

La biofiltration à lavage segmenté : une solution efficace et rentable pour l'épuration des eaux usées.

Dr. Andreas Rüdiger, AQUABIOTEC GmbH Lübeck
E-Mail: info@aquabiotec.com

1. Introduction

La filtration biologique pour l'épuration des eaux usées a commencé à se développer au début des années 80. Les techniques de filtration étaient déjà utilisées depuis longtemps pour la production d'eau potable, avec succès. Les expériences positives obtenues dans ce domaine ont alors été transposées à l'épuration des eaux résiduaires. Le but recherché était d'associer l'action mécanique de la filtration à la transformation biologique des composés contenus dans l'eau, dans un même réacteur.

Diverses technologies de filtration des eaux usées ont ensuite été développées. Jusqu'ici, la filtration biologique aérée à écoulement ascendant s'est révélée être la solution technologique la plus appropriée pour l'exploitation de stations en grandeur réelle.

Les premières installations de ce type furent construites au début des années 80 pour l'épuration biologique des eaux résiduaires urbaines. Actuellement, à l'échelle mondiale, plus de 500 installations d'épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles en exploitation utilisent la filtration biologique. La forte capacité d'épuration de ces installations, associée à un encombrement au sol minimum, constitue leur principal point fort.

2. Principe de fonctionnement

La filtration biologique à courant ascendant met en œuvre un réacteur contenant le support filtrant et alimenté de bas en haut par de l'eau usée (fig 1). La biomasse adaptée se fixe sur le support filtrant et épure l'eau lors de son passage. Le réacteur est aéré en co-courant, afin d'assurer le maintien de conditions aérobies. Le filtre permet à la fois d'éliminer les matières polluantes dissoutes et de retenir les matières solides en suspension. L'eau épurée est évacuée en haut du filtre. L'effluent obtenu en sortie du biofiltre a été complètement épuré par voie biologique et ne nécessite aucun post-traitement.

Le biofiltre est donc un réacteur à courant ascendant dans lequel trois phases distinctes sont en contact :

- une phase solide : le biofilm entourant le support filtrant
- une phase liquide : le courant d'eau usée
- une phase gazeuse : l'air

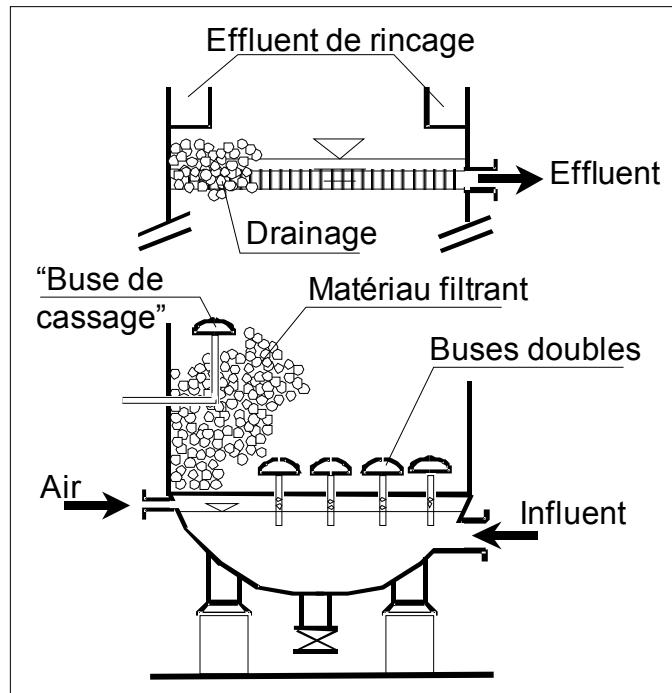


Figure 1 : schéma de principe d'un biofiltre à courant ascendant.

Les propriétés physiques du matériau filtrant sont d'une importance capitale pour assurer de bonnes conditions d'exploitation et des rendements optimaux pour la biofiltration. Pour une adhésion maximale de la biomasse, et donc une forte concentration en biomasse par unité de volume, les matériaux filtrants ayant une surface très rugueuse sont les plus avantageux. En exploitation, les matériaux à base d'argile expansée ont donné les meilleurs résultats. Selon les cas d'utilisation et les rendements d'épuration envisagés, le diamètre des grains choisis varie entre 1,5 et 3,5 mm. La hauteur du lit filtrant est généralement de 4 à 5 m.

Après un certain temps d'exploitation, les pertes de charge augmentent dans le filtre, en raison des matières retenues sur le support filtrant et de la biomasse qui s'y est développée. Un lavage du filtre est alors nécessaire pour enlever les matières colmatantes.

Selon les matériaux filtrants utilisés, la perte de charge au moment du lavage est de l'ordre de 40 à 80 mbar/ m de lit filtrant. Le décolmatage consiste en un programme de lavage adapté à chaque cas d'utilisation. Après un soulèvement du lit filtrant à l'air, un lavage est effectué avec un mélange air-eau, puis un rinçage à l'eau seule. La durée du cycle de lavage est de 20 à 30 minutes.

Les besoins en eau pour chaque lavage représentent 3 à 5% de la quantité d'eau traitée.

Pour les biofiltres traditionnels, le lavage nécessite l'utilisation de quantités très importantes d'eau et d'air, qui doivent circuler indépendamment du circuit utilisé en exploitation, pendant un temps très court.

Les structures nécessaires au lavage (canalisations, robinetterie, pompes) représentent donc un facteur de coût considérable dans la construction et l'exploitation des biofiltres.

3. Techniques de lavage des réacteurs à lit fixe traditionnels

Dans les réacteurs à lit fixe traditionnels, le matériau filtrant repose sur un fond à buses, en général constitué de buses doubles fournissant des quantités égales d'air et d'eau. Lors de l'exploitation de l'installation, il se crée sous ce fond à buses un coussin d'air, de sorte que l'air circule en permanence dans le lit fixe. Le lavage du filtre est également réalisé avec un courant ascendant fourni par ces buses doubles (voir fig 1).

Les vitesses optimales d'eau et d'air pour le lavage des lits fixes sont les suivantes /2/ :

- | | |
|------------------------------|--|
| a) soulèvement à l'air | $v_{\text{air}}=100 \text{ m/h}$ (30 à 60 s) |
| b) lavage à l'air et à l'eau | $v_{\text{air}}=100 \text{ m/h}$, $v_{\text{eau}}= 60 \text{ m/h}$ (5 à 10 min) |
| c) lavage à l'eau seule | $v_{\text{eau}}=60 \text{ m/h}$ (3 min) |

Etant donné que les vitesses d'eau et d'air utilisées en exploitation pour les lits fixes sont de l'ordre de 5 à 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, le lavage nécessite des capacités de pompage beaucoup plus importantes, pendant un temps relativement court. Ceci représente donc des coûts d'investissement supplémentaires en pompes, canalisations et robinetterie. Il faut également prévoir les raccordements électriques en conséquence.

Pour éliminer ces inconvénients des technologies à lit fixe et réduire les coûts dus au décolmatage, diverses techniques ont été développées :

- Des buses « de cassage » ont été mises au point, qui peuvent être exploitées séparément du fond à buses /2/. Ces buses offrent une possibilité de décolmater une partie du matériau, dans le cas de lits fixes dont la vitesse de lavage est inférieure à la vitesse nécessaire au soulèvement du lit, sans imposer de pression trop importante au niveau du fond à buses. Ce type de buse ne peut cependant pas être utilisé pour un lavage total d'un filtre.
- Il est possible de choisir des grains de diamètre beaucoup plus gros, qui permettent de diminuer la fréquence des rinçages /3/. Cette solution a pour inconvénient de diminuer la surface disponible pour la réaction biologique.
- Une autre solution consiste à choisir un matériau filtrant avec une densité très inférieure à 1 /4/. Le matériau vient surnager en surface du réacteur où une grille le retient. Le lavage est effectué du haut vers le bas. L'intérêt est de pouvoir utiliser l'eau épurée qui est en surface pour effectuer le rinçage. L'inconvénient réside dans la faible densité du matériau. Celui-ci n'offre en effet pas de résistance suffisante et les blocs de matériau colmaté ne peuvent être que difficilement dissociés. En pratique, ce système reste jusqu'ici peu utilisé.

Cependant, aucune de ces solutions ne permet de résoudre le problème fondamental que représentent les quantités considérables d'eau et d'air nécessaires au lavage du filtre.

4. Une technologie innovante de lavage

A l'origine, les techniques de lavage pour les réacteurs à lit fixe sont celles utilisées dans le domaine de la production d'eau de consommation. Les filtres utilisés sont alors en général composés de plusieurs couches d'épaisseur et de granulométrie différentes.

Cette configuration particulière ne peut être conservée que si la totalité du lit est fluidisée en même temps.

Pour un filtre à une seule couche, comme la plupart des filtres utilisés en épuration des eaux usées, il n'est pas nécessaire de fluidiser tout le lit filtrant en même temps. Le matériau filtrant peut se déplacer sur toute la hauteur du lit sans que cela ait de répercussions sur l'efficacité du procédé. Il existe donc une possibilité de segmenter le lavage du filtre.

Ce procédé nouveau est basé sur un lavage fractionné au cours duquel l'air et/ou l'eau sont introduits uniquement à quelques extrémités du lit fixe. Le fond à buses, élément essentiel d'un réacteur à lit fixe, a été modifié en conséquence (voir figure 2).

Les procédés techniques développés jusqu'ici utilisaient la totalité de la surface du fond à buses, alors que dans ce nouveau procédé la répartition de l'air et de l'eau est assurée un ouvrage spécial, constitué de conduites reposant directement sur le fond du réacteur. Cet ouvrage est accessible en permanence pour d'éventuelles réparations (en cas d'usure), et est adapté à l'exploitation particulière nécessitée par l'introduction partielle d'eau et d'air.

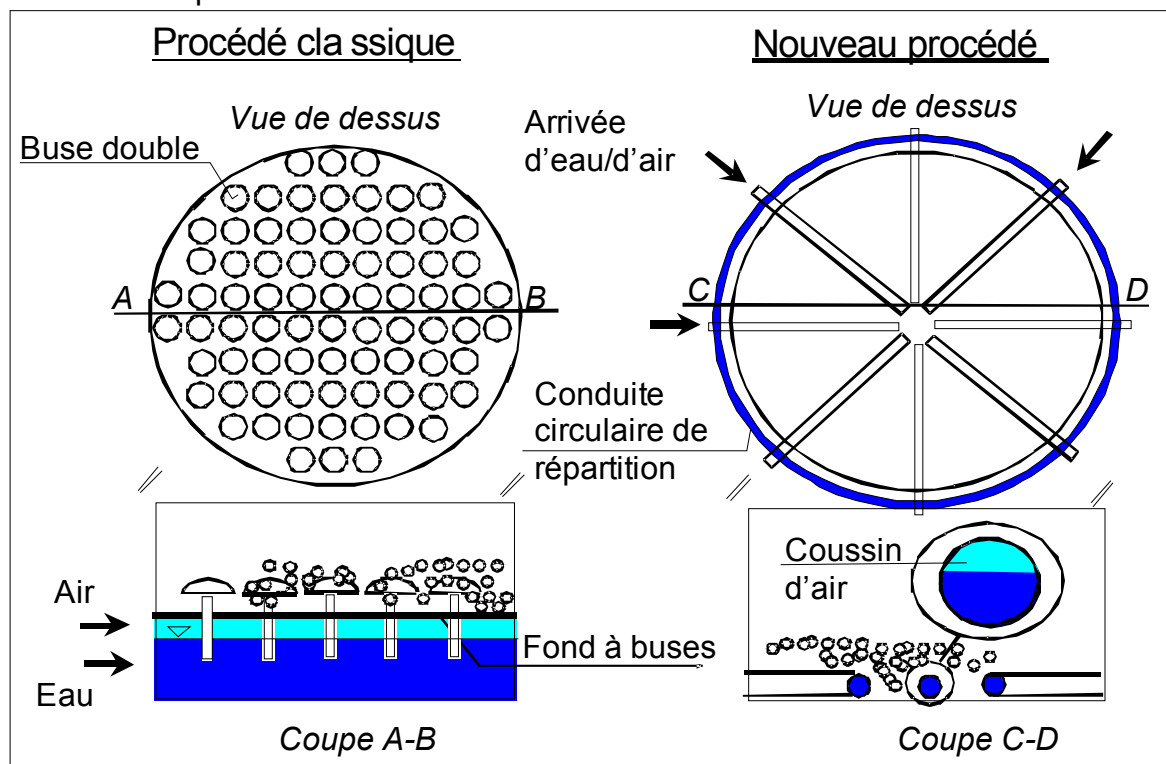


Figure 2 : Présentation schématique du procédé traditionnel et du nouveau procédé de répartition de l'eau et de l'air dans un réacteur à lit fixe.

Ce nouveau type de construction est constitué de tubes séparés du matériau filtrant par des enveloppes perforées. Ces enveloppes possèdent sur le dessus de petits trous pour la distribution de l'air, et sur la face inférieure des trous plus gros pour la distribution de l'eau. Lors de l'alimentation en air et en eau il se forme un coussin d'air à l'intérieur du tube.

Pour le lavage, certains tubes d'alimentation sont automatiquement fermés et seuls quelques segments sont ouverts pour permettre la distribution de l'eau et de l'air. Cette ouverture partielle permet d'obtenir les fortes vitesses requises pour l'eau et l'air sur le segment considéré. En comparaison aux systèmes traditionnels, ce type de lavage consomme beaucoup moins d'énergie.

Les biofiltres à lavage segmenté sont construits et conçus de telle sorte que le lavage utilise les mêmes pompes d'alimentation et les mêmes compresseurs qu'en exploitation. Leur fonctionnement est donc continu, et il n'est pas nécessaire de stocker l'eau à traiter pendant qu'on réalise le lavage.

Globalement ce type de lavage permet de réaliser 20 à 30 % d'économie sur les coûts d'investissement, et 10 à 20 % sur les coûts énergétiques, en comparaison avec les procédés traditionnels.

5. Efficacité de la biofiltration à lavage segmenté

Efficacité du lavage

Pour prouver l'efficacité du lavage segmenté, des expériences ont été réalisées à échelle technique. Le réacteur à lit fixe choisi a un diamètre de 2,30 m et une hauteur de 7,20 m. La hauteur de remplissage du matériau filtrant (argile expansée, $d=2,5$ à 5 mm) est de 6m. Lors de l'expérience, le lit fixe a d'abord été alimenté en continu avec des boues activées d'une concentration d'environ 50 mg MES/L, jusqu'à obtenir une charge de 6 kg MES/m². Puis un lavage a été effectué avec diverses vitesses d'eau et d'air. Par un bilan massique on a ainsi pu évaluer la quantité de matières colmatantes éliminées par le lavage, se retrouvant dans l'effluent de rinçage. Le tableau 1 montre les taux d'efficacité du rinçage (taux de présence dans l'effluent de rinçage)

Tableau 1 : Efficacité du rinçage (% de MES retrouvées dans l'effluent de rinçage) pour différentes techniques.

Type de lavage	q _A , air m/h *	q _A , eau m/h *	Efficacité %
Surface totale	40	20	96,4
Surface totale	15	10	53,6
¼ de surface	20	10	95,8
¼ de surface	15	10	95,7

* les vitesses dans les tubes vides sont calculées avec la surface totale du filtre. Les résultats montrent que le lavage segmenté offre les mêmes performances qu'un lavage traditionnel utilisant toute la surface. On voit que des vitesses très faibles suffisent pour décolmater un tel biofiltre. Il a été également observé que si on fournit

de l'air sur un quart de la surface, l'air ne se répartit pas sur toute la surface mais remonte toute la hauteur du lit filtrant (6 m) sur le segment considéré. Pour un lavage traditionnel, si on impose des vitesses plus faibles pour l'eau et l'air, le taux d'efficacité du décolmatage n'est plus que de 54%.

Elimination de la pollution carbonée

Plus de la moitié des filtres biologiques actuellement exploités dans le monde entier pour l'épuration des eaux usées ont été construits dans le but d'éliminer la pollution carbonée.

Dans un biofiltre, en fonction de la biodégradabilité de la DCO, il est possible d'obtenir un fort rendement d'élimination de plus de 18 kg DCO/(m³.j), même avec des conditions hydrauliques élevées de 12 m³/(m².h) /5/. Dans ce cas, il faut tenir compte de la quantité importante de biomasse produite à l'intérieur du filtre. Les décolmatages doivent être beaucoup plus fréquents. La mise en place d'une filtration biologique comme unique étape de traitement biologique pour une eau à traiter d'une DBO₅ de 700 à 800 mg DBO₅/L, n'est donc en général pas viable économiquement.

Un domaine d'application particulier de la filtration biologique est l'élimination de la DCO résiduelle après une première étape biologique, comme pour l'épuration d'effluents industriels très peu biodégradables. En comparaison avec des boues activées, le temps de séjour des bactéries sessiles (biofilm) est beaucoup plus important. Il se développe donc dans le biofiltre une biomasse adaptée qui peut réaliser une meilleure élimination de la pollution carbonée que les systèmes classiques à biomasse en suspension.

La figure 3 montre les résultats d'expériences à échelle semi-technique réalisées dans le cadre d'une épuration en deux étapes, pour des eaux résiduaires de l'industrie textile. Lors de la première étape (bioréacteur à membrane), la DCO de l'effluent à traiter passe d'une valeur moyenne de 6000 mg DCO/L à 600 mg DCO/L. La filtration biologique finale permet de réduire encore cette valeur jusqu'à 250 mg DCO/L. Des expériences comparables ont montré que de tels résultats ne peuvent pas être obtenus par des procédés à deux étapes classiques, utilisant des boues activées.

Nitrification

Les fortes capacités de nitrification de la filtration biologique à courant ascendant pour les eaux usées ont fait l'objet de nombreuses expériences et publications / 5,6,7/. Le principal facteur limitant pour l'efficacité du procédé, mis à part la surface disponible pour la croissance de la biomasse, est l'oxygénation du réacteur /1/. Selon la DBO₅ et la température de l'eau à traiter, une capacité de nitrification allant jusqu'à 1,5 kg N-NH₄⁺/(m³.j) est atteinte dans les biofiltres.

En plus d'une forte capacité d'élimination associée à un encombrement réduit, l'avantage du procédé réside dans une bonne nitrification même lorsque la température de l'eau usée est basse, et la possibilité d'atteindre de très faibles concentrations dans l'effluent de sortie.

La figure 4 montre les concentrations en entrée et en sortie de la station d'épuration de la commune de Tönning, en Allemagne. Cette station fonctionne avec un procédé à plusieurs étapes d'épuration : décantation primaire, lit bactérien à forte charge, lagune puis biofiltration à lavage segmenté. L'installation est prévue pour 10 000 EH.

Avec une concentration en entrée du biofiltre de 36 mg N-NH₄⁺, on obtient en sortie de la première étape de biofiltration une capacité d'épuration allant jusqu'à 0,08 kg N-NH₄⁺/(m³.j), et une nitrification avancée. Après la seconde étape de biofiltration la concentration en azote atteint les limites de détection.

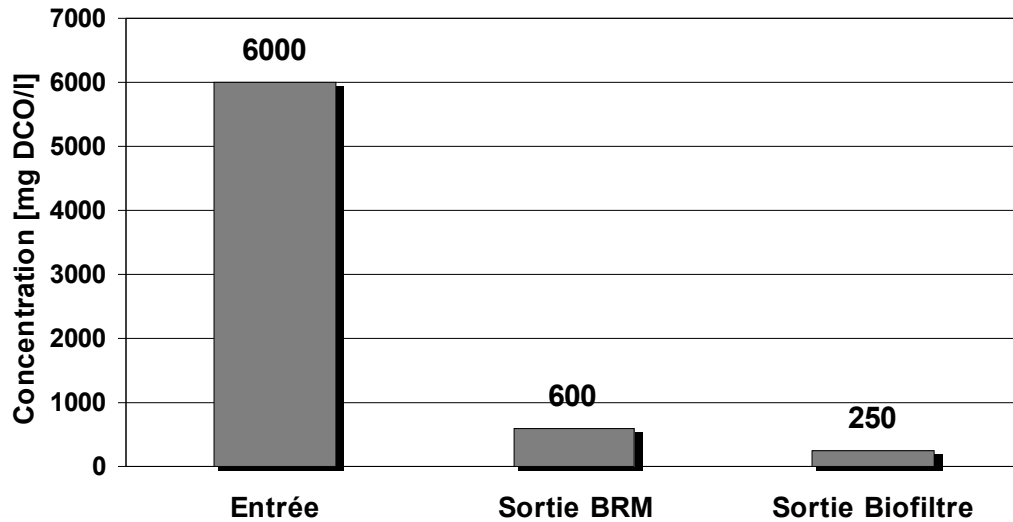


Figure 3 : DCO en sortie d'une épuration biologique en deux étapes (BRM+biofiltration) pour des eaux résiduaires de l'industrie textile.

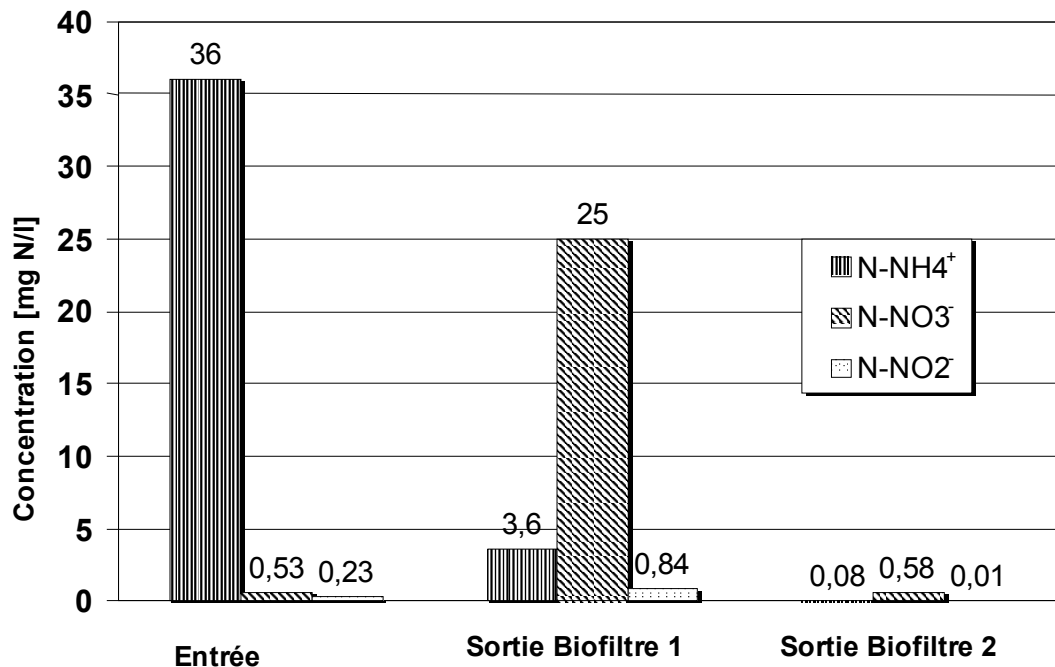


Figure 4 : Concentrations en matières azotées en entrée et en sortie de la station d'épuration de la commune de Tönning (Allemagne):

6. Conclusion

La filtration biologique à courant ascendant est désormais mise en place avec succès dans le domaine de l'épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles. Les cas d'utilisation les plus fréquents sont l'élimination de la DCO ou DBO, de la DCO peu biodégradable et la nitrification. La biofiltration traditionnelle, avec lavage sur toute la surface, nécessite des coûts élevés en matière d'investissement et d'exploitation des installations.

La mise en place d'une technique innovante de lavage segmenté permet de diminuer considérablement les coûts d'investissement et d'exploitation, tout en conservant une efficacité équivalente à celle des systèmes classiques de biofiltration.

7. Bibliographie

/1/ BRINKE-SEIFERT S., OLDENBURG M., BEHRENDT J., SEKOULOV I. „Einfluß der Belüftung auf die Leistungsfähigkeit von Festbettreaktoren zur Nitrifikation“ awt abwassertechnik Heft4/1996

/2/ SEKOULOV I., BRINKE-SEIFERT S., „Unter Wasser getauchte aerobe Festbettreaktoren – Beispiele, Pilot- und Betriebsergebnisse“ ATV-Seminar : Einsatz von Biofilmreaktoren 25/26 November 1996, Essen - Allemagne

/3/ SEKOULOV I., BRINKE-SEIFERT S., BEHRENDT J., 1997 „Biofilm-Technologie zur Reinigung kommunaler Abwässer : Mode oder Moderne ?“, 26. Abwassertechnisches Seminar, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Nr 130, Technische Universität München

/4/ SIEKER C., HEGEMANN W., „Untersuchungen zum Betriebs- und Leistungsverhalten großtechnischer Biofilteranlagen“ ATV-Schriftenreihe zur ATV-Bundestagung vom 14-16. Oktober 1996 p 767-790 ISBN 3-927729-44-2

/5/ PELADAN J-G., LEMMEL H., TARALLO S., TATTERSALL S., PUJOL R., 1997 : “A new generation of upflow biofilters with high water velocities”, Proceedings of International Conference on advanced waste water treatment processes, Leeds, UK, Sept 8-11.

/6/ ELMERS P., RÜDIGER A., 1997 „Umsetzung des Dringlichkeitsprogramms des Landes Schleswig-Holstein auf der Kläranlage Ahrensburg“, 10. Fachtagung Weitergehende Abwasserreinigung als Beitrag zum Schutz von Nord- und Ostsee, Lübeck-Travemünde Nov 1997

/7/ PUJOL R., LEMMEL H., GOUSAILLES M., VEDRY B., 1996 „Nitrification capacities with an up-flow biofiltration reactor“, Proceedings on.....Copenhagen 28-30 Aug 1996

Contact: AQUABIOTEC GmbH
Maria-Goeppert-Str.1
D-23562 Lübeck
Tel: +49 (0) 451 2903 140
Fax: +49 (0) 451 2903 145
E-Mail: info@aquabiotec.com