

Funktionalitätsprüfung von Biofiltermaterialien zum Abbau von Schwefelwasserstoff und VOC

Kurzbericht

Auftraggeber:

REHAU AG + Co.
Eltersdorf
Ytterbium 4
D-91018 Erlangen

Bearbeiter:

Dr. Thomas Günther
Kai-Christian Peters

Durchführende Institution:

JenaBios GmbH Umweltbiotechnologien & Serviceleistungen
Löbstedter Str. 78
07745 Jena
Tel./Fax. 03641-4649-82 / -19
Email: guenther@jenabios.de

Bearbeitungszeitraum:

14.02. - 30.04.2005

Jena, den 22.06.2005

Dr. Th. Günther

Veranlassung

Im Rahmen einer Laborstudie sollte eine Funktionalitätsprüfung von Trägermaterialien für Kanalschachtbiofilter durchgeführt werden. Es sollten mehrere Materialien unter identischen Versuchsbedingungen vergleichend auf ihre Eignung zur Eliminierung von Schwefelwasserstoff (H_2S) im Konzentrationsbereich von 10-100 ppm geprüft werden. Im vorliegenden Kurzbericht sind die wesentlichen Ergebnisse eines Gutachtens der JenaBios GmbH für die REHAU AG vom 22.06.05 zusammenfassend dargestellt.

In Abwasseranlagen und Kanalsystemen spielt die Geruchsproblematik, die mit der Bildung von Schwefelwasserstoff verbunden ist, eine zunehmende Rolle. Bei Trockenwetter und erhöhter Temperatur kommt es zum schnellen Verbrauch von Sauerstoff im Abwasser und zur Ausbildung von anaeroben Zuständen. Liegen zusätzlich günstige Nährstoffbedingungen und erhöhte Sulfatkonzentration vor, kommt es zur mikrobiellen H_2S -Bildung. Überall dort, wo H_2S aus den Sammlern und dem Kanalsystem entweichen kann, treten die typischen Geruchsbelästigungen sowie verstärkte Korrosionserscheinungen auf. Um diesen Problemen zu begegnen, werden seit einiger Zeit Kanalschachtbiofilter verwendet, die Schwefelwasserstoffgerüche mikrobiell eliminieren.

Verwendete Trägermaterialien

Als Trägermaterialien für die Entwicklung der Mikroorganismen wurden in den Biofiltern verwendet:

UGN-Zellulosegranulat: Granuläres Trägermaterial auf der Basis von speziell aufbereitetem und mit Zusatzstoffen versehenem Recyclingpapier mit einer Partikelgröße von 5 bis 20 mm (Abb. 1a), im Anlieferungszustand lufttrocken, rieselfähig, die Oberfläche ist weitgehend glattwandig

Kokosfasern: Robuste, biegsame Pflanzenfasern mit einer durchschnittlichen Länge von ca. 20-50 cm (Abb. 1b)

Rindenmulch: Typischer Koniferen-Rindenmulch mit einer Partikelgröße von 1 bis 10 cm (Abb. 1c), im Anlieferungszustand war der Träger sehr feucht und neigte zum Verkleben



Abb. 1a- 1c. Für die Versuche verwendete Trägermaterialien (Maßstab: 10 mm).
UGN-Zellulosegranulat (oben links)
Kokosfasern (oben rechts)
Rindenmulch (unten)

Beschreibung der Versuchsanlage

Versuchsanlage

Die Versuchsanlage bestand aus drei parallel betriebenen zylindrischen Glasreaktoren mit einem Innendurchmesser von 12,5 cm und einer Höhe von 30 cm (Gesamtvolumen: 3,6 Liter). Die Reaktoren waren in einem Versuchsstand eingebaut, der eine weitgehende Kontrolle und Veränderung der Versuchsbedingungen ermöglichte (Abb. 2). Die Laborbiofilter wurden über einen Zeitraum von ca. acht Wochen unter verschiedenen Betriebszuständen getestet.



Abb. 2. Ansicht der verwendeten Laborbiofilter im Versuchsstand.
(Reaktoren: links: UGN-Zellulosegranulat, Mitte: Kokosfasern, rechts: Rindenmulch)

Als Zuluft wurde ein Gemisch aus den drei Komponenten Luft, Faulgas und Schwefelwasserstoff verwendet (Tab. 1 und 2). Die Anteile der Luft und des Faulgases wurden konstant gehalten. Schwefelwasserstoff wurde in veränderlichen Mengen zugeführt, die zu einer H₂S-Konzentration von 10-300 ppm in der Zuluft führten.

Tab. 1. Zusammensetzung und Komponenten der zu reinigenden Zuluft.

Verbindung	Dimension	Konzentration
Luft	Vol.-%	99
Faulgas	Vol.-%	1
H ₂ S	ppm	10-300 (= 0,001-0,03 Vol.-%)

Tab. 2. Orientierungswerte für die Zusammensetzung von Faulgas (Weiland, 2001).

Verbindung	Dimension	Konzentration
Methan	Vol.-%	50-75
Kohlendioxid	Vol.-%	25-50
Sauerstoff	Vol.-%	0-2
Stickstoff	Vol.-%	0-5
Wasserstoff	Vol.-%	0-1
Ammoniak	Vol.-%	0-1
H ₂ S	ppm	50-6000

Ergebnisse

Eliminierung von Schwefelwasserstoff

Sofort nach Befüllen der Reaktoren mit Trägermaterial wurden die Biofilter mit H₂S beaufschlagt. Die anfänglich relativ niedrige Konzentration in der Zuluft (ca. 10 ppm) war sensorisch als fauliger Geruch deutlich wahrnehmbar. Auf der Reinfluftseite der Reaktoren mit UGN-Zellulosegranulat und Rindenmulch waren keine entsprechenden Gerüche mehr wahrnehmbar. An der Abluftseite des Reaktors mit Kokosfasern war ein schwacher, dumpfer Geruch feststellbar, obwohl die messbare Konzentration an H₂S < 1 ppm war. Durch die Beimpfung der drei Reaktoren mit entsprechend adaptiertem Impfmateriale konnte somit sichergestellt werden, dass von Beginn an eine starke bis komplette Eliminierung von H₂S erreicht wurde. Unter adaptiertem Impfmateriale sind hierbei entsprechend angepasste, robuste Bakteriengemeinschaften zu verstehen, die H₂S unter üblichen Umweltbedingungen oxidieren. Obwohl diese Bakterien weitverbreitet sind, ist ihre Anzahl an vielen Standorten zu gering, um eine höhere Konzentration von H₂S abzubauen. Deshalb wird durch eine anfängliche Beimpfung des Trägermaterials erreicht, dass im Biofilter eine genügend hohe Ausgangsdichte der H₂S-oxidierenden Bakterien vorhanden ist.

UGN-Zellulosegranulat wurde im Verlauf von drei Wochen mit einer steigenden Konzentration an H₂S beaufschlagt (10-200 ppm). Unter allen Bedingungen wurde eine Eliminierungsrate von > 95 %, meist jedoch von 100 % erreicht. Bei Verweilzeiten der Zuluft von 10 bzw. 3 min im Filter wurde H₂S vollständig eliminiert. Mit einer Verweilzeit von 1 min wurden Konzentrationen bis 170 ppm sicher oxidiert. Erst bei höheren Konzentrationen (200 ppm) trat bei einer Verweilzeit von 1 min eine H₂S-Restkonzentration auf der Reinfluftseite auf. In Anbetracht des Einsatzes als Kanalschachtbiofilter ist eine Verweilzeit von 1-3 min eine praxisrelevante Größe, da der Biofilter von der Abluft in vielen Fällen passiv durchdrungen und nicht aktiv durchströmt wird.

Der Bioreaktor mit Kokosfasern als Trägermaterial zeigte bei einer Zuluftverweilzeit von 10 min eine gute Eliminationsleistung für H₂S bis zu einer Konzentration von 50 ppm. Unter diesen Bedingungen wurde H₂S im Biofilter vollständig oxidiert. Mit der einer Verringerung der Verweilzeit von 10 auf 3 min konnte H₂S nur noch teilweise eliminiert werden. Bei einer Konzentration von 200 ppm wurden im Filter nur noch 30-40 % des zugeführten H₂S abgebaut. Verweilzeiten unter 3 min wurden für das Trägermaterial Kokosfasern nicht geprüft.

Die Abluft-Reinigungsleistung des Biofilters mit Rindenmulch lag zwischen der des UGN-Zellulosegranulats und der Kokosfasern. Bei einer Verweilzeit von 10 min wurde H₂S vollständig oxidiert. Eine Verweilzeit von 3 min führte bei H₂S-Konzentrationen von 100-200 ppm zu Eliminationsrate von 60-90 %.

In Tab. 3 und 4 sind die wichtigsten Betriebs- und Leistungsparameter der Biofilter zur Behandlung von H₂S im Temperaturbereich 20-22 °C dargestellt.

Tab. 3. Betriebsparameter der Biofilter zur Behandlung von H₂S.

Parameter	Dimension	UGN-Zellulosegranulat	Kokosfasern	Rindenmulch
H ₂ S-Eingangskonzentration	µg / l	15-300	15-300	15-300
	ppm	10-200	10-200	10-200
Kürzeste Verweilzeiten	min	1	3	3
Volumenstrom	l / h	12-130	12-40	12-40
Filtervolumenbelastung _{H₂S}	mg / (l · h)	0,1-18	0,1-5	0,1-5

Tab. 4. Leistungsparameter der Biofilter zur Behandlung von H₂S.

Parameter	Dimension	UGN-Zellulosegranulat	Kokosfasern	Rindenmulch
Maximale Eliminationsleistung _{H₂S}	mg / (l · h)	18	3	4
Durchschnittlicher Biofilterwirkungsgrad _{H₂S} im Untersuchungszeitraum	%	99	66	79

Bei H₂S-Konzentrationen von 15-300 µg/l in der Zuluft (entsprechend 10 - 200 ppm) erreichte der Biofilter mit UGN-Zellulosegranulat einen Wirkungsgrad von 97-100 %, d.h., das H₂S wurde unter allen getesteten Bedingungen nahezu komplett eliminiert. Es wurde dabei eine Eliminationsleistung von bis zu 18 mg H₂S / (l · h) erreicht (Abb. 3).

Mit Kokosfasern stellte sich ein Filterwirkungsgrad von 31-100 % ein. Die Eliminationsleistung war mit maximal 3 mg H₂S / (l · h) deutlich geringer als die des UGN-Zellulosegranulat.

Unter den getesteten Bedingungen erreichte der Rindenmulch-Biofilter einen Wirkungsgrad von 58-100 %. Dabei wurde eine Eliminationsleistungen von maximal 4 mg H₂S / (l · h) erzielt.

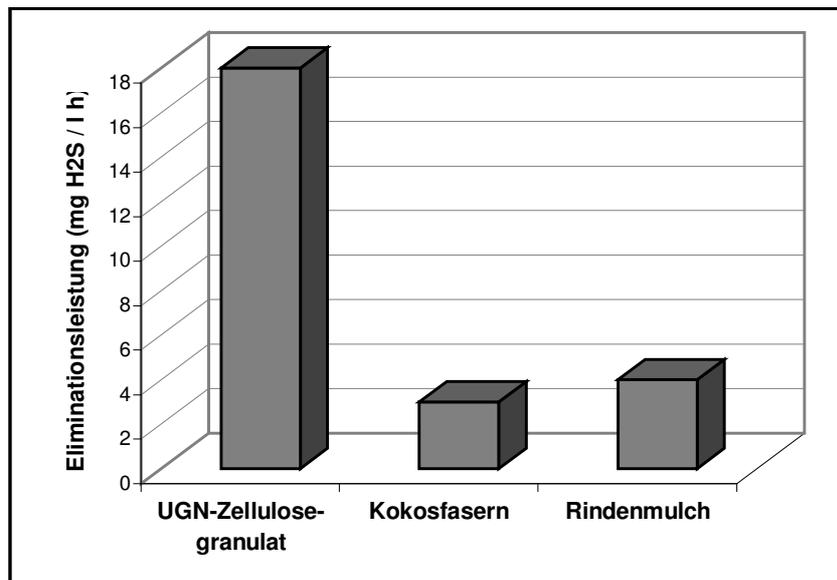


Abb. 3. Maximale Eliminationsleistungen der geprüften Trägermaterialien für H₂S im Temperaturbereich 20-22°C (siehe Tab. 4).

VOC-Eliminierung

Um möglichst praxisnahe Bedingungen während der Untersuchung zu simulieren, wurde neben Schwefelwasserstoff Faulgas als Komponente der zu behandelnden Abluft verwendet. Im Faulgas sind flüchtige, organische Kohlenstoffverbindungen enthalten, die Gerüche verursachen bzw. die in der Atmosphäre als schädliche klimarelevante Verbindungen wirksam werden (siehe Tab. 2).

Bei der Konzentrationsbestimmung der Komponenten wurden nicht Einzelverbindungen ermittelt, sondern VOC (volatile organic carbon) als Summenparameter bestimmt. Die enthaltenen Komponenten sind somit unbekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Methan der Hauptbestandteil des Faulgases ist und mindestens 50 % des VOC ausmacht. Die Konzentration des VOC in der zu reinigenden Zuluft des Reaktors lag während des gesamten Untersuchungszeitraumes relativ konstant bei 0,5 bis 0,6 Vol.-%. Damit war deren Konzentration 10- bis 500-fach höher als die H₂S-Konzentration der Zuluft.

Faulgas wurde den Reaktoren von Beginn der Untersuchungen über einen Zeitraum von 6 Wochen zugeführt. Im Gegensatz zu H₂S konnte innerhalb der ersten Versuchstage keine Eliminierung des VOC festgestellt werden. Obwohl die Verweilzeit bei ca. 10 min lag, war die Abbaurate entweder so gering, dass sie analytisch nicht nachweisbar war, oder die Anzahl der VOC-oxidierenden Mikroorganismen war zu gering (Abb. 4).

In der zweiten Versuchswoche konnte erstmalig eine signifikante Reduktion des VOC beim Trägermaterial UGN-Zellulosegranulat ermittelt werden. Bei einer Verweilzeit von ca. 3 min wurden 20 % des VOC eliminiert. Für die Reaktoren mit Kokosfasern und Rindenmulch wurde keine Eliminierung nachgewiesen.

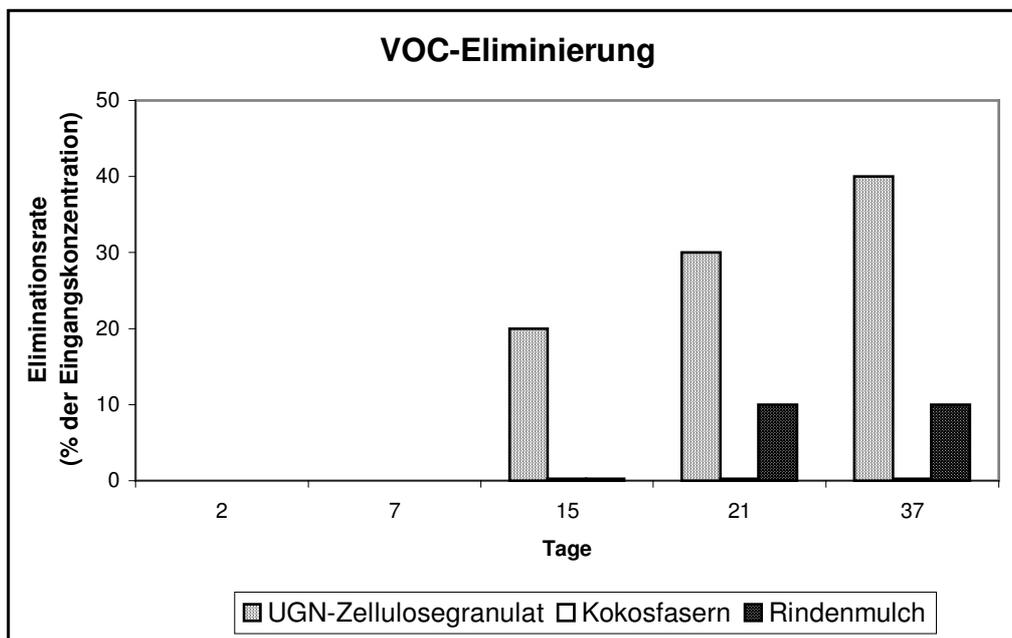


Abb. 4. VOC-Eliminierung der Trägermaterialien im Verlauf der Betriebszeit. Dargestellt sind Stichproben, die während der Testphasen mit einer Temperatur von 20-22 °C erhoben wurden. Die Eingangskonzentration des VOC betrug 0,5 Vol.-%.

Beachte die unterschiedlichen Verweilzeiten ab dem 21. Tag:

UGN-Zellulosegranulat: 1 min (entspricht dreifachem Volumenstrom)

Kokosfasern und Rindenmulch: 3 min

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes von ca. 6 Wochen erhöhte sich die VOC-Eliminierungskapazität von UGN-Zellulosegranulat deutlich. Am 37. Tag wurde bei einer Verweilzeit von 1 min 40 % der VOC abgebaut. Offensichtlich kam es zu einer starken Entwicklung der VOC-oxidierenden Mikroorganismen auf dem Trägersubstrat, so dass höhere Konzentrationen der Substrate abgebaut werden konnten. Obwohl in der behandelten Abluft noch eine VOC-Restkonzentration vorhanden war, war auf der Reinluftseite des Biofilters der typische Faulgasgeruch sensorisch nicht mehr vorhanden. Alle geruchsintensiven Komponenten des Faulgases wurden im Reaktor eliminiert.

Biofilter zur mikrobiellen Methanoxidation arbeiten häufig mit einer Verweilzeit von mehreren Minuten (Streese et al., 2000). Berücksichtigt man die geringe Verweilzeit von 1 min im Reaktor mit UGN-Zellulosegranulat, dann ist zu erwarten, dass bei einer längeren Verweilzeit auch die VOC komplett eliminiert werden können.

Für den Reaktor mit Kokosfasern konnte während der gesamten Untersuchung keine Reduzierung der VOC-Konzentration ermittelt werden. Möglicherweise ist das auf den extremen Abfall des pH-Wertes des Trägers infolge der Schwefeloxidation zurückzuführen. pH-Werte zwischen 5 und 8,5 gelten als der Bereich, in dem die mikrobielle Methanoxidation unlimitiert möglich ist (Lechner & Humer, 2000). Unterhalb pH 4 findet an vielen natürlichen Standorten praktisch kein Wachstum von Methanbakterien mehr statt (Heyer, 1990).

Nach einer dreiwöchigen Anlaufphase ohne Eliminierung trat auch im Reaktor mit Rindenmulch eine signifikante Reduzierung des VOC auf. 10 % des VOC wurde bei einer Verweilzeit von 3 min eliminiert. Auf der Reinluftseite des Biofilters war am 37. Tag sensorisch der typische Faulgasgeruch nicht mehr vorhanden bzw. nicht vom Eigengeruch des Kompostes zu unterscheiden. Die geruchsintensiven Komponenten des Faulgases wurden im Reaktor eliminiert.

Zusammenfassung und Bewertung

Die Funktionalitätsprüfung von Biofiltermaterialien zur Behandlung von Schwefelwasserstoff wurde über einen Zeitraum von acht Wochen im Labormaßstab durchgeführt. Die im Gutachten dargestellten Ergebnisse basieren auf einer im Vergleich zur Biofilterlebensdauer kurzen Periode. Aussagen zur Langzeitstabilität sind deshalb nur bedingt und mit Einschränkungen möglich. Dennoch erbrachte der Vergleich der drei Trägermaterialien unter den gewählten experimentellen Bedingungen deutliche Unterschiede. Daraus kann folgende Bewertung zur Funktionstüchtigkeit der Träger abgeleitet werden:

UGN-Zellulosegranulat

Das Material erwies sich als gut geeignet und praktikabel für die problemlose Vorbereitung, Beimpfung und Konditionierung der Biofilter. Durch seine Schütt- und Rieselfähigkeit, selbst im feuchten Zustand, ist eine gleichmäßige Befüllung des Biofilters ohne Probleme zu gewährleisten. Im Untersuchungszeitraum traten geringfügige Setzungs- und Kompaktierungsprozesse auf. Die hohe Wasserhaltekapazität des Materials gewährleistete optimale Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen. Der Träger besitzt ein hohes Puffervermögen, welches einem schnellen und extremen pH-Abfall im Zuge der Oxidation von H_2S entgegenwirkt. Das ermöglicht die Entwicklung von Mikroorganismen, die im Gegensatz zu schwefeloxidierenden Bakterien im sauren Milieu nicht oder nur langsam zu wachsen vermögen. Sporadisch wurden einzelne Granulat Körnchen von Schimmelpilzen befallen. Eine Ausbreitung des Schimmels auf das gesamte Trägermaterial trat nicht auf. Unter allen getesteten Bedingungen wurden mit UGN-Zellulosegranulat die höchsten H_2S -Eliminationsraten erzielt. Bei einer Verweilzeit von einer Minute konnten Biofilterwirkungsgrade von 97-100 % realisiert werden. Im Biofilter entwickelte sich im Verlaufe einer sechswöchigen Testphase vergleichsweise schnell eine VOC-abbauende Mikrobenpopulation. Am Ende der Testphase wurde eine VOC-Konzentrationen von 0,5 Vol.-% bei einer Verweilzeit von 1 min zu ca. 40 % eliminiert.

Kokosfasern

Für den untersuchten Einsatzbereich sind Kokosfasern als alleiniges Trägermaterial eher nicht geeignet, da ihr Vermögen zur Feuchtespeicherung gering ist. In der Literatur wird auf die hohe Stabilität von Kokosfasern und ihre lange Haltbarkeit verwiesen. Jedoch ist bekannt, dass Kokosfasern nur langsam mikrobiell besiedelt werden. Es wird empfohlen, Kokosfasern nur als Zumischung zu anderen Trägern zu verwenden (Knauf, 2000). Die langfaserige Struktur des Materials und ihre wasserabweisende Oberfläche bereiteten einige Probleme bei der Vorbereitung der Filter und beim Beimpfen des Materials. Das Wasser im Filtermaterial trat hauptsächlich in Tropfenform und weniger als benetzte Oberfläche auf. Um das gesamte Filterbett während des Untersuchungszeitraumes genügend feucht zu halten, mußte eine regelmäßige Wiederbefeuchtung der Fasern mit dem Abtropfwasser erfolgen. Vor der Nutzung von Kokosfasern in Biofiltern sollte zukünftig die Benetzbarkeit der Materialoberfläche verbessert werden. Die Pufferwirkung des Materials zur Verhinderung einer Versäuerung des Trägers war gering. Ein homogenes Filterbett konnte mit Kokosfasern nicht oder nur eingeschränkt realisiert werden. Die Gefahr der Kanalbildung im Filterbett ist dadurch gegeben. Unter allen getesteten Bedingungen wurden mit Kokosfasern die vergleichsweise geringsten Eliminationsraten erzielt. Bei einer Verweilzeit von minimal 3 min konnten Biofilterwirkungsgrade von 31-100 % realisiert werden. VOC wurde während des Untersuchungszeitraumes im Reaktor mit Kokosfasern nicht eliminiert.

Rindenmulch

Wie erwartet, bewährte sich Rindenmulch als Biofilterträgermaterial. Das Befüllen des Reaktors sowie das Beimpfen des Materials gestalteten sich nicht problemlos, jedoch sollten diese Schwierigkeiten bei Verwendung anderer Rindenmulchsorten bzw. -chargen minimiert werden können. Während des Betriebes des Biofilters kam es zur partiellen Kompaktierung und Setzung des Materials. Die vergleichsweise besten Resultate wurden mit Rindenmulch in Bezug auf die Pufferwirkung des

