Justus-Liebig-Universität Gießen
Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement
Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Professur für Landwirtschaftliche Produktionsökonomik

Masterthesis

Ökonomische Bewertung von Futterbaufruchtfolgen im Spannungsfeld hoher Milchleistungen und der Flächenkonkurrenz von Futter- und Nahrungsmitteln

Kathrin Friedrich
https://doi.org/10.22029/jlupub-21423

1. Prüfer: Prof. Dr. J. Aurbacher
2. Prüfer: C. Ullrich

Gießen, 13.03.2026

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis III
Tabellenverzeichnis IV
Abkürzungsverzeichnis V
1 Einleitung 1
2 Aktueller Wissensstand 3
2.1 Spannungsfeld „Teller vs. Trog“ 3
2.2 Ansätze zur Konfliktlösung im Spannungsfeld „Teller vs. Trog“ 7
2.2.1 nachhaltige Intensivierung 7
2.2.2. Änderungen des Ernährungssystems 9
2.2.3. Reduzierter Einsatz nahrungsmittelkonkurrierender Futtermittel 11
2.3 Literaturüberblick zu vergleichbaren Forschungsprojekten in der Milchkuhhaltung 13
2.3.1 Konkurrenzsituation zwischen Milchkühen und der Humanernährung 13
2.3.2 Fokus auf den Einsatz von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie in der Milchkuhfütterung 14
2.3.3 Fokus auf grünlandbasierte Milchkuhfütterung 15
2.4 Forschungsfragen 17
3 Methoden 18
3.1 Forschungsprojekt „Green Dairy“ am Gladbacher Hof 18
3.1.1 Gladbacher Hof im Detail 18
3.1.2 „Green Dairy“ im Detail 19
3.2 Systemvergleich 23
3.3 Zielgrößen dieser Arbeit 24
3.3.1 Betriebszweigabrechnung 24
3.3.2 Net Human Edible Protein & -Energy 27
3.4 Datengrundlage und Berechnung 28
3.4.1 zur Vollkostenrechnung 28
3.4.2 zum Net Human Edible Protein & -Energy 30
3.5 Annahmen 31
3.5.1 zur Vollkostenrechnung bei innerbetrieblicher Verwertung 31
3.5.2 zur Vollkostenrechnung im Allgemeinen 32
3.5.3 zur Berechnung des Net Human Edible Protein & -Energy 37
4 Ergebnisse 38
4.1 Betriebszweigauswertungen 38
4.1.1 Innenwirtschaft – Milchproduktion 38
4.1.2 Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf 39

4.1.3 Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse 41
4.2. Auswertung der Vollkosten auf Gesamtsystemebene 45
4.3 Ergebnisse des Net Human Edible Protein & -Energy 48
5 Diskussion 52
5.1 Interpretation und Einordnung der Ergebnisse 52
5.1.1 produktionsökonomische Bewertung der Milcherzeugung 52
5.1.2 produktionsökonomische Bewertung des Gesamtsystems 55
5.1.3 Bewertung des Beitrags zur Humanernährung 57
5.2 Einordnung der Validität der Ergebnisse 60
5.3 weiterer Forschungsbedarf 63
6 Zusammenfassung 65
Literaturverzeichnis VI
Anhang XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fruchtfolge des Gladbacher Hofes. 18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tägliche DMI bzw. Futtervorlage pro Kuh differenziert nach Laktationsstadien für *HIGH* und *LOW*. 20

Tabelle 2: Produktionskennzahlen der beiden Milchproduktionssysteme *HIGH* und *LOW*.....21

Tabelle 3: Ertragsdaten im Green-Dairy-Projekt für die beiden Produktionssysteme *HIGH* und *LOW*. .22

Tabelle 4: Erforderliche Anbaufläche zur betriebseigenen Bergung der jährlichen Futtermittel für *HIGH* und *LOW*. 22

Tabelle 5: Angenommene Anbauflächen zum Systemvergleich von *HIGH* und *LOW*. 24

Tabelle 6: Grundschema der BZA auf Produktionsverfahrensebene nach KTBL-Form. 25

Tabelle 7: BZA des Betriebszweiges „Innenwirtschaft – Milchproduktion“ für *HIGH* und *LOW*. 42

Tabelle 8: BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf“ für *HIGH* und *LOW*. 43

Tabelle 9: BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ für *HIGH* und *LOW*. 44

Tabelle 10: Vollkosten für *HIGH* und *LOW* zusammengefasst für die Betriebszweige „Milchproduktion“ und „Futterbau für Eigenbedarf“. 46

Tabelle 11: Vollkostenrechnung für *HIGH* und *LOW* auf Gesamtsystemebene. 47

Tabelle 12: NHEP und NHEE für *HIGH* und *LOW* zusammengefasst für die Betriebszweige „Milchproduktion“ und „Futterbau Eigenbedarf“. 49

Tabelle 13: NHEP und NHEE für *HIGH* und *LOW* auf Gesamtsystemebene. 51

Abkürzungsverzeichnis

AEK	Arbeitserledigungskosten
BLS	Bundeslebensmittelschlüssel
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
bpb	Bundeszentrale für politische Bildung
BZA	Betriebszweigabrechnung
CP	Rohprotein *(engl. crude protein)*
DAKfL	Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DBV	Deutscher Bauernverband
DKfL	Direktkostenfreie Leistung
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DMI	Trockenmasseaufnahme *(engl.: dry matter intake)*
EKfL	Einzelkostenfreie Leistung
FCF	*Feed competing feedstuff*
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
FPCM	*fat and protein corrected milk*
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
GE	Bruttoenergie *(engl.: gross energy)*
heCP	humanverwertbares Rohprotein (*engl.: human edible crude protein)*
hef	*human edible fraction*
heGE	humanverwertbare Bruttoenergie *(engl.: human edible gross energy)*
HIGH	High-Input-System im Projekt „Green Dairy“
JLU	Justus-Liebig-Universität Gießen
kGB	Kalkulatorischer Gewinnbeitrag
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, e.V.
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LLH	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LKE	Lebensmittel-Konversions-Effizienz
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LOW	Low-Input-System im Projekt „Green Dairy“
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
NHEE	*Net Human Edible Energy*
NHEP	*Net Human Edible Protein*
NLP	Netto-Lebensmittelproduktion
RGV	Raufutterverzehrende Großvieheinheiten
THG	Treibhausgas
TS	Trockensubstanz
WI Bank	Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen

1 Einleitung

In der Landwirtschaft stellt der Boden per Definition die Produktionsgrundlage dar (Bundeszentrale für politische Bildung (bpb, 2016), ist jedoch zunehmenden Nutzungskonkurrenzen konfrontiert. Neben der Erzeugung pflanzlicher und tierischer Lebensmittel nehmen sowohl nachwachsende Rohstoffe zur Erzeugung erneuerbarer Energien als auch Freiflächen für Photovoltaik oder Windenergie an Bedeutung und Flächenanspruch zu. Anhaltende Flächenversiegelungen zu Lasten landwirtschaftlicher Nutzfläche (Statistisches Bundesamt, 2025) sowie zunehmende Anforderungen nach Umweltleistungen verstärken besagte Nutzungskonkurrenzen. In Zusammenhang mit dem bereits erfolgtem sowie prognostiziertem, globalem Bevölkerungswachstum steigt der Produktivitätsdruck auf die Fläche. Metro-Chef Steffen Greubel warnte bereits, die Verfügbarkeit von Lebensmitteln sei langfristig eine große Herausforderung (Masengarb, 2024). Auch im Rahmen der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen werden weltweit u.a. produktivere Landwirtschafts-systeme forciert, um langfristig eine globale Ernährungssicherheit gewährleisten zu können (United Nations, o.J.).

Dabei rückt zur Gewährleistung der Ernährungssicherheit die Landwirtschaft als Primärproduktion mit pflanzlicher als auch tierischer Lebensmittelerzeugung in den Fokus. Letztere, bzw. allgemein die Tier- und in besonderem Maße die Nutztierhaltung, weist hinsichtlich der Flächennutzung rund um die Debatte „Teller vs. Trog“ wiederum Zielkonflikte auf. Einerseits ermöglicht die Nutztierhaltung die Erzeugung hochwertiger Nahrungsmittel mit essenziellen Nährstoffen, wobei die Umwandlung für den Menschen nicht direkt verwertbarer Ressourcen von besonderer Relevanz ist. Dazu zählt etwa die Nutzung von Steillagen oder ertragsschwacher, nicht zur Nahrungsmittelproduktion geeigneter Flächen, die Nutzung von Nebenprodukten der Lebensmittelverarbeitung sowie allgemein die Verwertung von Grünlandflächen durch Wiederkäuer. Andererseits werden jedoch humanernährungstaugliche Ackerflächen genutzt, um Futtermittel wie Silomais, Kraft- oder Eiweißfutter für die Nutztiere anzubauen. Diese Futteranbauflächen stehen in Konkurrenz zum Marktfruchtbau, der direkten Nahrungsmittelerzeugung von z.B. Brotgetreide, Kartoffeln oder Hülsenfrüchten. Daneben ist die tierische Produktion deutlich flächenintensiver als die pflanzliche (Osterburg et al., 2023). Zuletzt sind die Energie- und Nährstoffverluste bei der Umwandlung von Futtermitteln in tierische Erzeugnisse zu beachten (Wilkinson, 2011).

Aus agrarökonomischer Sicht gilt zudem, dass die Tierhaltung in Deutschland von entscheidender Bedeutung ist. Im Vergleich zum reinen Marktfruchtbau bietet sie vielerlei ökonomische und strategische Vorteile. Durch die Steigerung der betrieblichen Wertschöpfung und der Reduzierung von Markt- und Produktionsrisiken sichert sie vielerorts die Einkommen landwirtschaftlicher Betriebe und

ihrer Mitarbeiter*innen. Zeitgleich ist sie Grundstein einiger nachgelagerter, (regionaler) Wertschöpfungsstufen. Es ist zusätzlich zu beachten, dass langfristige Kredite z.B. an Neu- oder Umbauten von Ställen gebunden sind, wodurch sich ein abrupter Ausstieg aus der Tierhaltung als verlustbringend abbilden könnte. Neben den ökonomischen Aspekten eröffnet die Nutztierhaltung aber auch ökologische Vorteile hinsichtlich Ressourceneffizienz und Regenerationsleistung. Dazu zählt etwa eine effizientere Ressourcennutzung durch interne Veredelungsschritte sowie die Stickstoff- bzw. Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen mittels Wirtschaftsdünger und damit einhergehend geschlossene Stoffkreisläufe. Diese Aspekte sichern die Aufrechterhaltung des ökologischen Produktionssystems und spielen damit v.a. im Ökolandbau eine wichtige Rolle. Dieser weist allerdings einen höheren Flächenbedarf auf, um die gleichen Output-Mengen wie in konventioneller Referenz zu erzielen (Müller et al., 2017). Unter Berücksichtigung der Fläche als knappen Faktor bestehen dahingehend erneut Zielkonflikte.

Um bestehende Wertschöpfungen der tierischen Produktion zu erhalten, die Chancen zur effizienteren Verwertung von Ressourcen auszuschöpfen und gleichzeitig den Kritikpunkten, insbesondere der Flächenkonkurrenz von Futterbau und Nahrungsmittelproduktion, zu begegnen, werden verschiedene Strategien diskutiert. Darunter sind zwei für die Produktionsseite relevante Ansätze: erstens, weitere Produktivitätssteigerungen im Rahmen einer nachhaltigen Intensivierung und zweitens, die Reduzierung bestehender Konkurrenzen zwischen Nahrungs- und Futtermitteln (Schader et al., 2015). Hierbei rückt die Umwandlung von nicht der Nahrungsmittelproduktion dienlichen Ressourcen in den Fokus. Besonders die Nutzung von Grünlandflächen und die Verwertung von Lebensmittelabfällen sowie Nebenprodukten der Lebensmittelverarbeitung sind relevant.

Das Forschungsprojekt „Green Dairy“ der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) adressiert integrierte Tier-Pflanze-Agrarsysteme unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Diese umfassen die Erzeugung von Milch und Fleisch sowie von Getreide, Kartoffeln und Körnerleguminosen und sollen eine effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung gewährleisten (JLU, o.J.). Im Zentrum der Forschung steht die Frage nach der optimalen Intensitätsstufe für die Milchviehhaltung. Dabei variiert der Grad der Intensität mit der Fütterung, wodurch sich zwei Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Schwerpunkten sowie Verwendungszwecken der Kulturpflanzen ergeben. Damit werden die aufgeführten Herausforderungen rund um die Flächenkonkurrenz von Futter- und Nahrungsmitteln abgebildet. Im Rahmen dieser Arbeit soll aus produktionsökonomischer Sicht untersucht werden, ob das intensive oder extensive Milchviehhaltungssystem des Green-Dairy-Projektes kosteneffizienter ist und einen größeren Beitrag zur Humanernährung und damit zur Ernährungssicherheit liefert. Diese Erkenntnisse sollen Rückschlüsse liefern, welcher Intensitätsgrad im Sinne der ökonomischen Nachhaltigkeit vorteilhafter ist.

2 Aktueller Wissensstand

2.1 Spannungsfeld „Teller vs. Trog“

Um den Umfang landwirtschaftlicher Flächennutzung zu beschreiben, gibt es zwei relevante Maßzahlen: Zum einen die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF), welche alle tatsächlich genutzten Acker-, Grünland-, Dauerkultur-, Obst- und Gemüseflächen sowie zeitlich begrenzte Brachen umfasst. Zum anderen besteht die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN). Diese beinhaltet die eben aufgeführte LF sowie nicht genutzte, aber potenziell nutzbare Fläche. Die LF ist enger gefasst als die LN und daher aus Planungs- und Steuerungszwecken zur Beschreibung relevanter Betriebs- oder Anbauflächen als genauer einzustufen. Daher wird sich im Folgenden zur Beschreibung des Spannungsfeldes „Teller vs. Trog“ lediglich auf die LF bezogen.

In Deutschland wurden zum Stand 2023 ganze 61 % der LF zur Futtererzeugung genutzt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2024). Bezogen auf das Ackerland dienten 49 % als Anbaufläche für Futtergetreide und Ackerfutter. Somit wird also knapp die Hälfte der deutschen Ackerfläche direkt für die Tierernährung genutzt. Hinzu kommt noch die ausländisch verbrauchte Fläche für importierte Futtermittel (Osterburg et al., 2023). Betrachtet man die Anteile der Futtererzeugung an den Anbauflächen einzelner Kulturartengruppen, so fällt auf, dass ein gutes Drittel des Weizen- und Roggenanbaus der Tierernährung dient. Für das übrige Getreide sowie Hülsenfrüchte liegt dieser Anteil jeweils sogar bei mehr als zwei Dritteln, im Falle des Silomais bei ca. der Hälfte (BMEL, 2024). Einzig die Kartoffeln liegen bei unter 5 %. Ungeachtet des Standortpotentials und der erzielten Qualitäten könnten diese Futterflächen bzw. pflanzlichen Erzeugnisse auch zur direkten Nahrungsmittelproduktion genutzt werden.

Daraus ergibt sich eine Konkurrenzsituation mit zweierlei Dimension. Erstens konkurriert der Ackerfutterbau mit der Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel um den Produktionsfaktor Boden. Es besteht eine Flächenkonkurrenz. Zweitens könnten die erzeugten Futtermittel ggf. auch direkt zur Humanernährung genutzt werden. In diesem Falle spricht man von der sogenannten Nahrungsmittelkonkurrenz (Ineichen et al., 2019). Beide, Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz, beschreiben im Kern das Spannungsfeld rund um die Debatte „Teller vs. Trog“. Dabei spricht sich der „Teller“ für die unmittelbar pflanzliche und der „Trog“ für eine mittelbare Nahrungsmittelproduktion aus. Mittelbar meint hier, dass die erzeugten Futtermittel über den Umweg des Nutztieres zur Produktion von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft beitragen. Letztendlich dienen beide Ansätze der Bereitstellung von Nahrungsmitteln für die Menschheit und verfolgen damit dasselbe Ziel der Ernährungssicherung. Die Kernfrage der Debatte besteht jedoch darin, welche Verwertungsrichtung die vorhandenen, natürlichen Ressourcen im Hinblick auf die Humanernährung effizienter ausnutzt.

Ein zentraler Treiber dieser Frage ist das weltweite Bevölkerungswachstum. Zur Gewährleistung der Ernährungssicherheit sind steigende Produktionsmengen erforderlich, was die Nutzungskonkurrenzen um natürliche Ressourcen vorantreibt (Umweltbundesamt, 2021). Zusätzlich zur Ernährung bedarf eine steigende Weltbevölkerung aber auch mehr Wohn- und Sozialraum. Allein in Deutschland werden im Durchschnitt 51 ha pro Tag für Siedlung und Verkehr versiegelt (Statistisches Bundesamt, 2025). Somit wird der Boden, die Grundlage jeglicher landwirtschaftlichen Produktion (bpb, 2016), stetig begrenzt und zum knappen Produktionsfaktor. Ungeachtet der weltweiten Verteilungsaspekte sind folglich nicht nur im Absoluten steigende Produktionsmengen erforderlich, sondern auch bezogen auf die Flächeneinheit. In der Konsequenz resultiert die Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion, die neben der Ernährungsversorgung auch ökonomische Vorteile mit sich bringt, vor allem aber eine optimale Ausnutzung der knappen Fläche forciert.

Zwar kann der Boden in der Landwirtschaft als wichtigster Produktionsfaktor eingeordnet werden, da er überhaupt erst die Voraussetzungen zur Produktion schafft. Sein Vorhandensein allein genügt dennoch nicht zur erfolgreichen Pflanzenproduktion. Die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen sowie funktionierende und resiliente Ökosysteme sind ebenso von entscheidender Bedeutung, vor allem bezüglich einer nachhaltigen Produktion und den nachfolgenden Generationen. Allerdings gilt die Landwirtschaft in ihrer derzeitigen Form als Mit-Verursacherin von Umwelt- und Klimabelastungen. Denn sie trägt, insbesondere hinsichtlich des Zustandes der Biodiversität und biochemischen Stoffflüssen (Stickstoff, Phosphor), zur Destabilisierung des Erdsystems bei (Campbell et al., 2017). Dies offenbart eine zweite große Herausforderung für die Landwirtschaft. Neben Produktivitätssteigerungen ist es langfristig erforderlich ökologischer zu produzieren (Haller et al., 2020). Als umweltverträgliche Alternative zur weit verbreiteten konventionellen Landwirtschaft gilt der ökologische Landbau, der sich durch einen größeren Beitrag zur biologischen Vielfalt und einen geringeren zur Wasser-, Luft- und Bodenverschmutzung auszeichnet (Smith et al., 2019). Damit trägt er zur Verringerung landwirtschaftlicher Umweltwirkungen bei und ist daher fester Bestandteil des Europäischen „Green Deals“ (Rihm, 2020). Jedoch geht die umweltschonende Produktionsweise mit geringeren Erträgen einher, wodurch im Ökolandbau eine deutlich erhöhte Flächennutzung erforderlich ist, um die gleichen Output-Mengen wie in konventioneller Referenz zu erzielen (Müller et al., 2017). Betrachtet man im Rahmen politischer Zielsetzungen zur Ausweitung des Ökolandbaus die flächenbezogen geringeren Produktionsmengen bei knapper Fläche, so kommt der Debatte „Teller vs. Trog“ eine herausragende Bedeutung zu.

Unabhängig der Wirtschaftsweise verschärft sich der zuvor aufgeführte Zielkonflikt um „Teller vs. Trog“ weiter, sofern auch die weltweiten, sich verändernden Konsumgewohnheiten berücksichtigt werden. Während in Indien im Jahre 2007 pro Kopf 3,2 kg Fleisch konsumiert wurden, lag dieser Wert für die

USA bei 125 kg (Eisler et al., 2014). Diese Werte repräsentieren im Allgemeinen den Unterschied zwischen den Industrienationen (hier: USA) sowie den Schwellen- und Entwicklungsländern (hier: Indien). Im Zuge des Strukturwandels erfolgten vielerorts, vor allem in den Schwellenländern, Änderungen der Ernährungsgewohnheiten. Unter anderem geht hierbei ein geringerer Konsum faser- und proteinreicher, pflanzlicher Lebensmittel mit einem umfangreicheren Verzehr energiedichter und tierproduktreicher Nahrung (insbesondere Milch und Fleisch) einher (Popkin, 1999). Diese sogenannte „Verwestlichung der Ernährung" führt folglich zum Anstieg tierischer Produktion, wodurch wiederum der Futterflächenbedarf steigt und damit die Debatte um „Teller vs. Trog" geographisch ausweitet.

Eine weitere Verschärfung des besagten Zielkonflikts erfolgt auch auf regionaler oder nationaler Ebene, wenn auch die Erzeugung erneuerbarer Energien als weitere Bodennutzung mit in Betracht gezogen wird. So beanspruchte z.B. der Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahre 2020 bereits 16 % der LF (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2022). Hinzukommen noch Flächenansprüche von Windkraft- sowie Photovoltaikanlagen. Unter Berücksichtigung politischer Vorgaben und Ziele ist zu erwarten, dass dieser Flächenanspruch sukzessive zunehmen wird (Hülle et al., 2024). Dadurch erweitert sich die Debatte um besagte Nutzungsrichtung zu „Teller vs. Trog vs. Tank". Im Rahmen dieser Arbeit und ihres Forschungsziels wird im Folgenden jedoch der alleinige Zielkonflikt zwischen Teller und Trog betrachtet.

Um diesen umfassend zu analysieren, ist es erforderlich, die Flächen- bzw. Nahrungsmittelkonkurrenz zwischen Tier und Mensch weiter zu differenzieren. Etwa treten bei einer separaten Betrachtung nach Tierarten Unterschiede auf. So bedingen die verschiedenen Verdauungssysteme unterschiedliche, natürliche Nahrungsgrundlagen. Während der Verdauungsapparat monogastrischer Tiere, wie z.B. Schweine und Geflügel, sehr dem Menschen ähnelt, verfügen Wiederkäuer hingegen über einen komplexen Verdauungsapparat. Dieser ermöglicht ihnen dank bestimmter Mechanismen (Gebiss mit Kauplatte, Vormägen, mikrobielle Aktivität) auch schwer verdauliche pflanzliche Biomasse effizient zu verwerten. Dadurch sind Wiederkäuer besonders gut in der Lage, rohfaserhaltige Nahrung zu nutzen. Demzufolge nehmen sie rund um die Debatte Teller vs. Trog eine gesonderte Stellung ein. Monogastrier, deren Nahrungsgrundlage auf hochverdaulichen, strukturarmen Komponenten basiert, stehen hingegen in direkter und damit größerer Nahrungskonkurrenz zum Menschen (Ertl und Knaus, 2016).

Die zuvor beschriebene Nahrungskonkurrenz kann mithilfe des sogenannten „hef-Wertes" (hef; *engl: human edible fraction*) in Zahlen ausgedrückt werden. Dabei drückt der hef-Wert konkret jenen Anteil eines Futtermittels, der human verzehrbar, d.h. potenziell für die menschliche Ernährung nutzbar ist, gemessen in Protein- oder Energieeinheiten aus (Wilkinson, 2011). Das bedeutet wiederum: Je größer der hef-Anteil, desto stärker konkurrieren die eingesetzten Futtermittel mit der Humanernährung.

Während Grobfuttermitteln wie Grassilage, Heu und Weideland ein hef-Wert von 0 % zugeschrieben wird, weisen Getreide- und Hülsenfruchterzeugnisse (inklusive Sojaschrot) hef-Werte von 80 % auf (Wilkinson, 2011). Letztere sind klassische Futtermittel von Schweinen und Geflügel und werden üblicherweise als Kraftfuttermittel auch in der Wiederkäuer- bzw. Rindviehhaltung eingesetzt.

Der beschriebene hef-Wert setzt zur Beurteilung der Nahrungsmittelkonkurrenz am Futter, d.h. Input, an. Zur umfassenden Betrachtung ist es jedoch auch erforderlich den erzeugten Output zu berücksichtigen. Stichworte hierbei sind die erzeugte Energie- und Proteinmenge inklusive der Proteinqualität. Denn diese Parameter erlauben eine Beurteilung des tatsächlichen Beitrages der pflanzlichen und tierischen Erzeugnisse zur menschlichen Ernährung. Um diese Aspekte einzubeziehen, stellt die Lebensmittel-Konversions-Effizienz (LKE) eine geeignete Maßzahl dar. Die LKE stellt den essbaren Output im tierischen Produkt dem hef-Anteil der Futterration gegenüber (Ertl et al., 2015). Damit beschreibt sie die Effizienz der Protein- und Energieverwertung. Eine LKE < 1 weist auf eine negative Bilanz hin: Der eingesetzte hef-Anteil in der Futterration ist größer als die letzten Endes erzeugte essbare Outputmenge. Hingegen bedeutet eine LKE > 1, dass die tierische Produktion einen tatsächlichen Mehrwert zur Humanernährung leistet. Die erzeugte, für den Menschen verwertbare Protein- und Energiemenge ist größer als die im Futter enthaltene (Puntigam et al., 2025). Letztlich kann mithilfe der LKE die Effizienz der Umwandlung von pflanzlichen Futtermitteln in tierische Lebensmittel beurteilt werden. Konkrete Ergebnisse zur LKE verschiedener Tierproduktionssysteme werden nachfolgend in Kapitel 2.3 berücksichtigt.

Die aufgeführte Maßzahl der LKE sowie der hef-Wert sind jeweils Parameter, um die bestehende Nahrungsmittelkonkurrenz zu beurteilen. Hinsichtlich der Flächenkonkurrenz ist stattdessen das vorhandene (ackerbauliche) Produktionspotenzial des Standortes entscheidend. Die natürlichen Produktionsfaktoren, etwa Boden, Wasser und Klima, führen dazu, dass nicht an jedem Standort pflanzliche Erzeugnisse jeglicher Art und höchster Qualität erzeugt werden können. Zur Einschätzung des Potenzials kann hier die Gesamtheit der Parameter aus Bodenpunkten, Höhenmetern oder jährlichen Niederschlags- und Temperatursummen in Verbindung mit den Standortansprüchen der Kulturpflanzen herangezogen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein weltweites Bevölkerungswachstum in Verbindung mit sich ändernden Konsumgewohnheiten sowie umweltbedingten Herausforderungen im Allgemeinen einen Anstieg der Lebensmittelproduktion in nachhaltiger Weise bedarf (vgl. Haller et al., 2020). Im Hinblick auf die Fläche als grundlegenden, aber knappen Produktionsfaktor bestehen Nutzungskonkurrenzen zwischen der pflanzlichen und tierischen Lebensmittelproduktion. Der entsprechende Beitrag zur Humanernährung ist ein großer und wichtiger Argumentationspunkt in der „Teller vs. Trog“-Debatte, jedoch nicht alleiniges Beurteilungskriterium. Etwa sind Umweltwirkungen

oder der ökonomische Erfolg und die Wertschöpfung des jeweiligen Produktionssystems weitere relevante Faktoren, die zu berücksichtigen sind. Neben dem Output an Energie und Proteinen sind somit Parameter wie Treibhausgas(THG)-Emissionen, der ökologische Fußabdruck eines Produktes oder aber produktionsökonomische Maßzahlen zur differenzierten Beurteilung der „Teller vs. Trog"-Debatte entscheidend. Auch ethisch-moralische Werte können einen Einfluss nehmen. Daher bestehen verschiedene Betrachtungs- und Beurteilungsebenen. Nachfolgend werden die sich daraus ergebenden, in der Literatur aufgeführten Ansätze zur Lösung bzw. Entschärfung des Zielkonfliktes „Teller vs. Trog" aufgeführt.

2.2 Ansätze zur Konfliktlösung im Spannungsfeld „Teller vs. Trog"

2.2.1 nachhaltige Intensivierung

Wie bereits in 2.1 kurz erwähnt, erfolgte zur Bereitstellung ausreichender Nahrungsmittelmengen unter knappen Produktionsfaktoren jahrzehntelang sowohl in der pflanzlichen als auch in der tierischen Erzeugung die Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion. Einhergehend mit dem technischen Wandel und Zuchtfortschritten wurden hierbei ökonomische Erfolge erzielt. Im Zuge der intensivierten Produktion erfolgte in der Wiederkäuerernährung jedoch eine enorme Zunahme des Kraftfuttereinsatzes (Ertl und Knaus, 2016). Dies führte zwar zielgetreu zu Leistungssteigerungen, verschärfte aber wiederum die Nahrungsmittelkonkurrenz aufgrund der höheren hef-Anteile der Kraftfutterkomponenten (siehe auch 2.1). Die zunehmenden Rationsanteile von Silomais, (Soja-)bohnen und jenem Kraftfutter verschärfen zudem auch die Flächenkonkurrenz. Ein weiterer Kritikpunkt sind die mit der Intensivierung verbundenen negativen Umweltwirkungen. Neben dem indirekten Effekt des erhöhten Flächenverbrauchs führte die intensivierte Produktion gemäß ökonomischen Aspekten zu starken Aufstockungen des Tierbestandes. Diese bedingen wiederum unter anderem steigende THG-Emissionen. Mit einer intensiveren Nutzung des Dauergrünlandes (hohe Schnitthäufigkeit) geht zudem ein Biodiversitätsverlust einher.

Um nun die negativen Effekte der Intensivierung zu adressieren, wird als Lösung eine nachhaltige Intensivierung aufgeführt (Ohloff, 2011). Die Ernährungssicherheit müsse demnach im Einklang mit dem Erhalt natürlicher Ressourcen stehen. Das heißt, die Erzeugung hoher Produktionsmengen darf nicht zu einer Erhöhung der Umweltbelastungen führen. Im Gegenteil sollen diese gar gesenkt werden, um die natürlichen Produktionsfaktoren langfristig zu schützen. Anstelle des pauschalen Ziels „mehr Output" interessiert die Effizienzsteigerung je Tier, Hektar, Futtereinsatz oder Produktionseinheit.

In dieser Hinsicht kamen Gerber et al. (2011) in ihrer global betrachteten Studie über den Zusammenhang von Milchleistung und THG-Emissionsintensität in Milchviehhaltungssystemen zum

Schluss, dass die Intensivierung, also eine höhere Milchleistung, neben den Aspekten der Ernährungssicherheit und Ökonomie auch unter Berücksichtigung von Umweltaspekten sinnhaft sein kann. Eine Lebenszyklusanalyse zeigte, dass die THG-Emissionen pro erzeugtem Kilogramm *fat and protein corrected milk* (FPCM) mit zunehmender Milchleistung sinken. Allerdings konnte dieser Effekt nur bis zu einer Milchleistung von 2.000 kg FPCM pro Kuh und Jahr beobachtet werden. Damit ist der beschriebene Zusammenhang für bereits intensivierte, westliche Milchviehhaltungssysteme uninteressant. Dennoch weist er global betrachtet vor allem für Entwicklungsländer bzw. spezifische Gebiete Potenziale auf und relativiert negative Umweltfolgen bis zu gewissen Grenzen.

Da die Leistungen der Milchproduktionssysteme der Industrienationen deutlich über der genannten Produktionsschwelle liegen, reicht eine rein relative Betrachtung der THG-Emissionen nicht aus. Um eine intensivierte Produktion auch in ökologischer Hinsicht nachhaltig zu gestalten, sind Anpassungen der Produktionsweise erforderlich. Diese betreffen züchterische, fütterungsbezogene-, management- sowie technikbasierte Maßnahmen.

Im Bereich der Züchtung stellen insbesondere Robustheit und Langlebigkeit relevante Zielgrößen dar. Eine längere Nutzungsdauer führt zu einer höheren Lebensleistung je Kuh. Gleichzeitig verringert sich der Remontierungsbedarf, wodurch weniger Jungtiere aufgezogen werden müssen. Dies spart Futter, Kosten sowie Ressourcen und reduziert die Emissionen je erzeugtem kg Milch. In Bezug auf die Fütterung sind eine bedarfsgerechtere Ration, z.B. durch die Differenzierung der Herde nach Laktationsstadien, die Reduzierung von Futterverlusten sowie eine bessere Futterverwertung anzustreben. Im Bereich des Herdenmanagements stehen das Tierwohl und eine optimale Tiergesundheit im Fokus. Neue Technologien wie Sensoren und Aktivitätsmessungen ermöglichen ein digitales Monitoring der Nutztiere. Erkrankungen können bereits vor dem Auftreten klinischer Symptome erkannt werden, sodass frühzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen und größere Leistungseinbußen oder Tierverluste vermieden werden können. Auch dies trägt zu einer längeren Nutzungsdauer und damit zu Effizienzsteigerungen bei.

In Bezug auf technikbasierte Maßnahmen besteht ein sehr großes Repertoire möglicher Anpassungen. Im Folgenden wird das Güllemanagement hervorgehoben, da in diesem Bereich ein besonders hohes Potenzial zur Emissionsminderung besteht. Zudem gibt es vielerlei Möglichkeiten dank des technischen Fortschritts. Das allgemeine Ziel der nachfolgenden Maßnahmen ist es, mikrobielle Umsetzungsprozesse zu beeinflussen sowie volatile Stickstoff(N)-Verluste entlang der Prozesskette von der Ausscheidung bis zur Ausbringung zu minimieren.

Einen präventiven Ansatz verfolgt dabei die frühzeitige Trennung von Kot und Harn im Stall (Brade und Brade, 2022). Dies kann etwa durch die sogenannte Kuhtoilette, einem neuen Verfahrensansatz der

niederländischen Firma Hanskamp, erfolgen. Da Ammoniak hauptsächlich durch den enzymatischen Abbau von Harnstoff entsteht, verhindert die räumliche Trennung beider Ausscheidungsfraktionen die Bildung von Ammonium weitgehend. Auf diese Weise lassen sich Ammoniakemissionen bereits an der Entstehungsquelle erheblich senken. Zusätzlich ermöglicht eine separate Lagerung des getrennten Kots und Harns eine gezieltere Nährstoffausbringung (Hanskamp, 2026). Auch die technisch durchgeführte Gülleseparierung in eine feste und eine flüssige Phase trägt zur Emissionsminderung sowie gezielteren Nährstoffgabe bei (Wulf, 2023).

Eine weitere wirksame Maßnahme ist die Ansäuerung der Gülle (Howind und Benecke, o.J.). Aufgrund der Absenkung des pH-Wertes wird das Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak zugunsten des pflanzenverfügbaren Ammoniums verschoben, wodurch sich die Ammoniakverluste deutlich verringern. Auf der Ebene der Gülleausbringung stellt zudem die Zugabe von Nitrifikationsinhibitoren eine weitere Möglichkeit dar, um die N-Effizienz zu steigern. Denn die Nitrifikationshemmstoffe behindern die mikrobielle Umwandlung von Ammonium zu Nitrat. Dadurch werden sowohl Nitratauswaschungen ins Grundwasser als auch Lachgasemissionen reduziert. Gleichzeitig bleibt N länger pflanzenverfügbar, so dass zusätzlich die Düngeeffizienz erhöht wird (Fuchs et al, 2011). Darüber hinaus sind eine emissionsarme Lagerung, etwa durch feste Abdeckungen oder Granulate, sowie die Ausbringung der Gülle von zentraler Bedeutung. Bei der Ausbringung führen bodennahe Verfahren wie Schleppschuh- oder Injektionstechnik zu deutlich geringeren Ammoniakemissionen (Wulf, 2023).

Insgesamt zeigen diese Maßnahmen, dass durch ein angepasstes Güllemanagement sowohl klimarelevante Emissionen als auch N-Verluste wirksam reduziert werden können, wodurch die Ressourceneffizienz der Milchproduktion verbessert und ihre ökologische Nachhaltigkeit gestärkt wird.

Ein weiterer Ansatz der nachhaltigen Intensivierung besteht, unabhängig der zuvor aufgeführten Dimensionen, in der Haltung von Zwei-Nutzungs-Rassen. Hierbei wird aufgrund der beiden vorhandenen Outputs Milch und Fleisch von einer erhöhten Produktivität pro Tier ausgegangen (Haller et al., 2020). Im Vergleich zu reinen Fleisch- oder Milchrassen werden sie folglich als ressourceneffizienter eingestuft.

2.2.2 Änderungen des Ernährungssystems

Im Unterschied zu den vorangehenden Ausführungen sprechen sich andere Veröffentlichungen als Lösung für ein nachhaltiges Ernährungssystem für Änderungen der bestehenden Ernährungsweise aus. Im Konkreten geht es um drastische Reduktionen des Fleisch- und Milchkonsums. Neben ethisch-moralischen Bedenken gegenüber der Nutztierhaltung werden vor allem die Umweltbelastungen durch moderne, intensive Produktionssysteme bemängelt. Ansätze wie

Präzisionslandwirtschaft, verringerte Lebensmittelverschwendung oder technologischer Fortschritt seien zwar unerlässlich, jedoch nicht ausreichend, um negative Externalitäten der tierischen Produktion zu kompensieren (Sabaté und Soret, 2014). Abgesehen der negativen Umwelteffekte gilt zudem der Umwandlungsprozess pflanzlichen Materials in tierische Lebensmittel als höchst energieineffizient und damit als zweites Hauptargument gegen eine tierische Produktion (ebenda). Damit einhergehend wird der allgemeine Flächenanspruch der tierischen Produktion kritisiert, welcher im Vergleich zum Anbau pflanzlicher Lebensmittel aufgrund des Futteranbaus deutlich intensiver ist (Hülle et al., 2024). In der Konsequenz ordnen die Autor*innen der Reduktion des Fleischkonsums großes Potenzial zur Einsparung des Flächenverbrauchs zu. Auch in Eisler et al. (2014) wird eine Änderung der Essgewohnheiten, vornehmlich bezüglich des Fleischkonsums, gefordert. Statt Quantität solle eine bessere Fleischqualität gewählt werden. Als entscheidendes Argument werden hier die ernährungsphysiologischen Vorteile eines geringeren, aber qualitativ hochwertigeren Fleischkonsums aufgeführt.

Letztlich forcieren alle erwähnten Argumentationsansätze einen reduzierten Konsum tierischer Produkte und damit die Abstockung der Nutztierhaltungsbestände. Dies würde wiederum einen verringerten Bedarf an Futtermitteln bedeuten, was die Konkurrenzsituation rund um die aufgeführte Debatte „Teller vs. Trog“ entlasten würde. Bei einer weit gefassten rein pflanzlichen Lebensmittelproduktion sind jedoch einige Aspekte zu beachten:

Einerseits gehen niedrigere Tierzahlen mit einer geringeren Erzeugung tierischen Eiweißes einher. Um diese geringeren Produktionsmengen auszugleichen, bedarf es daher einer entsprechenden Ausweitung des (Körner-)Leguminosenanbaus (Müller et al., 2017). Hierbei ist jedoch der Aspekt der Leguminosenmüdigkeit im Rahmen der Fruchtfolge zu beachten. Andererseits gehen niedrigere Tierzahlen auch mit einer geringeren Erzeugung tierischen Wirtschaftsdüngers einher. Dieser dient im biologischen Landbau im Rahmen der Kreislaufwirtschaft jedoch als Schlüsselelement zur Nährstoffrücklieferung. Auch im konventionellen Bereich trägt der Wirtschaftsdünger in großen Mengen zur Nährstoffversorgung bei (Deutscher Bauernverband (DBV), 2022). Hier würde sich in der Konsequenz die CO_2-intensive Produktion der mineralischen Düngemittel ausweiten (ebenda).

Des Weiteren gilt es zu beachten was mit den Aufwüchsen des Feldfutterbaus geschieht (DBV, 2022). Im Ökolandbau bilden Leguminosengemenge, wie Kleegras oder Luzernegras, den Grundstein vielgliedriger Fruchtfolgen. Zusätzlich zur erforderlichen biologischen N_2-Fixierung fördern sie die Bodenfruchtbarkeit. Als alternativer Verwertungszweck zur Futternutzung ist der Einsatz als Biogasanlagensubstrat möglich. Unter Beschränkung auf die „Teller vs. Trog“-Debatte bleibt als Beitrag zur Ernährungssicherheit jedoch nur die Futternutzung. Gleichermaßen ist zu beachten, wie mit vorhandenen Grünlandflächen verfahren wird. Aufgeführte Forderungen nach einer drastischen

Reduktion des Konsums tierischer Erzeugnisse inkludieren ebenso die Erzeugnisse von Wiederkäuern. Letztere sind derzeit jedoch Hauptnutzer des Grünlandes. Ein Umbruch von Dauergrünlandflächen in Ackerland wäre aus ökologischen und klimatischen Gründen nicht zielführend und ist ohnehin durch gesetzliche Vorschriften, etwa im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP), sehr stark eingeschränkt (Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WI Bank), 2025). Hinzukommt, dass auf bestehenden Grünlandflächen vielerorts aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten (z.B. Hangneigung, Bodenfeuchte, Flachgründigkeit) kein wirtschaftlicher Ackerbau realisierbar ist.

Der Aspekt des Standortes ist zugleich für das Ackerland relevant. Viele Flächen sind klimatisch oder qualitativ ungeeignet, um Speisegetreide zu erzeugen (DBV, 2022). Die dafür erforderlichen Qualitätsmerkmale sind ein weiterer relevanter Aspekt. Abgesehen des Standortpotenzials können diese z.B. aufgrund plötzlicher Wetterereignisse auch in ackerbaulichen Gunstregionen verfehlt werden. Die dann (unbeabsichtigt) erzeugten Futter(getreide)mengen können über das Nutztier schließlich noch der Humanernährung beitragen.

Zuletzt ist zu beachten, dass mit der Erzeugung pflanzlicher Lebensmittel Neben- und Koppelprodukte wie z.B. Kleie, Trester und Ölschrote einhergehen. Es heißt, dass mit einem Kilogramm pflanzlicher Lebensmittel ganze vier Kilogramm nicht-essbare Biomasse entstehen (DBV, 2022; Vorndran et al., 2024). Analog zum Futtergetreide bietet die Veredelung über das Nutztier eine herausragende Möglichkeit diese Reststoffe wiederum in Lebensmittel umzuwandeln.

Schließlich ist festzuhalten, dass ein vornehmlich pflanzliches Ernährungssystem, neben ernährungsphysiologischen Vorteilen, die Debatte rund um Teller vs. Trog in der Theorie zwar deutlich entschärfen würde, eine großflächige Umsetzung in der Praxis jedoch an Grenzen stoßen könnte. Zudem zeigen einige Aspekte, dass vielerlei Futtermittel in keinerlei (Flächen- oder Nahrungs-) Konkurrenz zum Menschen stehen.

2.2.3 Reduzierter Einsatz nahrungsmittelkonkurrierender Futtermittel

Wie in 2.2.1 erwähnt, geht eine intensivere Tierhaltung zum Teil mit der Verschärfung der Flächenkonkurrenz für Nahrungs- und Futtermittel einher. Wie jedoch in 2.2.2 zuletzt aufgeführt, sind die heimischen Nutztiere für vielerlei Biomasse einziger Verwerter und gleichzeitig Nährstofflieferant für den Pflanzenbau. Um den Kritikpunkten zu begegnen und gleichzeitig die Potenziale der tierischen Produktion auszuschöpfen, wird als Konsistenzstrategie ein reduzierter Einsatz von nahrungsmittel-konkurrierenden Futtermitteln (FCF*; engl.: feed competing feedstuff*) diskutiert (Schader et al., 2015). Dabei geht es vor allem, um die Schwerpunktsetzung auf nicht-FCF, wozu, wie in 2.2.2 erläutert, unter

anderem die Nebenprodukte der Lebensmittelverarbeitung sowie Grobfutter (Feldfutter und Grünland), welche für den Menschen nicht direkt verwertbar sind, zählen.

In 2.1 wurde bereits die unterschiedliche Nahrungsmittelkonkurrenz in Abhängigkeit der Tierart betrachtet. Neben den gegebenen Voraussetzungen der Verdauung und den damit einhergehenden eingesetzten Futtermitteln ist als weitere Differenzierungsebene der Konkurrenzsituation jedoch die tatsächliche Zusammensetzung der Futterration von Bedeutung. Hierzu liefern unter anderem die hef-Anteile Aufschluss. Während klassische Rationskomponenten wie Getreide, Sojabohnen und Körnermais jeweils einen hef-Wert von 80 % aufweisen, liegt dieser für Rapsschrot und Weizenkleie, beides Nebenprodukte der Lebensmittelverarbeitung, nur bei 20 % (Wilkinson, 2011; Puntigam et al.,2019). Weitere Nebenprodukte, etwa aus der Zucker-, Bier-, oder Ethanolherstellung, grenzen sich mit einem hef-Wert von 0 % noch deutlicher ab (Puntigam et al., 2019). Diese Daten spiegeln das unter bestehenden Technologien kaum vorhandene Nutzungspotenzial für die menschliche Ernährung wider. Gleichzeitig veranschaulichen sie das enorme Potenzial, welches die ohnehin anfallenden Nebenprodukte mit sich bringen, um der Nahrungskonkurrenz entgegenzuwirken. Ein Einsatz dieser nicht-FCF anstelle der klassischen Kraft- und Eiweißfuttermittel würde in der Folge die LKE der erzeugten Produkte steigern (Puntigam et al., 2019).

Als zweite Gruppe der nicht-FCF ist allgemein das Raufutter zu berücksichtigen. Grünlandaufwüchse sowie Feldfutterbau weisen ebenso einen hef-Wert von 0 % auf (siehe auch 2.1; Wilkinson, 2011). Damit bieten sie für Wiederkäuer ein weiteres Potenzial. Hier wäre etwa die Substitution des Silomaises interessant. Bezüglich des Feldfutterbaus muss trotz seiner Relevanz für (ökologische) Fruchtfolgen berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um Ackerflächen handelt. Diese könnten (ungeachtet des Standortes) potenziell auch direkt für die Humanernährung genutzt werden.

Im Einklang mit diesen Erkenntnissen ordnen Haller et al. (2020) den Einsatz des Futtergetreides in der Rindviehhaltung als zu hoch ein und fordern allgemein einen reduzierten Anbau von Futtergetreide auf Ackerflächen sowie eine effizientere Nutzung des Raufutters durch Wiederkäuer. Allgemein sprechen sich die Autor*innen dafür aus, die Fütterung der Milchkühe so auszugestalten, dass sie in kleinstmöglicher Nahrungskonkurrenz zum Menschen steht. Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch Schader et al. (2015). Den Autor*innen zu Folge können mit Raufutter gefütterte Wiederkäuer eine wichtige Rolle in der Ernährungssicherheit einnehmen, in dem sie Ressourcen nutzen, die ansonsten nicht bzw. nur in sehr geringem Maße der Nahrungsmittelproduktion dienen würden. Gleichzeitig stellen sie eine wichtige Proteinquelle dar. Letztlich meinen Schader et al. (2015), ein auf Grünland und Wiederkäuern basierendes Ernährungssystem könne auseichend Nahrungsmittel zur Verfügung stellen und gleichzeitig die Umweltbelastungen reduzieren.

Schlussendlich ist festzuhalten, dass der hier dargestellte Ansatz zur Reduktion der FCF mit der Reduzierung des Futterbaus auf Ackerflächen einhergeht, wodurch sowohl die Flächen- als auch Nahrungsmittelkonkurrenz zwischen Tier und Mensch entlastet wird. Die im Zuge der nachhaltigen Intensivierung aufgeführten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung schließen sich hiermit nicht aus. Gleiches gilt für die Minimierung des Konsums tierischer Lebensmittel. Somit erscheint die Kombination eben jener drei aufgeführten Ansätze aus managementbedingten Anpassungen, bewussterem Lebensmittelkonsum und der Reduktion der FCF als eine optimale Lösung, um der Debatte „Teller vs. Trog“ zu begegnen und gleichzeitig eine nachhaltige(re) Produktion tierischer Lebensmittel zu gewährleisten.

2.3 Literaturüberblick zu vergleichbaren Forschungsprojekten in der Milchkuhhaltung

2.3.1 Konkurrenzsituation zwischen Milchkühen und der Humanernährung

Eine Untersuchung konkreter Milchproduktionsbetriebe des Schweizer Mittellandes und Voralpengebietes adressierte erstmalig die beiden Indikatoren der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz gemeinsam (Ineichen et al., 2019). Hierbei wurden die Futterrationen von Praxisbetrieben erfragt sowie das Standortpotential der (Acker-)Flächen berücksichtigt. Die Berechnung der zwei relevanten Indikatoren ergab zum einen, dass die Nahrungsmittelkonkurrenz zwischen den Milchkühen und Menschen positiv mit dem Kraftfuttereinsatz korreliert: je geringer der Kraftfuttereinsatz, desto geringer die Nahrungsmittelkonkurrenz der Futterration (Ineichen et al., 2019). Denn bei hohem Kraftfuttereinsatz konkurrieren das verfütterte Getreide und die Körnerleguminosen, analog zu den monogastrischen Tieren, direkt mit der Humanernährung (siehe auch 2.1). Als Ausnahme davon gelten Rationen (auch mit hohem Kraftfuttereinsatz), wenn darin Nebenprodukte der Lebensmittelproduktion eingesetzt werden (Ineichen et al., 2019; siehe auch 2.2.3). Zum anderen ergab die Ermittlung der Flächenkonkurrenz, dass diese deutlich größer ausfällt als die zuvor beschriebene Nahrungsmittelkonkurrenz. Hierbei grenzten sich Betriebe in den Bergzonen ab. Sie wiesen die geringste Flächenkonkurrenz auf, da die dort vorhandenen Flächen für den Ackerbau und damit zur Nahrungsmittelproduktion größtenteils ungeeignet sind (Ineichen et al., 2019).

In Ihrer Untersuchung berücksichtigten die Autor*innen auch die produzierte Energie- und Proteinmenge inklusive der Proteinqualität. Dahingehend war festzuhalten, dass, unter Aspekten der Nahrungsmittelkonkurrenz, die Outputmenge an humanernährungstauglichem Protein bzw. Energie größer als jene im Futter eingesetzte Menge ist. Das heißt, die Milchproduktion leistet per se einen Beitrag zur menschlichen Ernährung. Unter den Aspekten der Flächenkonkurrenz würde die Mehrzahl

der untersuchten Flächen jedoch mittels pflanzlicher Erzeugung einen größeren Beitrag zur Nahrungsmittelerzeugung leisten (Ineichen et al., 2019).

In einer Analyse österreichischer Nutztierhaltungssysteme wurden jeweils die LKE (siehe auch 2.1) nach Tierarten berechnet. Hierbei stechen die Milchproduktionssysteme mit grünlandbasierter Fütterung hervor. Eine LKE für Proteine von 1,98 und für Energie von 1,44 stellen den enormen Beitrag von Milchkühen zum Ernährungssystem dar: Der Lebensmitteloutput umfasst hinsichtlich der Humanernährungstauglichkeit etwa die doppelte Proteinmenge des Futtereinsatzes (Ertl et al., 2016). Somit wird unterstrichen, dass die Milchkuh aus den nicht menschlich verwertbaren (Grünland-)Ressourcen hochwertige Lebensmittel umsetzen kann (Puntigam et al., 2019). Zur Einordnung dieser herausragenden Fähigkeit dient die Betrachtung der LKE der weiteren Nutztierarten. Sowohl das System der Legehennen, Hühnermast, Schweinemast als auch die Rindermast weisen jeweils eine Protein-LKE < 1 auf. Somit erfolgt eine ressourcenineffiziente Umwandlung pflanzlicher Futtermittel in tierische Lebensmittel.

In einer weiteren Studie südwestdeutscher Milchviehbetriebe wurden unter anderem die Auswirkungen der Produktionsintensitäten konkreter Praxisbetriebe auf die Effizienz der Lebensmittelproduktion untersucht. Hierbei wurde zwischen intensiver, stallgeführter und extensiver, grünlandbasierter Wirtschaftsweise differenziert (Dentler et al., 2020). Die Ergebnisse zeigen, dass die extensiven grünlandbasierten Systeme in der Umwandlung von Ressourcen in menschlich verwertbare Nahrungsmittel (gemessen in Proteinen und Energie) deutlich besser abschneiden. Ebenso erzielen sie eine höhere N- sowie Phosphornutzungseffizienz (Dentler et al., 2020). Die Autor*innen appellieren daher, eine intensiv geführte und vermehrt FCF einsetzende Milchproduktion gefährde die globale Ernährungssicherheit, gehe mit negativen Umweltwirkungen einher und nutze den evolutionär gegebenen Vorteil von Wiederkäuern nicht aus.

Um dieser Kritik zu begegnen, dient der Ansatz des reduzierten Einsatzes von FCF (siehe 2.2.3). Nachfolgende Studien behandeln jenen Einsatz von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie sowie eine ausgeprägtere Grünlandnutzung in der Milchkuhfütterung hinsichtlich ihrer Ressourceneffizienz und des Beitrages zur Lebensmittelproduktion.

2.3.2 Fokus auf den Einsatz von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie in der Milchkuhfütterung

Im Hinblick auf die Reduktion des Futtereinsatzes potenzieller Lebensmittel wie Getreide oder Hülsenfrüchte wurde in den Jahren 2013-2016 unter den Bedingungen der österreichischen biologischen Landwirtschaft ein dreistufiger Fütterungsversuch mit Milchkühen durchgeführt (Ertl und Knaus, 2016). Ziel war es, den Einsatz von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie als mögliche

Strategie zur Verbesserung der Netto-Lebensmittelproduktion (NLP) zu untersuchen. Als NLP wurde der Lebensmittel-Output (in Form von Energie bzw. Protein) abzüglich des Inputs verstanden. Alle drei Fütterungsversuche wurden in einem Change-Over-Design mit einer Kontroll- und Behandlungsgruppe vergleichend durchgeführt. Die drei untersuchten Varianten setzten sich dabei wie folgt zusammen: Zum einen wurden die herkömmlichen Kraftfutterkomponenten durch ebenfalls herkömmliche Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie (Maisfuttermehl, Raps- und Sojakuchen, Melasse und Trockenschnitzel) ersetzt. Weiter wurden als Kraftfutteralternative lediglich Weizenkleie und Trockenschnitzel eingesetzt. Und zuletzt wurde eine reine Grundfuttermischung gegenüber einer Grundfuttermischung zuzüglich 25 % der Nebenprodukte-Ration aus zweiter Versuchsvariante verglichen.

Alle drei Fütterungsvarianten führten im Vergleich zur herkömmlichen Referenz zu keinen negativen Auswirkungen auf Leistungs-, Gesundheits- oder Aktivitätskennzahlen. In der dritten Variante steigerte der Einsatz der industriellen Nebenprodukte gegenüber der reinen Grundfuttermischung gar die Futteraufnahme und Milchleistung. Letztlich wurde über alle Varianten hinweg ein stark positiver Effekt auf die NLP beobachtet. Damit stellt nach Ertl und Knaus (2016) die Substitution herkömmlicher, potenziell humanernährungstauglicher Kraftfutterkomponenten durch Neben- bzw. Abfallprodukte der Lebensmittelindustrie für Milchkühe einen möglichen und praktikablen Beitrag zur Entschärfung der Debatte „Teller vs. Trog“ dar.

2.3.3 Fokus auf grünlandbasierte Milchkuhfütterung

Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) führte im Auftrag von Greenpeace eine Studie zum Potenzial grünlandbasierter Milchproduktion in Deutschland durch. Darin wurden zwei grünlandbasierte Szenarien dem „Heute“-Szenario gegenübergestellt (De Luca und Müller, 2025). Die modellierten Szenarien zeichnen sich je durch vermeidende Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenzen zum Menschen aus: einerseits durch eine alleinige Grünlandfütterung, andererseits durch Ersteres und die zusätzliche Fütterung von Nebenprodukten der Lebensmittelherstellung. In beiden Fällen wird auf den Einsatz energiereicher Futtermittel wie Silomais und Kraftfutter, wie es zum Referenzstand üblich ist, vollständig verzichtet. Den Modellierungen zu Folge sinkt dabei in beiden Szenarien die Anzahl gesamt gehaltener Kühe. Aufgrund deutlich niedrigerer Milchleistungen und längerer Laktationen sinkt auch die Gesamtproduktion an Milch und Fleisch in noch größerem Umfang. Ebenfalls rückläufig seien die in Summe aufkommenden THG-Emissionen. Bezogen auf den erzeugten, geringeren Proteinoutput aus Milch und Fleisch nehmen die THG-Emissionen zum Vergleichsszenario allerdings zu (De Luca und Müller, 2025).

Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch Ormston et al. (2024). Die britische Studie untersucht unter anderem die Auswirkungen eines reduzierten Raufutteranteils in der Fütterung. Die Autor*innen betonen zwar, dass eine grünlandorientierte und damit rohfaserhaltige Ration aus vielerlei Gründen sinnvoll ist, appellieren jedoch den optimalen Rohfaseranteil finden zu müssen. So zeigen ihre Ergebnisse, dass die Reduktion jenes Rohfasergehaltes von 60-87 % auf 30-59 % in der Trockensubstanz (TS) die Produktivität sowie die Futtereffizienz erhöht. Als Parameter galt hier etwa die Milchleistung bezogen auf die Trockenmasseaufnahme (DMI; *engl.: dry matter intake).* Gleichzeitig reduzierten sich die Methanemissionen. Ursächlich dafür steht die bessere Verdaulichkeit der Kraft- bzw. raufaserarmen Futterkomponenten (Ormston et al., 2024). Zusammenfassend bedeutet dies, dass eine grünlandbasierte Fütterung zu Lasten der Produktivität fällt und dadurch die relative Performance hinsichtlich der Umweltbelastungen verschlechtert.

Die zuerst genannte FiBL-Studie untersuchte daraufhin, ob die verminderte Ackerflächennutzung im extensiven Fütterungssystem anderweitige Vorteile mit sich zieht. Gemäß obenstehenden Beschreibungen wird in den grünlandbasierten Szenarien zur Futterbereitstellung keinerlei Ackerland benötigt, so dass die im Vergleich zum „Heute“-Szenario freigewordenen Ackerflächen zur Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel verwendet werden können. Betrachtet man die in Summe erzeugte Proteinmenge aus tierischer und pflanzlicher Produktion als Referenz, so ist hinsichtlich der THG-Emissionen wiederum ein Abwärtstrend erkennbar. Das heißt, die zusätzlich erzeugte Menge pflanzlicher Proteine kompensiert die Mengeneinbußen der tierischen Erzeugung. Neben den Proteinen wurden auch die humanernährungstauglichen Kalorien aus der zusätzlich möglichen pflanzlichen Produktion abgeschätzt. Unter den Annahmen die freiwerdende Ackerfläche vollständig durch Weizen oder Erbsen zu bebauen, ergibt sich letztlich jeweils ein Protein- und Kalorienangebot, welches die Protein- und Kalorienverluste durch die geringere Milch- und Fleischproduktion weitaus übersteigt (De Luca und Müller, 2025).

Den Autor*innen zu Folge biete die grünlandbasierte Milchproduktion damit sowohl zur Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion als auch zur Förderung des Klimaschutzes große Chancen. Gleichzeitig ginge eine Entschärfung der „Teller vs. Trog“-Debatte einher. Allerdings besteht hierbei die Grundvoraussetzung, dass die für die Milchkuhfütterung nicht mehr benötigten Ackerflächen auch tatsächlich zum Anbau pflanzlicher Nahrungsmittel genutzt werden, um diese positiven Effekte zu erzielen.

2.4 Forschungsfragen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die landwirtschaftliche Lebensmittelerzeugung auf nachhaltige Weise produktiver werden muss. Dahingehend interessiert es, inwieweit sich die tierische und pflanzliche Produktion gegenseitig ausschließen oder aber im Einklang stehen. Die aufgeführten Forschungsergebnisse zeigen, dass Milchkühe hierbei und allgemein in der Debatte „Teller vs. Trog" eine besondere Stellung einnehmen. Ausschlaggebend ist ihre Fähigkeit, für den Menschen nicht verwertbare Ressourcen effizient in hochwertige Lebensmittel umzuwandeln. Hierbei stellen die Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie eine praktikable Alternative zu derzeit üblichen Kraftfuttermitteln dar. Allgemein bietet zudem eine umfangreichere Grünlandnutzung wichtige Potenziale im Hinblick auf die Minimierung von Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenzen.

Ausgenommen eines Fütterungsversuches zum vermehrten Einsatz der Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie (siehe 2.3.2; vgl. Ertl und Knaus, 2016) basiert die vorgestellte Literatur auf Auswertungen verschiedener Praxisbetriebe sowie Prognosen. Ein experimenteller Forschungsansatz, der auch die Grünlandorientierung inklusive verschiedener Futterintensitätsstufen berücksichtigt, ist dahingehend neu. Somit knüpft das Green-Dairy-Projekt an den bestehenden Forschungsbedarf an.

Die untersuchten Arbeiten liefern zudem zentrale Ergebnisse zur Ressourceneffizienz oder Emissionsintensitäten verschiedener Milchproduktionssysteme, bilden aber eine klassische produktionsökonomische Betrachtung inklusive des Vergleichs betriebswirtschaftlicher Kennzahlen und ökonomischer Zielgrößen nicht ab. Entsprechend fehlen belastbare Daten, die eine Beurteilung der ökonomischen Tragfähigkeit ermöglichen. Besonders interessiert hier das betriebswirtschaftliche Ausmaß grünlandorientierter Systeme und ihrer geringeren Milchleistung.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Arbeit ein produktionsökonomischer Vergleich des intensiven und extensiven Milchviehhaltungssystems des Green-Dairy-Projektes durchgeführt werden. Hierbei interessieren die jeweiligen Produktionskosten sowie kalkulatorischen Gewinne, um Aussagen zur ökonomischen Nachhaltigkeit treffen zu können. Zudem soll untersucht werden, welches der beiden Systeme einen größeren Mehrwert zur Humanernährung liefert. Konkret wird dabei die Menge an erzeugten humanernährungstauglichen Proteinen sowie Kalorien verglichen.

Letztlich untersucht diese Arbeit unter Einbezug der Erkenntnisse der Literatur die folgenden Forschungsfragen. Erstens: Ist das extensive, grünlandorientierte Milchproduktionssystem aufgrund geringerer Milchleistung tatsächlich kostenineffizienter als das Futterintensive System? Zweitens: Verändert ein zusätzlicher Marktfruchtbau auf frei werdenden Ackerflächen die Rentabilität des Gesamtbetriebes? Drittens: Kompensiert der Marktfruchtbau die geringere Milchleistung hinsichtlich des humanernährungstauglichen Protein- und Kalorienoutputs?

3 Methoden

3.1 Forschungsprojekt „Green Dairy“ am Gladbacher Hof

3.1.1 Gladbacher Hof im Detail

Wie in den vorigen Kapiteln bereits kurz erwähnt, basiert die vorliegende Arbeit auf dem interdisziplinären Forschungsprojekt „Green-Dairy“. Dieses ist wiederum am Gladbacher Hof, einer hessischen Staatsdomäne und zugleich Lehr- und Forschungsbetrieb der JLU, lokalisiert. Der Gladbacher Hof liegt im nordwestlichen Taunus, genauer in Villmar. Die entsprechenden natürlichen Standortfaktoren können dem angehängten Betriebsspiegel (Anhang 1) entnommen werden. Der Gladbacher Hof wird nach den Prinzipien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet und ist Mitglied der Anbauverbände Bioland sowie Naturland.

Die Milchviehherde 130 schwarzbunter Holstein-Friesians bildet gemeinsam mit der Saatgutvermehrung den Betriebsschwerpunkt. Darüber hinaus erfolgt die Kälber- und Färsenaufzucht im eigenen Betrieb, es werden 220 Legehennen gehalten sowie Kartoffeln zur Pflanzgutproduktion angebaut. Die als Nahrungsmittel erzeugten Produkte (Milch, Eier, Rindfleisch, Suppenhühner, Kartoffeln, usw.) werden unter anderem im eigenen Hofladen vermarktet. Die Betriebsfläche des Gladbacher Hofes beläuft sich auf 180 ha LF im Gesamten mit etwa 100 ha Ackerland und 80 ha Grünland. Darüber hinaus erfolgt in Kooperation mit drei weiteren Biobetrieben der Anbau von 20 ha Futterbau und 30 ha Saatgutvermehrung. Im Allgemeinen wird die Außenwirtschaft größtenteils eigenmechanisiert durchgeführt und basiert auf einer achtfeldrigen, dreigliedrigen Fruchtfolge.

Letztere ist in nebenstehender Abbildung 1 dargestellt. Hierbei bildet das Luzernegras als Leguminose und natürlicher N-Fixierer mit dem zweijährigen Feldfutterbau die Grundlage. Nach den abtragenden Getreidekulturen und vor den folgenden Sommerungen erfolgt je ein Zwischenfruchtanbau. Die Fruchtfolge wird durch eine Hackfrucht (Mais oder Kartoffeln) sowie den Ackerbohnen als zweite Leguminose ergänzt. Den

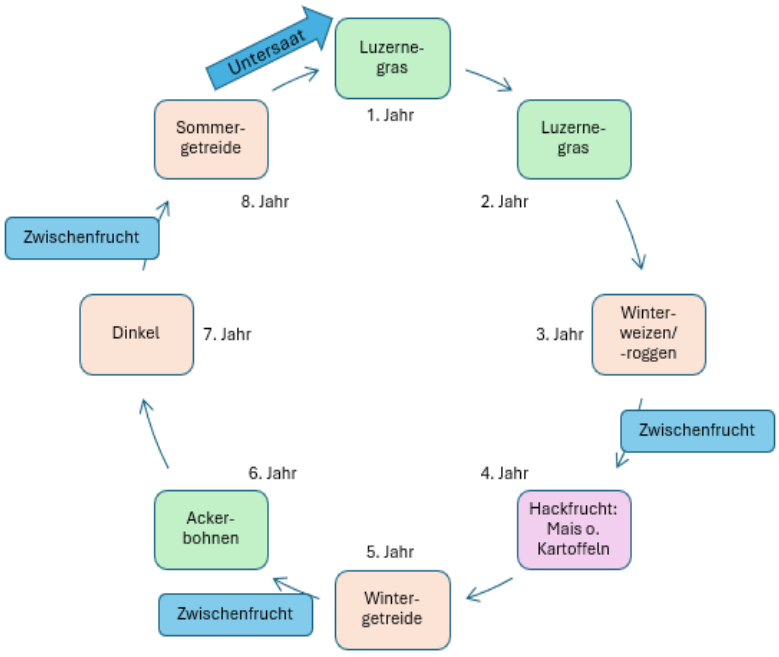


Abbildung 1: Fruchtfolge des Gladbacher Hofes.
Quelle: Eigene Darstellung nach betriebsinternen Aufzeichnungen (Gladbacher Hof, 2024; vgl. Anhang 1)

Abschluss bildet die Untersaat des Luzernegrases im angebauten Sommergetreide des letzten Jahres. Die in den letzten zehn Jahren (2015-2024) erzielten Erträge sind in Anhang 1 aufgeführt. Ebenso basieren alle zuvor aufgeführten Beschreibungen des Gladbacher Hofes auf Anhang 1.

Als Lehr- und Versuchsbetrieb werden am Gladbacher Hof zudem auch einige Forschungsprojekte durchgeführt (vgl. Anhang 1). Seit dem Jahre 2022 läuft das in dieser Arbeit relevante Green-Dairy-Projekt zu integrierten Tier-Pflanze-Agrarökosystemen.

3.1.2 „Green Dairy“ im Detail

Wie im Literaturüberblick dargestellt, bieten Wiederkäuer, insbesondere Milchkühe, eine ressourceneffiziente Möglichkeit, für den Menschen nicht verwertbare Biomasse in Nahrungsmittel umzusetzen. In Kombination mit der pflanzlichen Produktion ermöglichen sie zudem eine kreislaufbasierte Wertschöpfung (JLU, o.J.). Vor diesem Hintergrund ist die Erforschung integrierter Tier-Pflanze-Agrarsysteme unterschiedlicher Fütterungsintensität hinsichtlich einer ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit, hohem Tierwohl sowie einer gesellschaftlichen Akzeptanz Ziel des Green-Dairy-Projektes.

Dahingehend umfasst das Projekt verschiedene Forschungsbereiche und zahlreiche Fragestellungen. Im Tierbereich werden neben der Fütterungsintensität (Tierernährung) auch Aspekte der Zucht sowie des Tierwohls untersucht. Die Pflanzenproduktion beinhaltet die Bereiche der Pflanzenzüchtung und -produktion, des ökologischen Pflanzenschutzes sowie der Grünlandwirtschaft. Mitunter werden fruchtfolgespezifische Effekte auf Erträge oder das mikrobielle Bodenleben analysiert. Im Umweltbereich stehen Nährstoffflüsse sowie Auswirkungen der Fütterungsintensität auf THG-Emissionen oder N-Verluste im Fokus. Zuletzt werden im Kontext integrierter Systemanalysen ökologische, soziale und wirtschaftliche Indikatoren des Gesamtsystems bewertet (JLU, o.J.). Die vorliegende Arbeit ist dabei in die Analyse der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit einzuordnen.

Der Versuchsaufbau des Green-Dairy-Projektes basiert auf einem kontrollierten Vergleich zweier ökologischer Milchproduktionssysteme unterschiedlicher (Fütterungs-)Intensität. Hierfür wurde die Milchviehherde des Gladbacher Hofes in zwei Gruppen aufgeteilt: das High-Input-System (*HIGH*) und das Low-Input-System (*LOW*). Zu Versuchsbeginn wurden beide Systeme mit derselben Tieranzahl belegt. Im weiteren Verlauf ergaben sich jedoch Unterschiede aufgrund von Abgängen und Remontierung. Im Kalenderjahr 2024 umfasste *HIGH* durchschnittlich 60,88 Kühe und *LOW* 62,38 Kühe (Eisert, pers. Kommunikation, 05.02.2026).

Zur Durchführung des Projektes wurde ein Forschungsstall mit insgesamt 130 Plätzen erbaut. Die spiegelbildliche Bauweise ermöglicht eine räumliche Trennung der Herden unter identischen Stall- bzw.

Haltungsbedingungen. Beide Systeme verfügen über jeweils einen Melkroboter, getrennte Milch- und Güllelagerung sowie Weidezugang. Die Stallreinigung erfolgt automatisiert mittels Roboter, sogenannten Güllekollektoren. Auch die Fütterung erfolgt mittels Robotertechnik. Hierbei versorgt ein Fütterungsroboter beide Herden mit systemabhängig unterschiedlichen Rationen. Die unterschiedliche Fütterungsintensität stellt dabei den zentralen experimentellen Faktor dar. Die tatsächlich gefütterten Rationen im Jahr 2024 sind nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt und charakterisieren die beiden Produktionssysteme näher. Die für laktierende Kühe aufgeführte Ration entspricht dem Durchschnitt über Frisch- und Altmelker (Knob, pers. Kommunikation, 13.09.2025).

Tabelle 1: Tägliche DMI bzw. Futtervorlage pro Kuh differenziert nach Laktationsstadien für HIGH und LOW.

	HIGH	***LOW***
DMI laktierender Kühe	kg DMI/ Kuh*Tag	
Luzernegras-Silage	7,73	5,51
Grassilage	2,12	8,53
Grünlandaufwuchs durch Beweidung	0,60	1,00
Maissilage	5,60	-
Kraftfutter	6,58	4,51
Futtervorlage[1] trockenstehender Kühe nach Ration A[2]	kg TS/ Kuh*Tag	
Luzernegras-Silage	4,00	5,40
Grassilage	4,00	5,40
Maissilage	4,00	-
Kraftfutter	2,00	1,80
Futtervorlage[1] trockenstehender Kühe nach Ration B1[3]	kg TS/ Kuh*Tag	
Luzernegras-Silage	4,00	
Grassilage	4,00	
Heu	4,00	
DMI trockenstehender Kühe nach Ration B2[2,3]	kg DMI/ Kuh*Tag	
Grünlandaufwuchs durch Beweidung	14,00	
Kraftfutterzusammensetzung	%	
Getreide	58,00	
Bohnen	40,00	
Mineralfutter	1,50	
Pflanzenöl	0,50	

DMI = Trockenmasseaufnahme TS = Trockensubstanz

[1] Die Mengenangaben zu den Futtervorlagen inkludieren im Gegensatz zu den DMI-Angaben keine Futtertischverluste.

[2] Ration A wird an 21 von durchschnittlich 49 Trockenstehtagen gefüttert (d.h. 43 % im Jahr)

[3] Ration B wird an den restlichen 28 der durchschnittlichen 49 Trockenstehtagen gefüttert (57 %), wobei im Sommerhalbjahr (B2) eine durchgehende Beweidung und im Winterhalbjahr die Stallfütterung (B1) erfolgt.

Quelle: Eigene Darstellung nach betriebsinterner Aufzeichnung (Gladbacher Hof, 2024) sowie persönlicher Kommunikation (Knob, 13.09.2025; Eisert, 05.02.2026).

Wie in Tabelle 1 zu sehen, besteht der größte Unterschied zwischen *HIGH* und *LOW* in der Verwendung der Maissilage, welche in *LOW* komplett entfällt. Stattdessen wird hier eine deutlich höhere Menge an Grassilage verfüttert und es erfolgt eine etwas umfangreichere Beweidung. Zusätzlich ist der Kraftfuttereinsatz (bei gleichen Komponenten) in *LOW* geringer. Diese Faktoren stellen primär die unterschiedlichen Fütterungsintensitäten dar. Daraus lassen sich voneinander abweichende

Fruchtfolgeausgestaltungen ableiten. Gemäß der allgemeinen Fruchtfolge des Gladbacher Hofes (siehe Abbildung 1) ist festzuhalten, dass in *HIGH* der Mais die Hackfrucht darstellt. Da dieser in *LOW* keine Futterverwendung hat, erfüllen hier stattdessen die Kartoffeln das vierte Fruchtfolgefeld.

Wie in vorangehenden Kapiteln bereits erwähnt, gehen die grünlandorientierte Fütterung und ein reduzierter Kraftfuttereinsatz, wie es jeweils in *LOW* der Fall ist, mit geringeren Milchleistungen einher. Letztere sowie weitere Produktionskennzahlen der untersuchten Milchviehsysteme sind in untenstehender Tabelle 2 aufgeführt. Hierbei ist die Mehr-Milchleistung von *HIGH* um fast 2.400 kg Milch pro Kuh und Jahr hervorzuheben. Zusätzlich zeichnet sich *HIGH* durch bessere Milchinhaltsstoffe und eine längere Zwischenkalbezeit aus (Tabelle 2).

Tabelle 2: Produktionskennzahlen der beiden Milchproduktionssysteme HIGH und LOW.

Kennwert	**Einheit**	***HIGH***	***LOW***
Erstkalbealter	Monat	29	28
Verendungsrate Kuh	%	1,64	3,21
Remontierungsrate	%	26,28	22,44
Milchleistung (verkaufte Milch) je Jahr	kg	8800,93	6412,32
Fettgehalt	%	4,21	4,18
Eiweißgehalt	%	3,20	2,98
Zwischenkalbezeit	Tage	424	407
Geborene Kälber pro Kuh*Jahr	Kalb/ Kuh*a	0,86	0,90
Verlustrate Kälber	%	4	5
Geschlechterverteilung Kälber		50:50	50:50
Anteil Kreuzungskälber	%	33	33

Quelle: Eigene Darstellung nach betriebsinternen Aufzeichnungen (Gladbacher Hof, 2024) und eigener Verrechnungen (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E6_NR4_Produktionskennzahlen Milchkuhhaltung_GreenDairy 2024.xlsx).

Die Bergung des eingesetzten Futters je System erfolgt derzeit gesamtbetrieblich am Gladbacher Hof. Das bedeutet, im Feld bzw. im Futterbau erfolgt keine Differenzierung nach *HIGH* und *LOW*, sondern erst bei Mischung der entsprechenden Futterration. Demnach liegen keine systeminternen Ertragsdaten des Futterbaus vor. Für Forschungszwecke sind die einzelnen Fruchtfolgen dennoch auf Exaktversuchsflächen angebaut. Um dem Systemvergleich gerecht zu werden, wurden die dort erhobenen Daten der Jahre 2022-2024 auf prozentuale Unterschiede zwischen *HIGH* und *LOW* ausgewertet (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E2_NR1_Erträge_GreenDairy 2022-2024.xlsx). Diese wurden auf die zehnjährigen Durchschnittserträge des Gladbacher Hofes (vgl. Anhang 1) projiziert. Somit ergaben sich Ertragsdaten, die unabhängig einzelner Anbaujahre und spontan eintretender Wetterereignisse sind, aber dennoch einen Unterschied zwischen *HIGH* und *LOW* abbilden (siehe Tabelle 3 auf folgender Seite). Für das Grünland lagen keine systemspezifischen Daten im dreijährigen Durchschnitt vor. Die Mais- und Kartoffelerträge wurden jeweils nur dem anbaurelevanten Verfahren zugeordnet. Für weitere Berechnungen wurden die Ertragsmengen sowohl in Original- als auch in Trockensubstanz angegeben. Zudem wurden die durchschnittlichen Erträge des Futter- und

Speisegetreides aufgeführt. Vergleicht man die Daten zwischen *HIGH* und *LOW*, so fällt auf, dass die Erträge von *HIGH* mit Ausnahme des Luzernegrases immer über jenen von *LOW* liegen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ertragsdaten im Green-Dairy-Projekt für die beiden Produktionssysteme HIGH und LOW.

Kultur	***HIGH***		***LOW***	
	Erträge [dt/ ha]			
	Bei Ernte-FM	Bei 100 % TS-Gehalt	Bei Ernte-FM	Bei 100 % TS-Gehalt
Luzernegras, Ø aus 2 Anbaujahren	236,57	82,80	242,13	84,75
Roggen	35,50	30,53	35,50	30,53
Silomais	296,86	103,90	-	-
Kartoffeln	-	-	285,40	49,23
Weizen	40,00	34,40	37,13	31,94
Triticale	40,90	35,17	40,90	35,17
Ackerbohne	22,60	19,44	21,74	18,69
Dinkel	43,90	37,75	41,32	35,53
Sommerhafer	32,60	28,04	31,57	27,15
Grünland: Silagenutzung	149,14	52,20	149,14	52,20
Grünland: Bodenheu (Naturschutz)	45,00	38,70	45,00	38,70
Futtergetreide[1], Ø	38,58	33,18	37,29	32,07
Speisegetreide[2], Ø	38,00	32,68	36,38	31,29

FM = Frischmasse; TS = Trockensubstanz

[1] umfasst Roggen, Weizen, Triticale, Dinkel und Hafer zu gleichen Teilen

[2] umfasst Roggen, Weizen, Dinkel und Hafer zu gleichen Teilen

Quelle: Eigene Darstellung nach eigener Verrechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E2_NR1_Erträge_GreenDairy 2022-2024.xlsx.) basierend auf betriebsinternen Aufzeichnungen (Gladbacher Hof, 2024) und pers. Kommunikation (Eisert, 17.12.2025).

Ausgehend der Futterrationen in Tabelle 1, also der jeweiligen DMI pro Kuh und Tag und Laktationsstatus, wurde die benötigte Jahresmenge der einzelnen Futterkomponenten für die Gesamtherde je System errechnet. Unter Berücksichtigung der betriebs- und systemspezifischen Ertragsdaten (Tabelle 3) sowie der Futtertisch-, Silier- und Feldverluste (Literaturdaten) ergibt sich die erforderliche Anbaufläche je eingesetztem Futtermittel (siehe Tabelle 4). Hierbei wurde angenommen, dass die benötigten Futtermittel, ausgenommen Mineralfutter und Pflanzenöl, vollständig betriebsintern angebaut werden. Die zugrunde liegende Hochrechnung ist detailliert im elektronischen Anhang aufgeführt (vgl. Anhang_E1_Hochrechnung Futterbedarf_Definition Systemgrenzen.xlsx).

Tabelle 4: Erforderliche Anbaufläche zur betriebseigenen Bergung der jährlichen Futtermittel für HIGH und LOW.

Futtermittel	Kultur	Erforderliche Anbaufläche [ha]	
		HIGH	***LOW***
Luzernegras	Luzernegras	24,74	17,65
Grünland: Silagenutzung	Dauergrünland	11,81	43,34
Grünland: Heuwiesen	Dauergrünland	0,63	0,66
Grünland: Beweidung	Dauergrünland	4,82	6,87
Silomais	Silomais	14,37	-
Getreide	Futtergetreide	24,08	17,08
Bohnen	Ackerbohnen	28,35	20,21
Benötigte Ackerfläche		**91,54**	**54,94**
Benötigte Grünlandfläche		**17,26**	**50,87**
Benötigte Fläche gesamt		**108,80**	**105,81**

Quelle: Eigene Darstellung nach eigener Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E1_Hochrechnung Futterbedarf_Definition Systemgrenzen.xlsx).

Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, variiert die erforderliche Futteranbaufläche zwischen den untersuchten Systemen. Während *HIGH* in Summe nur etwa 3 ha mehr Fläche benötigt, treten hinsichtlich der benötigten Acker- bzw. Grünlandfläche deutlich größere Unterschiede auf. So benötigt *HIGH* über 35 ha mehr Ackerland. *LOW* benötigt stattdessen über 30 ha mehr Grünland. Dies verdeutlicht die geringere Ackerflächennutzung bei gleichzeitig ausgedehnterer Grünlandnutzung von *LOW* im Vergleich zu *HIGH,* was das Potenzial der extensiveren Fütterung im Hinblick auf die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz abbildet.

3.2 Systemvergleich

Wie in 2.4 aufgeführt, ist der Vergleich der zuvor erläuterten Milchproduktionssysteme *HIGH* und *LOW* hinsichtlich der Produktionsökonomie und des Beitrages zur Humanernährung Schwerpunkt dieser Arbeit. Um diese Vergleiche methodisch korrekt durchzuführen, ist eine klare und identische Definition der Systemgrenzen erforderlich. In Anlehnung an die Anzahl tatsächlich gehaltener Kühe im Jahr 2024 (siehe 3.1.2) wurde pro System eine Kuhanzahl von 62 angesetzt. Die Betriebsfläche wurde je System auf 144 ha Gesamt-LF angesetzt. Die Festsetzung der Betriebsfläche erfolgte dabei nicht willkürlich, sondern orientiert sich an dem benötigten Umfang der Futterflächen je Kultur (vgl. Tabelle 4).

So erfolgten ausgehend von Tabelle 4 Flächenaufstockungen für beide Systeme, um für den Systemvergleich identische Ausgangsbedingungen zu schaffen und letztlich den Forschungsfragen gerecht zu werden. Im ersten Schritt wurde die verfügbare Ackerfläche von *LOW* auf die benötigte Ackerfläche von *HIGH* ausgeweitet. Hierbei erfolgte die Aufstockung kulturgetreu. Eine Ausnahme hiervon bildet der Silomais, der im Falle von *LOW* durch Kartoffeln ersetzt wurde (siehe auch 3.1.2). Für die aufgestockte Mehr-Fläche gilt jeweils die Annahme, dass die entsprechenden Kulturen als Qualitätsware direkt der Humanernährung dienen. Abweichend davon wird das zusätzliche Luzernegras nicht direkt verwertet, sondern in Form der üblichen Futtermengen an einen externen Mastbetrieb verkauft und dort zur Fleischerzeugung genutzt. Außerdem entfällt die Triticale als reines Futtergetreide für den Verkaufsfall. Hierbei wird sich auf die vier restlichen in den Exaktversuchsflächen berücksichtigten Speisegetreidearten (Weizen, Roggen, Dinkel und Hafer) beschränkt. Um darüber hinaus vergleichbare Ausgangsbedingungen zu schaffen, wurde im zweiten Schritt die benötigte Grünlandfläche von *LOW* als ebenso verfügbar für *HIGH* angesetzt. Hierbei wird das Mehr-Grünland lediglich mittels Silagebergung genutzt, da diese unter Berücksichtigung eines (indirekten) Beitrages zur Humanernährung die etablierteste Grünlandnutzung auf dem Gladbacher Hof darstellt. Hierbei folgt die Verwendung der Aufwüchse den zuvor erläuterten Annahmen des Luzernegrases. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wurden im letzten Schritt die Flächenumfänge je Kultur aufgerundet.

Gemäß den vorherigen Erläuterungen ergeben sich zwischen den beiden Systemen somit identische Summen von Acker- und Grünlandfläche, jedoch abweichende Anbauumfänge im Vergleich zum ausschließlichen Futterbau (vgl. Tabelle 4). Die nachfolgend abgebildete Tabelle 5 stellt die als verfügbar angenommenen Anbauflächen inklusive ihrer jeweiligen Verwertungsrichtung dar. Hierbei erfolgt zusätzlich eine Differenzierung der eingesetzten Getreidearten.

Tabelle 5: Angenommene Anbauflächen zum Systemvergleich von HIGH und LOW.

Kultur	Als verfügbar angenommene Anbaufläche [ha]					
	HIGH			***LOW***		
	gesamt	Futterbau Eigenbedarf	Verkauf	gesamt	Futterbau Eigenbedarf	Verkauf
Luzernegras	25,00	25,00	-	25,00	18,00	7,00
Dauergrünland: Silageflächen	45,50	12,00	33,50	43,50	43,50	-
Dauergrünland: Heuwiesen	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-
Dauergrünland: Weiden	5,00	5,00	-	7,00	7,00	-
Mais	14,50	14,50	-	-	-	-
Kartoffeln	-	-	-	14,50	-	14,50
Getreide	24,50	24,50	-	24,50	17,50	7,00
> davon Weizen	4,90	4,90	-	5,25	3,50	1,75
> davon Roggen	4,90	4,90	-	5,25	3,50	1,75
> davon Triticale	4,90	4,90	-	3,50	3,50	1,75
> davon Dinkel	4,90	4,90	-	5,25	3,50	1,75
> davon Hafer	4,90	4,90	-	5,25	3,50	1,75
Ackerbohnen	28,50	28,50	-	28,50	20,50	8,00
verfügbare Ackerfläche [ha]	**92,50**	**92,50**	**-**	**92,50**	**56,00**	**36,50**
verfügbare Grünlandfläche [ha]	**51,50**	**18,00**	**33,50**	**51,50**	**51,50**	**-**
verfügbare Fläche gesamt [ha]	**144,00**	**110,50**	**33,50**	**144,00**	**107,50**	**36,50**

Quelle: Eigene Darstellung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E1_Hochrechnung Futterbedarf_Definition Systemgrenzen.xlsx).

Neben der Kuhanzahl und des Flächenumfangs wurden einheitlich für beide Systeme die relevanten Betriebszweige definiert. So wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit unter *HIGH* bzw. *LOW* jeweils die Milchproduktion, der dafür erforderliche Futterbau sowie der Anbau und Verkauf zusätzlicher pflanzlicher Erzeugnisse verstanden. Die Aufzucht der Kälber bis zum transportfähigen Alter von 28 Tagen ist in der Milchproduktion berücksichtigt. Hingegen wird die weitere Kälber-, Jungvieh und Färsenaufzucht als separater, ausgelagerter Betriebszweig interpretiert. Ebenso für diese Arbeit nicht von Relevanz sind die weiteren Betriebszweige des Gladbacher Hofes. Dazu zählen die Saatgutvermehrung, Legehennen, Direktvermarktung über den Hofladen sowie etwaige Forschungsprojekte.

3.3 Zielgrößen dieser Arbeit

3.3.1 Betriebszweigabrechnung

Um den produktionsökonomischen Vergleich hinsichtlich der Kosteneffizienz beider Milchviehsysteme durchzuführen und die relevanten Forschungsfragen zu untersuchen, ist eine betriebswirtschaftliche

Auswertung erforderlich. Hierbei genügen die reinen Buchführungsdaten nicht aus, da diese keine kalkulatorischen Posten sowie Opportunitätskosten enthalten und oftmals betriebseigene Produktionsfaktoren (Kapital, Boden, Arbeit) nicht vollumfänglich abbilden. Daher wurde im Rahmen des internen Rechnungswesens eine Leistungs-Kosten-Rechnung angewandt. Im Konkreten wurde die Methode der Betriebszweigabrechnung (BZA), eine spezielle Form der Vollkostenrechnung, durchgeführt. Sie umfasst sowohl variable als auch fixe Kosten und erlaubt eine Nachkalkulation mit Bestimmung des kostendeckenden Preises. Außerdem bewertet sie die betriebliche Leistungsfähigkeit unabhängig der geltenden Rechtsform, des vorhandenen Eigentums und der eingesetzten Produktionsfaktoren. Dadurch ermöglicht sie einen Vergleich mit anderen Betrieben, was angesichts des angestrebten Systemvergleiches von *HIGH* und *LOW* essenziell ist.

Für die BZA wird auf Gesamtbetriebsebene angesetzt und es erfolgt über die Betriebszweige ein Vorarbeiten zu den Produktionsverfahren. Die Gemeinkosten müssen den zugehörigen Betriebszweigen zugeordnet bzw. aufgeschlüsselt werden, damit in jedem Betriebszweig alle relevanten Kosten berücksichtigt sind. Gemäß der in 3.2 beschriebenen Systemabgrenzung sind in dieser Arbeit sowohl für *HIGH* als auch für *LOW* die drei folgenden Betriebszweige relevant:

1. *Innenwirtschaft – Milchproduktion*
2. *Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf*
3. *Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse*

Die Innenwirtschaft umfasst demnach das Produktionsverfahren der Milchproduktion inklusive der Kälberaufzucht bis zu 28 Tagen (siehe auch 3.2). Die Betriebszweige der Außenwirtschaft umfassen gemäß der jeweiligen Nutzungsrichtung die ihnen zugeordneten Produktionsverfahren (siehe auch Tabelle 5). Allgemein basiert die Berechnung der drei BZA auf dem folgenden Grundschema (siehe Tabelle 6; vgl. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, e.V. (KTBL), 2025, S. 37).

Tabelle 6: Grundschema der BZA auf Produktionsverfahrensebene nach KTBL-Form.

Leistungen	
-	Direktkosten
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)	
-	Arbeitserledigungskosten (AEK) - variable und fixe
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)	
-	Gebäudekosten
-	Flächenkosten
-	Rechtekosten
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)	
-	Allgemeine Kosten
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kGB)	

Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL (2025, S. 37).

Die in der BZA berechneten Leistungen stellen primär die tatsächlich erzielten Markterlöse dar. Diese umfassen die verkaufte Milch, abgehende Schlachtkühe und Kälber sowie verkaufte Marktfrüchte.

Darüber hinaus wurden auch kalkulatorische Erlöse, etwa für den Nährstoffwert des Wirtschaftsdüngers, angerechnet. Ebenso wurden die Agrarprämienzahlungen im Rahmen der GAP berücksichtigt.

Die Direktkosten umfassen jene eingesetzten Betriebsmittel, die einem Produktionsverfahren direkt zugeordnet werden können. Dazu zählen im Falle der Milchproduktion der Tierzukauf, etwaiger Futterzukauf, Wasser und Strom sowie Kosten für Besamung, Tierarzt, Medikamente, Tierkörperbeseitigung und Milchleistungsprüfung. Zusätzlich werden die Verbrauchsmaterialien der Klauenpflege und des Melkens berücksichtigt. Im Falle der Außenwirtschaftsverfahren zählen Saatgut, Kalk sowie Dünger bzw. die Nährstoffkosten des eingesetzten (Wirtschafts-)Düngers zu den Direktkosten. In beiden Fällen wurden für die Dauer der Kapitalbindung Zinskosten berücksichtigt.

Die Arbeitserledigungskosten (AEK) umfassen gemäß ihrem Namen alle Kosten, die anfallen, um Arbeitsvorgänge durchzuführen. Dazu zählen die Maschinenkosten, Lohnkosten der Beschäftigten sowie etwaige Dienstleistungskosten. Erstere enthalten aufgrund des Vollkostenaspektes sowohl die variablen (Reparaturen und Betriebsstoffe) als auch die fixen Kostenelemente (Abschreibung und Zinskosten). Falls relevant, sind zudem auch die Kosten der Haftpflichtversicherung und technischen Überwachung in den Gesamt-Maschinenkosten inkludiert (vgl. KTBL, 2025, S. 79 ff.).

Die (anteiligen) Gemeinkosten bestehen im Allgemeinen aus Rechte-, Flächen- und Gebäudekosten sowie der Allgemeinen Kosten. Erstere entfallen für die drei untersuchten Betriebszweige jedoch. Die Flächenkosten umfassen prinzipiell Pachtkosten bzw. einen Pachtansatz und ggf. die Grundsteuer. Die Gebäudekosten setzen sich aus Abschreibungs-, Zins-, Unterhaltungs- und Versicherungskosten zusammen. Für die betrachteten Betriebszweige sind dabei der neugebaute Kuhstall inklusive der Fahrsiloanlagen und Güllebehälter, eine Festmistlagerstätte sowie eine Kartoffel- und Getreidelagerhalle relevant. Zuletzt umfassen die Allgemeinen Kosten alle Kostengruppen, sofern diese vorab keinem Produktionsverfahren direkt zuordbar waren. Sie fallen auf Betriebs- oder Betriebszweigebene an. Unter anderem zählen hierzu die Zertifizierung nach EU-Öko-Verordnung, Buchhaltungskosten, Berufsgenossenschaftsbeiträge oder die Lohnkosten der Betriebsführung.

Die zwei vertikal verbundenen Betriebszweige der Milchproduktion und des eigenen Futterbaus werden zusätzlich in einem aggregierten Verfahren ausgewertet. Daraus lässt sich zudem der vollkostendeckende Milchpreis ableiten. Zur vollumfassenden Darstellung werden die Ergebnisse der drei BZA schließlich auf Gesamtsystemebene zusammengefasst.

3.3.2 Net Human Edible Protein &-Energy

Hinsichtlich des zweiten Forschungsziels, dem Vergleich des erzeugten, humanernährungstauglichen Nährwerts an Proteinen und Kalorien zwischen *HIGH* und *LOW*, wurde das Konzept des „Net Human Edible Protein“ (NHEP) angewandt. Diese Maßzahl quantifiziert die im System netto erzeugte für den Menschen verwertbare Proteinmenge unter gleichzeitiger Berücksichtigung der über das Futter eingesetzten humanverwertbaren Proteinanteile. Analog dazu wurde zur Bewertung der Netto-Kalorienproduktion der „Net Human Edible Energy“-Wert (NHEE) berechnet. Sofern die Kalorienmenge untersucht wird, wird im weiteren Verlauf daher synonym auch von Energie gesprochen. Beide Kennzahlen (NHEP/ NHEE) stellen absolute Maßgrößen dar und erlauben im direkten Systemvergleich eine Bewertung des Beitrags zur Humanernährung.

In einer vergleichenden Studie im Milchviehsektor wurde der jeweils erzielte Beitrag zur Lebensmittelproduktion mithilfe der NLP bewertet (siehe 2.3.2). Allerdings berücksichtigt das Konzept der NLP nicht die Humanernährungstauglichkeit der Rationsanteile (Ertl und Knaus, 2016). Um letztere zu berücksichtigen, wird der hef-Wert herangezogen (siehe 2.1; vgl. Wilkinson, 2011). Weitere vergleichende Studien nutzen zur Einordnung unterschiedlicher Intensitätsstufen die LKE, welche den hef-Wert integriert. (siehe 2.1 und 2.3.1). Da diese Untersuchungen mehrere Praxisbetriebe unterschiedlicher Struktur vergleichen, ist dort eine relative Kennzahl erforderlich. Im vorliegenden Versuch basiert der Vergleich hingegen auf identischen Ausgangsbedingungen (siehe 2.2), weshalb NHEP und NHEE als absolute Maßzahlen geeignet sind. Um die vorliegende Arbeit dennoch mit anderen Studien zu vergleichen, wurde zusätzlich die LKE berechnet.

Die Berechnung von NHEP und NHEE erfolgt aus der Differenz des erzeugten Outputs an menschlich verwertbarem Protein (bzw. Energie) und jenem im Futter eingesetzten humanverwertbarem Anteil. Die Berechnung basiert dabei auf der TS, um Verzerrungen zu vermeiden und Futter- und Lebensmittel mit unterschiedlichen Wassergehalten vergleichbar zu machen. Ausgehend von den in der TS enthaltenen Mengen an Rohprotein (CP; *engl*.: *crude protein*) und Bruttoenergie (GE; *engl*.: *gross energy*) wurden unter Berücksichtigung der hef-Werte die jeweils menschlich verwertbaren CP- und GE-Mengen (kurz: heCP, heGE; *engl*.: *human edible CP/ GE*) ermittelt. Durch Multiplikation dieser Werte mit den entsprechenden jährlichen Input- und Outputmengen der betrachteten Produkte ergeben sich die heCP- und heGE-Menge je Produkt und Jahr. Nach Aufsummierung aller Outputs und Inputs ergibt deren Differenz die Maßzahlen des NHEP bzw. NHEE. Die LKE ergibt sich schließlich aus dem Verhältnis von Output und Input.

Die Inputs bestehen im Allgemeinen aus den jährlichen Mengen der eingesetzten Futterkomponenten in der Milchproduktion. Zum Output zählen primär die tatsächlich marktfähigen Produkte. Das heißt, es wird die verkaufte Milchmenge, die Fleischleistung aus abgehenden Alt- bzw. Schlachtkühen sowie

die verkauften Marktfrüchte berücksichtigt. Aufgrund der Anpassungen zum Systemvergleich (siehe 2.3) werden zudem die verkauften Silagen des Dauergrünlandes und Luzernegrases als indirekter Fleischoutput im externen Mastbetrieb als Output angerechnet.

3.4 Datengrundlage und Berechnung

3.4.1 zur Vollkostenrechnung

Die Berechnung der Vollkosten folgt der in 3.3.1 aufgeführten Erläuterung und wurde mittels dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel durchgeführt. Hierbei wurden im Falle der Außenwirtschaft die Leistungen, Direktkosten und AEK jeweils pro Produktionsverfahren berechnet. Die Gemeinkosten sowie Direktzahlungen wurden auf gesamter Betriebszweigebene berücksichtigt. Die Aggregation der Betriebszweige auf Gesamtsystem- bzw. Milcherzeugungsebene, die jeweiligen BZA selbst sowie alle relevanten Nebenrechnungen sind in vollständiger Form im elektronischen Anhang aufgeführt (siehe Anhang_E3-E16). Die Dateien sind eindeutig nummeriert und thematisch benannt, sodass eine klare Zuordnung möglich ist. Es bestehen keine externen Verknüpfungen zu anderen Dateien und die Rechnungen sind innerhalb der jeweiligen Excel-Mappe vollständig nachvollziehbar. Zur Bewahrung einer besseren Übersicht wurden die aufgeführten Werte in der Regel auf zwei Nachkommastellen gerundet. Innerhalb einer Excel-Datei wurden dennoch alle vorhandenen berücksichtigt.

Aufgrund anfänglicher gesundheitlicher Probleme der Kühe in *LOW* und der zwangsläufig folgenden Rationsanpassung, stellt zum Bearbeitungsbeginn dieser Arbeit das Kalenderjahr 2024 das erste vollständig verwertbare Forschungsjahr dar. Daher wurde dieses als Referenz herangezogen. Als grundlegende Datenbasis dienten betriebswirtschaftliche Kennzahlen sowie betriebsinterne Aufzeichnungen des Gladbacher Hofes und speziell des Green-Dairy-Projekts. Diese wurden von Johannes Eisert, Betriebsleiter Gladbacher Hof, sowie Deise Knob, Koordinatorin „Green Dairy“, übermittelt und mit persönlichen Auskünften ihrerseits ergänzt. Die konkreten Termine zur Datenerhebung fanden am 31.07. und 18.11.2025 sowie 05.02.2026 statt. Sofern die betriebseigenen Daten nicht ausreichend waren, erfolgte eine Ergänzung mit KTBL-Daten (KTBL, 2025).

Wenngleich 2024 das Referenzjahr darstellt, wurden keine betriebs- oder jahresindividuellen Preise verwendet. Stattdessen wurden größtenteils Durchschnittspreise herangezogen, wobei die berücksichtigten Veröffentlichungen auf den drei kürzlich zurückliegenden Jahren basieren (KTBL, 2025; Zander et al., 2025). Dadurch wurden individuelles Handelsgeschick sowie kurzweilige Marktlagen außen vorgelassen, was die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse fördern soll.

Als Ausnahme davon entspricht ein Großteil der Direktkosten in der Innenwirtschaft den betriebseigenen Kosten aus 2024. In diesem Falle dient dies zur bestmöglichen Abbildung der Unterschiede zwischen *HIGH* und *LOW*. Um dabei den definierten Systemgrenzen gerecht zu werden (vgl. 3.2), wurden von der Kuhanzahl abhängige Kostenwerte durch die Anzahl tatsächlich gehaltener Kühe geteilt und schließlich auf eine Herdengröße von 62 Kühen hochgerechnet. Letzteres gilt analog für alle weiteren betriebsindividuellen Werte, die mit der Kuhanzahl variieren. Da der Kuhstall inklusive seiner Ausstattungen eigens für das Forschungsprojekt und den Systemvergleich neu erbaut wurde, entsprechen die Anschaffungskosten stallinterner Maschinen sowie die Investitionssumme des Kuhstalls ebenso betriebseigenen Werten.

Sofern Daten nur in Summe über beide Systeme gegeben waren, erfolgte die Mengen- und Kostenaufschlüsselung nach Möglichkeit verursachergerecht. Dafür herangezogene Kennzahlen sind in den Berechnungen aufgeführt und betreffen z.B. die Melk- und Fütterungshäufigkeit oder die Anzahl durchgeführter Besamungen. Falls eine anteilige Zuordnung nicht möglich war, erfolgte eine gleichmäßige Aufteilung. Fixkosten wurden ebenso gleichmäßig aufgeschlüsselt, da diese unabhängig der jeweiligen Auslastung bestehen.

Als wichtigster Unterschied zwischen *HIGH* und *LOW* umfassen die herangezogenen Milchmengen die jeweils gemolkene Gesamtmenge im Jahr 2024. Um diese bei verschiedenen Eiweiß- und Fettgehalten miteinander vergleichen zu können, wurden die Rohmilchmengen in FPCM-Mengen umgerechnet. Dafür wurde die in Anhang 2 aufgeführte Formel verwendet (vgl. Europäische Kommission, 2021, Empfehlung (EU) 2021/2279). Die FPCM-Mengen entsprechen einem Eiweißgehalt von 3,30 % sowie einem Fettgehalt von 4,00 %.

Neben den zuvor erläuterten Datenquellen des Projektes selbst, dem Gladbacher Hof im Allgemeinen oder dem KTBL, wurden die in Tabelle 3 aufgeführten, systemspezifischen Erträge je Produktionsverfahren berücksichtigt. Die Agrarprämienzahlungen entsprechen in ihrer Höhe den in Hessen tatsächlich gezahlten Einheitsbeträgen im Antragsjahr 2024 (WI Bank, 2025; Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat, 2025). Den eingesetzten Düngemitteln wurden Nährstoffkosten entsprechend ihrer Nährstoffgehalte zugewiesen. Hierbei wurden die N-Mengen gemäß der gesetzlich definierten Mindestwirksamkeit berücksichtigt (Düngeverordnung, Anlage 3, 2017). Alle weiteren enthaltenen Nährstoffe wurden zu 100 % angerechnet. Als monetäre Referenz dienten Orientierungspreise für die Reinnährstoffe im Ökolandbau (Blumenstein, 2023).

Die hier dargestellte Datengrundlage ist dank farblicher Markierungen und Quellenangaben auch in den elektronischen Excel-Dateien nachvollziehbar. Sofern auf Werte aus vorigen Berechnungen

zurückgegriffen wird, ist dies ebenso kenntlich gemacht. Ebenso sind Hinweise zu den in 3.5 folgenden Annahmen ergänzt.

3.4.2 zum Net Human Edible Protein &-Energy

Analog zur Vollkostenrechnung wurde die Berechnung von NHEP und NHEE in Excel durchgeführt und ist in vollständiger Form im elektronischen Anhang dokumentiert (siehe Anhang_E17_NHEP und NHEE.xlsx). Die relevanten Input- und Outputmengen je Produkt wurden jeweils der zuvor berechneten Vollkostenrechnung entnommen. Die zugehörigen Inhaltsstoffe bzw. heCP und heGE basieren größtenteils auf Referenzwerten.

Demzufolge entstammen die in der TS der Futtermittel enthaltenen CP- und GE-Gehalte den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), 2025). Zur anschließenden Ermittlung des heCP und der heGE der Futtermittel wurden die hef-Werte aus Wilkinson (2011) und Dentler et al. (2020) herangezogen. Für Lebensmittel enthält der Bundeslebensmittelschlüssel (BLS) Angaben zum essbaren Anteil vielzähliger Nährstoffe (Max-Rubner-Institut, 2025). Die dort veröffentlichten Werte für Protein und Energie wurden unter Berücksichtigung des Wassergehaltes für die in dieser Arbeit relevanten Lebensmittel übernommen.

Als Ausnahme zu den pauschalen Literaturdaten ist die erzeugte Milch aufzuführen. Da der Systemvergleich zwischen *HIGH* und *LOW* im Grundlegenden die verschiedenen Milchproduktionssysteme untersucht, sind auch die jeweiligen Milchinhaltsstoffe zu berücksichtigen. Demzufolge dienen zunächst die Rohmilchmengen anstelle der FPCM-Mengen als Datengrundlage. Des Weiteren wurde je der tatsächliche Eiweiß-Gehalt der Milch (siehe auch Tabelle 2) als Proteinwert herangezogen. Der GE-Gehalt wurde mittels der im BLS aufgeführten Formel zur Berechnung der Energiemenge ermittelt (Max-Rubner-Institut, 2025; vgl. Anhang_E4_NR2_Milchleistung_GreenDairy 2024.xlsx). Hierbei wurden systemeigene Eiweiß- und Fettgehalte berücksichtigt. Für weitere, zur GE-Berechnung relevanten Inhaltsstoffe, wurde aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit wiederum auf den BLS zurückgegriffen.

Die Ermittlung der erzielten Menge indirekten Fleischoutputs im externen Mastbetrieb erforderte ebenso eine Nebenrechnung. Diese basiert auf einem praxisüblichen Futterplan in der Bullenmast (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2023) und ist detailliert im elektronischen Anhang aufgeführt (Anhang_E18_NR12_externe Mast_Lebendmassezunahmen durch Silagen.xlsx). Hierbei wurde die tägliche Lebendmassezunahme ausgehend der verkauften Mengen von Gras- und Luzernegrassilage berechnet. Letztlich wurden die erzielten Zunahmen mittels KTBL-konformer Ausschlachtung (KTBL, 2025, S. 624) in erzielte Schlachtgewichte verrechnet.

Schließlich erfolgte die Berechnung von NHEP und NHEE sowohl für das aggregierte Verfahren der Milcherzeugung sowie den darüberhinausgehenden zusätzlichen Verkauf als auch auf Gesamtsystemebene. Die LKE wurde sowohl für die Milcherzeugung als auch die Gesamtsysteme ermittelt. Für den Betriebszweig des Verkaufs pflanzlicher Erzeugnisse ist die LKE hingegen nicht relevant, da hier kein Input in Form von Futteranteilen vorliegt.

3.5 Annahmen

Wie in 3.2 beschrieben adressiert diese Arbeit den Vergleich der zwei Futterintensitätsstufen, wie sie im Green-Dairy-Projekt erforscht werden. Es ist nicht Ziel der Arbeit den Gladbacher Hof als Ganzes auszuwerten. Demnach wurden die weiteren Betriebszweige neben der Milchproduktion und Außenwirtschaft außen vorgelassen (siehe auch 3.2) sowie gewisse Annahmen getroffen, um eine Abhängigkeit von betriebsindividuellen Gegebenheiten des Gladbacher Hofes vorzubeugen.

So wurde das Vorhandensein einer Photovoltaikanlage sowie ein hofeigener Brunnen für Strom- und Wasserkosten nicht berücksichtigt. Da der Betriebszweig der Saatgutvermehrung ausgeklammert wurde, wurde angenommen, dass anstelle des Saatgutverkaufs und der Verfütterung anfallender Nebenprodukte (z.B. Kleinkorn, Spelz, usw.) das angebaute Getreide und die Bohnen direkt zur Futternutzung dienen. Ebenso wurden die anteilige Vermarktung von Milch- und Fleischerzeugnissen über den eigenen Hofladen sowie etwaige Vermarktungsvorteile aufgrund der Verbandszugehörigkeiten ausgeschlossen.

Des Weiteren bilden die in Tabelle 4 dargestellten, angenommenen Anbauumfänge in ihren absoluten Zahlen nicht die Gesamtheit der Fruchtfolge des Gladbacher Hofes (vgl. Abbildung 1) ab. Aufgrund der Betrachtung einzelner Betriebszweige werden nur die tatsächlich in Anspruch genommenen Fruchtfolgebestandteile berücksichtigt. Die vollständige Fruchtfolge würde sich gesamtbetrieblich durch Ergänzung der ausgeklammerten Betriebszweige ergeben. Demzufolge sind die jeweils definierten Systeme keinem vollwertigem Praxisbetrieb im Ökolandbau gleichzusetzen.

Ausgehend einer Regelbesteuerung entsprechen alle berücksichtigten Leistungen und Kosten Netto-Werten. Als durchlaufender Posten ist die Mehrwertsteuer für den ökonomischen Betriebserfolg nicht von Relevanz.

3.5.1 zur Vollkostenrechnung bei innerbetrieblicher Verwertung

Der Systemvergleich von *HIGH* und *LOW* basiert auf der Grundannahme, dass die benötigten Futtermittel (exklusive Mineralfutter und Pflanzenöl) vollkommen betriebsintern angebaut werden

(siehe 3.2). Die angenommenen Anbauverhältnisse führen im Vergleich zum jährlichen Bedarf zudem zu keinen gravierenden Lagerüberschüssen. Aufgrund dieser vollständigen und zeitnahen innerbetrieblichen Verwertung werden die geborgenen Futtermittel für den Eigenbedarf nicht bepreist. Gleiches gilt für das Stroh. Die benötigte Einstreumenge kann durch den eigenen Getreidebau bereitgestellt werden, so dass lediglich die dafür anfallenden Bergekosten berücksichtigt und der Innenwirtschaft belastet wurden. Für die restlichen Getreideflächen wird eine Stroheinarbeitung angenommen, so dass Strohmengen sowie -bergung in der Außenwirtschaft nicht von Relevanz sind.

Im Falle der Milch entspricht die als verkauft herangezogene Milchmenge der tatsächlich gemolkenen Jahresmenge, wodurch anderweitige Verwertungen (Kälber, Hofladen) als der Verkauf an die Molkerei ausgeschlossen wurden. Die zum Tränken der Kälber benötigte Vollmilch wurde daher mit dem zugrundliegenden Milchpreis wiederum als zugekauft interpretiert. Dies ermöglicht den Systemvergleich anhand der tatsächlichen Milchleistung.

Die jeweilige Systemabgrenzung der Jungviehaufzucht geht zwangsläufig mit weiteren Annahmen einher. So wurden alle Kälber, egal ob männlich oder weiblich, ab 28 Lebenstagen als Lebendverkauf interpretiert. Im Gegenzug wurden die zur Remontierung benötigten Färsen als Zukauf berücksichtigt. Zudem wurde pro Kuh und Zyklus ein geborenes Kalb angenommen. Etwaige Mehrlingsgeburten bleiben unberücksichtigt. Da derzeit kein Einsatz von gesextem Sperma erfolgt, wurde die Geschlechterverteilung gemäß dem natürlichen Zufall auf je 50 % angesetzt.

Bezüglich der innerbetrieblichen Verwertung des anfallenden Wirtschaftsdüngers ist zu beachten, dass der Wirtschaftsdüngeranfall gemäß einer Gegenüberstellung geringer als die einbezogenen Ausbringmengen ist. Somit konnte in diesem Fall nicht von einer vollständigen innerbetrieblichen Verwendung bzw. Herkunft ausgegangen werden. Daher wurden entsprechende Nährstoffwerte ermittelt (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E7_NR5_Wirtschaftsdünger_ Plausibilität und Nährstoffkosten.xlsx). Dies ermöglichte die Berücksichtigung des Nährstoffanfalls als Leistung in der Innenwirtschaft und des Wirtschaftsdüngereinsatz als Direktkosten in der Außenwirtschaft. Die Ausbringungskosten wurden analog dem entsprechenden Außenwirtschaftsverfahren belastet.

Darüber hinaus wurde aus Gründen der Einfachheit der Einsatz von nachgebautem Saatgut ausgeschlossen. Stattdessen wurde angenommen, dass ausschließlich Z-Saatgut eingesetzt wird.

3.5.2 zur Vollkostenrechnung im Allgemeinen

Die tägliche DMI durch Beweidung entspricht dem Jahresdurchschnitt, wenngleich der Weidegang nur im Sommerhalbjahr erfolgt. Der angesetzte Ertrag aus der Beweidung wurde zudem auf 80 % des

Grassilageertrages geschätzt (Eisert, pers. Mitteilung, 05.02.2026). Ebenso entsprechen die Angaben der Futterration der Trockensteher lediglich Schätzungen. Im Kartoffelverfahren wurden zur Bepreisung der geeigneten Marktware Sortier- und Lagerverluste gemäß KTBL-Richtwerten (2025, S. 464) berücksichtigt.

Das angebaute Luzernegras wurde als zweijährige Kultur in einem Produktionsverfahren abgebildet. Um die Leistungen und Kosten dennoch in einjähriger Dimension abzubilden, wurde der Durchschnittsertrag aus den beiden Anbaujahren herangezogen. Des Weiteren wurden die Arbeitsgänge der Aussaat (1. Anbaujahr) und des Stoppelmulchens (2. Anbaujahr) jeweils mit dem Faktor 0,5 berücksichtigt. Analog wurde mit den Saatgutkosten verfahren. Weitere Betriebsmittelaufwände und Arbeitsvorgänge, die in beiden Anbaujahren anfallen, wurden in ihrer Häufigkeit pro Jahr berücksichtigt.

Die Inanspruchnahme von Förderprogrammen der GAP wurde gemäß dem allgemeinen Vergleich zwischen *HIGH* und *LOW* auch systemintern betrachtet und daher im Vergleich zur tatsächlichen Inanspruchnahme des Gladbacher Hofes angepasst (siehe Anhang 3). Die Öko-Regelung 2 (ÖR 2) fördert den Anbau vielfältiger Kulturen, erfordert dafür aber verschiedene Grundvoraussetzungen der Anbauumfänge und -verhältnisse. Ob diese auch innerhalb der Systeme erfüllt werden, wurde mittels des dafür bereitgestellten Excel-Rechners der Landesanstalt für Landwirtschaft Hessen (LLH) geprüft (vgl. elektronsicher Anhang, Anhang_E13_NR9_LLH-Rechner_Plausibilität Öko-Regelung 2.xlsx). Daraus folgt, dass die Förderfähigkeit nach ÖR 2 in beiden Systemen nicht gegeben ist. Da für die Beantragung der Zusatzmodule nach dem HALM C.1-Programm die Erfüllung der Grundanforderungen der ÖR 2 Voraussetzung ist (Fränzke, 2025), entfallen diese (Großkörnige Leguminosen; Blühende Kulturen) für *HIGH* und *LOW* ebenso. Außerdem wurden nur solche Prämien berücksichtigt, die keine bestimmten Gebietskulissen voraussetzen oder weitere Flächen- und Arbeitsaufwände erfordern. Demzufolge entfällt die Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete sowie ÖR 1a, ÖR 5, ÖR 7 und HALM H (vgl. Anhang 3).

Im Gegenzug wurde die ÖR 4 als beantragt angenommen. Diese betrifft die Grünlandextensivierung des gesamten Betriebes, erfordert dabei aber keine weiterführenden Maßnahmen. Es wird lediglich ein durchschnittlicher Tierbesatz von 0,3 bis 1,4 raufutterverzehrenden Großvieheinheiten (RGV) pro Hektar Dauergrünland vorgeschrieben (WI Bank, 2025). Dahingehend ergab eine Plausibilitätsprüfung, dass diese Anforderung sowohl in *HIGH* als auch in *LOW* erfüllt wird (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E12_NR8_Agrarprämienzahlungen_GreenDairy 2024.xlsx).

Wie in 3.4.1 aufgeführt, wurden Daten, die über beide Systeme hinweg gegeben waren, prinzipiell verursachergerecht zugeordnet. Eine Ausnahme hiervon betrifft die Kosten für Arzneimittel und

Medikamente. Zwar unterscheiden sich die Arten der durchgeführten Behandlungen zwischen *HIGH* und *LOW*, doch erfolgte ein Medikamenteneinsatz insgesamt in ähnlicher Häufigkeit (390 zu 383). Aus Kosten-Nutzen-Gründen der Datenerhebung wurde daher auf eine detaillierte Zuordnung der Arzneimittel- und Medikamentenkosten zu den jeweiligen Behandlungen verzichtet. Ähnliches gilt für die Tierarztkosten. Hier liegt die Anzahl erfolgter Behandlungen bei 17 zu 27 (*HIGH* zu *LOW*). Diese Zahlen inkludieren auch Enthornungen von Kälbern, welche jedoch in keinerlei Wirkungszusammenhang zur Fütterungsintensität der Kühe stehen. Nach Abzug der durchgeführten Enthornungen ergibt sich eine Häufigkeit der Tierarztbehandlung von 8 zu 12. Daher wurde auch hier auf eine aufwändige Systemzuordnung der Tierarztrechnungen verzichtet.

Im Direktkostenbereich der Außenwirtschaft wurde zudem der Preis für Zwischenfruchtsaatgut durch Annäherung ermittelt. Da es zu allgemeinen Zwischenfruchtmischungen keine Literaturdaten gab, wurde hierbei ein eigens berechneter Durchschnittspreis verschiedener Komponenten herangezogen. Dabei handelt es sich um Alexandriner- und Inkarnatklee, Leindotter, Ölrettich, Phacelia, Ramtillkraut und Wicken, welche alle zu gleichen Anteilen berücksichtigt wurden.

Hinsichtlich des Wirtschaftsdüngermanagements wurde berücksichtigt, dass in der Praxis am Gladbacher Hof eine Gülleseparation erfolgt. Die sich hieraus ergebende Flüssigphase ist in dieser Arbeit der aufgeführten Gülle gleichgesetzt. Die separierte Festphase wurde auf eine rechnerische Festmistmenge umgerechnet, so dass sich ein Mist-Äquivalent, zusammengesetzt aus Festmist und Separationssubstrat, ergibt. Grundlage der Umrechnung sind die jeweiligen TS-Gehalte.

Die Abschreibungskosten der Maschinen in der Innenwirtschaft wurden zeitabhängig berechnet. In Anlehnung an das KTBL wurde pauschal ein Restwert von 20 % des Anschaffungspreises angesetzt (KTBL, 2025, S. 80). Davon ausgenommen ist die verbaute Stallsensorik. Aufgrund des technischen Verschleißes und parallelen, raschen Weiterentwicklungen besteht am Ende der Nutzungsdauer kein realistischer Marktwert. Daher wurde in diesem Fall kein Restwert angenommen. Die Nutzungsdauer wurde zudem aufgrund fehlender Referenzdaten auf acht Jahre geschätzt. Des Weiteren wurde im Allgemeinen die Dienstleistung des Kraftfutter Mahlens als relevant angenommen. In der Außenwirtschaft orientieren sich die aus dem KTBL online (2016-2018: MaKost) entnommenen Maschinenkosten an der Maschinenausstattung des Gladbacher Hofes. Der hierbei einbezogene Dieselpreis berücksichtigt bereits die Agrardieselrückvergütung. Zur Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes je Arbeitsvorgang im Feldarbeitsrechner (KTBL-online, 2008-2026) wurden zudem folgende pauschale Spezifikationen angenommen: 2 ha Schlaggröße, mittlerer Bodenbearbeitungswiderstand sowie 2 km Entfernung zum Schlag.

Während sich die benötigte Arbeitszeit für Arbeitsvorgänge der Außenwirtschaft demnach nach Standardsätzen richtet (vgl. KTBL online, 2008-2026), wurde für die Innenwirtschaft eine Schätzung durchgeführt (Eisert, pers. Mitteilung, 18.11.2025). Konkrete Arbeitszeiterfassungen für den Produktionsbereich sowie nach System sind nicht vorhanden. Da der geschätzte Aufwand in Vergleich zu Literaturdaten (KTBL, 2025, S. 277 ff.) deutlich abweicht, wurde der Mittelwert aus beiden Werten gebildet (vgl. elektronsicher Anhang, Anhang_E8_NR6_Arbeitszeitbedarf Innenwirtschaft_GreenDairy 2024.xlsx). Dieser gemittelte Arbeitsumfang soll die Gegebenheiten des Gladbacher Hofes als öffentliche Einrichtung widerspiegeln, aber dennoch eine Übergewichtung vermeiden. Die Lohnkosten wurden prinzipiell nach dem Lohnansatz des KTBL (2025, S. 736) angesetzt. Dabei wurde der betriebsspezifische, anteilige Arbeitseinsatz von Auszubildenden in den Produktionsbereichen berücksichtigt. Da der Gladbacher Hof als Lehr- und Versuchsbetrieb höhere Gehälter als ein klassischer Praxisbetrieb zahlt, wurde dies für den Auszubildenden-Lohn ebenso einbezogen.

Zur Berechnung der Gebäudekosten wurden die einzelnen Bauteile eines Gebäudekonstrukts entsprechend ihrer baulichen Dauerhaftigkeit und technischen Abnutzung differenziert betrachtet. Daraus ergab sich die jeweilige Nutzungsdauer sowie der Faktor für den relevanten Unterhaltungsaufwand. So wurden tragende bauliche Anlagen wie etwa Stallgebäude, Fahrsilos, Güllelager sowie die betriebliche Erschließungsinfrastruktur als langfristige Kostenelemente eingestuft und mit 30 Jahren sowie 1 % Unterhaltungsaufwand angesetzt. Als Ausnahme wurden für Erdarbeiten Unterhaltungskosten als nicht relevant angesehen. Als mittelfristig, mit 15-jähriger Nutzungsdauer und 2 %-iger Unterhaltung, wurden Stalleinbauten, Wasser-, Strom- und elektrische Anlagen sowie die technischen Ausstattungen in der Kartoffelhalle eingeordnet. Die Kisten zur Kartoffellagerung stellen das einzige kurzfristige Bauteil dar (10 Jahre; 3 %). Die dargestellten Differenzierungen orientieren sich dabei an der Gebäudekostenrechnung nach KTBL-Logik (KTBL online, 2026, BauKost).

Die Stalleinbauten wurden mangels detaillierter Kostenaufschlüsselung pauschal als mittelfristige Kostenelemente eingestuft. Damit wird die im Vergleich zur Gebäudesubstanz höhere Abnutzung und der regelmäßige Erneuerungsbedarf berücksichtigt. Die Kosten für Wasser- und Stromanlagen umfassen sowohl externe Zuleitungen als auch gebäudeinterne Installationen. Da eine separate Aufschlüsselung nicht vorliegt, wurden diese pauschal als mittelfristige Kostenelemente berücksichtigt, was dem technischen Erneuerungsbedarf der gebäudeinternen Installationen Rechnung trägt.

Analog zu den Maschinenkosten wurden die Abschreibungskosten der Gebäude zeitabhängig berechnet. Für die Gebäudeversicherung wurden entsprechend der Handhabung in BauKost Kosten in Höhe von 0,2 % der Investitionssumme angesetzt (KTBL online, 2026). Letztere setzt sich hierbei jedoch nur aus versicherungswürdigen Bauteilen zusammen. Demnach bleiben etwa die

Grundstückserschließung und Erdarbeiten für die Versicherungskosten unberücksichtigt, da diese keinen versicherbaren Sachwert umfassen.

Mit Ausnahme des neu erbauten Kuhstalls inklusive Güllelager und Fahrsilos sind die restlichen relevanten Gebäude entweder in der Praxis lange Zeit abgeschrieben oder aufgrund betrieblicher Gegebenheiten in anderer Art vorhanden (z.B. Saatgutscheune). Um die Lagerung aller hofeigenen Futterkomponenten sowie der Kartoffeln dennoch abbilden zu können, wurden daher Referenzwerte aus der Literatur verwendet (KTBL, 2025; KTBL online, 2026, BauKost). Um eine Überbewertung aufgrund von Neubau-Daten zu vermeiden, wurden die Investitionssummen pauschaler Lagerhallengrößen auf die tatsächlich benötigte Lagerkapazität runtergerechnet (vgl. elektronsicher Anhang, Anhang_E3 und E11). Für die zusätzlich verkauften Mengen an Silage, Getreide und Bohnen wurde angenommen, diese direkt ab Feld zu verkaufen, so dass keine weiteren Lager- und schließlich Gebäudekosten entstehen. Eine Maschinenhalle wurde in den Gebäudekosten nicht separat berücksichtigt, da die herangezogenen Gesamtkosten von Maschinen und Traktoren bereits pauschale Unterbringungskosten inkludieren.

Für die relevanten Gebäude wurde überwiegend eine gemeinsame Nutzung beider Systeme unterstellt. Dabei wurden die Kosten nach Möglichkeit verursachergerecht auf die Systeme zugeteilt. So wurden die Kosten der angenommenen Bergehalle für Getreide und Bohnen zur Fütterung entsprechend des jährlichen Lagerraumbedarfs anteilig zugeordnet. Letzterer wurde ausgehend der jährlichen Futtermengen ermittelt (vgl. elektronsicher Anhang, Anhang_E9_NR7_Lagerraumbedarf_Futter-getreide und -bohnen.xlsx). Die Kosten der angesetzten Festmistlagerstätte wurden analog anteilig nach der jeweiligen Inanspruchnahme, d.h. gemäß dem jährlichen Anfall des Mist-Äquivalentes, aufgeteilt. Die Kosten für die Kartoffellagerhalle wurden hingegen vollständig *LOW* zugeordnet, da nur in diesem System ein Anbau von Kartoffeln erfolgt. Die Gebäudekosten für den Kuhstall wurden gleichermaßen zwischen *HIGH* und *LOW* aufgeteilt, da je dieselbe Anzahl Kühe (62) angenommen wurde. Gleiches gilt für die Güllelager sowie Fahrsilos. Allgemein wurden zur Futterlagerung relevante Gebäudekomplexe (z.B. Fahrsilos, Bergehalle) vollständig dem Betriebszweig der Milchproduktion belastet.

Für die Unterbringung der Kälber wurde angenommen, dass diese in den ersten zwei Lebenswochen in Einzeliglus und für die weiteren zwei Wochen bis zum Verkauf in Gruppeniglus gehalten werden. Der dafür benötigte Platzbedarf wurde unter Berücksichtigung einer ganzjährigen Abkalbung in Abhängigkeit des Kuhbestandes ermittelt. Die einkalkulierten Stallplätze übersteigen den Kälberbestand im Jahresdurchschnitt, berücksichtigen dadurch aber eine schwankende Verteilung der Abkalbetermine über das Jahr hinweg.

Zur Finanzierung des gebundenen Kapitals wurde in dieser Arbeit pauschal ein Zinsansatz von 3 % angesetzt. Im Betriebszweig der Milchproduktion wurden die Zinskosten für das Umlaufvermögen zudem mit dem „Zinsansatz nach Typ ‚Milchkuh'" (KTBL, 2025, S. 26) berechnet. In der Außenwirtschaft wurden die Zinskosten des Umlaufvermögens anteilig nach jeweiliger Kapitalbindungsdauer im Produktionsverfahren berücksichtigt. So wurden für Winterkulturen 60 % und für Sommerungen sowie Feldfutterbau- und Grünlandverfahren 40 % verzinst.

Die Flächenkosten beschränken sich in dieser Arbeit auf die Pachtkosten für das bewirtschaftete Acker- und Grünland, wobei eine eindeutige Betriebszweigzugehörigkeit gegeben ist. Aufgrund der Eigentumsverhältnisse bleibt die Grundsteuer unberücksichtigt

Zur Berechnung der Allgemeinen Kosten wurde ein einheitlicher Ansatz gewählt, da eine exakte Differenzierung zwischen tier- und flächenbezogenem Arbeitszeitbedarf für Betriebsführungsaufgaben nicht möglich war. Dadurch sollen Doppelberücksichtigungen vermieden werden. Demzufolge wurde für beide Systeme angenommen, dass die pflanzenbaulichen Managementaufwände integraler Bestandteil des Milchproduktionssystems sind. Außerdem wurde angenommen, dass Aufwände etwa für Buchführung und Beratung mit den Lohnkosten zur Betriebsführung abgedeckt werden (vgl. KTBL, 2025, S. 736). Unter Berücksichtigung der angebauten Hektare wurden die Allgemeinen Kosten auf Gesamtsystemebene schließlich nach dem Durchschnittsprinzip aufgeschlüsselt. Für die Betriebszweige der Milchproduktion und des Futterbaus folgte daraufhin die Aufschlüsselung nach dem Tragfähigkeitsprinzip, wobei die erzielten Jahresumsätze berücksichtigt wurden.

3.5.3 zur Berechnung des Net Human Edible Protein &-Energy

Für die Berechnung des NHEP bzw. NHEE wurde der für die Vollkostenrechnung angenommene Lebendverkauf der Kälber nicht als Fleischoutput interpretiert. Gleiches gilt im Inputbereich für den Färsenzukauf. Für die tatsächlich berücksichtigten Werte gelten zudem die folgenden Annahmen: Die heCP- und heGE-Werte des Speisegetreides (Weizen, Roggen, Dinkel, Hafer) wurden für besagte Kulturen auch im Falle der Futterverwendung angesetzt. Das Mineralfutter wurde aufgrund fehlender relevanter Proteinmengen sowie energieliefernder organischer Substanz weder als Protein- noch als Energieträger berücksichtigt. Die herangezogene verkaufte Milchmenge entspricht der jährlich gemolkenen Gesamtmenge abzüglich der verfütterten Kälbermilch. Die berücksichtigte Ertragsmenge der Kartoffeln stellt den Marktwareanteil dar. Die täglichen Lebendmassezunahmen im externen Mastbetrieb wurden anteilig gemäß dem täglichen Rationsanteil der Silagen berücksichtigt. Somit wird gewährleistet, dass die angenommenen Zunahmen den tatsächlichen Beitrag der Gras- und Luzernegrassilage abbilden.

4 Ergebnisse

4.1 Betriebszweigauswertungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der drei durchgeführten BZA beschrieben. Die zugehörigen umfangreichen Tabellen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit und zur Vermeidung von Layoutbrüchen gesammelt am Ende des Kapitels dargestellt.

4.1.1 Innenwirtschaft – Milchproduktion

Die Ergebnisse der BZA des Betriebszweiges „Innenwirtschaft – Milchproduktion“ sind in Tabelle 7 aufgeführt. Die detaillierte Berechnung inklusive herangezogener Mengen und Preise ist im elektronischen Anhang (vgl. Anhang_E3_BZA_Innenwirtschaft-Milchproduktion.xlsx) einzusehen. Während die einzelnen Leistungs- und Kostenpunkte prinzipiell auf den Jahresbezug verrechnet wurden, sind die Gesamtergebnisse zusätzlich pro Kuh und pro kg FPCM aufgeführt. Dabei gilt für beide Systeme eine jährliche Kuhanzahl von 62 (vgl. 3.2). Die Jahresmilchmenge in *HIGH* beträgt 555.406,43 kg FPCM und in *LOW* 396.416,97 kg FPCM.

Wie Tabelle 7 zu entnehmen ist, umfassen die Leistungen in *HIGH* fast 380.000 € pro Jahr, während diese in *LOW* bei circa 280.000 € im Jahr liegen. Damit erreicht *HIGH* eine Mehr-Leistung von fast 100.000 € pro Jahr. In beiden Fällen liefert die verkaufte Milch den größten Beitrag zur Leistungserzielung. Hier liegt der Unterschied bei circa 92.000 €. Hervorzuheben ist, dass der Kälberverkauf in *LOW* eine marginal höhere Leistung als in *HIGH* aufweist. Ebenso sind die erzielten Gesamtleistungen pro kg FPCM hervorzustellen. Hier schneidet *LOW* mit 70,75 Cent pro kg FPCM im Vergleich zu 68,40 Cent (*HIGH*) besser ab.

Die Direktkosten weisen im Vergleich zu den Leistungen geringere Unterschiede zwischen den beiden Systemen auf. Dennoch sind sie in *HIGH* mit circa 84.500 € pro Jahr höher als in *LOW* (77.100,64 €/ a). Während viele Kostenpunkte im Absoluten gleich (Strom, Tierarzt und Medikamente, Sonstige Direktkosten) oder annähernd gleich (z.B. Besamung und Sperma, Reinigungs- und Desinfektionsmittel) sind, weisen andere Kostenpunkte größere Differenzen auf (z.B. Kälbermilch, Wasser, Klauenpflege). Die größten Unterschiede bestehen jedoch für das Zukauffutter der Kühe sowie den Färsenzukauf. Insgesamt ist analog zu den Leistungen hervorzuheben, dass *LOW* bezogen auf ein Kilogramm FPCM höhere Direktkosten als *HIGH* aufweist (19,45 Cent zu 15,24 Cent pro kg FPCM). Die sich aus der Differenz der Leistungen und Direktkosten ergebenden Direktkostenfreien Leistung (DKfL) ist für alle Bezugseinheiten (Jahr, Kuh, FPCM) in *HIGH* höher als in *LOW*.

Im Vergleich zu den zuvor betrachteten Leistungen und Direktkosten liegen die AEK mit 114.397,05 €/ a (*HIGH*) und 110.801,13 €/ a (*LOW*) in ähnlicher Größenordnung. Hierbei sind die meisten Kostenpunkte identisch: Stallreinigungsroboter, Software-Kosten, Stallsensorik, Milchkühltanks, usw. Einzig die Dienstleistung des Kraftfuttermahlens (circa 1.000 €/ a) sowie die Kosten des Fütterungs- und Melkroboters (circa 645 €/ a bzw. circa 1.950 €/ a) variieren zwischen *HIGH* und *LOW*. Analog zu den Direktkosten sind die AEK auf Bezugsebene des FPCM in *LOW* höher als in *HIGH*. Hier beträgt der Unterschied mehr als 7 Cent pro kg FPCM. Die Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL), als Differenz aus den DKfL und den AEK, ist wiederum auf allen Bezugsebenen in *HIGH* höher als in *LOW*.

Die Gebäudekosten variieren mit jährlich 81.498,24 € (*HIGH*) und 80.248,82 € (*LOW*) nur minimal. Unterschiede weisen die angesetzte Bergehalle für Getreide und Bohnen sowie die Festmistlagerstätte auf. Bezogen auf ein Kilogramm FPCM weist *LOW* erneut höhere Kosten als *HIGH* auf. Die sich aus den DAKfL und dem Abzug der Gebäudekosten ergebende Einzelkostenfreie Leistung (EKfL) ist erneut über alle Bezugseinheiten in *LOW* niedriger als in *HIGH*, weist aber dennoch positive Werte auf.

Die nachfolgend berücksichtigten Allgemeinen Kosten umfassen ähnlich wie die Gebäudekosten eine vergleichbare Größenordnung zwischen *HIGH* und *LOW* (vgl. Tabelle 7). Aus der Differenz der EKfL und letzteren Kosten ergibt sich schließlich der kalkulatorische Gewinnbeitrag (kGB). Für *HIGH* beträgt dieser 80.596,63 € pro Jahr bzw. 1.299,95 € pro Kuh und 14,51 Cent pro kg FPCM. Für LOW liegt der kGB hingegen im negativen Bereich. Konkret umfasst er im Jahr -5.359,46 €, pro Kuh -86,44 € und pro kg FPCM -1,35 Cent.

4.1.2 Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf

Die BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Futterbau Eigenbedarf“ ist in Tabelle 8, wie eingangs beschrieben am Ende des Kapitels, aufgeführt. Zudem ist die Berechnungsgrundlage im elektronischen Anhang (vgl. Anhang_E10_BZA_Außenwirtschaft-Futtererbau Eigenbedarf.xlsx) angefügt. Die erste Summenspalte bezieht sich auf die verfahrensinternen Leistungen und Kosten pro Hektar. In der zweiten Spalte wird die jährliche Summe nach Hochrechnung mit dem entsprechenden Verfahrensumfang aufgeführt. Dabei entsprechen die Umfänge der Produktionsverfahren den in Tabelle 5 aufgeführten Anbauumfängen für den Futterbau zum Eigenbedarf. Zuletzt stellt die dritte Summenspalte einen Durchschnittswert bezogen auf die gesamte Futterfläche des Systems dar. Letztere umfasst in *HIGH* 110,5 ha und in *LOW* 107,5 ha.

Wie in Tabelle 8 zu sehen, setzen sich die Gesamtleistungen in beiden Systemen lediglich aus den Prämienzahlungen der GAP zusammen. Hierbei erzielt *HIGH* mit dem etwas höheren Gesamtumfang der Futterfläche (s.o.) mit einem Unterschied von knapp 3.000 € pro Jahr eine höhere Leistung als *LOW*.

Die Direktkosten sind in *LOW* um knapp 5.000 € pro Jahr höher als in *HIGH*, was sich auch in den durchschnittlichen Kosten pro Hektar Futterfläche widerspiegelt. Betrachtet man die Direktkosten pro Produktionsverfahren, so fällt auf, dass das Verfahren des Silomaises die höchsten Kosten hervorruft. Auf Rang zwei ist die Silagebergung im Grünland zu nennen. Der entsprechende Verfahrensumfang in *LOW* (43,5 ha, vgl. Tabelle 5) führt zu 38.818,60 €/ a, dem höchsten Direktkostenwert eines Anbauverfahrens auf Jahresebene. Die niedrigsten Direktkosten weisen über beide Systeme hinweg hingegen die Beweidung und der Roggenanbau auf. Für die Heubergung fallen jeweils keine Direktkosten an. Nach Abzug der Direktosten von den Leistungen (bzw. Prämienzahlungen) liegt die DKfL für beide Systeme im negativen Bereich, wobei *HIGH* einen geringeren negativen Saldo als *LOW* aufweist. Der Unterschied zwischen den Systemen beträgt um die 7.880 € im Jahr bzw. circa 73 € pro ha Futterfläche.

Die AEK sind analog zu den Direktkosten für die Verfahren der Grassilage und des Silomaises über beide Systeme hinweg am höchsten. Die Beweidung und Heubergung stellen je die kostengünstigsten Verfahren hinsichtlich der Arbeitserledigung dar. Auf Gesamtsystemebene betragen die AEK in *HIGH* pro Jahr über 5.000 € mehr als in *LOW*. Im Vergleich zur DKfL ist der Unterschied der DAKfL zwischen beiden Systemen mit knapp 2.740 € kleiner geworden, wobei *LOW* einen geringeren Wert als *HIGH* aufweist.

Basierend auf dem größeren Flächenumfang des Betriebszweiges (vgl. Anhang_E10) sind die Flächenkosten in *HIGH* mit 19.858.50 € pro Jahr höher als in *LOW* (17.382 €/ a). Die sich ergebende EKfL liegt schließlich für beide Systeme bei jährlich knapp -100.000 € (vgl. Tabelle 8). Hierbei weist *HIGH* ein besseres Ergebnis als *LOW* auf, wobei sich die Differenz auf etwa 264 € im Jahr beläuft.

Zuletzt sind die Allgemeinen Kosten zu berücksichtigen. Diese liegen ebenso in ähnlicher Größenordnung zwischen den Systemen, wobei *HIGH* mit knapp 500 €/ a weniger, niedrigere Kosten aufzeigt. Schlussendlich ist der kGB für beide Systeme negativ und beläuft sich auf -102.383,69 €/ a (*HIGH*) und -103.187,24 €/ a (*LOW*). Damit ist der kGB für die jeweilige Futterbergung einer Herde von 62 Milchkühen bei zugrundeliegender, abweichender Futterrationen nach Tabelle 1 für *LOW* jährlich circa 800 € niedriger. Bezogen auf einen Hektar der jährlich eingesetzten Futterfläche umfasst der Unterschied etwa 33 €.

4.1.3 Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse

Die BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ ist nachfolgend in Tabelle 9 dargestellt. Ihre Berechnungsgrundlage ist dem elektronischen Anhang (vgl. Anhang_E11_BZA_Außenwirtschaft-Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse.xlsx) beigefügt. Für die drei Summenspalten gelten analog die Erläuterungen des vorangegangenen Außenwirtschaftsverfahrens. In diesem Falle entsprechen die relevanten Verfahrensumfänge jedoch jenen Anbauumfängen des Verkaufs in Tabelle 5. Die gesamte LF des Betriebszweiges umfasst in *HIGH* damit 33,5 ha Grünland und in *LOW* 36,5 ha Ackerland.

Vergleicht man die in Tabelle 9 aufgeführten Leistungen zwischen *HIGH* und *LOW*, so fallen einige Unterschiede auf. Demnach umfasst *HIGH* lediglich das Grassilageverfahren, während in *LOW* eine deutlich größere Anzahl verschiedener Kulturen Berücksichtigung findet. In der Jahres-Betrachtung erzielt *LOW* mit 274.239,30 € mehr als die 4,5-fache Leistung von *HIGH* (59.213,27 €/ a). Dabei sticht das Kartoffelverfahren mit einer Leistung von 222.994,12 € pro Jahr bzw. 15.378,90 € pro ha hervor.

Im Vergleich zu den Leistungen variieren die Direktkosten zwischen *HIGH* und *LOW* deutlich weniger. Dennoch betragen die Direktkosten von *LOW* mehr als das Doppelte jener von *HIGH* (55.752,07 €/ a zu 27.429,80 €/ a). Hierbei ist der Großteil erneut auf das Kartoffelverfahren zurückzuführen (vgl. Tabelle 9). Die DKfL weist erneut eine große Differenz zwischen den beiden Systemen auf. Hierbei beträgt die DKfL von *LOW* (218.487,23 €/ a) mehr als das 6,8-fache der DKfL von *HIGH* (31.783,47 €/ a).

Hinsichtlich der AEK fällt der Vergleich von *HIGH* zu *LOW* mit 27.377,54 € pro Jahr zu 53.231,96 € pro Jahr ähnlich zu den Direktkosten aus. Erneut fallen die Kartoffeln mit jährlichen AEK von 39.980,42 € am stärksten ins Gewicht. Die DAKfL umfasst für *HIGH* schließlich knapp 4.400 € im Jahr, während *LOW* etwa 165.000 € aufweist.

Die jährlichen Pachtkosten sind in *LOW* bei etwas höherer Gesamt-LF sowie bewirtschaftetem Acker- statt Grünland (s.o.) circa um 2.400 € höher als in *HIGH*. In Letzterem sind wiederum keine Gebäudekosten relevant, wohingegen in *LOW* die Kosten der Kartoffellagerhalle mit etwa 17.000 € pro Jahr anfallen. Die sich anschließend ergebenden EKfL weist für *HIGH* mit -16,07 € im Jahr einen negativen Saldo auf. Dahingegen weist *LOW* eine EKfL von mehr als 141.000 €/ a auf.

Die Allgemeinen Kosten liegen mit einem Unterschied von etwa 580 €/ a in etwa in gleicher Größenordnung zwischen den Systemen (vgl. Tabelle 9). Letztlich weist der kGB, einhergehend mit den zuvor erwähnten Kennzahlen, einen großen Unterschied auf. *HIGH* steht mit -6.505,64 € im jährlichen Minus, wohingegen *LOW* einen kGB von 134.106,70 € im Jahr aufzeigt. Auf die LF bezogen, entspricht dies einem kGB von 3.548,95 €/ ha. In *HIGH* umfasst der kGB hingegen durchschnittlich -194,20 € pro bewirtschaftetem Hektar.

Tabelle 7: BZA des Betriebszweiges „Innenwirtschaft – Milchproduktion" für HIGH und LOW.

	HIGH			LOW		
Angenommene Anzahl gehaltener Kühe 2024	62,00	Kühe/ a		62,00	Kühe/ a	
jährliche Milchleistung gesamt, in FPCM	555.406,43	kg FPCM/ a		396.416,97	kg FPCM/ a	
> Jahres-Milchleistung pro Kuh in FPCM	8.958,17	kg FPCM/ Kuh* a		6.393,82	kg FPCM/ Kuh* a	
	Summe [€/ a]	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]	Summe [€/ a]	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]
LEISTUNGEN						
Milch	322.024,65	5.193,95	0,5798	229.842,56	3.707,14	0,5798
Altkuh	19.849,08	320,15	0,0357	14.247,03	229,79	0,0359
Kalb	6.194,58	99,91	0,0112	6.445,42	103,96	0,0163
Nährstoffwert	31.832,27	513,42	0,0573	29.914,56	482,49	0,0755
Summe Leistungen	**379.900,58**	**6.127,43**	**0,6840**	**280.449,57**	**4.523,38**	**0,7075**
DIREKTKOSTEN						
Zuchtfärse	38.632,13	623,10	0,0696	32.987,25	532,05	0,0832
Zukauffutter Kühe	4.367,19	70,44	0,0079	2.993,86	48,29	0,0076
Kälbermilch	6.598,63	106,43	0,0119	6.882,45	111,01	0,0174
Wasser	7.355,22	118,63	0,0132	6.568,84	105,95	0,0166
Strom	8.957,04	144,47	0,0161	8.957,04	144,47	0,0226
Tierarzt und Medikamente	4.987,70	80,45	0,0090	4.987,70	80,45	0,0126
Klauenpflege	107,93	1,74	0,0002	452,95	7,31	0,0011
Besamung und Sperma	4.829,47	77,89	0,0087	4.833,42	77,96	0,0122
Milchleistungsprüfung	1.127,56	18,19	0,0020	922,26	14,88	0,0023
Reinigungs- und Desinfektionsmittel	2.862,12	46,16	0,0052	2.700,12	43,55	0,0068
Tierkörperbeseitiung	245,58	3,96	0,0004	425,84	6,87	0,0011
Sonstige Direktkosten	1.148,86	18,53	0,0021	1.148,86	18,53	0,0029
Zinskosten	3.410,09	55,00	0,0061	3.240,05	52,26	0,0082
Summe Direktkosten	**84.629,54**	**1.364,99**	**0,1524**	**77.100,64**	**1.243,56**	**0,1945**
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)	**295.271,04**	**4.762,44**	**0,5316**	**203.348,92**	**3.279,82**	**0,5130**
ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTEN (AEK)						
Melkroboter Lely Astronaut A5	24.623,48	397,15	0,0443	22.669,17	365,63	0,0572
Fütterungsroboter Lely Vector	13.335,84	215,09	0,0240	12.690,74	204,69	0,0320
Stallreinigungsroboter Lely Discovery Collector	8.374,33	135,07	0,0151	8.374,33	135,07	0,0211
Software-Kosten	542,92	8,76	0,0010	542,92	8,76	0,0014
Stallsensorik	3.825,92	61,71	0,0069	3.825,92	61,71	0,0097
Milchkühltanks	1.527,25	24,63	0,0027	1.527,25	24,63	0,0039
Klauenpflegestand	418,18	6,74	0,0008	418,18	6,74	0,0011
Siloblockschneider	514,50	8,30	0,0009	514,50	8,30	0,0013
Wasserfässer	387,10	6,24	0,0007	387,10	6,24	0,0010
Strohbergung	1.114,61	17,98	0,0020	1.117,65	18,03	0,0028
Kraftfutter mahlen	3.179,01	51,27	0,0057	2.179,47	35,15	0,0055
Lohnkosten für Arbeitszeit	56.553,91	912,16	0,1018	56.553,91	912,16	0,1427
Summe AEK	**114.397,05**	**1.845,11**	**0,2060**	**110.801,13**	**1.787,12**	**0,2795**
Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)	**180.873,99**	**2.917,32**	**0,3257**	**92.547,79**	**1.492,71**	**0,2335**
GEBÄUDEKOSTEN						
Kuhstall	76.392,07	1.232,13	0,1375	76.392,07	1.232,13	0,1927
Bergehalle für Getreide + Bohnen	2.345,51	37,83	0,0042	1.620,54	26,14	0,0041
Kälberiglus	631,30	10,18	0,0011	631,30	10,18	0,0016
Festmistlager	2.129,37	34,34	0,0038	1.604,91	25,89	0,0040
Summe Gebäudekosten	**81.498,24**	**1.314,49**	**0,1467**	**80.248,82**	**1.294,34**	**0,2024**
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)	**99.375,75**	**1.602,83**	**0,1789**	**12.298,98**	**198,37**	**0,0310**
ALLGEMEINE KOSTEN						
aufgeschlüsselter Anteil der Milchproduktion	18.779,12	302,89	0,0338	17.658,44	284,81	0,0445
Summe Allgemeine Kosten	**18.779,12**	**302,89**	**0,0338**	**17.658,44**	**284,81**	**0,0445**
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kGB)	**80.596,63**	**1.299,95**	**0,1451**	**- 5.359,46**	**- 86,44**	**- 0,0135**

Quelle: Eigene Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E3_BZA_Innenwirtschaft-Milchproduktion.xlsx).

Tabelle 8: BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf" für HIGH und LOW.

	HIGH			LOW		
Futterfläche gesamt	110,50	ha		107,50	ha	
	Summe [€/ ha][1]	Summe [€/ a]	Summe [€/ ha][2]	Summe [€/ ha][1]	Summe [€/ a]	Summe [€/ ha][2]
LEISTUNGEN						
aus Verfahren Luzernegras	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Grünland: Silage	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Grünland: Heu	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Grünland: Weide	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Silomais	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Weizen	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Roggen	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Triticale	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Dinkel	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Hafer	-	-	-	-	-	-
aus Verfahren Ackerbohne	-	-	-	-	-	-
Summe Leistungen aus Produktionsverfahren		-	-		-	-
Agrarprämienzahlungen für Ackerland	487,66	45.108,55	408,22	487,66	27.308,96	254,04
Agrarprämienzahlungen für Grünland	446,18	8.031,24	72,68	446,18	22.978,27	213,75
Gesamtsumme Leistungen		**53.139,79**	**480,90**		**50.287,23**	**467,79**
DIREKTKOSTEN						
Summe Direktkosten aus Verfahren Luzernegras	201,89	5.047,35	45,68	201,89	3.634,09	33,81
Summe Direktkosten aus Verfahren Grünland: Silage	828,63	9.943,51	89,99	892,38	38.818,60	361,10
Summe Direktkosten aus Verfahren Grünland: Heu	-	-	-	-	-	-
Summe Direktkosten aus Verfahren Grünland: Weide	101,20	506,00	4,58	101,20	708,40	6,59
Summe Direktkosten aus Verfahren Silomais	1.133,58	16.436,93	148,75	-	-	-
Summe Direktkosten aus Verfahren Weizen	517,04	2.533,51	22,93	545,90	1.910,66	17,77
Summe Direktkosten aus Verfahren Roggen	140,09	686,43	6,21	140,09	490,30	4,56
Summe Direktkosten aus Verfahren Triticale	499,91	2.449,54	22,17	528,77	1.850,68	17,22
Summe Direktkosten aus Verfahren Dinkel	502,48	2.462,18	22,28	523,86	1.833,52	17,06
Summe Direktkosten aus Verfahren Hafer	408,46	2.001,47	18,11	408,46	1.429,62	13,30
Summe Direktkosten aus Verfahren Ackerbohne	447,22	12.745,86	115,35	447,22	9.168,07	85,28
Summe Direktkosten		**54.812,76**	**496,04**		**59.843,95**	**556,69**
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)		**- 1.672,97**	**- 15,14**		**- 9.556,72**	**- 88,90**
ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTEN (AEK)						
Summe AEK aus Verfahren Luzernegras	605,34	15.133,50	136,95	609,02	10.962,36	101,98
Summe AEK aus Verfahren Grünland: Silage	856,35	10.276,20	93,00	856,35	37.251,23	346,52
Summe AEK aus Verfahren Grünland: Heu	310,44	310,44	2,81	310,44	310,44	2,89
Summe AEK aus Verfahren Grünland: Weide	168,26	841,30	7,61	168,26	1.177,82	10,96
Summe AEK aus Verfahren Siomais	1.314,36	19.058,22	172,47	-	-	-
Summe AEK aus Verfahren Weizen	526,39	2.579,31	23,34	526,03	1.841,11	17,13
Summe AEK aus Verfahren Roggen	430,90	2.111,41	19,11	430,90	1.508,15	14,03
Summe AEK aus Verfahren Triticale	527,12	2.582,89	23,37	527,12	1.844,92	17,16
Summe AEK aus Verfahren Dinkel	622,71	3.051,28	27,61	622,39	2.178,37	20,26
Summe AEK aus Verfahren Hafer	654,60	3.207,54	29,03	654,47	2.290,65	21,31
Summe AEK aus Verfahren Ackerbohne	669,24	19.073,34	172,61	669,13	13.717,17	127,60
Summe AEK		**78.225,43**	**707,92**		**73.082,20**	**679,83**
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)		**- 79.898,40**	**- 723,06**		**- 82.638,91**	**- 768,73**
FLÄCHENKOSTEN						
Flächenpacht		19.858,50	179,71		17.382,00	161,69
Summe Flächenkosten		**19.858,50**	179,71		**17.382,00**	161,69
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)		**- 99.756,90**	**- 902,78**		**- 100.020,91**	**- 930,43**
ALLGEMEINE KOSTEN						
aufgeschlüsselter Anteil des Futterbaus		2.626,79	23,77		3.166,32	29,45
Summe Allgemeine Kosten		**2.626,79**	**23,77**		**3.166,32**	**29,45**
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kGB)		**- 102.383,69**	**- 926,55**		**- 103.187,24**	**- 959,88**

[1] Auf das jeweilige Produktionsverfahren bezogen.

[2] Durchschnittswert, da auf die gesamte Futterfläche bezogen.

Quelle: Eigene Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E10_BZA_Außenwirtschaft-Futterbau Eigenbedarf.xlsx.)

Tabelle 9: BZA des Betriebszweiges „Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ für HIGH und LOW.

	HIGH			LOW		
Anbaufläche zum Verkauf der Erzeugnisse gesamt	33,50	ha		36,50	ha	
	Summe [€/ ha][1]	Summe [€/ a]	Summe [€/ ha][2]	Summe [€/ ha][1]	Summe [€/ a]	Summe [€/ ha][2]
LEISTUNGEN						
aus Verfahren Luzernegras	-	-	-	1.985,47	13.898,26	380,77
aus Verfahren Grünland: Silage	1.321,38	44.266,24	1.321,38	-	-	-
aus Verfahren Kartoffeln	-	-	-	15.378,90	222.994,12	6.109,43
aus Verfahren Weizen	-	-	-	1.663,42	2.910,99	79,75
aus Verfahren Roggen	-	-	-	1.146,65	2.006,64	54,98
aus Verfahren Dinkel	-	-	-	1.623,88	2.841,78	77,86
aus Verfahren Hafer	-	-	-	1.259,96	2.204,93	60,41
aus Verfahren Ackerbohne	-	-	-	1.197,87	9.582,99	262,55
Summe Leistungen aus Produktionsverfahren		44.266,24	1.321,38		256.439,71	7.025,75
Agrarprämienzahlungen für Ackerland	487,66	-	-	487,66	17.799,59	487,66
Agrarprämienzahlungen für Grünland	446,18	14.947,03	446,18	446,18	-	-
Summe Leistungen		**59.213,27**	**1.767,56**		**274.239,30**	**7.513,41**
DIREKTKOSTEN						
Summe Direktkosten aus Verfahren Luzerne	-	-	-	201,89	1.413,26	38,72
Summe Direktkosten aus Verfahren Grünland: Silage	818,80	27.429,80	818,80	-	-	-
Summe Direktkosten aus Verfahren Kartoffeln	-	-	-	3.337,46	48.393,24	1.325,84
Summe Direktkosten aus Verfahren Weizen	-	-	-	545,90	955,33	26,17
Summe Direktkosten aus Verfahren Roggen	-	-	-	140,09	245,15	6,72
Summe Direktkosten aus Verfahren Dinkel	-	-	-	258,57	452,50	12,40
Summe Direktkosten aus Verfahren Hafer	-	-	-	408,46	714,81	19,58
Summe Direktkosten aus Verfahren Ackerbohne	-	-	-	447,22	3.577,78	98,02
Summe Direktkosten		**27.429,80**	**818,80**		**55.752,07**	**1.527,45**
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)		**31.783,47**	**948,76**		**218.487,23**	**5.985,95**
ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTEN (AEK)						
Summe AEK aus Verfahren Luzerne	-	-	-	569,91	3.989,37	109,30
Summe AEK aus Verfahren Grünland: Silage	817,24	27.377,54	817,24	-	-	-
Summe AEK aus Verfahren Kartoffeln	-	-	-	2.757,27	39.980,42	1.095,35
Summe AEK aus Verfahren Weizen	-	-	-	526,03	920,55	25,22
Summe AEK aus Verfahren Roggen	-	-	-	430,90	754,08	20,66
Summe AEK aus Verfahren Dinkel	-	-	-	622,39	1.089,18	29,84
Summe AEK aus Verfahren Hafer	-	-	-	654,47	1.145,32	31,38
Summe AEK aus Verfahren Ackerbohne	-	-	-	669,13	5.353,04	146,66
Summe AEK		**27.377,54**	**817,24**		**53.231,96**	**1.458,41**
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)		**4.405,93**	**131,52**		**165.255,27**	**4.527,54**
FLÄCHEN- UND GEBÄUDEKOSTEN						
Gebäudekosten						
Kartoffellagerhalle		-	-		17.179,34	470,67
Flächenkosten						
Flächenpacht		4.422,00	132,00		6.898,50	189,00
Summe Flächen- und Gebäudekosten		**4.422,00**	**132,00**		**24.077,84**	**659,67**
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)		**- 16,07**	**- 0,48**		**141.177,43**	**3.867,87**
ALLGEMEINE KOSTEN						
aufgeschlüsselter Anteil des zusätzlichen Verkaufs		6.489,58	193,72		7.070,73	193,72
Summe Allgemeine Kosten		**6.489,58**	**193,72**		**7.070,73**	**193,72**
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kGB)		**- 6.505,64**	**- 194,20**		**134.106,70**	**3.674,16**

[1] Auf das jeweilige Produktionsverfahren bezogen.

[2] Durchschnittswert, da auf die gesamte Futterfläche bezogen.

Quelle: Eigene Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E11_BZA_Außenwirtschaft-Verkauf pflanzlicher Erzeugnise.xlsx).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass *LOW* in der Milchproduktion einen negativen kGB aufweist, wohingegen dies für *HIGH* im zusätzlichen Verkauf der pflanzlichen Erzeugnisse der Fall ist. Der betriebseigene Futterbau führt in beiden Systemen zu einem negativen kGB.

4.2. Auswertung der Vollkosten auf Gesamtsystemebene

Um die vorangehend dargestellten Ergebnisse vollumfänglicher einordnen zu können und den Forschungsfragen zu begegnen, folgt die Aggregation der drei BZA auf Gesamtsystemebene. Dabei ist im ersten Schritt eine gemeinsame Darstellung der Milchproduktion und des Futterbaus zum Eigenbedarf bzw. zu eben jener Milchproduktion aufgeführt (vgl. Tabelle 10). Darauffolgend ist die Vollkostenrechnung aller drei Betriebszweige dargestellt (vgl. Tabelle 11). Beide sind auch in detaillierter Form dem elektronischen Anhang (vgl. Anhang_E16_BZA_Gesamtsystemebene.xlsx) angehängt. Die in beiden Zusammenfassungen herangezogenen Summen an Leistungen, Direktkosten, AEK, Flächen- und Gebäudekosten sowie Allgemeinen Kosten entsprechen jenen der zuvor in den Tabellen 7-9 aufgeführten BZA. Daher werden nachfolgend lediglich die Gesamtsummen und produktionsökonomischen Kennzahlen näher beschrieben.

Die in nachfolgend abgebildeter Tabelle 10 aufgeführten Gesamtsummen der Leistungen aus der Milchproduktion und dem Futterbau sind mit 433.040,37 € im Jahr in *HIGH* circa 103.000 € höher als in *LOW* (30.736,80 €/ a). Die Direktkosten von *HIGH* betragen hingegen nur knapp 3.000 € pro Jahr mehr, so dass die DKfL eine Differenz von etwa 100.000 € pro Jahr zugunsten von *HIGH* aufweist. Auf die Kuhanzahl und LF bzw. Futterfläche bezogen, sind die Leistungs- und Kostenvorteile analog verteilt.

Auf der Bezugsebene der FPCM weist jedoch *LOW* eine höhere Gesamtleistung, konkret 83,43 Cent pro kg FPCM, als *HIGH* (79,97 Cent pro kg FPCM) auf. Die Direktkosten sind mit einem Unterschied von etwa 9 Cent ebenfalls in *LOW* höher. Schlussendlich fällt die DKfL, im Pendant zu den anderen Bezugseinheiten, für *HIGH* besser als für *LOW* aus.

Die AEK sind in *HIGH* höher als in *LOW*, wobei die jährliche Differenz mehr als 8.700 € beträgt (vgl. Tabelle 10). Bezogen auf ein Kilogramm FPCM weist *LOW* wiederum den höheren Kostenwert auf. Die DAKfL ist für beide Systeme positiv. Dabei erzielt *HIGH* eine DAKfL von 100.975,59 € und *LOW* von 9.908,88 € im Jahr. Das beschriebene Verhältnis der AEK ist auch für die Flächen- und Gebäudekosten zutreffend, wobei die jährliche Differenz mit mehr als 3.700 € deutlich geringer ist. Nach Berücksichtigung der zuvor erwähnten Flächen- und Gebäudekosten liegt die EKfL für beide Systeme im negativen Wertebereich. Jedoch schneidet *HIGH* mit -381,15 € pro Jahr im Vergleich zu *LOW* (-87.721,94 €/ a) besser ab. Die Allgemeinen Kosten beider Systeme befinden sich auf einem ähnlichen Niveau (vgl. Tabelle 10). Schlussendlich umfasst der jährliche kGB für *HIGH* -21.787,06 € und für *LOW* -108.546,70 €. Somit übersteigt der negative Saldo von *LOW* jenen von *HIGH* mit mehr als 86.000 €. Unter Berücksichtigung der systeminternen Milchleistung beträgt der Unterschied 23,46 Cent pro kg FPCM zu Lasten von *LOW*.

Tabelle 10: Vollkosten für HIGH und LOW zusammengefasst für die Betriebszweige „Milchproduktion“ und „Futterbau für Eigenbedarf“.

	HIGH				LOW			
Angenommene Anzahl gehaltener Kühe 2024	62,00	Kühe			62,00	Kühe		
jährliche Milchleistung gesamt, in FPCM	555.406,43	kg FPCM/ a			396.416,97	kg FPCM/ a		
> Jahres-Milchleistung pro Kuh in FPCM	8.958,17	kg FPCM/ Kuh* a			6.393,82	kg FPCM/ Kuh* a		
Gesamt-LF	110,5	ha			107,5	ha		
	Summe [€/ a]	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]	Summe [€/ ha]	**Summe [€/ a]**	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]	Summe [€/ ha]
LEISTUNGEN								
Summe Leistungen aus der Milchproduktion	379.900,58	6.127,43	0,6840	3.438,01	280.449,57	4.523,38	0,7075	2.608,83
Summe Leistungen aus dem Futterbau	53.139,79	857,09	0,0957	480,90	50.287,23	811,08	0,1269	467,79
Gesamtsumme Leistungen	**433.040,37**	**6.984,52**	**0,7797**	**3.918,92**	**330.736,80**	**5.334,46**	**0,8343**	**3.076,62**
DIREKTKOSTEN								
Summe Direktkosten aus der Milchproduktion	84.629,54	1.364,99	0,1524	765,88	77.100,64	1.243,56	0,1945	717,22
Summe Direktkosten aus dem Futterbau	54.812,76	884,08	0,0987	496,04	59.843,95	965,22	0,1510	556,69
Gesamtsumme Direktosten	**139.442,30**	**2.249,07**	**0,2511**	**1.261,92**	**136.944,59**	**2.208,78**	**0,3455**	**1.273,90**
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)	**293.598,07**	**4.735,45**	**0,5286**	**2.657,00**	**193.792,21**	**3.125,68**	**0,4889**	**1.802,72**
ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTEN (AEK)								
Summe AEK aus der Milchproduktion	114.397,05	1.845,11	0,2060	1.035,27	110.801,13	1.787,12	0,2795	1.030,71
Summe AEK aus dem Futterbau	78.225,43	1.261,70	0,1408	707,92	73.082,20	1.178,75	0,1844	679,83
Gesamtmsumme AEK	**192.622,48**	**3.106,81**	**0,3468**	**1.743,19**	**183.883,33**	**2.965,86**	**0,4639**	**1.710,54**
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)	**100.975,59**	**1.628,64**	**0,1818**	**913,81**	**9.908,88**	**159,82**	**0,0250**	**92,18**
FLÄCHEN- UND GEBÄUDEKOSTEN								
Summe Gebäudekosten aus Milchproduktion	81.498,24	1.314,49	0,1467	737,54	80.248,82	1.294,34	0,2024	746,50
Summe Flächenkosten aus dem Futterbau	19.858,50	320,30	0,0358	179,71	17.382,00	280,35	0,0438	161,69
Gesamtsumme Flächen- und Gebäudekosten	**101.356,74**	**1.634,79**	**0,1825**	**917,26**	**97.630,82**	**1.574,69**	**0,2463**	**908,19**
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)	**- 381,15**	**- 6,15**	**- 0,0007**	**- 3,45**	**- 87.721,94**	**- 1.414,87**	**- 0,2213**	**- 816,02**
ALLGEMEINE KOSTEN								
Summe Allgemeine Kosten aus der Milchproduktion	18.779,12	302,89	0,0338	169,95	17.658,44	284,81	0,0445	164,26
Summe Allgemeine Kosten aus dem Futterbau	2.626,79	42,37	0,0047	23,77	3.166,32	51,07	0,0080	29,45
Gesamtsumme Allgemeine Kosten	**21.405,91**	**345,26**	**0,0385**	**193,72**	**20.824,76**	**335,88**	**0,0525**	**193,72**
kalkulatorischer Gewinnbeitrag (kGB)	**- 21.787,06**	**- 351,40**	**- 0,0392**	**- 197,17**	**- 108.546,70**	**- 1.750,75**	**- 0,2738**	**- 1.009,74**

Quelle: Eigene Darstellung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E16_BZA_Gesamtsystemebene.xlsx).

Da die vorangehende aggregierte Betrachtung der Milchproduktion und des Futterbaus alle zur Milcherzeugung relevanten Leistungen und Kosten vollumfänglich abbildet, lässt sich hieraus der vollkostendeckende Milchpreis ableiten. Tabelle 10 zeigt für beide Systeme den kGB pro erzeugtem Kilogramm FPCM. Dieser beträgt in *HIGH* -3,92 Cent und in *LOW* -27,38 Cent und ist damit für beide Systeme negativ. Unter Berücksichtigung des herangezogenen Milchpreises von 57,98 Cent pro kg FPCM (Zander et al., 2025; vgl. Anhang_E3) ergibt sich der vollkostendeckende Milchpreis. So beträgt Letzterer in *HIGH* 61,9 Cent und in *LOW* 85,28 Cent, jeweils pro kg FPCM.

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, folgt auf die vorige Zusammenfassung die aggregierte Betrachtung auf Gesamtsystemebene. Das heißt, der Betriebszweig des Verkaufs pflanzlicher Erzeugnisse wird zusätzlich berücksichtigt. Damit werden die beiden Systeme in ihrem angenommenen Umfang vollumfänglich abgebildet. Die zur Beschreibung von Tabelle 10 aufgeführten Hinweise sind auch für nachfolgende Tabelle 11 zu beachten.

Tabelle 11: Vollkostenrechnung für HIGH und LOW auf Gesamtsystemebene.

	HIGH				LOW			
Angenommene Anzahl gehaltener Kühe 2024	62,00	Kühe			62,00	Kühe		
jährliche Milchleistung gesamt, in FPCM	555.406,43	kg FPCM/ a			396.416,97	kg FPCM/ a		
> Jahres-Milchleistung pro Kuh in FPCM	8.958,17	kg FPCM/ Kuh* a			6.393,82	kg FPCM/ Kuh* a		
Gesamt-LF	144,00	ha			144,00	ha		
	Summe [€/ a]	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]	Summe [€/ ha]	**Summe [€/ a]**	Summe [€/ Kuh]	Summe [€/ kg FPCM]	Summe [€/ ha]
LEISTUNGEN								
Summe Leistungen aus der Milchproduktion	379.900,58	6.127,43	0,6840	2.638,20	280.449,57	4.523,38	0,7075	1.947,57
Summe Leistungen aus dem Futterbau	53.139,79	857,09	0,0957	369,03	50.287,23	811,08	0,1269	349,22
Summe Leistungen aus dem zuätzlichen Verkauf	59.213,27	955,05	0,1066	411,20	274.239,30	4.423,21	0,6918	1.904,44
Gesamtsumme Leistungen	**492.253,64**	**7.939,57**	**0,8863**	**3.418,43**	**604.976,10**	**9.757,68**	**1,5261**	**4.201,22**
DIREKTKOSTEN								
Summe Direktkosten aus der Milchproduktion	84.629,54	1.364,99	0,1524	587,71	77.100,64	1.243,56	0,1945	535,42
Summe Direktkosten aus dem Futterbau	54.812,76	884,08	0,0987	380,64	59.843,95	965,22	0,1510	415,58
Summe Direktkosten aus dem zuätzlichen Verkauf	27.429,80	442,42	0,0494	190,48	55.752,07	899,23	0,1406	387,17
Gesamtsumme Direktkosten	**166.872,10**	**2.691,49**	**0,3005**	**1.158,83**	**192.696,67**	**3.108,01**	**0,4861**	**1.338,17**
Direktkostenfreie Leistung (DKfL)	**325.381,54**	**5.248,09**	**0,5858**	**2.259,59**	**412.279,43**	**6.649,67**	**1,0400**	**2.863,05**
ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTEN (AEK)								
Summe AEK aus der Milchproduktion	114.397,05	1.845,11	0,2060	794,42	110.801,13	1.787,12	0,2795	769,45
Summe AEK aus dem Futterbau	78.225,43	1.261,70	0,1408	543,23	73.082,20	1.178,75	0,1844	507,52
Summe AEK aus dem zuätzlichen Verkauf	27.377,54	441,57	0,0493	190,12	53.231,96	858,58	0,1343	369,67
Gesamtsumme AEK	**220.000,02**	**3.548,39**	**0,3961**	**1.527,78**	**237.115,28**	**3.824,44**	**0,5981**	**1.646,63**
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL)	**105.381,53**	**1.699,70**	**0,1897**	**731,82**	**175.164,15**	**2.825,23**	**0,4419**	**1.216,42**
FLÄCHEN- UND GEBÄUDEKOSTEN								
Gebäudekosten								
Summe Gebäudekosten aus Milchproduktion	81.498,24	1.314,49	0,1467	565,96	80.248,82	1.294,34	0,2024	557,28
Summe Gebäudekosten aus dem zusätzlichen Verkauf	-	-	-	-	17.179,34	277,09	0,0433	119,30
Flächenkosten								
Summe Flächenkosten aus dem Futterbau	19.858,50	320,30	0,0358	137,91	17.382,00	280,35	0,0438	120,71
Summe Flächenkosten aus dem zusätzlichen Verkauf	4.422,00	71,32	0,0080	30,71	6.898,50	111,27	0,0174	47,91
Gesamtsumme Flächen- und Gebäudekosten	**105.778,74**	**1.706,11**	**0,1905**	**734,57**	**121.708,66**	**1.963,04**	**0,3070**	**845,20**
Einzelkostenfreie Leistung (EKfL)	**- 397,22**	**- 6,41**	**- 0,0007**	**- 2,76**	**53.455,49**	**862,19**	**0,1348**	**371,22**
ALLGEMEINE KOSTEN								
Summe Allgemeine Kosten aus der Milchproduktion	18.779,12	302,89	0,0338	130,41	17.658,44	284,81	0,0445	122,63
Summe Allgemeine Kosten aus dem Futterbau	2.626,79	42,37	0,0047	18,24	3.166,32	51,07	0,0080	21,99
Summe Allgemeine Kosten aus dem zusätzlichen Verkauf	6.489,58	104,67	0,0117	45,07	7.070,73	114,04	0,0178	49,10
Gesamtsumme Allgemeine Kosten	**27.895,49**	**449,93**	**0,0502**	**193,72**	**27.895,49**	**449,93**	**0,0704**	**193,72**
kalkulatorischer Gewinnbeitrag	**- 28.292,71**	**- 456,33**	**- 0,0509**	**- 196,48**	**25.560,00**	**412,26**	**0,0645**	**177,50**

Quelle: Eigene Darstellung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_16_BZA_Gesamtsystemebene.xlsx)

Gemäß Tabelle 11 erzielt *LOW* auf Gesamtsystemebene über alle Bezugseinheiten hinweg eine deutlich höhere Gesamtleistung als *HIGH*. In jährlicher Betrachtung umfasst der Unterschied von 604.976,10 € (*LOW*) zu 492.253,64 € (*HIGH*) über 112.000 €. Während die Milchproduktion in *HIGH* über beide Systeme hinweg den größten Beitrag eines Betriebszweiges zur Leistungserzielung liefert, umfasst der Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse in *HIGH* lediglich eine Leistungshöhe in etwa des systemgleichen Futterbaus. Dahingegen erreicht die Leistung des zusätzlichen Verkaufs in *LOW* ein ähnliches Niveau der Milchproduktion.

Auf der Stufe der Direktkosten ist der Unterschied zwischen *HIGH* und *LOW* im Vergleich zu den Leistungen geringer, wobei *LOW* die größere beider Kostensummen aufweist. Die DKfL ist ebenso in *LOW* höher. Der Unterschied beträgt hier mehr als 86.000 € pro Jahr zugunsten von *LOW*. Die zu den Direktkosten aufgeführte Beobachtung kann ohne Einschränkungen auf die AEK projiziert werden. Gleiches gilt für die DAKfL, wobei der Unterschied, weiterhin zugunsten von *LOW*, mehr als 69.000 €

im Jahr aufweist (vgl. Tabelle 11). Die Flächen- und Gebäudekosten sind erneut in *HIGH* geringer als in *LOW*, ebenso wie die EKfL. Bezüglich Letzterer ist jedoch hervorzuheben, dass diese in *HIGH* mit -397,22 €/ a einen negativen Kostenwert hervorruft. Hingegen erzielt *LOW* eine EKfL von 53.455,49 € pro Jahr. Die Allgemeinen Kosten sind in Summe über alle drei Betriebszweige hinweg für beide Systeme identisch. Nach Berücksichtigung der Leistungen und aller relevanten Kosten ergibt sich für *HIGH* ein negativer kGB von -28.292,71 € im Jahr. Der kGB von *LOW* liegt hingegen im positiven Bereich und beträgt 25.560 € pro Jahr.

Zum besseren Vergleich der vorangehend aufgezeigten produktionsökonomischen Erfolgsgrößen der einzelnen Betriebszweige und ihrer Verbindungen, sind jene Erfolgsgrößen in Anhang 4 vergleichend abgebildet. Hierbei fällt zusammengefasst auf, welche Verfahren einen positiven bzw. negativen kGB aufweisen: Während *HIGH* in der Innenwirtschaft einen positiven Wert aufweist, ist dieser nach Berücksichtigung des Futterbaus und des Verkaufs negativ. Hingegen weist *LOW* zunächst negative kGB auf, wobei der zusätzliche Verkauf einen positiven kGB hervorruft, welcher auch auf Gesamtsystemebene zu verbuchen ist.

4.3 Ergebnisse des Net Human Edible Protein &-Energy

Die in 3.3.2 beschriebenen und eigens berechneten Kennzahlen des NHEP und NHEE werden nachfolgend dargestellt. Dabei erfolgt analog zu 4.2 zunächst die vollumfängliche Betrachtung der Milcherzeugung (siehe Tabelle 12), wobei die Betriebszweige „Milchproduktion“ und „Futterbau für Eigenbedarf“ berücksichtigt sind. Anschließend wird die Berechnung auf Gesamtsystemebene, die somit auch den zusätzlichen Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse inkludiert (siehe Tabelle 13), aufgeführt. Beide Ergebnisdarstellungen führen zusätzlich die LKE auf. Die detaillierten Berechnungen beider Ansätze sind im elektronischen Anhang (Anhang_E17_NHEP und NHEE.xlsx) einzusehen.

Wie nachfolgender Tabelle 12 zu entnehmen ist, sind die Outputs von heCP und heGE in *HIGH* höher als in *LOW*. Dabei ist der Unterschied für die CP-Mengen deutlich größer. So entspricht die heCP-Menge von *LOW* lediglich etwa 67 % jener von *HIGH*. Dieses Verhältnis trifft konkret auch auf den Milchverkauf zu, welcher den Großteil des Outputs ausmacht.

Im Inputbereich fällt auf, dass die Futtermittel Luzernegras-Silage, Grassilage, Heu, Mineralfutter sowie die Beweidung keinerlei heCP- oder heGE-Mengen liefern. Den größten Beitrag liefern hingegen die Ackerbohnen in beiden Systemen. In Summe des Futterinputs sind in *HIGH* deutlich höhere heCP- und heGE-Mengen als in *LOW* zu beobachten. Dabei sind die Werte des heCP beider Systeme im Vergleich zum Output deutlich geringer (vgl. Tabelle 12). Hinsichtlich der heGE sind die Inputmengen jedoch höher als die Outputmengen.

Schlussendlich ergibt sich für *HIGH* konkret ein NHEP von 111.747.700,81 g heCP pro Jahr. *LOW* weist hingegen ein NHEP von 76.862.527,05 g heCP im Jahr auf. Damit erzeugt *HIGH* mehr als die 1,4-fache heCP-Menge als *LOW*. Bezogen auf das NHEE führen beide Systeme einen negativen Endwert auf. So entspricht das jährliche NHEE in *HIGH* -1.109.841,81 Megajoule(MJ) heGE während *LOW* einen Wert von -278.810,99 MJ heGE aufweist.

Somit schneidet *LOW* bezogen auf die Proteinmengen zwar schlechter ab, weist im Hinblick auf die Energiemengen aber Vorteile gegenüber *HIGH* auf. Dies verdeutlicht auch die aufgeführte Differenz des NHEP und NHEE zwischen *HIGH* und *LOW* (vgl. Tabelle 12). Im Pendant zu den Vorzeichenwerten des NHEP und NHEE zeigt die abschließende LKE im Falle des heCP für beide Systeme einen Wert > 1 (konkret 5,24 bzw. 5,75) auf, wohingegen die LKE für die heGE jeweils < 1 (0,6 bzw. 0,81) ist.

Tabelle 12: NHEP und NHEE für HIGH und LOW zusammengefasst für die Betriebszweige „Milchproduktion“ und „Futterbau Eigenbedarf“.

	HIGH		***LOW***	
Systemvergleich Milchproduktion	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]
OUTPUT				
Milchverkauf	133.987.919,75	1.565.431,11	90.075.672,96	1.110.796,27
Altkühe zur Schlachtung	4.134.935,09	83.450,51	2.968.092,91	59.901,51
Summe Output	**138.122.854,84**	**1.648.881,62**	**93.043.765,87**	**1.170.697,78**
INPUT				
Luzernegras-Silage	-	-	-	-
Grassilage	-	-	-	-
Heu	-	-	-	-
Grünlandaufwuchs durch Beweidung	-	-	-	-
Maissilage	2.771.111,01	644.283,31	-	-
Weizen	2.344.092,27	255.769,05	1.606.941,55	175.336,92
Roggen	2.036.974,65	235.548,34	1.396.403,73	161.475,05
Triticale	1.508.605,64	233.961,72	1.034.191,84	160.387,38
Dinkel	2.612.171,78	261.217,18	1.790.717,64	179.071,76
Hafer	2.052.894,23	260.424,30	1.407.317,06	178.528,22
Ackerbohnen	13.049.304,45	842.032,82	8.945.667,01	577.237,30
Mineralfutter	-	-	-	-
Pflanzenöl	-	25.486,71	-	17.472,14
Summe Input	**26.375.154,03**	**2.758.723,43**	**16.181.238,82**	**1.449.508,77**
	NHEP [g heCP/ a]	**NHEE** [MJ heGE/ a]	**NHEP** [g heCP/ a]	**NHEE** [MJ heGE/ a]
Differenz von Output und Input	**111.747.700,81**	**- 1.109.841,81**	**76.862.527,05**	**- 278.810,99**
NHEP-Differenz *HIGH* zu *LOW*		34.885.173,76	g heCP/ a	
NHEE-Differenz *HIGH* zu *LOW*		- 831.030,83	MJ heGE/ a	
	LKE für heCP	**LKE für heGE**	**LKE für heCP**	**LKE für heGE**
Verhältnis von Output und Input	**5,24**	**0,60**	**5,75**	**0,81**

MJ = Megajoule; NHEP = Net Human Edible Protein; NHEE = Net Human Edible Energy;
LKE = Lebensmittelkonversionseffizienz
Quelle: Eigene Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E17_NHEP und NHEE.xlsx).

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, folgt die Berechnung des NHEP und NHEE auf Gesamtsystemebene. Wie in nachfolgender Tabelle 13 zu sehen, sind hierbei zwei weitere Outputströme von Relevanz: der Marktfruchtverkauf sowie der indirekte Fleischoutput durch den Verkauf von Silagen (Luzernegras- und Grassilage). Damit steigen in beiden Systemen die Gesamtoutputmengen des heCP und der heGE im Vergleich zu vorangehender Betrachtung an. Konkret

führt der Verkauf der Grassilage in *HIGH* zu weiteren 14.474.380,17 g heCP und 292.119,31 MJ pro Jahr. Im Vergleich liefert der Verkauf der Luzernegras-Silage in *LOW* in geringerem Umfang weitere heCP- und heGE-Mengen. Jedoch weist der Marktfruchtverkauf, welcher in *HIGH* nicht erfolgt, in *LOW* eine jährliche Menge von 13.252.791,81 g heCP und 1.771.444,65 MJ heGE auf. Hierzu sind in Anhang 5 die erzeugten heCP- und heGE-Mengen differenziert nach den Marktfrüchten aufgeführt. In Anbetracht dessen fällt auf, dass die Kartoffeln mit deutlichem Abstand die höchsten Outputmengen hervorrufen.

Nach Berücksichtigung der weiteren Outputs durch den Verkauf verringert sich der Unterschied hinsichtlich des heCP zwischen *HIGH* und *LOW*. So entspricht das in *LOW* erzeugte heCP in Summe fast 73 % von *HIGH*. Wie vorangehend beschrieben, lag dieser Wert in Tabelle 12 bei 68 %. Hinsichtlich der heGE ist hervorzuheben, dass die gesamt erzeugte Menge in *LOW* deutlich über jener von *HIGH* liegt, während dies gemäß Tabelle 12 in vorangehender Gegenüberstellung umgekehrt war. Bezogen auf das Gesamtsystem entspricht die in *LOW* erzeugte Menge heGE damit der 1,5-fachen von *HIGH*.

Der Inputbereich bleibt nach Berücksichtigung des zusätzlichen Verkaufs pflanzlicher Erzeugnisse unverändert. Schließlich sind die Werte des NHEP in beiden Systemen weiterhin positiv und im Vergleich zu Tabelle 12 angestiegen. Dabei erfolgte in *LOW* ein größerer Anstieg, so dass die Differenz zwischen den Systemen um etwa 33,5 Milliarden g heCP geringer geworden ist. Die entsprechende LKE liegt mit 5,79 in *HIGH* und 6,87 in *LOW* deutlich über einem Wert von 1.

Wenngleich der Absolutbetrag des NHEE für *HIGH* geringer wurde, weist es noch immer einen negativen Endwert auf. In *LOW* liegt das NHEE auf Gesamtsystemebene mit 1.591.435,72 MJ heGE hingegen im positiven Bereich und zeigt damit im Vergleich zur vorigen Darstellung in Tabelle 12 eine große Zunahme. Dies spiegelt sich auch in der Differenz des NHEE zwischen den Systemen wider (vgl. Tabelle 12 und 13) sowie in der zugehörigen LKE. Diese liegt für *HIGH* weiterhin < 1. In *LOW* übersteigt sie mit 2,1 hingegen besagten Schwellenwert.

Tabelle 13: NHEP und NHEE für HIGH und LOW auf Gesamtsystemebene.

	HIGH		*LOW*	
Systemvergleich Gesamtbetriebsebene	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]
OUTPUT				
Milchverkauf	133.987.919,75	1.565.431,11	90.075.672,96	1.110.796,27
Altkühe zur Schlachtung	4.134.935,09	83.450,51	2.968.092,91	59.901,51
Marktfruchtverkauf	-	-	13.252.791,81	1.771.144,65
indirekter Fleischoutput durch Verkauf von Silagen	14.474.380,17	292.119,31	4.910.462,24	99.102,06
Summe Output	**152.597.235,01**	**1.941.000,93**	**111.207.019,92**	**3.040.944,49**
INPUT				
Futtermittel	26.375.154,03	2.758.723,43	16.181.238,82	1.449.508,77
Summe Input	**26.375.154,03**	**2.758.723,43**	**16.181.238,82**	**1.449.508,77**
	NHEP [g heCP/ a]	**NHEE** [MJ heGE/ a]	**NHEP** [g heCP/ a]	**NHEE** [MJ heGE/ a]
Differenz von Output und Input	**126.222.080,98**	**- 817.722,50**	**95.025.781,10**	**1.591.435,72**
NHEP-Differenz *HIGH* zu *LOW*		31.196.299,87	g heCP/ kg TS	
NHEE-Differenz *HIGH* zu *LOW*		- 2.409.158,22	MJ heGE/ kg TS	
	LKE für CP	**LKE für GE**	**LKE für CP**	**LKE für GE**
Verhältnis von Output und Input	**5,79**	**0,70**	**6,87**	**2,10**

MJ = Megajoule; NHEP = Net Human Edible Protein; NHEE = Net Human Edible Energy;
LKE = Lebensmittelkonversionseffizienz
Quelle: Eigene Berechnung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E17_NHEP und NHEE.xlsx).

5 Diskussion

5.1 Interpretation und Einordnung der Ergebnisse

5.1.1 produktionsökonomische Bewertung der Milcherzeugung

Bezogen auf die Milchproduktion der Innenwirtschaft als ersten aufgeführten Betriebszweig ist festzuhalten, dass die beschriebene große Differenz der Leistungen von *HIGH* und *LOW* größtenteils auf das unterschiedliche Milchleistungsniveau zurückzuführen ist. Eine solche Schlussfolgerung ist möglich, da die einbezogene Milchmenge als FPCM herangezogen wurde. Somit bildet die aufgeführte FPCM in beiden Systemen gleiche Milchinhaltsstoffe ab und ermöglicht damit die Verwendung desselben Marktpreises. Dadurch kann der Vergleich der erzielten Milcherlöse direkt auf die vorhandene Milchleistung des Systems zurückgeführt werden. Die etwas höheren Erlöse des Kälberverkaufs in *LOW* entstammen wiederum der höheren Anzahl geborener Kälber im Jahr, welche durch eine kürzere Zwischenkalbezeit zu Stande kommt. Dieser Zusammenhang ergibt sich, bezieht man die Produktionskennzahlen (Tabelle 2) oder die detaillierten Rechenschritte der BZA (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E3, Tabellenblatt E3.2) ein. Nichtsdestotrotz wirkt sich der Kälberverkauf nicht wesentlich auf die Erfolgsgröße der Leistungen aus.

Die Leistungen und damit primär die jeweilige Milchleistung wirkt sich hingegen maßgeblich auf den kGB aus. Denn während die Direktkosten, AEK, Flächen- und Gebäude- sowie Allgemeinen Kosten durchweg in *HIGH* höher als in *LOW* sind, weist keine dieser Kostenpunkte eine solch große Differenz auf wie die Leistungen beider Systeme (vgl. 4.1.1). Hierbei ist zu betonen, dass viele der berücksichtigten Kostenblöcke unabhängig der schlussendlich erzielten Milchleistung anfallen. Stattdessen orientieren sie sich zum Teil an der Kuhanzahl, wobei diese jedoch für beide Systeme identisch ist. Hinzukommt, dass für einige Kosten eine verursachergerechte Aufteilung zwischen den Systemen nicht möglich war (vgl. 3.5.2) und das folglich angewandte Durchschnittsprinzip erneut auf der gleichen Kuhanzahl basiert. Darüber hinaus sind alle Fixkosten ohnehin unabhängig jeglicher Auslastung. Bei gleichen Ausgangsbedingungen, wie der Maschinen- und Stallausstattung, fallen fixe Abschreibungs- und Zinskosten somit gleich aus (z.B. Güllekollektor, Milchkühltanks, Gebäudekosten des Kuhstalls). Damit bestehen häufig keine Unterschiede zwischen den Kostenelementen von *HIGH* und *LOW*.

Betrachtet man die variierenden Kosten (Wasser, Zukauffutter Kühe, Färsenzukauf; Melk- und Fütterungsroboter, Kraftfutter mahlen; Gebäudekosten der Bergehalle), so fällt auf, dass diese Kostenpunkte auf unterschiedlichen Auslastungen (Fütterungs- und Melkhäufigkeit) oder abweichender Mengenbedarfe (Tränkbedarf, Futtermenge, Remontierungsbedarf) beruhen. Trotz der Abweichungen liegen besagte Kostenpunkte in ähnlichen Größenordnungen. Das heißt, im direkten

Vergleich fallen sie als Einzelelement nicht stark ins Gewicht. Auch in Summe führen sie zu keiner entscheidenden Änderung des Betriebszweigergebnisses. Der kGB umfasst weiterhin eine große Differenz zwischen den Systemen. Zum Vergleich variieren die Leistungen um jährlich 92.000 €, während die Differenz des kGB bei fast 86.000 € liegt (vgl. Tabelle 7). Somit ist einerseits festzuhalten, dass das jeweilige Milchleistungsniveau entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der gesamten Milchproduktion ist. Dieser Zusammenhang geht auch aus dem baden-württembergischen Rinderreport hervor (vgl. Pabst und Pape, 2023). Andererseits variieren die anfallenden (Fest-)Kosten wie zuvor beschrieben in ihrer Höhe nur wenig und weisen dabei kein bestimmtes Verhältnis zur Milchleistung auf. Somit sind sie ebenso relevant für den ökonomischen Erfolg, was auch Pabst und Pape (2023) schlussfolgerten. Demnach zeigen erfolgreiche Milchproduktionsbetriebe nur geringfügig höhere Festkosten auf.

Die zuvor erwähnte Differenz des kGB zwischen den Systemen offenbart zunächst, dass *HIGH*, bezogen auf die Innenwirtschaft, erfolgreicher ist als *LOW*. Ob die beiden untersuchten Systeme schlussendlich per se als wirtschaftlich erfolgreich bzw. lukrativ einzuordnen sind, zeigen die konkreten kGB. Denn diese Erfolgsgröße gibt Auskunft darüber, ob die erzielten Leistungen eines Betriebszweiges alle relevanten Produktionsfaktoren entlohnen. Im Fall von *HIGH* ist dies mit dem jährlichen Überschuss von etwa 80.000 € gegeben (vgl. Tabelle 7). *LOW* weist hingegen einen negativen kGB auf. Das heißt, die Kosten übersteigen die erzielten Leistungen. Die Milchproduktion stellt damit für das Gesamtsystem Kosten dar, im Fall von LOW konkret 5.000 € pro Jahr. Somit ist die Milchproduktion in *HIGH* als lukrativ und in *LOW* als nicht lukrativ einzuordnen.

Neben der jährlichen Betrachtungsebene ist vor allem der Bezug pro erzeugtem Kilogramm FPCM interessant. So sind die Leistungen (in €/ kg FPCM) in *LOW* höher als in *HIGH*, hingegen trifft dies aber auch auf alle Kostenwerte zu. Aufgrund der höheren Milchleistung erfolgen eine größere Kostenverteilung und geringere Gewichtung der jeweils erzeugten Einheit, so dass *HIGH* in Referenz zu *LOW* letztlich zu dem Mehrerlös von 15,86 Cent pro kg FPCM führt.

Bezogen auf den zugrundeliegenden Systemvergleich und dem untersuchten Betriebszweig lässt sich also schlussfolgern, dass die hohe gegenüber der niedrigeren Milchleistung wirtschaftlich rentabler ist. Weiter ist das System der niedrigeren Milchleistung (*LOW*) unwirtschaftlich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass in beiden Systemen aufgrund der Handhabung zur innerbetrieblichen Verwertung die Kosten der Futterbergung noch nicht berücksichtigt sind.

Um die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung demnach vollumfänglich einordnen zu können, folgt die Beachtung des betriebseigenen Futterbaus. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 8 aufgeführten sowie in 4.1.2 zum Betriebszweig „Außenwirtschaft – Futterbau für Eigenbedarf“ beschriebenen Ergebnisse

ist hierbei zunächst einzuordnen, dass die einzelnen Produktionsverfahren aufgrund der Handhabung bei innerbetrieblicher Verwertung (siehe 3.5.1) zu keinen monetär berücksichtigten Leistungen führen. Daher setzen sich die Leistungen lediglich aus den Agrarprämienzahlungen zusammen. Letztere entsprechen in *HIGH* aufgrund des größeren Futterflächenumfangs einer höheren Summe als in *LOW*. Somit liefert allein die Erfolgsgröße der Leistungen nur wenig Aufschluss.

Aussagekräftiger ist hingegen die DKfL, welche in beiden Systemen einen negativen Wert aufzeigt. Das bedeutet, die in den Produktionsverfahren anfallenden Direktkosten (Saatgut, Dünger bzw. Nährstoffwerte und Kalk) übersteigen die erhaltenen Prämienzahlungen. Somit offenbart sich bereits hier, dass der eigene Futterbau allgemein Kosten verursacht und nicht zur Gewinnerzielung beiträgt. Denn bei den folgenden berücksichtigten Posten (Arbeitserledigung, Pacht, Allgemeines) handelt es sich je um Kosten. Hierbei ist zu beachten, dass die Verfahren zur Grundfutterbergung, insbesondere der Grassilage und des Silomaises, die höchsten AEK unter den berücksichtigten Verfahren aufweisen. Dies erklärt sich zum einen durch die arbeitsintensiven und kostenaufwändigen Ernteverfahren und zum anderen durch die mehrfache, ebenfalls kostenintensive Wirtschaftsdüngerausbringung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E10 sowie Anhang_E15).

Letztlich quantifizieren die kGB der beiden Systeme wie teuer der eigene Futterbau, nach Berücksichtigung der Flächenprämien, ist. Konkret kostet die betriebseigene Futterbergung damit in *HIGH* 102.383,69 € und in *LOW* 103.187,24 € im Jahr (vgl. Tabelle 8). Somit variieren die Kosten des (Gund-)Futterbaus zwischen den Fütterungsintensitäten von *HIGH* und *LOW* nur geringfügig. Unter Beachtung derselben Herdengröße (62 Milchkühe) ergibt sich, dass die Futterkosten für dieselbe Kuhanzahl trotz unterschiedlicher Rationszusammensetzung in gleicher Größenordnung liegen. Dabei befindet sich die niedrigere Futterintensität mit größerem Schwerpunkt der Grünlandnutzung (*LOW)* im ökonomischen Nachteil. Zudem umfasst letzteres System einen etwas geringeren Futterflächenumfang, so dass die Kosten auch pro eingesetztem Hektar Futterfläche höher sind.

Da der betriebseigene Futterbau in dieser Arbeit vollständig der Milchkuhfütterung dient, sind die entsprechenden Kosten der Milchproduktion anzulasten. Letztere müsste finanzielle Mittel zur Kostendeckung des Futterbaus bereitstellen, damit sich die Milcherzeugung als Ganzes prinzipiell wirtschaftlich aufstellt. Vergleicht man die kGB der zwei zuvor erwähnten Betriebszweige (Anhang 4), ist festzustellen, dass eine Kostendeckung nicht gegeben ist. Ein konkretes Ergebnis liefert hierbei die zu Beginn von 4.2 aufgeführte aggregierte Betrachtung der Milchproduktion und des zugehörigen Futterbaus (vgl. Tabelle 10).

Demnach besteht, analog zur separaten Betrachtung der Milchproduktion, auch für die gesamte Milcherzeugung (inklusive des Futterbaus) aufgrund der unterschiedlichen Milchleistung eine große

Differenz der erzielten Leistungen zwischen den Systemen. Die Kostenverteilung bleibt ebenso unverändert. Schlussendlich beträgt der kGB für beide Systeme einen negativen Wert. Es erfolgt somit keine kalkulatorische Gewinnerzielung, stattdessen führt die Milcherzeugung jeweils zu kalkulatorischen Verlusten. Beide Systeme sind damit wirtschaftlich nicht lukrativ.

Vergleicht man diese Erkenntnis mit Praxisbetrieben (konventionell und ökologisch) aus Baden-Württemberg, so stellen die beiden untersuchten Systeme *HIGH* und *LOW* keine Einzelfälle dar. Gemäß Pabst und Pape (2023) konnten die von ihnen untersuchten Milchproduktionen über den Zeitraum von 2011-2021 lediglich in zwei Wirtschaftsjahren ökonomisch tragfähige Ergebnisse vorweisen. Im direkten Vergleich beider Systeme ist weiter festzuhalten, dass das extensive Fütterungssystem (*LOW*) zu deutlich größeren Verlusten als das intensive (*HIGH*) führt (vgl. Tabelle 10). Dies deckt sich ebenso mit der Annahme nach Pabst und Pape (2023), dass Betriebe mit schlechteren Leistungen bzw. Ergebnissen noch stärker im negativen Bereich des kGB liegen.

Bezieht man den in 4.2 aufgeführten vollkostendeckenden Milchpreis beider Systeme mit ein, so wird deutlich, dass die Relevanz der Höhe des Milchpreises zur Gewährleistung einer Vollkostendeckung mit abnehmender Milchleistung zunimmt. Das bedeutet, Betriebe mit geringer Milchleistung sind in stärkerem Maße auf einen entsprechend hohen Milchpreis angewiesen als Betriebe mit hoher Milchleistung (vgl. auch Pabst und Pape, 2023).

Die vorausgehenden Erkenntnisse erlauben damit die Beantwortung der ersten zugrundeliegenden Forschungsfrage (vgl. 2.4). So zeigt die Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit, dass das extensive, grünlandorientierte Milchproduktionssystem (*LOW*) aufgrund geringerer Milchleistung tatsächlich eine geringere Kosteneffizienz als das Futter-intensive System (*HIGH*) aufweist. Konkret wird eine geringere Milchmenge erzeugt, die aber nicht mit relevant geringeren Kosten einhergeht. Stattdessen liegen Letztere in ähnlicher Größenordnung zum System mit höherer Milchmenge. Die Bezugseinheiten der Kuhanzahl, der erzeugten Kilogramm FPCM oder der eingesetzten Futterflächenhektare verdeutlichen in Referenz zum intensiven System besagte Ineffizienz.

5.1.2 produktionsökonomische Bewertung des Gesamtsystems

Gemäß des definierten Systemvergleichs (vgl. 3.2), wurde über die Milcherzeugung hinaus ein zusätzlicher Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse ausgewertet. Dessen Berücksichtigung ist erforderlich, um die zweite zugrundeliegende Forschungsfrage bezüglich der ökonomischen Auswirkungen eines zusätzlichen Marktfruchtbaus beantworten zu können.

Dahingehend ist festzuhalten, dass der jährlich erzielte Umsatz im Betriebszweig „Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ von *LOW* jenen von *HIGH* weitaus übersteigt (vgl. Tabelle 9). Zur Ursachenfindung ist dabei eine Differenzierung der einbezogenen Produktionsverfahren und ihrer Erlöse erforderlich. Zunächst liegt bezogen auf den erzielten Hektar-Erlös das Verfahren der Grassilage in *HIGH* in etwa gleicher Größenordnung wie die meisten Verfahren in *LOW* (Luzernegras, Speisegetreide, Ackerbohnen). Jedoch stechen die Kartoffeln mit über 15.000 € Erlös pro Hektar deutlich hervor, wobei dieser Wert um etwa 1.500 €/ ha unter Referenzdaten liegt (KTBL, 2025, S. 469). Dennoch führt der Kartoffelanbau in *LOW* damit zu einem klaren ökonomischen Vorteil und einer entscheidenden Leistungserzielung. In jährlicher Betrachtung machen die 14,5 ha Kartoffeln mehr als 80 % der Gesamtleistungen aus.

Die höheren Agrarprämienzahlungen in *LOW* sind auf den Grünlandstatus in *HIGH* und Ackerstatus in *LOW* sowie abweichendem Flächenumfang in Letzterem zurückzuführen. Die weiteren Direktkosten und AEK zeigen für den Kartoffelanbau ebenso jeweils deutlich erhöhte Werte, wobei die Differenz zu den restlichen Verfahren geringer als im Leistungsbereich ist. Hervorzuheben ist zudem, dass unter besagten restlichen Verfahren die Grassilage je die höchsten Direkt- und AEK pro bewirtschaftetem Hektar aufzeigt, was analog zum eigenen Futterbau hauptsächlich auf das Ernteverfahren und die Gülleausbringung zurückzuführen ist.

Letztlich weist in *HIGH* bereits die EKfL einen negativen Wert auf. Das bedeutet, die erzielten Erlöse des Grassilageverfahrens und der Prämie reichen nicht aus, um die anfallenden Kosten zu decken. Somit entstehen jährlich knapp 6.500 € kalkulatorische Verluste (vgl. kGB in Tabelle 9), um Grassilage zum Verkauf auf den angesetzten 33,5 ha Grünland zu bergen. Im Kontrast dazu erzielt *LOW*, trotz höherer Kosten und berücksichtigter Kartoffellagerhalle, einen jährlichen kGB von über 134.000 €. Dies entspricht dem besten Ergebnis aller betrachteten BZA dieser Arbeit. Dabei ist, wie zuvor beschrieben, der Kartoffelanbau in besonderem Maße für dieses Ergebnis mitverantwortlich.

Betrachtet man alle drei untersuchten Betriebszweige gemeinsam auf Gesamtsystemebene, so summieren sich in *HIGH* die erzielten Verluste der Milcherzeugung (Milchproduktion inklusive Futterbau) und des zusätzlichen Verkaufs der Grassilage (vgl. Tabelle 11 und Anhang 4). Das kalkulatorische Betriebsergebnis verschlechtert sich. Das intensive System ist damit schlussendlich als unwirtschaftlich einzustufen.

In *LOW* führt der im Marktfruchtbau und -verkauf erzielte kGB hingegen dazu, dass die Verluste der Milchproduktion inklusive des betriebseigenen Futterbaus ausgeglichen werden und sogar eine kalkulatorische Gewinnerzielung (circa 25.500 €/ a, vgl. Tabelle 11) zu verzeichnen ist. Somit kann hinsichtlich der zweiten Forschungsfrage festgehalten werden, dass im untersuchten Fall der konkret

angenommene zusätzliche Marktfruchtbau auf freigewordenen Ackerflächen tatsächlich die Rentabilität des Gesamtbetriebes ändert. Zur allgemeingültigen Einordnung muss hierbei berücksichtigt werden, dass fast 40 % besagten Marktfruchtbaus durch Kartoffeln erfolgt.

Zusammenfassend ist damit festzuhalten, dass die beiden untersuchten Milchproduktionssysteme des Green Dairy Projektes nach Vollkostendeckung unwirtschaftlich sind, wobei das intensive Fütterungssystem aufgrund höherer Milchleistung in Referenz besser abschneidet. Zudem führt der Marktfruchtbau auf Ackerflächen und darunter besonders der Kartoffelanbau zu einer Verbesserung der wirtschaftlichen Situation hin zu einem lukrativen Gesamtsystem. Demzufolge ist es aus ökonomischer Sicht lukrativer die Milchkuhfütterung vornehmlich auf vorhandenen Grünlandflächen zu basieren und im Gegenzug Ackerflächen mit Marktfrüchten zu bebauen.

5.1.3 Bewertung des Beitrags zur Humanernährung

Die dritte zugrundeliegende Forschungsfrage bezieht sich auf den jeweiligen Beitrag der Gesamtsysteme zur Humanernährung. Demzufolge werden die in 4.3 aufgeführten Ergebnisse des NHEP und NHEE berücksichtigt. Da sich die Forschungsfrage auf die Auswirkungen der zusätzlichen Produktion pflanzlicher Erzeugnisse fokussiert, wird zunächst das aggregierte Verfahren der Milchproduktion und des Futterbaus als Referenzstand erläutert.

Hierbei ist zunächst der erzielte Output genauer zu analysieren. Während der Milchverkauf im Allgemeinen in beiden Systemen zum Großteil den humanernährungstauglichen Output ausmacht, führen zweierlei Faktoren zur beschriebenen Differenz zwischen den Systemen. Einerseits ist analog zur Vollkostenrechnung die erzielte Milchleistung essenziell. Andererseits sind die enthaltenen Milchinhaltsstoffe von Relevanz. Vergleicht man Letztere zwischen *HIGH* und *LOW* so fällt auf, dass *HIGH* sowohl höhere Eiweiß- und damit Rohproteingehalte als auch höhere Bruttoenergiewerte pro Kilogramm Milch enthält (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E17, Tabellenblatt E17.6). Somit erklärt sich der deutliche Mehr-Output von *HIGH*.

Im Inputbereich sind die Gras- und Luzernegrassilage, Heu und Beweidungsaufwüchse sowie auch das Mineralfutter als nicht-FCF einzuordnen. Dies entspricht ihren zugrundeliegenden hef-Werten von 0 % (vgl. Anhang_E17.6). Die deutlich höhere relevante Inputmenge der Ackerbohnen ist differenzierter zu betrachten. Zwar weisen die Ackerbohnen höhere CP-Mengen auf, doch entspricht ihr hef-Anteil jenem vom Getreide (80 %). Hinsichtlich der GE-Mengen sind keine relevanten Unterschiede zu beobachten. Schlussendlich führt die Aufsplittung des Futtergetreides in seine einzelnen Arten dazu, dass hier jeweils geringere Mengen relevant sind. Die Jahresmenge der Ackerbohnen wirkt daher verhältnismäßig groß. Die in Summe aufgeführten Inputmengen stellen schließlich dar, dass die

Futterration von *HIGH* im Vergleich zu *LOW* in größerer Nahrungsmittelkonkurrenz zur Humanernährung steht.

Als Differenz umfasst das NHEP sowohl von *HIGH* als auch von *LOW* gemäß Tabelle 12 letztlich positive Werte. Die im Futter eingesetzte Proteinmenge ist geringer als die in Form von Milch und Fleisch erzeugte. Somit liefern beide Systeme mittels Milchproduktion hinsichtlich des Proteins je einen Beitrag zur Humanernährung. Dies entspricht den Ergebnissen von Ineichen et al. (2019) für Schweizer Milchproduktionen. Im direkten Vergleich beider Systeme weist *HIGH* dabei einen größeren NHEP-Wert auf. Somit trägt, gemessen am Protein, ein intensives Fütterungssystem durch eine höhere Milchleistung in größerem Maße zur Humanernährung bei. Dies geht wiederum mit den Erkenntnissen von Ormston et al. (2024) einher, wonach grünlandbasierte Fütterungen zu Lasten der Produktivität fallen.

Betrachtet man zusätzlich die Protein-LKE beider Systeme, so verdeutlichen beide Werte > 1 den tatsächlichen Beitrag zur Humanernährung. Vergleicht man dabei die Systeme, so ist hervorzuheben, dass *LOW* trotz geringerem Output effizienter ist. Ausschlaggebend hierfür ist der geringere humanernährungstaugliche Anteil der Futterration der grünlandorientierten, extensiveren Fütterung (s.o.; vgl. Tabelle 12). Dies stützt die These, dass extensive grünlandbasierte Systeme in der Umwandlung von Ressourcen in menschlich verwertbare Lebensmittel besser abschneiden (Dentler et al., 2020).

Im Gegensatz zum NHEP sind die Werte des NHEE für beide Systeme negativ (vgl. Tabelle 12). Die im Futter enthaltene humanernährungstaugliche Energiemenge ist größer als die des Milch- und Fleischoutputs. Somit liefern beide Systeme hinsichtlich der Energie bzw. Kalorienmenge keinen Mehr-Beitrag zur Humanernährung. Stattdessen stellen sie Energieverluste dar. Dies widerspricht den Ergebnissen von Ineichen et al. (2019), geht jedoch mit Sabaté und Soret (2014) einher. Letztere führen die Umwandlung pflanzlicher Erzeugnisse in tierische Lebensmittel als energieineffizient auf. Entsprechende Energieineffizienz wird durch die jeweilige Energie-LKE mit Werten < 1 widergespiegelt. Im direkten Vergleich der Systeme schneidet *LOW* mit einer höheren LKE und einem im Absolutbetrag geringeren NHEE dabei besser ab. Das bedeutet wiederum, dass mit einer höheren Milchleistung höhere Energieverluste einhergehen.

Ausgehend der vollumfänglichen Milchproduktion als Referenz wird fortführend die Berechnung des NHEP und NHEE auf Gesamtsystemebene betrachtet. Hierbei ist hinsichtlich des Outputs zu erwähnen, dass die absoluten Outputmengen durch den Verkauf der Gras- und Luzernegrassilagen nichts über die Kulturen per se aussagen. Grund hierfür sind die zugrundeliegenden, deutlich voneinander abweichenden Verfahrensumfänge (vgl. Tabelle 5). Allgemein liefert der zusätzlich berücksichtigte Verkauf in beiden Systemen aber zusätzliche humanernährungstaugliche Outputs, wodurch die

Gesamtoutputs jeweils ansteigen. Hierbei ist zu betonen, dass die zusätzlichen heGE-Mengen in *LOW* jene der systemeigenen Milchproduktion übersteigen. In Summe liegt der humanernährungstaugliche Energieoutput von *LOW* damit über dem entsprechenden von *HIGH*. Da der zusätzlich berücksichtigte Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse nicht mit einer betriebseigenen Fütterung einhergeht, bleibt der Inputbereich unverändert. Somit führen allein die zuvor beschriebenen Änderungen des Outputs zu einem veränderten Ergebnis des NHEP und NHEE.

Das NHEP umfasst auf Gesamtsystemebene in beiden Systemen einen höheren Wert als die Referenz. Ebenso ist die LKE jeweils erhöht. Bezogen auf die Proteinbereitstellung verbessert die pflanzliche Erzeugung demnach den Beitrag zur Humanernährung. Hierbei ist hervorzuheben, dass der NHEP-Wert von *HIGH* weiterhin größer als das NHEP von *LOW* ist. Bezogen auf das NHEE ist festzuhalten, dass dieses in *HIGH* weiterhin negativ ist, wenngleich der Absolutbetrag geringer wurde (vgl. Tabelle 12 und 13). Der indirekte Fleischoutput durch die verkaufte Grassilage schmälert demnach zwar die Energieverluste des Systems, dennoch erfolgt hinsichtlich der Kalorienversorgung insgesamt kein Mehr-Beitrag zur Humanernährung. Das intensive Produktionssystem ist damit auch in seinem Gesamtumfang energieineffizient. Hiervon grenzt sich *LOW* analog den zuvor erläuterten Änderungen jedoch ab. Hier ist das NHEE auf Gesamtsystemebene positiv, während der Wert in vorangehender Referenz negativ ist. Entsprechend übersteigt die LKE mit 2,1 einen Wert > 1. Somit führt der zusätzliche Marktfruchtbau zu einer Verbesserung der Energiebilanz hin zu einem tatsächlichen Beitrag zur Humanernährung.

Die aufgeführten Schlussfolgerungen erlauben damit die Beantwortung der dritten Forschungsfrage. Hierbei ist jedoch eine Differenzierung erforderlich. Einerseits kompensiert der Marktfruchtbau tatsächlich die geringere Milchleistung hinsichtlich des humanernährungstauglichen Kalorienoutputs (vgl. *LOW*), wie es auch von De Luca und Müller (2025) beobachtet wurde. Hierbei weist das extensive Gesamtsystem sogar eine energieeffiziente Kalorienbereitstellung auf. Auf der anderen Seite deuten vorliegende Ergebnisse nicht auf eine solche Kompensation hinsichtlich der Proteinversorgung hin. Letztere wird zwar verbessert, ebenso in ihrer Effizienz, dennoch führt auf Gesamtsystemebene das System der höheren Milchleistung netto zu einem größeren humanernährungstauglichen Proteinoutput. Dies widerspricht wiederum den Erkenntnissen von De Luca und Müller (2025).

In Anbetracht des verbesserten Kalorienoutputs ist es interessant, die Produktionsverfahren des Marktfruchtbaus nach ihrem jeweiligen Beitrag zu untersuchen (vgl. Anhang 5). Dabei sind die jährlichen Mengen der vier Speisegetreidearten aufgrund desselben Anbauumfangs (vgl. Tabelle 5) direkt miteinander vergleichbar. Hierbei sticht der Dinkel als größter Protein- und Kalorienlieferant hervor. Die Ackerbohnen sowie Kartoffeln umfassen eine höhere Anbaufläche, so dass die deutlich höheren Outputmengen etwas relativiert einzuordnen sind. Betrachtet man die heCP-Mengen in der

TS der Kulturen, schneiden die Ackerbohnen am besten und die Kartoffeln am schlechtesten ab (vgl. Anhang_E17.4). Dennoch ist der Energieoutput der Kartoffeln hervorzuheben. Denn mit 1.195.414,22 MJ heGE pro Jahr (vgl. Anhang 5) ist allein dieser Outputwert höher als die heGE-Menge der Milchproduktion in *LOW* (vgl. Tabelle 13). Dies verdeutlicht, dass die Kartoffeln ein entscheidender Energielieferant sind und als Teil des Marktfruchtbaus maßgeblich die oben beschriebene Kompensation bzw. Steigerung des Beitrages zur Humanernährung verantworten.

Berücksichtigt man abschließend die in 5.1.1 aufgeführten Erkenntnisse zum wirtschaftlichen Systemergebnis, so ist festzuhalten, dass die Kartoffeln sowohl aus ökonomischer Sicht als auch im Hinblick auf die Ernährungssicherheit eine lukrative Kultur darstellen und entscheidend für das jeweilige Betriebsergebnis sind. Die Milchproduktion lässt sich im Rahmen dieser Arbeit allein aus ökonomischen Gründen zwar nicht rechtfertigen, dennoch liefert sie einen entscheidenden Beitrag zur menschlichen Proteinbereitstellung. Zusammenfassend stellt demnach die Kombination der Milchproduktion und des Marktfruchtbaus bzw. des Kartoffelanbaus eine Option dar, um in Summe eine ökonomische Tragfähigkeit sowie einen Beitrag zur Humanernährung zu gewährleisten.

5.2 Einordnung der Validität der Ergebnisse

Hinsichtlich der vorangehenden Interpretation der Ergebnisse sind vorrangig die Annahmen zum Systemvergleich kritisch zu betrachten. So wurde in *HIGH* aufgrund möglichst gleicher Ausgangsbedingungen auf der aufgestockten Grünlandfläche eine Silagebergung angenommen (vgl. 3.2). Wie die Ergebnisse zeigen, führt dieses Verfahren jedoch zu einem negativen Betriebszweigergebnis. Somit wäre die Grassilagebergung zum Verkauf rein aus ökonomischen Gesichtspunkten keine praxistaugliche Option. Sofern tatsächlich überschüssige Grünlandflächen vorhanden sind, stellt eine extensivere Nutzung durch Heubergung und -verkauf aufgrund geringerer Aufwände sowie Kosten oftmals eine Alternative dar (vgl. Direktkosten und AEK aus Tabelle 8). Gleichzeitig könnten hierüber weitere Förderprogramme der GAP in Anspruch genommen werden, was zudem die erhaltenen Direktzahlungen erhöht. Eine Verpachtung dieser Flächen an Berufskolleg*innen ist ebenso denkbar. Wenn hauptsächlich der ökonomische Output interessiert, stellt zudem eine Flächenbereitstellung für Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen eine mögliche Nutzungsweise dar. In *LOW* erfolgte die Flächenaufstockung im Pendant zum Umfang der Produktionsverfahren in *HIGH* (vgl. 3.2). Aus rein ökonomischen Gesichtspunkten oder aber im Hinblick auf den Protein- und Kalorienoutput wäre eine Spezialisierung bestimmter Kulturen zielführender. Ob dies unter Beachtung von Fruchtfolgerestriktionen schlussendlich praktikabel ist, hängt wiederum vom nicht-systeminternen Teil der Fruchtfolge ab.

Hieran anknüpfend ist zu beachten, dass die Systeme, wie in 3.5 erwähnt, in ihrem definierten Umfang der jeweiligen Produktionsverfahren keinem vollwertigen ökologischen Praxisbetrieb bezüglich der zugrundeliegenden Fruchtfolge entsprechen. Demnach könnten weitere, in dieser Arbeit nicht berücksichtigten Betriebszweige den ökonomischen Erfolg des Gesamtbetriebes beeinflussen. Analog dazu sind die hier aufgeführten Ergebnisse und Schlussfolgerungen nicht direkt auf den Gladbacher Hof als Ganzes zu projizieren. Zwar entstammt ein Großteil der Daten eben jenem, dennoch wurden einige betriebsspezifische Gegebenheiten des Gladbacher Hofes ausgeklammert (vgl. 3.5). So etwa, dass in der Praxis die Nebenprodukte der Saatgutvermehrung anstelle der Getreidevollkörner als Kraftfutterkomponenten genutzt werden. Ebenso, dass eine gewisse Menge der erzeugten Produkte per Direktvermarktung im eigenen Hofladen verkauft wird.

Weiter müssen die einbezogenen sowie ausgeklammerten Agrarprämienzahlungen Beachtung finden (vgl. Anhang 3). Mit den getroffenen Annahmen stellen die angesetzten Programme der GAP eine konservative Inanspruchnahme dar. Gemäß des Stichwortes Prämienoptimierung führt eine umfangreichere Beantragung zur Einkommenssteigerung durch die GAP. Letztere stellt in vielen Praxisbetrieben im Allgemeinen eine wichtige Einkommensquelle dar (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2023). Somit ist der Einfluss einer weitreichenden Teilnahme an Förderprogrammen auf den allgemeinen ökonomischen Betriebserfolg nicht außer Acht zu lassen.

Neben der Systemdefinition und der Direktzahlungen sind weitere der zugrundeliegenden Annahmen zu berücksichtigen. Hierbei sind vor allem jene Daten zu nennen, die auf Schätzwerten basieren, wie etwa die Futterrationen der trockenstehenden Kühe und die DMI aus Beweidung (vgl. Tabelle 1) oder der Arbeitszeitaufwand der Innenwirtschaft. Denn geschätzte Daten bergen zwangsläufig eine gewisse Unsicherheit und Unzulänglichkeit, worunter die Genauigkeit leidet.

Ergänzend hierzu ist der jeweils einbezogene Arbeitszeitaufwand im Vergleich beider Systeme kritisch zu betrachten. Aufgrund fehlender Aufzeichnungen und fundierter Informationen wurde für beide Systeme derselbe Zeitbedarf angesetzt (vgl. 3.5.2). Bei einer tiefgreifenderen Betrachtung der zugrundeliegenden Rechenschritte fallen jedoch Häufigkeitswerte auf, die in der Theorie einen abweichenden Zeitumfang je System vermuten lassen. Dazu zählt z.B. die Anzahl durchgeführter Besamungen sowie Klauenbehandlungen (vgl. Anhang_E3, Tabellenblatt E3.3_Direktkosten). Hinzu kommt eine umfangreichere Weidenutzung in *LOW*, wodurch das entsprechende Weidemanagement mehr an Bedeutung gewinnt. Somit könnte eine differenziertere Bewertung des Arbeitszeitbedarfes der Milchproduktion zu Unterschieden zwischen den beiden Systemen führen. Nichtsdestotrotz verhindert die angewandte, gleichmäßige Bewertung eine Besserstellung oder aber Benachteiligung eines Systems ohne umfangreiche Datengrundlage.

Hinsichtlich der anfallenden Kosten sind zudem die Nährstoffgehalte der Gülle zu beachten. Da das gesamte Oberflächenwasser des Stalls und umliegender befestigter Anlagen in die Güllebehälter zuläuft, erfolgt eine Verdünnung der Gülle. Die bereits vor der Separierung vorliegenden N-Gehalte von 2,4 bzw. 2,5 g N/ kg Gülle in der Originalsubstanz (Gladbacher Hof (2026), betriebsinterne Aufzeichnungen, unveröffentlicht) bestätigen dies in Referenz zu Literaturwerten (vgl. KTBL, 2025, S. 771). Aufgrund des größeren gesamt anfallenden Volumens bei geringerer Nährstoffdichte gehen trotz Separierung zwangsläufig höhere Ausbringkosten einher. Indirekt wirkt sich dies auch auf die Gebäudekosten aus, da die Güllebehälter entsprechend größere Lagerkapazitäten bereitstellen müssen. Im direkten Systemvergleich von *HIGH* und *LOW* sind diese Aspekte nicht von Relevanz. Bei Projizierung auf andere Praxisbetriebe, bei denen das Oberflächenwasser anderweitig abgeführt wird, sind diese Kostennachteile jedoch zu beachten.

In 3.4.1 wurde kurz erwähnt, dass zu Beginn des Fütterungsversuchs die Ration von *LOW* angepasst wurde. Grund dafür waren großflächig auftretende gesundheitliche Probleme der extensiv gefütterten Herde (Eisert, pers. Mitteilung, 31.07.2025). In Anbetracht der Rasse Holstein-Friesian als klassische Hochleistungsrasse deckte eine stark extensivierte Fütterung nicht die Bedarfe. Schließlich enthält die etablierte Futterration in *LOW* unter anderem auch Kraftfutter (vgl. Tabelle 1). Damit nutzt das extensive Produktionssystem auch Ackerflächen bzw. humanernährungstaugliche Futtermittel zur Milchkuhfütterung. Dadurch ist eine Abgrenzung zu extensiven, grünlandorientierten Systemen anderer Studien mit vollständigem Verzicht des Kraftfuttereinsatzes notwendig (De Luca und Müller, 2025). Ein unmittelbarer Vergleich ist somit ohne Weiteres nicht möglich.

Abgesehen der erläuterten Auswirkungen auf monetärer Ebene, gilt es auch die zur Berechnung des NHEP und NHEE definierten Systemgrenzen zu beachten. So wurde in dieser Arbeit die Kälber- und Jungviehaufzucht, mit Ausnahme der Tränkekälber bis 28 Tage, ausgeklammert. Damit entfällt die unproduktive Aufzuchtphase, in der Futtermittel verbraucht werden, aber kein Output generiert wird. Konkret würde die im Ökolandbau verpflichtende Vollmilchtränke der älteren Kälber die verkaufte Milchmenge schmälern. Sofern zudem Silomais oder allgemein Kraftfutterkomponenten in der Jungviehfütterung eingesetzt werden, steigt der humanernährungstaugliche Input. Schlussendlich ist zu erwarten, dass NHEP und NHEE sowie die jeweilige LKE geringer ausfallen würden, sofern die Kälber- und Jungviehaufzucht Berücksichtigung fände.

Schlussendlich ist festzuhalten, dass die Ergebnisse im Rahmen dieser Arbeit ein durchschnittliches Jahr abbilden. Unvorhergesehene Ereignisse können jedoch immer auftreten und sich auf den Unternehmenserfolg auswirken. So können Veränderungen der Marktlagen und damit einhergehend schwankende Preise das kalkulatorische Betriebszweigergebnis sowohl in positive als auch negative Weise entscheidend verändern. Die landwirtschaftliche Produktion ist zudem in besonderem Maße von

bestehenden Wetterbedingungen abhängig. Demnach können sich etwaige Trockenperioden oder aber niederschlagsreiche Phasen in relevanter Weise auf die Erträge auswirken. Gleiches gilt für spontan eintretende Wetterereignisse wie Sturm, Hagel oder Hochwasser. Analog stellen in der direkten Tierproduktion etwa virulente Krankheiten wie die Blauzungenkrankheit solche Risikofaktoren dar.

Trotz der zahlreichen zu beachtenden Aspekte zur allgemeingültigen Übernahme der Erkenntnisse dieser Arbeit, ist festzuhalten, dass Letztere eine Richtung weist. Im Hinblick auf das zu Beginn beschriebene Spannungsfeld rund um Teller vs. Trog gilt demnach, dass eine Kombination beider Nutzungsrichtungen von zentraler Bedeutung ist. Das heißt, integrierte Tier-Pflanze-Agrarsysteme können mit einhergehender Konsistenzstrategie (vgl. 2.2.3) maßgeblich zur Entschärfung des Zielkonfliktes beitragen und gewährleisten zeitgleich eine ökonomische Tragfähigkeit.

5.3 weiterer Forschungsbedarf

Anknüpfend an die zuvor diskutierten Aspekte ergibt sich ein weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich konkreter Fütterungsversuche. So interessiert die Abbildung eines extensiven Systems ohne jeglichen Kraftfuttereinsatz und ausschließlicher Grünlandnutzung. Wichtig ist, dass hierbei eine entsprechend angepasste Rasse eingesetzt wird, um die geringe Fütterungsintensität tatsächlich abbilden zu können. Weiter ist einerseits interessant, wie Zwei-Nutzungs-Rassen im Vergleich zu klassischen Milchrassen abschneiden. Andererseits ist ebenso relevant, wie Zwei-Nutzungs-Rassen bei unterschiedlicher Futterintensität performen. Gemäß Haller et al. (2020) gehen besagte Rassen mit einer höheren Produktivität einher. De Luca und Müller (2025) schreiben ihnen zudem eine geringere Krankheitsanfälligkeit und bessere Anpassungsfähigkeit zu. Beschriebene Vergleiche könnten untersuchen, ob sich diese prognostizierten Eigenschaften auch ökonomisch darstellen und falls ja, bis zu welchem Grad der Extensivierung dies der Fall ist. Auch der jeweilige Beitrag zur Humanernährung gilt es im Pendant zu dieser Arbeit auszuwerten.

Ebenso interessant wäre die Aufnahme des Einsatzes nicht-FCF in den Fütterungsversuch. Konkret könnten die Kraftfutterkomponenten durch Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie oder aber naheliegender – der Saatgutvermehrung – ausgetauscht werden. Hierbei ist interessant, inwieweit sich dies auf das kalkulatorische Betriebszweigergebnis auswirkt. Denn damit einhergehend könnten analog zu *LOW* auch in *HIGH* die Ackerflächen direkt zum Marktfruchtbau genutzt werden. Während vorangehende Studien belegten, dass z.B. die NLP durch vermehrten Einsatz von nicht-FCF verbessert wird (Ertl und Knaus, 2016), ist die Untersuchung der ökonomischen Dimension offen.

In Anbetracht der ökonomischen Dimension könnte zudem untersucht werden, inwieweit Skaleneffekte in den betrachteten Systemen umsetzbar sind. Nach Pabst und Pape (2023) bilden vor

allem durchschnittlich größere Betriebe die wirtschaftlich erfolgreichen ab. Konkret für die beiden „Green-Dairy-Systeme“ könnte eine Aufstockung der (Milch-)Produktion hin zur erst limitierenden Auslastungsschwelle erfolgen. Demnach interessiert: Wie viele Kühe könnten unter den bestehenden Maschinen-, Arbeits- und Gebäudekapazitäten zusätzlich gehalten werden? Ist hierdurch eine Reduzierung des vollkostendeckenden Milchpreises zu erzielen? Denn in jährlicher Betrachtung führt eine höhere Anzahl Kühe bei gleichbleibendem Leistungsniveau zu einer größeren Milchmenge. Ausgehend davon, dass einige Festkosten sich nicht ändern, bleibt es zu untersuchen, inwieweit zusätzliche variable Kosten gegenüber der zusätzlichen Milchleistung wirken.

Darüber hinaus ist es denkbar, die zusätzliche pflanzliche Erzeugung noch differenzierter nach Kulturarten und ihren Potenzialen auszuwerten. Wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, nehmen die Kartoffeln eine entscheidende Schlüsselrolle ein. Sofern der Anbau von Kartoffeln aufgrund standörtlicher Gegebenheiten oder anderer Faktoren für Betriebe keine Option bietet, stellt sich die Frage, welche Kultur die lukrativste Alternative darstellt. Zwar konnten De Luca und Müller (2025) ausgehend des Weizen- und Erbsenanbaus zeigen, dass diese die Minder-Leistungen der Milchproduktion kompensieren, jedoch basieren diese Erkenntnisse auf einer anderen Referenz des extensiven Systems (vgl. 5.2).

In Ergänzung zur produktionsökonomischen Auswertung sowie dem Umfang der Protein- und Kalorienbereitstellung könnte, analog zu international vergleichenden Studien, der Indikator der Landnutzungseffizienz für die Green-Dairy-Systeme berechnet werden. Dieser bezieht die prinzipielle Eignung des Weide- bzw. Grünlandes für den Ackerbau ein (Hennessy et al., 2021). Hierdurch lässt sich die Flächenkonkurrenz zwischen dem Menschen und den Nutztieren genauer quantifizieren. Hieran anknüpfend entwickelten Battheu-Noirfalise et al. (2023) eine neue Kennzahl. Die „Nettoproduktivität“ umfasst sowohl jenen Aspekt der landwirtschaftlichen Flächen und ihrem ackerbaulichen Produktionspotenzial als auch die in dieser Arbeit bereits berücksichtigten humanverwertbaren Anteile der Futterration. Demnach könnten die beiden Systeme *HIGH* und *LOW* auch unter Einbezug des konkreten Standortes des Gladbacher Hofes noch umfangreicher im Hinblick auf bestehende Flächenkonkurrenzen analysiert werden.

6 Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht vor der zentralen Herausforderung, eine wachsende Weltbevölkerung zu ernähren und gleichzeitig natürliche Ressourcen zu schonen. Besonders im Kontext des ökologischen Landbaus interessiert, wie Produktionssysteme gestaltet werden können, um sowohl ökonomisch tragfähig als auch ressourceneffizient zu sein. Ein wesentliches Spannungsfeld („Teller vs. Trog“) ergibt sich dabei aus der Konkurrenz um landwirtschaftlich genutzte Flächen zwischen der direkten pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion und der indirekten Erzeugung von Lebensmitteln über Nutztiere.

Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Arbeit im Rahmen des Forschungsprojekts „Green Dairy“ zwei Milchproduktionssysteme unterschiedlicher Fütterungsintensität. Ziel der Arbeit ist es, die ökonomische Leistungsfähigkeit dieser Systeme zu analysieren und gleichzeitig ihren Beitrag zur Humanernährung hinsichtlich der Protein- und Kalorienbereitstellung zu bewerten. Die hierbei untersuchten Produktionssysteme umfassen einerseits eine intensive Milchviehfütterung mit höherem Kraftfuttereinsatz (*HIGH*) und andererseits eine extensivere, stärker grünlandorientierte Milchproduktion (*LOW*). Die Analyse erfolgt mittels Betriebszweigabrechnungen (BZA), wobei die Innenwirtschaft der Milchproduktion, der Futterbau für den Eigenbedarf sowie der Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse untersucht werden. Ergänzend dazu wird mit den Indikatoren des Net Human Edible Protein (NHEP) und Net Human Edible Energy (NHEE) der Beitrag der Systeme zur menschlichen Ernährung bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide betrachteten Milchproduktionssysteme bei zugrunde liegenden Annahmen auf Vollkostenbasis wirtschaftlich nur eingeschränkt tragfähig sind. Das intensive System erreicht aufgrund der höheren Milchleistung eine bessere Kosteneffizienz als das extensivere System. Dennoch reicht die erzielte Leistung in beiden Systemen nicht aus, um sämtliche Kosten vollständig zu decken bzw. alle relevanten Produktionsfaktoren zu entlohnen. Eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems kommt der zusätzlichen Nutzung von Ackerflächen für den Marktfruchtbau zugute. Besonders hervorzuheben ist dabei der Kartoffelanbau, welcher maßgeblich zur wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit beiträgt. Dabei ermöglicht der in *LOW* angenommene zusätzliche Marktfruchtbau die Kompensation der Verluste aus der Milchproduktion und dem betriebseigenen Futterbau. Insgesamt ergibt sich dadurch ein positiver kalkulatorischer Gewinnbeitrag. Im Gegensatz dazu verschlechtert sich in *HIGH* das Betriebsergebnis. So führt eine umfangreichere Grünlandnutzung mit dem Grassilageverkauf neben den Verlusten aus der Milchproduktion zu weiteren kalkulatorischen Verlusten.

Neben der produktionsökonomischen Bewertung wird auch der Beitrag der Systeme zur Humanernährung betrachtet. Dabei zeigt sich, dass Unterschiede zwischen den Systemen sowohl auf die erzielte Milchleistung als auch auf die entsprechenden Milchinhaltsstoffe zurückzuführen sind. Während diese in *HIGH* zu einem höheren Output an humanernährungstauglichem Protein und Energie führen, zeichnet sich *LOW* durch eine effizientere Umwandlung des pflanzlichen Materials in tierische Lebensmittel aus. Dem Marktfruchtbau bzw. insbesondere des Kartoffelanbaus kommt auch in dieser Dimension eine entscheidende Rolle zugute. So können die Kartoffeln die Energieineffizienz der Milchproduktion kompensieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen daher nahe, die Milchproduktion stärker auf vorhandene Grünlandflächen zu konzentrieren und Ackerflächen verstärkt für den Anbau von Marktfrüchten zu nutzen. Eine solche Kombination verschiedener Betriebszweige erscheint zudem auch aus ökonomischer Sicht lukrativ.

Für zukünftige Forschungsarbeiten ergibt sich daraus weiterer Untersuchungsbedarf, insbesondere hinsichtlich alternativer Marktfrüchte zu Kartoffel. Darüber hinaus könnten weiterführende Studien zur Fütterungsintensität bei unterschiedlichen Rinderrassen oder zum Einsatz alternativer Futtermittel zusätzliche Erkenntnisse für eine nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Milchproduktion im Kontext der Debatte „Teller vs. Trog“ liefern.

Literaturverzeichnis

Battheu-Noirfalise, C., Mertens, A., Froidmont, E., Mathot, M., Rouillé, B., Stilmant, D. (2023): Net productivity, a new metric to evaluate the contribution to food security of livestock systems: the case of specialised dairy farms. In: *Agronomy for Sustainable Development*. S. 43-54. DOI: 10.1007/s13593-023-00901-z

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2023): Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast. 28. veränderte Auflage, Stand November 2023. Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_rindermast-2024_lfl-information.pdf, zuletzt geprüft am 23.02.2026

Blumenstein, B. (2023): Nährstoffaustausch im Ökolandbau - Überbetriebliche Tauschkooperationen ausgestalten. NutriNet-Merkblatt. Online verfübgar unter https://www.nutrinet.agrarpraxisforschung.de/fileadmin/daten/pdf/Publikationen/Merkblatt_Naehrstoffaustausch_im_OEkolandbau.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2026

BMEL (Hrsg.) (2024): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2024. Tabelle 3090400: 74. Anteil der Futtererzeugung an der landwirtschaftlichen Produktion.

Brade, W., Brade, E. (2022): Intensivierung der Milcherzeugung in Deutschland ab Mitte des 19. Jahrhunderts aus historischer Sicht sowie aktuelle Trends in der Rinderhaltung. In: *Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*. Band 100, Ausgabe 2. Hg. v. BMEL.

Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2023): Wie hoch ist das Einkommen von Landwirtinnen und Landwirten? Hg. v. BLE. Online verfügbar unter https://www.praxis-agrar.de/betrieb/betriebsfuehrung/was verdienen-landwirte-in-deutschland/, zuletzt geprüft am 24.07.2023

Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.) (2016): Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag, 6. Aufl., Lizenzausgabe, Bonn: Bibliographisches Institut. Online verfügbar unter: https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20010/landwirtschaft/, zuletzt geprüft am 15.08.2025

Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., Shindell, D. (2017): Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. In: *Ecology and Society*, Vol. 22, No. 4, Article 8. DOI:10.5751/ES-09595-220408

DBV (Hrsg.) (2022): Faktencheck Teller, Trog & Tank. Online verfügbar unter https://www.bauernverband.de/fileadmin/user_upload/dbv/faktenchecks/Teller__Trog__Tank/Faktencheck_Teller_Trog_und_Tank_Final-komprimiert_neu.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2025.

De Luca, K., Müller, A. (2025): Das Potenzial einer grünlandbasierten Milchproduktion in Deutschland. Forschungsinstitut biologischer Landbau (FiBL). Hg. v. Greenpeace.

Dentler, J., Kiefer, L., Hummler, T., Bahrs, E., Elsaesser, M. (2020): The impact of low-input grass-based and high-input confinement-based dairy systems on food production, environmental protection and resource use. In: *Agroecology and Sustainable Food Systems*, Vol. 44, Nr., 8, S. 1089-1110. DOI: 10.1080/21683565.2020.1712572.

DLG (2025): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 1. Auflage, Stand 7/2025. DLG-Arbeitskreis Futter & Fütterung, Frankfurt a.M.

Düngeverordnung (DüV) (26.05.2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen2. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html, zuletzt geprüft am 27.01.2026.

Eisler, M.C, Lee, M.R.F., Tarlton, J.F., Martin, G.B., Beddington, J., Dungait, J.A.J., Greathead, H., Liu, J.X., Mathew, S., Miller, H., Misselbrook, T., Murray, P., Vinod, V.K., Van Saun, R., Winter, M. (2014): Steps to sustainable livestock. In: *Nature*. Vol. 507, S. 32-34. DOI: 10.1038/507032a.

Ertl, P., Klocker, H., Hörtenhuber, S., Knaus, W. und Zollitsch, W. (2015): The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. In: *Agricultural Systems*, Vol. 137, S. 119-125. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.04.004

Ertl, P., Knaus, W. (2016): Rationsoptimierung in der Milchkuhfütterung zur Reduktion des Einsatzes potenzieller Lebensmittel (Getreide, Hülsenfrüchte) unter den Bedingungen der österreichischen Biologischen Landwirtschaft. Endbericht zum Forschungsprojekt 100881. Universität für Bodenkultur (BOKU) (Hrsg.). Wien.

Ertl, P., Steinwidder, A., Schönauer, 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. In: *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. Vol. 67, Issue 2, S. 91-103. DOI: 10.1515/boku-2016-0009

Europäische Kommission (15.12.2021): Empfehlung (EU) 2021/2279 der Kommission zur Anwendung der Methoden für die Berechnung des Umweltfußbadrucks zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen entlang ihres Lebenswegs. Amtsblatt der Eurpäischen Union, L471. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2021/2279/oj/eng, zuletzt geprüft am 09.10.2025

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.) (2022): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gülzow-Prüzen. Online verfügbar unter: https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2025).

Fränzke, M. (2025): HALM 2 - Aktuelle Förderinhalte und Änderungen. Hg. v. LLH, 21.03.2025. Online verfügbar unter https://llh.hessen.de/unternehmensfuehrung/agrarpolitik-foerderung/halm-2/halm-2-rechner/, zuletzt geprüft am 26.02.2026.

Fuchs, M., Schuster, C., Kreuter, T. (2011): Verbesserung der N-Effizienz und Verringerung von Umweltbelastungen organischer Dünger durch gezielte Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Band 23, S. 251 f. Hg. v. Märländer et al., Kiel.

Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., Steinfeld, H. (2011): Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. In: *Livestock Science*. Vol. 139, Issue 1-2, S. 100-108. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.012

Haller, L., Moakes, S., Niggli, U., Riedel, J., Stolze, M., Thompson, M. (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Texte 32/2020).

Hanskamp (Hrsg.): CowToilet - Präzise düngen, Emissionen vermeiden! Mit diesem RAV-zertifizierten automatischen Uriniersystem für Kühe. Online verfügbar unter https://hanskamp.com/de/losungen/cowtoilet/, zuletzt geprüft am 18.02.2026.

Hennessy, D.P., Shalloo, L., van Zanten, H.H.E., Schop, M., De Boer, I.J.M. (2021): The net contribution of livestock to the supply of human edible protein: the case of Ireland. In: *The Journal of Agricultural Science*. 159. S. 463-471. DOI: 10.1017/S0021859621000642

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (Hrsg.) (2025): Halm 2- Das Wichtigste im Überblick 2025. Online verfügbar unter https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2025-07/das_wichtigste_im_ueberblick_2025_neue_halm_2-rl_stand_05.06.2025_barrierefrei-final_0.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2026.

Howind, K.H., Benecke, C. (o.J.): Pflanzenbauliche Optimierung des Wirtschaftsdüngereinsatzes – Ansäuerung hilft. Hg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online verfügbar unter https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38990_Pflanzenbauliche_Optimierung_des_Wirtschaftsduengereinsatzes_-_Ansaeuerung_hilft, zuletzt geprüft am 18.02.2026.

Hülle, A., Keltsch, J., Dressel, K., Eggert, T., Zhang, W. (2024): Flächennutzung und -konkurrenzen: Räume unter Transformationsdruck? Dossier zum Workshop im Rahmen des Forum1.5 am 6. Juni 2024. Hg. v. Universität Bayreuth. Bayreuth.

Ineichen, S., Nemecek, T., Reidy, B. (2019): Konkurrieren Kühe die menschliche Ernährung? Weiterentwicklung und Anwendung der Methoden zur Ermittlung der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz. In: *Grünland 2025. Beiträge zur 63. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (AGGF)*, S. 21-24. Hg. v.Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.

JLU (Hrsg.) (o.J.): Green Dairy: Integrierte Tier-Pflanze-Agrarsysteme. Online verfügbar unter https://www.uni-giessen.de/en/faculties/f09/research/projects/GreenDairy, zuletzt geprüft am 18.09.2025.

KTBL (2025): Betriebsplanung ökologischer Landbau. KTBL-Datensammlung, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

KTBL online (2008-2026): Feldarbeitsrechner. Online verfügbar unter https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html, zuletzt geprüft am 09.02.2026

KTBL online (2016-2018): MaKost - Maschinen- und Reparaturkosten. Online verfügbar unter https://daten.ktbl.de/makost/#search?language=de-DE, zuletzt geprüft am 05.01.2026.

KTBL online (2026): BauKost - Investition Betriebsgebäude. Online verfügbar unter https://daten.ktbl.de/baukost4/main, zuletzt geprüft am 15.02.2026.

Masengarb, C. (2024): Metro-Chef schlägt Alarm: Europa muss schauen, wo es seine Lebensmittel noch herbekommt. Milch, Fleisch und Butter werden knapp. In: *Focus Online*, 20.12.2024. Online verfügbar unter https://www.focus.de/finanzen/news/metro-chef-schlaegt-alarm-europa-muss-schauen-wo-es-lebensmittel-herbekommt_id_260575331.html, zuletzt geprüft am 18.09.2025.

Max-Rubner-Institut (2025): Bundeslebensmittelschlüssel (BLS), Version 4,0 - Deutsche Nährstoffdatenbank. Karlsruhe. DOI: 10.25826/Data20251217-134202-0

Müller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemnann, J., Isensee, A., Erb, K.H., Smith, P., Klocke, P., Leiber, F., Stolze, M. und Niggli, U. (2017): Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. In: *Nature Communications*. 8: 1290. DOI: 10.1038/s41467-017-01410-w

Ohlhoff, J. (2011): Landnutzungskonkurrenz: Stand und Perspektiven in der Landwirtschaft. Wissenschaftliche Tagung des Dachverbandes Agrarforschung (DAF) e.V.. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Braunschweig. Online verfügbar unter https://www.agrarforschung.de/fileadmin/download/1_Landnutzungskonkurrenz_in_der_Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 22.08.2025.

Ormston, S., Yan, T., Chen, X., Gordon, A.W., Theodoridou, K., Huws, S., Stergiadis, S. (2024): Impact of dietary forage proportion and crossbreeding on feed efficiency and methane emissions in lactating dairy cows. In: *Animal Nutrition*. DOI: 10.1016/j.aninu.2024.08.011.

Osterburg, B., Ackermann, A., Böhm, J., Bösch, M., Dauber, J., de Witte, T., Elsasser, P., Erasmi, S., Gocht, A., Hansen, H., Heidecke, C., Köimek, S., Krämer, C., Kuhnert, H., Moldovan, A., Nieberg, H., Pahmeyer, C., Plaas, E., Rock, J., Röder, N., Söder, M., Tetteh, G., Tiemyer, B., Tietz, A., Wegmann, J. und Zinnbauer, M. (2023): Flächennutzung und Flächennutzungsansprüche in Deutschland. Thünen Working Paper 224. In: *AgEcon Search*. DOI: 10.22004/ag.econ.338736

Pabst, H., Pape, T. (2023): Vergleich landwirtschaftlicher Strukturen der GOBIOM Projektregionen und Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung in Baden-Württemberg. Projektinterner Bericht zu AP 1.2 und AP 1.3. Online verfügbar unter https://www.ifls.de/fileadmin/user_upload/Abbildungen/Publikationen/2025/Bericht_AP1_Strukturen_final.pdf, zuletzt geprüft am 07.03.2026.

Popkin, B.M. (1999): Urbanization, Lifestyle Changes and the Nutrition Transition. In: *World Development*. Vol. 27, Issue 11, S. 1905-1916. DOI: 10.1016/S0305-750X(99)00094-7.

Puntigam, R., Slama, J. und Hörtenhuber, S. (2025): Nahrungsmittelkonkurrenz vermeiden: Möglichkeiten zur Rationsgestaltung sowie Ansätze und Grenzen zum Einsatz von Nebenprodukten der Lebensmittelherstellung bei Monogastriern. In: *Tier-Technik-Umwelt-Tagung 2025*, S. 33-37. Hg. v. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal.

Rihm, S. (2020): Farm-to-Fork - die neue Strategie für mehr Öko in der EU. Worum es geht und warum das jeden was angeht. Hg. v. Bioland e.V. Online verfügbar unter https://www.bioland.de/bioland-blog/farm-to-fork-die-neue-strategie-fuer-mehr-oeko-in-der-eu, zuletzt geprüft am 20.08.2025.

Sabaté, J. Soret, S. (2014): Sustainability of plant-based diets: back to the future. In: *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 100, Suppl. 1, S. 476-482. DOI: 10.3945/ajcn.113.071522.

Schader, C., Müller, A., El-Hage Scialabba, N., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K.H., Smith, P., Makkar, H.P.S., Klocke. P., Leiber, F., Schwegler, P., Stolze, M., Niggli, U. (2015): Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. In: *Journal of the Royal Society Interface*, Vol. 12, Issue 113. DOI: 10.1098/rsif.2015.0891

Smith, O.M., Cohen, A.L., Rieser, C.J., Davis, A.G., Taylor, J.M., Adesanya, A.W., Jones, M.S., Meier, A.R., Reganold, J.P., Orpet, R.J., Northfield, T.D. und Crowder D.W. (2019): Organic Farming Provides Reliable Environmental Benefits but Increases Variability in Crop Yields: A Global Meta-Analysis. In: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, Article 82. DOI: 10.3389/fsufs.2019.00082

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2025): Siedlungs- und Verkehrsfläche wächst jeden Tag um 51 Hektar. Pressemitteilung Nr. 286 vom 5. August 2025, online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/08/PD25_286_412.html, zuletzt geprüft am 08.08.2025.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2021): Ressourcennutzung und ihre Folgen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcennutzung-ihre-folgen, zuletzt geprüft am 08.08.2025.

United Nations (o.J.): Ernährungssicherheit und Ernährung sowie nachhaltige Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://sdgs.un.org/topics/food-security-and-nutrition-and-sustainable-agriculture, zuletzt geprüft am 15.08.2025.

Vorndran, A. M., Steinhoff-Wagner, J., Windisch, W. M. (2024): Ermittlung des Aufkommens an nicht-essbarer Biomasse aus dem Agrar- und Verarbeitungssektor Deutschlands. In: *Züchtungskunde*, Vol. 96, Issue 1, S. 56-76.

Wilkinson, J.M. (2011): Re-defining efficiency of feed use by livestock. In: *Animal*, Vol. 5, Issue 7. DOI:10.1017/S175173111100005X

Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WI Bank) (Hrsg.) (2025): Merkblatt zum Gemeinsamen Antrag 2025. Wichtige Informationen und Hinwise zur Antragsstellung, unveröffentlicht.

Wulf, S. (2023): Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement. Vortrag auf der Tagung "Emissionen der Tierhaltung - erheben, beurteilen, mindern", Bonn, 10. und 11. Oktober 2023. Online verfügbar unter https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2023/Emissionen_Nutztierhaltung/Vortraege/Wulf.pdf; zuletzt geprüft am 18.02.2026.

Zander, K., Boenigk, T., Herzig, J., Rampold, C., Riegert, L., Schaack, D., Schipmann-Schwarze, C. (2025): Marktstudie zu regionalen Bio-Lebensmitteln in Hessen. Hrsg: Fachgebiet Agrar- und Lebensmittelmarketing der Universität Kassel; Agrarmarkt Informations-Gesellschaft (AMI), Bonn.

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Betriebsspiegel des Gladbacher Hofes. XII

Anhang 2: Formel zur Berechnung der nach Fett (4,00%) und Protein (3,30 %) korrigierten Milchmenge (FPCM). XIV

Anhang 3: Gegenüberstellung der tatsächlichen Inanspruchnahme von Förderprogrammen im Jahr 2024 und der für den Systemvergleich angenommenen. XIV

Anhang 4: Gegenüberstellung der produktionsökonomischen Erfolgsgrößen für HIGH und LOW nach unterschiedlichen Betriebszweigen und Betrachtungsebenen..... XV

Anhang 5: Erzielte humanernährungstauglichen Protein- und Energieoutputs im Betriebszweig „Außenwirtschaft – Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ für HIGH und LOW. XVI

Anhang 6: Verzeichnis des elektronischen Anhangs. XVI

Anhang 7: Literaturverzeichnis zur zusätzlichen Literatur im elektronischen Anhang. XVII

Anhang 1: Betriebsspiegel des Gladbacher Hofes.

Hessische Staatsdomäne Gladbacherhof

Lehr- und Forschungseinrichtung für ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Gießen 65606 Villmar

Betriebsspiegel: Stand Dezember 2024

Höhenlage:	140 bis 280 m ü.NN
Niederschlag	654 mm im langjährigen Mittel
Temperatur:	9,3 Grad
Bodenart:	überwiegend lehmiger Schluff (lU), sandiger bis toniger Lehm (sL,tL)
Bodentypen:	Parabraunerden, Pararendzinen
Ackerzahl:	63 (40 - 80)
Lage:	nordwestlicher Taunus
Betriebsfläche:	180ha (davon 100 ha Ackerfläche & 80 ha Dauergrünland)

Außerdem werden in Kooperation mit drei Biobetrieben ca.20 ha Futterbau und 30 ha Saatgutvermehrung betrieben.
Mitgliedschaft bei „Bioland" seit 1983 und bei „Naturland" seit 2021.

Mitarbeiter/innen:
2,5 Landwirte (Schwerpunkt Rinderhaltung)
2 Landwirte (Schwerpunkt Außenwirtschaft)
1 Landmaschinenmechaniker
4 Auszubildende
1 Rechnungsführerin
1 Ladnerin
2 Versuchstechniker
1 Agraringenieur für Versuche
1 Administrator

Maschinenbesatz
5 Schlepper, Teleskoplader, Mähdrescher, Kartoffelvollernter, gesamte Futterbergetechnik, etc.

Getreidelagerung
500t Lagerkapazität (17 Silos)
Technik;Vorreinigung, Saat-Reinigung, Tischausleser, Absackwaage

Kartoffellagerung
70 t Speisekartoffeln in Kisten (ca. 500 kg)
Technik: Sortiermaschine, Enterder, Bürste, Kistenkippgerät, Elektrostapler, Absackwaage

Tierhaltung
130 Milchkühe der Rasse Holstein Friesian; Zuchtziel: Lebensleistung
Ein Forschungsstall ermöglich die Durchführung von Systemvergleichen mit 2 Herden.
Aktuelle Leistung der beiden Herden:

Intensiv:	Milchleistung ca. 9200kg/ Kuh/Jahr	4,1% Fett und 3,2% Protein
Extensiv:	Milchleistung ca. 6800kg kg/Kuh/Jahr	4,2 %Fett & 3,1% Protein

220 Legehennen in einem Hühnermobil

Viehbesatz: 1,0 GV/ha LN

Fruchtfolge:
Seit Herbst 1993 wird nach der folgenden Fruchtfolge gewirtschaftet:

1. Luzernegras	
2. Luzernegras	
3. Winterweizen-/Winterroggen	Zwischenfrucht
4. Hackfrucht: Mais, Kartoffeln	
5. Winter	Zwischenfrucht
6. Ackerbohnen	
7. Dinkel	Zwischenfrucht
8. Sommergetreide (Hafer, SW, SG)	Luzernegras Untersaat

Fortsetzung des Anhangs auf der nächsten Seite.

Erträge:

in dt/ha	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Durchschnitt 10 Jahre
Luzernegras(TS dt/ha)	39,8	82	107,1	106,8	87,8	76,2	88,5	81,8	89,92	68,18	82,8
Silomais (TS dt/ha)	83,5	120,2	114,4	101,9	114,5	94,9	119	91,1	89,91	109,95	103,9
Marktfrüchte: dt/ha											
W-Weizen	44,3	30,5	44,7	36,9	38,1	46,6	33,6	50,2	42,2	32,5	40,0
Triticale	43,3	36,7	47,1	41,4	42,5	58,7	43,9	41,3	27,5	26,2	40,9
W-Roggen	46,8	30,7	45,2	26,3	42,2	33,3	35,8	33,3	36,6	24,6	35,5
Dinkel	36,9	38,9	35,9	41,6	53,1	55,3	37,4	54,7	48,9	36,5	43,9
Hafer	44,4	33,8	37,7	30,9	31,3	41,4	37,7	40,3	13,5	14,9	32,6
Sommerweizen	31,2	21,9	36,2	31,6	27,9		32,6	33		21,4	29,5
Sommergerste	29,5	24,6	31	28,8		32,7	34,5		31	30	30,3
Ackerbohnen	25,9	24,8	30,3	19,3	11,1	19	28,2	19,7	17,1	30,3	22,6
Kartoffeln	352	257,5	470	286,1	365,4	201	226,3	295,5	249,2	150,9	285,4

Anbau 2024/2025 einschließlich Kooperationen

Winterweizen	Capo, Aristaro, Chevignon, Elixer, Wendelin	29 ha
Winterroggen	Inspector,	7 ha
Dinkel	Zollernfit, Gletscher	10 ha
Triticale	Tulus, Trisem, Kitesurf	15 ha
Wintergerste	Quadriga	4 ha
Sommerweizen	Saludo, Pexeso	12ha
Sommergerste	Leandra	5ha
Sommerhafer	Max, Delfin	13ha
Ackerbohnen	Fuego, Fanfare	24ha
Kartoffeln	Soraya, Emanuelle	2,5 ha
Mais	Ronaldinho	19 ha
Luzernegras	Betriebsmischung	35 ha

Versuchstätigkeit 2025

1.	Dauerfeldversuch OAFEG seit 1998: Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof; 2-faktorieller Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch mit verschiedenen Bewirtschaftungssystemen (mit und ohne Mistdüngung/Grünbrache) und unterschiedlichen Intensitätsstufen der Bodenbearbeitung: 28. Erntejahr
2.	Loewe-Projekt (Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonimischer Excellenz) „GreenDairy“: Integrierte Tier-Pflanze-Agrarökosysteme. Welchen Einfluss übt das Haltungssystem (high- vs. low-input) auf die Produktivität, die Umwelt und das Tierwohl aus?
3.	BMBF-Projekt Bread & Beer mit Winterweizen + Sommergerste: Sameninokulation mit dem Bakterium *Hartmannibacter diazotrophicus*, das das Pflanzenwachstum in Stresssituationen fördern könnte
4.	Agroforst 1: Silvoarables Agroforstsystem mit 18 m breiten Streifen des Ackerbaus; Baumarten: Obst: Apfel+ Birne, Energieholz: Pappel, Wertholz: Walnuss, Kirsche, Elsbeere, Speierling; Zielsetzung: Erosionsminderung
5.	Agroforst 2: Silvopastorales Agroforstsystem mit 21 m breiten Grünlandstreifen; Baumarten: Obst: Apfel, Energieholz: Pappel, Wertholz: Walnuss, Kirsche, Elsbeere, Speierling; Zielsetzung: Schattenspender für Weidetiere
6.	Agroforst 3: Silvoarables Agroforstsystem mit 18 m breiten Streifen des Ackerbaus; Baumarten: Obst: Apfel, Energieholz: Pappel, Wertholz: Walnuss, Kirsche, Elsbeere, Speierling; Zielsetzung: Erosionsminderung
7.	DFG-Projekt FORMULA: Agroforstwirtschaft für eine nachhaltige multifunktionale Landwirtschaft
8.	BLE-Projekt BeeContour: Streifenanbausysteme zur Förderung von Bienen und weiteren Bestäuberinsekten in der Agrarlandschaft.
9.	BLE-Projekt MinDen: Maßnahmen zur Minderung direkt und indirekt klimawirksamer Emissionen, die durch Denitrifikation in landwirtschaftlich genutzten Böden verursacht werden

Anhang 2: Formel zur Berechnung der nach Fett (4,00%) und Protein (3,30 %) korrigierten Milchmenge (FPCM).

$$FPCM\ (kg) = Rohmilchproduktion\ (kg) * (0{,}1226 * Fett\ (\%) + 0{,}0776 * Eiweiß\ (\%) + 0{,}2534)$$

Quelle: Europäische Kommission, 2021, Empfehlung (EU) 2021/2279.

Anhang 3: Gegenüberstellung der tatsächlichen Inanspruchnahme von Förderprogrammen im Jahr 2024 und der für den Systemvergleich angenommenen.

Förderprogramm im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP)	**Im Jahr 2024 vom Gladbacher Hof beantragt**	**Je System als beantragt angenommen**
Einkommensgrundstützung	X	X
Umverteilungseinkommensstützung	X	X
Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete	X	-
ÖR 1a – Nichtproduktive Flächen auf Ackerland	X	-
ÖR 2 – Anbau vielfältiger Kulturen	X	-
ÖR 4 – Extensivierung des gesamten Dauergrünlandes des Betriebes	-	X
ÖR 5 – Kennarten im Dauergrünland	X	-
ÖR 7 – Natura 2000	X	-
HALM B.1 – Ökologischer Landbau	X	X
HALM C.1 – Vielfältige Kulturen im Ackerbau: A: Großkörnige Leguminsoen B: Blühende Kulturen	X	 - -
HALM H – naturschutzfachliche Sonderleistungen auf Grünland	X	-

X = wurde beantragt; ÖR = Öko-Regelung

Quelle: Eigene Darstellung, nach persönlicher Mitteilung (Eisert, 05.02.2026) und getroffener Annahmen.

Anhang 4: Gegenüberstellung der produktionsökonomischen Erfolgsgrößen für HIGH und LOW nach unterschiedlichen Betriebszweigen und Betrachtungsebenen.

Produktionsökonomische Erfolgsgrößen[1]	Milchproduktion		Futterbau für Eigenbedarf		Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse		Milchproduktion + Futterbau für Eigenbedarf		Milchproduktion + Futterbau für Eigenbedarf + Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse	
	HIGH	***LOW***	***HIGH***	***LOW***	***HIGH***	***LOW***	***HIGH***	***LOW***	***HIGH***	***LOW***
Leistungen	379.900,58	280.449,57	53.139,79	50.287,23	59.213,27	274.239,30	433.040,37	330.736,80	492.253,64	604.976,10
Direktkosten	84.629,54	77.100,64	54.812,76	59.843,95	27.429,80	55.752,07	139.442,30	136.944,59	166.872,10	192.696,67
DKfL	295.271,04	203.348,92	-1.672,97	-9.556,72	31.783,47	218.487,23	293.598,07	193.792,21	325.381,54	412.279,43
AEK	114.397,05	110.801,13	78.225,43	73.082,20	27.377,54	53.231,96	192.622,48	183.883,33	220.000,02	237.115,28
DAKfL	180.873,99	92.547,79	-79.898,40	-82.638,91	4.405,93	165.255,27	100.975,59	9.908,88	105.381,53	175.164,15
Gebäudekosten	81.498,24	80.248,82	-	-	-	17.179,34	81.498,24	80.248,82	81.498,24	97.428,16
Flächenkosten	-	-	19.858,50	17.382,00	4.422,00	6.898,50	19.858,50	17.382,00	24.280,50	24.280,50
EKfL	99.375,75	12.298,98	-99.756,90	-100.020,91	-16,07	141.177,43	-381,15	-87.721,94	-397,22	53.455,49
Allgemeine Kosten	18.779,12	17.658,44	2.626,79	3.166,32	6.489,58	7.070,73	21.405,91	20.824,76	27.895,49	27.895,49
kGB	**80.596,63**	**-5.359,46**	**-102.383,69**	**-103.187,24**	**-6.505,64**	**134.106,70**	**-21.787,06**	**-108.546,70**	**-28.292,71**	**25.560,00**

DKfL = Direktkostenfreie Leistung; AEK = Arbeitserledigungskosten; DAKfL = Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung; EKfL = Einzelkostenfreie Leistung;
kGB = kalkulatorischer Gewinnbeitrag

[1] alle aufgeführten Erfolgsgrößen beziehen sich auf ein Jahr und entsprechen damit der Einheit €/ a.

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Tabellen 7-11.

Anhang 5: Erzielte humanernährungstauglichen Protein- und Energieoutputs im Betriebszweig „Außenwirtschaft-Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse“ für HIGH und LOW.

	HIGH		LOW	
	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]	jährliche "*human edible* " Rohproteinmenge [g heCP/ a]	jährliche "*human edible* " Bruttoenergiemenge [MJ heGE/ a]
OUTPUT				
Weizen	-	-	819.867,99	89.457,60
Roggen	-	-	680.999,42	78.748,30
Dinkel	-	-	1.016.321,83	101.632,18
Hafer	-	-	610.338,44	77.425,79
Ackerbohnen	-	-	3.540.633,60	228.466,56
Kartoffeln	-	-	6.584.630,53	1.195.414,22
indirekter Fleischoutput durch Verkauf von Silagen	14.474.380,17	292.119,31	4.910.462,24	99.102,06
Summe Output	**14.474.380,17**	**292.119,31**	**18.163.254,05**	**1.870.246,70**

Quelle: Eigene Darstellung (vgl. elektronischer Anhang, Anhang_E17_NHEP und NHEE.xlsx).

Anhang 6: Verzeichnis des elektronischen Anhangs.

Dateiname	Dateiendung	Speicherort
Anhang_E1_Hochrechnung Futterbedarf_Definition Systemgrenzen	.xlsx	CD
Anhang_E2_NR1_Erträge_GreenDairy 2022-2024	.xlsx	CD
Anhang_E3_BZA_Innenwirtschaft-Milchproduktion	.xlsx	CD
Anhang_E4_NR2_Milchleistung_GreenDairy 2024	.xlsx	CD
Anhang_E5_NR3_Schlachtgewichte Altkuh_GreenDairy 2024	.xlsx	CD
Anhang_E6_NR4_Produktionskennzahlen Milchkuhhaltung_GreenDairy 2024	.xlsx	CD
Anhang_E7_NR5_Wirtschaftsdünger_Plausibilität und Nährstoffkosten	.xlsx	CD
Anhang_E8_NR6_Arbeitszeitbedarf Innenwirtschaft_GreenDairy 2024	.xlsx	CD
Anhang_E9_NR7_Lagerraumbedarf_Futtergetreide und -bohnen	.xlsx	CD
Anhang_E10_BZA_Außenwirtschaft-Futterbau Eigenbedarf	.xlsx	CD
Anhang_E11_BZA_Außenwirtschaft-Verkauf pflanzlicher Erzeugnisse	.xlsx	CD
Anhang_E12_NR8_Agrarprämienzahlungen_GreenDairy 2024	.xlsx	CD
Anhang_E13_NR9_LLH-Rechner_Plausibilität Öko-Regelung 2	.xlsx	CD
Anhang_E14_NR10_Kieserit_Nährstoffkosten	.xlsx	CD
Anhang_E15_NR11_Arbeitserledigungskosten Außenwirtschaft	.xlsx	CD
Anhang_E16_BZA_Gesamtsystemebene	.xlsx	CD
Anhang_E17_NHEP und NHEE	.xlsx	CD
Anhang_E18_NR12_externe Mast_Lebendmassezunahmen durch Silagen	.xlsx	CD

Quelle: Eigene Darstellung:

DLG (2022): DLG-Prüfbericht 7376: Automatisches Melksystem - Lely Astronaut A5 als Doppelbox-Setup. Verbrauchskennwerte. DLG TestService GmbH, Groß-Umstadt.

Hoffmann, M. (2021): Wasser, ein wichtiger Nährstoff. Hg. v. Sächsischem Landeskontrollverband e.V., Lichtenwalde. Online verfügbar unter: https://www.lkvsachsen.de/blog-1/blogbeitrag/artikel/wasser-ein-wichtiger-naehrstoff/, zuletzt geprüft am 16.01.2026

K+S Minerals and Agriculture GmbH (o.J.): ESTA ® Kieserit GRAN. Magnesium-Schwefel-Power. Hg.v. K+S Aktiengesellschaft. Online verfübgar unter https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/produkte/de-esta-kieserit-gran/, zuletzt geprüft am 16.02.2026.

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2024): Umrechnungsfaktoren einzelner Nährstoffe nach Element oder Bindungsform. Online verfügbar unter https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/umrechnungsfaktoren-naehrstoffe.pdf, zuletzt geprüft am 03.02.2026

Pickl, L. (2025a): Effizient reinigen, Klauen schonen - mit dem Lely Discovery Collector C2. Wie moderne Stallreinigungssysteme Tiergesundheit und Arbeitszeit gleichzeitig optimieren. Hg. v. Lely Center Enns. Online verfügbar unter https://portal.lelynetenns.com/blog/lely-blog-osterreich-1/effizient-reinigen-klauen-schonen-mit-dem-lely-discovery-collector-c2-25?utm, zuletzt geprüft am 16.01.2026

Pickl, L. (2025b): Frisches Futter rund um die Uhr. Automatisierte Futtervorlage mit dem Lely Vector. Hg. v. Lely Center Enns. Online verfügbar unter https://portal.lelynetenns.com/blog/lely-blog-osterreich-1/frisches-futter-rund-um-die-uhr-30?utm_, zuletzt geprüft am 16.01.2026

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, sind kenntlich gemacht. Ich habe die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Ich stimme zu, dass die vorliegende Arbeit mit einer Anti-Plagiatssoftware überprüft werden darf.

Der Einsatz von KI-gestützten Anwendungen erfolgte ausschließlich unterstützend und dabei hauptsächlich zur sprachlichen Überarbeitung oder allgemeinen Informationsrecherche. Damit folgte die Nutzung KI-basierter Werkzeuge unter Beachtung der geltenden Ordnung. Konkrete Inhalte, die Argumentationsführung, durchgeführte Berechnungen und Auswertungen sowie die wissenschaftliche Interpretation und Bewertung wurden eigenständig von mir erarbeitet und verantwortet.

Gießen, 13.03.2026	Kathrin Friedrich
Ort, Datum	Eigenhändige Unterschrift