

Milch aus Österreich: Europameister der Umweltverträglichkeit

HBLFA Raumberg-Gumpenstein



FarmMilk – Abschlussbericht

Dafne Nr. 101316

FarmMilk: Ökobilanzierung als Methode zur Unterstützung der Milchwirtschaft in Österreich

FarmMilk: Life cycle assessment as a method to support the dairy farmers in Austria

Projektleitung:

Thomas Guggenberger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter (alle HBLFA Raumberg-Gumpenstein):

Dr. Markus Herndl, Mag. Christian Fritz MA, Dr. Florian Grassauer, Dr. Georg Terler, Isabella Zamberger, Matthias Kandolf, Dr. Elfriede Ofner-Schröck, Mag. Elisabeth Finotti, DI Edina Scherzer, Lisa Egger, Brigitte Marold

Unterstützende Molkereien als Wirtschaftspartner

Molkerei	Projektjahr	Verantwortung
	2017	GF Josef Pitzer, Obmann ÖkR Hermann Schachner, Aufsichtsrat Andreas Radlingmaier
	2018 2019	GF Andreas Gasteiger und GF Christian Leeb, Obmann Robert Leitner, Hofberater Willi Niedermüller, Stefan Leitner
	2019	GF Friedrich Tiroch, Obmann Jakob Karner, Hofberater Johann Kahlbacher, Ing. Heribert Moser
	2019 2020 2021 2022	GF Michael Weidacher bzw. GF Christoph Engl, Obmann Josef Fürtbauer bzw. Johannes Trinkfass, Hofberater Florian Druckenthanner
	2021	GF Helmut Petschar, Obmann Ing. Reinhard Scherzer
	2023	DI Josef Braunshofer und Mag. Georg Lehner, Obmann Stefan Lindner

Korrespondierender Autor:

Dr. Thomas Guggenberger
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal
Email: thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at
Web: www.raumberg-gumpenstein.at
Irdning-Donnersbachtal, November 2023

Zitiervorschlag:

Guggenberger, T., Herndl, M., Fritz, C., Grassauer, F., Terler, G., Zamberger, I., Kandolf, M., Ofner-Schröck, E., Finotti, E., Scherzer, E., Egger, L., Marold, B., (2023): Ökobilanzierung als Methode zur Unterstützung der Milchwirtschaft in Österreich. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 145 Seiten.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at
Titelfoto, Satz und Lektorat: Lauren Mayer, HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Stand: Version 1, 22.11.2023

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenabgabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.
Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Vorwort und Danksagung

Ineffiziente Produktionssysteme sind mit vermeidbaren Verlusten behaftet. Ihre Wettbewerbsfähigkeit ist in freien Märkten gering, ihr negativer Einfluss auf die Umwelt hoch. Beides wird, wenn auch nicht von gleicher Stelle, bestraft. Eine schwache ökonomische Performance führt bei Substituten mittelfristig zu einer Verdrängung aus dem Markt, höhere negative Wirkungen auf die Umwelt führen zu einem Abbau der natürlichen Produktionsfähigkeit der Standorte und rücken gleichzeitig die erzeugten Lebensmittel in das Kreuzfeuer der gesellschaftlichen Diskussion. Das Ergebnis ist eine Segmentierung der Gesellschaft in verschiedene Lager mit starkem Anspruch an zeitlich begrenzte Meinungsheiten. Brauchbare Beiträge zur Verbesserung der Produktionseffizienz von diesen Stakeholdern bleiben Mangelware. Die Brisanz der Themenstellung ist und bleibt aufrecht, Veränderungen müssen durch die Landwirtschaft selber umgesetzt werden.

Österreich hat das erkannt und setzt seit Jahrzehnten auf ein kombiniertes Entwicklungssystem für die Landwirtschaft. Dieses Entwicklungssystem, bestehend aus einer Kombination von Transferzahlungen, Handlungsoptionen und Verpflichtungen, dämpft den Leistungszwang der Produktion zugunsten eines holistischen Qualitätsbegriffes. Den Betrieben bleibt damit in Österreich etwas mehr Spielraum für ihre Zukunftsgestaltung. Die Wirksamkeit bestätigt sich in der geringeren Anzahl an Hofaufgaben und dem angepassten Leistungsniveau. Beides nutzt die österreichische Landwirtschaft um neben den Lebensmitteln auch noch Ökosystemleistungen zu erbringen.

Das Projekt FarmMilk hat es sich zur Aufgabe gemacht, den beschriebenen Zusammenhang auf einer verlässlichen Basis darzustellen. Als Werkzeug wurde eine Ökobilanzierung mit FarmLife nach ISO 14044 eingesetzt. Dass es dieses Werkzeug überhaupt gibt, liegt an der Unterstützung der Expertise aus der Sektion II und Abteilung PR/8 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. Im Rahmen mehrerer Dafne-Projekte wurden wir immer gut unterstützt und begleitet. Herzlichen Dank dafür!

Nach der Entwicklung eines Werkzeuges benötigt die Anwendung Kunden, die sich in den Dienst einer gemeinsamen Sache stellen wollen. Diese Kunden sind eine hohe Anzahl an Bäuerinnen und Bauern in Österreich, die jeweils mehrere Arbeitstage in die Erfassung ihrer Betriebsdaten investiert haben. Ihr Lohn besteht zum einen aus Hinweisen zur Verbesserung ihrer Betriebsführung, zum anderen in jenen belastbaren, nationalen Ergebnissen, die gemeinsam erarbeitet wurden und die mit diesem Forschungsbericht vorgestellt werden. Herzlichen Dank euch allen für eure Unterstützung und Arbeitsleistung!

Die Organisation des Projektes FarmMilk wäre ohne die österreichischen Molkereien nicht möglich gewesen. Wir sind euch zu tiefem Dank verpflichtet! Glaubwürdige Argumentationen und eine zielgerichtete Kommunikation braucht alle Glieder der Wertschöpfungskette. Als Verbindungsglied zwischen Produktion und Handel kommt euch allen eine besonders hohe Verantwortung in der Vermarktung des Projektergebnisses zu. Bitte nutzt diese Chance im Sinne aller Bauernhöfe in Österreich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	7
Summary	8
1. Projektbeschreibung und Ziele	10
1.1 Herausforderungen der Milchwirtschaft	10
1.1.1 Gesellschaftsdynamische Entwicklung	11
1.1.2 Ökoeffizienz als Zukunftsziel	11
1.2 Projektverlauf	12
1.2.1 Geplanter Ablauf	12
1.2.2 Tatsächlicher Ablauf	12
1.3 Ziele	13
1.3.1 Bereitstellung einer gesamtheitlichen Umweltbewertung für alle Milchviehbetriebe in Österreich	13
1.3.2 Entwicklung einer zentralen Mission für die Zukunft aller Milchviehbetriebe in Österreich	13
1.3.3 Reflektion elementarer Wirkungszusammenhänge in der Umweltbewertung.....	13
2. Material und Methoden	14
2.1 Das FarmLife-Datennetz der Milchwirtschaft in Österreich.....	14
2.2 Ziel und Untersuchungsrahmen.....	17
2.3 Erweiterung LCA durch Bulletin 419/2015 IDF.....	17
2.4 Parameterbeschreibung und Inputgruppen	19
2.4.1 Ressourcenbezogene Umweltwirkungen	20
2.4.2 Nährstoffbezogene Umweltwirkungen.....	21
2.4.3 Klimawirkungsbezogene Umweltwirkungen.....	21
2.4.4 Schadstoffbezogene Umweltwirkungen.....	21
2.4.5 Inputgruppen.....	22
2.5 Datenaufbereitung und statistische Analysen.....	24
2.5.1 Selektion.....	24
2.5.2 Klassifikation	25
2.5.3 Modelle.....	27
2.5.4 Anwendungen auf allen Milchlieferbetrieben in Österreich.....	29
2.5.5 Verteilungsanalyse als Endergebnis.....	31
2.6 Entwicklung des Konzeptes der Standortgerechten Landwirtschaft	32
2.7 Methoden der Kritik an der Wirkungsabschätzung von Treibhausgasemissionen ...	33
3. Ergebnisse zur Umweltbewertung der österreichischen Milchwirtschaft	33
3.1 Ergebnisse der FarmLife-Betriebe	33
3.1.1 Das Betriebsnetz FarmLife Milchviehbetrieb	33
3.1.2 Häufigkeit der Klassen und Verteilung der Lieferleistung	34
3.1.3 Deskriptive Beschreibung der Daten	34
3.1.4 Fütterung von FarmLife-Milchviehbetrieben.....	38
3.1.5 Allokation der Produktgruppe Milch in FarmLife.....	40
3.1.6 Funktionen IDF der Umweltwirkungen	43
3.1.7 Ergänzende Funktionen der Infrastruktur.....	45
3.1.8 Grundlagen zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen	47
3.2 Ergebnisse der Umweltwirkungen aller Milchviehbetriebe in Österreich.....	51

3.2.1	Das Gesamtergebnis der Milchviehbetriebe nach IDF	51
3.2.2	Unterschiede im Managment (Bio/Kon)	55
3.2.3	Unterschiede im Standort (Berg/Hügel/Tal).....	55
3.2.4	Bewertung von Einzelunternehmen.....	56
4.	Diskussion der Projektergebnisse	58
4.1	Daten und ihre Repräsentativität.....	58
4.2	Der methodische Weg und die Zielerreichung.....	58
4.3	Einordnung der Ergebnisse.....	59
4.3.1	Ressourcenbezogene Umweltwirkungen	60
4.3.2	Nährstoffbezogene Umweltwirkungen.....	63
4.3.3	Klimawirkungsbezogene Umweltwirkungen.....	65
4.3.4	Schadstoffbezogene Umweltwirkungen.....	67
4.3.5	Gesamtbewertung des Vergleichs.....	68
4.4	Grundlegende Wirkungsmechanismen und Erklärungen.....	68
4.4.1	Das richtige Verständnis der Produktionsfunktionen.....	68
4.4.2	Prozessabläufe und Wirkungsmechanismen	69
4.5	Entwicklungsgradienten und Interaktionen funktionellen Einheiten	71
4.6	Summenwirkungen die das Ergebnis der österreichischen Milch bestimmen	73
5.	Die Standortgerechte Landwirtschaft als Mission der Zukunft.....	76
6.	Zukünftige Bewertungsmethoden zur Wirkung von landwirtschaftlichen Treibhausgasen	78
7.	Empfehlungen an die Stakeholder	81
8.	Anhang	82
8.1.	Tabellen.....	82
8.1.1	Projektergebnisse.....	82
8.1.2	Ergebnisse der Literaturrecherche	86
8.2.	Abbildungen.....	95
8.2.1	Daten zur Schätzung von linearen Regression.....	95
8.2.2	Inputgruppen in Abhängigkeit von Standort und Lieferleistung	101
8.2.3	Verteilung der Umweltwirkungen im Betriebsnetz der österreichischen Milch- viehbetriebe.....	115
8.2.4	Abbildungen Bewertung von Einzelunternehmen pro kg FPCM	136
9.	Literatur	139

FarmMilk: Ganzheitliche Ökoeffizienz als Methode zur Unterstützung der Milchwirtschaft

FarmMilk: Integrated eco-efficiency as a method for supporting dairy farming

Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt FarmMilk haben Molkereien aus Österreich gemeinsam mit der Forschungsgruppe Ökoeffizienz der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein repräsentatives Netz von 344 Milchviehbetrieben aufgespannt. Damit steht für Milchviehbetriebe der größte, jemals in Österreich erhobene Datensatz an einzelbetrieblichen Ökobilanzen zur Verfügung. Im Projekt wurden 14 Parameter aus den Bereichen der ressourcenbezogenen, nährstoffbezogenen, klimawirkungsbezogenen und schadstoffbezogenen Umweltwirkungen berechnet. Als Bezugsgröße wurden ein kg FPCM und ein ha verwendet. Zur Berechnung wurde das Betriebsmanagement-Tool FarmLife (HERNDL et al. 2016) genutzt. Dessen Ergebnisse wurden gemäß ISO 14044 (ISO, 2006) ermittelt und dann an die Besonderheiten von IDF 479/2015 (IDF, 2015) angepasst. Aus den Ergebnissen der einzelnen Betriebe wurde nach einer Klassifikation in Standorttypen (Berg, Hügel, Tal) und Lieferleistungsklassen ein umfassendes Prognosemodell bestehend aus 42 linearen Regressionen entwickelt. Dieses Prognosemodell wurde unter Verwendung von INVEKOS-Daten aus dem Jahr 2022 auf alle Milchviehbetriebe in Österreich angewandt. Die Ergebnisse wurden getrennt für die konventionelle und biologische Milch, aber auch für die gesamte Milch ausgegeben. Im Mittel aller Milchsorten und Standorttypen wurden für die Produktion von 1 kg FPCM an der Hoftorschwelle folgende Umweltwirkungen berechnet: Nicht erneuerbare Energie 2,2 MJ; Phosphorverbräuche 0,34 g; Landbewirtschaftung 1,4 m²; Blaues Wasser 2,5(+5) Liter; abgeholzter Wald 1,7 cm²; Exergie 34 MJ, Stickstoffeintrag in Wasser 5,0 N_e; Phosphoreintrag in Wasser 68 mg P_e; Triebhauspotenzial(GWP) 0,99 kg CO₂e₁₀₀; Erwärmungspotenzial (GTP) 0,36 kg CO₂e₁₀₀; Aquatische Ökotoxizität 13,04 g 1,4-DB_E; Terrestrische Ökotoxizität 0,51 g 1,4-DB_E. Die Einordnung der Ergebnisse in eine Sammlung internationaler Studien stellt der Milch aus Österreich eine zwar über die Parameter schwankendes und von der Milchsorte beeinflusstes aber insgesamt sehr positives Ergebnis aus: **Milch aus Österreich ist Europameister der Umweltverträglichkeit!**

Folgende Gründe führen zu dieser Bewertung:

- 1.) Die Standorte des Grünland- und Ackerfutterbau in Österreich sind kompetitiv. Die klimatischen Bedingungen, besonders die verlässliche Niederschlagsituation, bringen große Mengen an Faserkohlenhydraten hervor die ausschließlich von Wiederkäuern gut verwertet werden können. Ihre Produktion benötigt eine unterproportionale Menge an Betriebsmitteln.
- 2.) Die Milchbauern verfügen über Rassen die an die Gegebenheiten des Standortes angepasst sind.
- 3.) Die Leistungsziele, abgelesen an der Lieferleistung pro Kuh und Jahr, sind niedrig genug, um den größeren Anteil der Milch aus Grundfutter

zu erzeugen. Das verhindert eine starke Aggregation verschiedenster Wirkungen durch den Zukauf von Kraftfutter.

- 4.) Milchviehbetriebe erzeugen die nächste Generation an Tieren selber. Das reduziert ebenso wie der Futterzukauf die Aggregationswirkung von Betriebsmitteln.
- 5.) Der Einsatz von Betriebsmitteln und Wirkstoffen ist streng geregelt. GVO-frei Milch ist nur sehr gering mit Wirkungen des globalen Landnutzungswandels belastet. Stark toxische Wirkstoffe in Betriebsmitteln sind per Gesetz verboten. Die biologische Landwirtschaft und ihr Programm sticht stark positiv hervor.
- 6.) Wirkungsschwache bis wirkungsfreie Teilbereiche wie die Alm entlasten das Gesamtsystem.
- 7.) Eine aufwendige Allokation ermöglicht die Berücksichtigung der Teilbereiche Fleischproduktion und Zucht. Das entlastet bei Zweinutzungsrassen die Milchproduktion etwas stärker. Insgesamt wurden in der Rinderhaltung 83,7 % aller Wirkungen auf die Milchproduktion allokiert, das sind 1,3% weniger als im Referenzansatz (MAZZETTO et al. 2022).

Für die zukünftige Absicherung des Ergebnisses empfiehlt sich die Einführung des Konzeptes einer Standortgerechten Landwirtschaft auf allen Milchviehbetrieben. Für die Vermarktung der positiven Erkenntnisse hat eine gemeinsame Botschaft aller Stakeholder einen viel größeren Nutzen als eine individuelle Auslobung von Teilergebnissen.

Im Hinblick auf Initiativen zum Klimaschutz trifft die Metrik GTP die physikalische Wirkung der Treibhausgasemission im Strahlungsantrieb viel besser als die derzeit genutzte Metrik GWP. GTP führt auch zu den besseren Handlungsempfehlungen.

Schlagwörter: Milch, Ökobilanz, Nachhaltigkeit, Europameister

Summary

In the FarmMilk research project, dairies from Austria, together with the Eco-Efficiency Research Group of the HBLFA Raumberg-Gumpenstein, have established a representative network of 344 dairy farms. This means that the largest data set of individual farm life cycle assessments ever collected in Austria is now available for dairy farms. In the project, 14 parameters from the areas of resource-related, nutrient-related, climate impact-related and pollutant-related environmental impacts were calculated. One kg FPCM and one ha were used as functional unit. The FarmLife farm management tool (HERNDL et al. 2016) was used for the calculation. Its results were determined according to ISO 14044 (ISO, 2006) and then adapted to the specifics of IDF 479/2015 (IDF, 2015).

Based on the results of the individual farms, a comprehensive forecast model consisting of 42 linear regressions was developed after classification the base data into location types (mountain, hill, valley) and delivery performance classes. This forecasting model was applied to all dairy farms in Austria using INVEKOS data from 2022. The results are calculated separately for conventional and organic milk, but also for total milk.

On average for all milk varieties and site types, the following environmental impacts were calculated for the production of 1 kg of FPCM at the farm gate: Non-renewable energy 2.2 MJ; Phosphorus use 0.34 g; Land use

1.4 m²; Blue water 2.5(+5) liters; Deforested 1.7 cm²; Exergy 34 MJ, Nitrogen input to water 5.0 Ne; Phosphorus input to water 68 mg P_e; Global Warming Potential(GWP) 0.99 kg CO₂e₁₀₀; Global Warming Potential (GTP) 0.36 kg CO₂e₁₀₀; Aquatic Ecotoxicity 13.04 g 1,4-DB_E, Terrestrial Ecotoxicity 0.51 g 1,4-DB_E.

The classification of the results in a collection of international studies gives milk from Austria a very positive result overall, although it fluctuates over the parameters and is influenced by the type of milk: **Milk from Austria is the most eco-friendly milk in Europe.**

The following reasons lead to this assessment:

- 1.) The locations of grassland and arable forage production in Austria are competitive. The climatic conditions, especially the reliable precipitation situation, produce large amounts of fibrous carbohydrates which can be well utilized exclusively by ruminants. Their production requires a disproportionately low amount of inputs.
- 2.) The dairy farmers have breeds adapted to the conditions of the location.
- 3.) The performance targets, read by the delivery performance per cow and year, are low enough to produce the greater part of the milk from forage. This prevents a strong aggregation of environmental impacts effects by the purchase of concentrated feed.
- 4.) Dairy farms produce the next generation of cows themselves. This, like the purchase of feed, reduces the aggregation effect of inputs.
- 5.) The use of inputs and active ingredients is strictly regulated. GMO-free milk is only very slightly contaminated with effects of global land use change. Highly toxic active ingredients in inputs are prohibited by law. Organic farming and its program stands out strongly in a positive way.
- 6.) Low-impact to impact-free sub-sectors such as alpine pastures relieve the overall system.
- 7.) An exact allocation makes it possible to take into account the sub-areas of meat production and breeding. In the case of dual-purpose breeds, this split the burden on milk production somewhat more. Overall, 83.7% of all impacts in cattle farming were allocated to milk production, which is 1.3% less than in the reference approach (MAZZETTO et al. 2022).

To fix results for future, it is recommended to introduce the concept of site-adapted agriculture on all dairy farms. For the marketing of the positive findings, a common message from all stakeholders has a much greater benefit than an individual praise of partial results.

With respect to climate change mitigation initiatives, the GTP metric captures the physical effect of greenhouse gas emissions in radiative forcing much better than the GWP metric currently in use. GTP leads to the better recommendations for action!

Keywords: milk, life cycle assessment, sustainability, european champion

1. Projektbeschreibung und Ziele

1.1 Herausforderungen der Milchwirtschaft

Die Milchwirtschaft ist die zentrale Säule der Rinderhaltung in Österreich. Ihre Leistung für die Sicherung der Lebensmittelversorgung sind ebenso unbestritten wie ihr Beitrag zur Nutzung der heimischen Bioressourcen. Mit einer langen Tradition an Bemühungen in Produktions-, Zucht- und Haltingsfragen ausgestattet ist die Milchwirtschaft ein aufgehender Stern in der jungen zweiten Republik. Die hohe Anzahl kleiner Milchviehbetriebe in allen Lagen Österreichs wird ab den 1970iger Jahren zusehends sinken um die freiwerdende Fläche an andere Betriebe weiterzugeben. Dieses Wachstum erhält den Namen Strukturwandel und folgt zusätzlich den Konzepten der „Economy of Scales“. Dieses signalisiert den Bäuerinnen und Bauern eine zunehmende Effizienz und Konkurrenzfähigkeit bei höheren Produktionsmengen. Zum Strukturwandel gesellt sich so eine Leistungsentwicklung die zwei entscheidende Nachteile mit sich bringt. Der erste Nachteil ist die steigende Abhängigkeit von externen Betriebsmitteln und technologischen Infrastrukturen um die größeren Höfe, diese sind in der Regel immer noch Familienbetriebe, überhaupt zu bewirtschaften. Die zum Teil künstliche Ressourcenknappheit wird so lange ignoriert, bis sie im Jahr 2022 in Folge der Marktverknappungen für alle spürbar wurden. Der zweite Nachteil ist die kollektive Missachtung der Regeln freier Märkte. Produktionssysteme mit geringen Ansprüchen an hohe Grenzerträge versuchen ihr Glück mit hohen Mengen und geringen Gewinnspannen. Sie konkurrieren auf der Ebene von ersetzbaren Produkten (Substituten) mit anderen Produktionsstandorten. Dies führt zu einem direkten Konkurrenzkampf zwischen den Milchviehbetrieben. Dieser Konkurrenzkampf kann sich innerhalb der Lagen einer einzelnen Molkerei ebenso abspielen, wie zwischen Nationalstaaten und Kontinenten. Gesellschaftliche Zahlungen die verschiedene Leistungen der Landwirtschaft honorieren, landen zum Teil nicht im nutzbaren Familieneinkommen der bäuerlichen Familien, sondern werden indirekt in diesem Konkurrenzkampf investiert. Auf der Ebene der Molkereien herrschen ähnliche Bedingungen. Im Bestreben um den eigenen wirtschaftlichen Erfolg fallen Vermarktungsentscheidungen zugunsten kleiner Margen aus. Dies nicht nur deshalb, weil der konzentrierte Handel leichtes Spiel mit den bäuerlichen Genossenschaften hat, sondern auch weil die eigenen Lieferanten einer Molkerei praktisch nicht in der Lage sind ihre Anliefermengen an den Marktbedarf anzupassen. Das hat sowohl technische als auch sozioökonomische Gründe. Die Milchwirtschaft steht insgesamt schon lange unter Druck. Sie hat aber auch immer wieder sehr geschickte Maßnahmen zur Regulierung entwickelt. Die biologische Landwirtschaft war ein früher, bedeutender Erfolg der noch immer wirkt, der Vorteil des Verzichtes auf gentechnisch verändertes Futter hat lange gut gewirkt, lässt nun aber langsam nach, weil wichtige Handelsziele in Europa die österreichischen Strategien kopiert haben. Die jüngste Entwicklung ist die Heumilch, die bei solidem Wachstum gute Exportchancen nachweisen kann. Für alle Maßnahmen die zukünftig innerhalb der produktionstechnischen, politischen, sozioökonomischen und marktwirtschaftlichen Grenze entwickelt werden gilt: Sie müssen fachlich stimmig und am Markt glaubwürdig sein!

1.1.1 Gesellschaftsdynamische Entwicklung

Glaubwürdig deshalb, weil Konsumentinnen und Konsumenten in Österreich im Zuge einer überraschend schnellen Entwicklung alte Grundverständnisse abgelegt haben um sich kritisch neuen Zugänge zu öffnen. Die Landwirtschaft kann gemeinsam mit der Ernährungswirtschaft diese Entwicklung zwar beklagen, haben aber auch einen größeren Anteil dazu beigetragen. Die extrem hohe Verfügbarkeit günstiger Nahrung hat die Bevölkerung in gewissen Altersschichten zuerst dick und dann krank gemacht (GRIEBLER et al. 2017). Krank nicht deshalb, weil die Lebensmittelstandards nicht hoch genug wären, sondern weil zu viel einfach Zuviel ist. Die Menschen suchen nach Auswegen und finden diese auch in neuen Ernährungsformen. Diese haben alle gemeinsam, dass sie (zum Teil gerechtfertigt) dem Triumvirat der Ablehnung tierischer Produkte (Human-gesundheit, Tierwohl, Klimaschutz) gehorchen um sich neuen Ernährungsformen zuzuwenden. Die Lebensmittelmärkte bringen neue Gewinner hervor, die nicht nur gut verdienen, sondern den Menschen zusätzlich eine neue Heilslehre versprechen. Die Warnung vor dieser Entwicklung muss laut ausgesprochen werden: Gelingt es nicht deren Botschaften auf faktischer Ebene zu neutralisieren, dann entsteht eine Entwicklung, die der bestehenden Nutztierhaltung in Österreich Schaden zuführen wird. Bei konstanter Produktion wird der Marktdruck nicht nachlassen und in wirtschaftlich schwierigeren Zeiten werden gesellschaftliche Transferzahlungen im Spotlight der neuen Akteure schmelzen, wie Butter in der Sonne. Im Licht dieser Entwicklungen liegt es im Interesse der österreichischen Milchwirtschaft wissenschaftliche Fakten auf den Tisch zu legen und das Produktionssystem gemäß den gesellschaftlichen Wünschen weiter zu entwickeln.

1.1.2 Ökoeffizienz als Zukunftsziel

Die notwendigen Veränderungen in der Landwirtschaft leiten sich aus den ersten Kapiteln ab. Hohe Abschreibungen und steigende Kosten bei vielen Jahren fast konstanten Produzentenpreisen stehen in einem ungünstigen Verhältnis zum Arbeitsaufwand der Milchwirtschaft. Auch wenn das Jahr 2022 hier ein erfreulicher Ausreißer war, der Ursprung des Forschungsprojektes FarmMilk liegt im Wunsch der Geschäftsführung mehrerer Molkereien neue Strategien für die Produktion und Vermarktung ihrer Produkte zu finden. Im Fokus dieser Strategie stand nicht eine Differenzierung einzelner Produktlinien in Österreich, sondern ein grundlegendes Konzept, das der Exportmilch aus Österreich weiterhin eine USP sichern sollte. Als Nachfolger für die GVO-freie Milch liefert das Konzept der Ökoeffizienz, vorerst zumindest gedanklich, einen potenziellen Kandidaten. Ökoeffizienz bekennt sich per Definition zu wirtschaftlichem Erfolg und stellt sich gegen zu geringe Grenzerträge. Zugleich senkt eine effizientere Produktion mit einer geringeren Betriebsmittelabhängigkeit und einer verträglicheren Dynamik der stofflichen Kreisläufe die Gefahr negativer Wirkungen auf die Ökologie. Die Ökoeffizienz der Landwirtschaft geht per Definition den Nachhaltigkeitswünschen der Gesellschaft proaktiv entgegen und kann in der aktiven Umsetzung in FarmLife ein breites Spektrum an Umweltbeziehung abbilden. Im Sog einer günstigen Beziehung der österreichischen Milchwirtschaft

zur Umwelt des Landes können höherwertige Verkaufsargumente entwickelt und in Wertschöpfung umgewandelt werden. Wie wichtig diese Strategie ist hat sich bereits während des Forschungsprojektes gezeigt. In den letzten fünf Jahren sind mit dem Tierwohl und dem Klimaschutz zwei bedeutende Themen hart in der Landwirtschaft aufgeschlagen. Die Milchwirtschaft muss hier Antworten geben. Sie kann und tut dies laufend mit Erfolg, weil die grundlegende Art wie in Österreich Milch erzeugt wird günstige Antworten ermöglicht. Die Ergebnisse des Projektes leisten für diese Aufgaben einen zusätzlichen Input.

1.2 Projektverlauf

1.2.1 Geplanter Ablauf

Ausgehend von den beiden Unternehmen Obersteirische Molkerei und Gmundner Milch wurden im Jahr 2019 mit Datenerhebungen auf bäuerlichen Betrieben begonnen. Die Strategie des Prozesses war eine bottop-up Erfassung von Betrieben aus der grundlegenden Stichprobe der Unternehmen. Das betriebliche Ergebnis, dass den Unternehmen auch geliefert wurde, sollte den Strategieprozess der befeuern.

1.2.2 Tatsächlicher Ablauf

Covid-19 hat diesen Prozess im Frühjahr 2020 abrupt abgebrochen. Im zweijährigen Vakuum des nationalen Stillstandes wurde der Projektprozess von Projektteam der Forschungsgruppe Ökoeffizienz angepasst. Diese Anpassung betrifft einen zusätzlichen Beitrag zur Bewertung von Milchviehställen mit dem FarmLife-Welfare-Index und einen vorläufig noch isolierten Start einer Strategieentwicklung die am Ende den Namen „Standortgerechte Landwirtschaft“ tragen wird. Parallel zur deren Auslobung ab dem Jahr 2021 wurde diese Strategie auch von verschiedensten Organisationen der Landwirtschaft aufgenommen und ist heute, wenn auch noch nicht umgesetzt, so doch weitgehend bekannt. Mit dem Jahr 2020 wurde von der Forschungsgruppe Ökoeffizienz ein weiterer Anlauf zur Datensammlung gemacht und bis heute haben sich die Ennstal Milch, die SalzburgMilch, die Kärntnermilch und zuletzt die Berglandmilch massiv an der Datengewinnung beteiligt. Landwirtschaftliche Fach- und Mittelschulen haben sich in Bildungsprojekte ebenso eingebracht, wie verschiedene EIP-Projekte in denen FarmLife als Werkzeug eingesetzt wird. Zuletzt hat eine Klima- und Energiemodellregion in Vorarlberg eine Initiative gestartet und sammelt aktuell Daten für die Betriebserfassung. Aus einem schmalen Entwicklungsprozess hat sich ein breiter Pfad entwickelt der allen Milchbauern in Österreich nützen wird. Dieser Pfad hat die alten Projektziele nicht vergessen aber neue Aspekte hinzugefügt. Tatsächlich vernachlässigt wurde aber jener Kommunikationspfad der mit den ursprünglichen Unternehmen vereinbart wurde. Es gilt diesen ab Veröffentlichung der Projektergebnisse neu zu beleben und umzusetzen.

1.3 Ziele

1.3.1 Bereitstellung einer gesamtheitlichen Umweltbewertung für alle Milchviehbetriebe in Österreich

Das zentrale Ziel des Forschungsprojektes besteht in der Sammlung einer repräsentativen Anzahl von Ökobilanzen im Betriebsmanagement-Tool FarmLife und deren Interpretation im Rahmen eines Bottom-Up-Ansatzes. Dieser Ansatz unterscheidet sich in seiner Qualität deutlich von vielen, zum Teil auch bedeutenden wissenschaftlichen Arbeiten, die in der Regel im Rahmen von Modellen verschiedenen Inputgrößen der Landwirtschaft aus naturwissenschaftlichen Zusammenhängen und statistischen Daten ableiten um damit eine singuläre Ökobilanz in vereinfachter Form zu erstellen. Wissenschaftenden in aller Welt sind sich der Schwäche dieses Vorgehens bewusst, haben aber keine Alternative, weil sie den individuellen Prozess der Datenerfassung mit bäuerlichen Betrieben nicht stemmen können. Dank des Werkzeuges FarmLife der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, des im Rahmen des Projektes entwickelten (Online)Kurskonzeptes und der organisatorischen und ökonomischen Leistung der Molkereien konnte der Ansatz der Erstellung eines großen Netzwerks an Ökobilanzen für Österreichs Milchwirtschaft erfolgreich umgesetzt werden.

1.3.2 Entwicklung einer zentralen Mission für die Zukunft aller Milchviehbetriebe in Österreich

Mit der „Standortgerechten Landwirtschaft“ wurde, wie bereits erwähnt, parallel zur Erhebung von Betriebsdaten, ein vorerst theoretisches Zukunftskonzept beschrieben. Dieses empfiehlt die Einführung der natürlichen Betriebspotenziale als grundlegendes Steuerelement für die Festlegung von Betriebszielen und Produktionssystemen und eine Auslobung dieser natürlichen Beziehung bei der Vermarktung in Österreich und in den Exportländern. Dem Konzept der Ökoeffizienz folgend wird strategisch ein Mittelweg beschritten. Eine sanfte Intensivierung von schwach entwickelten Leistungsstrukturen fördert die Zukunftsfähigkeit ebenso wie eine Leistungsregulierung von zu hoch dimensionierten Leistungen. Beide Zustände müssen reguliert werden, weil sie nicht nachhaltig sind. Bauernhöfe ohne adaptierten Leistungsanspruch verursachen Umweltwirkungen die sich nicht in ihrer Produktion abbilden lassen und Bauernhöfe die weit über ihre Möglichkeiten produzieren aggregieren auch bei guter Leistung zu viele Wirkungen auf ihrem Betrieb. Landwirtschaft in Österreich darf weder Hobby noch Industrie sein! Fokussiert auf das „richtige“ Maß peilt die Forschungsgruppe Ökoeffizienz das zentrale Ziel einer Reduktion aller Verluste an.

1.3.3 Reflektion elementarer Wirkungszusammenhänge in der Umweltbewertung

Das letzte Ziel ist ein internes der Forschungsgruppe Ökoeffizienz. Mit der fachlichen Verbesserung der eigenen Kompetenz im Laufe der letzten 10 Jahre und dem höheren Verständnis verschiedener naturwissenschaftlicher Prozesse sind Fragen in den Vordergrund getreten, die zum einen besprochen und zum anderen

in die Bewertung der Zukunft implementiert werden müssen. Diese Fragen stehen in enger Verbindung zur Definition von Rahmen und Ziel der Ökobilanzierung und ihres Anspruches wirksame Empfehlungen an alle Stakeholder weiter zu geben. Werden von der gesellschaftlichen/wissenschaftlichen Gemeinschaft in maßgeblichen Bereichen der Landwirtschaft einschneidende Veränderung vorgeschlagen, so kann die Ökobilanzierung und ihre Parametrisierung die Wirkung analysieren. Das haben wir im Falle der Bewertung der Wirkung von Treibhausgasen auch intensiv verfolgt und sind zu neuen Empfehlungen gelangt.

2. Material und Methoden

2.1 Das FarmLife-Datennetz der Milchwirtschaft in Österreich

Beginnend mit dem Jahr 2013 wurden in FarmLife Ökobilanzen für Milchviehbetriebe in Österreich erstellt. Dafür müssen die Betriebe über umfassende Datensammlungen ihres Inventares, ihrer Zu- und Verkäufe an Produkten und Betriebsmitteln und ihrer Zuteilung an geeignete Kategorien, ihrer Feldarbeitsgänge und der dabei notwendigen Zuteilung von Dünger, Pflanzenschutz, Saatgut und Weidetieren auf die Flächen und ihrer Felderträge an Grundfutter und Marktfrüchte verfügen. Mit Einführungskursen und manuellen Erfassungunterlagen wurden die Betriebe vorbereitet um am Ende des Jahres die Daten im Rahmen eine EDV-Kurses zu erheben. Bis zum Jänner 2020 wurden diese Kurse in Präsenz durchgeführt, danach nur mehr digital. Der Umstieg ist gut gelungen, an eine Rückkehr zu Präsenzkursen wird nicht gedacht. Die Anzahl der jährlich erfassten Betriebe steht in enger Verbindung zu verschiedenen Aktivitäten und Forschungsprojekten die von der Forschungsgruppe umgesetzt wurden und ist nicht gleichmäßig verteilt. Jahreseinflüsse, im Besonderen regionale Dürren sind dokumentiert und können für die anstehende Bewertung berücksichtigt werden.

Der Gesamtprozess der Erstellung einer betrieblichen Ökobilanz bedeutet viel Arbeit für die Forschungsgruppe der HBLFA innerhalb der eigenen Arbeitsplanung, für die Bauernhöfe bedeutet es eine zusätzliche Aufgabe in einem ungeliebten Arbeitsbereich der gelegentlich auch als Bürokratismus wahrgenommen wurde. Selbst wenn sich also ein Milchviehbetrieb für einen Kurs angemeldet hat, bedeutet dies bei weitem nicht, dass der Kurs erfolgreich mit einer Bewertung abgeschlossen wurde. Bis zum 1. September 2023 haben insgesamt 963 Milchviehbetriebe ein Konto im Tool FarmLife eingerichtet. Motiviert haben sich die Betriebe selber oder unterschiedliche Stakeholder mit mehr oder weniger Druck. 244 Betriebe wurden zu keinem Zeitpunkt aktiv und haben sich nach der Anlage des Kontos nicht mehr gezeigt. Das sind etwa 25 %. 719 Betriebe haben eine Erfassung begonnen. 279 haben, obwohl sie zum Teil eine hohe Anzahl an Buchungen vorgenommen haben, die Daten nicht ausreichend fertiggestellt. Das ist mit mehr als 1/3 der aktiv gewordenen Betriebe eine schmerzhaft hohe Zahl für die Forschungsgruppe und zeigt, dass die Aufgabe entweder zu komplex ist oder zu lange dauert. Beide Aspekte wurden in die derzeit laufende Entwicklung von Neu.Rind, einem gemeinsamen EIP Projekt mit der ZAR und der Universität für Bodenkultur, eingebracht. Für 440 Betriebe wurde die Berechnung versucht,

bei 51 Betrieben waren die Daten aber so mangelhaft, dass trotz mehrmaliger Urgenz der Datensatz nicht vollständig erstellt werden konnte. Für 389 Betriebe wurde eine vollständige Ökobilanzierung erstellt. Diese wurde sowohl durch die Mitglieder der Forschungsgruppe als auch durch die Betriebe selber validiert und als gültig erachtet. Ausgehend von jenen Betrieben die zumindest versuchten sich aktiv einzubringen beträgt die Drop-Out-Rate derzeit 46 %. Aktuell verfügt damit rund 1,7 % aller Milchviehbetriebe über eine betriebliche Ökobilanz. Das erscheint auf den ersten Blick nicht viel, ist aber ein Spitzenwert aller in den in Österreich wirtschaftenden Sektoren. Diese versuchen sich in der Wissenschaft der Umweltbewertung in der Regel bestenfalls in exemplarischen Fallstudien.

Für das Jahr 2022, in dem 23.418 Milchlieferanten bei den österreichischen Molkereien verzeichnet waren, ergibt die Berechnung der Größe einer repräsentativen Stichprobe bei einem Fehlerniveau von 5 % und einem Konfidenzintervall von 95 % eine Anzahl von 378 notwendigen Betrieben. Mit einer Anzahl von 389 wurde diese Zahl bereits überschritten und wird in den kommenden Jahren um mindestens 100 Betriebe weiter ausgebaut.

Diese Ausweitung ist nicht nur deshalb notwendig, um den Prozess der nachhaltigen Milchwirtschaft in Österreich weiter voranzutreiben, sondern auch deshalb, weil von den 389 Betrieben weitere 45 Betriebe aus der Bewertung genommen wurden. Ihr Ausschluss erfolgte im Wissen um besondere, nicht repräsentative Bedingungen oder Ereignissen. Dazu gehört je eine Dürre in Oberösterreich und Salzburg, Betriebe die im Rahmen des Unterrichts in Schulen erhoben wurden und Betriebe die sich zwar als Milchviehbetriebe angemeldet haben, deren stofflicher Anteil an der Milchwirtschaft (Allokation) aber unter 50 % liegt.

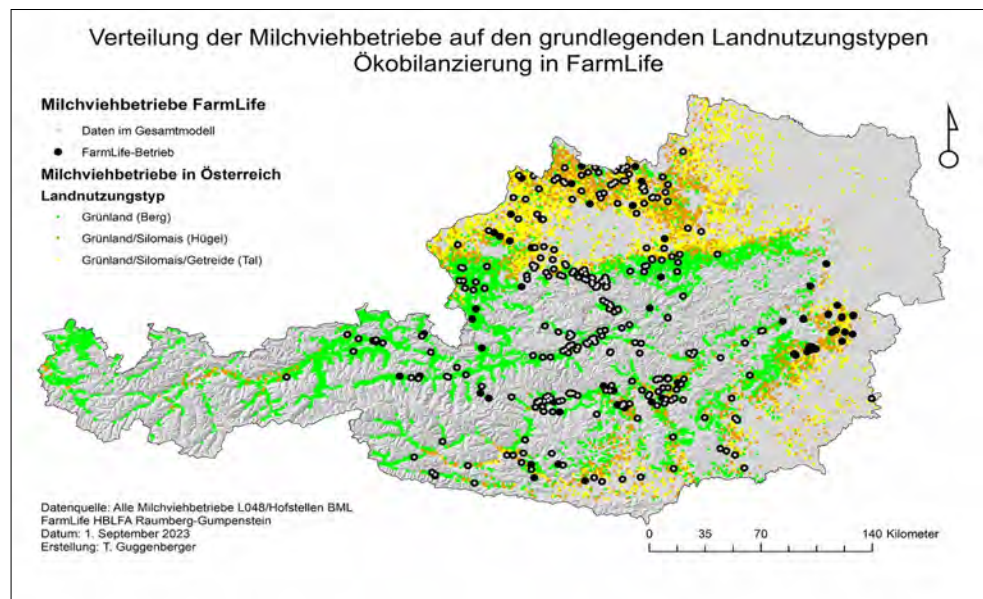
Das Betriebsnetzwerk der 344 Betriebe, sie sind Grundlage der später dargestellten Ergebnisse, gehorcht grundsätzlich den naturwissenschaftlichen definierten Prozessen eines Milchwirtschaftsbetriebes. Die ermöglicht sowohl eine gemeinsame Definition von Untersuchungszielen, als auch die Erstellung eines Bewertungsrahmens wie in *Abbildung 2* dargestellt. Die Prozessvollständigkeit betrifft auch die in 2.4 ausgewählten Parameter und deren Input-Analyse. Die verbliebenen Betriebe stellen gemeinsam eine hohe Anzahl von Informationen zur Verfügung. *Tabelle 1* zeigt die beeindruckende Datendichte von knapp 60.000 Buchungen zur Abdeckung aller in *Abbildung 2* dargestellten Inputs. Jede Buchung trägt in Abhängigkeit der Komplexität der Fragestellung zwischen 6 und 18 Einzelinformationen in sich. Im Schnitt hat jeder Betrieb etwa 2.000 Informationen abgegeben und pro Information 15 Sekunden an Zeit benötigt. In vollen 8 Arbeitsstunden konnten ein Betrieb erhoben werden. In Summe wurden netto 19 Personenmonate von den Bäuerinnen und Bauern in die Erhebung der Daten investiert. Das Team der Forschungsgruppe Ökoeffizienz hat für jede Erhebungsstunde noch einmal zwei Arbeitsstunden investiert um die Tools zu warten, die Daten zu kontrollieren und die Ökobilanz zur berechnen. Zusätzlich wurde noch eine unbekannte Menge an Zeit von den Molkereien für die Organisation der Netze aufgewandt.

Tabelle 1: Buchungen und Datensätze im FarmLife-Betriebsnetz Milch

Teilbereiche	Buchungen	Datensätze	Datensätze/Buchung
Flächen	10.511	189.198	18
Maschinen	8.358	79.752	9,5
Gebäude	4.332	26.375	6,1
Handel	21.087	198.068	9,4
Feldarbeit	11.765	147.603	12,5
Erträge	2.553	22.725	8,9
Gesamt	58.606	663.721	11,3

Auch wenn die Stichprobengröße adäquat ist, steht noch nicht fest ob die verwendeten Betriebe die Grundgesamtheit vertreten können. Für diese Analyse kann vereinfacht grundsätzlich oder komplexer differenziert vorgegangen werden. Aspekte wie das Betriebsmanagement (biologisch oder konventionelle Bewirtschaftung) und die Lage der Betriebe (Berg, Hügel, Tal) spielen hier eine grundsätzliche Rolle. Weiterführende Abweichungen entstehen durch individuelle Managementmaßnahmen der Betriebsleitung. Die räumliche Verteilung der nutzbaren Betriebe spielt hier eine Rollen und wird in *Abbildung 1* schon vorab dargestellt.

Abbildung 1: Landkarte der FarmLife-Milchviehbetrieben in Österreich und ihre Nutzung für die Erstellung eines Bewertungssystems



2.2 Ziel und Untersuchungsrahmen

Durch die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens werden die Grundzüge einer Studie bestimmt. Dazu gehören die Bezugsgrößen (funktionelle Einheiten), die Systemgrenzen, der Datenbedarf und die Auswahl der Wirkungskategorien. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Umweltwirkungen der Produktion von Milch Österreichischen-Lieferbetriebe zu bewerten und die

wichtigsten Einflussgrößen auf diese zu ermitteln. Die Systemgrenzen umfassten räumlich die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche mit der gesamten für die landwirtschaftliche Produktion benötigte Infrastruktur (siehe *Abbildung 2*). Als zeitliche Abgrenzung gilt im allgemeinen das Kalenderjahr, bei Feldarbeiten am Acker aber die Zeitspanne zwischen den Ernten der Hauptfrüchte. Als funktionelle Einheiten wurden im Projekt 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und 1 kg PFCM verwendet.

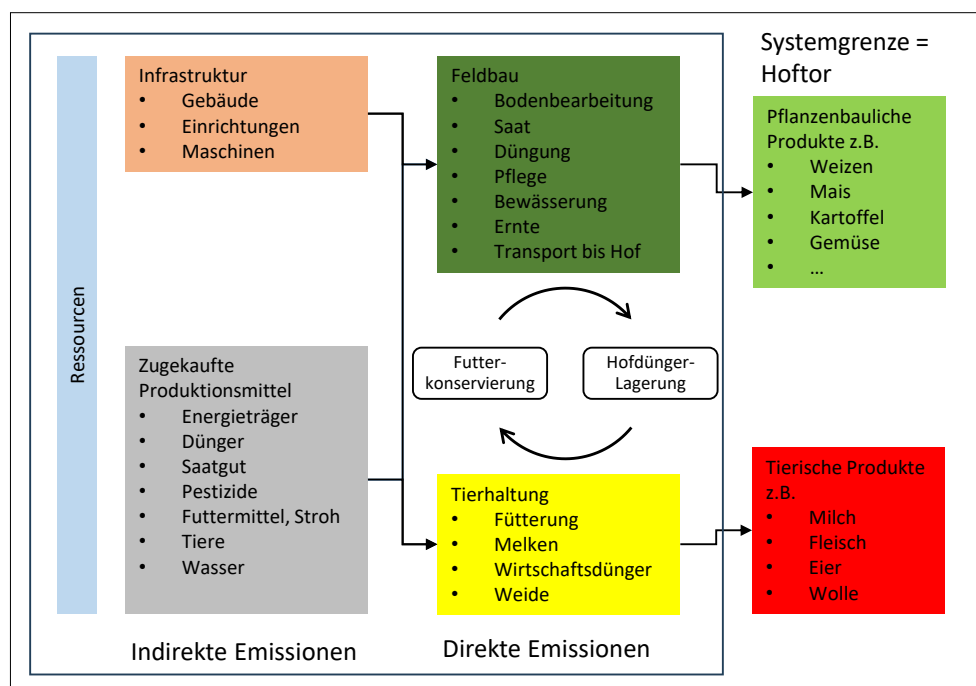


Abbildung 2: Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe (HERSENER et al. 2011)

2.3 Erweiterung LCA durch Bulletin 419/2015 IDF

Die International Dairy Federation (IDF) ist ein Zusammenschluss von Wissenschaftlern im Bereich der Milchwirtschaft der 39 größten Produktionsländern und repräsentiert gemeinsam $\frac{3}{4}$ der weltweiten Milchproduktion. Mit der Veröffentlichung des Bulletin 419/2015 hat die IDF einen eigenen, internationalen Standard für die Ökobilanzierung von Treibhausgasen erlassen. Der vollständige Originaltitel lautet: „A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology.“ 419/2015 orientiert sich, ebenso wie FarmLife, sehr eng an den aktuellen Normen der ISO 14000 Serie. Fachmodelle werden immer in aktueller Fassung verwendet. Für die Bewertung von Treibhausgasen ist das die Methode die mit dem sechsten Sachbestandsbericht veröffentlicht wurde. Die unter *Abbildung 2* dargestellten, grundlegenden, Bedingungen der Ökobilanzierung in FarmLife zeigen sich im Lichte von 419/2015 so:

- Die Forderung nach vollständiger Erfassung aller Ökoinventare wie in FarmLife gefordert, wird von 419/2015 nicht vollständig geteilt. Referenzierend auf PAS 2050 dürfen Inventare mit einer Wirkung von bis zu 1 %, in Summe aber nicht mehr als 5 %, weggelassen werden. FarmLife bleibt hier strenger als 419/2015.
- Der Bewertungsrahmen von 419/2015 umfasst sowohl die Erzeugung von Milch auf dem Bauernhof als auch die Weiterverarbeitung in der Molkerei. FarmLife schließt den Bewertungsrahmen, wie dargestellt, mit der abgelieferten Milch an der Hoftorgrenze. Diese Menge wird als Fett und eiweißkorrigierte Milch (FPCM) dargestellt. Die Bewertungsformel stimmt mit 419/2015 überein. Ebenso die Einheit kg. 419/2015 definiert damit die gleiche funktionelle Einheit wie FarmLife. FarmLife selber weitet die Liste der funktionellen Einheiten aber, wie ebenso bereits dargestellt, um die der Milchproduktion zuordenbare Fläche in ha aus.
- 419/2015 schließt die Bewertung von indirekten Emissionen aus der Nutzung von Maschinen und Gebäuden am Betrieb aus. Dem wurde hier Folge geleistet.
- 419/2015 sieht eine Allokation von Ökoinventaren in drei Schritten vor. FarmLife setzt alle notwendigen Allokationen bereits, wie idealerweise auch von 419/2015 vorgeschlagen, in Schritt 1 um. Im Originaltext fordert 419/2019 folgendes: „Aufteilung des zuzuordnenden Prozesses in zwei oder mehr Teilprozesse und Erfassung der Input- und Outputdaten für diese Teilprozesse und Erweiterung des Produktsystems um die zusätzlichen Funktionen im Zusammenhang mit den Nebenprodukten!“ In FarmLife wurden für den Teilbereich der Rinderhaltung die Teilprozesse Milch, Fleisch und Zucht definiert. Alle Ökoinventare wurden den biogenen oder sonstigen Stoffflüssen folgende nach dem Grundkonzept von FarmLife aufgeteilt. Alle zusätzlichen Funktionen wie die Remontierung und die gleichzeitige Produktion von Milchkälbern inklusive ihrer Tränke wurden berücksichtigt. Das vorliegende Projekt nimmt damit eine besondere Stellung in alle Ökobilanzierungsprojekten des IDF ein. Diese nutzen in aller Regel die Methode der Allokation bis Schritt 3 und verwenden eine einfache rechnerische Allokation.

Das normierte Vorgehen von FarmLife benötigt einige verallgemeinernden Schritte von 419/2015 nicht, schließt sich aber dem engeren Untersuchungsrahmen an und ist zu 100 % kompatibel.

2.4 Parameterbeschreibung und Inputgruppen

Das von der HBLFA Raumberg Gumpenstein verwendete Betriebsmanagement-Werkzeug FarmLife basiert auf dem Ökobilanzierungskonzept SALCA (GAILLARD und NEMECEK, 2009). Diese Methode umfasst für die Landwirtschaft relevante Umweltwirkungen in einer Midpoint-Wirkungsabschätzung, welche vorwiegend von den Methoden EDIP03 (HAUSCHILD und POTTING, 2005) sowie CML01

(GUINÉE et al. 2001) stammt. Im Folgenden sind die berücksichtigten Ressourcen und Umweltwirkungen aufgelistet (Detaillierte Beschreibung angepasst aus (BYSTRICKY et al. 2014a) siehe nachfolgend:

- Nicht erneuerbare Energie, fossil und nuklear (gemäß ecoinvent; (HISCHIER et al. 2010))
- Treibhauspotenzial (IPCC, 2001) without climate carbon feedbacks, without biogenic C
- Erwärmungspotenzial durch Treibhausgase (IPCC, 2001)
- Stickstoff-, Phosphoreintrag in Wasser (EDIP 2003)
- Terrestrisches Ökotoxizität (CML 2001)
- Aquatisches Ökotoxizität (CML01)
- Exergie, (ALVARENGA et al. 2013, BÖSCH et al. 2007)

Daneben werden weitere Umweltaspekte auf Stufe Sachbilanz betrachtet, da die in der Literatur beschriebenen Wirkungsabschätzungsmethoden, als für die Landwirtschaft wenig geeignet beurteilt wurden (NEMECEK et al. 2005). Die folgenden Sachbilanzergebnisse wurden aufgrund ihrer Relevanz für die landwirtschaftliche Produktion ausgewählt:

- Phosphorverbrauch SALCA (LCI)
- Flächenbedarf der Produktion gesamt (CML 2001)
- Abholzung für die Produktion (Differenz aus Umwandlung von und zu Waldflächen und Buschland gemäß ecoinvent-Kategorien; (HISCHIER et al. 2010))
- Verbrauch blaues Wasser (blue water; gemäß ecoinvent-Kategorien; (HISCHIER et al. 2010) und Gewichtung mit dem Wasserstress-Index nach (PFISTER et al. 2009))

Die Erfahrungen aus früheren Ökobilanzen für den Pflanzenbau (NEMECEK et al. 2011) und die Tierproduktion (ALIG et al. 2012, HERSENER et al. 2011) haben gezeigt, dass diese Ressourcen und Umweltwirkungen die Gesamtheit der in einer Ökobilanz berechneten Umweltwirkungen gut repräsentieren. Sie lassen sich in ressourcenbezogene, nährstoffbezogene und schadstoffbezogene Umweltwirkungen unterteilen.

2.4.1 Ressourcenbezogene Umweltwirkungen

2.4.1.1 Nicht erneuerbare Energie, Fossil und Nuklear

Entspricht dem Bedarf an nicht erneuerbaren Energieressourcen (Erdöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, Uran), welcher gemäß der Methodik von ecoinvent (HISCHIER et al. 2010) berechnet wurde. Er resultiert aus der Menge der verbrauchten Primärenergieträger jeweils multipliziert mit ihrem oberen Heizwert (Brennwert). Erneuerbare Energie (Solarenergie, Wasserkraft, Geothermie, Biomasse, etc.) wird dabei nicht berücksichtigt.

2.4.1.2 Phosphorverbrauch

Der Ressourcenbedarf an Phosphor wird auf Stufe Sachbilanz berücksichtigt und spiegelt den Bedarf an Rohstoffen für die Herstellung mineralischer Phosphordünger wider. Diese sind wie die nicht erneuerbaren Energieressourcen endlich und werden in absehbarer Zeit erschöpft sein.

2.4.1.3 Flächenbedarf der Produktion

Der Flächenbedarf wird gemäß der Methode CML01 (GUINÉE et al. 2001) auf Stufe Sachbilanz berücksichtigt. Es wird die ungewichtete Summe des Flächenbedarfs („land occupation“ als Fläche x Zeit) ermittelt. Die wichtigsten Flächenkategorien sind Ackerland, Grünland, Wald und Siedlungsflächen. Alle Flächenkategorien werden gleich bewertet, ihre unterschiedliche Bedeutung bezüglich Knappheit wird nicht berücksichtigt

2.4.1.4 Verbrauch blaues Wasser

Der Wasserbedarf (blue) wird auf Stufe Sachbilanz berücksichtigt. Ermittelt wird nur der Bedarf an sogenanntem „Blue Water“, also Süßwasser, das aus dem Grundwasser oder aus Oberflächengewässern entnommen wird. Dabei handelt es sich zwar um eine erneuerbare Ressource, diese steht aber nur limitiert zur Verfügung.

2.4.1.5 Abholzung für die Produktion

Die Abholzung wird auf Stufe Sachbilanz berücksichtigt. Betrachtet werden nur die Wald- und Buschflächen, weil bei diesen die für diese Studie relevantesten Veränderung zu beobachten sind (insbesondere Verlust von tropischen Wäldern). Dabei wird die Bilanz der „Umwandlung zu“ Waldflächen abzüglich der „Umwandlung von“ Waldflächen gemäß ecoinvent-Methodik gerechnet. Die Kategorie wird nur bei den tierischen Produkten ausgewiesen, wo durch den Einsatz von Soja, bzw. durch die Rindermast in Brasilien relevante Beiträge entstehen.

2.4.1.6 Exergie

Die Exergie ist ein Indikator für die energetische Qualität von Ressourcen. Die Exergie einer Ressource berücksichtigt die minimale Arbeit, die zur Bildung der Ressource erforderlich ist, oder die maximal erreichbare Menge an Arbeit, wenn die Komponenten der Ressource in ihren häufigsten Zustand in der natürlichen Umgebung gebracht werden. Kumulativer Exergiebedarf wird benutzt, um den gesamten Exergieentzug aus der Natur zur Bereitstellung eines Produkts (BÖSCH et al. 2007).

2.4.2 Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen

2.4.2.1 Stickstoffeintrag in Wasser

Der Stickstoffeintrag in Wasser wird gemäß der EDIP-Methode 2003 (HAUSCHILD und POTTING, 2005) berechnet. Es berücksichtigt Stickstoffemissionen

in die Luft, den Boden und das Wasser und spiegelt die Belastung aquatischer Systeme wider.

2.4.2.2 Phosphoreintrag in Wasser

Das Phosphoreintrag in Wasser wird gemäß der EDIP-Methode 2003 (HAUSCHILD und POTTING, 2005) berechnet. Es berücksichtigt Phosphoremissionen in die Luft, den Boden und das Wasser und spiegelt die Belastung aquatischer Systeme wider.

2.4.3 Klimawirkungsbezogenen Umweltwirkungen

2.4.3.1 Treibhauspotenzial GWP_{100}

Das Treibhauspotenzial wird gemäß der Methodik IPCC (2021) über einen Zeitraum von 100 Jahren gerechnet. Die Hauptemissionen sind Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4). Der aus der Flächenumwandlung freigesetzte Kohlenstoff wird mitgerechnet, da es sich um die Freisetzung langfristig gespeicherten Kohlenstoffs handelt. Hingegen wird biogener Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Pflanzen und Erzeugnissen nicht berücksichtigt, da sich dieser in einem Zyklus von wenigen Jahren befindet.

2.4.3.2 Temperaturänderungspotenzial GTP_{100}

Das Temperaturänderungspotenzial wird gemäß der Methodik IPCC (2021) über einen Zeitraum von 100 Jahren gerechnet. Es gibt die Wirkung der Emission eines Kilogramms einer Substanz auf die mittlere globale Temperatur am Ende einer bestimmten Zeitspanne an, im Vergleich zur Wirkung der Emission eines Kilogramms einer Referenzsubstanz. Als Referenzsubstanz (Referenzgas) wird normalerweise CO_2 verwendet; andere Substanzen können durch Multiplikation mit ihrem GTP in $kg\ CO_2$ -Äquivalente umgerechnet werden.

2.4.4 Schadstoffbezogenen Umweltwirkungen

2.4.4.1 Aquatische Ökotoxizität, Schwermetalle

Die aquatische Ökotoxizität wird gemäß der Wirkungsabschätzungsmethode CML01 (GUINÉE et al. 2001) berechnet und spiegelt die Wirkung von toxischen Substanzen auf aquatische Ökosysteme wider. **Hauptemissionen Schwermetalle:** Die Charakterisierungsfaktoren spiegeln das Verhalten der Wirkstoffe in der Umwelt (Abbau, Verlagerung, etc.) sowie die toxischen Wirkungen auf verschiedene Organismengruppen wider. Dabei handelt es sich um relativ einfache Wirkmodelle, welche ausschließlich auf den Eigenschaften der Wirkstoffe (physikalische und chemische Eigenschaften sowie Toxizitäten) basieren. Andere Faktoren wie Zeitpunkt und Technik der Ausbringung oder die Kultur werden vernachlässigt.

2.4.4.2 Terrestrische Ökotoxizität, Schwermetalle

Die terrestrische Ökotoxizität wird gemäß der Wirkungsabschätzungsmethode CML01 (Guinée et al. 2001) berechnet und spiegelt die Wirkung von toxischen Substanzen auf terrestrische Ökosysteme wider. **Hauptemissionen Schwermetalle:** Die Charakterisierungsfaktoren spiegeln das Verhalten der Wirkstoffe in der Umwelt (Abbau, Verlagerung, etc.) sowie die toxischen Wirkungen auf verschiedene Organismengruppen wider. Dabei handelt es sich um relativ einfache Wirkmodelle, welche ausschließlich auf den Eigenschaften der Wirkstoffe (physikalische und chemische Eigenschaften sowie Toxizitäten) basieren. Andere Faktoren wie Zeitpunkt und Technik der Ausbringung oder die Kultur werden vernachlässigt.

2.4.4.3 Aquatische Ökotoxizität, Pestizide

Die aquatische Ökotoxizität wird gemäß der Wirkungsabschätzungsmethode CML01 (GUINÉE et al. 2001) berechnet und spiegelt die Wirkung von toxischen Substanzen auf aquatische Ökosysteme wider. **Hauptemissionen Pestizide:** Die Charakterisierungsfaktoren der berücksichtigten Pestizide wurden durch Agroscope gegenüber der ursprünglichen Publikation von (GUINÉE et al. 2001) wesentlich erweitert und neu berechnet (HAYER et al. 2010). Die Charakterisierungsfaktoren spiegeln das Verhalten der Wirkstoffe in der Umwelt (Abbau, Verlagerung, etc.) sowie die toxischen Wirkungen auf verschiedene Organismengruppen wider. Dabei handelt es sich um relativ einfache Wirkmodelle, welche ausschließlich auf den Eigenschaften der Wirkstoffe (physikalische und chemische Eigenschaften sowie Toxizitäten) basieren. Andere Faktoren wie Zeitpunkt und Technik der Ausbringung oder die Kultur werden vernachlässigt.

2.4.4.4 Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide

Die terrestrische wird gemäß der Wirkungsabschätzungsmethode CML01 (GUINÉE et al. 2001) berechnet und spiegelt die Wirkung von toxischen Substanzen auf terrestrische Ökosysteme wider. **Hauptemissionen Pestizide:** Die Charakterisierungsfaktoren der berücksichtigten Pestizide wurden durch Agroscope gegenüber der ursprünglichen Publikation von GUINÉE et al. (2001) wesentlich erweitert und neu berechnet (HAYER et al. 2010). Die Charakterisierungsfaktoren spiegeln das Verhalten der Wirkstoffe in der Umwelt (Abbau, Verlagerung, etc.) sowie die toxischen Wirkungen auf verschiedene Organismengruppen wider. Dabei handelt es sich um relativ einfache Wirkmodelle, welche ausschließlich auf den Eigenschaften der Wirkstoffe (physikalische und chemische Eigenschaften sowie Toxizitäten) basieren. Andere Faktoren wie Zeitpunkt und Technik der Ausbringung oder die Kultur werden vernachlässigt.

2.4.5 Inputgruppen

Damit ein Landwirtschaftsbetrieb Milch produzieren kann, braucht er Infrastruktur und eine Reihe von Produktionsmitteln. Diese werden zur besseren Übersicht in sogenannte Inputgruppen zusammengefasst. Durch die Analyse der Inputgruppen zu den jeweiligen Umweltwirkungen lassen sich der Handlungsbedarf für eine

ökologische Optimierung sowie Optionen zur Verbesserung der Umweltwirkung ableiten. Inputgruppen mit einem hohen Anteil an der gesamten Umweltwirkung zeigen daher die Bereiche der Betriebe an, bei denen Optimierungspotenzial besteht. In der *Tabelle 2* wird die Einteilung dargestellt, wie sie für die Auswertung verwendet wird.

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Inputgruppen (HERNDL et al. 2016)

Inputgruppe	Betrachtete Prozesse
Gebäude, Einrichtungen	Bereitstellung der Gebäude und Einrichtungen (Infrastruktur)*
Maschinen	Bereitstellung der Maschinen*
Energieträger	Bereitstellung und Einsatz von Energieträgern als Treib- und Brennstoffe (Diesel, Strom, Heizöl, Erdgas, etc.) auf dem Betrieb
Dünger, Feldemissionen	Herstellung von Mineraldüngern sowie direkte Feldemissionen bei der Ausbringen von Mineral- und Hofdüngern auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche
Pflanzenschutzmittel	Herstellung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie deren direkte Feldemissionen bei und nach der Ausbringung
Saatgut (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Saatgut
Kraftfutter (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Kraftfutter
Grundfutter (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Grundfutter
Tiere (Zukauf)	Aufzucht von zugekauften Tieren
Tierhaltung	Emissionen der Tiere auf dem Betrieb, welche bei der Verdauung, im Stall, auf der Weide sowie bei der Hofdüngerlagerung entstehen
Weitere Inputs	Herstellung von weiteren Produktionsmitteln wie Silofolie, Vogelschutz, Vliese, Schmierfette, etc. sowie Bereitstellung von Leitungswasser

2.5 Datenaufbereitung und statistische Analysen

Einführend zu diesem, wissenschaftlichen wesentlichem Kapitel darf das Ziel aus 1.3.1 in Erinnerung gerufen werden. Es lautet: „Bereitstellung einer gesamtheitlichen Umweltbewertung für alle Milchviehbetriebe in Österreich!“ Diese Forderung wird in der Art erfüllt, als von den 344 in FarmLife (Umweltbewertungssystem bzw. Betriebsmanagement-Tool) bewerteten Betriebe mathematische Funktionen abgeleitet werden, die dann auf alle Betriebe in Österreich anwendbar sind. Aus der sicheren Lernstichprobe wird dann auf alle Elemente der Grundgesamtheit geschlossen. Ein Verfahren, das bei der Erstellung von Prognosen bei Vorhersageprozessen angewandt wird. Idealerweise äußert sich die Grundgesamtheit nachträglich zur Prognose (Wahlergebnis, Verkaufszahlen von Produkten, usw.) und die Funktionen und Elemente der Prognose können iterativ verbessert werden. Die Nutzung einer Kreuzvalidierung ist angebracht. Es muss klar sein, dass die Schätzer der Prognose für jedes Element der Grundgesamtheit bekannt sein müssen. Zusätzlich müssen die Schätzer robust sein und als natürliche Elemente bei der Beschreibung der Grundgesamtheit vorkommen. Das bedeutet, dass der wissenschaftlichen Neugier zum Teil ein Riegel vorgeschoben wird. Natürlich erklären Input-Daten der betrieblichen Stoffflüsse, wie der Ertrag der eigenen Felder, Menge und Art von zugekauftem Kraftfutter, die auf dem Feld verwendeten Dünger und Pflanzenschutzmittel usw. die Output-Daten sehr gut, sie sind aber für die Prognose nicht verfügbar. Genutzt kann nur werden, was langfristig und verlässlich an Daten zur Verfügung steht und was auch wesentlich für die Bewertung ist. Das sind in unserem Falle alle Informationen über die Betriebsflächen aus der INVEKOS-Tabelle L037 (Flächen), die Managementinformation der biologischen Landwirtschaft (Tabelle E001), die Rinderdatenbank mit der Anzahl der Milchkühe im Beobachtungsjahr (Tabelle L048) und die an die Molkerei abgelieferte Milchmenge der einzelnen Betriebe (Tabelle L014).

Zur Information für die Wissenschaft: Natürlich kann aus der bereits hohen Anzahl von 344 Ökobilanzen von Milchviehbetrieben viel mehr herausgelesen werden als ein einfaches Prognosemodell. Das wird auch in einer eigenen Publikation geschehen, ist aber in diesem Bericht, der sich der Prognose widmet, nicht das Ziel.

2.5.1 Selektion

Zur Selektion der 344 Betriebe wurde bereits folgendes berichtet: Können Betriebe überhaupt ernsthaft für die umfassende Erstellung einer Ökobilanz gewonnen werden, so scheitern trotz guter Betreuung 46 % am Prozess. Grundsätzlich (technisch) erfolgreiche Betriebe sind zusätzlich einer Prüfung im Hinblick auf ihre Stellung in der Grundgesamtheit zu unterziehen. Der Begriff Ausreißer wird hier ganz bewusst vermieden, weil Ausreißer einer numerischen Definition des Streuverhaltens sind, während hier eher Abweichungen im Rahmen der Systemdefinition beobachtet werden. Zu den verwendeten Selektionskriterien zählen die Art der Umsetzung des Datenerfassungskonzeptes am Betriebe, der Forschungsgruppe bekannte Anomalien die sich aus naturwissenschaftlichen

oder anderen Gründen ergeben haben und Abgrenzungsprobleme im Sinne der allgemeinen Definition eines Milchviehbetriebes in Österreich.

2.5.2 Klassifikation

Aufbauend auf den bereits erwähnten INEKOS-Tabellen wurden folgende Klassen für die Erstellung eines Prognosemodells vorbereitet:

2.5.2.1 Das Management (M)

Die Auflistung der Ergebnisparameter in 2.4 macht klar, dass bei einigen Parametern eine Differenzierung der Lieferbetriebe hinsichtlich ihres grundlegenden Betriebsmanagement unbedingt in Bedacht gezogen werden muss. Dabei kann zwischen konventionellen (Kon) und biologisch (Bio) geführten Betrieben unterschieden werden.

2.5.2.2 Der Standort des Betriebes (S)

Von ganz allgemeiner Natur ist der ebenfalls unbestrittene Einfluss des betrieblichen Standortes auf seine Umweltbeziehung. Ein hohes natürliches Potenzial an pflanzenbaulichen Erträgen (z.B. durch gute Grünlanderträge oder der Möglichkeit zur Produktion von Feldfutter) nützt der „Economie of Scale“, weil höhere Stückzahlen besser auf Grundlasten verteilt werden können. Ein hohes natürliches Potenzial an Nährstoffdichten (z.B. der Anbau von Futtergetreide) hilft den Betrieben bei der Bereitstellung eigener Betriebsmittel und beeinflusst oft auch die Leistungsziele. Kulturen wie der Silomais beeinflussen in der Milchviehhaltung beide Aspekte. Beide Aspekte, der Ertrag und die Nährstoffdichten, sind in der Klassifikation von Schlagnutzen der Tabelle L037 gekapselt. Im Untersuchungsjahr 2022 waren 215 verschiedenen Schlagnutzungstypen in Verwendung. Diese wurden für das zu entwickelnde Modell in diese drei Standorttypen umgewandelt:

- Tal: Betriebe, die ungeachtet ihrer tatsächlichen Lage in Österreich, mindestens 16,4 % ihrer Fläche dem Anbau von Getreide widmen können. Als Getreide werden dabei alle Getreidearten in ihrer Sommer- und Winterform, alle Mischtypen mit anderen Kulturen und der Anbau von Körnermais und CCM bezeichnet, wobei die typischen Schlagnutzungen der direkten menschlichen Nutzung ausgeschlossen wurden.
- Hügel: Betriebe, die kein oder weniger als 16,4 % Getreide anbauen oder einen Silomaisanteil + Feldfutter über 23,9 % aufweisen können.
- Berg: Alle anderen Betriebe ungeachtet der sonstigen Schlagnutzungsstruktur.

Die Grenzwerte für die drei verschiedenen Standortklassen wurden über die Wendepunkte der Dichtekurven der grundlegenden Schlagnutzungen in Kombination mit einem kartographischen Modell unter Einbeziehung nationaler Produktionsgebiete entwickelt (GUGGENBERGER et al. 2012). Vor allem der zweite Einflussbereich kann in *Abbildung 1* beobachtet werden.

Die Reduktion der Einflussgröße STANDORT auf die Schlagnutzungsinformation scheint auf den ersten Blick viel zu schwach zu sein um landwirtschaftliche

Schätzungen vorzunehmen. Das wären sie auch, wenn wir etwa Ertragspotenzial, sinnvolle Besatzdichten, richtige Leistungen usw. schätzen möchten. Das ist hier aber nicht notwendig. Wie Kapitel 2.4 zeigt, spielt der Zukauf von Futtermitteln, vor allem von Getreide in vielen Umweltwirkungen eine hohe Rolle. In Gebieten mit dem größten Differenzierungspotenzial, dem Berggebiet, differenziert sich aber nur der Ertrag und nicht die Nährstoffdichte. Wer als kaum Getreide füttern will, der kann aus dem Grundfutter auf jedem Standort pro Kuh vielleicht 4.500 kg FPCM an die Molkerei abliefern. Kann man viermal mähen können vielleicht 1,5 Kühe pro ha gefüttert werden, bei zwei Schnitten vielleicht nicht einmal eine Kuh. Wer aber 7.000 kg FPCM liefern will, der muss die Nährstoffkonzentration der Ration verdichten und Ackerfutter zukaufen. Dadurch werden eine ganze Reihe von Umweltwirkungen ausgelöst. Diese Schlüsselinformation ist bekannt, weshalb die Interaktion der Standortdefinition mit der Milchleistung der Kühe eine große Rolle spielt.

2.5.2.3 Die Milchlieferleistung der Kühe (LL)

Dieser Wert beruht auf der jährlichen Abliefermenge des Betriebes an die Molkerei inklusive aller zusätzlich bekannter Lieferquellen. Nicht bekannte Lieferquellen können nicht berücksichtigt werden. Sollte dieser Wert am Betrieb sehr hoch sein (z.B. eigene Vermarktung, Käseherstellung, ...) wird eine sehr geringe Lieferleistung pro Kuh errechnet. Da das Prognosemodell innerhalb von Leistungsschranken definiert wird, gilt für alle Betriebe ein Mindestpotenzial von 4.500 kg FPCM pro Kuh und Jahr. Dieses Problem ist häufig und betrifft 12,5 % der Betriebe. Als oberer Schranke wurden 14.000 kg FPCM definiert. Eine Korrektur betrifft nur 61 der insgesamt 23.418 Lieferbetriebe im Jahr 2022. Die pro Kuh berechnete Abliefermenge wurden zusätzlich in Lieferleistungsklassen mit einer Klassenbreite von 500 kg FPCM pro Kuh und Jahr eingeteilt. Die unterste Klasse sammelt alle Werte bis 5.000 kg FPCM die oberste alle über 9.000 kg FPC. Insgesamt wurden 10 Klassen definiert.

2.5.2.4 Die Molkerei (MO)

Das Projekt FarmMilk verfolgt das Ziel eine österreichische Aussage zur Umweltbewertung von Liefermilch zu entwickeln. Das ist strategisch bedeutend, weil die Kommunikation zwischen Konsumierenden und Produzierenden im Inn- und vor allem im Ausland zuerst das Lebensmittel betrifft. Da Milch aber auch in Marken differenziert wird, interessieren sich die teilnehmenden Molkereien für die eigenen Ergebnisse um diese, je nach Ergebnis, für die eigene Markenbotschaft zu nutzen. Für dessen Erstellung wurde die Molkerei über die Klientennummer des INVEKOS-Datensatz L014 in die Daten eingebunden. Es muss schon hier, vor der Modellbildung, angemerkt werden, dass MO eine individuelle Anwendung des statistischen Modells benötigt, weil die Klasse eine gemeinsame Gruppierung der anderen Faktoren ist. Deshalb steht die Klasse in Klammer.

2.5.3 Modelle

Die Verwendung nicht linearer Modelle kann wegen der fehlenden Beziehung zu Wachstums- oder Schrumpfungsfunktionen ausgeschlossen werden, im Bereich der linearen Modellierung bietet sich die Verwendung des im landwirtschaftlichen Bereich oft üblichen General Linear Model (GLM) an. GLM erklärt gesuchte Größen (abhängige Variablen) unter Verwendung von (diskrete) fixe Klassen (qualitative Faktoren) und/oder stetige Kovariablen (quantitative Faktoren) unter den im Bewertungsmodell festgelegten Bedingungen. In aller Regel setzte dieses Modell eine modelltypische Verteilung der Daten voraus. Dies ist gut verständlich, weil die Bewertung der Schätzgrößen über die Varianz aller Daten im Modell geführt wird und starke Abweichungen von der vorgesehenen Verteilung massiv über bzw. unterbewertet werden.

Allgemeine Formulierung des Basis-GLM

$$y_{ijkl} = \mu + M_i + S_j + LL_k + (MO_l) + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei

y_{ijkl} = Beobachtungswert der abhängigen Variable aus Kapitel 2.4

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

M_i = fixer Effekt des Managements (Konventionell, Bio)

S_j = fixer Effekt des Standortes (Berg, Hügel, Tal)

LL_k = variabler Effekt der Milchlieferleistung oder fixer Effekt der Milchlieferleistung ([4.500,14.000] oder 10 Klassen)

MO_l = fixer Effekt der Molkerei im eignen Untersuchungsdurchlauf

ε_{ijkl} = Nicht erklärter Rest der Streuung

Es zeigt sich rasch, dass die fixe Klasse des Managements nicht generell verwendet werden kann. Sie führt dort, wo die Regel der biologischen Landwirtschaft keine Umweltwirkungen auslösen (z.B. P-Düngung, Pestizide) zu einer binären Datenverteilung und zeigen sich bei normalen, stofflichen Verteilungen (z.B. Potenzielle Treibhausgase GWP_{100}) nur dann als signifikant im Modell, wenn LL aus dem Model genommen wird. Deutlicher: Der Unterschied zwischen den Managementsystemen entzieht sich dem GML gelegentlich. Kann das Modell gültig definiert werden, dann erklärt die Milchlieferleistung pro Kuh die Situation besser als die Klasse. Konsequenz: M wird aus dem Modell entfernt und durch Regeln bei der Anwendung des Ergebnisses auf alle Betriebe in Österreich ersetzt. Zusätzlich wurde aus dem Grund einer besseren Dynamik bei der Erklärung LL als stetige Variable definiert.

Anpassung

$$y_{ij} = \mu + S_i + LL_j + (S_i \times LL_j) \varepsilon_{ij} \rightarrow \text{Regelbasierte Anwendung des Ergebnisses auf M}$$

wobei

y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable aus Kapitel 2.4

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

S_i = fixer Effekt des Standortes (Berg, Hügel, Tal)

LL_j = variabler Effekt der Milchlieferleistung [4.500,14.000]

$S_i \times LL_j$ = Wechselwirkung zur Definition individueller Regressionen

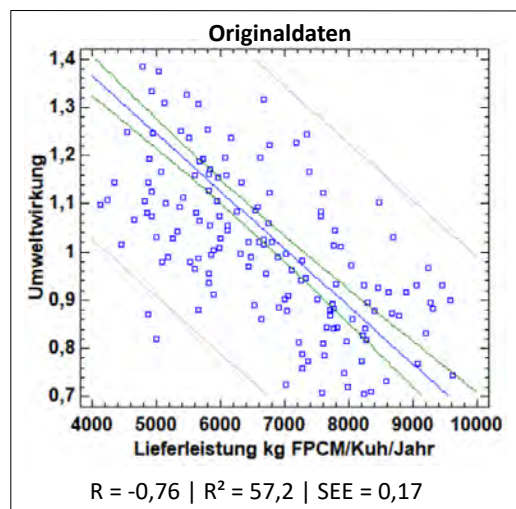
ε_{ijk} = Nicht erklärter Rest der Streuung

Das Ergebnis des angepassten Modells kann in ein Gleichungssystem umgewandelt werden wobei folgende Matrix gilt:

Formel 1: Bewertungsmatrix für die Prognose von Umweltwirkungen auf Milchviehbetrieben in Österreich

$$\begin{bmatrix} y_{Berg} \\ y_{Hügel} \\ y_{Tal} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{Berg} * LL_{Berg} \\ k_{Hügel} * LL_{Hügel} \\ k_{Tal} * LL_{Tal} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_{Berg} \\ d_{Berg} \\ d_{Berg} \end{bmatrix} \quad \text{wenn Parameter aus 2.4 in M=Bio anwendbar, sonst 0}$$

Abbildung 3: Einfache Regression der Originaldaten



Im iterativen Durchlauf der Modellentwicklung zeigt sich dieses Vorgehen als praktikabel, aber noch nicht ausreichend robust. Das zugrundeliegende Material der 344 FarmLife-Betriebe war im Hinblick auf die bedeutende Variable der Milchlieferleistung nicht ganz gleich verteilt (Standard Wölbung=2,15 | Standard Schiefe=1,1) Wir haben in der unteren Leistungshälfte etwas höhere Betriebsanzahlen mit einer höheren Streubreite als in der oberen Leistungshälfte (siehe *Abbildung 3*).

Die linearen Einzelmodelle werden so in ihrem Ausgangsniveau überproportional stark im unteren Bereich gebunden und entwickelten gelegentlich ihre Geradegleichung durch Extremwerte in oberen Bereich unverhältnismäßig stark/schwach. Weil dieses Problem auch nicht mit einer robusten Regression gelöst werden kann, wurde ein anderer, sehr einfacher Ansatz gewählt: Alle Ergebnisse der Umweltbewertung eines Betriebes wurden mit allen anderen Betrieben in der gleichen Lieferleistungsklasse zu einem einzigen Wert über die Lieferleistung der einzelnen Betriebe quantitativ gruppiert (gewichtet) (siehe *Formel 2* bzw. *Abbildung 4*). Diese Maßnahme eliminiert das Problem der

Ausgangssituation und steigert die Robustheit des bereits besprochenen Modells. Das alle Qualitätsparameter von *Abbildung 3* und *Abbildung 4* stark angestiegen sind drückt nicht aus, dass sich die Schätzgerade deutlich verbessert hat, sondern ist das Ergebnis der Reduktion der Streuung durch die quantitative Gruppierung der Daten. Deshalb werden die ursprünglichen Streuungsmaße im Ergebnis mit angegeben.

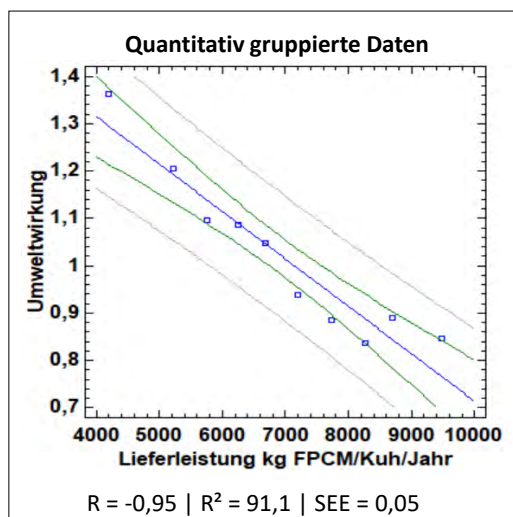


Abbildung 4: Einfache Regression der quantitativ gruppierten Daten

Für die quantitative Gruppierung wurde folgender Algorithmus genutzt; Für alle Gruppierungsschlüssel *s* wird *Formel 2* für die Umweltwirkungen pro kg FPCM angewandt. Der Algorithmus summiert für jedes Element *s* im Schlüssel die betriebliche Summe einer Umweltwirkung die sich aus der Gesamtliefermenge des Betriebes (Anzahl Kühe x Lieferleistung pro Kuh) mal der Umweltwirkung pro kg FPCM ergibt. Das Produkt wird durch die Summe der Gesamtlieferleistung geteilt. Die Betriebsgröße geht so im richtigen Verhältnis in das Gesamtergebnis ein.

Formel 2: Formel zur Berechnung der quantitativen Gruppierung

$$FPCM_{\text{Schlüssel}} = \frac{\sum_{s=1}^{s=\text{max}} \text{Gesamtlieferleistung} * \text{Umweltwirkung}_{\text{kg FPCM}}}{\sum_{s=1}^{s=\text{max}} \text{Gesamtlieferleistung}}$$

Die Rohdaten wurden von Ausreißern befreit und quantitativ gruppiert. Mit zwei Klassen (Standorttyp, Bio/Kon) und der variablen Größe der Lieferleistung pro Kuh werden eine GLM umgesetzt. Dieses wurden in ein Prognosemodell mit 42 Schätzgleichungen umgewandelt.

2.5.4 Anwendung auf allen Milchlieferbetriebe in Österreich

Die Anwendung des aus den FarmLife-Betrieben extrahierte Prognose-Konzept in *Formel 1* ist simpel. Als Ausgangsdatensatz dient INVEKOS-L014, das ist die Information über die an eine Molkerei geliefert Milch. Aus dieser Tabelle lassen sich zwei primäre Verbindungs- bzw. Bewertungsschlüssel extrahieren. Der erste Schlüssel ist die LFBIS-Nummer des landwirtschaftlichen Betriebes, die in allen anderen INVEKOS -Datensätzen ebenso verwendet wird. Der zweite Schlüssel ist die Molkereinummer. Wir verwenden diese in anonymer Form und mit dem Abschluss des Projektes qualitative Informationen für einzelnen Molkereien so aufzubereiten, dass diese für die eigene Entwicklung verwendet werden kann. Für alle landwirtschaftlichen Betriebe wird nun:

1. der Standorttyp S aus der INVEKOS -Tabelle L037 festgelegt.
2. die Lieferleistung einer Kuh aus der Beziehung zwischen den INVEKOS -Tabellen L014 und L048 berechnet.
3. die Information über die Managementform (Konventionell/Bio) aus der INVEKOS -Tabelle E001 zugeordnet.

Der Datenaufbau konnte für das Untersuchungsjahr 2022 bei 23.418 Milchlieferbetrieben in Österreich umgesetzt werden. Für alle Betriebe wurden alle Formeln aus 3.1.5 berechnet und zur Weiterverarbeitung in einer relationalen Datenbank bereitgestellt. Die Umweltwirkungen werden für beide funktionellen Einheiten (FPCM und ha) jeweils pro kg bzw. pro ha ausgedrückt. Da sich die einzelnen Betriebe in ihrer Gesamtlieferleistung bzw. Größe signifikant unterscheiden, wurde für die weiterführende Aggregation der Daten wieder das Konzept der quantitativen Gruppierung angewandt. Dafür wurden einige Gruppierungsschlüssel definiert. Diese sind

- a.) alle Betriebe in Österreich (Ergebnisse in diesem Dokument),
- b.) alle konventionellen bzw. biologischen Betriebe in Österreich (Ergebnisse in diesem Dokument),
- c.) alle Betriebe einer Molkerei (vertiefende Ergebnisse in individuellen Molkereiberichten) und
- d.) alle konventionellen bzw. biologischen Betriebe einer Molkerei (vertiefende Ergebnisse in individuellen Molkereiberichten).

Alle Aussagen über Umweltwirkungen die zu einem der eben aufgezählten Schlüssel gemacht werden, benötigen einen besonderen Zugang zur Aufbereitungen von Ergebnissen. Die übliche Methode wäre die Veröffentlichung einer zentralen Zahl die von einem Streuungswert begleitet wird. Beispiele dazu:

- Das arithmetische Mittel der Lieferleistung einer Kuh im Wirtschaftsjahr 2022 beträgt für alle Lieferbetriebe in Österreich 6.309 kg FPCM \pm 1.407 kg FPCM.
- Der Median der Lieferleistung einer Kuh im Wirtschaftsjahr 2022 beträgt für alle Lieferbetriebe in Österreich 6.115 kg FPCM \pm 1.407 kg FPCM.
- Das statistische Modell X berechnet als Modellmittelwert für die Klasse Y den Wert Z \pm z.
- usw.

Alle sehr üblich, aber wegen der Notwendigkeit der quantitativen Gruppierung nicht besonders sinnvoll. Für nationale oder internationale Vergleiche von Produktionsmengen sollen nicht die Einzelbetriebe untersucht werden, sondern die Umweltwirkungen in Abhängigkeit der Mengenverteilung.

Das Prognosemodell von 42 Schätzgleichungen wird unter Verwendung von 4 Verwaltungsdatensätzen aus dem INVEKOS für jeden Milchviehbetrieb in Österreich angewandt. Die Milchviehbetriebe können zu Untersuchungsgruppen zusammengefasst werden.

2.5.5 Verteilungsanalyse als Endergebnis

Diese Mengenverteilung kann vergleichsweise einfach erarbeitet werden, indem die einzelnen Umweltwirkungen aller Betriebe pro funktioneller Einheit aufsteigend sortiert werden. Die Betriebe werden nun der Reihe nach in einer Schleife durchlaufen, wobei die Gesamtmilchmenge aller Betriebe bis zum jeweils aktuellem Datensatz addiert werden. Schon vorab wurden Mengen für potenziell interessanten Beobachtungsgrenzen in Abhängigkeit des verwendeten Schlüssels festgelegt. Werden diese Grenzmengen erreicht, dann wird der aktuelle Wert der Umweltwirkung und die Art der Beobachtung gespeichert. Folgende Beobachtungswerte, allesamt Eigenschaften jeder Datenverteilung wurden erfasst: Umweltwirkung bei 10 %, 25 %, 33 %, 50 %, 66 %, 75 % und 90% der Milchmenge. Alle Informationen werden graphisch dargestellt.

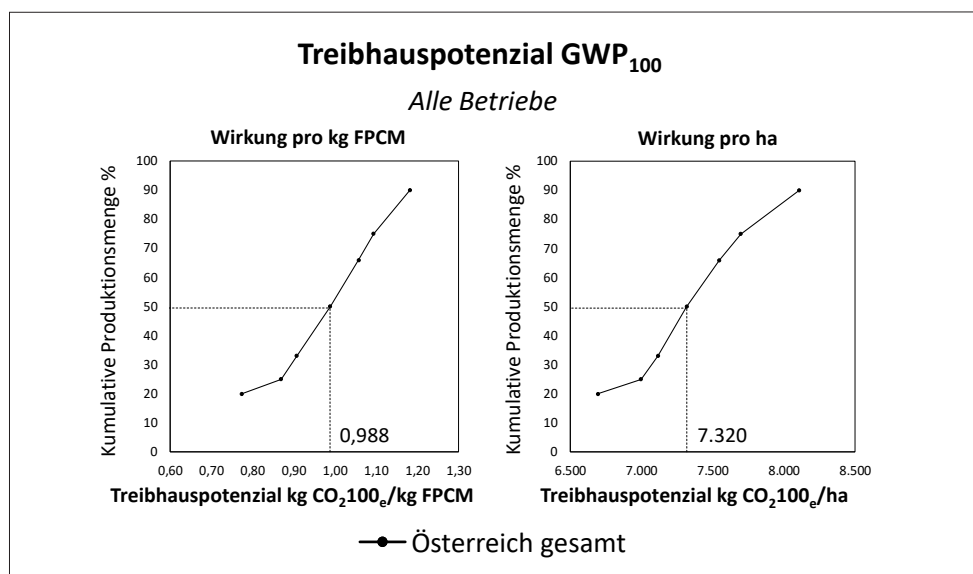


Abbildung 5: Umweltwirkungen an den Beobachtungsgrenzen der Verteilung

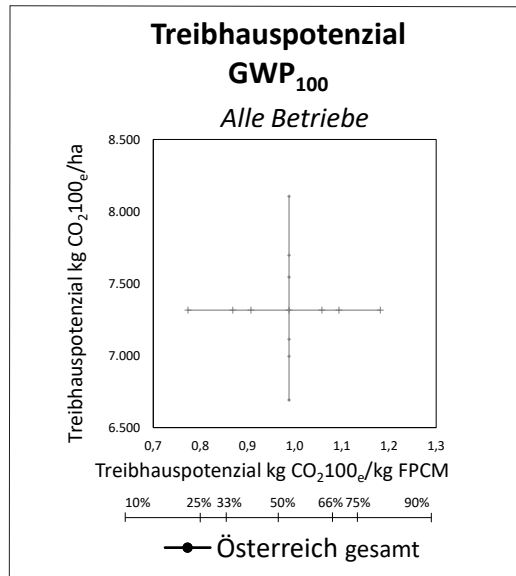
2.5.5.1 Umweltwirkungen an den Beobachtungsgrenzen der Verteilung

Abbildung 5 zeigt das eben beschriebene Verfahren graphisch. Die Beziehungslinie zwischen den Umweltwirkungen (auf der X-Achse) und den kumulierten Produktionsmengen in % (auf der Y-Achse) wird in schwarzer Farbe dargestellt. Die Punkte auf der Line sind von unten nach oben die bereits genannten Beobachtungswerte. Besonders hervorgehoben ist jener Moment, in dem 50 % der Gesamtmilchmenge erreicht werden. An diesem Punkt herrscht jenes Mengengleichgewicht, das wir immer verwenden sollten, wenn wir von Umweltwirkungen eines Landes, eines Produktionssystems, eines Unternehmens usw. sprechen. Im Hinblick auf das Treibhauspotenzial GWP₁₀₀ nach IDF wird in *Abbildung 5* z.B. genau ein Wert von 0,988 kg CO₂e/kg FPCM oder ein Wert von 7.320 kg CO₂e/ha erreicht. Die nationale Abbildung bildet zugleich jene Referenz in die alle anderen Gruppierungsschlüssel eingezeichnet werden können.

2.5.5.2 Verteilung der Daten beider funktionellen Einheiten

Aus den jeweils auf der X-Achse festgelegten Umweltwirkungen pro funktioneller Einheit lässt sich ein zweidimensionales Box-Plot erstellen. Dieses zeigt auf

Abbildung 6: Beziehungen zwischen den funktionellen Einheiten



der Linie einer funktionellen Einheit die Unterteilungen in die sieben genannten Beobachtungsgrenzen, wobei die Linie im Hinblick auf die zweite funktionelle Einheit beim Wert 50 % liegt. Abbildung 6 zeigt uns wieder das Treibhauspotenzial GWP_{100} pro kg FPCM auf der X-Achse mit einem Kernbereich zwischen 0,75 und 1,25 kg CO_2e/kg FPCM, ergänzt nun auf der Y-Achse die funktionelle Einheit ha mit einem Wertebereich zwischen 6.600 kg CO_2e/ha und 8.100 kg CO_2e/ha . Die Abbildung ist auf beiden Achsen symmetrisch, weil der gewählte Parameter kontinuierlich in allen Prozessen der Milchviehbetriebe vorkommt. Das ist nicht bei allen Umweltwirkungen so. Achtung: Diese Abbildung dient nicht der Darstellung von Beziehungen zwischen den funktionellen Einheiten, sondern zeigt lediglich die Datenverteilung in einem zweidimensionalen Boxplot! Diese Art der Darstellung wird in diesem Bericht nicht weiter besprochen, aber die Ergebnisse werden im Anhang eingegliedert.

2.6 Entwicklung des Konzeptes der Standortgerechten Landwirtschaft

Zur Methodik der Entwicklung landwirtschaftlicher Produktionssysteme wird nur kurz berichtet. Den Ausgangspunkt bildet die Feststellung, dass die Neudefinition eines Produktionssystems wie der Milcherzeugung weder möglich noch notwendig ist. Bedeutend ist aber, dass die Lebensmittelproduktion in der freien Marktwirtschaft begleitet und gesteuert werden muss. Der wesentliche Grund ist der bereits in Eingangsstatement dargestellte Konflikt zwischen individuellen Produktionszielen eines einzelnen bäuerlichen Betriebes und den Regeln der Marktwirtschaft im Hinblick auf Quantität (Preisbestimmung) und Qualität (Produktionsregeln). Idealerweise findet sich ein Equilibrium auf hohem Niveau. Der Betriebszweig Weinbau kann hier als Vorbild genannt werden. Dieser Zweig hat viel in Qualität investiert, regelt aber auch die Mengen sehr streng. Ein Weinbaubetrieb ist vor allem auf seine eigenen Trauben angewiesen. Ein Zukauf ist streng geregelt. Dieses Vorbild sollte im Grunde auf alle Betriebszweige in Österreich übertragen und in der Form der Standortgerechten Landwirtschaft implementiert werden. Dafür leistet die Forschungsgruppe Ökoeffizienz der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durch die Umweltbewertung einen Beitrag zur Definition von Qualitätsbegriffen der sich in die Ökonomie weiter entwickeln kann. Am Ende werden es aber viele kleine Beiträge aller Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette gewesen sein, wenn vor allem die konventionelle Landwirtschaft ein neues, nachhaltigeres Produktionsmodell erreicht hat.

2.7 Methoden der Kritik an der Wirkungsabschätzung von Treibhausgasemissionen

Weil die Frage der Klimaerwärmung und des Klimaschutzes so zentral sind, dass sie bereits in die Produktionskonzepte eingreifen, wird diese Umweltwirkung von allen genau beobachtet. Für alle wirtschaftlichen Sektoren außerhalb der Landwirtschaft steht diese Frage stellvertretend für eine vollständige Transformation von fossilen zu erneuerbaren Energiequelle. Was diese Wandlung volkswirtschaftlich bedeutet ist in einem Land wie Österreich mit sehr hohen fossilen Energieinputs rasch erklärt: In der Liste der Wirtschaftsleistung pro Einwohner findet sich Österreich global auf Rang 15, ebenso auf der Liste der Klimalasten pro Einwohner. Energienutzung ist damit gleich Wohlstand, Energiemangel führt zum Ende des Wohlstandes. Dies gilt auch für die Nutzung fossiler Energie durch die Landwirtschaft. Allerdings steht diese, vor allem aber die Milchwirtschaft, in der Kritik das Klima durch kurzlebige Treibhausgase wie Lachgas und Methan zusätzlich zu erwärmen. Ob dieser Aspekt einer finalen Wirkungsanalyse standhält, wurde parallel zum Projekt FarmMilk in einer eigenen Arbeit untersucht. Diese trägt den Titel „Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich“. Methodisch reproduziert diese Arbeit die biochemischen und biophysikalischen Prozesse von Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre (GUGGENBERGER et al. 2021). Bestätigte Wirkungen werden mit einem dynamischen Modell von Emissionsmengen aus dem Zeitraum zwischen 1750 und 2100 verbunden. Als Ergebnis liefert die Arbeit das Verhalten des Strahlungsantriebes, also der tatsächlichen physikalischen Arbeit, in der Atmosphäre. Für deren Diskussion wurden zwei Parameter zur Treibhausgasbewertung in die Parameterliste dieser Arbeit aufgenommen. Das sind das Treibhauspotenzial (GWP_{100}) und das Temperaturänderungspotenzial (GTP_{100}).

3 Ergebnisse zur Umweltbewertung der österreichischen Milchwirtschaft

3.1 Ergebnisse der FarmLife-Betriebe

3.1.1 Das Betriebsnetz FarmLife Milchviehbetriebe

Ausgehend von *Abbildung 1* am Beginn dieser Arbeit soll die Beschreibung des Betriebsnetzes der FarmLife-Milchviehbetriebe mit einer räumlichen Beschreibung beginnen: Es sind die Alpen, die den Standorttyp Berg erzwingen. Milchviehbetriebe zwischen Feldkirch und Purkersdorf nutzen ebenso wie alle Betriebe zwischen Lamprechtshausen und Hermagor als Grundfutter Weidegras, Grassilage und Heu und kaufen als Ergänzung Getreide und andere Futtermittel zu. Innerhalb dieses Gebietes, es trägt als Hauptproduktionsgebiet (WAGNER, 1990) den Namen Hochalpen, findet keine vollständige räumliche Abdeckung mit FarmLife-Betrieben statt, weil der östlichste und westlichste Teil nie in ein Projekt eingebunden war und es in Tirol, mit einer Ausnahme, nicht gelungen ist Betriebe westlich von Wörgl zu akquirieren. Die an die Standorte *Berg* angrenzenden Gebiete mit Silomais-, aber noch ohne Getreideanbau – *Hügel* – konnten in alle

Bundesländern gut abgedeckt werden. Der Standorttyp *Tal* ist etwas schwächer abgedeckt und hat eine Lücke westlich von Ybbs an der Donau. In Folge dieser räumlichen Beschreibung drängt sich eine Frage auf: Dürfen nur jene Gebiete bewertet werden, in welchen sich auch tatsächlich FarmLife-Betriebe befunden haben oder gleichen sich die Betriebe in den Standorttyp so stark, dass z.B. alle Untersuchungen im Berggebiet von Salzburg, Oberösterreich, Steiermark und Kärnten auf die Lücken in Tirol übertragen werden darf? Wir haben diese Frage über die Klimadaten der Standorte für Tirol mit ja beantwortet. Mit Ausnahme des letzten Teils des oberen Inntals sind alle Täler in Tirol den anderen Tälern in Salzburg, der Steiermark und Kärnten vergleichbar. Es gibt ausreichend Niederschlag und eine jährlich vergleichbare Temperatursumme/-entwicklung die vor allem vom Höhengradienten bestimmt wird. Ähnliches gilt für die Betriebe im Osten die alle noch nicht dem pannonischen Klima zugerechnet werden müssen.

Tabelle 3: Anzahl an Betrieben in den Klassen

FarmLife Betriebe		Management		Anzahl
		Konventionell	Biologische	
Standort	Berg	89	105	194
	Hügel	49	41	90
	Tal	54	6	60
Anzahl		192	152	344

3.1.2 Häufigkeit der Klassen und Verteilung der Lieferleistung

Die Anwendung der Klassifikationsverfahren und der statistischen Modelle aus 2.5.2 auf die 344 FarmLife-Betriebe führt bei den fixen Klassen zur in *Tabelle 3* dargestellten Verteilung. Die Standorte (S) Berg, Hügel und Tal wurden mit unterschiedlichen Häufigkeiten untersucht, aber die Verteilung deckt sich weitgehend mit der Verteilung in *Tabelle 4*. Die Managementklasse (M) Konventionell (KON) ist ebenfalls stärker vertreten. Sie erreicht einen Anteil von 56 % und liegt damit um 11 % unter der tatsächlichen Verteilung der Lieferbetriebe in Österreich. Die Auswirkung der Abweichung ist klein, weil der Faktor nicht in das Modell integriert wurde und nur als Schalter für einige Umweltwirkungen verwendet wird. Die im GLM-Modell als Variable definierte Größe der Lieferleistung pro Kuh und Jahr (LL) wird von den 344 Betrieben in einer günstigen Verteilungsform abgebildet. Der Wendepunkt der in *Abbildung 7* dargestellt Dichtekurve liegt bei 6.664 kg FPCM pro Kuh und Jahr. Das untere Quartil liegen bei 5.328 das oberen bei 7.768 kg FPCM pro Kuh und Jahr. Die Rand-Percentillen liegen unten bei 4.206 das oberer bei 8.648 kg FPCM pro Kuh und Jahr. Der Beobachtungsbereich ist ausreichend Breit und gut an die tatsächliche Situation aller Betriebe in Österreich angepasst. Der Median aller Betriebe in Österreich liegt bei 6.759 kg FPCM pro Kuh und Jahr und damit nur um 1,4 % über den erfassten Daten.

3.1.3 Deskriptive Beschreibung der Daten

Prinzipiell also geeignet, können wesentliche Eckdaten der Grundgesamtheit und der FarmLife-Betriebe dargestellt und verglichen werden. Dies beantwortet die

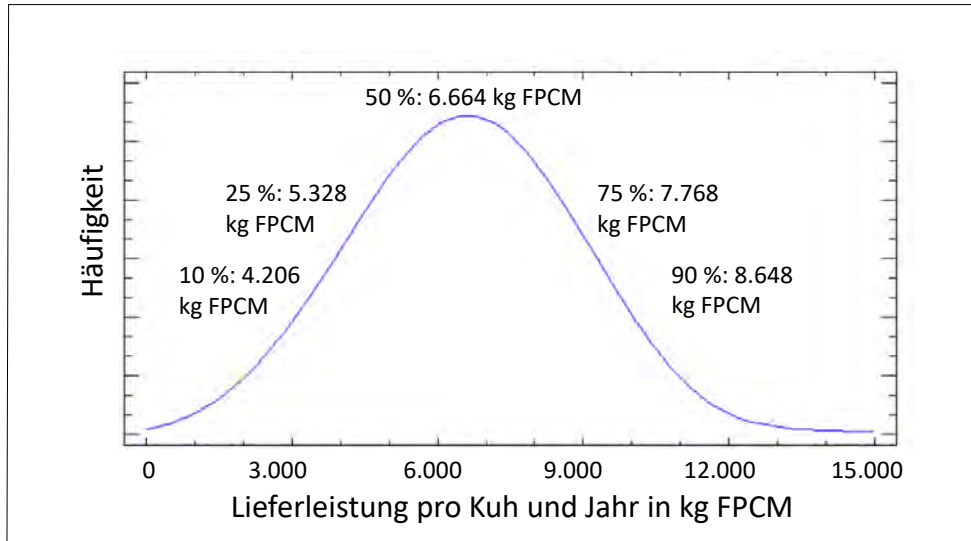


Abbildung 7: Verteilung der variablen Größe Lieferleistung pro Kuh und Jahr in kg FPCM

Frage der Repräsentativität der Stichprobe im Hinblick auf die Grundgesamtheit. Zur Einordnung der österreichischen Milchviehbetriebe in das internationale Geschehen, anfangs einige Durchschnittswerte aus dem Jahr 2022: Ein Milchviehbetrieb bewirtschaftet eine Fläche von 32 ha mit 22 Kühen und zusätzlich 16 GVE an anderen Tieren, meist Rindern. Der Tierbesatz beträgt 1,37 GVE/ha. Von jeder Kuh werden jährlich 6.288 kg FPCM an die Molkerei abgeliefert. 78 % aller landwirtschaftlicher Flächen sind Dauergrünland, 5 % Silomais, 7 % Feldfutter und ebenso 7 % Getreide. Die restlichen 3 % bestehen aus verschiedenen Öl- oder Eiweißfrüchten.

Die relative Differenz der Produktionsdaten in *Tabelle 4* zeigt die Abweichung der FarmLife-Daten von den Daten der gesamten Stichprobe innerhalb der für die Bewertung maßgeblichen Klassen. (Die zugrunde liegenden Daten finden sich in numerischer Form im Anhang in *Tabelle 15* und in graphischer Form in *Abbildung 8* und in *Abbildung 9*.) Maßgebliche Abweichungen werden in Rot, geringe in Grün dargestellt. Am deutlichsten liegt insgesamt die Kombination Berg/Kon über seiner Grundgesamtheit. Diese Kombination enthält etwa 1/3 aller Milchviehbetriebe in Österreich. Die Abweichung ist vor allem ein Skaleneffekt der Gesamtfläche dem der Tierbesatz und die Anzahl der Kühe folgen. Die Leistung selber weicht – das ist für uns besonders wichtig – nicht ganz so stark ab. In zukünftigen FarmLife-Projekten, etwa einem Projekt zur sanften Intensivierung zu schwacher Betriebe, kann dieses Problem reduziert werden. Ähnliches gilt in nicht ganz so ausgeprägter Form für die biologische Landwirtschaft am Standorttyp Berg. In den Standorttypen Hügel und Tal finden wir ebenso Abweichungen nach oben. Hier gilt das gleiche, wobei die biologische Landwirtschaft stimmiger ist als die konventionelle. Insgesamt haben die leistungsbereiteren Betriebe die Arbeit einer Betriebsanalyse auf sich genommen. Da dies mit höherem Betriebsmitteleinsatz verbunden ist, hätten diese Betriebe einer Umweltbewertung eher fernbleiben müssen. Haben sie aber nicht! Im Bereich der Ausstattung der Betriebe mit pflanzenbaulichen Kulturen täuscht die Abweichungsanalyse etwas. Wie in *Abbildung 9* dargestellt, dominiert die Hauptklasse die Kulturartenzusammensetzung. Abweichungen bei den Sonstigen beziehen sich nur

auf kleine Restflächen. Ist das FarmLife-Betriebsnetz nun geeignet? Ja und das obwohl die Betriebe in Leistung und Größe etwas über dem Schnitt liegen. Wie unter 2.5 dargestellt wollen wir hier keine grundlegende Erklärung zur Produktion abgeben, sondern ein Prognosemodell auf der Basis linearen Regressionen erstellen. Wir haben mit der höheren Leistungswilligkeit nun nur etwas mehr Daten im Mittelfeld des Schätzbereiches und einen kleinen Mangel im unteren Bereich. Dass aber auch dort Daten zur Verfügung stehen zeigt *Abbildung 3*.

Tabelle 4: Abweichung der Stichprobe von der Grundgesamtheit in den Produktionsdaten

Standorttyp	Abweichung der Stichprobe von der Grundgesamtheit in %					
	Berg		Hügel		Tal	
Management	Kon	Bio	Kon	Bio	Kon	Bio
Anzahl	7844	6382	3635	1074	4120	363
Tierbestände und Leistungen						
Gesamtfläche	31,6	40,4	21,9	0,1	13,5	-7,4
Gesamtbesatz	83,4	33,0	29,3	-4,5	30,1	-4,5
Tierbesatz	39,4	-5,3	6,1	-4,6	14,7	3,2
Anzahl der Kühe	89,5	36,0	41,1	3,0	46,3	-11,8
Lieferleistung	18,9	2,6	15,2	2,6	9,0	4,2
Pflanzenbauliche Kulturen						
Wiesenfutter	-1,0	0,4	-1,1	1,5	7,4	-4,2
Silomais	45,0	18,9	21,5	-15,7	19,2	-24,8
Feldfutter	7,3	-17,2	-10,4	16,6	-15,2	13,7
Getreide			7,5	-9,6	-7,9	5,4
Sonstiges	-14,9	-16,4	-19,4	-39,5	-21,2	-9,9

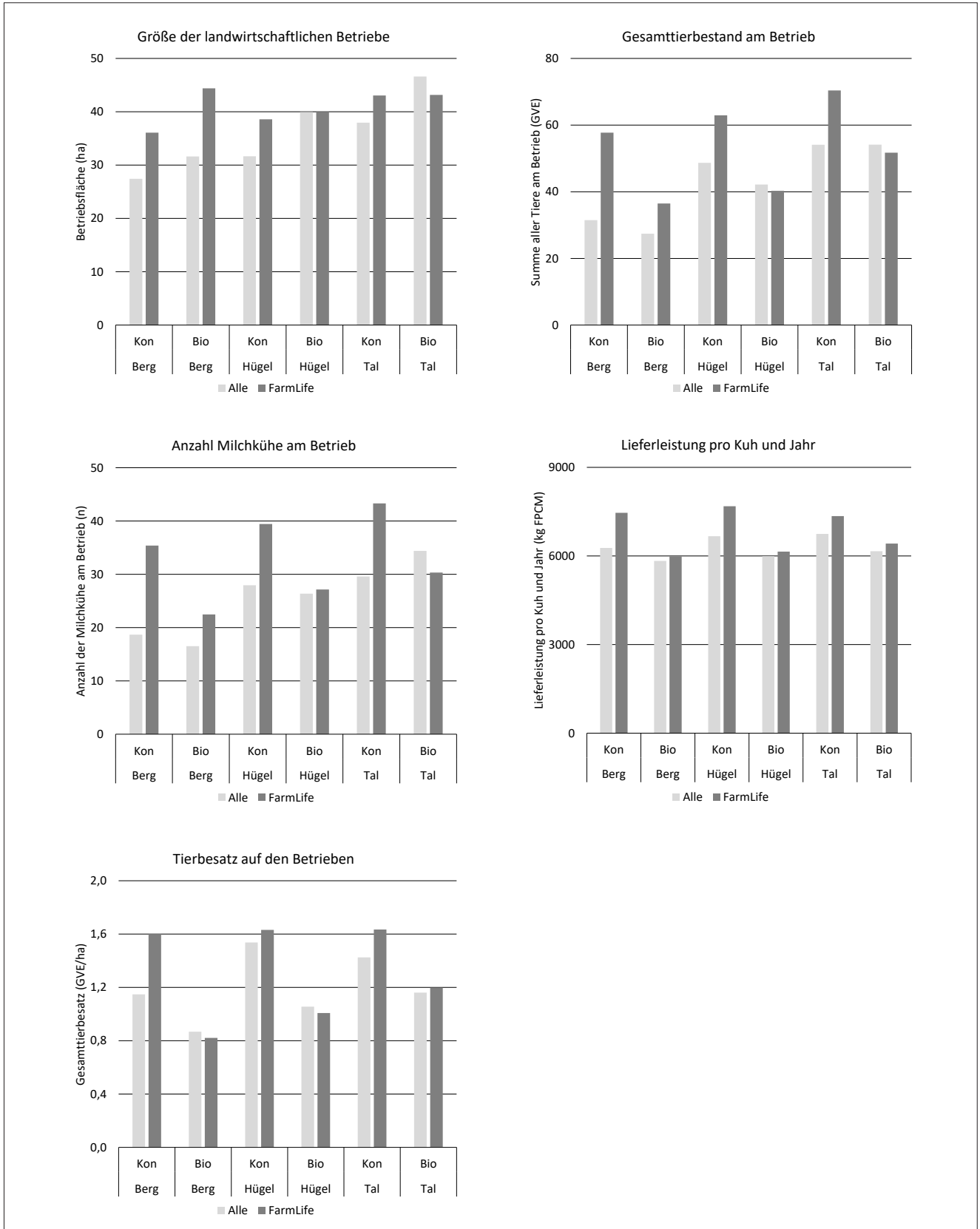


Abbildung 8: Tierbestände und Leistungen

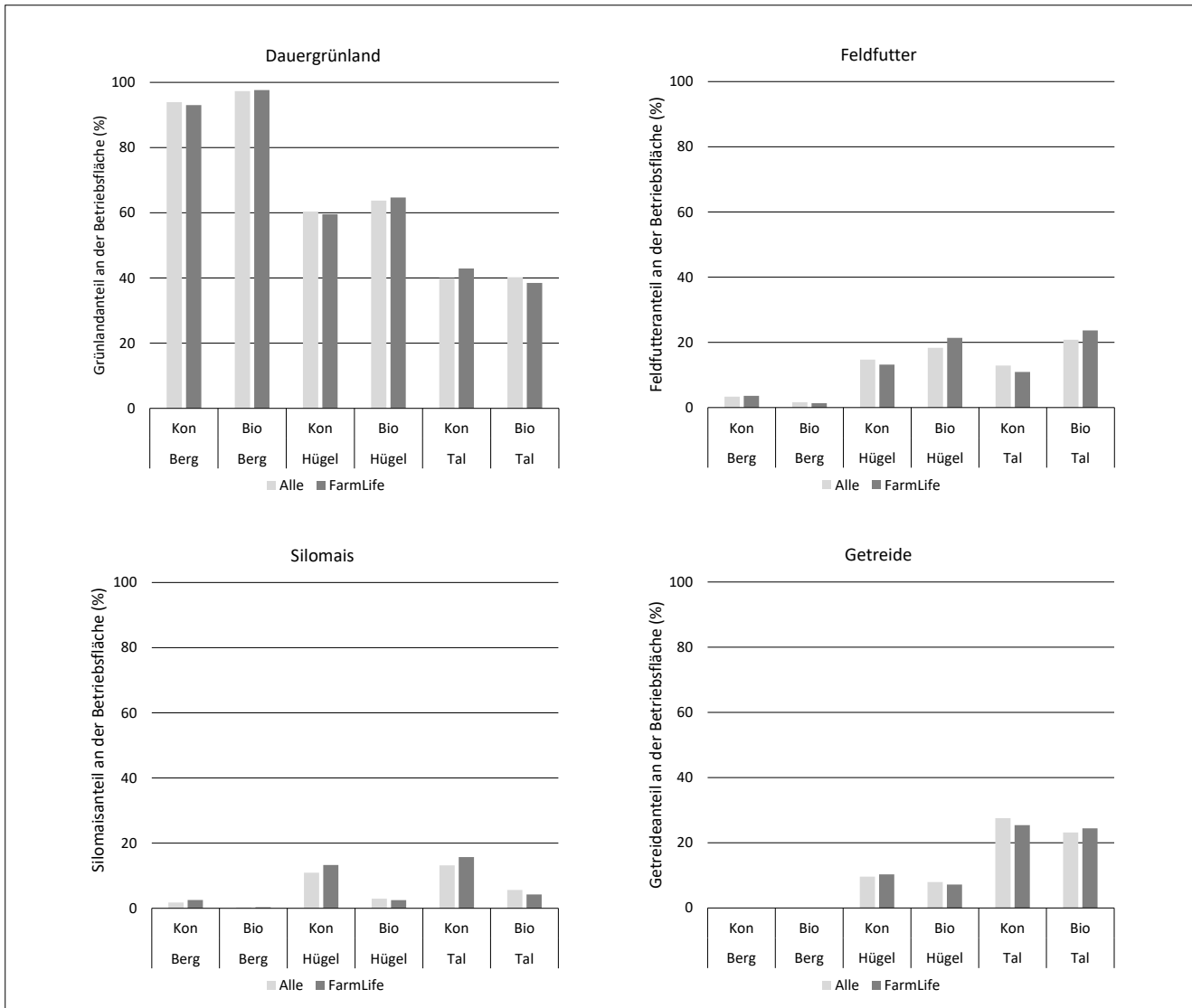
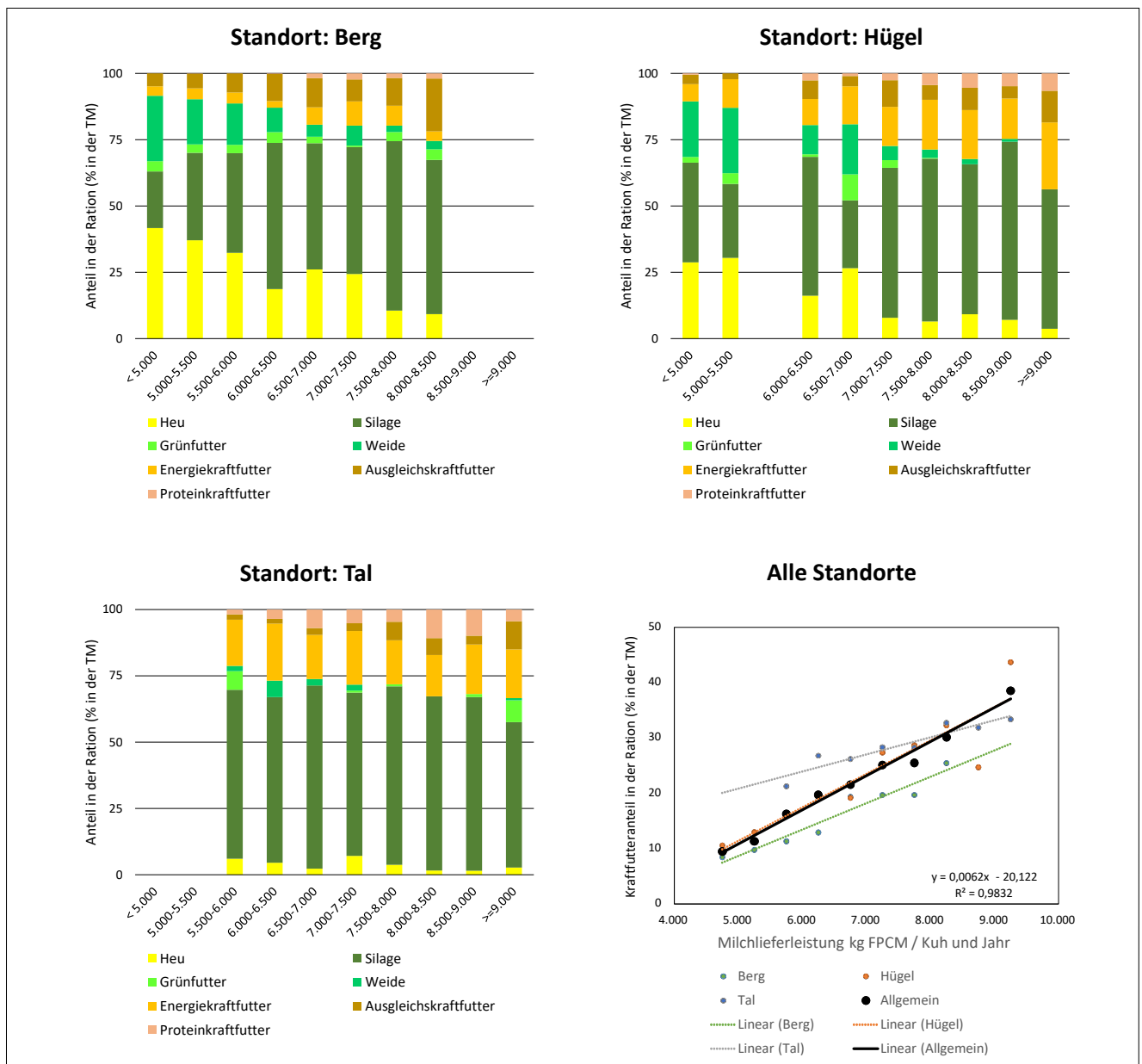


Abbildung 9: Pflanzenbau-liche Kulturen

3.1.4 Fütterung von FarmLife-Milchviehbetrieben

Zur Bewertung der Fütterung von Milchkühen in FarmLife wird viel Aufwand in die Erfassung und Zuteilung von Futtermitteln investiert. Zugekaufte Futtermittel werden direkt bei der Eingabe der Rechnungen an die jeweiligen Tierkategorien zugeteilt. Diese Zuteilung ist beim Zukauf von Fertigfuttermittel sehr präzise, wird Getreide und Körnermais zugekauft manchmal etwas allgemeiner. Der Grundfutterzukauf von Betrieben ist marginal, Stroh gilt nicht als Futter. Die betriebs-eigenen Futtermittel werden im Zuge der Erfassung von Feldarbeitsprozessen und Ernten zugeteilt. Hochwertige Futtermittel wie Silomais und eigene Ackerfrüchte werden häufig direkt an Tierkategorien zugeteilt, Wiesenfuttermittel (Heu und Grassilage) meist in allgemeiner Form an alle Wiederkäuer des Betriebes. Dann erfolgt die Aufteilung über ein internes System. Dieses nutzt das Futteraufnahmevermögen der einzelnen Tierkategorien als relativen Schlüssel. Die Beschreibung der Fütterung der einzelnen Standorte folgt *Abbildung 10*, wobei die Unterschiede der Managementarten nicht aufgelöst wurden. Bio und Konventionell werden als gemeinsam besprochen:



- **Berg:** Die Fütterung von Heu ist von hoher Bedeutung, nimmt aber mit steigender Leistung ab. Dies gilt auch für die Futteraufnahme auf der Weide. Der Anteil an Grassilagen nimmt dafür mit steigender Leistung zu. Der Anteil an Kraftfutter liegt bei niedrigen Leistungen unter 10 % und nimmt dann stetig zu. Bei der höchsten Klasse der Lieferleistungen am Standort Berg beträgt der Anteil schließlich rund 25 %. Die Kraftfutterzusammensetzung variiert.
- **Hügel:** Im Grunde sehr ähnlich zur Kategorie Berg allerdings mit einem geringeren Anteil an Heu in der Ration dafür mit einem systematisch um etwa 6 % höheren Einsatz von Getreide.
- **Tal.:** Grundfutter besteht nun vor allem aus Silagen, der Kraftfuttereinsatz folgt dem Verlauf am Standort Tal.

Abbildung 10: Rationszusammensetzung und Kraftfuttereinsatz der FarmLife Betriebe

Tabelle 5: Verteilung der Allokation Milch bei 344 FarmLife-Betrieben

Perzentil	Anteil der Allokation der Wiederkäuerhaltung an der Produktgruppe Milch in %
1	55
5	63
10	68,9
25	76,3
50	83,7
75	90
90	94,9
95	97,3
99	99,8

Ganz allgemein steigt mit der Lieferleistung der Einsatz von Kraftfutter ungeachtet der Herkunft (Selbsterzeugt oder zugekauft). In Abbildung 10, rechts, unten wird die Beziehung zwischen der Lieferleistung und dem Kraftfutteranteil in der Ration dargestellt. Die Zusammenhänge in den einzelnen Standorten schwanken etwas, die gemeinsame Gerade beschreibt eine Zunahme des Kraftfutters um 6,3 % der zusätzlicher 1.000 kg FPCM der Lieferleistung.

3.1.5 Allokation der Produktgruppe Milch in FarmLife

FarmLife geht äußerst sorgfältig mit der Allokation von Betriebsmittel um und benötigt deshalb keine allgemeine Formel zur Verteilung von Umweltwirkungen auf die Haupt- und Teilkategorie von Produktionszweigen. In FarmLife wird der Bereich der Rinderhaltung in die drei Produktgruppen (Milch, Rindfleisch und Rinderzucht) aufgeteilt. Interne Transferleistungen, wie die Fleischproduktion durch die Altkuh, die Kälbermilch und Remontierung werden bei der Datenerfassung durch die Betriebe individuell ausgelöst. *Tabelle 5* zeigt das Ergebnis der internen Aufteilung im Produktionsbereich Rindern in Form einer Verteilung. In den Randbereich der Verteilung haben jeweils 10 % der Betriebe weniger als 68,9 % bzw. mehr als 94,9 % ihrer Wirkungen im Bereich Milch. Im Mittel beträgt der Anteil 83,7 %. Dieser Anteil ist im Hinblick auf den durchschnittlichen Tierbestand am Milchviehbetrieb plausibel. Gerechnet in GVE beträgt der Anteil der Milchkühe in den FarmLife-Betrieben 71,4 %, in ganz Österreich noch deutliche weniger. Die Differenz zum Anteil von mittleren Allokationsanteil von 83,7 % kann leicht über die überproportionale Zuteilung an Betriebsmitteln erklärt werden (Höhere Futteraufnahmekapazität und Fütterung von Kraftfutter). IDF wurde in Anwendungen der Normierungen oft auf 85 % gesetzt (MAZZETTO et al. 2022). Das nationale Ergebnis liegt damit nahe am internationalen Standard.

Tabelle 6: Koeffizienten der linearen Regressionen für die funktionalen Einheiten FPCM und ha nach IDF

Umweltwirkung	Bezeichnung	Einheit	Standort	pro kg FPCM		pro ha		Faktor-Bio
				d	k	d	k	
Ressourcenbezogen								
Bedarf nicht erneuerbarer Energie		MJ	Berg	2,023	0,0000389	-1,339	2,718	1
			Hügel	2,419	-0,0000452	3,016	1,858	
			Tal	2,006	-0,0000006	715	2,088	
Phosphorverbrauch		kg P	Berg	-0,000334	0,000000104	-4,952	0,00118	0
			Hügel	-0,000426	0,000000103	-5,502	0,00114	
			Tal	-0,000141	0,000000082	-3,936	0,00105	
Flächenbedarf der Produktion		m ²	Berg	3,729	-0,000303	14,674	-0,445	1
			Hügel	3,507	-0,000280	14,184	-0,445	
			Tal	1,914	-0,000096	5,783	0,523	
Verbrauch blaues Wasser		m ³	Berg	-0,00116	0,000000621	-28,661	0,00782	1
			Hügel	0,00059	0,000000235	-8,926	0,00381	
			Tal	0,00011	0,000000306	-14,713	0,00459	
Abholzung für die Produktion		m ²	Berg	-0,000077	0,000000037	-1,828	0,000480	1
			Hügel	-0,000068	0,0000000306	-1,490	0,000391	
			Tal	-0,000331	0,0000000722	-3,751	0,000741	
Exergie		MJ	Berg	76,116	-0,00559	273,420	-0,515	1
			Hügel	77,447	-0,00581	296,581	-4,477	
			Tal	45,522	-0,00213	128,855	14,812	
Nährstoffbezogene								
Stickstoffeintrag in Wasser		kg N _e	Berg	0,00716	-0,000000268	15,020	0,00355	1
			Hügel	0,00577	-0,000000166	5,393	0,00428	
			Tal	0,00811	-0,000000446	26,594	0,00164	
Phosphoreintrag in Wasser		kg P _e	Berg	0,000142	-0,0000000897	0,421	0,0000285	1
			Hügel	0,000093	-0,0000000476	0,265	0,0000309	
			Tal	0,000106	-0,0000000562	0,377	0,0000252	
Klimawirkungsbezogene								
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)		kg CO ₂ 100 _e	Berg	1,715	-0,0001001	4.978,990	0,363	1
			Hügel	1,679	-0,0000976	4.774,410	0,372	
			Tal	1,536	-0,0000860	5.005,310	0,294	
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)		kg CO ₂ 100 _e	Berg	0,480	-0,0000149	791,598	0,293	1
			Hügel	0,474	-0,0000175	905,273	0,248	
			Tal	0,419	-0,0000106	674,632	0,280	
Schadstoffbezogenen								
Aquatische Ökotox., Schwermetalle		kg 1,4-DB _e	Berg	0,00107	0,000000242	-11,207	0,00473	1
			Hügel	0,00122	0,000000179	-8,398	0,00396	
			Tal	0,00030	0,000000323	-20,155	0,00569	
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle		kg 1,4-DB _e	Berg	0,000200	0,000000080	-0,339	0,000337	1
			Hügel	0,000098	0,0000000129	-0,325	0,000262	
			Tal	0,000098	0,0000000129	-0,325	0,000262	
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide		kg 1,4-DB _e	Berg	-0,0187	0,00000428	-203,086	0,0429	0
			Hügel	-0,0094	0,00000276	-123,046	0,0298	
			Tal	-0,0034	0,00000240	-143,058	0,0353	
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide		kg 1,4-DB _e	Berg	-0,000555	0,000000127	-6,151	0,00130	0
			Hügel	-0,000523	0,000000115	-5,619	0,00116	
			Tal	-0,000564	0,000000141	-7,871	0,00161	

Tabelle 7: Absolute Streuungsmaße des statistischen Modells

Umweltwirkungen	Einheit	Standardfehler der Schätzung		Bestimmtheitsmaß	
		pro kg FPCM Original	pro ha Original	kg FPCM Gruppirt	ha Gruppirt
Ressourcenbezogen					
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	0,665	5092	38,2	89,6
Phosphorverbrauch	kg P	0,00029	2,64	71,3	85,4
Flächenbedarf der Produktion	m ²	0,467	3349	83,1	31,8
Verbrauch blaues Wasser	m ³	0,00377	173,3	58,5	80,5
Abholzung für die Produktion	m ²	0,0001235	1,85	68,5	81,2
Exergie	MJ	9,23	63166	83,6	19,6
Nährstoffbezogen					
Stickstoffeintrag in Wasser	kg	0,002452	19,4	22,8	60,1
Phosphoreintrag in Wasser	kg	0,0000347	0,3811	59,3	37,8
Klimawirkungsbezogen					
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,163	1202	78,8	53,4
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,0722	588	62,6	89,7
Schadstoffbezogen					
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DB _e	0,001117	8,99	60,1	92,6
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DB _e	0,0001254	2,2	69,8	90,3
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	kg 1,4-DB _e	0,00943	118	74,4	81,8
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	kg 1,4-DB _e	0,000275	3,41	72,8	79,2

3.1.6 Funktionen IDF der Umweltwirkungen

Die mit den FarmLife-Betrieben angepassten Regressionsgleichungen werden als Geradengleichung in *Tabelle 6* mit ihren Faktoren (d=Achsenabschnitt, Bias, k=Steigung) dargestellt, wobei die Nutzung nach *Formel 3* zu erfolgen hat. Faktor_{Bio} ist dabei eine Anwendungsregel die verhindert, dass Umweltwirkungen die in der biologischen Landwirtschaft nicht vorgesehen sind, eliminiert werden. Die Lage der Funktionen in ihren Quelldaten kann unter 8.2.1 im Anhang studiert werden.

Formel 3: Anwendung der Regressionsgleichung

$$y = \left(k * \text{Lieferleistung} \frac{\text{kg FPCM}}{\text{Kuh}} \text{und Jahr} + d \right) \times \text{Faktor}_{\text{Bio}}$$

Die 42 verschiedenen Gleichungen beschreiben 14 Umweltwirkungen auf der Basis von drei Inputgrößen (Standort, Bio/Kon/Lieferleistung, wie in 2.5 umfangreich beschrieben). Der Ansatz ist damit arm an erklärenden Größen. Den Anwendern der 14 vorgeschlagenen Gleichungen muss dies bewusst gemacht werden, weil (wie immer) neben der Anwendung auch die zu erwartende Qualität der Schätzung von hoher Bedeutung ist. In *Tabelle 7* wird mit dem Standardfehler der Schätzung und dem Bestimmtheitsmaß eine absolute Auskunft gegeben. In *Tabelle 8* wird der Standardfehler der Schätzung mit der gerechneten Größe der Umweltwirkung für den Standorttyp Berg bei seiner durchschnittlichen Lieferleistung von 6.429 kg FPCM normiert. In *Tabelle 7* kann, jeweils für die funktionellen Einheiten getrennt, der Standardfehler der Schätzung (SEE) im Original und in quantitativ gruppierter Form, nachgelesen werden. Im Vergleich zeigen sich über alle Parameter hinweg, eine Reduktion der Streuung durch die quantitative Gruppierung um das 3,5-fache. Das Bestimmtheitsmaß R² erreicht in der gruppierten Form deshalb so hohe Werte, weil, wie erklärt die Streuung durch die getroffenen Maßnahmen bereits vorab reduziert wurde.

Tabelle 8 ist maßgeblich, weil sie jenen Schätzfehler anzeigt, der bei den finalen Darstellungen der Ergebnisse für die gesamte Milch in Österreich verwendet werden soll. In einer groben Annäherung können wir über die Fehler der Schätzung eine Einteilung der Umweltwirkungen vornehmen. Geringe Schätzfehler beobachten wir bei Umweltwirkungen die am Milchviehbetrieb direkt von technologischen Prozessen erzeugt werden. Ob diese ihre Wirkung am Betrieb als direkte Emission oder als indirekte Emission in der Vorleistung entfalten, ist in der Umweltbewertung der Ökobilanzierung nicht von Bedeutung. Allerdings muss dem Interessenten dieser Aspekt jederzeit klar bewusst sein! Sehr enge technologische Prozesse und damit auch geringe Schätzfehler (15-30 %) erreichen wir bei der Verwendung nicht erneuerbarer Energie, der Bindung der Produktion an die Fläche und den Wirkungen von Treibhausgasen. Alle drei Bereiche sind sehr stark durch den Stofffluss von Futtermitteln im Betrieb und dessen Bindung an den Standort gekennzeichnet. Mittlere Schätzfehler (30-50 %) ergeben sich dann, wenn der Betrieb durch Managementmaßnahmen stärkeren Einfluss auf die Prozesse nehmen kann oder muss. Dies finden wir bei den Nährstoffkreisläufen und der Ökotoxizität die nicht an den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) gebunden ist. Hohe, aber erklärbare Schätzfehler (>50 %) finden wir dort, wo

Tabelle 8: Relative Streuungsmaße des statistischen Modells für die Klasse Berg

Umweltwirkungen	Einheit	Standardfehler der Schätzung			
		pro kg FPCM		pro ha	
		Original	Gruppiert	Original	Gruppiert
Ressourcenbezogen					
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	%	29,2	6,4	31,6	7,1
Phosphorverbrauch	%	87,3	27,3	100,4	25,3
Flächenbedarf der Produktion	%	26,2	11,1	28,3	11,1
Verbrauch blaues Wasser	%	132,7	23,6	800,6	22,5
Abholzung für die Produktion	%	77,4	24,6	147,6	27,1
Exergie	%	23	9,4	23,4	9,4
Nährstoffbezogene					
Stickstoffeintrag in Wasser	%	45,1	11,6	51,3	12,5
Phosphoreintrag in Wasser	%	41,1	13,2	63,1	14,5
Klimawirkungsbezogene					
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	%	15,3	7,3	16,4	6,6
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	%	18,8	5,4	22	5,3
Schadstoffbezogenen					
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	%	42,5	9,8	46,9	9,3
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	%	49,8	10	120,4	10
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	%	106,6	35,3	162,7	35,9
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	%	104,5	45,7	156,1	46,1

sich die Klassen dem Schätzmodells zu vermischen beginnen. In der Frage der Phosphordüngung und dem Einsatz von PSM gibt es zwar eine binäre Trennung zwischen der biologischen und konventionellen Landwirtschaft, aber auch innerhalb der konventionellen Landwirtschaft die hier untersucht wird gibt es einen weiten Gradienten an Intensitäten. Die Variation des Verbrauches an blauem Wasser und der Abholzung durch die Produktion ist hoch, hängt aber immer an der Verwendung einzelner Inventare.

Die Gefahr, dass eine Prognose von der Wirklichkeit am Milchviehbetrieb abweicht, ist:

- a.) gering, wenn es sich um Umweltwirkungen des fossilen/biogenen Stofffluss handelt.
- b.) mittel, wenn es sich um Nährstoffflüsse handelt,
- c.) hoch, wenn es sich um individuell entscheidbare Aspekte des Einsatzes von Betriebsmitteln handelt.

3.1.7 Ergänzende Funktionen der Infrastruktur

IDF verzichtet per Definition auf die Integration der indirekten Emissionen die sich bei der Bereitstellung von Maschinen und Gebäuden am landwirtschaftlichen Betrieb ergeben. IDF wurde für die Bewertung von Treibhausgaswirkungen definiert und das Gesamtkonzept wurde von der Forschungsgruppe Ökoeffizienz für diesen Forschungsbericht für alle Umweltwirkungen übernommen. Damit ein Vergleich zu anderen Ergebnissen aus der Literatur möglich wird, müssen diese Wirkungen, dort wo sie auftreten, zum Ergebnis der Berechnung nach *Tabelle 6* hinzugefügt werden. Die Prüfung des statistischen Modells aus Kapitel 2.5 ergab für die Klasse Standorttyp nie eine Signifikanz, weshalb sich die ergänzenden Regressionen nur an der Lieferleistung in kg FPCM orientieren.

Wie in *Tabelle 9* zu sehen ist, bilden sich bei Umweltwirkungen die durch Infrastrukturmaßnahmen (Maschinen und Gebäude) ausgelöst werden nur schwach ausgeprägte Steigungen (k) aus. Die Vorzeichen dieser Steigungen zeigen allerdings überzeugend die Wirkung der „Economy of Scales“. Höhere Lieferleistungen senken den Fußabdruck pro kg FPCM. Die Streuungsmaße verhalten sich grundsätzlich so, wie wir es bei den Umweltwirkungen nach IDF in *Tabelle 8* gesehen haben. Das Rohmaterial streut stark, die gruppierten Daten schwach.

Das IDF in seiner Definition des Systemrahmens die Infrastruktur ausschließt war aus der Sicht der Vollständigkeit der Herausforderung zwar möglich, aber nicht bei allen Umweltwirkungen sinnvoll. *Abbildung 11* zeigt, dass bei vielen Umweltwirkungen ein maßgeblicher Anteil der Gesamtwirkung auf den Input an Maschinen und Gebäuden (Infrastruktur) entfällt. Die Wirkungen entstehen durch den Einsatz von fossiler Energie, den Bergbau und seinen Metallen, dem Kunststoff, Glas und Baustoffen in der Vorleistungsindustrie der Landwirtschaft. Es handelt sich insgesamt um indirekte Emissionen.

IDF ignoriert die indirekten Emissionen von Maschinen und Gebäuden. Ein wirksames Gesamtkonzept zur Reduktion von Umweltwirkungen in der österreichischen Milchwirtschaft sollte trotzdem darauf Rücksicht nehmen. Die Anteile sind fallweise hoch und dürfen nicht ignoriert werden.

Tabelle 9: Koeffizienten der linearen Regressionen für die funktionalen Einheiten FPCM und ha nach IDF

Umweltwirkungen	Einheit	pro kg FPCM		pro ha	
		d	k	d	k
Ressourcenbezogen					
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	2,94	-0,000019	9787	0,313
Flächenbedarf der Produktion	m ²	0,241	-0,000017	877,3	0,00226
Verbrauch blaues Wasser	m ³	0,00225	-0,000000144	7	0,000319
Abholzung für die Produktion	m ²	0,0000277	-0,00000000233	0,1	-0,000000734
Energie	MJ	8,86	-0,0000604	31153,1	0,417
Klimawirkungsbezogene					
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,191	-0,0000128	641,8	0,0148
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,181	-0,0000121	609,7	0,0141
Schadstoffbezogenen					
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DB _e	0,00175	-0,000000114	6,3	0,000122
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DB _e	0,0000926	-0,00000000064	0,3	0,00000891

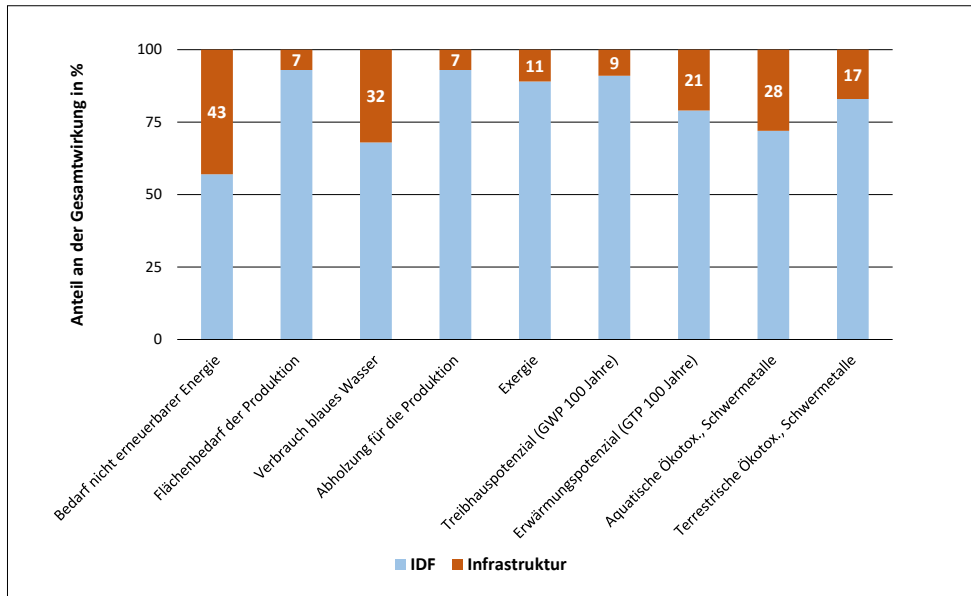
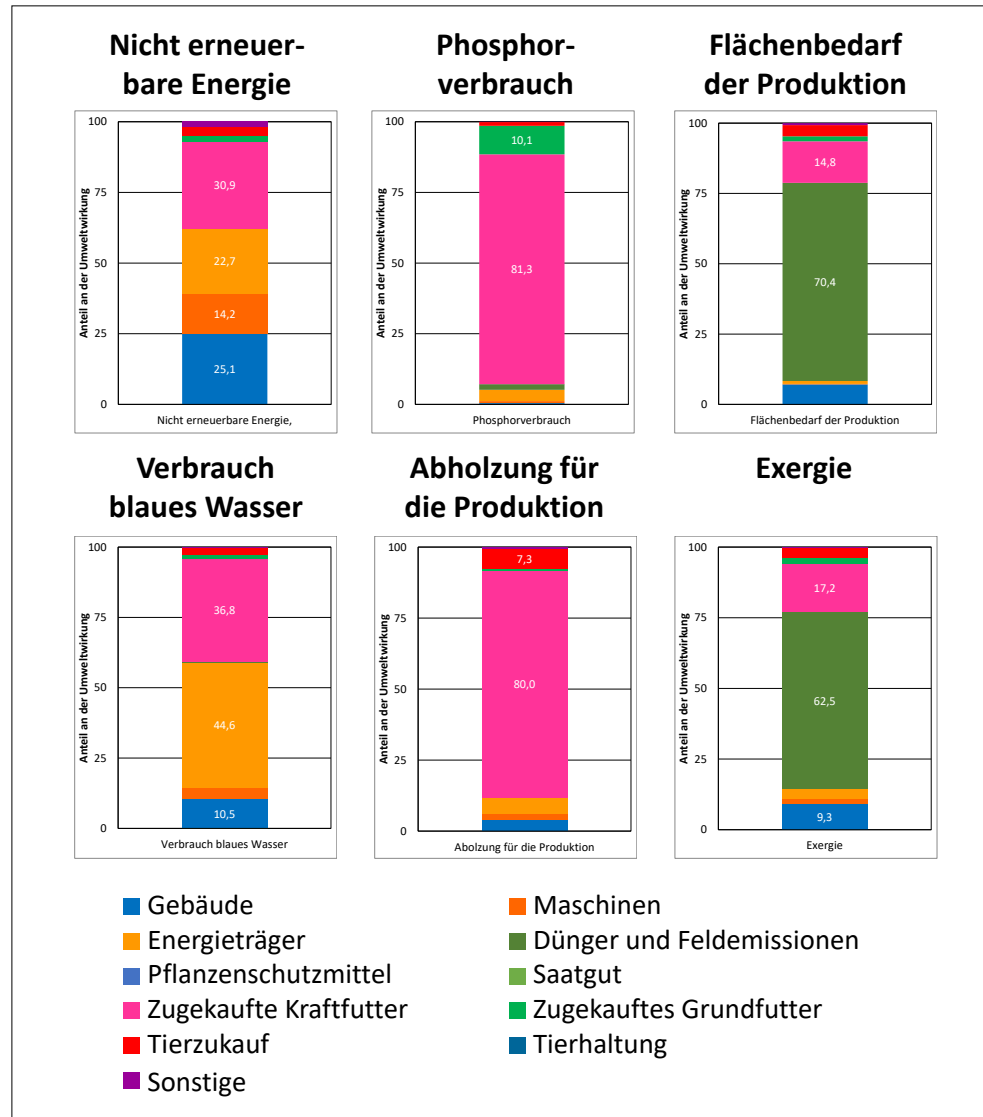


Abbildung 11: Anteil der Umweltwirkungen der Infrastruktur an der Gesamtwirkung

3.1.8 Grundlagen zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen

Umweltwirkungen sind das Ergebnis des Einsatzes von Betriebsmitteln mit spezifischer Wirkung. Während die Menge an Betriebsmitteln am Bauernhof bekannt sind und/oder von der Wissenschaft, Beratung und Lehre auch grob abgeschätzt werden können, treten die spezifischen Wirkungen erst im Rahmen einer Ökobilanz zutage. Bisher wurde sowohl in der Abschätzung von Funktionen als auch in deren Anwendung immer von Gesamtwirkungen pro Umweltwirkung gesprochen. Nun werden die Wirkungen, diese sind nur bei den 344 FarmLife-Betrieben bekannt, in ihre Teilwirkungen auflösen. Weil diese durch Inputs ausgelöst werden, nennen wir sie Inputgruppen (siehe 2.2). In *Abbildung 12*, *Abbildung 13* und *Abbildung 14* werden die Inputgruppe der Lieferleistungsklasse 6.500-7.000 kg FPC Lieferleistung am Standort Berg für konventionelle Betriebe dargestellt. Die Werte der einzelnen Inputgruppen zeigen den Anteil an der Gesamtwirkung in %. Dieses Kapitel macht eine Ausnahme von dem in Kapitel 2.3 (IDF-Regeln in 419/2015) definierte Ausschluss der Infrastruktur (Maschinen und Gebäude) von der Bilanzierung. Diese Ausnahme wird durch den in manchen Umweltwirkungen großen Anteil an der Gesamtwirkung (siehe *Abbildung 11*) gerechtfertigt. Auch wenn die Gesamtwirkung aus Gründen der Vergleichbarkeit nach IDF bewertet wird, die Handlungsempfehlungen einer nachhaltigen Landwirtschaft können die Infrastruktur nicht ignorieren.

Abbildung 12: Wirkungsanteil der Inputgruppen der ressourcenbezogenen Umweltwirkungen



- Die Verwendung nicht erneuerbarer Energie aus fossilen oder nuklearen Quellen findet zu fast 2/3 nicht am Milchviehbetrieb statt, sondern verteilt sich als indirekte Emission in der Vorleistung der Betriebsmittel. Etwa 40 % werden für die Errichtung der Gebäude und die Produktion von Maschinen verwendet. 31 % fallen bei der Produktion von Kraftfutter an. Dieses wird in den Milchviehbetrieb importiert und bringt diesen ökologischen Rucksack mit. Lediglich der Treibstoffverbrauch und ein anteiliger Stromverbrauch aus fossilen Quellen fallen direkt am Betrieb an.
- Der Verbrauch von mineralischem Phosphor am Standort Berg findet nicht, wie wahrscheinlich erwartet, als Dünger statt, sondern ist zu 91,4 % als Vorleistung in den zugekauften Grund- und Kraftfuttermitteln gebunden.
- Der Flächenbedarf besteht zu 70 % aus der direkten Nutzung der Betriebsfläche. Zusätzliche 15 % an Ackerfläche fallen für die Erzeugung von Futtermitteln auf anderen landwirtschaftlichen Betrieben an. Zugekauftes Grundfutter hat geringe Bedeutung, ebenso der Zukauf von Tieren.

- Die Verwendung von blauem Wasser ist zu etwa 45 % mit der Produktion erneuerbarer Energie verbunden. Als Bewässerung dient blaues Wasser zu 37 % der Produktion von Futtergetreide im Ackerbau. Tränkewasser der Tiere und Waschwasser im Melkbereich wurden nicht berücksichtigt. Diese wurden mit 5 Liter pro kg FPC angenommen (HÖRTENHUBER et al. 2010).
- Die potenzielle Abholzung ist eine Wirkungskategorie des Futterzukaufes und kaskadisch mit dem Tierzukauf verbunden.
- Die eigene Betriebsfläche als Energiedimension wird in der Exergie zu 63 % sichtbar. Alle bei der nicht erneuerbaren Energie genannten Inputgruppen verteilen sich in ähnlichem Verhältnis auf den Rest der Exergie.

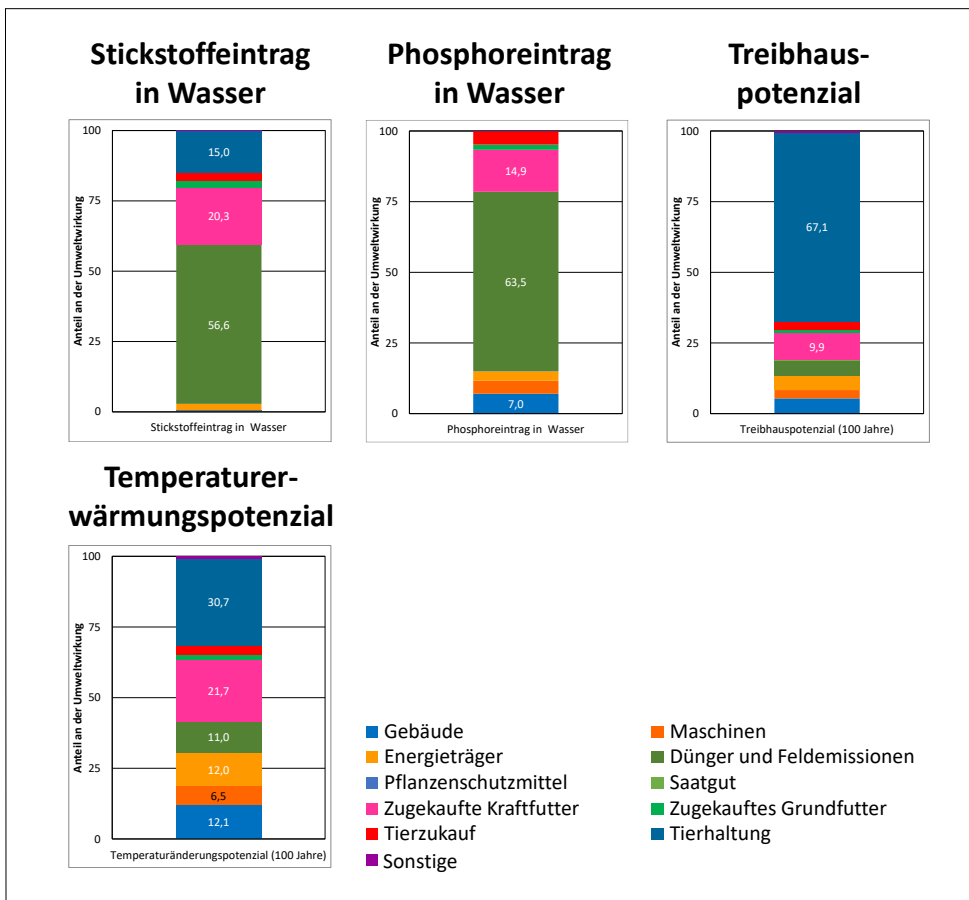


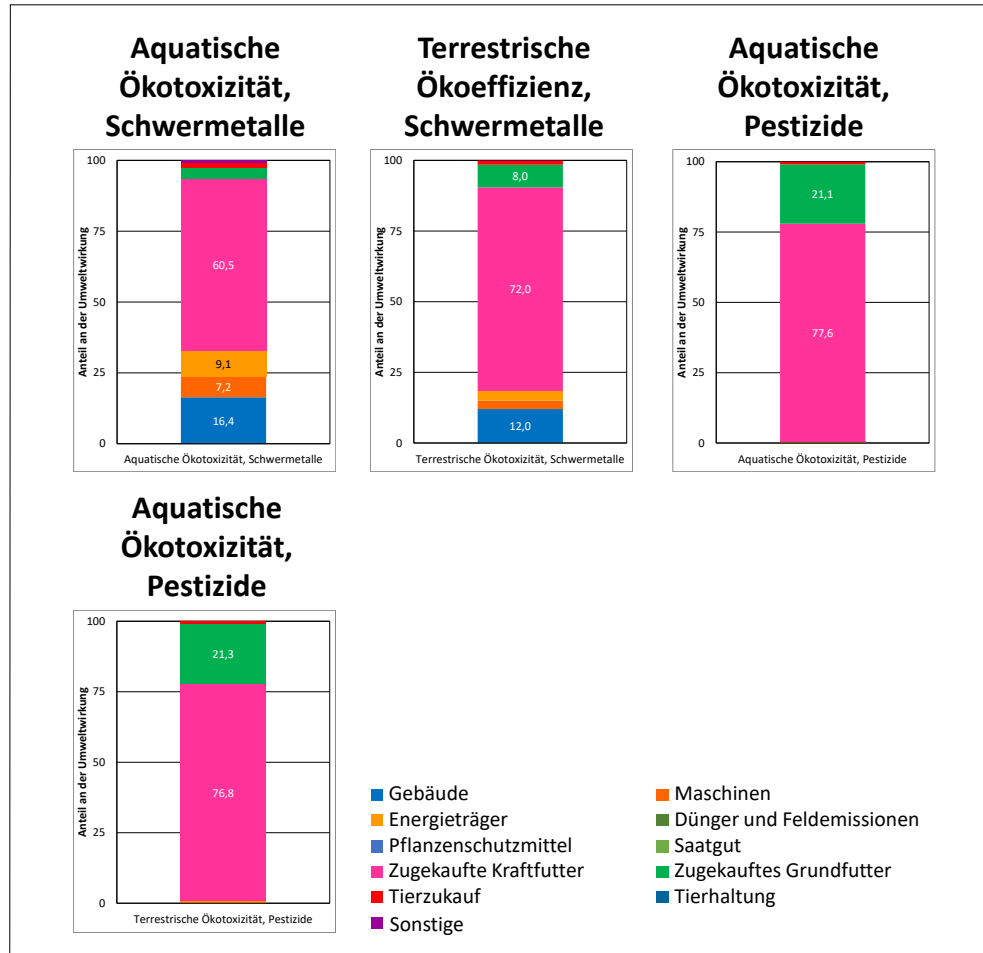
Abbildung 13: Wirkungsanteil der Inputgruppen der nährstoffbezogenen Umweltwirkungen und der Treibhausgase

- Der Stickstoffeintrag in Wasser wird zu 57 % durch die Wirkung der Düngung der eigenen Flächen ausgelöst, weitere 15 % sind der Tierhaltung zuzuordnen. Mit 20 % ergänzen die N-Verluste beim Anbau von Getreide das Ergebnis.
- Der Phosphoreintrag in Wasser wird funktional vor allem durch Erosion auf eigenen (64 %) oder fremden Flächen (15 %) ausgelöst.
- Das Treibhauspotenzial GWP_{100} wird von den CH_4 -Emissionen der Wiederkäuer dominiert. Die Summe der Emissionen durch enterogene Fermentation und im Wirtschaftsdünger lösen einen Wirkungsanteil von 64 % aus. In dieser Summe ist auch ein niedriger Anteil von N_2O -Emissionen am Grünlandbetrieb inkludiert. Der größere Anteil der N_2O -Wirkungen von

etwa 10 % finden im Ackerbau statt. Der Rest steht in Verbindung mit der Nutzung fossiler Energie.

- Das Temperaturerwärmungspotenzial GTP_{100} bereinigt die im Kapitel 2.7 angesprochene Asymmetrie der unterschiedlichen Lebenszeiten von Treibhausgasen. Dies führt für bei den Emissionen aus der Tierhaltung zu einer deutlichen Reduktion des Wirkungsanteils. Die verbleibende Wirkung ordnen sich relativ dazu neu an.

Abbildung 14: Wirkungsanteil der Inputgruppen der schadstoffbezogene Umweltwirkungen



- Die Wirkungen von Schwermetallen, wird vor allem durch die Errichtung von Infrastruktur und die Nutzung fossiler Energie ausgelöst. Die gleichen Wirkungen aggregieren sich bei der Produktion von Zukauffutter und lösen den weiteren, bedeutenden Teil der Wirkungen aus.
- Die Schadwirkungen der verschiedenen Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln dominieren die gleichnamigen Umweltwirkungen.

3.2 Ergebnisse der Umweltwirkungen aller Milchviehbetriebe in Österreich

Gelerntes will angewandt werden! Die Bearbeitung der Daten von 344 FarmLife-Betrieben mit statistischen Werkzeugen hat zu 42 linearen Regressionen (14 Umweltwirkungen mit drei Standorttypen) geführt. Diese sind so parametrisiert, dass sie über vier Tabellen aus dem Verwaltungsdatensatz INVEKOS auf alle Betriebe in Österreich übertragen werden können. Über grundlegende Kennzahlen aller Betriebe wurde in 3.1.1 bereits Auskunft gegeben.

Die linearen Regressionen bilden das Grundgerüst des Prognosemodells. Die Verteilung der Klassen (Standort: Berg, Hügel, Tal und Management: Bio, Kon) und die Variation der Kovariablen (Lieferleistung pro Kuh und Jahr, Anzahl Kühe am Betrieb, Gesamtliefermenge eines Betriebes) in der Datenlandschaft Österreichs bilden die Verschiebungsvektoren. Diese bestimmen den Anteil der Wirkung eines Aspektes am Endergebnis.

Kompliziert zu schreiben, aber einfach zu erklären: Biologisch wirtschaftende Betriebe haben im Schnitt eine geringere Lieferleistung und deshalb entsprechend der Formeln auch andere Ergebnisse bei den Umweltwirkungen als konventionelle Betriebe. Biomilch kommt aber auch seltener vor, weshalb sie bei den betroffenen Umweltwirkungen in der Summe ein geringeres Gewicht hat. Das Konzept wurde schon mehrfach erwähnt und in *Formel 2* dargestellt.

3.2.1 Das Gesamtergebnis der Milchviehbetriebe nach IDF

Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigt das Gesamtergebnis der Modellierung. Die linearen Funktionen, abgeleitet aus den FarmLife-Betrieben (*Tabelle 6*), wurden auf 23.418 Milchlieferbetrieben angewandt. Die Ergebnisse wurden in ihrer Streuung analysiert, wobei die Quartile bzw. der Median über die jeweiligen Milchliefersummen geführt wurde. Der Median ist damit im Jahr 2022 bei den verwendeten Daten in *Tabelle 10* der Liter 1.789.170.950.

Tabelle 10: Gesamtergebnisse von 14 Umweltwirkungen der österreichischen Milchwirtschaft

Alle Betriebe = 100 % der Milchproduktion im Jahr 2022									
Österreich									
Umweltwirkungen	Einheit	Wirkungen pro kg FPCM			Wirkungen pro ha				
		1.Quartil	Median	3.Quartil	1.Quartil	Median	3.Quartil		
Ressourcenbezogen									
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	2,0	2,2	2,3	GJ	14,2	16,4	18,8	
Phosphorverbrauch	g P	0,04	0,34	0,48	kg P	0,0	2,6	4,2	
Flächenbedarf der Produktion	m ²	1,2	1,4	1,8	ha	1,01	1,11	1,18	
Verbrauch blaues Wasser	l	2,1	2,5	3,0	m ³	14,8	20,3	26,2	
Abholzung für die Produktion	cm ²	1,3	1,7	2,2	m ²	1,1	1,4	2,0	
Exergie	MJ	31	34	41	GJ	255	269	270	
Nährstoffbezogene									
Stickstoffeintrag in Wasser	g N _e	4,6	5,0	5,5	kg N	35,4	38,2	41,1	
Phosphoreintrag in Wasser	mg P _e	59	68	82	kg P	0,53	0,58	0,61	
Klimawirkungsbezogene									
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,87	0,99	1,09	t CO ₂ 100 _e	7,0	7,32	7,7	
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,34	0,36	0,40	t CO ₂ 100 _e	2,4	2,7	3,0	
Schadstoffbezogenen									
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	2,4	2,6	2,6	kg 1,4-DB _e	15,9	20,5	25,9	
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	0,19	0,22	0,25	kg 1,4-DB _e	1,4	1,7	2,0	
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	0,58	10,44	14,91	kg 1,4-DB _e	0,0	78,7	131,2	
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	0,00	0,29	0,48	kg 1,4-DB _e	0,00	2,29	4,29	

Tabelle 11: Gesamtergebnisse von 14 Umweltwirkungen der konventionell wirtschaftenden Milchviehbetriebe in Österreich

Konventionelle Betriebe = 74,7 % der Milchproduktion im Jahr 2022									
Österreich									
Umweltwirkungen	Wirkungen pro kg FPCM			Wirkungen pro ha					
	1.Quartil	Median	3.Quartil	1.Quartil	Median	3.Quartil			
Ressourcenbezogen									
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	2,0	2,1	2,3	GJ	14,6	16,8	19,1	
Phosphorverbrauch	g P	0,30	0,41	0,52	kg P	2,3	3,4	4,7	
Flächenbedarf der Produktion	m ²	1,1	1,3	1,7	ha	0,99	1,08	1,15	
Verbrauch blaues Wasser	l	2,2	2,5	3,0	m ³	15,7	21,0	26,7	
Abholzung für die Produktion	cm ²	1,3	1,8	2,3	m ²	1,2	1,5	2,1	
Exergie	MJ	29	32	39	GJ	250	267	270	
Nährstoffbezogene									
Stickstoffeintrag in Wasser	g N _e	4,5	4,8	5,3	kg N	36,2	38,8	41,5	
Phosphoreintrag in Wasser	mg P _e	58	65	76	kg P	0,53	0,57	0,61	
Klimawirkungsbezogene									
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,85	0,95	1,06	t CO ₂ 100 _e	7,0	7,4	7,8	
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,33	0,35	0,39	t CO ₂ 100 _e	2,5	2,8	3,1	
Schadstoffbezogenen									
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	2,4	2,7	2,7	kg 1,4-DB _e	16,7	21,7	27,0	
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	0,19	0,21	0,25	kg 1,4-DB _e	1,4	1,7	2,1	
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	8,95	12,59	16,11	kg 1,4-DB _e	66,4	105,5	145,8	
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	0,24	0,38	0,54	kg 1,4-DB _e	1,84	3,28	4,88	

Tabelle 12: Gesamtergebnisse von 14 Umweltwirkungen der biologisch wirtschaftenden Milchviehbetriebe in Österreich

Biologische Betriebe = 25,3 % der Milchproduktion im Jahr 2022									
Österreich									
Umweltwirkungen		Wirkungen pro kg FPCM			Wirkungen pro ha				
		1.Quartil	Median	3.Quartil	1.Quartil	Median	3.Quartil		
Ressourcenbezogen									
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	2,2	2,2	2,3	GJ	13,1	15,2	17,4	
Phosphorverbrauch	g P	0,00	0,00	0,00	kg P	0,0	0,0	0,0	
Flächenbedarf der Produktion	m ²	1,4	1,8	2,0	ha	1,12	1,18	1,21	
Verbrauch blaues Wasser	l	2,0	2,5	3,0	m ³	12,5	18,3	24,1	
Abholzung für die Produktion	cm ²	1,1	1,5	1,8	m ²	0,9	1,1	1,5	
Exergie	MJ	37	41	45	GJ	269	270	271	
Nährstoffbezogene									
Stickstoffeintrag in Wasser	g N _e	4,9	5,4	5,6	kg N	33,0	36,5	39,4	
Phosphoreintrag in Wasser	mg P _e	67	81	91	kg P	0,55	0,58	0,61	
Klimawirkungsbezogene									
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,98	1,08	1,16	t CO ₂ 100 _e	6,9	7,2	7,5	
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO ₂ 100 _e	0,36	0,38	0,41	t CO ₂ 100 _e	2,3	2,6	2,8	
Schadstoffbezogene									
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	2,3	2,5	2,5	kg 1,4-DB _e	13,7	17,7	21,9	
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB _e	0,20	0,24	0,25	kg 1,4-DB _e	1,3	1,7	1,9	
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	0,00	0,00	0,00	kg 1,4-DB _e	0,0	0,0	0,0	
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB _e	0,00	0,00	0,00	kg 1,4-DB _e	0,00	0,00	0,00	

3.2.2 Unterschiede im Management (Bio/Kon)

Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 können verwendet werden um Tabelle 10 in Anhang zu berechnen. Die daraus in *Abbildung 15* gezeichneten Diagramme zeigen nichts anderes als die Wirkung der Lieferleistung die wir unter 4.4.2 als steigend bzw. reduzierend beschreiben werden. Die mittlere Lieferleistung der biologischen Kühe im Jahr 2022 lag um etwa 1/5 niedriger als jene Leistung die konventionellen Kühe an die Molkereien abgeliefert hat. Dem Bewertungsmodell folgend wirken sich diese Unterschiede klarerweise mit Abweichungen in beide Richtungen aus. Hier gar nicht dargestellt wurden die Umweltwirkungen der Toxizität die mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln einhergehen und die Umweltwirkung Phosphorverbrauch der mit der mineralischen Düngung verbunden ist. Beides gibt es in der biologischen Landwirtschaft nicht, weshalb hier ein eindeutiger Vorteil vorliegt. Dass dieser Vergleich aber auch zum Teil vom zweiten Faktor, dem Standort überschrieben wird, kann am P-Eintrag im Wasser beobachtet werden. Diese Umweltwirkung hängt stark am Erosionspotential, dieses wiederum an der Hangneigung der Schläge ab. Biologische Betriebe im Berggebiet haben oft steile Flächen.

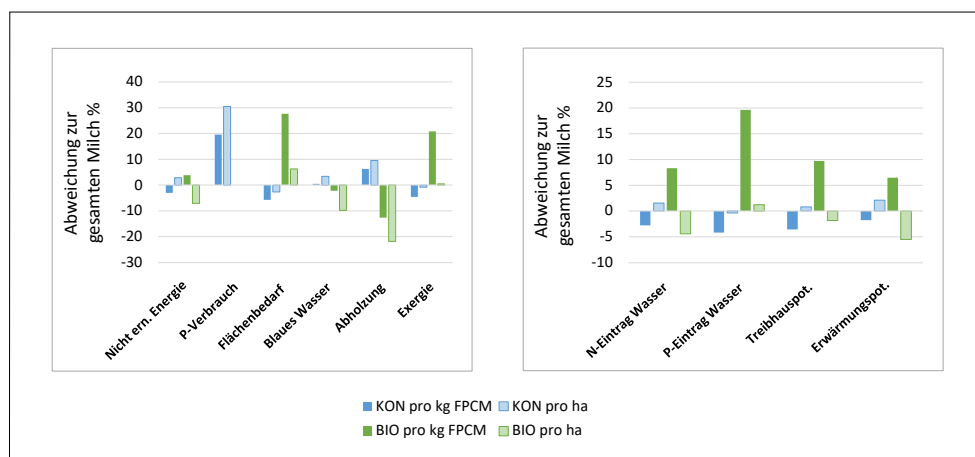


Abbildung 15: Einfluss des Managementverfahrens auf die Umweltwirkung

3.2.3 Unterschiede im Standort (Berg/Hügel/Tal)

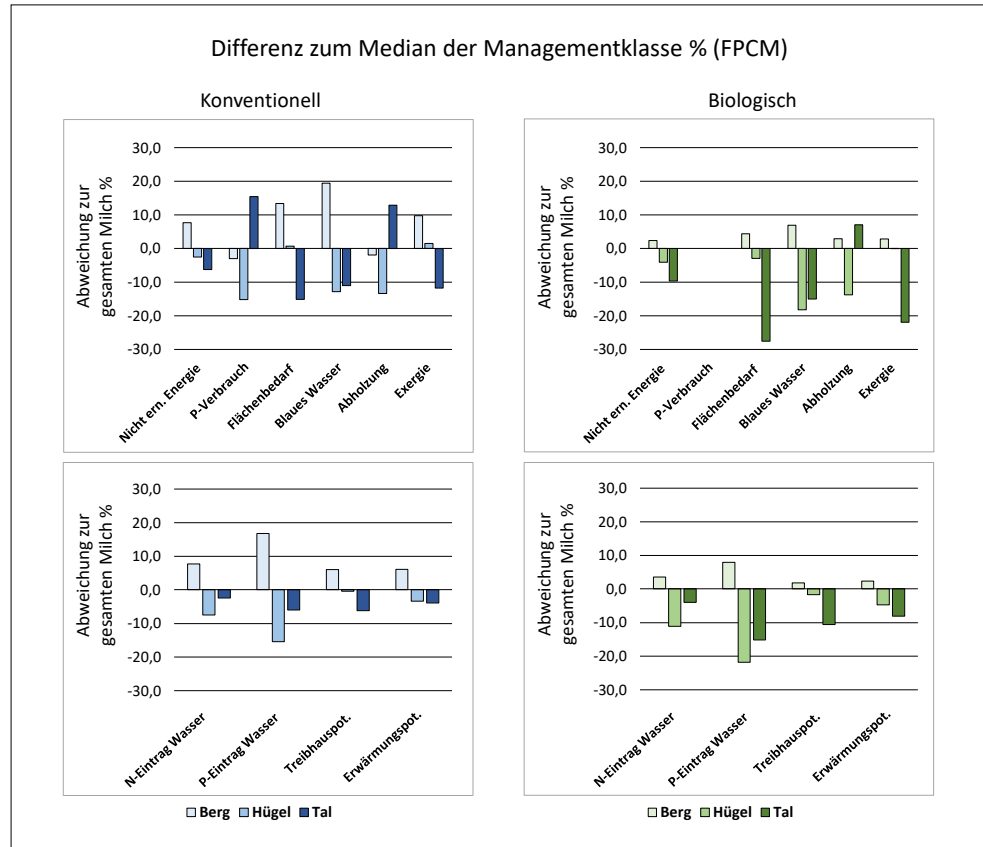
Die Ergebnisse zum Einfluss des Standorts auf die Umweltwirkungen von Milchviehbetrieben vertieft die Analyse des Managementverfahrens und teilt die Daten innerhalb der konventionellen bzw. biologischen Landwirtschaft noch einmal feiner in die Standorte Berg, Hügel und Tal auf. *Abbildung 16* zeigt die Wirkung am Beispiel der funktionellen Einheit kg FPCM, *Tabelle 17* und *Tabelle 18* im Anhang jeweils pro kg FPCM bzw. ha.

Die dargestellten Werte sind die Abweichungen des einzelnen Standortes vom Durchschnitt der Managementgruppe. Ein Vergleich in optischer oder numerischer Form zwischen den Managementgruppen führt hier in die Irre und soll unterlassen werden!

Abbildung 16 macht deutlich, dass der Standort Berg mit seiner klimatischen Benachteiligung immer zu höheren Umweltwirkungen pro kg FPCM führt. Dieser Effekt wird ganz allgemein sowohl durch die Kompensation der Standortsnachteile

durch höhere Betriebsmittelzukäufe als auch durch die Lieferleistung der Tiere ausgedrückt. Die Ertragsnachteile werden in der Umweltwirkung Landnutzung und Exergie sichtbar. Bei den Standorte Hügel und Tal wirkt die Differenzierung der Schlagnutzungen im Ackerbau. Dies kann in der konventionellen Landwirtschaft sowohl beim Phosphorverbrauch für die Düngung, als auch bei den Phosphorverlusten in das Wasser beobachtet werden.

Abbildung 16: Einfluss des Standorttyp pro kg FPCM auf die Umweltwirkungen von konventionellen oder biologischen Betrieben



3.2.4 Bewertung von Einzelunternehmen

Das statistische Modell in Kapitel 2.5 führt drei bewegliche Größen für die Bewertung von den FarmLife-Betrieben ein. Diese Größen sind das Management und der Standort als fixe Klasse und die Lieferleistung pro Kuh und Jahr als Kovariable. Der Einfluss der Klassen wurde in Kapitel 3.2.2 (Management) und 3.2.3 (Standort) dargestellt. Die Wirkung der beweglichen Größe der Lieferleistung bildet sich in der Steigung der Schätzgleichung in *Tabelle 6* ab. Alle Faktoren spannen bei ihrer Anwendung auf die INVEKOS-Daten eine große Variation an Möglichkeiten auf. Die räumliche Zuordnung dieser Variationen kann theoretisch über die Ergebnisse der einzelnen Molkereien wieder abgeholt werden. Dafür wurde die Klasse MO eingeführt. Die Einzelunternehmen haben ein lokales Sammelgebiet das sich in aller Regel nicht maßgeblich aus der Region wegbewegt, wobei wir fast in jeder Region auch eine Diversifizierung der Standorte und Managementmaßnahmen finden. Das bedeutet, dass jedes Unternehmen verschiedenen Anteil an Berg,

Hügel und Talbetrieben hat und neben der konventionellen Milch oft auch mehr oder weniger große Anteile an Biomilch sammelt. *Abbildung 17* demonstriert diesen Zusammenhang an den zwei Umweltwirkungen die mit der Frage der Klimaerwärmung in Zusammenhang stehen. In der Abbildung sind jene 5 Unternehmen zu sehen die maßgeblich am Projekt mitgearbeitet haben. Gemeinsam sammeln diese Unternehmen rund 2/3 der österreichischen Milch. Die Buchstaben wurden einmal zufällig vergeben. Die Bewertung der biologischen bzw. konventionellen Milch wurde auf das jeweilige nationale Ergebnis bezogen und auf der Y-Achse dargestellt. Die Streubreite der dargestellten Umweltwirkungen ist bemerkenswert gering und liegt weit unterhalb der in *Tabelle 8* dargestellten Werte. Für die Bewertung der Umweltwirkung Treibhauspotenzial GWP_{100} gibt es bei der konventionellen bzw. biologischen Milch je ein Unternehmen, das sich tendenziell signifikant von den anderen Unternehmen unterscheidet. R^2 ist im statistischen Modell wegen der Gesamtstreuung aber so niedrig, dass eine quantitative Aussage als kritisch zu betrachten ist. Zusätzlich, und das wird in der Diskussion in *Tabelle 13* gezeigt, läuft der Werber in Gefahr, dass die inverse Beziehung zur funktionellen Einheit ha die Werbebotschaft unglaubwürdig macht.

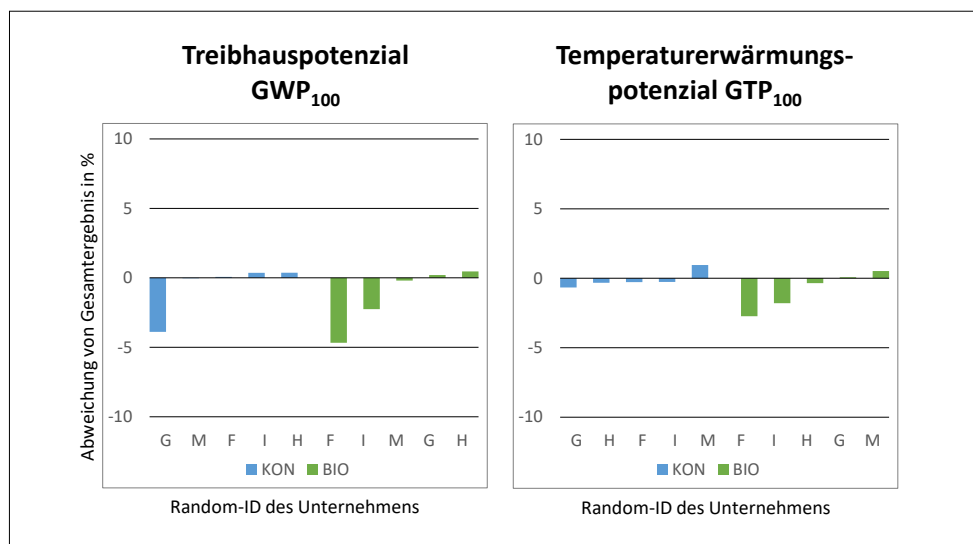


Abbildung 17: Ranking der großen Molkereien in Österreich in beiden funktionellen Einheiten

Für die funktionelle Einheit FPCM werden alle 14 Umweltwirkungen im Anhang unter 8.2.4 dargestellt. Die Unterschiede bleiben auch hier in aller Regel im Rahmen. Deutliche Unterschiede bei einzelnen Unternehmen werden vor allem durch die Standorte der Milchlieferbetriebe ausgelöst. Wollen einzelne Unternehmen hier aktiv werden, so sollten sie ihre Interpretation der Umweltwirkung bis auf den natürlichen Faktor zurückführen.

Jede der am Projekt teilnehmende Molkerei hat Betriebe aus den Standorten Berg, Hügel und Tal. Ebenso sammeln alle konventionelle und biologische Milch. Allgemeine Unterschiede zwischen den Molkereien können nicht abgesichert werden, spezielle, ausgelöst durch die Standorte schon.

4. Diskussion der Projektergebnisse

4.1 Daten und ihre Repräsentativität

Die im Projekt gesammelte Datenbasis (Total: 389 FarmLife-Betriebe; In der Bewertung: 344 FarmLife-Betriebe) zur Umweltbewertung von Milchlieferbetriebe beträgt 1,7 % aller Milchlieferbetriebe in Österreich. Diese Anzahl ist ausreichend um die Bedingungen einer Stichprobengröße aller Milchlieferbetriebe in Österreich (Grundgesamtheit) zu erfüllen. Die Stichprobe ist im Hinblick auf wichtige Produktionskennzahlen für die Grundgesamtheit repräsentativ. Sie enthält über 660.000 Einzelinformationen für die Entwicklung eines dynamischen Prognosemodells der österreichischen Milchwirtschaft. Knapp 73 Personenmonate wurden von allen beteiligten Personen in die Erfassung und Verarbeitung investiert, 19 Personenmonate davon von den Bäuerinnen und Bauern in Österreich. Das ist, soweit bekannt im weiten Umfeld Österreichs beispiellos und eine gemeinsame, große Leistung. Studien in anderen Länder konnten nicht annähernd so viele Betriebe mit vollständigen Prozessdaten abschließen.

Die räumliche Verteilung der Betriebe deckt alle Lagen Österreichs ab und wurde im Projekt über die Schlagnutzungsstruktur in drei Standorttypen eingeteilt. Der Standort Berg bewirtschaftet mindestens 95 % an Dauergrünland, der Standort Tal mehr als 16,4 % im Anbau von Marktfrüchten. Der Standort Hügel hat noch kein Getreide, dafür aber Silomais und Feldfutter mit einem Anteil von mehr als 23,9 %. Die Verteilung der Standorte aller FarmLife-Betriebe ist fast ideal an die Verteilung der Standorte aller Betriebe angepasst. Die Betriebe wurden zusätzlich in biologische bzw. konventionelle unterteilt, wobei ein leichter Überhang von 55 % den konventionellen Betrieben zuzuordnen ist. Das ist noch etwas zu wenig, hat aber nur einen minimalen Einfluss auf die Ergebnisse. Die Lieferleistung der Betriebe wurde als variable Größe in die Modellierung eingebracht. Die mittleren Lieferleistungen der FarmLife-Betriebe in kg pro Kuh und Jahr liegen nur 1,4 % unter der tatsächlichen mittleren Lieferleistung Österreichs im Jahr 2022.

Der feingliedrig untersuchte FarmLife-Datensatz von 344 Milchlieferbetrieben ist repräsentativ für alle Milchlieferbetriebe in Österreich und kann für die Erstellung eines Prognosemodells verwendet werden!

4.2 Der methodische Weg und die Zielerreichung

Das Ziel der Bereitstellung einer gesamtheitlichen Umweltbewertung für alle Milchviehbetriebe in Österreich wurde erreicht. Als Methode wurde für 14 Umweltwirkungen ein Matrix linearer Funktionen mit Nebenbedingungen nach der Vorlage in *Formel 1* definiert. Die Umweltwirkungen selber wurden nach den Ökobilanzierungszielen und dem Untersuchungsrahmen in Kapitel 2.2 erstellt und dann an die Abweichungen der IDF Methode 519/219 (siehe Kapitel 2.3) angepasst. Die Koeffizienten für die Prognosematrix können aus *Tabelle 6* entnommen werden. Zur Erhöhung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit internationalen Quellen, hier wird sehr häufig auch die Vorleistung in die Infrastruktur Maschinen und Gebäude integriert, wurde die Prognosematrix in

Tabelle 9 zusätzlich auch für die Infrastruktur der Milchlieferbetriebe aufgestellt. Gesamtheitlich wird das Prognosemodell durch seine Parametrisierung in vier verschiedenen Bereiche der Umweltbewertung. Sechs Parameter beschreiben die ressourcenbezogenen Umweltwirkungen, zwei die nährstoffbezogenen Umweltwirkungen, zwei die Wirkungen der Treibhausgasemissionen und vier die schadstoffbezogenen Umweltwirkungen. Alle untersuchten Umweltwirkungen nutzen international anerkannte Modelle (siehe Parameterbeschreibung in 2.4). Obwohl FarmLife seit einigen Jahren zusätzlich auch das Tierwohl in die Bewertung mit einbezieht (FarmLife-Welfare-Index) und seit einem Jahr auch ein Bewertungsmodell für die Biodiversität bereitsteht, wurde auf einen Einsatz verzichtet, weil beide Bereiche noch nicht ausreichend mit Erhebung abgedeckt sind.

Das Projekt hat sein Ziel erreicht und stellt der österreichischen Milchwirtschaft ein dynamisches Prognosemodell für die gesamtheitliche Umweltbewertung zur Verfügung. Dieses Modell darf nur in Österreich angewandt werden!

4.3 Einordnung der Ergebnisse

Die österreichischen Ergebnisse aller Umweltwirkungen werden in *Tabelle 10* dargestellt. Die Tabelle enthält den für Österreich stellvertretenden Wert einer Umweltwirkung am Median der Milchmenge. Das Ergebnis wird von den Werten am 1. und 3. Quartil begleitet. Alle Umweltwirkungen werden sowohl für die funktionelle Einheit kg FPCM als auch für die funktionelle Einheit ha dargestellt. In *Tabelle 11* werden nach dem gleichen Muster die Ergebnisse nur für die konventionelle und in *Tabelle 12* für die biologische Milch dargestellt. Die Streuungsmaße der Parameter können in nicht differenzierter Form aus *Tabelle 7* entnommen werden. Die Einordnung der Ergebnisse wurde für die funktionelle Einheit kg FPCM vorgenommen. Flächenbezogene Ergebnisse sind in der Literatur selten zu finden. Das ist unverständlich, weil viele der Umweltwirkungen ihren Schaden auf die Fläche referenzieren und der Bezug zum Produkt eigentlich eine Vermarktungsfrage ist.

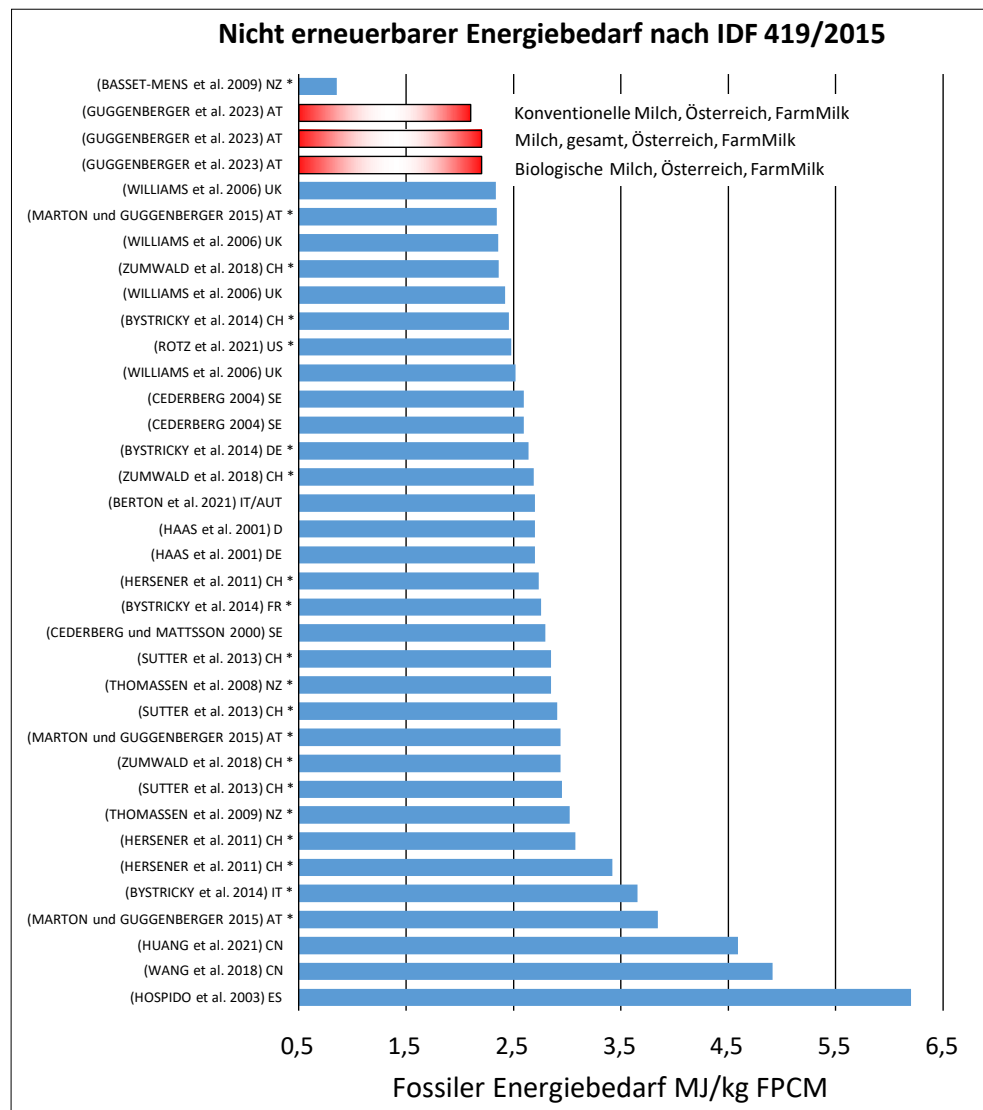
Die Erstellung der Referenzliste internationaler Literatur, diese wurde als Anhang 8.1.2 angefügt, ist mit einigen Herausforderungen verbunden. Auch wenn die einzelnen Autoren die Regeln der Ökobilanzierung eingehalten haben, so unterscheiden sich doch die funktionelle Einheit, die genauen Regeln der Allokation und die Systemgrenze der bewerteten Inventare. Als funktionelle Einheiten treten hier ein kg FPCM, ein kg Milch, ein Liter Milch auf. Eine Gewichtsnormierung wäre mit einer Konstanten möglich, die Gehaltskorrekturen nicht, da der Fett- und Eiweißgehalt der Milch nicht bekannt ist. Die Allokation, besonders die Abtrennung zwischen der Milchproduktion und den Koppelprodukten (Fleisch und Zucht), unterscheidet sich wahrscheinlich ebenso. Für alle Quellen die in der Spalte Methode den Wert LCA/ISO-ADJUSTED tragen wurden durch MAZZETTO et al. 2022 eine Normierung der Allokation von Milch auf 85 % aller Werte der Rinderhaltung vorgenommen. Hinsichtlich der Systemgrenzen der Inventare zeigt sich, dass IDF und viele Autoren die Off-Farm Emissionen (indirekte Emissionen) der Betriebsinventare Maschinen und Gebäude nicht berücksichtigt haben.

Bei Autoren die diese schon berücksichtigt haben, wurden in den folgenden Abbildungen die Balken am Ende mit einer kleinen schwarzen Markierung versehen. Bei der Darstellung der einzelnen Umweltwirkungen kann am Titel das Referenzsystem abgelesen werden.

4.3.1 Ressourcenbezogenen Umweltwirkungen

Fossile Energie wird in der Landwirtschaft zur Produktion von Infrastruktur und deren Betrieb verwendet. Im Durchschnitt wird in Österreich eine Energiemenge von $2,2 \text{ MJ} \pm 29,2 \%$ pro kg FPCM an Energie aus fossilen oder nuklearen Quellen verwendet. Das entspricht einer Menge von 55 Milliliter Diesel. Der Phosphorbedarf an mineralischem Phosphor liegt bei $0,34 \text{ g} \pm 87,2 \%$ P pro kg FPCM. Der P-Gehalt von Kuhmilch liegt bei rund 1 g P pro kg FPCM. Die hohe Streuung beim Phosphorbedarf ist Ausdruck der binären Situation der Düngung. Biobetriebe dürfen ihn nicht, konventionelle können ihn verwenden. Die Landnutzung wurde im Durchschnitt der Milch mit $1,4 \text{ m}^2 \pm 26,2\%$ an Fläche bewertet. In diesem Wert

Abbildung 18: Einordnung der Ergebnisse des fossilen Energiebedarfes in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.1



ist der Anteil der Eigenfläche des Betriebes und alle externen Flächen für die Produktion von Zukauffutter, Betriebsmittel und Inventar inkludiert (siehe *Abbildung 12* an einem exemplarischen Beispiel). Im nationalen Modell beeinflusst vor allem die Lieferleistung der Tiere die Abhängigkeit von externen Flächen. Bei sehr geringer Lieferleistung sind Flächen in Hügel- und Tallage autark. Bergbetriebe verwenden aber für jeden ha Eigenbesitz zusätzlich 0,26 ha an Fremdfläche. Hohe Leistungen führen dazu, dass die Betriebe Berg, Hügel, Tal zu jedem ha Eigenbesitz rund 0,5 ha an Fremdfläche mitbenutzen. Das ist die zentrale Ursache für die Aggregation von Umweltwirkungen bei intensiven Produktionssystemen. Der Verbrauch an blauem Wasser wurde mit 2,5 (7,5) Liter \pm 132,5 % pro kg FPCM ermittelt. Dieser Wert betrifft alle Produktionsprozesse des Betriebes, inkludiert aber die Tränke der Tiere und den Wasserbedarf für Melken und Managen nicht. Aus der Literatur wurde ein Wert von 5 Liter pro kg FPCM hinzugezählt (HÖRTENHUBER et al. 2010). Erst diese Zurechnung ermöglicht einen Vergleich mit internationalen Quellen. Für einen kg FPCM aus

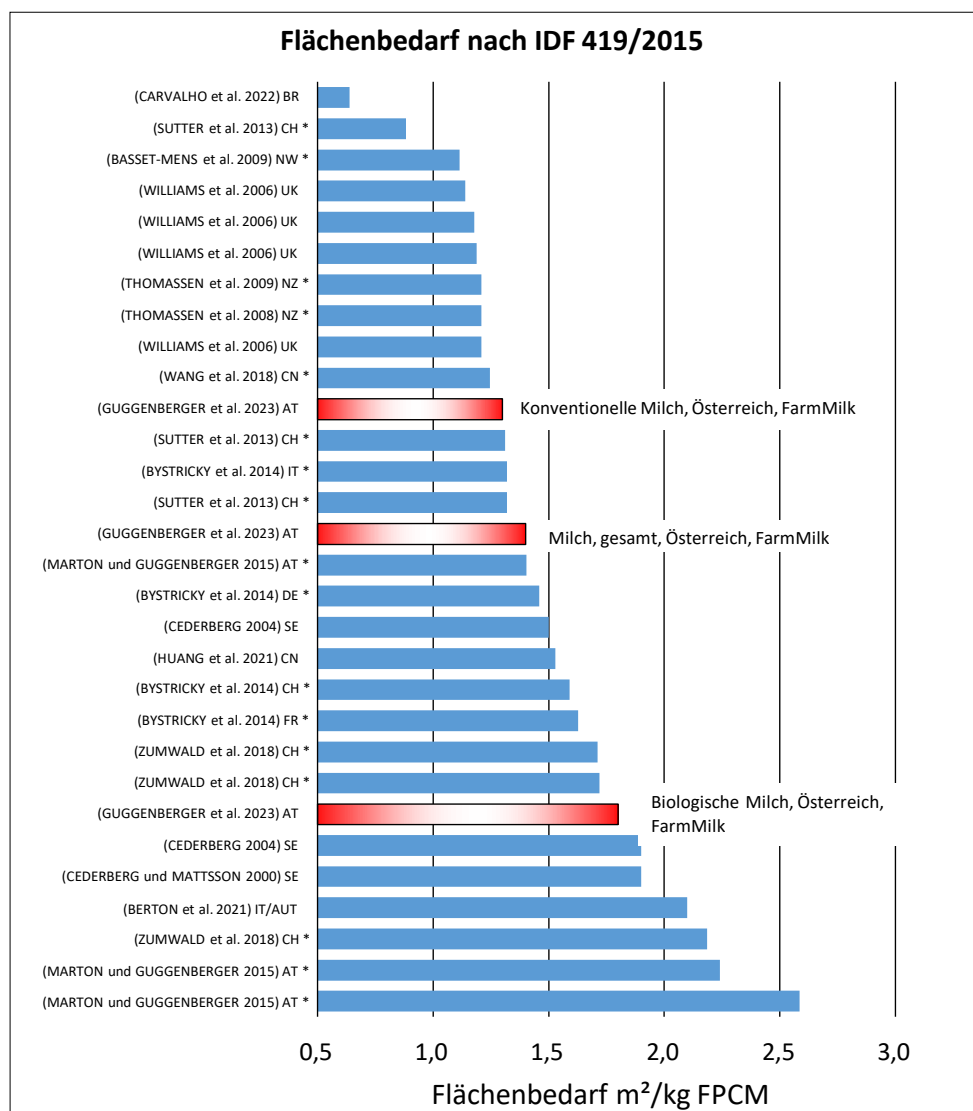


Abbildung 19: Einordnung der Ergebnisse des Flächenbedarfes in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.2

Abbildung 20: Einordnung der Ergebnisse des Bedarfes an blauem Wasser in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.3

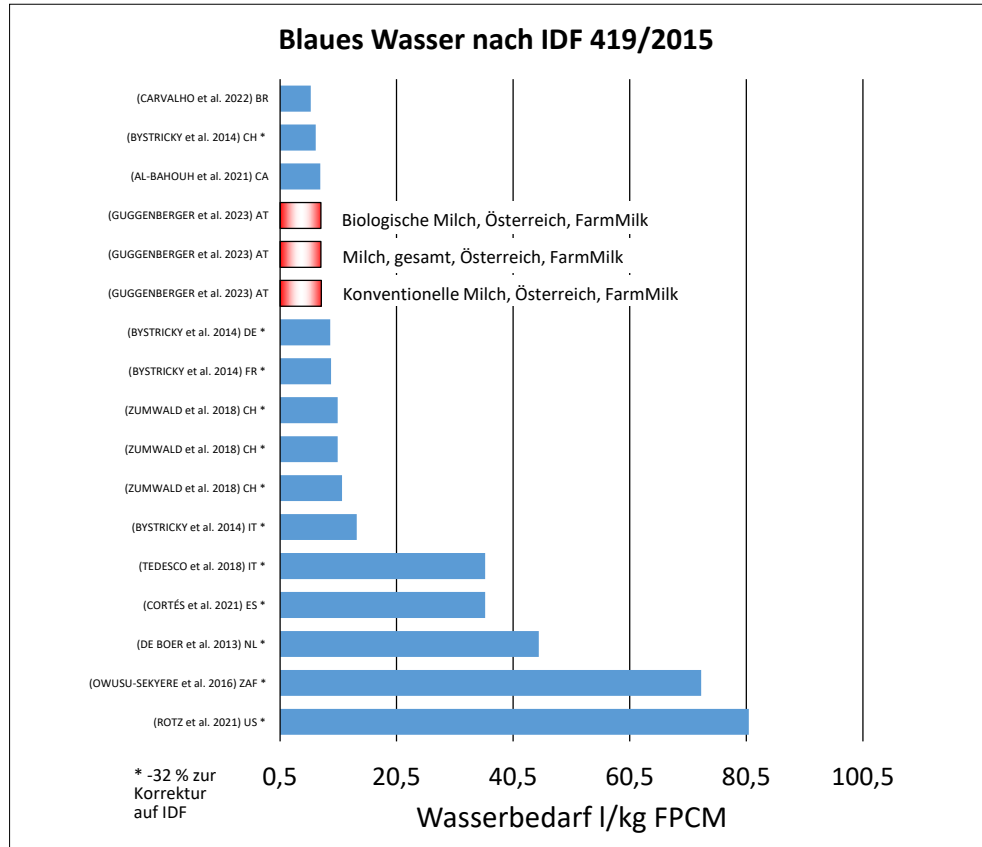
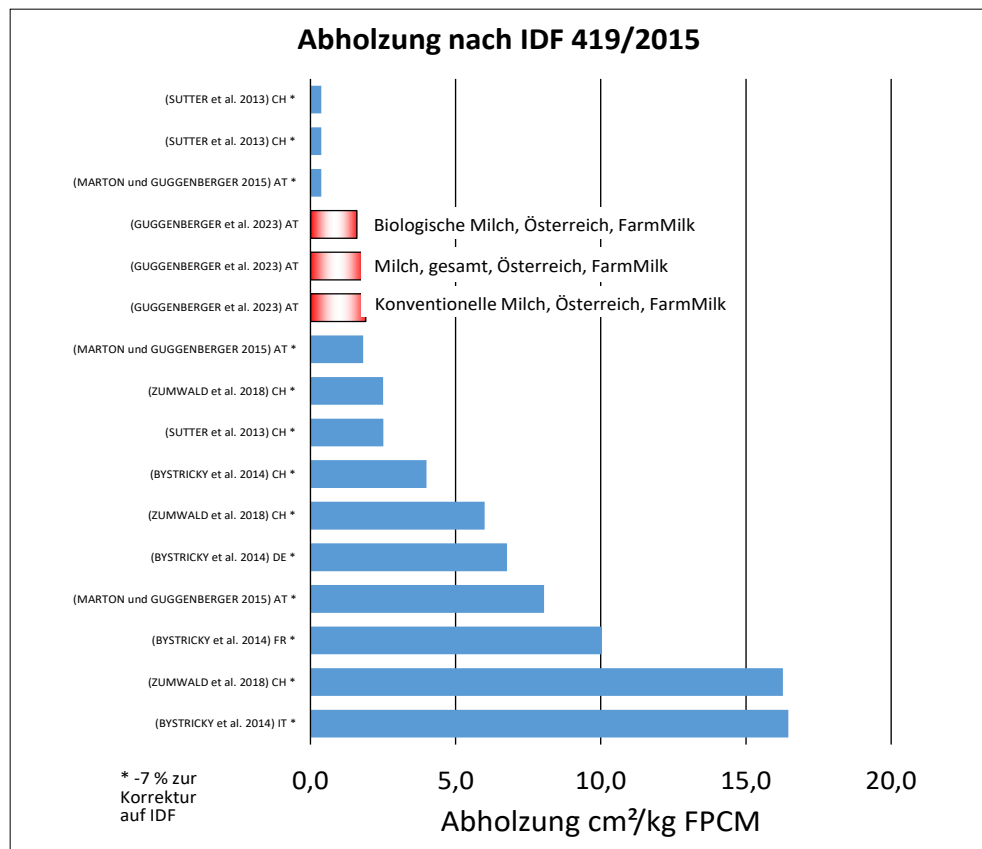


Abbildung 21: Einordnung der Ergebnisse zur Abholzung in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.4



Österreich fallen national $1,7 \text{ cm}^2 \pm 77,4 \%$ an Landnutzungsänderungen an. Das ist $0,1 \%$ der Produktionsfläche. Die Exergie als holistischer Wert wurde nicht eingeordnet. Der Ansatz ist zu jung und wird nur selten publiziert.

Die Produktion von Milch aus Österreich benötigt im internationalen Vergleich auf der Basis IDF 419/2015 wenig fossile Energie und blaues Wasser. Ersteres ist ein Wettbewerbsvorteil, da Energie die importiert werden muss nicht nur eine Umwelt-, sondern auch ein Wirtschaftsrisiko ist. Grundfutter, im besonderen Heu und Weide kann mit weniger Aufwand produziert werden, als dass bei Ackerfrüchten der Fall ist. Der geringe Bedarf an blauem Wasser begründet sich durch den sehr spärlichen Einsatz von Beregnung im Feldfutter- und Ackerbau. Grünland wird in Österreich nur ganz selten beregnet. Im Flächenbedarf fällt das Ranking ab, weil viel Milch auf extensiven Flächen erzeugt wird. Diese liefern einen geringeren pflanzenbaulichen Ertrag, stehen aber nicht in Konkurrenz zur Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel die direkt für den menschlichen Verzehr geeignet sind. Für Milch aus Österreich wird nur eine minimale Fläche zugunsten der Futterproduktion abgeholzt. Neben der Produktionsfunktion liefern Flächen der Wiederkäuerhaltung, hier der Milchproduktion, auch wertvolle Ökosystemleistungen.

4.3.2 Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen

Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen beschreiben die Verfrachtung von Nährstoffen in angrenzende Ökosysteme. Die hier dargestellte Eutrophierung betrifft den Austrag von N_e bzw. P_e in die angrenzenden Wasserkörper der Produktionssysteme. Die Eutrophierung N_e beträgt pro kg FPCM $5,0 \text{ g} \pm 45,1 \%$. Bei Eutrophierung P_e liegt der Wert bei $68 \text{ mg} \pm 41,1 \%$ pro kg FPCM. N_e wird durch die Düngung der eigenen Felder mit Wirtschaftsdünger und durch den Zukauf von Futtermittel von fremden Feldern angehoben. Die Futtermittelzukaufe liegen in Österreich im unteren Bereich, der Treiber dürfte damit die Düngung sein. Der Vergleich der Säulen in *Abbildung 22* und *Abbildung 23* bezieht sich nur auf Quellen die mit dem Basissystem von FarmLife, das ist SALCA, berechnet wurden. Die Quellen beziehen sich auf Analysen in der Schweiz. Sehr geringe Werte wurden nur in einer Untersuchung in einem älteren, sehr extensiven und kleinen Datensatz in Österreich gefunden. N_e für die Milch aus Österreich liegt etwa in der Mitte des Streubereiches. Phosphor ist im Boden schwer beweglich, kann aber mit den Bodenaggregaten abgeschwemmt werden. PE ist deshalb nicht nur Ausdruck der Nährstoffbeziehung, sondern auch des Erosionspotenzials. Eine vollständige Nährstoffbilanz mit allen Quellen und Senken wird in FarmLife nicht berechnet. Aus den Düngenährstoffen (alle Dünger inklusive der Vorfruchtwirkung) und dem Entzug wird allerdings eine einfache Düngebilanz erstellt. Im Mittel aller Betriebe liegt die N-Bilanz pro ha bei $-45,54 \pm 46,54 \text{ kg N pro ha}$. Im Grünland darf mit einer N-Nachlieferung aus der Mineralisierung von bis zu 60 kg gerechnet werden, der symbiontische Stickstoff der Leguminosen kann beim gebotenen Niveau im Bereich von 20 bis 30 kg N angesetzt werden. Bleiben Deposition und Auswaschung noch unberücksichtigt, wird sich eine Gesamtbilanz im Bereich von $+40 \text{ kg N pro ha}$ ergeben. Ein immer noch niedriger Wert der durch den großen Anteil an Grünland erreicht wird. Die P_2O_5 -Bilanz aus Düngung

Abbildung 22: Einordnung der Eutrophierung N Ergebnisse in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.5

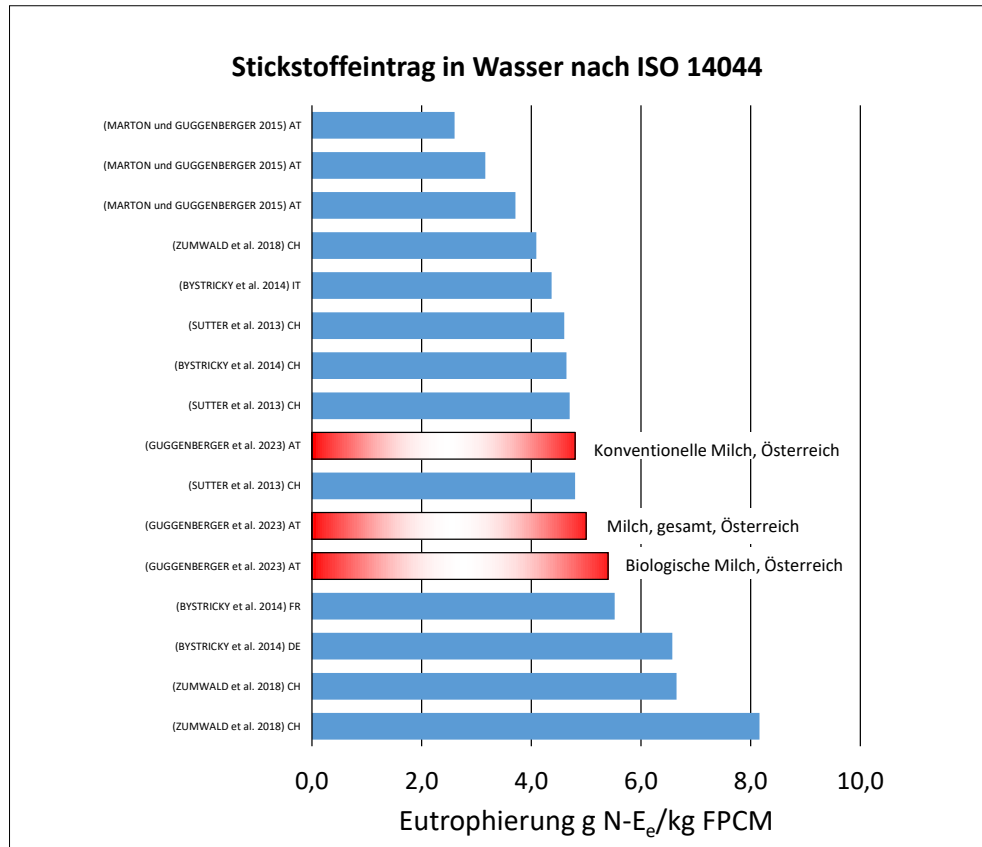
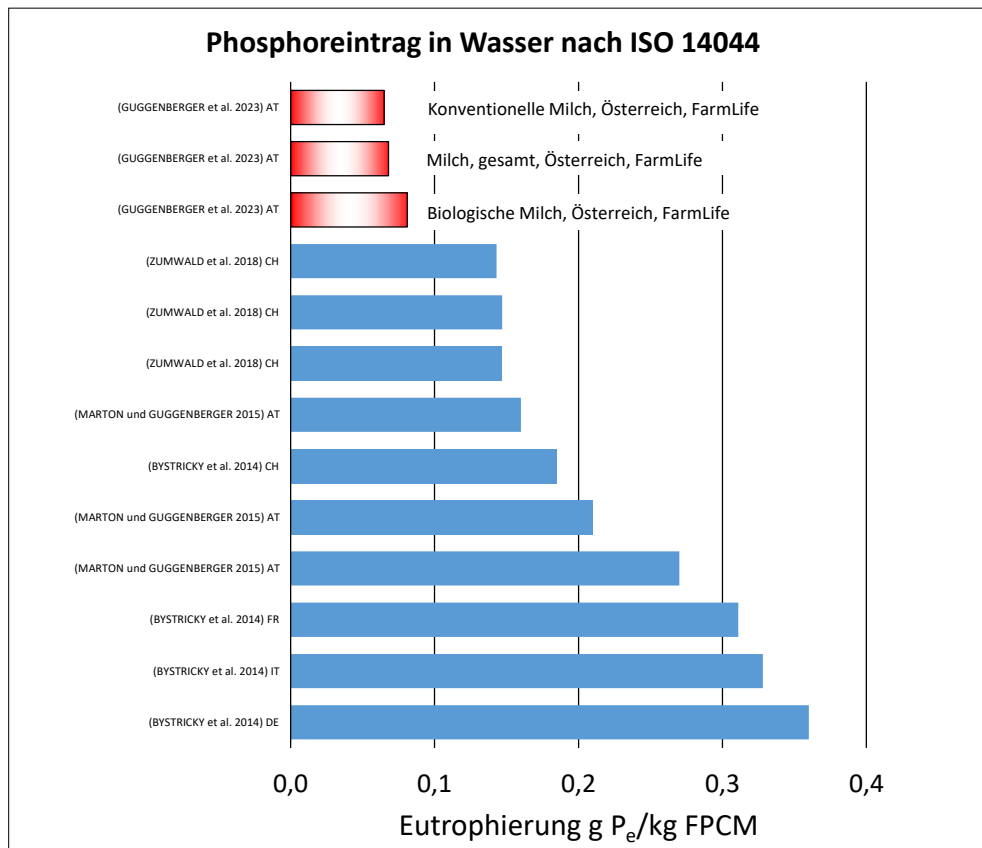


Abbildung 23: Einordnung der Eutrophierung P Ergebnisse in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.6



und Entzug erreicht einen Wert von $+8,16 \pm 46,54$ kg pro ha, K_2O liegt bei $-16,89 \pm 46,54$ kg pro ha.

N_e und P_e aus der Ökobilanz können im Rechenweg nicht direkt mit der Nährstoffbilanzierung im Pflanzenbau verglichen werden. Gemeinsam ist ihnen sowohl für N als auch für P, dass die Umweltwirkung pro kg FPCM etwas dem Gehalt von N und P pro kg FPCM entspricht. Ein kg FPCM enthält 5,44 g N und max. 1 g P. Diese Aussage kann bei einer Lieferleistung von 8.000 kg FPCM pro ha (\varnothing 1,25 Kühe mit 6.400 kg FPCM) auch in der Feldbilanz gefunden werden.

4.3.3 Klimawirkungsbezogene Umweltwirkungen

Mit einem Wert von $0,95$ kg $CO_2e \pm 15,3$ % pro kg FCM konventioneller Milch beim Treibhauspotenzial GWP_{100} bzw. von $0,35$ kg $CO_2e \pm 18,8$ % pro kg FCM konventioneller Milch beim Temperaturerwärmungspotenzial GTP_{100} weist Österreich auf einer soliden Datenbasis einen besonders niedrigen Wert aus. Die biologische Milch liegt etwas höher und weist $1,08$ kg $\pm 15,3$ % CO_2e pro kg FCM beim Treibhauspotenzial GWP_{100} bzw. von $0,38$ kg $CO_2e \pm 18,8$ % pro kg FCM beim Temperaturerwärmungspotenzial GTP_{100} aus. Die höheren Werte der biologischen Landwirtschaft beim Treibhauspotenzial GWP_{100} erklären sich durch die grundfutterbasierte Ernährung der Tiere bei einer etwas geringeren Lieferleistung. Im Mittel der gesamten Milchmenge wurde ein Treibhauspotenzial GWP_{100} von $0,99$ kg $\pm 15,3$ % CO_2e pro kg FCM und ein Temperaturerwärmungspotenzial GTP_{100} von $0,36$ kg $\pm 15,3$ % CO_2e pro kg FCM berechnet.

Abbildung 24 ordnet die Ergebnisse des Treibhauspotenzial GWP_{100} in eine Auswahl internationaler Literatur ein. Die Quellen dazu sind im Anhang unter 8.1.2.7 und im Literaturverzeichnis aufgeführt. Die internationalen Studien, für Europa hat der Beitrag von WEISS und LEIP, 2012 besonders große Bedeutung, zeigt ein breites Spektrum an Werten. GWP_{100} nimmt Werte von $0,74 - 3,38$ kg CO_2e_{100} an. Bezüglich der Streuung der Ergebnisse zeigt MAZZETTO et al. 2022, Abbildung 4, oft Streuungen im Bereich der vorliegenden Studie. Es gibt aber auch Abweichungen die über 50 % des Messbereiches hinausragen.

Milch aus Österreich schneidet hervorragend ab, die 7 Gründe dafür können unter 4.6 nachgelesen werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit gibt es keine Milch in Europa, die das Ergebnis aus Österreich unterschreiten kann. Dies gilt im Besonderen dann, wenn zur Bewertung pro kg FPCM noch die absolute Belastung pro ha und die Langzeitbewertung der Emissionswirkungen (GUGGENBERGER et al. 2022a) herangezogen wird.

Eine eigene Referenzliste zum Temperaturerwärmungspotenzial GTP_{100} wurde nicht erstellt. MAZZETTO et al. 2022, Abbildung 4, hat für einige Quellen eine Neuberechnung auf der Basis der einzelnen Treibhausgase durchgeführt aus dem sich im Mittel ein Unterschied zwischen GWP_{100} und GTP_{100} von -56 % ableiten lässt. Die Streuung im Paarvergleich liegt bei 24 %. Der Unterschied ist dann immer besonders groß, wenn ein höherer Methanwert berechnet wurde. Für Österreich wurde pro kg FPCM ein Unterschied von $-63,6$ % zwischen GWP_{100} und GTP_{100} bestimmt.

Treibhauspotenzial GWP₁₀₀ angepasst nach IDF 419/2015

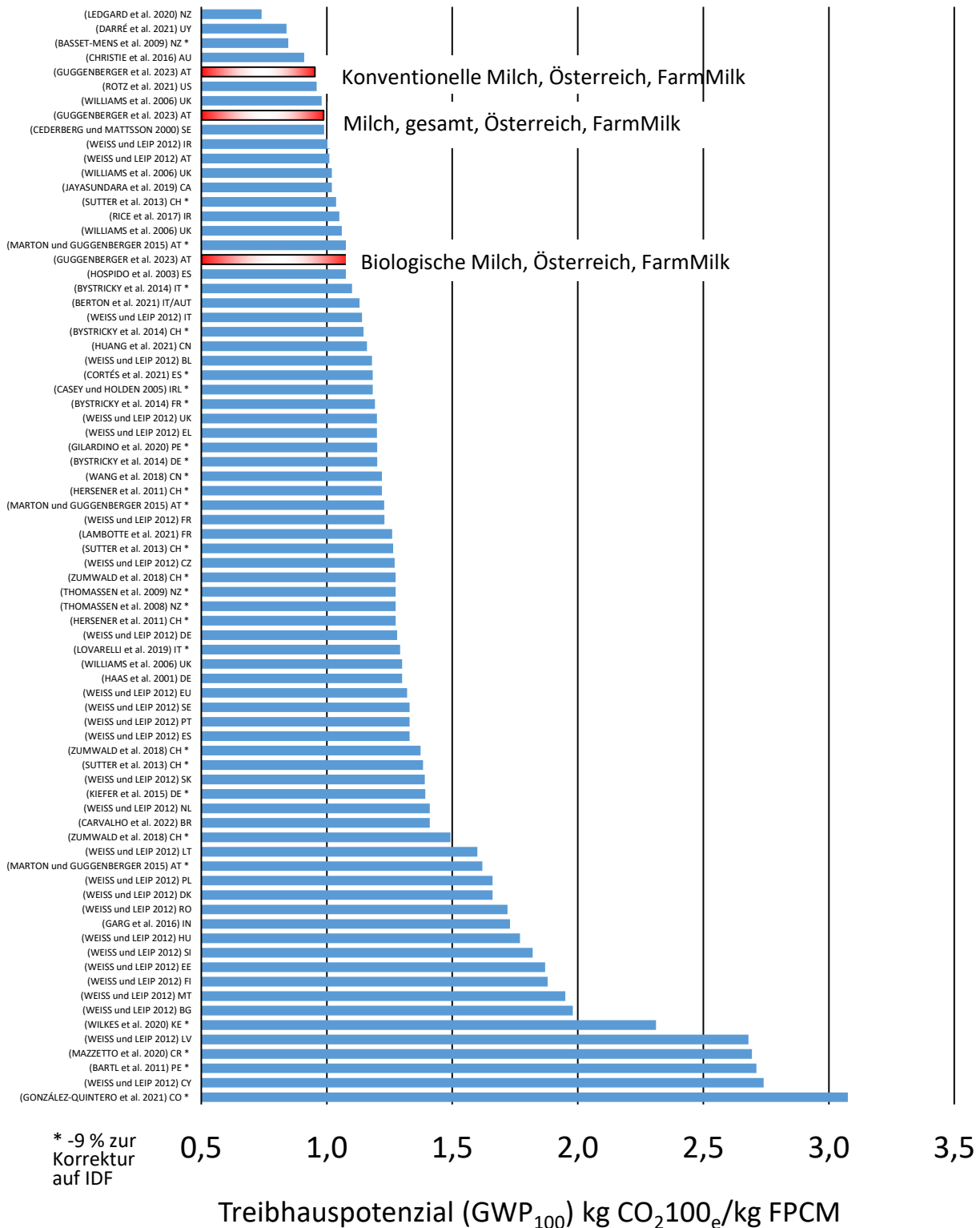


Abbildung 24: Einordnung der Ergebnisse des Treibhauspotenzials in internationale Studienergebnisse. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.7

4.3.4 Schadstoffbezogenen Umweltwirkungen

Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 stellen die aquatische und terrestrische Ökotoxizität numerisch in getrennter Form als Schwermetall- und Pestizidwirkung dar. Für den Studienvergleich wurden beide Werte addiert. Die Summe der aquatischen Ökotoxizität pro kg FPCM beträgt $13 \text{ g } 1,4 \text{ DB}_e \pm 89,1 \%$. Pro kg FPCM fallen bei der terrestrischen Ökotoxizität $0,51 \text{ g } 1,4 \text{ DB}_e \pm 86,4 \%$ an. Der Verzicht auf Pestizideinsatz bringt die biologische Landwirtschaft an die Spitze des Rankings. Konventionelle Milch liegt bei der Ökotoxizität im guten oder sehr guten Mittelfeld. Die Quellen des Vergleichs beziehen sich wieder auf Quellen die mit dem Werkzeugen aus SALCA erstellt wurden.

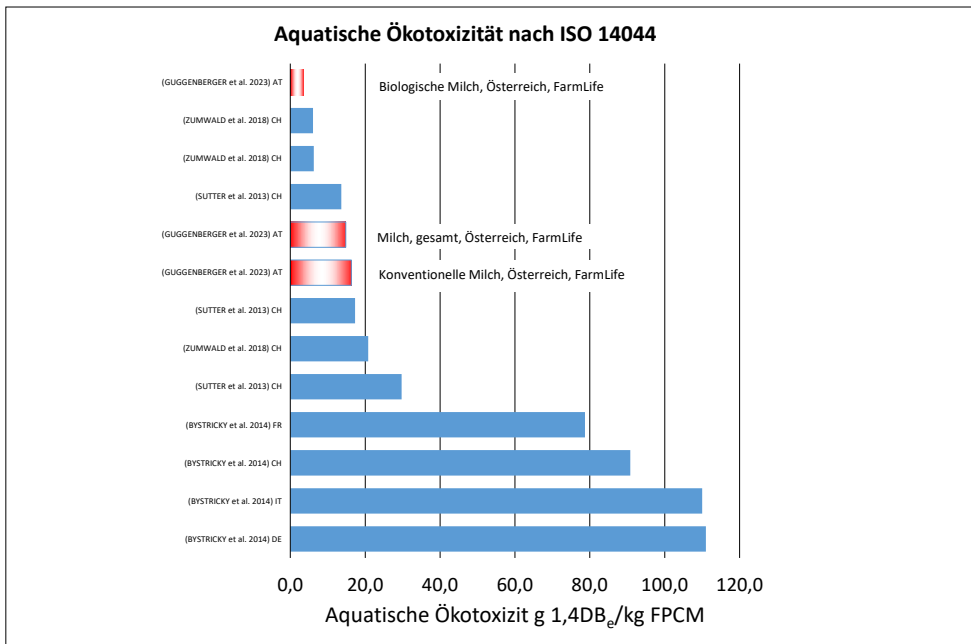


Abbildung 25: Einordnung der aquatischen Ökotoxizität in Ergebnisse internationaler Studien. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.8

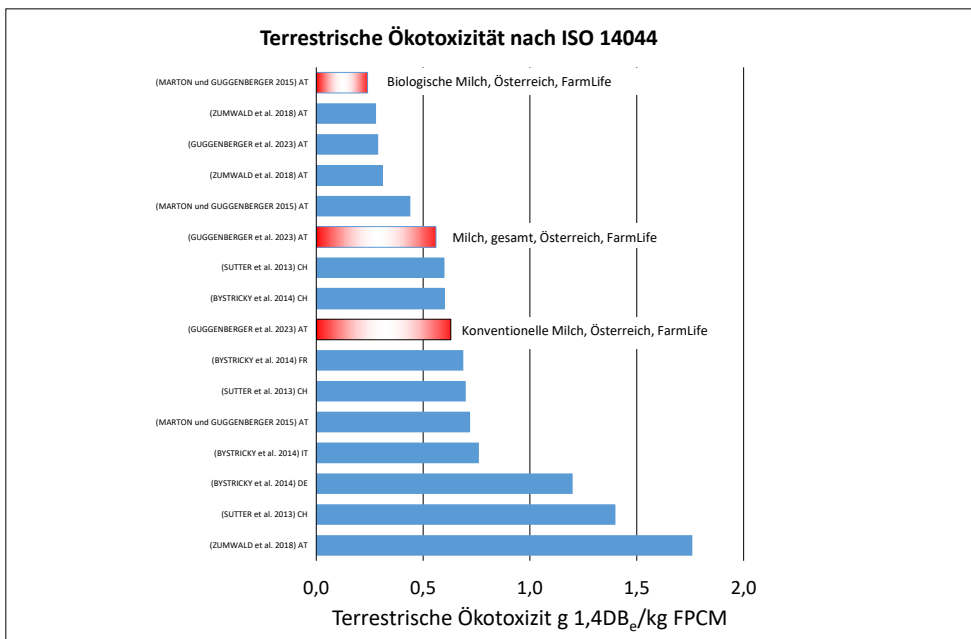


Abbildung 26: Einordnung der terrestrischen Ökotoxizität in Ergebnisse internationaler Studien. Im Tabellenanhang unter 8.1.2.9

4.3.5 Gesamtbewertung des Vergleiches

Eine gemeinsame Bewertung aller Parameter der Umweltwirkungen wurde nicht erstellt. Die Gewichtung unterschiedlicher Umweltwirkungen ist herausfordernd. Die Methode der Data-Envelope-Analysis (DEA) wäre ein Ansatz der schon in Teildatensätzen der HBLFA versucht wurde (GRASSAUER et al. 2021). Die empirische Analyse aller Abbildungen im Kapitel ermöglicht aber zumindest eine Einschätzung. In den meisten Umweltwirkungen zeigt Milch aus Österreich sehr geringe Werte. Abweichungen im Kontext von konventioneller und biologischer Milch sind möglich, können aber gut erklärt werden. Geringere Intensitäten wirken sich manchmal aggregierend aus, der Verzicht auf Betriebsmittel verhindert dafür anderer Umweltwirkungen. Im Hinblick auf die Länderzuordnung scheint nur Neuseeland in vielen Bereichen noch bessere Ergebnisse zu erzielen.

Österreichs Milchviehbetriebe erzeugen ihre Milch im Mittel mit besonders geringen Umweltwirkungen und ist Europameister der Umweltverträglichkeit.

4.4 Grundlegende Wirkungsmechanismen und Erklärungen

4.4.1 Das richtige Verständnis der Produktionsfunktionen

Die Volkswirtschaftslehre hat in der Mikroökonomie durch ihre Fokussierung auf die Stückkosten die „Economy of Scale“ hervorgebracht. Seit etwa 100 Jahren wird diese Fokussierung auf sinkende Grenzkosten in der Wirtschaft gelehrt und gelebt. Die Milchwirtschaft hat sich dieser Haltung angeschlossen, aber es sind ihr dabei gedankliche Fehler unterlaufen. Während Arbeitsprozesse in der Molkerei, etwa der Betrieb einer Abfüllanlage, eine konstante Produktionsfunktion ist, ist die Produktion von Milch durch die Kuh eine Kurve mit hohem Anstieg am Beginn und langsamen Abfall nach dem etwa 100. Laktationstag. Diese Dynamik erzwingt zur Optimierung der Nährstoffbilanz und zur Reduktion von Verlusten aller Art (Lebendgewicht, Nährstoffe, Leistungspotenziale, Gesundheit, ...) eine dauerhafte Anpassung der Produktionsfunktionen. Zugegeben: Es ist nicht leicht in der praktischen Betriebsführung auf diese Dynamik zu reagieren. Immer öfters ist es wegen des hohen Automatisierungsgrades nicht mehr möglich. In einer nicht synchronisierten Milchkuherde wird die Nährstoffkonzentration einer Totalmischung etwa auf ein ansprechendes Leistungsniveau eingestellt. Spitzenleistungen werden zusätzlich an der Kraftfutterstation oder am automatischen Melksystem abgedeckt. Kühe, spätestens ab dem 200. Laktationstag, werden mit dieser gängigen Methode systematisch überversorgt. Das führt vor allem bei Zweinutzungsrasen vor der nächsten Abkalbung zu fetten Tieren. Zwei verschiedenen Mischungen zu erstellen macht innerhalb einer Herde keinen Sinn, weil die Herdeführung in der Praxis oft nicht getrennt werden kann.

Während die Fachexperten einer Molkerei eine Abfüllanlage wegen ihrer konstanten Produktion langsam aber sicher an ein Optimum heranführen werden, kämpft der Bauernhof mit dem „Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses“ (MITSCHERLICH, 1909). Dieses dynamische Gesetz lässt eine Produktion erst nach

dem Erreichen von Mindeststandards zu und reduziert den Ertragszuwachs ab einem betriebsspezifischen Optimum. Am Beispiel der Ernährung einer Kuh ist das leicht zu erklären: Eine stark unterernährte Kuh in einem von Dürren geplagten Land erzeugt wegen ihrer genetischen Programmierung zwar Milch, aber diese kommt, wenn noch möglich aus dem Körpergewebe. Vielleicht überlebt das Kalb mit der geringen Menge an Milch, vielleicht auch nicht. Kühe auf Neuseelands Dauerweiden findet das ganze Jahr viel oder sehr viel Futter. Unbeeinflusst werden sich mit der Zeit alle Prozesse an die Futtermenge anpassen und das Optimum im Ertragsgesetz wird „still“ erreicht. Für HF-Kühe in Neuseeland, diese haben ein geringeres Lebendgewicht, liegt die natürliche Leistung bei etwa 4.300 kg FPCM, Fleckviehkühe in Österreich leisten bei einem höheren Körpergewicht unter solchen Bedingungen bis zu 5.000 kg FPCM/Jahr. Praktiker, die in ein solches System durch eine Balancierung des Nährstoffgemisches und durch eine Verdichtung der Konzentrationen eingreifen, erleben auf Betrieben am Standort Berg bis zu einer zusätzlichen Fütterungsmenge von 1.000 kg Kraftfutter (meist Futtergetreide) ein wahres Wunder. Die Leistung der Tiere steigt ohne besonderer Vorkommnisse überproportional um bis zu 1.500 kg an. Das ist in der Regel emotional und ökonomisch ein Vorteil, aber bei einer weiteren Verdichtung nicht von langer Dauer. Mit steigenden Nährstoffkonzentrationen verändern sich physiologische Prozesse in der Kuh und die Antwort auf zusätzliche Leistungswünsche wird immer schwächer. Wird ein betriebsindividuelles Maximum, dieses kann nicht berechnet werden, überschritten verlieren die Tiere an Vitalität und die Betriebsleitung ihren ökonomischen und emotionalen Vorteil.

Das „Gesetz abnehmenden Ertragszuwachses“ bildet die komplexe Wirklichkeit der natürlichen Prozesse bei der Milchproduktion gut ab. Dieses Gesetz ist dynamisch und erzwingt laufende Anpassungen in der Fütterung und Haltung von Tieren. Erfolgreiche Milchviehbetriebe geben sich dieser feinen Anpassung intuitiv oder kompetenzorientiert hin. Der Milchviehbetrieb unterscheidet sich damit von industriellen Prozessen mit ihren konstanten Funktionen. Folgt ein Bauernhof konstanten Empfehlungen steigt die Gefahr von Verlusten aller Art. Das schließt auch zusätzliche Umweltwirkungen mit ein.

4.4.2 Prozessabläufe und Wirkungsmechanismen

Zur Klärung warum die österreichische Milch mit besonders geringen Umweltwirkungen erzeugt werden kann, wird zum Verständnis eine kurze Übersicht über den gesamten Prozessablauf der Produktion (siehe *Abbildung 27*) besprochen. Folgende Teilaspekte und Wirkungsmechanismen sind dabei von Bedeutung:

1. Der Stofffluss: Alle Wirkungen die mit einem bäuerlichen Betrieb in Verbindung gebracht werden können entstehen, in vorgelagerten Prozessen der Erzeugung von Betriebsmitteln oder direkt am Bauernhof. In der aktuellen Mächtigkeit kenne FarmLife 1.423 verschiedenen Stoffe die in den Umweltwirkungen aktiv werden können. Der mächtigste Stofffluss (in der *Abbildung* schwarz) steht in Verbindung mit den natürlichen Möglichkeiten und Grenzen des Produktionssystems am gegebenen Standort.

Seine Dynamik hängt vor allem von der Fruchtbarkeit des Standortes ab. Dieses schließt das Klima und den Boden ebenso mit ein, wie die Gesundheit der Tiere und der bäuerlichen Familie. Große Teile treten direkt in den Produktionsprozess (in der Abbildung grau) ein und verbinden sich dort mit externen Betriebsmitteln. Im weiteren Verlauf des Flusses werden alle Stoffe entweder in Produkte (in der Abbildung grün) oder „Abfälle“ umgewandelt. Abfälle die als Nährstoffe wirken können, werden bis zur Sättigungsgrenze wieder in das Produktionssystem integriert, alle anderen treten als Umweltwirkungen (in der Abbildung braun) aus dem System aus.

2. Mengen-Zeit-Beziehung (Dosis): In der Betriebsführung festgestellte Lücken der stofflichen Versorgung werden nach Möglichkeit über eine Zufuhr von Betriebsmitteln geschlossen. Die notwendige Menge wird vom Produktionsprozess abgegriffen (blaue Box, strichliert) und an den Beschaffungsprozess gemeldet. Dieser fügt die notwendigen Betriebsmittel in den Standard-Stofffluss ein und berücksichtigt dabei im günstigen Falle wieder die geplanten Verarbeitungskapazitäten des Produktionsprozesses. Fehlerhafte Mengen/Zeit-Verhältnisse führen zu stark ansteigenden Verlusten in der Form von Umweltwirkungen.
3. Art und Qualität zugeführter Betriebsmittel: Betriebsmittelimporte unterscheiden sich je nach Herkunft stark in ihrer bisherigen Lebensgeschichte. Qualitätsprodukte mit sehr geringen, eigenen Umweltwirkungen können aus ökonomischen Gründen nur dann in die Landwirtschaft eingebracht werden, wenn sich ihre Wirkung überproportional (katalytisch) auf die Produktmenge auswirkt. Oft stammen vor allem leistungsfördernde Betriebsmittel nicht von solchen Prozessen, sondern werden in vorgelagerten Industrien erzeugt. Diese gehorchen weder stofflich noch ökonomisch globalen Regeln, treffen sich aber auf den globalen Märkten für Betriebsmittel. Staatliche Gesetze oder privatwirtschaftliche Vereinbarungen regeln in vielen Ländern der Welt die Anwendungen von Betriebsmitteln in der Landwirtschaft. Sehr umfangreich geschieht dies bei Wirkstoffen des Pflanzenschutzes und der Tiermedizin. Weiterführend können aber auch andere Wirkungen, soziale Aspekte oder politische Entscheidungen den Einsatz von externen Betriebsmitteln regulieren.
4. Dynamik, Effizienz und Qualität der Produktionsprozesse: Im Inneren der bäuerlichen Produktionsprozesse entscheidet die eigene Kompetenz und die Dynamik der naturbezogenen Veränderungen über die Qualität und Geschwindigkeit des Stoffflusses. Hier wird entschieden welche Mengen später an Produkten und Verlusten auftreten. Dazu zwei einfache Beispiele:
 - Umfassende Maßnahmen zur Erhöhung des Tierwohls (Optimale Haltung und tiergerechte Leistungsziele) reduzieren den physiologischen Stress der Produktion und führen dazu, dass ein zusätzlicher Anteil des Stoffflusses in das Produkt geleitet werden kann.
 - Ein Unwetter zerstört ein Getreidefeld kurz vor der Ernte. Alle potenziellen Umweltwirkungen sind bereits geschehen, die Ernte fällt aus.

Das bereits unter 1.3.2 angesprochene Konzept einer „Standortgerechten Landwirtschaft“ setzt in diesem internen Punkt an.

5. Interaktionen von Umweltwirkungen: Wechselwirkungen (Verstärkung bzw. Abschwächung) zwischen den 14 dargestellten Umweltwirkungen treten selten auf. Häufiger ist ein höherer, gemeinsamer Schaden in einem Zielmedium durch mehrere Umweltwirkungen. Beispiel: Starke Erosionen führen zur Eutrophierung von Gewässern. Gleichzeitig Abschwemmung von PSM erhöht die aquatische Ökotoxizität.
6. Verteilungsverhältnisse im Produktspektrum: Die Allokation ist ein bedeutender Aspekt der über die Produktionsverhältnisse zur Aufteilung von Umweltwirkungen führt. Idealerweise ergeben sich in der Landwirtschaft Nutzungskaskaden die auch in der Allokation abgebildet werden können. Beispiele: Stroh als Einstreu in der Tierhaltung, Altkuh als Rindfleischlieferant, ...

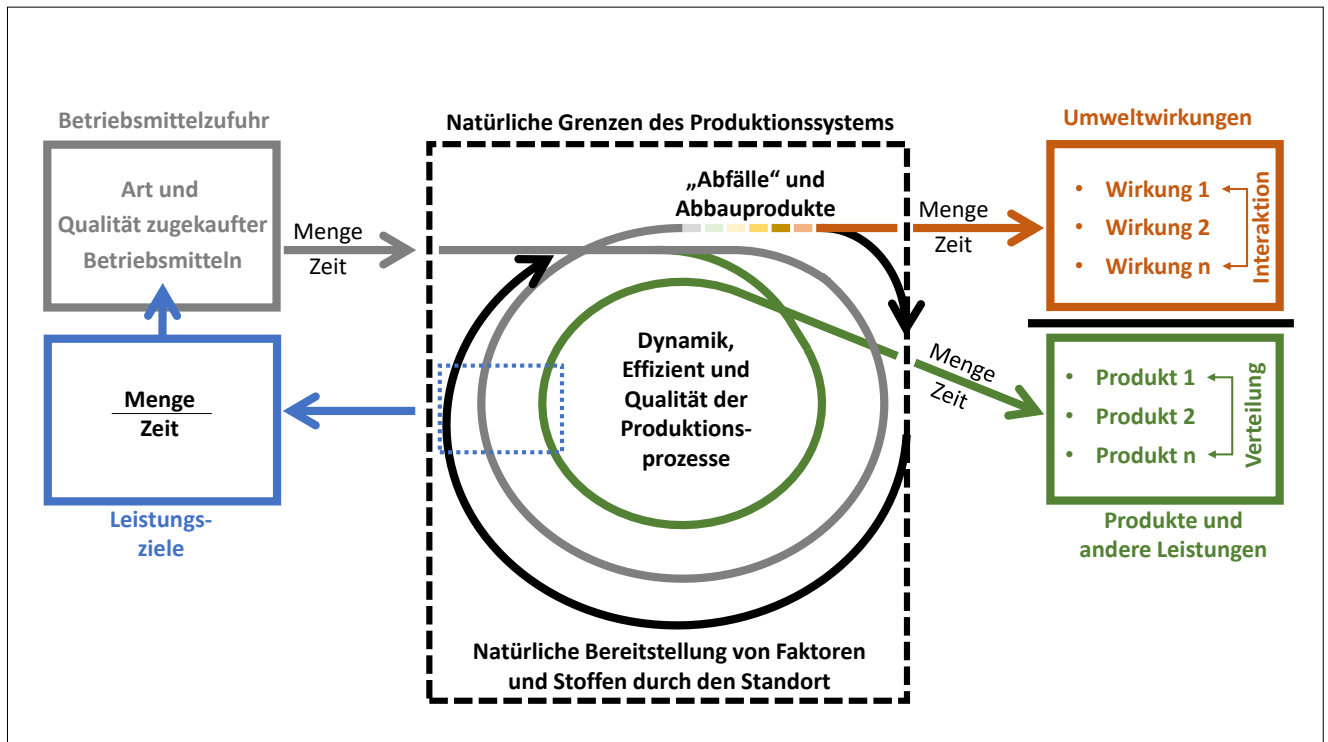


Abbildung 27: Prozessablauf der Produktion

4.5 Entwicklungsgradienten und Interaktionen funktionellen Einheiten

Verschiedene Prozessabläufe und Wirkungsmechanismen reagieren auf die Veränderungen der Produktion nicht konstant. Sie gehen, je nach Umweltwirkung, mit steigender Leistung eine reduzierende, gleichbleibende oder steigernde Beziehung ein. Funktionelle Einheiten können in ihrer Aussage auch in Widerspruch geraten. „Economy of Scale“ erzeugt im Idealfall sinkende Wirkungen pro Einheit bei insgesamt steigender Leistung des zu untersuchenden Systems. Für die FarmLife-Betriebe zeigt die Steigung der Geradegleichung k diese Wirkung mit einem negativen Vorzeichen, steigenden Wirkungen tragen ein positives Vorzeichen. Die entwickelten Formeln in *Tabelle 6* und in den Abbildung im

Anhang unter 8.2.1 wurden genutzt, um die reduzierenden Effekte subjektiv zu klassifizieren. Klare Begriffe (reduzierend, neutral, steigend) zeigen die Wirkung an. Die Stärke wird, wenn deutlich ausgeprägt, jeweils mit + bzw. – beschrieben. Schwache Auswirkungen erhalten die Tilde (-) als Zeichen der Unbestimmtheit.

Tabelle 13: Wirkungsverhalten steigender Lieferleistungen auf die funktionellen Einheiten

Umweltwirkung	Wirkungsverhalten bei steigenden Lieferleistungen			
	pro kg FPCM		pro ha	
	Art	Stärke	Art	Stärke
Ressourcenbezogen				
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	neutral	~	steigernd	+
Phosphorverbrauch	steigernd	+	steigernd	+
Flächenbedarf der Produktion	reduzieren	~	reduzieren	~
Verbrauch blaues Wasser	steigernd	~	steigernd	+
Abholzung für die Produktion	steigernd	+	steigernd	+
Exergie	reduzieren	-	neutral	~
Nährstoffbezogene				
Stickstoffeintrag in Wasser	reduzieren	-	steigernd	+
Phosphoreintrag in Wasser	reduzieren	+	steigernd	+
Klimawirkungsbezogene				
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	reduzieren	-	steigernd	+
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	reduzieren	-	steigernd	+
Schadstoffbezogenen				
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	steigernd	+	steigernd	+
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	steigernd	~	steigernd	+
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	steigernd	+	steigernd	+
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	steigernd	+	steigernd	+

Tabelle 13 zeigt im Hinblick auf das Leistungsverhalten verschiedene, sich wiederholende Wirkungen. Alle Umweltwirkungen der Ökotoxizität sind zusätzliche Wirkungen die nicht degressiv im Produkt untergebracht werden können. Eine höhere Zufuhr von Futtermitteln bringt mehr dieser Wirkung auf den Bauernhof, die sinkende Futtereffizienz steigert den Druck nicht nur pro kg FPCM, sondern auch pro ha. Ähnliches gilt für die Abholzung und den Phosphorverbrauch, meistens wieder ausgelöst durch einen Futterzukauf. Umweltwirkungen der Treibhausgasemissionen und Nährstoffkreisläufe hingegen nehmen pro kg FPCM ab, aber pro ha zu. Die Abnahme pro kg FPCM ist der „Economy of Scales“ zuzuschreiben, allerdings ist der Effekt pro kg FPCM zu schwach, um die Summenbildung der Wirkungen (Anzahl Kühe, Leistung pro Kuh) auf der Fläche vollständig zu kompensieren. Deshalb steigt die Wirkung dort an. Eine allgemeine reduzierende Wirkung kann nur bei der Flächenbeziehung zur Leistung beobachtet werden. Dies liegt daran, dass der Ertrag des Standortes die mögliche Leistung zu einem großen Teil mitbestimmt.

4.6 Summenwirkungen die das Ergebnis der österreichischen Milch bestimmen

Über das Verständnis des Prozessablaufes in der Produktion (*Abbildung 27*) und der grundsätzlichen und speziellen Wirkung von einzelnen Betriebsmittel (Kapitel 4.5) öffnen das Erklärungsmodell zum Abschneiden der Umweltbewertung der österreichischen Milch.

1. Der Standort Österreich: 61 % der in Österreich geernteten Biomasse ist Wiederkäuerfutter(GUGGENBERGER et al. 2022b). Der Großteil davon stammt von Dauerwiesen- und Dauerweiden, dass seine Dominanz bereits ab den mittleren Höhen des Standortes Hügel ausspielt. Ertragslagen um 7.000 kg Trockenmasse(TM)/ha sind üblich, nur auf extensiven Feldern sinkt der Ertrag darunter ab. Kann Feldfutter angebaut werden können auch Erträge bis 10.000 kg TM/ha erreicht werden. Geographisch finden wir besonders viele dieser Flächen in den nordalpinen Stauwetterlagen, die ihren Niederschlag nicht nur dort, sondern auch weit bis in die Alpentäler ausdehnt. Dürren sind hier selten. Südalpine Lagen werden regelmäßig durch Niederschlagsereignissen aus dem Mittelmeer bedient. Etwas unsichere, gelegentlich dürregefährdete Gebiete finden wir nördlich der Donau. Die Protein-, NDF- und NFC-Gehalte der Futtermittel variieren in diesen Gebieten leicht, im Durchschnitt ist Österreich aber ein hervorragendes Land um Wiesenfutter zu erzeugen. Grassilagen werden z.B. im Durchschnitt vor der Blüte der Leitgräser bei einem Proteingehalt von 150 g Rohprotein/kg bei einem NDF-Gehalt von 450 g/kg TM geerntet. Die Erntetechnik sorgt für geringe Verunreinigungen, der Rohaschegehalt liegt bei 100 g/kg TM. Leicht lösliche Kohlenhydrate (NFC) haben einen Gehalt von 270 g/kg TM. Unter diesen Bedingungen wird ein Energiegehalt von 10,3 MJ umsetzbarer Energie erreicht. Das ist etwa 80 % des Energiegehaltes von Futtergerste. Für Milchkühe ist die Kombination aus langsam und schneller verdaulichen Kohlenhydraten bei ansprechendem Energiegehalt genau jenes Futter für das die Evolution die Wiederkäuer geschaffen hat.

Österreich ist ein optimaler Standort für die Grundfutterproduktion.

Österreich bietet in der Kombination aus Niederschlägen und Höhenlagen einen komparativen Standortvorteil für Dauergrünlandflächen. Österreich ist das Neuseeland Europas. Der gute Ertrag auf den Wiesen und das hohe Bewusstsein in der Grundfuttererzeugung verschafft dem Land einen Vorteil. Hohe Leistungsanteile können ohne importierte Betriebsmittel in natürlichen Kreisläufen erzeugt werden. Das schont die Umwelt!

2. Die Rinderzucht: Mindestens 8 von 10 Kühen in Österreich sind Zweinutzungsrinder. Das bedeutet, dass sie neben einer guten Eignung für die Milchproduktion auch noch respektable Leistungen in der Rindfleischproduktion erbringen. 75 % aller Kühe in Österreich gehören der Rasse Fleckvieh an. Diese Rasse erreicht in der Milchleistungskontrolle im Jahr 2022 eine Leistung von 7.900 kg Milch (305 Tage; 4,18 % Fett, 3,43 %

Eiweiß). Bei 13,3 % der Kühe wurde dieser Aspekt in der Zucht bewusst unterdrückt um hohe Milchleistungen zu ermöglichen. Die bedeutendste Milchviehrasse der Welt, Holstein, leistet gemäß der Milchleistungskontrolle in Österreich im Schnitt 9.600 kg (305 Tage; 4,10 % Fett; 3,28 % Eiweiß), Brow Swiss, die zweite Milchkuhrasse mit Bedeutung liefert 8.100 kg (305 Tage; 4,16 % Fett; 3,53 Eiweiß). Der Anteil an Kontrollkühen ist in Österreich hoch und liegt über 80 %. Die dargestellten Leistungen der Rassen weichen von Ergebnis aus den INVEKOS-Datensätzen L014 und L048 ab. Der Grüne Bericht 2023 zeigt für das Jahr 2022 eine Lieferleistung von 6.436 kg (Jahresergebnis, vermutlich natürlicher Fett- und Eiweißgehalt) und ergänzt diesen Wert um 11,2 % zur Milchleistung von 7.250 kg pro Kuh und Jahr. Die Differenz zwischen der Milchleistungskontrolle und den Ergebnissen der Lieferleistung wurden schon öfters besprochen, konnten aber nicht abschließend verifiziert werden. Orientiert man sich am Ergebnis des Grünen Berichtes beträgt der allgemeine Zuchtfortschritt im Schnitt der letzten 10 Jahre etwa + 83 kg Milch pro Kuh und Jahr. Dieser Wert liegt etwas über dem 60ig jährigen Schnitt der bei 76 kg Milch pro Kuh und Jahr liegt. Die Gründe für diesen Fortschritt teilen sich in Skalenwirkungen des Größenwachstums von Milchkühen und in tatsächliche Effizienzsteigerungen auf. Beide Bereiche werden bedient.

Milchkühe in Österreich wurden schonend auf Leistung gezüchtet.

Die Rinderzucht in Österreich arbeitet vor allem mit Zeitzuchtorganisationen. Gemeinsam mit den Milchviehrassen streben die Zuchtorganisationen nach Erfüllung ihrer Zuchtziele. Dieses Ziel der Leistungssteigerung wird stetig erreicht. Die Produktionsleistung pro Kuh und Jahr liegt gemäß Grüner Bericht bei 7.250 kg Milch. Das ist im Hinblick auf die Erklärung in der Beschreibung des Produktionsstandortes Österreich im vorigen Kapitel eine vernünftige Leistung. Deutlich mehr sollte es nicht mehr werden.

3. Der Futterzukauf: Die Beschreibung der Inputgruppen in 3.1.8 und alle Graphiken im Kapitel 8.2.2 im Anhang zeigen die hohe Bedeutung des Futtermittelzukaufes für die Ergebnisse der Umweltbewertung von Milch. Die aktuelle Lieferleistung der österreichischen Milchkuherde beträgt nach der in *Abbildung 10* dargestellte Formel 19,8 % ($0,0062 \times 6.436 \text{ kg FPCMLL} - 20,12$). Das ist aus der Sicht der Flächenverhältnisse in Österreich nicht zu hoch. Betriebe am Standort erzeugen einen Teil des Kraftfutters in der Regel selbst. Jedenfalls wird der maßgebliche Anteil der primär aus Getreide bestehenden Supplementierung in Österreich erzeugt und eine permanente Ergänzung mit Proteinfuttermitteln ist im Schnitt nicht notwendig. Der Zukauf von Grundfutter bleibt bei den FarmLife-Betrieben marginal. Möglich, dass temporaler Mangel bei lokalen Dürren die Situation vor Ort maßgeblich verändert. Futtermittelzukaufe verdichten das Nährstoffangebot am Milchviehbetrieb über die lokalen Möglichkeiten hinaus und beeinflussen damit sowohl die Einzelleistung einer Milchkuh als auch die Größe der Milchkuherde am Betrieb. Zugekauft Futter importiert mit

den Nährstoffmengen aber auch alle Wirkungen die mit der Produktion des Futters auf den Ursprungsbetrieben verbunden sind (indirekte Wirkungen).

Es wird viel Milch aus dem Grundfutter erzeugt

Der ökologische Rucksack des Futterzukaufes bleibt klein. Die geringeren Mengen an Kraftfutter führt außerdem dazu, dass die Konkurrenz zum Menschen in der direkten Verwertung von Getreide gering bleibt. Der bei weitem größere Anteil an Flächen zur Grundfutterproduktion kann nur von Wiederkäuern genutzt werden.

4. Der Zukauf von Tieren zur Remontierung: Milchviehbetriebe erzeugen die Nachzucht fast immer selbst. Der Anteil an zugekauften Kalbinnen oder Kühen ist gering. Gezüchtet wird nicht durch den Austausch von Tieren, sondern in der Regel durch die Wahl des Zuchtstieres. Umso langlebiger die Kühe sind, umso weniger muss hier investiert werden. Das fördert die Effizienz des Milchproduktes.

Milchviehbetriebe erzeugen die nächste Generation der Kühe selbst.

Der ökologische Rucksack des Tierzukaufes bleibt klein.

5. Gesetzliche Regeln zur Verwendung von Betriebsmitteln: Österreich ist seit Jahrzehnten vorsichtig in der Akzeptanz neuer Technologie, in der Nutzung externer Stoffströme und in der Zulassung von chemischen Wirkstoffen. Diese Haltung hat zum freiwilligen Verzicht von Futtermitteln mit gentechnisch veränderten Eigenschaften (z.B. Sojaextraktionsschrot aus nicht zertifiziertem Anbau) geführt und wird auch in der ablehnenden Haltung gegenüber Produkten der globalen Palmfettindustrie sichtbar. Wirkstoffe der Pflanzenschutzmittel, aber auch die Tiermedizin durchlaufen strenge gesetzlich geregelte Prüfungen. Ihre Anwendung wird limitiert und kontrolliert. Die vorsichtige Haltung wird innerhalb der 14 hier dargestellten Umweltwirkungen durch einen geringeren Anteil von THG-Wirkungen aus dem Bereich Land-Use-Change/Land-Use-Change-Forestry (LUCF) und durch kleinere Fußabdrücke im Bereich der Ökotoxizität sichtbar.

Die defensive Haltung im Futterimport und bei der Zulassung von Wirkstoffen wirkt günstig!

Die skeptische Haltung zur gentechnisch veränderten Organismen hat eine späte positive Wirkung auf die Umweltbewertung von Milch. Der THG-Fußabdruck durch den Landnutzungswandel in Übersee und die Ökotoxizität bleiben geringer. Pflanzenschutzmittel mit extremen Schadwirkungen sind in Österreich schon lange nicht mehr zugelassen.

6. Wirkungsschwache Teilbereich entlasten das Produktionssystem: Auf vielen Betrieben in Österreich stehen nicht alle Flächen im gleichen Ausmaß in Produktion. Manche Flächen wie z.B. Almen reduzieren die Umweltwirkungen pro funktioneller Einheit, weil sie selber weitgehend ohne Betriebsmittel eine Produktionsleistung hervorbringen. Das führt dazu,

dass Almbetriebe am Ende etwas mehr Tiere in der Produktion haben und Wirkungen sich besser auf der Fläche verteilen können. Wird die Infrastruktur mitbewertet, wirkt die Econom of Scale und reduziert, wenn auch nur im geringen Maß, die Last pro kg FPCM

Almen und andere extensiven Flächen senken den ökologischen Fußabdruck!

Flächen die eine Produktionsleistung, auch wenn er nur gering ist, ohne Betriebsmitteleinsatz erbringen verdünnen die Umweltwirkungen pro funktioneller Einheit.

7. Allokation neutralisiert Teilwirkungen: Es ist unbestritten, dass die Milchproduktion mit Kühen deutlich effizienter ist, als die Mast von Rindern. Eine ausgewachsene Kuh mit einer Leistung von 7.250 kg FPCM, erzeugt in einem Jahr eine ganzes Nahrungsäquivalent in Ausmaß ihres Körpergewichtes. Wachsende Rinder können das nur anteilig leisten. Der Allokationsanteil der Milchproduktion in der Rinderhaltung von 83,5 % (Tabelle 5) zeigt die Fokussierung der österreichischen Milchviehbetriebe. Starke Abweichungen im unteren Bereich schaden der Produktgruppe Milch aber nicht, weil die anteiligen Umweltwirkungen der Rindfleischproduktion oder Rinderzucht durch die Allokationsregeln mit in den Teilbereich abwandern. Effiziente, spezialisierte Milchbetriebe sind pro Produkteinheit in der gesamtbetrieblichen Bewertung aber immer günstiger als Mischbetriebe mit höherem Anteil an Fleischproduktion.

Bemühte Datenarbeit führt zu scharfer Allokation!

FarmLife-Betriebe haben viel Zeit in die korrekte Zuteilung von Betriebsmittel verwendet. Alle Stoffströme können nun genau den nutzenden Produktgruppen zugeteilt werden. Der Futterzuteilung folgt die gesamte Verwendung von Infrastruktur und alle Betriebsmittel für den Betrieb der Infrastruktur aber auch alle Betriebsmittel der Feldwirtschaft. Der Milchproduktion werden die tatsächlichen Umweltwirkungen zugeordnet und alle Wirkungen der Nebenprodukte können klar abgetrennt werden.

5. Die Standortgerechte Landwirtschaft als Mission der Zukunft

Die österreichische Milchwirtschaft sucht wie in 1.1.2 beschrieben nach Zukunftsmodellen die sowohl am landwirtschaftlichen Betrieb innerhalb der Produktionsprozesse als auch im Kontext der Vermarktung wirksam werden können. Der Vorschlag das Konzept der Standortgerechten Landwirtschaft langsam zum Leben zu erwecken und mit konkreten Methoden und Kommunikationsstrategien zu befüllen, trifft in diesem Bericht auf die Wirklichkeit einer günstigen Bewertung der Umweltverträglichkeit von Milch.

Bedeutet das Projektergebnis nun, dass kein Handlungsbedarf besteht? Nein! Zum einen liegt in einer ebenfalls im Projekt vorgenommene Simulation der

Angepasstheit der Lieferleistung auf den betrieblichen Standorten ein ganzes Spektrum an Ergebnissen vor (siehe *Abbildung 28*) und zum anderen ergibt sich aus dem Ergebnis auch ein mehrdimensionaler Handlungsbedarf.

Die Simulation in *Abbildung 28* beruht auf einer groben Einschätzung der pflanzenbaulichen Erträge jedes einzelnen Milchviehbetriebes in Österreich und deren Verwertung in der Nutztierhaltung. Die große Unbekannte, das ist in diesem Fall der tatsächliche Einsatz von Zukaufsfutter, wurde mit einer ökologisch sehr gut verträglichen Menge von etwa 1.000 kg TM pro GVE fixiert. Mit einem konstanten, energetischen Milchbildungswert wurde die Frage gestellt, ob die Lieferleistung der Betriebe im Hinblick auf diese Konstellation zu niedrig oder zu hoch ist. Rasch wurde deutlich, dass es aus der Sicht dieser Bewertung ein viel größerer Potenzial für eine sanfte Intensivierung (25,6 % der Milchmenge) gibt als es ein Gefahrenpotenzial durch eine zu intensive Bewirtschaftung der Standorte gäbe (10,8 %). Die Simulationsergebnisse decken sich mit der Streuung der Ergebnissen in FarmLife.

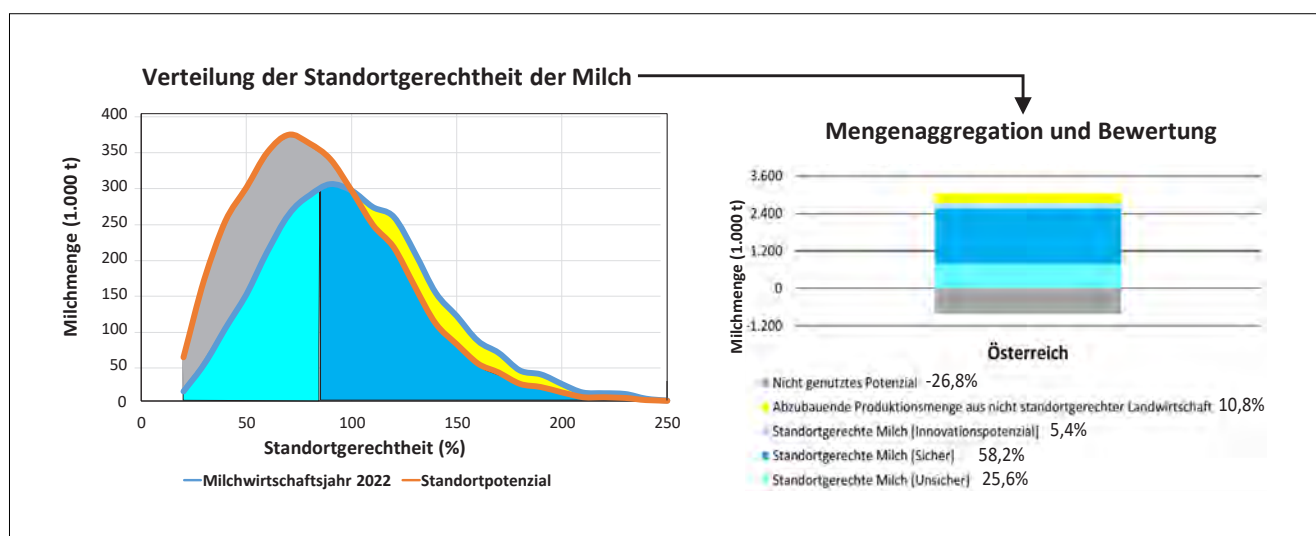


Abbildung 28: Standortgerechtigkeit der Milchproduktion in Österreich

Die Mission der gesamten Milchwirtschaft und aller Stakeholder in Österreich kann nun eigentlich nur darin bestehen in einer breiten Bewegung jeden einzelnen Betrieb an das Optimum seiner Möglichkeiten am Betriebsstandort heranzuführen. Das bedeutet im Einzelnen sowohl eine sanfte Intensivierung, als auch eine schonende Extensivierung der Produktionsintensität. Der Nutzen ist eine Effizienzsteigerung die neben der Produktions- und Vermarktungsaspekten auch die Umweltbewertung mit absichert. Als zentrales Ziel aller landwirtschaftlicher Produktionszweige kann diese Strategie zur Neuausrichtung der konventionellen Landwirtschaft mit einer gemeinsamen Markenbildung verwendet werden. In der Milchwirtschaft wäre der Schritt dafür nicht sehr groß. Begehen müssten ihn aber alle Molkereien gemeinsam, weil, wie gezeigt, die Differenzierungschancen der einzelnen Molkerei viel kleiner ist als die Summe der Chancen für alle gemeinsam. Diese Chance ist wohl in der Außenwirksamkeit der österreichischen Milchproduktion viel größer als in der Innenwirksamkeit.

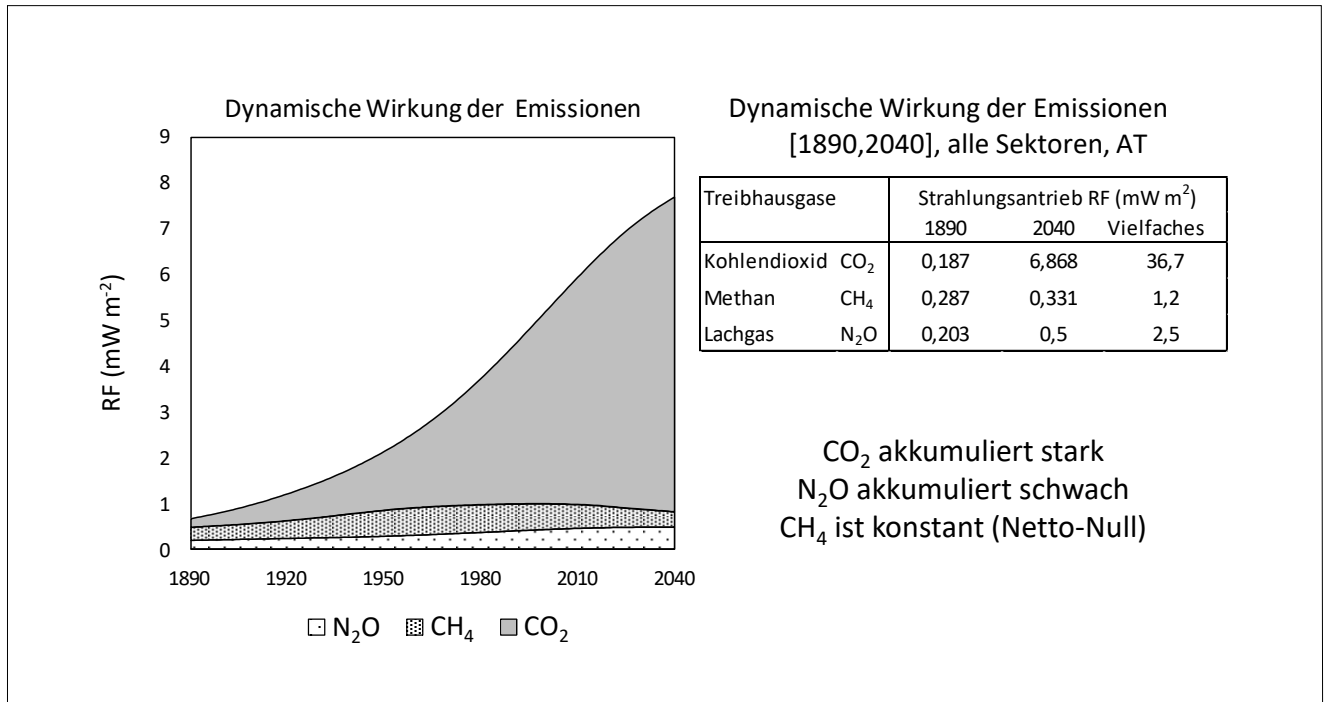
6. Zukünftige Bewertungsmethode zur Wirkung von landwirtschaftlichen Treibhausgasen

Die Umweltwirkung der Treibhausgase treten seit Jahren immer weiter aus der Sammlung möglicher Parameter hervor. Ihre Bewertung ist sowohl im Völkerrecht als auch in der nationalen Gesetzgebung die zentrale Grundlage zur Festlegung zukünftiger Emissionsmenge. Obwohl damit die absolute Produktionsmenge nicht dezidiert festgelegt wird, bestimmen im Zeitverlauf doch progressive Strafzahlungen die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Wirtschaftszweige. Stammt die Umweltwirkung eines Sektors nur aus dem Bereich der Verbrennung fossiler Energie spielt die Metrik keine große Rolle, weil fossile CO_2 derzeit immer als Normalisierende (also als 1) verwendet wird. Treibhausgase wie Lachgas (N_2O) oder Methan (CH_4) erreichen je nach Methode aber ein völlig unterschiedliches Ergebnis.

Metriken wie das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential) mit seiner Abkürzung GWP oder das Temperaturerwärmungspotenzial (Global Temperature Potential) mit seiner Abkürzung GTP sind nicht direkt Ausdruck der (bio) physikalischen Prozesse in der Atmosphäre, sondern wurden als Vereinfachung für die Verwaltung des Problems der Klimaerwärmung erfunden. Sie dienen als Umrechnungskurs innerhalb eines Beobachtungszeitraumes. Dieser wird in der Regel mit 100 Jahren angegeben.

Wie im Bericht „Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich“ (GUGGENBERGER et al. 2022a) gezeigt, benötigt es keine Metrik um das tatsächliche Ursachen-Wirkungsprinzip zu analysieren. Notwendig sind nur lange Zeitreihen und die recht einfachen, grundlegenden Formeln des IPCC (ALLEN et al. 2016, ETAMIN et al. 2016, FUGLESTVEDT et al. 2003, JOOS et al. 2013, LYNCH et al. 2020, MYHRE et al. 2013, SHINE, 2009, SHINE et al. 2005). Diese Formeln sind allgemein bekannt, weit verbreitet und werden auch für die Berechnung der Metriken (GWP_{100} und GTP_{100}) verwendet. Ihr erstes Ergebnis ist die Berechnung des Strahlungsantriebes (RF), das ist die Veränderung der Energiebilanz der Atmosphäre die in Watt angegeben wird. *Abbildung 29* zeigt das Ergebnis auf einen Blick. Kurzlebige Treibhausgase (N_2O und CH_4) die in Österreich entstanden sind bilden langfristig einen Sockel mit schwacher Entwicklungsdynamik. CO_2 aus fossilen Quellen hat eine aggregierende Wirkung. Begründet ist dieses Verhalten sowohl in der absoluten Menge der Emissionen, als auch in den Abbaupfaden der einzelnen Treibhausgase. Während kurzlebige Treibhausgase in der Atmosphäre durch verschiedene Prozesse abgebaut werden, benötigt die Bindung von CO_2 die Biosphäre der Erde. Wie die ursprüngliche Schaffung fossiler Lager zeigt, kann diese auch hohe CO_2 -Konzentrationen binden, benötigt dafür aus der Sicht des Homo sapiens unendlich viel Zeit.

Die Diskussion von Metriken in diesem Projekt ist kein Ablenkungsmanöver der landwirtschaftlichen Produktion – die Ergebnisse bestätigen, dass die in Österreich sicher nicht notwendig ist – sondern entspringt dem Wunsch die richtigen Handlungsmaßnahmen zu setzen. *Abbildung 29* zeigt, dass die CH_4 -Emissionen der Wiederkäuerhaltung in Österreich an den Endpunkten der Beobachtung (1890,2020/2040) gleich hoch sind. Da es keinen aggregierenden Effekt gibt,



gilt Netto-Null: CH₄ der Wiederkäuer hat damit im Beobachtungszeitraum keinen zusätzlichen Beitrag zur Klimaerwärmung geleistet.

Wie weit dieser, von Experten geprüfte Zusammenhang von der Interpretation der Metriken abweicht zeigt *Tabelle 14*. GWP₁₀₀ stellt CH₄ als 27-mal schädlicher dar als CO₂. Das entspricht in der Interpretation nicht der Langzeitentwicklung des Strahlungsantriebes. GTP₁₀₀ würdigt die kurze Lebensdauer viel besser und erkennt, dass die potenzielle Wirkung einer Emission nur zu 17 % in der tatsächlichen Erhöhung der Temperatur ankommt. Das passt viel besser zur Darstellung von RF in *Abbildung 29*. Aber auch hier wirkt die Definition einer Zeitspanne als verändernd. Die aufrechte Kritik an den verschiedenen Metriken kann im Augenblick nicht dazu führen, dass ein völlig neues Konzept umgesetzt wird. Diese wäre im globalen Kontext nicht kompatibel und damit nicht kommunikationsfähig. Es ist aber auch nicht im Widerspruch zu dieser Aussage, dass die Grundlagen der Ökobilanzierung bei begründbaren Unsicherheiten die Verwendung mehrerer Metriken empfehlen. Diese wurde in diesem Projekt durch die Darstellung von GWP und GTP umgesetzt. Der Nutzen dieser Entscheidung wird beim Studium der Beiträge einzelner Inputgruppen in *Abbildung 30* sichtbar.

Abbildung 29: Entwicklung des österreichischen Strahlungsantriebs (RF) zwischen 1890 und 2040

Tabelle 14: Treibhausgase und ihre Faktoren in verschiedenen Metriken

CO ₂	N ₂ O	CH ₄ biogen
1	273	27
1	233	4,7
1	0,85	0,17

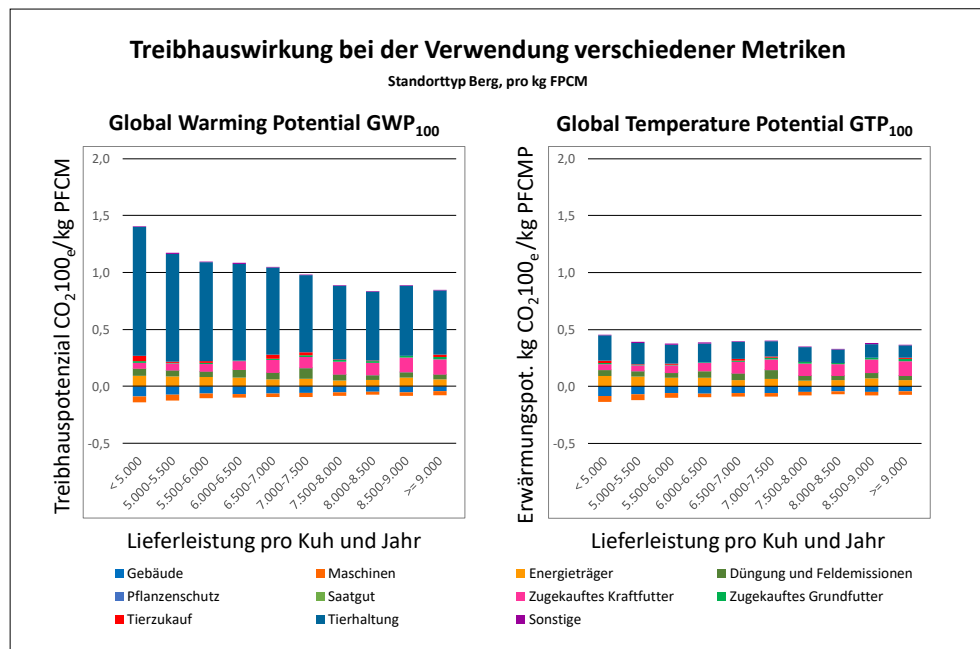
In der Metrik GWP_{100} (linke Abbildung) dominieren die Emissionen der Tierhaltung (blaue Säule) das Geschehen sowohl in der absoluten Höhe der Werte, als auch in der Entwicklungsdynamik bei steigenden Leistungen pro Kuh. Der Fokus wird sehr zentral auf die Reduktion dieser Emissionen gelenkt und die Empfehlung zur Effizienzsteigerung durch höhere Leistungen lässt nicht lange auf sich warten.

Das ist eine falsche Entscheidung, weil erstens die Bewertung, wie gezeigt nicht der Wirkung in der Atmosphäre entspricht und zum zweiten die Verkürzung der Säule nichts anderes bedeutet, als dass Futter von Dauerwiesen durch Ackerfutter verdrängt wird. Dessen Bedeutung in den verschiedenen Umweltwirkungen kann unter 3.1.8 (Entwicklung von Handlungsempfehlungen) nachgeschlagen werden. Wiederkäuer sind in Österreich sehr eng an das Gras der Wiesen gebunden, CH_4 ist die Wirkung von Gras im Pansen der Kuh!

In der Metrik GTP_{100} (rechte Abbildung) sinkt das Niveau um das 2,75-fache nach unten und beträgt nur mehr 36 % des ursprünglichen Wertes. Die Emissionen der Tierhaltung haben noch immer Bedeutung, aber sie Reihen sich in die anderen Inputgruppen nun gleichmäßiger ein. Das gibt dem grundsätzlichen Problem der Entwicklung, den CO_2 Emissionen aus fossiler Energie mehr Bedeutung. Fast die Hälfte der verbleibenden Wirkungen sind darauf zurückzuführen, der Rest auf N_2O . Wirksamer Klimaschutz in der österreichischen Landwirtschaft bedeutet somit gemäß der Wirkungskraft:

- 1.) In den Produktionsprozessen die Energiewende einzuleiten.
- 2.) Die N-Bilanzen im Boden auf standortgerechtem Niveau zu halten und die Bodendurchlüftung zu fördern.
- 3.) Die Herde der Wiederkäuer an das Standortpotenzial anzupassen und die Entwicklung von Inhibitoren zu fördern.

Abbildung 30: Vergleich verschiedener Treibhausgas-Metriken der Milchproduktion in Österreich



7. Empfehlungen an die Stakeholder

Landwirtschaftlichen Betrieben empfehlen wir wie bisher ganz allgemein auch weiterhin die Einhaltung der guten landwirtschaftlichen Praxis. Betriebsindividuelle Entwicklungskonzepte können bei schwacher Effizienz in einer sanften Intensivierung oder bei zu hohen Leistungen in einer langsamen Extensivierung liegen. Ersteres kann an einer sehr niedrigen Lieferleistung pro Kuh zweiteres deutlicher am Gesundheitsstatus der Herde abgelesen werden.

Die Rinderzucht, die eine kontinuierliche Leistungssteigerung beinhaltet, sollte sich ihrer Kunden noch besser bewusst werden. Mindestens die Hälfte der Milchkühe stehen auf reinen Grünlandbetrieben. Zuchtziele müssen besonders auf diesen Betrieben – insgesamt aber auf allen - der Bedeutung des Wiesenfutters gerecht werden.

Den Molkereien wird eine gemeinsame Vermarktung der guten Bewertung der Milch aus Österreich nahegelegt. Eine nationale Differenzierung wird wahrscheinlich lustvoll angestrebt, die Unterschiede sind aber intern klein. Deutlich ist der Abstand zu anderen Märkten. „Milch aus Österreich ist Europameister der Umweltverträglichkeit!“ bringt einen Mehrwert.

Den Vermarktungsorganisationen wird die Bildung einer Dachmarke oder die Aufladung bestehender Marken mit den Ergebnissen des Forschungsprojektes empfohlen.

Die Bildungs- und Beratung kann alle bisher genannten Aspekte verstärken und fördern. Ihr obliegt es auch zukünftig mehr in die Bewertung von Umweltwirkungen zu investieren.

Die Forschung hat die notwendigen Werkzeuge weiter zu entwickeln und den Kontext mit der internationalen Wissensgemeinschaft zu pflegen. Besonders die Verschränkung mehrerer Umweltwirkungen zu einer Gesamtbewertung sollte vorangetrieben werden.

Die Politik ist im Rahmen ihrer Gesetzgebung zentral an der Zukunftsgestaltung beteiligt. Die Ergebnisse des Projektes bestätigten die Richtigkeit des vor Jahrzehnten eingeschlagenen Weges zur Gestaltung einer ökologisch vertretbaren Landwirtschaft. Die hier von der Gesellschaft gemeinsam investierten Mittel sind im Produkt angekommen.

8. Anhang

8.1 Tabellen

8.1.1 Projektergebnisse

Tabelle 15: Tierbestände, Leistungen und pflanzenbauliche Kulturen der Betriebe

			Produktionsdaten					
Standorttyp			Berg		Hügel		Tal	
Management			Kon	Bio	Kon	Bio	Kon	Bio
Tierbestände und Leistungen								
Gesamtfläche	ha	Alle	27,4	31,6	31,7	39,9	38,0	46,6
		FarmLife	36,1	44,4	38,6	40,0	43,1	43,2
Gesamtbesatz	GVE	Alle	31,5	27,4	48,7	42,2	54,1	54,1
		FarmLife	57,7	36,5	62,9	40,3	70,4	51,7
Tierbesatz	GVE pro ha	Alle	1,1	0,9	1,5	1,1	1,4	1,2
		FarmLife	1,6	0,8	1,6	1,0	1,6	1,2
Anzahl der Kühe	n	Alle	18,7	16,5	28,0	26,4	29,6	34,4
		FarmLife	35,4	22,5	39,4	27,2	43,3	30,3
Lieferleistung	kg FPCM	Alle	6.270	5.832	6.668	5.992	6.745	6.158
		FarmLife	7.458	5.981	7.682	6.145	7.348	6.417
Pflanzenbauliche Kulturen								
Wiesenfutter	%	Alle	94,0	97,3	60,2	63,8	39,9	40,2
		FarmLife	93,1	97,7	59,6	64,7	42,9	38,5
Silomais	%	Alle	1,8	0,3	10,9	3,0	13,2	5,6
		FarmLife	2,6	0,3	13,3	2,5	15,7	4,2
Feldfutter	%	Alle	3,3	1,6	14,7	18,3	12,9	20,8
		FarmLife	3,6	1,4	13,2	21,4	10,9	23,7
Getreide	%	Alle	0,0	0,0	9,6	8,0	27,6	23,2
		FarmLife	0,0	0,0	10,3	7,2	25,4	24,4
Sonstiges	%	Alle	0,9	0,8	4,5	7,0	6,4	10,2
		FarmLife	0,8	0,6	3,6	4,2	5,0	9,2

Tabelle 16: Wirkung des Management auf die Umweltwirkungen

Parameter		Differenz zum Gesamtergebnis am Median			
		pro kg FPCM		pro ha	
		Konventionell	Biologisch	Konventionell	Biologisch
Ressourcenbezogen					
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	%	-0,3	3,8	2,9	-7,1
Phosphorverbrauch	%	19,6	-	30,6	-
Flächenbedarf der Produktion	%	-5,8	27,6	-2,6	6,3
Verbrauch blaues Wasser	%	0,5	-2,3	3,5	-9,8
Abholzung für die Produktion	%	6,3	-12,7	9,6	-21,8
Exergie	%	-4,6	20,8	-0,8	0,4
Nährstoffbezogene					
Stickstoffeintrag in Wasser	%	-2,8	8,3	1,6	-4,4
Phosphoreintrag in Wasser	%	-4,2	19,6	-0,4	1,2
Klimawirkungsbezogene					
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	%	-3,6	9,7	0,8	-1,8
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	%	-1,8	6,5	2,1	-5,5
Schadstoffbezogenen					
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	%	1,8	-3,8	5,6	-13,9
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	%	-5,3	10,1	1,4	-3,8
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	%	20,6	-	34,1	-
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	%	31,6	-	43,1	-

Tabelle 17: Einfluss des Standorttyps pro kg FPCM auf die Umweltwirkungen von konventionellen oder biologischen Betrieben

Parameter		FPCM: Differenz zum Median der Managementklasse in %					
		Konventionell			Biologisch		
		Berg	Hügel	Tal	Berg	Hügel	Tal
Ressourcenbezogen							
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	%	7,6	-2,7	-6,3	2,4	-4,1	-9,7
Phosphorverbrauch	%	-3,0	-15,2	15,5	-	-	-
Flächenbedarf der Produktion	%	13,3	0,7	-15,1	4,3	-3,0	-27,6
Verbrauch blaues Wasser	%	19,4	-12,8	-11,0	6,9	-18,2	-15,0
Abholzung für die Produktion	%	-2,0	-13,4	12,9	2,9	-13,7	7,1
Exergie	%	9,7	1,4	-11,8	2,8	-0,1	-22,0
Nährstoffbezogene							
Stickstoffeintrag in Wasser	%	7,7	-7,5	-2,5	3,6	-11,1	-4,0
Phosphoreintrag in Wasser	%	16,8	-15,4	-6,0	7,9	-21,8	-15,1
Klimawirkungsbezogene							
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	%	6,0	-0,5	-6,2	1,8	-1,7	-10,6
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	%	6,1	-3,4	-3,9	2,3	-4,7	-8,1
Schadstoffbezogenen							
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	%	3,1	-5,2	0,8	2,1	-6,7	-1,8
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	%	17,7	-10,8	-10,8	8,4	-21,5	-19,6
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	%	-12,8	-14,2	25,4	-	-	-
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	%	-8,3	-9,4	16,6	-	-	-

Tabelle 18: Einfluss des Standorttyps pro ha auf die Umweltwirkungen von konventionellen oder biologischen Betrieben

Parameter		HA: Differenz zum Median der Managementklasse in %					
		Konventionell			Biologisch		
		Berg	Hügel	Tal	Berg	Hügel	Tal
Ressourcenbezogen							
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	%	4,4	-0,7	-4,2	1,4	-3,4	-4,1
Phosphorverbrauch	%	-3,8	-11,7	13,5	-	-	-
Flächenbedarf der Produktion	%	7,7	1,3	-9,5	3,0	-0,2	-18,9
Verbrauch blaues Wasser	%	19,1	-11,6	-117,7	6,9	-18,5	-14,5
Abholzung für die Produktion	%	-3,6	-10,2	12,1	1,5	-11,2	12,1
Exergie	%	4,8	2,1	-6,9	1,6	0,6	-13,6
Nährstoffbezogene							
Stickstoffeintrag in Wasser	%	2,9	-3,7	-0,2	2,2	-9,5	3,1
Phosphoreintrag in Wasser	%	9,5	-12,5	-0,3	5,5	-18,3	-3,6
Klimawirkungsbezogene							
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	%	1,4	1,8	-0,3	0,5	-0,6	-0,3
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	%	2,0	-1,3	-1,2	1,2	-3,8	-1,1
Schadstoffbezogenen							
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	%	0,4	-3,2	2,1	1,4	-5,8	1,6
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	%	14,0	-8,5	-8,6	6,7	-18,2	-13,0
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	%	-12,3	-9,8	21,3	-	-	-
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	%	-7,2	-6,5	13,1	-	-	-

8.1.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

8.1.2.1 Nicht erneuerbare Energie, Fossil und Nuklear

Beschreibung	Funkt. Einheit	MJ	Quelle	Land
Durchschnitt NZ	kg Milch	1,5	(BASSET-MENS et al. 2009)	NW
75 Betriebe in den Ostalpen	kg FPCM	2,7	(BERTON et al. 2021)	IT/AUT
Ländervergleich	kg ECM	4,31	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	4,64	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	4,84	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	6,41	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
Leistung > 7.000 kg ECM	kg ECM	2,6	(CEDERBERG, 2004)	SE
Leistung < 7.000 kg ECM	kg ECM	2,6	(CEDERBERG, 2004)	SE
Spezialisierte Betriebe	kg ECM	2,8	(CEDERBERG und MATTSSON, 2000)	SE
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	2,2	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	2,1	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	2,2	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
Intensiv	kg Milch	2,7	(HAAS et al. 2001)	DE
Extensiv	kg Milch	2,7	(HAAS et al. 2001)	D
Tallage	kg Milch	4,8	(HERSENER et al., 2011)	CH
Hügellage	kg Milch	5,4	(HERSENER et al., 2011)	CH
Berglage	kg Milch	6,0	(HERSENER et al., 2011)	CH
Zwei Fallstudien	Liter Packung	6,2	(HOSPIDO et al. 2003)	ES
Hochleistung (IPBS) versus Standard	kg FPCM	4,59	(HUANG et al. 2021)	CN
FarmLife-Base, Median	kg ECM	5,15	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	4,12	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	6,74	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
Simulation von 6 Regionen	kg FPCM	2,48	(ROTZ et al. 2021)	US
Stallherde	kg ECM	5,1	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	5,18	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	5,0	(SUTTER et al. 2013)	CH
10 konventionelle Betriebe	kg FPCM	5,0	(THOMASSEN et al. 2008)	NZ
119 Milchviehbetriebe	kg FPCM	5,3	(THOMASSEN et al., 2009)	NZ
Fütterungsstrategie in Nord China	kg FPCM	4,91	(WANG et al. 2018)	CN
Konventionelle Betriebe	Liter Milch	2,52	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Maisorientierte Ration	Liter Milch	2,36	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Hochleistungstiere	Liter Milch	2,42	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Herbstabkalbung	Liter Milch	2,34	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	4,72	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	4,15	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	5,16	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

8.1.2.2 Flächenbedarf

Beschreibung	Funkt. Einheit	MJ	Quelle	Land
Durchschnitt NZ	kg Milch	1,5	(BASSET-MENS et al. 2009)	NW
75 Betriebe in den Ostalpen	kg FPCM	2,7	(BERTON et al. 2021)	IT/AUT
Ländervergleich	kg ECM	4,31	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	4,64	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	4,84	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	6,41	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
Leistung > 7.000 kg ECM	kg ECM	2,6	(CEDERBERG, 2004)	SE
Leistung < 7.000 kg ECM	kg ECM	2,6	(CEDERBERG, 2004)	SE
Spezialisierte Betriebe	kg ECM	2,8	(CEDERBERG und MATTSSON, 2000)	SE
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	2,2	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	2,1	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	2,2	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
Intensiv	kg Milch	2,7	(HAAS et al. 2001)	DE
Extensiv	kg Milch	2,7	(HAAS et al. 2001)	D
Tallage	kg Milch	4,8	(HERSENER et al., 2011)	CH
Hügellage	kg Milch	5,4	(HERSENER et al., 2011)	CH
Berglage	kg Milch	6,0	(HERSENER et al., 2011)	CH
Zwei Fallstudien	Liter Packung	6,2	(HOSPIDO et al. 2003)	ES
Hochleistung (IPBS) versus Standard	kg FPCM	4,59	(HUANG et al. 2021)	CN
FarmLife-Base, Median	kg ECM	5,15	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	4,12	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	6,74	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
Simulation von 6 Regionen	kg FPCM	2,48	(ROTZ et al. 2021)	US
Stallherde	kg ECM	5,1	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	5,18	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	5,0	(SUTTER et al. 2013)	CH
10 konventionelle Betriebe	kg FPCM	5,0	(THOMASSEN et al. 2008)	NZ
119 Milchviehbetriebe	kg FPCM	5,3	(THOMASSEN et al., 2009)	NZ
Fütterungsstrategie in Nord China	kg FPCM	4,91	(WANG et al. 2018)	CN
Konventionelle Betriebe	Liter Milch	2,52	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Maisorientierte Ration	Liter Milch	2,36	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Hochleistungstiere	Liter Milch	2,42	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Herbstabkalbung	Liter Milch	2,34	(WILLIAMS et al. 2006)	UK
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	4,72	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	4,15	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	5,16	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

8.1.2.3 Verbrauch blaues Wasser

Beschreibung	Funkt. Einheit	Liter	Quelle	Land
Technischer Versuch in Ontario	kg FPCM	7,4	(AL-BAHOUH et al. 2021)	CA
Ländervergleich	kg ECM	9,75	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	13,4	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	13,6	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	20,1	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
Fallstudie	kg FPCM	5,78	(CARVALHO et al. 2022)	BR
96 Milchviehbetriebe (LCA + DEA + Ökoeffizienz)	kg FPCM	52,5	(CORTÉS et al. 2021)	ES
Modellbetrieb in Norden der Niederland	kg FPCM	66	(DE BOER et al. 2013)	NL
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	7,5	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	7,5	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	7,5	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
Simulation von 6 Regionen	kg FPCM	119	(ROTZ et al. 2021)	US
Modellbetrieb in Italien	kg FPCM	52,5	(TEDESCO et al. 2018)	IT
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	16,4	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	15,3	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	15,3	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

8.1.2.4 Abholzung für die Produktion

Beschreibung	Funkt. Einheit	cm ²	Quelle	Land
Ländervergleich	kg ECM	4,3	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	7,28	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	10,8	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	17,7	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	1,8	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	1,9	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	1,6	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
FarmLife-Base, Median	kg ECM	1,95	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	0,4	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	8,65	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
Stallherde	kg ECM	2,7	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	0,4	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	0,4	(SUTTER et al. 2013)	CH
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	2,69	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	6,45	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	17,5	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

8.1.2.5 Stickstoffeintrag in Wasser 8.1.2.6 Phosphoreintrag in Wasser

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Land
Ländervergleich	kg ECM	4,64	(BYSTRICKY et al., 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	6,57	(BYSTRICKY et al., 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	5,52	(BYSTRICKY et al., 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	4,37	(BYSTRICKY et al., 2014b)	IT
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	5,0	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	4,8	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	5,4	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
FarmLife-Base, Median	kg ECM	3,16	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	2,60	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	3,71	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
Stallherde	kg ECM	4,7	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	4,6	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	4,8	(SUTTER et al. 2013)	CH
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	4,09	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	6,65	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	8,16	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

8.1.2.6 Phosphoreintrag in Wasser

Beschreibung	Einheit	Nährstoff	Wert	Quelle	Land
Ländervergleich	kg ECM	Aquatisch P	0,36	(BYSTRICKY et al. 2014)	DE
Ländervergleich	kg ECM	Aquatisch P	0,328	(BYSTRICKY et al. 2014)	IT
Ländervergleich	kg ECM	Aquatisch P	0,311	(BYSTRICKY et al. 2014)	FR
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	Aquatisch P	0,27	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
FarmLife-Base, Median	kg ECM	Aquatisch P	0,21	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
Ländervergleich	kg ECM	Aquatisch P	0,185	(BYSTRICKY et al. 2014)	CH
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	Aquatisch P	0,16	(MARTON und GUGGENBERGER 2015)	AT
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	Aquatisch P	0,147	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	Aquatisch P	0,147	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	Aquatisch P	0,143	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	Aquatisch P	0,081	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	Aquatisch P	0,068	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	Aquatisch P	0,065	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT

8.1.2.7 Treibhauspotenzial GWP₁₀₀

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Methode	Land	Jahr
Vergleich der Hoch- und Küstenlagen in Peru	kg FPCM	2,98	(BARTL et al. 2011)	LCA/ ISO-ADJUSTED	PE	2011
Durchschnitt NZ	kg Milch	0,93	(BASSET-MENS et al. 2009)	LCA/ISO	NW	2009
75 Betriebe in den Ostalpen	kg FPCM	1,13	(BERTON et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	IT/ AUT	2021
Ländervergleich	kg FPCM	1,26	(BYSTRICKY et al. 2014b)	LCA/ISO	CH	2014
Ländervergleich	kg FPCM	1,32	(BYSTRICKY et al. 2014b)	LCA/ISO	DE	2014
Ländervergleich	kg ECM	1,31	(BYSTRICKY et al. 2014b)	LCA/ISO	FR	2014
Ländervergleich	kg ECM	1,21	(BYSTRICKY et al. 2014b)	LCA/ISO	IT	2014
Fallstudie	kg FPCM	1,41	(CARVALHO et al. 2022)	LCA/ISO	BR	2022
Durchschnittlicher Betrieb	kg ECM	1,3	(CASEY und HOLDEN, 2005)	LCA/ISO	IRL	2005
Spezialisierte Betriebe	kg ECM	0,99	(CEDERBERG und MATTSSON, 2000)	LCA/ISO	SE	2000
41 Australische Milchviehbetriebe	kg FPCM	0,91	(CHRISTIE et al. 2016)	LCA/ ISO-ADJUSTED	AU	2016
96 Milchviehbetriebe (LCA + DEA + Ökoeffizienz)	kg FPCM	1,30	(CORTÉS et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	ES	2021
277 Milchviehbetriebe. Vergleich Weide zu Stallfütterung	kg FPCM	0,84	(DARRÉ et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	UY	2021
60 Kleine Milchbetriebe in 4 Regionen	kg FPCM	1,73	(GARG et al. 2016)	LCA/ ISO-ADJUSTED	IN	2016
Modelle von 5 verschiedenen Produktionsverfahren in den Anden	kg FPCM	1,32	(GILARDINO et al. 2020)	LCA/ ISO-ADJUSTED	PE	2020
1313 Milchbetriebe mit Zweinutzungsrasen	kg FPCM	3,38	(GONZÁLEZ-QUINTERO et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	CO	2021
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	0,99	(Guggenberger et al., 2023)	LCA/ISO	AT	2023
16.531 konventionelle Betriebe	kg FPCM	0,95	(GUGGENBERGER et al. 2023)	LCA/ISO	AT	2023
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	1,08	(GUGGENBERGER et al. 2023)	LCA/ISO	AT	2023

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Methode	Land	Jahr
Vergleich einer lokalen Rasse mit einer Zuchtrasse	kg FPCM	5,99	(HAWKINS et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	TZ	2021
ÖLN Milch	kg Milch	1,34	(HERSENER et al. 2011)	LCA/ISO	CH	2011
Biologische Milch	kg Milch	1,40	(HERSENER et al. 2011)	LCA/ISO	CH	2011
Zwei Fallstudien	Liter Packung	1,1	(HOSPIDO et al. 2003)	LCA/ISO	ES	2003
Hochleistung (IPBS) versus Standard	kg FPCM	1,16	(HUANG et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	CN	2021
142 Milchviehbetriebe in Ontario	kg FPCM	1,02	(JAYASUNDARA et al. 2019)	LCA/ ISO-ADJUSTED	CA	2019
113 Süddeutsche Milchviehbetriebe	kg FPCM	1,53	(KIEFER et al. 2015)	LCA/ ISO-ADJUSTED	DE	2015
95 extensive Milchviehbetriebe	kg FPCM	1,26	(LAMBOTTE et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	FR	2021
Modelldaten nationale Datenbank 2010/11 bzw. 2017/2018	kg FPCM	0,74	(LEDGARD et al. 2020)	LCA/ ISO-ADJUSTED	NZ	2020
84 Milchviehbetriebe in der Emilia Romana	kg FPCM	1,42	(LOVARELLI et al. 2019)	LCA/ ISO-ADJUSTED	IT	2019
FarmLife-Base, Median	kg ECM	1,35	(MARTON und GUG- GENBERGER, 2015)	LCA/ISO	AT	2015
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	1,19	(MARTON und GUG- GENBERGER, 2015)	LCA/ISO	AT	2015
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	1,78	(MARTON und GUG- GENBERGER, 2015)	LCA/ISO	AT	2015
552 Datensätze Verwaltungsdaten	kg FPCM	2,96	(MAZZETTO et al. 2020)	LCA/ ISO-ADJUSTED	CR	2020
Modell IR-Statistik	kg FPCM	1,05	(RICE et al. 2017)	LCA/ ISO-ADJUSTED	IR	2017
Simulation von 6 Produktionsgebieten	kg FPCM	0,96	(ROTZ et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	US	2021
Stallherde	kg ECM	1,14	(SUTTER et al. 2013)	LCA/ISO	CH	2013
Weideherde	kg ECM	1,39	(SUTTER et al. 2013)	LCA/ISO	CH	2013
Weideherde-SILO	kg ECM	1,52	(SUTTER et al. 2013)	LCA/ISO	CH	2013
10 konventionelle Betriebe	kg FPCM	1,4	(THOMASSEN et al. 2008)	LCA/ISO	NZ	2008

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Methode	Land	Jahr
119 Milchviehbetriebe	kg FPCM	1,4	(THOMASSEN et al. 2008)	LCA/ISO	NZ	2009
	kg FPCM	1,04	(VAN BOXMEER et al. 2021)	LCA/ ISO-ADJUSTED	NL	2021
Fütterungsstrategie in Nord China	Kg FPMC	1,34	(WANG et al. 2018)	LCA/ISO	CN	2018
Cradle to Gate mit CAPRI, 2004	kg Milk	1,18	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	BL	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2005	kg Milk	1,66	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	DK	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2006	kg Milk	1,28	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	DE	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2007	kg Milk	1,20	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	EL	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2008	kg Milk	1,33	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	ES	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2009	kg Milk	1,23	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	FR	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2010	kg Milk	1,01	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	IR	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2011	kg Milk	1,14	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	IT	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2012	kg Milk	1,41	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	NL	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2013	kg Milk	1,01	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	AT	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2014	kg Milk	1,33	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	PT	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2015	kg Milk	1,33	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	SE	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2016	kg Milk	1,88	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	FI	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2017	kg Milk	1,20	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	UK	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2018	kg Milk	2,74	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	CY	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2019	kg Milk	1,27	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	CZ	2004

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Methode	Land	Jahr
Cradle to Gate mit CAPRI, 2020	kg Milk	1,87	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	EE	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2021	kg Milk	1,77	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	HU	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2022	kg Milk	1,60	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	LT	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2023	kg Milk	2,68	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	LV	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2024	kg Milk	1,95	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	MT	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2025	kg Milk	1,66	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	PL	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2026	kg Milk	1,82	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	SI	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2027	kg Milk	1,39	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	SK	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2028	kg Milk	1,98	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	BG	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2029	kg Milk	1,72	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	RO	2004
Cradle to Gate mit CAPRI, 2030	kg Milk	1,32	(WEISS und LEIP, 2012)	Modell	EU	2004
382 Milchviehbetriebe, Kleintierhalter, Lokale Rassen	kg FPCM	2,54	(WILKES et al. 2020)	LCA/ ISO-ADJUSTED	KE	2020
Konventionelle Betriebe	Liter Milch	1,06	(WILLIAMS et al. 2006)	LCA/ISO	UK	2006
Maisorientierte Ration	Liter Milch	0,98	(WILLIAMS et al. 2006)	LCA/ISO	UK	2006
Hochleistungstiere	Liter Milch	1,02	(WILLIAMS et al. 2006)	LCA/ISO	UK	2006
Herbstabkalbung	Liter Milch	1,3	(WILLIAMS et al. 2006)	LCA/ISO	UK	2006
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	1,64	(ZUMWALD et al. 2018)	LCA/ISO	CH	2018
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	1,40	(ZUMWALD et al. 2018)	LCA/ISO	CH	2018
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	1,51	(ZUMWALD et al. 2018)	LCA/ISO	CH	2018

LCA-ISO-ADJUSTMENT (MAZZETTO et al. 2022) nach IDF (IDF, 2015)

8.1.2.8 Aquatische Ökotoxizität

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Land
Ländervergleich	kg ECM	90,8	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	111	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	78,7	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	110	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	14,8	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	16,3	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	3,5	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
Stallherde	kg ECM	29,7	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	13,6	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	17,3	(SUTTER et al. 2013)	CH
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	6,05	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	6,26	(ZUMWALD et al. 2018)	CH
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	20,8	(ZUMWALD et al. 2018)	CH

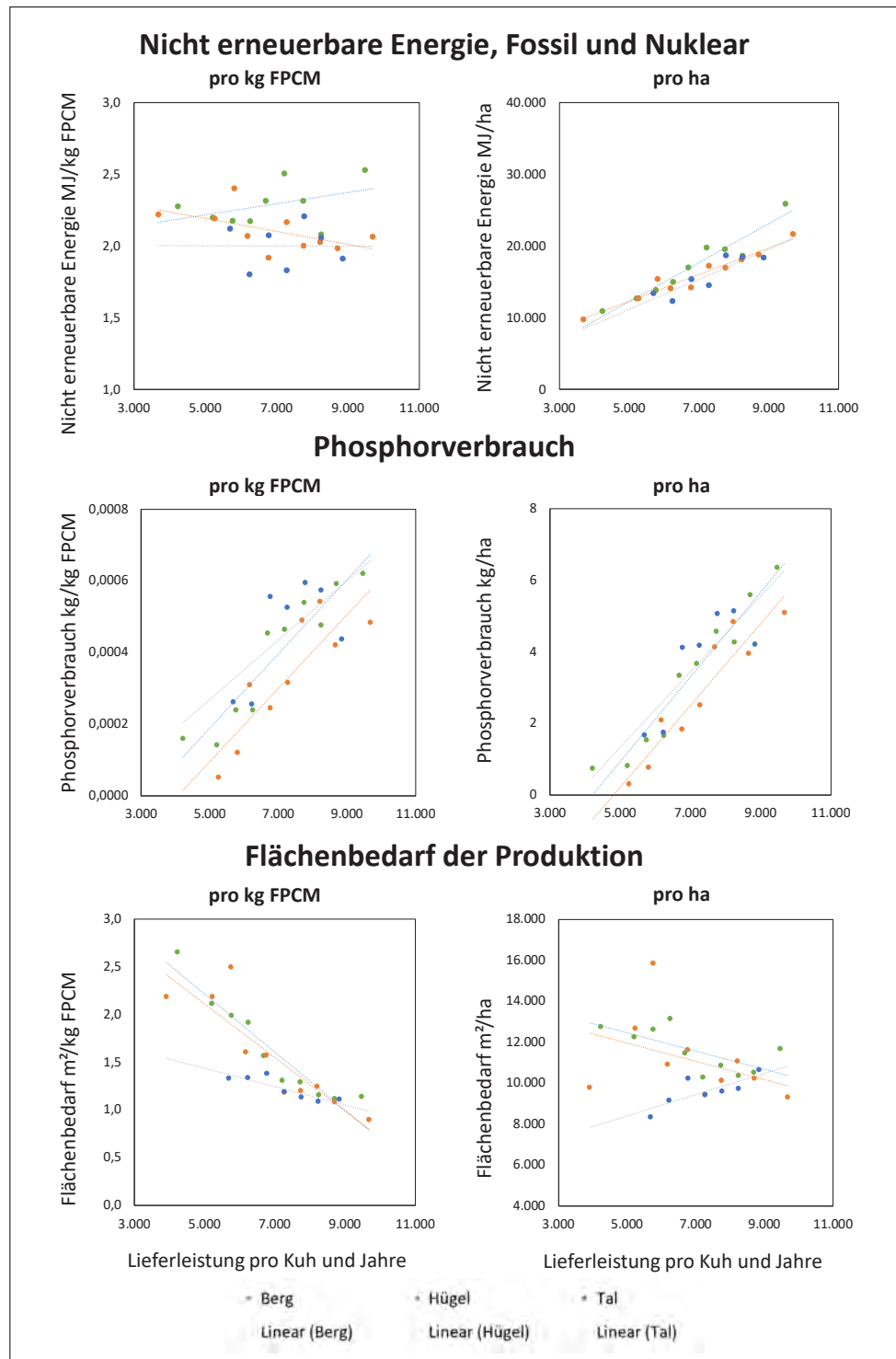
8.1.2.9 Terrestrische Ökotoxizität

Beschreibung	Einheit	Wert	Quelle	Land
Ländervergleich	kg ECM	0,6	(BYSTRICKY et al. 2014b)	CH
Ländervergleich	kg ECM	1,2	(BYSTRICKY et al. 2014b)	DE
Ländervergleich	kg ECM	0,688	(BYSTRICKY et al. 2014b)	FR
Ländervergleich	kg ECM	0,761	(BYSTRICKY et al. 2014b)	IT
24.592 Milchviehbetriebe	kg FPCM	0,56	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
16.531 Konventionelle Betriebe	kg FPCM	0,63	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
8.061 biologische Betriebe	kg FPCM	0,29	(GUGGENBERGER et al. 2023)	AT
FarmLife-Base, Median	kg ECM	0,44	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 1.Quartil	kg ECM	0,24	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
FarmLife-Base, 3.Quartil	kg ECM	0,72	(MARTON und GUGGENBERGER, 2015)	AT
Stallherde	kg ECM	1,4	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde	kg ECM	0,6	(SUTTER et al. 2013)	CH
Weideherde-SILO	kg ECM	0,7	(SUTTER et al. 2013)	CH
Vollweide, Hohenrain II	kg ECM	0,28	(ZUMWALD et al. 2018)	AT
Eingrasen, wenig KF, Hohenrain II	kg ECM	0,31	(ZUMWALD et al. 2018)	AT
Eingrase, viel KF, Hohenrain II	kg ECM	1,76	(ZUMWALD et al. 2018)	AT

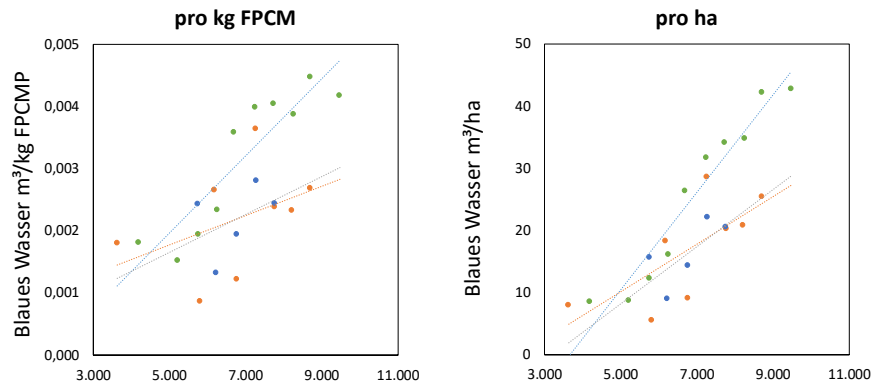
8.2 Abbildungen

8.2.1 Daten zur Schätzung von linearen Regressionen

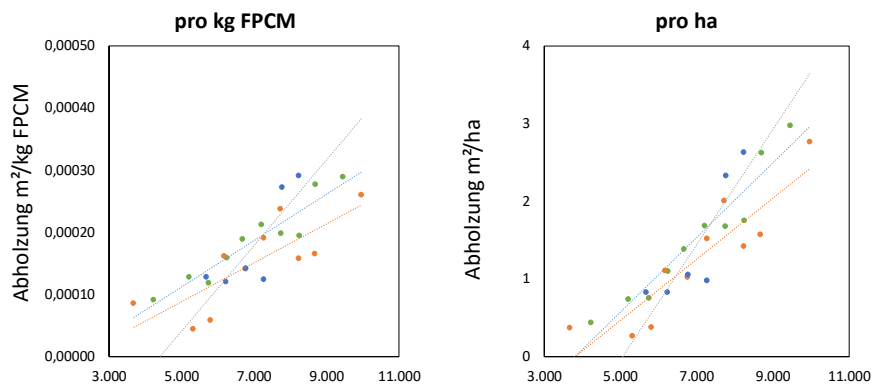
8.2.1.1 Ressourcenbezogene Umweltwirkungen



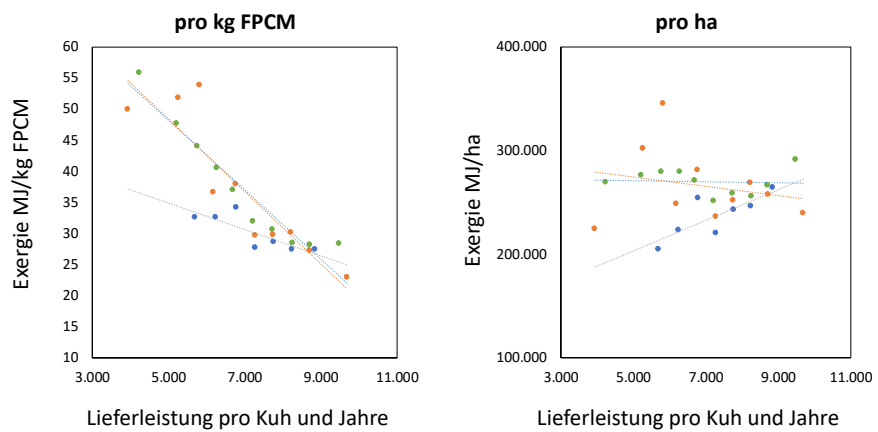
Verbrauch blaues Wasser



Abholzung für die Produktion



Exergie

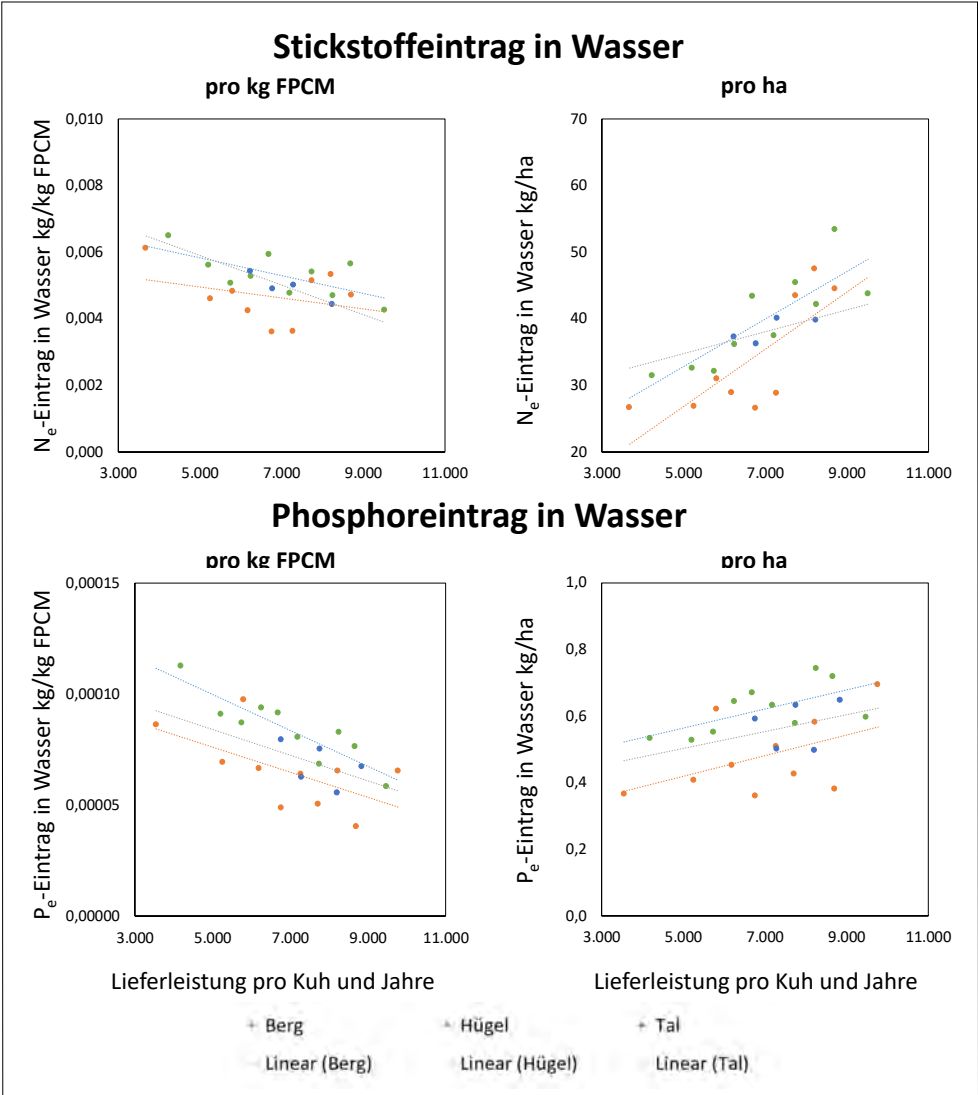


Lieferleistung pro Kuh und Jahre

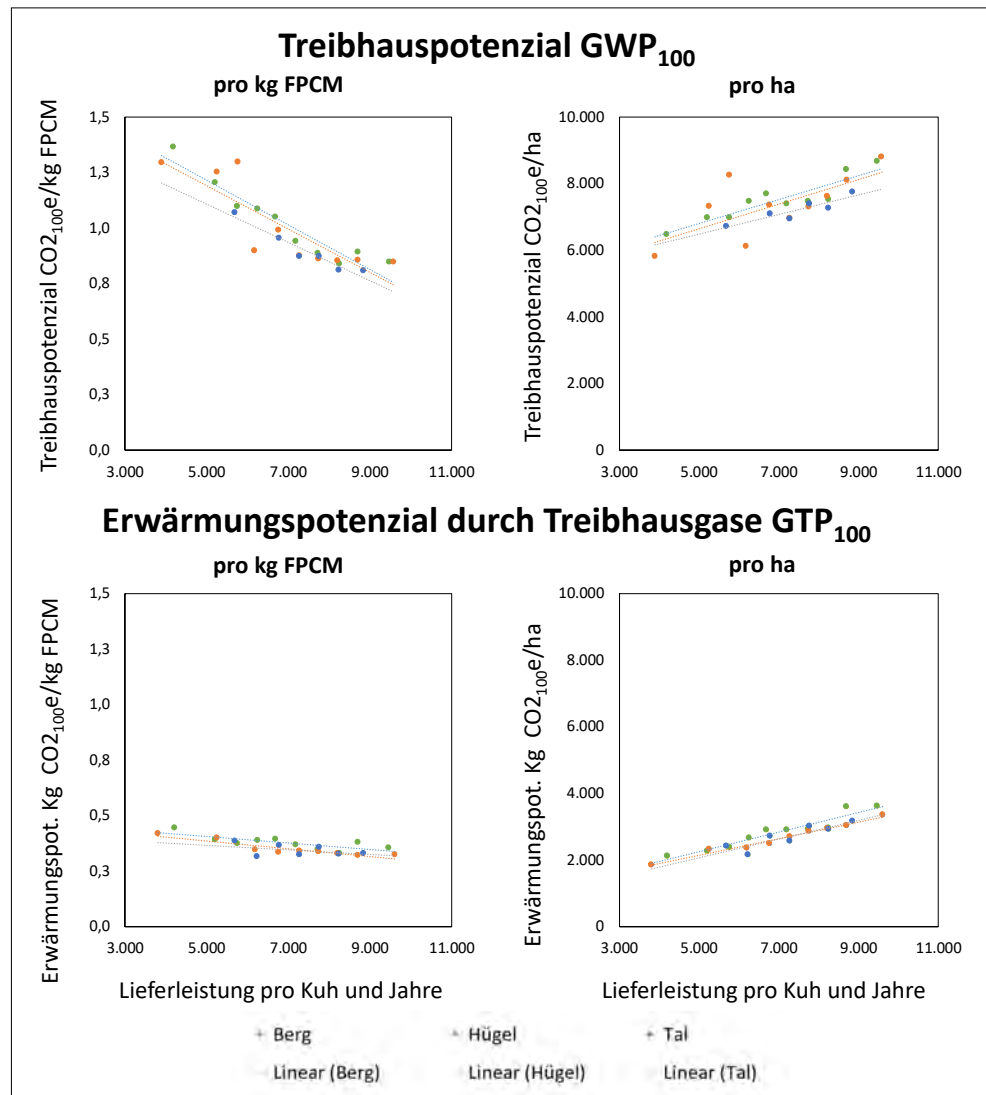
Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Berg
- Hügel
- Tal
- Linear (Berg)
- Linear (Hügel)
- Linear (Tal)

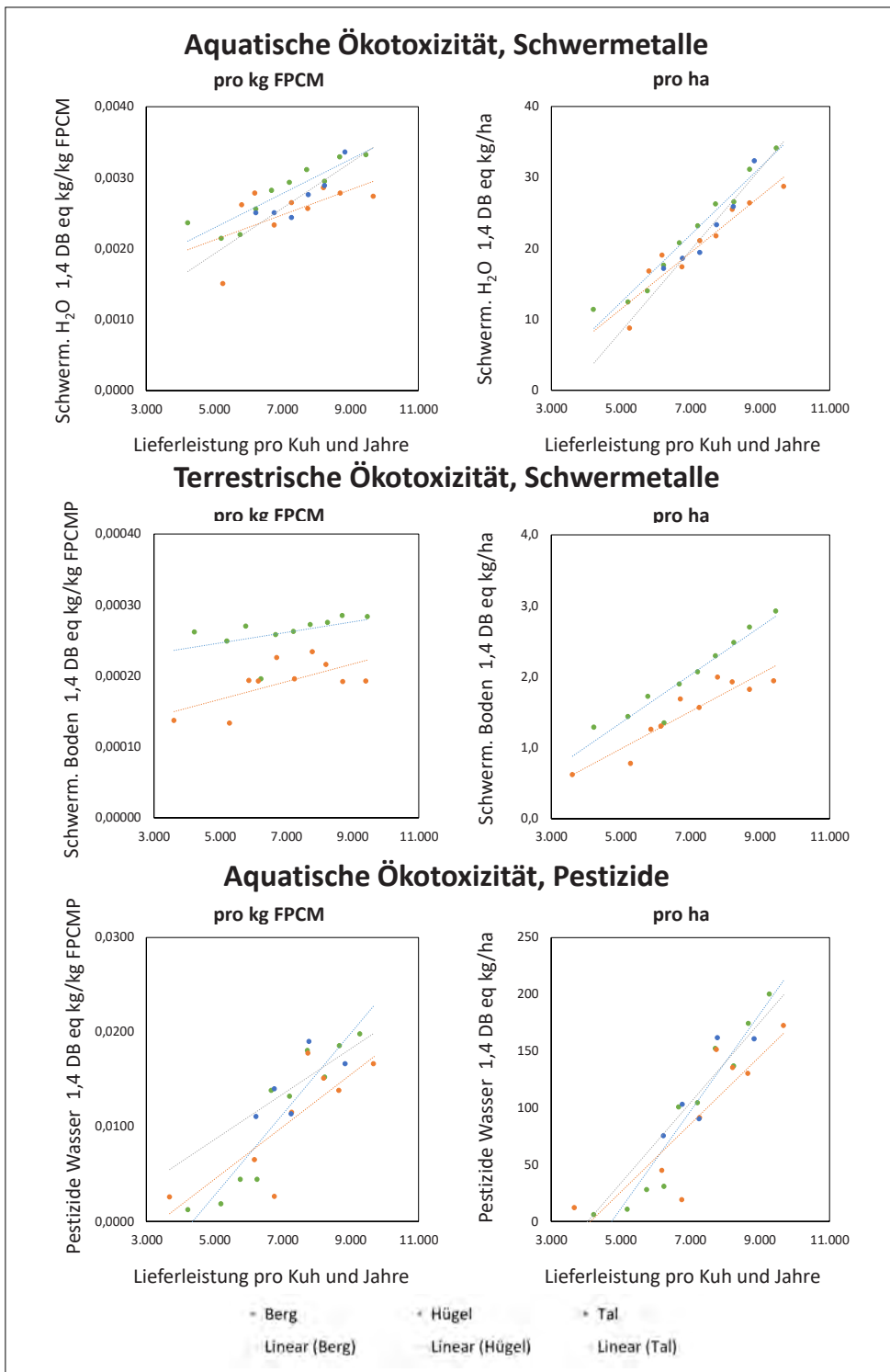
8.2.1.2 Nährstoffbezogene Umweltwirkungen



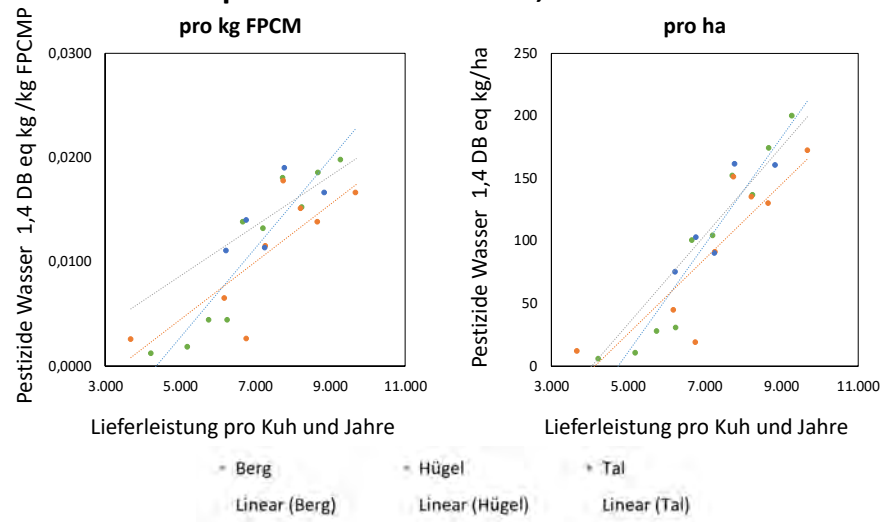
8.2.1.3 Wirkung von Treibhausgasen



8.2.1.4 Schadstoffbezogene Umweltwirkungen

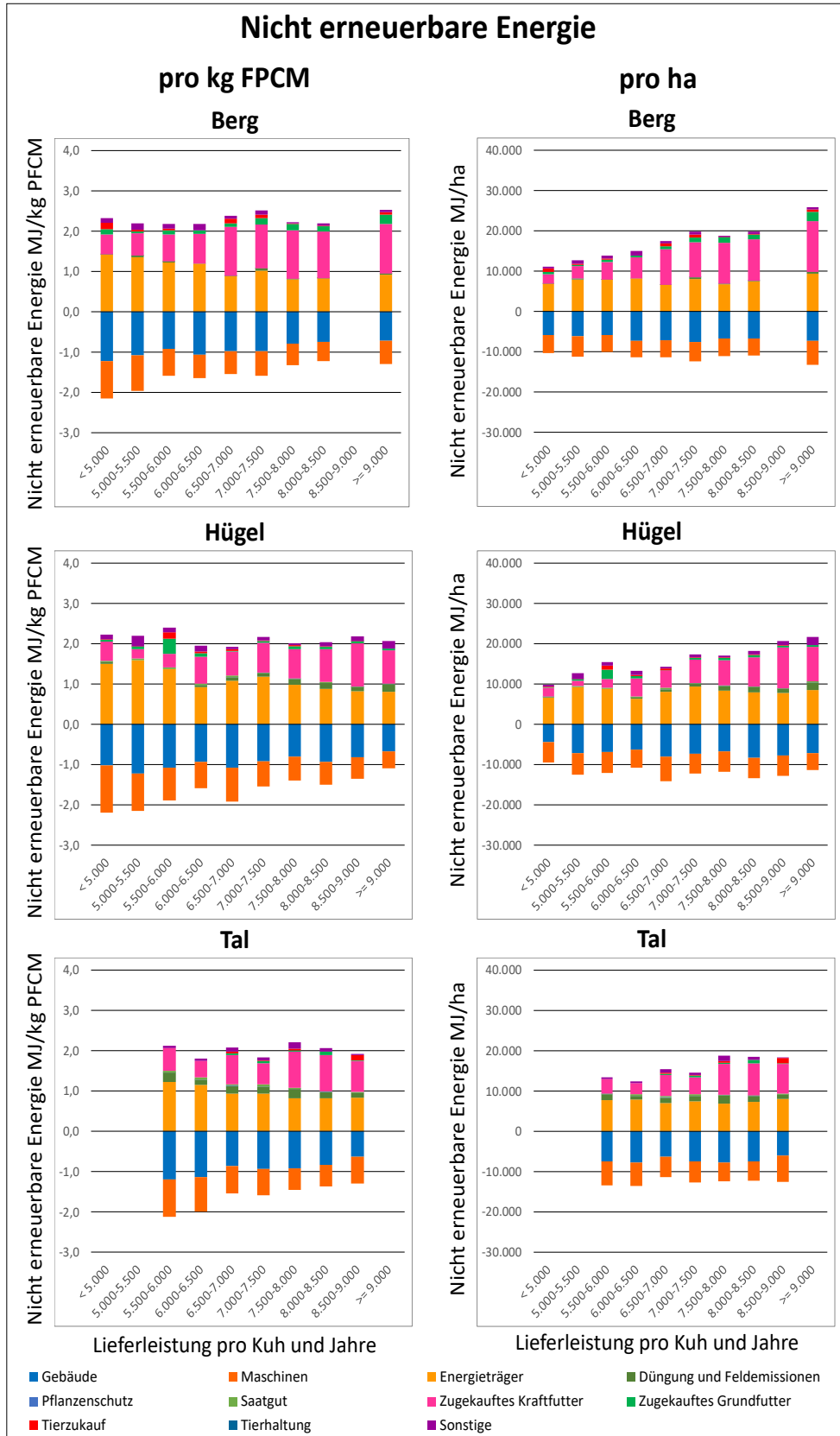


Aquatische Ökotoxizität, Pestizide

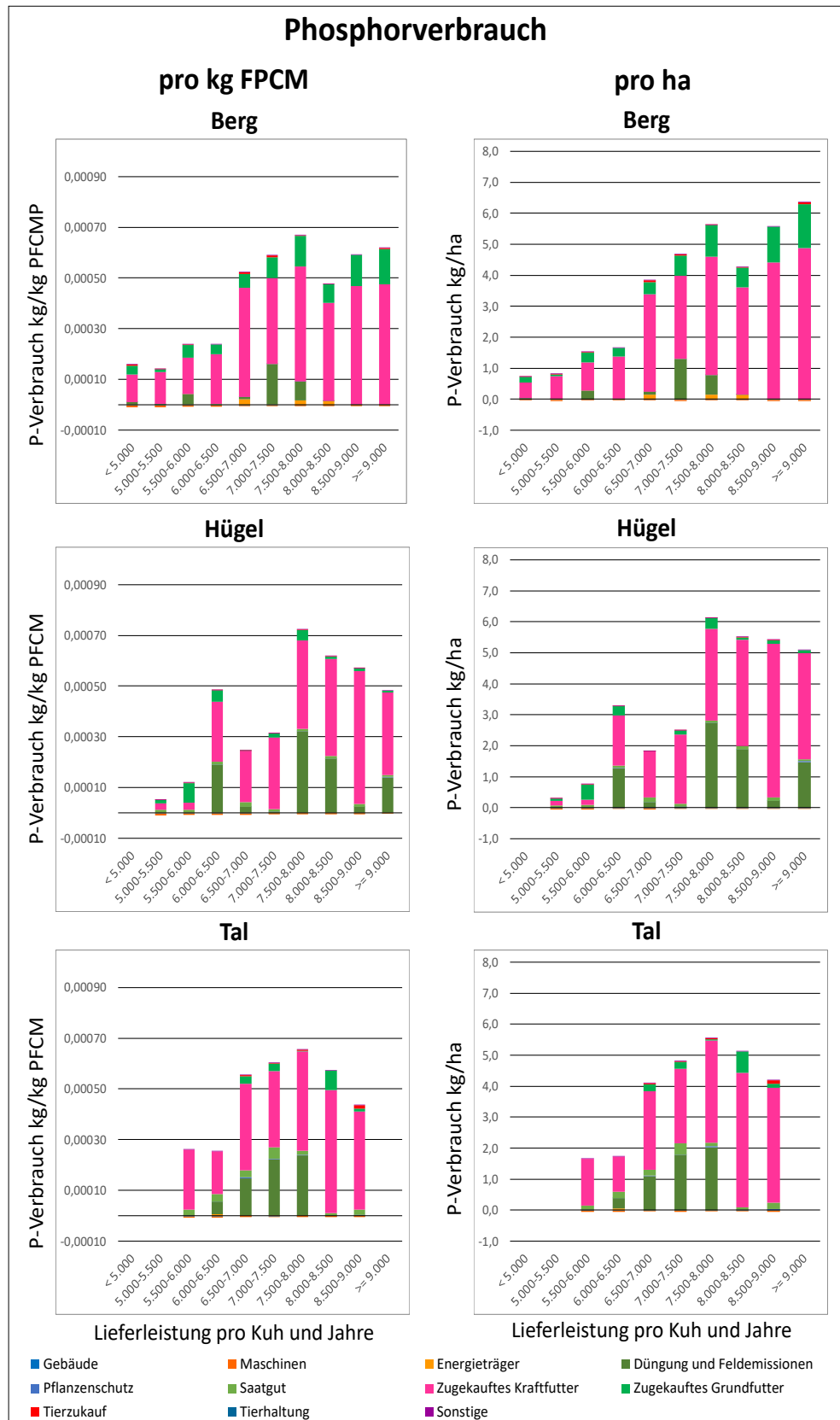


8.2.2 Inputgruppen in Abhängigkeit von Standort und Lieferleistung

8.2.2.1 Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen



8.2.2.2 Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen



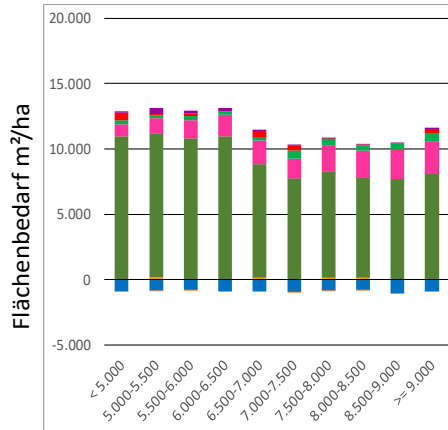
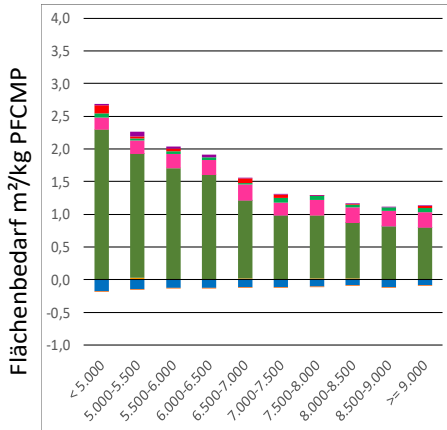
Flächenbedarf der Produktion

pro kg FPCM

pro ha

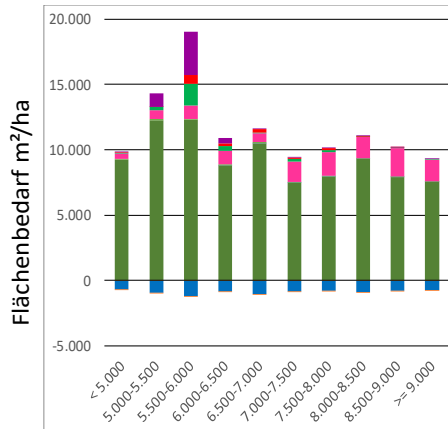
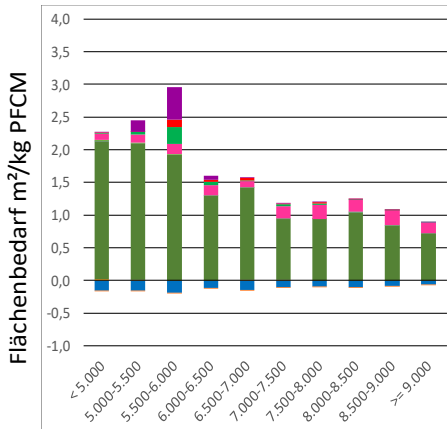
Berg

Berg



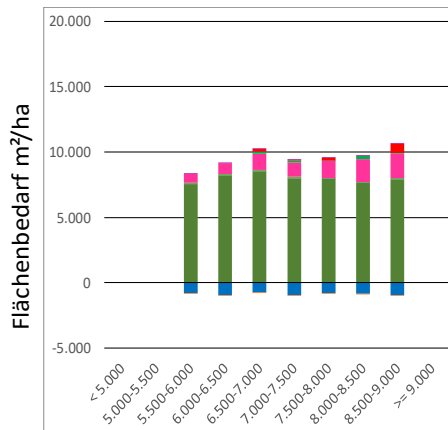
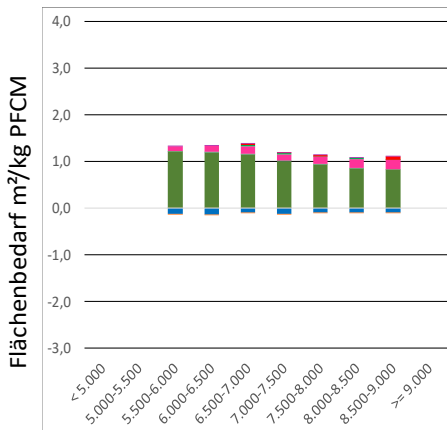
Hügel

Hügel



Tal

Tal



Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Gebäude
 - Pflanzenschutz
 - Tierzukauf
- Maschinen
 - Saatgut
 - Tierhaltung
- Energieträger
 - Zugkaufes Kraftfutter
 - Sonstige
- Düngung und Feldemissionen
 - Zugkaufes Grundfutter

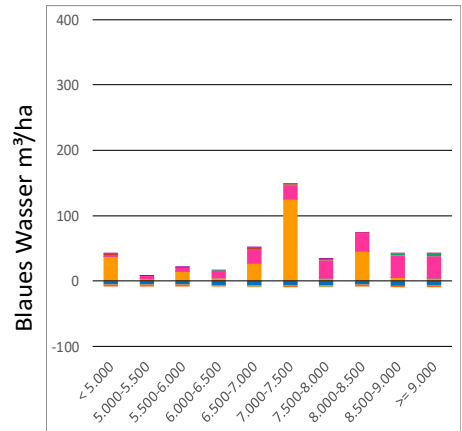
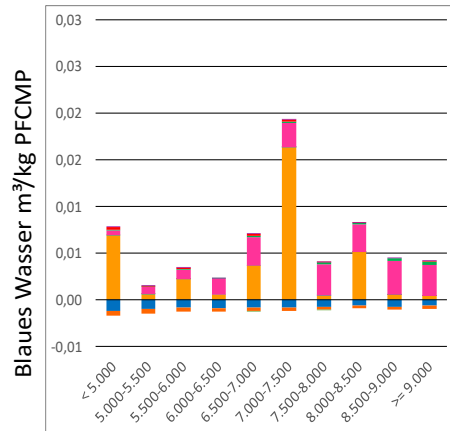
Verbrauch blaues Wasser

pro kg FPCM

pro ha

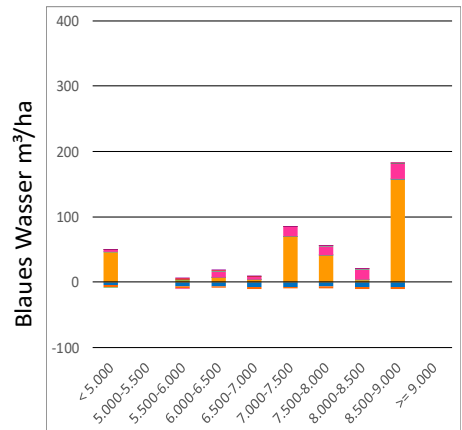
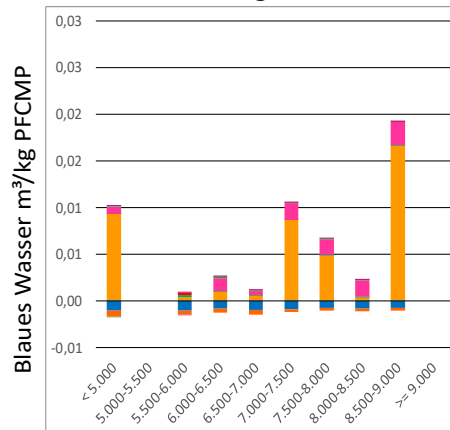
Berg

Berg



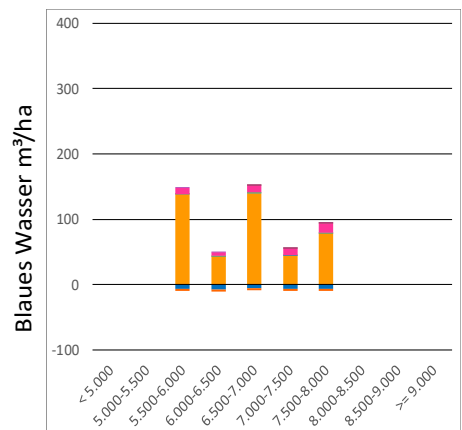
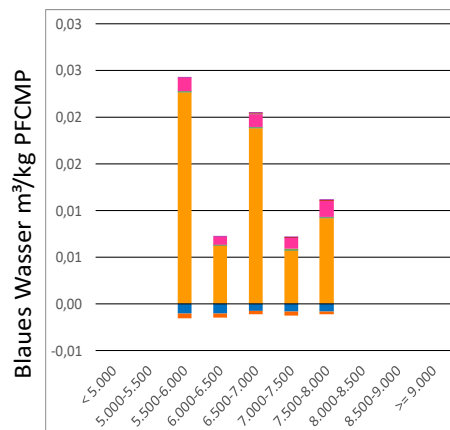
Hügel

Hügel



Tal

Tal



Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Gebäude
- Maschinen
- Energieträger
- Düngung und Feldemissionen
- Pflanzenschutz
- Saatgut
- Zugekauftes Kraftfutter
- Zugekauftes Grundfutter
- Tierzukauf
- Tierhaltung
- Sonstige

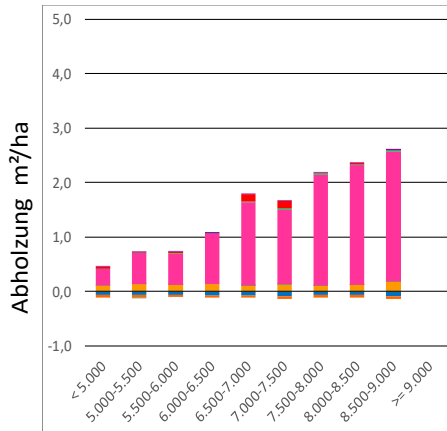
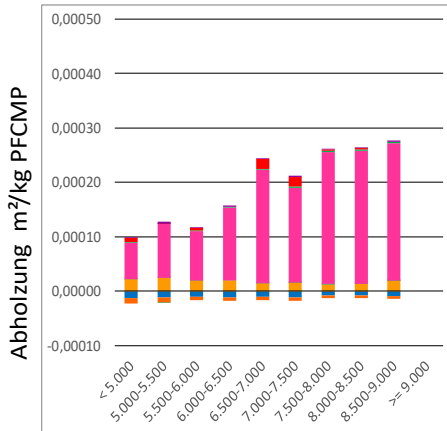
Abholzung für die Produktion

pro kg FPCM

pro ha

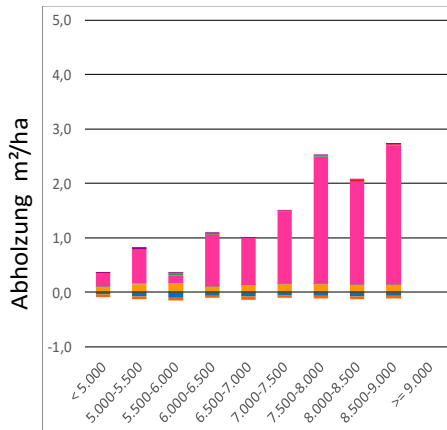
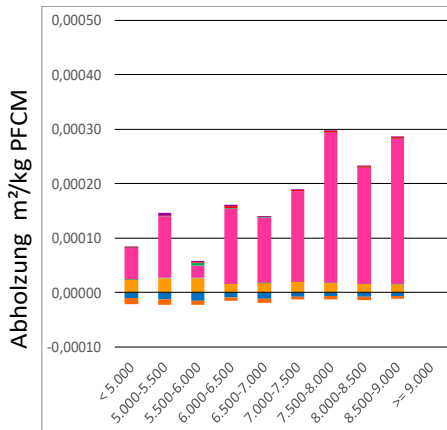
Berg

Berg



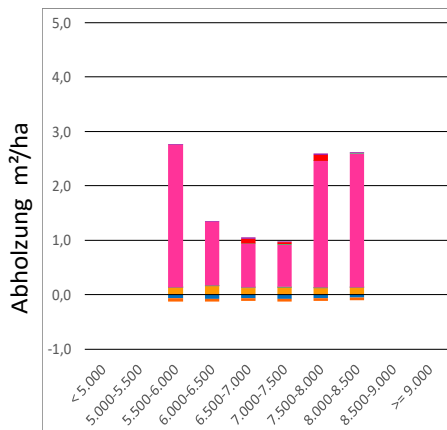
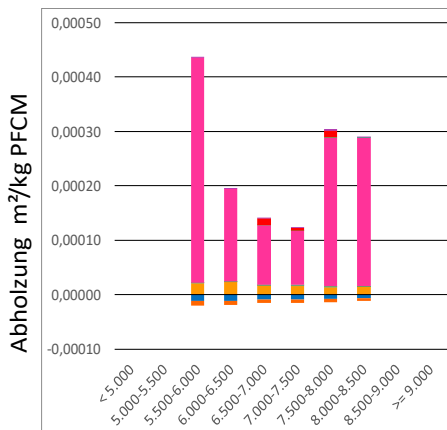
Hügel

Hügel



Tal

Tal



Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Gebäude
- Maschinen
- Energieträger
- Düngung und Feldemissionen
- Pflanzenschutz
- Saatgut
- Zugekauftes Kraftfutter
- Zugekauftes Grundfutter
- Tierzukauf
- Tierhaltung
- Sonstige

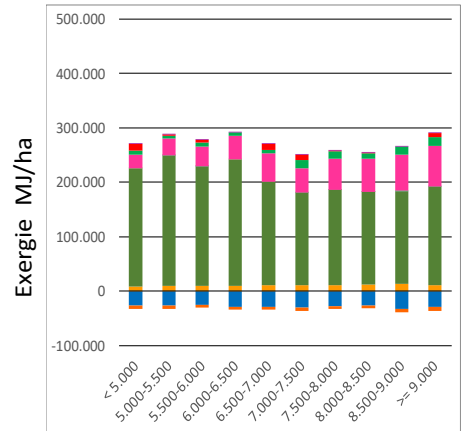
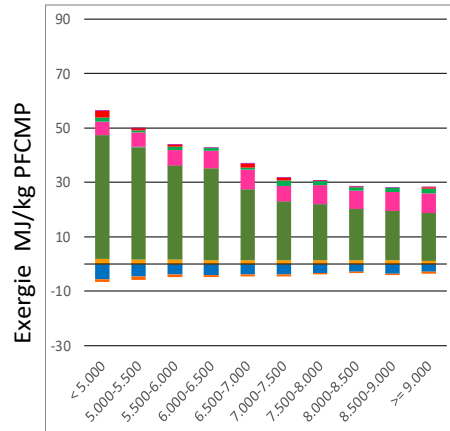
Exergie, Gesamt

pro kg FPCM

pro ha

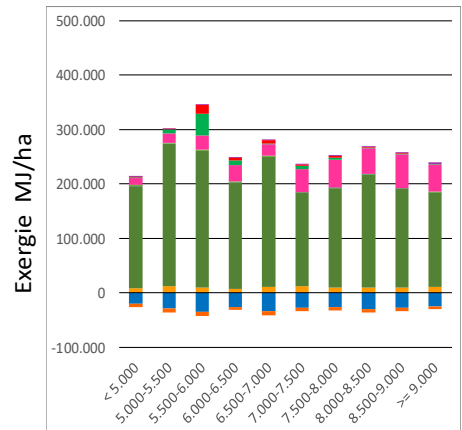
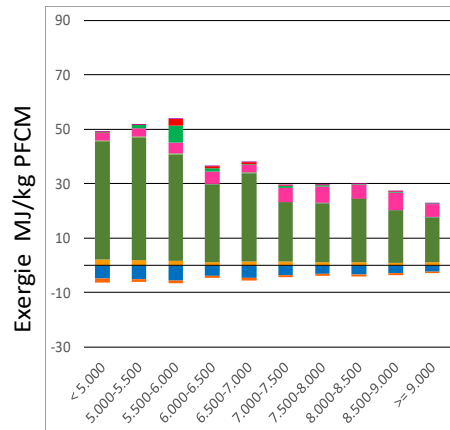
Berg

Berg



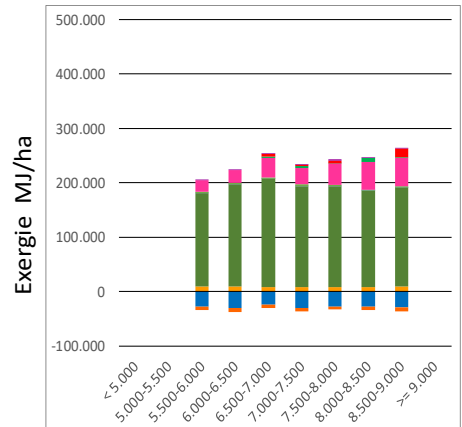
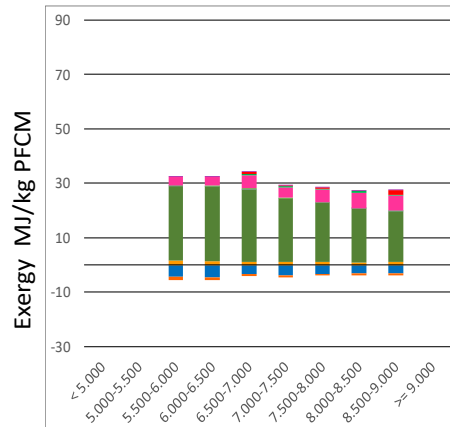
Hügel

Hügel



Tal

Tal

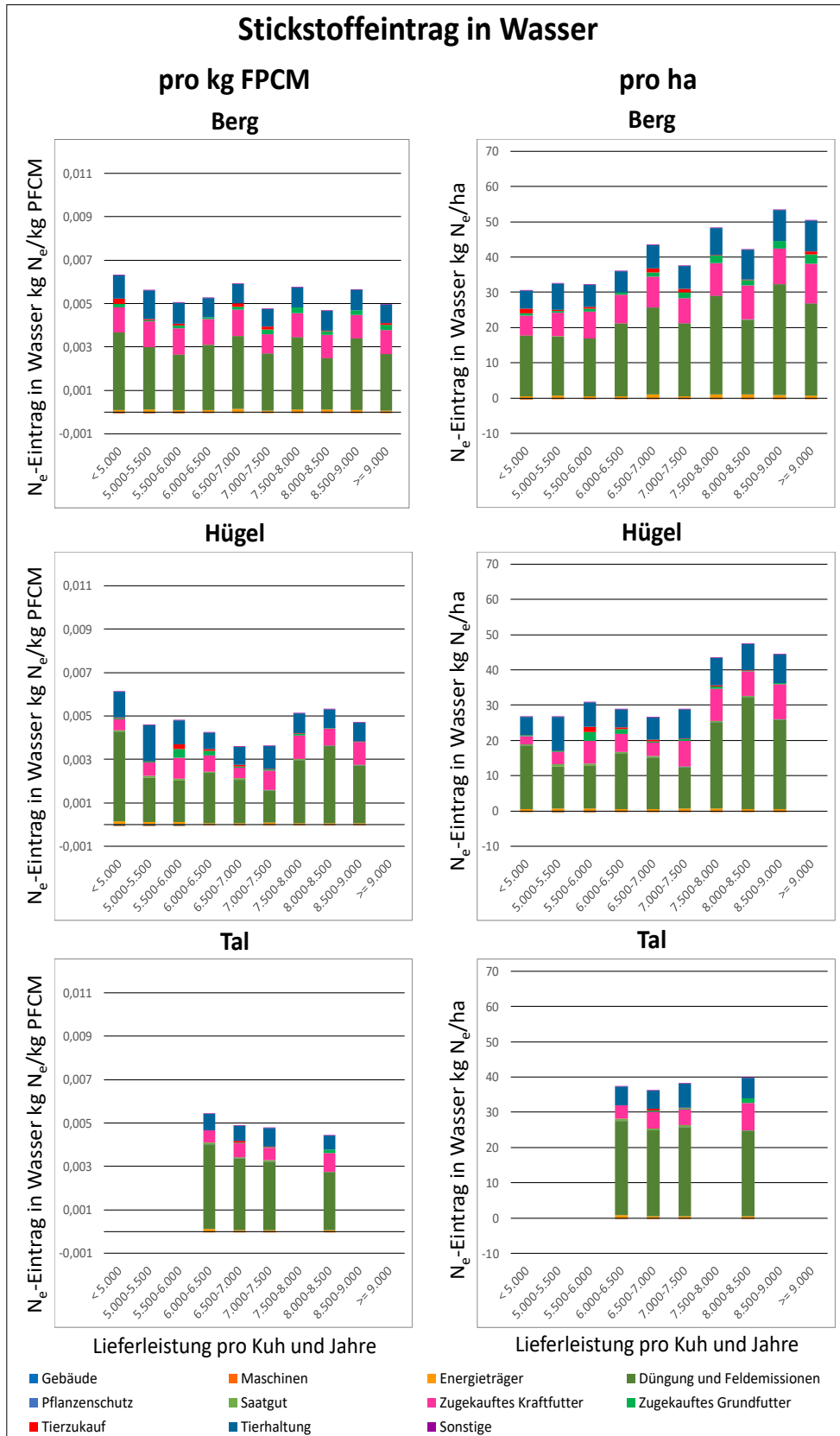


Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Gebäude
- Maschinen
- Energieträger
- Düngung und Feldemissionen
- Pflanzenschutz
- Saatgut
- Zugekauftes Kraftfutter
- Zugekauftes Grundfutter
- Tierzukauf
- Tierhaltung
- Sonstige

8.2.2.2 Nährstoffbezogenen Umweltwirkungen



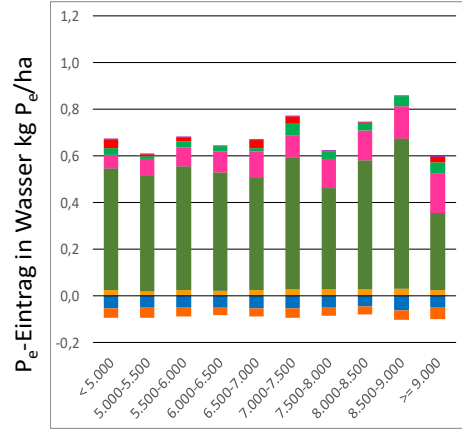
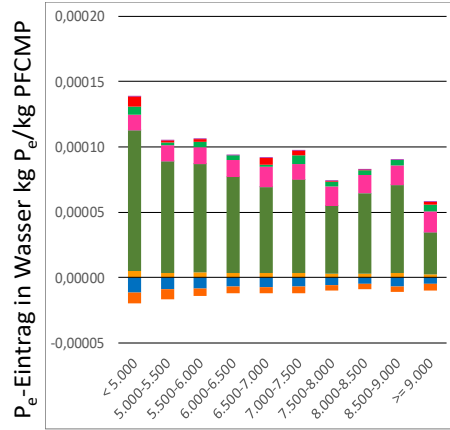
Phosphoreintrag in Wasser

pro kg FPCM

pro ha

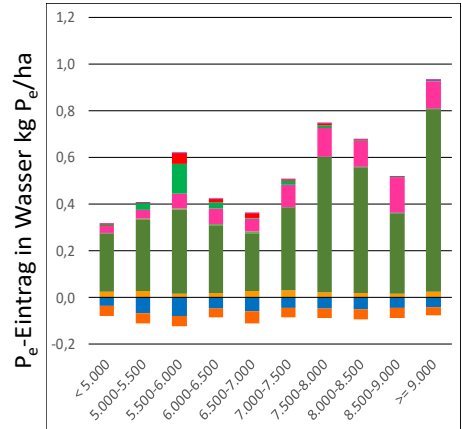
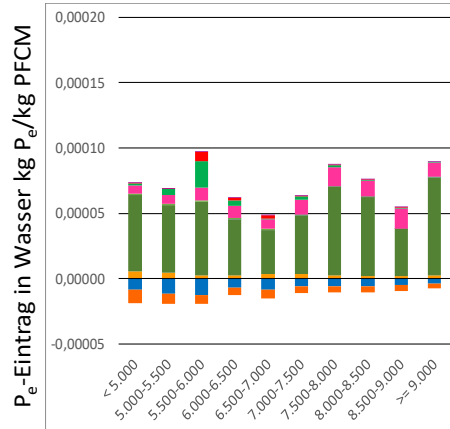
Berg

Berg



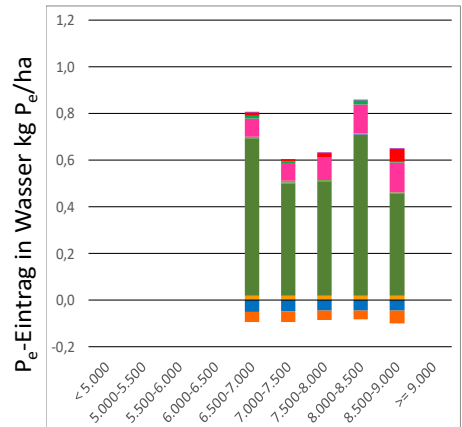
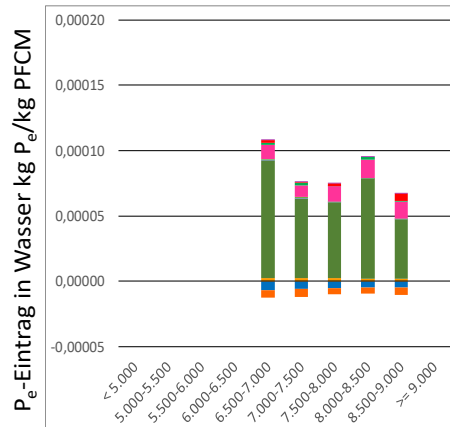
Hügel

Hügel



Tal

Tal

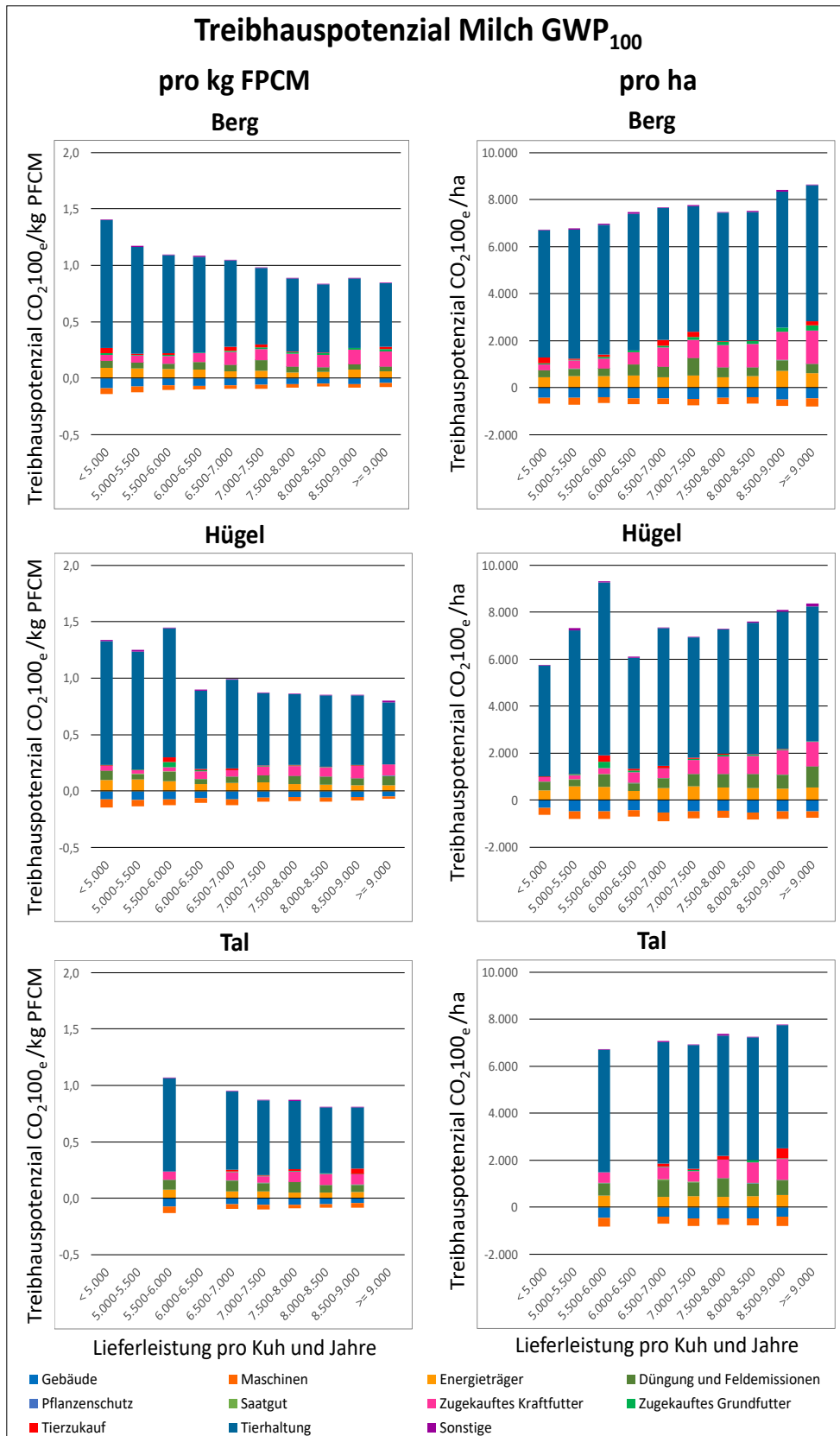


Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- Gebäude
- Maschinen
- Energieträger
- Düngung und Feldemissionen
- Pflanzenschutz
- Saatgut
- Zugkaufte Kraftfutter
- Zugkaufte Grundfutter
- Tierzukauf
- Tierhaltung
- Sonstige

8.2.2.3 Wirkungen von Treibhausgasen



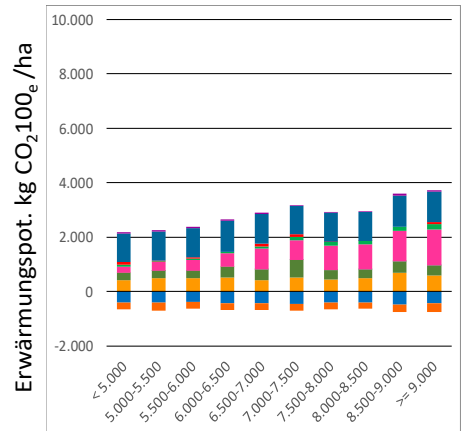
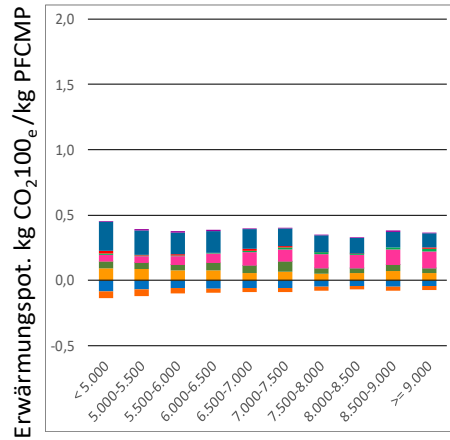
Erwärmungspotenzial durch Treibhausgase GTP₁₀₀

pro kg FPCM

pro ha

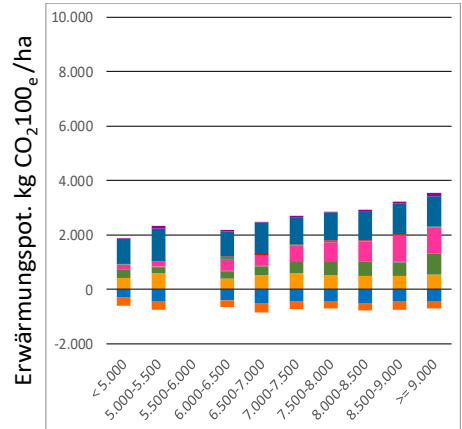
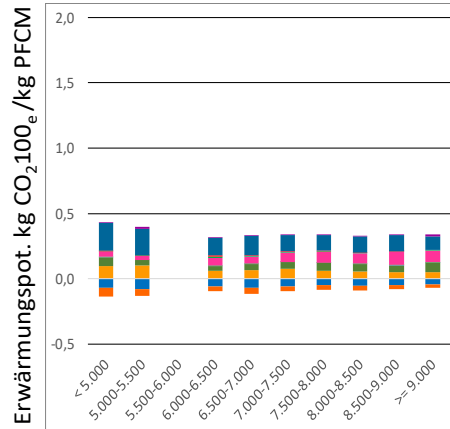
Berg

Berg



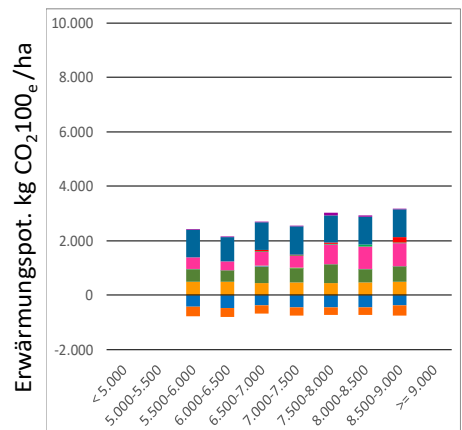
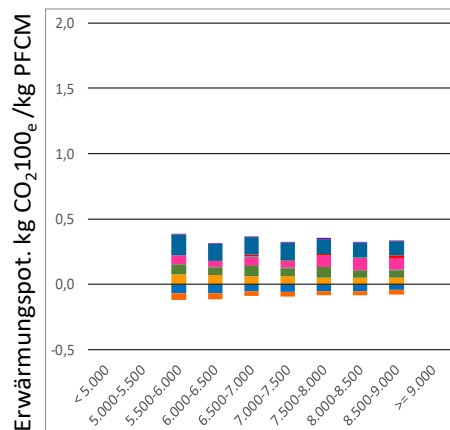
Hügel

Hügel



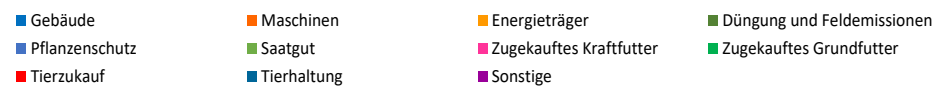
Tal

Tal

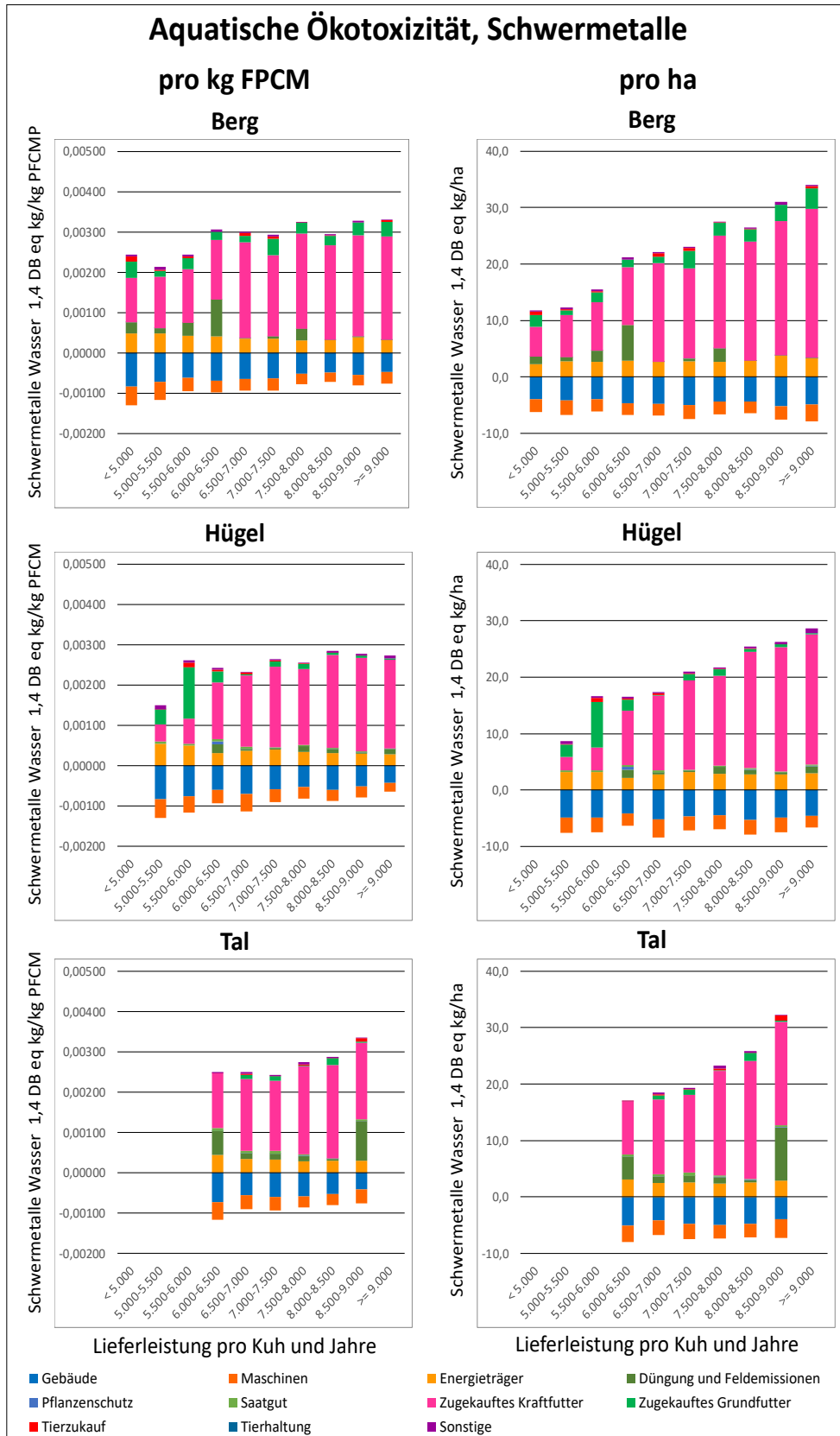


Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre



8.2.2.4 Schadstoffbezogenen Umweltwirkungen



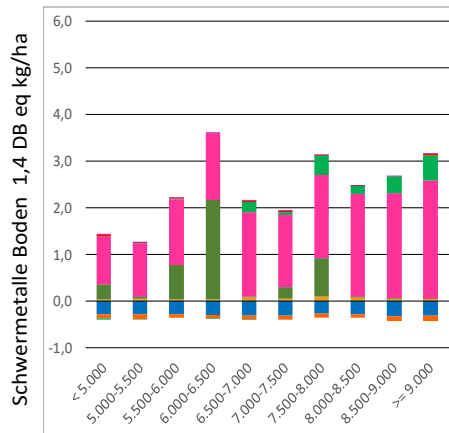
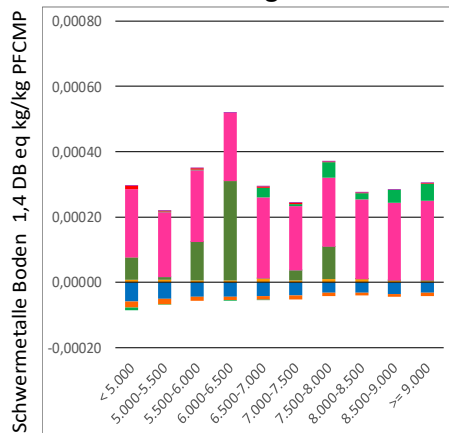
Terrestrische Ökotoxizität, Schwermetalle

pro kg FPCM

pro ha

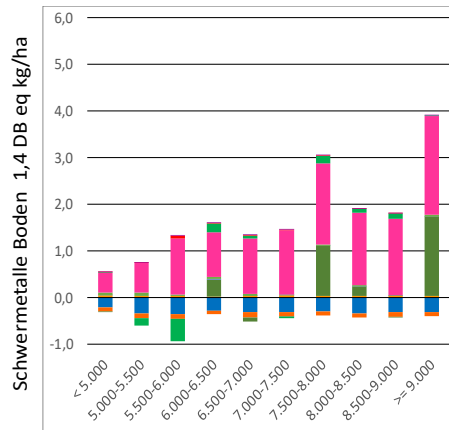
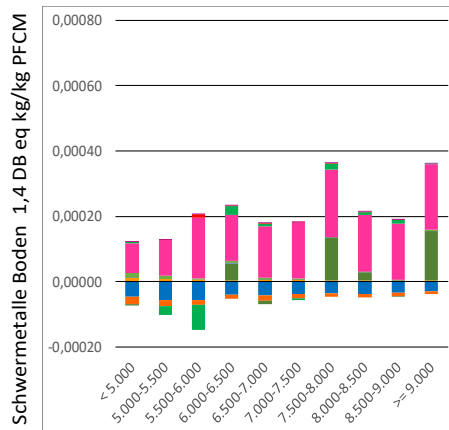
Berg

Berg



Hügel

Hügel



Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- | | | | |
|--|---|---|---|
| ■ Gebäude | ■ Maschinen | ■ Energieträger | ■ Düngung und Feldemissionen |
| ■ Pflanzenschutz | ■ Saatgut | ■ Zugekauftes Kraftfutter | ■ Zugekauftes Grundfutter |
| ■ Tierzukauf | ■ Tierhaltung | ■ Sonstige | |

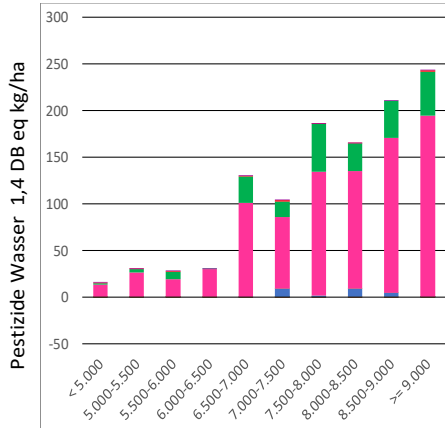
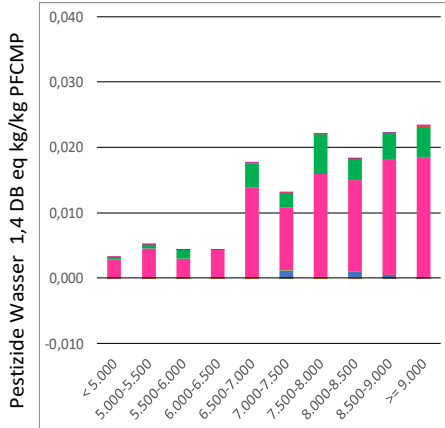
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide

pro kg FPCM

pro ha

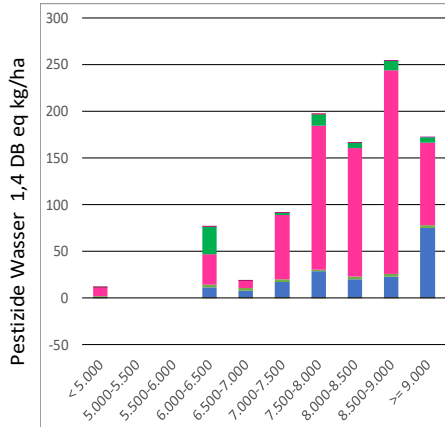
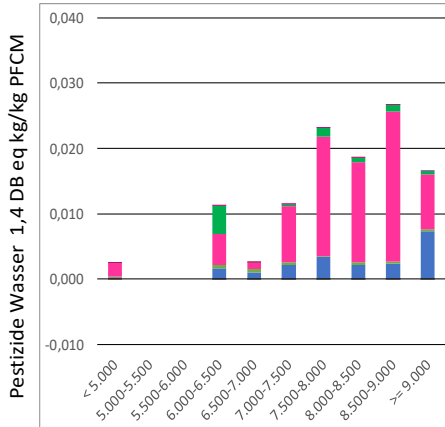
Berg

Berg



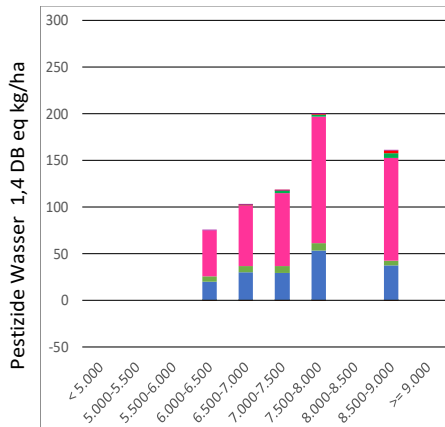
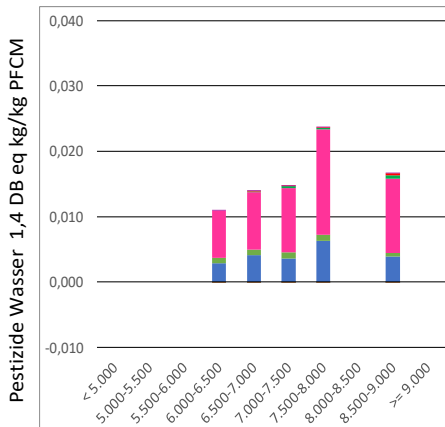
Hügel

Hügel



Tal

Tal



Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre

- | | | | |
|------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| ■ Gebäude | ■ Maschinen | ■ Energieträger | ■ Düngung und Feldemissionen |
| ■ Pflanzenschutz | ■ Saatgut | ■ Zugekauftes Kraftfutter | ■ Zugekauftes Grundfutter |
| ■ Tierzukauf | ■ Tierhaltung | ■ Sonstige | |

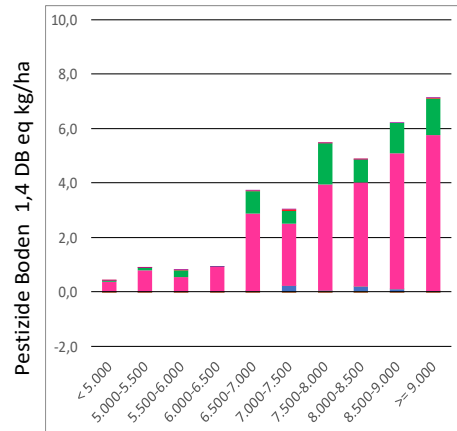
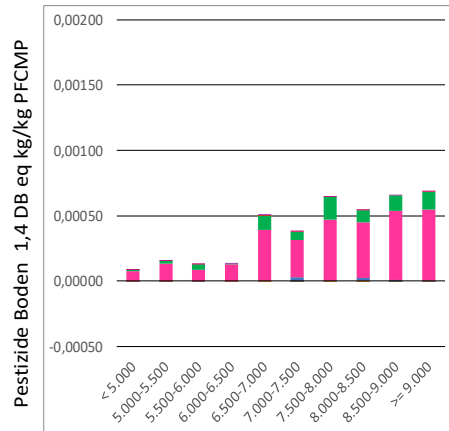
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide

pro kg FPCM

pro ha

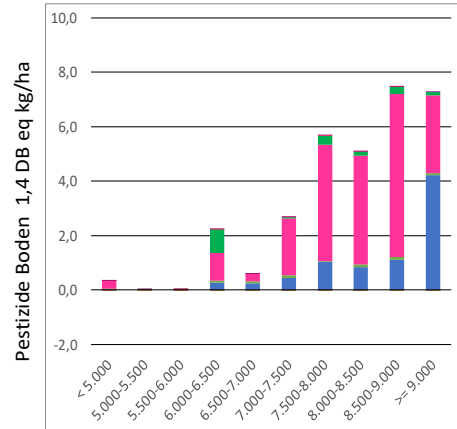
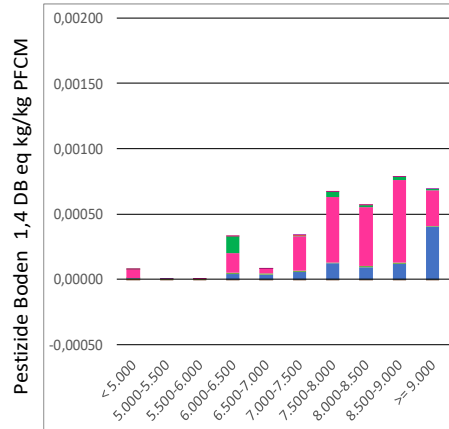
Berg

Berg



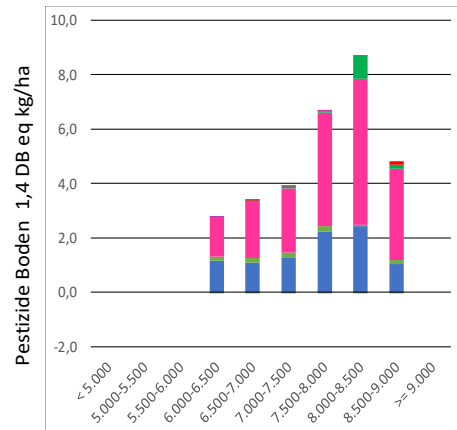
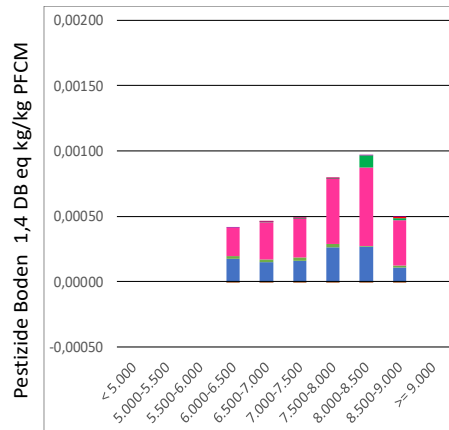
Hügel

Hügel



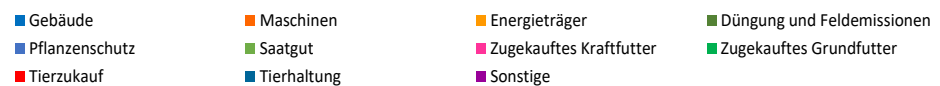
Tal

Tal



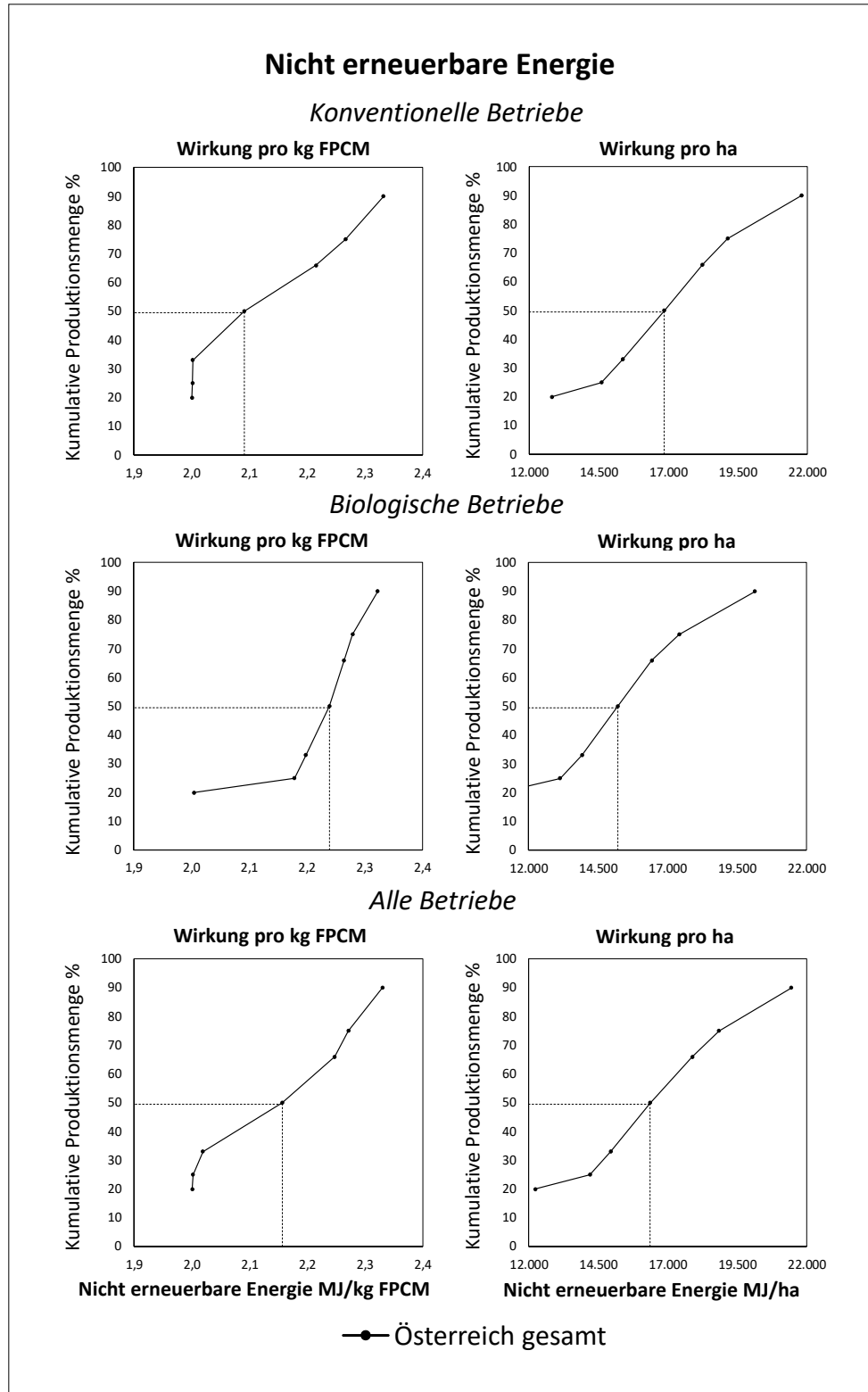
Lieferleistung pro Kuh und Jahre

Lieferleistung pro Kuh und Jahre



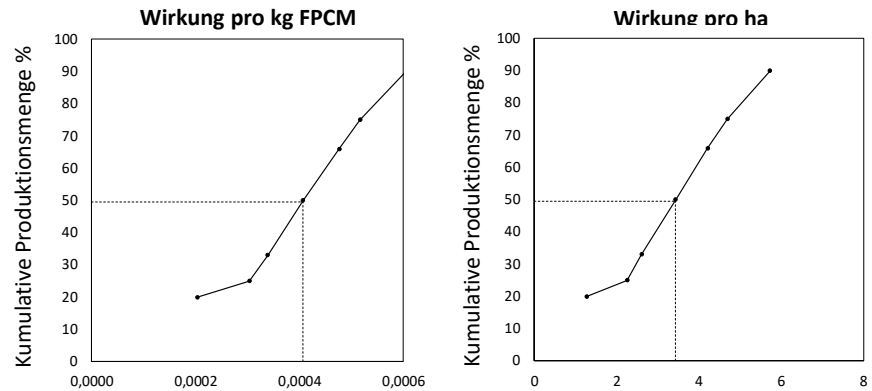
8.2.3 Verteilung der Umweltwirkungen im Betriebsnetz der österreichischen Milchviehbetriebe

8.2.3.1 Kumulative ressourcenbezogene Umweltwirkungen

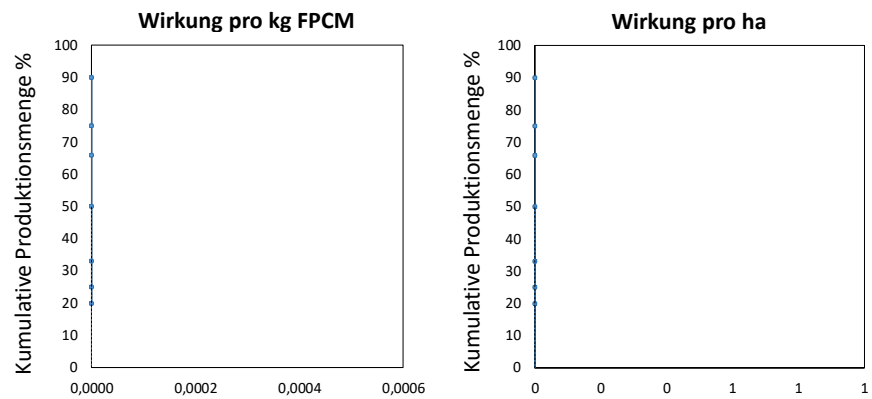


Phosphorverbrauch

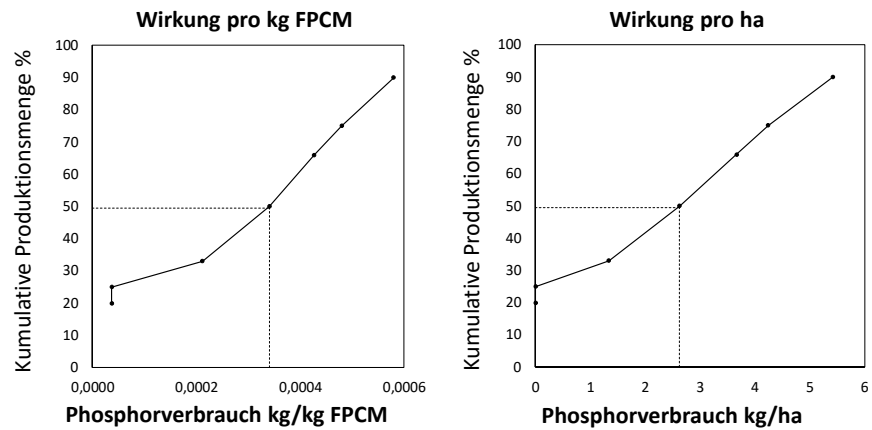
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



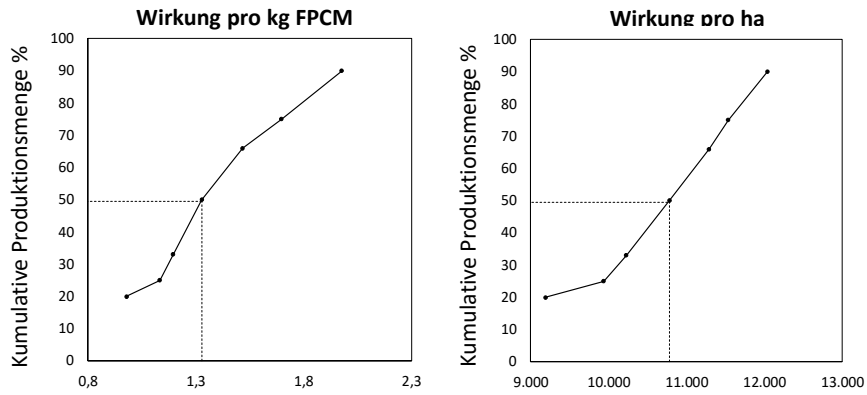
Alle Betriebe



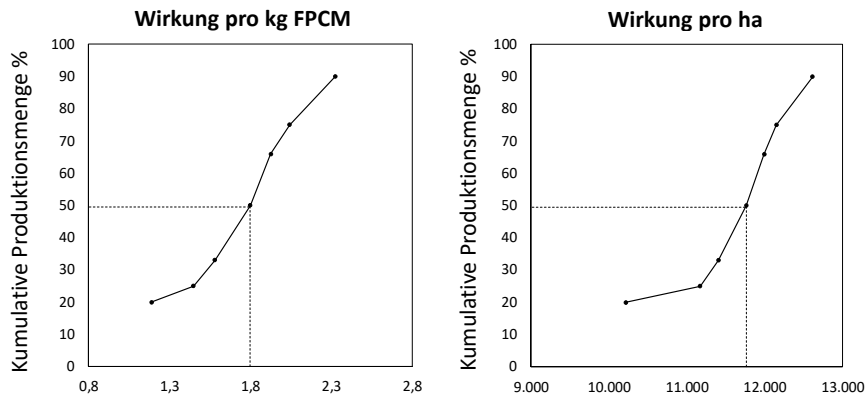
—●— Österreich gesamt

Flächenbedarf der Produktion

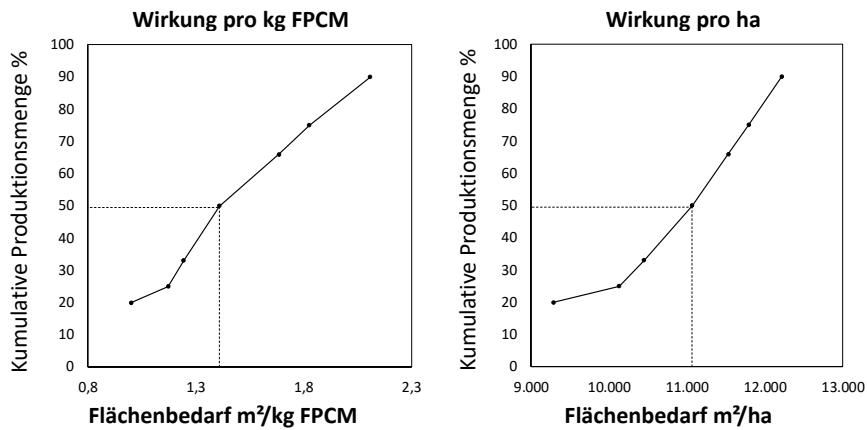
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



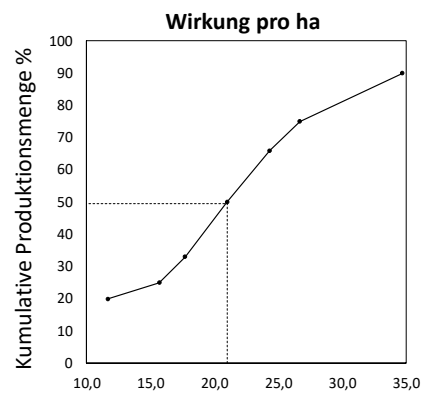
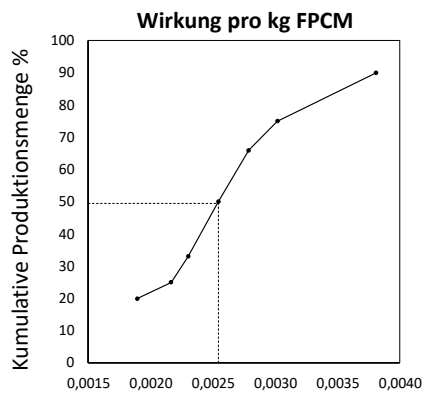
Alle Betriebe



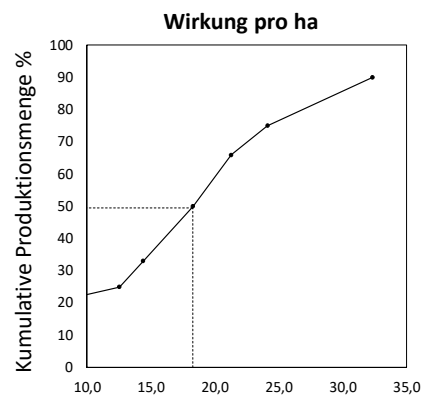
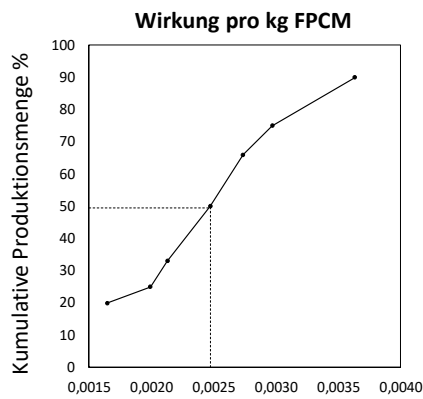
—●— Österreich gesamt

Verbrauch blaues Wasser

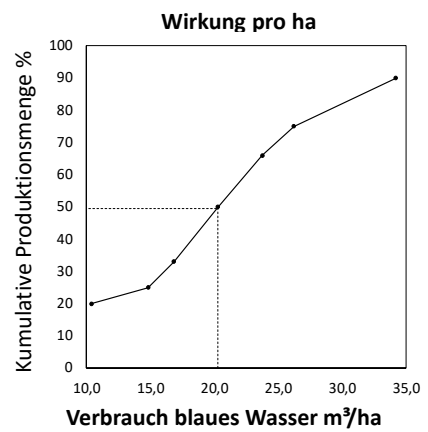
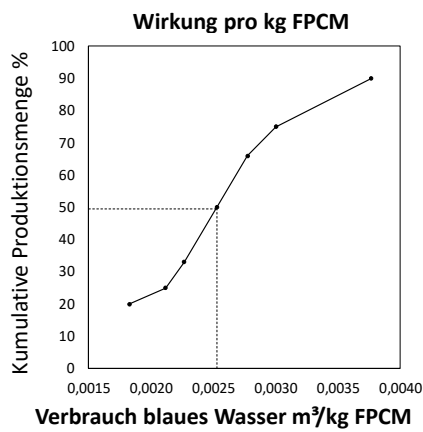
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



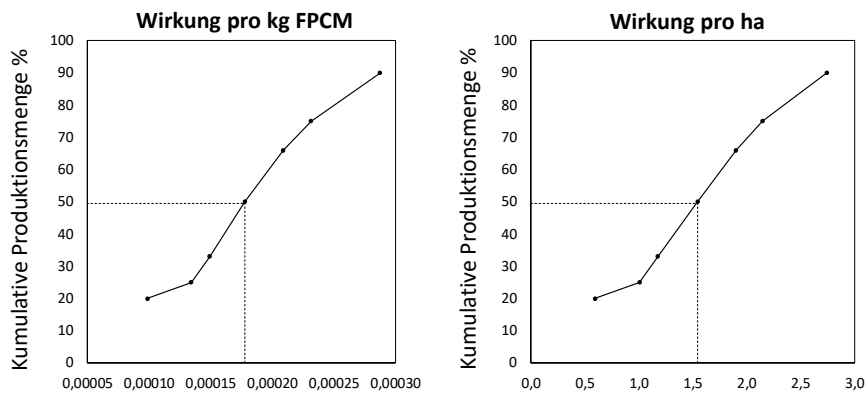
Alle Betriebe



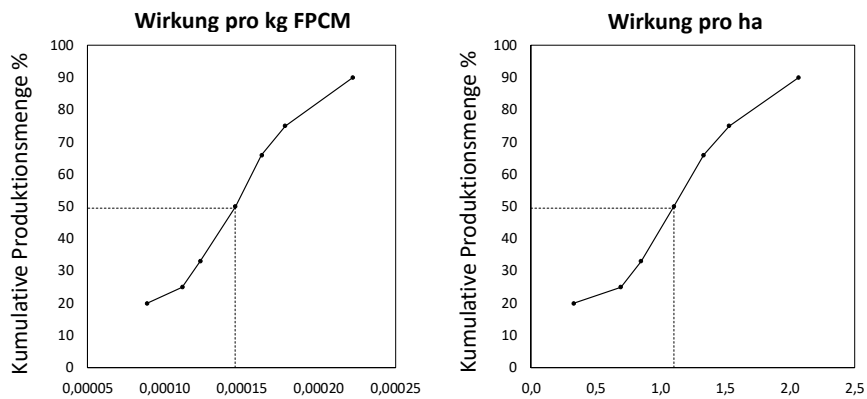
—●— Österreich gesamt

Abholzung für die Produktion

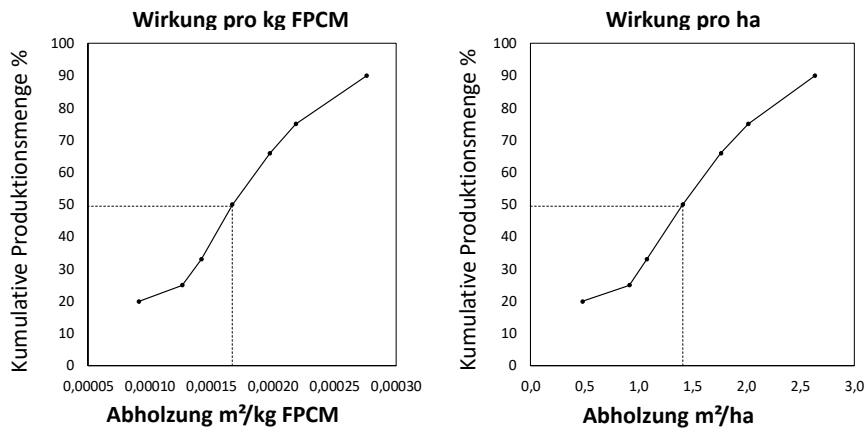
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



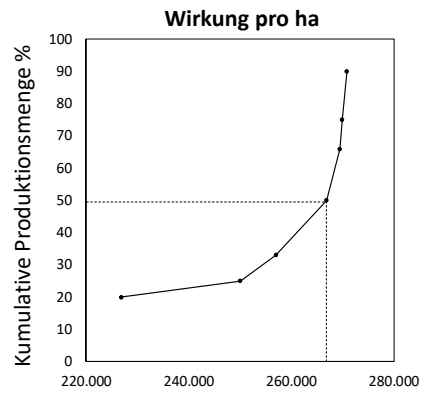
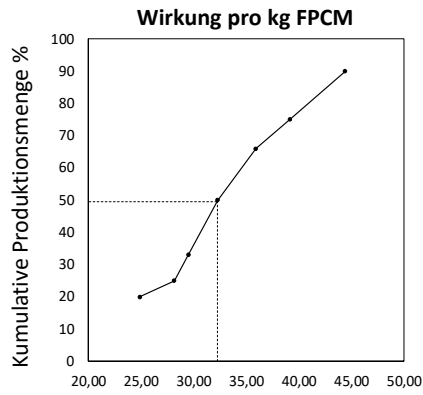
Alle Betriebe



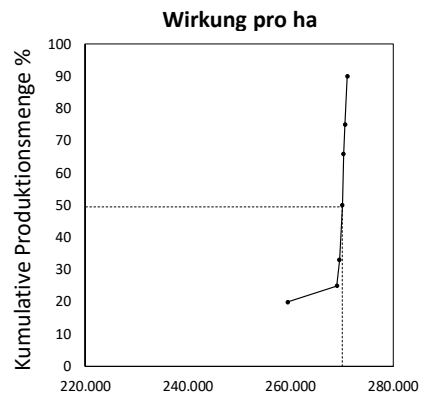
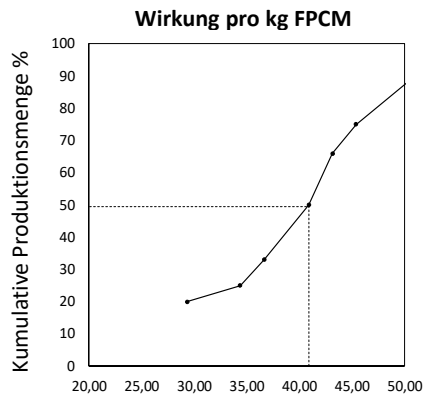
—●— Österreich gesamt

Exergie, Gesamt

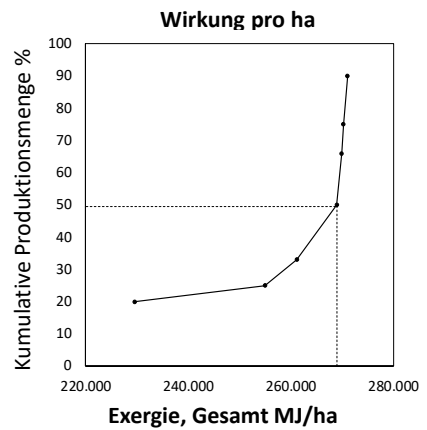
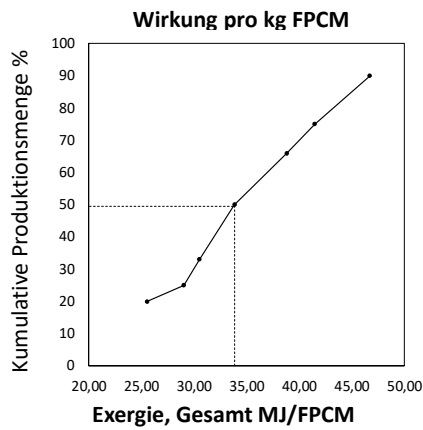
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe

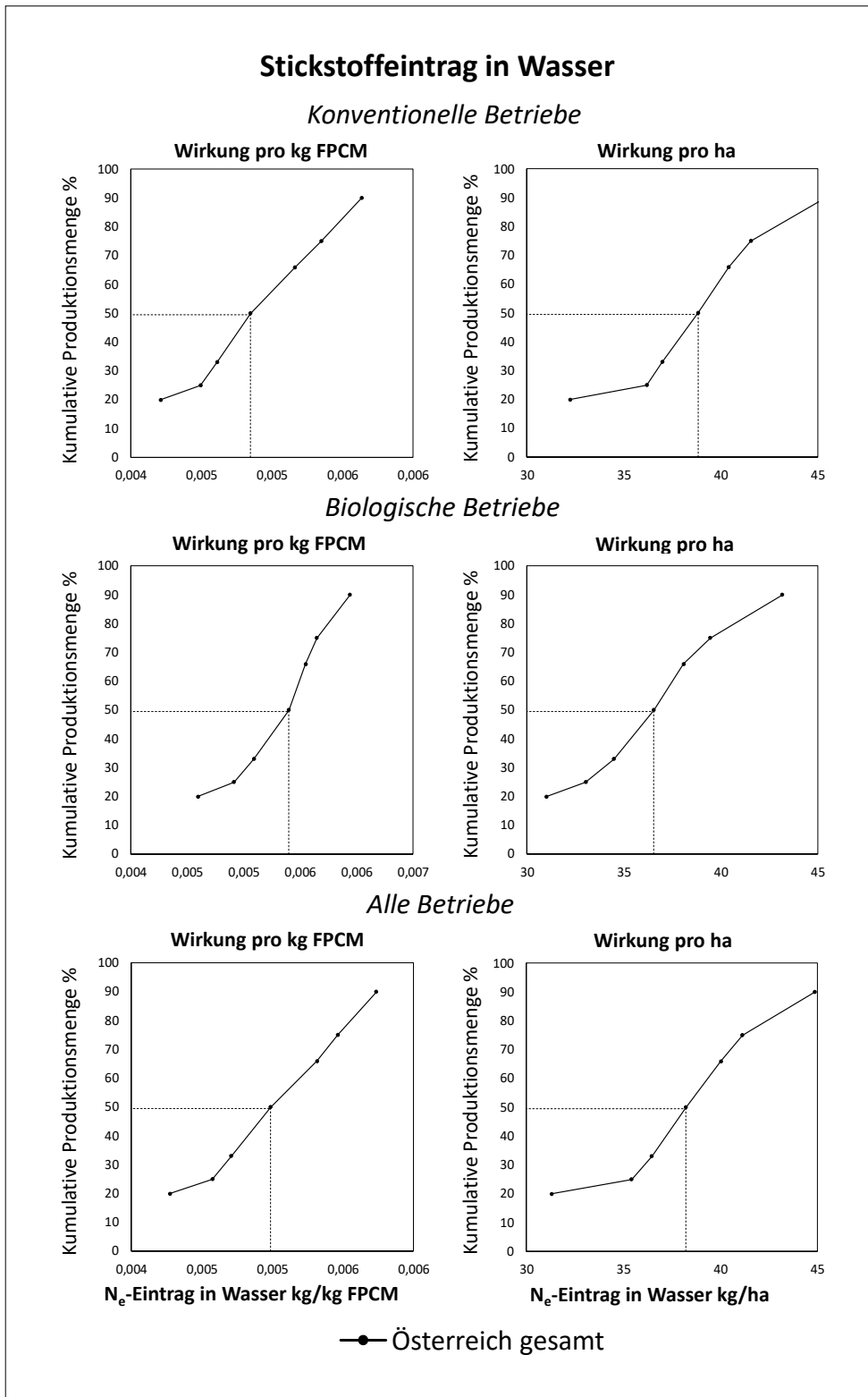


Alle Betriebe



—●— Österreich gesamt

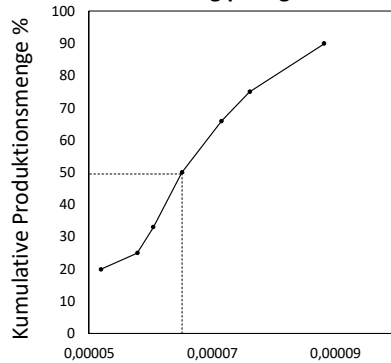
8.2.3.2 Kumulative nährstoffbezogene Umweltwirkungen



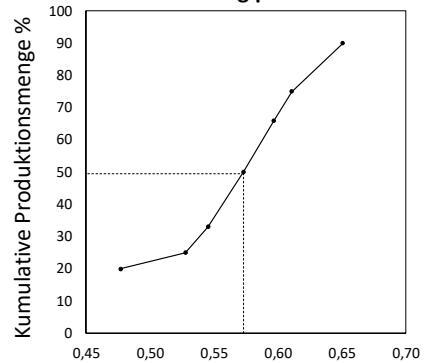
Phosphoreintrag in Wasser

Konventionelle Betriebe

Wirkung pro kg FPCM

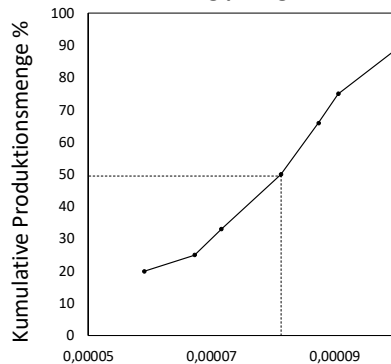


Wirkung pro ha

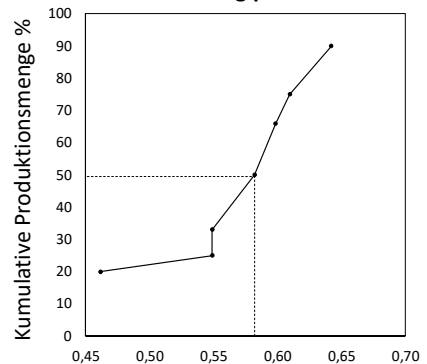


Biologische Betriebe

Wirkung pro kg FPCM

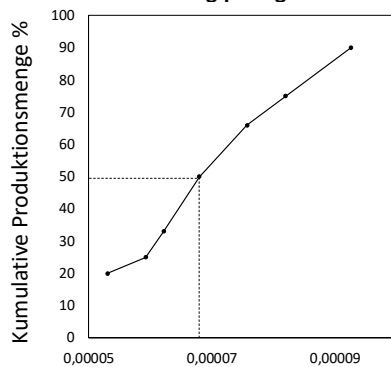


Wirkung pro ha

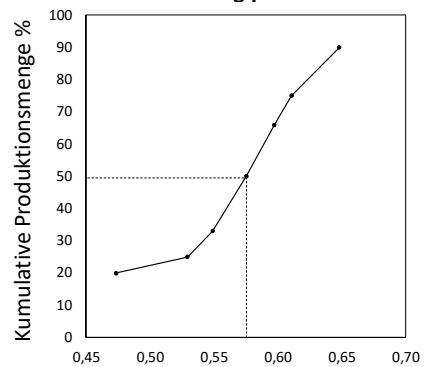


Alle Betriebe

Wirkung pro kg FPCM



Wirkung pro ha

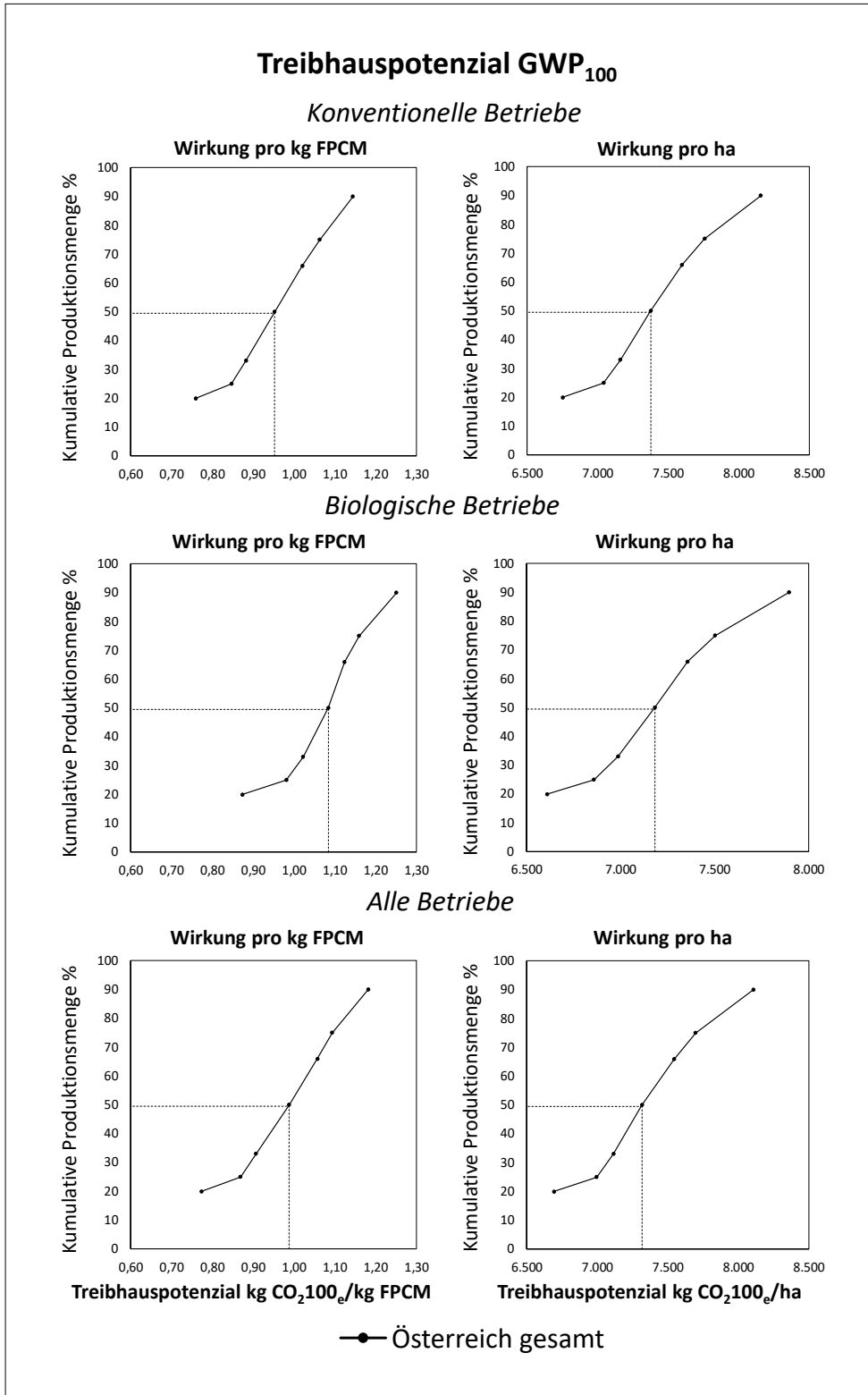


P_e-Eintrag in Wasser kg/kg FPCM

P_e-Eintrag in Wasser kg/ha

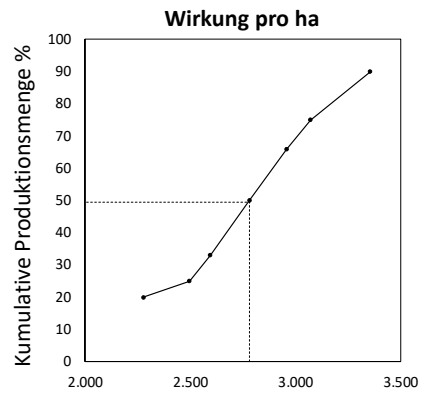
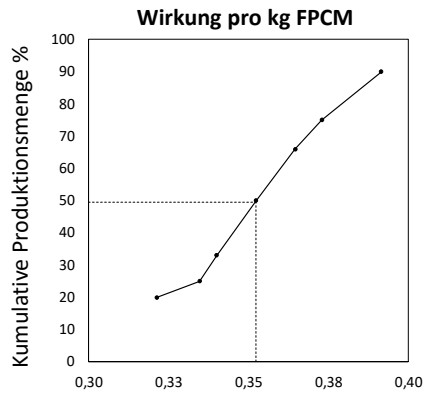
—●— Österreich gesamt

8.2.3.3 Kumulative Wirkung der klimawirkungsbezogenen Umweltwirkungen

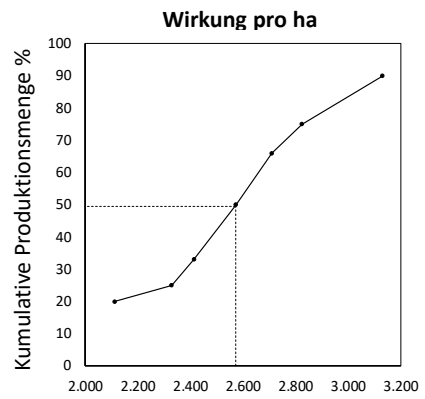
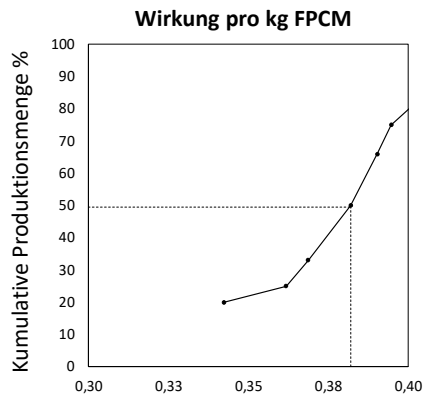


Erwärmungspotenzial durch Treibhausgase GTP₁₀₀

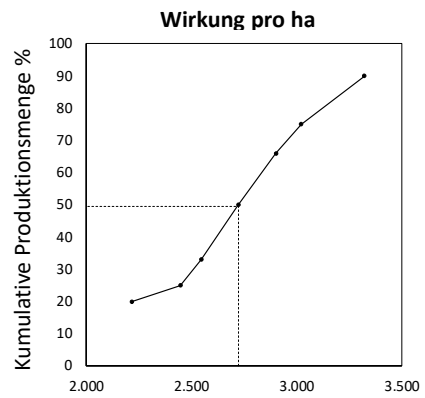
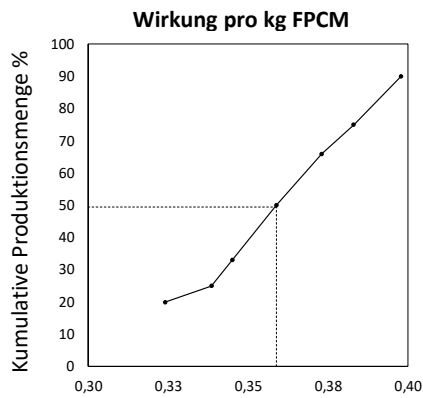
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



Alle Betriebe



Erwärmungspotenzial kg CO₂,100e/kg FPCM

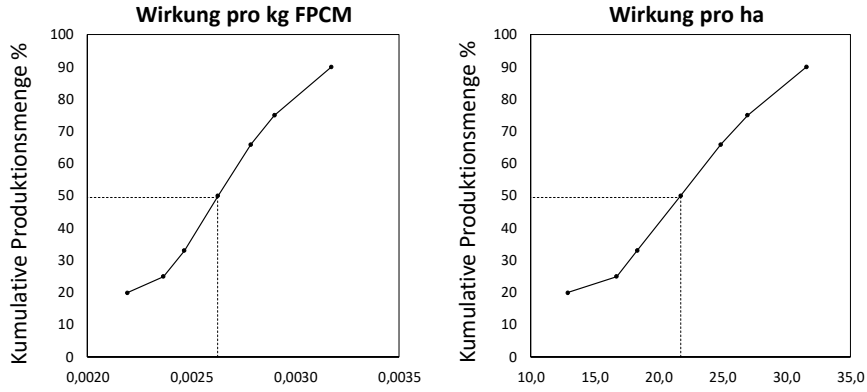
Erwärmungspotenzial kg CO₂,100e/ha

—●— Österreich gesamt

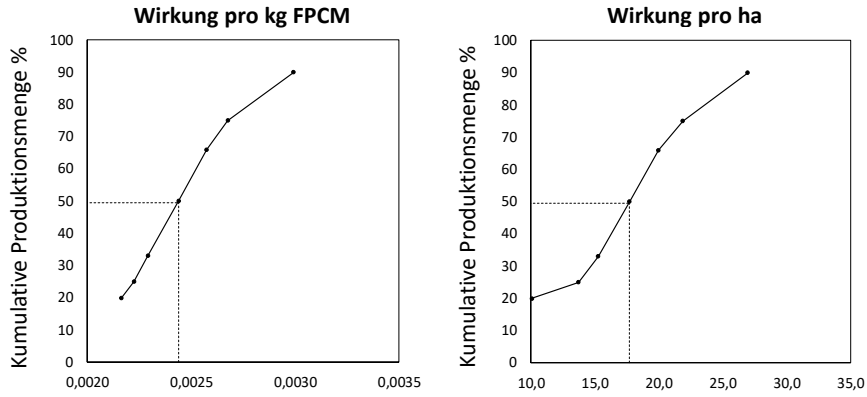
8.2.3.4 Kumulative schadstoffbezogenen Umweltwirkungen

Aquatische Ökotoxizität, Schwermetalle

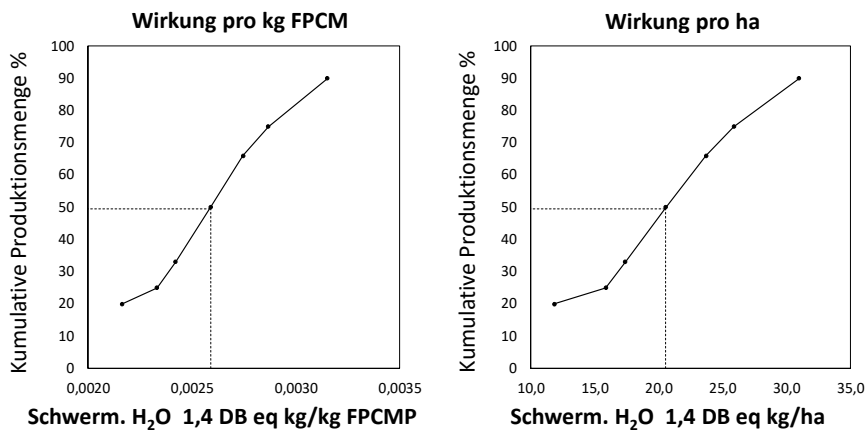
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



Alle Betriebe



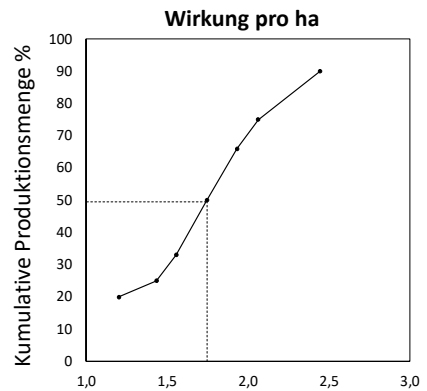
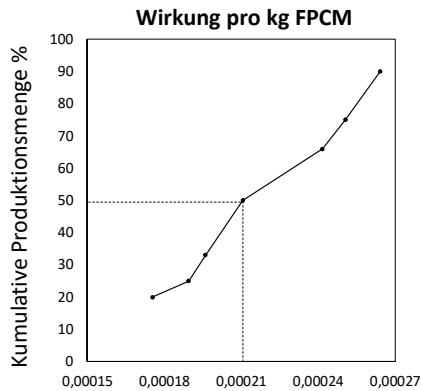
Schwermetalle H_2O 1,4 DB eq kg/kg FPCM

Schwermetalle H_2O 1,4 DB eq kg/ha

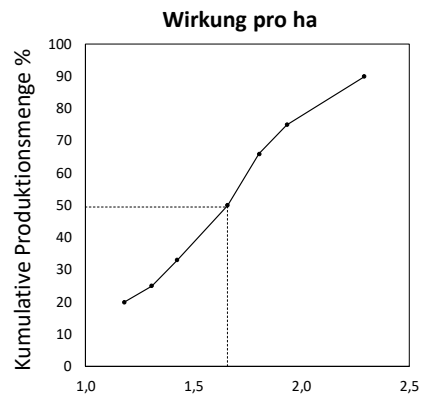
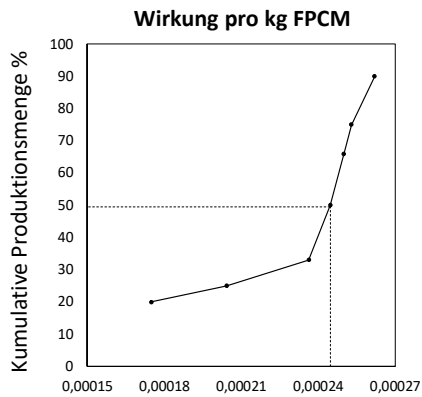
—●— Österreich gesamt

Terrestrische Ökotoxizität, Schwermetalle

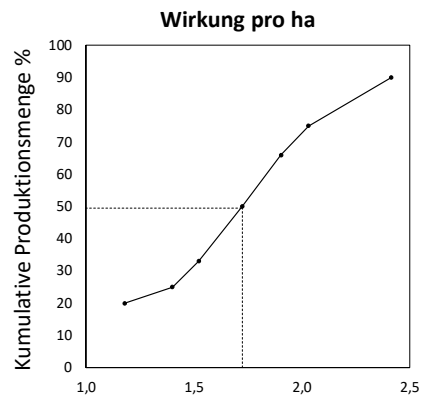
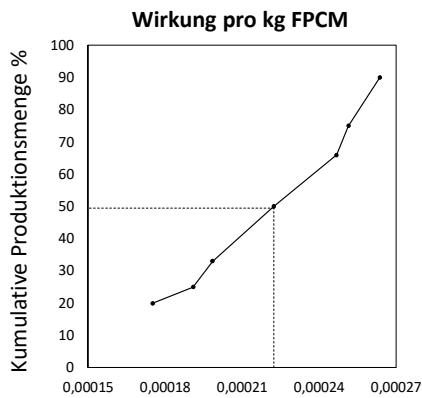
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



Alle Betriebe



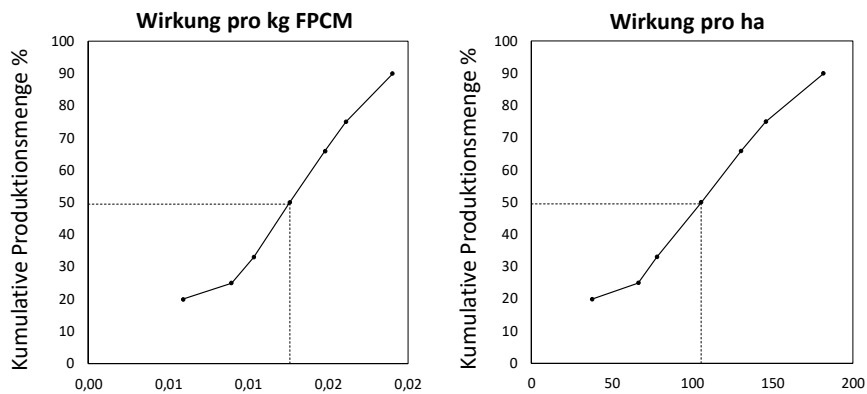
Schwerm. Boden 1,4 DB eq kg/kg FPCM

Schwerm. Boden 1,4 DB eq kg/ha

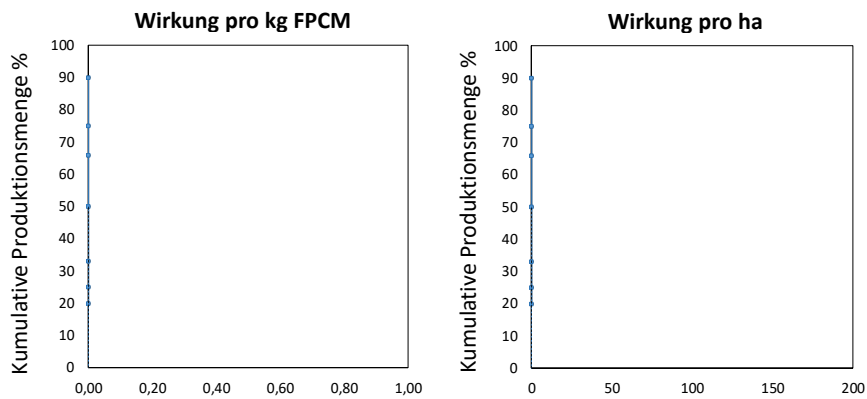
—●— Österreich gesamt

Aquatische Ökotoxizität, Pestizide

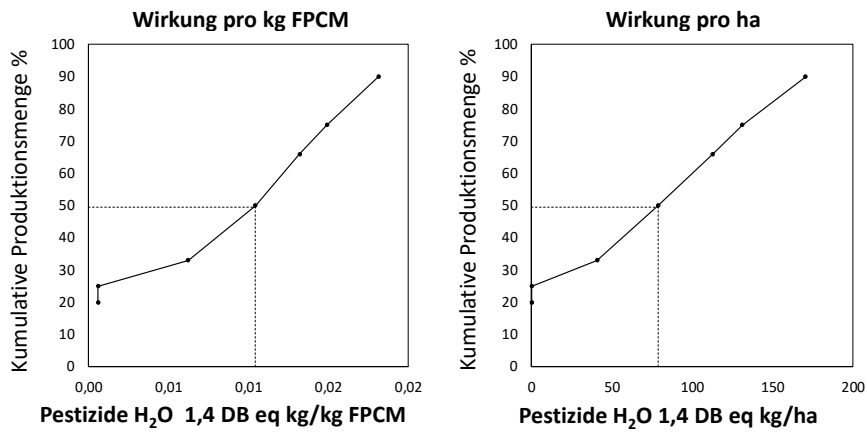
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



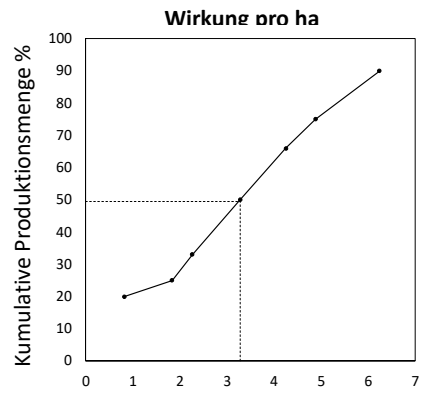
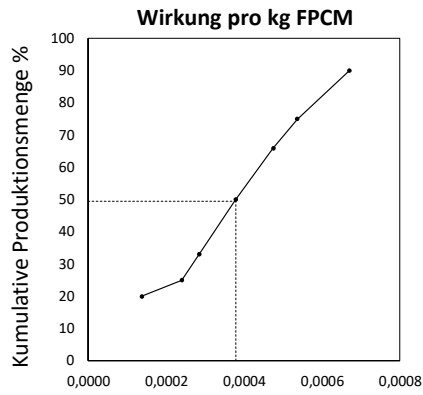
Alle Betriebe



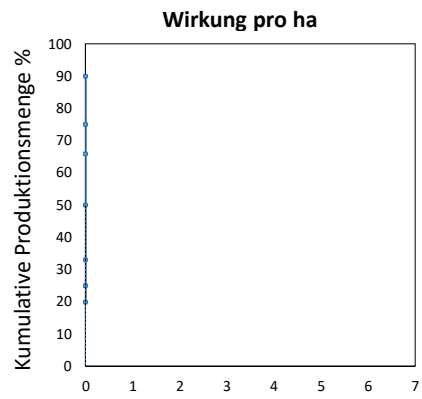
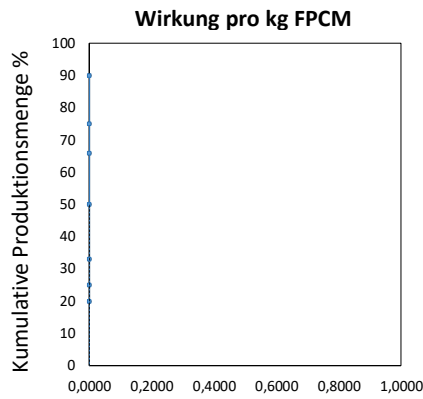
—●— Österreich gesamt

Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide

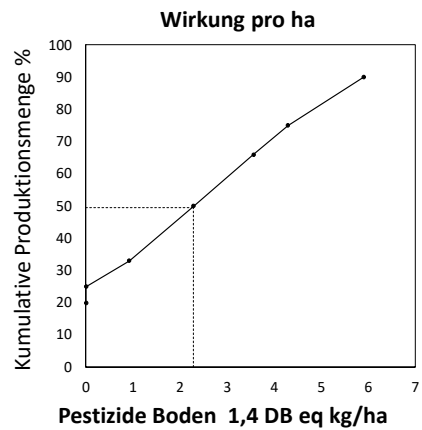
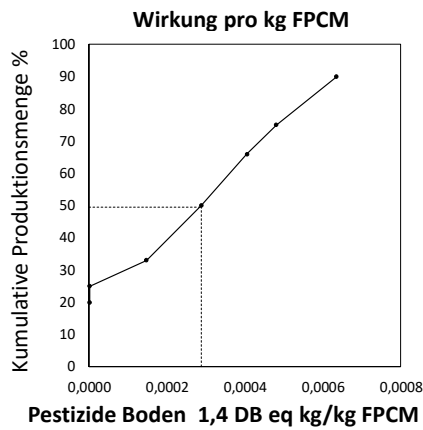
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



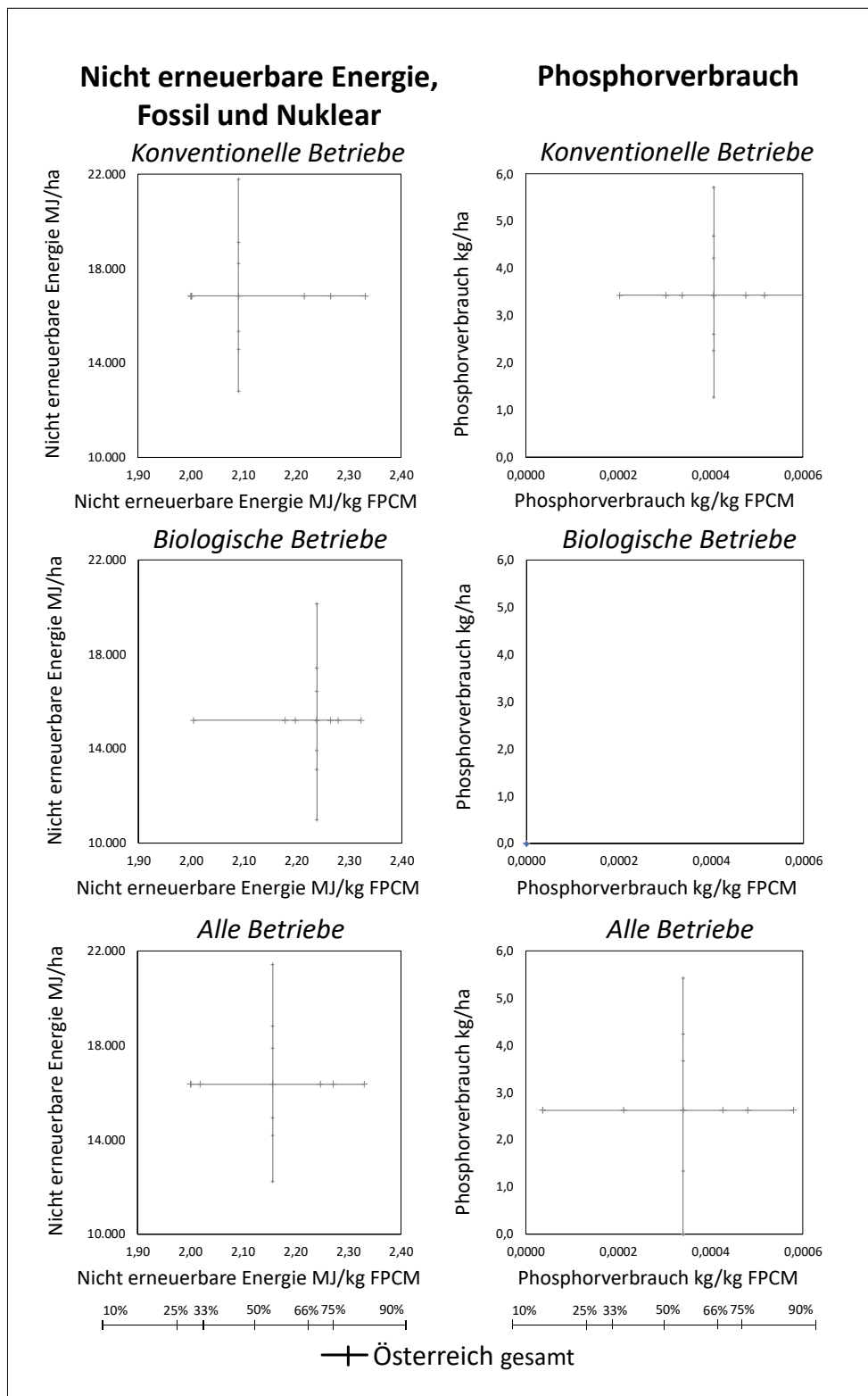
Alle Betriebe



Pestizide Boden 1,4 DB eq kg/kg FPCM

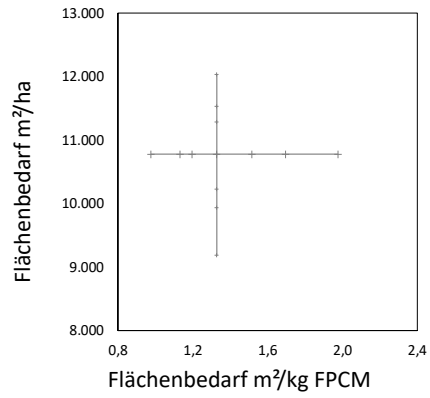
Pestizide Boden 1,4 DB eq kg/ha

8.2.3.5 Zweidimensionale kumulative Boxplots der ressourcenbezogenen Umweltwirkungen

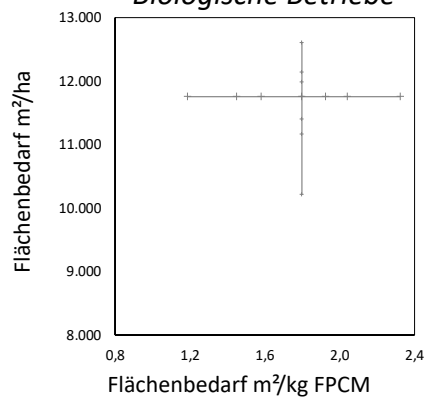


Flächenbedarf der Produktion

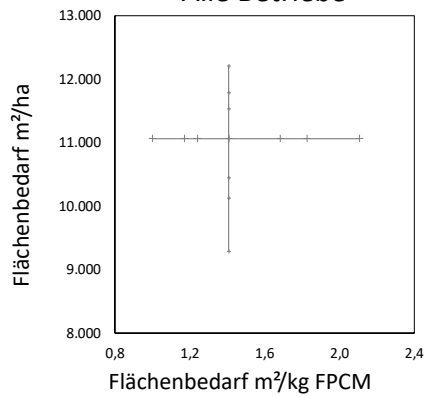
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe

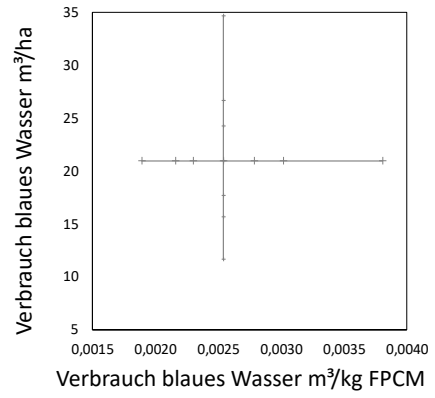


Alle Betriebe

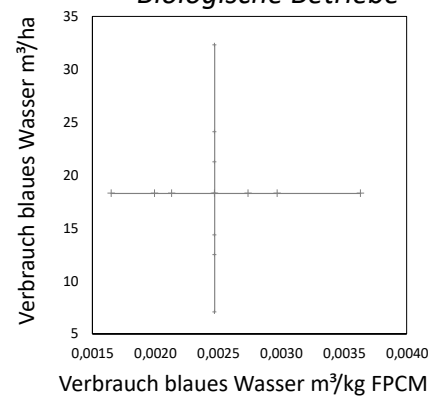


Verbrauch blaues Wasser

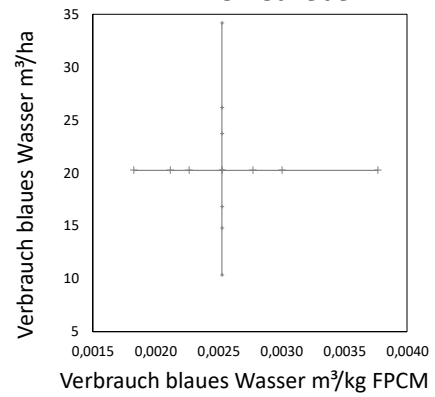
Konventionelle Betriebe



Biologische Betriebe



Alle Betriebe

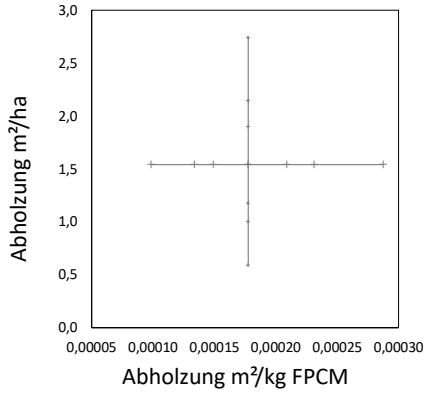


10% 25% 33% 50% 66% 75% 90%

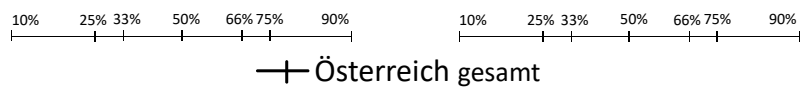
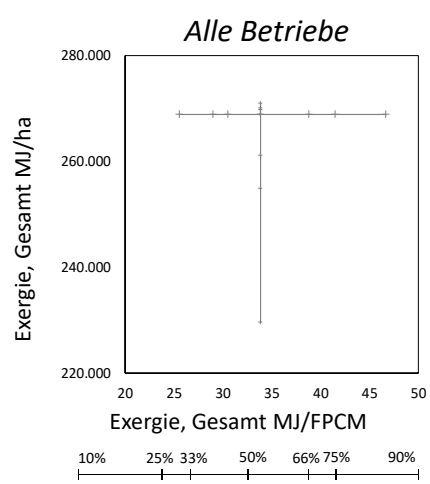
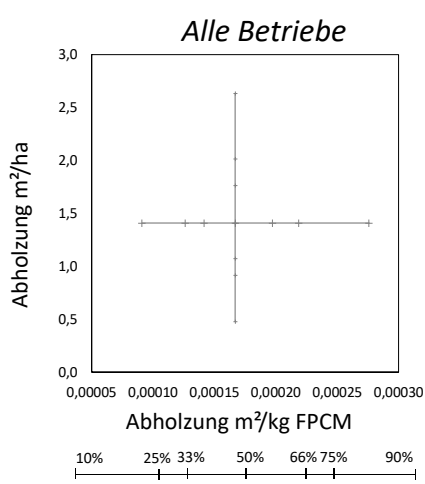
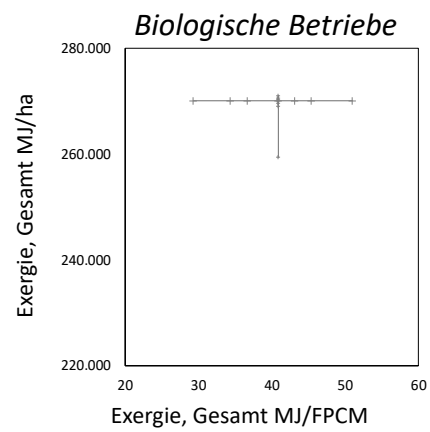
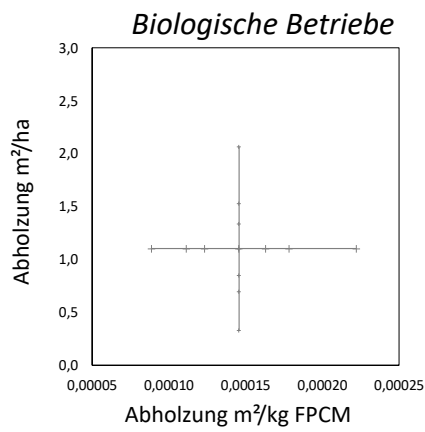
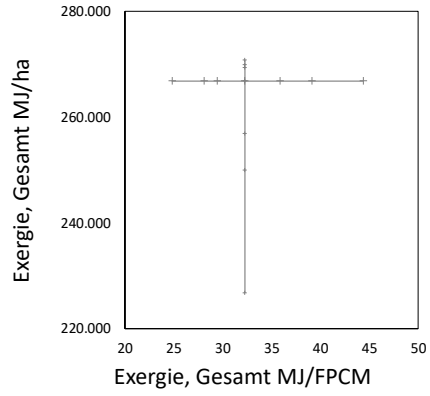
10% 25% 33% 50% 66% 75% 90%

—+ Österreich gesamt

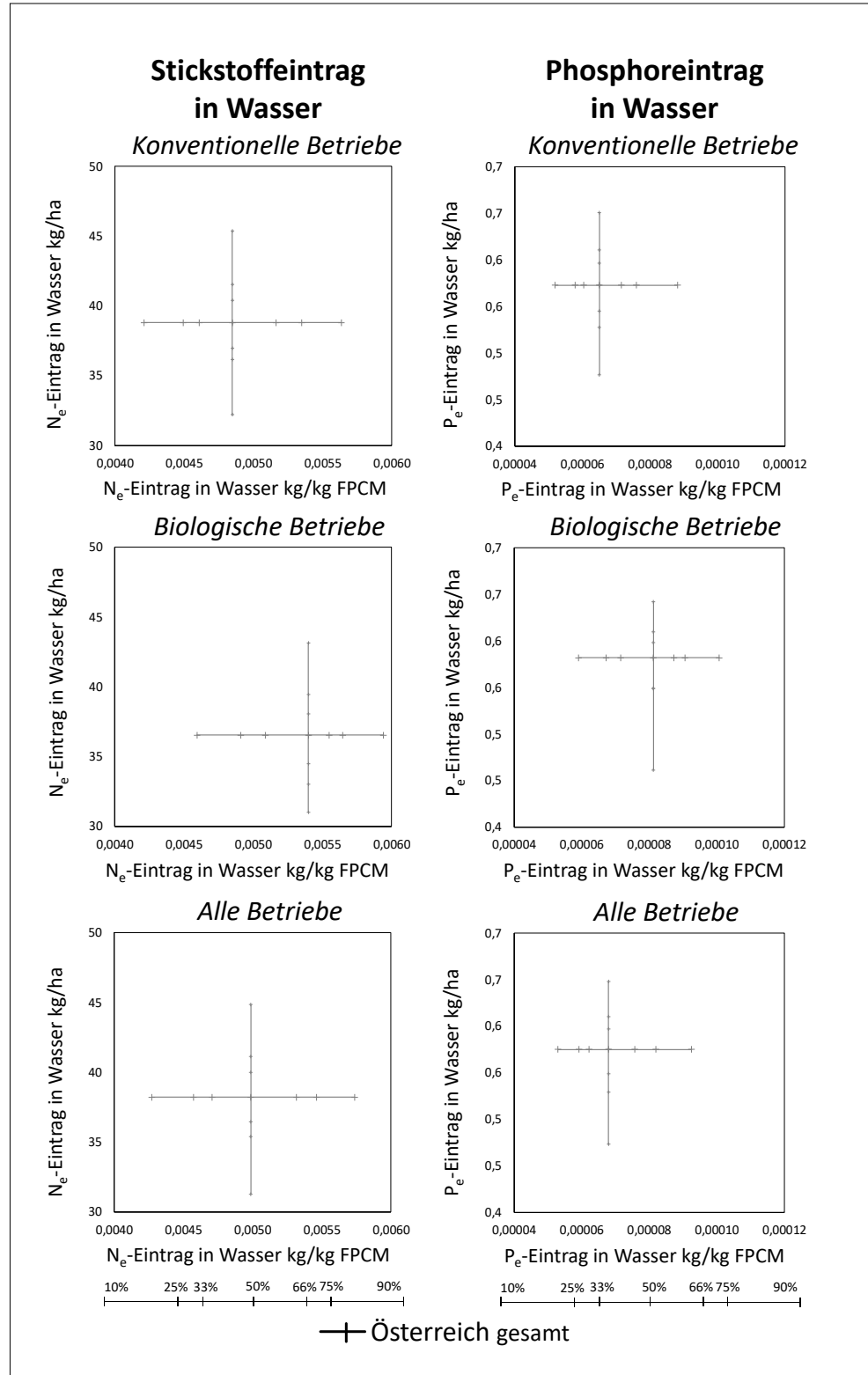
Abholzung für die Produktion
Konventionelle Betriebe



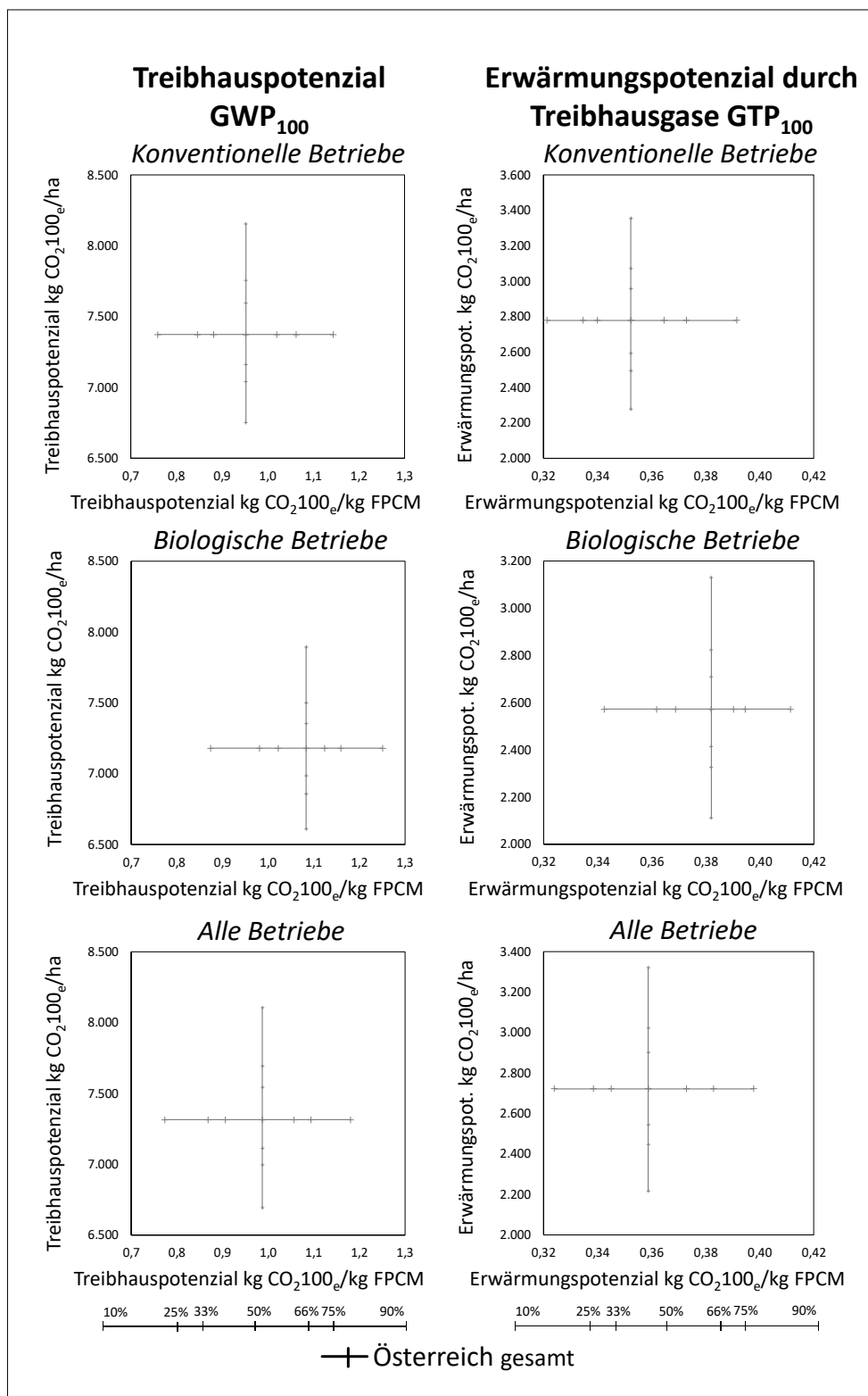
Exergie, Gesamt
Konventionelle Betriebe



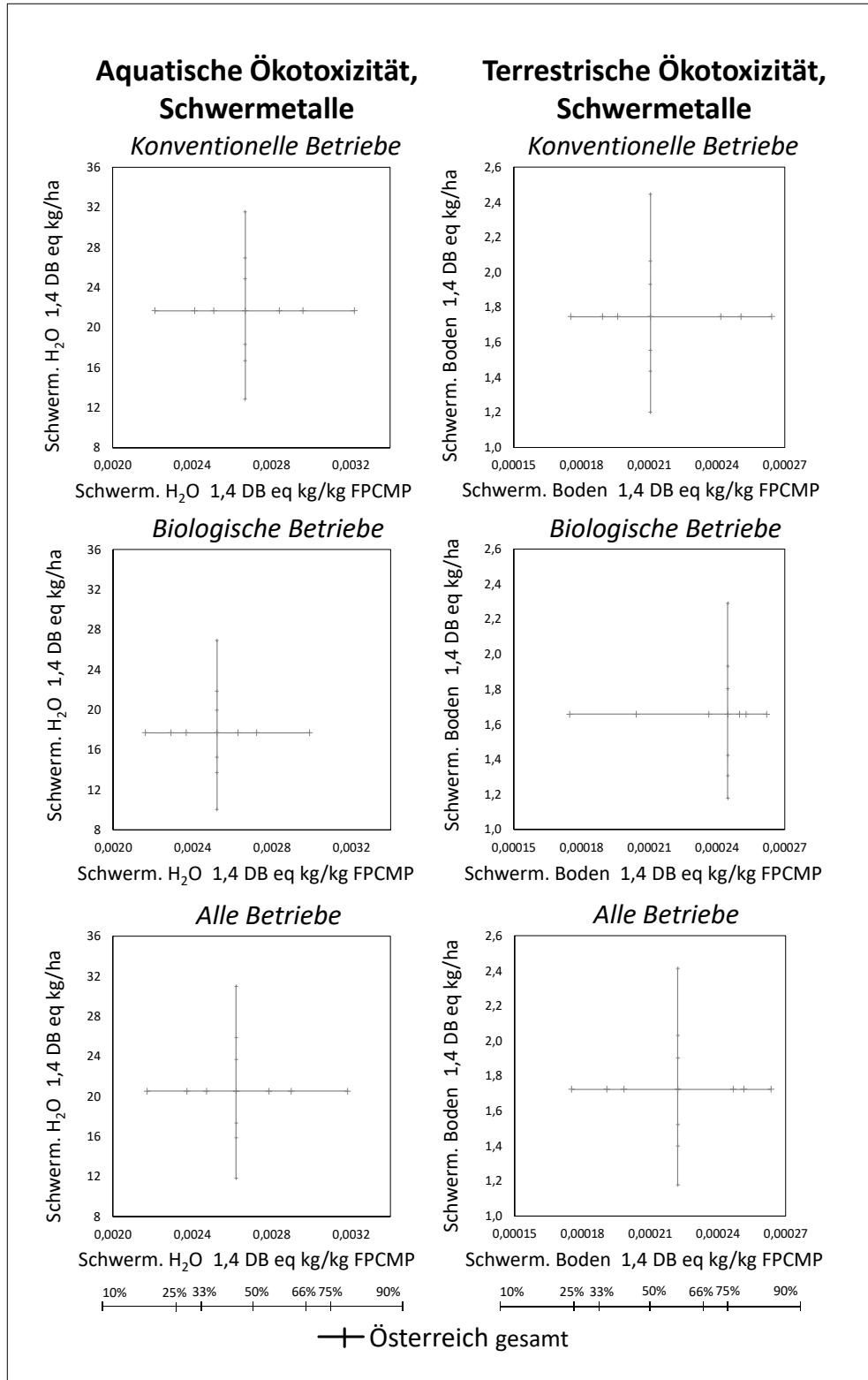
8.2.3.6 Zweidimensionale kumulative Boxplots der nährstoffbezogenen Umweltwirkungen



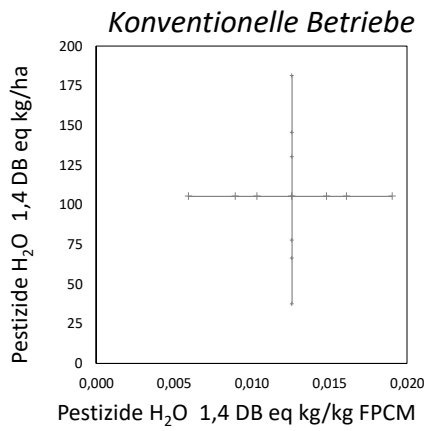
8.2.3.7 Zweidimensionale kumulative Boxplots der klimawirkungsbezogenen Umweltwirkungen



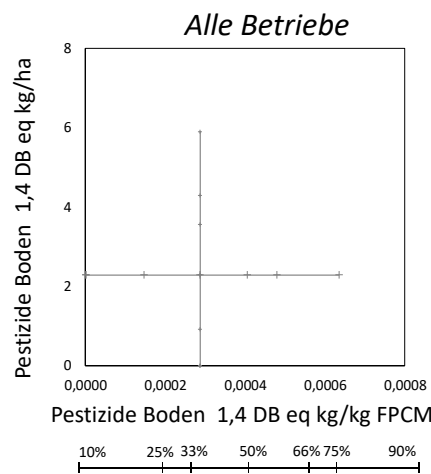
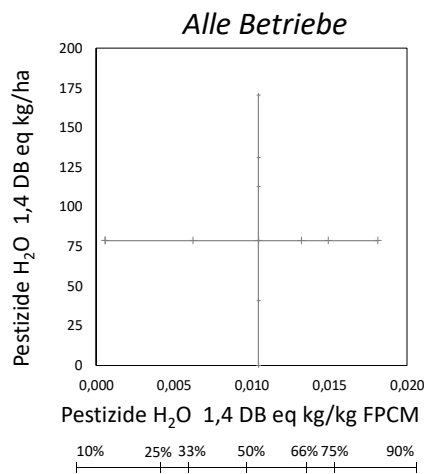
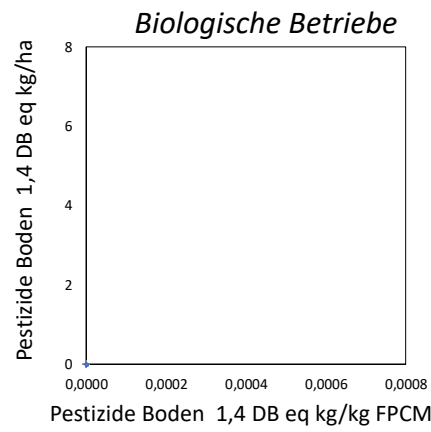
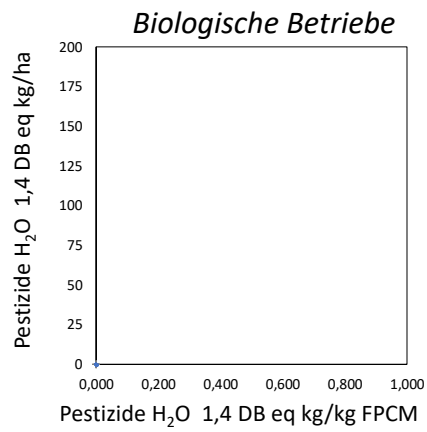
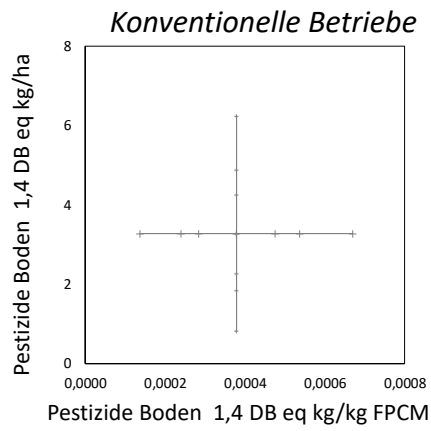
8.2.3.8 Zweidimensionale kumulative Boxplots der schadstoffbezogenen Umweltwirkungen



Aquatische Ökotoxizität, Pestizide



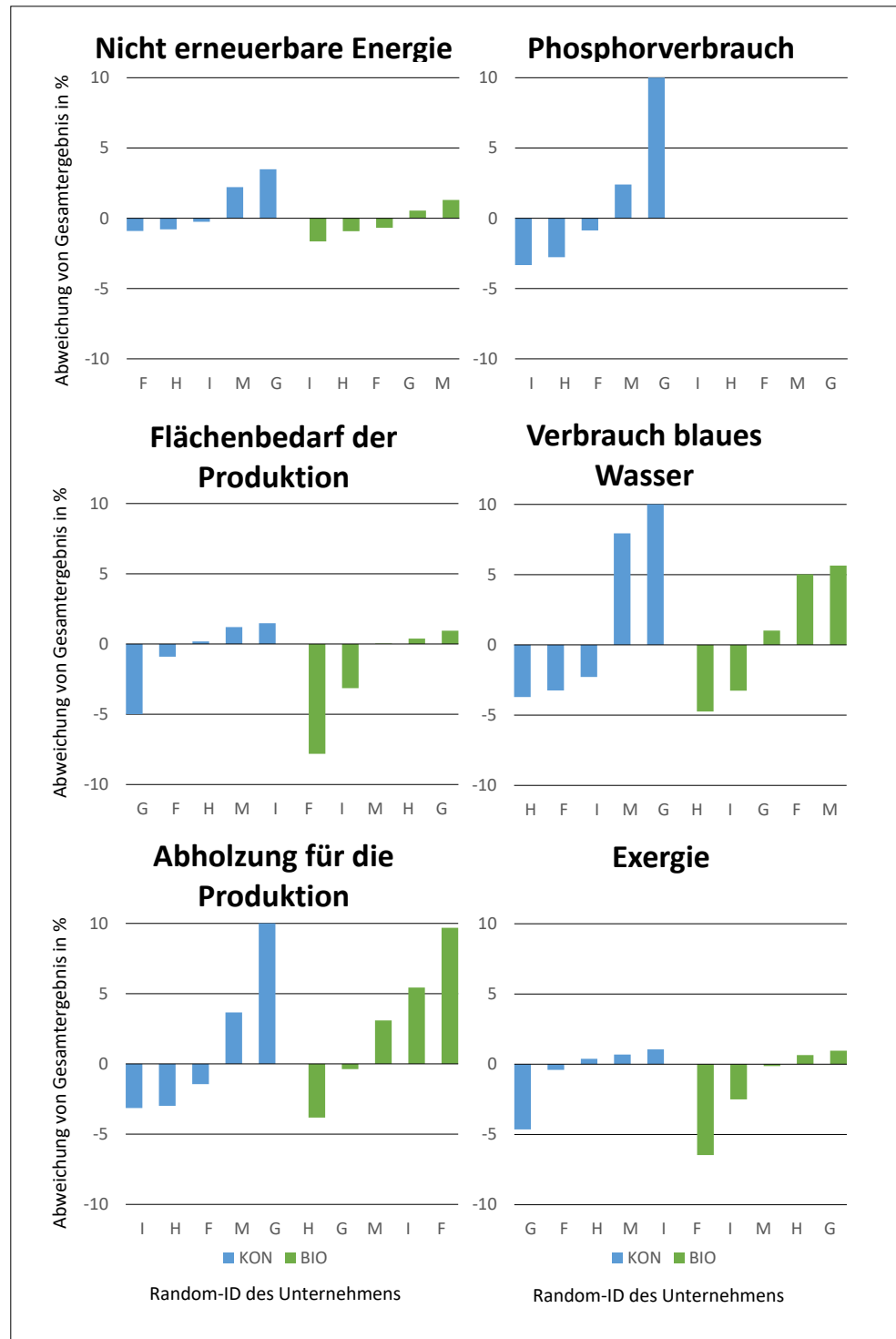
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide



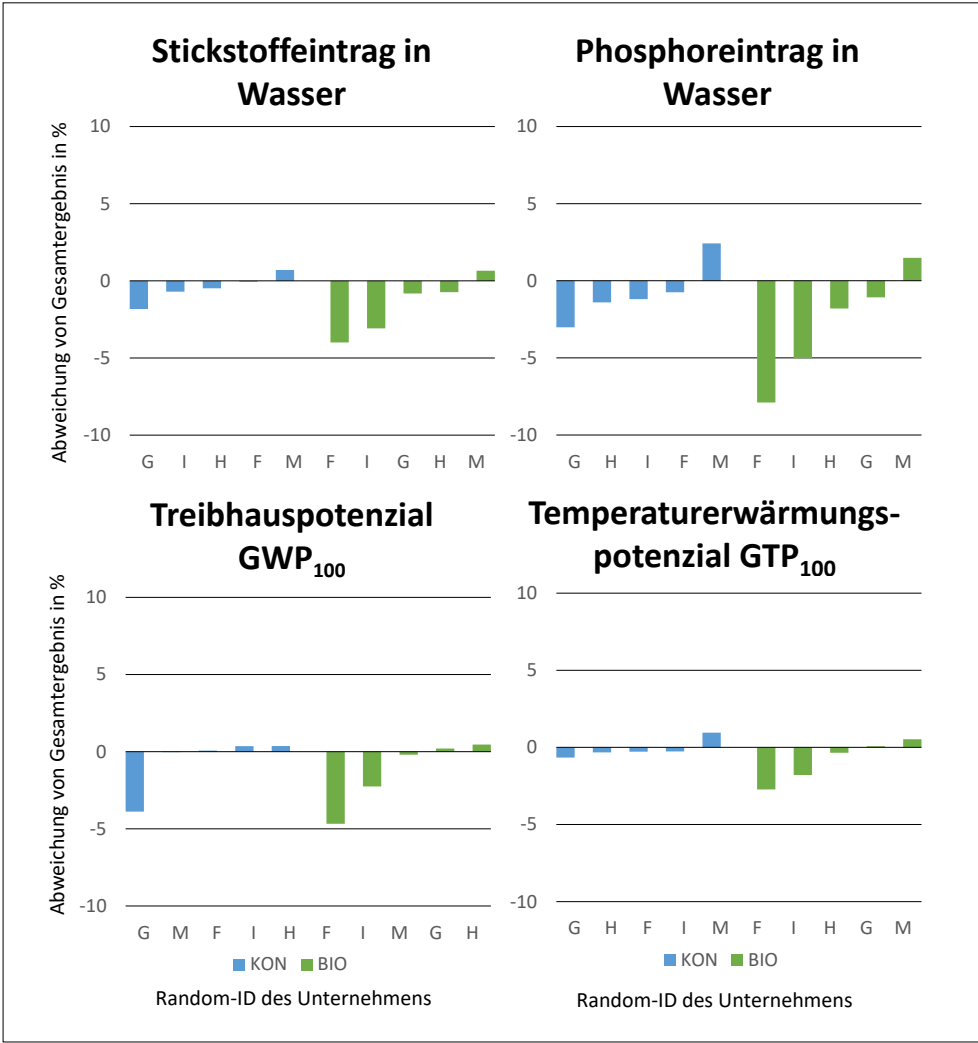
—+ Österreich gesamt

8.2.4 Abbildungen Bewertung von Einzelunternehmen pro kg FPCM

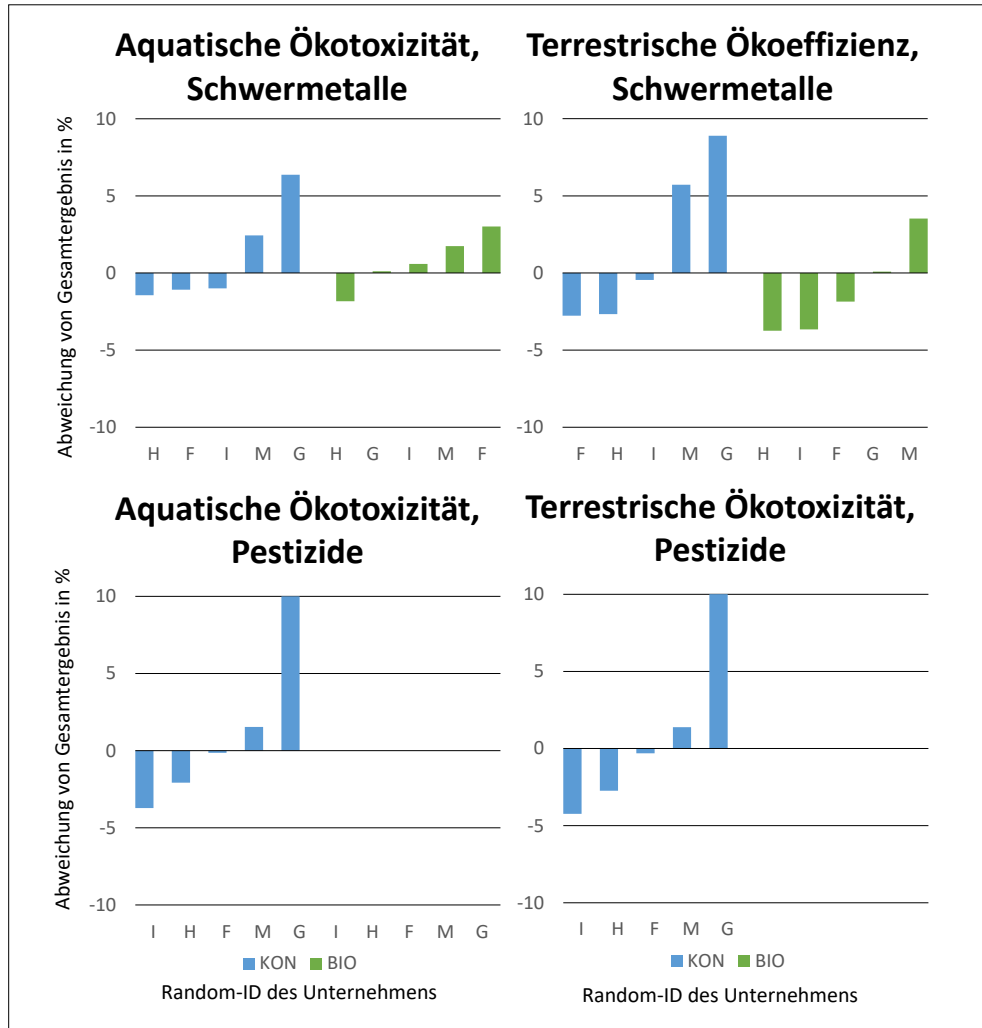
8.2.4.1 Verteilungen ressourcenbezogene Umweltwirkungen



8.2.4.2 Verteilung der nährstoffbezogenen Umweltwirkungen und der Umweltwirkungen von Treibhausgasen



8.2.4.3 Verteilung der schadstoffbezogenen Umweltwirkungen



9. Literatur

Al-Bahouh, M.; Osborne, V.; Wright, T.; Dixon, M.; VanderZaag, A.; und Gordon, R. (2021): Blue Water Footprints of Ontario Dairy Farms. *Water* 13 (16), 2230.

Alig, M.; Grandl, F.; Mieleitner, J.; Nemecek, T.; und Gaillard, G. (2012): Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich, 151 S.

Allen, M.R.; Fuglestvedt, J.S.; Shine, K.P.; Reisinger, A.; Pierrehumbert, R.T.; und Forster, P.M. (2016): New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. *Nature Climate Change* 6 (8), 773-776.

Alvarenga, R.A.; Dewulf, J.; Van Langenhove, H.; und Huijbregts, M.A. (2013): Exergy-based accounting for land as a natural resource in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18, 939-947.

Bartl, K.; Gómez, C.A.; und Nemecek, T. (2011): Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production* 19 (13), 1494-1505.

Basset-Mens, C.; Ledgard, S.; und Boyes, M. (2009): Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics* 68 (6), 1615-1625.

Berton, M.; Bovolenta, S.; Corazzin, M.; Gallo, L.; Pinterits, S.; Ramanzin, M.; Ressi, W.; Spigarelli, C.; Zuliani, A.; und Sturaro, E. (2021): Environmental impacts of milk production and processing in the Eastern Alps: A “cradle-to-dairy gate” LCA approach. *Journal of Cleaner Production* 303, 127056.

Bösch, M.E.; Hellweg, S.; Huijbregts, M.A.; und Frischknecht, R. (2007): Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12, 181-190.

Bystricky, M.; Alig, M.; Nemecek, T.; und Gaillard, G. (2014a): Ökobilanz ausgewählter Schweizer Landwirtschaftsprodukte im Vergleich zum Import. *Agroscope Science* (2), Zürich, 177 S.

Bystricky, M.; Alig, M.; Nemecek, T.; und Gaillard, G. (2014b): Ökobilanz ausgewählter Schweizer Landwirtschaftsprodukte im Vergleich zum Import. *Agroscope Science* 2, 177 S.

Carvalho, L.S.; Willers, C.D.; Soares, B.B.; Nogueira, A.R.; de Almeida Neto, J.A.; und Rodrigues, L.B. (2022): Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.

Casey, J. und Holden, N. (2005): Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* 86 (1), 97-114.

Cederberg, C. (2004): Life cycle inventory of 23 dairy farms in south-western Sweden, SIK Institutet för livsmedel och bioteknik, 1-63.

Cederberg, C. und Mattsson, B. (2000): Life cycle assessment of milk production—a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8 (1), 49-60.

Christie, K.; Rawnsley, R.; Phelps, C.; und Eckard, R. (2016): Revised greenhouse-gas emissions from Australian dairy farms following application of updated methodology. *Animal Production Science* 58 (5), 937-942.

Cortés, A.; Feijoo, G.; Fernández, M.; und Moreira, M.T. (2021): Pursuing the route to eco-efficiency in dairy production: The case of Galician area. *Journal of Cleaner Production* 285, 124861.

Darré, E.; Llanos, E.; Astigarraga, L.; Cadenazzi, M.; und Picasso, V. (2021): Do pasture-based mixed dairy systems with higher milk production have lower environmental impacts? A Uruguayan case study. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 64 (3), 444-462.

De Boer, I.J.; Hoving, I.E.; Vellinga, T.V.; Van de Ven, G.W.; Leffelaar, P.A.; und Gerber, P.J. (2013): Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18, 193-203.

Etamin, M.; Myhre, G.; Highwood, E.J.; und Shine, K.P. (2016): Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing. *Geophysical Research Letter* 43, 12,614-12,623.

Fuglestedt, J.S.; Berntsen, T.K.; Godal, O.; Sausen, R.; Shine, K.P.; und Skodvin, T. (2003): Metrics of Climate Change: Assessing Radiative Forcing and Emission Indices. *Climatic Change* 58 (3), 267-331.

Gaillard, G. und Nemecek, T. (2009): Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA): An integrated environmental assessment concept for agriculture. *Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development*, 134 S.

Garg, M.; Phondba, B.; Sherasia, P.; und Makkar, H.P. (2016): Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: a cradle-to-farm gate life cycle assessment. *Animal Production Science* 56 (3), 423-436.

Gilardino, A.; Quispe, I.; Pacheco, M.; und Bartl, K. (2020): Comparison of different methods for consideration of multifunctionality of Peruvian dairy cattle in Life Cycle Assessment. *Livestock Science* 240, 104151.

González-Quintero, R.; Kristensen, T.; Sánchez-Pinzón, M.S.; Bolívar-Vergara, D.M.; Chirinda, N.; Arango, J.; Pantevez, H.; Barahona-Rosales, R.; und Knudsen, M.T. (2021): Carbon footprint, non-renewable energy and land use of dual-purpose cattle systems in Colombia using a life cycle assessment approach. *Livestock Science* 244, 104330.

Grassauer, F.; Herndl, M.; Nemecek, T.; Guggenberger, T.; Fritz, C.; Steinwider, A.; und Zollitsch, W. (2021): Eco-efficiency of farms considering multiple functi-

ons of agriculture: Concept and results from Austrian farms. *Journal of Cleaner Production* 297(5).

Griebler, R.; Winkler, P.; Gaiswinkler, S.; Delcour, J.; Juraszovich, B.; Nowotny, M.; Pochobradsky, E.; Schleicher, B.; und Schmutterer, I. (2017): Österreichischer Gesundheitsbericht 2016, Bundesministerium für Gesundheit und Frauen, Wien, 273 S.

Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C.; und Grassauer, F. (2022a): Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich., HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 33 S.

Guggenberger, T.; Stögmüller, G.; Gruber, L.; Gappmaier, S.; und Terler, G. (2022b): Die Grundfutterqualität in Österreich zwischen 1985 und 2021 und ihre räumlichen Unterschiede in den Kleinproduktionsgebieten. Aktualisierung der Energie- und Proteinbewertung von Grundfuttermitteln auf Basis von chemischen Analysen und in vitro-Untersuchungen, Forschungsprojekt Dafne 101150, 7-47.

Guggenberger, T.; Hofer, O.; Fahrner, W.; Sucher, B.; Wiedner, G.; und Bader, R. (2012): Fachatlas Landwirtschaft - Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten im Geographical Grid System Austria - Tabellenteil, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 183 S.

Guggenberger, T.; Herndl, M.; Fritz, C.; und Terler, G. (2023): Ganzheitliche Öko-effizienz als Methode zur Unterstützung der Milchwirtschaft, Institut für Nutztierforschung, Irdning-Donnersbachtal, In Ausarbeitung

Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C.; und Grassauer, F. (2021): Langzeitbewertung der atmosphärischen Fracht der Treibhausgase in Österreich zwischen 1890 und 2018 mit besonderer Berücksichtigung der CH₄-Emissionen der Landwirtschaft - Zusammenfassung für Wissenschaftler, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 3 S.

Guinée, J.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; De Koning, A.; Van Oers, L.; Sleswijk, A.W.; Suh, S.; und Udo de Haes, H. (2001): Life cycle assessment—an operational guide to the ISO standards—Part 3: Scientific background. Ministry of housing, spatial planning and environment (VROM) and centre of environmental science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands.

Haas, G.; Wetterich, F.; und Köpke, U. (2001): Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83 (1-2), 43-53.

Hauschild, M. und Potting, J. (2005): Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment-The EDIP2003 methodology. *Environmental news* 80, 1-195.

Hawkins, J.; Yesuf, G.; Zijlstra, M.; Schoneveld, G.C.; und Rufino, M.C. (2021): Feeding efficiency gains can increase the greenhouse gas mitigation potential of the Tanzanian dairy sector. *Scientific Reports* 11 (1), 4190.

Herndl, M.; Baumgartner, D.U.; Guggenberger, T.; Bystricky, M.; Gaillard, G.; Lansche, J.; Fasching, C.; Steinwidder, A.; und Nemecek, T. (2016): Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 93 S.

Hersener, J.; Baumgartner, D.; Dux, D.; Aeschbacher, U.; Alig, M.; Blaser, S.; Gaillard, G.; Glodé, M.; Jan, P.; und Jenni, M. (2011): Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich/Ettenhausen. 148 S.

Hischier, R.; Weidema, B.; Althaus, H.J.; Bauer, C.; Doka, G.; Dones, R.; Frischknecht, R.; Hellweg, S.; Humbert, S.; Jungbluth, N.; Köller, T.; Loerincik, Y.; Margni, M.; und Nemecek, T. (2010): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 176 S.

Hörtenhuber, S.; Lindenthal, T.; und Schmid, E. (2010): Water Footprint—Ein Beitrag zur Nachhaltigkeitsbewertung am Beispiel der Milcherzeugung in Österreich Water Footprint—A contribution to an evaluation of sustainability in the case of dairy production in Austria. Tagungsbericht 2011, 87 S.

Hospido, A.; Moreira, M.; und Feijoo, G. (2003): Simplified life cycle assessment of Galician milk production. *International Dairy Journal* 13 (10), 783-796.

Huang, X.; Shi, B.; Wang, S.; Yin, C.; und Fang, L. (2021): Mitigating environmental impacts of milk production via integrated maize silage planting and dairy cow breeding system: a case study in China. *Journal of Cleaner Production* 309, 127343.

IDF (2015): A common carbon footprint approach for the dairy sector in Bulletin 479/2015, International Dairy Federation, Brussels, 63 S.

IPCC (2001): *Climate change 2001. The scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge.

ISO (2006): ISO 14044 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. *Journal (Issue)*.

Jayasundara, S.; Worden, D.; Weersink, A.; Wright, T.; VanderZaag, A.; Gordon, R.; und Wagner-Riddle, C. (2019): Improving farm profitability also reduces the carbon footprint of milk production in intensive dairy production systems. *Journal of Cleaner Production* 229, 1018-1028.

Joos, F.; Roth, R.; Fuglestvedt, J.S.; Peters, G.P.; Enting, I.G.; von Bloh, W.; Brovkin, V.; Burke, E.J.; Eby, M.; Edwards, N.R.; Friedrich, T.; Frölicher, T.L.; Halloran, P.R.; Holden, P.B.; Jones, C.; Kleinen, T.; Mackenzie, F.T.; Matsumoto, K.; Meinshausen, M.; Plattner, G.K.; Reisinger, A.; Segschneider, J.; Shaffer, G.; Steinacher, M.; Strassmann, K.; Tanaka, K.; Timmermann, A.; und Weaver, A.J. (2013): Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.* 13 (5), 2793-2825.

Kiefer, L.R.; Menzel, F.; und Bahrs, E. (2015): Integration of ecosystem services into the carbon footprint of milk of South German dairy farms. *Journal of Environmental Management* 152, 11-18.

Lambotte, M.; De Cara, S.; Brocas, C.; und Bellassen, V. (2021): Carbon footprint and economic performance of dairy farms: The case of protected designation of origin farms in France. *Agricultural Systems* 186, 102979.

Ledgard, S.; Falconer, S.; Abercrombie, R.; Philip, G.; und Hill, J. (2020): Temporal, spatial, and management variability in the carbon footprint of New Zealand milk. *Journal of Dairy Science* 103 (1), 1031-1046.

Lovarelli, D.; Bava, L.; Zucali, M.; D'Imporzano, G.; Adani, F.; Tamburini, A.; und Sandrucci, A. (2019): Improvements to dairy farms for environmental sustainability in Grana Padano and Parmigiano Reggiano production systems. *Italian Journal of Animal Science* 18 (1), 1035-1048.

Lynch, J.; Cain, M.; Pierrehumbert, R.; und Allen, M. (2020): Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. *Environmental Research Letters* 15(4).

Marton, S.M. und Guggenberger, T. (2015): Umweltanalyse am Beispiel Milch. Abschlussstagung des Projektes FarmLife 22 (23.9), 2015.

Mazzetto, A.M.; Falconer, S.; und Ledgard, S. (2022): Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. *Journal of Dairy Science*.

Mazzetto, A.M.; Bishop, G.; Styles, D.; Arndt, C.; Brook, R.; und Chadwick, D. (2020): Comparing the environmental efficiency of milk and beef production through life cycle assessment of interconnected cattle systems. *Journal of Cleaner Production* 277, 124108.

Mitscherlich, A.E. (1909): Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 38, 537-552.

Myhre, G.; Shindell, D.; Bréon, F.M.; Collins, W.; Fuglestvedt, J.S.; Huang, J.; Koch, D.; Lamarque, J.F.; Lee, D.; Mendoza, B.; Nakajima, T.; Robock, A.; Stephens, G.; Takemura, T.; und Zhang, H. (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. In CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, C., UNITED KINGDOM AND NEW YORK, NY, USA, 659-740.

Nemecek, T.; Huguenin-Elie, D.; Dubois, D.; und Gaillard, G. (2005): Ökobilanzierung von Anbausystemen im Schweizerischen Acker- und Futterbau, Agroscope, FAL Reckenholz, Zürich, 156 S.

- Nemecek, T.; Huguenin-Elie, O.; Dubois, D.; Gaillard, G.; Schaller, B.; und Chervet, A. (2011): Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104 (3), 233-245.
- Pfister, S.; Koehler, A.; und Hellweg, S. (2009): Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental science & technology* 43 (11), 4098-4104.
- Rice, P.; O'Brien, D.; Shalloo, L.; und Holden, N. (2017): Evaluation of allocation methods for calculation of carbon footprint of grass-based dairy production. *Journal of Environmental Management* 202, 311-319.
- Rotz, A.; Stout, R.; Leytem, A.; Feyereisen, G.; Waldrip, H.; Thoma, G.; Holly, M.; Bjorneberg, D.; Baker, J.; und Vadas, P. (2021): Environmental assessment of United States dairy farms. *Journal of Cleaner Production* 315, 128153.
- Shine, K.P. (2009): The global warming potential—the need for an interdisciplinary retrieval. *Climatic Change* 96 (4), 467-472.
- Shine, K.P.; Fuglestvedt, J.S.; Hailemariam, K.; und Stuber, N. (2005): Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases. *Climatic Change* 68, 281-302.
- Sutter, M.; Nemecek, T.; und Thomet, P. (2013): Vergleich der Ökobilanzen von stall- und weidebasierter Milchproduktion. *Agrarforschung Schweiz* 4 (5), 230-237.
- Tedesco, D.; Vida, E.; und CONTI, C. (2018): The blue water use of milk production in North Italy: a case study.
- Thomassen, M.; Dolman, M.; Van Calster, K.; und De Boer, I. (2009): Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms. *Ecological Economics* 68 (8-9), 2278-2284.
- Thomassen, M.A.; Dalgaard, R.; Heijungs, R.; und De Boer, I. (2008): Attributional and consequential LCA of milk production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13, 339-349.
- van Boxmeer, E.; Modernel, P.; und Viets, T. (2021): Environmental and economic performance of Dutch dairy farms on peat soil. *Agricultural Systems* 193, 103243.
- Wagner, K. (1990): Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete Teil I und Teil II. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft* 61/62.
- Wang, X.; Ledgard, S.; Luo, J.; Guo, Y.; Zhao, Z.; Guo, L.; Liu, S.; Zhang, N.; Duan, X.; und Ma, L. (2018): Environmental impacts and resource use of milk production on the North China Plain, based on life cycle assessment. *Science of the Total Environment* 625, 486-495.
- Weiss, F. und Leip, A. (2012): Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 149, 124-134.

Wilkes, A.; Wassie, S.; Fraval, S.; und van Dijk, S. (2020): Variation in the carbon footprint of milk production on smallholder dairy farms in central Kenya. *Journal of Cleaner Production* 265, 121780.

Williams, A.; Audsley, E.; und Sandars, D. (2006): Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities: Defra project report ISO205. Zu finden in: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx>.

Zumwald, J.; Braunschweig, M.; Hofstetter, P.; Reidy, B.; und Nemecek, T. (2018): Ökobilanzanalyse weide-und graslandbasierter Milchproduktionssysteme: Serie Systemvergleich Hohenrain II. *Agrarforschung Schweiz* 9 (5), 156-163.

Abschlussbericht

FarmMilk

Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
A-8952 Irdning-Donnersbachtal

Druck, Verlag und © 2023