

Abschlussbericht

Mikroalgen in der Fütterung von Masthähnchen zum Erhalt der Tiergesundheit – ein Lösungsansatz zur Reduktion des Arzneimittelbedarfs?

Kooperationsprojekt, Aktenzeichen: 35213/01

Projektlaufzeit: 26 Monate, Projektbeginn: 01.01.2023, Projektende: 30.04.2025

Melle, 25. Juli 2025

Bewilligungsempfänger
Microganic GmbH
Frau Svenja Starke, Ph.D.
Betonstr. 19a
49324 Melle

Kooperationspartner
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
Institut für Tierernährung
Prof. Dr. Christian Visscher
Bischofsholer Damm 15
30173 Hannover

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Inhalt

Inhalt.....	2
Zusammenfassung.....	3
Bericht Hauptteil	4
Einleitung	4
Darstellung der Arbeitsschritte und Methoden	5
Experimenteller Fütterungsversuch 1	5
Experimenteller Fütterungsversuch 2	6
Praxisversuch 1: Fütterungsversuch unter den Bedingungen konventioneller Tierhaltung.....	7
Praxisversuch 2: Fütterungsversuch unter den Bedingungen ökologischer Tierhaltung.....	7
Darstellung der Ergebnisse	8
Futterraufnahme und Futterverwertung.....	8
Leistungsparameter.....	9
Allgemeine Tiergesundheit, klinische Parameter	13
Gesundheitsparameter in Serum- und Organproben	16
Fettsäureprofile in Serum und Geweben	16
Fleischqualität	22
Diskussion/Bewertung	23
Fazit.....	28
Öffentlichkeitsarbeit/ Publikationen	30
Literaturangaben	31

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt hatte das Ziel mögliche Effekte verschiedener Mikroalgen auf die Tiergesundheit, und damit auf eine mögliche Reduktion des Arzneimiteleinsatzes bei Masthähnchen zu untersuchen und daraus Anwendungsempfehlungen für Mikroalgen zum Zweck der Förderung der Tiergesundheit weiter auszuarbeiten. Mikroalgen können bisherigen Literaturergebnissen zufolge beispielsweise antiinflammatorische, immunstimulierende oder antioxidative Wirkungen entfalten. Auch bei Masthühnern wurden bereits positive Auswirkungen auf die Tiergesundheit gezeigt. Trotz vielversprechender Studien finden Mikroalgen aber in der Fütterung von Mastgeflügel noch keinen breiten Einsatz, u.a. wegen fehlender Einsatzempfehlungen auf valider Datenbasis unter Praxisbedingungen. Im Rahmen verschiedener Fütterungsdurchgänge unter experimentellen, konventionellen und ökologischen Bedingungen sollten daher die Effekte verschiedener Mikroalgen auf Masthähnchen untersucht und die jeweils empfehlenswerten Dosierungen ermittelt werden.

Ein Vorversuch fand zur Ermittlung genereller Effekte verschiedener Algen und Dosierungen am Institut für Tierernährung unter experimentellen Bedingungen statt. Hier zeigten die Algen *Chlorella* und *Schizochytrium* positive Auswirkungen auf die Futteraufnahme und das Körpergewicht der Tiere, auf das Fettsäureprofil in Serum und Leber, sowie auf die Färbung des Brustfleisches.

Unter praxisnahen Bedingungen wurden anschließend ein Versuch unter konventionellen und ein Versuch unter ökologischen Haltungsbedingungen auf dem Lehr- und Forschungsgut Ruthe der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover bzw. auf einem externen Biogeflügelhof durchgeführt. Im konventionellen Praxisversuch zeigten sich geringe Effekte der Algenfütterung auf die Leistungsdaten der Tiere. Zudem konnte die Fußballengesundheit positiv beeinflusst werden. Beim Versuch auf dem Biogeflügelhof ergaben sich durch die Fütterung von *Chlorella* und *Spirulina* z.T. verbesserte Leistungsdaten der Tiere, außerdem tendenziell geringere Tierverluste und verbesserte Fettsäureprofile in Serum, Leber und Brustmuskulatur.

Zusammenfassend ergaben sich somit, abhängig von der Alge und Dosierung, verschiedene Anhaltspunkte für positive Auswirkungen der Algen auf die Leistungsdaten der Tiere, die Tiergesundheit und die Fleischqualität, sowohl unter konventionellen als auch ökologischen Haltungsbedingungen.

Aussagen zu direkten Effekten auf die Tiergesundheit müssten allerdings in weiteren Versuchen bestätigt und tiefergehend untersucht werden. Dies hängt im Wesentlichen mit den für dieses Projekt zur Verfügung stehenden technischen, tierschutzrechtlichen und Haltungsbedingungen zusammen. Insbesondere hinsichtlich der Auswirkungen von Mikroalgen auf weitere Parameter der Tiergesundheit wären deshalb Studien unter weniger optimalen Haltungsbedingungen oder in Problembeständen, wünschenswert, um ein tiefergehendes Verständnis der Effekte von Mikroalgen unter krankheitsbegünstigenden Aufzuchtbedingungen zu erlangen.

Bericht Hauptteil

Einleitung

Im vorliegenden Projekt sollte untersucht werden, ob sich die Fütterung von Mikroalgen positiv auf die Gesundheit von Masthähnchen auswirken kann. Von verschiedenen Mikroalgen konnte bereits *in vitro* und *in vivo* gezeigt werden, dass sie beispielsweise immunmodulierende (Fries-Craft et al 2021), antiinflammatorische oder antioxidative Wirkungen (Saadaoui et al 2021) entfalten können. Einige Studien zeigen auch bereits an Mastgeflügel, dass durch die Fütterung von Mikroalgen die Immunantwort der Tiere gesteigert, oder auch die Darmgesundheit verbessert werden konnte (El-Hady et al 2022). In einigen Studien ging die Algenfütterung zudem mit gesteigerten Leistungsdaten der Tiere einher (Patel et al 2021).

Diese Wirkungen könnten bei Masthähnchen gezielt genutzt werden, um Bestandserkrankungen vorzubeugen, wodurch zum einen das Tierwohl auf nachhaltige Art und Weise gesteigert, zum anderen aber auch der Einsatz von Tierarzneimitteln insbesondere in der Broilermast ggf. reduziert werden könnte.

Trotz der vorliegenden Literatur scheint es schwierig, aus den bisherigen Erkenntnissen eindeutige, praxistaugliche und auch effektive Empfehlungen für die Fütterung von Mikroalgen abzuleiten. Unterschiedlich gewählte Forschungsschwerpunkte, Versuchsbedingungen inkl. der Genetik der Tiere, Unklarheiten zu den verwendeten Algenbiologie oder -kultivierung und der Verarbeitung in den verschiedenen Studien erschweren eine Aussage zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf in Deutschland praxisübliche Mastbetriebe.

Auf dieser Grundlage war das Hauptanliegen dieses Projektes in einem vergleichenden Ansatz näher zu untersuchen, ob und wie sich verschiedene Mikroalgen in der Futtermittelration auf die Tiergesundheit hier üblicherweise gehaltener Masthähnchen positiv auswirken können, und ob es möglich wäre, durch den Zusatz von Mikroalgen in Futtermitteln einer Behandlung der Tiere mit Arzneimitteln über die Fütterung vorzubeugen.

Darstellung der Arbeitsschritte und Methoden

Zunächst sollten unter kontrollierten, experimentellen Bedingungen mögliche Unterschiede der Effekte verschiedener Mikroalgen auf die Tierdaten und -gesundheit ermittelt werden. In einem zweiten Versuch sollten dann die Auswirkungen verschiedener Dosierungen der Algen genauer untersucht werden. Abschließend sollten diese Erkenntnisse in Versuchen unter Praxisbedingungen verifiziert werden, wobei ein Betrieb mit konventioneller und ein Betrieb mit ökologischer Tierhaltung im Vergleich ausgewählt wurden.

Experimenteller Fütterungsversuch 1

Der Fütterungsversuch wurde unter experimentellen Bedingungen am Institut für Tierernährung (ITE) durchgeführt. Zu Beginn des Versuches wurden 240 männliche Eintagsküken der Genetik Ross308 in sechs Gruppen (5 verschiedene Algenfutter plus Kontrollgruppe ohne Algen) mit jeweils fünf Untergruppen bestehend aus acht Tieren eingeteilt ($N=240$ in total, $n=40$ /Gruppe). Die Versuchsdauer betrug 35 Tage (eine komplette Mastperiode). Am Versuchsende wurden pro Gruppe 15 Tiere geschlachtet und seziert. Die Tiere wurden im Herkunftsbetrieb gegen das Infektiöse Bronchitis-Virus sowie an Versuchstag 11 gegen das Newcastle Disease-Virus geimpft. Die Fütterung bestand aus einem dreiphasigen Fütterungsregime (Starterphase Tag 1-11, Grower-Phase Tag 12-21, Finisher-Phase Tag 22-35). Die mehlförmigen Ausgangsmischungen für diese drei Phasen wurden bei einem Futtermittelhersteller produziert und dann am ITE mit den Algenpulvern (je 1% Mikroalgenanteil) zu den pelletierten Versuchsfuttermitteln mit praxisüblichen Nährstoff- und Energiegehalten weiterverarbeitet. Bei den Mikroalgen handelte es sich um die Algen *Arthrospira platensis* (Spirulina): **Sp**; *Chlorella sorokiniana*: **Cs**; *Chlorella vulgaris*: **Cv**; *Chlorella vulgaris* (geöffnete Zellwand): **C**; *Schizochytrium limacinum*: **S**.

Leistungsparameter

Die untersuchten Leistungsparameter umfassten Körpergewicht, wöchentliche Zunahmen, Futteraufnahme, Futterverwertung, Wasseraufnahme und die Relation von Wasser- zur Futteraufnahme. Das Versuchsdesign sah eine wöchentliche Erfassung der Daten sowie zum Zeitpunkt des Futterwechsels vom Starter auf das Grower-Futter vor. Zusätzlich wurde zu Versuchsbeginn das Ausgangsgewicht der Tiere ermittelt. Die Daten wurden auf Käfigebene erfasst und bildeten daher einen Durchschnittswert der acht Tiere pro Untergruppe ab.

Tiergesundheit und Immunsystem

Zur Beurteilung der Tiergesundheit erfolgte eine wöchentliche Erfassung des Footpad-Dermatitis-Scores, des Breast-Blisters-Scores und des Kloakenscores. Der Footpad-Dermatitis-Score (FPD) wurde nach Mayne et al. (2007) ermittelt und repräsentiert die Fußballengesundheit auf einer Skala von 0 (intakte Haut) bis 7 (mehr als 50% des Fußballens nekrotisch)

Die Hautintegrität im Brustbereich wurde mittels Score nach Ellerbrock (2000) erfasst. Dabei steht der Score 0 für eine intakte Haut, bis hin zu Score 3 für großflächige Ulzerationen. Die Kloaken der Tiere wurden nach dem Score von Rezende et al. (2014) beurteilt. Dieser Score

berücksichtigt zum einen die Färbung und das Vorhandensein von Verschmutzungen bzw. die Feuchtigkeit der Kloake. Zusätzlich wurde dokumentiert, ob tierärztliche Behandlungen notwendig wurden, und ob es zu Tierverlusten kam.

Die im Rahmen der Sektion gewonnenen Gewebeproben des Jejunums (mittlerer Teil) und des Ileums (ca. 3 cm oral der Ileozäkal-Grenze) wurden histologisch untersucht, um die Integrität und Morphologie der Darmwand zu beurteilen. Die Parameter Zottenhöhe, Zottenbreite und Krypten-Tiefe wurden erhoben. Die Aufbereitung der Gewebeproben wurde nach etablierten Standardtechniken gemäß Slaoui und Fiette (2011) durchgeführt.

Während der Sektion wurden die Organgewichte von Leber, Bursa und Milz erfasst sowie Blut- und Leberproben entnommen, um die Gehalte flüchtiger Fettsäuren im Serum und Lebergewebe zu bestimmen. In dem Serumproben wurde durch das Labor SAN Group Biotech zusätzlich die Antikörper (AK)-Titer gegen Newcastle Disease (ND) und Infektiöse Bronchitis (IB) zur ersten Einschätzung einer Immunreaktion auf die Impfung gemessen.

Fleischqualität

Die Beurteilung der Fleischqualität erfolgte durch das Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit (LMQS) der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover. Die unverarbeiteten *Musculi pectorales superficiales* (MPS) wurden unter Schutzgasatmosphäre verpackt und für 14 Tage gekühlt gelagert. Nach 24 Stunden, 7 und 14 Tagen wurden der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit (EC) sowie die Farbwerte (L*-Wert: Helligkeit, a*-Wert: Rot-Anteil, b*-Wert: Gelb-Anteil) bestimmt. Anschließend wurden die Brustmuskeln zu Salami verarbeitet. Bei den Würsten wurden pH-Wert, CIE-Farbwerte, aW-Wert, Wasserverluste und Härte gemessen.

Experimenteller Fütterungsversuch 2

Methodisch entsprach der zweite experimentelle Fütterungsversuch weitestgehend dem ersten. Abweichungen werden im Folgenden beschrieben.

Die in diesem Versuch eingesetzten Eintagsküken waren gemischtgeschlechtlich. Basierend auf den Ergebnissen des ersten Durchgangs wurden die Algen C (*Chlorella vulgaris*, Zellwand geöffnet) und S (*Schizochytrium limacinum*) ausgewählt und in jeweils drei verschiedenen Dosierungen im Vergleich zur Kontrolle ohne Mikroalgen-Zusatz (**Kon**) untersucht. Die Dosierungen betrugen für *Chlorella* 0,5% (**C0.5**), 1,0% (**C1.0**) und 2,0% (**C2.0**) und für *Schizochytrium* 0,25% (**S0.25**), 0,5% (**S0.5**) und 1,0% (**S1.0**).

Da die Antikörper-Titer im ersten Durchgang in allen Tiergruppen ungewöhnlich gering ausfielen, wurde in diesem Versuch der Zeitpunkt der Impfung gegen die Infektiöse Bronchitis um einige Tage nach hinten verschoben und wurde an Versuchstag 14 statt an Tag 11 durchgeführt.

Tiergesundheit und Immunsystem

Da im ersten Durchgang die Werte des Breast-Blisters- und des Kloaken-Scores bis auf wenige Ausnahmen null betrugen, wurde diesmal auf die Erhebung dieser Parameter verzichtet und nur die Fußballengesundheit beurteilt.

Fleischqualität

Aufgrund begrenzter Kapazitäten des LMQS wurden nur die Gruppen Kon, C0.5, C2.0, S0.25 und S1.0 in die Untersuchungen einbezogen.

Praxisversuch 1: Fütterungsversuch unter den Bedingungen konventioneller Tierhaltung

Die Versuche wurden auf dem Lehr- und Forschungsgut Ruthe der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover durchgeführt. Der Versuch wurde pro Durchgang mit insgesamt 15000 gemischtgeschlechtlichen Mastbroilern durchgeführt, die als Eintagsküken zufällig auf die beiden Versuchsgruppen aufgeteilt wurden ($N=15000$ in total, $n=7500$ /Gruppe). Der Versuchszeitraum und entsprechend die Mastdauer betrugen, wie in den Vorversuchen auch, 35 Tage, sodass am Versuchsende eine Belegdichte von 35 kg/m^2 zu erwarten war. Das vierphasige Fütterungskonzept bestand aus einem Starterfutter (Tag 1-7), zwei Mastfuttermitteln (Mast I: Tag 8-21, Mast II: Tag 21-31) und einem Finisher (Tag 32-35). Pro Phase gab es ein Kontrollfutter (**Kon**, ohne Mikroalgenzusatz) und ein Versuchsfutter inklusive 0,5% *Chlorella vulgaris* (**C**). Die Futtermittel wurden von einem externen Futtermittelhersteller produziert und entsprachen einer handelsüblichen Zusammensetzung.

Zur Berechnung der durchschnittlichen Körpermasse und Tageszunahme der Herde wurden wöchentlich pro Gruppe stichprobenmäßig 50 Tiere gewogen. Zusätzlich wurde bei diesen Tieren ebenfalls die Fußballengesundheit mittels FPD-Score erfasst. Des Weiteren wurde pro Abteil einmal wöchentlich der Trockensubstanzgehalt der Einstreu an 9 verschiedenen Stellen bestimmt. Durch die Stalltechnik erfolgte täglich eine automatisierte Erfassung der Futter- und Tränkeaufnahme, der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur in jedem Stallabteil. Das Stallpersonal dokumentierte täglich die Tierverluste und kategorisierte diese in verendet und gemerzt. Am Versuchsende wurde das Gewicht der gesamten Einstreu aus jedem Abteil erfasst.

Praxisversuch 2: Fütterungsversuch unter den Bedingungen ökologischer Tierhaltung

Die Versuche fanden auf einem ökologischen Händchenmastbetrieb in Nordhessen statt. Dieser Betrieb verfügt über zwei Standorte, auf denen Aufzucht (ab Lebenstag 1 bis zur 6. - 7. Lebenswoche) und Mast (anschließend bis zur 12. bis 14. Lebenswoche) separat erfolgen. Die Fütterungsversuche beschränkten sich auf die Mastphase, da während der Aufzucht eine separate Fütterung nicht möglich war.

Die zwei Mastställe des Betriebes (H1 und H2) sind in einen Innenbereich sowie einen überdachten Außenbereich gegliedert. Der Stall H2 kann in zwei gleichgroße Abteile geteilt werden und erlaubt so eine separate Haltung von zwei Tiergruppen. Die Versuche wurden mit gemischtgeschlechtlichen, langsam wachsenden Mastbroilern der Genetik Hubbard ColorYield durchgeführt. Die Versuche begannen zum Zeitpunkt der Umstallung vom Aufzucht- in den Maststall im Alter von 7 Wochen.

Der erste Versuchsdurchlauf fand im Zeitraum Juni bis August 2024 statt. Die Kontrollgruppe mit 1000 Mastbroilern wurde in Stall H1 gehalten, der Stall H2 wurde für den ersten Durchgang geteilt,

sodass zwei verschiedene Algen (*Chlorella vulgaris*, Bio-Qualität und *Arthrospira platensis*, Bio-Qualität) zu je 0,5% getestet werden konnten. Da es aus betrieblichen Gründen nicht möglich war, die beiden Versuchsställe H1 und H2 zeitgleich zu bestücken, begann der Mastdurchlauf der Kontrollgruppe in Stall H1 vier Wochen vor dem Mastdurchlauf in Stall H2. Während der etwa siebenwöchigen Versuchsperiode wurden die Masthähnchen mit einem pelletierten Bio-Alleinfutter versorgt. Die Algen wurden in die Ausgangsmischung jeweils in einer Dosierung von 0,5% additiv eingemischt.

An Versuchstag 2, 16 und 37 erfolgten eine Probenentnahme und Datenerfassung im Stall. Es wurden jeweils Futterproben für die Nährstoffanalyse sowie pro Gruppe neun Einstreuproben aus verschiedenen Bereichen des Stalls für die Bestimmung des Trockensubstanz-Gehaltes entnommen. Pro Gruppe wurden 30 Tiere gewogen und der FPD-Score sowie der Breast Blister-Score erfasst.

Am Ende des Versuches wurden die Tiere in mehreren Etappen geschlachtet. Jeweils am Tag vor der ersten Schlachtung wurden in beiden Ställen die Futterrestmengen zur Bestimmung der Futteraufnahme gewogen und eine Stichprobe von 30 Tieren zur Berechnung der durchschnittlichen Tageszunahmen und des Futteraufwands gewogen (Quotient aus Futteraufnahme und Körpermassenzunahme). Sowohl bei der Kontrollgruppe als auch bei den Algengruppen erfolgte an Versuchstag 37 eine Beprobung am Schlachthof, bei der von 20 Tieren je Gruppe eine Blutprobe, die Leber und ein Brustmuskel entnommen wurden.

Der zweite Durchgang fand im Zeitraum Oktober bis Dezember 2024 statt und diente der statistischen Wiederholung. Dieser Durchgang fand in Stall H2 statt, der erneut aufgeteilt wurde. Im vorderen Abteil wurde die Kontrollgruppe gehalten, im hinteren Abteil die Algengruppe, die 0,5% *Arthrospira platensis*, Bio-Qualität im Futter erhielt. Das Probenentnahmeschema entsprach dem ersten Durchgang, mit der Ausnahme, dass die erste Probenentnahme nicht an Tag 2, sondern bereits an Versuchstag 1 durchgeführt wurde.

Darstellung der Ergebnisse

Futteraufnahme und Futtermittelverwertung

Die Futteraufnahme der Versuchsgruppen im ersten experimentellen Fütterungsversuch betrug über den gesamten Zeitraum betrachtet durchschnittlich 100 bis 106 g/Tier/Tag. Diese Werte liegen, verglichen mit den Leistungszielen des Zuchtunternehmens (Aviagen 2022), bei dem eine durchschnittliche Futteraufnahme von 97 g/Tag bis Tag 35 angestrebt wird, recht hoch. Zwischen den Tiergruppen gab es aber weder über den Gesamtzeitraum noch für einzelne Fütterungsabschnitte statistisch signifikante Unterschiede. Der Futteraufwand (FCR) gibt an, wieviel Kilogramm Futter aufgenommen wurden, um ein Kilogramm Körpergewicht aufzubauen. Die Gruppen wiesen hier keine unterschiedlichen Werte auf. Im Schnitt wurden während der gesamten Mast pro Kilogramm Körpermassenzuwachs 1,34-1,39 kg Futter benötigt.

Die Futteraufnahme im zweiten experimentellen Fütterungsversuch lag zwischen 87 und 95 g/Tier/Tag, und damit unterhalb derer im ersten Durchgang (im zweiten Versuch gemischtgeschlechtliche Tiergruppe). Insgesamt gab es auch hier keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Futteraufnahme lag bei allen Tieren, verglichen mit den

Leistungszielen des Züchters, im angestrebten Bereich. Die FCR lag in diesem Versuch ebenfalls bei 1,34 – 1,39 kg/kg KGW und damit ebenfalls im üblichen Bereich.

Auch im konventionellen Praxisversuch zeigten die gemessene tägliche Futteraufnahme und die FCR beider Versuchsdurchgänge keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen. Die Futteraufnahme im ersten Durchgang lag zwischen 87,5 und 91,1 g/Tier/Tag, die FCR bei 1,42 (Kontrolle) bzw. 1,45 kg Futter/ kg Zuwachs (C0.5), und im zweiten Durchgang bei 1,37 (Kon) und 1,32 (C0.5) kg Futter/kg Zuwachs. Beide Parameter entsprachen auch hier praxisüblichen Werten.

Im ökologischen Fütterungsversuch betrug die Futteraufnahme im ersten Versuchsdurchgang über den bewerteten Versuchszeitraum betrachtet zwischen 163 und 210 g/Tier/Tag. Die FCR entsprach dabei Werten von 3,13 (Kontrollgruppe), 3,22 (Chlorella-Gruppe) und 3,70 (Spirulina-Gruppe). Die höchste Futteraufnahme wurde zusammen mit dem höchsten Wert für die FCR bei der Spirulina-Gruppe gemessen. Diese Ergebnisse bestätigten sich auch im zweiten Versuchsdurchgang. Hier wurde nur eine mit Spirulina gefütterte Tiergruppe mit einer Kontrollgruppe verglichen, und die Futteraufnahme war mit 186 g/Tier/Tag, ebenso wie die FCR mit einem Wert von 3,45 bei den mit Spirulina gefütterten Tieren numerisch etwas höher als bei der Kontrollgruppe (Futteraufnahme 178 g/Tier/Tag, FCR 3,28).

Die Wasseraufnahme wurde in den experimentellen Fütterungsversuchen und auch im konventionellen Praxisversuch mit ausgewertet, blieb aber von der Algenfütterung unbeeinflusst.

Leistungsparameter

Für das mittlere Körpergewicht der Tiergruppen im ersten experimentellen Fütterungsversuch zeigte sich, dass die Tiere aus Gruppe Cv am Versuchsende numerisch etwa 120 g schwerer waren als die Kontrollgruppe, auch wenn die Unterschiede über den gesamten Versuchszeitraum nicht signifikant waren (Tabelle 1). Diese Werte spiegelten sich auch in den durchschnittlichen Tageszunahmen wider (Tabelle 2), die bei der Gruppe Cv über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet mit 85 g/Tier/Tag numerisch am höchsten waren.

Tabelle 1. Erster experimenteller Fütterungsversuch, Körpergewicht der Versuchsgruppen an den verschiedenen Messzeitpunkten, Angabe in g (Mittelwert ± Standardabweichung).

Gruppe	Tag 0	Tag 7	Tag 14.	Tag 21	Tag 28	Tag 35
Kon	46,4 ± 0,73	214 ± 11,5	606 ± 31,3	1211 ± 61,2	1906 ± 90,0	2652 ± 111
Sp	47,3 ± 0,66	205 ± 9,50	582 ± 20,9	1189 ± 44,8	1880 ± 88,1	2676 ± 145
Cs	47,3 ± 1,68	209 ± 13,7	588 ± 28,3	1201 ± 72,5	1884 ± 113	2672 ± 144
Cv	47,1 ± 2,05	213 ± 16,5	605 ± 32,1	1244 ± 54,6	1963 ± 84,7	2773 ± 126
C	46,8 ± 1,72	205 ± 17,7	577 ± 33,3	1173 ± 45,3	1871 ± 75,6	2632 ± 93,2
S	46,5 ± 1,75	217 ± 13,5	616 ± 32,1	1234 ± 41,7	1916 ± 55,9	2638 ± 81,4

Statistische Auswertung: Einfache ANOVA; keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p > 0,05$). Kontrolle, Kon; *Spirulina*, Sp; *Chlorella sorokiniana*, Cs; *Chlorella vulgaris*, Cv; *Chlorella vulgaris* (geöffnete Zellwand), C; *Schizochytrium limacinum*, S.

Tabelle 2. Erster experimenteller Fütterungsversuch, Tageszunahmen der Versuchsgruppen während der Starter-, Grower- und Finisherphase sowie über den gesamten Versuchszeitraum, Angabe in g/Tier/Tag (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Gruppe	Starter	Grower	Finisher	Gesamt
Kon	30,4 \pm 2,28	83,0 \pm 4,54	103 \pm 3,70	81,8 \pm 3,61
Sp	29,7 \pm 1,43	81,5 \pm 3,24	106 \pm 7,35	82,1 \pm 4,23
Cs	29,8 \pm 2,05	82,6 \pm 4,97	105 \pm 5,98	82,1 \pm 4,19
Cv	31,8 \pm 1,98	84,7 \pm 3,58	109 \pm 6,96	85,0 \pm 4,01
C	29,5 \pm 1,56	80,1 \pm 2,74	104 \pm 4,09	80,7 \pm 2,78
S	31,6 \pm 1,83	83,9 \pm 2,49	100 \pm 3,77	81,4 \pm 2,44

Kontrolle, Kon; *Spirulina*, Sp; *Chlorella sorokiniana*, Cs; *Chlorella vulgaris*, Cv; *Chlorella vulgaris* (geöffnete Zellwand), C; *Schizochytrium limacinum*, S.

Statistische Auswertung: Einfache ANOVA; keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p > 0,05$).

Beim zweiten experimentellen Fütterungsversuch war das mittlere Körpergewicht der Tiere der mit *Schizochytrium* gefütterten Gruppe S0.5 in der ersten Versuchshälfte teils geringer als das der Kontroll- und anderen Gruppen (Tabelle 3). Dieser Effekt verlief sich jedoch und war am Ende der Mastphase nicht mehr erkennbar. In der letzten Versuchswoche, und somit auch am Ende des Versuchszeitraumes, zeigten die Tiere der Gruppe C0.5 ein signifikant höheres Gewicht als die Kontrollgruppe. Numerisch waren auch die Tiere der Gruppen C2.0, S0.25 und S1.0 schwerer als die Kontrollgruppe. Damit einhergehend gab es in diesen Gruppen entsprechend signifikant bzw. numerisch höhere Tageszunahmen (Tabelle 4).

Tabelle 3. Zweiter experimenteller Fütterungsversuch, Körpergewicht der Versuchsgruppen an den verschiedenen Messzeitpunkten, Angabe in g (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Gruppe	Tag 0	Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28	Tag 35
Kon	42,3 ^a \pm 2,76	188 ^{ab} \pm 20,9	514 ^{ab} \pm 64,4	1020 ^{ab} \pm 126	1577 ^b \pm 196	2230 ^b \pm 265
C0.5	42,6 ^a \pm 2,93	191 ^a \pm 16,7	545 ^a \pm 56,2	1115 ^a \pm 122	1760 ^a \pm 209	2526 ^a \pm 296
C1.0	42,8 ^a \pm 2,85	189 ^{ab} \pm 14,0	516 ^{ab} \pm 43,9	1006 ^{ab} \pm 101	1585 ^b \pm 172	2257 ^b \pm 259
C2.0	42,0 ^a \pm 2,40	186 ^{ab} \pm 18,9	513 ^{ab} \pm 60,3	1026 ^{ab} \pm 122	1621 ^{ab} \pm 201	2335 ^{ab} \pm 298
S0.25	42,0 ^a \pm 3,20	183 ^{ab} \pm 13,3	519 ^{ab} \pm 55,6	1027 ^{ab} \pm 200	1669 ^{ab} \pm 190	2381 ^{ab} \pm 296
S0.5	41,9 ^a \pm 3,02	172 ^c \pm 14,4	487 ^a \pm 53,1	990 ^b \pm 109	1557 ^b \pm 208	2243 ^b \pm 297
S1.0	41,6 ^a \pm 3,54	177 ^{bc} \pm 14,9	493 ^a \pm 53,8	997 ^{ab} \pm 115	1603 ^{ab} \pm 222	2328 ^{ab} \pm 328

Kon, Kontrolle. C0.5-C2.0, Fütterung von *Chlorella vulgaris* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. S0.25-1.0, Fütterung von *Schizochytrium limacinum* in einer Dosierung von 0,5-2,0%.

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 4. Zweiter experimenteller Fütterungsversuch, Tageszunahmen während der Starter-, Grower- und Finisherphase sowie über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet in Abhängigkeit der Fütterungsgruppe, Angabe in g/Tier/Tag (Mittelwert \pm Standardabweichung).

Gruppe	Starter	Grower	Finisher	Gesamt
Kon	28,6 ^{ab} \pm 2,36	66,3 ^a \pm 6,07	86,4 ^c \pm 4,08	62,5 ^b \pm 3,87
C0.5	29,6 ^a \pm 1,10	74,6 ^a \pm 3,11	101 ^a \pm 4,11	71,0 ^a \pm 2,59
C1.0	28,4 ^{ab} \pm 0,53	65,0 ^a \pm 1,76	89,4 ^{bc} \pm 4,18	63,3 ^b \pm 516
C2.0	28,2 ^{ab} \pm 1,33	67,3 ^a \pm 3,52	93,5 ^{abc} \pm 3,58	65,5 ^{ab} \pm 2,76
S0.25	27,4 ^{ab} \pm 1,06	68,4 ^a \pm 9,18	96,7 ^{ab} \pm 3,73	66,8 ^{ab} \pm 3,50
S0.5	26,1 ^b \pm 1,47	66,1 ^a \pm 2,45	89,5 ^{bc} \pm 2,65	62,9 ^b \pm 1,92
S1.0	26,5 ^b \pm 1,22	66,4 ^a \pm 4,68	95,1 ^{abc} \pm 8,29	65,3 ^{ab} \pm 4,96

Kon, Kontrolle. C0.5-C2.0, Fütterung von *Chlorella vulgaris* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. S0.25-1.0, Fütterung von *Schizochytrium limacinum* in einer Dosierung von 0,5-2,0%.

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Im konventionellen Praxisversuch hatten die Tiere der Gruppe C0.5 im ersten Durchgang, und dadurch auch unter Einbeziehung beider Versuchsdurchgänge, zu Versuchsbeginn ein höheres Körpergewicht, wobei sich im weiteren Versuchsverlauf die Gewichte der beiden Gruppen wieder auf dem gleichen Niveau einstellten (Tabelle 5). Im zweiten Durchgang zeigte die mit *Chlorella* gefütterte Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe am Versuchsende ein signifikant höheres Körpergewicht. Die täglichen Zunahmen der Tiere unterschieden sich aber in beiden Versuchsdurchgängen nicht signifikant voneinander und waren lediglich im zweiten Durchgang numerisch bei der Gruppe C0.5 etwas höher als bei der Kontrollgruppe (Tabelle 6).

Tabelle 5. Konventioneller Praxisversuch, Körpergewichte (g/Tier) in Abhängigkeit der Fütterung im Laufe des Versuches aus Durchgang 1 und Durchgang 2 (jeweils $n=50$), sowie beiden Durchgängen zusammen ($n=100$, Mittelwerte \pm Standardabweichung).

Durchgang	Gruppe	Körpergewicht, g					
		Tag 0	Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28	Tag 34
1	Kon	44,8 ^b \pm	183 ^a \pm	512 ^a \pm	992 ^a \pm	1610 ^a \pm	2223 ^a \pm
		3,83	19,2	62,4	124	221	237
	C0.5	51,3 ^a \pm	173 ^b \pm	476 ^b \pm	906 ^b \pm	1598 ^a \pm	2167 ^a \pm
		4,48	20,8	57,5	145	211	238
2	Kon	41,9 ^a \pm	184 ^b \pm	524 ^a \pm	1053 ^a \pm	1728 ^a \pm	2211 ^b \pm
		3,13	15,9	56,4	113	172	236
	C0.5	40,9 ^a \pm	194 ^a \pm	525 ^a \pm	1049 ^a \pm	1700 ^a \pm	2316 ^a \pm
		3,07	13,0	40,9	104	163	179
1+2	Kon	43,4 ^b \pm	183 ^a \pm	518 ^a \pm	1022 ^a \pm	1669 ^a \pm	2217 ^a \pm
		3,76	17,6	59,5	122	205	235
	C0.5	46,1 ^a \pm	183 ^a \pm	501 ^b \pm	977 ^b \pm	1649 ^a \pm	2241 ^a \pm
		6,43	20,0	55,5	144	195	223

^{a,b} Mittelwerte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 6. Konventioneller Praxisversuch, Leistungsdaten der Gruppen für Durchgang 1 und Durchgang 2 während der Versuchszeiträume (Tag 0-34).

Parameter	Durchgang 1		Durchgang 2	
	Kon	C0.5	Kon	C0.5
Gesamte Körpergewichtszunahme (g)	2178	2116	2169	2275
Durchschnittliche Tageszunahmen (g)	64,06	62,24	63,79	66,91
Mortalität, <i>n</i> (%)	257 (3,41)	190 (2,52)	204 (2,77)	216 (2,90)

Beim Fütterungsversuch mit ökologischer Tierhaltung wurden im ersten Durchgang in beiden mit Algen gefütterten Tiergruppen von Versuchstag 16 an bis zum Schlachten signifikant höhere Körpergewichte gemessen als bei der Kontrollgruppe (Tabelle 7) mit Ausnahme der Spirulina gefütterten Gruppe an Tag 31. Die höchsten Tageszunahmen wurden dabei bei der mit Chlorella gefütterten Tiergruppe ermittelt (Kontrolle: 50,4 g/Tier/Tag, Spirulina-Gruppe: 53,0 g/Tier/Tag, Chlorella-Gruppe: 58,0 g/Tier/Tag).

Tabelle 7. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang, Körpergewichte (g/Tier) in Abhängigkeit der Fütterung (*n*=30, Mittelwerte ± Standardabweichung).

Gruppe	Tag 2	Tag 16	Tag 31	Tag 37
Kontrolle	1416 ^a ± 287	2153 ^b ± 315	2878 ^b ± 380	2833 ^b ± 182
<i>Chlorella</i>	1458 ^a ± 190	2526 ^a ± 367	3197 ^a ± 497	3248 ^a ± 515
<i>Spirulina</i>	1480 ^a ± 296	2539 ^a ± 344	3070 ^{ab} ± 418	3440 ^a ± 532

^{a,b} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (*p* < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Da beim Schlachten die Durchschnittswerte aller geschlachteten Tiere ermittelt wurden und nicht zu jedem Schlachttermin auch Tiere aus jeder Gruppe geschlachtet werden konnten, ist für diese Zahlen keine statistische Auswertung möglich. Auch die große Spanne des Alters der Tiere bei der Schlachtung sollte bei der Bewertung der Daten berücksichtigt werden. Die höheren Körpergewichte der Tiere aus beiden Algengruppen spiegelten sich aber trotz der schwierigen Auswertung auch numerisch deutlich in den durchschnittlichen Schlachtgewichten wider (Tabelle 8).

Tabelle 8. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang, durchschnittliche Schlachtgewichte (g/Tier) der Fütterungsgruppen an den verschiedenen Schlachtzeitpunkten

Alter bei Schlachtung (d)	Kontrolle	<i>Chlorella</i>	<i>Spirulina</i>
79	2033		
81		2240	2223
85	2086		

88	1964	2300	2202
89		2182	2245
92	2006		
Mittelwert	2056	2235	2226

Auch im zweiten Versuchsdurchgang war das Körpergewicht bei den mit *Spirulina* gefütterten Tieren den gesamten Versuchszeitraum über numerisch, jedoch nicht statistisch signifikant höher als in der Kontrollgruppe (Tabelle 9). Die täglichen Zunahmen lagen bei 52,8 g/Tier/Tag bei der Kontrollgruppe bzw. 52,4 g/Tier/Tag bei der *Spirulina*-Gruppe und waren somit ebenfalls nicht verschieden. Auch das Schlachtgewicht der Tiere (Tabelle 10) war im Unterschied zum ersten Versuchsdurchgang in der Algengruppe nicht mehr nennenswert höher als in der Kontrollgruppe.

Tabelle 9. Ökologischer Praxisversuch, 2. Durchgang, Körpergewicht (g/Tier) in Abhängigkeit der Fütterung im Laufe des Versuches ($n=30$, Mittelwerte \pm Standardabweichung).

Gruppe	Tag 1	Tag 16	Tag 30	Tag 37
Kontrolle	1395 \pm 223	2388 \pm 296	3091 \pm 380	3294 \pm 182
<i>Spirulina</i>	1424 \pm 227	2420 \pm 306	3188 \pm 462	3312 \pm 414

Die statistische Auswertung erfolgte mittels nicht-parametrischer ANOVA und ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p > 0,05$).

Tabelle 10. Ökologischer Praxisversuch, 2. Durchgang, durchschnittliche Schlachtgewichte (g/Tier) der Fütterungsgruppen an den verschiedenen Schlachtzeitpunkten

Alter bei Schlachtung (d)	Kontrolle	<i>Spirulina</i>
87	2381	2422
91	2412	2386
Mittelwert	2391	2412

Allgemeine Tiergesundheit, klinische Parameter

In beiden experimentellen Fütterungsversuchen waren bei den Versuchstieren keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen zu erkennen. Es gab weder Erkrankungen der Tiere noch Tierverluste. Beim konventionellen Praxisversuch war die Mortalität der Tiere im ersten Durchgang in der mit Algen gefütterten Gruppe numerisch geringer (Tabelle 6). Im zweiten Versuchsdurchgang war dieser Unterschied jedoch nicht erneut erkennbar. Beim ersten Durchgang des ökologischen Versuches entstanden bekannte und unbekannte Tierverluste. Diese Ergebnisse stellen allerdings nur numerischen Werte ohne Möglichkeit zur statistischen Auswertung dar. In beiden Algengruppen gab es weniger bekannte Verluste (gefundene, verendete Tiere) als in der Kontrollgruppe (Tabelle 11). Zu den unbekannten Verlusten zählen beispielsweise während des Freigangs entlaufene, oder auch von Beutegreifern erlegte Tiere, deren Verbleib

unbekannt ist. Im zweiten Durchgang des ökologischen Versuches gab es keine bekannten Verluste. Die unbekannten Verluste, und dadurch auch die Gesamtverluste, waren in der Algengruppe numerisch mit 27 Tieren höher als in der Kontrollgruppe mit 7 Tieren.

Tabelle 11. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang, Tierverluste während der Aufzucht- und Versuchsphase

	Kontrolle	<i>Chlorella</i>	<i>Spirulina</i>
Unbekannte Verluste ¹	10	12	7
Bekannte Verluste absolut ²	6	2	1
Verluste insgesamt	16	14	8
Bekannte Verluste rel. (%)	0,534	0,398	0,199
Verluste insgesamt rel. (%)	1,42	2,79	1,59

¹ Zeitpunkt der Verluste nicht bekannt. ² Nur Verluste während der Versuchsphase.

Auch im konventionellen und im ökologischen Praxisversuch gab es keine Ausbrüche von Infektions- oder anderen Krankheiten während der Versuchszeiträume. In beiden Betrieben wurden lediglich standardmäßig übliche Impfungen durchgeführt (konventioneller Versuch: Impfung gegen die Newcastle-Krankheit, infektiöse Bursa-Krankheit und infektiöses Bronchitisvirus. Ökologischer Versuch: Impfung gegen die Newcastle-Krankheit).

Feuchte Einstreu (geringer Trockensubstanzgehalt) kann in der Geflügelhaltung die Fußballengesundheit maßgeblich beeinträchtigen. Der Trockensubstanzgehalt der Einstreu ist unter anderem durch die Wasseraufnahme, die Wasserausscheidung über die Exkremente, die Temperaturen im Stall, die Wasserbindungskapazität der Einstreu sowie die Dichtigkeit der Tränken bedingt. Zwischen den Gruppen konnten im ersten experimentellen Fütterungsversuch leichte Schwankungen festgestellt werden, die aber nicht statistisch signifikant waren. Die Fußballengesundheit war bei allen Gruppen über den gesamten Versuchszeitraum in einem komplett unauffälligen Bereich und unterschied sich am Versuchsende weder statistisch noch numerisch. Ähnlich verhielt es sich mit dem Kloakenscore, der unauffällig und nicht durch die Fütterung verändert war. Auch im zweiten experimentellen Versuch war die Fußballengesundheit der Tiere sehr gut und es gab in keiner der Gruppen Auffälligkeiten. Gleiches galt für den Kloakenscore. Die TS-Gehalte in Einstreu und Exkrementen unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen und lagen im Normbereich.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den experimentellen Fütterungsversuchen war in beiden Durchgängen des konventionellen Praxisversuches der FPD-Score der mit Algen gefütterten Tiergruppe die gesamte Versuchsphase über statistisch signifikant bzw. numerisch geringer und damit etwas besser als in der Kontrollgruppe (Tabelle 12). Auch unter Einbeziehung beider Durchgänge blieb dieser Unterschied statistisch signifikant. Die TS-Gehalte der Einstreu unterschieden sich dabei nicht zwischen den Gruppen (Tabelle 13). Das Erscheinungsbild der Kloaken und auch der Breast-Blisters-Score waren in beiden Durchgängen unauffällig.

Tabelle 12. Konventioneller Fütterungsversuch. Fußballengesundheit beurteilt mittels FPD-Score nach Mayne et al. (2007) im Laufe des Versuches in Abhängigkeit der Fütterung ($n=100$, Mittelwert \pm Standardabweichung).

Durchgang	Gruppe	FPD Scores
-----------	--------	------------

		Tag 0	Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28	Tag 34
1	Kon	0.0±	0.36 ^{a±}	1.54 ^{a±}	2.61 ^{a±}	3.01 ^{a±}	4.38 ^{a±}
		0.0	0.49	0.63	1.62	1.77	1.37
	C0.5	0.0±	0.22 ^{a±}	1.11 ^{b±}	1.94 ^{b±}	2.09 ^{b±}	2.95 ^{b±}
		0.0	0.33	0.48	1.09	1.39	1.91
2	Kon	0.0±	0.40 ^{a±}	1.27 ^{a±}	2.25 ^{a±}	2.60 ^{a±}	2.64 ^{a±}
		0.0	0.44	0.62	1.92	2.12	2.16
	C0.5	0.0±	0.16 ^{b±}	0.98 ^{b±}	1.51 ^{b±}	2.47 ^{a±}	2.00 ^{a±}
		0.0	0.31	0.57	1.02	1.96	1.47
1+2	Kon	0.0±	0.380 ^{a±}	1.41 ^{a±}	2.43 ^{a±}	2.81 ^{a±}	3.51 ^{a±}
		0.0	0.467	0.638	1.78	1.96	2.00
	C0.5	0.0±	0.190 ^{b±}	1.05 ^{b±}	1.73 ^{b±}	2.28 ^{b±}	2.48 ^{b±}
		0.0	0.324	0.532	1.07	1.71	1.76

^{a,b} Mittelwerte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 13. Konventioneller Fütterungsversuch. Trockensubstanzgehalt der Einstreu im Laufe des Versuches in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg ($n=18$, Mittelwert \pm Standardabweichung).

Durchgang	Gruppe	Trockensubstanz Einstreu g/kg					
		Tag 0	Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28	Tag 34
1	Kon	911 ^{a±}	807 ^{a±}	707 ^{a±}	633 ^{a±}	514 ^{a±}	452 ^{b±}
		7,94	22,6	41,2	92,5	123	57,5
	C0.5	910 ^{a±}	799 ^{a±}	720 ^{a±}	664 ^{a±}	545 ^{a±}	522 ^{a±}
		9,41	31,1	22,9	68,4	106	57,7
2	Kon	928 ^{a±}	789 ^{a±}	719 ^{a±}	705 ^{a±}	636 ^{a±}	568 ^{a±}
		8,91	36,8	30,3	71,8	77,4	84,9
	C0.5	933 ^{a±}	798 ^{a±}	710 ^{a±}	712 ^{a±}	669 ^{a±}	603 ^{a±}
		6,42	22,6	31,8	40,4	101	99,4
1+2	Kon	919 ^{a±}	798 ^{a±}	713 ^{a±}	669 ^{a±}	575 ^{a±}	510 ^{a±}
		11,7	31,0	35,6	88,5	118	92,4
	C0.5	922 ^{a±}	798 ^{a±}	715 ^{a±}	688 ^{a±}	607 ^{a±}	563 ^{a±}
		14,0	26,4	27,4	59,8	119	89,2

^{a,b} Mittelwerte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Im ökologischen Fütterungsversuch waren in beiden Versuchsdurchgängen den gesamten Versuchszeitraum über recht hohe Werte des FPD-Scores, und somit eine eher schlechte Fußballengesundheit in allen Tiergruppen auffällig (Tabelle 14). An den Tagen 2 und 37 des ersten Versuchsdurchganges war der Score in beiden Algengruppen signifikant oder zumindest numerisch höher als in der Kontrollgruppe. Der TS-Gehalt der Einstreu war insgesamt mit zwischen 57,0 und 68,3% TS recht gering (folglich eher nasse Einstreu), unterschied sich aber nicht zwischen den Fütterungsgruppen. Im zweiten Versuchsdurchgang ergab sich ein ähnliches Bild. Die Trockensubstanz-Gehalte der Einstreu waren auch diesmal mit Werten zwischen 406 – 558 g/kg eher als gering einzuordnen (hohe Feuchtigkeit) und unterschieden sich den Versuchszeitraum über nicht zwischen den beiden Gruppen (Daten nicht gezeigt). Der FPD-Score lag in der Kontrollgruppe zwischen 6,04 und 6,87 und in der mit Spirulina gefütterten Gruppe zwischen 5,77 und 6,71. Zwischen den Gruppen gab es hier aber keine signifikanten Unterschiede.

Auch beim ökologischen Fütterungsversuch war der Breast Blisters-Score war über den gesamten Versuchszeitraum in beiden Durchgängen in allen Gruppen sehr gering und es zeigten sich keine fütterungsabhängigen Unterschiede, gleiches galt für den Kloaken-Score.

Tabelle 14. Ökologischer Fütterungsversuch, 1. Durchgang. Fußballengesundheit beurteilt mittels FPD-Score nach Mayne et al. (2007) im Laufe des Versuches in Abhängigkeit der Fütterung ($n=30$, Mittelwert \pm Standardabweichung).

Gruppe	Tag 2	Tag 16	Tag 37
Kontrolle	5,25 ^b ± 1,90	5,40 ^a ± 1,60	4,73 ^b ± 1,40
<i>Chlorella</i>	6,27 ^a ± 1,20	4,82 ^a ± 2,0	5,80 ^a ± 1,52
<i>Spirulina</i>	6,13 ^a ± 1,30	5,37 ^a ± 1,90	5,28 ^{ab} ± 1,70

^{a,b} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Gesundheitsparameter in Serum- und Organproben

Die gemessenen Titer der Antikörper gegen Newcastle Disease und Infektiöse Bursitis als Indikator für die Reaktivität des Immunsystems zeigten im ersten experimentellen Fütterungsversuch ein sehr heterogenes Bild. Innerhalb der einzelnen Gruppen gab es starke Schwankungen, und zusätzlich recht viele Tiere, bei denen trotz Impfung kein nennenswerte AK-Titer gemessen wurde. Nach Rücksprache mit dem Labor können technische Ursachen leider nicht komplett ausgeschlossen, und somit die Ergebnisse nicht zweifelsfrei bewertet werden. Im zweiten experimentellen Versuch erfolgte erneut die Messung des Antikörpertiters, diesmal mit besser auswertbaren Ergebnissen. Die größte Anzahl positiver Proben zeigte die Gruppe S0.5 mit 15 (100%) positiven Proben, was gegenüber der Kontrollgruppe mit 12 positiven Proben (66,7%) einen signifikant höheren Wert darstellte. Bei der Gruppe C2.0 war die Anzahl positiver Proben am geringsten ($n=12$, 60%).

Bei den Gewichten der immunrelevanten Organe Leber und Milz gab es im ersten experimentellen Versuch keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen. Im zweiten experimentellen Versuch konnten lediglich signifikant erhöhte Werte des Lebergewichtes in der Gruppe C0.5 festgestellt werden (54,9 vs. 46,5 g in der Kontrollgruppe), das relative Lebergewicht (Bezug auf KGW) war jedoch lediglich numerisch höher (1,96 vs. 2,10%).

Bei der histologischen Untersuchung der Darmgewebe ergaben sich in beiden experimentellen Fütterungsversuchen keine Unterschiede hinsichtlich der Länge, Tiefe und Breite der Darmzotten und der Krypten zwischen den Fütterungsgruppen.

In den beiden Praxisversuchen konnten aufgrund technischer oder tierschutzrechtlicher Gegebenheiten die entsprechenden Proben zur Messung der genannten Parameter in diesem Projekt nicht erhoben werden.

Fettsäureprofile in Serum und Geweben

Im Serum und verschiedenen Organen wurden bei den experimentellen Fütterungsversuchen und beim ökologischen Praxisversuch die Gehalte verschiedener Fettsäuren bestimmt.

Bei den Ergebnissen beider experimenteller Fütterungsversuche stachen vor allem die mit *Schizochytrium* gefütterten Tiergruppen konsequent durch einige signifikant unterschiedliche Werte verglichen mit der Kontrollgruppe hervor. Bei beiden Versuchen waren im Serum der Tiere die Werte für Eicosadien- und -triensäure, sowie für Arachidonsäure (ARA) signifikant geringer (Tabellen 15 und 16). Diese Veränderungen traten ab einer Dosierung der *Schizochytrium* von 0,5%, teils schon ab 0,25% ein. Gleichzeitig waren die Gehalte an Eicosapentaensäure (EPA)- und Docosahexaensäure (DHA) im Serum dieser Tiere signifikant erhöht. Ein ähnliches Bild ergab sich für die mit *Schizochytrium* gefütterten Tiere auch bei den zugehörigen Fettsäurewerten in der

Leber. Auch hier waren die Gehalte der Eicosatriensäure und ARA geringer, während die Werte für EPA und DHA erhöht waren (Tabellen 17 und 18). Zusätzlich zu den genannten Unterschieden wurden bei beiden experimentellen Versuchen weitere signifikante Unterschiede der Fettsäurekonzentrationen im Serum und in der Leber bei den Werten der Palmitinsäure, Stearinsäure, alpha (ALA)- und gamma-Linolensäure (GLA) und Gondo- und Eicosadiensäure gemessen. Diese Ergebnisse waren allerdings in den beiden Versuchen bzgl. der Unterschiede zur Kontrollgruppe nicht konsistent.

Im ökologischen Fütterungsversuch ergab sich für die Fettsäureprofile im Serum und der Leber ein anderes und auch weniger eindeutiges Bild als in den experimentellen Versuchen. Innerhalb des ersten Versuchsdurchgangs zeigten sich bei den Fettsäurewerten in allen Proben (Serum, Leber und Brustmuskel) der mit *Chlorella* und auch der mit *Spirulina* gefütterten Tiere verringerte Konzentrationen von Palmitinsäure, ALA, Eicosatriensäure und EPA im Vergleich zur Kontrollgruppe (Tabellen 19, 20, 21). Die im Serum und der Leber beider Algengruppen niedrigeren ARA-Werte waren in den Brustmuskeln allerdings erhöht. Auch die im Serum und Lebergewebe höheren Konzentrationen für Gondo- und Eicosadiensäure fanden sich nicht im Brustmuskel wieder.

Im zweiten Versuchsdurchgang gab es zwischen den mit *Spirulina* gefütterten Tieren und der Kontrollgruppe nur signifikante Unterschiede der Fettsäureprofile im Serum und im Lebergewebe, während die Fettsäurekonzentrationen in den Brustmuskeln von der Fütterung unbeeinflusst blieben (Tabellen 22, 23, 24). Zudem waren die Ergebnisse der beiden Versuchsdurchgänge nicht konsistent hinsichtlich der Unterschiede zwischen Algen- und Kontrollgruppe:

Während im ersten Durchgang bei beiden Algengruppen (*Spirulina* und *Chlorella*) im Wesentlichen höhere Werte für die Gondo- und Eicosadiensäure (Serum und Leber) gemessen wurden, waren die Konzentrationen dieser beiden Fettsäuren im Serum und der Leber der *Spirulina*-Gruppe im zweiten Durchgang signifikant geringer oder unbeeinflusst. Im zweiten Durchgang waren zudem, anders als beim ersten, lediglich in der Leber der mit *Spirulina* gefütterten Tiere die Werte für Palmitinsäure, ALA, ARA und EPA niedriger als bei der Kontrollgruppe. Auch im Serum der mit *Spirulina* gefütterten Tiere des zweiten Durchgangs ließen sich die im ersten Durchgang ermittelten Unterschiede zur Kontrollgruppe nicht reproduzieren. Die Werte für die Stearinsäure und EPA waren bei Fütterung von *Spirulina*, anders als im ersten Durchgang, signifikant erhöht, die Werte für die Gondo- und Eicosadiensäure aber verringert.

Tabelle 151. Experimenteller Fütterungsversuch 1. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Serum der Broiler an Lebenstag 36 in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in µg/ml (Mittelwerte ± Standardabweichung, N=90 in Total, n=15/Gruppe).

		Kon	Spi	Cs	Cv	C	S
Palmitinsäure	C16:0	590 ^a ± 101	602 ^a ± 111	589 ^a ± 111	653 ^a ± 107	617 ^a ± 154	614 ^a ± 69,2
Stearinsäure	C18:0	482 ^a ± 63,1	480 ^a ± 63,1	510 ^a ± 63,2	543 ^a ± 68,7	503 ^a ± 63,4	419 ^b ± 54,8
γ-Linolensäure	C18:3	2,32 ^{ab} ± 1,32	3,56 ^a ± 1,45	2,81 ^a ± 1,35	2,84 ^a ± 1,23	2,94 ^a ± 1,47	1,27 ^b ± 1,10
Gondosäure	C20:1	9,09 ^a ± 1,21	8,82 ^b ± 1,41	9,28 ^a ± 1,61	9,69 ^a ± 1,72	9,68 ^a ± 1,22	7,71 ^b ± 1,08
α-Linolensäure	C18:3	18,4 ^a ± 6,02	18,5 ^a ± 7,53	16,8 ^a ± 6,78	19,7 ^a ± 7,64	20,7 ^a ± 9,01	15,1 ^a ± 4,82
Eicosadiensäure	C20:2	13,6 ^a ± 1,58	12,6 ^a ± 1,67	13,5 ^a ± 2,46	14,5 ^a ± 2,46	14,6 ^a ± 1,78	10,8 ^b ± 1,48
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	23,8 ^{ab} ± 3,84	22,1 ^{bc} ± 4,85	24,3 ^{ab} ± 5,06	27,1 ^a ± 5,82	27,0 ^{ab} ± 5,06	18,8 ^c ± 3,84
Arachidonsäure	C20:4	214 ^a ± 41,2	239 ^a ± 47,3	257 ^a ± 58,8	223 ^a ± 44,3	216 ^a ± 40,2	124 ^b ± 25,3
Eicosapentaensäure	C20:5	7,13 ^b ± 1,95	7,54 ^b ± 2,20	7,31 ^b ± 1,77	9,10 ^b ± 1,92	14,4 ^{ab} ± 22,0	19,4 ^a ± 5,65
Docosahexaensäure	C22:6	16,7 ^b ± 5,54	17,9 ^b ± 5,08	18,6 ^b ± 4,80	17,2 ^b ± 5,27	18,9 ^b ± 4,86	117 ^a ± 26,2

Kon, Kontrolle. *Spirulina*-Alge (A1), drei verschiedene *Chlorella*-Algen (A2-A4) sowie eine *Schizochytrium*-Alge (A5). ^{a, b, c} Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 162. Experimenteller Fütterungsversuch 2. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Serum der Broiler an Lebenstag 36 in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in µg/ml (Mittelwerte ± Standardabweichung, N=90 in Total, n=15/Gruppe).

		Kon	C0.5	C1.0	C2.0	S0.25	S0.5	S1.0
Palmitinsäure	C16:0	567 ^a ± 76,2	602 ^a ± 59,0	559 ^a ± 52,4	566 ^a ± 82,3	581 ^a ± 75,6	564 ^a ± 52,4	598 ^a ± 64,7
Stearinsäure	C18:0	413 ^{abc} ± 60,9	458 ^a ± 58,5	440 ^{ab} ± 41,4	437 ^{ab} ± 75,0	398 ^{bc} ± 52,2	366 ^c ± 30,0	384 ^c ± 63,7
γ-Linolensäure	C18:3	4,62 ^a ± 1,20	4,46 ^a ± 1,31	4,44 ^a ± 1,01	4,50 ^a ± 1,03	3,89 ^{ab} ± 0,84	3,18 ^{bc} ± 0,75	2,77 ^c ± 1,27
α-Linolensäure	C18:3	21,7 ^{bc} ± 3,41	24,5 ^{ab} ± 3,52	21,7 ^{bc} ± 2,84	25,6 ^a ± 3,32	21,0 ^{bc} ± 4,05	20,8 ^{bc} ± 3,52	20,4 ^c ± 4,48
Gondosäure	C20:1	8,67 ^{ab} ± 1,32	9,13 ^a ± 1,35	9,14 ^a ± 1,20	8,35 ^{ab} ± 1,41	7,93 ^{ab} ± 1,30	7,70 ^b ± 1,21	7,81 ^{ab} ± 1,13
Eicosadiensäure	C20:2	12,4 ^a ± 1,64	13,2 ^a ± 2,22	13,0 ^a ± 1,56	12,5 ^a ± 2,25	11,4 ^{ab} ± 1,60	10,0 ^b ± 1,78	10,2 ^b ± 1,35
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	25,3 ^a ± 5,33	26,9 ^a ± 5,53	27,3 ^a ± 5,67	25,7 ^a ± 6,37	23,9 ^{ab} ± 3,97	19,9 ^b ± 3,02	19,5 ^b ± 4,33
Arachidonsäure	C20:4	206 ^a ± 32,9	209 ^a ± 37,9	223 ^a ± 40,9	203 ^a ± 41,3	159 ^b ± 27,8	138 ^b ± 28,3	138 ^b ± 50,5
Eicosapentaensäure	C20:5	9,07 ^c ± 2,28	11,8 ^{bc} ± 2,72	9,18 ^c ± 2,15	10,7 ^c ± 2,50	11,9 ^{bc} ± 2,43	15,1 ^b ± 5,02	20,4 ^a ± 7,05
Docosahexaensäure	C22:6	18,3 ^d ± 3,60	34,9 ^d ± 28,1	24,0 ^d ± 6,51	21,0 ^d ± 5,53	81,7 ^c ± 13,6	117 ^b ± 21,0	161 ^a ± 43,4

Kon, Kontrolle. C0.5-C2.0, Fütterung von *Chlorella vulgaris* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. S0.25-1.0, Fütterung von *Schizochytrium limacinum* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. ^{a, b, c, d} Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 173. Experimenteller Fütterungsversuch 1. Gehalte ausgewählter Fettsäuren in der Leber der Broiler an Lebenstag 36 in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte \pm Standardabweichung, $N=30$ in Total, $n=5$ /Gruppe).

		Kon	Spi	Cs	Cv	C	S
Palmitinsäure	C16:0	43,1 ^b \pm 6,91	34,8 ^b \pm 8,31	40,1 ^b \pm 30,4	31,7 ^b \pm 11,1	36,6 ^b \pm 10,5	94,0 ^a \pm 64,1
Stearinsäure	C18:0	24,8 ^a \pm 3,20	23,0 ^a \pm 6,16	25,4 ^a \pm 8,32	21,1 ^a \pm 2,18	24,9 ^a \pm 4,29	46,1 ^a \pm 31,4
γ -Linolensäure	C18:3	0,164 ^a \pm 0,08	0,179 ^a \pm 0,04	0,113 ^a \pm 0,02	0,092 ^a \pm 0,03	0,107 ^a \pm 0,02	0,123 ^a \pm 0,07
Gondosäure	C20:1	0,609 ^a \pm 0,07	0,508 ^a \pm 0,08	0,593 ^a \pm 0,32	0,417 ^a \pm 0,06	0,537 ^a \pm 0,22	0,988 ^a \pm 0,61
α -Linolensäure	C18:3	0,716 ^a \pm 0,15	0,737 ^a \pm 0,21	0,684 ^a \pm 0,18	0,529 ^a \pm 0,19	0,574 ^a \pm 0,15	0,989 ^a \pm 0,49
Eicosadiensäure	C20:2	0,834 ^{ab} \pm 0,09	0,740 ^{ab} \pm 0,13	0,914 ^{ab} \pm 0,22	0,663 ^b \pm 0,05	0,748 ^{ab} \pm 0,17	1,05 ^a \pm 0,34
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	0,927 ^a \pm 0,08	0,949 ^a \pm 0,10	0,921 ^a \pm 0,09	0,998 ^a \pm 0,10	1,04 ^a \pm 0,08	0,852 ^a \pm 0,22
Arachidonsäure	C20:4	7,33 ^a \pm 0,88	8,56 ^a \pm 1,75	7,90 ^a \pm 2,95	7,23 ^a \pm 0,86	7,85 ^a \pm 1,20	4,03 ^b \pm 1,17
Eicosapentaensäure	C20:5	0,236 ^b \pm 0,07	0,250 ^b \pm 0,05	0,209 ^b \pm 0,05	0,201 ^b \pm 0,01	0,228 ^b \pm 0,03	0,427 ^a \pm 0,18
Docosahexaensäure	C22:6	0,512 ^b \pm 0,15	0,666 ^b \pm 0,18	0,795 ^b \pm 0,22	0,474 ^b \pm 0,04	0,714 ^b \pm 0,11	5,90 ^a \pm 1,39

Kon, Kontrolle. *Spirulina*-Alge (A1), drei verschiedene *Chlorella*-Algen (A2-A4) sowie eine *Schizochytrium*-Alge (A5). ^{a, b} Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 184. Experimenteller Fütterungsversuch 2. Gehalte ausgewählter Fettsäuren in der Leber der Broiler an Lebenstag 36 in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte \pm Standardabweichung, $N=30$ in Total, $n=5$ /Gruppe).

		Kon	C0.5	C1.0	C2.0	S0.25	S0.5	S1.0
Palmitinsäure	C16:0	25,4 ^a \pm 8,59	30,3 ^a \pm 13,6	27,9 ^a \pm 13,4	28,9 ^a \pm 12,5	39,3 ^a \pm 23,6	40,3 ^a \pm 23,7	59,0 ^a \pm 34,3
Stearinsäure	C18:0	19,6 ^b \pm 3,48	20,8 ^b \pm 4,23	21,2 ^b \pm 4,56	21,2 ^b \pm 3,80	23,7 ^b \pm 7,77	24,8 ^{ab} \pm 9,75	31,4 ^a \pm 12,5
γ -Linolensäure	C18:3	0,118 ^a \pm 0,04	0,116 ^a \pm 0,04	0,116 ^a \pm 0,02	0,120 ^a \pm 0,02	0,110 ^a \pm 0,03	0,103 ^a \pm 0,03	0,116 ^a \pm 0,04
α -Linolensäure	C18:3	0,495 ^b \pm 0,11	0,515 ^b \pm 0,13	0,482 ^b \pm 0,11	0,570 ^b \pm 0,11	0,529 ^b \pm 0,15	0,562 ^b \pm 0,23	0,783 ^a \pm 0,33
Gondosäure	C20:1	0,428 ^b \pm 0,11	0,487 ^b \pm 0,24	0,482 ^b \pm 0,20	0,437 ^b \pm 0,11	0,554 ^{ab} \pm 0,21	0,568 ^{ab} \pm 0,30	0,794 ^a \pm 0,41
Eicosadiensäure	C20:2	0,605 ^b \pm 0,07	0,623 ^b \pm 0,16	0,640 ^b \pm 0,10	0,621 ^b \pm 0,08	0,637 ^b \pm 0,10	0,647 ^b \pm 0,15	0,791 ^a \pm 0,22
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	1,05 ^a \pm 0,15	1,02 ^{ab} \pm 0,09	1,10 ^a \pm 0,17	1,03 ^{ab} \pm 0,13	1,00 ^{ab} \pm 0,11	0,910 ^{bc} \pm 0,14	0,835 ^c \pm 0,14
Arachidonsäure	C20:4	8,44 ^a \pm 1,20	7,72 ^{ab} \pm 0,92	8,72 ^a \pm 1,35	8,19 ^{ab} \pm 1,65	6,95 ^{bc} \pm 1,44	6,10 ^{cd} \pm 1,27	5,11 ^d \pm 1,24
Eicosapentaensäure	C20:5	0,218 ^a \pm 0,03	0,251 ^a \pm 0,05	0,219 ^a \pm 0,06	0,265 ^a \pm 0,05	0,268 ^a \pm 0,04	0,341 ^b \pm 0,11	0,394 ^b \pm 0,13
Docosahexaensäure	C22:6	0,797 ^d \pm 0,19	1,05 ^d \pm 0,28	1,03 ^d \pm 0,22	0,943 ^d \pm 0,28	3,41 ^c \pm 0,63	4,96 ^b \pm 0,84	6,21 ^a \pm 1,18

Kon, Kontrolle. C0.5-C2.0, Fütterung von *Chlorella vulgaris* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. S0.25-1.0, Fütterung von *Schizochytrium limacinum* in einer Dosierung von 0,5-2,0%. ^{a, b, c, d} Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 19. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Serum der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in µg/ml (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Chlorella</i>	<i>Spirulina</i> ¹
Palmitinsäure	C16:0	480 ^a ± 51,7	474 ^a ± 58,3	414 ^b ± 50,2
Stearinsäure	C18:0	379 ± 57,1	384 ± 48,0	378 ± 42,1
γ-Linolensäure	C18:3	3,47 ± 0,82	4,61 ± 6,10	3,06 ± 0,81
α-Linolensäure	C18:3	8,66 ^a ± 1,25	7,09 ^b ± 1,03	8,08 ^a ± 1,65
Gondosäure	C20:1	11,6 ^b ± 1,39	16,2 ^a ± 2,66	15,0 ^a ± 2,24
Eicosadiensäure	C20:2	9,58 ^b ± 1,79	8,12 ^c ± 2,68	13,3 ^a ± 2,20
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	32,5 ^a ± 5,54	19,6 ^b ± 6,09	20,6 ^b ± 6,00
Arachidonsäure	C20:4	260 ^a ± 40,9	221 ^b ± 31,9	218 ^b ± 31,9
Eicosapentaensäure	C20:5	14,4 ^a ± 4,05	7,83 ^b ± 2,56	8,24 ^b ± 1,61
Docosahexaensäure	C22:6	41,2 ^a ± 8,23	33,6 ^b ± 7,04	30,5 ^b ± 7,53

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

¹ n=19

Tabelle 20. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren in der Leber der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Chlorella</i>	<i>Spirulina</i>
Palmitinsäure	C16:0	24,2 ^a ± 6,46	19,6 ^b ± 3,25	18,1 ^b ± 2,36
Stearinsäure	C18:0	24,5 ^a ± 2,48	23,1 ^a ± 1,67	23,3 ^a ± 1,99
γ-Linolensäure	C18:3	0,08 ^b ± 0,02	0,10 ^a ± 0,02	0,09 ^{ab} ± 0,02
α-Linolensäure	C18:3	0,36 ^a ± 0,09	0,23 ^b ± 0,06	0,27 ^b ± 0,06
Gondosäure	C20:1	0,31 ^c ± 0,09	0,62 ^a ± 0,28	0,46 ^b ± 0,13
Eicosadiensäure	C20:2	0,50 ^b ± 0,04	0,77 ^a ± 0,10	0,82 ^a ± 0,12
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	1,40 ^a ± 0,18	0,74 ^c ± 0,14	1,01 ^b ± 0,27
Arachidonsäure	C20:4	16,6 ^a ± 1,66	16,3 ^a ± 1,35	13,8 ^b ± 1,37
Eicosapentaensäure	C20:5	0,46 ^a ± 0,09	0,28 ^b ± 0,07	0,21 ^c ± 0,06
Docosahexaensäure	C22:6	3,06 ^{ab} ± 0,59	3,19 ^a ± 0,64	2,68 ^b ± 0,65

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 21. Ökologischer Praxisversuch, 1. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Brustmuskel der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Chlorella</i>	<i>Spirulina</i> ¹
Palmitinsäure	C16:0	13,8 ^a ±7,11	8,73 ^b ±5,59	8,08 ^b ±7,38
Stearinsäure	C18:0	4,76 ^a ±1,97	3,67 ^a ±1,41	3,61 ^a ±2,64
γ-Linolensäure	C18:3	0,07 ^a ±0,03	0,07 ^a ±0,03	0,06 ^a ±0,04
α-Linolensäure	C18:3	0,21 ^a ±0,12	0,10 ^b ±0,07	0,11 ^b ±0,12
Gondosäure	C20:1	0,83 ^a ±0,56	0,64 ^a ±0,46	0,65 ^a ±0,87
Eicosadiensäure	C20:2	0,19 ^a ±0,11	0,20 ^a ±0,05	0,18 ^a ±0,12
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	0,25 ^a ±0,03	0,21 ^b ±0,04	0,19 ^b ±0,05
Arachidonsäure	C20:4	1,75 ^b ±0,20	1,91 ^a ±0,12	1,84 ^{ab} ±0,42
Eicosapentaensäure	C20:5	0,06 ^a ±0,01	0,05 ^b ±0,00	0,05 ^b ±0,01
Docosahexaensäure	C22:6	0,25 ^a ±0,04	0,25 ^a ±0,04	0,21 ^a ±0,06

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden. ¹ n=19

Tabelle 22. Ökologischer Praxisversuch, 2. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Serum der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in µg/ml (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Spirulina</i>
Palmitinsäure	C16:0	401 ± 41,4	388 ± 38,9
Stearinsäure	C18:0	284 ^b ± 39,2	314 ^a ± 35,5
γ-Linolensäure	C18:3	2,92 ± 1,35	2,65 ± 1,10
α-Linolensäure	C18:3	6,34 ± 0,75	6,75 ± 1,54
Gondosäure	C20:1	11,6 ^a ± 1,29	9,66 ^b ± 1,47
Eicosadiensäure	C20:2	7,95 ^a ± 1,03	4,38 ^b ± 2,39
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	12,5 ± 2,66	11,6 ± 3,01
Arachidonsäure	C20:4	216 ± 60,2	230 ± 27,8
Eicosapentaensäure	C20:5	4,96 ^b ± 1,82	8,01 ^a ± 4,59
Docosahexaensäure	C22:6	46,1 ± 11,5	43,5 ± 12,1
Summe FS		1925 ± 198	1860 ± 194

^{a,b} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 23. Ökologischer Praxisversuch, 2. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren in der Leber der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Spirulina</i>
Palmitinsäure	C16:0	16,8 ^a ± 1,11	15,2 ^b ± 1,15
Stearinsäure	C18:0	22,7 ^a ± 1,42	20,5 ^b ± 0,81
γ-Linolensäure	C18:3	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,03
α-Linolensäure	C18:3	0,24 ^a ± 0,03	0,20 ^b ± 0,02
Gondosäure	C20:1	0,30 ± 0,06	0,27 ± 0,07
Eicosadiensäure	C20:2	0,66 ^a ± 0,08	0,39 ^b ± 0,13
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	0,58 ± 0,13	0,67 ± 0,15
Arachidonsäure	C20:4	15,4 ^a ± 1,32	13,8 ^b ± 1,03
Eicosapentaensäure	C20:5	0,25 ^a ± 0,05	0,21 ^b ± 0,05
Docosahexaensäure	C22:6	4,12 ^a ± 0,50	3,31 ^b ± 0,60
Summe FS		89,3 ^a ± 5,21	80,7 ^b ± 3,26

^{a,b} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Tabelle 24. Ökologischer Praxisversuch, 2. Durchgang. Gehalte ausgewählter Fettsäuren im Brustmuskel der Broiler in Abhängigkeit der Fütterung, Angabe in g/kg TS (Mittelwerte ± Standardabweichung, n=20).

		Kontrolle	<i>Spirulina</i>
Palmitinsäure	C16:0	7,99a±2,92	9,17a±6,68
Stearinsäure	C18:0	3,72a±0,89	4,14a±2,03
γ-Linolensäure	C18:3	0,06a±0,02	0,07a±0,04
α-Linolensäure	C18:3	0,13a±0,06	0,14a±0,12
Gondosäure	C20:1	0,54a±0,34	0,58a±0,53
Eicosadiensäure	C20:2	0,17a±0,06	0,21a±0,10
Cis-8,11,14-Eicosatriensäure	C20:3	0,23a±0,04	0,23a±0,03
Arachidonsäure	C20:4	2,31a±0,26	2,36a±0,20
Eicosapentaensäure	C20:5	0,05a±0,00	0,05a±0,00
Docosahexaensäure	C22:6	0,38a±0,07	0,34a±0,07

^{a,b,c} Mittelwerte in einer Zeile mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden (p < 0,05). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Fleischqualität

Die nach dem ersten experimentellen Fütterungsversuch in der Sektion entnommenen Muskelproben unterschieden sich in Bezug auf die Farbwerte teils deutlich in Abhängigkeit von der Fütterung (Tabelle 25). Insbesondere durch den Zusatz von *Chlorella* (Cs, Cv und C) zeigte das Muskelfleisch einen signifikant höheren Gelbwert (b*) im Vergleich zur Kontrolle, aber auch durch den Zusatz von *Spirulina* wurde das Fleisch gelblicher. Zwei weitere *Chlorella*-Gruppen (Cv und C) zeigten zusätzlich verringerte Rotwerte (a*) im Fleisch. Durch Zusatz von *Spirulina* wurde das Fleisch außerdem heller (L*). Lediglich bei der Gruppe S (*Schizochytrium*) unterschieden sich die Farbwerte nicht signifikant von der Kontrolle.

Unterschiede waren auch hinsichtlich der Leitfähigkeit des Muskelfleisches erkennbar. Diese war bei den Gruppen C und S signifikant höher im Vergleich zur Kontrolle. Der pH-Wert der Muskelproben lag im Bereich von 5,75-5,84 und zeigte keine fütterungsbedingten Unterschiede.

Tabelle 25. Farbwerte (L*=Helligkeit, a*=Rotwert, b*=Gelbwert) sowie Leitfähigkeit (Angabe in mS/cm) und pH-Wert des *Musculus pectoralis* der Broiler 24 Stunden nach der Schlachtung in Abhängigkeit von der Fütterung (Mittelwerte \pm Standardabweichung).

Gruppe	a*-Wert	b*-Wert	L*-Wert	Leitfähigkeit	pH
Kon	2,23 ^a \pm 0,55	4,88 ^c \pm 0,22	56,6 ^b \pm 1,83	5,55 ^b \pm 0,56	5,84 ^a \pm 0,09
Sp	2,25 ^a \pm 0,23	9,11 ^b \pm 1,17	60,0 ^a \pm 1,31	6,20 ^{ab} \pm 0,35	5,75 ^a \pm 0,06
Cs	1,70 ^{ab} \pm 0,24	9,06 ^b \pm 0,74	58,1 ^{ab} \pm 1,43	6,55 ^{ab} \pm 0,49	5,82 ^a \pm 0,10
Cv	1,13 ^b \pm 0,46	10,2 ^b \pm 1,13	57,2 ^{ab} \pm 2,44	6,50 ^{ab} \pm 0,67	5,75 ^a \pm 0,05
C	1,18 ^b \pm 0,51	12,1 ^a \pm 0,62	57,1 ^{ab} \pm 1,60	7,42 ^a \pm 1,29	5,76 ^a \pm 0,07
S	2,19 ^a \pm 0,29	4,55 ^c \pm 0,50	56,4 ^b \pm 1,46	7,15 ^a \pm 1,06	5,81 ^a \pm 0,06

Kontrolle, Kon; *Spirulina*, Sp; *Chlorella sorokiniana*, Cs; *Chlorella vulgaris*, Cv; *Chlorella vulgaris* (geöffnete Zellwand), C; *Schizochytrium limacinum*, S.

^{a, b, c} Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden ($p < 0,05$). Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden.

Die beschriebenen Farbabweichungen zeigten sich in einem ähnlichen Maßstab auch in den hergestellten Rohwürsten (Salami). Auch hier war der Gelbwert bei den *Chlorella*-Gruppen am höchsten und unterschied sich signifikant von der Kontrolle.

Die Leitfähigkeitswerte der untersuchten Filets aus dem zweiten experimentellen Fütterungsversuch waren in der Gruppe C2.0 mit einem Wert von $7,6 \pm 0,9$ mS/cm signifikant höher als in der Kontrollgruppe mit einem Wert von $6,7 \pm 1,0$ mS/cm. Der pH-Wert der Filets war zwischen den Gruppen nicht verschieden. Auch der Gelbwert war nur in der Gruppe C2.0 gegenüber dem Fleisch der Kontrolltiere signifikant erhöht (C2.0: $16,7 \pm 1,32$ mS/cm vs. Kon: $11,13 \pm 1,16$ mS/cm). Die stärkere Gelbfärbung war bereits makroskopisch auch bei einer Dosierung von 0,5% *Chlorella* sowohl am Brustfleisch als auch an den Ständern der Tiere deutlich erkennbar (Abb.1). Die Helligkeits- und die Rotwerte sowie die antioxidative Kapazität der Proben wurden nicht signifikant durch die Fütterung beeinflusst.



Tabelle 25. Bilder der Tierkörper bei der Sektion nach Fütterung unterschiedlicher Dosierungen der Chlorella (Tag 36 nach Beginn der Algenfütterung). Links: Kontrollgruppe, mittig: Gruppe C0.5, rechts: Gruppe C2.0

Diskussion/Bewertung

Hinsichtlich der Futteraufnahme und Futterverwertung zeigten die Ergebnisse aus den Versuchen mit konventioneller Tierhaltung keine nennenswerten Effekte der Algenfütterung. Somit waren, teilweise entgegen der Beschreibung in der Literatur (Abou-Zeid et al., 2015, Jamil et al., 2015, Kaoud et al., 2012) zwar keine positiven Auswirkungen der verwendeten Mikroalgen auf die Futterverwertung erkennbar, aber ebenso gab es keine negativen Einflüsse, beispielsweise durch mögliche antinutritive Faktoren. Eine verbesserte Futterverwertung kann beispielsweise durch eine effektivere Absorption der Nährstoffe über die Darmschleimhaut erklärt werden. In einigen Studien wurde bei Fütterung von Mikroalgen auch bereits gezeigt, dass die Schleimhautstrukturen bei höheren Algendosierungen positiv beeinflusst wurden (Chang et al., 2021; Mirzaie et al., 2020). Die histologischen Auswertungen der Dünndarmschnitte in diesem Projekt ergaben dahingehend jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und Algengruppen. Die eingesetzten Dosierungen in unserem Versuchsfeld könnten hierfür zu niedrig gewesen sein.

Die im ersten experimentellen Versuch numerisch und im zweiten experimentellen Versuch signifikant höheren Zunahmen und Gewichte je einer mit Chlorella gefütterten Tiergruppe zeigen, dass mögliche Effekte der Mikroalgen auf den Stoffwechsel der Tiere durchaus von der Algengattung und der Dosierung abhängen können. Interessant ist dabei auch, dass die Effekte im zweiten Versuch bei einer geringeren Dosierung der Alge messbar waren, bei höheren Einsatzraten jedoch nicht. Im konventionellen Praxisversuch war ein entsprechend erhöhtes Körpergewicht der mit Chlorella gefütterten Tiere auch erst zum Versuchsende hin und nur bei einem der beiden Versuchsdurchgänge messbar. Zwischen den experimentellen Versuchen und dem konventionellen Praxisversuch bestand allerdings der Unterschied, dass die Tiere nicht direkt ab dem ersten, sondern erst ab dem dritten Versuchstag die mit Algen angereicherten Futtermittel bekommen haben. Ob der Zeitpunkt vom Beginn der Algenfütterung eine Auswirkung auf die Effekte der Algen hat, ist bisher unklar.

Die Beobachtungen zum Wachstum stehen im Einklang mit bisherigen Studien, die moderate Dosierungen von Mikroalgen (0,5–1 %) als wachstumsneutral oder sogar leistungsfördernd beschreiben (Kang et al., 2013; Long et al., 2018; Toyomizu et al., 2001). Wie genau das höhere Körpergewicht der Tiere zu erklären ist, wurde im vorliegenden Projekt aber nicht weiter untersucht. Die Messungen der Trockensubstanz der Brustmuskulatur zeigten jedoch keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Erhöhte Wassereinlagerungen in der Muskulatur waren somit auszuschließen. Um die höheren Zunahmen und Gewichte genauer zu erklären, müssten entsprechend weitere Versuche gemacht werden.

Die Beurteilung der Effekte der Mikroalgen auf die Tiergesundheit war insbesondere bei den experimentellen Versuchen eher schwierig. Die Tiere wiesen keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen auf, so dass positive Auswirkungen der Fütterung insbesondere durch übliche äußere Untersuchungen der Tiere kaum hätten erkannt werden können. Auch das Wachstum der Tiere als indirekter Parameter zur Beurteilung der Gesundheit war bereits in der Kontrollgruppe in einem sehr guten Bereich, ebenso wie der FPD-, Kloaken- und Breast Blisters-Score. Ein Indiz für positive Auswirkungen der Algenfütterung auf das Immunsystem der Tiere könnten die höheren Antikörper-Titer nach der Impfung bei den mit *Schizochytrium* gefütterten Tieren im zweiten experimentellen Versuch sein. Diese Vermutung müsste allerdings durch weitere Wiederholungen bestätigt werden, um diese Aussage zu bekräftigen. Immunmodulierende Effekte von Mikroalgen, beispielsweise durch bioaktive Lipide und Polysaccharide sind in der Literatur bereits beschrieben (Swiatkiewicz et al., 2015).

Beim konventionellen Praxisversuch konnten der FPD-Score und die Verlustrate der Tiere etwas besser zur Beurteilung von Auswirkungen der Algen auf die Tiergesundheit herangezogen werden. Bei beiden Versuchsdurchgängen wirkten sich die Mikroalgen signifikant positiv auf die FPD-Scores aus. Da die Trockensubstanz der Einstreu zwischen den Gruppen nicht unterschiedlich war, kann hier ein direkter positiver Effekt der Chlorella-Fütterung auf die Tiergesundheit gesehen werden. Die Wirkweise der Mikroalgen müsste zur weiteren Klärung dieses Effektes in nachfolgenden Versuchen genauer untersucht werden. Dazu wären u.a. detailliertere Untersuchungen des Blutbildes sinnvoll, die aus tierschutzrechtlichen Gründen in diesem Versuch nicht ohne Weiteres durchgeführt werden konnten. Die Ergebnisse unterstreichen dennoch eine diskutierte potenzielle Rolle von Inhaltsstoffen aus Mikroalgen, wie Chlorophyll oder Antioxidantien, für die Hautgesundheit bei Broilern (Abd El-Wahab et al., 2013; 2018).

Lediglich im ersten Durchgang des konventionellen Praxisversuches war auch die Mortalität in der mit Algen gefütterten Tiergruppe numerisch niedriger als in der Kontrollgruppe. Diese Ergebnisse konnten im zweiten Durchgang allerdings nicht wiederholt werden. Entsprechend sind auch diese Daten bestenfalls ein erstes mögliches Anzeichen für Effekte der Chlorella-Fütterung auf die Tiergesundheit, das aber in weiteren Versuchen bestätigt werden müsste. Da es in beiden Durchgängen des konventionellen Praxisversuches keinen Ausbruch von Erkrankungen, und somit auch keinen Anlass zum Einsatz von Arzneimitteln gab, konnten in diesem Projekt direkte präventive Auswirkungen der Mikroalgenfütterung auf die Entstehung von Bestandserkrankungen und verringertem Behandlungsbedarf nicht ermittelt werden. Hier wären erneute Versuchsansätze entweder in Betrieben mit bekannten Problemen durch Infektions- bzw. Bestandserkrankungen oder aber gezielte Infektionsversuche nötig, um weitere Aussagen treffen zu können.

Weitere Einflüsse von Mikroalgen auf die Tiergesundheit könnten durch bereits beschriebene antiinflammatorische Effekte der Algen entstehen (Omar et al., 2022). Im vorliegenden Projekt wurden in den experimentellen Fütterungsversuchen die Fettsäuregehalte im Serum und in der Leber gemessen. Einige Fettsäuren, insbesondere Arachidonsäure, tragen im Organismus zur Entstehung bestimmter Entzündungsmediatoren bei (Prostaglandine, Leukotriene, Eicosanoide) und deuten bei höheren Konzentrationen entsprechend auf eine eher proinflammatorische Stoffwechsellage hin. Im Gegensatz dazu greifen omega-3-Fettsäuren wie DHA oder EPA und deren Vorläufer entzündungshemmend in den Stoffwechsel ein. Die Ergebnisse aus den experimentellen Fütterungsversuchen zeigen, dass insbesondere bei der Fütterung mit *Schizochytrium* die proinflammatorischen Fettsäuren geringere Konzentrationen aufwiesen als bei der Kontrollgruppe, während die antiinflammatorischen Fettsäuren in höheren Konzentrationen gemessen wurden. Diese Kombination könnte auf eine verbesserte Stoffwechsellage der mit *Schizochytrium* gefütterten Tiere im Hinblick auf Entzündungsgeschehen hinweisen. Die höheren Konzentrationen der omega-3-Fettsäuren in diesem Fütterungsversuch dürften maßgeblich durch die Algenfütterung zu begründen sein, da die *Schizochytrium* einen omega-3-Anteil von über 20% aufweist. In den anderen Mikroalgen, wie *Chlorella* oder *Spirulina*, ist dieser Anteil mit oft unter 0,1% verschwindend gering. Für eine gezielte Zufütterung der genannten Fettsäuren spielt entsprechend die Mikroalgenart eine große Rolle. Die Versuche zeigten, dass erste Auswirkungen der Fütterung von *Schizochytrium* bereits ab sehr geringen Dosierungen von 0,25% messbar waren. Das bestätigt auch bereits vorhandene Literaturangaben. Inwiefern die veränderten Fettsäurewerte auch klinische Relevanz für die präventive Vermeidung entzündlicher Erkrankungen haben, müsste in weiteren Praxisversuchen geklärt werden. Im konventionellen Praxisversuch in diesem Projekt konnten leider keine Blutproben entnommen werden, um zu prüfen, ob auch die Fütterung mit der *Chlorella* Effekte auf die Fettsäureprofile der Tiere hatte. Eine mit *Schizochytrium* gefütterte Tiergruppe gab es zudem in den Praxisversuchen nicht.

Im direkten Vergleich war deutlich erkennbar, dass sich die Auswirkungen der Fütterung von Mikroalgen unter den Bedingungen der ökologischen Tierhaltung schwieriger untersuchen und reproduzieren lassen als unter den Bedingungen einer deutlich höher standardisierten konventionellen Tierhaltung. Durch längere Aufzucht- bzw. Mastzeiträume ließen sich unterschiedliche externe Einflüsse (beispielsweise Witterungsbedingungen) auf die verschiedenen Versuchsdurchgänge nicht verhindern. Auch die Auswirkungen des Freilaufes der Tiere auf die Versuchsergebnisse sind teilweise nur schwer abzuschätzen.

Im Versuch mit ökologischer Tierhaltung zeigte im ersten Durchgang die Fütterung beider Mikroalgen Effekte auf das Gewicht der Tiere. Im Gegensatz zu den konventionellen Fütterungsversuchen waren hier erhöhte Schlachtgewichte auch von einer ebenfalls erhöhten Futteraufnahme und von einem höherem Futteraufwand begleitet (z.T. lediglich numerische Werte). Mögliche, rein wirtschaftlich betrachtet, negative Auswirkungen durch höhere Futteraufnahme und -aufwand müssten dem ebenfalls höheren Schlachtgewicht der Tiere und einem möglichen gesundheitlichen Zusatznutzen gegenübergestellt werden. Im zweiten Durchgang konnten die höheren Gewichte der mit *Spirulina* gefütterten Tiere nicht erneut dargestellt werden. Die Gründe dafür können derzeit nicht genau ermittelt werden. Insbesondere externe Einflüsse, z.B. durch die Jahreszeit, aber auch die kleinere Gruppengröße oder weniger

Freilauf, sowie eine veränderte Thermoregulation der Tiere im Winter könnten eine Rolle spielen. Interessant wäre, wie im experimentellen Fütterungsversuch geschehen, auch im Bereich der ökologischen Tierhaltung verschiedene Dosierungen der Mikroalgen zu testen, um zu sehen, ob geringere Dosierungen hier ebenfalls deutlichere Effekte auf das Tiergewicht gehabt hätten. Diese Versuchsansätze waren im vorliegenden Projekt aufgrund des zeitlichen Ablaufes und der zur Verfügung stehenden Gruppen- und Tierzahlen allerdings leider nicht möglich.

Die Tiergesundheit war auch im Versuch mit ökologischer Tierhaltung als gut einzustufen. Es gab keine behandlungsbedürftigen Ausbrüche von Erkrankungen. Auch der Breast Blisters- und der Kloakenscore waren unproblematisch. Auffällig war dagegen die recht schlechte Fußballengesundheit der Tiere in allen Gruppen. Höchst wahrscheinlich kamen die Läsionen dabei durch die nässenden Tränkesysteme zustande. Diese Vermutung wird auch durch den deutlich höheren Feuchtegehalt in der Einstreu über den gesamten Versuchszeitraum hinweg bestätigt. Aufgrund dieser möglicherweise technischen Ursache für die eher schlechte Fußballengesundheit der Tiere sind auch die gemessenen statistischen Unterschiede zwischen den Tiergruppen eher schwer zu bewerten. Eindeutig konnten aber, im Gegensatz zum konventionellen Versuch, unter den gegebenen Bedingungen beim ökologischen Fütterungsversuch die Mikroalgen keine Verbesserung der Fußballengesundheit der Tiere bewirken. Ein weiterer Unterschied der beiden Versuche lag allerdings auch in der Dauer bzw. dem Startzeitpunkt der Mikroalgenfütterung. Im konventionellen Praxisversuch haben die Tiere bereits ab dem 3. Lebenstag die Algenfütterung erhalten. Im ökologischen Versuch dagegen waren die Tiere zu Beginn der Algenfütterung bereits zwischen 6 und 7 Wochen alt. Möglicherweise könnten sich Effekte der Mikroalgen auf das Entzündungsgeschehen an den Fußballen der Tiere bei einer frühzeitiger startenden Algenfütterung auch deutlicher auswirken, da in früheren Lebensstadien sowohl Teile des Immunsystems als auch der immunmodulatorisch wirkenden Darmflora maßgeblich ausgebildet werden (Alaqil und Abbas, 2023).

Im ökologischen Fütterungsversuch waren die bekannten Tierverluste im ersten Versuchsdurchgang bei den mit Algen gefütterten Gruppen numerisch geringer als in der Kontrollgruppe (keine bekannten Verluste im zweiten Durchgang). Aufgrund der geringen Tierzahl und der wechselhaften Bedingungen bei ökologischer Tierhaltung zwischen den Versuchsdurchgängen müssten aber auch diese Ergebnisse in weiteren Versuchen bestätigt werden, um eine Aussagekraft zu erhalten. Weitere klinische Untersuchungen von Blutproben zur Beurteilung der Tiergesundheit in den verschiedenen Fütterungsgruppen konnten auch hier leider nicht durchgeführt werden.

Allerdings konnten durch die Möglichkeiten zur Beprobung bei der Schlachtung der Tiere die Fettsäureprofile im Serum, Leber und Brustmuskulatur gemessen werden. Die Ergebnisse fielen in den beiden Versuchsdurchgängen aber sehr unterschiedlich und wenig eindeutig aus. In einigen Geweben war auch in diesem Versuch die eher proinflammatorisch wirkende ARA verringert. Allerdings waren die Werte für antiinflammatorisch wirkende Fettsäuren nicht immer gleichzeitig auch erhöht. Auffällig war zudem, dass sich im zweiten Durchgang keiner der in Serum und Leber gemessenen Effekte der Mikroalgen auf die Fettsäuren auch in der Brustmuskulatur wiederfand. Mögliche Ursachen für die stark voneinander abweichenden Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Durchgang im ökologischen Fütterungsversuch könnten, wie bereits beschrieben, externe Einflüsse auf die Tiere sein. Witterungsbedingungen, insbesondere

Hitzestress oder kalte Temperaturen, aber auch ein zu verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich hohes Bewegungsniveau der Tiere, sowie die aufgrund der unterschiedlichen Besatzdichten entstehenden Stresssituationen können die Stoffwechsellage durchaus beeinflussen (Akbarian et al., 2016, Zhao et al. 2020).

Neben den ungesättigten Fettsäuren waren im ökologischen Praxisversuch auch einige gesättigte Fettsäuren (Palmitin- und Stearinsäure) durch die Algenfütterung signifikant beeinflusst und in den mit Algen gefütterten Gruppen geringer. Besonders Palmitinsäure spielt eine Rolle beim Fettaufbau und dient dem Organismus u.a. als Energiequelle. Die geringeren Werte könnten möglicherweise ein Anzeichen für eine eher energieverbrauchende und fettabbauende Stoffwechsellage sein. Das würde sich mit Literaturangaben decken, in denen ein gesteigerter Fettabbau, eine forcierte Energiegewinnung aus Fetten und auch eine Beeinflussung der Blutfettwerte durch *Chlorella* und *Spirulina* beschrieben wird (Mirzaie et al., 2018, Yigit et al. 2016, Joventino et al. 2012).

Nicht zuletzt spielt sowohl bei der konventionell als auch bei der ökologischen Tierhaltung die Frage eine große Rolle, inwiefern sich Futterzusätze auf die Qualität der tierischen Produkte auswirken, die an Verbraucher vermarktet werden sollen. Negative Einflüsse bzgl. Farbe oder Geschmack beeinträchtigen die Vermarktungsfähigkeit des Fleisches erheblich.

In den experimentellen Fütterungsversuchen konnten Proben der Hähnchenfilets hinsichtlich einiger physikalisch-sensorischer Parameter beurteilt werden, und inwiefern die Algenfütterung auf diese Parameter Einfluss nimmt. Ein bereits in der Literatur beschriebener Effekt der Mikroalgenfütterung ist eine intensivere Gelbfärbung des Fleisches und des Fettes (Mendes et al. 2013). Diese Ergebnisse wurden auch im vorliegenden Projekt bestätigt. Die Gelbfärbung des Fleisches war bei Fütterung von *Chlorella* und *Spirulina* signifikant höher als in der Kontrollgruppe, während nur für die mit *Spirulina* gefütterten Tiere gleichzeitig der Rotwert der Filets geringer war. Diese Ergebnisse dürften vor allem auf die recht hohen Pigmentgehalte der Algen zurückzuführen sein: *Chlorella*-Algen sind bekannt für ihre hohen Gehalte an Carotinoiden (Ritu et al., 2023; Alfaia et al., 2021) und können auch hohe Chlorophyllwerte von bis zu über 2% erreichen. Während die gelben Carotinoide in ihrer Farbwirkung direkt sichtbar werden, scheinen die Chlorophylle die Rotfärbung des Muskelfleisches zu senken. Der Effekt einer gelblichen Fleischfärbung bei Geflügel kann für bestimmte Vermarktungsstrategien vorteilhaft angesehen werden (Maispoularde, Kikok-Hähnchen), kann aber bei zu starker Färbung auch störend werden. Die gelbe Färbung war auch bereits makroskopisch an den Schnäbeln und Ständern der Tiere deutlich erkennbar. Besonders für die Vermarktung der Hühnerbeine kann auch hier die stärkere Gelbfärbung durchaus gewünscht sein und einen Vorteil darstellen.

Die Anreicherung der Algeninhaltsstoffe könnte zuletzt nicht nur aus optischen Gründen für die Fleischvermarktung relevant sein, sondern auch den gesundheitlichen Wert der Produkte beeinflussen (Martins et al., 2021). Die Carotinoide, aber auch Chlorophylle oder andere beispielsweise antioxidativ wirkende Algeninhaltsstoffe, können über den Konsum von Fleisch dem Verbraucher zugeführt werden. Die Anreicherung von omega-3-Fettsäuren mittels Algenfütterung ist bereits ein in der Praxis untersuchter Ansatz, um die Wertigkeit von Geflügelprodukten wie Fleisch und Eiern und damit den gesundheitlichen Nutzen für Verbraucher zu steigern (Secci et al. 2018).

Fazit

Insgesamt verliefen die Versuche während des Projektzeitraumes gut, und die Ergebnisse liefern aufschlussreiche Erkenntnisse.

Insbesondere wurde durch die verschiedenen Versuche deutlich, wie unterschiedlich die Ergebnisse bei unterschiedlichen Haltungsformen ausfallen können (experimentelle Versuchsbedingungen, konventionelle Praxisversuche, ökologische Tierhaltung in Praxisversuchen). Daraus ergibt sich, dass Praxisversuche unter realen Bedingungen für die Entwicklung neuer, funktioneller Futtermittelbestandteile unerlässlich sind. Gleichzeitig wurde klar, dass Versuche in der ökologischen Tierhaltung andere Herausforderungen darstellen als Versuche unter eher kontrollierten Bedingungen der konventionellen Tierhaltung.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse aus den Versuchen mit konventioneller Tierhaltung (experimentelle Versuche und Praxisversuch), dass sich bereits geringe Zusätze verschiedener Mikroalgen zu den Futtermitteln auf die erhobenen Parameter auswirken können, und dass neben der Dosierung auch die Auswahl der jeweiligen Alge relevant ist, um gewünschte Effekte zu erzielen. Die deutlichsten Unterschiede zur Kontrollgruppe waren in diesem Projekt im konventionellen Bereich unter Fütterung der *Schizochytrium* und *Chlorella vulgaris* bei Dosierungen von 0,5% erkennbar. Die Fütterung der *Spirulina* resultierte lediglich bei der Fleischqualität in geringen Unterschieden zur Kontrollgruppe. Die Effekte der *Chlorella*-Fütterung wurden insbesondere anhand z.T. erhöhter Tiergewichte, verbesserter Fußballengesundheit, einer vermeintlich deutlicheren Immunreaktion auf die Impfung, im Praxisversuch numerisch geringerer Mortalitätsrate und einer Veränderung der Fleischqualität sichtbar.

Bei der *Schizochytrium*-Fütterung beliefen sich die Auswirkungen im Wesentlichen auf Veränderungen des Fettsäureprofils im Serum und der Leber, wobei der Eindruck eines eher antiinflammatorischen Fettsäureprofils entstand. Der Literatur entsprechend kann begründet vermutet werden, dass eine Anreicherung der omega-3-Fettsäuren ebenfalls in der Brustmuskulatur der Tiere messbar sein dürfte. Diese Ergebnisse kämen wiederum den Verbrauchern zugute.

Unter ökologischer Tierhaltung stellten sich die Effekte sowohl der *Spirulina*- als auch der *Chlorella*-Fütterung im Wesentlichen in Form höherer Tiergewichte und veränderter Fettsäureprofile in Serum, Leber und Muskulatur dar. Im ersten Versuch war auch die Verlustrate der mit Algen gefütterten Tiere geringer.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fütterung von Mikroalgen durchaus Effekte auf den Stoffwechsel der Tiere hat. Um tatsächlich begründete Aussagen zu einer gezielten Verbesserung der Tiergesundheit treffen zu können, müssten allerdings unter Praxisbedingungen weitere Versuche durchgeführt werden, bei denen Gesundheitsparameter mittels Entnahme von Blutproben genauer untersucht werden können. Auch der Einsatz der Algen bei Problembeständen mit einem gewissen Bedarf für den Einsatz von Arzneimitteln wäre von großem Interesse. Anhand der in den hier durchgeführten Versuchen lässt sich hypothetisch vermuten, aber nicht endgültig ableiten,

dass die Mikroalgenfütterung tatsächlich z.B. über antiinflammatorische oder immunstimulierende Wirkungen die Tiere klinisch bemerkbar resistenter gegenüber Erkrankungen werden lässt und somit einen verringerten Arzneimittelbedarf mit sich bringt.

Dennoch zeigen die Ergebnisse aus diesem Projekt, dass weitere Untersuchungen, sowohl in der konventionellen als auch in der ökologischen Tierhaltung, auch neue, wertvolle Erkenntnisse zu möglichen Effekten der Mikroalgen auf die Gesundheit von Masthähnchen liefern können. Hervorzuheben ist ebenfalls die Bandbreite an Auswirkungen der Mikroalgen über verschiedenste Bereiche hinweg – von den Leistungsdaten der Tiere über gesundheitliche Parameter bis zur Beeinflussung der Fleischqualität – die einen Zusatznutzen in Richtung nachhaltige Fütterung bieten könnten. Auf Basis der erhobenen Daten bleiben deshalb die Mikroalgen, insbesondere *Chlorella* und *Schizochytrium* weiterhin vielversprechende Futterzusätze, mithilfe derer die Tiergesundheit auf natürliche Weise gefördert werden könnte.

Öffentlichkeitsarbeit/ Publikationen

1. PD Dr. Carsten Krischek stellte auf der 64. Arbeitstagung „Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz“ vom 24.-27.09.2024 in Garmisch-Partenkirchen ein Poster mit dem Titel „Die Verfütterung von Mikroalgen an Masthähnchen verändert die physikochemischen Eigenschaften des Hähnchenfleisches“ vor.
2. Im Rahmen des DVG-Congresses in Berlin vom 30.10. bis 02.11.2024 wurden von Frau Dr. Schubert ein Poster mit dem Titel „Die Mikroalge *Schizochytrium limacinum* als Alleinfutterkomponente verändert das Fettsäurenprofil im Serum von Broilern“ vorgestellt.
3. Im Rahmen des ESVCN-Kongresses in Leipzig vom 04.09.2025 bis zum 06.09.2025 wird Herr Dr. Amr Abd El-Wahab ein Poster mit dem Titel „Dietary Microalgae and Their Influences on Foot Pad Health, Growth and Meat Quality“ vorstellen.

Derzeit in Vorbereitung zur Publikation:

1. Poster: zur 17. Tagung Schweine- und Geflügelernährung vom 18. - 20. November 2025 in der Lutherstadt Wittenberg: *Diätetische Mikroalgen und deren Einfluss auf Leistungsparameter, Fleischqualität und Fußballengesundheit bei Masthühnern* Amr Abd El-Wahab , Dana-Carina Schubert , Svenja Starke , Carsten Krischek , Christian Visscher, Jan Berend Lings
2. Manuskript zur Einreichung bei der Zeitschrift *Züchtungskunde: Leistungs- und Tierwohlparameter bei mit Mikroalgen ergänzten Futtermischungen in der Broilermast: Eine vergleichende Pilotstudie in konventioneller und ökologischer Haltung*
3. Manuskript zur Einreichung bei der Zeitschrift *Poultryscience: Effects of Different Dietary Algal Species on Growth Performance, Meat Quality, and Intestinal Morphology in Broilers*

Literaturangaben

Abd El-Wahab, A., C. Visscher, and J. Kamphues. 2018. Impact of different dietary protein sources on performance, litter quality and foot pad dermatitis in broilers. *J Anim Feed Sci* 27:148-154. doi 10.22358/jafs/90696/2018

Abd El-Wahab, A., C. Visscher, and J. Kamphues. 2018. Impact of different dietary protein sources on performance, litter quality and foot pad dermatitis in broilers. *J Anim Feed Sci* 27:148-154. doi 10.22358/jafs/90696/2018

Abd El-Wahab, A.; Lingens, J.B.; Chuppava, B.; Ahmed, M.F.E.; Osman, A.; Langeheine, M.; Brehm, R.; Taube, V.; Grone, R.; von Felde, A.; et al. Impact of Rye Inclusion in Diets for Broilers on Performance, Litter Quality, Foot Pad Health, Digesta Viscosity, Organ Traits and Intestinal Morphology. *Sustainability*, (2020), 12, 7753.

Abou-Zeid, A. & El-damrawy, Saad & Mariey, Y. & El-Mansy, M.. (2015). Effect of using *Spirulina platensis* and/or *Chlorella vulgaris* algae as feed additives on productive performance of broiler chicks. *Journal of Animal and Poultry Production*. 6. 623-634. 10.21608/jappmu.2015.52940.

Akbarian, A., Michiels, J., Golian, A., Buyse, J., & De Smet, S. (2016). Effects of heat stress on poultry health and performance and potential mitigating dietary strategies. *Poultry Science*, 95(6), 1380–1396.

Alfaia, C. M., J. M. Pestana, M. Rodrigues, D. Coelho, M. J. Aires, D. M. Ribeiro, V. T. Major, C. F. Martins, H. Santos, P. A. Lopes, J. P. C. Lemos, C. M. G. A. Fontes, M. M. Lordelo, and J. A. M. Prates. 2021. Influence of dietary and carbohydrate-active enzymes on growth performance, meat quality and lipid composition of broiler chickens. *Poultry Sci* 100:926-937. doi 10.1016/j.psj.2020.11.034

Aviagen. 2022. https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-A.A. Alaql, A.O. Abbas

bd El-Wahab, A., D. Radko, and J. Kamphues. 2013. High dietary levels of biotin and zinc to improve health of foot pads in broilers exposed experimentally to litter with critical moisture content. *Poultry Sci* 92:1774-1782. doi 10.3382/ps.2013-03054

Bonos, E., E. Kasapidou, A. Kargopoulos, A. Karampampas, E. Christaki, P. Florou-Paneri, and I. Nikolakakis. 2016. *Spirulina* as a functional ingredient in broiler chicken diets. *S Afr J Anim Sci* 46:94-102. doi 10.4314/sajas.v46i1.12

Calder, P. C. 2016. Docosahexaenoic Acid. *Ann Nutr Metab* 69 Suppl 1:7-21. doi 10.1159/000448262

Chang, C. W. T., J. Y. Takemoto, P. E. Chang, M. N. AlFindee, and Y. Y. Lin. 2021. Effects of mesobiliverdin IX α -enriched microalgae feed on gut health and microbiota of broilers. *Front Vet Sci* 7. doi ARTN 58681310.3389/fvets.2020.586813

Ellerbrock, S. Beurteilung verschiedener Besatzdichten in der intensiven Putenmast unter Berücksichtigung ethologischer und gesundheitlicher Aspekte. Hannover, tierärztliche Hochsch., Diss (2000).

- Evans, A. M., D. L. Smith, and J. S. Moritz. 2015. Effects of algae incorporation into broiler starter diet formulations on nutrient digestibility and 3 to 21 d bird performance. *J Appl Poultry Res* 24:206-214. doi 10.3382/japr/pfv027
- hiffary, M. R., H. U. Kim, and Y. K. Chang. 2019. Metabolic Engineering Strategies for the Enhanced Microalgal Production of Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids (LC-PUFAs). *Biotechnol J* 14. doi ARTN 1900043 doi 10.1002/biot.201900043
- igit F, Gurel-Gurevin E, Isbilen-Basok B, Esener OB, Bilal T, Keser O, Altiner A, Yilmazer N, Ikitimur-Armutak EI. Protective effect of *Spirulina platensis* against cell damage and apoptosis in hepatic tissue caused by high fat diet. *Biotech Histochem*. 2016;91(3):182-94. doi: 10.3109/10520295.2015.1114142. Epub 2016 Jan 28. PMID: 26820259.
- itu, J. R., R. R. Ambati, G. A. Ravishankar, M. Shahjahan, and S. Khan. 2023. Utilization of astaxanthin from microalgae and carotenoid rich algal biomass as a feed supplement in aquaculture and poultry industry: An overview. *J Appl Phycol* 35:145-171. doi 10.1007/s10811-022-02817-9
- Jamil, DR. A.B.M. & Akanda, Md & Rahman, Md. Mahfujur & Hossain, Md & Islam, Md. (2015). Prebiotic competence of spirulina on the production performance of broiler chickens. *JAVAR*. 2. 304-309. 10.5455/javar.2015.b94.
- Joventino IP, Alves HG, Neves LC, Pinheiro-Joventino F, Leal LK, Neves SA, Ferreira FV, Brito GA, Viana GB. The microalga *Spirulina platensis* presents anti-inflammatory action as well as hypoglycemic and hypolipidemic properties in diabetic rats. *J Complement Integr Med*. 2012 Aug 10;9:Article 17. doi: 10.1515/1553-3840.1534. PMID: 22944720.
- Kang, H. K., H. M. Salim, N. Akter, D. W. Kim, J. H. Kim, H. T. Bang, M. J. Kim, J. C. Na, J. Hwangbo, H. C. Choi, and O. S. Suh. 2013. Effect of various forms of dietary supplementation on growth performance, immune characteristics, and intestinal microflora population of broiler chickens. *J Appl Poultry Res* 22:100-108. doi 10.3382/japr.2012-00622
- Kaoud, Hussein. (2013). Effect of spirulina platensis as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics. *Sci J App Res*. Vol., 1 (2), 44-48
- Long, S. F., S. Kang, Q. Q. Wang, Y. T. Xu, L. Pan, J. X. Hu, M. Li, and X. S. Piao. 2018. Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry Sci* 97:1881-1890. doi 10.3382/ps/pey027
- Mayne R.K., Else R.W., Hocking P.M. High litter moisture alone is sufficient to cause footpad dermatitis in growing turkeys *Br. Poult. Sci.*, 48 (2007), pp. 538-545.
- Mendes, A. A., Takita, T. S., Fernandes, B. C. S., & Garcia, R. G. (2013). Effects of *Spirulina platensis* on meat color and oxidative stability in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(2), 97-104
- Mirzaie, S., S. D. Sharifi, and F. Zirak-Khattab. 2020. The effect of a by-product dietary supplement on immune response, antioxidant status, and intestinal mucosal morphology of broiler chickens. *J Appl Phycol* 32:1771-1777. doi 10.1007/s10811-020-02093-5

- Omar AE, Al-Khalaifah HS, Osman A, Gouda A, Shalaby SI, Roushdy EM, et al. Modulating the growth, antioxidant activity, and immunoexpression of proinflammatory cytokines and apoptotic proteins in broiler chickens by adding dietary *Spirulina platensis* Phycocyanin. *Antioxidants*. (2022) 11:991. doi: 10.3390/antiox11050991
- Pereira, L., J. Cotas, and A. Valado. 2024. Antioxidants from microalgae and their potential impact on human well-being. *Exploration of Drug Science* 2:292-321
- Rezende, Carolina Andrade, et al. "Escores de cloaca e de crista e morfometria testicular em galos de matriz pesada com 71 semanas de idade e três categorias de peso corporal." *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 66 (2014): 395-404.
- Rezvani, M., M. Zaghari, and H. Moravej. 2012. A survey on *Chlorella vulgaris* effect's on performance and cellular immunity in broilers. *International Journal of Agricultural Science and Research* 3:9-15.
- Secci, G., Bovera, F., Nardoia, M., & Parisi, G. (2018).
Use of algae in poultry nutrition: Influence on the quality of meat and eggs. *Journal of Applied Phycology*, 30, 1581–1595
- Slaoui M and Fiette L. Histopathology procedures: From tissue sampling to histopathological evaluation. *Methods Mol Biol.*, (2011), 691:69-82.
- Swiatkiewicz, S., A. Arczewska-Wlosek, and D. Józefiak. 2015. Application of microalgae biomass in poultry nutrition. *World Poultry Sci J* 71:663-672. doi 10.1017/S0043933915002457
- The effects of dietary *Spirulina platensis* on physiological responses of broiler chickens exposed to endotoxin stress. *Animals*, 13 (2023), p. 363
- Toyomizu, M., K. Sato, H. Taroda, T. Kato, and Y. Akiba. 2001. Effects of dietary on meat colour in muscle of broiler chickens. *Brit Poultry Sci* 42:197-202. doi Doi 10.1080/00071660120048447
- Zhao, J. P., Chen, J. L., Zhao, G. P., Zheng, M. Q., & Wen, J. (2020). Effect of exercise on intramuscular fat deposition and gene expression in broiler chickens. *Animal*, 14(2), 320–326.