

Vorsprung in Wassertechnik



ENVIROCHEMIE

Whitepaper

Abwasserbehandlung in der Milchverarbeitung - Energierückgewinnung über Anaerobtechnik -

Mai 2011

www.envirochemie.com

Abwasserbehandlung in der Milchverarbeitung - Energierückgewinnung über Anaerobtechnik

Einleitung

Abwasser aus milchverarbeitenden Betrieben eignet sich aufgrund seiner Zusammensetzung sehr gut für biologische Abwasserbehandlungsverfahren. Neben einer aeroben biologischen Behandlung des Abwassers besteht die Möglichkeit anaerobe biologische Verfahren einzusetzen. Durch den Einsatz von Anaerobtechnik kann ein Großteil der organischen Fracht des Abwassers entfernt und in energiereiches Biogas umgewandelt werden. Darüber hinaus kann die Anaerobtechnik in Molkereien verwendet werden, um aus überschüssiger Molke Biogas zu gewinnen. Das entstehende Biogas kann zur Gewinnung von elektrischer und/oder thermischer Energie genutzt werden.

Abwasseranfall und Abwasserzusammensetzung

Im Jahr 2007 wurden in Deutschland etwa 27,6 Mio. t Milch an milchverarbeitende Betriebe geliefert [1]. In der Milchindustrie fallen bei der Verarbeitung von Milch und der Erzeugung unterschiedlicher Milchprodukte tagesbezogene Abwassermengen von etwa 1 - 2 m³ pro Tonne verarbeiteter Milch an [1]. Tabelle 1 gibt den Abwasseranfall für einige Herstellungsverfahren bei der Milchverarbeitung beispielhaft an.

Tabelle 1: Abwasseranfall für einige Herstellungsverfahren bei der Milchverarbeitung [2]

	Abwasseranfall
Herstellung von Marktmilch aus 1 Liter angelieferter Milch	0,8 – 1,7 l/l
Herstellung von Milchpulver aus 1 Liter angelieferter Milch	0,8 – 1,5 l/l
Herstellung von 1 kg Speiseeis	2,7 – 4,0 l/kg

Das in der Molkerei anfallende Abwasser stammt hauptsächlich aus der Reinigung der Transport- und Produktionsanlagen des Betriebs. Hohe organische Frachten entstehen bei Produktionswechsel (insbesondere durch Leitungsausschübe), mehr als 90% der organischen Inhaltsstoffe stammen aus Milch- und Produktionsresten [3]. Tabelle 2 zeigt typische tagesbezogene Schwankungsbreiten verschiedener Parameter in Molkereiabwässern (teilweise bis zu 7-fach höhere Belastung als in üblichen kommunalen Abwässern), Spitzenwerte können jedoch gegebenenfalls darüber liegen.

Tabelle 2: Spezifische Konzentrationen in Molkereiabwässern [1]

Parameter	Einheit	Schwankungsbreite (tagesbezogen)
BSB ₅	[mg/l]	600 – 2000
CSB	[mg/l]	800 – 4500
NO ₃ -N	[mg/l]	10 – 100
Nges-N	[mg/l]	20 – 230
Pges-P	[mg/l]	20 – 100
Abs. Stoffe	[ml/l]	1 – 2
pH	[-]	6 – 11
Lipophile Stoffe	[mg/l]	80 – 250

Im internationalen Umfeld sind milchverarbeitende Betriebe häufig nicht an öffentliche Kläranlagen angeschlossen. Sie müssen als Direkteinleiter ihr Abwasser deshalb im Betrieb auf die jeweils gültigen Grenzwerte zur Einleitung in ein Gewässer reinigen.

Aerobe biologische Abwasserreinigung in der Milchverarbeitung

In Deutschland kommt als biologische Reinigungsstufe bei der Abwasserbehandlung in der Milchindustrie in der Regel die aerobe biologische Reinigung zur Anwendung

[1]. Diese soll nachfolgend kurz beschrieben werden.

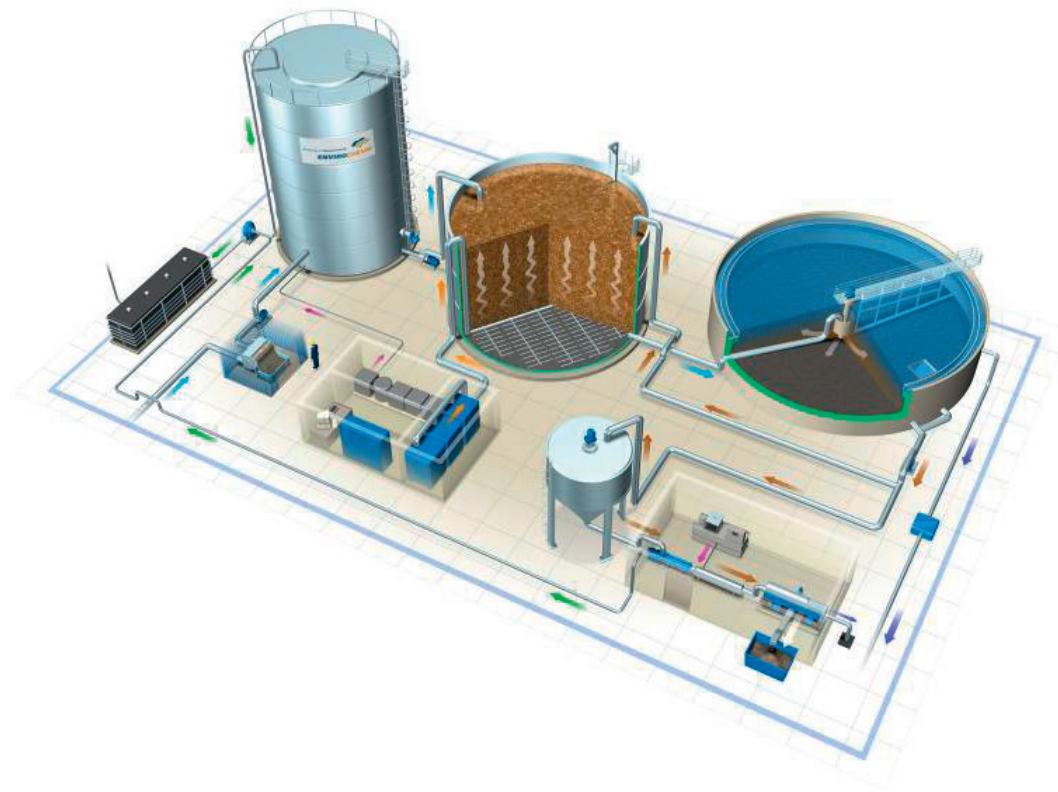


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Betriebskläranlage zur aeroben biologischen Reinigung von Abwässern aus der Milchverarbeitung.

In Abbildung 1 ist eine Betriebskläranlage zur aeroben biologischen Reinigung von Abwässern aus der Milchverarbeitung dargestellt. Das Wasser gelangt über einen Fett- und Schlammfang in einen Misch- und Ausgleichstank, wo Tagesspitzen ausgeglichen werden und der pH-Wert entsprechend eingestellt werden kann. Von dort wird das Abwasser in eine aerobe Belebungsstufe mit der Möglichkeit zur Nitrifikation und Denitrifikation geleitet. Der Belebtschlamm wird in einem Nachklärbecken abgetrennt und das gereinigte Wasser über den öffentlichen Kanal abgeführt. Im Fall einer Direkteinleitung in ein Gewässer ist der Schlammsedimentation idealerweise noch eine Schlussfiltration nachgeschaltet. Der im Nachklärbecken abgetrennte Belebtschlamm wird teilweise in die Belebungsstufe zurückgeführt. Der Überschussschlamm (ÜS) wird entweder im unentwässerten Zustand zur Verwertung gebracht, extern verwertet, oder in einer eingebauten Schlammentwässerungsstufe, wie zum Beispiel Filterpresse oder Dekanter (Zentrifuge), entwässert und anschließend entsorgt. Pro kg abgebauten BSB_5 beträgt die als Überschussschlamm anfallende Trockensubstanz überschlägig $ÜS_{c,BSB_5} = 0,6 - 1 \text{ kg TS/kg } BSB_5$.

Zur Reduktion der Phosphatbelastung kann neben einer biologischen P-Elimination eine chemische P-Fällung (Vor-, Simultan- und/oder Nachfällung) eingesetzt werden. In der Regel erfolgt eine Fällung mit Eisensalz, um eine Ausfällung der Phosphate in den abgetrennten Schlamm zu bewirken. Die Reinigung der Abwässer führt mit dem beschriebenen Verfahren zu besten Ergebnissen nach dem Stand der Technik, erfordert aber erhebliche Energiemengen insbesondere zur Erzeugung der bei der Belebungsstufe eingesetzten Druckluft. Der Energieverbrauch in einer aeroben Belebungsanlage beträgt pro kg abgebautem BSB_5 typischerweise ca. $0,5 - 1 \text{ kWh/kg } BSB_5$ [4].

Vergleich aerobe und anaerobe biologische Abwasserreinigung

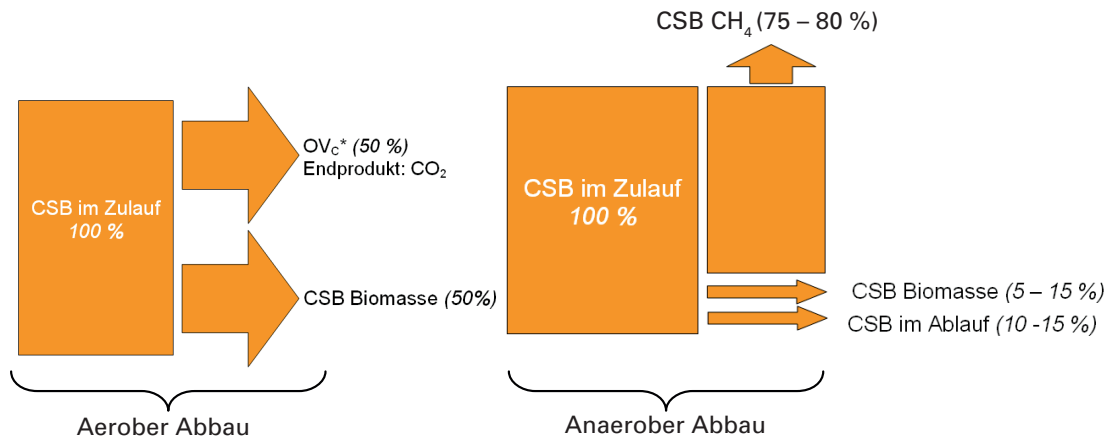
In Abhängigkeit des Reinigungsziels können hoch belastete Abwasserteilströme alleinig bzw. im Vorfeld der aeroben biologischen Reinigung mittels Anaerobtechnik behandelt werden. Vorteile beim Einsatz der Anaerobtechnik ergeben sich insbesondere aufgrund

- des vergleichsweise niedrigen Energieverbrauchs der anaeroben biologischen Reinigung (da eine Belüftung entfällt)
- der energetischen Nutzung des entstehenden Biogases (hierdurch kann die Energiebilanz der Abwasserreinigung erheblich verbessert werden).
- des geringen Überschussschlammanfalls im Vergleich zur aeroben biologischen Abwasserreinigung (deutlich geringere Schlammbehandlungskosten)

Nachteil beim allgemeinen Einsatz der Anaerobtechnik ist insbesondere die im Vergleich zur Aerobtechnik schlechtere Ablaufqualität.

Dieser Zusammenhang soll in Abbildung 2 anhand der CSB-Bilanz bei der aeroben und anaeroben Abwasserbehandlung verdeutlicht werden.

Abbildung 2: Gegenüberstellung CSB-Bilanz bei der aeroben und anaeroben Abwasserbehandlung



OV_c = Sauerstoffverbrauch für C-Elimination

In Abbildung 2 ist die CSB-Bilanz der aeroben und anaeroben Abwasserbehandlung gegenübergestellt. Beim aeroben CSB-Abbau wird ca. 50% des CSB im Zulauf zum Aufbau von Biomasse (Überschussschlamm) umgesetzt und ca. 50% zu Kohlendioxid veratmet. Der CSB im Ablauf liegt bei <1% und wurde bei dieser Betrachtung vernachlässigt. Im Vergleich dazu wird beim anaeroben CSB-Abbau lediglich 5 – 15% des CSB im Zulauf in Biomasse, jedoch 75 – 80% zu Methan in Form von Biogas umgesetzt. Dies verdeutlicht, dass bei der anaeroben im Vergleich zur aeroben Abwasserreinigung der Überschussschlammanfall um bis zu Faktor 10 geringer ist. Gleichzeitig entsteht bei der anaeroben Abwasserreinigung energetisch nutzbares Biogas.

Der CSB wird bei der anaeroben Reinigung von Molkereiabwasser um ca. 75 – 80 % reduziert (im Gegensatz zur aeroben Abwasserreinigung mit CSB-Eliminationsleistungen von > 99%) [1]. Damit ist die Ablaufqualität der anaeroben Abwasserreinigung in Bezug auf CSB schlechter als bei der aeroben Abwasserreinigung. Darüber hinaus findet bei der anaeroben Abwasserbehandlung nahezu keine Stickstoff- und Phosphorelimination statt. In der Regel stellt die Anaerobtechnik damit ein Vorbehandlungsverfahren dar.

Kombination anaerobe und aerobe biologische Abwasserreinigung – Nutzung von Synergieeffekten

Soll unter Einsatz von Anaerobtechnik eine Reinigungsleistung von > 75% CSB-Reduktion erreicht werden, kann die anaerobe Abwasserreinigung der aeroben Abwasserreinigung vorgeschaltet werden. Hierdurch können die Vorteile des anaeroben Verfahrens (75 – 80 % CSB-Reduktion, geringer Überschussschlammanfall, energetisch nutzbares Biogas) mit den Vorteilen des aeroben Verfahrens (CSB-Reinigungsleistung > 99%) kombiniert werden. Bei dieser Verfahrenskombination gelangen von der anaeroben Reinigungsstufe lediglich die über das Rückhaltesystem nicht abgetrennte Biomasse und der nicht abgebaute CSB (ca. 10 – 15% des Zulauf-CSB) in die nachgeschaltete aerobe Reinigungsstufe.

Vor der anaeroben Reinigungsstufe ist zur Behandlung von Abwasser aus der Milchverarbeitung eine Fett- und gegebenenfalls Feststoffabtrennung notwendig (ansonsten besteht die Gefahr des Flotierens der Biomasse durch anlagerndes Fett).

Größere Betriebe nutzen tendenziell eher eine Flotation zur Fettabscheidung (üblicherweise Druckentspannungsflotation). Mittels Flotationsanlage sind CSB-Eliminationsraten von 40 – 60% erreichbar [1]. Ohne den Einsatz von Flockungschemikalien kann die Eliminationsrate in Abhängigkeit der Abwasserzusammensetzung zwischen 10 – 30% schwanken.

In Abbildung 3 ist beispielhaft eine CSB-Bilanz aufgeführt, welche sich ergibt, wenn die anaerobe Reinigungsstufe der aeroben Abwasserreinigungsstufe vorangestellt wird sowie eine Flotation zur Fettabscheidung vorgeschaltet wird. Zum Vergleich ist dargestellt, welche CSB-Bilanz sich bei einer aeroben Reinigungsstufe mit vorgeschalteter Fettabscheidung ergeben würde.

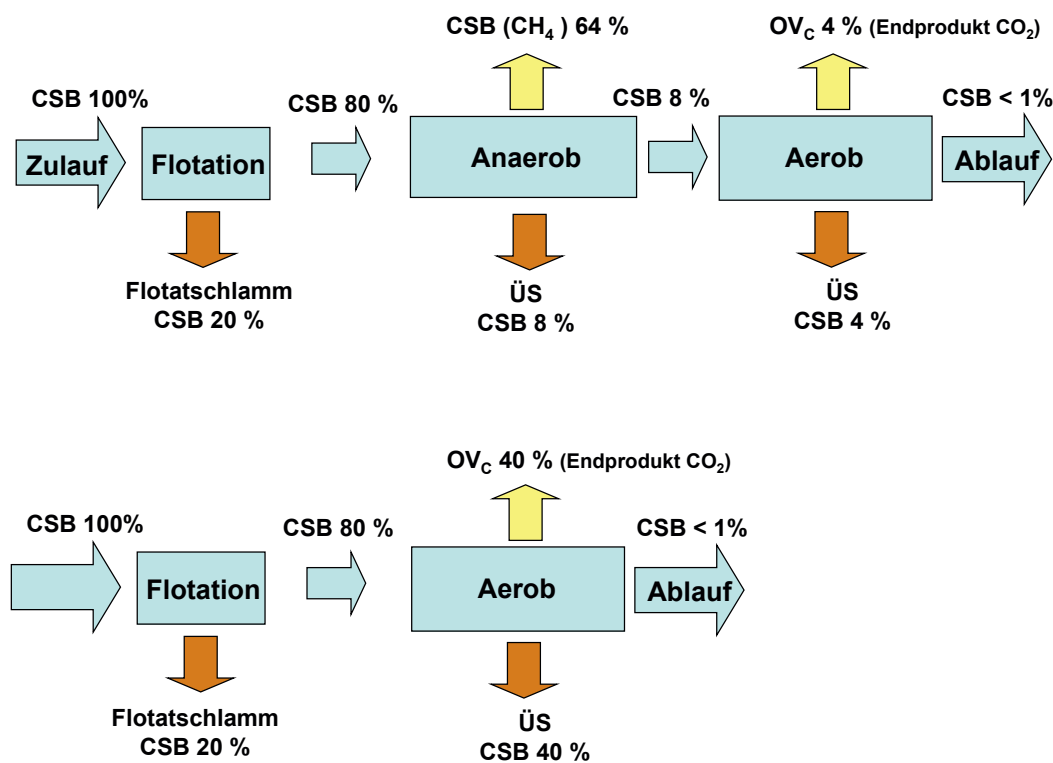


Abbildung 3: CSB-Bilanz einer Kombination von anaerober und aerober Abwasserreinigung; zum Vergleich CSB-Bilanz einer aeroben Abwasserreinigung (jeweils mit vorgeschalteter Flotation)

Abbildung 3 verdeutlicht, dass bei der Kombination aus anaerober und aerober Abwasserreinigung im Vergleich zur aeroben Abwasserreinigung (jeweils mit vorgeschalteter Flotation):

- 70% weniger Überschussschlamm anfällt (12% ÜS anstatt 40% ÜS)
- 80 % des nach der Flotation noch im Abwasser befindlichen CSB in Methan (CH₄) umgewandelt wird und energetisch genutzt werden kann.
- die Energiebilanz verbessert wird, da für die Belüftung der Aerobstube ein geringerer Energieaufwand notwendig ist.

Nachfolgend wird eine Abwasserreinigungsanlage bestehend aus anaerober und aerober biologischer Reinigungsstufe mit Fettabtrennung in der Milchverarbeitung dargestellt (Abbildung 4).

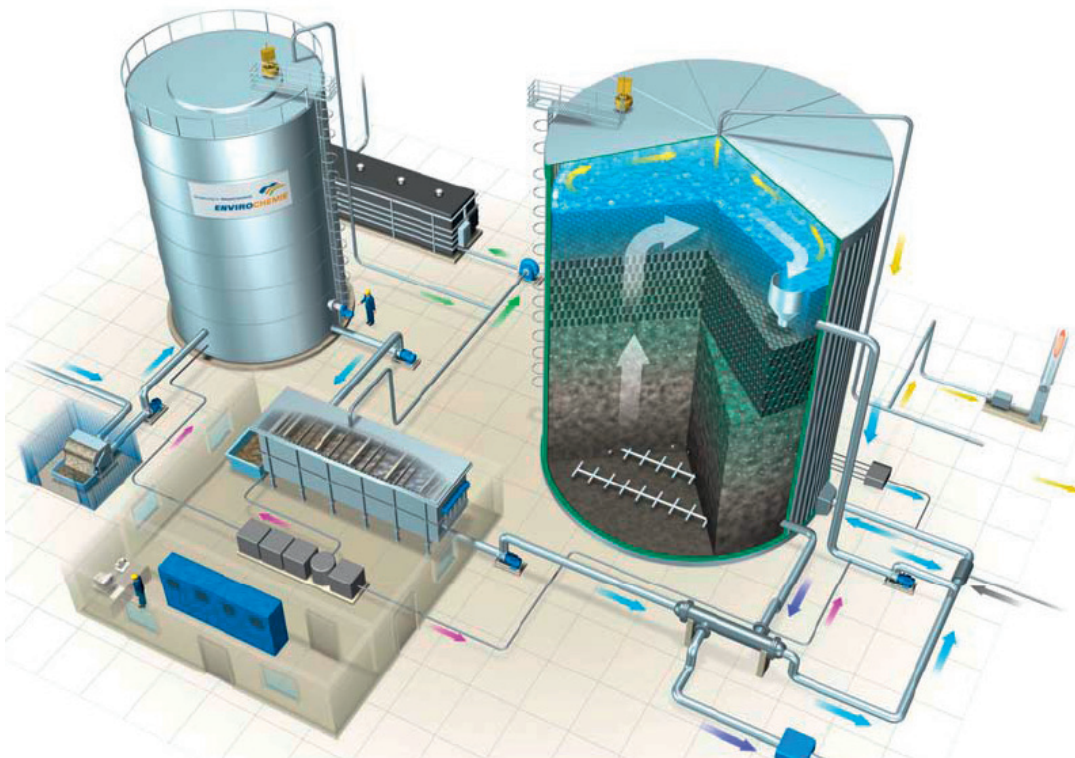


Abbildung 4: Abwasserreinigungsanlage mit aerober und anaerober Reinigungsstufe

Das aus dem Betrieb anfallende Abwasser wird über eine Siebtrommel zur Feststoffabtrennung in einen Misch- und Ausgleichstank geleitet. Der Misch- und Ausgleichstank ist ausreichend groß dimensioniert, so dass bereits Hydrolyse- und Vorversäuerungsprozesse stattfinden können. Zur Fettabtrennung wird das Abwasser im Anschluss über eine Flotationsanlage geführt (Abbildung 5), in der mit oder ohne Zugabe von Flockungs- und Flockungshilfsmitteln freie Fette abgetrennt werden können. Im eigentlichen Anaerobreaktor (hier dargestellt als Festbetteaktor) erfolgt die möglichst weitgehende Umwandlung der organischen Abwasserinhaltsstoffe über Zwischenprodukte bis zum Biogas (CH_4 , CO_2). Aus einem Kilogramm eliminiertem CSB entsteht ca. $0,35 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg CSB}_{\text{el}}$ ¹⁾. In der Regel beträgt der Anteil des Methans am Biogas ca. 60 – 80%. Das anfallende Biogas kann nach entsprechender Gastrocknung und gegebenenfalls Entschwefelung direkt im Dampfkessel des Betriebs verbrannt werden (Abbildung 6). Überschüssiges Gas wird in einer Gasfackel abgebrannt.

¹⁾ Nm^3 = Normkubikmeter

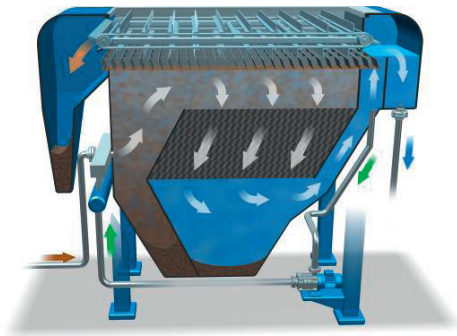


Abbildung 5: Flotationsanlage zur Fettabtrennung



Abbildung 6: Dampfkessel zur Biogasverbrennung

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit durch Anaerobtechnik bringen wirtschaftliche Vorteile

Durch den Einsatz von Anaerobtechnik in der Abwasserreinigung können pro m³ durchschnittliches Milchabwasser etwa 2 m³ Biogas erzeugt und damit etwa 1,2 l Heizöl ersetzt werden.

Die anfallende Überschussschlammmenge wird um ca. 80 % reduziert, wodurch sich die Entsorgungskosten verringern. Der in der Anaerobanlage anfallende Überschussschlamm enthält Calcium und Phosphat in erheblichen Konzentrationen. Neben der landwirtschaftlichen Aufbringung sind aufgrund der erhöhten Phosphatgehalte auch andere Verwertungspfade (z.B. in der Düngemittelindustrie) zukünftig denkbar.

Der in der aeroben Reinigungsstufe anfallende Überschussschlamm kann in der Regel landwirtschaftlich verwertet werden (erfüllt üblicherweise die Anforderungen der Klärschlamm- bzw. Düngemittelverordnung [1]).

Die bei der Fettabtrennung anfallenden, fetthaltigen Schlämme lassen sich in hervorragender Weise in Biogasanlagen verwerten. Je nach gesetzlicher Situation sind als Voraussetzung der Verwertung häusliche Abwässer, die in der Regel in kleinen Mengen aus Betriebsbüros anfallen, separat zu entsorgen bzw. zu behandeln.

Der Energieverbrauch der bisher eingesetzten, aeroben Behandlungsstufe reduziert sich durchschnittlich um bis zu 75% durch eine mögliche Redimensionierung des Belüftungssystems.

Energetische Verwertung von überschüssiger Molke mittels Anaerobtechnik

In milchverarbeitenden Betrieben kann neben organisch hoch belasteten Abwasserströmen auch überschüssige Molke bzw. Molkepermeat mittels Anaerobtechnik behandelt werden.

Bei der Käse- und Caseinherstellung fallen bedeutende Mengen an Molke an (etwa 90% der eingesetzten Milch wird bei der Käseherstellung zu dem hochenergetischen Nebenprodukt Molke). Ein Teil der Molke kann zum Beispiel als Molkedrink oder Viehfutter für Nutztiere vermarktet werden. Betriebe, die keine oder nicht ausreichende Verwertungsmöglichkeiten für die anfallenden Überschusmolken haben, müssen diese kostenintensiv entsorgen. Das gleiche gilt beim Anfall wertloser Molkepermeate, welche nicht vermarktet werden können. Bedeutend wirtschaftlicher als die Entsorgung kann die Vergärung und damit energetische Verwertung der Molke in einem separaten, speziellen Gärreaktor sein.

Je nach anfallender Menge an Überschusmolke kann durch das über die Vergärung entstehende Biogas und dessen energetische Verwertung die gesamte Primärenergie eines Milch verarbeitenden Betriebes erzeugt werden. Dies konnte am Beispiel eines Pilotprojekts bei den Norrmejerier Milchwerken in Umea, Nordschweden, gezeigt werden. Die dort eingesetzte Vergärungsanlage basiert auf einem zum Patent angemeldeten Reaktorsystem (vom Hersteller Anaerob Whey Reaktor genannt). Im anaeroben Kontaktschlammverfahren, dessen anaerober Bioschlamm über ein Zentrifugalsystem zurückgehalten wird, werden mehr als 90 % der in der Molke bzw. dem Molkepermeat enthaltenen organischen Fracht in Biogas überführt. Hierdurch können rund 40 Kubikmeter Biogas pro Tonne Molke/Molkepermeat, oder umgerechnet (mit Heizwert Biogas 6,5 kWh/Nm³ Biogas) ca. 260 kWh thermische Energie pro Tonne Molke/Molkepermeat gewonnen werden.

Der Betrieb erzeugt täglich aus bis zu 250 m³/d Molke (entspricht ca. 20 t CSB/d) bis zu 10.000 m³/d Biogas. Darin enthalten ist auch ein gewisser Anteil an Biogas aus betrieblichem Abwasser (Produktionsabwasser). Im Vorfeld der anaeroben Behandlung werden mittels Druckentspannungsflotation freie Fette abgetrennt. Das bei der Flotation anfallende Flotat wird in einer separaten, kleinen Fettvergärung behandelt und anschließend entsorgt. Das hierdurch entstehende Biogas erhöht die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage weiter. Mit dem produzierten Biogas erzeugt der Betrieb ca. 50 % der für die Dampfkesselanlage benötigten Energie. Mit einem weiteren Ausbau will man hier in Kürze Fremdenergie vollkommen ersetzen.

Abbildung 7 stellt den Zusammenhang zwischen eliminierter CSB-Fracht, Biogasertrag und ersetzttem Heizölvolumen dar (Annahme: 0,5 m³ Biogas/kg CSB_{el}; Heizöläquivalent 0,6 l/m³ Biogas).

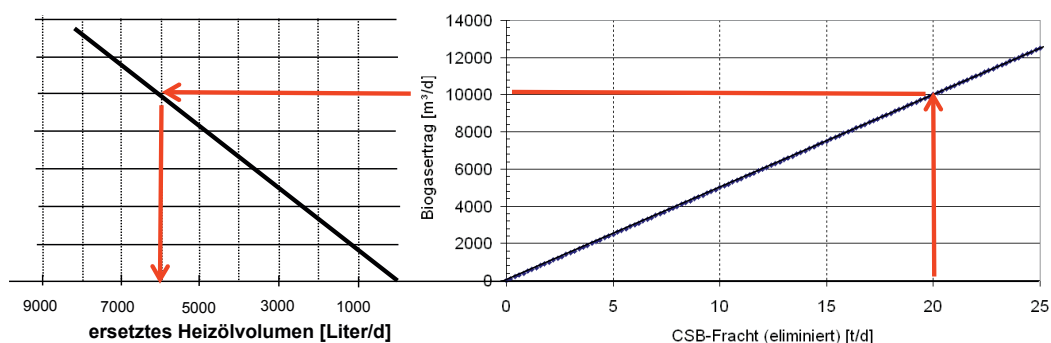


Abbildung 7: Zusammenhang von CSB-Fracht, Biogasertrag und ersetzttem Heizölvolume

Wird beispielhaft die im Pilotprojekt bei Norrmejerier täglich eliminierte CSB-Fracht von 20 t CSB/d angesetzt, ergibt sich, wie in Abbildung 7 dargestellt, ein Biogasertrag von ca. 10000 m³/d. Entsprechend können hierdurch täglich ca. 6000 l/d Heizöl eingespart werden.

Ihre Ansprechpartnerin:

Jutta Quaiser
Leitung Presse / Öffentlichkeit

EnviroChemie GmbH
In den Leppsteinswiesen 9
64380 Rossdorf
Tel. +49 (0) 6154 6998 72
Fax.+49 (0) 6154 6998 785
www.envirochemie.com

Literaturverzeichnis

- [1] DWA-Merkblatt DWA-M 708 (Entwurf); Abwasser bei der Milchverarbeitung; Januar 2010
- [2] Umweltbundesamt; BVT-Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie; www.bvt.umweltbundesamt.de; Stand Dezember 2005
- [3] DWA Fachbuch; Industrieabwasserbehandlung – Rechtliche Grundlagen, Verfahrenstechnik, Abwasserbehandlung ausgewählter Industriebranchen, Produktionsintegrierter Umweltschutz; 2007
- [4] Gujer, Willi; Siedlungswasserwirtschaft; 3. bearbeitete Auflage; Springer; 2007