

# Langjährige Betriebserfahrungen mit den Biothane Verfahren in der Papierindustrie

## Zusammenfassung

Bei der Papierproduktion werden große Mengen Wasser eingesetzt, die je nach Papiertyp und Herstellungsprozess zu sehr unterschiedlichen Abwassermengen und -zusammensetzungen führen. Um Belastungen für die Umwelt zu reduzieren, werden Wasserkreisläufe geschlossen und das noch anfallende Abwasser wird meist in werkseigenen Kläranlagen gereinigt. Seit ca. 30 Jahren hat sich die anaerobe Abwasserreinigung als biologische Vorbehandlung in der Papierindustrie immer weiter verbreitet, da sie gegenüber einer rein aeroben Behandlung die deutlich wirtschaftlichere Lösung für organisch hoch belastetes Abwasser darstellt. Insbesondere wird die Anaerobtechnik heute auch erfolgreich für die Behandlung von Kreislaufwasser in geschlossenen Wasserkreisläufen eingesetzt. Die anaeroben Pellettschlammssysteme BIOTHANE® UASB und BIOBED®EGSB erreichen je nach Papierproduktionsprozess einen CSB-Abbau von 60 % bis über 85 %. Das beim CSB-Abbau erzeugte Biogas kann in der Papierfabrik zur Gewinnung thermischer Energie oder in einem separaten BHKW zur kombinierten Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie genutzt werden. Die in diesem Artikel beschriebenen Betriebserfahrungen mit den genannten Pellettschlammssystemen in Deutschland zeigen, wie diese Verfahren erfolgreich zum Schutz unserer natürlichen Ressourcen und zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen.

## Schlagwörter

Abwasser aus Papierproduktion, anaerobe Behandlung, Betriebserfahrungen, BIOTHANE®UASB, BIOBED®EGSB, Kreislaufwasserbehandlung, Reduzierung CO<sub>2</sub> -Emissionen, Carbon Footprint

## Einleitung

Insbesondere auf dem deutschen Markt nimmt die anaerobe Vorbehandlung von Abwässern aus der Papierindustrie eine herausragende Stellung ein. Von allen deutschen Referenzanlagen der betrachteten Pellettschlammssysteme befinden sich mehr als 40 % in Papierfabriken (siehe Abb. 1). Die anaerobe Behandlung von Papierabwasser ist heute ein bewährtes Verfahren und beispielsweise in der Altpapier verarbeitenden Industrie Stand der Technik. Die entscheidenden Vorteile gegenüber aeroben Alternativen sind der niedrigere Energieverbrauch, die sehr kompakte Bauweise, der geringe Nährstoffbedarf, eine gute Schlammbeschaffenheit bei aerober Nachreinigung und die starke Reduzierung des Überschussschlammmanfalls durch Umwandlung des CSB in energiereiches Biogas. Das erzeugte Biogas dient als erneuerbare Energiequelle, durch deren Nutzung fossile Energieträger ersetzt werden können. Im Folgenden werden Betriebserfahrungen von drei Papierfabriken geschildert, die erfolgreich das BIOTHANE®UASB oder das BIOBED®EGSB Verfahren zur Vorbehandlung ihrer Abwässer einsetzen.

## Biologische Behandlung von Abwasser aus der Papierproduktion

Je nach Papierart und -produktion sowie den eingesetzten Rohstoffen fallen bei der Papierherstellung verschiedene Abwasserströme an, die sich auch in Bezug auf Menge und Verschmutzungsgrad sehr stark unterscheiden. In Tab. 1 sind typische Daten für den Gesamtabwasserstrom zusammengefasst. Wie anhand der CSB-Werte ersichtlich, eignet sich für eine anaerobe Vorbehandlung vor allem Abwasser aus Papierfabriken, die Altpapier als Rohstoff einsetzen, da die Anaerobtechnik ab einem CSB

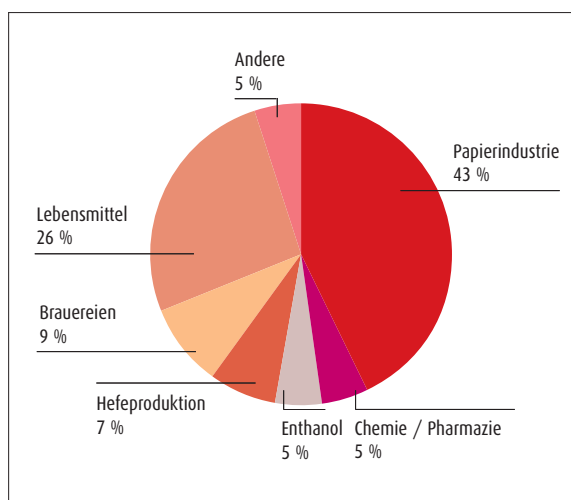


Abb. 1: Aufteilung Biothane UASB und BIOBED®EGSB-Anlagen in Deutschland nach Marktsegmenten

Programm	spez. Abwasseranfall m <sup>3</sup> /t	CSB mg O <sub>2</sub> /l	BSB <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /l
Holzfremde Papiere	5 – 70	50 – 1.100	20 – 50
Hochausgemahlene & Spezialpapiere	30 – 200	20 – 110	10 – 40
Holzhaltige Papiere	5 – 25	320 – 1.300	125 – 500
Gestrichene Papiere	7 – 30	360 – 540	170 – 260
Papier aus Altpapier	0 – 20	540 – 5.500	250 – 3.000

Tab. 1: Produktionsspezifische Abwassermengen und -zusammensetzung (Bischofsberger et al., 2005)

>1500 mg O<sub>2</sub>/l wirtschaftlich ist. Außerdem ist der CSB in Altpapierabwasser gut biologisch abbaubar, wie das BSB<sub>5</sub>/CSB Verhältnis >0,5 zeigt.

Ein geringerer spezifischer Abwasseranfall bedeutet größere Belastungen des Abwassers mit organischen und anorganischen Verunreinigungen. Durch immer weitere Einengung der Wasserkreisläufe und vermehrten Einsatz von Altpapier als Rohstoff hat sich in den vergangenen Jahren die Zusammensetzung der Papierabwässer verändert. In komplett geschlossenen Kreisläufen sind die Verunreinigungen auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Für die Reduzierung der organischen Verschmutzung hat sich hierbei die Anaerobtechnik in Kombination mit aerober Nachbehandlung in vielen Fällen bewährt.

Neben der Behandlung des gesamten Abwasserstroms wird das BIOBED®-Verfahren auch für die gezielte Behandlung von Teilströmen eingesetzt, wie beispielsweise für Kondensate aus der Eindampfung von Schwachlaugen (Bischofsberger et al., 2005). Kondensate weisen eine sehr hohe Konzentration leicht abbaubarer organischer Inhaltsstoffe auf und eignen sich deshalb sehr gut für eine anaerobe Vorbehandlung. Ob ein Abwasserstrom aus der Papierproduktion für eine anaerobe Vorbehandlung in Frage kommt, muss im Einzelfall geklärt werden. Bei der Entscheidung spielen neben der organischen Belastung und deren anaeroben biologischer Abbaubarkeit auch andere Parameter eine Rolle, zum Beispiel der Einsatz diverser Hilfsstoffe in der Papierproduktion. Die folgenden Betriebserfahrungen zeigen, wie Pelletschlammssysteme erfolgreich für die Abwasserbehandlung in der Papierindustrie betrieben werden.

### Gegenüberstellung von UASB und EGSB Verfahren

Beide Verfahren wurden von der Firma Biothane in den Niederlanden entwickelt. Das Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Verfahren war das erste Pelletschlammssystem auf dem Markt und wurde in den 70er Jahren erstmalig realisiert. Die Reaktoren werden meist als rechteckige Betonbecken mit einer maximalen Höhe von 8 m gebaut. Die Beschickung erfolgt mittels eines speziellen Einlaufverteilsystems. Der Zulauf wird gleichmäßig über die Reaktorgrundfläche in das Schlammbett eingeleitet und das Abwasser durchströmt den Reaktor von unten nach oben. In Höhe des Wasserspiegels werden Dreiphasenabscheider installiert, mit deren Hilfe Schlamm und Biogas vom Wasser abgetrennt werden. Es sind CSB-Raubelastungen zwischen 8 und 12 kg CSB / (m<sup>3</sup>xd) möglich. Eine Weiterentwicklung dieses Prozesses stellt das Extended Granular Sludge Bed (EGSB) Verfahren dar, welches als BIOBED®-Verfahren bekannt ist (Abb. 2). Im Gegensatz zu UASB werden BIOBED Reaktoren als Rundbehälter mit einer Höhe bis zu 20 m ausgeführt. Die weiterentwickelten Dreiphasenabscheider erlauben eine deutlich höhere Aufströmgeschwindigkeit und CSB-Raubelastung (15–25 kg CSB / (m<sup>3</sup>xd)). Beide Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass außer den Dreiphasenabscheidern und dem Einlaufverteilsystem keine weiteren Einbauten im Reaktor erforderlich sind.

### BIOHANE®UASB bei der SCA Packaging Containerboard Deutschland GmbH

Die SCA Packaging Containerboard Deutschland GmbH produziert am Standort Witzzenhausen Wellenstoff und Testliner. Als Rohstoff wird zu 100 % Altpapier eingesetzt. Der Standort Witzzenhausen gehört zu den Pionieren für den Einsatz des BIOHANE®UASB in der deutschen Papierindustrie. Erste Planungen begannen Anfang der 90er Jahre und die Anlage ging 1995 in Betrieb. Die anaerobe Vorbehandlung besteht aus drei parallel betriebenen BIOHANE®UASB Reaktoren. Diesen folgt eine aerobe biologische Behandlung.

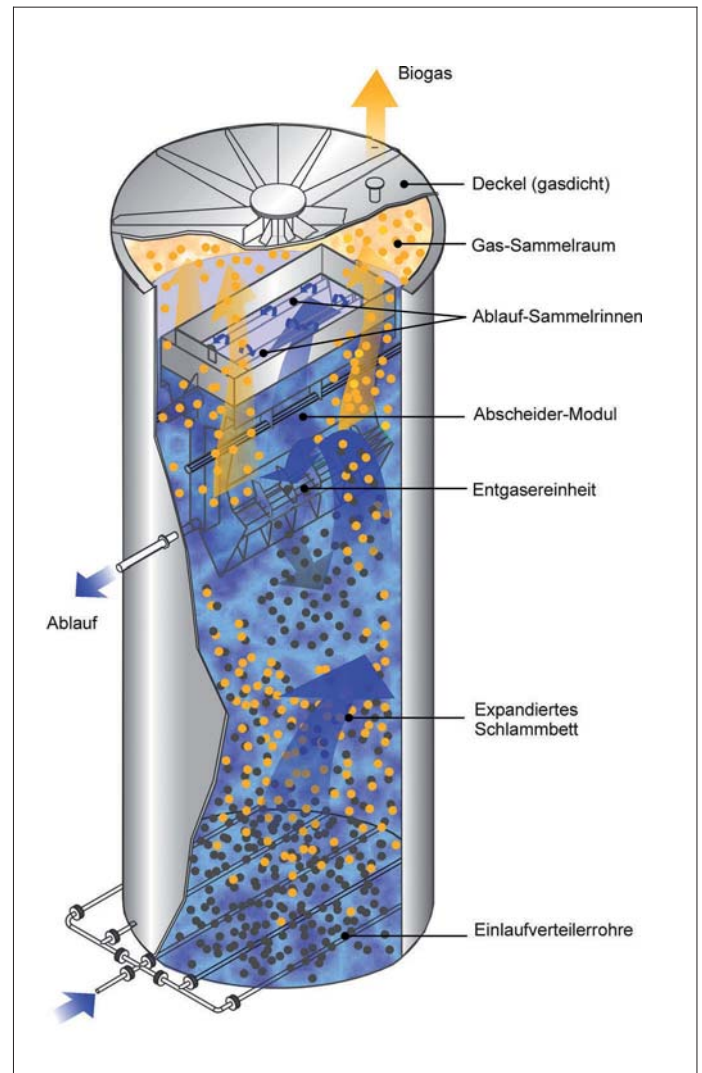


Abb. 2: BIOBED®Reaktor

Bei der Planung wurde bereits eine zukünftige Produktionssteigerung in der Papierfabrik berücksichtigt. Die Anlage ist auf eine CSB-Fracht von 28,8 t O<sub>2</sub>/d und einen CSB-Abbau von 75 % ausgelegt

Tab. 2 zeigt, wie sich die Abwasserparameter und die Leistung der Anlage über die Jahre entwickelt haben (Jahresmittelwerte). Die Abwassermenge ist seit Ende der 90er Jahre um fast 25 % zurückgegangen. Zugleich stieg jedoch der CSB um ca. 75 % an, so dass heute nahezu die Auslegungsfracht behandelt wird. Die sehr gute Abbauleistung von fast 88 % in 2010 zeigt, dass der Prozess die Zielparameter der Planung sehr sicher erreicht.

Vor dem Hintergrund der aktuell hervorragenden Abbauleistung und der vorausschauenden Berücksichtigung zukünftiger Produktionssteigerungen bei der Planung, sieht sich der Betreiber mit seiner Abwasserreinigungsanlage auch für die Zukunft sehr gut gerüstet.

Wie bei vielen Papierfabriken, die Altpapier verarbeiten, stellt auch in Witzzenhausen Kalk im Abwasser eine besondere Herausforderung dar. Der Kalkgehalt führt zu Ausfällungen in der anaeroben Stufe und die

Jahr	Abwasseranfall Papierfabrik	CSB		CSB-Elimination UASB	CSB Ablauf Aerobie	
		Zulauf UASB	Ablauf UASB			
	m <sup>3</sup> /h	mg O <sub>2</sub> /l	t O <sub>2</sub> /d	mg O <sub>2</sub> /l	%	mg O <sub>2</sub> /l
1999	170	4.100	16,7	770	81,2	208
Ok. 2010	130	7.290	22,7	893	87,8	179

Tab. 2: Betriebsdaten BIOHANE UASB Witzzenhausen

Schlammmenge in den UASB-Reaktoren nimmt zu. Im Betrieb hat es sich gezeigt, dass mit einer konstanten Schlammбетhöhe zwischen 2 und 2,5 m die Abbauleistung trotz eines Aschegehalts im Schlamm von 70 % bis 80 % problemlos aufrecht gehalten werden kann. Die Schlammbelastung bezogen auf den organischen Anteil beträgt bei den angegebenen Werten im Mittel ca. 0,5 kg CSB/kg oTS und verdeutlicht eine gute Leistungsfähigkeit der Biomasse (Literaturwerte für UASB zwischen 0,2 und 0,6 (Bischofsberger et al., 2005)). Zu einem Leistungsrückgang kommt es, wenn eine kritische Schlammбетhöhe überschritten wird. Es wird keine ausreichende Durchmischung des relativ schweren Schlammes mehr erreicht. Um die Schlammбетhöhe im optimalen Bereich zu halten, wird regelmäßig Schlamm abgezogen.

In Witzhausen ist technisch ein quasi kontinuierlicher Überschuss-schlammabzug möglich.

Kalkablagerungen, die sich im Einlaufverteilsystem bilden können, werden durch regelmäßiges Spülen vermieden. Insgesamt führen das Spülen des Einlaufsystems und der regelmäßige Schlammabzug dazu, dass die gesamte Anlage mit der sehr guten Abbauleistung störungsfrei läuft (Abb. 3).

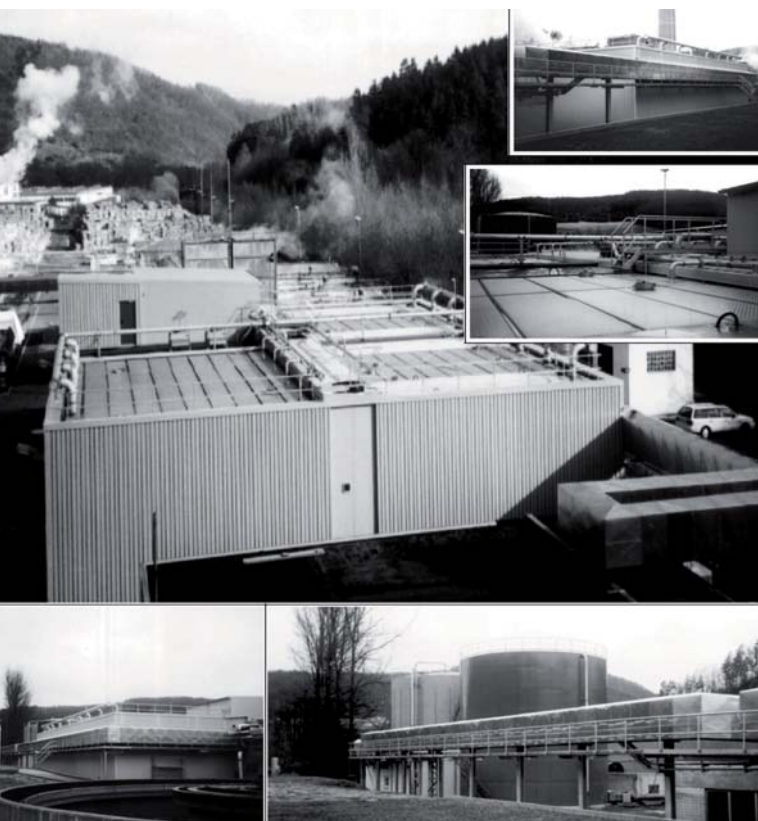


Abb. 3: UASB Reaktoren bei der SCA Packaging Containerboard Deutschland GmbH in Witzhausen

Jahr	Abwasseranfall Papierfabrik m³/d	CSB Zulauf UASB		CSB Ablauf UASB mg O₂/l	CSB-Elimination UASB %
		mg O₂/l	t O₂/d		
1998	2.574	2.292	5,91	527	77
1999	2.550	2.263	5,78	475	79
2008	2.648	2.982	7,90	716	76
2009	2.668	2.948	7,85	825	72
2010	2.713	2.954	7,99	798	73

Tab. 3: Betriebsdaten BIOTHANE®UASB Trostberg

## BIOTHANE®UASB bei der Papierfabrik Trostberg

Die Hamburger Rieger GmbH & Co. KG betreibt am Standort Trostberg eine Papierfabrik zur Produktion von Papier und Karton (weiße Testliner, Graukarton, Duplex- und Triplexkarton). Als Rohstoff wird Altpapier eingesetzt. Im Jahre 1998 wurde auf der werkseigenen Abwasserreinigungsanlage eine anaerobe Vorbehandlung mit dem BIOTHANE®UASB Verfahren in Betrieb genommen. Die Anlage besteht aus zwei parallel betriebenen UASB-Reaktoren.

Die Betriebsdaten (Jahresmittelwerte) in Tab. 3 zeigen, dass im Vergleich zu den ersten Betriebsjahren ein kontinuierlicher Anstieg des CSB erfolgte. Da die Abwassermenge ebenfalls zunahm, verarbeitet die Anlage heute ca. 35 % mehr organische Fracht. Die Abbauleistung in dieser Anlage beträgt im Mittel mehr als die in der Auslegung vorgesehenen 75 %. Auch bei dieser Anlage wurde bei der Planung eine Frachtsteigerung berücksichtigt. Die Auslegung erfolgte auf eine CSB-Fracht von 9,25 t O₂/d, die heute nahezu erreicht wird.

Die prozentuale Abbauleistung ist im Vergleich zu der Anlage in Witzhausen geringer. Das ist auf das niedrigere CSB-Niveau im Rohabwasser zurückzuführen. Im Ablauf wird über die betrachteten fünf Jahre im Mittel ein CSB von 668 mg O₂/l erreicht; dies liegt damit unter den Ablaufwerten der Witzhausener Reaktoren.

Da kein behandeltes Wasser in den Prozess rückgeführt wird, weist das Wasser keine hohen Kalziumkonzentrationen auf und Kalkausfällungen treten nicht auf. Entsprechend ist auch die Zusammensetzung des Pelletschlammes durch einen geringen Aschegehalt zwischen 15 und 25 % gekennzeichnet. Dieser qualitativ hochwertige Pelletschlamm kann am Markt verkauft werden, sobald Überschuss-schlamm aus den Reaktoren abgezogen werden kann.

Der Schlammpegel in den Reaktoren schwankt abhängig vom Zuwachs und der Schlammabnahme. In letzter Zeit wird die Anlage mit einer Schlammбетhöhe von ca. 3 m betrieben.

Insgesamt bezeichnet der Betreiber den Betrieb der Anlage als sehr betriebsfreundlich. Insbesondere lassen sich die Reaktoren nach produktionsbedingten Stillständen sehr gut wieder anfahren.

## Papierfabrik Schoellershammer

Die Papierfabrik Schoellershammer in Düren ist ein mittelständisches Unternehmen, das unterschiedliche Papiersorten fertigt. Größtenteils werden Wellpapperroh-papiere produziert, die aus Altpapier hergestellt werden. Schon Anfang der 90er Jahre wurde ein BIOTHANE®UASB-Reaktor als anaerobe Vorbehandlung in Betrieb genommen. In der werkseigenen Kläranlage, die auch eine aerobe Belebungsstufe beinhaltet, wird das Abwasser aus der Wellpapperroh-papierproduktion auf Indirekteinleiterqualität gereinigt und überwiegend zur kommunalen Kläranlage abgeleitet. Der verbleibende Teil des gereinigten Abwassers wird als Kreislaufwasser in den Produktionsprozess der Papierfabrik zurückgeführt.

	Abwassermenge	Abwassermenge	CSB Zulauf
	m³/d	m³/h	t O₂/d
Bestehende Anlage		60	10
Neue Anlage		120	14
Gesamt Erweiterung	3.000	180	24

Tab. 4: Kennzahlen Abwasserreinigungsanlage Schoellershammer



Abb. 4: BIOBED®Reaktor Schoellershammer

Bis 2009 wurde nur ein Teilstrom des Abwassers in der Anaerobstufe aus den 90er Jahren vorbehandelt. Um eine wirtschaftliche Produktionssteigerung am Standort zu realisieren und für eine weitere Reduzierung der Umweltauswirkungen durch die Papierproduktion wurde die Anaerobstufe 2009 erweitert (Kennzahlen zur Erweiterung siehe Tab. 4). Die Erweiterung und der Betrieb der Abwasserreinigung wurden an den privaten Betreiber OEWA vergeben, eine Tochtergesellschaft von Veolia Wasser.

Die neue Anlage besteht aus einem BIOBED®EGSB-Reaktor mit Konditionierung und einer aeroben Nachbehandlung mit Belebungsbecken und Nachklärung. Abb. 4 zeigt den neuen BIOBED®-Reaktor mit Konditionierung. Die bestehende und die neue Anlage werden seit der Inbetriebnahme parallel betrieben. Dabei können das Zulaufvorlagebecken und die Vorversäuerung aus den 90er Jahren für die Gesamtanlage genutzt werden.

Der Ausbau ermöglicht die Behandlung des gesamten Abwassers. Kostenreduzierungen durch geringere Abwassergebühren und höhere Erlöse aus der gesteigerten Biogasproduktion sind Ergebnisse, die mit der Erweiterung erreicht wurden. Abb. 5 veranschaulicht, wie sich die CSB-Abbauleistung der Anlage nach der Erweiterung im September 2009 entwickelt hat. Die Altanlage hatte nicht die erforderliche Kapazität, um einen guten CSB-Abbau zu gewährleisten. Mit Inbetriebnahme des BIOBED®EGSB Reaktors konnte die Fracht auf beide Anlagen aufgeteilt werden und ein anaerober CSB-Abbau von 80 % bis 85 % erzielt werden. Insgesamt wird mit der erweiterten Abwasserreinigungsanlage eine CSB-Reduktion um mehr als 95 % erreicht.

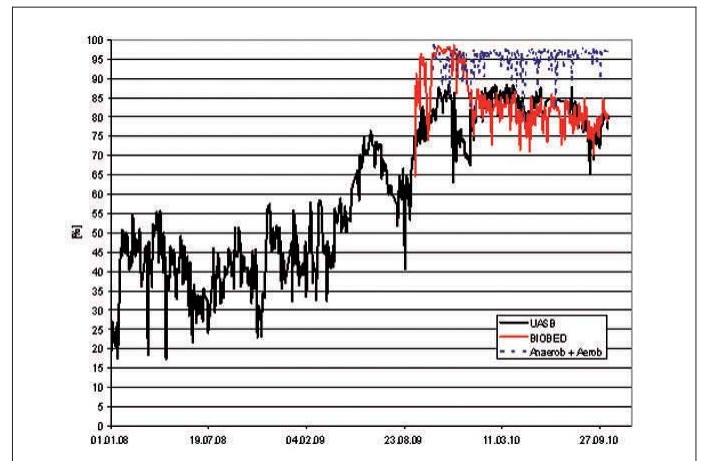


Abb. 5: CSB-Abbau Abwasserreinigungsanlage Papierfabrik Schoellershammer

Durch die Erweiterung mit dem modernen Hochleistungssystem BIOBED® ergab sich ein großes Optimierungspotenzial für den Betrieb der Anlage. Seit der Übernahme der Betriebsführung nutzt OEWA konsequent die systemeigenen Optimierungsmöglichkeiten, so konnte beispielsweise der spezifische Natronlaugeverbrauch pro Kubikmeter Abwasser für die Neutralisierung um ca. 40 % reduziert werden. Auch der Nährstoffverbrauch wird weiter optimiert. Eine gezielt gesteuerte Bewirtschaftung der Beckenvolumina von Zulaufvorlagebecken und Vorversäuerung sowie die Beschickung der zwei Behandlungslinien stellt die kostengünstige Behandlung des gesamten anfallenden Abwassers sicher.

Die Vorteile für die Papierfabrik durch die Erweiterung der Abwasserreinigungsanlage sind eine Halbierung der Abwassergebühr, eine dreifach höhere Biogasproduktion, weniger aerober Überschussschlamm zur Entsorgung und eine Reduzierung des Wasserverbrauchs durch eine größere Rückführung von behandeltem Abwasser in den Papierprozess. Besonders zu erwähnen ist, dass die Abwasserbehandlung durch die Integration des BIOBED®Verfahrens klimaneutral erfolgt. Veolia hat für die Anlage eine Carbon Footprint Berechnung erstellt, in der sowohl der Bau der Anlage als auch 20 Jahre Betrieb berücksichtigt sind. Den emittierten 30 000 t Kohlendioxidequivalenten, die im Wesentlichen durch den Betrieb der Anlage verursacht werden (Energie, Chemikalien, etc.), stehen vermiedene Kohlendioxidemissionen von 31 000 t gegenüber, die durch die energetische Nutzung des Biogases eingespart werden (Grundlage deutscher Strommix mit 0,44 kg CO<sub>2</sub>-Equivalent pro kWh). Anaerobe Hochleistungsverfahren mit Pelletschlamm haben sich seit vielen Jahren für die Behandlung industrieller Abwässer mit hoher organischer Belastung etabliert. Eine große Bedeutung haben sie insbesondere in der Papierindustrie erlangt. Die vorgestellten Beispiele zeigen, dass mit dieser Technologie ein wesentlicher Beitrag zum Schutz der Umwelt geleistet werden kann, indem organische Fracht effizient aus dem Abwasser entfernt und in den regenerativen Energieträger Biogas umgewandelt wird.

#### Literaturhinweise

- Bischofsberger, W.; Dichtl, N.; Rosenwinkel, K.-H.; Seyfried, C. F.; Böhnke, B. (2005). Anaerobtechnik, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
- Hamburg Rieger GmbH & CO. KG, Papierfabrik Trostberg (2010). Persönliche Mitteilungen von Herrn Eichhorn
- OEWA Wasser und Abwasser GmbH (2010). Persönliche Mitteilungen von Herrn Loose
- SCA Packaging Containerboard Deutschland GmbH (2010). Persönliche Mitteilungen von Herrn Krabel
- Schmid, F. (2004). Anaerobtechnik reduziert Kosten der Abwasserreinigung. PTS News