



Schlussbericht zum Thema

Einsatz von lebenden Insektenlarven in der
ökologischen Hähnchenmast zur
Verbesserung der Nachhaltigkeit und
Tiergesundheit

FKZ: 2819OE152

Projektnehmer: DIL Deutsches Institut für
Lebensmitteltechnik e.V.

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung
und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages im Rahmen des
Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau Landwirtschaft (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter www.bundesprogramm.de

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel: 0228-6845-3280
E-Mail: boel@ble.de

Schlussbericht

Einsatz von lebenden Insektenlarven in der ökologischen Hähnchenmast zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Tiergesundheit (POULTRYNSECT)

Zuwendungsempfänger: DIL e.V.–German Institute of Food Technology

Projektleitung: Prof. Dr. Sergiy Smetana

Förderkennzeichen: 2819OE152

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 bis zum 31.10.2023

Berichtszeitraum: 01.11.2020 bis zum 31.10.2023



Prof. Dr. Sergiy Smetana

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Partner (Name)	Name der Institution/ Organisation, Adresse und Land	Art der Institution/ Organisation ¹	Kontaktinformationen (Telefon/ E-Mail)	Funktionen ²	Beteiligt an Arbeitspakete (Nr.)	Laufzeit des nationalen Vertrags
Francesco Gai	Consiglio Nazionale delle Ricerche, L.go Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco, Italy	Public research center	Tel.: 0039 0116709232 francesco.gai@ispa.cnr.it	PC	2,3,5,6	01/01/2021
Achille Schiavone	Università di Torino, L.go Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco, Italy	University	Tel.: 0039 0116709208 achille.schiavone@unito.it	WPL	2,3,4,5	01/01/2021
Sergiy Smetana	DIL e.V. Professor-von-Klitzing-Straße 7, 49610 Quakenbrück, Germany	Public research center	Tel.: 0049 05431183155 S.Smetana@dil-ev.de	WPL	4,5	01/11/2020
Carl Coudron	INAGRO VZW, Ieperseweg 87, 8800 Roeselare, Belgium	Public research center	Tel.: 0032 51273235 carl.coudron@inagro.be	WPL	1,3,4,5	01/11/2020
Anne Rieder	Nofima AS, Osloveien 1, 1430 Ås, Norway	Public research center	Tel.: 0047 77629000 Anne.Rieder@Nofima.no	P	3,5	01/11/2020

¹ University, Public research center, Private research center, Company, Other

² PC = Project coordinator, WPL = Work package leader, WPCL = Work package co-leader, P = Participant

Table of contents

1	Einleitung.....	4
1.1.	Gegenstand des Projekts.....	4
1.2	Ziele und Aufgaben des Projekts.....	4
1.3	Planung und Ablauf des Projekts: Projektbasierter wissenschaftlicher und technischer Stand.....	5
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	7
3	Materialien und Methoden.....	7
3.1.1	Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionale Einheit der literaturbasierten Forschung.....	7
3.1.2	Inventar.....	9
3.1.3	Umfang und Funktionalität der Bewertung der experimentellen Ergebnisse.....	10
3.2.1	Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionelle Einheit der experimentellen Forschung.....	12
3.2.2	Inventar.....	12
3.3.1	Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionale Einheit der Lebenszykluskosten.....	15
3.3.2	Bestandsaufnahme der Lebenszykluskosten.....	15
3.4	Verbraucherforschung.....	16
3.5.1	Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionelle Einheit der sozialen Lebenszyklusanalyse.....	16
3.5.2	Inventar der sozialen Lebenszyklusanalyse.....	17
3.6	Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung.....	17
4	Ergebnisse.....	18
4.1	Ergebnisse der Literaturforschung.....	18
4.2	Ergebnisse der experimentellen Forschung.....	20
4.3	Lebenszykluskostenrechnung.....	23
4.4	Verbraucherstudie.....	26
4.5	Soziale Lebenszyklus-Bewertung.....	36
5	Diskussion.....	37
5.1	Literaturbasierte Lebenszyklus-Bewertung.....	37
5.2	Lebenszyklus-Bewertung basierend auf experimentellen Ergebnissen.....	37
5.3	Lebenszyklus-Kostenrechnung.....	37
5.4	Verbraucherversuche.....	38
5.5	Soziale Lebenszyklus-Bewertung.....	38
6 und 7	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	39
8	Zusammenfassung.....	42
9	Literaturverzeichnis.....	43
10.	Übersicht der Veröffentlichungen.....	44

1. Einleitung

1.1. Gegenstand des Projekts

Die Verwendung von lebenden Insektenlarven zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und des Tierschutzes in der Produktion von Bio-Hähnchenfleisch. Das Arbeitspaket 4, auf das sich der Bericht in erster Linie konzentriert, zielt darauf ab, die potenziellen Veränderungen bei der Nachhaltigkeit von Hühnerfleisch zu bewerten, die sich aus der Beimischung von lebenden Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL) im Hühnerfutter ergeben.

1.2 Ziele und Aufgaben des Projekts

Insgesamt zielt das Projekt darauf ab, die Auswirkungen eines innovativen Bio-Futtermittels (lebende Insektenlarven) für langsam wachsende Bio-Hühner zu testen, um eine nachhaltige Fleischproduktion zu ermöglichen, den Tierschutz zu verbessern und möglicherweise die Verbrauchernachfrage nach gesünderen und natürlicheren Fleischprodukten mit verbesserter Geschmacksqualität zu erfüllen.

AP	Aufgabe	Startmonat	Endmonat	WP / Aufgabentitel
1		1	27	HI-Aufzucht-Optimierung
	1.1	1	4	HI-Futtermittel-Formulierung und -Optimierung
	1.2	4	13	Erster HI-Massen-Aufzuchtzyklus
	1.3	6	19	Zweiter HI-Massen-Aufzuchtzyklus
	1.4	12	27	Insektendünger (Fraß)-Verwertung
2		1	21	Fütterungsversuche mit Hühnern
	2.1	7	19	In-vivo-Wachstumsversuche
	2.2	6	19	Bewertung des Wohlergehens der Vögel
	2.3	6	19	Schlachtleistungen
3		4	32	Labor- und sensorische Analysen
	3.1	4	6	Diäten: Chemische- und Sicherheitsanalysen
	3.2	6	19	HI-Larven: Chemische- und Sicherheitsanalysen
	3.3	8	24	Fleischlaboranalyse
	3.4	10	24	Sensorische Qualität des Fleisches und Verbrauchertest
	3.5	12	29	Darmmikrobiota und SCFA-Produktion
	3.6	12	29	Darmhistologie und Immunologie

4		1	36	Nachhaltigkeitsbewertungen
	4.1	1	24	Lebenszyklusanalyse der Insektenlarven-Wertschöpfungskette
	4.2	6	24	Lebenszykluskostenanalyse
	4.3	12	36	Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung
5		1	36	Kommunikation und Verbreitung
	5.1	1	30	Kommunikations- und Verbreitungsplan
	5.2	1	36	Projektidentität und Website
	5.3	1	36	Kommunikations- und Verbreitungsmaterial für die Allgemeinheit
	5.4	1	36	Verbreitung von Ergebnissen an Interessengruppen
	5.5	32	36	Abschlusskonferenz
6		1	36	Projekt- und Konsortiumsmanagement
	6.1	1	36	Verwaltungsmanagement
	6.2	1	36	Einrichtung von Projektsitzungen

1.3 Planung und Ablauf des Projekts: Projektbasierter wissenschaftlicher und technischer Stand

Unter Berücksichtigung der Forschungslücken, die vor Beginn des Projekts bestanden, waren die Projektziele wie folgt:

- a) Die weitere Optimierung der HI-Diät basierend auf deren Nährstoffbedarf und die Definition gezielter Futterformeln unter Verwendung von Mischungen verfügbarer organischer Reststoffe.
- b) Verbesserung des agronomischen Potenzials des Insektendünger (Fraß) aus der HI-Larvenaufzucht.
- c) Die Bestimmung ausgewogener Einschlussniveaus von lebenden HI-Larven (als Ersatz für eine übliche Bio-Eiweißquelle, z. B. SBM) in für langsam wachsende Hühner maßgeschneiderten Diäten basierend auf Wachstums- und Schlachtleistungen.
- d) Die Beurteilung des Wohlergehens der Vögel durch die Auswertung des Verhaltens mittels Videoaufnahmen und die Analyse von Stress-Biomarkern im Kot.
- e) Die Beurteilung der Rolle der bioaktiven Verbindungen der HI-Larven (z. B. Chitin) auf Parameter der Darmgesundheit von Hühnern mittels innovativer metagenomischer Methoden.
- f) Die Bewertung der Geflügelfleischqualität mittels physikalisch-chemischer, proteomischer und in-vitro-Verdaulichkeitsanalysen.
- g) Die Beurteilung der Erwartungen und Vorlieben der Verbraucher in Bezug auf die sensorische Panelbewertung von Geflügelfleisch.

- h) Die Verbesserung des öffentlichen Wissens, der Aufmerksamkeit, Sensibilität und aktiven Beteiligung an Umwelt- und Tierschutzfragen im Einklang mit der EU-Gesetzgebung zur Kreislaufwirtschaft und zum Tierwohl.
- i) Der Beitrag zur politischen Entscheidungsfindung durch Forschung im laufenden Diskurs über Insektendünger (Fraß) und "Bio-Insekten".

Die Arbeit des DIL wurde hauptsächlich im Rahmen des POULTRYNSECT-Arbeitspakets 4 "Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung" durchgeführt, das ebenfalls vom DIL geleitet wurde. Dieser Bericht konzentriert sich nur auf die Arbeit des DIL und berichtet daher hauptsächlich über die Arbeit im Rahmen des Arbeitspakets 4. Dieses Arbeitspaket zielt darauf ab, die potenziellen Veränderungen in der Nachhaltigkeit von Hühnerfleisch durch die Aufnahme lebender Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL) in Hühnerfutter zu bewerten. Die Produktnachhaltigkeit basiert auf drei Säulen: Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit und soziale Nachhaltigkeit. Im Rahmen der Aufgabe 4.1 wurde eine Bewertung der Umweltauswirkungen aller Stadien der Produktion, Umwandlung und Verteilung von Insektenlarven anvisiert. Aufgrund von Änderungen in der Insektenfütterung im Projektverlauf sowie der Fehlfunktion des Geräts zur Messung von Ammoniakemissionen während der Insektenaufzucht wurde geschätzt, dass die Innovativität der Forschung innerhalb der Aufgabe 4.1 beeinträchtigt werden würde.

Aus diesem Grund und da Meilenstein 4.1 und Liefergegenstand 4.1 auf die Gesamtlebenszyklus-Bewertung verweisen, wurde der Umfang der durchgeführten Forschung erweitert und umfasste die gesamte Hühnerfleischproduktionskette. Die Bewertung erfolgte in einer umfassenden Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) und die Umweltauswirkungen der Hühnerproduktion wurden quantifiziert und bewertet.

Die ökonomische Nachhaltigkeit von Broilerfleisch, das durch das Poultrynsect-System produziert wird, wurde in der Aufgabe 4.2 behandelt. Im Rahmen der Aufgabe wurde eine Lebenszykluskostenanalyse der Broilerfleischproduktion durchgeführt, bei der insbesondere auf die BSFL-Produktion geachtet wurde. Sehr signifikante Marktveränderungen, Preisschwankungen und hohe Inflation während des Projektzeitraums hatten erhebliche Auswirkungen auf die Marktanalyse, insbesondere für die Larvenproduktion. Aus diesem Grund konzentriert sich dieser Bericht überwiegend auf die Lebenszykluskostenanalyse der Wertschöpfungskette von Bio-Broilerfleisch und liefert gleichzeitig einige Schlüsselinformationen für die Insekten-Wertschöpfungskette.

In der Aufgabe 4.3 wurde die Verbraucherakzeptanz von mit Larven gefüttertem Geflügelfleisch untersucht, während die Nachhaltigkeitsforschung durch eine soziale Lebenszyklus-Bewertung und die integrierte Nachhaltigkeitsbewertung fortgesetzt wurde. Verbraucher weltweit sind bereits sehr vertraut mit Geflügelfleisch: Es ist das am weitesten verbreitete Fleisch, mit dem höchsten prognostizierten Anstieg (www.fao.org). Es wurde daher angenommen, dass Verbesserungen in der Nachhaltigkeit von Geflügelfleisch eine wirksame und leicht umsetzbare Möglichkeit darstellen würden, die Auswirkungen von proteinreicher Ernährung zu verringern. Diese Annahme beruht jedoch darauf, dass innovative Praktiken in der Broileraufzucht die Wahrnehmung des Produkts durch die Verbraucher nicht negativ beeinflussen. Diese Annahme wurde im Rahmen von Poultrynsect in Verbraucherbefragungen in vier europäischen Ländern getestet, von denen drei von DIL abgedeckt wurden.

Aufgabe 4.3 umfasste die Gesamtnachhaltigkeitsbewertung, bestehend aus der Umwelt-LCA, der Lebenszykluskostenanalyse und der sozialen LCA. Die soziale LCA wurde verwendet, um die sozialen Auswirkungen des Poultrynsect-Systems sowie der Insekten- und Hühnerproduktion zu analysieren.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Zukunft des Lebensmittelsektors birgt erhebliche Herausforderungen, da die Weltbevölkerung laut UN DESA (2019) von 7,7 Milliarden im Jahr 2019 auf 9,7 Milliarden im Jahr 2050 ansteigen wird. Da die Lebensmittelversorgung in Ländern mit niedrigem bis mittlerem Einkommen bereits ein Problem darstellt, rechnet die FAO bis 2050 mit einem Anstieg der Lebensmittelproduktion um 70 %, um die Marktnachfrage zu decken (Dzepe et al., 2021). Besonders besorgniserregend ist die steigende Nachfrage nach tierischem Eiweiß, die voraussichtlich erheblich zunehmen wird (Bengtsson und Seddon, 2013). Neben dieser Nachfrage besteht jedoch auch die dringende Notwendigkeit, die mit der Produktion von tierischem Eiweiß verbundenen Fragen der Nachhaltigkeit anzugehen. Der Tierhaltungssektor, der für etwa 14,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen verantwortlich ist, trägt vor allem durch Rindermilch und -fleisch (65 %), Schweinefleisch (9 %) sowie Hühnerfleisch und -eier (8 %) bei (FAO, 2021).

Die Produktion von Hühnerfleisch, die laut OECD-FAO (2019) bis 2028 voraussichtlich um 40 Mio. Tonnen ansteigen wird, muss effizient gemanagt werden, um die Umweltauswirkungen zu verringern. In der Geflügelhaltung erweist sich die Futtermittelproduktion als besonders klimaintensiv, wobei die Produktion von Futtermittelbestandteilen die größten negativen Auswirkungen auf die Umwelt hat (Bengtsson und Seddon, 2013; González-García et al., 2014; López-Andrés et al., 2018). Angesichts dieser erheblichen Auswirkungen besteht die Notwendigkeit, nachhaltigere Methoden der Futtermittelproduktion und -verwendung zu erforschen und die Futterverwertung (Feed Conversion Efficiency, FCE) von Geflügelarten zu verbessern.

Ein möglicher Weg zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Effizienz in der Geflügelproduktion ist die Erforschung alternativer Proteinquellen. In den letzten Jahren haben sich Insekten aufgrund ihrer hohen Futterverwertungseffizienz, ihrer Fähigkeit, Restströme als Substrate zu nutzen, und ihres geringen Flächenbedarfs als vielversprechende Alternative erwiesen (Halloran et al., 2014; Oonincx und de Boer, 2012; van Huis et al., 2013). Unter den essbaren Insekten haben die Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL) aufgrund ihres günstigen Nährwertprofils und ihrer einfachen Kultivierung in der Lebensmittel- und Futtermittelbranche an Bedeutung gewonnen (Alvarez, 2012; El-Hack et al., 2020). Die Beimischung von BSFL in Geflügelfutter hat sich als vielversprechend erwiesen, um die Fleischqualität zu erhalten und den Tierschutz zu verbessern (Dzepe et al., 2021; Pieterse et al., 2019; Schiavone et al., 2019).

Trotz der potenziellen Vorteile gibt es nach wie vor Lücken im Verständnis der allgemeinen Nachhaltigkeit und Effizienz der Integration von Insekten in Geflügelproduktionssysteme. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, diese Lücken durch eine vergleichende Ökobilanz der Proteinkonversionseffizienz (PCE) in zwei Geflügelproteinproduktionssystemen zu schließen: Legehennen und Masthähnchen. Durch die Bewertung der Auswirkungen der Integration von Insekten auf die Nachhaltigkeit und die Effizienz soll diese Forschung Erkenntnisse zur Optimierung der Geflügelproteinproduktion bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltauswirkungen liefern.

3. Materialien und Methoden

3.1.1 Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionale Einheit der literaturbasierten Forschung

Als Teil der Literaturübersicht, die im Rahmen der Vorbereitung für die experimentelle LCA durchgeführt wurde und als Teil der Definition des Ziels und Umfangs des Poultrynsect-Projekts, wurde eine Überprüfung der Umweltverträglichkeit der Produktion von Hühnerprotein durchgeführt. Da Hühnerprotein für die menschliche Ernährung in zwei verschiedenen Produkten hergestellt werden kann, Hühnerfleisch und Hühnereier, wurde die Umweltauswirkung und Effizienz der beiden Arten der Hühnerproteinproduktion bewertet. Zusätzlich wurde die Einführung von Larven der schwarzen Soldatenfliege, die mit zwei verschiedenen Futtermitteln gefüttert wurden, bei der Hühnerernährung berücksichtigt.

Die Analyse der Proteinkonversionseffizienz basierte auf dem Modell der Proteinumwandlung, welches 1 t zugeführtes Futterprotein pro umgewandeltes essbares Biomasseprotein (Eier und Fleisch) berechnete. Dabei wurde angenommen, dass das Fleisch von Legehennen auf die gleiche Weise verwendet wird wie das von Broilern. Für das alternative Insektenszenario wurden 100 kg Futterprotein durch BSFL ersetzt. Da nicht nur in der Geflügel-, sondern auch in der Insektenproduktion das Futter den größten Einfluss auf die Nachhaltigkeit hat, wurden zwei verschiedene Futtermittel für die Insektenproduktion verglichen. Neben der Gainesville-Diät (GVD) bestand das andere Futtermittel aus Obst- und Gemüsenebenströme (FVW). Die LCA wurde mit einem modularen und attributiven Ansatz entwickelt. Die zugrunde liegenden Daten wurden mit der Software SimaPro 8.5.2.0 (PR´e Sustainability B.V., Amersfoort, Niederlande) berechnet und folgten dem Standard-LCA-Ansatz (ISO 14,040, 2006 und ISO 14,044, 2006). Hintergrunddaten stammten aus der ecoinvent 3.4 (ecoinvent, Zürich, Schweiz) und Agri-footprint 4.0 (Blonk Consultants, Gouda, Niederlande) Datenbank. Die Methodik der Wirkungsabschätzung war IMPACT 2002+.

Für die Bewertung des Proteingehalts von Eiern und Fleisch wurden zwei funktionelle Einheiten berücksichtigt. Die erste funktionale Einheit (FU1) - Proteinkonversionsverhältnis, zielte darauf ab, die Menge an Geflügelprotein zu bewerten, die von einer bestimmten Masse an Futterprotein produziert wurde. In dieser Studie wurde eine Zufuhr von 1 t Futterprotein angenommen. Zur weiteren Bewertung der Nachhaltigkeit wurde eine zweite funktionale Einheit (FU2) berücksichtigt, die die Produktion von 1 kg Geflügelprotein schätzt.

Diese Studie folgte der Perspektive von der Wiege bis zum Schlachthof (oder dem Tor der Eierproduktion) einschließlich der Restbehandlungen und daher mit Berücksichtigung der gesamten Kette der Geflügelproduktion. Die Hauptsysteme umfassten die Futterproduktion, die Brüterei, die Geflügel- und Eiproduktion sowie das Schlachthaus.

Die in dieser Studie verwendeten Daten basierten auf Literatur. Hauptsächlich wurde Dekker et al. (2011) (Niederlande) für die Produktion von Legehennen und Gonzalez-García et al. (2014) (Portugal) für die Broileraufzucht verwendet. Spykman et al. (2021) diente als Grundlage für die Insektenproduktion.

Die Zuordnung erfolgte anhand wirtschaftlicher Werte und der Masse, die in dem entsprechenden Modul produziert wurde. Dabei wurden Nebenprodukte wie Mist in der Geflügelproduktion, Insektendünger (Fraß) in der Insektenproduktion, organische Schlachthofnebenströme sowie Eier und Fleisch für das Modul der Legehennenproduktion berücksichtigt.

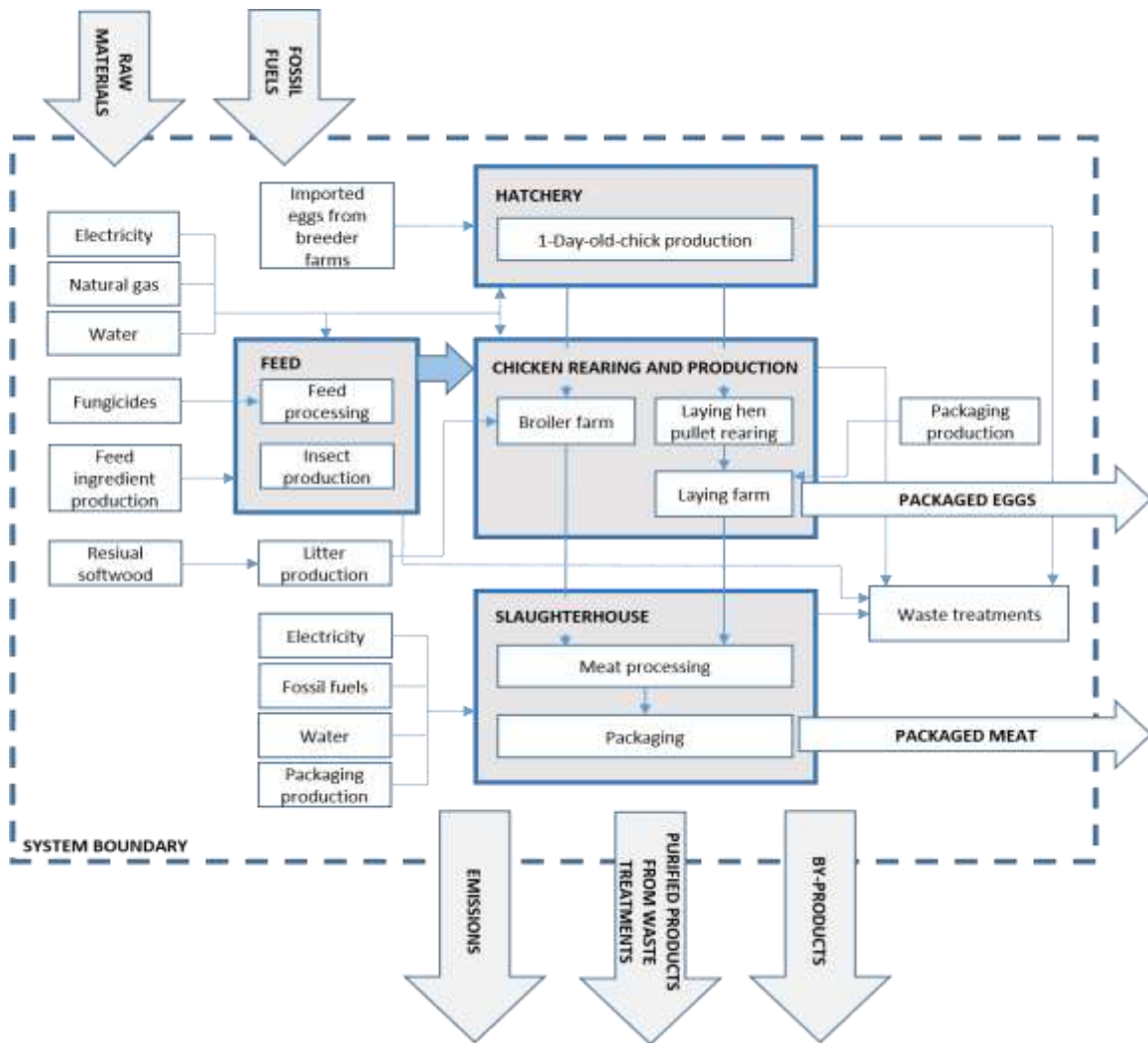


Abbildung 1: Systemgrenzen der Studie, die die Hauptprozesse, Hintergrundprozesse sowie Ein- und Ausgangsflüsse darstellt, sowie verpackte Eier und verpacktes Fleisch als Hauptausgangprodukte.

3.1.2 Inventar

Das System wurde wie folgt modelliert: Broilermasthühner wurden vom Schlupftag bis zu ihrem 34. Lebenstag in Stallhaltung gehalten, um an Gewicht zuzulegen. Bei der Legehennenproduktion wurden die Hennen nach dem Schlüpfen zurück in die Aufzuchtbetriebe verbracht. Die Junghennen wurden 18 Wochen lang bis zur Geschlechtsreife gehalten und dann zu den Eiproduktionsbetrieben transportiert. 77 Wochen nach dem Schlüpfen wurden die Legehennen geschlachtet. Eine Henne legt während ihres Lebenszyklus 338 Eier mit einem Gewicht von ca. 60 g pro Ei. Der im Legehennen- und Broilermastbetrieb anfallende Mist wurde als Dünger verkauft.

Es wurde davon ausgegangen, dass unterschiedliche Futtermittel für die Legehennen- und Broilermastproduktion verwendet werden. Das Legehennenfutter besteht aus 14,68% Rohprotein (auf Trockenmassebasis) und das Junghennenfutter aus 13,9%. Das Broilermastfutter besteht aus 19,93% Rohprotein. Die jeweilige Futtermenge pro Lebenszyklus eines Vogels beträgt 5,3 kg pro Junghenne (0,31 kg pro Woche), 42 kg pro Legehenne (0,7 kg pro Woche) und 2,9 kg pro Broiler (0,58 kg pro Woche). Broilermasthühner erreichen ein Endgewicht von 1,70 kg und Legehennen von 1,72

kg. Bei der Insektenproduktion wurden Schwarzsoldatenfliegenlarven (BSFL) mit Gainesville-Diät (50% Weizenkleie, 30% Luzerne, 20% Maismehl) bis zu ihrem fünften Lebenstag aufgezogen. Danach wurden 3,5% der Larven zur Erhaltung der Zuchtlinie behalten. Die verbleibenden Larven wurden mit Gainesville-Diät oder Obst- und Gemüsenebenströmen gemästet. Da Obst- und Gemüsenebenströme Reste sind, wurde keine Umweltbelastung für die Produktion berücksichtigt.

Alle Module werden schließlich durch Skalierungsfaktoren für die Verwendung von 1 t Futterprotein zusammengesetzt. Basierend auf dem Geflügelfutterverbrauch und dem Proteingehalt des Futters wurde die Anzahl der Vögel, die 1 t Futterprotein aufnehmen können, berechnet. Dies ergab insgesamt 144 Legehennen und 1730 Broilermasthühner. Anhand des Fleischzuwachses, des Eierertrags und des jeweiligen Proteingehalts wurde die Menge des Endprodukts berechnet. Hühnerfleisch besteht aus 22% und Eier aus 13% Rohprotein.

Zur Bewertung der Proteinkonversionseffizienz wurden in der Legehennenproduktion Ei- und Fleischprotein zusammengefasst. Aufgrund unterschiedlicher Proteinqualitäten ist der direkte Vergleich der beiden Geflügelproduktionen nicht angemessen. Daher sollte die produzierte Proteinmenge um die Proteinqualität erweitert werden. Die Qualität von Proteinen kann durch verschiedene Methoden bestimmt werden. Seit 2013 empfiehlt die FAO die Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) als bevorzugte Methode. Ein DIAAS von 116,4% wird dem gesamten Hühnerei und 108,2% für Hühnerhaut und Fleisch zugeordnet (Ertl et al., 2016), was darauf hinweist, dass die Proteinqualität von Hühnerfleisch etwas niedriger ist als die von Hühnerei.

3.1.3 Umfang und Funktionalität der Bewertung der experimentellen Ergebnisse

Die Nachhaltigkeitsbewertung des experimentellen Poultrysect-Systems, das im Rahmen des Projekts entwickelt wurde, basierte überwiegend auf den Informationen, die von den Projektpartnern erhalten wurden. Dazu gehören die Produktion von schwarzen Soldatenfliegenlarven, die mit Standard-Bio-Hühnerfutter gefüttert wurden, und der innerhalb des Projekts durchgeführte In-vivo-Hühnertest. Es wurden zwei verschiedene Fütterungsversuche an einer lokalen italienischen Hühnerrasse, Label Naked Neck, durchgeführt. Die erste Gruppe wurde mit 90% kommerziellem Futter und 10% Insektenersatz, der aus den *Hermetia illucens*-Larven, auch als Schwarzsoldatenfliegenlarven (BSFL) bekannt, bestand. Die zweite Gruppe wurde vollständig mit kommerziellem Futter aufgezogen und diente als Kontrollgruppe. Innerhalb jeder Gruppe wurden die Unterschiede zwischen den Geschlechtern genau verfolgt. Die Daten wurden teilweise durch Daten aus der Literatur erweitert. Die Systemgrenzen, die während der gesamten Nachhaltigkeitsbewertung verwendet wurden, nahmen eine Perspektive von der Wiege bis zum Schlachthof mit Erweiterungen der Restbehandlungen ein und berücksichtigten daher die gesamte Kette der Geflügelproduktion. Die Hauptsysteme umfassten die Futterproduktion, die Larvenproduktion, die Brüterei, die Geflügelproduktion und das Schlachthaus. Die funktionale Einheit über die

Nachhaltigkeitsbewertung hinweg war 1 kg verpacktes, fertig zum Kochen geeignetes Hühnerkarkasse. Die Grenzen der Bewertung sind schematisch dargestellt (Abb. 2, 3).

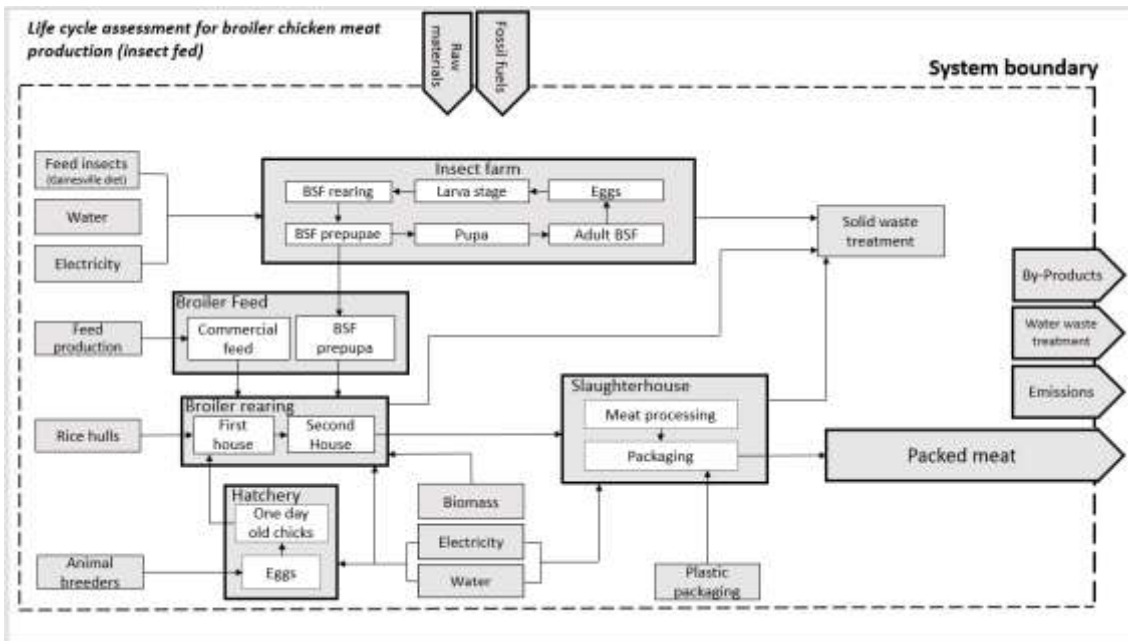


Abbildung 2: Systemgrenzen der Nachhaltigkeitsanalyse des Systems mit der Integration von Insekten in der Hühnerfutterdiät

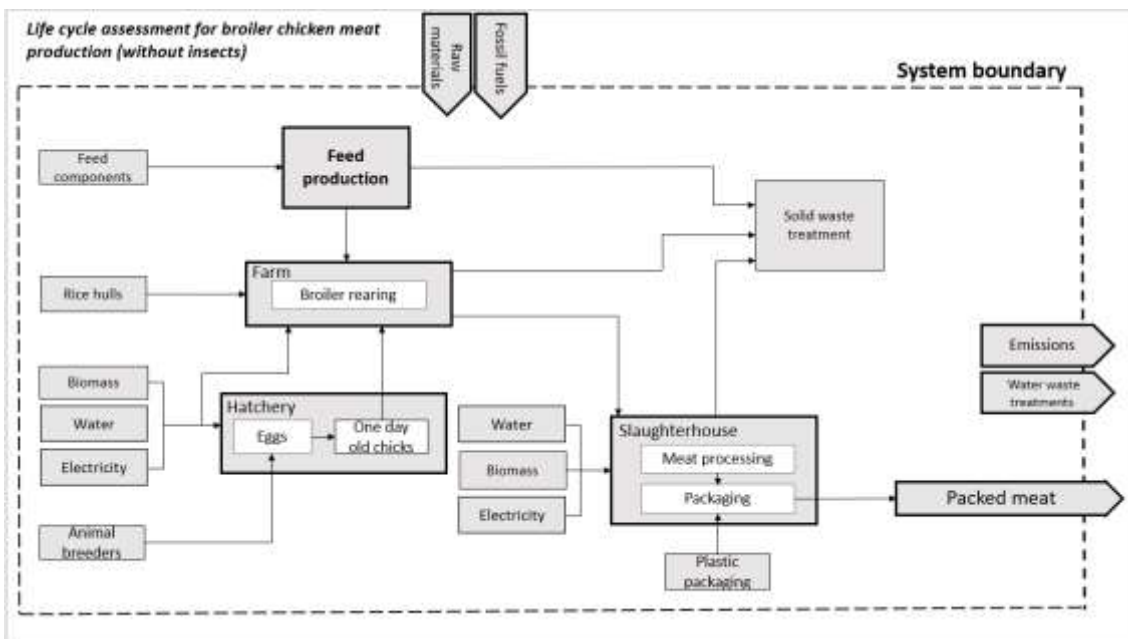


Abbildung 3: Systemgrenzen der Nachhaltigkeitsanalyse des Systems ohne Integration von Insekten in der Hühnerfutterdiät

3.2.1 Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionelle Einheit der experimentellen Forschung

Das Hauptziel der Bewertung war der Vergleich der Umweltauswirkungen von Bio-produziertem Hühnerfleisch und Bio-produziertem Hühnerfleisch mit einem Anteil von 10% schwarzen Soldatenfliegenlarven (BSFL) in der Ernährung. Die modulare und attributive LCA wurde entwickelt, um einen strukturierten und quantitativen Ansatz zu gewährleisten. Die zugrunde liegenden Daten wurden mit der Software SimaPro 8.5.2.0 (PR´e Sustainability B.V., Amersfoort, Niederlande) berechnet und folgten dem Standard-LCA-Ansatz (ISO 14040, 2006 und ISO 14044, 2006). Hintergrunddaten stammten aus den Datenbanken ecoinvent 3.4 (ecoinvent, Zürich, Schweiz) und Agri-footprint 4.0 (Blonk Consultants, Gouda, Niederlande). Die Methodik der Wirkungsabschätzung des Lebenszyklus war IMPACT 2002+. Diese Methode stellt einen praktikablen Ansatz für eine Midpoint-/Schadensbewertung dar, welcher integrierte Einzelpunktwerte zeigen kann. Hintergrundprozesse wie Elektrizität oder die Produktion von Einstreu waren in den Systemgrenzen enthalten. Alle Restströme wurden durch relevante Restbehandlungen behandelt. Die Grenzen der Bewertung sind schematisch dargestellt.

Während die erste funktionelle Einheit 1 kg verpacktes, fertig zum Kochen geeignetes Hühnerkarkasse war, wurde 1 kg Futtermittel als zweite funktionelle Einheit eingeführt, um eine verbesserte Datenverwaltung in SimaPro zu ermöglichen.

Die in dieser Studie verwendeten Daten basierten auf Literaturquellen und experimentellen Daten aus der Hühneraufzuchtanlage der UNITO und der Insektenaufzuchtanlage des INAGRO. Die Hauptliteraturquelle für die Hühnerdaten war (González-García, et al., 2014) und für die Insektenproduktion (Spykman, et al., 2021). Da die Hühnerproduktion in Italien stattfand, wurden die Hintergrunddaten an Italien angepasst. Diese Forschung berücksichtigte jedoch keine Transportwege, Investitionsgüter und Reinigungsmittel.

Bei der Analyse wurden Midpoint-- und Schadenskategorien sowie Einzelpunktwerte verwendet. Ionisierende Strahlung, die aquatischen Kategorien und die Ozonschichtabnahme wurden als nicht widerstandsfähige Umweltkategorien eingestuft und daher von zukünftigen Analysen und Ergebnissen ausgeschlossen. Die bewerteten Kategorien umfassten Karzinogene (C), Nicht-Karzinogene (NC), respiratorische Anorganika (RIO), terrestrische Ökotoxizität (TE), terrestrische Versauerung/Nitrifikation (TA), Landbesetzung (LO), Treibhausgasemissionen (GWP) und nicht erneuerbare Energie (NRE).

Gemäß des attributiven Ansatzes werden Nebenströme in der Wertschöpfungskette mit einer relevanten Umweltbelastung zugewiesen. Dies wurde auf der Grundlage von wirtschaftlichen Werten und der Masse, die im entsprechenden Modul produziert wurde, erreicht.

3.2.2 Inventar

Die Eier für die Hühner wurden zur Brutstätte für eine Brutdauer gebracht. Nach dem Schlüpfen wurden die Hühner in die erste Aufzuchteinrichtung für 20 Tage überführt, in der sie unter speziellen Bedingungen aufgezogen wurden. In dieser Einrichtung wurden 240 kg Reishülsen verwendet und ein Lichtprogramm wurde eingerichtet. Am ersten Tag wurden 23 Stunden Licht und 1 Stunde Dunkelheit übernommen, dann wurde die Zeitspanne auf 18 Stunden Licht und 6 Stunden Dunkelheit an 5 Tagen reduziert. Schließlich wurde das Licht jede Woche um 3 Stunden pro Tag reduziert und erreichte nach

21 Tagen 12 Stunden Licht und 12 Stunden Dunkelheit, was den natürlichen Photoperioden ähnlich ist. Die Temperatur betrug in den ersten 4 Tagen 30°C und wurde dann allmählich reduziert, um am 20. Tag schließlich 20°C zu erreichen, was der Außentemperatur ähnlich ist. Insgesamt funktionierte das Heizsystem 2 Wochen lang.

Danach wurden die Hühner in das zweite Gebäude überführt. In dieser Einrichtung wurden 2400 kg Reishülsen (wird zur Abdeckung des Bodens als Deckuntergrund benötigt) verwendet: 100 kg pro Gruppe. Die Tiere wurden in Gruppen gehalten a 10 Tiere mit 2,2x3,5m Platz zur Verfügung. In diesem Gebäude wurde nur Tageslicht genutzt und es gab kein Heizsystem.

Am 81. Tag sind die Broiler geschlachtet worden. Das letzte Lebendgewicht war bei den ergänzten Vögeln im Vergleich zu den Kontrollen geringfügig höher (2372,72 g vs. 2340,60 g).

Die Futterration bestand aus zwei Futtermitteln. Das Startfutter war Pollo Uno und wurde den Hühnern bis zum 35. Tag gegeben. Vom 35. bis zum 81. Tag wurden die Hühner mit dem zweiten Futter, Pollo Plus, gefüttert. Pollo Uno war das Startfutter und enthielt größere Mengen an Aminosäuren, weil die Küken in den ersten Tagen ihres Lebens mehr Proteine und größere Mengen einiger Nährstoffe wie Calcium und Phosphor benötigen. In diesem Zeitraum wurden den Hühnern insgesamt 539,6 g BSF-Larven pro Vogel (weiblich und männlich) verabreicht. Das Bio-Futter, das sie konsumierten, war biologisch und die Gesamtmenge an verbrauchtem Futter betrug:

g	Treatment
398500	CM
381495	LM
306280	CF
310295	LF

Pollo Plus wurde für die verbleibenden Tage bis zum 81. Tag verwendet. Das Futter wurde von Verzuolo Biomangimi hergestellt. Das erste Futter, Pollo Uno (Tabelle 1), ist reich an Aminosäuren und enthält mehr Calcium als Pollo Plus. Der größte Anteil an Proteinen stammt aus Sojabohnenmehl und Sojabohnenöl, während Alfalfamehl und Sonnenblumenkerne reich an Ballaststoffen sind.

Tabelle 1 Pollo Uno, Zusammensetzung

Properties, Pollo Uno

- Crude fiber: 5.85%
- Crude ash: 7.81%
- Crude protein: 22.92%
- Crude fats: 6.19%
- Humidity: 9.56%

Quantities:

- Lysine 11.47g
- Methionine 3.72g
- Phosphorus 7.10g
- Calcium 14.10g
- Sodium 1.98g

Tabelle 2 Pollo Uno, Inhaltsstoffe

Pollo Uno (1-34days)	Quantities	Crude protein	Crude fiber
Maize	430	9.4%	2.5%
Soybean meal	200	55.2%	4.4%
Sunflower panel	75	32.4%	27.9%

Peas	110	23.9%	6%
Corn gluten	80	21.7%	8.3%
Alfalfa flour	15	18.3%	28.6%
Dicalcium phosphate	2	/	/
Calcium carbonate	30	/	/
Soybean oil	20	47%	6.4%
Sodium chloride	3	/	/
Sodium bicarbonate	1	/	/
Potato starch	34	0.8%	0.2%

Das zweite Futter, Pollo Plus (Tabelle 3), hat eine geringere Menge an Aminosäuren, und ebenso wie bei Pollo Uno stammen die Proteine hauptsächlich aus Sojabohnenmehl und Sojabohnenöl, während die Hauptquelle für Ballaststoffe Alfalfamehl und Sonnenblumenkerne sind.

Tabelle 3 Pollo Plus Zusammensetzung

Percentages (Pollo Plus)

- Crude fiber: 6.26%
- Crude ash: 6.22%
- Crude protein: 20.52%
- Crude fats: 5.12%
- Humidity: 9.90%

Quantities

- Lysine 9.16g
- Methionine 3.60g
- Phosphorus 5.36g
- Calcium 10.65g
- Sodium 1.71g

Tabelle 4 Pollo Plus, Inhaltsstoffe

Pollo Plus (1-34days)	Quantities	Crude protein	Crude fiber
Maize	509	9.4%	2.5%
Soybean meal	150	55.2%	4.4%
Sunflower panel	80	32.4%	27.9%
Peas	130	23.9%	6%
Corn gluten	80	21.7%	8.3%
Alfalfa flour	25	18.3%	28.6%
Dicalcium phosphate	2	/	/
Calcium carbonate	20	/	/
Sodium chloride	3	/	/
Sodium bicarbonate	1	/	/

Die Daten für die Eingänge und Ausgänge der Futterproduktion stammen von (González-García, et al., 2014). Die funktionelle Einheit für die Futtermittelproduktion beträgt 1 kg Futter.

3.3.1 Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionale Einheit der Lebenszykluskosten

Das Hauptziel der Untersuchung bestand darin, die ökonomischen Auswirkungen von Bio-erzeugtem Hühnerfleisch und Bio-erzeugtem Hühnerfleisch mit einem Anteil von 10% Schwarzsoldatenfliegenlarven (BSFL) in der Ernährung zu vergleichen. Diese Lebenszykluskosten- (LCC)-Studie folgte den zuvor festgelegten und erläuterten Systemgrenzen. Innerhalb der definierten Grenzen wurde besonderes Augenmerk auf die Produktionskosten der Insektenzucht gelegt. Die gleiche funktionelle Einheit wie zuvor wurde ebenfalls verwendet. Kosten für Hintergrundprozesse wie Strom oder Streuproduktion waren in den Systemgrenzen enthalten. Restströme wurden durch entsprechende Restbehandlungen behandelt, und die Kosten der Behandlungen orientierten sich am Marktpreis.

Die Bewertung stützte sich hauptsächlich auf die von Märkten und teilweise von Projektpartnern gesammelten Informationen. Der Umfang der Studie umfasste die Betriebskosten des Broilerbetriebs, der identisch mit dem experimentellen Hühnerbetrieb war; der Gewinn des Geflügelzuchtunternehmens wurde nicht in die Analyse einbezogen. Die modellierte Insektenfarm war ebenfalls identisch mit der im Projekt verwendeten, wobei auch ihr Gewinn von der Analyse ausgeschlossen wurde. Es sei erwähnt, dass während des Projektzeitraums die Preisschwankungen sowie die Inflation sehr hoch und teilweise extrem waren. Dies hat die Preiserfassung verlängert und teilweise beeinträchtigt. Es könnte auch argumentiert werden, dass dies die Ergebnisse der Studie sowie deren Relevanz und Wiederholbarkeit beeinflusst hat: Die Preise sind immer noch volatil und es ist schwierig, ihre weiteren Veränderungen zuverlässig vorherzusagen oder sogar anzunehmen.

Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern wurden genau verfolgt. Da die Hühnerproduktion in Italien stattfand, wurden die Parameter an Italien angepasst und, wenn möglich, speziell an die Region Piemont.

3.3.2 Bestandsaufnahme der Lebenszykluskosten

Die Bewertung begann mit den 1 Tag alten Küken, für die angenommen wurde, dass sie den durchschnittlichen Preis für die organischen Hühnerrassen erhielten. Im ersten Aufzuchtbetrieb verbrachten die Hühner 20 Tage, in denen sie unter besonderen Bedingungen aufgezogen wurden. Nach den ersten 20 Tagen wurden die Hühner in das zweite Gebäude überführt. In diesem Gebäude wurde nur natürliches Licht verwendet und es gab kein Heizsystem.

Andererseits wurden BSFL in einem 4-stufigen Kreisprozess hergestellt, mit Erweiterung für die Aufzucht der Erwachsenen und die Verarbeitung von Restströmen. Etwa 30.000 Neugeborene wurden pro 1g BSF-Eiern produziert, und im nächsten Schritt wurden etwa 48.000 Larven aus 1 g Neugeborenen produziert. Um 48.000 Larven zu züchten, wurden 300 g trockenes Gainesville-Futtermittel, entsprechend 1 kg feuchtem Futter, verwendet. Von den Larven wurden etwa 99% als Zusatzfutter für das Huhn verwendet, während die restlichen 1% verwendet wurden, um die erwachsenen Fliegen zu züchten und den Kreislauf zu wiederholen.

Um 1 kg fertiges Hühnerkarkassenfleisch aus den mit BSFL gefütterten männlichen Hühnern herzustellen, wurden ungefähr 3798 g Futter und 316,9 g Larven benötigt. Um 1 kg Hühnerfleisch aus der mit BSFL gefütterten weiblichen Gruppe herzustellen, wurde dieselbe Menge an BSF-Larven verwendet, jedoch gekoppelt mit 3089 g Futter, einer deutlich geringeren Menge. Das gleiche Muster war bei den Bio-gefütterten Hühnern noch ausgeprägter. Die männlichen Bio-gefütterten Hühner

verbrauchten 4022,7 g Futter pro 1 kg produziertem Hühnerfleisch, während die weiblichen Bio-gefütterten Hühner 3091,8 g konventionelles Futter pro 1 kg Hühnerfleisch verbrauchten. Interessanterweise verbrauchten die weiblichen Hühner nur etwa 3 g mehr Futter als die mit BSFL gefütterten Hühner, was offensichtlich nicht den fehlenden Insekten entsprach. Auch der Unterschied im Futterverbrauch zwischen den Männchen und Weibchen ist auf den Geschlechtsunterschied zurückzuführen und führt dazu, dass das Endgewicht der Männchen höher ist als das der Weibchen.

Nach 81 Tagen wurden die Hühner zum Schlachthof gebracht und getötet. Alle Karkassen der für experimentelle Zwecke geschlachteten Vögel wurden nach den Proben weggeworfen.

Das letzte durchschnittliche Lebendgewicht war bei den ergänzten Hühnern nur geringfügig höher als bei den Kontrollen (2372,72 g vs. 2340,60 g). Die Schlachtgewichte, für die mit BSFL ergänzten Vögel, betragen 2044 g (weibliche Vögel) und 2838 g (männlich), während die Hühner, die nur mit kommerziell biologischem Futter gefüttert wurden, 2026 g (weiblich) und 2820 g (männlich) erreichten.

3.4 Verbraucherforschung

Ein 36 Fragen umfassender Fragebogen wurde zusammengestellt, übersetzt und an Befragte in Deutschland, Norwegen und Belgien gesendet. Der Fragebogen bestand aus einer Kombination offener Fragen und Multiple-Choice-Fragen und zielte darauf ab, die Einstellung der Verbraucher zum Verzehr von Geflügel, Bio-Geflügel und Bio-Geflügel, das mit Insektenlarven gefüttert wird, aufzudecken. Zwischen Juli und September 2023 füllten jeweils 500 Befragte in jedem der Länder die digitalen Fragebögen aus.

3.5.1 Ziel, Umfang, Systemgrenzen und funktionelle Einheit der sozialen Lebenszyklusanalyse

Das Hauptziel der Untersuchung bestand darin, die soziale Nachhaltigkeit von organischem Hühnerfleisch mit einem Anteil von 10% Schwarzsoldatenfliegenlarven (BSFL) in der Ernährung mit dem Bio-erzeugten Biofleisch zu vergleichen.

Diese soziale Lebenszyklusanalyse (SLCA) folgte den zuvor festgelegten und erläuterten Systemgrenzen. Innerhalb der definierten Grenzen wurde besonderes Augenmerk auf die sozialen Auswirkungen der Insektenzucht gelegt. Darüber hinaus wurde die Automatisierung als eine wahrscheinliche Innovation identifiziert, die sowohl in der Hühner- als auch in der Insektenzucht stattfinden wird und die die soziale Nachhaltigkeit des Systems beeinflussen wird, berücksichtigt. Die gleiche funktionelle Einheit wie zuvor wurde verwendet.

Die Bewertung basierte auf den Informationen, die von den Projektpartnern und dem Markt gesammelt wurden, kombiniert mit Informationen aus der Literatur. Der Umfang der Studie umfasste die Bewertung des Broilerbetriebs, der identisch mit dem experimentellen Hühnerbetrieb war, und der Insektenfarm, die identisch mit dem experimentellen Betrieb war. Der Schwerpunkt lag auf den Veränderungen, die durch die Einführung von lebenden BSFL in die Hühnerdiät eingeführt werden würden. Da die Hühnerproduktion in Italien stattfand, wurden die Parameter an Italien und, wenn möglich, speziell an die Region Piemont angepasst.

Die Methodik basierte größtenteils auf der Forschung von Pelletier, N. (2018). Angesichts der Größe, sowohl des Hühner- als auch des Insektenbetriebs, wurde ihre Relevanz für die breitere Gesellschaft hinterfragt und die Arbeiter wurden als entscheidende Interessengruppen für die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit identifiziert. Basierend auf der Klassifizierung der sozialen Risiken in der vorgestellten Arbeit wurde ein Bewertungssystem für das sozial riskante Verhalten von Arbeitgebern wie folgt entwickelt:

5 – Nicht bewertet (fragwürdige Quellen)

4 – Risikoreich

3 – Konform

2 – Proaktiv

1 – Engagiert

Aus dem Obigen wird ersichtlich, dass je niedriger die Note ausfällt, desto geringer ist auch das soziale Risiko (und desto höher die soziale Nachhaltigkeit). Das Potenzial für faire Löhne wurde nach Neugebauer, S. et al. (2016) berechnet.

3.5.2 Inventar der sozialen Lebenszyklusanalyse

Die Besonderheiten des aktuellen Produktionsflusses, der Bemühungen, Risiken und der sozialen Sicherheit wurden von den Partnern gesammelt. Da die Bedeutung der Automatisierung identifiziert wurde, wurden die Daten zur Automatisierung vom Markt und insbesondere von den Maschinenherstellern gesammelt. Es wurde angenommen, dass die Automatisierung die negativen Gesundheitsauswirkungen (insbesondere allergische Reaktionen) sowohl bei Hühner- als auch bei Insektenzüchtern verringern würde. Dies gilt insbesondere für die Insektenproduktion, die sich noch in den frühen Stadien der Produktionsentwicklung befindet. Viele Abläufe werden noch manuell durchgeführt, was die Gesundheitsrisiken erhöht, aber auch das Potenzial für Automatisierung in naher Zukunft.

3.6 Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung

Die integrierte Nachhaltigkeitsbewertung kombiniert Einzelwert-Ergebnisse der Ökobilanz (LCA), Ergebnisse der Produktionskosten der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) und Ergebnisse der sozialen Ökobilanz mit dem Bestreben, einen vereinfachten Überblick über die Nachhaltigkeit des Produktionssystems für Bio-Hühnerfleisch von Poultrynsect zu geben. Da die funktionelle Einheit für die Nachhaltigkeitsbewertungen 1 kg verpacktes, fertig zum Kochen vorbereitetes Hühnerkarkassenfleisch war, bezieht sich die integrierte Bewertung auf die Nachhaltigkeit des produzierten Bio-Hühnerfleischs.

Um die Ergebnisse der verschiedenen Nachhaltigkeitsbewertungen vergleichbar zu machen, wurde die Bewertungsskala der sozialen Ökobilanz auf die Umwelt-Ökobilanz und die Lebenszykluskostenrechnung angewendet. Die Standardisierung der Ergebnisse auf die Skala von 1

bis 5 wurde durchgeführt, so dass 1 die nachhaltigste Option bleibt und 5 die am wenigsten nachhaltige darstellt.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Literaturforschung

Durch die Fütterung von 1 t Futterprotein wurde in der Legehennenproduktion eine Nettomenge von 416,79 kg Protein produziert, was zu einer PCE (Proteinkonversionseffizienz) von 2,4 führte, und in der Broilerproduktion eine Nettomenge von 446,34 kg Protein produziert, was zu einer PCE von 2,24 führte. Daher wird Protein in der Broilerproduktion effizienter umgewandelt. Da das Protein in der Legehennenproduktion jedoch aus Ei- und Fleischprotein besteht, muss auch der Qualitätsunterschied berücksichtigt werden. So wird die berechnete Nettomenge an Protein korrigiert auf 485,15 kg bei der Legehennenproduktion und 482,94 kg bei der Broilerproduktion. Die Proteinkonversionseffizienz beträgt daher korrigiert 2,06 in der Legehennenproduktion und 2,07 in der Broilerproduktion. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden in Tabelle 5 als Mittelkategorien und Einzelwerte für die funktionellen Einheiten FU1 und FU2 präsentiert. Die grafischen Einzelweltergebnisse sind in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

	unit	Midpoint category						unit	Damage category					
		A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
<i>FU1</i>														
Carcinogens	t C ₂ H ₃ Cl eq	0.05	0.048	0.049	0.086	0.081	0.083	Pt	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Non-carcinogens	t C ₂ H ₃ Cl eq	1.19	1.103	2.16	0.58	0.56	0.54	Pt	0.47	0.44	0.427	0.23	0.22	0.21
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq	6.5	6	12	10	10	9	Pt	0.62	0.59	0.579	0.98	0.92	0.91
Terrestrial ecotoxicity	kt TEG soil	2.71	2.53	2.48	1.24	1.22	1.16	Pt	1.56	1.46	1.432	0.71	0.7	0.67
Terrestrial acid/nutri	t SO ₂ eq	0.35	0.34	0.33	0.29	0.28	0.27	Pt	0.03	0.03	0.025	0.02	0.02	0.02
Land occupation	m ² org.arable	10,100	9900	9550	11,200	10,600	10,200	Pt	0.84	0.78	0.759	0.89	0.84	0.81
Global warming	t CO ₂ eq	10.71	10.41	10.65	12.89	12.5	12.74	Pt	1.08	1.05	1.076	1.3	1.26	1.29
Non-renewable energy	GJ primary	45.1	48.1	5.1	5.8	6.15	6.45	Pt	0.3	0.32	0.336	0.38	0.41	0.43
Total single score								Pt	4.92	4.68	4.651	4.55	4.4	4.37
<i>FU2</i>														
Carcinogens	g C ₂ H ₃ Cl eq	121	114	117	118	178	180	μPt	47.6	45.1	46.2	74	70.2	71.2
Non-carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	2.86	2.64	2.6	1.27	1.22	1.17	mPt	1.13	1.04	1.02	0.5	0.48	0.46
Respiratory inorganics	g PM _{2.5} eq	15.1	14.2	14	21.8	20	20	mPt	1.49	1.4	1.39	2.15	2	1.99
Terrestrial ecotoxicity	kt TEG soil	6.49	6.07	5.95	2.7	2.66	2.54	mPt	3.75	3.5	3.43	1.56	1.53	1.47
Terrestrial acid/nutri	g SO ₂ eq	849	803	780	627	609	587	μPt	64.9	61	59.2	47.6	46.2	44.6
Land occupation	m ² org.arable	25.33	23.61	22.88	24.36	23.06	22.38	mPt	2	1.88	1.82	1.94	1.83	1.78
Global warming	kg CO ₂ eq	25.6	25	26	28.2	27.4	27.9	mPt	2.59	2.52	2.52	2.85	2.76	2.81
Non-renewable energy	MJ primary	108.22	115.32	122.44	127.07	135.03	141.53	mPt	0.71	0.252	0.81	0.836	0.889	0.931
Total single score								mPt	11.8	2.52	11.16	9.95	9.63	9.57

Tabelle 5: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung gemäß der IMPACT 2002+ Methode, Vergleich der Szenarien A bis F pro Midpoint- und Schadenskategorie für FU1 und FU2 und Anteil der Module pro Szenario der Einzelwerte; FU1 - Geflügelprotein, das durch die Verwendung von 1 t Futtermittelprotein hergestellt wird; FU2 - Produktion von 1 kg Geflügelprotein; A - konventionelle Legehennenproduktion (LHP); B - LHP mit GVD gefütterten BSFL im Futter; C - LHP mit FVW gefütterten BSFL im Futter; D - konventionelle Broilerproduktion (BP); E - BP mit GVD gefütterten BSFL im Futter; F - BP mit FVW gefütterten BSFL im Futter

Insgesamt ist das konventionelle Szenario der Broilerproduktion (D) signifikant nachhaltiger als das entsprechende Szenario der konventionellen Legehennenproduktion (A). Auch alle Szenarien mit Insektenintegration in der Broilerproduktion (E, F) sind signifikant nachhaltiger als diejenigen der

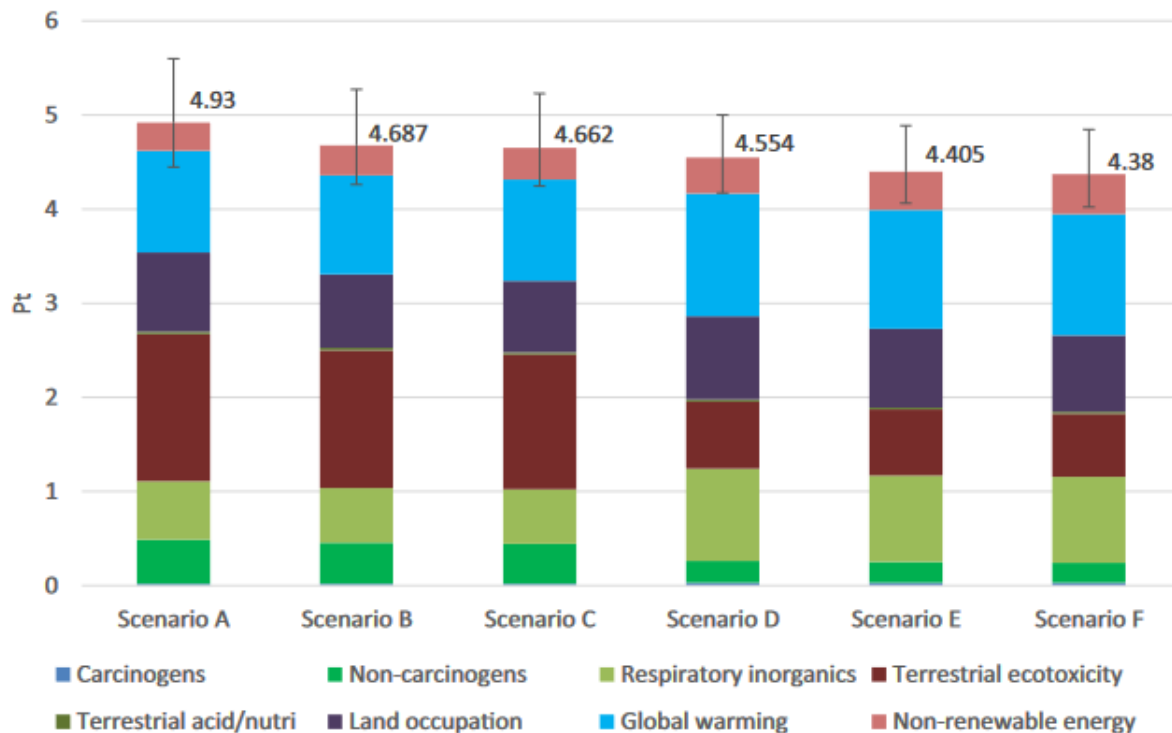
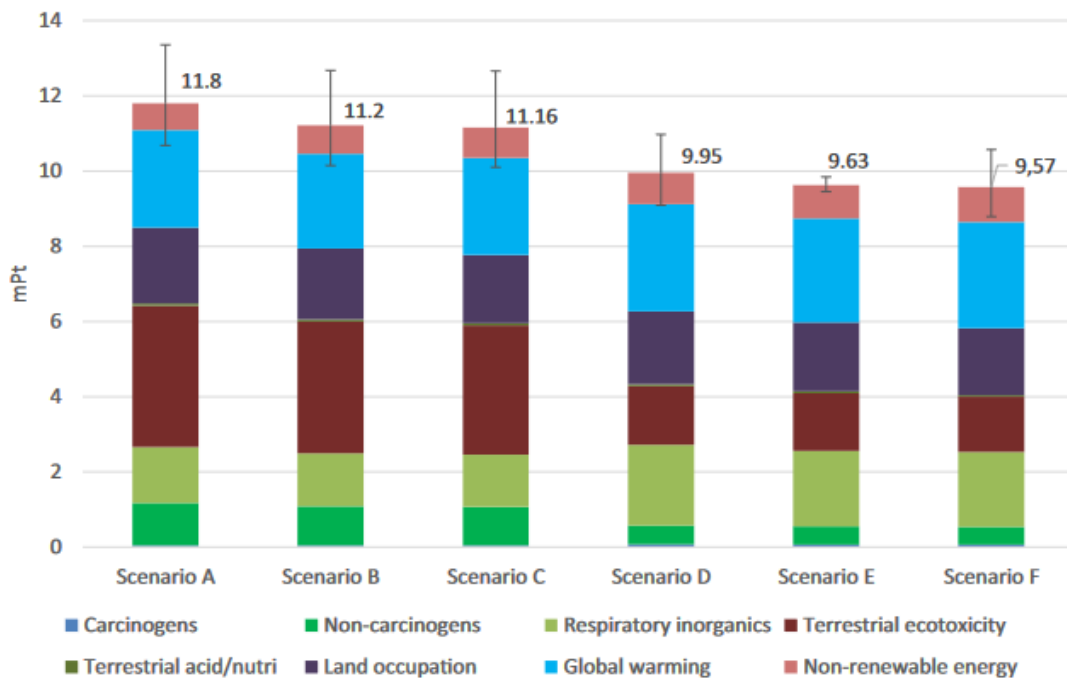


Abbildung 4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für FU1 (Verwendung von 1 t Futtermittelprotein), Vergleich der Szenarien A bis F als Einzelwert in Pt pro Auswirkungskategorie; kPt - durchschnittlicher Umwelteinfluss, verursacht durch eine Person in Europa während eines Jahres; A - konventionelle Legehennenproduktion (LHP); B - LHP mit Gainesville-Diät (GVD) gefütterten Soldatenfliegenlarven (BSFL) im Futter; C - LHP mit Obst- und Gemüseabfallströmen (FVW) gefütterten BSFL im Futter; D - konventionelle Broilernproduktion (BP); E - BP mit GVD gefütterten BSFL im Futter; F - BP mit FVW gefütterten BSFL im Futter

Legehennenproduktion (B, C). Darüber hinaus sind sowohl für Legehennen als auch für Masthähnchen die Szenarien, in denen die BSFL mit FVW gefüttert wurden (C und F), tendenziell die nachhaltigsten pro Produktionssystem, gefolgt von dem Szenario, in dem die BSFL mit GVD gefüttert wurden (B und E). Allerdings ist der Unterschied zwischen den Szenarien B und C sowie zwischen E und F nicht signifikant.

Die Einzelwerte der Legehennenproduktion sind signifikant höher als die der Broilerproduktion. Die konventionelle Broilerproduktion (Szenario D) hat einen um -7,6 % niedrigeren Einzelwert als die konventionelle Legehennenproduktion (Szenario A). Die Verwendung von Gainesville-Diät gefütterten Insektenlarven reduzierte den Umwelteinfluss der Legehennenproduktion um -5 % und BSFL, die mit Obst- und Gemüseabfallströmen gefüttert wurden, um -5,5 %. In der Broilerproduktion reduzierten

BSFL, die mit GVD gefüttert wurden, den Einfluss um -3,3 % und diejenigen, die mit FVW gefüttert wurden, um -3,8 %



5.

Abbildung 5: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für FU2 (1 kg produziertes Hühnerprotein), Vergleich der Szenarien A bis F als Einzelwert in Pt pro Auswirkungskategorie; kPt - durchschnittlicher Umwelteinfluss verursacht durch eine Person in Europa während eines Jahres; A - konventionelle Legehennenproduktion (LHP); B - LHP mit Gainesville-Diät (GVD) gefütterten Soldatenfliegenlarven (BSFL) im Futter; C - LHP mit Obst- und Gemüseabfallströmen (FVW) gefütterten BSFL im Futter; D - konventionelle Broilernproduktion (BP); E - BP mit GVD gefütterten BSFL im Futter; F - BP mit FVW gefütterten BSFL im Futter

4.2 Ergebnisse der experimentellen Forschung

Futteranforderungen

Um 1 kg Hühnerfleisch von männlichen Hühnern zu produzieren, die mit BSF gefüttert wurden, wurde ungefähr 3798 g Futter benötigt, zusammen mit 316,9 g Larven. Um 1 kg Hühnerfleisch aus der Gruppe der weiblichen BSF-gefütterten Hühner zu produzieren, wurde die gleiche Menge an BSF-Larven verwendet, jedoch in Verbindung mit 3089 g Futter, einer signifikant geringeren Menge. Das gleiche Muster wurde bei der Kontrollgruppe beobachtet, die kommerziell gefüttertes Hühnerfleisch erhielt. Die männlichen kommerziell gefütterten Hühner verbrauchten 4022,7 g Futter pro 1 kg produziertem Hühnerfleisch, während die weiblichen kommerziell gefütterten Hühner 3091,8 g kommerzielles Futter pro 1 kg produziertem Hühnerfleisch verzehrten. Interessanterweise verbrauchten weibliche kommerziell gefütterte Hühner nur etwa 3 g kommerzielles Futter mehr als die mit BSFL gefütterten, offensichtlich ohne die fehlenden Insekten zu kompensieren. Auch die Differenz im Futterverbrauch zwischen den männlichen und weiblichen Tieren resultiert aus dem Geschlechtsunterschied und führt dazu, dass das Endgewicht der männlichen Tiere höher ist als das der weiblichen.

Lebenszyklus-Bewertung

Die Endpoint-Ergebnisse (Abbildungen 6 und 7) zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied im Umwelteinfluss von Hühnerfleisch gibt, der durch die Beimischung von 10 % BSFL in die Hühnerernährung eingeführt wird. Die beobachteten Unterschiede können auf den Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern zurückgeführt werden, anstatt auf die Aufnahme von Insekten in die Ernährung. Die Ergebnisse der Midpoint -Auswirkungsbewertung sind in Tabelle 6 und Abbildung 8 ersichtlich. Alle Hühnergruppen zeigten ähnliche Ergebnisse für den gesamten Produktionsprozess. Das Potenzial zur globalen Erwärmung (GWP), Landnutzung (LO) und respiratorische Anorganika (RIO) erreichten die höchsten Werte.

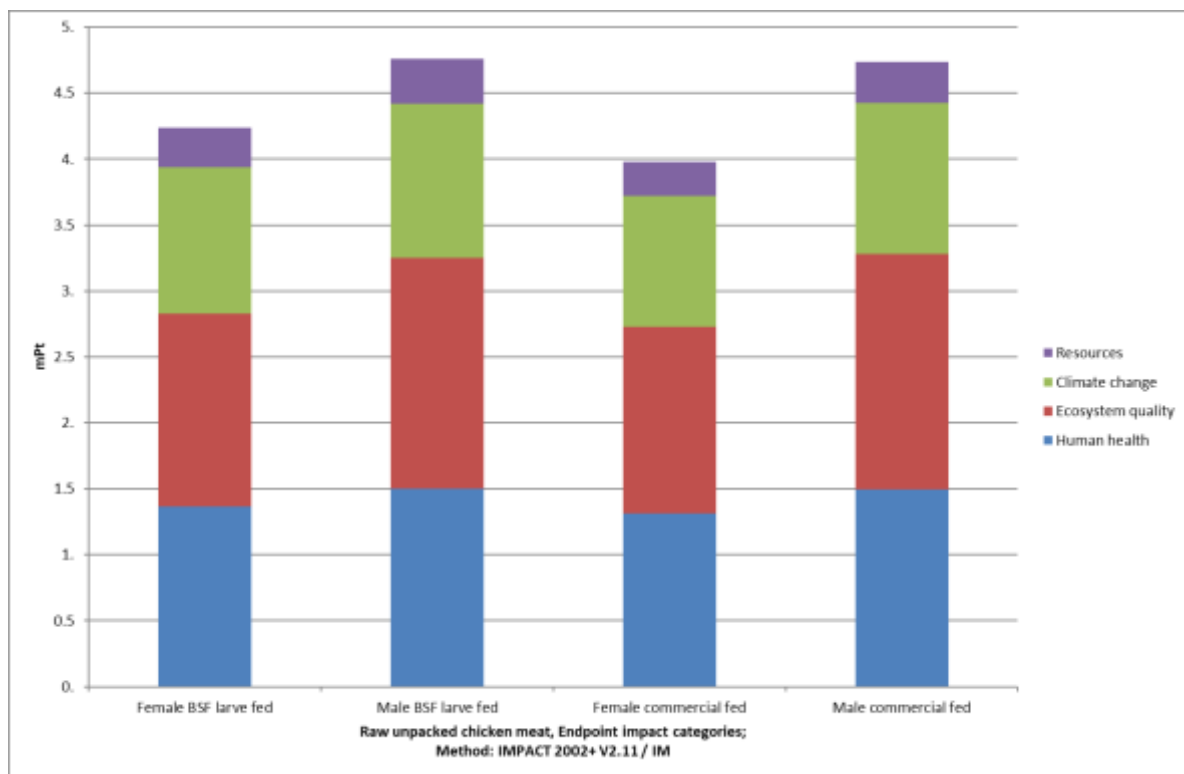


Abbildung 6: Zusammengefasste Endpointauswirkungskategorien von Hühnerfleisch

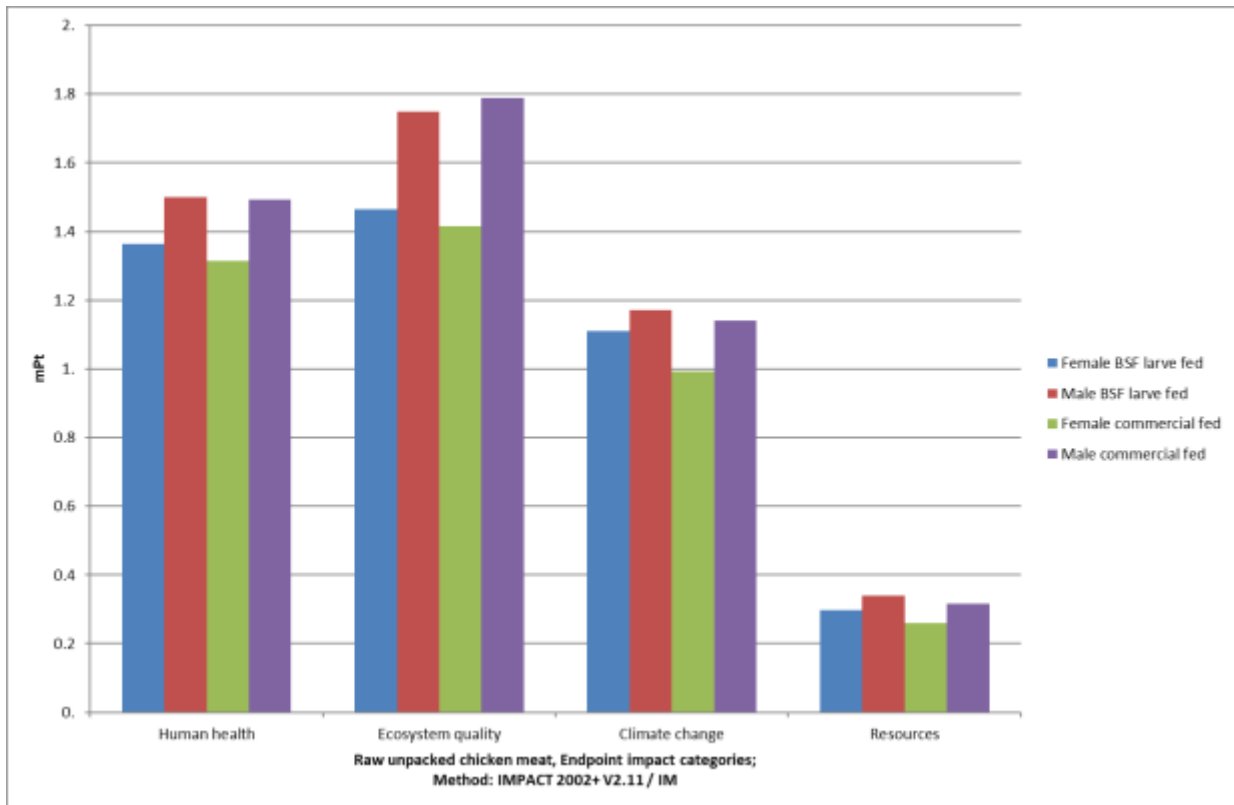


Abbildung 7: Endpointauswirkungskategorien, Hühnerfleisch

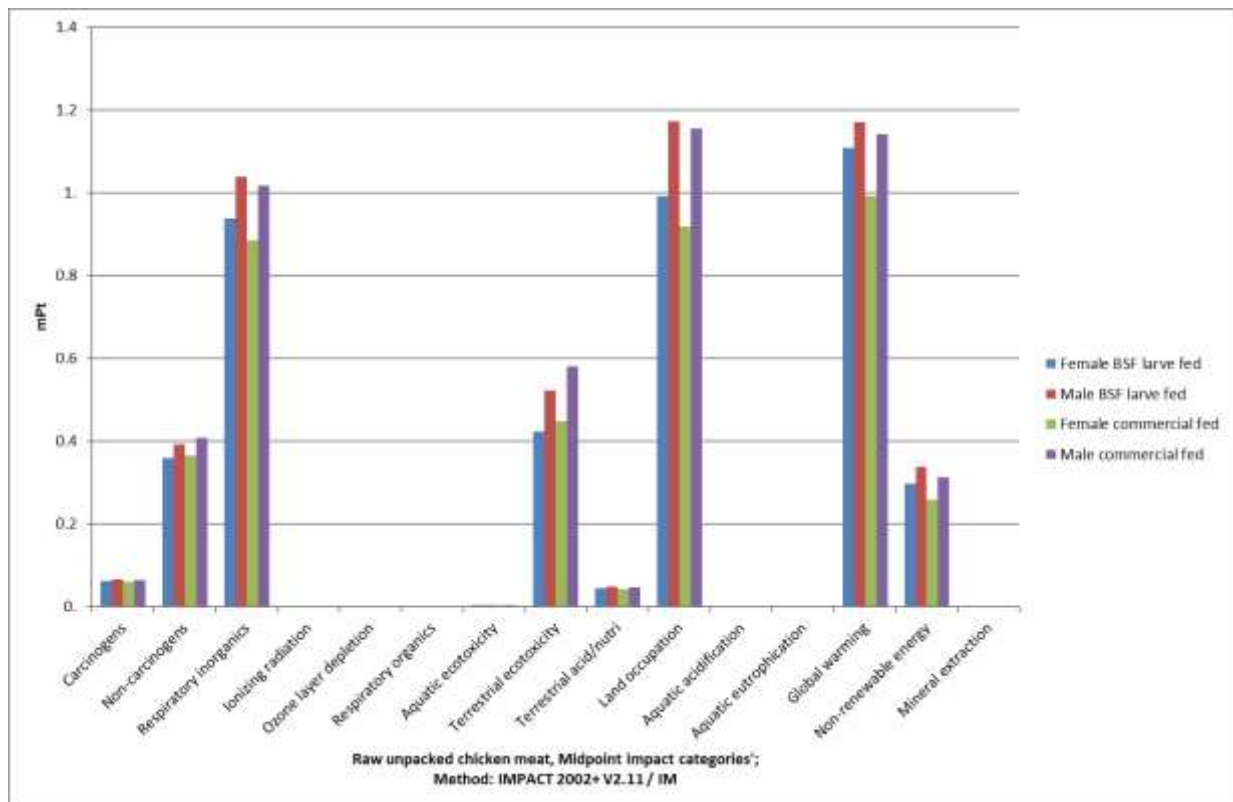


Abbildung 8: Midpointauswirkungskategorien, Hühnerfleisch

Table 6: Ergebnisse der Midpointkategorien (mPt)

Midpoint category	Female BSF larvae fed	Male BSF larvae fed	Female commercial fed	Male commercial fed
Carcinogens	0.0632	0.067	0.06	0.065
Non-carcinogens	0.3604	0.393	0.3663	0.4088
Respiratory inorganics	0.938	1.0382	0.8856	1.0171
Ionizing radiation	0.001	0.0012	0.0009	0.001
Ozone layer depletion	3.68E-05	4.16E-05	3.31E-05	3.95E-05
Respiratory organics	0.0008	0.0009	0.0007	0.0009
Aquatic ecotoxicity	0.004	0.0046	0.004	0.0048
Terrestrial ecotoxicity	0.4228	0.5233	0.4483	0.5804
Terrestrial acid/nutri	0.0448	0.0482	0.0436	0.048
Land occupation	0.9924	1.1725	0.9187	1.1553
Aquatic acidification	0	0	0	0
Aquatic eutrophication	0	0	0	0
Global warming	1.1095	1.1718	0.9924	1.1417
Non-renewable energy	0.2967	0.3389	0.2586	0.314
Mineral extraction	0.001	0.0013	0.001	0.0012

4.3 Lebenszykluskostenrechnung

Für die BSFL-Produktion machte die Kombination eines unreifen Marktes sowie der erwähnten Inflation und volatilen Preise eine Marktanalyse sehr schwierig. Daher versuchten wir, uns auf die robusteren und wiederholbareren Ergebnisse zu konzentrieren. Der Preis des Futters belief sich auf etwa 1,2 Euro pro 1 kg Larven, jedoch würde ein stärkerer Fokus auf die Nutzung von Nebenströmen aus anderen Branchen diesen Preis weiter senken. Es sollte beachtet werden, dass bei der Insektenzucht von zwei Produkten ausgegangen wurde, den Larven und dem Kot, was den finanziellen Druck aus der Larvenproduktion etwas mindert. Angesichts der relativ hohen Menge an Abwasser, das während der Produktion erzeugt wird, sollte eine sorgfältige und kostengünstige Wahl der Abwasserbehandlung getroffen werden. Andererseits wurde festgestellt, dass der Marktpreis für Bio-Insekten fast 8 Euro pro 1 kg Larven beträgt (www.hermetia-zucht.de), was im Vergleich zu den Preisen für Bio-Hühnerfutter als ziemlich teuer angesehen werden kann.

Die Produktionspreise von 1 kg fertig zum Kochen vorbereitetem Bio-Hühnerkarkassenfleisch sind in Abbildung 9 dargestellt. Die beobachteten Unterschiede können auf den Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern zurückgeführt werden, anstatt auf die Aufnahme von Insekten in die Ernährung.



Abbildung 9: Die Preise von 1 kg fertig zum Kochen vorbereitetem Bio-Hühnerkarkassenfleisch, das während der Projektversuche produziert wurde

Da vorhergesagt wird, dass die Gehälter der Farmarbeiter in den nächsten 5 Jahren um 11 % steigen werden (www.salaryexpert.com), kann auch mit einem Anstieg der Preise für Hühnerfleisch, das durch das Poultrynsect-System produziert wird, gerechnet werden. Die Vorhersagen für den Anstieg können in Abbildung 10 eingesehen werden.



Abbildung 10: Veränderungen der Preise von 1 kg fertig zum Kochen vorbereitetem Bio-Hühnerkarkassenfleisch, das vom Poultrysect-System produziert wurde, unter Berücksichtigung des vorhergesagten Anstiegs der Arbeitskosten

4.4 Verbraucherstudie

Die Fragebögen zur Einstellung der Verbraucher begannen mit den Bevölkerungsfragen, deren Ergebnisse in den Abbildungen 11-15 dargestellt sind. Fast alle Befragten identifizierten sich selbst als Kunden, wobei nur sehr wenige behaupteten, Experten auf dem Gebiet zu sein. Zunächst fällt auf, dass unterschiedliche Haushaltsgrößen vertreten waren und dass Hühnerfleisch in der Mehrheit der Haushalte mindestens einmal im Monat konsumiert wird. Wie erwartet und erforderlich, folgten fast alle Befragten omnivoren Ernährungsweisen. Es sollte auch darauf hingewiesen werden, dass der Bildungsstand der Befragten unverhältnismäßig hoch war, was die Ergebnisse möglicherweise beeinflusst haben könnte.

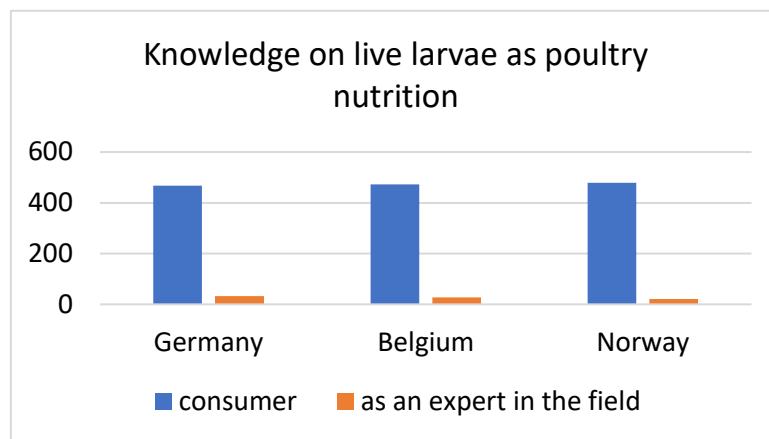


Abbildung 11: Vertrautheit mit dem Konzept der Einbeziehung lebender Larven in die Geflügelernährung

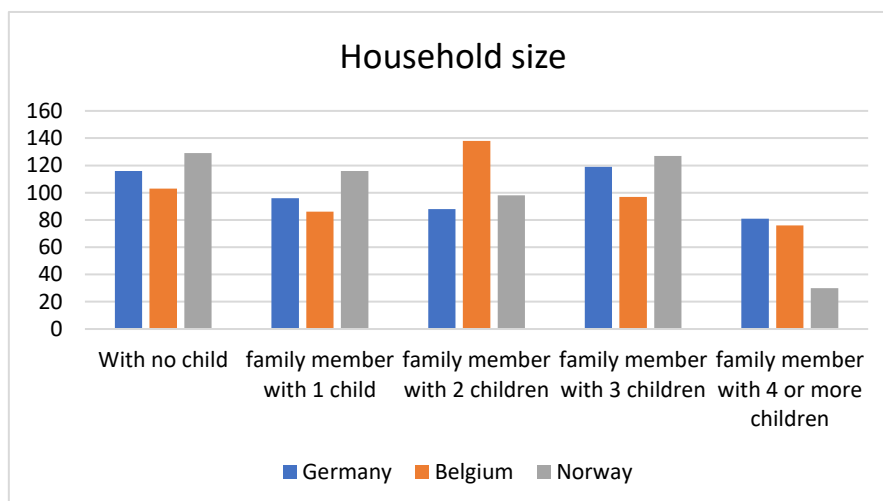


Abbildung 12: Haushaltsgröße der Umfrage-Teilnehmer

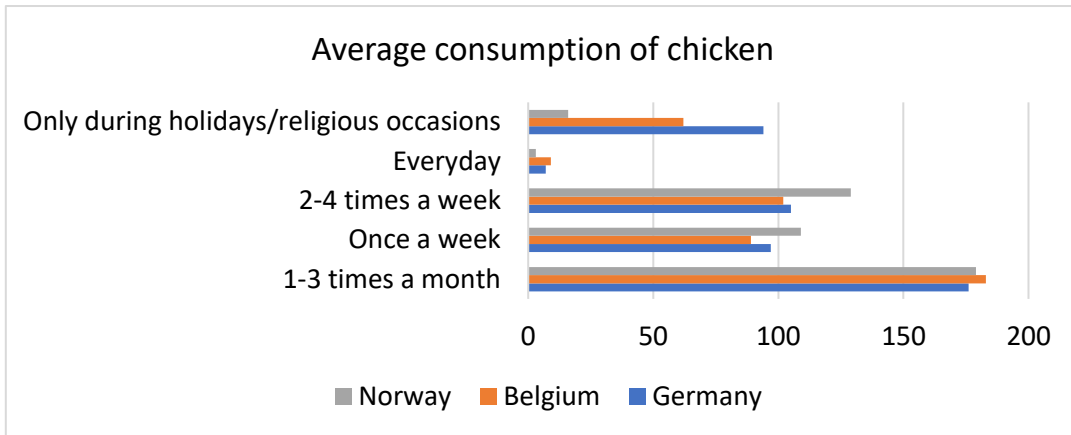


Abbildung 13: Häufigkeit des Hühnerkonsums

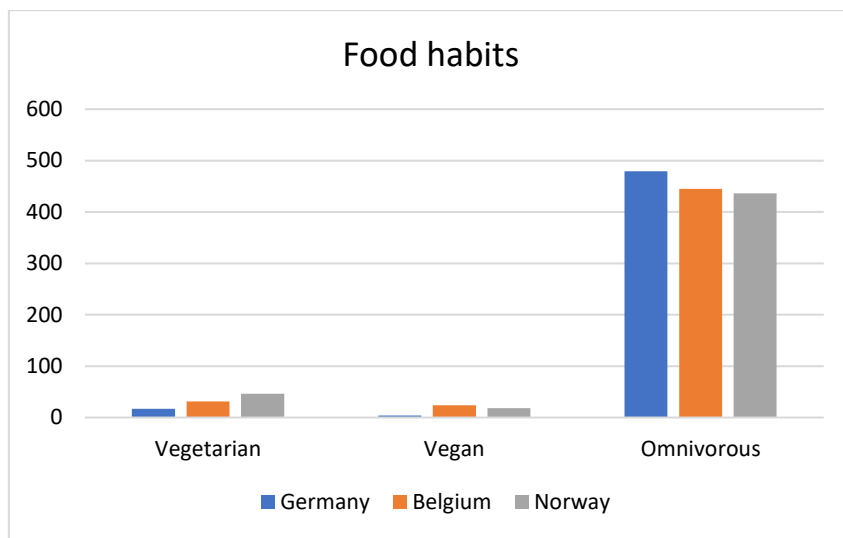


Abbildung 14: Ernährungsweisen der Befragten

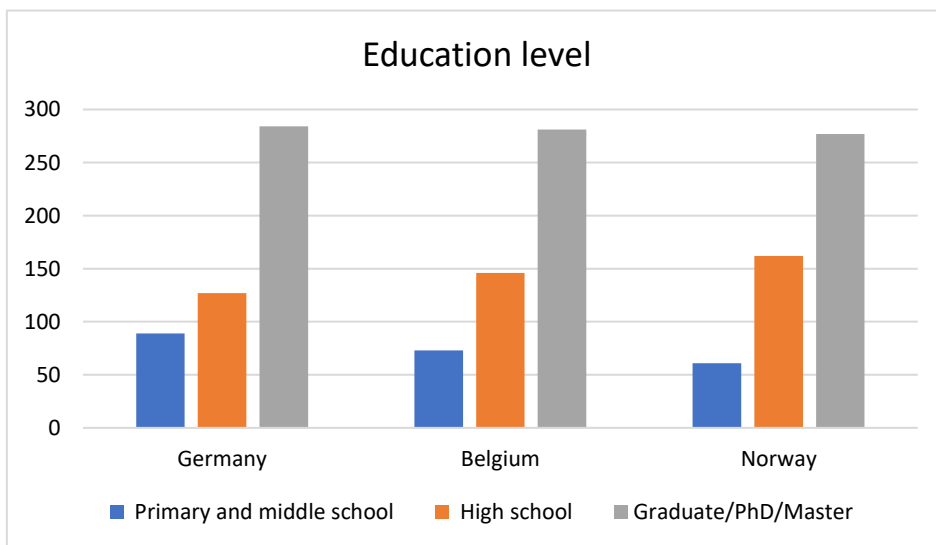


Abbildung 15: Bildungsniveau der Befragten

Man kann festhalten, dass zwischen den drei Ländern zwar einige Unterschiede in der Verbraucherwahrnehmung zu beobachten sind, diese jedoch nicht signifikant sind. Eine geringe Anzahl von Befragten erklärte ihre Hindernisse beim Verzehr von Geflügelfleisch, wobei ethische und Umweltgründe die Hauptgründe für die Befragten in Belgien und Norwegen darstellen, während Gesundheitsgründe bei (zugegebenermaßen sehr wenigen) deutschen Befragten an erster Stelle stehen. In allen drei Ländern wird Hühnerfleisch überwiegend in Geschäften gekauft, entweder in gewöhnlichen Lebensmittelgeschäften, Bio-Lebensmittelgeschäften, Supermärkten oder Metzgereien.

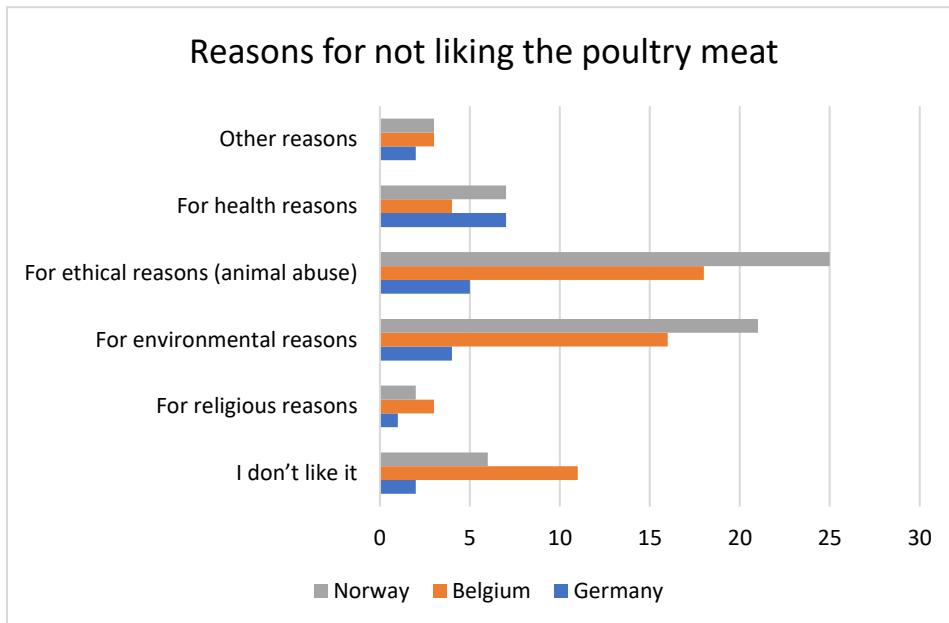


Abbildung 16: Hindernisse beim Geflügelkonsum

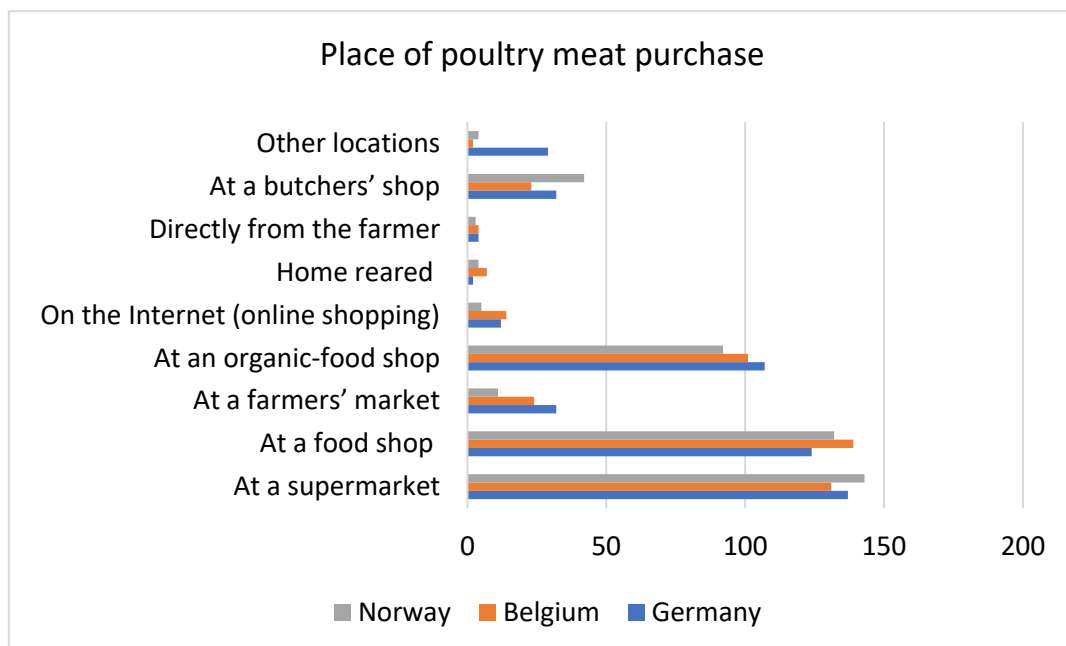


Abbildung 17: Einkaufsort für Geflügelfleisch

Die Korrespondenten in allen drei Ländern haben überwiegend angegeben, dass sie offen für neue Lebensmittel und Küchen sind. Interessanterweise haben sie jedoch in allen drei Ländern eine

größere Bereitschaft gezeigt, konventionell hergestelltes Bio-Hühnerfleisch zu kaufen als Bio-Hühnerfleisch, das mit Insekten gefüttert wurde. Die bevorzugteste Variante war die Fütterung der Hühner mit Larven.

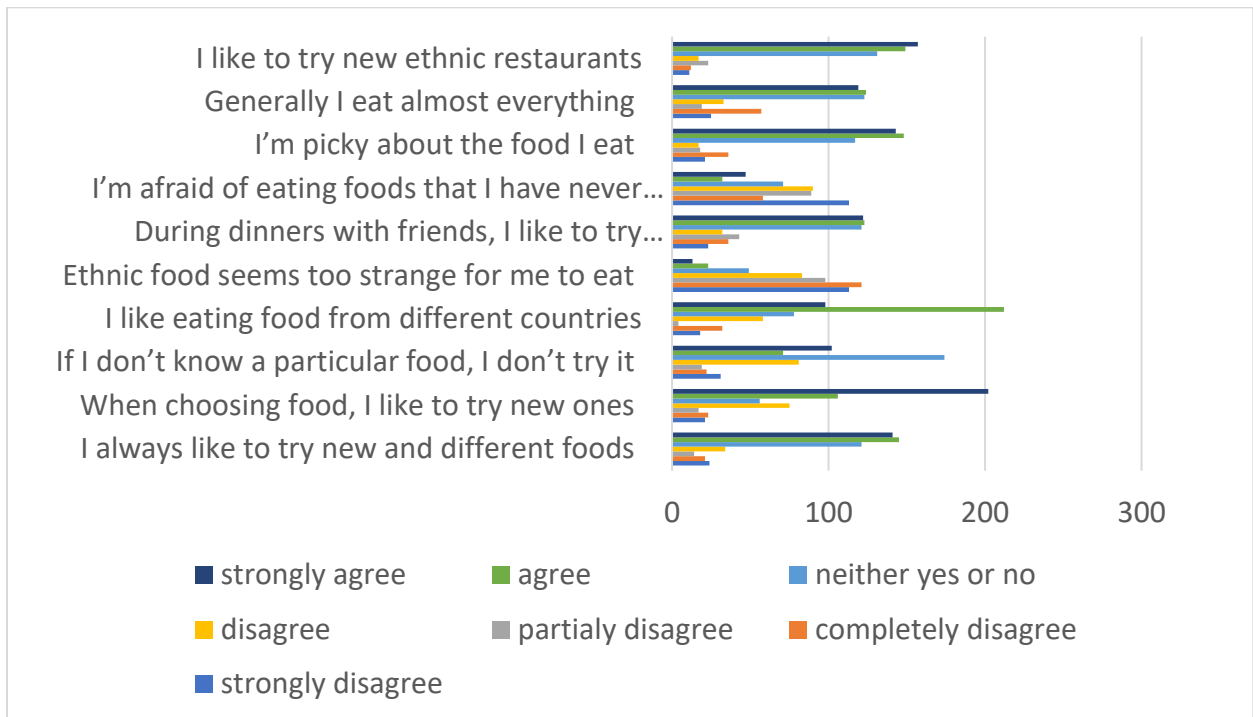


Abbildung 18: Offenheit für unbekannte Lebensmittel, Deutschland

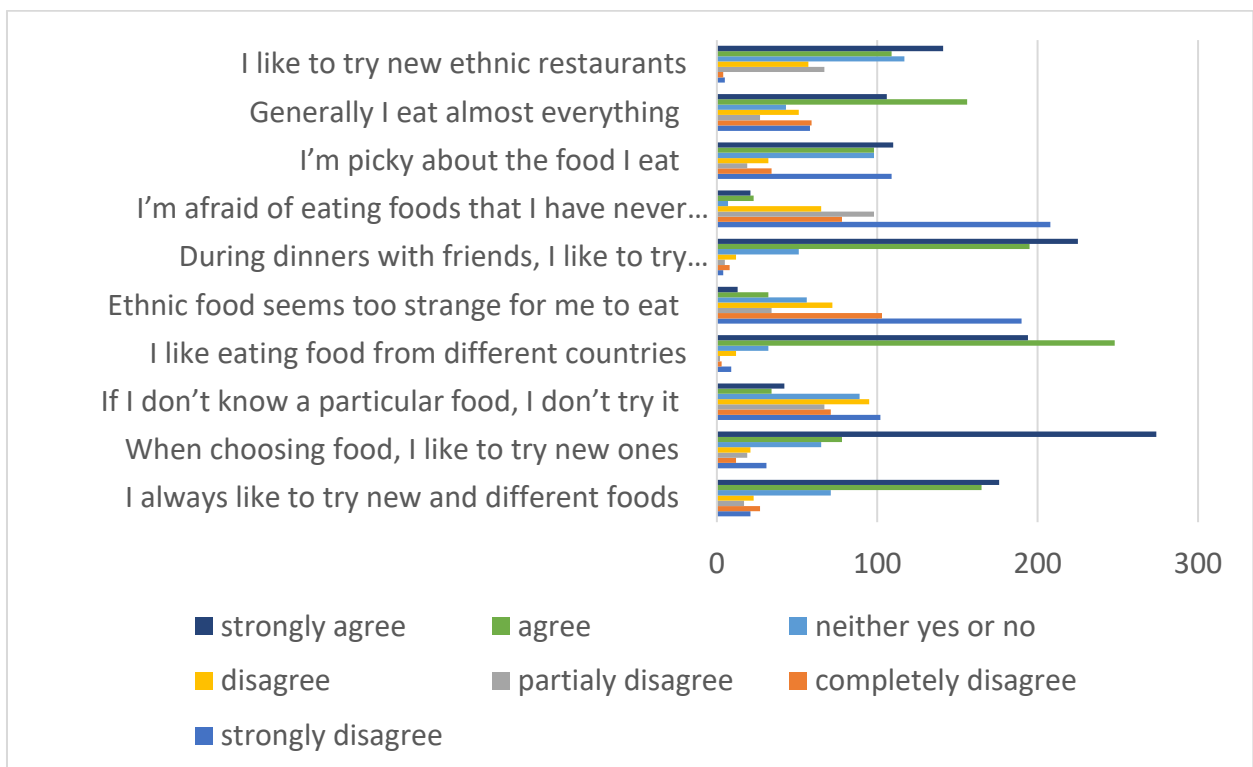


Abbildung 19: Offenheit für unbekannte Lebensmittel, Belgien

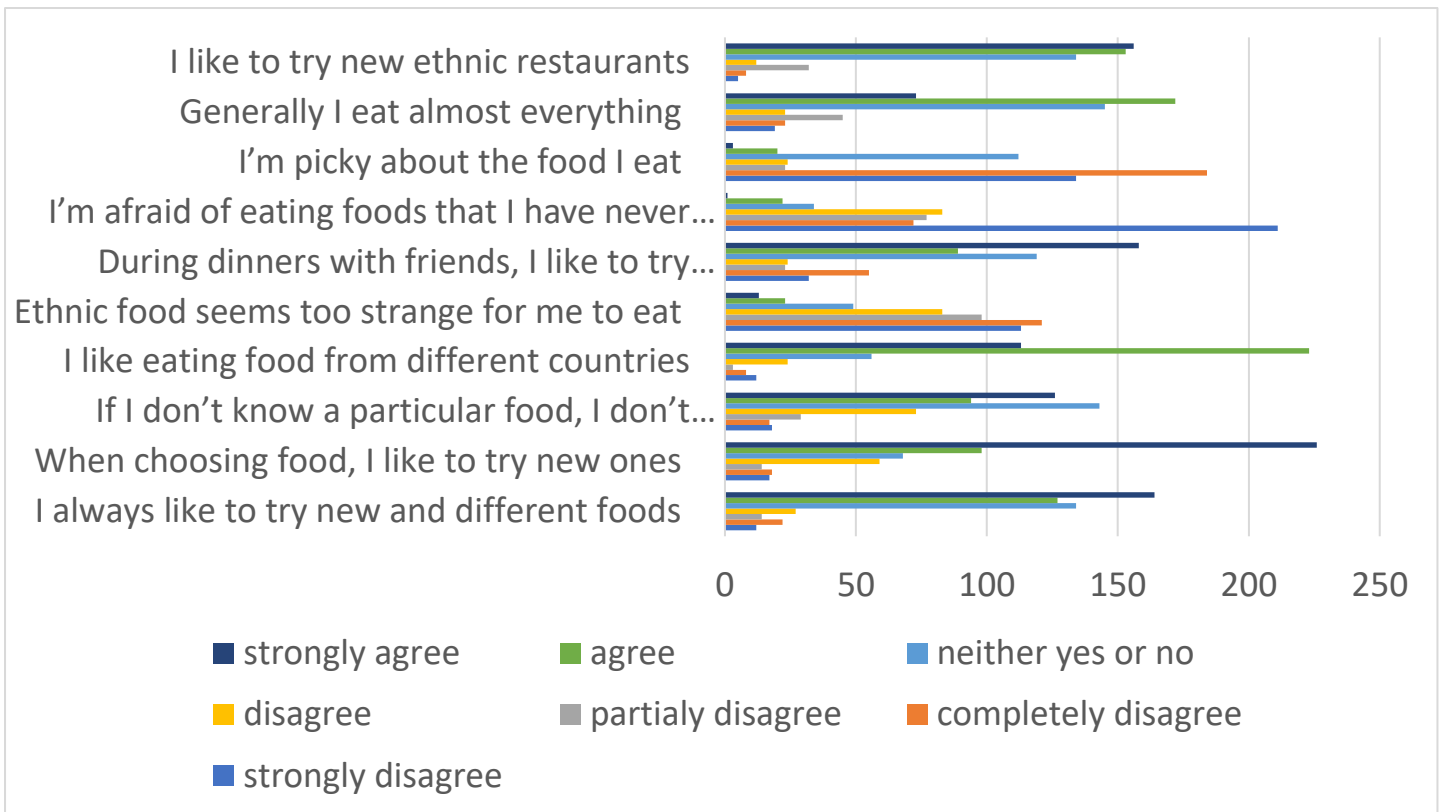


Abbildung 20: Offenheit für unbekannte Lebensmittel, Norwegen

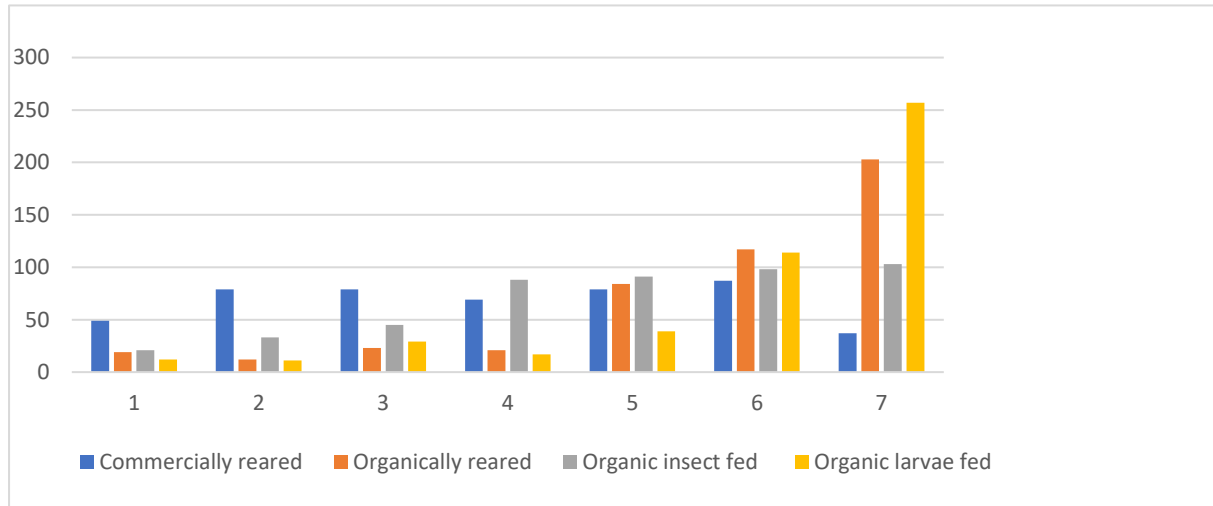


Abbildung 21: Bereitschaft, verschiedene Hühnertypen zu kaufen, Deutschland; 1 - nicht bereit, 7 - sehr bereit

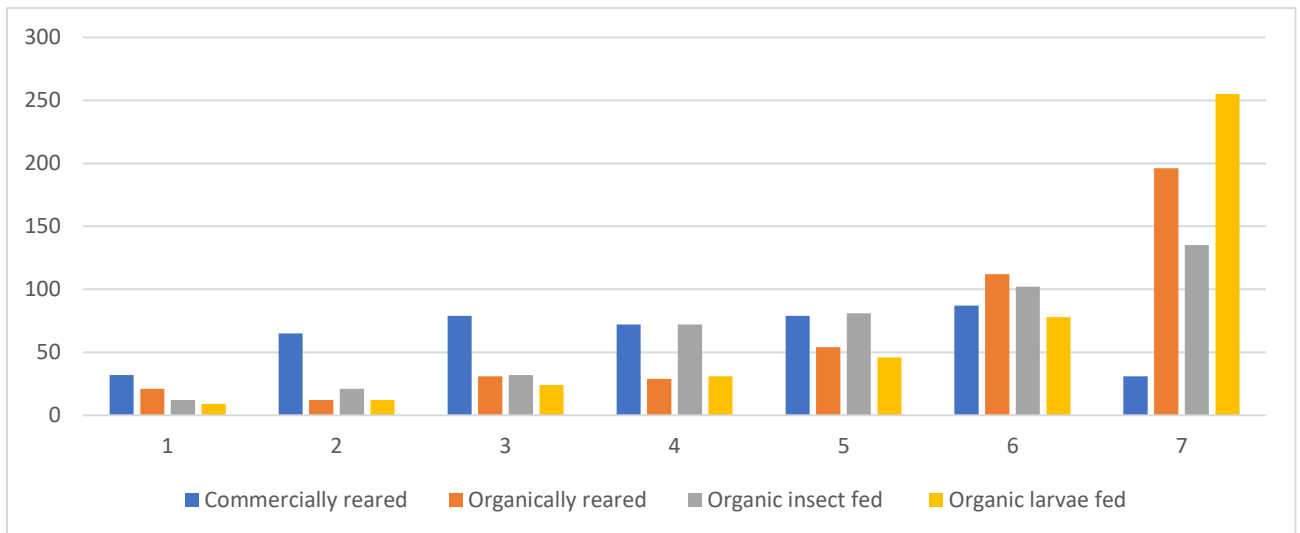


Abbildung 22: Bereitschaft, verschiedene Hühnertypen zu kaufen, Belgien; 1 - nicht bereit, 7 - sehr bereit

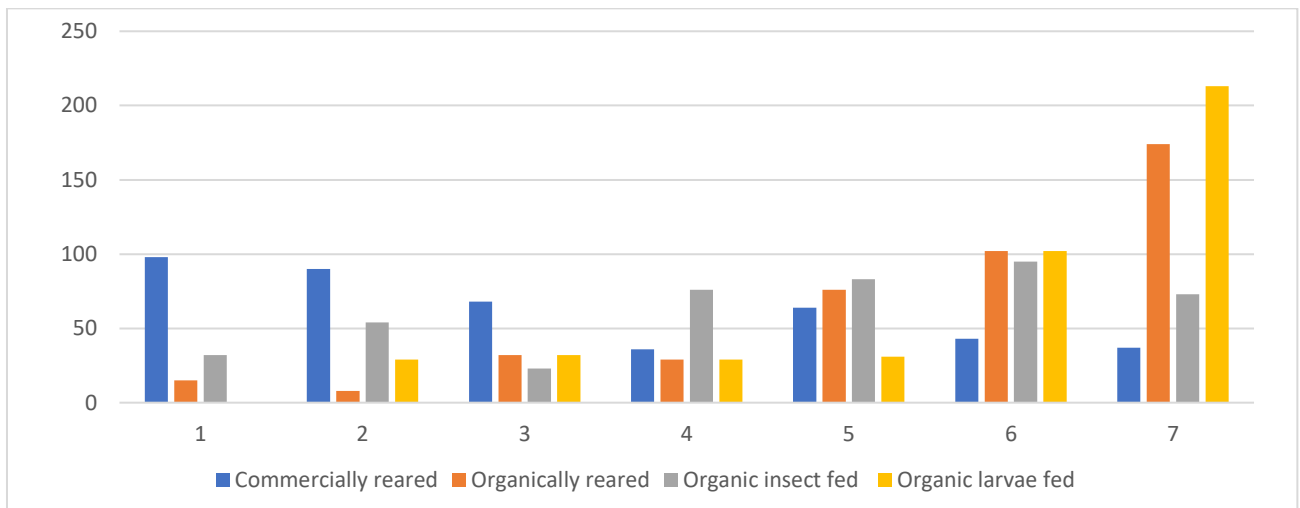


Abbildung 23: Bereitschaft, verschiedene Hühnertypen zu kaufen, Norwegen; 1 - nicht bereit, 7 - sehr bereit

Während ein Teil der Befragten von der Idee, Geflügelfleisch von mit Insekten gefütterten Hühnern zu essen, angewidert war, waren die vorherrschenden Gründe für das Ausprobieren von insektengefüttertem Geflügel Gleichgültigkeit, Neugierde und Überraschung. Es scheint auch, als hätten norwegische Befragte eine sehr positive Einstellung hinsichtlich der Gründe für den Kauf von insektengefüttertem Geflügel, während belgische und insbesondere deutsche Befragte etwas vorsichtigere Ansichten hatten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass in keinem Fall die Mehrheit der Befragten angab, bereit zu sein, mehr für die mit Insekten gefütterten Hühner zu zahlen, und in der Regel erwarteten sie, dass der Preis der insektengefütterten Hühner niedriger sein würde.

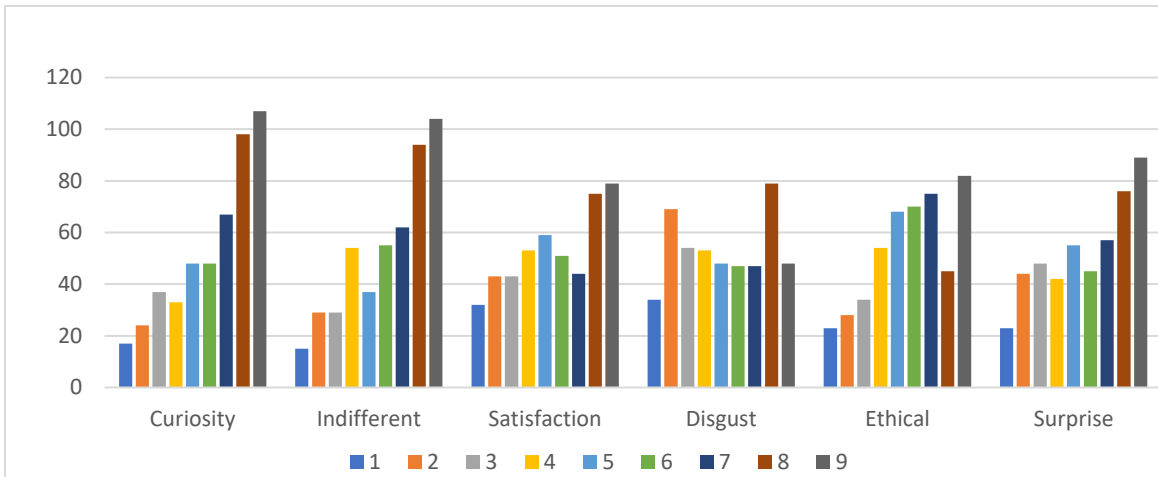


Abbildung 24: Motivation, insektengefüttertes Geflügel zu probieren, Deutschland; 1 - stimme überhaupt nicht zu, 9 - stimme voll und ganz zu

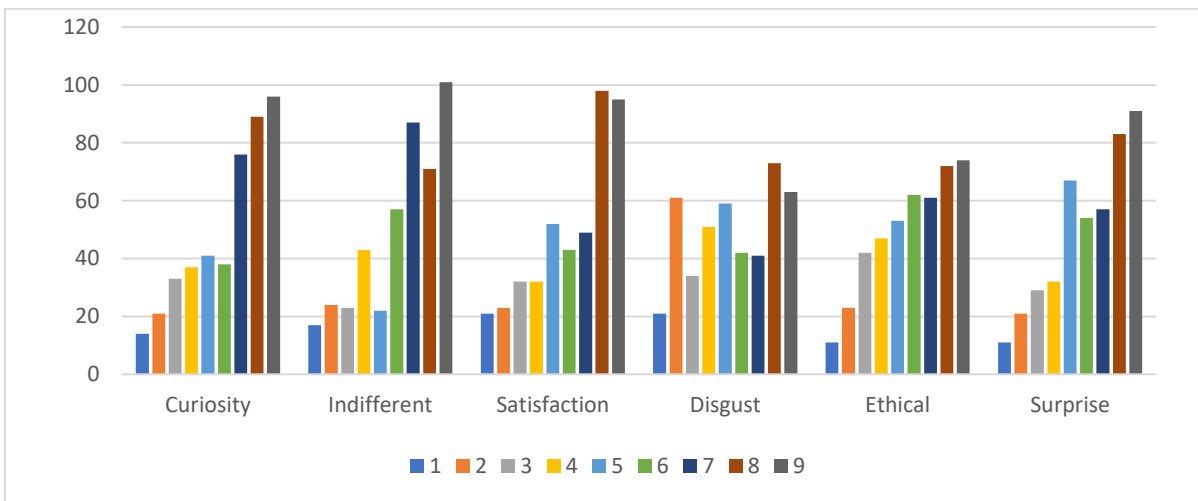


Abbildung 25: Motivation, insektengefüttertes Geflügel zu probieren, Belgien; 1 - stimme überhaupt nicht zu, 9 - stimme voll und ganz zu

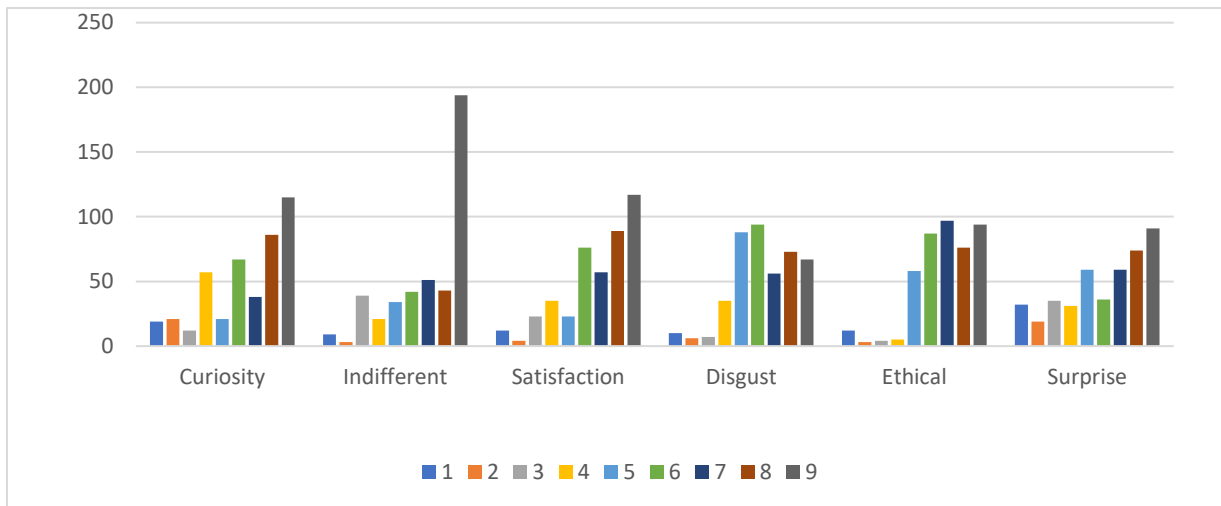


Abbildung 26: Motivation, insektengefüttertes Geflügel zu probieren, Norwegen; 1 - stimme überhaupt nicht zu, 9 - stimme voll und ganz zu

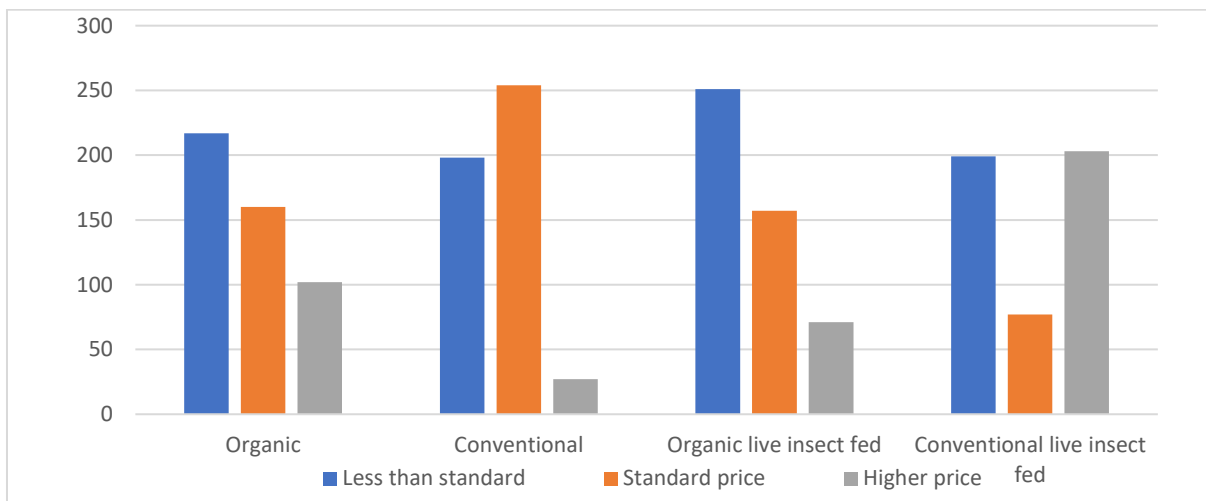


Abbildung 27: Bereitschaft, für bestimmtes Geflügelfleisch zu bezahlen, Deutschland

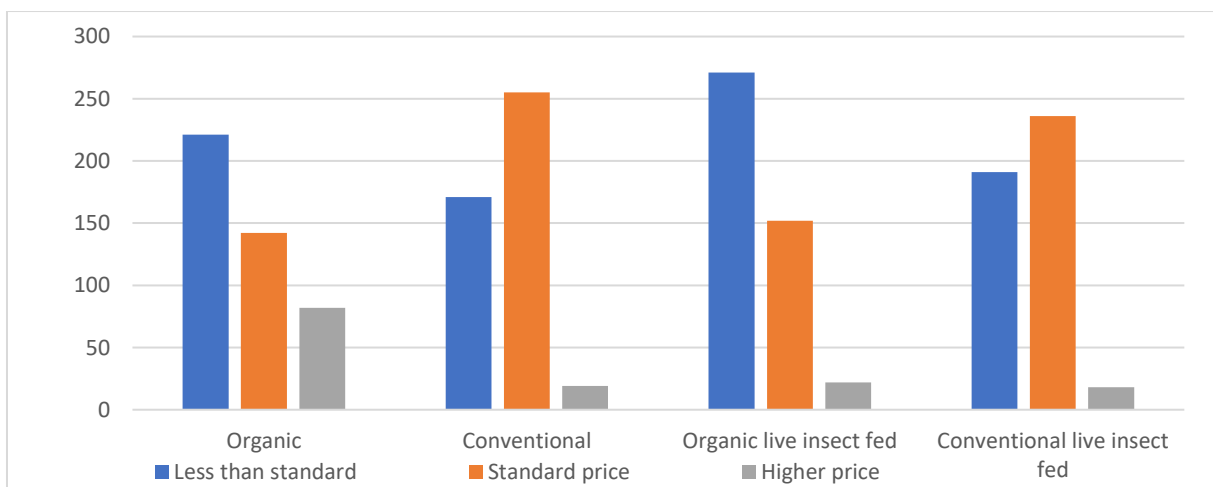


Abbildung 28: Bereitschaft, für bestimmtes Geflügelfleisch zu bezahlen, Belgien

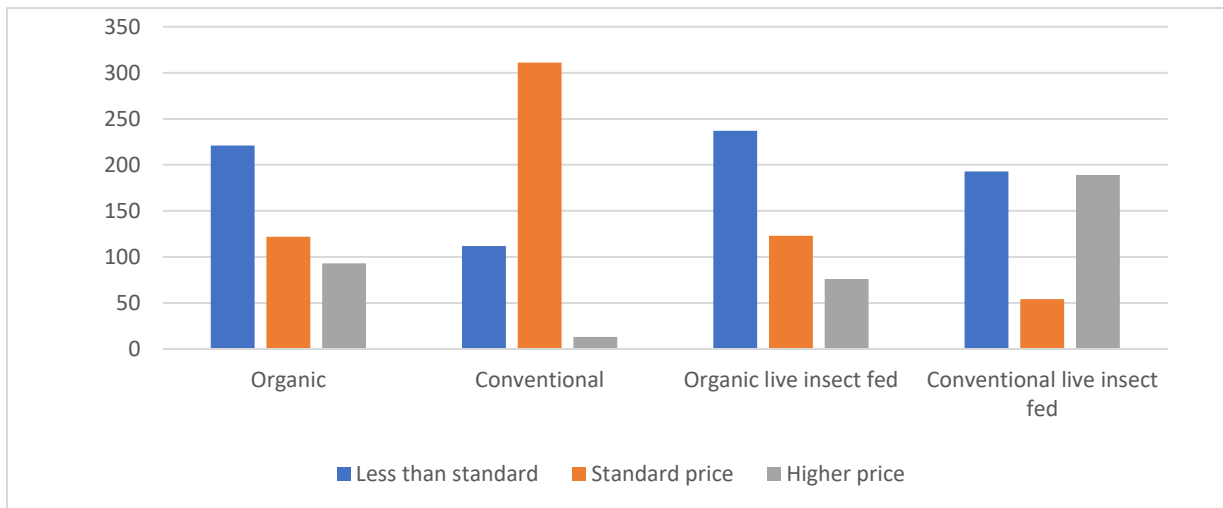


Abbildung 29: Bereitschaft, für bestimmtes Geflügelfleisch zu bezahlen, Norwegen

Etwas wenig überraschend erwarteten die Befragten, dass die Einbeziehung von Insekten den Umwelteinfluss des Hühnerfleischs verringern würde. Es ist auch positiv, dass nur wenige Befragte eine Verschlechterung der sensorischen Eigenschaften des Hühnerfleischs aufgrund der Einbeziehung von Insekten im Futter erwarteten, und viele sogar Verbesserungen erwarteten. Die Fragen zu den Erwartungen an die Veränderung des Nährwerts und der Lebensmittelsicherheit brachten keine sehr entscheidenden Ergebnisse, mit Ausnahme der Erwartungen an eine Verbesserung des Nährwerts, die von den norwegischen Befragten deutlich zum Ausdruck gebracht wurde.

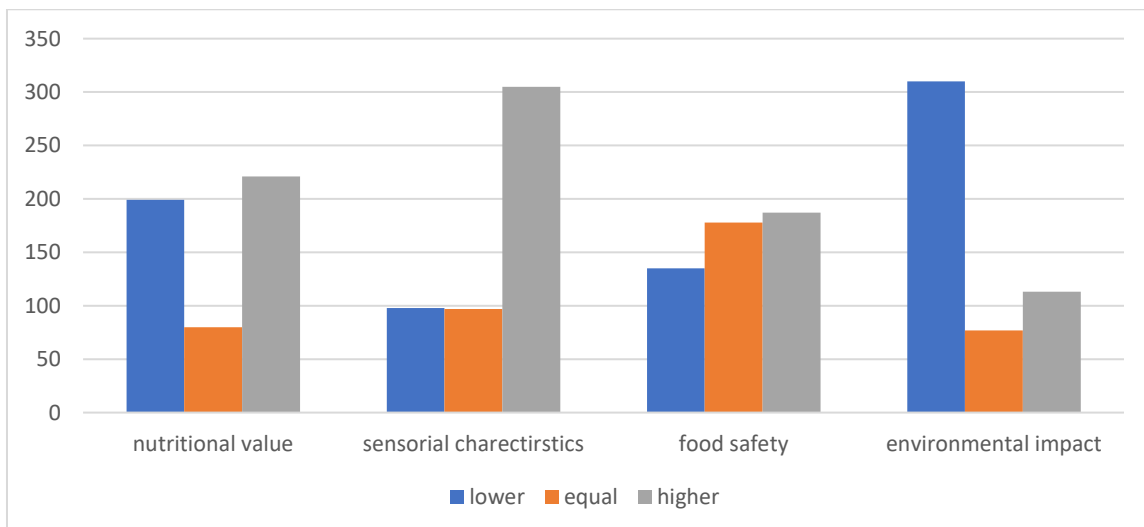


Abbildung 30: Erwartung von Veränderungen durch die Einführung von Larven in die Geflügelfütterung, Deutschland

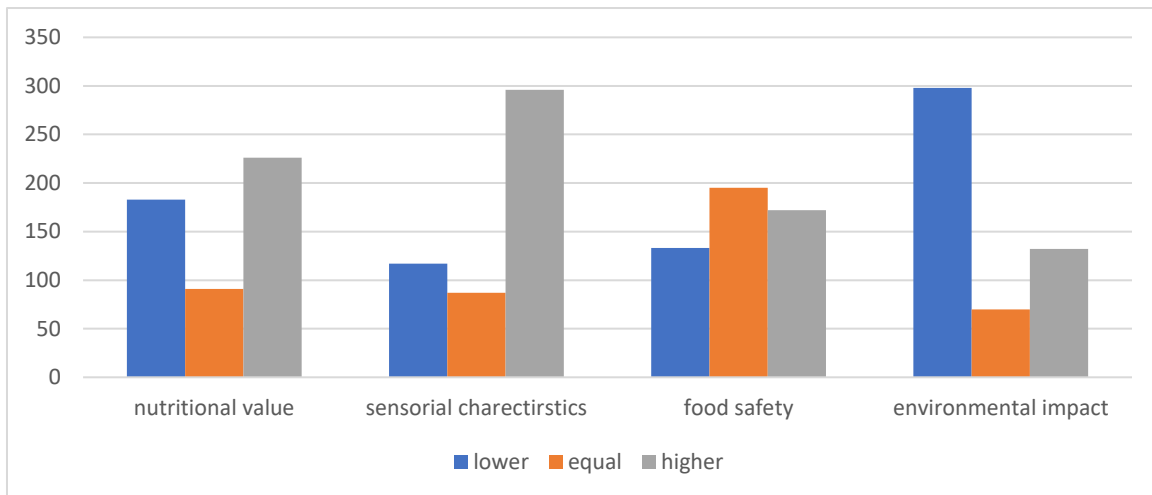


Abbildung 31: Erwartung von Veränderungen durch die Einführung von Larven in die Geflügelfütterung, Belgien

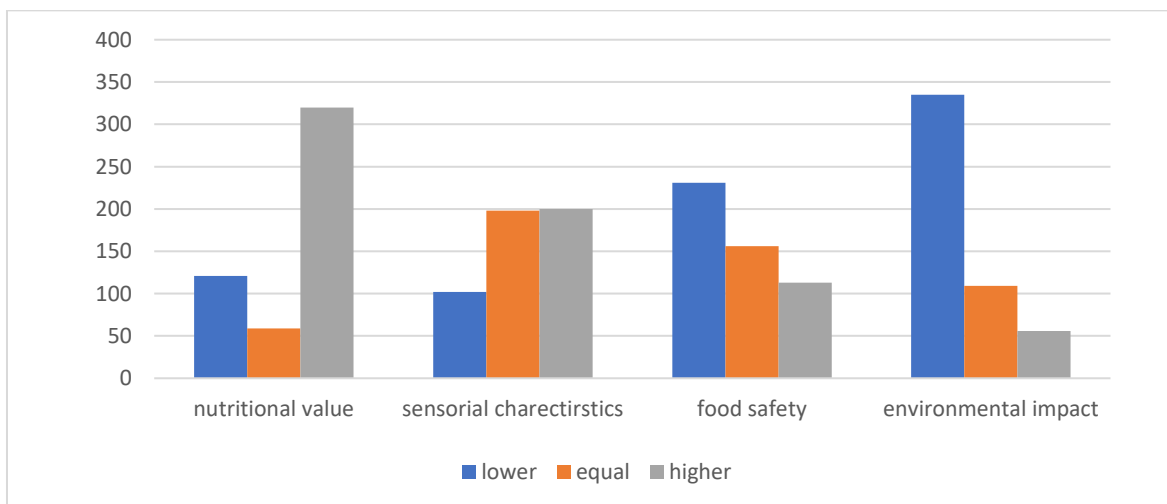


Abbildung 32: Erwartung von Veränderungen durch die Einführung von Larven in die Geflügelfütterung, Norwegen

4.5 Soziale Lebenszyklus-Bewertung

Es wurde angenommen, dass alle arbeitsbezogenen Gesetze und Vorschriften eingehalten wurden, was dazu führte, dass 'konform' die niedrigste Bewertung für eine der bewerteten SLCA-Kategorien war. Angesichts der sozialen Sicherheit, die von der EU und der italienischen Regulierung vorgeschrieben ist (im Vergleich zum Rest der Welt), sollte die Bewertung 'konform' bereits auf vergleichsweise geringe soziale Risiken hinweisen, denen die Arbeiter ausgesetzt sind.

Die Ergebnisse der Bewertung befinden sich in Tabelle 7.

Tabelle 7: Ergebnismatrix der sozialen Lebenszyklus-Bewertung

	insect farm		chicken farm			
	predominantly manual	automated	predominantly manual		automated	
			insects included	control	insects included	control
Health and Safety	3	2	3	2.5	2.5	2
Fair wage potential	2.42	2	2.42	2.42	2	2
Freedom of Association and Collective Bargaining	small, likely family farm, and therefore not relevant					
Child Labour						
Working Hours	3	1	3	3	2	2
Equal opportunities/Discrimination	3	2	3	3	2	2
Forced Labour	3	1	no difference introduced by insects expected			
Social Benefits/Social Security	3	3				
overall	2.90	1.83	2.85	2.73	2.13	2

Die Bewertungen für die meisten Kategorien basierten auf den Informationen, die von den Projektpartnern erhalten wurden. Das Potenzial für angemessene Löhne wurde pro Neugebauer, S. et al. (2016) berechnet und basierte auf dem durchschnittlichen Gehalt (oben angegeben).

5 Diskussion

5.1 Literaturbasierte Lebenszyklus-Bewertung

Die Masthähnchenproduktion hatte geringere Auswirkungen auf die Umwelt als die Legehennenproduktion, wenn man die Proteinversorgung als funktionelle Einheit betrachtet. Dies lässt sich durch die Futterzusammensetzung und die Futtermenge erklären, die den Hühnern zugeführt wird. Da Hennen signifikant länger leben, fressen sie auch viel mehr Futter, was zu den Hauptursachen für Umweltauswirkungen zählt. Die konventionelle Produktion von Legehennen und Masthühnern könnte durch den Einsatz von lebenden BSFL im Futter verbessert werden (Szenario B, C, E, F). Der Hauptgrund für die geringeren Umweltauswirkungen der mit Obst- und Gemüsebeiprodukten gefütterten Insektenlarven ist, dass FVW als Reststrom betrachtet wird und daher keine damit verbundenen Umweltauswirkungen hat. Die Ergebnisse wurden hauptsächlich von der Produktion und Zusammensetzung des Futters beeinflusst, daher sollten in realen Anwendungen Verbesserungen in Anbautechniken, Ernteertrag sowie optimale Futtermittelzusammensetzung erreicht werden.

Die Ergebnisse legen nahe, dass Broiler zur Produktion der größten Proteinmenge eine höhere Effizienz bieten, wenn auch auf Kosten der Proteinqualität. Die Einbeziehung von Insekten führt zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen, und für optimale Ergebnisse sollten die Insekten auf Obst- und Gemüsebeiproduktströmen gezüchtet werden.

5.2 Lebenszyklus-Bewertung basierend auf experimentellen Ergebnissen

Bei der Produktion von Broilerfleisch durch das Poultrysect-System erwiesen sich globale Erwärmung, Landbesetzung und respiratorische Anorganika als Kategorien mit den höchsten Auswirkungen auf die Umwelt. Es wurden jedoch signifikante Unterschiede in den Auswirkungen zwischen den Hühnern beobachtet, während die Einbeziehung von Insekten nur sehr begrenzte Auswirkungen hatte.

5.3 Lebenszyklus-Kostenrechnung

Da der Produktionspreis pro 1 kg Produkt berechnet wird, kann die Differenz in der wirtschaftlichen Leistung zwischen den beiden Geschlechtern auf die produzierte Fleischmasse zurückgeführt werden. Obwohl männliche Hühner mehr Futter benötigten, führte die höhere Fleischmenge zu 20 % niedrigeren Produktionskosten.

Insekten hatten einen geringeren Einfluss auf den Produktionspreis. Die Einführung von Insekten erhöhte die Produktionskosten von 1 kg fertig zum Kochen vorbereitetem Bio-Hühnerkarkassenfleisch um fast 10 %, was angesichts des relativ hohen Preises von Insekten zu erwarten war.

Der mit Abstand höchste Beitrag zu den Produktionskosten kam von den Arbeitskosten, die über 50 % aller Produktionskosten ausmachten. Der zweithöchste Beitrag kam von Futter. Aus Abbildung 1 geht

hervor, dass alle modellierten Szenarien im Vergleich zum derzeit auf dem italienischen Markt vorhandenen Bio-Hühnerfleisch (indexfood.it) deutlich höhere Produktionskosten hatten.

Da sich die Arbeit als entscheidender Faktor für den Fleischpreis erwies, wurden die Vorhersagen der Arbeitspreisänderungen in die Sensitivitätsanalyse einbezogen. Sie zeigten, dass der Produktionspreis, wenn das System nicht geändert wird, in den kommenden Jahren weiter steigen wird.

5.4 Verbraucherversuche

Insgesamt kann argumentiert werden, dass während einige von der Idee enttäuscht sind, die Mehrheit der Verbraucher kein Problem mit Larven-gefüttertem Hühnerfleisch hat. Andererseits, da die Mehrheit der Befragten nicht bereit wäre, mehr für das mit Insekten gefütterte Huhn zu zahlen (sondern eher das Gegenteil), kann auch argumentiert werden, dass die Einführung von Insekten in die Hühnerfutter nicht unbedingt ein Hauptmotivator für den Kauf wäre. Es ist auch interessant festzustellen, dass die Befragten angaben, dass der Preis für der Standard-Bio-Hühnerfleisch weniger als der Standard sein sollte, was wahrscheinlich die Wahrnehmung ausdrückt, dass die Preise für Bio-Hühnerfleisch zu hoch sind. Der Unterschied in der Bereitschaft, insektengefüttertes und larvengefüttertes Huhn zu kaufen, wirft eine interessante Frage auf, wie viel die Wortwahl der Nachricht ausmacht: Es waren Insektenlarven, die an Hühner verfüttert wurden, sodass die Etiketten "insektengefüttert" und "larvengefüttert" technisch gesehen beide korrekt wären und die gleiche Bedeutung hätten (für die im Rahmen des Projekts verwendeten Broiler). Dennoch waren in allen drei Ländern ungefähr doppelt so viele Menschen bereit, die 'larvengefütterten' im Vergleich zu den 'insektengefütterten' Hühnern zu kaufen.

5.5 Soziale Lebenszyklus-Bewertung

Auffällig ist, dass Automatisierung die soziale Nachhaltigkeitsbewertungen sowohl der Insekten- als auch der Hühnerzucht erheblich verbessern kann. Es wird erwartet, dass dies eine leicht positive Auswirkung auf das Potenzial für angemessene Löhne hat, jedoch eine stärkere Auswirkung auf die Verringerung der Gesundheits- und Sicherheitsrisiken (aufgrund des geringeren Risikos von Verletzungen und allergischen Reaktionen), die Einhaltung der Arbeitszeiten (aufgrund der erwarteten Entwicklung und strikten Einhaltung der Produktionsverfahren und Zeitpläne) sowie auf die Chancengleichheit (da die Verringerung der physischen Arbeit es Menschen mit eingeschränkten körperlichen Fähigkeiten ermöglichen wird, Zugang zu den Arbeitsplätzen zu haben).

Zweitens stellt die Einbeziehung von Insekten in das Hühnerfutter ein Allergierisiko dar, was sich in den höheren Gesundheits- und Sicherheitsrisikobewertungen widerspiegelte.

6 und 7 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.
Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Ergebnisse sollten zwei wichtige Punkte beleuchten: die Bedeutung einer gut geplanten und sorgfältig gestalteten Insektenproduktion sowie die Wichtigkeit der Automatisierung.

Entgegen der ursprünglichen Erwartungen zeigte sich, dass die Insektenproduktion auch die Umweltauswirkungen des Hühnerfleisches erhöhen kann. Um ein solches Szenario zu vermeiden, sollten die Insekten auf Restströmen gezüchtet und als Ersatz und nicht als Ergänzung zur vorhandenen Futtermittelverwendung genutzt werden. Dies könnte auch die Entwicklung von Hühnerfuttermitteln auslösen, die in Kombination mit lebenden Insektenlarven verwendet werden sollen, um eine optimale und nachhaltige Hühnerernährung zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der Verbrauchertests deuten darauf hin, dass auf dem Markt möglicherweise Platz für Hühnerfleisch ist, welches mit Insekten gefüttert wird. Einige Verbraucher bevorzugten dieses Huhn sogar gegenüber Bio-gefüttertem Huhn. Die Befunde dieses Projekts deuten jedoch darauf hin, dass das mit Insekten gefütterte Huhn teurer wäre als sein Bio- Pendant und wenig Bereitschaft zur Zahlung eines Aufpreises für das mit Insekten gefütterte Huhn verzeichnet wurde. Falls der Preis für die Produktion von Insekten und insektengefüttertem Hühnerfleisch sinkt, könnte der breitere Markt es akzeptieren. Andererseits sollte auch beachtet werden, dass die Befragten angaben, dass die Preise für Standard-Bio-Hühnerfleisch "unter dem Standard liegen sollten", obwohl es offensichtlich einen Markt für Bio-Hühnerfleisch gibt. Insektengefüttertes Hühnerfleisch könnte ein ähnliches Schicksal erleiden: Es könnte als Nischenprodukt existieren, bis die Preise sinken. Schließlich könnte es wichtig sein, auf angemessene Formulierungen bei der Etikettierung des Produkts zu achten, da dies offensichtlich eine wichtige Rolle bei Verbrauchern spielt.

Die Automatisierung erwies sich als wichtiger Faktor für die soziale Nachhaltigkeit und hatte sogar einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtnachhaltigkeit. Obwohl es schwierig wäre, hohe Automatisierungsgrade in Experimentieranlagen zu haben, wäre eine Innovation in der Industrie, insbesondere in der Insektenzucht, sehr zu empfehlen. Weitere Forschungen könnten versuchen, die Auswirkungen der Automatisierung auf die Lebenszyklus-Bewertung und noch mehr auf die Lebenszyklus-Kostenrechnung sowohl der Insekten- als auch der Hühnerproduktion zu beantworten, da die Produktionskosten des innerhalb des Poultrysect-Systems produzierten Huhns eine der Barrieren für den Markteintritt sein könnten.

Die erzielten Ergebnisse weichen von den vor dem Projekt erwarteten Ergebnissen ab. Die Literatur wies überwiegend auf das signifikante Potenzial von Insekten hin, um die Umweltauswirkungen von Hühnerfleisch zu begrenzen, was innerhalb dieses Projekts nicht erreicht wurde. Ein wichtiger Grund dafür könnte sein, dass die Insekten als Ergänzung und nicht als Ersatz für das üblicherweise bereitgestellte Futter verwendet wurden. Dies führte nicht zu signifikanten Gewichtszunahmen bei Hühnern und verringerte somit die Futtereffizienz.

Die Modellierung der Automatisierung deutete jedoch darauf hin, dass aufgrund einer verbesserten sozialen Nachhaltigkeit die Automatisierung einen signifikanten positiven Einfluss auf die Gesamtnachhaltigkeit haben kann. Dieses Ergebnis wurde ebenfalls nicht erwartet und sollte insbesondere in der Insektenzucht genutzt werden.

Basierend auf den experimentellen Daten, die von Projektpartnern für die erste Charge von Label Naked Neck-Broilern teilweise mit Schwarzsoldatenfliegenlarven gefüttert wurden, kann geschlossen werden, dass die Einbeziehung von 10 % Larven in das Hühnerfutter nicht zu

statistisch signifikanten Umweltgewinnen führte. Bessere Ergebnisse wären zu erwarten, wenn das Insektenfutter auf überproduziertes Obst und Gemüse abgestimmt wäre und wenn der Anteil von Schwarzsoldatenfliegenlarven in der Ernährung von Broilern erhöht würde.

Basierend auf der Lebenszyklus-Kostenrechnung der BSFL-Produktion wurde gezeigt, dass nicht nur die Produktionskosten, sondern auch die Emissionskosten berücksichtigt werden müssen. Angesichts der während des Prozesses erzeugten Abwassermenge müsste dessen Behandlung kostengünstig sein. Bei den aktuellen Preisen und bei der richtigen Abwasserbehandlung sowie der erwarteten Reduzierung der Futtermittelpreise bietet der Preis für organische Insekten zusammen mit dem Preis für organischen Insektendünger (Fraß) ersetzt werden würde, etwas Spielraum für eine rentable BSFL-Produktion. Die Abwassermengen könnten zusammen mit den Arbeitskosten durch eine Erhöhung des Larvenproduktionsmaßstabs reduziert werden.

Basierend auf der Lebenszyklus-Kostenrechnung der Broilerfleischproduktion wird festgestellt, dass die modellierten Szenarien zu höheren Produktionskosten führten, wenn sie mit dem Preis für bereits auf dem italienischen Markt vorhandenes Bio-Hühnerfleisch verglichen werden. Der größte Beitrag stammt von den Arbeitskosten. Darüber hinaus wird geschätzt, dass die Arbeitskosten in den kommenden Jahren steigen werden, was zu noch höheren Fleischpreisen führt. Die Einbeziehung von 10 % BSFL in das Hühnerfutter erhöhte die Produktionskosten um fast 10 %. Zwischen den Geschlechtern wurde eine Differenz von 20 % festgestellt.

Bessere Ergebnisse wären auf einer höheren Produktionsstufe zu erwarten, da dies die Arbeitsleistung verbessern würde. Zweitens, zusammen mit der allgemeinen Stabilisierung der Inflation und der Reife des Insektenmarktes, könnten niedrigere Preise für organische Larven erwartet werden, was für Bio-Hühnerbauern gute Nachrichten wären. Schließlich müsste ein spezifischer High-End-Nischenmarkt für das Produkt gefunden werden.

Die Verbraucherforschung zeigt, dass die Einführung von Insekten in das Hühnerfutter kein Hindernis für die Mehrheit der Befragten darstellt. Auf der anderen Seite scheinen Verbraucher nicht bereit zu sein, einen Aufpreis für das mit Insekten gefütterte Hühnerfleisch zu zahlen, sodass der Preis des Produkts entsprechend festgelegt werden muss. Schließlich muss auf die Formulierung im Marketing und Kennzeichnung geachtet werden, da "larvengefüttertes" Huhn scheinbar besser akzeptiert wurde als "insektengefüttertes".

Aus sozialer Nachhaltigkeitsperspektive begrenzt die automatisierte Produktion soziale Risiken und hat sich als entscheidender Faktor sowohl in der Insekten- als auch in der Hühnerproduktion erwiesen. Es kam zu Unterschieden von bis zu einem Punkt im Vergleich zu ihren manuellen Gegenstücken. Automatisierte Hühnerproduktion auf der Grundlage von Standard-Biofutter erwies sich als am sozial nachhaltigsten, gefolgt von automatisierter Hühnerproduktion mit der Einbeziehung von BSFL. In Bezug auf die Insektenproduktion erwies sich die automatisierte Produktion als signifikant sozial nachhaltiger als ihre manuellen Gegenstücke.

Die Ergebnisse deuten auf einen großen Unterschied zwischen den Geschlechtern der Hühner hin, welcher etwa einem halben Punkt entspricht, was darauf hindeutet, dass männliche Broiler nachhaltiger sind. Ein geringerer Unterschied in der Nachhaltigkeit von etwa 0,25 wurde mit der Anwesenheit von Automatisierung in Verbindung gebracht. Schließlich wurde ein Unterschied von weniger als 0,1 mit der Einbeziehung von Insekten in das Hühnerfutter in Verbindung gebracht.

Obwohl der größte Unterschied in der integrierten Nachhaltigkeit zwischen den beiden Geschlechtern beobachtet wurde, ist fraglich, ob diese Erkenntnisse genutzt werden können - sowohl aus organisatorischer als auch aus ethischer Sicht. Die Einführung der Automatisierung führte zu einer

signifikanten Verbesserung der integrierten Nachhaltigkeit. Die Einführung von Insekten in das Hühnerfutter führte nicht zu einer signifikanten Veränderung der Nachhaltigkeit des Systems.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen des Poultrysect-Projekts hat das DIL untersucht, ob es möglich ist, nachhaltigeres Bio-Hähnchenfleisch bereitzustellen, indem lebende Insektenlarven in das Futter einbezogen werden.

Hühnerprotein für die menschliche Ernährung kann durch zwei verschiedene Produkte bereitgestellt werden: Hähnchenfleisch und Hühnereier. Die literaturbasierte Bewertung ergab, dass es notwendig ist, 2,4 kg Futterprotein bereitzustellen, um 1 kg Nahrungseiweiß zu produzieren, während es in der Broilerproduktion nur 2,24 kg Futterprotein benötigte. Allerdings muss auch der Unterschied in der Qualität berücksichtigt werden. Die korrigierte Proteinumwandlungseffizienz zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Systemen, was zu 2,06 kg Futterprotein in der Legehennenproduktion und 2,07 kg in der Broiler-Hühnerproduktion pro 1 kg Nahrungseiweiß führte. Zur Herstellung von 1 kg Hühnerprotein erwies sich die Broiler-Hühnerproduktion als deutlich umweltfreundlicher als das entsprechende Szenario der konventionellen Legehennenproduktion. Auch alle Insekten-Integrations-Szenarien der Broiler-Hühnerproduktion sind signifikant nachhaltiger als die der Legehennenproduktion.

Die experimentbasierte Umwelt-LCA ergab unterschiedliche Ergebnisse. Es wurde kein signifikanter Unterschied in der Umweltbelastung von 1 kg verzehrfertiger organischer Hähnchenkadaver aufgrund der Einbeziehung von 10 % BSFL in das Hühnerfutter festgestellt. Die signifikanten beobachteten Unterschiede können auf den Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern der Broiler zurückgeführt werden.

In Bezug auf die wirtschaftliche Nachhaltigkeit wurde für die BSFL-Produktion gezeigt, dass nicht nur die Produktionskosten, sondern auch Emissionskosten, insbesondere für die Abwasserbehandlung, berücksichtigt werden müssen. Im Hinblick auf die Broilerfleischproduktion führten die modellierten Szenarien zu höheren Produktionskosten im Vergleich zum Preis für bereits auf dem italienischen Markt vorhandenes Bio-Hähnchenfleisch. Der größte Beitrag kommt von den Arbeitskosten. Die Einbeziehung von 10 % BSFL in das Hühnerfutter erhöhte die Produktionskosten um fast 10 %. Ein Unterschied von 20 % wurde zwischen den Geschlechtern beobachtet.

Sozial gesehen begrenzt automatisierte Produktion soziale Risiken und hat sich sowohl in der Insekten- als auch in der Hühnerproduktion als entscheidender Faktor erwiesen. Als Ergebnis erwies sich automatisierte Hühnerproduktion auf der Grundlage Standard-Bio-Futtermittel als am nachhaltigsten, dicht gefolgt von automatisierter Hühnerproduktion mit Einbeziehung von BSFL. Was die Insektenproduktion betrifft, erwies sich die automatisierte Produktion als signifikant nachhaltiger als ihr manueller Gegenpart.

Während die meisten Verbraucher Akzeptanz gegenüber larvengefüttertem Hühnchen zeigen, sind sie zurückhaltend, einen Aufpreis für insektengefüttertes Hühnchen zu zahlen. Die Formulierung der Kommunikation gegenüber den Verbrauchern muss sorgfältig erfolgen, da scheinbar geringfügige Unterschiede eine große Auswirkung haben können.

Wenn es um die Gesamtergebnisse der integrierten Nachhaltigkeitsbewertung geht, deuten diese auf einen bedeutenden Unterschied zwischen den Geschlechtern der Hühner hin, wobei männliche Broiler nachhaltiger sind. Ein geringerer Unterschied in der Nachhaltigkeit wurde mit der Anwesenheit von Automatisierung in Verbindung gebracht. Schließlich war ein unbedeutender Unterschied mit der Einbeziehung von Insekten in das Hühnerfutter verbunden.

9 Literaturverzeichnis

Bengtsson, J., Seddon, J., 2013. Cradle to retailer or quick service restaurant gate life cycle assessment of chicken products in Australia. *J. Clean. Prod.* 41, 291–300.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.034>

González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A.C., Feijoo, G., Moreira, M.T., Arroja, L., 2014. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: A Portuguese case study. *J. Clean. Prod.* 74, 125–134.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>

Dekker, S.E.M., de Boer, I.J.M., Vermeij, I., Aarnink, A.J.A., Koerkamp, P.W.G.G., 2011. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. *Livest. Sci.* 139, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.011>.

Spykman, R., Hossaini, S.M., Peguero, D.A., Green, A., Heinz, V., Smetana, S., 2021. A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia illucens* larvae as a protein source for food and feed. *Int. J. Life Cycle Assess.* 26, 1959–1976.

<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01986-y>

Heines, W., Ristic, D., Rosenberger, S., Coudron, C., Gai, F., Schiavone, A., Smetana, S. (2023) Eggs or meat? Environmental impact and efficiency assessment of chicken protein production with potential of *Hermetia illucens* use in feed. *Resources, Conservation & Recycling Advances* 16 (2022): 200121.

<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200121>

Ertl, P., Steinwider, A., Schonauer, M., Krimberger, K., Knaus, W., Zollitsch, W., 2016. Net food production of different Livestock: a national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. *Bodenkultur* 67, 91–103. <https://doi.org/10.1515/boku-2016-0009>.

<https://www.hermetia-zucht.de/shop/Hermetia-Larven-gro%C3%9F-c66871017> (accessed on 21.08.2023).

<https://indexfood.it/articoli/fileni-presenta-il-nuovo-pollo-dalle-marche-il-pollo-biologico-simbolo-della-regione/> (accessed on 03.08.2023).

<https://www.salaryexpert.com/salary/job/farm-worker/italy> (accessed on 28.08.2023)

Pelletier, N., 2018. Social sustainability assessment of Canadian egg production facilities: Methods, analysis, and recommendations. *Sustainability*, 10(5), p.1601. <https://doi.org/10.3390/su10051601>

Neugebauer, S., Emara, Y., Hellerström, C. and Finkbeiner, M., 2017. Calculation of fair wage potentials along products' life cycle—Introduction of a new midpoint impact category for social life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 143, pp.1221-1232.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.172>

[L http://www.fao.org/news/story/en/item/197623/icode/](http://www.fao.org/news/story/en/item/197623/icode/) (accessed on 01.09.2023)

<https://www.fao.org/3/cb5332en/Meat.pdf> (accessed on 04.09.2023)

10. Übersicht der Veröffentlichungen

Artikel:

1. *Eggs or meat? Environmental impact and efficiency assessment of chicken protein production with potential of *Hermetia illucens* use in feed* veröffentlicht in Resources, Conservation & Recycling Advances. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200121>
2. Artikel über Verbraucherwissenschaft ist mit Kollegen vom CNR geplant
3. Artikel über die Qualität von Hühnern ist mit Kollegen von Nofima geplant

Präsentationen:

1. *Environmental impact of feeds utilized for poultry protein productions: soybean vs insect larvae* präsentiert auf 72nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science.
2. *Small-scale locally produced insects in laying hens' diet as tools for decrease of environmental impact of eggs* präsentiert auf 73rd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science
3. *Chicken: feed or insects, eggs or meat?* präsentiert auf Insects to feed the world 2022
4. *Chicken: from soy and insects to eggs and meat* präsentiert auf LCAFoods2022
5. *Lowering impacts of chicken meat through *Hermetia illucens* larvae supplementation in the feed?* präsentiert auf 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science

Es wurde ein aktiver Beitrag zum Newsletter von Poultrysect geleistet, der sowohl schriftliche Texte als auch Berichte über die Aktivitäten des DIL im Rahmen des Projekts enthielt.