserverordnung für Kläranlagen der Größenklasse 4. Dies bedeutete erstmals einen Grenzwert für Phosphor von 3 mg/L P und eine Reduktion der Abgabewerte von 40 mg/L N auf 18 mg/L N (mit einem Übergangswert von 25 mg/L) für Stickstoff.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Reduktion der Nitrat-Ablaufkonzentrationen von durchschnittlich 25 mg/L N auf 10 mg/L N, ohne den häufig unvermeidbaren Einsatz von Investitionsmitteln und ohne oder Erhöhung der Betriebskosten. Erster Schritt war hierbei eine gezielte Bestandsaufnahme des Anlagenzustandes der biologischen Kläranlage. Aus dieser Analyse resultierte Maßnahmenkatalog, von dem bisher zwei Punkte umgesetzt werden konnten:

1. Einführung einer Denitrifikation durch den anoxischen Betrieb eines der beiden Belebungsbecken
2. Erhöhung des BSB/N-Verhältnisses im Abwasser durch die Dosierung der Kantinenabfälle des Forschungszentrums Karlsruhe als externe Kohlenstoffquelle

Diese Maßnahmen konnten hauptsächlich durch Variation der Betriebsweise und mit nur geringen finanziellen Aufwendungen durchgeführt werden. Hieraus ergaben sich Einsparungen von Betriebskosten und wesentliche Verbesserungen der Ablaufqualität der Kläranlage:

- Senkung der Nitrat-Konzentrationen im Ablauf um 50% auf ca. 10 mg/L N
- Senkung des Energiebedarfs um 16%
- Erhöhung des BSB/N-Verhältnisses im Zulauf durch die Dosierung von Kantinenabfällen und somit weitere Reduktion der Nitratblaufwerte von durchschnittlich 10 mg/L N auf 7 mg/L N.
- Durch die interne Verwertung anfallender Abfälle zusätzliches Einsparungspotential von ca. 15 TDM/a (budgetrelevant) und die Schließung interner Stoffkreisläufe.
- Möglichkeiten zur Durchführung einer vermehrten biologischen Phosphorelimination und der Behandlung stickstoffreicher Sonderwässer.

Durch die Umsetzung weiterer Punkte des Maßnahmenkatalogs ist zusätzlich eine weitere Stabilisierung und Reduktion der Ablaufwerte zu erwarten.

Efficient waste water purification by simple process modification and use of kitchen wastes

In the Research Centre Karlsruhe a waste water treatment plant with 1000 population equivalents is operated employing the activated sludge process, whereby the waste water is supplied by a separate sewerage system. Caused by this, the waste water quantities are considerably varying, and, furthermore, the inflow contains high ammonia concentrations, making an optimal cleaning performance difficult. Additionally the crude waste water has a low BOD/nitrogen relation, which is disadvantageous for a biological nitrogen elimination.

At the end of 1997 the outflow concentration standards were modified in the course of a new permission by water right, based now on the minimum requirements of the German Waste Water Ordinance for treatment plants of the size class 4, because the effluent of the STP feeds a sensible river. This meant that for the first time a limit value for phosphorus of 3 mg/L P was set and that concerning nitrogen a reduction of the limit from 40 mg/L N on 18 mg/L N was decided.

It was the aim of the investigations to lower the nitrate concentrations in the purified waste water from about 25 mg/L N to 10 mg/L N without, although mostly unavoidable, extra investment costs and without increasing the running costs. As first step the conditions in the STP of the Research Centre Karlsruhe were thoroughly investigated. From this analysis a catalogue of possible measures were obtained, of which up to now two points were put into operation:

1. introduction of a denitrification step by anoxic operation of one of the two aeration basins
2. increase of the BSB/N relation in the inflow water by the dosage of the kitchen wastes of the mess of the Research Centre Karlsruhe thus serving as an external source of carbon

These measures could be put into operation mainly just by varying the operational modes and with nearly no additional costs. By this, a considerable improvement of the quality of the purified waste water and, furthermore, a noticeably saving of the running cost of the STP was achieved:

- decrease of the effluent nitrate concentrations to about 50%
- reduction of the power consumption of the STP for about 16%
- further reduction of the nitrate concentration in the outflow from 10 mg/L N on the average to about 7 mg/L N by increasing the BSB/N relation of the crude waste water by adding kitchen waste into the denitrification tank.
- additional saving of approx. 15 TDM/a (budget relevant) by the direct use of the kitchen wastes instead of dispose and the locking of internal material cycles
- possibility to apply biological phosphorous removal in the STP
- possibility to treat industrial waste water with a high nitrogen content.

The investigations will be continued and further points of the measure catalogue will be put into operation. By this, a further stabilisation and reduction of the outflow values of the STP may be expected.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	DIE KLÄRANLAGE DES FORSCHUNGSZENTRUMS KARLSRUHE	2
3	VORGEHENSWEISE	2
4	ERGEBNISSE DER ANALYSE	3
5	MASSNAHMENKATALOG	6
6	BISHER UMGESETZTE MAßNAHMEN	7
6.1	Einführung einer Denitrifikationsstufe	7
6.2	Erhöhung des BSB/N-Verhältnisses im Zulauf	9
6.2.1	Anforderungen an externe Kohlenstoffquellen	9
6.2.2	Vergleich verschiedener Kohlenstoffquellen	10
6.2.3	Beispiele von Reststoffen als externe Kohlenstoffquelle	11
6.2.4	Kantinenabfälle als externe Kohlenstoffquelle	12
6.2.5	Dosierung von Kantinenabfällen als externe Kohlenstoffquelle	14
6.2.6	Möglichkeiten durch die Dosierung der Kantinenabfälle	18
7	LITERATUR	22

1 Einleitung

Durch die Einführung von Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser in Gewässer haben sich die Anforderungen an die Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen deutlich erhöht. Hieraus ergab sich eine wesentliche Steigerung der Investitions- und Betriebskosten (Abbildung 1), die neben dem erhöhten Aufwand zum prozessstabilen Anlagenbetrieb auch aus der Einführung einer Denitrifikation und Phosphorelimination resultieren.

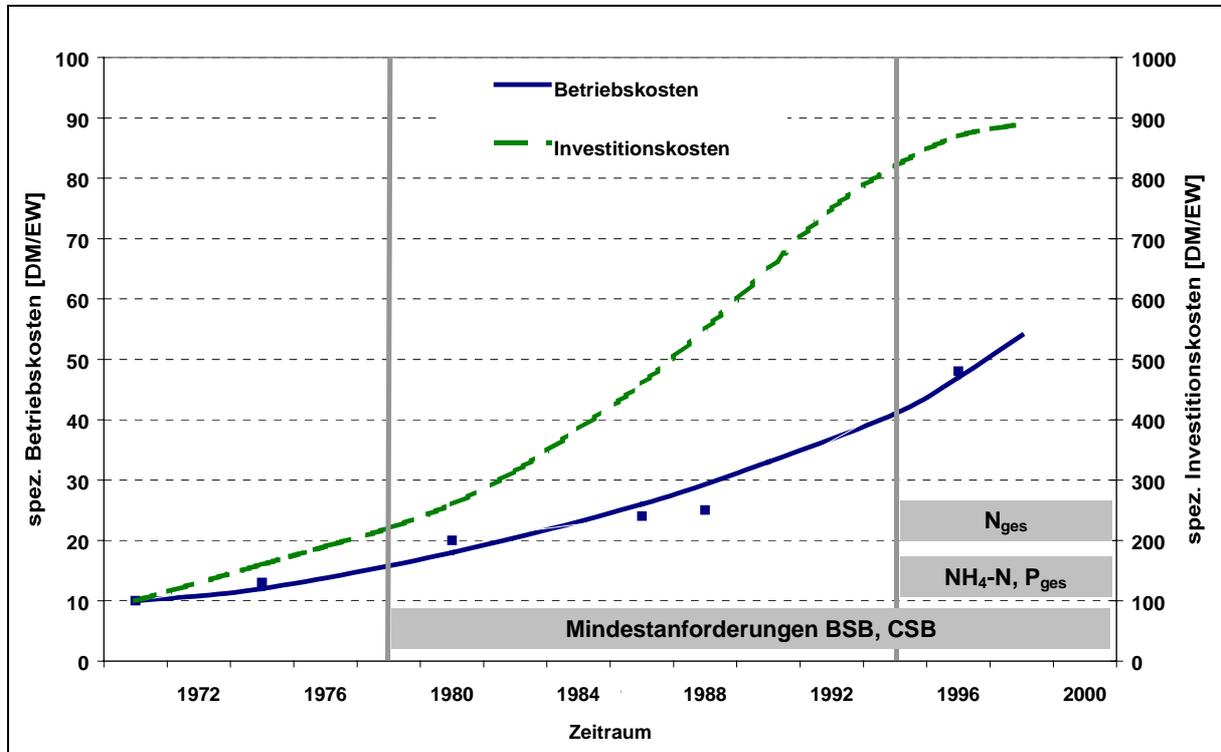


Abbildung 1: Entwicklung der spezifischen Investitions- und Betriebskosten kommunaler Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 100.000 EW nach dem Belebungsverfahren (Werte Investitionskosten nach Rautenbach R. et al. 2000, Werte Betriebskosten nach Bohn, Th. 1997)

Ende 1997 erhielt das Forschungszentrum Karlsruhe, das eine Stabilisierungsanlage mit einer Belastung von ca. 1000 EWG betreibt, eine neue wasserrechtliche Genehmigung, in der die Grenzwerte an die Ablaufqualität für Stickstoff von 40 mg/L auf 18 mg/L gesenkt wurden, was bezüglich Stickstoff den Anforderungen für Kläranlagen der Größenklasse 4 entspricht. Zusätzlich wurde erstmals ein Grenzwert für Phosphor von 3,0 mg/L P festgelegt, der seitdem durch eine Fällung erreicht wird.

Da die Anlage vor allem zur Nitrifikation genutzt wurde betrug die durchschnittlichen Stickstoff-Ablaufwerte zu diesem Zeitpunkt ca. 25 mg/L N (Nitrat: ca. 22-23 mg/L N). Aus diesem Grund mussten dringend Maßnahmen zur sicheren Einhaltung des neuen Stickstoff-Grenzwertes getroffen werden. Ziel war die Reduktion des durchschnittlichen Nitrat-Ablaufwertes auf 10 mg/L N, wobei die Realisierung keine größere Investitionsmaßnahmen oder eine Erhöhung der laufenden Betriebskosten verursachen sollte.

2 Die Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe

Das Forschungszentrum Karlsruhe wird über eine Trennkanalisation entwässert, wodurch der biologischen Kläranlage ausschließlich Fäkalabwasser zugeleitet wird. Hieraus resultiert ein sehr konzentriertes Fäkalabwasser mit Stickstoff-Frachten, die um den Faktor 1,5-2 höher sind als in Kläranlagen ohne Trennkanalisation. Die BSB-Konzentration in der Anlage liegt im üblichen Bereich (Tabelle 1).

Die Kläranlage besitzt keine Vorklärung und wird als Stabilisierungsanlage betrieben. Seit 1998, mit der Gültigkeit der neuen wasserrechtlichen Genehmigung wird eine Phosphatfällung mit Natriumaluminat durchgeführt.

Das Abwasser wird über Pumpwerke zugeleitet, die füllstandsbezogen geleert werden. Eine Vorklärung (Rechen, Sandfang, Fettabscheider) ist nicht vorhanden, die festen Bestandteile des Abwassers werden durch einen Mazerator zerkleinert.

Tabelle 1 zeigt einige Zulaufdaten und wichtige Anlagenkennwerte der Kläranlage.

Tabelle 1: Zulaufdaten und Anlagenkennwerte der biologischen Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe

Kläranlage		
Eingangsstufe	60	m ³
Belebungsbecken mit Tauchmotorrührwerken	2 x 400	m ³
Nachklärbecken	2 x 100	m ³
Zulauf		
Volumen	250-300	m ³ /Werktag
	100	m ³ /Tag Wochenende
BSB ₅	70-80	kg/Werktag
Stickstoff-Gesamt	25	kg/Werktag
Betrieb		
Schlamm Trockensubstanz TS	2,0-2,7	kg TS / m ³
Raumbelastung B _R	0,09	kg BSB ₅ / (m ³ ·d)
Schlammbelastung B _{TS}	0,044	kg BSB ₅ / (kg TS·d)
Schlammalter T _{TS}	> 18	d

3 Vorgehensweise

Eine detaillierte Analyse der Kläranlage sollte mögliche Optimierungsmaßnahmen für die Stickstoffelimination aufzeigen. Durch die Maßnahmen sollte die Gesamt- Stickstoffkonzentration im Ablauf von bis zu 40 mg/L N auf unter 10 mg/L N gesenkt werden, ohne dass größere Investitions- oder Baumaßnahmen durchgeführt werden müssen.

Das aufgezeigte Optimierungspotential wurde in "sofort realisierbare Maßnahmen", "kurzfristig realisierbare Maßnahmen" und "mittel- und langfristig realisierbare Maßnahmen" eingeteilt. Die Realisierung der mittel- und langfristig umzusetzenden Maßnahmen kann im vorliegenden Fall erst nach der Durchführung anderer Maßnahmen erfolgen.

4 Ergebnisse der Analyse

Die Analyse zeigte, dass sich die Belastungsverhältnisse gegenüber den Planungsdaten 1989 grundlegend geändert haben. So ist der Abwasseranfall an Werktagen von 600 m³/d (1979) auf 250-300 m³/d (1999) zurückgegangen. Parallel dazu hat sich die BSB₅-Fracht seit 1979 mehr als halbiert (von 160 kg/d auf ca. 70 kg/d). Dies entspricht einem Rückgang von fast 3000 EWG auf nahezu 1000 EWG.

Die Schlammrückführungspumpe wird, ebenso wie die Rezirkulationspumpe, mit einer konstanten Förderleistung betrieben (Rückführverhältnis ca. 280%). Eine Anpassung an die vorherrschenden Belastungszustände, wie sie in vielen Anlagen durchgeführt wird, ist somit nicht möglich.

Zusätzlich besitzt die Anlage einige spezifische Besonderheiten, die eine optimale Stickstoffelimination erschweren:

➤ schlechtes BSB/N-Verhältnis durch hohe Ammoniumkonzentrationen in Zulauf

Aufgrund der Trennkanalisation ergibt sich ein sehr konzentriertes Fäkalabwasser mit Stickstoffkonzentrationen, die mit durchschnittlich 80-100 mg/L N bis 150 mg/L N um den Faktor 1,5-2 höher sind als in Kläranlagen mit Mischkanalisation. Die BSB-Konzentration in der Anlage liegt mit 250 mg/L BSB₅ bis 300 mg/L BSB₅ im üblichen Bereich. Das hieraus resultierende BSB/N-Verhältnis von 2-3 ist für eine stabile Denitrifikation bereits zu niedrig. Die Eliminationsleistung von Stickstoff lag, zum Zeitpunkt der Untersuchung, bei ca. 74%. Die Nitrifikation verläuft hingegen vollständig und stabil.

Die Stickstofffracht des Zulaufs setzt sich hauptsächlich aus Ammonium-Stickstoff zusammen. Messungen haben gezeigt, dass die Konzentration an organischen Stickstoffverbindungen ca. 20% der gesamten Stickstofffracht beträgt. Der Anteil an Nitrat- und Nitrit-Stickstoff ist mit weniger als 2% an der gesamten Stickstofffracht zu vernachlässigen.

Die Belastung mit organischen Substanzen wurde bei den vorliegenden Messungen über den TOC bestimmt. Vergleichende Messungen mit dem CSB ergaben für den Fäkalzulauf des Forschungszentrums Umrechnungsfaktoren wie sie auch für viele kommunale Kläranlagen typisch sind:

$$\frac{CSB}{TOC} \approx 3,0 \quad \text{und} \quad \frac{BSB_5}{TOC} \approx 1,5$$

Im Zulauf besteht eine Korrelation zwischen der TOC- und der Ammoniumkonzentration, wobei das TOC/N-Verhältnis zwischen 3:1 während der Arbeitszeit und 2:1 - 1:1 in belastungsschwachen Zeiträumen (Nacht, Wochenende) schwankt (Abbildung 2). Fäkalabwasser mit erhöhter TOC-Konzentration fällt demnach verstärkt an Werktagen von 9 Uhr bis ca. 20 Uhr an. Am Wochenende sinkt die TOC-Konzentration bis unter 50 mg/L ab.

Die Ammonium-Konzentrationen lagen an Werktagen zwischen 50 und 110 mg/L N. An Wochenenden bzw. arbeitsfreien Tagen blieben die Ammonium-Konzentrationen in der Regel unter 50 mg/L N. Die höchsten Stickstoffkonzentrationen im Zulauf traten an Werktagen von ca. 12 Uhr bis 20 Uhr auf.

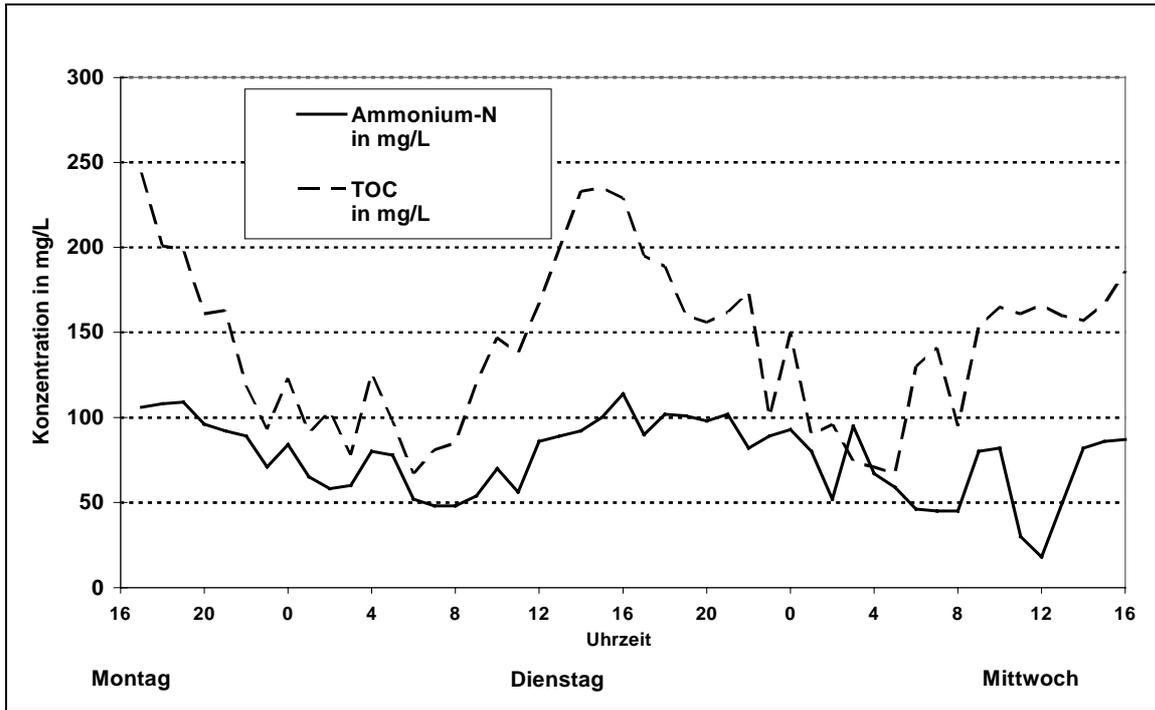


Abbildung 2: Konzentrationsganglinie für TOC und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Zulauf an Werktagen
Zeitraum: Montag (25.11.96, 17 Uhr) bis Mittwoch (27.11.96, 16 Uhr)

➤ **stark schwankende Zulaufmengen**

Da es sich bei der biologischen Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe um eine Betriebskläranlage handelt, entstehen stark arbeitszeitabhängige Zuflussspitzen. Durch den batchweisen Abwasserzufluss gelangen an Werktagen im Maximum $30 \text{ m}^3/\text{h}$, am Wochenende und in der Nacht maximal ca. $5 \text{ m}^3/\text{h}$ in die Anlage (Abbildung 3).

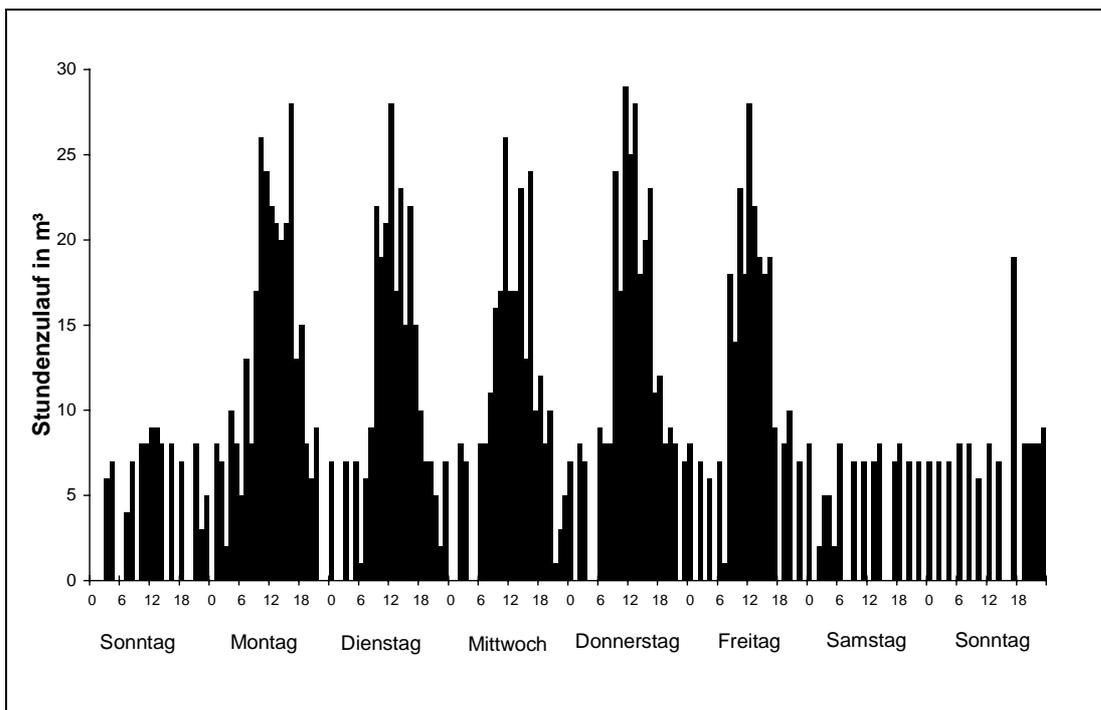


Abbildung 3: Stundenzulaufverteilung einer Woche

➤ **Belüftung beider Belebungsbecken**

Im ersten Belebungsbecken betragen die Sauerstoffkonzentrationen durch eine zeitgesteuerte intermittierende Belüftung bis zu 2,5 mg/L O₂. Im zweiten Belebungsbecken lagen die Sauerstoffkonzentrationen zwischen 2,0-3,0 mg/L O₂ (konzentrationsgesteuert). Unter diesen Voraussetzungen war, trotz einer intermittierenden Belüftung im ersten Becken, nur eine minimale Denitrifikation möglich, da von den Belebtschlambakterien bereits ein Großteil des BSB für den heterotrophen Kohlenstoffabbau verbraucht wurde.

➤ **geringer Kohlenstoffeintrag in belastungsschwachen Zeiträumen (v.a. Feiertagen)**

Der Kohlenstoffeintrag durch den Zulauf ist an Feiertagen so gering, dass bei mehreren aufeinanderfolgenden Feiertagen zur Erhaltung des Betriebsstoffwechsels der Bakterien Zucker in die Belebung dosiert wird.

5 Massnahmenkatalog

Aus der Analyse der Anlage kristallisierten sich verschiedene Vorgehensweisen zur Senkung der Nitratwerte im Ablauf heraus:

1. sofort realisierbare Maßnahmen

- Umstellung des ersten Belebungsbeckens auf anoxischen Betrieb - Nutzung als Denitrifikationsbecken

2. kurzfristig realisierbare Maßnahmen

- Erhöhung des BSB/N-Verhältnisses im Zulauf durch die Zugabe externer Kohlenstoffquellen
- regelbare Rezirkulationspumpe
- Senkung der Sauerstoffkonzentration im Nitrifikationsbecken

3. mittel- und langfristig realisierbare Maßnahmen

- geregelte Dosierung der externen Kohlenstoffquelle
- Einführung einer Entgasungszone im Nitrifikationsbecken an der Entnahmestelle der Pumpe für die interne Rezirkulation zur Minimierung der Menge des rückgeführten Sauerstoffs

Da ca. 70% des Energiebedarfs der biologischen Stufe durch die Belüftungsaggregate hervorgerufen werden [Bohn, 1997; Lützner 1996] wirkt sich die Minimierung des Sauerstoffeintrags über die Belüftung und interne Rezirkulation in die Belebungsbecken deutlich den gesamten spezifischen Energieverbrauch der Kläranlage aus.

Um einen weiteren unnötigen Sauerstoffeintrag zu vermeiden muss die Dosierung der Kohlenstoffquelle bedarfsabhängig erfolgen, da bei einer Überdosierung in der Denitrifikation in der Nitrifikation wiederum mehr Sauerstoff zum Abbau der Kohlenstoffverbindungen benötigt wird.

6 Bisher umgesetzte Maßnahmen

6.1 Einführung einer Denitrifikationsstufe

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurde im ersten Belebungsbecken eine anoxische Betriebsweise eingeführt, wodurch die Kläranlage nun mit einer vorgeschalteten Denitrifikation betrieben wird. Durch diese verfahrenstechnische Änderung, die keine Investitionskosten verursachte wurde erreicht:

- **Senkung der Nitrat-Konzentrationen im Ablauf um 50%** von ca. 25 mg/L N auf ca. 10 mg/L N.
- **Verbesserung der Eliminationsrate für die anorganischen Stickstoffverbindungen von durchschnittlich 74% auf 88%.**
Da sich die Konzentrationen an Ammoniumstickstoff und organischen Stickstoff in den einzelnen Kläranlagenabschnitten nicht verändert haben ist diese Steigerung ausschließlich auf die Einführung der Denitrifikationsstufe zurückzuführen.
- **Keine Verschlechterung der Nitrifikation**
- **Senkung des Energiebedarfs um 16%**
Aufgrund der anoxischen Betriebsweise des ersten Belebungsbeckens wurden die Belüftungszeiten gegenüber dem Betrieb mit intermittierender Belüftung um ca. 20% reduziert. Dies zeigt sich ebenso im Energieverbrauch.

Zusätzlich ist anzunehmen, dass die Anlage **weitere Denitrifikationskapazität** besitzt. Im Denitrifikationsbecken betragen die durchschnittlichen Konzentrationen von Nitratstickstoff ca. 3 mg/L, die Ablaufkonzentrationen liegen jedoch bei ca. 11 mg/L N. Durch eine Erhöhung des Rückführverhältnisses von derzeit 280% auf 380% könnten die Ablaufwerte weiter reduziert werden. Für diese Maßnahme ist jedoch noch der Einbau einer regelbaren Rezirkulationspumpe notwendig. Zusätzlich kann zur Minimierung der rezirkulierten Sauerstoffmenge eine Entgasungszone im Nitrifikationsbecken eingerichtet werden.

Durch die Einführung einer Denitrifikation konnte somit durch die Abstimmung der Betriebsweise und ohne den Einsatz von Investitionsmitteln sowohl der seit dem 1.1.1998 gültige Übergangswert der neuen wasserrechtlichen Genehmigung vom 19.12.1997 von 25 mg/L N als auch der seit dem 1.10.1998 gültige Grenzwert von 18 mg/L N eingehalten werden. Abbildung 4 zeigt die Monatsmittelwerte im Ablauf der Kläranlage von 1996 - 1999 im Vergleich mit den Grenzwerten der wasserrechtlichen Genehmigung.

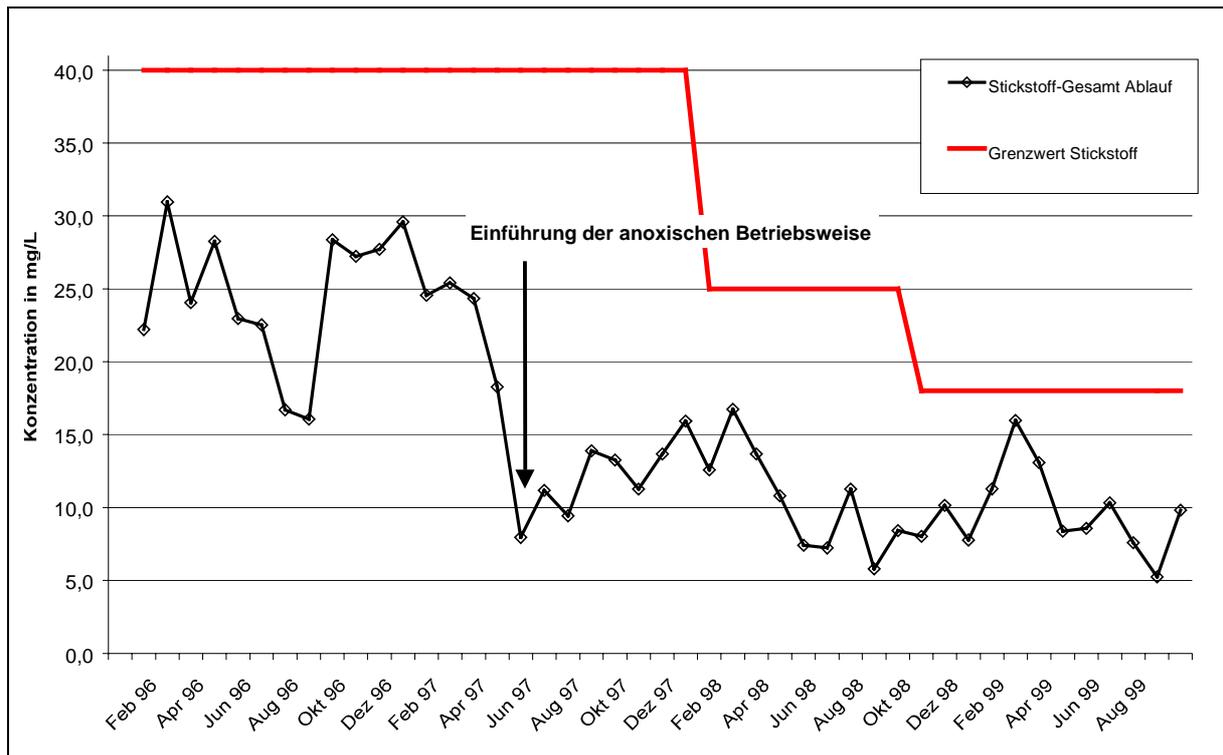


Abbildung 4: Ablaufwerte biologische Kläranlage Forschungszentrum Karlsruhe (Monatsmittelwerte) für Stickstoff und Phosphor Januar 1996 - September 1999

6.2 Erhöhung des BSB/N-Verhältnisses im Zulauf

Wie die Untersuchung an der Kläranlage ergab, besitzt der Zulauf ein BSB/N Verhältnis von 2-3, welches zu belastungsschwachen Zeiträumen teilweise noch darunter liegt. Die Durchführung einer stabilen weitergehenden Stickstoffelimination ist bei diesem Verhältnis kaum möglich. Bei einem Verhältnis < 4 wird vielfach der Einsatz von externen Kohlenstoffquellen empfohlen [Pöpel, H.J. 1995].

Vor dem Einsatz von externen Kohlenstoffquellen sollte jedoch geprüft werden, ob alternative Maßnahmen zur Verbesserung des BSB/N-Verhältnisses [Hillenbrand, T. 1996] möglich sind:

- **Umfahrung oder Verkleinerung der Vorklärung**
- **Vergrößerung des Denitrifikationsvolumens durch Nutzung freier Beckenvolumina** (z.B. Nutzung der Vorklärung als Denitrifikation)
- **Einsatz interner C-Quellen (z.B. versäuerter oder hydrolisierter Primärschlamm)**

Da die biologische Kläranlage im Forschungszentrum Karlsruhe keine Vorklärung besitzt und bereits genügend Denitrifikationsvolumen vorhanden ist, kam nur der Einsatz von externen Kohlenstoffquellen in Betracht.

6.2.1 Anforderungen an externe Kohlenstoffquellen

Als externe Kohlenstoffquelle sollten aus Kostengründen und im Hinblick auf die Schließung interner Stoffkreisläufe keine industriell hergestellten Kohlenstoffquellen, sondern innerbetrieblich anfallende Reststoffe verwendet werden. Gerade beim Einsatz von Reststoffen muss verstärkt geprüft werden, ob die Anforderungen für den praktischen Einsatz als externe Kohlenstoffquellen erfüllt werden können [Schulze-Rettmer 1994]:

- **möglichst geringer spezifischer Substratbedarf (g C-Quelle/g ΔN)**
- **geringe Kosten**
- **einfache Handhabung (Lagerung, Sicherheitsmaßnahmen)**
- **Verfügbarkeit**
- **gleichmäßige Zusammensetzung**
- **keine/geringe Verunreinigungen**

6.2.2 Vergleich verschiedener Kohlenstoffquellen

Je nach Problemstellung und Eignung der Reststoffe muss entschieden werden, welche Art der C-Quelle im Einzelfall eingesetzt werden soll. Tabelle 2 (verändert nach Baumann, Kauth 1993) gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile einzelner interner und externer Kohlenstoffquellen.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von verschiedenen internen und externen Kohlenstoffquellen (verändert, nach Baumann, Krauth 1993)

	Vorteile	Nachteile
<u>interne Kohlenstoffquelle</u>		
z.B. versäuerter/ hydrolysiertes Primärschlamm	<ul style="list-style-type: none"> niedrige Kosten kein Eintrag von Fremdstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> Gefahr des zusätzlichen N-Eintrages ggf. keine konstante Zusammensetzung
<u>externe C-Quelle industriell hergestellt</u>		
Methanol	<ul style="list-style-type: none"> häufig untersucht geringer Preis geringer Schlamm-Mehranfall 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptation der Biozönose notwendig toxisch, niedriger Flammpunkt
Ethanol	<ul style="list-style-type: none"> keine/kaum Adaptation der Biozönose notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> höherer Schlamm-Mehranfall als bei Methanol toxisch, niedriger Flammpunkt teurer als Methanol
Acetat	<ul style="list-style-type: none"> keine/kaum Adaptation der Biozönose notwendig geringer Schlamm-Mehranfall 	<ul style="list-style-type: none"> hoher Substratbedarf teurer als Methanol/Ethanol
Acetol 20	<ul style="list-style-type: none"> keine/kaum Adaptation der Biozönose notwendig kein Ex-Schutz notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> teurer als Methanol/Ethanol
<u>industrielle Reststoffe</u>		
z.B. Brauereiabwasser Industrieabwasser	<ul style="list-style-type: none"> meist kostenlos kein Energie- und Ressourcenverbrauch bei der Herstellung 	<ul style="list-style-type: none"> ggf. keine konstante Zusammensetzung Kontrolle über Qualität und Verunreinigungen erforderlich ggf. Probleme bei der Verfügbarkeit im Vorfeld Laborversuche zur Dosierung erforderlich

6.2.3 Beispiele von Reststoffen als externe Kohlenstoffquelle

Es gibt zahlreiche Überlegungen welche industriellen Reststoffe als externe C-Quelle geeignet sind. Folgende Auflistung zeigt einige Beispiele für derartige C-Quellen:

- **Glycolhaltige Abwässer aus der Chemieproduktion**
[Socher, R. – Kommunalwirtschaft 9/91]
- **Getränkeindustrie:**
 - **Restentleerung von Mehrwegflaschen**
 - **Überlagerte Getränke**
 - **Produktfehlchargen**
 - **Reinigungswasser von Lagertanks**
(Carbocycle Prozess, TU Claustal)
- **Brauereiabwässer (50% Alkohol, 100 g/l Bierhefezellen)**
- **KFZ-Kühlerflüssigkeit 20-30% Ethylenglycol)**
[Martienssen, M. – KA 1997 (44) Nr. 9]
- **Kühlschmierstoffe (Permeate aus Ultrafiltration)**
[Schuch, R. et al. - KA 2000 (47) Nr. 1]
- **Molkepulver (Laktose)**
[Abend, R. 1996]
- **Abwasser aus der Backwaren-, Eisproduktion (zuckerhaltig)**
[Abend, R. 1996]

6.2.4 Kantinenabfälle als externe Kohlenstoffquelle

Im Forschungszentrum Karlsruhe wurden verschiedene innerbetrieblich anfallende Reststoffe bezüglich der Anforderungen an externen Kohlenstoffquellen geprüft. Hierbei zeigten sich die Kantinenabfälle des Forschungszentrums Karlsruhe geeignet.

Pro Jahr (ca. 200 Arbeitstage) fallen ca. 40 t Kantinenabfälle an, die derzeit als Co-Substrat bei der Faulung in einer Kläranlage außerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe verarbeitet werden. Eine gezielte Dosierung der Gesamtmenge der Abfälle zu den belastungsschwachen Zeiträumen kann die Schwankungen des BSB/N-Verhältnis ausgleichen.

Durch Einsatz als externe Kohlenstoffquelle können zusätzlich budgetrelevante Kosten von ca. 15 TDM/a eingespart werden (Entsorgungs- und Transportkosten, Kosten für die externe Kohlenstoffquelle, die während längerer arbeitsfreier Zeiträume dosiert wird).

6.2.4.1 Zusammensetzung der Kantinenabfälle

Die Kantinenabfälle werden in der Kantine zerkleinert und vergoren. Bei diesem Prozess werden polymere Inhaltsstoffe, wie Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße in verschiedene organische Säuren, Alkohole und Essigsäure umgesetzt. Diese Stoffe stellen eine sehr gute Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation dar.

Tabelle 3 zeigt eine Analyse der Kantinenabfälle. Zusätzlich ist in der Tabelle die zu erwartende erhöhte Tagesfracht der jeweiligen Komponente angegeben, wenn die täglich anfallende Abfallmenge in der Kläranlage verarbeitet wird.

Durch den CSB-Anteil von 177 g/kg und einem Stickstoffanteil von etwa 3 g/kg kann das BSB/N-Verhältnis im Zulauf der Kläranlage durch Zugabe des Kantinenabfalls verbessert werden.

Tabelle 3: Wichtige Analysedaten der Kantinenabfälle und zu erwartende Tagesfrachten

Parameter	Mittelwert aus 4 Proben	zusätzliche Tagesfracht ¹ bei Zugabe der Kantinenabfälle in kg/d	Gesamt Tagesfracht Zulauf Kläranlage in kg/d
pH-Wert	3,6	-	-
Dichte	1,0 kg/L	-	-
Trockensubstanz (105 °C)	ca. 10 Gew.-%	26	-
CSB	180 g/kg	35	140
TOC (filtriert)	20 g/kg	4,0	-
BSB ₅	50-100 g/kg	14	ca. 110
Stickstoff organisch	3,0 g/kg	0,6	25
Stickstoff anorganisch	n.n.	-	<1
Essigsäure	4,0 g/kg	0,8	-
Ethanol	0,6 Vol-%	1,0	-
Phosphor	4,0 g/kg TS	0,1	4

1 : bei einem Anfall von 200 kg/d an Werktagen n.n.: nicht nachweisbar

6.2.4.2 Bestimmung des spezifischen Substratbedarfes

Ein Kriterium zur Beurteilung der „Qualität“ von externen C-Quellen ist der spezifische Substratbedarf (kg/kg Δ NO₃-N). Er gibt auch eine Auskunft über die Kosten, die entstehen wenn eine vorgegebene Menge Nitrat angebaut werden soll.

Der spezifische Substratbedarf der Denitrifikation wurde aus Batchversuchen ermittelt. Die Werte für Na-Acetat lagen hierbei bei 5,3 g/g N, was in etwa Literaturangaben entspricht [Baumann, Krauth, 1993 und Schulze-Rettmer, Schülingkamp, 1994]. Der spezifische Substratbedarf der Kantinenabfälle liegt bezogen auf die Trockensubstanz ca. 50% über dem Acetatverbrauch und in einem ähnlichen Bereich wie bei Glucose (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich von externen C-Quellen; Angaben z.T. nach Baumann, Krauth (1993), Schulze-Rettmer, Schülingkamp (1994)

	Dimension	Na-Acetat	Kantinenabfälle	Glucose
TOC	g/g	ca. 0,4	0,02	ca. 0,4
Dosierung	g TS/gΔN	3,5 (berechnet) 4,4 - 5,0 (Überdosierung in Praxis) 5,3 (eigene Messungen)	 7 - 10 (eigene Messungen)	 ca. 9,0 (eigene Messungen)

Berücksichtigt man jedoch die Originalsubstanz der Kantinenabfälle mit 90% Wassergehalt, so liegt der spezifische Substratbedarf ca. 15-20 mal über dem von Acetat. Im Gegensatz zu industriell hergestellten C-Quellen spielt die Dosiermenge bei Reststoffen, die kostenlos zur Verfügung stehen eher eine untergeordnete Rolle. Wichtiger ist jedoch das für die Dosierung benötigte Speichervolumen, welches sich deutlich auf die Investitionskosten auswirken kann.

6.2.5 Dosierung von Kantinenabfällen als externe Kohlenstoffquelle

Zur Verbesserung des BSB_5/N -Verhältnisses für eine Denitrifikation wurden als externe Kohlenstoffquelle versuchsweise die vergorenen Bioabfälle (Kantinenabfälle) des Forschungszentrums in die Betriebsanlage dosiert.

Aufgrund der zusätzlich benötigten Menge an BSB muss die gesamte in der Kantine anfallende Menge an Lebensmittelabfällen (100%) in die Denitrifikation dosiert werden. Um den Belebtschlamm langsam an das Substrat zu adaptieren und die Auswirkungen auf die Betriebskläranlage besser untersuchen zu können wurde die Dosierung mit 30% der Gesamtmenge begonnen und anschließend auf 50% erhöht. Eine weitere Steigerung der Dosiermengen wurde 1998 nicht vorgenommen.

6.2.5.1 Nitrat im Ablauf der Kläranlage

Die Dosierung von 30% der anfallenden Menge der Lebensmittelabfälle bewirkt keine signifikante Erhöhung des BSB_5/N -Verhältnisses, wodurch keine deutlichen Auswirkungen auf die Nitratwerte im Ablauf sichtbar werden. Durch die Dosierung von 50% der in der Kantine anfallenden Tagesmenge konnten die Nitrat-N-Ablaufwerte von ca. 10 mg/L N, weiter auf ca. 7 mg/L N gesenkt werden (Abbildung 5).

Das BSB_5/N Verhältnis erhöhte sich von durchschnittlich 2,8 auf durchschnittlich 3,4, wobei aufgrund der kontinuierlichen Dosierung der Kohlenstoffquelle noch starke Schwankungen im BSB_5/N -Verhältnis des Zulaufs auftraten. Diese Schwankungen spiegeln sich in der Nitrat-Ablaufkonzentration deutlich wieder (Abbildung 5).

Die Nitratkonzentrationen im Denitrifikationsbecken lagen während der Dosierung unter 2 mg/L N. Durch den Einbau einer flexiblen internen Rezirkulation kann jedoch mehr Nitrat in das Denitrifikationsbecken gefördert werden, wodurch die vorhandene Denitrifikationskapazität ausgeschöpft werden kann. Hierdurch wird eine weitere Verbesserung der Ablaufwerte erwartet.

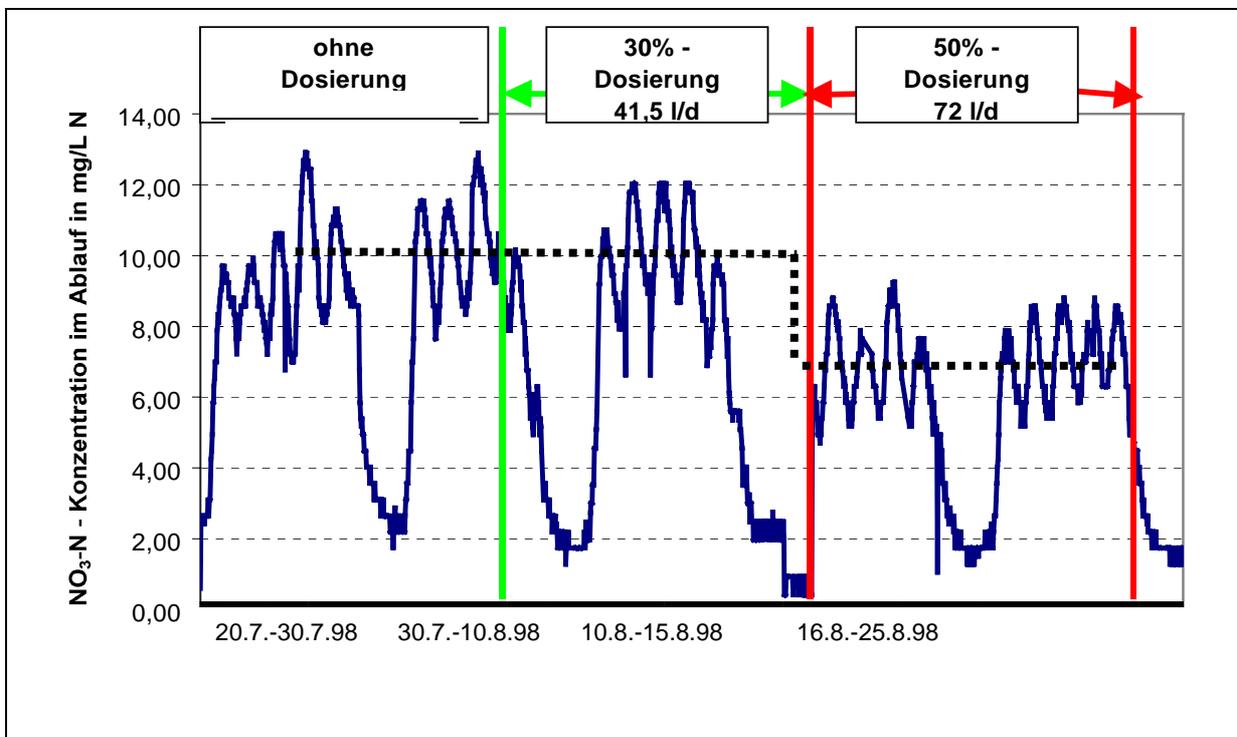


Abbildung 5: Verlauf der Nitrat-N Konzentration im Ablauf der biologischen Kläranlage vor und während der Kantinenabfalldosierung (20.7.-25.8.1998)

Bei einer Dosierung der Gesamtmenge an Kantinenabfällen (100%) konnten die Nitrat Ablaufwerte nicht weiter gesenkt werden, da ,wie beschrieben, nicht genügend Nitrat in das Denitrifikationsbecken gefördert werden konnte.

6.2.5.2 Das Redoxpotential als Steuerparameter

Eine Vergleichmäßigung der schwankenden Nitratblaufwerte (Abbildung 5) kann durch konstantes BSB/N-Verhältnis im Zulauf über eine Steuerung der Dosierung der Kantinenabfälle erreicht werden. Die Steuerung kann über verschiedene Parameter, wie z.B. über die Nitrat-N Konzentrationen im Ablauf des Denitrifikationsbeckens oder über den Kohlenstoffgehalt im Denitrifikationsbecken erfolgen.

In Hinblick auf die Kosten soll das Meßgerät zur Erfassung der Regelparameter möglichst geringe Investitionskosten, geringen Wartungsaufwand und geringe Betriebskosten für Chemikalien oder Ultrafiltration aufweisen. Im Gegensatz zu Messgeräten mit Probenaufbereitung stellen somit Meßsonden ein preisgünstiges Meßsystem dar. Unter diesen Voraussetzungen wurde geprüft, ob, anstelle der üblichen Messwerterfassung über ein Nitrat On-Line-Messgerät auch der Einsatz einer Redox-Sonde zur Steuerung der Dosierung möglich ist.

Das Redoxpotential erfasst indirekt alle Konzentrationsänderungen im Medium und ist ein sehr einfaches Meßsystem. Durch Messungen in der Betriebskläranlage konnte gezeigt werden, dass der Verlauf des Redoxpotentials im Denitrifikationsbecken mit dem Verlauf der Nitrat-N (Abbildung 6) und der TOC-Konzentration (Abbildung 7) korreliert.

Die Nitrat-N Konzentrationen im Denitrifikationsbecken lagen in den meisten Fällen unter 1 mg/L N, wobei sowohl bei der Nitrat-N Konzentration als auch beim Redoxpotential die Spitzen täglich zwischen 4⁰⁰ und 8⁰⁰ Uhr und die minimalen Konzentrationen um ca. 16⁰⁰ Uhr auftraten (Abbildung 6).

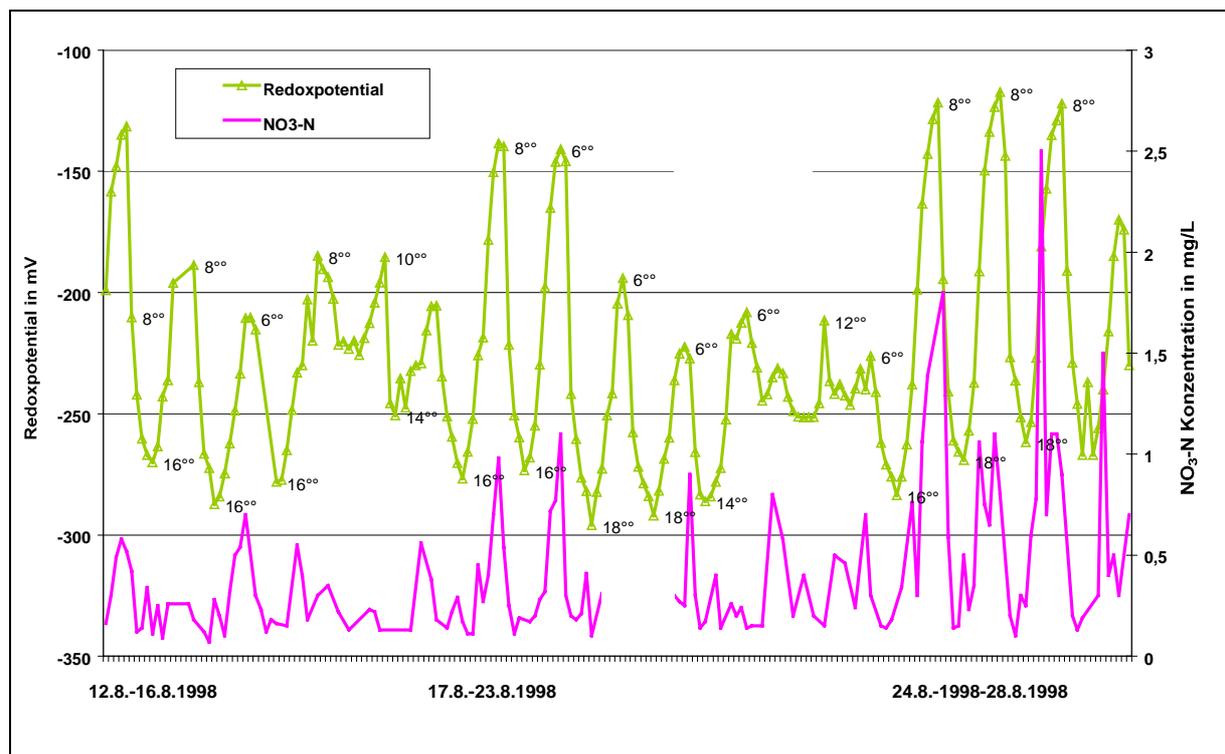


Abbildung 6: Verlauf der Nitrat-N Konzentration und des Redoxpotentials im Denitrifikationsbecken mit Kantinenabfalldosierung

Das Redoxpotential und die Nitrat-N Konzentration zeigen im Vergleich zum TOC einen gegenläufigen Verlauf der Kurven (Abbildung 7). Es besteht also eine gute Korrelation zwischen der TOC-, der Nitrat-N Konzentration und dem Redoxpotential im Denitrifikationsbecken. Der Höhe des Redoxpotentials kann jedoch keine TOC- oder Nitrat-Konzentration zugeordnet werden. Ob unter diesen Bedingungen eine Steuerung und Regelung der Dosierung möglich ist wird derzeit genauer untersucht.

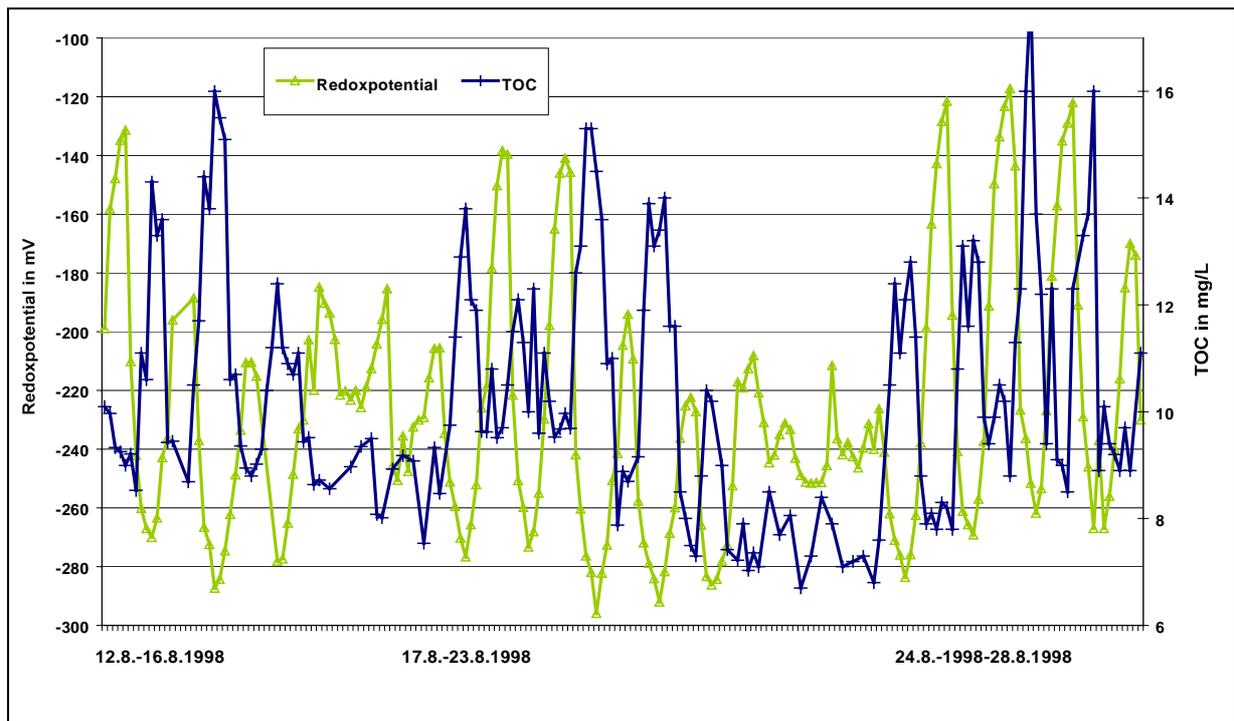


Abbildung 7 : Messwerte des TOC und des Redoxpotentials im Denitrifikationsbecken mit Kantinenabfalldosierung

6.2.5.3 Bedarf an vorvergorenen Kantinenabfällen

Die Menge der im Forschungszentrum Karlsruhe vorhandenen Kantinenabfälle (ca. 40 t/a) reicht bei einer bedarfsgesteuerten Dosierung zur Verbesserung der Denitrifikation aus. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die benötigte Dosiermenge je nach Zulaufbelastung und Jahreszeit stark schwankt. Für die Wintermonate, in denen ein erhöhter Bedarf besteht, und für längere arbeitsfreien Zeiträume ist eine Lagerhaltung sinnvoll. Diese ist, aufgrund des hohen Wassergehalts der Bioabfälle (ca. 90%), derzeit nicht umsetzbar.

Bei einem erhöhten Bedarf an Kohlenstoffquellen, z.B. für eine vermehrte biologische Phosphorelimination oder die Behandlung von stickstoffreichen Sonderwässern, müssen neben der vorhandenen Menge noch zusätzliche Kohlenstoffquellen dosiert werden. Hierbei wäre es denkbar Kantinenabfälle aus anderen Betrieben einzusetzen.

6.2.5.4 Überschussschlammproduktion

Beim Belebtschlammverfahren ist die Überschussschlammproduktion vor allem von der zugeführten Menge an BSB_5 abhängig. Daneben entsteht Überschussschlamm z.B. durch die Dosierung von Fällmitteln zur Phosphatelimination. Durch die Dosierung der Kantinenabfälle wurden bei der Dosierung von 72 L/d zusätzlich 5-7 kg BSB_5 /d eingetragen. Dies bedeutet einen rechnerischen Schlamm-Mehranfall von ca. 1,5 kg/d (bei 20°C).

Die durchschnittliche abgezogene Überschussschlammmenge während der Dosierung 1998 betrug 22 m³/d im Gegensatz zu 24 m³/d ohne Dosierung. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Temperaturen in der Kläranlage während der Dosierung etwas höher lagen als ohne die Dosierung. Nach dem theoretischen Ansatz ergibt sich bei steigenden Temperaturen ein Rückgang der Überschussschlammproduktion [ATV 1997].

Zusätzlich ging der Bedarf an Fällmittel ebenfalls von ca. 25 kg/d auf ca. 16 kg/d zurück. Inwieweit Temperatureffekte hierbei eine Rolle spielen oder aufgrund der geringen Belastung der Anlage und dem verbesserten BSB/N Verhältnis (sehr niedrige Nitrat Konzentrationen in der Denitrifikation) bereits teilweise eine vermehrte biologische Phosphatelimination stattfinden konnte nicht abschließend geklärt werden.

6.2.5.5 Betriebserfahrungen mit der Dosierung der Lebensmittelabfälle

Wie die niedrigen Konzentrationen an Nitrat-N im Denitrifikationsbecken zeigen sind die Kantinenabfälle als externe Kohlenstoffquelle prinzipiell geeignet. Durch die Dosierung treten keine Geruchsprobleme auf der Anlage auf. Beim Versuchsbetrieb 1998 zeigte sich jedoch, dass eine zusätzliche Zerkleinerung der vergorenen Kantinenabfälle notwendig ist. Nach dem Einsatz eines Homogenisators konnte 1999 problemlos dosiert werden.

Die Dosierung wurde bis Oktober 1999 durchgeführt. Aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen und den nicht vergorenen Fettbestandteilen in den Kantinenabfällen kam es zu einer starken Vermehrung fadenbildender Mikroorganismen. Diese besitzen eine hydrophobe Zelloberfläche, weshalb sich im Nitrifikationsbecken eine stabile Schaumdecke ausbildete. Aufgrund dieser Probleme und des drohenden Einfrierens der Kantinenabfälle wurde die Dosierung vorläufig abgebrochen.

6.2.5.6 Vorteile – Nachteile der Kantinenabfälle als externe C-Quelle

Wie die Betriebsversuche zeigen eignen sich die Kantinenabfälle des FZK gut als eine externe C-Quelle aus industriellen Reststoffen.

Vorteile:

- stehen kostenlos zur Verfügung
- keine/geringe Verunreinigungen enthalten
- budgetrelevantes Einsparungspotential
- BSB₅ von 50-100 g/L
Bei einem BSB₅ < 30-50 g/l sind die Transportkosten z.T. höher als der Zukauf von marktgängigen industriell hergestellten C-Quellen [Abend 1996].
- Reststoffverwertung innerhalb der Firmengeländes

Nachteile:

- aufgrund des Wassergehaltes im Vergleich zu Acetat deutlich höherer spezifischer Substratbedarf (bezogen auf die Originalsubstanz der Kantinenabfälle).
Dies kann jedoch durch die wesentlich geringeren Substratkosten kompensiert werden.
- Hoher Wassergehalt der Kantinenabfälle (ca. 90%)
Einfrieren der Kantinenabfälle im Winter
großes Dosier- und Lagervolumen notwendig

6.2.5.7 Untersuchungsbedarf

Aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen müssen zum routinemäßigen Einsatz der Kantinenabfälle noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden:

- Konzept zur optimalen Prozessführung der Vergärung, bei dem auch die Fette und Öle der Kantinenabfälle vollständig umgesetzt werden.
- Steuer- und Regelkonzept für die Dosierung, wobei möglichst einfache Regelparameter verwendet werden sollen.
- Reduktion des Wasseranteils unter Erhalt der kurzkettigen leicht abbaubaren organischen Inhaltsstoffe.

6.2.6 Möglichkeiten durch die Dosierung der Kantinenabfälle

6.2.6.1 Durchführung einer vermehrten biologischen Phosphatelimination

Der Phosphat-Grenzwerte von 3,0 mg/L P in der biologischen Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe können derzeit nur durch eine Simultanfällung, die einen vermehrten Schlammanfall und erhöhte Betriebskosten zur Folge hat, eingehalten werden. Durch Untersuchungen an einer Laborkläranlage konnte gezeigt werden, dass eine vermehrte biologische Phosphatelimination grundsätzlich möglich ist, obwohl der Zulauf starke hydraulische Schwankungen, hohe Ammonium- und Phosphatkonzentrationen und ein BSB/N-Verhältnis von 2-3 aufweist.

- Voraussetzung für eine funktionierende Phosphatelimination sind **Nitrat-N Konzentrationen im Rücklösebecken < 1 mg/l N**.
Derart niedrige Nitratwerte konnten in Vorversuchen nur mit dem Einsatz von externen Kohlenstoffquelle erreicht werden. Auch der C-Bedarf für eine gute Phosphatrücklösung konnte nur externe C-Quelle gedeckt werden.
- **Es konnten Phosphat-Ablaufwerte von < 3 mg/l P erreicht werden.**
Schwankungen der P-Zulaufkonzentrationen zeigten in der Laborkläranlage keine Auswirkungen auf den Ablaufwert. Ein stabiler Ablaufwert unter 3 mg/l P konnte jedoch nur mit einer Vergleichmäßigung der hydraulischen Zulaufschwankungen oder des BSB/N-Verhältnisses und einem ausreichendem Angebot an leicht abbaubaren C-Quellen erreicht werden. Die Kantinenabfälle des Forschungszentrum Karlsruhe eignen sich aufgrund des hohen Gehaltes an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen (v.a. Acetat) sehr gut als externe C-Quelle für eine biologische P-Elimination.
Optimale Ergebnisse konnten in der Laborkläranlage mit BSB (Messmethode: Oxitop von WTW) Konzentrationen im Zulauf von ca. 1500 mg/l O₂ (TOC ca. 450 mg/l) erreicht werden. Ohne die Dosierung der externen C-Quelle konnte keine biologische P-Elimination erreicht werden.
- Eine Vergleichmäßigung der Kohlenstoffbelastung kann durch eine **Steuerung der Kantinenabfalldosierung über das Redoxpotential im Anaerobbecken** erreicht werden.
Durch diese Maßnahme konnten unabhängig von der hydraulischen und stofflichen Belastung stabile Phosphorkonzentrationen von < 3,0 mg/L P eingehalten werden (Abbildung 8). Ein Zusammenhang zwischen der zu erwartenden Eliminationsleistung der Phosphorverbindungen und der Redoxspannung konnte, aufgrund der stark variierenden Zulaufbedingungen und der Vielzahl der Verbindungen, die auf das Redoxpotential Einfluss haben, in dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

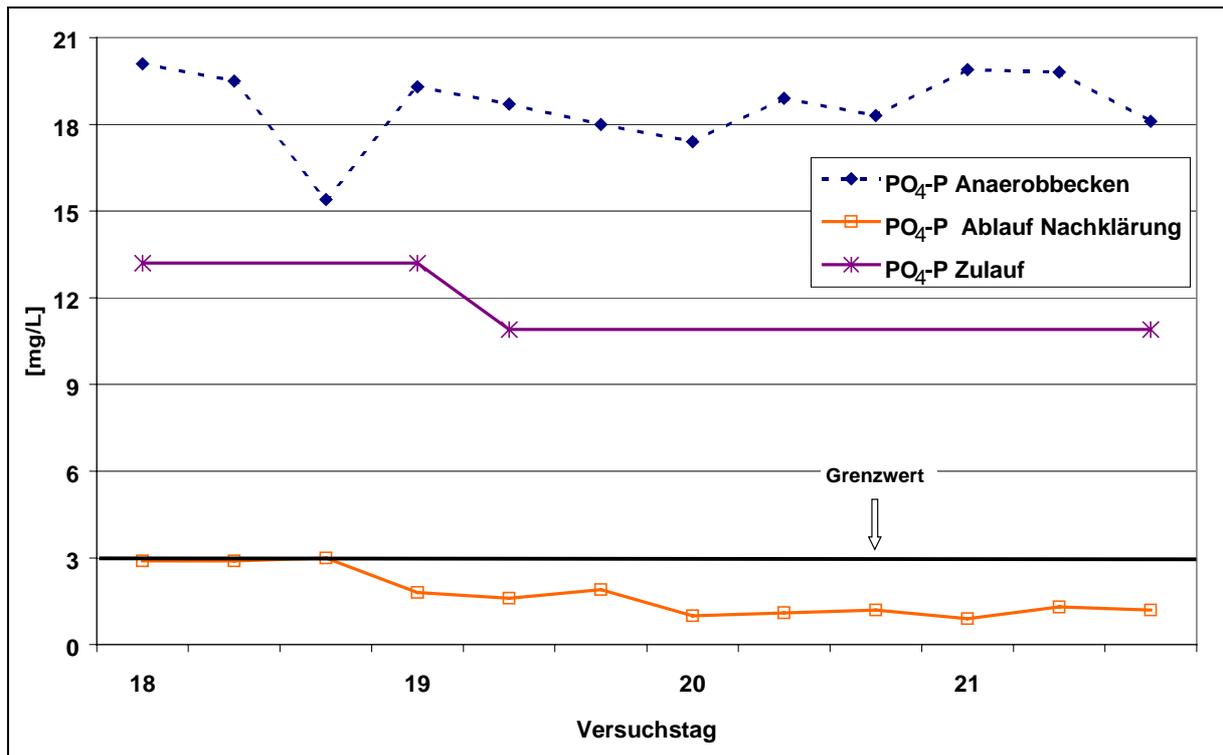


Abbildung 8: Biologischen Phosphatelimination in einer Laborkläranlage (Simulation der Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe), bei einem konstanten Redoxpotential von -400 mV

6.2.6.2 Behandlung von stickstoffreichen Sonderabwässern

In Laborversuchen wurde geprüft, ob eine Behandlung von 10.000 m³ Deponiesickerwasser pro Jahr ($\approx 40 \text{ m}^3/\text{Werktag}$) in der biologischen Kläranlage ohne eine Verschlechterung der Reinigungsleistung realisierbar ist [Bumiller, Kusche 1999].

Batchversuche zur Nitrifikationshemmung durch die Behandlung von Deponiesickerwasser aus einer Hausmülldeponie mit einer Konzentration von ca. 1g/L N haben ergeben, dass eine Zugabe von 80 m³ Deponiesickerwasser pro Tag ohne Schäden für die Nitrifikation möglich ist [Bumiller, Kusche 1999].

Die Versuche wurden in einer Laborkläranlage weitergeführt [Bumiller, Kusche 1999], wobei zusätzlich zum Zulauf (kommunales Abwasser), bezogen auf die Betriebskläranlage, 80 m³/d bzw. 40 m³/d jeweils kontinuierlich über 24 h, während der Belastungsphase von 9⁰⁰-17⁰⁰ und stoßweise 2x pro Tag dosiert wurden. Als Zulauf wurde Abwasser aus der Spitzenbelastung der biologischen Kläranlage Forschungszentrums eingesetzt, wobei die Ammoniumstickstoffkonzentration bis zu 50 % höher als die Durchschnittskonzentration war ("worst-case Simulation").

Da das TOC/NH₄-N Verhältnis im Zulauf bei der Zugabe von Deponiesickerwasser nur ca. 1 beträgt wurde als externe Kohlenstoffquelle unterschiedliche Mengen an Kantinenabfällen zugegeben. Im weiteren Versuchsverlauf wurde das TOC/NH₄-N Verhältnis des Zulaufs ohne Deponiesickerwasser mit ca. 4 eingestellt.

Zusätzlich wurde das Deponiesickerwasser im letzten Versuchsabschnitt mit Aktivkohle vorbehandelt. Dies sollte einerseits eine Geruchsbelästigung durch das Sickerwasser reduzieren und vorhandene Schadstoffe wie AOX und TOC bereits im Vorfeld der biologischen Behandlung minimieren. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Versuchsabschnitte.

Tabelle 5: Versuchsabschnitte der Deponiesickerwasserdosierung

Versuchsphase	Zugabe Fäkalzulauf	Zugabe Deponiesickerwasser	Zugabe Kantinenrückstände	Zeitraum der Deponiesickerwasserdosierung	TOC/NH ₄ -N-Verhältnis
1	3 L	0,8 L	—	kontinuierlich 24 h	ca. 2
2	3 L	0,8 L	8,8 g	kontinuierlich 24 h	ca. 1
2a	3 L	0,8 L	16 g	kontinuierlich 24 h	ca. 2,5
2b	3 L	0,8 L	25 g	kontinuierlich 24 h	ca. 3
3	3 L	0,4 L	16 g	kontinuierlich von 9 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	ohne Sickerwasser ca. 4, während Dosierung ca. 2
3a	3 L	0,4 L	8,8 g	kontinuierlich von 9 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	ohne Sickerwasser ca. 4, während Dosierung ca. 1
4	3 L	0,4 L	16 g	je 0,2 L um 11 ⁰⁰ u. 14 ⁰⁰	ohne Sickerwasser ca. 4, während Dosierung ca. 2
5	3 L	0,4 L mit 25 mg Aktivkohle vorbehandelt	16 g	je 0,2 L um 11 ⁰⁰ u. 14 ⁰⁰	ohne Sickerwasser ca. 4, während Dosierung ca. 2

Durch die Versuche konnte gezeigt werden, dass eine Mitbehandlung von Deponiesickerwasser in der biologischen Kläranlage prinzipiell möglich ist. Im einzelnen ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Die Nitrifikation war in keiner Versuchsphase gehemmt.
- Die Eliminationsleistung bezüglich Stickstoff ist ausschließlich vom TOC/NH₄-N-Verhältnis abhängig.
Im Zulauf zur Laborkläranlage betrug das TOC/NH₄-N-Verhältnis 1-2. Hiermit wurden, ca. 25% der anorganischen Stickstoffverbindungen eliminiert. Durch die Zugabe von Kantinenabfällen als externe Kohlenstoffquelle konnte die Eliminationsleistung, je nach Zulaufbedingungen des Deponiesickerwassers auf 65%-90% gesteigert werden. Die Ablaufwerte von anorganischen Stickstoff betragen bei einem TOC/NH₄-N-Verhältnis von 2-4 zwischen 20-40 mg/L N (Abbildung 9).
- Für einen guten Abbau der Stickstoff-Fracht aus dem Deponiesickerwasser werden, hochgerechnet auf die Betriebskläranlage **mindestens ca. 1600 L Kantinenrückstände** benötigt, wobei dies zur Einhaltung der Stickstoff-Grenzwerte noch nicht ausreicht. Dies entspricht in etwa der 14-fachen Menge der pro Tag zur Verfügung stehenden Menge an Kantinenrückständen.
- Der geforderte Ablaufwert von 75 mg/L CSB, umgerechnet ca. 25 mg/L TOC, kann nur bei einer **Vorbehandlung des Deponiesickerwassers** mit Aktivkohle erreicht werden (Abbildung 9). Die TOC-Abbauraten des nicht vorbehandelten Deponiesickerwassers betragen aufgrund des relativ hohen Anteils an schwer abbaubaren Verbindungen nur ca. 85%.

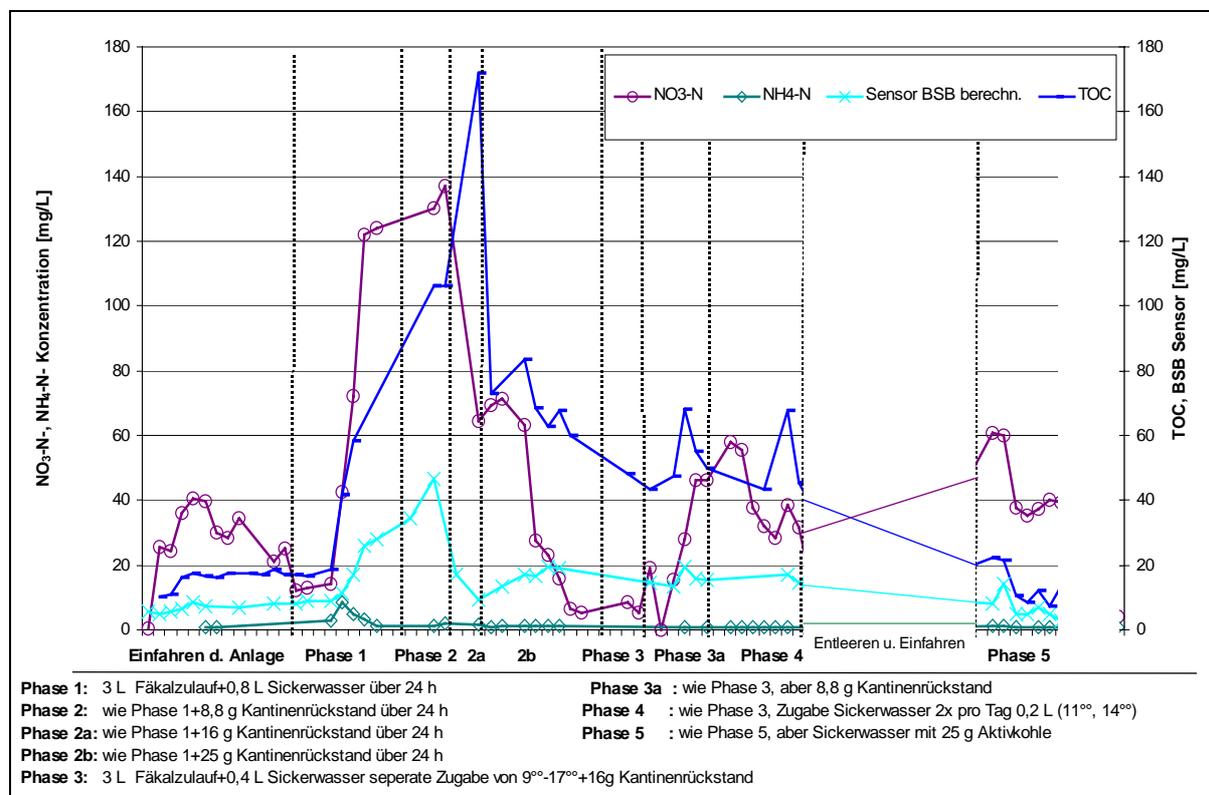


Abbildung 9: Ablaufwerte der Laborkläranlage bei der Dosierung von Deponiesickerwasser, 8°-Werte

7 Literatur

Abend, R.; Malchow, T.; Eckstein, J. (1996): Industrieabwässer als Substrat für die Denitrifikation. Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr. 4, S. 597-604

Ansbach, T. (1997): Untersuchungen zur Simulation und Optimierung der Stickstoff- und Phosphatelimination in einer biologischen Kläranlage. Diplomarbeit am Institut für Technische Chemie – Bereich Wasser- und Geotechnologie, Forschungszentrum Karlsruhe

Baumann, P.; Krauth, K. (1993): Dosierung von Kohlenstoffverbindungen bei der weitergehenden Stickstoffelimination. KA Nr. 11

Bohn, Th. (1997): Aktuelle Betriebskosten von Abwasser-Behandlungsanlagen mit weitergehender Reinigung. Schriftenreihe WAR 102, 52. Darmstädter Seminar Abwassertechnik - Senkung der Betriebskosten von Abwasserbehandlungsanlagen, Verein zur Förderung des Instituts WAR, Darmstadt

Bumiller W., Kusche I. (1999): Unveröffentlichter Bericht Bereich Technische Infrastruktur, Abteilung Ver- und Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe

Dekorsi, P. (1998): Untersuchung zum Einsatz der erhöhten biologischen P-Elimination in der Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe. Diplomarbeit an der FH Hamburg, Fachbereich Naturwissenschaftliche Technik.

Fernández, M. J. (1999): Untersuchung zur Optimierung der Nitratelimination durch die Dosierung von Kantinenabfällen als externe Kohlenstoffquelle in der biologischen Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe. Diplomarbeit an der Hochschule für Technik Karlsruhe (FH), Fachbereich Mechatronik in Zusammenarbeit mit der Universität Oviedo, Spanien

Hillenbrand, T. ; Böhm E. (1996): Maßnahmen zur Verbesserung der Denitrifikation. Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr. 3, S. 393-404

Hippen, A.; Obenaus, F.; Seyfried, C. F. (1996): Primärschlammversäuerung als Option zur Verfahrensoptimierung bei bestehenden Anlagen. awt Nr. 5, S. 25-29

Hulsbeek, J.; Kunst, S. (1994): Untersuchungen wichtiger biologischer Umsatzgeschwindigkeiten belebter Schlämme als Voraussetzung der Bemessung. Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr.1, S. 42-47

Lützner, K., Möller, F.W. (1996): Möglichkeiten zur Betriebsoptimierung bei unterbelasteten Abwasserbehandlungsanlagen. Schriftenreihe WAR 91, 7. Darmstädter Seminar Abwassertechnik, Verein zur Förderung des Instituts WAR, Darmstadt

Martienssen, M.; Simon, J.; Schulze, R. (1997): Untersuchungen zum Einsatz von aufbereiteter Kfz-Kühlerflüssigkeit als H⁺-Donator bei der biologischen Sicherwasserbehandlung. Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr. 9, S. 1622-1627

Mudrack, K.; Kunst, S. (1994): Biologie der Abwasserreinigung. 4. überarb. Auflage, Karlsruher Fischer-Verlag, Stuttgart

Pöpel, H.J. (1995): Stickstoffelimination – mit oder ohne externe Substrate – Notwendigkeiten und Möglichkeiten. Schriftenreihe WAR 85, 43. Darmstädter Seminar Abwassertechnik - Stickstoffelimination mit oder ohne externe Substrate?, Verein zur Förderung des Instituts WAR, Darmstadt

Pollatz, T. (1999): Untersuchungen zum Einsatz der biologischen Phosphatentfernung auf der Kläranlage des Forschungszentrums Karlsruhe. Vertieferarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe

Rautenbach, R., Voßenkaul, K., Melin, T., Ohle, P. (2000): Perspektiven der Membrantechnik bei der Abwasserbehandlung. In: Rautenbach, R., Melin, T., Dohmann, M. (2000): Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung: technische Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, Begleitbuch zur 3. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Klenkes, Aachen 8.-9.2.2000, S. A25 1-24

Schuch, R., Winter, J., Gensicke, R., Merkel, K. (2000): Reinigung eines Industrieabwassers im Festbett und in einem kombinierten Festbett-/Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr. 1, S.97-102

Schulze-Rettmer, R.; Schülingkamp, E. (1994): Denitrifikation mit externen C-Quellen. Suspensionsverfahren. Korrespondenz Abwasser Nr. 6, S. 926-935