Darmgesundheitsmanagement: eine enorme Herausforderung in antibiotikafreier Hähnchenmast

*Von **Dr. Ajay Bhoyar**, Global Technical Manager Poultry, EW Nutrition*

Die Darmgesundheit ist speziell in der antibiotikafreien (ABF) Produktion essenziell, da sie eine entscheidende Rolle für die allgemeine Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere spielt. Antibiotika werden seit langem zur Vorbeugung und Behandlung von Tierkrankheiten eingesetzt, aber ihr übermäßiger Einsatz hat zur Entwicklung von antibiotikaresistenten Bakterien geführt. Viele Landwirte und Erzeuger stellen daher auf antibiotikafreie Produktionsmethoden um. Diese Umstellung stellt eine große Herausforderung dar, da die Erhaltung der Darmgesundheit ohne Antibiotika schwierig sein kann. Es ist jedoch nicht unmöglich.

Eine der schwierigsten Aufgaben in der antibiotikafreien Produktion ist die Verhinderung von bakteriellen Infektionen im Darm. Das Darmmikrobiom spielt eine ausschlaggebende Rolle für das Immunsystem und das Allgemeinbefinden der Tiere. Wenn das Gleichgewicht der Mikroben im Darm gestört ist (Dysbiose), kann dies zu einer schlechten Nährstoffaufnahme führen, die folglich die Leistung der Tiere wie Futterverwertung und Gewichtszunahme beeinträchtigt. Wenn Landwirte und Erzeuger keine Antibiotika verwenden wollen, müssen sie auf andere Methoden zurückgreifen, um ein gesundes Darmmikrobiom zu erhalten.

Reduzierung von Antibiotika – ein wichtiger globaler Trend

In den letzten Jahren tendieren Geflügelproduzenten immer mehr dazu, den Einsatz von Antibiotika zu reduzieren, um die Gesundheit von Mensch und Tier zu fördern und die Nachhaltigkeit ihrer Betriebe zu verbessern. Ausschlaggebend dafür ist die Besorgnis über die Entwicklung antibiotikaresistenter Bakterien, die möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Nachfrage der Verbraucher nach Fleisch, das ohne Antibiotika erzeugt wurde. In vielen Ländern gibt es inzwischen Vorschriften, die den Einsatz von Antibiotika in der Lebensmittel- und Tierproduktion begrenzen.

Herausforderungen für die antibiotikafreie Geflügelproduktion (ABF)

1. Krankheitsbekämpfung. In der antibiotikafreien Geflügelproduktion müssen Landwirte auf alternative Methoden zur Bekämpfung und Vorbeugung von Krankheiten zurückgreifen, z. B. verstärkte Biosicherheitsmaßnahmen. Dies kann arbeitsintensiv und kostspielig sein.

1. Höhere Sterblichkeitsraten. Ohne Antibiotika kann es in Geflügelbeständen zu höheren Sterblichkeitsraten aufgrund von Krankheitsausbrüchen und anderen Gesundheitsproblemen kommen. Dies kann zu finanziellen Verlusten für die Landwirte und zu einem geringeren

Angebot an Geflügelprodukten für die Verbraucher führen.

1. Fütterung. Antibiotische Wachstumsförderer (AGPs – aus dem Englischen: Antibiotic Growth Promoters) werden häufig bei Geflügel zur Wachstumsförderung und zur Verhinderung von Darmerkrankungen eingesetzt. Ohne AGPs müssen Geflügelproduzenten alternative Wege finden, um die erwartete Produktionsleistung zu erreichen.

1. Erhöhte Kosten. Die antibiotikafreie Geflügelproduktion kann teurer sein als konventionelle Produktionsmethoden, da die Landwirte in zusätzliche Ställe, Ausrüstung, Arbeitskräfte usw. investieren müssen.

Wenn AGPs nicht mehr eingesetzt werden, wird es wahrscheinlich zu Veränderungen der mikrobiellen Zusammensetzung im Darm kommen. Es besteht die Hoffnung, dass Strategien wie Programme zur Vorbeugung von Infektionskrankheiten und die Verwendung von nicht antibiotischen Alternativen die möglichen negativen Folgen des Antibiotikaentzugs auf den Geflügelbestand minimieren (Yegani und Korver, 2008).

Darmgesundheit – der Schlüssel zu allgemeiner Gesundheit

Ein gesunder Magen-Darm-Trakt ist wichtig für die Erfüllung des maximalen Produktionspotenzials. Darmgesundheit bei Geflügel beschreibt den Allgemeinzustand und die Funktion des Magen-Darm-Trakts und umfasst das Gleichgewicht der nützlichen Bakterien, die Integrität der Darmschleimhaut und die Fähigkeit, Nährstoffe zu verdauen und aufzunehmen. Darmgesundheit ist wichtig, um die Gesundheit insgesamt und das Wohlbefinden der Tiere aufrecht zu erhalten. Ein gesunder Darm trägt zur Verbesserung der Futterverwertung, der Nährstoffaufnahme und der generellen Immunität der Tiere bei.

Der Darm beherbergt mehr als 640 verschiedene Arten von Bakterien und über 20 verschiedene Hormone. Er verdaut und absorbiert den Großteil der Nährstoffe und benötigt dafür fast ein Viertel des Energieverbrauchs des Körpers. Er ist auch das größte Immunorgan des Körpers (Kraehenbuhl und Neutra, 1992). Der Begriff “Darmgesundheit” ist daher sehr komplex und umfasst die makro- und mikrostrukturelle Integrität des Darms, das Gleichgewicht der Mikroflora und den Zustand des Immunsystems (Chot, 2009).

Immunität bei Geflügel kommt vom Darm

Der Darm ist ein wichtiger Bestandteil des Immunsystems, denn er ist die erste Verteidigungslinie gegen Krankheitserreger, die über das Verdauungssystem in den Körper gelangen. Hühner verfügen über ein spezialisiertes Immunsystem im Darm, das so genannte darmassoziierte lymphatische Gewebe (GALT – gut-associated lymphoid tissue), das dazu beiträgt, potenzielle Krankheitserreger zu erkennen und auf sie zu reagieren. Zum GALT gehören die Peyer’schen Plaques (Gruppen von Immunzellen, die sich in der Darmwand befinden) sowie die Darm-assoziierten Lymphozyten (GAL – gut associated lymphocytes), die im gesamten Darm zu finden sind. Diese Immunzellen sind dafür verantwortlich, Krankheitserreger, die in den Darm eindringen, zu erkennen und zu bekämpfen.

Die darmvermittelte Immunreaktion bei Hühnern umfasst mehrere Mechanismen, darunter die Aktivierung von Immunzellen, die Produktion von Antikörpern und die Freisetzung von Entzündungsmediatoren. Das GALT und die GALs spielen bei dieser Reaktion eine entscheidende Rolle, indem sie Krankheitserreger identifizieren, auf sie reagieren und weitere Immunzellen zur Bekämpfung der Infektion aktivieren.

Auch das Darmmikrobiom spielt bei der darmvermittelten Immunität von Hühnern eine entscheidende Rolle. Es besteht aus einer äußerst vielfältigen Gemeinschaft von Mikroorganismen, die einen bedeutenden Einfluss auf die Immunantwort haben können. So können bestimmte nützliche Bakterien dazu beitragen, die Immunreaktion zu stimulieren und den Darm vor Krankheitserregern zu schützen.

Insgesamt arbeiten Darmmikrobiom, GALT und GALs zusammen, um eine für Krankheitserreger feindliche

Umgebung zu schaffen, die aber gleichzeitig das Wachstum und die Gesundheit nützlicher Mikroorganismen fördert.

Dysbiose/Dysbakteriose beeinträchtigt die Leistung

Bei einer Dysbiose handelt es sich um ein Ungleichgewicht in der Darmmikrobiota aufgrund einer Belastung des Darms. Dieses Ungleichgewicht kann zu nasser und verkrusteter Einstreu führen und, bei längerem Kontakt der Tiere damit, Pododermatitis (Geschwüren an den Füßen) und Verbrennungen an den Sprunggelenken verursachen. Tierschutzprobleme und eine Abwertung des Schlachtkörpers können die Folge sein (Bailey, 2010). Abgesehen von diesen Auswirkungen ergeben sich die größten wirtschaftlichen Verluste aus den verringerten Wachstumsraten, der schlechteren Futterverwertung und den erhöhten Kosten für tierärztliche Behandlungen. Durch eine Dysbiose können Kokzidiose-Infektionen und andere Darmerkrankungen verschlimmert werden. Tiere mit einer Dysbiose weisen im Allgemeinen hohe Konzentrationen an *Clostridien* auf, die noch mehr Toxine erzeugen und zu einer nekrotischen Enteritis führen können.

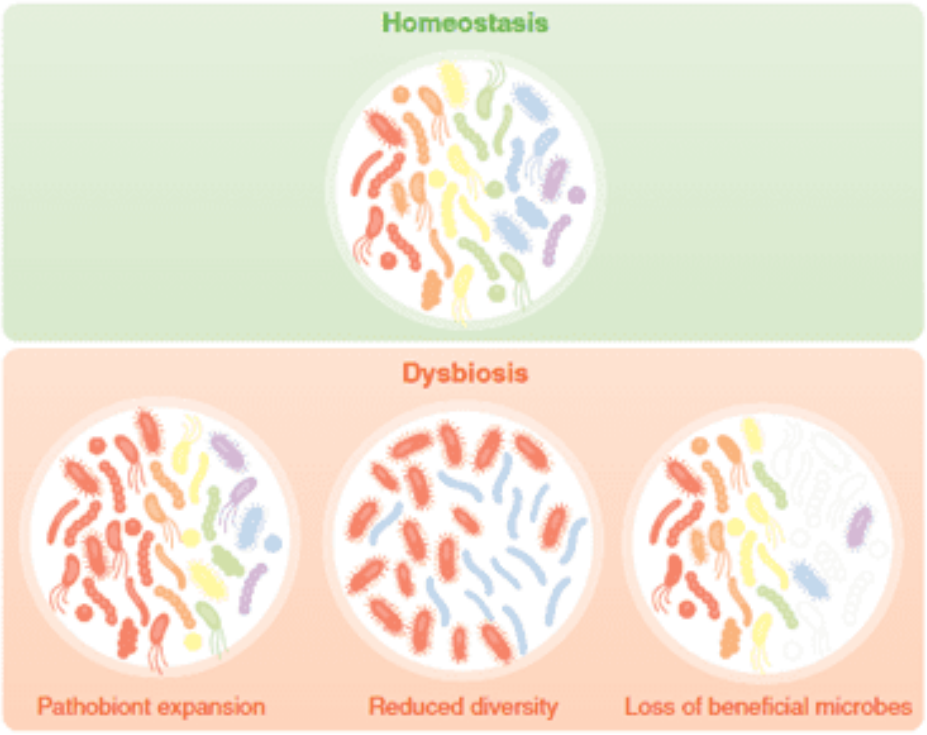

Fig.1: Dysbiose – das Ergebnis einer Belastung des Mikrobioms der Tiere. Quelle: Charisse Petersen und June L. Round. 2014

Es wird angenommen, dass sowohl nicht-infektiöse als auch infektiöse Faktoren bei der Dysbakteriose eine Rolle spielen können (DeGussem, 2007). Jede Veränderung der Futtermittel und Futtermittelrohstoffe sowie deren physikalische Qualität hat Einfluss auf das Gleichgewicht der Darmmikrobiota. In der Geflügelproduktion gibt es problematische Phasen, in denen die Tiere besonderen Belastungen ausgesetzt sind, z. B. bei Futterwechsel, Impfungen, Behandlungen, Transport usw. Während dieser Zeiten kann sich das Darmmikrobiom verändern, und in einigen Fällen kann es bei suboptimalem Management zu einer Dysbakteriose kommen.

Zu den infektiösen Erregern, die möglicherweise eine Rolle bei Dysbakteriose spielen, gehören Mykotoxine, *Eimeria* spp, *Clostridium perfringens* und andere Bakterien, die toxische Stoffwechselprodukte produzieren.

Faktoren, die die Darmgesundheit beeinträchtigen

Die Faktoren, die die Darmgesundheit von Masthähnchen beeinflussen, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Futter- und Wasserqualität: Form, Art und Qualität des Futters, das Masthähnchen verfüttert wird, können sich erheblich auf die Darmgesundheit auswirken. Die ständige Verfügbarkeit von kühlem und sauberem Trinkwasser ist entscheidend für eine optimale Produktionsleistung.

1. Stress: Stressige Bedingungen, wie hohe Umgebungstemperaturen oder schlechte Belüftung, können zu einem Ungleichgewicht im Darmmikrobiom und einem erhöhten Krankheitsrisiko führen.

1. Mikrobielle Belastung: Eine Störung des Mikrobioms und Probleme mit der Darmgesundheit können auftreten, wenn die Tiere Krankheitserregern oder anderen schädlichen Bakterien ausgesetzt sind.

1. Immunsystem: Ein robustes Immunsystem ist wichtig für die Gesunderhaltung des Darms, da es dazu beiträgt, unmäßiges Wachstum schädlicher Bakterien zu verhindern und die Vermehrung nützlicher Bakterien zu fördern.

1. Hygiene: Eine saubere und von Krankheitserregern freie Umgebung ist für die Erhaltung der Darmgesundheit von Masthähnchen von entscheidender Bedeutung, da sich Bakterien und andere Krankheitserreger leicht ausbreiten und das Darmmikrobiom stören können.

1. Management-Praktiken: Richtige Haltungspraktiken wie passendes Fütterungs- und Tränkewasser- sowie ein funktionierendes Einstreu-Management können dazu beitragen, die Darmgesundheit zu erhalten und Darmprobleme zu vermeiden.

Fig. 2. Schlüsselfaktoren, die die Darmgesundheit von Masthähnchen beeinflussen

Zentrale Ansätze für ein

Darmgesundheitsmanagement ohne Antibiotika

Zwei Ansätze für das antibiotikafreie Management der Darmgesundheit bei Geflügel sind außerordentlich erfolgreich.

Geeignete Fütterungs- und Managementpraktiken

Für die ABF-Geflügelproduktion ist es wichtig, dass die Tiere Zugang zu sauberem Wasser und hochwertigem Futter haben und in einer stressfreien Umgebung sind. Eine ausgewogene Ration in Bezug auf Eiweiß, Energie sowie essenzielle Vitamine und Mineralien ist für die Erhaltung der Darmgesundheit unerlässlich.

Die Umgebung, in der das Geflügel gehalten wird, spielt eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Darmgesundheit. Angemessene Hygiene und Belüftung sowie die richtige Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind entscheidend, um die Ausbreitung von Krankheiten und Infektionen einzudämmen. Außerdem ist eine strikte Umsetzung strenger Biosicherheitsmaßnahmen alternativlos.

Durch die frühzeitige Erkennung und Behandlung von Krankheiten kann verhindert werden, dass diese sich zu ernsthaften Problemen entwickeln und damit die Rentabilität der ABF-Produktion beeinträchtigen. Es ist wichtig, sich die Tiere immer wieder genau hinsichtlich Krankheitsanzeichen wie Durchfall, verminderte Wasser- und Futteraufnahme anzusehen.

Darmgesundheitsfördernde Futtermittelzusätze

Ein weiteres Vorgehen zum Erhalt der Darmgesundheit in einer antibiotikafreien Geflügelproduktion ist die Verwendung von Futtermittelzusätzen, die die Darmgesundheit unterstützen. In der Tierproduktion wird eine Vielzahl von Futtermittelzusätzen zur Förderung der Darmgesundheit eingesetzt, darunter sekundäre Pflanzenstoffe/ätherische Öle, organische Säuren, Probiotika, Präbiotika, exogene Enzyme usw., sowohl einzeln als auch in Kombination. Insbesondere die kosteneffizienten phytogenen Futtermittelzusätze (PFZ) haben mit bereits vielfach nachgewiesener Wirkung auf die Darmgesundheit von Masthühnern an Interesse gewonnen.

Sekundäre Pflanzenstoffe und ätherische Öle (oft auch als Phytogene, Phytochemikalien oder Phytomoleküle bezeichnet) sind biologisch aktive Verbindungen, die in jüngster Zeit als Futtermittelzusätze in der Geflügelproduktion Interesse wecken. Sie verbessern die Futterverwertung durch Förderung der Produktion von Verdauungssekreten und der Nährstoffaufnahme. Dies trägt dazu bei, die Belastung des Darms mit Pathogenen und Radikalen sowie die mikrobielle Belastung des Immunsystems der Tiere zu reduzieren (Abdelli et al. 2021).

Pflanzenextrakte – Ätherische Öle / Phytomoleküle

Phytogene Stoffe sind natürliche, in Pflanzen vorkommende Verbindungen. Viele dieser Stoffe haben nachweislich antimikrobielle Eigenschaften, d. h. sie können das Wachstum von Mikroorganismen wie Bakterien, Viren und Pilzen hemmen oder diese abtöten. Beispiele für sekundäre Pflanzenstoffe mit antimikrobiellen Eigenschaften sind Verbindungen, die in Knoblauch, Thymian und Teebaumöl vorkommen. Ätherische Öle sind rohe Pflanzenextrakte (Blüten, Blätter, Wurzeln, Früchte usw.), während Phytomoleküle die aktiven Inhaltsstoffe von ätherischen Ölen oder anderen Pflanzenmaterialien sind und eindeutig als Wirkstoffe definiert sind. Ätherische Öle sind wichtige aromatische Bestandteile von Kräutern und Gewürzen und werden als natürliche Alternativen zum Ersatz von antibiotischen Wachstumsförderern (AGP – englisch: antibiotic growth promoters) im Geflügelfutter verwendet. Zu den besonderen Wirkungen von ätherischen Ölen gehören die Appetitanregung, Förderung der Enzymsekretion bei der Verdauung und die Aktivierung der Immunantwort (Krishan und Narang, 2014).

Eine Vielzahl von Kräutern und Gewürzen (u. a. Thymian, Oregano, Zimt, Rosmarin, Majoran, Schafgarbe, Knoblauch, Ingwer, grüner Tee, Schwarzkümmel und Koriander) sowie ätherischen Ölen (aus Thymian, Oregano, Zimt, Knoblauch, Anis, Rosmarin, Zitrusfrüchten, Nelken und Ingwer) wurden einzeln oder in Kombination als potenzielle AGP-Alternativen für Geflügel verwendet (Gadde et al., 2017).

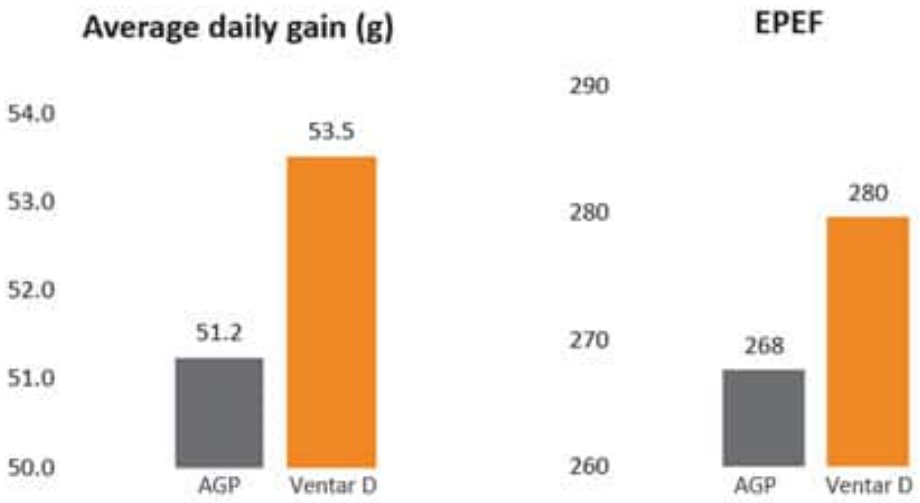

Fig. 3: Futtermittelzusatz auf Phytomolekülbasis übertrifft AGPs durch verbesserte Leistung bei Masthähnchen (42-tägige Feldstudie)

Eine der vorrangigen Wirkweisen von ätherischen Ölen hängt mit ihren antimikrobiellen Eigenschaften zusammen, die die Bekämpfung potenzieller Krankheitserreger ermöglichen (Mohammadi und Kim, 2018).

Phytomolekül-Mischung	*Clostridium perfringens*	*Enterococcus cecorum*	*Enterococcus hirae*	*Escherichia coli*	*Salmonella typhimurium*	*Staphylococcus aureus*
Ventar D	1250	2500	5000	2500	5000	2500

Abb. 4: Aktivität eines Futtermittelzusatzes auf Phytomolekülbasis (Ventar D) gegen enteropathogene Bakterien (MHK-Wert – minimale Hemmkonzentration – in ppm)

Phytomoleküle wie z.B. Flavonoide, Polyphenole, Carotinoide und Terpene haben nachweislich entzündungshemmende Eigenschaften. Sie werden unter anderem durch Hemmung der Aktivität von entzündungsfördernden Enzymen und Molekülen hervorgerufen. So blockieren Polyphenole nachweislich die Aktivität des Nuklearfaktors Kappa B (NF-kB), eines Transkriptionsfaktors, der eine Schlüsselrolle bei der Regulierung von Entzündungen spielt.

Phytomoleküle haben auch antioxidative Eigenschaften, die helfen können, Zellen vor Schäden durch reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und andere reaktive Moleküle zu schützen, die zu Entzündungen beitragen können. Es wird dementsprechend vorgeschlagen, Pflanzenextrakte als Antioxidantien in Tierfutter zu verwenden, um die Tiere vor oxidativen, durch freie Radikale verursachten, Schäden zu schützen. Phenolische OH-Gruppen in Thymol, Carvacrol und anderen Pflanzenextrakten wirken als Wasserstoffdonator für Peroxyradikale, die während des ersten Schritts der Lipidoxidation entstehen, und verzögern so die Bildung von Hydroxylperoxid (Farag et al., 1989, Djeridane et al., 2006). Thymol und Carvacrol haben eine stark-antioxidative Wirkung (Yanishlieva et al., 1999) und unterdrücken Berichten zufolge die Lipidperoxidation (Hashemipour et.al. 2013).

Insgesamt geht man davon aus, dass die entzündungshemmenden Wirkungen von Phytomolekülen auf die Kombination aus ihrer Fähigkeit, die Aktivität entzündungsfördernder Enzyme und Moleküle zu hemmen und das Immunsystem zu modulieren sowie ihren antioxidativen Eigenschaften zurückzuführen sind. Pflanzenextrakte (z. B. Carvacrol, Zimtaldehyd, Eugenol usw.) hemmen die Produktion von pro-inflammatorischen Zytokinen und Chemokinen aus Endotoxin-stimulierten Immun- und Epithelzellen (Lang et al., 2004, Lee et al., 2005, Liu et al., 2020). Es gibt Hinweise darauf, dass die entzündungshemmende Wirkung teilweise durch die Blockierung des NF-κB-Aktivierungswegs vermittelt wird (Lee et al., 2005).

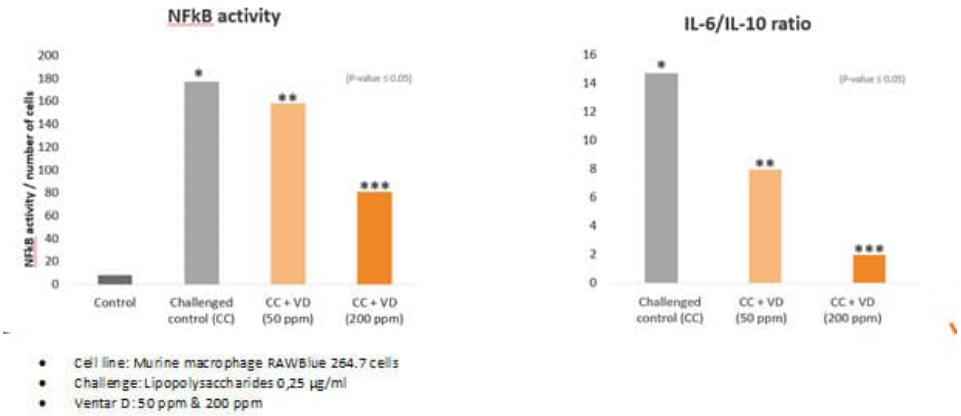

Fig. 5: Entzündungshemmende Eigenschaft eines Futtermittelzusatzes auf Phytomolekülbasis (Ventar D) – verringerte Aktivität entzündlicher Zytokine

Angemessener Schutz der Phytomoleküle ist der Schlüssel zu optimalen Ergebnissen

Es hat sich gezeigt, dass etliche phytogene Verbindungen größtenteils im oberen Teil des Verdauungstrakts absorbiert werden, was bedeutet, dass die meisten von ihnen ohne angemessenen Schutz nicht im unteren Teil des Darms, wo sie ihre Hauptfunktionen ausüben sollten, ankommen würden (Abdelli et al. 2021). Der Zusatz einer Mischung aus enkapsulierten ätherischen Ölen zu Masthähnchenfutter brachte bessere Ergebnisse als der Zusatz der phytogenen Futterzusätze (PFZ) in pulverisierter, nicht geschützter Form (Hafeez et al. 2016). Neuartige Verabreichungstechnologien wurden entwickelt, um PFZs vor Abbau und Oxidation während der Futtermittelverarbeitung und Lagerung zu schützen, die Handhabung zu erleichtern, eine langsamere Freisetzung zu ermöglichen und auf den unteren Verdauungstrakt abzuzielen (Starčević et al. 2014). Die speziellen Schutztechniken, die bei der kommerziellen Herstellung einer Mischung aus ätherischen Ölen/Phytomolekülen eingesetzt werden, sind entscheidend, um die gesteckten Ziele mit bemerkenswerter Beständigkeit zu erreichen.

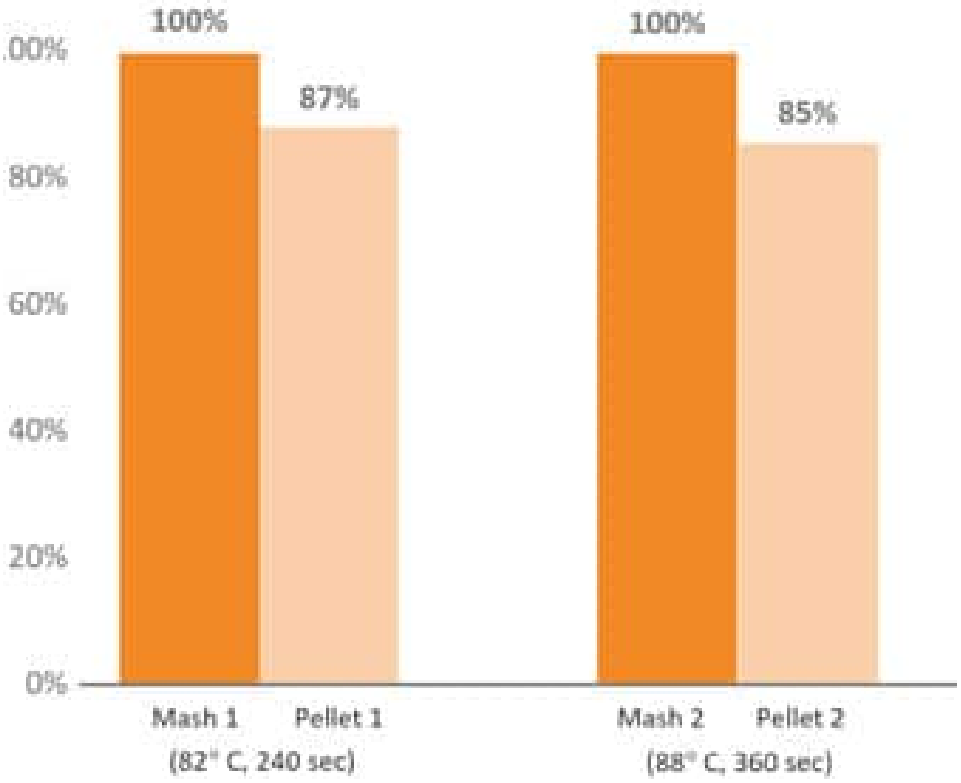

Fig. 6: Stabilität von einem auf Phytomolekülen basierenden Futtermittelzusatz (Ventar D) bei der Pelletierung mit hohen Temperaturen und längeren Konditionierungszeiten

Mischung aus Phytomolekülen optimiert die Produktionsleistung

Der Verzicht auf Antibiotika in der Geflügelproduktion kann ein Problem für die Kontrolle der Mortalität und die Aufrechterhaltung der Produktionsleistung der Tiere darstellen. Es hat sich gezeigt, dass phytogene Futterzusätze aufgrund ihrer antimikrobiellen, entzündungshemmenden, antioxidativen und verdauungsfördernden Eigenschaften die Produktionsleistung von Geflügel verbessern. Die verbesserte Nährstoffverdaulichkeit durch phytogene Futtermittelzusätze (PFZ) könnte auf deren Fähigkeit zurückzuführen zu sein, Appetit, Speichelsekretion, Darmschleimproduktion, Gallensäuresekretion und die Aktivität von Verdauungsenzymen wie Trypsin und Amylase zu stimulieren sowie die Darmmorphologie positiv zu beeinflussen (Oso et al. 2019). Ätherische Öle werden in der Geflügelproduktion als Wachstumsförderer angesehen und zeigen starke antimikrobielle und kokzidiostatische Aktivitäten (Zahi et al., 2018). PFZs beeinflussen Gewichtszunahme und Futterverwertung bei Geflügel in positiver Weise (Khattak et al. 2014, Zhang et el. 2009).

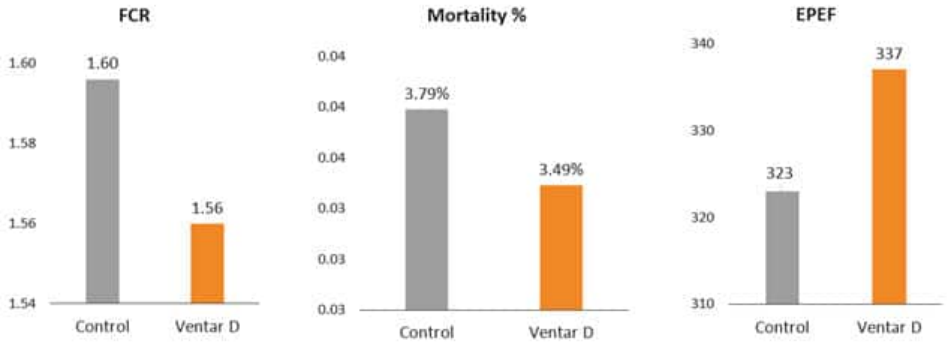

Fig. 7: Futtermittelzusatz auf Basis von Phytomolekülen verbessert im Feldversuch bei Masthähnchen die Futterverwertung und senkt die Mortalität

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Darmgesundheitsmanagement eine enorme Herausforderung in der ABF-Hähnchenproduktion darstellt. Dieser Herausforderung muss sich gestellt werden, um das Wohlbefinden der Tiere und damit eine optimale Leistung zu sichern. Der Einsatz von Antibiotika als Präventivmaßnahme in der Masthähnchenproduktion ist immer noch weit verbreitet, doch angesichts der steigenden Nachfrage nach antibiotikafreien Produkten müssen alternative Methoden zur Erhaltung der Darmgesundheit eingesetzt werden. Dazu gehören die Verwendung von Futtermittelzusätzen, die die Darmgesundheit fördern, und angemessene Managementpraktiken, wie die Umsetzung von Biosicherheitsmaßnahmen, die Aufrechterhaltung optimaler Umweltbedingungen, ausreichend Platz und angemessene Belüftung sowie die Reduzierung von Stress. Leider jedoch gibt es keine Einheitslösung für das Darmgesundheitsmanagement in der ABF-Hähnchenmast. Wichtig ist, die Darmgesundheit der Tiere kontinuierlich zu überwachen und einzuschätzen und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen. Darüber hinaus sollten Forschung und Entwicklung in diesem Bereich gefördert werden, um neue und innovative Wege zur Erhaltung der Darmgesundheit in der ABF-Masthähnchenproduktion zu finden.

Insgesamt ist das Darmgesundheitsmanagement eine erhebliche Herausforderung, die einen vielschichtigen Ansatz und kontinuierliche Überwachung und Management erfordert. Durch die Umsetzung geeigneter Strategien und den Einsatz neuer Technologien können Geflügelhalter Gesundheit und Wohlbefinden ihrer Tiere sicherstellen und gleichzeitig die wachsende Nachfrage nach antibiotikafreien Produkten nachhaltig befriedigen.

Literatur:

Abdelli N, Solà-Oriol D, Pérez JF. Phytogenic Feed Additives in Poultry: Achievements, Prospective and Challenges. Animals (Basel). 2021 Dec 6;11(12):3471.

Bailey R. A. 2010. Intestinal microbiota and the pathogenesis of dysbacteriosis in broiler chickens. PhD thesis submitted to the University of East Anglia. Institute of Food Research, United Kingdom

Choct M. Managing gut health through nutrition. British Poultry Science Volume 50, Number 1 (January 2009), pp. 9—15.

De Gussem M, "Coccidiosis in Poultry: Review on Diagnosis, Control, Prevention and Interaction with Overall Gut Health," Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition, Strasbourg, 26-30 August, 2007, pp. 253-261.

Dorman, H.J. and S.G. Deans. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J Appl Microbiol, 88 (2000), pp. 308-316

Djeridane A., M. Yousfi M, Nadjemi B, Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plant extracts containing phenolic compounds. Food Chem, 97 (2006), pp. 654-660

Farag R. S., Daw Z.Y., Hewedi F.M., El-Baroty G.S.A. Antimicrobial activity of some Egyptian spice essential oils. J Food Prot, 52 (1989), pp. 665-667

Gadde U., Kim W.H., Oh S.T., Lillehoj H.S. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. Anim. Health Res. Rev. 2017; 18:26–45.

Guo, F.C., Kwakkel, R.P., Williams, B.A., Li, W.K., Li, H.S., Luo, J.Y., Li, X.P., Wei, Y.X., Yan, Z.T. and Verstegen, M.W.A., 2004. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on growth performance of broilers. *British Poultry Science*, *45*(5), pp.684-694.

Hafeez A., Männer K., Schieder C., Zentek J. Effect of supplementation of phytogenic feed additives (powdered vs. encapsulated) on performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poult. Sci. 2016; 95: 622–629.

Hammer K.A., Carson C.F., Riley T.V. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. J Appl Microbiol, 86 (1999), pp. 985-990

Hashemipour H, Kermanshahi H, Golian A, Veldkamp T. Effect of thymol and carvacrol feed supplementation on performance, antioxidant enzyme activities, fatty acid composition, digestive enzyme activities, and immune response in broiler chickens. Poultry Science. Volume 92. Issue 8. 2013, Pp 2059-2069

Khattak F., Ronchi A., Castelli P., Sparks N. Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. Poult. Sci. 2014; 93: 132–137

Kraehenbuhl, J.P. & Neutra, M.R. (1992) Molecular and cellular basis of immune protection of mucosal surfaces. Physiology Reviews, 72: 853–879.Krishan and Narang J. Adv. Vet. Anim. Res., 1(4): 156-162, December 2014

Lang A., Lahav M., Sakhnini E, Barshack I., Fidder H. H., Avidan B. Allicin inhibits spontaneous and TNF-alpha induced secretion of proinflammatory cytokines and chemokines from intestinal epithelial cells. Clin Nutr, 23 (2004), pp. 1199-1208

Lee S.H., Lee S.Y., Son D.J., Lee H., Yoo H.S., Song S. Inhibitory effect of 2′-hydroxycinnamaldehyde on nitric oxide production through inhibition of NF-kappa B activation in RAW 264.7 cells Biochem Pharmacol, 69 (2005), pp. 791-799

Liu, S., Song, M., Yun, W., Lee, J., Kim, H. and Cho, J., 2020. Effect of carvacrol essential oils on growth performance and intestinal barrier function in broilers with lipopolysaccharide challenge. Animal Production Science, 60(4), pp.545-552.

Mitsch, P., Zitterl-Eglseer, K., Köhler, B., Gabler, C., Losa, R. and Zimpernik, I., 2004. The effect of two

different blends of essential oil components on the proliferation of Clostridium perfringens in the intestines of broiler chickens. Poultry science, 83(4), pp.669-675.

Mohammadi Gheisar M., Kim I.H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition—A review. Ital. J. Anim. Sci. 2018; 17: 92–99.

Oso A.O., Suganthi R.U., Reddy G.B.M., Malik P.K., Thirumalaisamy G., Awachat V.B., Selvaraju S., Arangasamy A., Bhatta R. Effect of dietary supplementation with phytogenic blend on growth performance, apparent ileal digestibility of nutrients, intestinal morphology, and cecal microflora of broiler chickens. Poult. Sci. 2019; 98: 4755–4766

Oviedo-Rondón, Edgar O., et al. "Ileal and caecal microbial populations in broilers given specific essential oil blends and probiotics in two consecutive grow-outs." *Avian Biology Research* 3.4 (2010): 157-169.

Petersen C. and June L. Round. Defining dysbiosis and its influence on host immunity and disease. Cellular Microbiology (2014)16(7), 1024–1033

Starčević K., Krstulović L., Brozić D., Maurić M., Stojević Z., Mikulec Ž., Bajić M., Mašek T. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. J. Sci. Food Agric. 2014; 95: 1172–1178.

Yanishlieva, N.V., Marinova, E.M., Gordon, M.H. and Raneva, V.G., 1999. Antioxidant activity and mechanism of action of thymol and carvacrol in two lipid systems. *Food Chemistry*, *64*(1), pp.59-66.

Yegani, M. and Korver, D.R., 2008. Factors affecting intestinal health in poultry. Poultry science, 87(10), pp.2052-2063.

Zhai, H., H. Liu, Shikui Wang, Jinlong Wu and Anna-Maria Kluenter. "Potential of essential oils for poultry and pigs." Animal Nutrition 4 (2018): 179 – 186.

Zhang G.F., Yang Z.B., Wang Y., Yang W.R., Jiang S.Z., Gai G.S. Effects of ginger root (Zingiber officinale) processed to different particle sizes on growth performance, antioxidant status, and serum metabolites of broiler chickens. Poult. Sci. 2009; 88: 2159–2166.