



Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Institut de recherche de l'agriculture biologique
Research Institute of Organic Agriculture
Istituto di ricerche dell'agricoltura biologica
Instituto de investigaciones para la agricultura orgánica

Aspekte zur Zulassung von Aminosäurepräparaten aus fermentativer Produktion in der Tierernährung im biologischen Landbau

Im Auftrag von Hans Ramseier, Leitung Qualitätssicherung und Entwicklung, Bio Suisse

Florian Leiber und Barbara Früh, FiBL

08. Mai 2014

Auskünfte: Florian Leiber, florian.leiber@fibl.org, Tel. 062 865 72 17
Barbara Früh, barbara.frueh@fibl.org; Tel. 062 865 72 18

Auftragsstellung

Aufgrund der Entwicklungen und Diskussionen in der biologischen Fütterung, wie 100 % Biofütterung, alternative Eiweissquellen - Sojaersatz; Ressourceneffizienz und erhöhter Ammoniakausstoss durch hohe Rohproteingehalte im Futter wird der **Einsatz von isolierten Aminosäuren oder „aminosäurereichen Produkten“** diskutiert. Seitens der Futtermühlen wird seit Jahren die Zulassung von synthetischen Aminosäuren für eine 100 % Biofütterung gefordert. Relativ neu diskutiert werden die fermentativ hergestellten Aminosäuren. Innerhalb des Futtermittelmandates der Bio Suisse gelangen Anfragen zur Produktzulassung ans Futtermittelteam des FiBL.

Auch innerhalb der EU laufen die Diskussionen um die Zulassung solcher Produkte. Für eine einheitliche Stellungnahme seitens Bio Suisse und FiBL und auch für die Lobbyarbeit über die IFOAM EU Group, soll mit diesem Grundlagenpapier die Basis für eine Empfehlung geschaffen werden. Das Papier betrifft ausschliesslich fermentativ und nicht chemisch-synthetisch hergestellte Aminosäuren.

Hintergrund

Essentielle Aminosäuren können nicht vom Säugetierorganismus synthetisiert werden und sind dennoch notwendige Bestandteile der Eiweisse und Enzyme. Sie müssen daher von aussen, über das Futter, zugeführt werden. Wenn im Futter relativ zum Bedarf ein Mangel an spezifischen essentiellen Aminosäuren besteht, bestimmen diese die maximale Syntheserate von körpereigenen Eiweissen und Enzymen. Daher wird von limitierenden Aminosäuren gesprochen. Die übrigen Aminosäuren können in solchen Fällen nicht optimal genutzt werden und es kommt zu erhöhten Ausscheidungen an N-Verbindungen durch die Tiere. Insbesondere in der Schweine- und Geflügelhaltung ist dies relevant, sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht.

Das Aminosäurenprofil im Sojaprotein entspricht dem Bedarf von Schweinen und Geflügel in der landwirtschaftlichen Tierernährung besser als jenes der meisten anderen Eiweissträger. Daher hat sich in der konventionellen Fütterung Soja als wichtigste pflanzliche Eiweissquelle extrem stark durchgesetzt und die Formulierung der Rationen für alle Tierkategorien basiert überwiegend auf Soja. Basierend auf der Konzentration und Zusammensetzung der Aminosäuren kann keine europäische Futterleguminose mit Soja mithalten. Aus diesem Grund ist Soja auch im Biolandbau in der Geflügelfütterung der Hauptproteinlieferant.

Allerdings sind die ökologischen und sozialen Kollateralschäden der Sojaproduktion, v.a. in Südamerika, sehr gross und bereits seit vielen Jahren bekannt. Da die globale Nachfrage nach tierischen Produkten jedoch stark steigt, und mit ihr der Bedarf an Soja, nehmen auch die damit verbundenen Probleme nach wie vor erheblich zu (von Witzke et al., 2011).

Der biologische Landbau befindet sich hier in einer Zwickmühle. Aus ökologischen und sozialen Gründen muss er die Sojaimporte stark in Frage stellen und eigentlich reduzieren. Wenn aber im biologischen Landbau eine möglichst kostengünstige Eier- und Fleischerzeugung angestrebt wird, ist, bei derzeitiger Marktlage und aufgrund begrenzter europäischer Möglichkeiten im Eiweissanbau, der Einsatz von Soja nach wie vor eine nicht zu ignorierende Option.

Eine Möglichkeit, um die verfügbaren europäischen Eiweissquellen zu ergänzen und bezüglich des Aminosäurenprofils aufzuwerten, können freie Aminosäuren sein, die in optimaler Zusammenstellung dem Futter beigemischt werden. In der konventionellen Landwirtschaft ist dies Standard. Im biologischen Landbau sind freie Aminosäuren aufgrund ihrer technologischen Herkunft derzeit nicht zugelassen. Freie Aminosäuren können einerseits chemisch-synthetisch und andererseits fermentativ hergestellt werden. Die synthetische Herstellung widerspricht so deutlich den Grundsätzen des biologischen Landbaus, dass sie hier nicht weiter diskutiert werden muss. Die Frage besteht aber, ob Aminosäuren, die aus fermentativen Prozessen gewonnen wurden, zugelassen werden könnten. Diese Frage soll im Folgenden diskutiert werden.

Herstellungsverfahren

Aminosäuren können chemisch oder mikrobiell synthetisiert werden. Die meisten Aminosäuren können als L- oder als D-Isomere auftreten, welches spiegelbildliche Molekülstrukturen sind, von denen aber die L-Form in Organismen wesentlich häufiger vorkommt. Da bei der chemischen Synthese die D- und L- Formen gleichermassen entstehen und nur die reine L-Form vom Säugetier genutzt werden kann, müssen die DL-Formen für die Fütterung aufgetrennt werden. Einzig beim Methionin kann die DL-Form in der Fütterung eingesetzt werden. Daher wird Methionin heute noch synthetisch (und zwar ausschliesslich!) hergestellt, während für alle anderen limitierenden Aminosäuren fermentative Verfahren bestehen (Ikeda, 2003; Leuchtenberger et al., 2005).

Die Herstellungsverfahren sind für die Produktion von Aminosäuren für die konventionelle Landwirtschaft entwickelt worden. Das Herstellungsverfahren, ob synthetisch oder fermentativ spielt für den Produkteinsatz in der konventionellen Landwirtschaft keine Rolle. Aus Kostengründen kommen heute vermehrt fermentative Prozesse zum Einsatz.

In der Fermentation werden Bakterienstämme eingesetzt, welche die jeweils gesuchte Aminosäure im Überschuss produzieren. Derartige Bakterienstämme werden durch breit angelegte Screenings gesucht (Willke et al., 2010), oder auch auf biotechnologischem Wege durch induzierte Mutationen oder gentechnische Eingriffe hergestellt. Für den Biolandbau kommen keine Produkte in Frage, welche durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen hergestellt wurden.

Die Bakterien werden im grossen Massstab in Nährlösungstanks gezüchtet, wobei verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen (Batch-Verfahren oder Durchfluss-Verfahren; Ikeda, 2003), die aber für die Bewertung des Endprodukts keinen qualitativen Unterschied machen. Als Substrate für die Nährlösungen werden einerseits Zucker aus verschiedenen Quellen sowie als Stickstoffquellen vor allem Ammonium und Ammoniumsalpeter eingesetzt (Ikeda, 2003). Bei schwefelhaltigen Aminosäuren (v.a. Methionin) wird zudem eine Schwefelquelle benötigt.

Die Nachhaltigkeit der eingesetzten Substrate und die Effizienz ihrer Verarbeitung in der landwirtschaftlichen Produktionskette, sowie die Vereinbarkeit mit den Grundsätzen des biologischen Landbaus muss abgewogen werden, was im Rahmen dieses Papiers nicht vollständig der Fall ist. Diskutiert werden muss, ob biospezifische Verfahren mit bio-kompatiblen Nährlösungen vorgeschrieben werden sollen!

Reinheitsgrad der Produkte

Endprodukte können aufgereinigte Aminosäuren sein, oder aber die gesamte getrocknete Substanz aus der Fermentationsbrühe. Dies ist dann ein sehr eiweissreiches Material, das besonders hohe Konzentrationen der jeweiligen „Zielaminosäure“ enthält. Im Sinne des biologischen Landbaus ist es sicher eher angezeigt, das Rohmaterial vollständig zu nutzen (Willke et al., 2010), da dies einer nachhaltigen Verwertung und einem „ganzheitlichen“ Futtermittel (weil nicht isoliertes Molekül) eher entspricht. Allerdings ist eine Feinjustierung des Aminosäurenmusters in der Gesamtration so schwieriger, weil die Gehalte und Proportionen der Aminosäuren schwanken.

In diesem Sinne wäre in einem Zulassungsverfahren aber eventuell weniger von „Freien Aminosäuren“ als von z.B. „Lysin-reichen Futterzusatzstoffen“ zu sprechen.

Aspekte aus Perspektive der Tierernährung

Freie Aminosäuren oder entsprechende Futterzusatzstoffe aus Fermentationsprozessen können genutzt werden, um die Wertigkeit der Futterproteine aus nicht-Soja Quellen zu verbessern. **Im Vergleich mit Soja können dabei allerdings nicht alle Defizite ausgeglichen werden:**

- Der Rohproteingehalt von einheimischen Körnerleguminosen ist meistens deutlich niedriger als der von Soja, und dieses Gesamtdefizit an Protein kann nicht bedenkenlos mit freien Aminosäuren ausgeglichen werden. Eine zu starke Absenkung des natürlichen Rohproteins hat Leistungseinbrüche zur Folge, die auch auf physiologische Probleme der Tiere hinweisen (Rodehutschord, 2012). Solange keine biospezifischen Daten vorliegen, könnte man sich an den von Rodehutschord (2012) diskutierten Mindestgehalten für Rohprotein in den Rationen orientieren.
- Antinutritive Inhaltsstoffe in verschiedenen Futterleguminosen schränken deren Einsatz als Futtermittel zum Teil ein. Auch wenn die Wertigkeit des Futterproteins durch freie Aminosäuren erhöht ist, bleiben Schwierigkeiten bestehen, die notwendige Protein-Konzentration zu erreichen, ohne bei den antinutritiven Inhaltsstoffen Grenzwerte zu überschreiten.
- Die am stärksten limitierende Aminosäure in der Ernährung von Geflügel und z.T. von Schweinen ist Methionin. Für dieses sind aber noch keine praxistauglichen Fermentierungsverfahren verfügbar, auch wenn aktuell daran gearbeitet wird (Kumar & Gomes, 2005; Willke et al., 2010; Willke, 2014, mündliche Mitteilung). Methionin ist derzeit nur aus synthetischen Verfahren verfügbar. Solange aber kein Methionin verwendet werden kann, erscheint der Einsatz anderer, weniger stark limitierender Aminosäuren v.a. beim Geflügel nur teilweise sinnvoll.

Von den genannten Limitierungen abgesehen, **könnte ein Einsatz freier Aminosäuren oder entsprechender Fermentationsprodukte Sinn machen weil er**

- zu einer verbesserten Nutzung des Futterproteins führt und damit die N-Ausscheidungen je Produkteinheit reduziert,

- den Einsatz von nicht-Soja Proteinquellen durch Verbesserung des Aminosäurenmusters aufwertet, und die Abhängigkeit von aus Übersee importierten Futterproteinen senkt,
- damit mehr Vielfalt in der Fütterung unterstützen könnte, und somit sowohl im ökologischen Sinne als auch im Sinne einer tiergerechten Fütterung Vorteile bringt. Mehr Vielfalt der eingesetzten Futterpflanzen kann auch mehr geschmackliche und biochemische Vielfalt bedeuten, z.B. könnten mehr Raufutter eingesetzt werden. Die Vielfalt im Futter als Bestandteil tiergerechter Haltung zu verstehen, ist bei den Wiederkäuern bereits oft diskutiert (vgl. Villalba et al., 2010), könnte aber Schweine und Geflügel gleichermaßen betreffen (Forbey et al., 2009). Dieser Aspekt sollte mit diskutiert und ggf. aktiv genutzt werden, wenn man durch Aminosäurezusätze Freiräume gewinnt.
- ein weiterer Baustein ist zur Verbesserung der Eiweißversorgung. Es gibt bisher noch keine ultimative Lösung. Auch Insektenproteine und Tiermehle könnten den Bedarf nicht decken.

Wenn die Rohprodukte aus der fermentativen Aminosäureproduktion als Ganzes in der Fütterung eingesetzt werden sollen, ist eine vorherige Abklärung mittels Fütterungsversuchen angezeigt (Einflüsse auf Futteraufnahme, Verdaulichkeit, mögliche Toxizität).

EGTOP empfiehlt die Zulassung von Histidin für die Aquakultur

Die Expertengruppe EGTOP (Expert Group for Technical Advice on Organic Production) befürwortet in ihrem Bericht aus der 8. Sitzung vom 3.-5. Dezember 2013 (EGTOP, 2014) die Zulassung von fermentativ hergestelltem Histidin für die Aquakultur. Allerdings macht sie dazu auch einige Einschränkungen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Grundlagenpapiers, ist der Entscheid der EU Kommission noch ausstehend.

Argumentiert wird folgendermaßen:

- Primär sollten Fische über die Nahrung mit allen notwendigen Aminosäuren versorgt werden. Natürlicherweise ist Histidin im Fischmehl von ganzen Fischen vorhanden. Die Verfütterung von ganzen Fischen ist aber laut Art. 25 (k) EU Öko Vo 889/2008 nicht erlaubt. Eine weitere Histidin-Quelle sind die tierischen Schlachtnebenprodukte, die erst aktuell wieder für die Fischfütterung zugelassen, in ökologische Qualität aber noch nicht ausreichend vorhanden sind.
- Histidin kann von den Fischen nicht selbst synthetisiert werden. Eine Histidin-Gabe verhindert den Grauen Star (Katarakt) bei Lachsen, und ist deshalb aus Sicht des Tierwohls zu begrüßen.
- Histidin als freie Aminosäure ist nach EU Recht in der Lachsfütterung zugelassen.
- L-Histidin wird fermentativ durch einem natürlichen Stamm der Escherichia coli Bakterien (nicht gentechnisch verändert) erzeugt. Nach verschiedenen Konzentrations- und Reinigungsprozessen entsteht eine „natürliche Substanz mikrobieller Herkunft“.
- Eine optimierte Futtermittelration verringert die Stickstoffausscheidung; Tiergesundheit und Tierwohl werden positiv beeinflusst – Verhinderung von Augenerkrankungen; die EFSA identifizierte keine Gefährdung durch den Konsum von Histidin über Fische

- Produkte mikrobiellen Ursprungs sind bereits in der ökologischen Produktion verbreitet: Pfaffia Hefe, *Saccharomyces cerevisiae* and *S. carlsbergiensis* (Hefen), Enzyme
- EGTOP hält ausdrücklich fest, dass die Fütterung einer isolierten Aminosäure nur mit dem Zweck verfolgt werden sollte, eine ausgeglichene Ration zu erstellen und Mangelerscheinungen vorzubeugen. Nicht unterstützt wird der Einsatz von isolierten Aminosäuren, um die Leistung zu steigern oder günstiges Futter zu produzieren.
- EGTOP empfiehlt in erster Priorität den Einsatz von ungereinigten biologisch erzeugten Fermentationsprodukten, und erst in zweiter Priorität den Einsatz von gereinigtem Histidin als Futterzusatz.
- EGTOP empfiehlt die allgemeine Zulassung von „fermentativ hergestelltes Histidin“ und nicht speziell eines reinen Histidins.

Wertediskussion

Im Biologischen Landbau geht es auch um Werte, welche die Grundlagen der Motivationen und Impulse, der Richtlinien, und auch des Kundenvertrauens bilden. Im Zusammenhang mit freien Aminosäuren stehen vor allem zwei Aspekte im Vordergrund, die hier in Konflikt miteinander kommen: der Aspekt der Technologisierung und jener der Ökologie und sozialen Gerechtigkeit.

Freie Aminosäuren bzw. entsprechend angereicherte Futterzusatzstoffe entstammen, auch wenn sie fermentativ hergestellt werden, einem hochgradig technologischen Prozess, der eine Tendenz zur Industrialisierung der Landwirtschaft in sich trägt. Einerseits, weil dieser Prozess selber ein industrieller ist, andererseits, weil die Verfütterung von freien Aminosäuren auf einem stark mechanistischen Natur- und Tierverständnis beruht, das den tierischen Stoffwechsel in materialistischer Weise als Mittel zum Produktionszweck versteht. Dies kann einem Konzept von tierischer Produktion den Weg ebnen, das dem konventionellen sehr nahekommt (Leiber, 2006) und sich von den Grundsätzen einer artgerechten Tierhaltung (die ja auch ein artgerechtes Verständnis vom Tier voraussetzt) entfernt. Diese Problematik beginnt allerdings damit, dass man sich in der biologischen Haltung von Schweinen und Geflügel sehr stark an Qualitäts- und Effizienzzielen orientiert, die aus der konventionellen Landwirtschaft stammen (Leiber, 2006). Die Zulassung von freien Aminosäuren wäre dabei nicht grundsätzlich eine neue Qualität, sondern nur ein weiterer Schritt in die bestehende Richtung. Sie wäre daher nicht abzulehnen, aber die Tendenz zu Industrialisierungskonzepten sollte dabei bemerkt und offen diskutiert werden, um sie nicht schleichend hineinzulassen.

Andere Aspekte sind die mit dem Import von Soja verbundenen ökologischen und sozialen Probleme, welche in Konflikt mit Nachhaltigkeitskonzepten stehen. Wenn hier durch den Einsatz von freien Aminosäuren bzw. Fermentationsprodukten *tatsächlich* eine Reduktion der Sojaimporte erreicht werden könnte (und unter der hier nicht überprüften Voraussetzung, dass die Fermentation eine vertretbare Ökobilanz aufweist), wäre dies ein sehr starkes Argument für die Zulassung, das in den Augen der Verfasser stärker wiegt, als die oben angeführte Technologisierungs-Problematik.

Ein weiterer Aspekt ist die Tatsache, dass der Verbrauch an tierischen Produkten die lokalen Ressourcen bei weitem übersteigt und somit im Verhältnis zu den pflanzlichen Produkten

klar zu hoch ist, auch im Biomarkt. Über dieses Grundproblem müsste man diskutieren, um den Grund des oben dargestellten Konfliktes zu verstehen. Solange jedoch die Biobranche ihre Fleisch- und Eierproduktion dem Konsum anpassen will, erscheint in der Werte-Abwägung der Einsatz von freien Aminosäuren sinnvoll, vertretbar und ehrlich, wenn er mit einer konkreten Limitierung von Übersee-Importen verknüpft wird.

Beim Einsatz von Vitaminen gibt es eine konträre Situation. Für die Tierfütterung sind einige ausgewählte Vitamine als Zusatzstoffe zugelassen. Auch hier sind chemisch-synthetische und fermentative Herstellungsverfahren möglich. In der Produktion für den gesamten Sektor wurde die chemisch-synthetische Produktion jedoch, wo immer möglich, durch die fermentative Herstellung abgelöst, da der chemisch-synthetische Herstellungsprozess weitaus energieaufwändiger ist und eine grosse Menge an Lösungsmittelabfällen erzeugt. Die fermentativen hergestellten Vitamine werden jedoch überwiegend durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen hergestellt. Aus diesem Grunde ist der Biolandbau gezwungen, hier an Produkten aus der chem. synth. Produktion festzuhalten.

Fazit

Die Verfütterung von freien Aminosäuren und fermentativ hergestellten Futterzusätzen an Schweine und Geflügel kann ökologisch, ökonomisch und bezüglich Tiergesundheit sinnvoll sein und erscheint **aus tierphysiologischer Perspektive nicht problematisch**, solange Grenzwerte definiert und Fütterungsversuche durchgeführt werden.

Die Verfütterung von freien Aminosäuren macht aktuell jedoch nur in den Situationen Sinn, in denen Lysin erstlimitierend ist, da ein fermentativ, ohne gentechnisch veränderte Organismen, hergestelltes Lysin (EFSA, 2007) verfügbar ist (relevant für die Schweinefütterung). Beim Geflügel ist jedoch die erstlimitierende Aminosäure **das Methionin, welches derzeit noch nicht aus fermentativer Produktion verfügbar ist**.

Zur Erreichung des **Ziels der 100 % Biofütterung und Reduzierung von Übersee-Importen** bei den Nichtwiederkäuern über alle Produktionsstufen können die freien Aminosäuren oder Fermentationsprodukte eine wichtige Rolle spielen.

Im Sinne eines ganzheitlichen und nachhaltigen Futtermittels ist die **Verfütterung der gesamten Fermentationsprodukte** gegenüber isolierten Aminosäuren zu bevorzugen. Dann wäre die Bezeichnung „Freie Aminosäuren“ aber durch spezifische Bezeichnungen wie **„Lysin-haltiger Futterzusatz“** zu ersetzen.

Vor dem Hintergrund der Werte des biologischen Landbaus erscheint die Zulassung von freien Aminosäuren besonders problematisch im Sinne einer **Tendenz zur Industrialisierung und Konventionalisierung**. Andererseits gibt es auch Gründe für die Möglichkeit, freie Aminosäuren einzusetzen:

- wenn kein Fermentationsprodukt erhältlich ist
- wenn freie Aminosäuren deutlich effizienter sind als Fermentationsprodukte

Aus ökologischen Gründen wäre der Einsatz von freien Aminosäuren oder Fermentationsprodukten zu befürworten, wenn die Ökobilanz einer Fütterung mit heimischen Körnerleguminosen ergänzt um Aminosäuren besser ist, als die auf Übersee-Importen basierende Fütterung. Ein abschliessender Vergleich mittels Ökobilanzen kann

jedoch nicht erstellt werden, da auch die Körnerleguminosen nicht in ausreichender Menge aus regionalem (mitteleuropäischem) Anbau zur Verfügung stehen.

Die **Nachhaltigkeit und die Biokompatibilität der eingesetzten Nährsubstrate** müssten den Anforderungen des Biolandbaus entsprechen. Hierzu sind eventuell noch Untersuchungen und Verfahrensentwicklungen notwendig.

Empfehlungen zum Entscheid Bio Suisse

Die Zulassung des Histidins in der Fischfütterung muss auch innerhalb der Bio Suisse diskutiert werden, wenn die EU Kommission der Empfehlung von EGTOP zustimmt. Dann könnten auch die Biolachse für den Schweizer Markt mit fermentativ hergestelltem Histidin gefüttert werden.

Was die Verwendung fermentativer Aminosäuren generell angeht, so ist diese nach den heutigen gesetzlichen Bestimmungen weder in der Schweiz noch in Europa möglich. Ein positiver Entscheid von Bio Suisse könnte jedoch als Grundlage für die Lobbyarbeit innerhalb der IFOAM EU Group und mit dem BLW dienen und mittelfristig zu einer Zulassung führen.

Referenzen

- EFSA, 2007. Safety and efficacy of L-lysine sulphate (Vitalys®Liquid and Vitalys®Dry) for all animal species. The EFSA Journal (2007) 522, 1-26
- EGTOP 2014 http://ec.europa.eu/agriculture/organic/eu-policy/expert-advice/documents/finalreports/index_en.htm verfügbar am 24.04.14
- Forbey, J.S. et al. 2009. Exploitation of secondary metabolites by animals: A response to homeostatic challenges. *Integrative and Comparative Biology*, 49, 314–328.
- Ikeda, M. 2003. Amino acid production processes. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 79, 1-35.
- Kumar, D., Gomes, J. 2005. Methionine production by fermentation. *Biotechnology Advances* 23, 41-61.
- Leiber, F. 2006. Tierernährung im Biolandbau: Wissenschaft zwischen Ideal und Praxis. *Schriftenreihe Institut für Nutztierwissenschaften ETH* 28, 49-64.
- Leuchtenberger, W., Huthmacher, K., Drauz, K. 2005. Biotechnological production of amino acids and derivatives: current status and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology* 69, 1-8.
- Rodehutschord, M. 2012. Einsatz von Aminosäuren in der Tierernährung. *Hülsenberger Gespräche* 2012, 108-114.
- Villalba, J.J., Provenza, F.D., Manteca, X. (2010) : Links between ruminants' food preference and their welfare. *Animal* 4, 1240-1247.
- Von Witzke, H., Noleppa, S., Zhirkova, I. 2011. Fleisch frisst Land. Studie im Auftrag von WWF Deutschland. Berlin.
- Willke, T., Hartwich, T., Reershemius, H., Jurchescu, I., Lang, S., Vorlop, K. 2010. 125 Ökologisch produziertes Methionin aus Mikroorganismen. In: Rahmann, G., Schumacher, U. (Hg.): *Neues aus der ökologischen Tierhaltung 2010*. S. 125-136.