

Einsparpotenziale bei der Reinigung von Deponiesickerwasser

Martin Denecke, Volker Rekers und Uwe Walter

LAMBDA Gesellschaft für Gastechnik mbH, Wuppertal

Saving potentials at the purification of landfill leachate

Abstract

How is it possible to optimise a functioning and stable working biological leachate treatment plant without considerable reconstruction measures but with generating extensive economies regarding the operating costs amounting to a 5-digit sum (Euro).

State-of-the-art regarding the biological nitrogen elimination in the area of the communal purification of waste water and landfill leachate is the combination of nitrification and denitrification accompanied by a more or less (cost-)intensive application of an external carbon source and corresponding production of a surplus activated sludge.

By systematic conversion of the environmental conditions, it is possible to establish microorganisms within the process, which use a pathway of nitrogen conversion that has been discovered not until the 90s. Under certain conditions, these *planctomycetes* are able to oxidise ammonia in the absence of oxygen – without detouring via a denitrification - to elemental nitrogen.

A concrete example of practical application shall point out that this “new” method can affect an enormous economy. In this particular case the operating costs could be reduced by more than 80.000 € per annum by the systematic conversion of the biological process.

Inhaltsangabe

Wie ist es möglich, eine funktionierende und stabil arbeitende biologische Sickerwasserbehandlungsanlage so zu optimieren, dass ohne größere Umbaumaßnahmen betriebskostenseitig Einsparungen im 5-stelligen Eurobereich generiert werden können?

Stand der Technik bei der biologischen Stickstoffelimination im Bereich der kommunalen Abwasser- wie auch der Deponiesickerwasserreinigung ist die Kombination von Nitrifikation und Denitrifikation, bei mehr oder weniger (kosten)intensivem Einsatz einer externen Kohlenstoffquelle und entsprechender Produktion von Überschussschlamm.

Durch gezielte Umstellung der Milieubedingungen ist es jedoch möglich, Mikroorganismen im System zu etablieren, die einen Weg der Stickstoffverwertung beschreiten, der erst in den 90er Jahren entdeckt wurde. Diese Planctomyceten sind unter bestimmten Voraussetzungen in der Lage, Ammoniumstickstoff in Abwesenheit von Sauerstoff - ohne Umweg über eine Denitrifikation zu elementarem Stickstoff - zu oxidieren.

Dass sich aus der Nutzung dieses „neuen“ Weges in der Praxis ein enormes Einsparpotential ergeben kann, soll an einem konkreten Anwendungsbeispiel aufgezeigt werden. Im vorliegenden Fall konnten die Betriebskosten durch eine entsprechende Umstellung der „Biologie“ um mehr als 80.000 € pro Jahr gesenkt werden.

Keywords

Nitrifikation, Vermeidung von Nitrat, Einsparung an Überschussschlamm / Energie / Verdichterleistung

Nitrification, prevention of nitrate, economy of surplus activated sludge / energy / compressor power

1 Einleitung

Deponiesickerwasser hat im Gegensatz zu kommunalem Abwasser ein für die biologische Reinigung ungünstiges C/N-Verhältnis. Das C/N-Verhältnis ändert sich mit dem Alter der Deponie. Bei relativ jungen Deponien ist der Gehalt an leichtabbaubarem BSB₅ aufgrund der sauren Gärung sehr hoch. Wird die Deponie älter, sinkt der Gehalt an BSB₅ im Sickerwasser. Widmann [1] gibt für den BSB₅ eine Spanne von 20 bis 40.000 mgO₂/L an. Stickstoff liegt im Deponiesickerwasser im Wesentlichen reduziert als Ammoniumstickstoff vor. Die Spanne der Konzentration ist beim Stickstoff wesentlich geringer als beim BSB₅. Im Prinzip sind auch die Abwässer aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen häufig stark mit Ammoniumstickstoff belastet. Tabelle 1 zeigt Messergebnisse aus der Literatur.

Tabelle 1 Hauptinhaltsstoffe von Abwässern aus Deponien, Kompostierungs- und Vergärungsanlagen und kommunaler Herkunft

	pH	LF mS/cm	CSB mg O ₂ /L	BSB ₅ mg O ₂ /L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	TKN mg/L
Deponie [1]	8,1	14,20	500 -25.000	20 – 40.000	950	k. A.	k. A.
Kompostierung [2, 3]	5,5 – 8,0	k. A.	5.000 – 80.000	5.000 – 46.000	400 – 1.300	2 – 36	k. A.
Vergärung [4, 5]	7,6 – 8,4	8 - 20	3.300 – 23.800	3.300 – 10.050	230 - 960	0,4	1395
Kommunal [6]	7 - 8	1,50	530	250	30 - 50	0,5	50 – 80

Widmann [1], Loll [2], Roth [3], Graja und Wilderer [4], Tidden und Faulstich [5], Henze et al. [6], k.A. = keine Angabe

Aufgrund des ungünstigen C/N-Verhältnisses im Deponiesickerwasser ist die Denitrifikation von Nitrat – insbesondere bei älteren Deponien – ohne die Zugabe einer externen Kohlenstoffquelle (meist Methanol oder Essigsäure) nicht möglich. Die Denitrifikationskapazität ist eine Kennzahl, die das Verhältnis von Stickstoff zu Kohlenstoff in einem Abwasser beschreibt. Die Zahl ist in der Stöchiometrie der Denitrifikation begründet. Um eine bestimmte Menge Nitrat zu Luftstickstoff zu reduzieren ist eine bestimmte Menge Kohlenstoff nötig. Bei der Bemessung von Kläranlagen geht man von einem Wert von 0,15 kg N/kg C aus [7], was einem C/N-Verhältnis von 6,66/1 entspricht. Wird der Anteil

an Stickstoff höher, kann eine Denitrifikation nicht mehr vollständig ablaufen. Aus diesem Grund muss man externe C-Quellen zum Abwasser zufügen. Externer Kohlenstoff verursacht Betriebskosten durch die Beschaffung, den zusätzlichen Belüftungsbedarf und den zusätzlichen Schlammanfall. Unter bestimmten Betriebsbedingungen kann Nitrit in Gegenwart von Ammonium zu Luftstickstoff umgewandelt werden. Die dazu notwendigen Bakterien aus der Gattung der Planctomyceten können empfindlich auf Sauerstoff reagieren und teilen sich relativ selten. Die Umstellung von der klassischen Denitrifikation/Nitrifikation hin zu einer anaeroben Oxidation von Ammonium mit Nitrit dauert zwar lange und verlangt Fingerspitzengefühl, hilft aber deutlich bei der Einsparung von Betriebskosten.

2 Anlagenbeschreibung

Die umgestellte Anlage behandelt das Deponiesickerwasser einer Deponie, auf der hauptsächlich Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle gelagert sind. Das Deponiesickerwasser wird zweistufig behandelt. In der ersten Stufe (Belebung) werden BSB_5 / abbaubarer CSB und das Ammonium biologisch abgebaut. In der zweiten Stufe werden biologisch nicht abbaubare Verbindungen mittels Aktivkohle zurückgehalten. Das Aktivkohlebett wird zusätzlich als Festbett genutzt, in dem ein nicht geringer Teil des Stickstoffs abgebaut werden kann. Das Abwasser wird zwischen den Anlagenteilen durch eine Ultrafiltration geleitet, so dass der Schlamm quantitativ in der Belebung verbleibt. Abbildung 1 zeigt das Schema der Anlage.

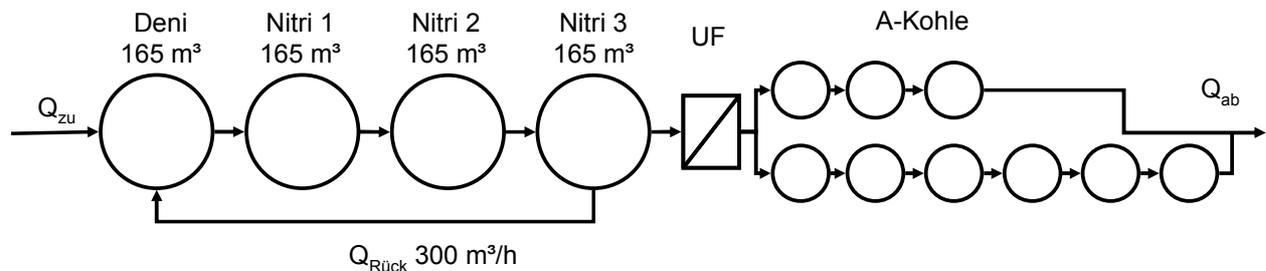


Abbildung 1 Schema der Deponiesickerwasserreinigungsanlage

Q_{zu} =Zufluss, Q_{ab} =Abfluss, Deni=Denitrifikationsstufe, Nitri=Nitrifikationsstufe, UF=Ultrafiltration, A-Kohle=Aktivkohlereaktoren, $Q_{Rück}$ =Rückführschlamm. Die Denitrifikation/Nitrifikation verkörpern die Belebtschlammbiologie.

Die Anlage wurde von der Firma LAMBDA im Rahmen eines Forschungsprojektes umgestellt und wurde dabei von der Universität Duisburg-Essen wissenschaftlich unterstützt. Dabei standen vor allem wirtschaftliche Überlegungen im Vordergrund. Während der Umstellungsphase nahmen die Zulaufmengen infolge der Abdeckung der Deponie ab. Für die Auswertung wurde dies durch die Bildung schadstoffbezogener Daten berücksichtigt.

3 Ergebnisse

Zu Beginn der Betriebsphase der Anlage im Jahr 2001 wurden ca. 2,1 kg Methanol/kg Stickstoff in die Denitrifikationsstufe zugegeben. Im Rahmen der Umstellung wurden die Methanolgaben und die Steuerung der Belüftung optimiert. Abbildung 2 zeigt die Abnahme des spezifischen Methanolverbrauchs im Rahmen der Anlagenumstellung.

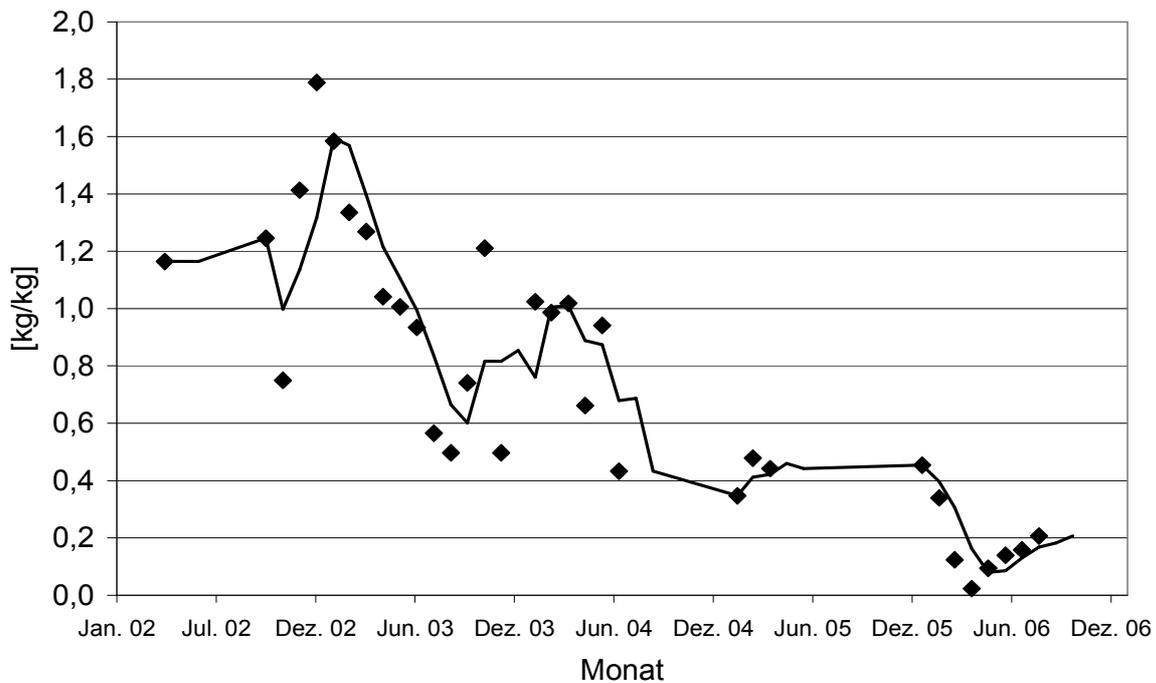


Abbildung 2 Verhältnis Methanolverbrauch zu in der Anlage abgebautem Stickstoff (Monatsmittel)

Abbildung 2 verdeutlicht, dass der auf N_{abgebaut} bezogene Methanolverbrauch stetig zurückgegangen ist. Wurden zu Beginn des Beobachtungszeitraumes noch bis zu 1,8 kg Methanol pro kg N_{abgebaut} verbraucht, so waren dies Mitte 2006 nur noch 0,3 kg. Die Abbaueffizienz für Stickstoff konnte sogar gesteigert werden, wie Abbildung 3 zeigt.

Abbildung 3 zeigt, dass die auf einen Monat gemittelten Abbauraten für Stickstoff trotz der Reduktion von Methanol angestiegen sind. Die Umstellung des Verfahrens von klassischer Denitrifikation auf anaerobe Ammoniumoxidation hat einen positiven Effekt auf die Umsatzraten erbracht.

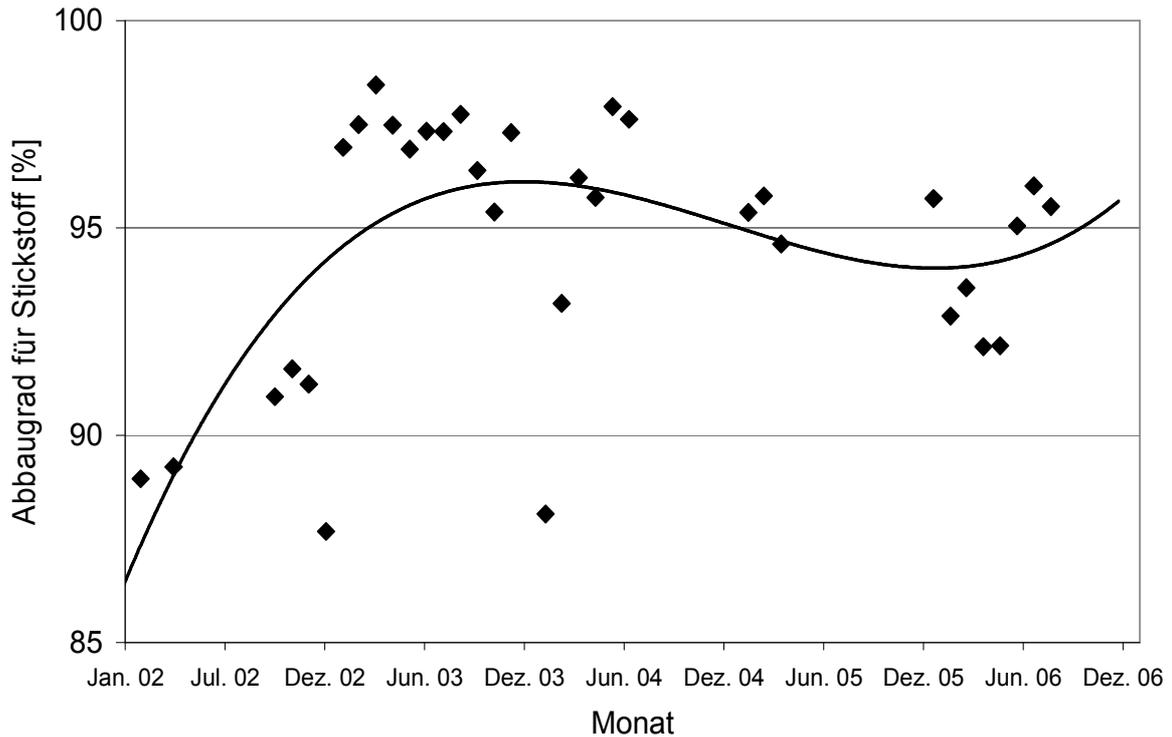


Abbildung 3 Abbaugrad für Stickstoff im Beobachtungszeitraum (Monatsmittel)

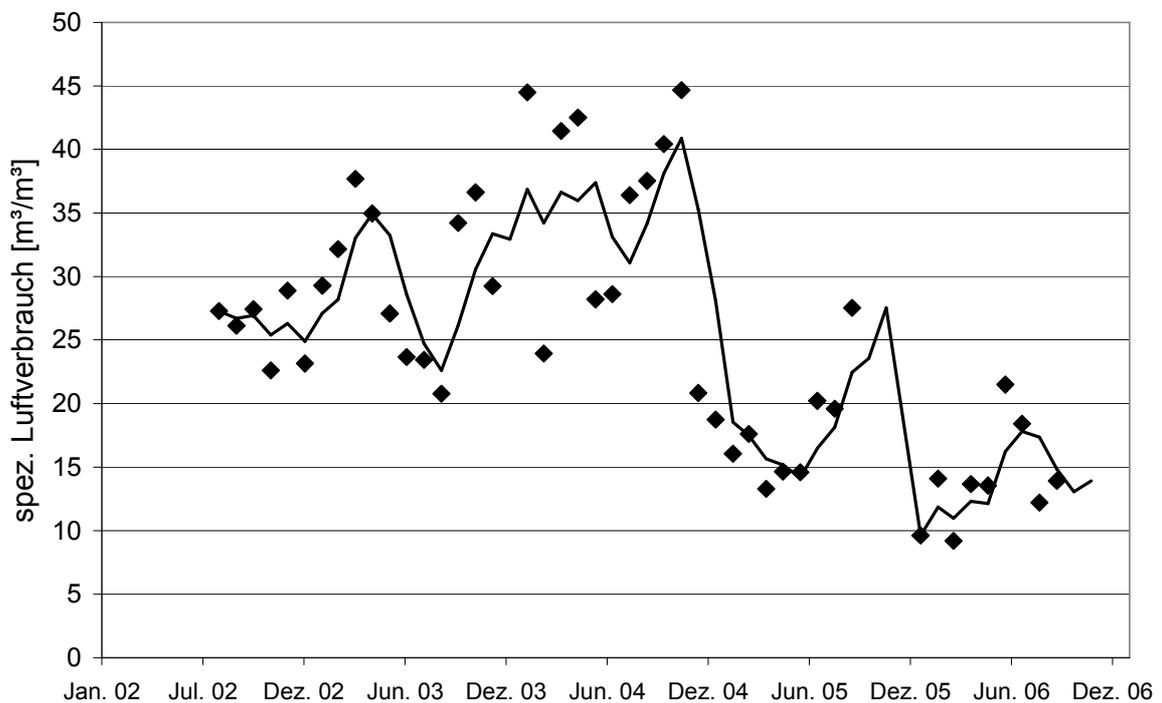


Abbildung 4 Spezifische Zuluftmengen in der Nitrifikationsstufe (Monatsmittel)

Da der Stickstoffabbau bei der anaeroben Ammoniumoxidation über Nitrit realisiert wird, muss auch weniger belüftet werden. Bei der Nitritation wird das Ammonium nur bis zur Stufe des Nitrits oxidiert. Dies reduziert den Energieverbrauch der Verdichter erheblich.

So konnte die Verdichterleistung, die zu Verfügung stehen muss, um die Hälfte gesenkt werden. Abbildung 4 zeigt die spezifischen Zuluftmengen.

Im Bereich der Nitrifikation erhöhte sich infolge der reduzierten Belüftung wunschgemäß der Anteil an Nitrit, welches zusammen mit dem Ammonium zu Luftstickstoff abgebaut wird. Die Belüftung ist so einzustellen, dass das Verhältnis von Ammonium und Nitrit optimal aufeinander abgestimmt ist und der abbaubare CSB noch entfernt wird. Die Ablaufkonzentrationen für CSB sind im Versuchszeitraum stabil geblieben, wie Abbildung 5 zeigt.

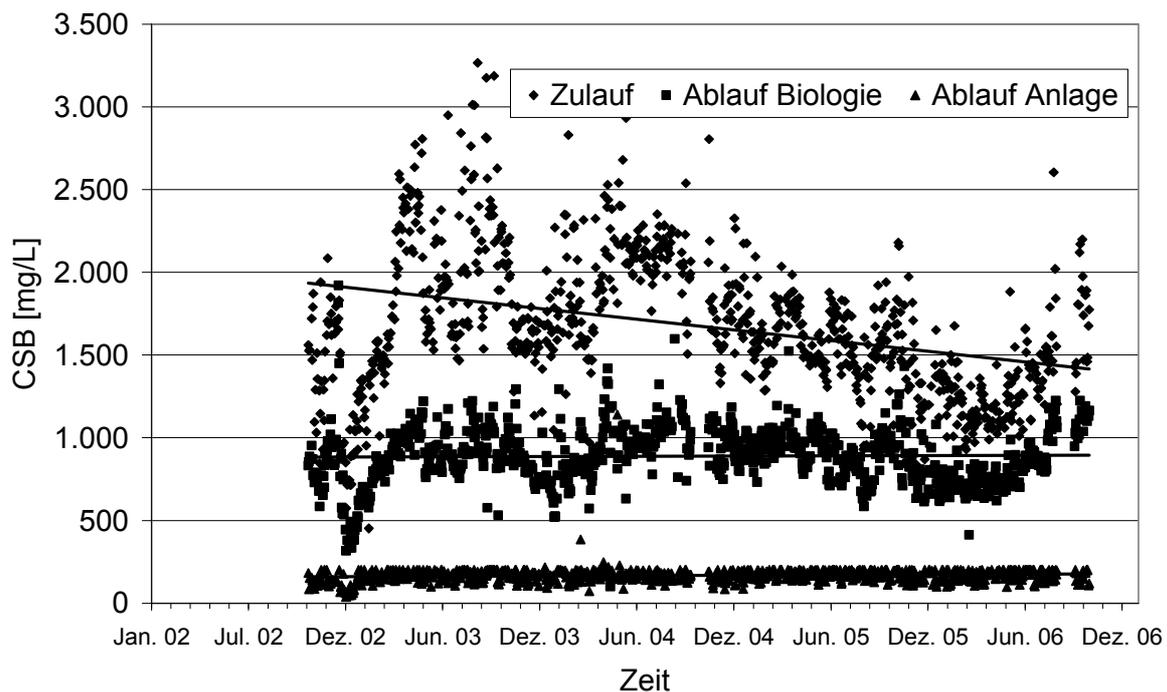


Abbildung 5 CSB-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage und im Ablauf der Belebtschlammbiologie. Der biologisch inerte Teil des CSB wird durch die Aktivkohlestufe zurückgehalten.

Abbildung 5 zeigt, dass die Umstellung der Anlage keinen negativen Effekt auf den Abbau des CSB hatte. Der inerte Teil des Kohlenstoffs wird von der Aktivkohle zurückgehalten. Zudem wird durch die Nutzung der Aktivkohle als Bioreaktor eine Bildung von Nitrit auf der Kohle verhindert. Hierdurch ist es möglich, auf eine Nachbiologie zu verzichten.

Neben Methanol und Energie für die Belüftung der Anlage ist auch der Überschussschlamm ein Kostenfaktor. Durch die Zugabe von Methanol erhöht sich der Überschussschlamm anfall entsprechend der zugegebenen Menge. Senkt man die Menge, sinkt auch der zu entsorgende Schlamm. Abbildung 6 zeigt die Abnahme des Schlamm anfalls infolge der Methanolreduktion.

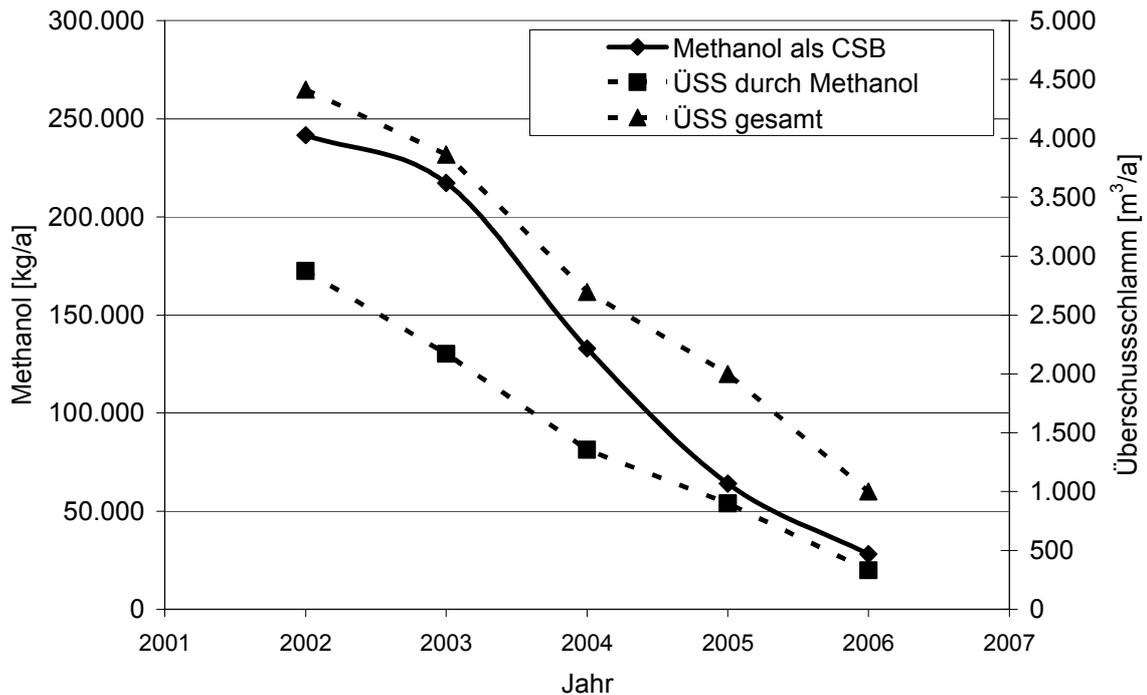


Abbildung 6 Abnahme des eingesetzten Methanols und der entsprechenden Überschussschlammmenge. Die Kurve oben zeigt die gesamte Menge an Überschussschlamm, die ebenfalls abgenommen hat.

Abbildung 6 zeigt, dass der mit der Methanolzugabe zusammenhängende Anteil an Überschussschlamm deutlich zurückgegangen ist.

Durch die Umstellung der Anlage auf den Betrieb mit anaerober Ammoniumoxidation konnten erheblich Betriebskosten reduziert werden. Tabelle 2 zeigt die betrachteten Betriebskosten der Jahre 2002 bis 2006.

Tabelle 2 Untersuchte Betriebskosten der Jahre 2002 bis 2006

		2002	2003	2004	2005	2006
Methanol	[€]	51.205	38.479	28.617	10.743	5.197
ÜSS	[€]	264.870	231.720	161.836	120.000	60.000
Strom Verdicht.	[€]	29.140	29.194	20.846	12.790	14.582
Summe	[€]	345.215	299.393	211.299	143.533	81.785
CSB _{abb.}	[kg]	129.516	169.500	131.520	78.180	56.652
CSB _{abb.}	[€/kg]	2,67	1,77	1,61	1,84	1,40
N _{abb.}	[kg]	189.651	160.333	143.087	107.027	120.265
N _{abb.}	[€/kg]	1,82	1,87	1,48	1,34	0,66
SiWa	[m³]	260.000	192.000	154.000	150.000	170.109
SiWa	[€/m³]	1,33	1,56	1,37	0,96	0,46

Da die Schadstofffrachten in den Jahren 2002 bis 2006 abgenommen haben, sind die Kosten spezifiziert worden auf den abgebauten CSB (CSB_{abb}), den abgebauten Stickstoff (N_{abb}) und das Sickerwasser (SiWa), das durch die Anlage geflossen ist. Die aktuellen Kosten sind der Spalte 2006 zu entnehmen. Im Jahr 2002 waren die spezifischen Kosten bezogen auf das Sickerwasser niedriger als im Jahr 2003. Dies ist mit den hohen Niederschlägen des Jahres 2002 zu erklären. Es wurde das Preisniveau von 2002 beibehalten.

Weitere Vorteile der Umstellung:

- Durch die Vermeidung des Einsatzes von Methanol als Kohlenstoffquelle entsteht wesentlich weniger Wärme, so dass es im Bereich einer Hochleistungsbiologie nicht so schnell zu Überhitzungen kommen kann.
- Die Nachbiologie wurde nicht in Betrieb genommen, da die Aktivkohle dessen Aufgabe übernommen hat.
- Es konnten drei Pumpen (Schlammkreislauf) mit einer Jahresleistung von 197.100Kw/h außer Betrieb genommen werden. Diese Ersparnisse wurden nicht berücksichtigt.
- Die Verdichter haben eine Leerlaufleistung zu Lastlaufleistung von $< 7\%$ und sind somit optimal ausgelastet.

4 Zusammenfassung

Eine Anlage zur biologischen Behandlung von Deponiesickerwasser ist innerhalb von drei Jahren auf den Betrieb mit anaerober Ammoniumoxidation umgestellt worden. Durch die Umstellung konnte der Einsatz von Methanol drastisch verringert werden. Die Reduktion von Methanol hat auch den Anfall an Überschussschlamm gesenkt. Da die anaerobe Ammoniumoxidation keinen gelösten Sauerstoff benötigt, konnten die Kosten für die Belüftung ebenfalls deutlich gesenkt werden.

Die anaerobe Ammoniumoxidation wird durch die Bakteriengruppe der Planctomyceten katalysiert. Diese Bakterien teilen sich außerordentlich langsam, so dass die Umstellung einer Anlage (ohne Impfschlamm) immer viel Zeit kostet. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung konnten die Bakterien durch molekularbiologische Methoden in der Belebtschlammbiologie als auch auf der Aktivkohle nachgewiesen werden. Weiterhin wurden die Zu- und Abauffrachten während der Umstellung exakt bilanziert. Aus Gründen der Betriebssicherheit wurde noch nicht vollständig auf die Zugabe von Methanol verzichtet, so dass ein Teil des Stickstoffs immer noch denitrifiziert wird. Da noch keine Bemessungsregeln für den Betrieb einer Anlage mit anaerober Ammoniumoxidation existieren, muss die Umstellung schrittweise unter genauer Beobachtung aller relevanten Parameter erfolgen.

Ammonium und Nitrit sind die Substrate der anaeroben Ammoniumoxidation. Deshalb sollte eine Regelung des umgestellten Betriebes auch diese Parameter erfassen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund einer möglichen Hemmung des Prozesses durch die Intermediate selber unumgänglich. Zu beachten ist, dass eine Hemmung des Prozesses durch Nitrit nicht auszuschließen ist [8].

Trotz der zeitaufwändigen und betreuungsintensiven Umstellung der Anlage lohnt sich diese, da massiv Betriebskosten eingespart werden können. Insbesondere bei älteren Deponien wird sich das C/N-Verhältnis immer weiter zu Ungunsten des Kohlenstoffes entwickeln, so dass die Anlagenumstellung wirtschaftlich immer mehr Sinn macht.

5 Literatur

- [1] Widmann, R. 1994 Bemessungsgrundlagen für reststoffarme Reinigungsverfahren von Deponiesickerwasser aus der Methanphase. In: Studienreihe ABFALL NOW, Band 13
- [2] Loll, U. 1994 Behandlung von Abwässern aus aeroben und anaeroben Verfahren zur biologischen Abfallbehandlung. In: Verwertung biologischer Abfälle, Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.), S. 281 – 307
- [3] Roth, T. 1991 Sickerwasser aus der Bioabfallkompostierung – Möglichkeiten der Behandlung und Entsorgung in einem dezentralen Anlagensystem. GH Kassel (Witzenhausen)
- [4] Graja, S.; Wilderer, P. 1999 Einsatz der SBR-Technologie zur Reinigung der Prozessabwässern aus der Bioabfallvergärung. In: Prozessabwasser aus der Bioabfallvergärung, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Band 154, Wilderer, P.; Faulstich, M. (Hrsg.), S. 109 – 122
- [5] Tidden, F.; Faulstich, M. 1999 Planungsparameter für die Abwasserbehandlung von Vergärungsanlagen. In: Prozessabwasser aus der Bioabfallvergärung, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Band 154, Wilderer, P.; Faulstich, M. (Hrsg.), S. 67 – 87

- [6] Henze, M.; Harremoës, P.; Jansen, J.; Arvin, E. 1990 Wastewater Treatment, Biological and chemical processes, Springer Verlag
- [7] ATV-DVWK-A 131 2000 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Mai 2000, ISBN 3-933707-41-2
- [8] Hippen, A. 2001 Einsatz der Deammonifikation zur Behandlung hoch stickstoffbelasteter Abwässer, Veröffentlichungen des ISAH, Heft 116, Hannover 2001

Anschrift der Verfasser

Dr. Martin Deneke Tel.: 0201/1832742

Volker Rekers Tel.: 0209/9705787

Dr. Uwe Walter Tel.: 0201/2429156

LAMBDA Gesellschaft für Gastechnik mbH

Ludwig-Richter-Straße 6

42329 Wuppertal

E-Mail: vrekers@lambda.de

Website: www.lambda.de