

## Einsatz von Lamellenabscheidern

*Reinhard Schröder<sup>1</sup>, Edita Augustínová<sup>2</sup> und Herbert Wotrubez<sup>3</sup>*

### *Použitie lamelových odlučovačov*

*V súvislosti s požiadavkou efektívnejšieho čistenia komunálnych odpadových vôd vyplývajú pre mnohé čistiarne odpadových vôd určité povinnosti, súvisiace s prevádzkou. Pritom aktivačné a dosadzovacie nádrže musia byť spravidla približne zdvojnásobené. Výstavba dodatočných nádrží so zodpovedajúcim strojným vybavením je najmä kvôli vyšším investíciám a používanej prevádzke nie vždy doporučovaná. Jedno z východísk riešenia tohoto problému predstavuje aplikácia lamelových odlučovačov, ktoré sú montované do aktívácie. Týmto môžeme za využitia existujúceho objemu aktívácie a bez zväčšovania dosadzovania dosiahnuť požadované hodnoty pre odstraňovanie živín.*

**Key words:** *komunal waste water, sedimentation, lamelle, biological water clearing.*

Mit der Forderung einer weitergehenden Abwassereinigung ergibt sich für viele Kläranlagen ein Erweiterungsbedarf. Dabei müssen die Belebungs- und Nachklärbecken in der Regel ungefähr verdoppelt werden. Eine alternative Möglichkeit stellt die Abhebung des Trockensubstanzgehaltes in der Belebung dar. Durch eine Verdoppelung des  $TS_{BB}$  von z.B.  $4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  auf  $8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  kann oft unter Ausnutzung von vorhandenen Volumina eine Nährstoffentfernung erzielt werden.

Bei einer konventionellen Nachklärung ist eine solche Feststoffhöhung allerdings nicht ohne weiteres möglich. Da in Abhängigkeit der Schlammeigenschaften übliche Feststoffkonzentrationen von  $8 - 10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  im Rücklaufschlamm erreicht werden, könnte das Rücklaufschlammverhältnis auf nicht vertretbare Werte von über 1.000% steigen. Auch durch eine überproportionale Vergrößerung der Nachklärung kann damit kein sicherer Betrieb gewährleistet werden.

Vereinzelt wird daher in solchen Fällen bereits versucht mit einer hochbelasteten Zwischenklärung die Nachklärbecken zu entlasten. Der Bau von zusätzlichen Becken mit entsprechender maschineller Ausrüstung ist jedoch als Regelfall wegen hoher Investitionen und aufwendigen Betrieb nicht zu empfehlen.

Einen Ausweg stellt die teilweise Rückhaltung der feststoffe in der Belebung durch einbau von Lamellenabscheidern dar. Bei entsprechender Bemessung kann z.B. die Hälfte des Schlammes zurückgehalten werden. Dadurch kann unter Ausnutzung der vorhandenen Volumina der Belebung und ohne Vergrößerung der Nachklärung eine Nährstoffentfernung erreicht werden.

## Grundlagen

### Sedimentation von Belebtschlamm

Die Fest-Flüssig-Trennung ist primär von der Sinkgeschwindigkeit der abzuscheidenden Teilchen abhängig. Das bedeutet, daß der zur Aufenthaltszeit proportionale horizontale Fließweg im Nachklärdecken werden daher mit der Flächenbelastung  $q_A$  zunächst unabhängig von der Beckentiefe bemessen. Die Tiefe des Nachklärbeckens ist für die Schlammspeicherung und Eindickung bzw. für das erforderliche Rücklaufschlammverhältnis maßgebend.

Eine Belebtschlammflocke gilt als abgeschieden, wenn sie unter eine Trennschicht zwischen Klarwasserzone gesunken ist. Die Beckentiefe ist damit von der mit entsprechender Sicherheit gewählten Tiefe der Klarwasserzone abhängig (*Abb.1*). Zusätzlich ist die Sedimentationsschicht so zu bemessen, daß der abgesetzte Schlamm sicher abtransportiert werden kann.

Aus der mechanischen Verfahrenstechnik ist eine für die unterschiedlichsten Einsatzfälle bewährte Technik zur Erhöhung der Abscheideleistung bei minimalem Bauvolumen bekannt. Dabei wird die Trennfläche durch Einbau von übereinander angeordneten Böden, den sogenannten Lamellen vervielfacht. Die Tiefe der Klarwasserzone zwischen den Lamellen kann damit deutlich herabgesetzt werden.

### Abbau von Lamellenabscheidern

Lamellenabscheider bestehen aus parallel übereinander angeordneten und zum Beckenbunden geneigten Platten. Um eine Zwangsführung des Abwasser-Schlamm-Gemisches zu erzeugen werden die Platten zu seitlich

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Reinhard Schröder, BWS GmbH Berlin, SHW Wassertechnik GmbH, Ruhrallee 185, D-451 36 Essen

<sup>2</sup> Doz.Dr.-Ing. Edita Augustínová, KMaET Fakulta BERG TU Košice, Park Komenského 19, SK-040 01 Košice

<sup>3</sup> Dipl.-Ing. Herbert Wotrubez, SHW Wassertechnik GmbH, Ruhrallee 185, D-451 36 Essen  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 9.8.2001)

verschlossen Paketen zusammengefaßt. Die Hauptströmungsrichtung in den Lamellen ist parallel zu den Platten aufwärts gerichtet. Damit entspricht die Abscheidung je nach Neigungswinkel einer Mischung aus horizontal und vertikal durchströmten Becken, was gegenüber rein horizontal durchströmten Becken eine höhere Abscheideleistung zur Folge hat. In *Abbildung 2* ist der prinzipielle Aufbau eines Lamellenabscheiders aufgezeigt. Dabei ist  $Q_{ZU}$  der Zulauf des Belebtschlammgemischs,  $Q_{AB}$  der Klarlauf,  $Q_{RS}$  der abgeschiedene Schlamm und  $\alpha$  der Winkel der Lamellenneigung.

Die Abscheideleistung der Lamellen ist abhängig von der folgenden Parametern:

- Hydraulische Belastung,
- Sedimentationsverhalten der Schlammflocken,
- Feststofffracht,
- Strömungsverhältnisse,
- Geometrie der Lamellenpakete.

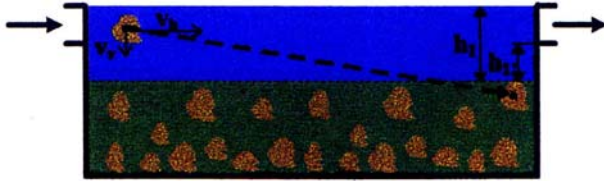


Abb.1. Sedimentation von Schlammflocken

$h_1$  - Tiefe der Klarwasserzone

$h_1'$  - Sicherheitszuschlag

$v_h$  - horizontale Fließgeschwindigkeit

$v_v$  - vertikale Sinkgeschwindigkeit

Die Neugung der Lamellen ist dabei für den Abtransport des sedimentierten Schlammes entscheidend. Je flacher die Platten angeordnet werden, desto höher die Eindickung aber desto schlechter das Abrutschen.

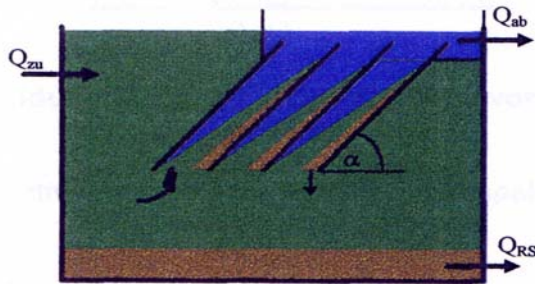


Abb.2. Schematischer Aufbau von Lamellenabscheidern.

## Bemessung

### Randbedingungen

Für die Abscheidung ist die senkrechte Gravitationskraft verantwortlich. Damit wirkt für die Abscheidung nur die senkrecht projizierte Fläche, die als effektive Abscheidefläche  $A_{eff}$  bezeichnet wird. (*Abb. 3*)

Die effektive Absatzfläche eines Lamellenpaketes wird nach Gleichung (1) berechnet

$$A_{eff} = n \cdot A_i \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

- wo:
- $n$  - Anzahl der Lamellen,
  - $A_i$  - Abscheiderfläche einer Lamelle,
  - $\alpha$  - Neigungswinkel der Lamellen.

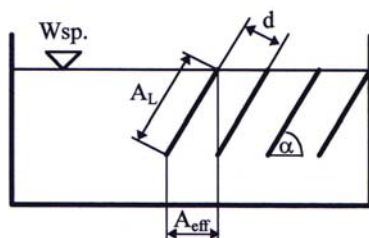


Abb.3. Effektive Absatzfläche von Lamellen.

Der Abscheidegrad bzw. die Feststoffkonzentration im Ablauf der Lamellen ist direkt proportional zur Flächenbelastung  $q_A$ . In Abhängigkeit der hydraulischen Belastung kann damit z.B. gezielt eine teilweise Schlammrückhaltung zur Entlastung der Nachklärung eingestellt werden. Darüber hinaus ist es auch möglich einer konventionellen Sedimentation vergleichbare Ablaufwerte zu erreichen.

### Oberflächenbelastung

Der Oberflächenbelastung ist ein Maß für die hydraulische Beaufschlagung und wird gemäß Gleichung (2) als Quotient aus Abwasserzulauf und effektiver Klärfläche definiert:

$$q_A = \frac{Q_m}{A_{eff}} \quad (2)$$

wo :  $Q_m$  - maximaler Zulauf des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs.  
 $A_{eff}$  - effektive Klärfläche (siehe Gleichung (1)).

Im Gegensatz zur Definition der Flächenbelastung bei der Auslegung von Nachklärbecken (vgl. Arbeitsblatt A 131 der ATV) wird das Vergleichsschlammvolumen hier nicht berücksichtigt. Für die geforderte Genauigkeit des Ablaufwertes ist dies bei üblichen Schlammindizes von  $ISV = 75 - 125 \text{ ml.g}^{-1}$  nicht erforderlich.

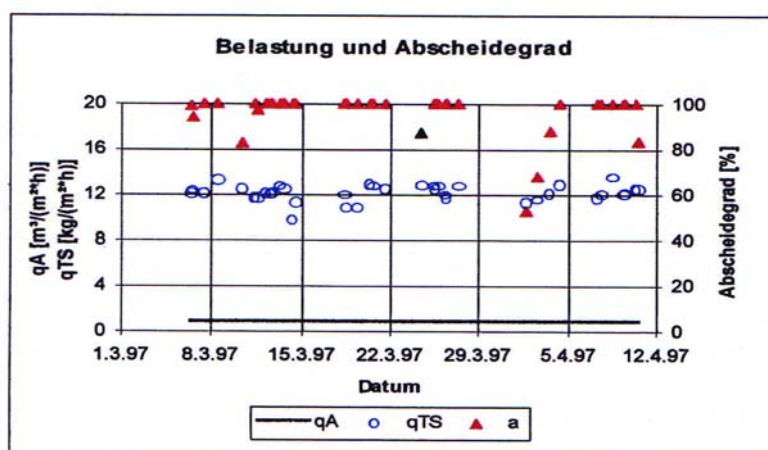


Abb. 4. Oberflächen-, Feststoffbelastung und Abscheidegrad.

Die Versuche im Halbertechnischen Maßstab wurden bei jeweils fest eingestellter Oberflächenbelastung betrieben. Eine Auswertung der maximalen Belastung ist daher noch nicht möglich. In Abb. 4 wird der Oberflächen- und Feststoffflächenbelastung sowie der Abscheidegrad der Lamellen für einen exemplarischen Versuchszeitraum dargestellt.

Unter Beachtung der Randbedingungen ist eine 50-prozentige Schlammrückhaltung mit einer Oberflächenbelastung von  $q_A \leq 1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  sicher einzuhalten. Ein höherer Abscheidegrad ist entsprechend Abb. 1 ebenfalls möglich.

### Feststoffflächenbelastung

Bei hohen Feststofffrachten kann die Feststoffflächenbelastung ein limitierender Faktor sein, da eine freie Sedimentation von Schlammflocken zunehmend behindert wird. Die Feststoffflächenbelastung wird gemäß Gleichung (3) definiert.

$$q_{TS} = Q_m \cdot TS_{BB} / A_{eff} \quad (3)$$

wo:  $Q_m$  - maximaler Zulauf des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs,  
 $TS_{BB}$  - Trockensubstanzgehalt im Zulauf zu den Lamellen,  
 $A_{eff}$  - effektive Klärfläche (siehe Gleichung (1)).

Bei den durchgeführten Versuchen wurden Feststoffflächenbelastungen zwischen 8 und 33  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  erreicht. Bis zu einer Belastung von etwa 20  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Abscheidegrad und Feststoffbelastung festgestellt werden.

## Eindickung des Schlammes

Wie bereits beschrieben ist der Eindickungsgrad entscheidend für das abzuführende Schlammvolumen. Je höher die Feststoffkonzentration, desto geringer die rückzuführende Menge. Im Gegensatz zur Nachklärung, wo das Rücklaufschlammverhältnis möglichst klein gehalten werden soll, ist beim Einbau von Lamellen in der Belebung lediglich das Abführen des Schlammes aus den Lamellenkanälen sicherzustellen. Der abgeschiedene Schlamm soll dann direkt wieder mit dem Belebtschlamm vermischt werden. Ein hoher Eindickungsgrad, z.B. auf den doppelten Trockensubstanzgehalt ist deshalb weder erforderlich, noch gewünscht. Die erforderliche Mindesteindickung kann entsprechend den Massenströmen in *Abb.5* berechnet werden. Dabei wird der Lamellenabscheider als separate Stufe betrachtet.

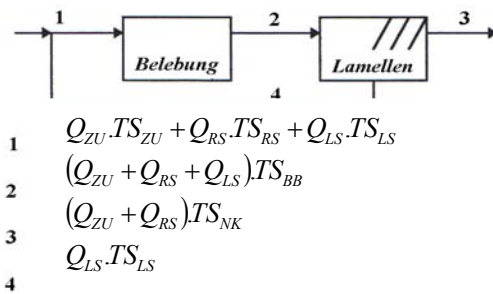


Abb.5. Feststoffbilanz für Lamellenabscheider

Bilanziert man den Feststoffstrom über die Lamellen, erhält man als erforderlichen Volumenstrom im Zulauf zu den Lamellen analog zu Nummer (2) in Abbildung 5 in Abhängigkeit des Eindickungsgrades die in Gleichung (4) gezeigte Menge.

$$Q_{LAM} = (Q_{ZU} + Q_{RS}) \cdot \left[ 1 + \frac{(TS_{BB} - TS_{NK})}{(TS_{LS} - TS_{BB})} \right] \quad (4)$$

wo:

- $Q_{ZU}$  - Abwasserzufluß zur Belebung,
- $Q_{RS}$  - Volumenstrom des Rücklaufschlammes aus der Nachklärung,
- $TS_{BB}$  - Trockensubstanzgehalt im Zulauf zu den Lamellen,
- $TS_{NK}$  - Trockensubstanzgehalt im Zulauf zur Nachklärung,
- $TS_{LS}$  - Trockensubstanzgehalt des in den Lamellen abgeschiedenen Schlammes.

### Beispiel:

Für ein Rücklaufschlammverhältnis von 100%, einer Schlammrückhaltung von 50% und einen Eindickungsgrad von 25% ergibt sich z.B. ein erforderlicher Mindestzufluß von :

$$Q_{LAM} = 2 \cdot Q_{ZU} \cdot \left[ 1 + \frac{(TS_{BB} - 0,5 \cdot TS_{BB})}{(1,25 \cdot TS_{BB} - TS_{BB})} \right]$$

$$Q_{LAM} = 6 \cdot Q_{ZU}$$

Das bedeutet, daß bezogen auf den Abfluß (Nr. (3) Abbildung 5) die fünffache Menge an den Lamellen vorbeigeführt werden muß. Diese Mindestmenge ist in Umlaufbecken leicht erreichbar. Für die beschriebene Anlage wird z.B. bei einer von der ATV empfohlenen Fließgeschwindigkeit von  $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , einen Länge zu Breite Verhältnis von 5:1 und einer Beckentiefe von 5m etwa die achtfache Menge bezogen auf den maximalen Regenwetterfall an den Lamellen vorbeigeführt.

## Technische Umsetzung

### Anordnung im Becken

Entscheidend für die Funktion der Lamellen ist eine strömungsgünstige Anordnung im Belebungsbecken. Wie war schon vorher beschrieben, muß eine ausreichend große Anströmungsmenge vorgesehen werden, durch die der sedimentierte Schlamm abtransportiert wird. In Umlaufbecken wird dies durch den Einbau von Rührern realisiert, die ohnehin für die Umwälzung in unbelüfteten Zonen erforderlich sind.



Abb.6. Anordnung von Lamellen in Umlaufbecken.

Unterhalb der Lamellenpakete ist keine Belüftung vorzusehen, um den Absetzvorgang nicht zu stören. Eine beispielhafte Anordnung von Lamellen in einem Umlaufbecken ist *Abbildung 6* zu entnehmen.

Die Lamellenpakete werden im Gegenstrom betrieben, d.h. der Zulauf erfolgt entgegen dem Schlammabzug.

### Ausführung der Lamellen

Die Lamellen werden zu kompakten Paketen zusammengefaßt. Diese werden komplet vorgefertigt und im Becken auf Konsolen gesetzt. Der Ablauf der einzelnen Lamellenplatten wird in beidseitig an die Pakete angeordnete Ablaufrinnen zusammengefaßt und an einen Sammler angeschlossen.

Für ein freies Abrutschen des abgeschiedenen Schlammes ist eine besonders glatte Oberfläche erforderlich. Als Werkstoff haben sich Kunststoffe wie Polyethylen und Polypropylen sowie Glassfaserverstärkte bewährt. Aus fertigungstechnischen Gründen sind dabei Thermoplaste zu bevorzugen.

Neben Flächenplatten werden vielfach auch Wellenplatten und Röhren eingesetzt. Ebene Platten sind dabei wartungsfreundlicher und kompakter. Der Ablauf erfolgt über ein einstellbares Überfallwehr, um Einbautoleranzen ausgleichen zu können.

### Betrieb der Lamellen

Lamellenseparatoren haben keine bewegten Teile und erfordern daher einen minimalen Wartungsaufwand. Je nach Schlammeigenschaften kann es im Laufe der Zeit zur Anhaftung von Schlamm auf den Platten kommen. Durch die Einengung des Fließquerschnitts oder normale hydraulische Spitzenbelastungen und der daraus resultierenden Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit lösen sich Schlammhäufungen in der Regel von selbst. Eine kurzzeitige Erhöhung der Trockensubstanz durch solche Ablösungen bei einzelnen Lamellen stellen für die folgende Nachklärung durch die Vergleichsmäßigung keine Gefahr dar.

Kommt es aufgrund von Betriebsstörungen zu einer starken Verschlechterung der Schlammeigenschaften, etwa durch vermehrtes Auftreten von Fett, können die Lamellenpakete einfach manuell gereinigt werden. Dies gilt insbesondere für ebene Platten.

### Wirtschaftlichkeit

#### Investitionsbedarf

Beim Kläranlagenbau stellt die bautechnik mit ca. 60% des Investitionsbedarfs den größten Kostenfaktor dar, hier sind insbesondere die belebungsbecken zu nennen. Die Verringerung des Bauvolumens eröffnet somit das größte Einsparpotential einer Einzelmaßnahme. Eine exemplarische Vergleichsrechnung für eine Kläranlage mit 50 000 EW soll dies verdeutlichen. In *Tabelle 1* sind die Auslegungsparameter der beiden Anlagen gegenübergestellt. Die Auslegung erfolgte mit der gleichen Verfahrensauswahl für beide Anlagen nach ATV-Arbeitsblatt 131. Die Ergebnisse der Rechnung sind in *Tabelle 2* zusammengefaßt.

Tab.1. Auslegungsparameter für die Vergleichsrechnung.

Parameter	Einheit	ohne Lamellen	mit Lamellen
Einwohnerwerte	EW	50 000	50 000
Abwasserzulauf $Q_{id}$	$m^3 \cdot d^{-1}$	10 000	10 000
BSB <sub>5</sub>	$kg \cdot d^{-1}$	3 000	3 000
TS in der Belebung	$kg \cdot m^{-3}$	4	8
Schlammindex	$ml \cdot g^{-1}$	100	100
Vorklärung	-	keine	keine
Nitrifikation	-	simultan	simultan
Denitrifikation	-	simultan	simultan
Phosphor-Elimination	-	Fe-Fällung	Fe-Fällung
Schlammstabilisierung	-	simultan	simultan

[Quelle: SHW Wassertechnik GmbH]

Tab.2. Ergebnisse der Vergleichsrechnung.

Parameter	Einheit	ohne Lamelle	mit Lamelle
Volumen Belebung	m <sup>3</sup>	21 500	10 750
Volumen Nachklärung	m <sup>3</sup>	4 650	4 650
Gesamtvolumen	m <sup>3</sup>	26 150	15 375
Eff. Fläche der Lamellen	m <sup>2</sup>	-	1 700
Volumen der Lamellen	m <sup>3</sup>	-	- 300

[Quelle: SHW Wassertechnik GmbH]

Es zeigt sich, daß durch die Verdoppelung des Trockensubstanzgehaltes das Belebungsvolumen halbiert werden kann. Bei einem angenommenen Baupreis von 200 DM pro Kubikmeter umbauten Raum entspricht dies für das angegebene Beispiel einer Summe von 2 150 000 DM. Dem stehen Investitionen in Höhe von rund 500 000 DM für die Lamellenabscheider gegenüber. Damit beträgt die Einsparung 1 650 000 DM.

### Einsparpotential

Aus dem o.g. Beispiel kann ein prozentuales Einsparpotential angeleitet werden. Unter der Voraussetzung einer Einsparung von rund 32% der Investitionen für die gesamte Bautechnik (Belebung und Nachklärung) und einem Anteil der Bautechnik von 60% ergibt sich ein Einsparpotential von etwa 19% bezogen auf die Gesamtinvestitionen der Kläranlage.

Für die Erweiterung bestehender Anlagen kann die Einsparung durch Wegfall zusätzlicher Becken sogar noch größer ausfallen.

Die berechnete Einsparung bezieht sich dabei auf eine großzügige Dimensionierung der Lamellenabscheider. Nach einer bezieht sich dabei auf eine großzügige Dimensionierung der Lamellenabscheider. Nach einer weiteren Optimierung ist eine höhere Belastung und damit die Minimierung der effektiven Absatzfläche möglich.

### Ausblick

Der Einsatz von Lamellenabscheidern stellt für die kommunale Abwasserbehandlung, obschon in der industriellen Anwendung weit verbreitet, ein Nivum dar. Betriebserfahrungen auf breiter Basis sind daher für die spezifischen Anforderungen noch nicht vorhanden. Aus diesem Grund werden Lamellenabscheider vorerst konservativ bemessen. Das bedeutet in der Praxis den Ansatz eines großzügigen Sicherheitsfaktors.

Die von der SHW Wassertechnik GmbH durchgeführten halbtechnischen Versuche erlauben die zuverlässige Bemessung der Lamellenabscheider. Dabei ist ein scale-up durch die modulare Bauweise problemlos möglich.

Als weitere Schritt zur Kostenminimierung wird der vollständige Einsatz der Nachklärung durch Lamellen in der Belebung angestrebt. Hierzu haben die oben genannten Versuche bereits wichtige Hinweise geliefert. Dies kann wirtschaftlich aber erst erfolgen, wenn die Grenzbelastungen genau bekannt sind und damit eine Flächenoptimierung erfolgen kann.

Von SHW Wassertechnik GmbH wurden bisher drei kommunale Kläranlagen mit Lamellenabscheidern projektiert. Dabei wurde in einer Anlage das Nachklärbecken mit dieser Technik ausgerüstet. Für die beiden anderen Anlagen wurde die Lamellenabscheider in den Belebungsbecken angeordnet und zur Entlastung der Nachklärung ausgelegt.

### Literatur

- [1] ATV: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III., Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, 1990
- [2] PLAß, R.: Kostenoptimierung durch Lamelleneinbauten, Fortbildungskurs Wirtschaftlichkeit der Abwasserentsorgung, TUHH 1997
- [3] DROSTE, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons Inc. 1997
- [4] WOTRUBEZ, H.: Einsatz von Lamellenabscheidern, SHW Wassertechnik GmbH, 1997