

Diss. ETH Nr. 13313

# **Mikroaerobe Vorbehandlung biogener Abfälle**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von

ADRIAN JOSS

Dipl.-Phil. II, Mikrobiologe, Universität Zürich

geboren am 7. März 1966

von Bern, Oberburg

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Fritz Widmer, Referent

Dr. Hansruedi Siegrist, Koreferent

Zürich 1999

## Zusammenfassung

Im Vorfeld dieser Arbeit wurden durch die Firma arbi GmbH mehrere Studien zum Vergleich von ein- und zweistufigen Vergärungsverfahren durchgeführt (Edelmann *et al.*, 1996). Dabei wies die zweistufige Methode bei der Behandlung von leicht abbaubarem Substrat deutliche Vorteile im Bereich der Abbaugeschwindigkeit auf. Die Hydrolysestufe kann bedeutend einfacher gestaltet werden, wenn dieser erste Abbauschritt nicht unter Luftabschluss stattfinden muss. Diese Überlegung war unter anderem Anlass, ein Folgeprojekt über die Auswirkungen geringer Sauerstoffmengen auf die hydrolytische Spaltung des Substrats zu formulieren.

Gemäss einiger Literaturstellen (Zeng und Deckwer, 1996; Zitomer und Speece, 1993) sowie den Angaben der Hersteller von Gäranlagen, welche mit einer mikroaeroben Vorbehandlungsstufe ausgestattet sind, ist eine unterstützende Wirkung von Sauerstoff auf die Hydrolyse zu erwarten. Zur Zeit liegen aber keine systematischen Studien über entsprechende Wirkungsmechanismen mikroaerober Bedingungen im Bereich Biomüll vor. Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Deckung dieser Lücke zu leisten.

Im 10 Litermassstab wurde bei 35°C die Hydrolyse verschiedener Normsubstrate, welche der leichtabbaubaren Fraktion des Biomülls entsprechen, bei unterschiedlichen Bedingungen beobachtet. Die O<sub>2</sub>-Zufuhr wurde im Bereich von anaerob bis knapp unterhalb typischer Belüftungsraten einer Mietenkompostierung variiert (<0.1 bis 6.0 kgO<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup>). Im aktiven Reaktorvolumen lag die gelöste O<sub>2</sub>-Konzentration immer unterhalb der Messgrenze (<0.1 g·m<sup>-3</sup>), was auf eine sehr rasche und weitgehende O<sub>2</sub>-Zehrung hindeutet.

Bei gleichbleibender Temperatur konnte **keine für eine nachgeschaltene methanogene Stufe relevante Auswirkung von Sauerstoff auf die Hydrolyse beobachtet** werden. Es wurde eine zur O<sub>2</sub>-Aufnahme stöchiometrische Steigerung der CO<sub>2</sub>-Produktion beobachtet, was nahelegt, dass der Sauerstoff veratmet wurde. Die gemessenen Exoenzymaktivitäten sowie die Bildungsrate und Zusammensetzung des Hydrolysats zeigen, dass die O<sub>2</sub>-zehrende Mikroorganismen keinen bedeutenden Beitrag zur hydrolytischen Spaltung von Makromolekülen geleistet haben.

Während bei den anaeroben Prozessen der grösste Teil, der im Rohsubstrat enthaltenen Energie chemisch gebunden bleibt (bei der Hydrolyse in den Gärprodukten und bei der Methanogenese im CH<sub>4</sub>), **setzen die aeroben Prozesse bedeutende Mengen Wärme frei**: Bei der Atmung kann von einer Menge von 14.5±1.5 MJ·kgO<sub>2</sub><sup>-1</sup> ausgegangen werden. Eine Vorbehandlungsstufe mit Luftzugabe führt daher zu einer Substraterwärmung. Aufgrund der schnellen O<sub>2</sub>-Zehrung entstehen dabei keine negativen Auswirkungen auf die hydrolytischen Prozesse. Da niedermolekulare, organische Verbindungen sowohl für die Atmung wie auch für die Methanbildung als Substrat dienen, ist zu erwarten, dass sich bei Luftzugabe die Energieausbeute in Form von Methan entsprechend der im Hydrolysat freigesetzten Atmungswärme verringert.

Daraus folgt, dass **die Luftzudosierung nur in dem Masse eine unterstützende Wirkung auf die Hydrolyse ausübt, wie eine Erwärmung stattfindet**, welche in der Re-

gel eine temperaturbedingte Beschleunigung der biochemischen Prozesse bewirken wird.

Ein dynamisches Modell für die gemischte anaerobe/aerobe Hydrolyse auf der Basis der Modelle ASM1 und ASM2 der IAWQ Task Group on Mathematical Modelling wird vorgeschlagen und anhand der Daten diskutiert.

## Summary

Preceding the present work, several studies on one and two stage digestion of organic wastes have been done by Edelmann and co-workers (Edelmann *et al.*, 1996). For easily degradable substrate, significant advantages of the two stage process could be shown, specially concerning rate performance. Further, the hydrolytic 1<sup>st</sup> stage can be built much simpler, if a strictly anaerobic environment is not required. The aim of the present study is therefore to characterize the effect of oxygen in small amount on the hydrolytic brake down of organic substrate.

According to various reports from the literature (Zeng and Deckwer, 1996; Zitomer and Speece, 1993) as well as indications by the engineers of plants with microaerobic pre-treatment step, a positive effect of the oxygen addition on the hydrolysis is expected. To the authors knowledge no publication characterizing the effect of the oxygen addition at low concentrations to biowaste is available. The work presented here aims to help covering this gap.

In the experiments presented, substrate corresponding to the easily degradable fraction of biowaste are hydrolyzed at 35°C in lab scale reactors (10 liter) under controlled conditions. The amount of O<sub>2</sub> supplied has been varied in the range from anaerobic up to aeration rates typical for windrow composting (<0.1 to 6.0 kgO<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup>). The concentration of O<sub>2</sub> in solution measured within the active volume was always below the threshold value (<0.1 g·m<sup>-3</sup>), indicating a prompt O<sub>2</sub> consumption.

At the set temperature of 35°C **no effect of oxygen on hydrolysis is observed, that might be relevant for the methanogenic post-treatment.** An increased CO<sub>2</sub> production stoichiometric to the O<sub>2</sub> addition is seen, suggesting that the oxygen has been used for respiration. The activity of exoenzymes, as well as the rate of hydrolysis and the composition of hydrolyzed substrate indicate that the oxygen consuming microorganisms do not play an important role in the hydrolytic breakdown of macromolecules.

While in anaerobic digestion the main part of the substrate energy is transferred to the products, significant amounts of heat are produced by aerobic metabolism: an average amount of 14.5±1.5 MJ·kgO<sub>2</sub><sup>-1</sup> is produced by respiration. The addition of air to a pre-treatment step leads therefore to the heating of the substrate. The prompt O<sub>2</sub> consumption keeps its concentration in solution at a low level, avoiding negative effects on the hydrolytic process. Since small organic molecules represent the substrate for both methanogenesis and respiration, a decreased methane yield is expected if air is to be added to a pretreatment step.

This leads to the conclusion, that **the supporting effect of the addition of air to the hydrolysis is limited to the heating caused by the aerobic metabolism:** below 65°C an increase in temperature normally correlates with a higher rate of the biochemical processes involved in hydrolysis.

A dynamic model for the mixed anaerobic/aerobic hydrolysis on the basis of ASM1 and ASM2 of the IAWQ task group on mathematical modelling is presented and discussed with the data of this study.