

Vergleichende Untersuchungen zur Trocknung von Bakterienbiomasse

Anja Gerbeth, Bernhard Gemende, Nicole Pausch, Gunter Krautheim, Andreas von Bresinsky,
Rüdiger Lange, Malgorzata Anna Adamska

1 Einleitung

Bei einem alternativen Verfahren zur Reinigung von Wässern aus Kreislaufanlagen zur Fischzucht, erfolgt die direkte Assimilation des Ammoniums, welches bei der Umsetzung von Fischeausscheidungen und Futterresten entsteht, durch heterotrophe Bakterien unter Zugabe einer zusätzlichen Kohlenstoffquelle [PAUSCH ET AL., 2006], [DE 103 38 147 A1, 2005]. Dieser Vorgang findet direkt im Fischhaltungsbecken statt. Die dabei entstehende Überschussbiomasse muss kontinuierlich abgetrennt werden, um eine erneute Kontamination des Wassers durch bei der Lyse der Bakterien freigesetzte Verbindungen zu verhindern. In der Regel wurde diese Abtrennung mit Hilfe getauchter Hohlfasermembranen durchgeführt [PAUSCH ET AL., 2005], [GEMENDE ET AL., 2005].

Die Verwertung der anfallenden Biomasseschlämme ist nicht nur aus ökologischen Gründen anzustreben, sondern bietet auch aus ökonomischer Sicht Vorteile gegenüber der Beseitigung im Sinne einer Wertschöpfung aus entstehenden Produkten.

Eine Variante dazu ist die energetische Verwertung durch Erzeugung von Biogas. Untersuchungen dazu werden u. a. in [GERBETH ET AL., 2005] und [PRÖTER, 2005] vorgestellt.

Alternativ dazu wurden die Möglichkeiten der direkten, d. h. stofflichen Verwertung untersucht. Entsprechend der Zusammensetzung der abgetrennten und aufkonzentrierten Biomasse (insbesondere hinsichtlich der ernährungsphysiologisch relevanten Bestandteile Rohprotein, -fasern und -fett sowie Mineralstoffe) bietet sich dabei der Einsatz als Fischfutter an. Unabhängig von der Tatsache, dass es aufgrund von Reglementierungen der europäischen und deutschen Gesetzgebung [FUTMV, 2000] praktisch unmöglich ist, die Bakterienbiomasse im großtechnischen Maßstab als Zuschlagstoff für kommerzielle Futtermittel zu verwenden, wurden Untersuchungen zum Einsatz in speziellen Anwendungsbereichen, z. B. zur Aufzucht von Fischbrut, durchgeführt.

Zur Konservierung der Inhaltsstoffe sowie zur Verbesserung der Handhabbarkeit des Futters ist es notwendig, die unmittelbar nach der Abtrennung bzw. nach einer zwischengeschalteten Entwässerung (z. B. mittels Zentrifugation) mit relativ niedrigen Trockensubstanzgehalten vorliegenden Biomasseschlämme zu trocknen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse ausgewählter Labor- bzw. Technikumsversuche zur Trocknung vorgestellt sowie eine abschließende Bewertung der Vor- und Nachteile der eingesetzten Verfahren vorgenommen.

2 Material und Methoden

2.1 Ausgangsmaterial

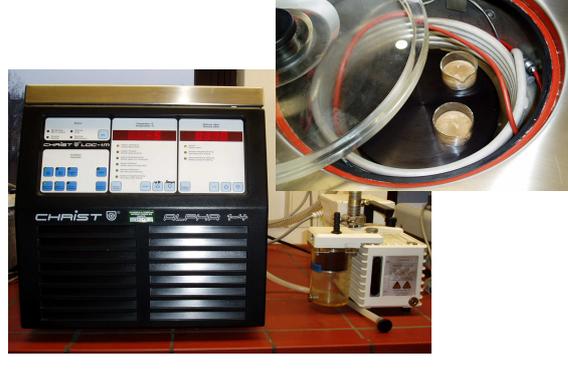
Die Abtrennung der Biomasse erfolgte mittels Membranmikrofiltration (getauchte Hohlfasermembranen). Die Schlämme wurden in einer Laborzentrifuge entwässert. Die Ausgangstrockensubstanzgehalte betragen zwischen 2,4 Ma.-% (Vakuum- und Gefriertrocknung) und 4,1 Ma.-% (Vakuum-Mikrowellentrocknung) bzw. maximal ca. 7 Ma.-% (Konvektionstrocknung).

2.2 Eingesetzte Trocknungsverfahren und -apparate

Aufgrund der Zielstellung, die originäre Zusammensetzung der Biomasse nicht zu verändern, kamen ausschließlich thermische Trocknungsverfahren zum Einsatz.

Vergleichend untersucht wurden die Konvektionstrocknung, die Vakuumtrocknung mit konventioneller Erwärmung (Kontakt zu beheizten Stellflächen) bzw. mit Erwärmung mittels Mikrowellentechnik sowie die Gefriertrocknung. Informationen zur dabei zum Einsatz kommenden Technik sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Zusammenfassender Überblick über die eingesetzten Trocknungsverfahren und -apparate

Verfahren	technische Angaben
<p data-bbox="181 282 448 315">Konvektionstrocknung</p> 	<p data-bbox="788 282 1409 342">verwendeter Apparat: Labortrockenschrank Modell UT 12 P der Firma Heraeus</p> <ul data-bbox="788 353 1409 548" style="list-style-type: none"> - Trocknungstemperatur, Luftvolumenstrom, Anteil der Frischluftzufuhr in den Trockenraum unabhängig voneinander einstellbar - diskontinuierliche Erfassung der Gutmasse während des Versuchs (Unterbrechung und Entnahme von Proben)
<p data-bbox="181 710 400 743">Vakuumtrocknung</p> 	<p data-bbox="788 710 1409 835">verwendeter Apparat: Laborvakuumtrockenschrank Modell VR 5036 der Firma Heraeus; Membran-Vakuumpumpe Modell MZ 4 C der Firma vacuubrand (maximales Saugvermögen 3,4 m³/h)</p> <ul data-bbox="788 846 1409 1041" style="list-style-type: none"> - Stellflächentemperatur, Absolutdruck im Rezipienten, Anteil der zudosierten Frischluft separat regel- bzw. einstellbar - diskontinuierliche Erfassung der Gutmasse während des Versuchs (Unterbrechung und Entnahme von Proben)
<p data-bbox="181 1180 552 1214">Vakuum-Mikrowellentrocknung</p> 	<p data-bbox="788 1180 1409 1283">verwendeter Apparat: Technikums-Versuchsanlage der TU Dresden (Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik) [www.tvt-uvt.tu-dresden.de]</p> <ul data-bbox="788 1294 1409 1585" style="list-style-type: none"> - Erzeugung der Mikrowellen mittels zweier einzeln ansteuerbarer Magnetronen (maximale Leistung je 3 kW, Mikrowellenfrequenz 2450 MHz); Einkopplung in den Versuchsraum mittels Hohlleiter - Evakuierung des Trocknungsraums unter Nutzung einer Wasserringpumpe - kontinuierliche Erfassung von Gutmasse und -temperatur während des Versuchs
<p data-bbox="181 1628 384 1662">Gefriertrocknung</p> 	<p data-bbox="788 1628 1409 1688">verwendeter Apparat: Laborgefriertrocknungsanlage Alpha 1-4 der Firma Christ</p> <ul data-bbox="788 1700 1409 1935" style="list-style-type: none"> - Kleinanlage mit einer beheizbaren Stellfläche und einer extern angeschlossenen Vakuumpumpe - Temperatur der Stellfläche, Absolutdruck in der Gefrierkammer programmierbar - Erfassung der Gesamtmasseabnahme nach Versuchsende

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Konvektionstrocknung

Durchgeführt wurden quantitative Versuche zur Zeitabhängigkeit der Masseänderung unter Variation der Trocknungstemperatur bzw. des Luftvolumenstromes. Exemplarisch dargestellt sind Untersuchungsergebnisse zum Trocknungsverhalten in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur (Abb. 1).

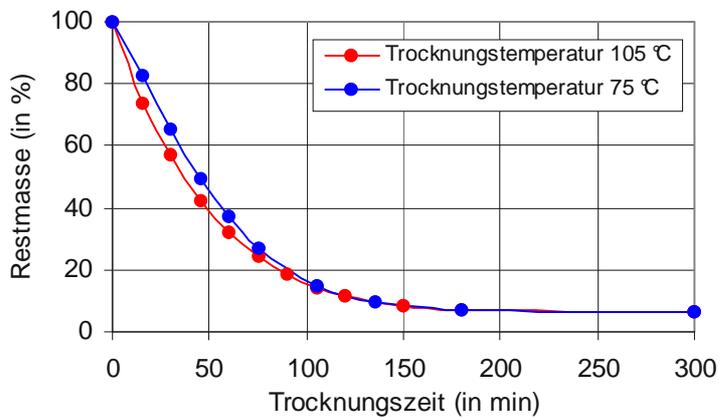


Abb. 1: Zeitabhängigkeit des Masseverlaufes bei Trocknung im Umlufttrockenschrank in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur (Lüftungseinstellung: 1,9 m³/min; Umluftbetrieb)

Da die zunächst gewählte Temperatur von 105 °C – bei der üblicherweise auch die analytische Bestimmung des Trockenrückstandes durchgeführt wird – über der Siedetemperatur bei Atmosphärendruck liegt, findet in diesem Fall eine echte Verdampfung statt. Vergleichend dazu wurde das Trocknungsverhalten bei einer Temperatur von 75 °C untersucht. Hier findet lediglich eine Verdunstung des im Gut enthaltenen Wassers – im Wesentlichen beeinflusst durch die Luftüberströmung – statt.

In Abb. 1 ist erkennbar, dass in beiden Fällen die Masseabnahme nahezu gleich verläuft, lediglich in der Anfangsphase erfolgt sie bei der höheren Temperatur geringfügig schneller. Die Massekonstanz wird in beiden Versuchen nach ca. 180 min Trocknungszeit erreicht.

3.2 Vakuumtrocknung

Untersucht wurde das Trocknungsverhalten in Abhängigkeit vom Absolutdruck im Rezipienten. In Abb. 2 beispielhaft dargestellt sind die Trocknungsverläufe bei einem eingestellten Absolutdruck von 200 mbar (theoretische Siedetemperatur entsprechend Dampfdruckkurve 60 °C) und einer Stellflächensolltemperatur von 65 °C sowie bei einem Absolutdruck von 400 mbar (theoretische Siedetemperatur 76 °C) und einer Stellflächentemperatur von 80 °C.

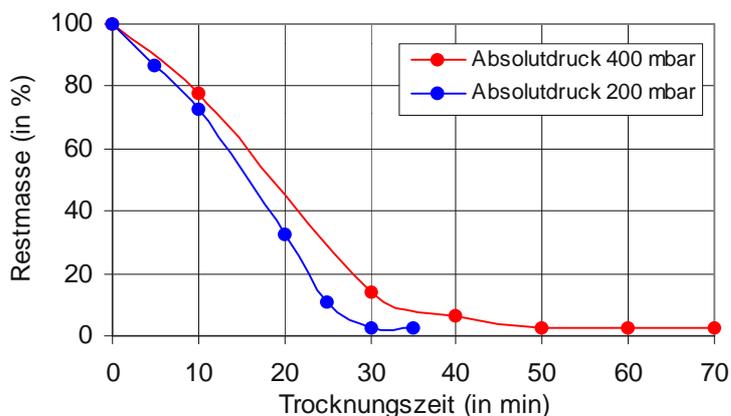


Abb. 2: Zeitabhängigkeit des Masseverlaufes bei Trocknung im Vakuumtrockenschrank in Abhängigkeit vom Absolutdruck im Rezipienten

Die Trocknung verläuft bei geringerem Absolutdruck erwartungsgemäß schneller. Die Massekonstanz wird bei einem Druck von 200 mbar bereits nach 30 min Trocknung erreicht, beim doppelten Absolutdruck im Rezipienten erst nach 50 min.

3.3 Vakuum-Mikrowellentrocknung

Die Ergebnisse eines ausgewählten Trocknungsversuchs (bei einem Absolutdruck von 100 mbar im Rezipienten und einer Mikrowellenleistung von 1 kW) sind in Abb. 3 dargestellt.

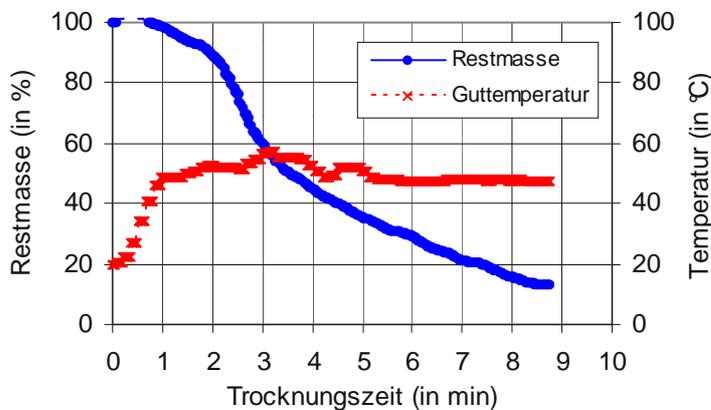


Abb. 3: Zeitabhängigkeit des Masseverlaufes bei Trocknung in der Vakuum-Mikrowellentrocknungs-anlage (Absolutdruck im Rezipienten 100 mbar; Mikrowellenleistung 1 kW)

Auffallend sind bei diesen Versuchen die sehr geringen Trocknungszeiten. Bereits nach etwa 9 min ist die Restmasse des Gutes auf ca. 10 % der Anfangsmasse gesunken. Die Guttemperatur stellt sich im Verlauf des Versuches auf einen konstanten Wert von ca. 47 °C ein (entspricht dem Wert der Dampfdruckkurve). Lediglich im Mittelteil des Versuches kann eine geringfügige Überhitzung des Gutes (Temperaturen bis 57 °C) beobachtet werden.

3.4 Gefriertrocknung

Zur Gefriertrocknung wurden einzelne vergleichende halbquantitative Versuche unter Variation der Trocknungsdauer und -temperatur während der Haupttrocknungsphase durchgeführt (Abb. 4).

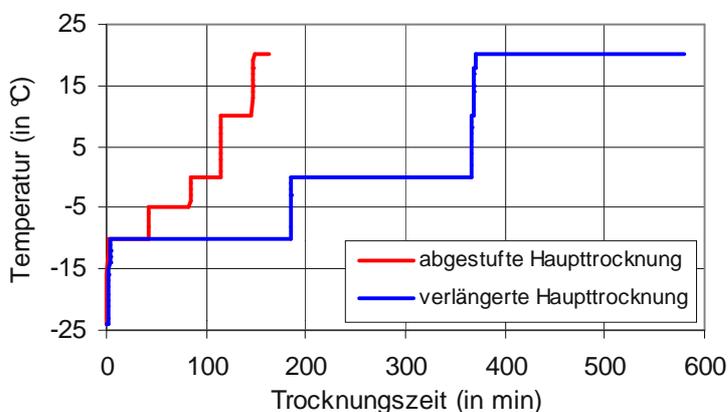


Abb. 4: Variation des Temperatur-Zeit-Verlaufs der Haupttrocknung ausgewählter Gefriertrocknungsversuche (Absolutdruck 0,37 mbar)

Nach 2,7 Stunden Trocknungsdauer betrug die Restmasse der Probe bei einer abgestuften Haupttrocknung zwischen 40 % und 45 %. Diese Werte entsprechen einer Restgutfeuchte von 94 Ma.-% bis 95 Ma.-%. Durch eine starke Verlängerung der Haupttrocknungsphase auf eine Gesamtzeit von 9,7 Stunden konnte die Restfeuchte der Proben auf Werte zwischen 4,6 Ma.-% und 7,4 Ma.-% reduziert werden. Dies entspricht Gesamtmasseabnahmen von ca. 97 %.

3.5 Verfahrensvergleich

Hinsichtlich der Einschätzung der prinzipiellen Eignung des Trocknungsverfahrens ist zunächst die thermische Belastung des Gutes während sowie dessen Beschaffenheit nach der Trocknung von besonderem Interesse, da diese beiden Aspekte die Weiterverwertbarkeit des Produktes entscheidend beeinflussen. Angaben zur diesen Parametern sind in Tab. 2 für die unterschiedlichen Verfahren zusammengefasst.

Tab. 2: Vergleich der unterschiedlichen Trocknungsverfahren hinsichtlich der Beeinflussung und Beschaffenheit des Gutes

Verfahren	Thermische Belastung des zu trocknenden Gutes	Zustand des getrockneten Gutes
Konvektionstrocknung	hohe thermische Belastung des Gutes (technisch sinnvoll: Trocknungstemperaturen > 70 °C); zusätzliche Verstärkung der Belastung durch vergleichbar lange Trocknungszeit	Gut nach Trocknung schlecht handhabbar (Bildung dünner spröder Schichten – nachträgliche Zerkleinerung notwendig)
Vakuumtrocknung	thermische Belastung des Gutes herabsetzbar bei geeignet niedrigen Drücken (technisch sinnvoll: Trocknungstemperaturen ab 45 °C bei einem Druck von 100 mbar)	Gut nach Trocknung schlecht handhabbar (Bildung dünner spröder Schichten – nachträgliche Zerkleinerung notwendig) 
Vakuum-Mikrowellentrocknung	thermische Belastung des Gutes herabsetzbar bei geeignet niedrigen Drücken (technisch sinnvoll: Trocknungstemperaturen ab 45 °C bei einem Druck von 100 mbar) durch die direkte Wärmeerzeugung im Gut werden lokale Überhitzungen weitgehend vermieden zusätzliche Gutschonung durch sehr kurze Trocknungszeiten	starke Gutbewegung während der Trocknung („Kochen“) verbessert Handhabbarkeit des trockenen Gutes
Gefriertrocknung	keine thermische Belastung des Gutes	Erhaltung der Gutstruktur (Farbstabilität, keine Schrumpfung) während des Trocknungsvorganges; sehr gute Rücklöslichkeit des trockenen Gutes in Wasser 

Unabhängig von den genannten Vor- und Nachteilen sind weitere Aspekte insbesondere aus ökonomischer Sicht von Interesse. Dazu zählen der apparatetechnische Aufwand, die Dauer des Trocknungsvorganges und als wesentliches Kriterium der Energiebedarf. Einige Angaben zu diesen Parametern sind in Tab. 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Angaben zu technisch und ökonomisch relevanten Aspekten der Trocknungsverfahren

Verfahren	Apparatetechnischer Aufwand	Trocknungszeiten	Energiebedarf
Konvektionstrocknung	vergleichsweise wenig aufwendige Variante	relativ groß	hoher Energiebedarf zum Aufheizen der Luft (Senkung durch Umluftbetrieb möglich); zusätzlicher Energiebedarf zur Umwälzung der geheizten Luft

Vakuumtrocknung	mäßig aufwendige Variante (vakuumtauglicher Behälter mit entsprechenden Dichtungen notwendig)	gering bis mittel (je nach eingestelltem Absolutdruck)	Gesamtenergiebedarf setzt sich zusammen aus notwendiger Heizleistung (für die Kontaktflächen) und Pumpenergie zur Erzeugung des Vakuums
Vakuum-Mikrowellentrocknung	relativ aufwendige Variante (Bauteile zur Mikrowellenerzeugung und -leitung, Abschirmungen sowie vakuumtauglicher Behälter mit entsprechenden Dichtungen notwendig)	Trocknungszeiten sehr gering (je nach eingestelltem Absolutdruck); durch Mikrowelleneinkopplung Wärmeerzeugung unmittelbar im Gut (schnelle Aufheizung, geringer Einfluss von Totvolumina)	Gesamtenergiebedarf setzt sich zusammen aus eingekoppelter Mikrowellenleistung und Pumpenergie zur Erzeugung des Vakuums; Verlustleistung durch reflektierte Mikrowellenstrahlung variabel (Voraussage wegen Gutabhängigkeit schwer möglich)
Gefriertrocknung	vergleichsweise aufwendigste Variante	Gesamtbehandlungszeit sehr groß	hoher Gesamtenergiebedarf setzt sich zusammen aus Kühlleistung, Pumpenergie zur Erzeugung eines Vakuums und der Heizleistung zum Wiedererwärmen des Gutes

4 Zusammenfassung

Die schonende Trocknung der Biomasse ist das primäre Kriterium hinsichtlich einer angestrebten Verwertung als Futtermittel. Die Zusammensetzung und die Konsistenz der ernährungsphysiologisch interessanten Verbindungen sollte durch die Trocknung nicht negativ beeinflusst werden. Insbesondere betrifft dies die enthaltenen Proteine (Aminosäuren), Fette und Vitamine. Die Wahl der Trocknungstemperatur ist dabei von entscheidender Bedeutung. Unter diesem Aspekt sind die Gefriertrocknung und die Vakuumtrocknungsverfahren von besonderem Interesse. Die strukturelle Beschaffenheit des getrockneten Gutes, die dessen Handhabbarkeit und Weiterverarbeitung entscheidend beeinflusst, ist nach der Gefriertrocknung sowie nach der Mikrowellentrocknung besonders vorteilhaft.

Demgegenüber stehen die Reduzierung und Optimierung des Energiebedarfes und des notwendigen apparatetechnischen Aufwandes. Unter diesem Aspekt weist die Konvektionstrocknung Vorteile auf. Bei der Interpretation der genannten Größen ist allerdings zu beachten, dass die vorgestellten Untersuchungen im Wesentlichen im Labormaßstab durchgeführt wurden; d. h. unter Bedingungen, die die technischen Verhältnisse (vor allem hinsichtlich Größenordnung, Wärme- und Stoffübertragungsflächen, Energieverlusten) nur sehr unvollkommen repräsentieren.

Eine abschließende Einschätzung der tatsächlichen Eignung einzelner Trocknungsverfahren – insbesondere hinsichtlich deren Wirtschaftlichkeit – ist erst nach Optimierung aller Randbedingungen und nach entsprechender Übertragung in einen technischen Maßstab möglich. Diese ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

5 Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten und Ergebnisse sind Bestandteil des durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft geförderten Projektes „Entfeuchtung und Verwertung von entwässertem mikrobieller Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“ (Förderkennzeichen 1-67-000-0101-14-2004-59-2). Unser besonderer Dank gilt der Projektbegleiterin Frau Ulrike Bobach für ihre Diskussionsbereitschaft. Für die Unterstützung bei den experimentellen Tätigkeiten möchten wir den MitarbeiterInnen der Technischen Universität Dresden sowie der WHZ – namentlich Frau Helga Stemmler und Frau Kristina Maurer – danken.

6 Literatur

- FUTMV: Futtermittelverordnung in der Bekanntmachung vom 23.11.2000 (zuletzt geändert durch Art. 1 6. ÄndVO von 27.04.2004); BGBl. I S. 1605 (ber. BGBl. 2002 I S. 1514; BGBl. III/FNA 785-1-4).
- GEMENDE, B.; PAUSCH, N.: Schlussbericht zum Förderprojekt „Abtrennung, Entwässerung und Aufkonzentrierung von Bakterien-Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“. Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), 2005.
- GERBETH, A.; GEMENDE, B.; PAUSCH, N.; KRAUTHEIM, G.; BELLMANN, G.; VON BRESINSKY, A.: Versuche zur Biogasgewinnung und Verwertung von Biomassen aus einer Fischzuchtanlage. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 24.-26.05.2005.
- OFFENLEGUNGSSCHRIFT DE 103 38 147 A 1: Verfahren zur biologischen Wasserreinigung, insbesondere in Anlagen zur Fischzucht bzw. -haltung. Offenlegungstag: 31.03.2005.
- PAUSCH, N.; GEMENDE, B.; GERBETH, A.; BURKHARDT, C.; WESENBERG, T.; BELLMANN, G.; VON BRESINSKY, A.: Abtrennung von Bioschlamm aus der Fischzucht mittels Lamellenklärer und Membrantechnik zur Biogasverwertung. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 23.-27.5.2005.
- PAUSCH, N.; GERBETH, A.; GEMENDE, B.; VEIT, M.; KEMBOLO, K.; VON BRESINSKY, A.; MÜLLER, R. H.: Untersuchungen zum Prozessverhalten eines neuen Verfahrens zur Wasserreinigung in der Intensivfischzucht. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 22.-26.05.2006.
- PRÖTER, J.: Kontinuierlicher Vergärungsversuch von Biomasse aus der Aufbereitung von Kreislaufwässern aus der Fischzucht. Kurzbericht, Leipzig, 2005.
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN: Vakuum-Mikrowellentrocknung.
Link: www.tvt-uvt.tu-dresden.de/Takt/VMV/vmv.html; Stand: 26.01.2006.

7 Adressen der Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende, Dipl.-Ing. (FH) Anja Gerbeth, Dipl.-Ing. (FH) Nicole Pausch, Prof. Dr. rer. nat. habil. Gunter Krautheim
Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), Fachbereich Physikalische Technik/Informatik
Postfach 201037, D-08012 Zwickau
Telefon: +49-375/536-1787 (1501); Fax: 1503; E-Mail: bernhard.gemende@fh-zwickau.de
- Andreas von Bresinsky
Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky
Thomas-Müntzer-Str. 6, D-04579 Oelzschau
Telefon: +49-34347/81679, Fax: 81701; E-Mail: a.v.bresinsky@arcor.de
- Prof. Dr.-Ing. habil. Rüdiger Lange, Dipl.-Ing. Malgorzata Anna Adamska
Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
D-01062 Dresden
Telefon: +49-351/436-35181, Fax: 37057; E-Mail: ruediger.lange@tu-dresden.de