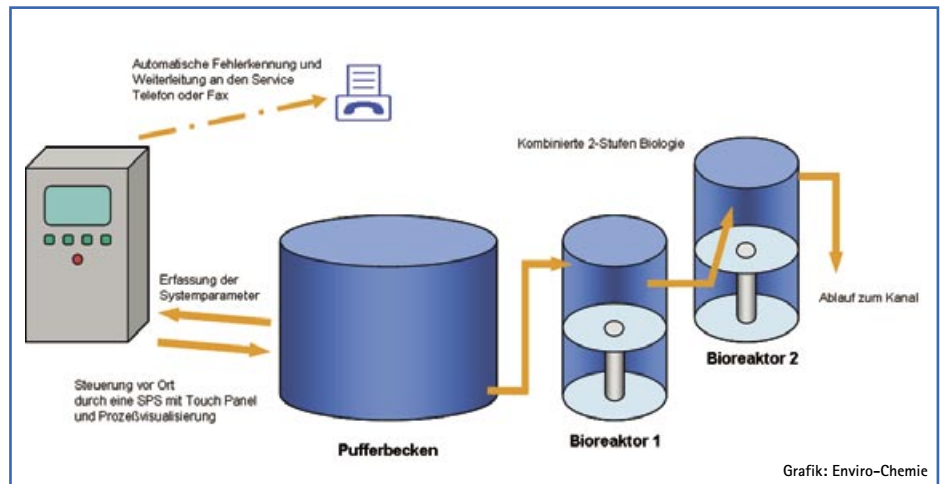


## Minimierte Entsorgungskosten und ohne Chemikalien

# Biologische Abwasseraufbereitung

Das SPLIT-O-MAT FAT-Verfahren ermöglicht es, fetthaltiges Lebensmittelabwasser aus Großküchen ohne Fettabscheider – d. h. minimierte Entsorgungskosten und ohne Zusatz von Chemikalien – so aufzubereiten, dass auch verschärfte Einleitrichtlinien für schwerflüchtige lipophile Abwasserinhaltsstoffe (< 100 mg/l) eingehalten werden.



Schema einer biologischen Abwasseraufbereitung für Lebensmittelabwasser

Abwasser, das nur mit organischen Substanzen verschmutzt ist, kann sich weitgehend ohne menschliche Hilfe reinigen. Kleinstlebewesen im Wasser zersetzen und verwerten das organische Material. Die Selbstreinigungskraft des Wassers kann eine Verschmutzung aber nur bis zu einem bestimmten Grad bewältigen. Die Aufgabe der biologischen Abwasseraufbereitung ist hierbei die Abfallstoffe in die kleinsten organischen Bauteile zu zersetzen. Beim rein aeroben Verfahren werden die organischen Schadstoffe in  $\text{CO}_2$  verstoffwechselt. Stoffwechselprodukt eines rein anaeroben Verfahrens ist das Biogas Methan  $\text{CH}_4$  (und  $\text{CO}_2$ ), welches bei Großanlagen als Energiequelle genutzt werden kann.

Für den Zersetzungsprozess beim aeroben Verfahren benötigen die Organismen im Wasser eine hohe Sauerstoffkonzentration. Sind zu viele Abfallstoffe vorhanden, kann der  $\text{O}_2$ -Gehalt so stark sinken, dass die übrigen Lebewesen im Wasser absterben. Bei industriellen Prozessen wird hierbei der Sauerstoff ständig über spezielle Belüftungseinrichtungen zugeführt. Bei einem natürlichen, aeroben Prozess ohne ständige Sauerstoffzufuhr, kann eine Überlastung des Abwassers hingegen durch eine hohe Schadstoffkonzentration zum Umkippen von Gewässern führen. Grundsätzlich werden für spezielle organische Belastungen auch spezielle Mikroorganismen benötigt, die für den jeweiligen Zweck adaptiert sind.

Die Kompaktanlage SPLIT-O-MAT FAT ist ein biologisches Aufbereitungssystem nach dem SBR-Verfahren (siehe Kasten) und wurde speziell für die Aufbereitung von fetthaltigem Küchenabwasser konzipiert. In vielen Produktionsbereichen der Lebensmittel herstellenden und verarbeitenden Betriebe, wie Kantinen, Mensen, Cateringfirmen, Krankenhäusern und andere Großküchen, fallen heute Abwässer mit kritischen Bestandteilen an. Dies sind vor allem Produktionsabwässer sowie Spül- und Reinigungswässer, die mit Ölen, Fetten, Tensiden und anderen Schadstoffen belastet sind. Gerade die lipophilen Stoffe sind normalerweise nur schwer biologisch abbaubar und führen auf Dauer zu erheblichen Korrosionsschäden in der Kanalisation.

Einige örtliche Abwassersatzungen, z. B. die der Stadt Frankfurt, schreiben heute schon verschärfte Grenzwerte für Öle, Fette und lipophile Stoffe zwischen 100 mg/l bis 150 mg/l vor. Üblich gemäß ATV Arbeitsblatt A 115 war bisher ein Grenzwert von 250 mg/l. Die bislang zur Reinigung von Küchenabwässern eingesetzten, rein mechanisch arbeitenden Fettabscheider nach DIN 4040 oder prEN 1825 können diese verschärften Werte auch bei regelmäßiger Entsorgung, Reinigung und Wartung nicht erreichen, da Teile der Öle und Fette als Fettsäuren bzw. Emulsionen vorliegen. Eine ständige Überschreitung der Grenzwerte kann das Kanalsystem

schädigen und beeinträchtigt auch die Vorklärsysteme in den Kläranlagen.

Die Menge an Abwasser aus einer Küche kann nur selten ausschließlich aus der Anzahl zubereiteter Essen abgeleitet werden. Zwischen den verschiedenen Arten der Essenzubereitung muss differenziert werden. Großküchen, die einen hohen Convenience-Grad bei Essen haben, haben in der Regel eine geringere Menge an Abwasser, da bereits vorgekochte Speisen lediglich fertig gekocht werden. Die Menge an lipophilen Inhaltsstoffen im Abwasser ist in diesen Küchen aber höher. Ein hoher Grad an Frischzubereitung verursacht dagegen mehr Abwasser, das in der Regel nicht so stark belastet ist.

### Ablauf der Abwasserbehandlung mit SPLIT-O-MAT FAT

Abwasser in einer Großküche stammt hauptsächlich aus den Spülmaschinen. Laufzeit und Häufigkeit der Waschzyklen bestimmen also die Menge des Küchenabwassers. Je aufwendiger die Essenzubereitung und je mehr Geschirr von der Küche für die Verteilung des Essens aufgewendet wird, umso mehr Abwasser fällt in der Küche an. Ist der Wasserverbrauch je Mahlzeit hoch, kann der Schadstoffanteil etwas niedriger sein, als bei Mahlzeiten, bei denen wenig Abwasser anfällt. Der Fettgehalt im Abwasser schwankt typisch zwischen 500 und 1200 mg/l (nach DIN 38 409 H 56 früher H17).

Das Küchenabwasser wird über Bodenrinnen und Abläufe in der Küche gesammelt und über die Abwasserleitung in das Zulaufgehäuse vor dem Pufferbecken eingeleitet. Hier halten Spaltsiebe die groben Feststoffe wie Fasern, Erbsen, Reis etc. in einer Größenordnung bis ca. 1,5 mm zurück. Die abgesiebten Feststoffe werden mit einem Schneckenförderer in einen Feststoffsammelbehälter gefördert.

Das nahezu feststofffreie Küchenabwasser läuft nun in der ersten Stufe in das so genannten Pufferbecken, das den diskontinuierlichen Volumenstrom des Abwassers vergleichmäßig und speichert und so Überlastungen und Gefährdungen aller nachfolgenden Stufen verhindert. Es findet eine Vorversäuerung im anaeroben Bereich statt. Ab einem bestimmten Füllstand im Behälter, wird eine Pumpe angesteuert, die eine Charge in die erste Bioreaktorstufe fördert. In diesem befindet sich das Trägermaterial, welches mit speziellen Bakterien inkubiert ist. Hier findet der eigentliche biologische Abbauprozess statt.

In den darauf folgenden modularen Reaktorkaskaden werden Mischkulturen von Mikroorganismen, so genannte Biozönosen, eingesetzt, um die Abbauleistung sowohl qualitativ als auch quantitativ zu maximieren. Diese Kulturen wurden vorher auf den Abbau von Tensiden, Fetten sowie Konservierungs- und anderen Stoffen optimiert. Das angewandte Optimierungsverfahren stellt zudem sicher, dass keine pathogenen Keime das Biosystem überwachsen. Eingeleitete Druckluft versorgt das System mit Sauerstoff.

Das Verfahren verbindet aeroben und anaeroben Abbau der Schadstoffe im Abwasser. Die modulare Bauweise ermöglicht es, den biologischen Abbauprozess in funktionale Teilbereiche zu trennen und die einzelnen Bioreaktorstufen auf ihre Aufgaben hin funktionspezifisch zu optimieren (z. B. für den gezielten Abbau von Fetten). Als aktive, systemische Gesamtheit erzielt das biologische System damit maximale Abbauleistungen. Größere Volumina werden durch größere Bioreaktoren und/oder parallel geschaltete, mehrstrahige Anlagen verarbeitet.

Vor Ort wird die Abwasseranlage SPLIT-O-MAT FAT durch eine SPS gesteuert. Sensoren messen den anfallenden Abwasserstrom, die Temperatur und den pH-Wert. Die Daten werden in dem Betriebssystem der Anlage gespeichert und können für das vom Anlagenbetreiber zu führende Betriebstagebuch ausgedruckt werden. Der gesamte Prozess



Installierte SPLIT-O-MAT FAT-Anlage mit einer Leistung von 25 m<sup>3</sup>/d

wird über ein Touch-Screen-Panel visualisiert und über ein Modem online per ISDN-Datenfernübertragung überwacht. Bei eventuellen Störungen wird von der Anlage aus ein Fax versendet oder ein Stördienst per SMS informiert.

### Baugruppen der Abwasser-aufbereitung SPLIT-O-MAT FAT

#### Pufferbecken (MAB)

Im Pufferbecken laufen bereits wichtige verfahrenstechnische Schritte ab.

1. Pufferung des Abwassers: Die Tagesmenge an Abwasser aus der Küche fällt innerhalb von ca. 6 bis 8 h an. Da der biologische Prozess das Abwasser nicht im Durchlauf abarbeiten kann, wird es im Pufferbecken (MAB: Misch- und Ausgleichs-Becken) gepuffert und dabei homogenisiert.
2. Abbau der Belastungsspitzen: Das Abwasser aus der Küche ist unterschiedlich belastet. Der pH-Wert kann beim Spülwasser im hochalkalischen Bereich (bis pH 12) liegen. Bei der Klarspülung werden saure Chemikalien eingesetzt (pH 2 bis 3). Diese pH-Schwankungen werden zum Teil durch Homogenisierung (Rührwerk) ausgeglichen. Im Pufferbecken kommt es auch zum Temperatureausgleich. Eine zu hohe Temperatur im Zulauf der Bioreaktoren würde den Abbau der lipophilen Inhaltsstoffe beeinträchtigen. Als optimale Betriebstemperatur hat sich ein Wert von ca. 28 °C erwiesen.

3. Anaerobe pH-Wert-Absenkung: Mit dem Abwasserstrom werden auch Mikroorganismen in das Pufferbecken eingetragen. Die freien Öle und Fette setzen sich an der Oberfläche des Abwassers ab und behindern dadurch einen Austausch mit dem Luftsauerstoff. Es bildet sich eine leichte Anaerobie (fermentative Mikroorganismen), die durch Aufspaltung der organischen Schmutzstoffe organische Säuren (Fettsäuren) bilden, die zur Absenkung des pH-Wertes führen. Ein hoher pH-Wert (> 9) wäre schädlich für die Biozönose in den Bioreaktoren.

#### Bioreaktoren

Der biologische Abbauprozess findet als SBR Prozess in den Bioreaktoren statt. Jedes biologische System besteht aus zwei in Serie geschalteten Bioreaktoren, die mit einer Festbett-Biologie mit Trägerkörpern ausgerüstet sind. Die Trägerkörper vergrößern die Oberfläche, um den Aufbau eines Biofilms zu ermöglichen. Auf diesen Trägern bildet sich durch Eintrag von bestimmten Bakterienkulturen durch EPS (siehe Kasten) ein Biofilm mit der definierten Biozönose. Die Mikroorganismen sind auf den Abbau bestimmter Inhaltsstoffe optimiert, hier auf schwerflüchtige lipophile Inhaltsstoffe, wie Öle, Fette und Tenside. In den Bioreaktoren findet der eigentliche Fettabbau statt. Beide Reaktorstufen einer Straße sind mit der gleichen Biozönose ausgestattet. In der ersten Reaktorstufe werden bis zu 90 % der lipophilen Inhaltsstoffe umgesetzt, in der zweiten Reaktorstufe bauen adaptierte Mikroorganismen die restlichen Inhaltsstoffe ab.

## SBR-Verfahren

Geprägt wurde der Begriff SBR „Sequencing Batch Reactor“ von R. L. Irvine (1979). SBR beschreibt eine Betriebsweise des Belebungsverfahrens, die durch chargenweises Befüllen und Entleeren eines Belebungsbeckens innerhalb vorgegebener Zeitintervalle sowie durch eine festgelegte zeitliche Abfolge von Prozessbedingungen (z. B. Belüften, Mischen, etc.) gekennzeichnet ist. „Batch“ bedeutet, dass das zu reinigende Abwasser als Charge in den Bioreaktor gefüllt wird. Die Alternative wäre eine kontinuierliche Beschickung. Sequencing weist auf die ständige Wiederholung einer Sequenz von Prozessphasen (Füllen, Mischen, Entleeren) hin.

Heute wird die SBR-Technik nicht allein auf das Belebtschlammverfahren angewendet, sondern auch auf eine Vielzahl anderer biologischer Verfahren, u. a. auf Biofilm-Verfahren. Die Prozessbedingungen in einem SBR-Behälter sind durch periodische Veränderungen wichtiger Prozessparameter gekennzeichnet. Ein SBR-System wird bewusst nicht in einem stationären Zustand (Fließgleichgewicht) betrieben. Dies ist, gemessen an der derzeitigen Praxis im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik und der Biotechnologie, ungewöhnlich. In vielen Bereichen der Technik, wo physikalische oder chemische Prozesse zum Einsatz kommen, ist man bemüht, den Prozessablauf in einem gleich bleibenden (stationären) Betriebszustand zu halten. Angestrebt wird ein „Fließgleichgewichtszustand“.

Diesen „steady-state“ kennzeichnet eine ausgeglichene Energie- und Stoffbilanz: Während des Prozesses soll es zu keiner An- oder Abreicherung von Energie und Masse kommen. So soll in einem Reaktor mit dem Volumen  $V$  weder durch Zu- und Abtransport von Stoffen, noch durch Stoffumwandlungsreaktionen eine zeitliche Änderung der Masse der an der Reaktion beteiligten Stoffe eintreten. Von Reaktoren, die in einem stationären Zustand betrieben werden, erhofft man sich eine gleich bleibende Produktqualität bei einem Minimum an Betriebsmitteleinsatz. Biologische Systeme unterscheiden sich von den rein chemischen und physikalischen durch die selbstregulativen Kräfte, die in den Organismenzellen wirksam sind. Selbstregulationsmechanismen dienen der Überlebenssicherung und Arterhaltung und gehören zu den Grundprinzipien des Lebens. In heterogen zusammengesetzten Lebensgemeinschaften (Biozöosen) kommen Regulationsmechanismen höherer Ordnung hinzu. Diese resultieren aus den Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Vertretern der Lebensgemeinschaft und den Umweltfaktoren, die auf die Lebensgemeinschaft wirken.

Um biologische Systeme für die Zwecke der Abwasserreinigung einsetzen zu können, müssen spezielle Randbedingungen eingestellt werden. Diese müssen so gewählt werden, dass die Selbstregulation in den Zellen und in der Biozönose in die jeweils gewünschte Richtung gelenkt wird. Bestimmte Organismenarten sollen in der Biozönose besonders stark vertreten, andere unterrepräsentiert sein. Einzelne Stoffwechselwege sollen mit besonders hoher Effizienz verfügbar sein.

Umweltfaktoren, die auf biologische Systeme wirken, schwanken in weiten Grenzen. Eine Dämpfung dieser Schwankungen ist nur in Einzelfällen möglich. Auf die biologischen Systeme wirkt eine große Vielfalt an Umweltfaktoren ein, von denen aber nur einige von außen erkennbar und kontrollierbar sind. Deshalb ist es auch bei größtmöglichen Anstrengungen nicht möglich, die Randbedingungen für ein biologisches System auf Kläranlagen konstant zu halten. Die Parameter schwanken viel mehr in zuweilen unzulässigen Grenzen. Das biologische System kann „aus dem Ruder laufen“, auch ohne dass die Gründe hierfür im Einzelnen immer erkennbar werden. Stationäre Bedingungen lassen sich in biologischen Kläranlagen wegen der oben genannten internen und externen Randeinflüsse nur unzureichend einstellen. Hinter dem SBR-Verfahrensprinzip steht nun die Idee, durch Einstellen temporärer und periodisch sich wiederholender instationärer Bedingungen auf das biologische System einen starken, die Entwicklung des Systems steuernden Einfluss auszuüben. Als wirkungsvoller Faktor hat sich der periodische Wechsel von Verfügbarkeit und Mangel an Substraten, Elektronen-Donatoren und Elektronen-Akzeptoren erwiesen. Für die Wirksamkeit der Periodizität sprechen gleich mehrere Gründe:

- Es kann davon ausgegangen werden, dass Mikroorganismen in der Natur ständig periodischen Änderungen von Umweltfaktoren ausgesetzt und daher an eine Periodizität angepasst sind.
- Der periodische Wechsel von Verfügbarkeit und Mangel an Substraten und Elektronen-Donatoren regt die Zellen dazu an, ihr Enzymsystem voll auszubilden, obwohl die Substrat-Konzentration in entscheidenden Stadien des Reinigungsprozesses (Entleerungsphase) nahe dem Nullpunkt liegt. Erreichbar ist eine hohe Reinigungsleistung (niedere Ablaufkonzentrationen) bei hoher metabolischer Leistungsfähigkeit der Mikroorganismen.
- Während der Hungerphasen wird erfahrungsgemäß die EPS-Bildung angeregt. (EPS: Extrazelluläre polymere Substanz, gelartiges Substanzgemisch, das u. a. auch dazu dient, Bakterienzellen in Form von Belebtschlammflocken oder Biofilmen zusammenzubinden.)
- Durch periodische Verfügbarkeit und Mangel an Sauerstoff können Aerobier, anoxisch lebende Arten und Anaerobier in eine Lebensgemeinschaft gezwungen werden.
- Räuberische Organismenarten, für die Sauerstoffmangelsituationen ungünstig sind, werden zurückgedrängt und damit die Entwicklung von verfahrenswichtigeren Bakterienarten begünstigt.

**Für die Steuerung und den Ablauf eines SBR-Prozesses wichtige Parameter**

Zyklusdauer	Zeit vom Beginn des Füllvorgangs bis zum Ende der Entleerung.
Zyklusfrequenz	Häufigkeit, mit der ein Zyklus pro Zeiteinheit durchgeführt wird.
Batchvolumen	Füllvolumen relativ zum Behältervolumen bei Vollfüllung.
Füllphase	Einleiten einer vorgegebenen Charge an Abwasser.
Reaktionsphase	Zeitraum, der zur Durchführung der biologischen Reaktionen reserviert ist. Zu unterscheiden ist zwischen aeroben und anaeroben Reaktionsphasen.
Entleerungsphase	Während dieser Phase wird das gereinigte Abwasser aus dem Bioreaktor entnommen. Bei SBR-Biofilmanlagen kann die Entleerung so gestaltet werden, dass partikuläre Substanzen durch Filtrationswirkung zurückgehalten werden (Membranbiologie).
Stillstandsphase	Zeitspanne, während der sich der SBR in Warteposition befindet.

Die Bioreaktoren sind in zwei Stufen aufgebaut, die voneinander getrennt sind. Beide Stufen sind mit Festbettträgern ausgerüstet und miteinander verbunden. Aus dem Pufferbecken wird das Abwasser in den ersten Bioreaktor gepumpt und benetzt dabei die Biozönose auf den Trägerkörpern. Die Biozönose ist gesättigt mit Luftsauerstoff. In der ersten Stufe des Bioreaktors werden die Inhaltsstoffe aerob abgebaut. Da der Luftsauerstoff bei einer Filmbiologie jedoch innerhalb kurzer Zeit verbraucht ist, und die eingesetzten Mikroorganismen fakultativ sind, werden nach dem Verbrauch des Luftsauerstoffs die Inhaltsstoffe anaerob gespalten.

Nach einer festgelegten Zeit, wird das Abwasser in die zweite Stufe des Biosystems gepumpt. Es wird wiederum die Biozönose von unten nach oben benetzt und bringt somit die Schadstoffe auf den Biofilm. Hier findet erneut der Wechselprozess zwischen Aerobie und Anaerobie statt. Der Wechselzyklus wird mehrmals pro Stunde durchgeführt. Aerobie/Anaerobie unterstützen sich dabei durch die Wech-

selwirkung der Prozesse gegenseitig. Die im Wasser enthaltenen Kohlenwasserstoffmoleküle werden so in immer kleinere Molekülketten gespalten und die Inhaltsstoffe verstoffwechselt („veratmet“). Endprodukte der Fermentation sind  $\text{CO}_2$ , welches in die Atmosphäre abgegeben wird und  $\text{H}_2\text{O}$ .

Durch die Möglichkeit zur sequenziellen Belüftung in den Bioreaktoren wird die Bildung von Bioschlamm, wie dieses in Aerob-Kläranlagen vorkommt, auf ein Minimum reduziert. Die Inhaltsstoffe werden in der Reaktorkaskade entlang des Konzentrationsgradienten abgebaut. Der Abbau erfolgt nur soweit, dass beim Übergang vom ersten in den zweiten Bioreaktor immer noch genügend Nährstoffe im Abwasser vorhanden sind. Die Abwässer enthalten Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen und schwerabbaubare Verbindungen. Auf diese Inhaltsstoffe sind die Mikroorganismen in der zweiten Biostufe adaptiert. Sie bauen die Reststoffe soweit ab, dass das Abwasser bedenkenlos in die Kanalisation eingeleitet werden kann. ←

Jürgen von Borzestowski  
ist Produktmanager  
für den Bereich  
Abscheidetechnik  
bei Basika  
Entwässerungen,  
42109 Wuppertal,  
Telefon  
(02 02) 7 09 05 40,  
Telefax (02 02) 7 09 05 54,  
E-Mail: [jborzestowski@basika.de](mailto:jborzestowski@basika.de)  
Internet: [www.basika.de](http://www.basika.de)



Dipl.-Ing.  
Michael Zitzmann  
ist Gruppenleiter  
bei Enviro-Chemie,  
64380 Rossdorf  
bei Darmstadt,  
Telefon  
(0 61 54) 69 98 73,  
Telefax  
(0 61 54) 69 98 59,  
E-Mail: [michael.zitzmann@enviro-chemie.com](mailto:michael.zitzmann@enviro-chemie.com)  
Internet: [www.enviro-chemie.com](http://www.enviro-chemie.com)

