

Abluftreinigung in Biofilmreaktoren mit inerten Trägern

Doctoral Thesis

Author(s):

Rüdiger, Patrik K.

Publication date:

1999

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003888733>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH Nr. 13229

Abluftreinigung in Biofilmreaktoren
mit inerten Trägern

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

PATRIK KONRAD RÜDIGER

Dipl. Verf.-Ing. ETH
geboren am 7. Februar 1969
von Lauterbrunnen, BE

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Ph. Rudolf von Rohr, Referent
Prof. Dr. E. Heinzle, Korreferent

Zürich 1999

Zusammenfassung

Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe verursachen Gerüche und beeinträchtigen sowohl die menschliche Gesundheit, als auch die Umwelt. Direkt und indirekt führen sie zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht und zur Entstehung von Ozon in der bodennahen Troposphäre. Trotz der Verbesserung von Produktionsprozessen sind weiterhin End-of-Pipe-Massnahmen zur Reduktion der emittierten Menge flüchtiger Kohlenwasserstoffe notwendig.

Biofilmreaktoren wie der Biotricklingfilter und der Biofilter werden für die biologische Abluftreinigung für tief- bis schwachbeladene Abluftströme und für die Geruchsbeseitigung eingesetzt. Biotricklingfilter erlauben im Gegensatz zu Biofiltern die Kontrolle der Konzentration anorganischer Nährstoffe, der Feuchtigkeit und des pH-Wertes in der Reaktionszone. Ein ungelöstes Problem bleibt die unkontrollierte Akkumulation von Biomasse im Reaktor, welche zu Verstopfungen führen kann. Für die Behandlung von Abluft mit Konzentrationsfluktuationen sind biologische Systeme aufgrund ihrer geringen Speicherkapazität ungeeignet und erfordern die Kombination mit anderen Verfahren.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die Vertiefung des Verständnisses der diesen Problemen zugrundeliegenden Prozesse. Basierend auf den gewonnen Erkenntnissen waren Lösungen für die betriebssichere Behandlung von Abluft in Biofilmreaktoren vorzuschlagen.

Die Untersuchungen der Biofilmmakkumulation und des Schadstoffabbaus wurden an einem Biotricklingfilter mit einem Reaktorvolumen von 98 l und einer strukturierten Packung vom Typ Sulzer Mellapak 250.Y aus Polypropylen als Biofilmträger durchgeführt. Als Modellschadstoff wurde Toluol verwendet. Für die Untersuchung der Biofilmmakkumulation und dessen Einflüsse auf den Biotricklingfilterbetrieb wurden Röntgenstrahlen-Computertomographie, Endoskopie und in-situ Gravimetrie eingesetzt.

Für die computertomographischen Untersuchungen wurde der Biotricklingfilter während 50 Tagen bei einer Temperatur von 30° C, einer hydraulischen Gasverweilzeit von 26.5 s,

einer Toluolkonzentration von 2 g/m_N^3 und einer Berieselungsdichte von $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ betrieben. Aus den tomographischen Bildern konnte mit Bildanalyse und geometrischen Beziehungen die Biofilmdicke, der Biofilmvolumenanteil und die spezifische Oberfläche ermittelt werden. Die Analyse der geometrischen Parameter ergab nach 50 Tagen Betrieb eine Abnahme der spezifischen Biofilmoberfläche um 13 % und des Gasvolumenanteils um 44 % bei einer mittleren Biofilmdicke von 1.9 mm. Nach einer Betriebszeit von 50 Tagen zeigten die tomographischen Bilder Kanäle in der Packung, die vollständig mit Biofilm zugewachsen waren. Die Biofilmmakkumulation begünstigte das Flüssigkeitsrückhaltevermögen des Filterbetts. Nach 50 Betriebstagen führte die Biofilmmakkumulation und deren Einfluss auf den Flüssigkeitsholdup zu einem Anstieg der Biotricklingfiltermasse um 43 kg.

Mit einem dimensionslosen mathematischen Modell der Schadstoffelimination im Biotricklingfilter und einer Grössenordnungsanalysetechnik konnte der Einfluss der geometrischen Grössen des Biofilms und der dimensionslosen Prozessparameter auf den Abscheidegrad ermittelt werden. Der Vergleich der Modellanalyse mit Abbaumessungen zeigte das stoffübergangslimitierte Regime im ganzen ausgemessenen Konzentrationsbereich bis 15 g/m_N^3 .

Die Abwasserreinigung mit dem Rotating Biological Contactor ist eine akzeptierte Technik. Durch die Rotation des mit einer Welle fest verbundenen, teilweise eingetauchten Biofilmträgers durch das Abwasser, wird eine regelmässige Scherkräfteinwirkung auf den Biofilm ausgeübt. Dadurch wird das Biofilmwachstum limitiert und es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Biofilmablösung und Biofilmwachstum ein. Ein entsprechender Reaktor wurde für die Abluftreinigung modifiziert. Abbaumessungen zeigten für Dichlormethan flächenspezifische Eliminationsleistungen, die vergleichbar mit Messungen an Biotricklingfiltern waren. Eine Verbesserung der Abluftführung wurde durch die Verwendung einer Hohlwelle angestrebt. Die Luft strömt bei diesem Reaktortyp aus der mit Öffnungen versehenen Hohlwelle in radialer Richtung in die Packung.

Für die biologische Behandlung von Abluft mit fluktuierenden Konzentrationen sind sowohl additive als auch integrierte Speicher bekannt. Integrierte Systeme haben den Vorteile eines geringeren apparativen Aufwands. Ein Beispiel ist die Verwendung von Aktivkohle als Biofilmträger. Mit einem mathematischen Modell und mit der Grössen-

ordnungsanalyse konnte für ein Aktivkohle/laminarer Film/Flüssigkeits-System mit Toluol als Schadstoffkomponente gezeigt werden, dass die Diffusion durch den laminaren Film der für den Stoffübergang limitierende Schritt darstellt. Modellrechnungen zeigten den dominierenden Einfluss der Regenerationszeit auf die Speicherkapazität von Aktivkohle. Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle kann nur dann ausgenutzt werden, wenn genügend Zeit für die Desorption und den biologischen Abbau der Schadstoffe eingesetzt wird.

Abstract

Emissions of volatile organic compounds (VOCs) can harm the human health as well as the environment. In a direct or indirect way they may lead to stratospheric ozone depletion and to the formation of tropospheric ozone. In spite of in-process improvements, there exists still a need for end-of-pipe solutions to reduce volatile organic carbon emissions.

Biofilm reactors, e. g. biotrickling filters and biofilters, are applied to treat waste air with low concentrations of volatile organic compounds or odors. In biotrickling filters pH and nutrient concentration in the liquid phase can be controlled. Biomass accumulation, however, remains an uncontrollable operation parameter. Excessive biofilm growth may lead to clogging and subsequently to the halt of biotrickling filter operation. Due to their low storage capacity, biotrickling filters for waste gas treatment are not suited to treat air with fluctuating concentrations.

The goal of this study was the improvement of the understanding of these processes. Based on these findings, solutions for the stable long term operation of biofilm reactors were suggested.

The investigation of biomass accumulation and degradation of pollutants was studied in a 98 liter-biotrickling filter packed with a polypropylene structured Sulzer Mellapak 250.Y as biofilm carrier. Toluene was used as a model compound. X-ray computed tomography, endoscopy and in-situ gravimetry were used to investigate biomass accumulation and its impact on the biotrickling filter operation.

The biotrickling filter was operated during a 50 day period at a temperature of 30 °C, a hydraulic gas residence time of 26.5 sec., a toluene concentration of 2 g/m_N³ and a liquid load of 10 m³/(m²h). Based on geometric correlations, the specific surface area, the mean biofilm thickness and the biofilm volume fraction could be estimated from tomographic images. After 50 days of operation a decrease of 13 % for the specific surface area and of 44 % for the gas volume fraction at a mean biofilm thickness of 1.9 mm were observed. Biofilm accumulation enhanced the liquid hold-up and its impact on the water hold-up led

to a 43 kg increase of the biotrickling filter weight during the 50 day operation period at a water load of $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

A nondimensional biotrickling filter model and scale analysis was used to estimate the impact of process parameters and geometric properties on the removal efficiency. Comparison of degradation rate measurements with model evaluations showed, that the removal efficiency is limited by mass transfer in the investigated concentration range up to 15 g/m_N^3 .

Biological treatment of waste water in rotating biological contactors (RBCs) is an accepted process. In RBCs a biofilm support media is mounted onto a rotating shaft. The support media is partially submerged in the waste water. The rotation of the media through the waste water causes a regularly distributed shear force on the biofilm, leading to an equilibrium between biofilm growth and detachment. Thus, biofilm growth can effectively be controlled. A reactor of this kind was modified and tested for the treatment of dichloromethane loaded air. Comparison with biotrickling filters showed similar elimination capacities despite the fact, that the support media is partially covered with the bulk liquid. A constructive improvement was intended with a perforated hollow shaft through which the gas radially streams into the biofilm support media.

The biological treatment of waste gases with fluctuating concentrations can be improved by combining a storage media such as activated carbon and a biofilm system. The use of activated carbon as biofilm support media incorporates degradation and storage capacities into one stage. Using a mathematical model and scale analysis it was shown for an activated carbon/laminar layer/liquid-system that diffusion within the laminar layer controls mass transfer. Model simulations showed, that the adsorption capacity can only be used, when the time for the regeneration process is long enough.