

Einsatz der Mikroalge *Spirulina platensis* in der ökologischen Broilermast

Effects of dietary *Spirulina platensis* on performance and economy of organic chicken production

FKZ: 08OE098

Projektnehmer:

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft
Am Hofgarten 3, 85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: +49 8161 71-5065
Fax: +49 8161 71-4496
E-Mail: le@hswt.de
Internet: <http://www.hswt.de/>

Autoren:

Bellof, Gerhard; Carrasco Alarcon, Luz Salomé

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger und ausführende Stelle

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft
Am Hofgarten 3
85350 Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. habil. Gerhard Bellof
Dr. Luz Salomé Carrasco Alarcon
Fachgebiet Tierernährung

Forschungsprojekt Nr.: 08OE098

Thema

**Einsatz der Mikroalge *Spirulina platensis* in der
ökologischen Broilermast**



Laufzeit: 01.01.2010 – 31.12.2010

Berichtszeitraum: 01.01.2010 – 31.12.2010

Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Firma MEIKA Ökologische Tierernährung GmbH, 86845 Großaitingen

Einsatz der Mikroalge *Spirulina platensis* in der ökologischen Broilermast

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die ausschließliche Versorgung von Mastgeflügel mit ökologisch erzeugten Futtermitteln (100 % Bio-Futter, Verordnung EWG 2092/91) erschwert die Rationsgestaltung zukünftig erheblich. Probleme bereitet hierbei insbesondere die adäquate Aminosäureausstattung der Futtermischung bzw. das Verhältnis von Energie zu essentiellen Aminosäuren. Für die ökologische Geflügelmast stehen nur wenige geeignete und zugelassene Eiweißfuttermittel mit ausreichend hohen Gehalten an essentiellen Aminosäuren (EAS) in ausreichender Menge zur Verfügung.

Das bearbeitete Forschungsprojekt war darauf ausgerichtet, das bereits für die Humanernährung zugelassene Produkt *Spirulina platensis* als hochkonzentrierten Eiweißlieferanten für die ökologische Broilermast zu prüfen.

Ziel des Projekts war es, folgende Fragen zu klären:

- Kann ein Produkt aus der Mikroalge *Spirulina platensis* in der ökologischen Broilermast eingesetzt werden? Hierbei sollten insbesondere geprüft werden:
 - Einmischung in pelletierte Alleinfuttermischungen (Mischverhalten),
 - Akzeptanz durch das Tier,
 - Beeinflussung der Gesundheit,
 - Auswirkungen auf die Mastleistung und den Schlachtkörperwert.
- Welche Mischungsanteile sind für die ökologische Broilermast zu empfehlen?
- Wie ist die Wirtschaftlichkeit eines Zusatzes von *Spirulina platensis* für die ökologische Broilermast zu bewerten.

Der Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen ergibt sich aus der Bekanntmachung Nr. 04/06/51 für die Durchführung von Forschungsprojekten für den Bereich 2.2.2. 'Tierernährung' im Bundesprogramm Ökologischer Landbau

1.1 Planung und Ablauf des Projekts

Die Realisierung der Ziele des Projekts erfolgte nach folgendem Versuchsplan:

<p>1. Vorversuch</p> <p>Prüfung des Mischverhaltens</p> <p>Akzeptanzprüfung</p>	<p>Futtermischungen mit hohen Mischungsanteilen an <i>Spirulina platensis</i></p> <p>Fütterungstest mit hohem Mischungsanteil <i>Spirulina platensis</i> an kleiner Tiergruppe</p>
<p>2. Hauptversuch</p> <p>Ermittlung von Mastleistungsdaten</p> <p>Ermittlung des Schlachtkörperwertes</p>	<p>Aufzucht von Eintagsküken</p> <p>Mastphase mit Grünauslauf</p> <p>Schlachtung (Stichprobe) nach 56 Tagen</p> <p>Teilstückzerlegung und -verwiegung</p>

Für die Versuche wurde der in Deutschland für die ökologische Broilermast häufig verwendete Genotyp ISA-JA-957 (Zuchtunternehmen ISA-Hubbard) eingesetzt.

Bei der Zusammenstellung der Futtermischungen wurde darauf geachtet, dass nur Komponenten aus ökologischer Erzeugung eingesetzt wurden. Somit erfüllten alle Versuchsmischungen die Anforderungen an die 100 %-Biofütterung (das zu prüfende Produkt ist hiervon auszunehmen). Die Zielwerte für die essentiellen Aminosäuren wurden in Anlehnung an die Empfehlungen der GfE (1999) und in Relation zum Energiegehalt der Mischungen eingestellt. Die Empfehlung zu den Relationen zwischen den wichtigsten Aminosäuren (Lysin, Methionin, Tryptophan, Threonin) wurde beachtet.

1.2 Wissenschaftlich-technische Ausgangssituation

Die Anforderungen an Eiweißfuttermittel aus ökologischer Erzeugung für die Fütterung monogastrischer Nutztiere in der ökologischen Landwirtschaft sind wie folgt zu charakterisieren (Bellof und Andersson, 2008):

- hoher Gehalt an Protein und insbesondere an essentiellen Aminosäuren; (vornehmlich Methionin);
- hohe praececale Verdaulichkeit des Proteins und insbesondere der essentiellen Aminosäuren;
- geringer Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen;
- gute Marktverfügbarkeit;
- Preiswürdigkeit.

Nachfolgend soll anhand dieser Kriterien die Eignung von "Spirulina platensis" als mögliches Eiweißfuttermittel für die ökologische Landwirtschaft geprüft werden.

1.2.1 Charakterisierung *Spirulina platensis*

Spirulina platensis zählt zur Gruppe der Blaualgen. Als Prokaryoten unterscheiden sich die Blaualgen von den eukaryotischen Algen in wesentlichen Merkmalen: ihren Zellen fehlen wichtige Zellorganellen wie Zellkern, Mitochondrien, Lysosomen, Endoplasmatisches Retikulum und membranbegrenzte Chloroplasten. Außerdem besitzen einige Cyanophyten die Eigenschaft, Luftstickstoff zu binden. Sie werden dennoch den Algen zugerechnet, da sie zu einer Photosynthese befähigt sind, die bis in viele Details mit der von grünen Pflanzen übereinstimmt. Es gibt etwa 2000 Blaualgen-Arten, die vor allem im Süßwasser leben. Einige Vertreter sind allerdings auch an das Leben an Land angepasst.

Die Zusammensetzung der Photosynthesepigmente erinnert an die Gruppe der Rhodophyta: neben Chlorophyll a liegen Phycocyanin und Phycoerythrin vor. Jedoch überwiegt hier Phycocyanin, was eine bläuliche Farbe bewirkt. Als akzessorische Pigmente finden sich β -Carotin, zum Teil auch Zeaxanthin, Echinenon und Myxoxanthophyll, aber kein Lutein.

Cyanophyceenstärke, ein der Florideenstärke verwandtes Glucan, wird als Reservestoff gespeichert. Zum Aufbau der Zellwand wird keine Cellulose verwendet, sondern Murein und Lipopolysaccharide (Sommer, 1996).

Verwendung finden Blaualgen vor allem als Nahrungsergänzungsmittel, wie zum Beispiel *Spirulina platensis*. Solche Produkte werden traditionell in Afrika, Amerika und Asien als Nahrungszusatz verzehrt. *Spirulina platensis* gehört zu den auf dem Markt am weitesten verbreiteten Mikroalgen. Alleine auf dem „Health-Food“-Sektor werden jährlich über 3000 Tonnen Biomasse verkauft, der vor allem in den USA, Kanada, Japan und Europa seine wichtigsten Märkte besitzt (www.igv-gmbh.de).

Spirulina platensis wird vorwiegend kommerziell angebaut. Hierzu wird meist ein reiner Stamm im Labor vorkultiviert, bevor er dann in ein Becken mit Wasser eingesetzt wird. Die Qualität dieses Wasser ist mitverantwortlich für die spätere Beschaffenheit der Alge. In den meisten Fällen wird frisches Wasser kombiniert mit nährstoffreichem Meerwasser eingesetzt. Zudem wird es konstant fließend gehalten und mit weiteren Nährstoffen versorgt. Ist die gewünschte Wachstumsrate erreicht, wird die Mikroalge aus dem Becken gepumpt, aufgereinigt und schonend sprühgetrocknet. Es resultiert ein grünes Pulver, das dann zu Kapseln oder Pulver weiterverarbeitet werden kann (www.naturalways.com).

Viele Hersteller werben mit möglichst naturnahen Anbaumethoden wie ausschließlichem Wachstum im natürlichen Sonnenlicht; auf Bestrahlung oder Einsatz von Gentechnik wird verzichtet. Zudem wird eine ständige Wasser- und Abwasserkontrolle durchgeführt und ausschließlich mit Nährstoffen aus pflanzlichen Rohstoffen gedüngt (Olaizola, 2003).

Spirulina platensis weist eine interessante Nährstoffzusammensetzung auf. Die Mikroalge weist einen hohen Protein-Anteil von 55 - 67% auf, wobei alle essentiellen Aminosäuren vorkommen. Der Kohlenhydratgehalt liegt zwischen 10 und 19%, dabei fällt der hohe Anteil an Rhamnose auf. Palmitin- und gamma-Linolensäure machen den Großteil des Fett-Anteiles aus. Dieser kann zwischen 7 und 15% betragen. Eine Übersicht zu den wichtigsten für die Fütterung relevanten Inhaltsstoffe von *S. platensis* gibt die Tabelle 1. Zu erwähnen ist daneben der hohe Gehalt an B-Vitaminen, vor allem B12 (Watanabe et al., 2002).

Hervorzuheben ist der besondere Bau der Zellen. Diese werden nicht durch eine starre Zellwand begrenzt, sondern besitzen nur eine dünne Zellmembran aus Mucopolysacchariden. Diese morphologische Besonderheit stellt eine günstige Ausgangsbedingung für die Verdauungsprozesse dar. Die Verdaulichkeit des Proteins wird mit 85 bis 95 % angegeben.

Der Mikroalge wird eine Vielzahl verschiedener gesundheitlicher Effekte in der Humanernährung nachgesagt. Hierbei sind unterschiedliche pharmakologische Effekte beschrieben worden. Von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde *Spirulina platensis* als „Health-improving-Agent“ eingestuft. Ein gewisses Problem besteht darin, dass die Mikroalge während des Kultivierungsprozesses mit anderen Algenarten verunreinigt werden kann. Sind diese Fremd-Algen in der Lage, Toxine zu bilden (z.B. Microcystin), können sich diese später im Spirulina-Produkt anreichern. Einzige Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen, besteht in einer verstärkten Kontrolle des Anbauprozesses und hierbei vor allem des Wassers.

1.2.2 Fütterungsversuche mit Spirulina-Produkten in der Broilermast

In der Vergangenheit wurden bereits mehrere Untersuchungen zum Einsatz von Blaualgen in der konventionellen Geflügelfütterung durchgeführt. Die Ergebnisse für die Geflügelmast sind allerdings widersprüchlich.

Brune (1982) untersuchte die Verträglichkeit der Einzelleralge *Spirulina maxima* für Broiler (ab dem 9. Lebenstag). Hierbei wurde in der Variante 1 ein Mischungsanteil von 28,6 % und in der Variante 2 von 27,4 % *Spirulina maxima* eingesetzt. Damit stellte das Algenprodukt in den beiden Versuchsvarianten das einzige Eiweißfuttermittel dar, allerdings wurde jeweils synthetisches Methionin zugelegt. In der Variante 2 wurde das Fett von *Spirulina maxima* durch Extraktion weitgehend entfernt (Tabelle 1), was zu einem erhöhten Rohproteingehalt führte. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (100 %) verzehrten die Tiere der Variante 1 73 %, die der Variante 2 91 % der Futtermenge. Beim Gewichtszuwachs ergaben sich für die Variante 1 85 % und für die Variante 2 103 % im Vergleich zur Kontrolle (100 %). Sowohl die Farbe der Ständer als auch des Fettgewebes war bei den Tieren der Variante 1 in Richtung „orange“ verändert, während in der Variante 2 mit dem entfetteten Spirulina-Produkt diese Abweichungen nicht zu beobachten waren. Der Autor vermutet, dass sich in der Rohfettfraktion der Algen wachstumshemmende Faktoren befinden.

Ross and Dominy (1990) untersuchten den Effekt verschiedener Anteile von *Spirulina platensis* in Futtermischungen für Hühnerküken. In einem ersten Experiment wurden Mischungsanteile von 5; 10; 15 und 20 % Spirulina gegen eine Kontrolle mit HP-Sojaextraktionschrot als dominierendem Eiweißfutter an Küken für die Junghennenaufzucht geprüft. Nach einer Versuchszeit von 21 Tagen zeigten die

Tiere mit einem Spirulina-Anteil von 20 % (Supplementation von Lysin und Methionin) gegenüber den anderen Gruppen einen signifikant verringerten Gewichtszuwachs. Die Futtermittelverwertung war dagegen nur tendenziell verschlechtert. In einem zweiten Experiment prüften die Autoren Alleinfuttermischungen mit Spirulina-Anteilen von 1,5; 3,0; 6,0 und 12,0 % in der Broilermast (41 Tage). Bis zu einem Mischungsanteil von 3 % zeigten die Tiere gegenüber der Kontrolle tendenziell ansteigende Gewichte. Diese verringerten sich ab einem Mischungsanteil von 6 % wieder und unterschritten bei einem Anteil von 12 % sogar tendenziell die Gewichte der Kontrolle. Die beobachteten Wachstumsdepressionen bei hohen Spirulina-Anteilen in den dargestellten Experimenten könnten mit möglichen Qualitätsmängeln bei dem eingesetzten Algenprodukt erklärt werden. So kann eine Überhitzung während des Trocknungsprozesses zu einer reduzierten Verfügbarkeit des Lysins im Produkt führen.

Venkataraman et al. (1994) prüften den Ersatz von Erdnusskuchen oder Fischmehl durch *Spirulina platensis* in Futtermischungen für Broiler (ab der 5. Lebenswoche, Versuchsende 16. Lebenswoche). Die Studie zeigte, dass der isonitrogene Austausch (Spirulina-Anteile im Laufe der Mast von 17 auf 12 % reduziert) ohne Leistungseinbußen möglich war. Auch die Fleischqualität blieb mit Ausnahme der Fett- und Fleischfarbe unbeeinflusst. Die intensivere Pigmentierung von Haut, Brust-, Schenkelmuskulatur und Depotfett wird von den Autoren mit dem hohen Carotinoid-Gehalt in dem Algenprodukt begründet. Diese wirkte sich nicht negativ auf die sensorischen Eigenschaften des Fleisches aus.

Toyomizu et al. (2001) untersuchten in einem Experiment mit Broilern (21. -37. Lebensstag) den Effekt steigender Mischungsanteile an *Spirulina platensis* (0; 4, und 8 %) auf die Gewichtsentwicklung, Leber- und Nierengewichte, das Abdominalfett sowie die Fleischfarbe. Mit zunehmenden Spirulina-Anteilen verringerten sich tendenziell die Lebendmassen (37. Lebensstag; Kontrolle: 1934 g, 4 %: 1867 g, 8 %: 1786 g), während der Abdominalfettanteil sich tendenziell erhöhte. Die Organ- gewichte zeigten keine gerichteten Veränderungen.

Toyomizu et al. (2001) berichten, dass die mit *Spirulina platensis* versorgten Tiere eine nach orange bis orange-gelb veränderte Farbe in ihrem Brustmuskel aufwiesen. Hierbei stellten sie heraus, dass die Farbveränderungen keinem strengen Dosis-Wirkungs-Prinzip unterlagen. So wiesen die Tiere mit einem Spirulina-Anteil von 4 %

die höchsten Rottöne (a^* -Wert), die mit einem Spirulina-Anteil von 8 % die höchsten Gelbtöne (b^* -Wert) auf.

Somit kann festgehalten werden: Das Produkt *Spirulina platensis* erfüllt wesentliche Kriterien für ein ökologisches Eiweißfuttermittel. Es liegen für die konventionelle Geflügelfütterung vielfältige Informationen vor. Eine einfache Übertragung auf die spezielle Situation der ökologischen Geflügelfütterung ist aber nicht möglich. Eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit für diesen Bereich fehlt. Bisher liegt für das Produkt *Spirulina platensis* für die ökologische Fütterung keine Zulassung vor.

2. Material und Methoden

Für die Durchführung der Fütterungsversuche standen folgende Einrichtungen zur Verfügung:

- Vorversuch: Versuchsanlage Tierernährung (VAT) der TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan;
- Hauptversuch: Geflügelmaststall (massiv) sowie Mobilställe im Lehr- und Versuchsbetrieb 'Zurnhausen' der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

2.1 Vorversuch

Im Vorversuch sollte an einer kleinen Tiergruppe die Akzeptanz für Futtermischungen mit hohem Mischungsanteil an *Spirulina platensis* geprüft werden. Hierzu wurde mit den gleichen Rohstoffen, die für den Hauptversuch vorgesehen waren, folgende Alleinfuttermischung erstellt: 10 % *Spirulina platensis*, 19,5 % Sojakuchen, 8,0 % Sonnenblumenkuchen, 10,0 % Leinkuchen, 18,2 % Weizen, 29,0 % Mais, 1,6 % Rapsöl, 3,6 % Mineralfuttermischung. Die Mischung wurde in der Mischanlage der VAT erstellt und pelletiert (Durchmesser 1 mm) und anschließend gebrochen.

Die Erstellung der Mischung verlief problemfrei. Der Rohstoff *Spirulina platensis* ließ sich ohne Schwierigkeiten verarbeiten. Allerdings zeigten die Pellets eine auffallend grüne Farbe.

Für den Versuch wurden 21 Eintagsküken des Genotyps ISA-JA-957 eingestallt und in zwei nicht eingestreuten Boxen (10 und 11 Tiere) in einem klimatisierten Raum

mit künstlicher Beleuchtung aufgestellt (Belegdichte von ca. 14 Tieren/m²). Die Tiere erhielten die Alleinfuttermischung sowie Wasser zur freien Aufnahme. Der Versuchszeitraum beschränkte sich auf einen Zeitraum von 28 Tagen. Die Tiere wurden anschließend ausgestallt und an einen privaten Mastbetrieb abgegeben. beendet.

Die wesentlichen Ergebnisse des Versuches werden nachfolgend dargestellt. Es traten keine Verluste auf. Die Tiere nahmen die zur freien Aufnahme vorgelegte Futtermischung nur zögerlich auf. Die verhaltene Akzeptanz spiegelt sich in der Gewichtsentwicklung wider. Diese bleibt mit 158 g/Tier nach 14 Tagen und 388 g nach 28 Tagen deutlich hinter dem Potential des Genotyps zurück. So erzielten Tiere dieser genetischen Herkunft in dem von Schmidt und Bellof (2008) durchgeführten Versuch ein 14-Tage-Gewicht von 276 g und ein 28-Tage-Gewicht von 818 g.

Die grün gefärbten Futterpellets werden als Ursache für die zögerliche Aufnahme vermutet. Es konnte beobachtet werden, dass die Pelletbruchstücke, bei denen die größeren, helleren Getreidebestandteile sichtbar waren bevorzugt aufgenommen wurden. Aufgrund der geschilderten Eindrücke erfolgte eine Zurücknahme der Mischungsanteile an *Spirulina platensis* für die Futtermischungen im Hauptversuch.

2.2 Hauptversuch

In dem Zeitraum von Anfang August bis Anfang Oktober 2010 wurde der eigentliche Broilermastversuch durchgeführt. Die Haltung der Tiere erstreckte sich über einen Zeitraum von 56 Tagen und gliederte sich in die Aufzucht (Phase 1 = 1. – 14. Lebenstag; Phase 2 = 15. -28. Lebenstag) sowie in die eigentliche Mast (Phase 3 = 29. – 56. Lebenstag).

Haltung

Für die Aufzucht stand ein Geflügelmaststall (massiv, klimatisiert) mit 24 Abteilen (30 Tiere/Abteil, entspricht 6,7 Tiere pro m²); für die Mast drei Mobilställe mit jeweils 4 Abteilen (somit 12 Abteile (32 Tiere/Abteil, entspricht 2,7 Tiere pro m²)) zur Verfügung. Jeder Mobilstall war mit einem flächengleichen Auslauf (128 m²) ausgestattet.

Die Bedingungen während der Aufzucht und Mast entsprachen den üblichen Bedingungen in der ökologischen Broilermast (z.B. Einstreu, Temperatur, Beleuchtungsdauer). Bei der Versuchsdurchführung konnten alle Richtlinien der EG-

Öko-Verordnung (VO (EG) Nr. 834/2007 und VO (EG) Nr. 889/2008) befolgt werden. Es wurden 720 Eintagsküken des Genotyps ISA-JA-957 (15 männliche und 15 weibliche Tiere pro Abteil) gemischtgeschlechtlich aufgestellt. Die Küken wurden in der Brüterei mit Marek, Infektiöse Bronchitis sowie Paracox und während der Aufzucht gegen die Infektionskrankheiten Gumboro und Newcastle-Disease geimpft. Die Haltung erfolgte in der Aufzuchtphase im isolierten, beheizten Feststall, um den hohen Temperaturansprüchen der Tiere gerecht zu werden. Für die Mastphasen ab dem 28. Tag wurden die Gruppenmitglieder jeder Wiederholung systematisch aufgeteilt, so dass für die Hälfte der Tiere die Weitermast in Folienstallungen mit Grünauslauf durchgeführt werden konnte.

Die Datenerfassung relevanter Merkmale der Mastleistung (z.B. Futterverzehr, Körpergewicht, Verluste) erfolgte in regelmäßigen Abständen. Der Futterverzehr konnte nur innerhalb einer Haltungsgruppe (Abteil) erhoben werden. Für die Ermittlung des Schlachtkörperwertes wurde nach 56 Tagen eine repräsentative Stichprobe von vier Tieren jeder Wiederholung geschlachtet. Für die Schlachtkörper erfolgte eine Teilstückzerlegung nach der DLG-Schnittführung (Brust und Schenkel (Ober- und Unterschenkel) incl. Haut und Knochen) und Verwiegung der Teilstücke. Die Teilstückgewichte sind zudem als Anteil vom Schlachtkörpergewicht ausgewiesen. An den Brustmuskeln wurden jeweils 72 h p.m. mit einem Minolta Spektralphotometer (CM 508i) im CIE-System folgende Farbwerte erhoben: Helligkeit (L); Rotton (a^*); Gelbton (b^*); Buntheit (C) sowie der Farbwinkel/Buntonwinkel (h). Es wurde darauf geachtet, dass alle Farbmessungen in einer Fläche ohne offensichtliche Farbfehler (Blutflecken) durchgeführt wurden.

Fütterung

Auf der Basis der Erkenntnisse aus dem durchgeführten Vorversuch wurde der in Tabelle 3 dargestellte Versuchsaufbau vorgenommen. Hierbei wurde für das zu prüfende Produkt *Spirulina platensis* (Tabelle 2) ein maximaler Mischungsanteil von 5 % festgelegt. Die Alleinfuttermischungen für die Aufzucht und die Mast sollten einen mittleren ME-Gehalt aufweisen (Tabelle 4). Die Ausstattung mit essentiellen Aminosäuren orientierte sich an den Empfehlungen der GfE (1999). Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse für die einzusetzenden Rohstoffe wurden die in Tabelle 5 dokumentierten Futtermischungen erstellt. Alle Rohstoffe stammten aus ökologischer Erzeugung. Die Mischungen erfüllten somit die Vorgaben zur ,100 %-

Bio-Fütterung'. Die Herstellung der Futtermischungen erfolgte nach den Vorgaben der Versuchsansteller im Bioland-Mischfutterwerk der Firma MEIKA, Großaitingen. Die pelletierten Futtermischungen wurden ad libitum vorgelegt. Sowohl die Einzelfuttermittel als auch die Futtermischungen wurden nach konventionellen Analysemethoden (BASSLER, 1988, 1997) auf ihren Nährstoffgehalt sowie die wichtigsten essentiellen Aminosäuren untersucht. Die energetische Bewertung der Futtermischungen erfolgte nach den Schätzgleichungen der WPSA (1984).

Das im Grünauslauf (Dauergrünland) aufgenommene Gras (29. – 56. Lebensstag) konnte nicht quantifiziert werden, da die aufgenommenen Mengen sehr gering waren.

Auf der Basis der in den Mischungen eingesetzten Rohstoffe wurden Preise erhoben und die Mischungskosten kalkuliert. Mithilfe der im Hauptversuch gewonnenen Leistungsdaten konnte die Wirtschaftlichkeit des Spirulina-Einsatzes eingeschätzt werden.

Datenanalyse

Die Varianzanalyse zur Signifikanzprüfung der Einflussfaktoren erfolgte mit dem Programmpaket SAS (General Linear Model, SAS/STAT, 1999). Das verwendete statistische Modell berücksichtigte die fixen Einflussfaktoren Geschlecht und Fütterungsgruppe. Die Signifikanzprüfung der Einflussfaktoren erfolgte mit dem F-Test.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Hauptversuches

Futtermittelanalyse

Die wichtigsten Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermischungen sind in Tabelle 6 dargestellt. Die Futtermischungen für die Aufzucht weisen gegenüber der Planung (Tabelle 4) leicht erhöhte Rohprotein- und ME-Gehalte auf. Hinsichtlich der Ausstattung mit essentiellen Aminosäuren (g/kg bzw. g/MJ ME) konnten in den Mischungen A und B die Sollwerte für Lysin und Methionin knapp in der Mischung C (5 % S. p.) gut erfüllt werden. Die Mischungen für die eigentliche Mast (D, E, F) weisen gegenüber der Planung erhöhte Rohproteingehalte und deutlich niedrigere ME-Gehalte auf. Insbesondere die Mischung D, welche in der Kontrollgruppe

eingesetzt wurde, fällt durch einen sehr niedrigen ME-Gehalt auf. Hinsichtlich der Ausstattung mit essentiellen Aminosäuren liegen alle drei Mastmischungen im Bereich der Vorgaben.

Verluste

Der Versuch verlief ohne Störungen. In Tabelle 7 sind die Verluste in den verschiedenen Phasen aufgeführt. Über den gesamten Versuchszeitraum und alle Fütterungsgruppen hinweg betrachtet, ergibt sich eine durchschnittliche Verlustquote von lediglich 1,7 %. Zwischen den Geschlechtern und den Fütterungsgruppen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Mastleistungen

In Tabelle 8 sind die Least-Square-Mittelwerte für die durchschnittliche, tägliche Futteraufnahme in den verschiedenen Phasen dargestellt. Zwischen den Fütterungsgruppen lassen sich signifikante Unterschiede im Futterverzehr beobachten. Während in der Phase 1 die Gruppen Versuch 1 und Kontrolle die höchste Futteraufnahme zeigen, fallen diese bereits in der Phase 2 (15. – 28. Lebenstag) hinter die Versuchsgruppe 2 zurück. Auch in der Phase 3 zeigen die beiden Gruppen, die *Spirulina platensis* erhielten, gegenüber den Vergleichsgruppen eine erhöhte tägliche Futteraufnahme. Die Tiere der Versuchsgruppe 3, die in dieser Phase die gleiche Futtermischung wie die Kontrolle erhielten, fallen auf das Niveau dieser Gruppe zurück. Die aufgezeigte Symmetrie ergibt sich auch für die durchschnittliche Futteraufnahme über den gesamten Versuchszeitraum (Tabelle 8).

Die Gewichtsentwicklung der Tiere ist in der Tabelle 9 dokumentiert. Es treten mit Ausnahme der Phase 1 durchgehend statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf. Zum Mastende weisen die männlichen Tiere eine Überlegenheit in der Lebendmasse von mehr als 200 g/Tier auf.

Obwohl die Kontrolle in der Phase 1, wie aufgezeigt, die höchste Futteraufnahme zeigt, weist sie gegenüber den Spirulina-Gruppen das geringste 14-Tage-Gewicht auf. Zwischen den Spirulina-Gruppen zeigen sich in diesem Abschnitt keine signifikanten Gewichtsunterschiede. Auch am Ende der Phasen 2 und 3 liegen die Tiergewichte der Kontrolle hinter denen der Versuchsgruppen. Allerdings ergibt sich am Ende der Mast nur zur Versuchsgruppe 2 ein signifikanter Unterschied. Die Versuchsgruppe 2, die den höchsten Spirulina-Anteil erhielt, zeigt sowohl am Ende

der Phase 2 als auch am Versuchsende die signifikant höchsten Gewichte. Auch im Merkmal Tageszunahmen (Phase 1 – Phase 3) erweisen sich diese Tiere den anderen Gruppen signifikant überlegen.

Der durchschnittliche Futteraufwand pro kg Zuwachs ist der Tabelle 10 zu entnehmen. Die männlichen Tiere zeigen über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet einen signifikant niedrigeren Futteraufwand pro kg Zuwachs.

Ausgeprägte Unterschiede zwischen den Gruppen lassen sich insbesondere in den Phasen 1 und 2 erkennen. Die Kontrolle zeigt in der Phase 1 gegenüber den Gruppen mit Spirulina-Anteilen im Futter einen signifikant erhöhten Futteraufwand. In den Phasen 2 und 3 verringern sich die Unterschiede zwischen den genannten Gruppen. Über die gesamte Versuchszeit betrachtet, liegen die Kontrolle und die Versuchsgruppe 2 (höchster Spirulina-Anteil) im Merkmal Futteraufwand praktisch gleichauf.

Schlachtkörperwert

Das Schlachtkörpergewicht, die Schlachtausbeute, die Teilstückanteile sowie der Abdominalfettanteil sind in Tabelle 12 dokumentiert. Es lässt sich beim Schlachtgewicht sowie den beiden wertvollen Teilstücken (Schenkel-, Brustanteil) ein signifikanter Geschlechtseinfluss feststellen. Die männlichen Tiere zeigen sich im Schlachtgewicht und im Keulenanteil den weiblichen Tieren überlegen, während die Hennen einen höheren Brustfleischanteil aufweisen.

Zwischen den Fütterungsgruppen zeigen sich nur für die Merkmale Schlachtgewicht und Schlachtausbeute signifikante Unterschiede. Die Versuchsgruppe 2 weist für beide Merkmale die höchsten Werte auf. Alle anderen Gruppen unterscheiden sich nur tendenziell. Beim Merkmal Abdominalfettanteil zeigt die Versuchsgruppe 2 tendenziell den höchsten Wert.

Die Teilstückgewichte des Schlachtkörpers sowie das Abdominalfettgewicht sind in Tabelle 13 aufgeführt. Auch hier zeigen sich die skizzierten Geschlechtsunterschiede. Die männlichen Tiere sind den weiblichen Tieren bei allen Teilstückgewichten überlegen. Für Schenkel, Flügel und Rücken lassen sich die Unterschiede statistisch absichern.

Zwischen den Fütterungsgruppen sind - mit Ausnahme des Halsgewichts - für alle Teilstückgewichte signifikante Unterschiede festzustellen. Auch hier weist die Versuchsgruppe 2 gegenüber den Vergleichsgruppen die statistisch gesichert höchsten

Gewichte bei Keule, Brust, Flügel und Rücken auf. Innerhalb der Vergleichsgruppen ergeben sich für diese Merkmale keine signifikanten Differenzen.

Die erhobenen und ausgewerteten Farbwerte des Brustfleisches sind in der Tabelle 14 zusammengefasst. Geschlechtsbedingte Unterschiede lassen sich nur für das Merkmal Farbwinkel/Buntonwinkel (h) feststellen. Die weiblichen Tiere weisen für dieses Merkmal erhöhte Werte auf.

Zwischen den Fütterungsgruppen ergeben sich ausgeprägte Farbunterschiede in der Brustmuskulatur. Die Tiere mit durchgehend hohem Spirulina-Anteil in den Futtermischungen (V1 und V2) zeigen gegenüber den beiden anderen Gruppen signifikant erhöhte Werte für die Merkmale Gelbton (b*) und Buntheit (C). Auch für die Merkmale Helligkeit (L) und Rotton (a*) sind tendenziell erhöhte Messwerte zu verzeichnen. Die Kontrolle weist bei allen erfassten Merkmalen die numerisch geringsten Werte auf.

3.2 Diskussion der Ergebnisse

Im vorliegenden Versuch wurden mit einem Mastendgewicht von durchschnittlich 2087 g und einem Futteraufwand von 2,22 kg pro kg Zuwachs nur befriedigende Mastleistungen erreicht. In dem von Schmidt und Bellof (2008) unter analogen Bedingungen (28 Tage Aufzucht im Feststall, 28 Tage in Mobilställen mit Auslauf) durchgeführten Versuch erreichten Tiere der gleichen Herkunft ein Endgewicht von 2463 g und eine Futtermittelnutzung von 2,01 kg/kg. Allerdings unterschieden sich in den beiden Versuchen die Einstallgewichte der Küken. Im vorliegenden Versuch lag das Kükengewicht mit durchschnittlich 36,5 g deutlich niedriger als im Vergleichsversuch (40,0 g). Steiner und Bellof (2009) erzielten in einem Broilermastversuch unter vergleichbaren Haltungs- und Fütterungsbedingungen mit ausschließlich männlichen Tieren dieses Genotyps ein 56-Tage-Gewicht von 2290 g. Im vorliegenden Versuch wiesen die Hähne ein Endgewicht von 2206 g auf.

Steigende Spirulina-Anteile in den Alleinfuttermischungen führten im vorliegenden Versuch zu steigenden Mast- und Schlachtleistungen. Insbesondere die Tiere der Versuchsgruppe 2, die jeweils mit den höchsten Spirulina-Anteilen versorgt wurden, (5 % in der Aufzucht, 2,5 % in der Mast, 153 g S. p. pro Tier absolut) erzielten mit einem Endgewicht von 2237 g annähernd das skizzierte Leistungsniveau des Vergleichsversuches. Diese Gruppe zeigte sich den anderen Gruppen hinsichtlich 28-Tage-Gewicht, 56-Tage-Gewicht sowie Schlachtkörpergewicht signifikant

überlegen. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen von Ross and Dominy (1990) aus der konventionellen Broilermast. Dagegen berichten Toyomizu et al. (2001) bei Spirulina-Anteilen von 4 bzw. 8 % in Mischungen für die konventionelle Broilermast von tendenziell verringerten Gewichten.

In der Literatur wird teilweise von einer verringerten Futteraufnahme des Junggeflügels bei hohen Spirulina-Anteilen berichtet (Bruhn 1982). Im vorliegenden Versuch ließ sich dieses Phänomen nur für die Phase 1 (1. – 14. Lebenstag) beobachten. Die Gruppen Versuch 2 und 3 mit einem Anteil von 5 % Spirulina nahmen signifikant weniger Futter auf als die Tiere der Kontrolle. In der anschließenden Phase 2 kehrte sich dieser Effekt komplett um: die Kontrolltiere nahmen signifikant weniger Futter auf als die mit Spirulina versorgten Tiere. Auch in der Phase 3 zeigten die Versuchsgruppen mit Spirulina (V1 und V2) eine höhere Futteraufnahme als die Vergleichsgruppen (ohne Spirulina).

Die Kontrollgruppe lag in der Phase 1 hinsichtlich der täglichen ME-Versorgung, der Methionin- und Lysin-Aufnahme auf dem gleichen Niveau wie die Spirulina-Gruppen (Tabelle 11). Trotzdem blieben die Tageszunahmen signifikant hinter diesen Gruppen zurück. Dieser zunächst widersprüchliche Befund kann wie folgt interpretiert werden. Bei dem eingesetzten Spirulina-Produkt waren antinutritive Faktoren vorhanden, welche die Futteraufnahme - bei einem Mischungsanteil von 5 % S. p. - bereits etwas beeinträchtigten. Gleichzeitig kann für die in dem Produkt vorliegenden essentiellen Aminosäuren eine hohe Verdaulichkeit unterstellt werden. Somit war für diese Gruppen (V2 und V3) in der Phase 1 trotz verringerter Futteraufnahme eine befriedigende Gewichtsentwicklung zu verzeichnen.

Wie die in der Tabelle 11 dargestellten Kalkulationen zeigen, nahmen die Tiere der Versuchsgruppe 2 - über alle Phasen betrachtet - durchschnittlich die höchsten Tagesmengen an Methionin auf. Gemeinsam mit der Versuchsgruppe 1 lag diese Gruppe auch bei der ME- und der Lysin-Aufnahme (Phasen 1 - 3) deutlich über den beiden anderen Gruppen (Kontrolle und Versuch 3). Die vergleichsweise gute Versorgung mit ME und den beiden erstlimitierenden Aminosäuren führte für die genannten Gruppen zu einer verbesserten Ausbildung des Schlachtkörper und insbesondere der wertvollen Teilstücke. Die Versuchsgruppe 2 erwies sich bei den Merkmalen Schenkel und Brust den anderen Gruppen jeweils signifikant überlegen. Die im vorliegenden Versuch durchgeführten Farbmessungen am Brustfleisch verdeutlichen, dass die Parameter Gelbton (b^*), Buntheit (C) einem ausgeprägten

Einfluss der Spirulina-Supplementation unterlagen, während Helligkeit (L) und Rotton (a^*) sich hiervon nur wenig beeinflusst zeigten. Diese Beobachtungen stehen in Einklang mit den Untersuchungen von Venkataraman et al. (1994) und Toyomizu et al. (2001). Die letztgenannten Autoren stellten allerdings für den b^* -Wert einen ausgeprägten Dosis-Effekt durch die Spirulina-Fütterung fest. Dies war im vorliegenden Versuch in dieser Ausprägung nicht zu erkennen. Die Versuchsgruppe 1 zeigte mit 6,7 den höchsten b^* -Wert, während die Versuchsgruppe 2 mit 5,9 den zweithöchsten b^* -Wert aufwies. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren allerdings nicht statistisch abgesichert. Der aufgezeigte Widerspruch, dass sich ein hohes Carotinoid-Angebot nicht direkt im Produkt Fleisch widerspiegelt, wurde bereits bei Fischen beobachtet. In Untersuchungen an Salmoniden zeigte sich, dass die Retention von Carotinoiden sich umgekehrt proportional zu der Carotinoid-Konzentration in der Nahrung verhält (Foss et al. 1984). Vermutlich kommt es hierbei zu einer Abnahme der Verdaulichkeit sowie zu einem verringerten Transport und Verteilung der Carotinoide in die Körpergewebe. Die genannten Zusammenhänge waren allerdings - wie bereits ausgeführt - in dem konventionellen Broilermastversuch von Toyomizu et al. (2001) nicht zu erkennen. Die Tiere des vorliegenden Spirulina-Versuchs hatten ab dem 29. Lebenstag im Auslauf Zugang zu grünen Pflanzen und somit die Möglichkeit, weitere Carotinoide aufzunehmen. In der Abbildung 1 sind die beiden widersprüchlichen Versuchsergebnisse nebeneinander dargestellt. Es wird deutlich, dass die Kontrolle im eigenen Versuch höhere b^* -Werte aufweist als die im Versuch von Toyomizu et al. (2001). Dieser Unterschied könnte durch die natürlichen Pigmente aus dem Grünauslauf verursacht sein. Fanatico et al. (2007a) und Ponte et al. (2008) stellten in Untersuchungen mit Broilern im Grünauslauf ebenfalls erhöhte b^* -Werte im Fleisch fest.

Da die Fleischfarbe ein wichtiges Merkmal der Produktqualität darstellt, spielt die angesprochene Problematik für die Vermarktung von solchen Schlachtkörpern eine wesentliche Rolle. Fanatico et al. (2007b) berichten allerdings, dass trotz objektiv festgestellter Unterschiede in der Fleischfarbe, diese bei sensorischen Tests nicht wahrgenommen wurden. Auch im vorliegenden Versuch waren die oben aufgezeigten objektiven Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen subjektiv nicht festzustellen.

Der Einsatz eines Spirulina-Produktes in der Fütterung ist mit bedeutsamen Kosten verbunden. Im vorliegenden Versuch musste für das eingesetzte Produkt ein Zu-

kaufspreis von 6,50 €/kg aufgewendet werden. Damit erhöhten sich die Mischungskosten für das Aufzuchtfutter von 56,73 €/dt (Mischung A) auf 77,58 €/dt (Mischung B) bzw. auf 98,06 €/dt (Mischung C). Für die Mast ergaben sich folgende Mischungskosten: D: 54,63 €/dt; E: 65,04 €/dt und F: 75,30 €/dt. In der Tabelle 15 sind auf der Basis dieser Mischungskosten die Futterkosten pro Tier dargestellt. Bedingt durch den hohen Spirulina-Anteil erhöhen sich für die Gruppe 2 die Futterkosten auf 3,94 €/Tier, während sich für die Kontrollgruppe nur 2,46 €/Tier ergeben. Bei einem für ökologisch erzeugte Broiler im Handel zu erzielenden Erlös von 2,50 €/kg Lebendgewicht (Stand Dezember 2010) können alle drei mit dem Produkt Spirulina versorgten Gruppen – trotz erhöhter Endgewichte – diese Nachteile nicht ausgleichen. Während sich für die Kontrollgruppe ein Überschuss über die Futterkosten von 2,56 €/Tier ergibt, beträgt dieser für die Gruppe 2 nur noch 1,65 €/Tier (Tabelle 15). Lediglich für die Gruppe 3, die nur in der Aufzucht das Spirulina-Produkt erhielt, ergibt sich nahezu die gleiche Wirtschaftlichkeit wie für die Kontrolle. Somit ist aus ökonomischen Gründen ein Einsatz von *Spirulina platensis* über die Aufzucht hinaus nicht sinnvoll.

3.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Produkt aus der Mikroalge *Spirulina platensis* kann in Futtermischungen mit bis zu 5 % Mischungsanteil erfolgreich in der ökologischen Broilermast eingesetzt werden. Bis zu dem genannten Mischungsanteil lässt sich keine gravierende Minderung der Futteraufnahme beobachten. Auch die Tiergesundheit bleibt unverändert.

Die Mast- und Schlachtleistungsergebnisse zeigen einen Dosis-Wirkungs-Effekt: je höher die aufgenommene Spirulina-Menge (Kontrolle: 0 g; Versuch 3: 39 g; Versuch 1: 76 g; Versuch 2: 153 g pro Tier in Aufzucht und Mast), desto besser die Schlachtkörpergewichte und die Schlachtausbeuten. Damit verbunden sind erhöhte Teilstückgewichte (Brust und Schenkel) im Schlachtkörper.

Aufgrund der hohen Kosten für das Produkt *Spirulina platensis* verschlechtert sich - trotz verbesserter Mast- und Schlachtkörperleistungen - die Wirtschaftlichkeit der Broilermast. Somit ist ein Einsatz über die gesamte Mast nicht zu empfehlen.

Aus den Ergebnissen des durchgeführten Versuches und der vorgenommenen Wirtschaftlichkeitsberechnung kann die Empfehlung abgeleitet werden, dass das Produkt *Spirulina platensis* nur für die erste Aufzuchtphase (1. – 14. Lebenstag) der

ökologischen Broilermast mit einem Mischungsanteil von maximal 5 % in Alleinfuttermischungen eingesetzt werden sollte.

4. Zusammenfassung

In einem Fütterungsversuch sollten die Eignung und die Wirtschaftlichkeit von *Spirulina platensis* (S. p.) als Eiweißfuttermittel für die ökologische Broilermast überprüft werden.

Für den Versuch wurden insgesamt 720 Eintagsküken (Genotyp ISA J 957; gemischtgeschlechtlich) eingestallt und gemäß der EU-Öko-Verordnung gehalten. Es erfolgte die Differenzierung in eine Aufzuchtperiode (1. – 28. Lebenstag), in einem klimatisierten Feststall und eine Mastperiode (29. – 56. Lebenstag) in Mobilställen mit Grünauslauf. Die Tiere wurden gleichmäßig auf vier Fütterungsgruppen verteilt (Kontrolle, Versuch 1; Versuch 2; Versuch 3). Die Versuchsgruppe 1 erhielt Mischungen mit **2,5 %** S. p. (Aufzucht) und **1,25 %** S. p. (Mast), die Gruppe 2 **5 %** S. p. (Aufzucht) und **2,5 %** S. p. (Mast), die Gruppe 3 erhielt nur in der Aufzucht das Spirulina-Produkt (**5 %** S. p. vom 1.-14. Lebenstag und **2,5 %** vom 15.-28. Lebenstag).

Die eingesetzten Spirulina-Mischungen wurden ohne Probleme verzehrt. Es waren keine Unterschiede im Gesundheitsstatus zwischen den Gruppen festzustellen. Die Mast- und Schlachtleistungsergebnisse zeigten einen Dosis-Wirkungs-Effekt: je höher die aufgenommene Spirulina-Menge (Kontrolle: 0 g; Versuch 3: 39 g; Versuch 1: 76 g; Versuch 2: 153 g pro Tier in Aufzucht und Mast), desto besser die Schlachtkörpergewichte und die Schlachtausbeute. Damit verbunden waren erhöhte Teilstückgewichte (Brust und Schenkel) im Schlachtkörper. Die Farbe des Brustmuskels unterlag einem sichtbaren Einfluss der Spirulina-Fütterung.

Aufgrund der hohen Kosten für das Produkt *Spirulina platensis* verschlechtert sich - trotz verbesserter Mast- und Schlachtkörperleistungen - die Wirtschaftlichkeit der Broilermast. Somit ist ein Einsatz dieses Produkts nur für die 1. Phase der Aufzucht (1.-14. Lebenstag) zu empfehlen.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Fragestellungen des Projekts konnten eindeutig beantwortet werden. Die erzielten Ergebnisse lassen es zu, klare Empfehlungen für die praktische Broilermast auszusprechen. Somit wurden die Projektziele erreicht.

6. Literaturverzeichnis

Bassler, R. (Ed.) (1988). Methodenbuch Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln mit 2. Ergänzungslieferung 1988, 3. Ergänzungslieferung 1993 und 4. Ergänzungslieferung 1997. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Bellof, G., und Andersson, R. (2008): Geflügelernährung in der ökologischen Landwirtschaft. Tierernährung im Öko-Landbau - Fütterungspraxis. Ökologie & Landbau, 146, 28 - 30.

Brune, H. (1982). Zur Verträglichkeit der Einzelleralgen *Spirulina maxima* und *Scenedesmus acutus* als alleinige Eiweißquelle für Broiler. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 48: 143-154.

Fanatico, C., Pillai, P.B., Emmert, J.L., and Owens, C.M. (2007a). Sensory meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. Poultr. Sci. 86: 2245–2255.

Fanatico, C., Pillai, P.B., Emmert, J.L., Gbur, E.E., Meullenet, J.F., and Owens, C.M. (2007b). Sensory attributes of slow- and fast-growing chicken genotypes raised indoors or with outdoor access. Poultry Sci. 86: 2441–2449.

Foss, P.; Storebakken, T.; Austreng, E.; Liaaen-Jensen, S. (1987). Carotenoids in diets for salmonids. V. Pigmentation of rainbow trout and Sea trout with astaxanthin and astaxanthin dipalmitate in comparison with canthaxanthin. Aquaculture 65: 293-305.

GfE – Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1999). Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

Olaizola, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the market place, Biomol. Eng., 20: 495-466.

Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourão, J. L., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Chaveiro-Soares, M. A., Gama, L. T. L., Ferreira, M. A., and Fontes, C. M. G. A. (2008). Restricting the intake of a cereal-based feed in free-range-pastured poultry: effects on performance and meat quality. Poultr. Sci. 87: 2032–2042.

Ross, E., and Dominy, W. (1990). The nutritional value of dehydrated blue-green algae (*Spirulina platensis*) for poultry. Poultr. Sci. 69: 794-800.

SAS/STAT, 1999: The SAS system for Windows Ed 8.01 Cary, NC.

Schmidt, E. und Bellof, G. (2008). Rationsgestaltung und Eignung unterschiedlicher Herkünfte für die ökologische Hähnchenmast. Abschlussbericht BÖL-Projekt 06OE151, Organic Eprint.

Sommer, U. (1996). Algen, Quallen, Wasserfloh – Die Welt des Plankton, Springer- Verlag, Berlin.

Steiner, T. und Bellof, G. (2009). Einsatz von unterschiedlich wärme-behandelten Sojakuchen in der ökologischen Hähnchenmast. 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 11.-13.2.2009, ETH Zürich, Tagungsband 88 - 92.

Toyomizu, M., Sato, K., Taroda, H., Kato, T. and Akiba, Y. (2001). Effects of *Spirulina* on meat colour in muscle of broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 42: 197-202.

Venkataraman, L.V., Somasekaran, T., and Becker, W. (1994). Replacement value of blue-green alga (*Spirulina platensis*) for fishmeal and vitamin-mineral premix for broiler chicks. *Br. Poult. Sci.* 35: 373-381.

Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, Amtsblatt der Europäischen Union, L 189/1-23.

Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, Amtsblatt der Europäischen Union, L 250/1-84.

Watanabe, F., Takenaka, S., Kittaka-Kasura, H., Ebara, S. and Miyamoto, E. (2002). Characterization and bioavailability of vitamin B12-compounds from edible algae. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, 48: 325-331.

WPSA - Working Group No. 2 – Nutrition (1984). The prediction of apparent metabolizable energy values for poultry in compound feeds. *World's Poultry Sci. J.* 40, 181-182.

7. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Bislang wurden noch keine Publikationen erstellt.

8. Förderhinweis

Diese Studie wurde vom Bundesprogramm Ökologischer Landbau finanziell unterstützt (Förderkennzeichen: 08OE098).

Korrespondenz: Prof. Dr. G. Bellof, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, FK Land- u. Ernährungswirtschaft, Fachgebiet Tierernährung. D-85350 Freising. E.mail: gerhard.bellof@hswt.de

Anhang

Tabelle 1: Zusammensetzung von *Spirulina platensis* (Literaturübersicht)

Inhaltsstoff		Hawai ¹	Taiwan ²	Earthrise ³	M. Rohrer ⁴	Yoshida u. Hoshii (1980)	Ross u. Dominy (1989)	Venkataraman et al. (1994)	Brune (1982)	
									S.p. entfettet	S.p. nicht entfettet
TS	%	94 - 97	99	93 - 97	95	89,3	94,5			
Rohasche	%	8 - 13	7,5	7 - 13	8	7,2	6,9		6,8	6,4
Rohfett	%	4 - 6	8	6 - 8	6	1,1	0,95	3	0,1	6,1
Rohfaser	%		6,3	8 - 10		5,6			7,0	6,3
NfE	%	17 - 25	11,8	15 - 25	19	19,4			15,3	16,0
Rohprotein	%	56 - 62	65,8	55 - 72	60	55,9	60,5	62,5	70,8	65,3
Lysin	%		5,0	3,0	2,6	4,7	1,61	3		6,2
Methionin	%		3,2	1,3	1,3	2,8	0,87	1,56		1,8
Threonin	%		4,8	2,8	2,8	5,0	1,72			4,7
Tryptophan	%		1,0	0,7	0,9	1,5		0,2		1,1
Calcium	g/kg	4,7	14	4,33	4,0	0,8	0,28	7,0	0,4	0,2
Phosphor	g/kg	10,0	10,5	10,0	10,0	7,8	0,95	14,5	1,0	1,0
Natrium	g/kg		2,3		9,5		0,47	4,5		
ME _G	MJ/kg					19,3				12,63

¹ Hawaiian Spirulina Pacifica®, Cyanotech Corporation; www.cyanotech.com

² Sanatur GmbH, 78224 Singen; www.sanatur.de

³ Earthrise Farms 1995; www.spirulina.com

⁴ Marcus Rohrer; www.spirulina.nl

Tabelle 2: Eiweißfuttermittel für die ökologische Fütterung im Vergleich

Inhaltsstoff		<i>Spirulina p.</i> Versuch	Sojakuchen	Maiskleber	Kartoffeleiweiß
TS	%	93,0	87,0	92,0	91,5
Rohasche	%	8,0	5,7	2,1	3,1
Rohfett	%	6,0	7,4	6,7	0,5
Rohfaser	%	6,2	5,4	2,2	0,7
NfE	%	12,8	26,0	21,9	6,8
Rohprotein	%	60,0	42,9	59,3	76,8
Lysin	%	2,6	2,6	1,0	6,2
Methionin	%	1,3	0,6	1,4	1,8
Threonin	%	2,8	1,7	2,6	4,7
Tryptophan	%	0,9	0,5	0,4	1,1
Calcium	g/kg	4,0	0,3	0,8	0,0
Phosphor	g/kg	10,0	0,6	3,8	0,2
Natrium	g/kg	9,5	0,0	0,5	0,0
ME _G	MJ/kg	11,36*	11,32	14,43	12,63

* auf der Basis der Inhaltsstoffe kalkulierter Wert

Tabelle 3: Versuchsaufbau für den Fütterungsversuch ‚Einsatz von *Spirulina platensis* (S.p.) in der ökologischen Broilermast‘

Phase	Kontrolle		Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3	
	Mischung	S. p. (%)	Mischung	S. p. (%)	Mischung	S. p. (%)	Mischung	S. p. (%)
1 (1.-14. Lebenstag)	A*	0	B	2,5	C	5	C	5
2 (15.-28. Lebenstag)	A	0	B	2,5	C	5	B	2,5
3 (29.-56. Lebenstag)	D	0	E	1,25	F	2,5	D	0

* siehe Tabelle 5

Tabelle 4: Inhaltsstoffausstattung (geplant) der Futtermischungen für die ökologische Broilermast mit *Spirulina platensis*

Merkmal	Aufzucht (Phasen 1 und 2)		Mast (Phase 3)
ME	MJ/kg	12,0	12,4
Rohprotein	%	20,0	18,0
Lysin	%	1,02	0,89
Methionin	%	0,37	0,34
Calcium	%	0,96	0,70
Phosphor	%	0,77	0,60

Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. - 28 Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag)

Tabelle 5: Zusammensetzung der Futtermischungen für die ökologische Broilermast mit *Spirulina platensis*

Rohstoff	Aufzucht (Phasen 1 und 2)			Mast (Phase 3)		
	A	B	C	D	E	F
<i>Spirulina platensis</i>	-	2,5	5,0	-	1,25	2,5
Sojakuchen	26,3	24,8	23,0	19,6	18,75	18,0
Sonnenblumenkuchen	8,0	8,0	8,0	10,5	9,7	10,0
Leinkuchen	12,0	12,0	10,0	13,5	14,0	12,5
Maiskleber	2,5	2,0	2,0	-	-	-
Weizen	24,0	24,0	24,0	20,0	19,5	19,0
Mais	21,5	21,0	22,5	30,5	31,0	32,3
Rapsöl	2,0	2,0	1,8	2,8	2,7	2,6
Mineralfuttermischung	3,7	3,7	3,7	3,1	3,1	3,1

Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag)

Tabelle 6: Inhaltsstoffe und ME-Gehalte der Futtermischungen für die ökologische Broilermast mit *Spirulina platensis*

Inhaltsstoff		Aufzucht (Phasen 1 und 2)			Mast (Phase 3)		
		A	B	C	D	E	F
Trockenmasse	g/kg	892	891	889	884	892	800
Rohfett	g/kg	73	68	71	59	71	79
Rohfaser	g/kg	66	63	64	68	53	69
NfE	g/kg	470	488	476	504	504	495
Stärke	g/kg	332	357	328	340	347	323
Zucker	g/kg	50	46	46	44	45	43
Rohprotein	g/kg	222	215	227	200	208	198
Lysin	g/kg	9,9	9,9	10,7	9,3	9,4	9,0
Methionin	g/kg	3,8	3,7	4,0	3,3	3,5	3,4
Cystin	g/kg	3,8	3,7	4,0	3,7	3,6	3,5
Threonin	g/kg	8,0	8,0	8,5	7,6	7,5	7,3
Tryptophan	g/kg	2,6	2,4	2,8	2,2	2,3	2,2
Rohasche	g/kg	61	57	61	54	56	58
Calcium	g/kg	12,1	11	11,8	9,5	9,0	9,1
Phosphor	g/kg	9,0	8,4	9,0	6,8	7,4	8,2
ME ¹⁾	MJ/kg	12,14	12,22	12,03	11,37	12,04	11,73
Lysin/ME	g/MJ	0,82	0,81	0,89	0,82	0,78	0,77
Methionin/ME	g/MJ	0,31	0,30	0,33	0,29	0,29	0,29

¹⁾ ME = scheinbare Umsetzbare Energie (WPSA, 1984),

Tabelle 7: Verluste (%) in den verschiedenen Phasen der ökologischen Broilermast mit *Spirulina platensis* (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Geschlecht		S.E.	p ¹⁾	Gruppe			S.E.	p ¹⁾	
		männlich	weiblich			Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2			Versuch 3
Verluste (P 1 + 2) ²⁾	%	0,83	1,11	0,58	0,735	1,11	0,00	1,67	1,11	0,81	0,693
Verluste (P 3)	%	1,56	1,04	0,97	0,708	2,08	1,04	1,04	1,04	1,38	0,537
Verluste (P 1-3)	%	1,67	1,67	0,80	1,000	2,22	0,56	2,22	1,67	1,12	0,934

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag)

Tabelle 8: Durchschnittliche tägliche Futtermittelaufnahme von Broilern aus ökologischer Erzeugung (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Futtermittelaufnahme (P 1) ²⁾	g/d	27,3 ^{a3)}	27,9 ^{ab}	26,6 ^b	24,2 ^b	0,7	<0,001
Futtermittelaufnahme (P 2)	g/d	56,6 ^b	62,1 ^a	65,2 ^a	62,9 ^a	1,4	<0,001
Futtermittelaufnahme (P 3)	g/d	117,1 ^b	126,6 ^a	126,9 ^a	115,3 ^b	2,9	<0,001
Futtermittelaufnahme (P 1-3)	g/d	79,5 ^b	85,8 ^a	86,4 ^a	79,4 ^b	1,6	0,002

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag);

³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 9: Gewichtsentwicklung und Tageszunahmen von Broilern aus ökologischer Erzeugung (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Geschlecht		S.E.	p ¹⁾	Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		männlich	weiblich			Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Anfangsgewicht	g	36,0	37,0	0,02	<0,001	36,5	36,5	36,4	36,5	0,03	0,751
Gewicht (P 1) ²⁾	g	220,8	217,7	3,3	0,515	199,8 ^{b 3)}	224,1 ^a	227,7 ^a	225,6 ^a	4,7	<0,001
Gewicht (P 2)	g	727,7	670,5	7,5	<0,001	645,2 ^c	688,4 ^b	773,5 ^a	689,2 ^b	10,6	<0,001
Gewicht (P 3)	g	2205,8	1967,9	22,4	<0,001	2007,3 ^b	2051,1 ^b	2236,7 ^a	2052,4 ^b	31,8	<0,001
Tageszunahmen (P 1)	g/d	13,2	12,9	0,2	0,391	11,7 ^b	13,4 ^a	13,7 ^a	13,5 ^a	0,3	<0,001
Tageszunahmen (P 2)	g/d	36,4	32,1	0,5	<0,001	31,8 ^b	33,2 ^b	39,0 ^a	33,1 ^b	0,8	<0,001
Tageszunahmen (P 3)	g/d	56,9	45,9	0,8	<0,001	50,5	50,5	54,2	50,5	1,2	0,069
Tageszunahmen (P 1-3)	g/d	39,4	35,1	0,4	<0,001	35,8 ^b	36,6 ^b	39,9 ^a	36,7 ^b	0,1	<0,001

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag);

³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 10: Durchschnittlicher Futtermittelverbrauch pro kg Zuwachs von Broilern aus ökologischer Erzeugung (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Futtermittelverbrauch (P 1) ²⁾	kg/kg	2,36 ^a	2,12 ^{ab}	1,95 ^{bc}	1,80 ^c	0,10	<0,001
Futtermittelverbrauch (P 2)	kg/kg	1,79 ^b	1,88 ^{ab}	1,68 ^c	1,91 ^a	0,06	<0,001
Futtermittelverbrauch (P 3)	kg/kg	2,37 ^{ab}	2,55 ^a	2,38 ^{ab}	2,32 ^b	0,14	0,039
Futtermittelverbrauch (P 1-3)	kg/kg	2,20 ^{ab}	2,35 ^a	2,17 ^b	2,17 ^b	0,06	0,016

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag);

³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 11: Kalkulierte ME-, Lysin- und Methioninaufnahme in der ökologischen Broilermast mit *Spirulina platensis* (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Phase 1 ²⁾							
ME	MJ/d	0,33 ^{a 3)}	0,34 ^a	0,32 ^a	0,29 ^b	0,01	<0,001
Lysin	g/d	0,27 ^{ab}	0,28 ^a	0,28 ^a	0,26 ^b	0,01	0,007
Methionin	g/d	0,10 ^{ab}	0,10 ^{ab}	0,11 ^a	0,09 ^b	0,00	0,002
Phase 2							
ME	MJ/d	0,64 ^b	0,75 ^a	0,76 ^a	0,75 ^a	0,02	<0,001
Lysin	g/d	0,53 ^b	0,58 ^a	0,59 ^a	0,59 ^a	0,01	<0,001
Methionin	g/d	0,19 ^c	0,23 ^b	0,26 ^a	0,25 ^a	0,01	<0,001
Phase 3							
ME	MJ/d	1,33 ^b	1,52 ^a	1,49 ^a	1,31 ^b	0,02	<0,001
Lysin	g/d	1,09 ^b	1,19 ^a	1,14 ^{ab}	1,07 ^b	0,03	0,001
Methionin	g/d	0,39 ^b	0,44 ^a	0,43 ^a	0,38 ^b	0,01	<0,001
Phase 1-3							
ME	MJ/d	0,77 ^b	0,87 ^a	0,86 ^a	0,79 ^b	0,01	<0,001
Lysin	g/d	0,73 ^c	0,80 ^a	0,78 ^a	0,74 ^b	0,01	<0,001
Methionin	g/d	0,26 ^b	0,30 ^a	0,31 ^a	0,28 ^b	0,01	<0,001

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag); ³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 12: Schlachtkörpergewicht und Teilstückanteile des Schlachtkörpers in der ökologischen Broilermast mit *Spirulina platensis* (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Geschlecht		S.E.	p ¹⁾	Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		männlich	weiblich			Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Schlachtkörpergewicht (kalt)	g	1427,5	1301,5	13,7	<0,001	1303,8 ^{b 3)}	1344,2 ^b	1486,3 ^a	1323,8 ^b	19,4	<0,001
Schlachtausbeute	%	68,0	68,9	0,4	0,110	67,8 ^{ab}	68,4 ^{ab}	69,8 ^a	67,7 ^b	0,5	0,032
Schenkel	%	30,7	29,3	0,3	0,001	30,6	30,5	29,6	29,4	0,4	0,067
Brust	%	29,9	32,0	0,3	<0,001	30,5	31,3	31,2	30,8	0,4	0,482
Flügel	%	11,7	11,5	0,1	0,218	11,6	11,3	11,5	12,1	0,2	0,056
Rücken	%	19,7	18,9	0,2	0,026	19,1	18,8	19,7	19,7	0,3	0,171
Hals	%	6,9	7,0	0,2	0,529	7,2	6,9	6,6	7,2	0,2	0,358
Abdominalfett	%	0,7	0,8	0,1	0,443	0,8	0,6	0,9	0,7	0,2	0,536

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag);

³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 13: Teilstückgewichte des Schlachtkörpers in der ökologischen Broilermast mit *Spirulina platensis* (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal		Geschlecht		S.E.	p ¹⁾	Gruppe				S.E.	p ¹⁾
		männlich	weiblich			Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
Schenkel	g	437,3	381,5	5,3	<0,001	399,2 ^{b3)}	409,6 ^b	439,6 ^a	389,2 ^b	7,5	<0,001
Brust	g	427,7	416,0	5,9	0,173	397,1 ^b	420,8 ^b	462,9 ^a	406,7 ^b	8,4	<0,001
Flügel	g	167,3	149,4	2,3	<0,001	150,4 ^b	151,7 ^b	171,7 ^a	159,6 ^b	3,2	<0,001
Rücken	g	281,5	246,3	4,4	<0,001	248,8 ^b	252,9 ^b	292,5 ^a	261,3 ^b	6,2	<0,001
Hals	g	98,3	91,5	2,6	0,073	93,8	92,5	98,8	94,6	3,7	0,668
Abdominalfett	g	9,8	10,4	1,4	0,760	10,4	8,3	12,9	8,8	2,0	0,383

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ²⁾ Phase 1 (1. - 14. Lebenstag); Phase 2 (15. – 28. Lebenstag); Phase 3 (29. - 56. Lebenstag);

³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 14: Farbe des Brustfleisches von Broilern aus ökologischer Erzeugung mit unterschiedlichen Mischungsanteilen an *Spirulina platensis* (LS-Mittelwerte und Standardfehler (S.E.))

Merkmal ¹⁾	Geschlecht		S.E.	p ²⁾	Gruppe				S.E.	p ²⁾
	männlich	weiblich			Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3		
L	45,3	45,9	0,3	0,156	45,2	46,1	45,7	45,5	0,5	0,612
a*	3,2	2,9	0,2	0,700	2,9	3,1	3,3	2,9	0,2	0,353
b*	5,4	5,7	0,3	0,475	4,1 ^{c 3)}	6,7 ^a	5,9 ^{ab}	5,0 ^{bc}	0,4	<0,001
C	6,4	6,4	0,2	0,941	5,1 ^c	7,8 ^a	6,8 ^{ab}	5,9 ^{bc}	0,3	<0,001
h	57,2	62,2	1,7	0,041	53,9 ^b	65,1 ^a	60,2 ^{ab}	59,5 ^b	2,4	0,019

¹⁾ L: Helligkeit; a*: Rotton; b*: Gelbton; C: Buntheit; h: der Farbwinkel/Buntonwinkel;

²⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit; ³⁾ ungleiche Hochbuchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von *Spirulina platensis* in der ökologischen Broilermast

Merkmal		Gruppe			
		Kontrolle	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Futterkosten (P 1)	€/Tier	0,22	0,30	0,37	0,33
Futterkosten (P 2)	€/Tier	0,45	0,67	0,90	0,68
Futterkosten (P 3)	€/Tier	1,79	2,31	2,68	1,76
Futterkosten (P 1-3)	€/Tier	2,46	3,28	3,94	2,78
Erlös*	€/Tier	5,02	5,13	5,59	5,13
Überschuss über Futterkosten	€/Tier	2,56	1,84	1,65	2,35

Kosten der Futtermischungen (€/dt):

A: 56,73; B: 77,58; C: 98,06; D: 54,63; E: 65,04; F: 75,03

* Erlös: 2,50 €/kg Lebendgewicht

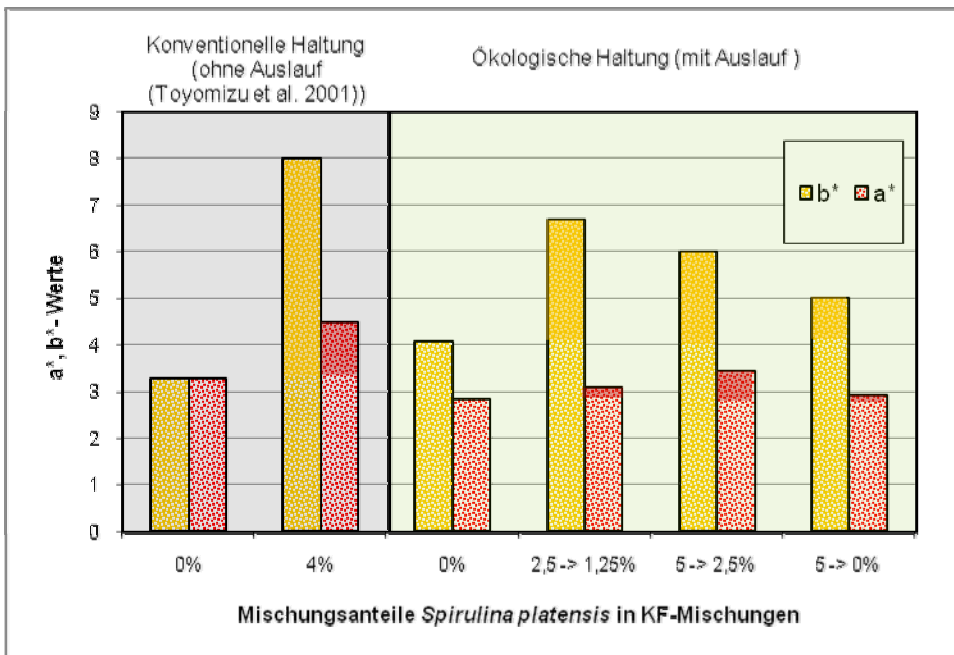


Abbildung 1: Farbe (a*: Rotton; b*: Gelbton) des Brustfleisches von Broilern bei Fütterung von *Spirulina platensis* und unterschiedlichen Haltungssystemen