

Umwelt

Agroscope Science | Nr. 85 / Mai 2019



## Indikatoren für die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz in der Schweizer Milchproduktion: Entwicklung und Test zweier Methoden

Joséphine Zumwald, Thomas Nemecek, Agroscope  
Sebastian Ineichen, Beat Reidy, HAFL

Partner



S M P • P S L



Berner Fachhochschule  
► Hochschule für Agrar-, Forst- und  
Lebensmittelwissenschaften HAFL



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF  
**Agroscope**

### Impressum

Herausgeber:	Agroscope Strategischer Forschungsbereich Agrarökologie und Umwelt Forschungsgruppe Ökobilanzen Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich Telefon +41 (0)44 377 71 11, Fax +41 (0)44 377 72 01 info@agroscope.ch; www.agroscope.ch
Auskünfte:	Thomas Nemecek (thomas.nemecek@agroscope.admin.ch)
Titelbild	Sebastian Ineichen, HAFL
Download	<a href="http://www.agroscope.ch/science">www.agroscope.ch/science</a>
Copyright:	© Agroscope 2019
ISSN:	2296-729X
ISBN:	978-3-906804-76-7

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Einleitung und Ziel</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Vorgehen zur Entwicklung der Methodik</b> .....	<b>15</b>
<b>3 Methodische Grundlagen der Indikatoren</b> .....	<b>17</b>
3.1 Erhebung & Plausibilisierung der Futterration der Milchkühe .....	17
3.2 Flächenerfassung .....	18
3.3 Remontierung und Tierbilanz .....	18
3.4 Berechnung der Indikatoren .....	18
3.5 Proteinqualität .....	19
<b>4 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz</b> .....	<b>20</b>
4.1 Verwertbarkeitsszenario .....	20
4.2 Verwertbarkeit von Milch und Fleisch .....	21
4.3 Vorgehen für die Sensitivitätsanalysen .....	22
<b>5 Indikator Flächenkonkurrenz</b> .....	<b>24</b>
5.1 Schritt 1: Bestimmung der landwirtschaftlichen Fläche zur Milchproduktion .....	24
5.2 Schritt 2: Bestimmung der Ackerfähigkeit dieser Fläche .....	26
5.3 Schritt 3: Bestimmung des pflanzlichen Produktionspotenzials .....	28
5.4 Schritt 4: Bestimmung der Qualität des pflanzenbaulichen Produktionspotenzials sowie der Milch .....	29
5.5 Vorgehen für die Sensitivitätsanalysen .....	30
<b>6 Ergebnisse der Praxisbetriebe</b> .....	<b>31</b>
6.1 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz .....	31
6.2 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz: Sensitivitätsanalysen .....	33
6.3 Indikator Flächenkonkurrenz für Pilot- und Praxisbetriebe .....	36
6.4 Indikator Flächenkonkurrenz: Sensitivitätsanalysen .....	38
6.5 Interpretation .....	43
<b>7 Diskussion</b> .....	<b>46</b>
7.1 Möglichkeiten zur Reduktion der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz .....	46
7.2 Vergleich der Testergebnisse mit anderen Studien und methodische Neuerungen .....	47
7.3 Aussagekraft der Ergebnisse und der Indikatoren .....	49
<b>8 Fazit</b> .....	<b>52</b>
<b>9 Literatur</b> .....	<b>54</b>
<b>Anhang A: Liste der Saatgut- und Bio Faktoren</b> .....	<b>56</b>
<b>Anhang B: Bodeneignungskarte</b> .....	<b>58</b>
<b>Anhang C: Quellen Proteinqualität und Abzug Saatgut für die evaluierten Kulturen</b> .....	<b>59</b>
<b>Anhang D: Standardrationen Jungtiere</b> .....	<b>61</b>
<b>Anhang E: Verwertbarkeit von Futtermitteln</b> .....	<b>62</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
a	Jahr (lat. annum)
AF	geeignet für Ackerbau
Aj	Betrieb mit Ackerbau
An	Betrieb ohne Ackerbau
BE	Bruttoenergie
Bio	biologische Produktion
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
DIAAS	Digestible Indispensable Amino Acid Score
ECM	energiekorrigierte Milch
FS	Frischsubstanz
g	Gramm
GRUD	Grundlagen für die Düngung aller landwirtschaftlicher Kulturen der Schweiz
ha	Hektare
IP	Integrierte Produktion
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklus-Analyse oder Ökobilanz)
LG	Lebendgewicht
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
m	Meter
MJ	Megajoule
MLh	Milchleistung über 8000kg/Kuh/a
MLt	Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a
nAF	nicht geeignet für Ackerbau
NEL	Netto Energie Laktation
ÖLN	ökologischer Leistungsnachweis
PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
RP	Rohprotein
SALCA	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment
SMP	Schweizer Milchproduzenten
TS	Trockensubstanz
vAH	verwertbarer Anteil in der Humanernährung
ZMP	Zentralschweizer Milchproduzenten

## Danksagung

Die Autoren danken den Mitgliedern des Steuerungsausschusses, welche mit Vorschlägen und kritischen Anmerkungen zur Verbesserung der vorliegenden Studie beigetragen haben: Manuel Hauser und Gerhard Schatt (Emmi), Daniela Hoffmann und Thomas Baumgartner (WWF Schweiz), Pierre-André Pittet und Heinz Minder (SMP), André Bernet (ZMP) und Gérard Gaillard (Agroscope).

Unser besonderer Dank geht an die 13 Betriebsleitenden der Praxisbetriebe, welche freundlicherweise Daten für den Praxistest zur Verfügung gestellt und in verschiedenen Diskussionen, u. a. im Rahmen des Betriebsleiter-Workshops, zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Wir möchten den Expertinnen und Experten für die Teilnahme am wissenschaftlichen Workshop und den Vertreterinnen und Vertretern von Interessengruppen für die Teilnahme am Stakeholder-Workshop danken. Ihre Anmerkungen haben wertvolle Beiträge geleistet.

Auch bedanken wir uns herzlich für die finanzielle Unterstützung durch folgende Organisationen: Emmi Schweiz AG, Schweizer Milchproduzenten (SMP), Zentralschweizer Milchproduzenten (ZMP), WWF Schweiz und Stiftung Sur-La-Croix.

## Zusammenfassung

### Indikatoren für die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz in der Schweizer Milchproduktion: Entwicklung und Test zweier Methoden

Kühe und andere Wiederkäuer können für den Menschen nicht nutzbare Nährstoffe in Form von Wiesenfutter in Nahrungsmittel verwandeln. Werden aber Futtermittel eingesetzt, die auch direkt für die menschliche Ernährung verwendbar sind, oder die auf Flächen produziert werden, die auch ackerbaulich genutzt werden könnten, besteht eine Nahrungsmittel- bzw. Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von Futtermitteln für die Milchproduktion und der menschlichen Ernährung (sogenannte «Feed-Food Competition»). Diesem Aspekt wird in bisherigen Nachhaltigkeitsbewertungen wenig Beachtung geschenkt. Dabei ist es gerade vor dem Hintergrund einer weiter wachsenden Weltbevölkerung wichtig, die begrenzten landwirtschaftlich nutzbaren Flächen möglichst effizient für die Nahrungsmittelproduktion zu nutzen. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass diese Konkurrenz zwischen Tier und Mensch bemessen und gezielt reduziert werden kann.

In der vorliegenden Studie wurden im Auftrag von WWF Schweiz, Emmi, den Schweizer Milchproduzenten (SMP) und den Zentralschweizer Milchproduzenten (ZMP) und dank finanzieller Unterstützung der Stiftung Sur-La-Croix zwei Indikatoren zur Ermittlung der Nahrungsmittel- und Flächenkonkurrenz bezüglich Energie- und Proteinversorgung für die menschliche Ernährung entwickelt und auf 25 Milchproduktionsbetrieben angewandt. Der Indikator «Nahrungsmittelkonkurrenz» beantwortet die Frage: «*Welchen Beitrag in Form von Milch und Fleisch leistet die Milchproduktion zur Protein- und Energieversorgung des Menschen im Vergleich zu den eingesetzten Futtermitteln?*» Er setzt bei den verwendeten Futtermitteln an und beschreibt deren Anteil an für den Menschen potenziell verdaubarem Protein bzw. Energie im Verhältnis zu deren Output durch die Produktion von Milch und Fleisch.

Der Indikator «Flächenkonkurrenz» hingegen untersucht die indirekte Konkurrenz über die Flächennutzung und beantwortet die Frage: «*Welchen Beitrag zur Protein- und Energieversorgung des Menschen könnte ein direkter Anbau von Ackerkulturen auf den für die Milchproduktion eingesetzten Fläche im Vergleich zur Milchproduktion leisten?*» Dieser Indikator setzt direkt bei der Bodennutzung an und beschreibt das Potenzial der Nahrungsmittelproduktion in Bezug auf das verdauliche Protein bzw. die verdauliche Energie für den Menschen. Dieses Potenzial wird ebenfalls der effektiven Nahrungsmittelproduktion durch die Milchproduktion auf der betreffenden Fläche gegenübergestellt.

Indikatorwerte > 1 bedeuten, dass die Futtermittel (Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz) bzw. das ackerbauliche Potenzial (Indikator Flächenkonkurrenz) mehr Protein bzw. Energie für die menschliche Ernährung beinhalten, als durch die Milchproduktion in Form von Milch und Fleisch auf dem jeweiligen Betrieb produziert werden. Analog dazu bedeuten Werte < 1 einen Nettobeitrag der Milchproduktion zur Nahrungsmittelversorgung.

Unseres Wissens handelt es sich hier um die erste Studie, die beide Indikatoransätze kombiniert. Sie wurden so umgesetzt, dass sie sich relativ einfach auf jeden beliebigen Schweizer Milchproduktionsbetrieb anwenden lassen. Gegenüber den vorhandenen wissenschaftlichen Studien wurde die Methodik für beide Indikatoren verfeinert und angepasst. Die Liste der berücksichtigten Futtermittel wurde beträchtlich erweitert, so dass alle in der Futtermitteldatenbank gelisteten Futtermittel berücksichtigt werden können. Beim pflanzlichen Ertragspotenzial wurde nicht nur die beste Kultur, sondern eine optimierte Fruchtfolge zu Grunde gelegt. Die Ackerfähigkeit der Flächen wurde für die Schweiz detailliert aufgrund verfügbarer räumlicher Informationen bzw. Angaben der Betriebe abgeschätzt. Zudem wurde die Proteinqualität systematisch berücksichtigt.

Beide Indikatoren wurden auf 25 ausgewählten Praxisbetrieben angewandt. Die untersuchten Betriebe stellen keine repräsentative Stichprobe der Schweizer Milchproduktionsbetriebe dar. Die Betriebe unterscheiden sich durch die Region, die Produktionszone, die Milchleistung, die Landbauform (Bio, ÖLN) und den Anteil der Futterproduktion auf Ackerland. Die Betriebe befinden sich im Schweizer Mittelland und im Voralpengebiet.

Die untersuchten Betriebe weisen für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Werte zwischen 0,01 und 0,54 für Protein und 0,03 und 0,68 für Energie auf. Dies bedeutet eine geringe direkte Konkurrenz auf Basis der eingesetzten Futtermittel, bzw. dass das Milchproduktionssystem mehr für den Menschen verwertbares Protein bzw. Energie hervorbringt, als dafür im Futter eingesetzt wurde. Die Indikatorwerte für die Nahrungsmittelkonkurrenz korrelieren stark mit dem Krafftuttereinsatz pro produzierte Einheit Milch. Für Betriebe, die nur sehr wenig oder gar kein Krafftutter einsetzen, ergaben sich Werte um Null. Betriebe, die trotz bedeutenden Krafftutteranteilen an der Gesamtration niedrige Indikatorwerte aufweisen, setzen vermehrt Nebenprodukte aus der Futter- und Nahrungsmittelproduktion als Futtermittel ein wie Rapsextraktionsschrot, Futterkartoffeln oder Birtreber.

Für den Indikator zur Flächenkonkurrenz liegen die Ergebnisse zwischen 0.69 und 2.64 für Protein und 1.52 und 5.93 für Energie. Nur zwei Betriebe weisen einen Indikatorwert < 1 (für Protein) auf. In den meisten Fällen würde ein Anbau von direkt für den Menschen verwertbaren Ackerprodukten mehr zur menschlichen Ernährung beitragen als die Milchproduktion auf den betreffenden Flächen. Entscheidend für die Indikatorwerte eines Betriebs ist die ackerfähige Fläche. Dies gilt insbesondere für die betriebseigenen Flächen, da diese in den meisten Fällen den grössten Teil der Unterschiede ausmachen. Die zwei Betriebe mit den niedrigsten Indikatorwerten liegen in der Bergzone; deren Betriebsfläche galt zu 100% als ungeeignet für Ackerbau. Haben zwei Betriebe betreffend ihrer betriebseigenen Nutzfläche jedoch ähnliche Bedingungen, spielen Effizienzparameter der Milchproduktion (Futtermittelverwertung, Remontierungsrate) eine bedeutende Rolle. Neben dem Flächenbedarf pro produzierte Einheit Milch, spielt die Qualität (Ackerfähigkeit) der eingesetzten Flächen eine erhebliche Rolle. Mit dem neuen Indikator für die «Flächenkonkurrenz» kann der häufig in Ökobilanzen verwendete Indikator «Flächenbedarf» ergänzt werden, indem auch das Potenzial zur direkten Nahrungsmittelproduktion der Ressource landwirtschaftliche Nutzfläche abgebildet wird.

Die Ergebnisse der untersuchten Betriebe lassen sich nicht auf die gesamte Schweizer Milchproduktion extrapolieren, da die untersuchte Stichprobe zu klein und nicht repräsentativ war. Die Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass die Flächenkonkurrenz zwischen der Milchproduktion und der ackerbaulichen Nutzung zur direkten menschlichen Ernährung grösser ist als die Nahrungsmittelkonkurrenz. Ein Vergleich mit ausländischen Studien zeigt, dass die Werte für die Betriebe in dieser Studie in einem ähnlichen Bereich lagen. Der Vergleich ist allerdings aufgrund methodischer Unterschiede nur beschränkt möglich; bei der Flächenkonkurrenz existiert zudem nur eine Vergleichsstudie mit zwei Milchproduktions-Systemen.

Beide Indikatoren weisen in Bezug auf Protein eine geringere Konkurrenz auf als in Bezug auf Energie. Gründe hierfür sind, dass im Verhältnis zum Bedarf des Menschen Milchprodukte mehr zur Protein- als zur Energieversorgung beitragen und dass bei der Umwandlung der Futterenergie durch Wiederkäuer in tierische Produkte hohe Verluste entstehen. Zudem wird die Qualität des Proteins in den tierischen Produkten höher bewertet als jene des Proteins in den Futtermitteln. Die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz und Flächenkonkurrenz beschreiben die gleiche Thematik mit einem unterschiedlichen Fokus. Auf den untersuchten Betrieben korrelieren sie deshalb nicht miteinander. Die Kombination der Indikatoren hilft aber die Nahrungsmittelkonkurrenz aus zwei unterschiedlichen Perspektiven umfassender zu beurteilen, so dass die Feed-Food-Competition als Ganzes messbar wird. Setzt ein Betrieb nur geringe Krafftuttermengen ein, nutzt aber ackerfähige Flächen für die Futterproduktion, weist er zwar eine geringe Nahrungsmittel- dafür aber eine hohe Flächenkonkurrenz auf. Umgekehrt weist ein Betrieb, der sein Wiesenfutter auf nicht ackerfähig nutzbaren Flächen produziert, aber im hohen Masse Krafftutter verfüttert, niedrige Werte für die Flächen- aber höhere für die Nahrungsmittelkonkurrenz auf. Mit den beiden Indikator-Ansätzen lässt sich die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz in der Milchproduktion objektiv darstellen und damit ein Beitrag zur Verbesserung der Ernährungssicherheit leisten. Zudem kann der Aspekt Feed-Food-Competition in die Bewertung der gesamten Nachhaltigkeit einfließen.

## Summary

### Indicators for Land and Food Competition in Swiss Dairy Production: Development and Test of Two Methods

Cows and other ruminants are able to convert food sources not usable by humans, such as grassland forage, into human-edible food. If, however, animal feed is used which could also be consumed directly as food by humans, or which is produced on land which could otherwise be used to grow arable crops, we are then faced with competition between the growing of feed for milk production on the one hand and food for human nutrition on the other – so-called ‘feed-food competition’. To date, this issue has been largely ignored in sustainability assessments, even though a still-growing global population makes it essential for us to use limited arable land resources as efficiently as possible for food production. The ability to measure and strategically reduce feed-food competition between animals and humans is crucial for this efficient use.

In this study, two indicators for determining feed-food competition in terms of energy and protein supply for human consumption were developed on behalf of WWF Switzerland, the Swiss milk processor Emmi, Swiss Milk Producers (SMP) and Central Swiss Milk Producers (ZMP), as well as with the financial support of the Foundation Sur-la-Croix, and applied to 25 dairy farms. The food-competition indicator answers the question *“What is the contribution of milk production, in the form of milk and meat, to human protein and energy supply, compared to the feedstuffs used?”* This indicator refers to the utilised feedstuffs, and describes their proportion of potentially human-digestible protein or energy in relation to their use for the production of milk and meat.

By contrast, the land-competition indicator refers to the indirect competition for land use, and answers the question *“To what extent could the direct production of foodstuffs on the land used for dairy production contribute to human protein and energy supply compared to dairy production?”* This indicator refers to land use, and describes the food production potential in terms of the digestible protein or energy, which would be made available to humans. This potential is also compared to the effective food from dairy production on the land area used.

Indicator values of  $>1$  mean that the feed (food-competition indicator) or the arable potential (land-competition indicator) provides more human-digestible protein or energy than that yielded by dairy production in the form of milk and meat on the farm in question. Similarly, values of  $<1$  mean a net contribution of milk production to the food supply.

To our knowledge, this is the first study that combines both approaches. These indicators were implemented in such a way that they could be applied relatively easily to any Swiss dairy farm. The methodology for the two indicators was refined and adapted with respect to existing scientific studies. The list of the feedstuffs considered was substantially expanded, so that all feedstuffs catalogued in the Swiss feed database can now be taken into account. The yield potential of crops was based not only on the best crop, but also on an optimised crop rotation. The arable potential of the land was estimated in detail for Switzerland on the basis of available spatial information and farm data. In addition, protein quality was systematically taken into account.

Both indicators were applied to 25 selected commercial farms. The farms studied do not constitute a representative sample of Swiss dairy farms. They differ according to region, production zone, milk yield, type of farm (organic, PEP) and the proportion of forage production on arable land. The farms are located on the Swiss Central Plateau and in the hill and mountain regions.

For the food-competition indicator, the farms studied have values of between 0.01 and 0.54 for protein, and 0.03 and 0.68 for energy. This means that there is little direct competition with respect to the utilised feed, or that the milk-production system produces more protein or energy that can be utilised for human nutrition than was contained in the forage. The food-competition indicator values correlate strongly with the use of concentrates per unit of milk produced. For farms using very small amounts of concentrates or none at all, values stand at around zero. Farms which have low indicator values despite using a significant proportion of

concentrates in their total ration are increasingly using by-products from food and feed production as feed, such as rapeseed cake, feed potatoes or brewer's spent grain.

For the land-competition indicator, results range between 0.69 and 2.64 for protein, and 1.52 and 5.93 for energy. Only two farms have an indicator value of  $<1$  (for protein). In most cases, growing arable food crops would contribute more to human nutrition than milk production on the land area used. The decisive factor for the indicator values of a farm is the arable area. This applies in particular to the farm's own land, since in the majority of cases it accounts for most of the differences. The two farms with the lowest indicator values are in the mountain zone; 100% of their acreage was judged as unsuitable for arable farming. Where two farms have similar conditions in terms of their own utilised agricultural area, however, milk-production efficiency parameters (feed utilisation, restocking rate) play an important role. In addition to the land requirement per unit of milk produced, the quality (arability) of the land used is of major importance. The new land-competition indicator can supplement the land-occupation indicator frequently used in life cycle assessments, since it also represents the direct food-production potential based on the resource 'utilised agricultural area'.

The results of the studied farms cannot be extrapolated to Swiss milk production as a whole, since the sample investigated was too small and unrepresentative. Nevertheless, the results indicate that land competition between milk production and arable use for direct human consumption is stronger than feed-food competition. A comparison with foreign studies shows that the values for the farms in this study lie within a similar range. Owing to methodological differences, however, comparison is only possible to a limited extent; moreover, only one comparative study with two milk-production systems exists for the land-competition indicator.

Both indicators show lower competition with regard to protein than with regard to energy. This is because in relation to human requirements, dairy products contribute more to protein consumption than to energy consumption, and because high losses occur when ruminants convert feed energy into animal products. In addition, the quality of the protein in the animal products is rated higher than that of the protein in the feed. The food-competition and land-competition indicators describe the same issue with a different focus, which is why they do not correlate with one another on the farms studied. Nevertheless, the combination of indicators helps to assess feed-food competition more thoroughly from two different perspectives, so that it is measurable as a whole. A farm which uses only small amounts of concentrates, but which uses arable land for forage production, has low food competition; by contrast, its land competition is high. Conversely, a farm that produces its forage on non-arable land, but which uses high amounts of concentrates, has low values for land competition, but higher ones for food competition. The indicators from the two approaches enable the objective representation of land and food competition in dairy production, and thus help to improve food security. In addition, the feed-food competition aspect can be incorporated into the assessment of overall sustainability.

## Résumé

### Indicateurs de concurrence en matière de surfaces et d'aliments dans la production laitière suisse: développement et test de deux méthodes

Les vaches et les autres ruminants peuvent transformer en denrées alimentaires les sources alimentaires non utilisables par l'homme, par exemple les herbages. Toutefois, si l'on utilise des aliments pour animaux qui peuvent également être utilisés directement pour l'alimentation humaine ou qui sont produits sur des surfaces qui pourraient être utilisées pour les cultures, on se trouve alors dans une situation de concurrence portant sur les aliments ou sur l'utilisation des surfaces entre la culture pour des aliments fourragers destinés à la production laitière et la culture d'aliments destinés à la consommation humaine («Feed Food Competition»). Cet aspect n'a guère retenu l'attention dans les précédentes évaluations de la durabilité. Or, dans le contexte d'une population mondiale croissante, il est particulièrement important d'utiliser les terres agricoles, dont le nombre est limité, aussi efficacement que possible pour la production de denrées alimentaires. Pour ce faire, il est indispensable que cette concurrence entre animaux et humains puisse être mesurée et réduite de façon ciblée.

Dans cette étude, réalisée sur mandat de WWF Suisse, d'Emmi, des Producteurs suisses de lait (PSL) et des Producteurs de lait de Suisse centrale (ZMP) de même que grâce au soutien financier de la Fondation Sur-La-Croix, deux indicateurs ont été développés et appliqués dans 25 exploitations laitières pour déterminer la concurrence entre aliments et surfaces en termes d'apports en protéines et en énergie pour l'alimentation humaine. L'indicateur «concurrence alimentaire» répond à la question: «Quelle est la contribution de la production laitière sous forme de lait et de viande à l'apport protéique et énergétique de l'homme par rapport aux aliments fourragers utilisés ?» Cet indicateur porte sur les aliments pour animaux utilisés et décrit leur proportion en protéines ou en énergie potentiellement digestibles par l'homme par rapport à leur utilisation pour la production de lait et de viande.

L'indicateur «concurrence pour l'utilisation des surfaces» quant à lui porte sur la concurrence indirecte pour l'utilisation des surfaces et répond à la question: «Dans quelle mesure la production directe de denrées alimentaires sur les surfaces utilisées pour la production laitière pourrait-elle contribuer aux besoins en protéines et en énergie de l'homme par rapport à la production laitière ?» Cet indicateur porte sur l'utilisation des terres et décrit le potentiel de la production alimentaire en termes de protéines digestibles ou d'énergie pour les êtres humains. Ce potentiel est également comparé à la production alimentaire effective représentée par la production laitière sur la surface concernée.

Les valeurs  $> 1$  signifient que les aliments pour animaux (indicateur de la concurrence alimentaire) ou le potentiel des terres arables (indicateur de la concurrence pour l'utilisation des surfaces) contiennent davantage de protéines ou d'énergie pour l'alimentation humaine que la production de lait ne peut en fournir sous forme de lait et de viande dans l'exploitation concernée. De même, les valeurs  $< 1$  signifient une contribution nette de la production laitière à l'apport alimentaire.

Il s'agit, à notre connaissance, de la première étude qui combine ces deux indicateurs. Ils ont été transposés de telle sorte qu'ils peuvent être appliqués relativement facilement à n'importe quelle exploitation laitière suisse. Par rapport aux études scientifiques existantes, la méthodologie a été affinée et adaptée pour les deux indicateurs. La liste des aliments fourragers considérés a été considérablement étendue afin que tous les aliments pour animaux répertoriés dans la base de données des aliments pour animaux puissent être pris en compte. Le potentiel de rendement des plantes prend en compte non seulement la meilleure culture, mais une rotation optimisée des cultures. La capacité arable des surfaces a été estimée en détail pour la Suisse sur la base d'informations relatives aux surfaces disponibles et de données des exploitations. En outre, la qualité des protéines a été systématiquement prise en compte.

Les deux indicateurs ont été appliqués à 25 exploitations agricoles sélectionnées. Ces exploitations ne constituent pas un échantillon représentatif des exploitations laitières suisses. Elles se distinguent par la région d'implantation, la zone de production, le rendement laitier, le type d'agriculture (biologique, PER) et la proportion de production fourragère sur des terres arables. Elles se situent sur le Plateau et dans la zone des Préalpes.

En ce qui concerne l'indicateur «concurrence alimentaire», les exploitations étudiées ont des valeurs comprises entre 0,01 et 0,54 pour les protéines et entre 0,03 et 0,68 pour l'énergie. Cela signifie qu'il y a peu de concurrence directe par rapport aux aliments pour animaux utilisés ou que le système de production laitière produit davantage de protéines ou d'énergie qui peuvent être utilisées pour l'alimentation humaine que la quantité utilisée pour les aliments fourragers. Les valeurs de l'indicateur «concurrence alimentaire» sont fortement corrélées avec l'utilisation d'aliments concentrés pour animaux par unité de lait produite. Pour les exploitations qui utilisent très peu ou pas du tout d'aliments concentrés, les valeurs se situaient autour de zéro. Les exploitations agricoles dont les valeurs sont faibles malgré la part importante d'aliments concentrés dans la ration totale utilisent de façon accrue les sous-produits issus de la production fourragère et alimentaire comme aliments pour animaux, par exemple les tourteaux d'extraction du colza, les pommes de terre fourragères ou les drèches de brasserie.

En ce qui concerne l'indicateur «concurrence pour l'utilisation des surfaces», les résultats se situent entre 0,69 et 2,64 pour les protéines et entre 1,52 et 5,93 pour l'énergie. Seules deux exploitations ont une valeur < 1 (pour les protéines). Dans la plupart des cas, la culture de produits directement utilisables par l'homme contribuerait davantage à l'alimentation humaine que la production de lait sur les surfaces concernées. Le facteur décisif pour les valeurs des indicateurs d'une exploitation agricole est la surface arable. C'est le cas en particulier des terres propres à l'exploitation, car dans la plupart des cas, celles-ci sont à l'origine de la majeure partie des différences. Les deux exploitations ayant les valeurs les plus faibles se situent dans la zone de montagne ; 100 % de leur surface sont jugées impropres à la culture. Toutefois, si deux exploitations ont des conditions similaires en ce qui concerne leur propre surface utile, les paramètres d'efficacité de la production laitière (valorisation des aliments fourragers, taux de remonte) jouent un rôle important. Outre la surface requise par unité de lait produite, la qualité (capacité arable) des terres utilisées joue un rôle important. Le nouvel indicateur de «concurrence pour l'utilisation des surfaces» permet de compléter l'indicateur «besoin en surfaces», fréquemment utilisé dans les analyses de cycle de vie, en représentant également le potentiel de production alimentaire directe à partir de la ressource «surface agricole utile».

Les résultats des exploitations étudiées ne peuvent pas être extrapolés à la production laitière suisse totale, car l'échantillon était trop petit et non représentatif. Ils indiquent cependant que la concurrence pour l'utilisation des surfaces entre la production laitière et l'utilisation des terres arables pour la consommation humaine directe est plus forte que la concurrence alimentaire. Une comparaison avec des études étrangères montre que les valeurs des exploitations étudiées se situaient dans une fourchette similaire. Toutefois, la comparaison n'est possible que dans une mesure limitée en raison de différences méthodologiques ; en outre, il n'existe qu'une seule étude comparative avec deux systèmes de production laitière pour l'indicateur «concurrence pour l'utilisation des surfaces».

Les deux indicateurs montrent moins de concurrence en ce qui concerne les protéines qu'en ce qui concerne l'énergie. Cela s'explique par le fait que les produits laitiers contribuent davantage à l'apport en protéines qu'à l'apport en énergie par rapport aux besoins humains et que des pertes élevées se produisent lorsque les ruminants transforment l'énergie alimentaire en produits d'origine animale. En outre, la qualité des protéines dans les produits d'origine animale est jugée supérieure à celle des protéines dans les aliments fourragers. Les indicateurs «concurrence alimentaire» et «concurrence pour l'utilisation des surfaces» décrivent la même thématique avec un point de vue différent. Ils ne sont donc pas corrélés entre eux dans les exploitations ayant participé à l'enquête. La combinaison des indicateurs permet d'évaluer la concurrence alimentaire de manière plus complète sous deux angles différents, de sorte que la «Feed Food Competition» peut être mesurée globalement. Si une exploitation agricole n'utilise que peu d'aliments concentrés, mais utilise des terres arables pour la production de fourrage, elle présente une faible concurrence alimentaire; en contrepartie, la concurrence pour l'utilisation des surfaces est élevée. A l'inverse, une exploitation qui produit son fourrage sur des terres non arables, mais qui utilise de grandes quantités d'aliments concentrés affiche

des valeurs faibles pour la concurrence en matière d'utilisation des surfaces, par contre ses valeurs pour l'indicateur «concurrence alimentaire» sont plus élevées. Les indicateurs issus des deux approches permettent de représenter objectivement la concurrence pour les aliments et pour l'utilisation des surfaces dans la production laitière et de contribuer ainsi à l'amélioration de la sécurité alimentaire. En outre, l'aspect de la «Feed Food Competition» peut être intégré dans l'évaluation globale de la durabilité.

# 1 Einleitung und Ziel

Kühe und andere Wiederkäuer können für den Menschen nicht nutzbare Nährstoffe in Form von Wiesen- und Weidefutter in Lebensmittel umwandeln. Werden aber Futtermittel eingesetzt, die auch direkt für die menschliche Ernährung verwendbar wären, oder die auf potenziellen Ackerflächen wachsen, steht der Anbau von Futtermitteln für die Milchproduktion in Konkurrenz zur direkten Produktion von Nahrungsmitteln («Feed-Food Competition»). Diesem Aspekt wird in bisherigen Nachhaltigkeitsbewertungen wenig Beachtung geschenkt. Dabei ist es gerade im Hinblick auf eine weiter wachsende Weltbevölkerung wichtig, die begrenzte Ressource Land effizient für die Nahrungsmittelproduktion zu nutzen. Es gilt also, diese Konkurrenz zwischen Tier und Mensch zu bemessen, um sie gezielt verringern zu können.

In der Literatur gibt es bisher zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze, um die Konkurrenz zwischen Tier und Mensch zu erfassen (Abbildung 1): Der erste berücksichtigt die für die Produktion eingesetzten Futtermittel und deren Nutzungspotenzial für die menschliche Ernährung («Nahrungsmittelkonkurrenz»), während sich der zweite mit dem pflanzenbaulichen Produktionspotenzial befasst, welches auf der durch die Tiere verwendeten landwirtschaftlichen Fläche besteht («Flächenkonkurrenz»).

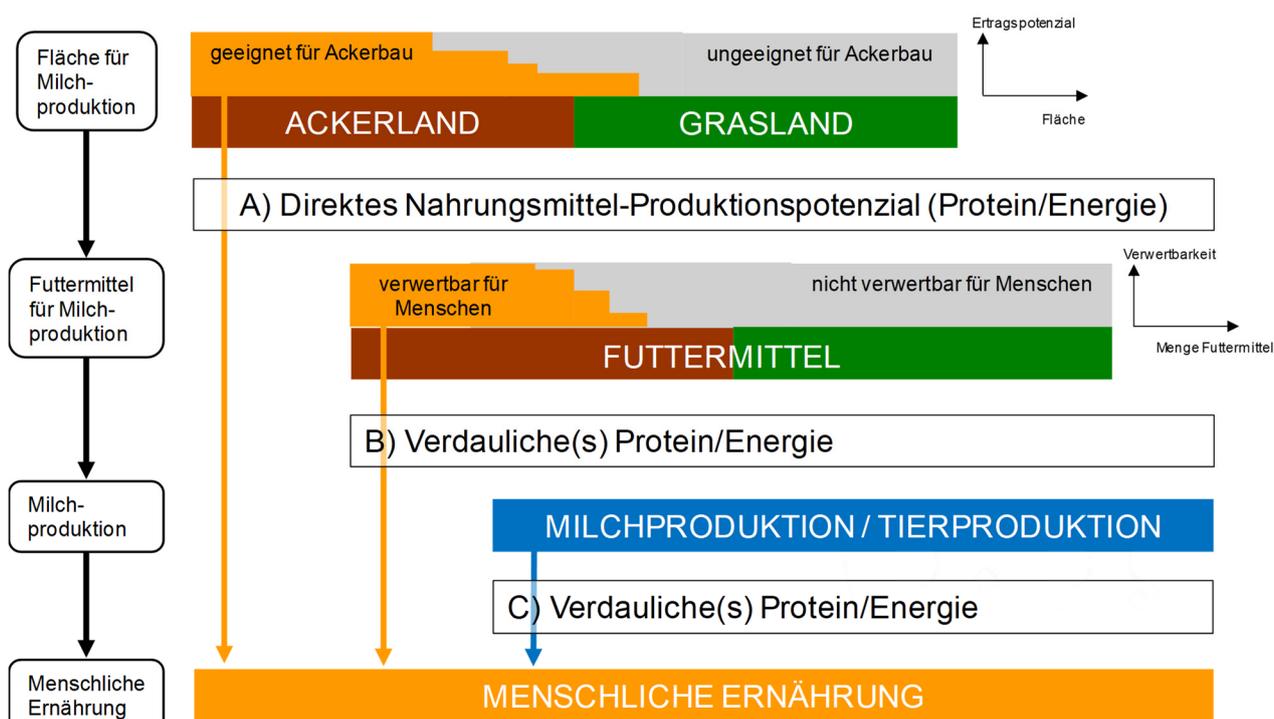


Abbildung 1: Schematische Darstellung der beiden Indikatoren-Ansätze.

In dieser Studie werden die beiden Konzepte zum ersten Mal zusammen in Form von Indikatoren angewendet und auf die Gegebenheiten der Schweizer Milchproduktion angepasst. Durch ihre Kombination fließen sowohl die landwirtschaftliche Flächennutzung als auch die eingesetzten Futtermittel in die Bewertung ein.

Das Projekt soll folgende Fragen beantworten:

**Indikator «Nahrungsmittelkonkurrenz»:** Welchen Beitrag leisten die für die Milchproduktion eingesetzten Futtermittel zur Protein- und Energieversorgung des Menschen im Vergleich zur Milchproduktion? Dieser Indikator setzt bei den verwendeten Futtermitteln an und beschreibt deren Gehalte an für

den Menschen potenziell nutzbarem Protein bzw. Energie im Verhältnis zu deren Output durch die Produktion von tierischen Nahrungsmitteln (B/C in *Abbildung 1*).

Verschiedene Autoren haben Methoden vorgeschlagen, welche den für Menschen direkt verwertbaren Anteil an Protein und Energie in den eingesetzten Futtermitteln berücksichtigen (Laisse *et al.*, 2016; Oltjen & Beckett, 1996; Steinwider *et al.*, 2016; Wilkinson, 2011). Dabei wurden anhand von Futterrationen die menschlich verwertbaren Anteile ermittelt und ins Verhältnis zur produzierten Menge Energie bzw. Protein in der Milch und, in neueren Untersuchungen, im Fleisch gestellt. Ertl *et al.* (2015) führten ihre Berechnungen anhand von 36 realen (österreichischen) Betrieben durch. In der vorliegenden Arbeit soll deshalb die Methode Ertl an schweizerische Verhältnisse angepasst und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf Praxisbetrieben getestet werden.

**Indikator «Flächenkonkurrenz»: Welchen Beitrag zur Protein- und Energieversorgung des Menschen leistet ein direkter Anbau von Pflanzen auf den für die Milchproduktion eingesetzten Flächen im Vergleich zur Milchproduktion?** Dieser Indikator setzt direkt bei der Bodennutzung an und beschreibt das Potenzial der Nahrungsmittelproduktion mit Fokus auf das verwertbare Protein bzw. die verwertbare Energie für den Menschen. Dieses Potenzial wird dem effektiven Output an Nahrungsmitteln aus der Milchproduktion gegenübergestellt (A/C in *Abbildung 1*).

Dieser zweite Ansatz wurde erstmals von van Zanten *et al.* (2016) auf niederländische Milch- und Geflügelproduktion angewandt. Die Methodik wurde im Rahmen dieser Studie verfeinert und für den Einsatz auf die Schweizer Milchproduktion angepasst.

Beide Indikatoren werden so erstellt, dass deren Berechnung auf relativ einfache Weise auf jedem Schweizer Milchproduktionsbetrieb erfolgen kann. Im Rahmen dieser Studie werden die Indikator-konzepte auf Schweizer Milchproduktionsbetrieben getestet und das Vorgehen und Wissen in verschiedenen Workshops mit wissenschaftlichen Experten, den Betriebsleitenden der Testbetriebe sowie Interessensgruppen ausgetauscht. Die zwei Hauptziele dieser Studie sind:

1. Weiterentwicklung und Anpassung von Indikatoren für die Quantifizierung der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz (Feed-Food Competition) in der Schweizer Milchproduktion.
2. Überprüfung der praktischen Anwendbarkeit, Aussagekraft und Kommunizierbarkeit der entwickelten Indikatoren in Zusammenarbeit mit Praxisbetrieben sowie Entwicklung eines integrierten Bewertungskonzepts.

Im vorliegenden Bericht werden zuerst die Methoden und Datengrundlagen dargestellt, welche für beide Indikatoren gelten (Kapitel 2 und 3). Anschliessend wird die Berechnungsweise für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz (Kapitel 4) bzw. Flächenkonkurrenz (Kapitel 5) detailliert beschrieben. Es folgen die Ergebnisse für die untersuchten Praxisbetriebe (Kapitel 6), deren Interpretation (Kapitel 6.5), die Diskussion (Kapitel 7) und das Fazit (Kapitel 8).

## 2 Vorgehen zur Entwicklung der Methodik

Die Methodik der beiden Indikatoren basiert jeweils auf bestehenden Studien und wurde für dieses Projekt verfeinert und an die Gegebenheiten der Schweizer Milchproduktion angepasst (Flächenkonkurrenz: van Zanten *et al.* (2016), Nahrungsmittelkonkurrenz: Ertl *et al.* (2016a)). Sie wurde in der vorliegenden Studie auf verschiedenen Praxisbetrieben angewendet und im Austausch mit wissenschaftlichen Experten, Stakeholdern und den Betriebsleitenden in Form von Workshops konsolidiert.

### Forschungslücken und Anlehnung an existierende Methodik

Oltjen and Beckett (1996) stellten fest, dass der Einsatz von Nebenprodukten aus der Nahrungsmittelindustrie die Konkurrenz von Milchviehrationen zur menschlichen Ernährung reduziert. Wilkinson (2011) verfeinerte diese Analyse und ermittelte so die «human edible feed conversion efficiency» (heFCE). Ertl *et al.* (2015) ermittelten die heFCE für 36 Praxisbetriebe und empfahlen, die Proteinqualität nach DIAAS (FAO, 2013) in die Bewertung einfließen zu lassen. Steinwider *et al.* (2016) untersuchten zwei Schweizer Beispielrationen aus der Praxis und übersetzten den Begriff der heFCE in «Nahrungsmittel-Konversionseffizienz». Kneubühler (2017) schliesslich entwickelte ein excelbasiertes Tool, um für Praxisbetriebe verschiedene Effizienzparameter mit der heFCE vergleichen zu können. In der vorliegenden Arbeit wurde die Anwendbarkeit dieser Methoden auf Praxisbetrieben geprüft und weiterentwickelt.

Für die Methode zur Ermittlung eines Indikators zur Flächenkonkurrenz sind demgegenüber bis auf van Zanten *et al.* (2016) keine Studien bekannt. In Ökobilanzstudien wird oft der Flächenbedarf eines bestimmten Produkts berechnet und in einigen Untersuchungen wurde auch die benötigte Ackerfläche gesondert ausgewiesen. Beim Flächenbedarf bleibt allerdings die ackerbauliche Eignung ausser Betracht. Die Ackerfläche gibt zwar einen groben Anhaltspunkt über die Fläche, auf der Nahrungsmittel direkt produziert werden könnten, aber das Ertragspotenzial und die Ackerfähigkeit von Graslandflächen bleiben unberücksichtigt. So schneiden beispielsweise extensivere Systeme betreffend Flächenbedarf häufig schlechter ab, weil sie insgesamt mehr Fläche benötigen (Nemecek *et al.*, 2014). Um das Potenzial zur Nahrungsmittelproduktion aus Sicht der Ernährungssicherheit zu ermitteln, muss daher nicht nur die Fläche, sondern auch deren ackerbauliche Eignung betrachtet werden.

### Testen der Indikatoren auf Testbetrieben

Die entwickelten Indikatoren wurden anhand von Daten von Praxisbetrieben getestet. Geprüft wurden so die Methodik (Durchführbarkeit inkl. Datenerhebung) sowie die Aussagekraft der Ergebnisse und deren Verständlichkeit. Zum einen handelt es sich um Daten von 12 Betrieben mit unterschiedlichen Produktionssystemen, welche aus einem Vorprojekt zur Verfügung standen (Hofstetter *et al.*, 2014). Die Betriebe unterscheiden sich in Bezug auf die Fütterung (Kraffutter- bzw. Wiesenfutteranteil) und das Milchleistungsniveau. Zum anderen wurden auf 13 ausgewählten Praxisbetrieben mit unterschiedlichen Milchproduktionssystemen spezifisch für das vorliegende Projekt Daten erhoben. Die Auftraggeber schlugen diese Betriebe aufgrund der nachfolgenden Kriterien des Projektteams vor: Milchleistung (tiefer bzw. höher als 8'000 kg/Kuh und Jahr), Region (Westschweiz, Deutschschweiz), Zone (Berg-, Hügel- und Talbetriebe) sowie Ackerbau (Ja/Nein). Somit konnte eine breite Palette verschiedener Produktionssysteme und Regionen getestet werden. Das Projektteam besuchte die Praxisbetriebe einzeln (Periode Juli-September 2018) und entnahm die benötigten Daten, sofern vorhanden, den betrieblichen Aufzeichnungen. Ergänzende Angaben wurden direkt bei den Betriebsleitenden erfragt.

Die Standorte der untersuchten Betriebe können der *Abbildung 2* entnommen werden, Einzelheiten zu den untersuchten Betrieben der *Tabelle 1*. Aufgrund der geringen Anzahl stellen die untersuchten Betriebe keine repräsentative Stichprobe für die Schweizer Milchproduktionsbetriebe dar. Sie widerspiegeln aber häufig anzutreffende Verhältnisse.

Tabella 1: Übersicht über die analysierten Testbetriebe.

	Anzahl Testbetriebe
ÖLN/Bio	21/4
Talzone/Hügelzone/Bergzone	14/7/4
mit/ohne Ackerbau	14/11
Milchleistung über/unter 8'000 kg ECM/Kuh/a	14/11
Durchschnittliche Milchleistung kg ECM/Kuh/a	7'545 ( $\pm$ 1'598)
Krafftuttereinsatz, Mittelwert (kg TS/kg ECM)	0.108 ( $\pm$ 0.073)

### Validierung der Methode und der Testergebnisse

Die Methodik und die Ergebnisse der Testbetriebe wurden im Verlauf des Projektes mit ExpertInnen und betroffenen Stakeholdern diskutiert. Die Rückmeldungen aus diesen drei Workshops sind in den vorliegenden Bericht eingeflossen.

- Zum einen fand am 11. September 2018 ein *wissenschaftlicher Workshop* statt, an dem 10 projekt-externe ExpertInnen aus verschiedenen betroffenen Fachgebieten teilgenommen haben. Die Methodik wurde Schritt für Schritt präsentiert und kritisch diskutiert. Dabei ging es hauptsächlich um folgende Aspekte: Verwertbarkeit der eingesetzten Futtermittel für den Menschen, Einfluss von Mischungen von Futter- und Nahrungsmitteln auf die Proteinqualität (sogenanntes «protein blending»), Aggregation sowie Kommunikation der Indikatoren.
- Es folgte ein *Workshop mit den beteiligten Betriebsleitenden* am 30. Oktober 2018, wo die definitiven Ergebnisse vorgestellt wurden. Die Betriebsleitenden tauschten ihre Erfahrungen mit der Methodik aus und gaben Rückmeldungen zu Verständlichkeit und Akzeptanz der Indikatoren.
- Schliesslich fand am 20. November 2018 ein *Workshop mit unterschiedlichen Stakeholdern* statt, wo die Methodik und die Ergebnisse vorgestellt wurden. Ziel war es, betroffene Interessengruppen über das Projekt detailliert zu informieren und die Bedeutung der Methoden und Ergebnisse für die Milchbranche und die Anwendungsmöglichkeiten zu diskutieren.

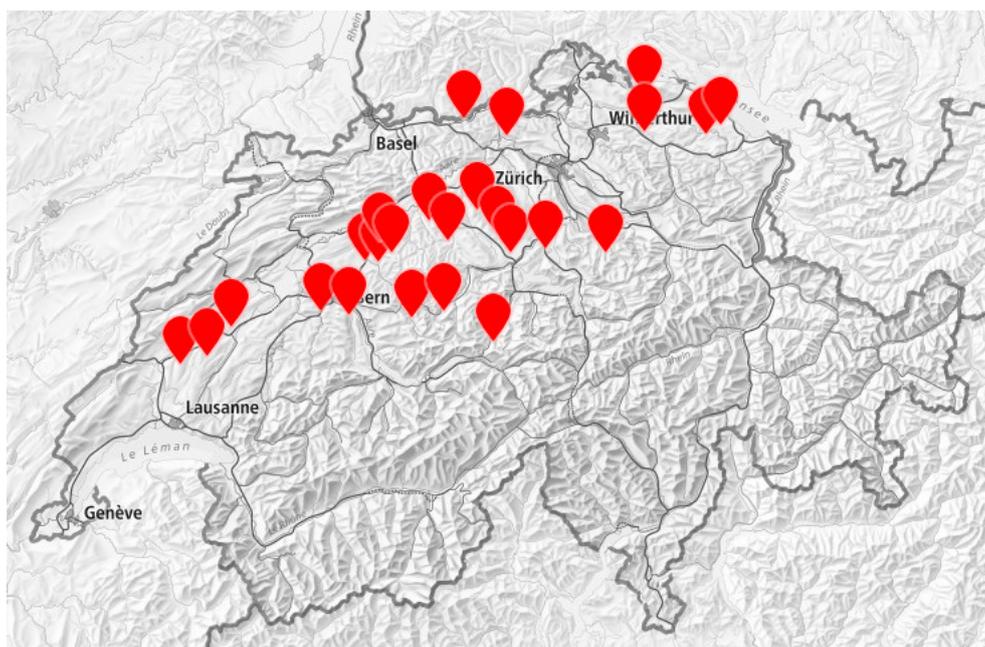


Abbildung 2: Standorte der untersuchten Betriebe.

### 3 Methodische Grundlagen der Indikatoren

Um eine Vergleichbarkeit beider Indikatoren sicherzustellen, wurden dieselben Daten und Annahmen zu den Systemgrundlagen verwendet. Für beide Indikatoren gelten entsprechend dieselben Systemgrenzen (*Abbildung 3*). Im Zentrum der Betrachtungen steht die Milchkuhherde inklusive der Tränker (Kälber bis zum Übertritt in die Aufzucht bzw. Mast). Um sowohl Betriebe mit, als auch solche ohne eigene Jungviehaufzucht (Remontierung) miteinander vergleichen zu können, wird ein betriebsspezifischer Remontierungsbedarf ermittelt und für die Remontierung eine Standardration verwendet. Anhand von Referenzerträgen der jeweiligen Kulturen wird der zur Produktion des Futters benötigte Flächenbedarf berechnet. Die vom System produzierten Nahrungsmittel sind Milch (abzüglich des Anteils für die Tränker, welche innerhalb der Systemgrenzen verwertet wird) sowie Fleisch der abgehenden Kühe und der Tränker.

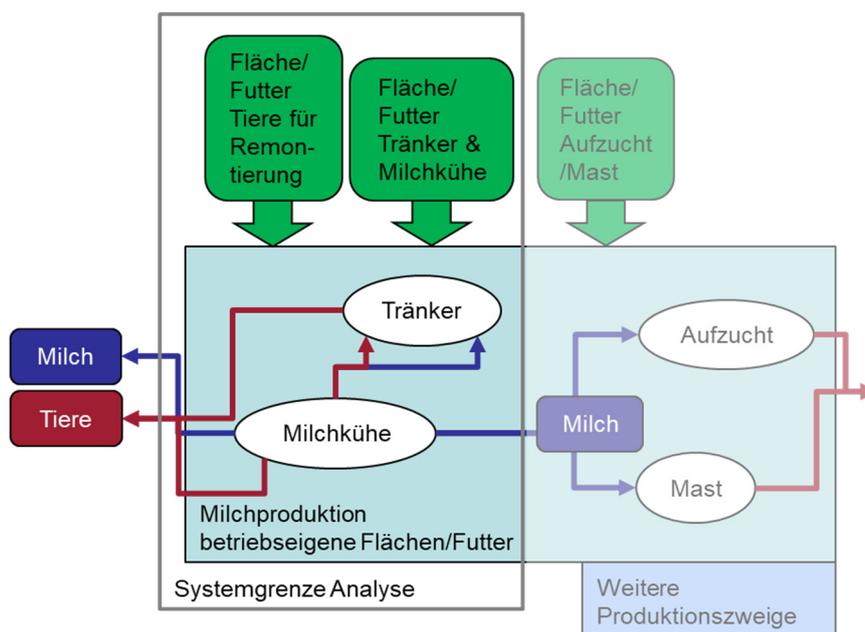


Abbildung 3: Schematische Darstellung des betrachteten Systems für die Analyse beider Indikatoren, in Blau die Milchflüsse und in Rot die Fleischflüsse, in Grün das zugeführte Futter bzw. die dafür benötigten Flächen.

#### 3.1 Erhebung & Plausibilisierung der Futtermittellieferung der Milchkühe

Da die verwendeten Futtermittel eine wichtige Grösse für die Berechnung des Indikators darstellen, ist es von zentraler Bedeutung, deren Mengen und Qualitäten (=Inhaltsstoffe) möglichst präzise zu erfassen. Dies stellt auf Praxisbetrieben eine Herausforderung dar. Zwar sind die Komponenten der Futtermittellieferung meist bekannt, allerdings variiert die Präzision der Angaben über Mengen und Qualitäten der verfütterten Anteile beträchtlich. Daten zu den Mengen zugeführter Grund- und Krafftuttermittel sind in der Regel verfügbar und können aus der Suisse-Bilanz entnommen werden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass diese Mengenangaben relativ genau sind. Bei auf dem Betrieb produzierten Futtermitteln (insbesondere Raufutter) sind die verfütterten bzw. geweideten Mengen hingegen meist weniger gut bekannt. Für die Berechnung des Indikators wird deshalb analog zum Vorgehen in der Suisse-Bilanz der Futterbedarf der Milchkühe (Basis TS und NEL) anhand des geschätzten Verzehrs der Tiere (AGRIDEA, 2013) berechnet und mit der erfassten Ration abgeglichen. In einer Energiebilanz wird die der Milchkuhherde zur Verfügung stehende Energiemenge mit dem Herdenbedarf (aufgrund der Leistung, Erhaltung, Bewegung und Trächtigkeit) verglichen und die Ration so plausibilisiert. Die Qualität (Energie- und Nährstoffzusammensetzung) der Futtermittel wird anhand der Werte der schweizerischen Futtermitteldatenbank (Agroscope, 2017) berücksichtigt. Als Krafftuttermittel wurden in der vorliegenden Arbeit Futtermittel mit einem Rohfasergehalt von weniger als 12% bezeichnet (Kneubühler, 2017).

### 3.2 Flächenerfassung

Sämtliche Betriebsflächen und die entsprechenden Felderträge stammten aus der Suisse-Bilanz. Die Felderträge wurden den auf dem Betrieb gehaltenen Tierkategorien zugewiesen und daraus die für die Milchkühe benötigten Betriebsflächen ermittelt. Anhand der Flächenkategorien wurde definiert, ob es sich um Dauerwiesen oder Ackerflächen handelte, wobei Kunstwiesen zur Ackerfläche gehören. Der Flächenbedarf von zugeführten Futtermitteln ergab sich aus den Referenzerträgen (siehe 5.1.2).

### 3.3 Remontierung und Tierbilanz

Der Futter- bzw. Flächenbedarf der Remontierung (Ersatz der Milchkühe) wurde mit einer standardisierten Berechnungsweise ermittelt, da die Datenerhebung aufgrund der Vielzahl an Aufzuchtssystemen und der unpräzisen betrieblichen Aufzeichnungen erheblich erschwert ist. Rechnerisch verliessen alle Kälber nach der Tränkephase das System, da sich dann in der Regel die Fütterung von Mast- bzw. Aufzuchtstieren zu unterscheiden beginnt. Somit wurden alle Tränker als Fleischoutput erfasst (*Abbildung 3*). Anschliessend wurden anhand des betrieblichen Remontierungsbedarfs die Futtermittel für die Jungviehaufzucht erfasst. Dazu wurde eine Standardration für Tränker und Aufzuchtstiere basierend auf (Agroscope, 2015) verwendet (*Anhang D*), unabhängig davon, ob die Aufzucht physisch auf dem Betrieb stattfand oder nicht. Der Remontierungsbedarf ergab sich aus der durchschnittlichen Anzahl erstlaktierender Milchkühe. Dieser entspricht dem jährlichen Bedarf an Aufzuchtstieren des Betriebes, sofern keine Nutz- bzw. Zuchtkühe verkauft werden. Verkauft ein Betrieb Kühe zur weiteren Nutzung, wurde die Anzahl Erstlaktierender nach unten korrigiert, bei Zukäufen entsprechend nach oben. Der jährliche Remontierungsbedarf definiert gleichzeitig die Anzahl jährlich abgehender Schlachtkühe.

### 3.4 Berechnung der Indikatoren

Aufgrund des beschriebenen Vorgehens kann je ein Indikator für die Nahrungsmittel- und die Flächenkonkurrenz, jeweils auf Stufe Energie und Protein, berechnet werden. Entsprechend der Ausgangsliteratur wurden Energie und Protein als zwei zentrale Nährwerte gewählt, zu welchen die Milchproduktion für die menschliche Ernährung einen grossen Beitrag leisten kann. Die Indikatoren stellen jeweils den Quotienten zwischen dem Nährwert in den Futtermitteln/in der pflanzlichen Produktion und dem Nährwert in Milch und Fleisch der Milchproduktion dar (*Formel 1*). Ein Wert des Quotienten >1 bedeutet, dass dem jeweiligen System mehr für den Menschen direkt verwertbare Nährstoffe zugeführt werden, als mit dem System produziert werden können.

*Formel 1: Ermittlung der Nahrungsmittel- bzw. Flächenkonkurrenz in Milchproduktionssystemen*

$$\text{Indikatorwerte} = \frac{\text{Menschlich verwertbare Futtermittel/pflanzliches Produktionspotenzial (Protein bzw. Energie)}}{\text{Milch und Fleisch als Erzeugnisse (Protein bzw. Energie)}}$$

In der Originalliteratur (Ertl *et al.*, 2016a; van Zanten *et al.*, 2016) wurden die Indikatoren als Output/Input berechnet. Dies führte in der vorliegenden Studie teilweise zu sehr hohen Werten, im Extremfall gar zu einer Division durch Null. Zwecks besserer Darstellung und einfacherer Interpretation wurde hier daher der Kehrwert (Input/Output) verwendet, wie in *Formel 1* dargestellt.

Die Milch und das Fleisch werden zusammen als Produkte für die menschliche Ernährung betrachtet (vgl. Systemgrenze, *Abbildung 3*), auch wenn z.B. die Tränker nicht tatsächlich als Fleisch verwertet werden. Die Milch wurde gemäss Jans *et al.* (2015) als energiekorrigierte Milch (ECM) mit 4.0% Fett, 3.2% Eiweiss und 4.8% Laktose aufgrund der betriebsindividuellen Protein- und Fettgehalte standardisiert (*Formel 2*).

Formel 2: Umrechnung von Milch in energiekorrigierte Milch (ECM) nach Jans *et al.* (2015)

$$(0.038 * \text{Rohfettgehalt [g/kg Milch]} + 0.024 * \text{Rohproteingehalt [g/kg Milch]} + 0.017 * \text{Laktosegehalt [g/kg Milch]}) / 3.14 * \text{Milchmenge [kg]} = \text{Milchmenge in ECM [kg]}$$

Nach Jans *et al.* (2015) und USDA (2018) wurde als Proteingehalt für Milch, Rindfleisch und Kalbfleisch jeweils 0.032, 0.19 und 0.17 kg/kg angenommen, und als Energiegehalt 750, 2909 und 1438 kcal/kg. Die Ausbeute beim Fleisch wurde je nach Indikator gemäss 4.2 bzw. 5.3 berücksichtigt.

### 3.5 Proteinqualität

Tierische Proteinquellen weisen in der Regel eine höhere Proteinqualität auf als pflanzliche. Zur Bewertung der Proteinqualität in der Humanernährung können unterschiedliche Methoden angewandt werden. Die Proteinqualität wurde mittels der Methode **Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS)** bewertet. Dies gilt sowohl für die Outputs aus der Milchproduktion (Milch und Fleisch), als auch für die betrachteten Futtermittel und pflanzlichen Produkte. Die Methode DIAAS entspricht der aktuellen Empfehlung der FAO und der WHO und berücksichtigt sowohl die Aminosäuren-Zusammensetzung als auch deren Verdaulichkeit. Der Vorgänger der DIAAS-Methode, der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) wurde 1989 von der FAO und der WHO als Mass der Proteinqualität empfohlen und 2013 vom DIAAS abgelöst (FAO, 2013). DIAAS erlaubt im Gegensatz zum PDCAAS Werte über 1 für hochwertige Proteinquellen und berücksichtigt Faktoren, welche die Verdaulichkeit des Proteins beeinträchtigen, wie z.B. Phytinsäure. Daneben wird die Verdaulichkeit der Aminosäuren im Dünndarm statt des Proteins (im Kot) herangezogen. Leider gibt es nur für wenige Nahrungsmittel Literaturangaben zu DIAAS-Werten, weshalb teils auf PDCAAS Werte, oder auf DIAAS Werte von ähnlichen Produkten als Ersatz zurückgegriffen werden musste. Für Milch und Rindfleisch wurden die DIAAS-Werte von Ertl *et al.* (2016a) verwendet (1.159 bzw. 1.116).

In dieser Arbeit wurden die Proteinquellen einzeln bewertet. Die Proteinqualität der Ration bzw. des pflanzlichen Produktionspotentials ergab sich aus dem Mittelwert aller Einzelwerte der Futtermittel. Nach dem gleichen Schema wurde für die Milch- und Fleischproduktion vorgegangen. Somit wird eine mögliche Erhöhung der Proteinqualität durch die Kombination verschiedener Proteinquellen («blending effect») nicht berücksichtigt (siehe mehr dazu in 4.3).

## 4 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz

Es kann davon ausgegangen werden, dass nur ein Teil des Futters, welches der Milchviehherde verfüttert wird, in der menschlichen Ernährung Verwendung fände. Deshalb werden im Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz die potenziell menschlich verwertbaren Mengen an Protein bzw. Energie im Futter den erzeugten Mengen (Protein und Energie) in Milch und Fleisch gegenübergestellt (*Formel 3*).

*Formel 3: Ermittlung der Nahrungsmittelkonkurrenz in Milchproduktionssystemen*

$$\text{Nahrungsmittelkonkurrenz} = \frac{\text{Menschlich verwertbare Futtermittel (Protein bzw. Energie)}}{\text{Milch und Fleisch als Erzeugnisse (Protein bzw. Energie)}}$$

Dies geschieht in Anlehnung an die Methoden zur Ermittlung der «Lebensmittel-Konversionseffizienz» (Steinwider *et al.*, 2016) wie sie von Ertl *et al.* (2016a) und vorher Wilkinson (2011) als «human edible feed conversion efficiency» (heFCE) vorgeschlagen wurden<sup>1</sup>. Ebenso wird eine Korrektur für die unterschiedliche Proteinqualität von Futtermitteln und Erzeugnissen vorgenommen. Dazu wird jedem Futtermittel ein DIAAS-Wert zugeordnet. Für den menschlich verwertbaren Anteil der Gesamtration (Kühe inkl. Remontierung) wird das (nach Futterkomponenten) gewichtete Mittel der Proteinqualität, ausgedrückt in einem DIAAS-Wert, ermittelt. Analog dazu wird die (nach Masse) gewichtete Proteinqualität der Erzeugnisse berechnet. Der Quotient aus der Proteinqualität des Futters sowie der Proteinqualität der Erzeugnisse wird sodann mit dem Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz multipliziert, um den nach Proteinqualität korrigierten Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz zu ermitteln (*Formel 4*).

*Formel 4: Ermittlung der Nahrungsmittelkonkurrenz in Milchproduktionssystemen korrigiert nach der Proteinqualität von Futtermitteln und Erzeugnissen (Milch und Fleisch).*

$$\text{Nahrungsmittelkonkurrenz korrigiert nach Proteinqualität} = \text{Nahrungsmittelkonkurrenz} \times \frac{\text{Proteinqualität menschlich verwertbares Futter}}{\text{Proteinqualität Erzeugnisse (Milch und Fleisch)}}$$

### 4.1 Verwertbarkeitsszenario

Der verwertbare Anteil eines Futtermittels ist keine feste Grösse, sondern hängt unmittelbar von den ökonomischen und technologischen Rahmenbedingungen sowie den gesellschaftlichen Ernährungsgewohnheiten ab. Um die aktuelle Situation in der Milchviehfütterung abzubilden, wurde vom Szenario «Current» ausgegangen, wie es bei Ertl *et al.* (2016a) beschrieben wurde. In diesem Szenario wird von den bestehenden Ernährungsgewohnheiten und technologischen Verfahren in der Aufbereitung von Rohstoffen für die menschliche Ernährung ausgegangen. Auch wird das aktuelle Preisniveau von Nahrungs- und Futtermitteln vorausgesetzt. In den Publikationen, welche als Grundlage der Arbeiten von Ertl *et al.* dienen (Klocker, 2014; Schönauer, 2016) wurde darauf hingewiesen, dass es eine gewisse Spannbreite bei der Verwertbarkeit gibt. Im Szenario «Current» sind die Werte im unteren Bereich angesiedelt, im Szenario «Potential» bzw. «Max» am oberen Ende. «Potential» bezeichnet somit die maximal mögliche menschliche Verwertbarkeit von Futtermitteln, wenn alle heute verfügbaren Verfahren zur Nahrungsmittelaufbereitung genutzt würden und sich die Ernährungsgewohnheiten ändern würden (z.B. erhöhter Konsum von Vollkornnahrungsmitteln, *Tabelle 5*).

Jedem Futtermittel in der schweizerischen Futtermitteldatenbank wurde ein Wert für den «verwertbaren Anteil in der Humanernährung» (vAH) zugeordnet. Für das Szenario «Current» trug Kneubühler (2017) basierend auf Ertl *et al.* (2016a) diese Werte zusammen. Für das Szenario «Potential» wurde daneben auf

<sup>1</sup> Hier wird der Quotient verwendet, wie er von Wilkinson (2011) vorgeschlagen wurde.

Arbeiten von Klocker (2014), Schönauer (2016) und Laisse *et al.* (2018) abgestützt und es wurden eigene Berechnungen angestellt. Eine Gegenüberstellung der vAH-Werte für die beiden Szenarien ist für wichtige Futtermittel aus *Tabelle 5* ersichtlich. Weitere vAH-Werte sind in *Anhang E* dargestellt.

In der Schweiz setzen viele Betriebe nebst dem betriebseigenen Rau- oder Saffutter auf Mischfuttermittel aus dem Handel zur Ausgleichs- oder Leistungsfütterung. Die vAH-Werte der Mischfuttermittel konnten aufgrund der sich stetig ändernden Rezepte und der Vielzahl an Produkten auf dem Markt nicht betriebsindividuell erhoben werden. Kneubühler (2017) erfragte in einer Umfrage bei diversen Anbietern die Rohstoffzusammensetzung von Mischfuttermitteln und ermittelte daraus eine durchschnittliche Zusammensetzung der entsprechenden Mischfutterkategorien. Da in der Schweiz einige Futtermöhlen gezielt sojafreie Mischfuttermittel anbieten und diese in der Praxis teils Verwendung finden, wurde auch ein Porteinausgleichsfutter ohne Sojakomponenten berechnet. Aufgrund der mittleren Zusammensetzung konnten die durchschnittlichen Gehalte sowie die Werte für vAH und die Proteinqualität in DIAAS ermittelt werden (*Tabelle 2*). Da Mischfuttermittel zu einem erheblichen Anteil aus Ackerfrüchten bestehen, liegt der vAH naturgemäss meist höher als in Raufuttermitteln.

*Tabelle 2 : Gehalte, verwertbare Anteile in der Humanernährung (vAH) und Proteinqualität (DIAAS Wert) der Mischfuttermittel, welche den Berechnungen zu Grunde liegen.*

Futtermittel	Rohprotein (g/kg FS)	Netto-Energie Laktation (NEL) (MJ/kg FS)	vAH (%) Protein	vAH (%) Energie	DIAAS Wert
Proteinkonzentrat	430	6.7	36	21	83.8
Proteinkonzentrat sojafrei	441	7.5	13	8	57.3
Energieausgleichsfutter	108	7.4	46	46	45.1
Leistungsfutter	185	7.3	41	38	47.1
Proteinbetontes Leistungsfutter	243	7.2	36	32	59.3
Aufzuchtfutter	177	7.3	36	34	56.0

Die verfütterte Menge eines jeden Futtermittels in der Ration der Milchviehherde (inkl. Aufzucht) multipliziert mit den jeweiligen vAH-Werten ergab die Menge an Protein bzw. Energie, welche für die Milchviehherde eingesetzt wurde, die aber auch direkt in der menschlichen Ernährung eingesetzt werden könnte.

## 4.2 Verwertbarkeit von Milch und Fleisch

Die verwertbaren Anteile wurden, basierend auf Kneubühler (2017) auch für die Erzeugnisse aus der Milchproduktion (Milch und Fleisch) festgelegt (*Tabelle 3*). Milch, die aufgrund von hygienischen oder medizinischen Einschränkungen nicht genusstauglich war, galt als nicht menschlich verwertbar. Die entsprechenden Mengen wurden betriebspezifisch erhoben.

*Tabelle 3 : Verwertbare Anteile in der Humanernährung (vAH) sowie Gehalte in Milch und Fleisch als Erzeugnisse (Outputs). Schlachtausbeute = Anteil des Schlachtkörpers am Lebendgewicht; Fleischausbeute = Anteil verzehrbare Fleisch am Schlachtkörper. FS = Frischsubstanz.*

	Milch	Kälber	Schlachtkühe
Schlachtausbeute %	-	58	45
Fleischausbeute %	-	70	67
Rohprotein (g/kg FS)	32	193.5	173.2
Energie (MJ/kg FS)	3.14	6.02	12.18

Auch Molke, welche als Futtermittel, als Rohstoff für Pflegeprodukte oder zur energetischen Nutzung verwendet wird, gilt als nicht verwertbar. Basierend auf Kopf-Bolanz *et al.* (2015) wurden für die gesamte schweizerische Milchbranche die Rohprotein- und Energiemengen ermittelt, welche nicht zu Nahrungsmitteln verarbeitet werden (*Tabelle 4*).

*Tabelle 4: Verwertbarkeit der Milch basierend auf (Kopf-Bolanz et al., 2015). Die Zahlen geben den Durchschnitt der gesamten Schweizer Milchproduktion des Jahres 2013 wieder. FS= Frischsubstanz, TS=Trockensubstanz.*

	FS	TS	Rohprotein	Energie
Gehalt der Vollmilch	100 %	13%	244 g/kg TS	24.09 MJ/kg TS
Jährliche Milchproduktion	3'400'000 t	442'000 t	107'848 t	10'647'780 GJ
Gehalt der Molke	100 %	6 %	129 g/kg TS	16.14 MJ/kg TS
Jährlicher Molkeanfall	1'300'000 t	78'000 t	10'062 t	1'258'920 GJ
Nicht verwertete Molke	76 %	59'280 t	7'647 t	956'779 GJ
<b>Verwertbarer Anteil der Milch</b>		<b>382'720 t</b>	<b>0.93</b>	<b>0.91</b>

### 4.3 Vorgehen für die Sensitivitätsanalysen

Um die Wirkung der Korrektur für Proteinqualität und des Verwertungsszenarios auf den Indikator zur Nahrungsmittelkonkurrenz darzustellen, werden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Ergebnisse finden sich in 6.2.

#### 4.3.1 Sensitivitätsanalyse A: Ohne Berücksichtigung der Proteinqualität

Ob die Proteinqualität in die Betrachtungen über die Nahrungsmittelkonkurrenz integriert werden soll oder nicht, ist umstritten. Einerseits hängt die Bewertung der Proteinqualität von der Zusammensetzung der Proteinquellen und deren Aminosäurenmuster ab. Andererseits wurde die DIAAS-Methode für einzelne Nahrungs- und Futtermittel angewendet, was Mischungseffekte unterschiedlicher Proteinquellen ausser Acht lässt. Durch die Kombination unterschiedlicher Proteinquellen kann jedoch das Aminosäurenmuster der Ration dem menschlichen Bedarf besser angepasst werden (siehe mehr dazu 3.5). Day (2013) hat beispielhaft für die PDCAAS-Methode dargestellt, wie sich verschiedene Proteinquellen ergänzen. Weizen hat einen Wert von 0.42, Erbsen 0.73; die Mischung von Weizen und Erbsen aber einen deutlich höheren PDCAAS-Wert von 0.82. Noch grösser ist der Effekt bei einer Mischung von Reis (Wert 0.47) und Erbsen: die Mischung erreicht sogar einen PDCAAS-Wert von 1.00. Diese ausgleichende Wirkung kann mit der in diesem Projekt verwendeten Methode jedoch nicht abgebildet werden. In der Sensitivitätsanalyse A werden deshalb die Indikatoren unter Berücksichtigung der Proteinqualität den Werten ohne Berücksichtigung der Proteinqualität gegenübergestellt und so die Bedeutung der hier verwendeten Methode für die Berechnung der Indikatoren ermittelt.

#### 4.3.2 Sensitivitätsanalyse B: Verwertbarkeitsszenario «Potential»

Die Verwertbarkeit (d.h. die mögliche Verwendung in der menschlichen Ernährung) ist keine feste Grösse, sondern von einer Vielzahl von Parametern abhängig und daher mit Unsicherheiten behaftet. Um den Einfluss des Verwertungsszenarios zu prüfen, wird dem Szenario «Current» in einer Sensitivitätsanalyse das Szenario «Potential» gegenübergestellt (*Tabelle 5*).

Tabelle 5 : Verwertbare Anteile in der Humanernährung (vAH) für die beiden Szenarien «Current» und «Potential» (basierend auf den Arbeiten von Ertl et al. (2016a), Klockner (2014), Laisse et al. (2018), Schönauer (2016)).  
<sup>1</sup>essbares Fleisch bezogen auf das Lebendgewicht

	vAH Protein «Current»	vAH Energie «Current»	vAH Protein «Potential»	vAH Energie «Potential»
Wiesenfutter	0	0	0	0
Weizen	0.60	0.60	1.0	1.0
Sojaextraktionsschrot	0.50	0.30	0.92	0.56
Sojakuchen	0.50	0.42	0.92	0.65
Kartoffeln	0	0	1.0	1.0
Maissilage	0.19	0.19	0.45	0.45
Mais Körner	0.70	0.70	0.90	0.90
Rapsextraktionsschrot	0.30	0.14	0.87	0.39
Erbsen	0.50	0.42	0.90	0.90
Sonnenblumenextraktionsschrot	0.14	0.05	0.46	0.18
Pflanzenfett & -öle	0	0	1.0	1.0
Milch	0.91	0.93	1.0	1.0
Fleisch (Kalb) <sup>1</sup>	0.41	0.41	0.59	0.66
Fleisch (Schlachtkuh) <sup>1</sup>	0.30	0.30	0.61	0.61

## 5 Indikator Flächenkonkurrenz

Die vorgeschlagene Methode baut auf der Studie von van Zanten *et al.* (2016) auf. Sie wird mit dem Ziel der Bewertung der Flächenkonkurrenz in der Schweizer Milchproduktion auf Betriebsebene angepasst. Die Berechnung des Indikators erfolgt in vier Schritten:

1. Fläche für die Milchproduktion (Anbau der Futtermittel) bestimmen,
2. Ackerfähigkeit dieser Fläche bewerten,
3. Pflanzliches Produktionspotenzial dieser Fläche abschätzen.
4. Pflanzliches Produktionspotenzial der tierischen Produktion gegenüberstellen.

### 5.1 Schritt 1: Bestimmung der landwirtschaftlichen Fläche zur Milchproduktion

Die landwirtschaftliche Fläche, welche für die Milchproduktion auf einem bestimmten Betrieb nötig ist, setzt sich zusammen aus betriebseigenen Flächen für die Milchproduktion (siehe 5.1.1) und aus betriebsexternen Flächen für die Produktion von zugeführtem Futter, Tieren (siehe 5.1.2) und Saatgut (siehe 5.1.3). Nichtlandwirtschaftliche Flächen (Gebäude, Verkehrsflächen, Wald, etc.) werden nicht berücksichtigt, da sie nicht der Nahrungsmittelproduktion dienen.

#### 5.1.1 Betriebseigene Fläche

Zuerst wird die betriebseigene Fläche für die Milchproduktion abgegrenzt. Die Flächen und die betriebseigenen Futtermittel werden wie in 3.1 und 3.2 beschrieben und entsprechend den gesetzten Systemgrenzen (siehe *Abbildung 3*) erhoben. Betriebseigene Flächen, von denen das Futter für Aufzucht, Mast oder übrige Tiere stammt, werden ausgeschieden. Auch Flächen für weitere Produktionszweige, die keine Futtermittel für die Milchproduktion auf dem Betrieb bereitstellen (z.B. Hecken, Brotweizen), bleiben ausser Betracht. Die Betriebsfläche wird ertragsgewichtet in die verschiedenen Kategorien der Nutzungseignung eingeteilt (siehe 5.2)

Die verwendeten Mengen an Saatgut wurden nicht erhoben. Um diesen abzuschätzen, werden die Flächen für die Milchproduktion mit einem Zuschlag - je nach angebaute Kultur - multipliziert (siehe Liste im *Anhang A*).

#### 5.1.2 Berechnung der Flächen für zugeführte Futtermittel und Remontierung

##### Zugeführte Futtermittel

Als Grundlage zur Berechnung dieser Fläche dient die detaillierte Futterration für die Milchkühe (siehe 3.1). Für die zugeführten Futtermittel wird der Flächenbedarf anhand von Durchschnittserträgen abgeschätzt. Vier Arten von Futtermitteln werden unterschieden, für welche die Berechnung des Flächenbedarfs jeweils unterschiedlich erfolgt:

1. **Unverarbeitete pflanzliche Futtermittel, ohne Koppelprodukte:** *Futtermittel, welche die gesamte Ernte einer bestimmten Fläche ausmachen, d.h. es gibt nur ein Produkt.*  
Für diese Futtermittel wird der Flächenbedarf anhand des Kehrwerts des Flächenertrags ermittelt. Als Durchschnittserträge dienen die Angaben von (Kneubühler, 2017). Für die Schweiz wurden dabei Standarderträge aus GRUD 2017 (Richner *et al.*, 2017) verwendet. Für importierte Futtermitteln wurden in Kneubühler (2017) mengengewichtete Durchschnittserträge aus den länderspezifischen Erträgen für das Jahr 2014 hinterlegt.
2. **Pflanzliche Futtermittel, Koppelprodukt:** *Futtermittel, welche von einer Fläche stammen, auf welcher gleichzeitig noch ein oder mehrere andere Produkte entstehen (z.B. Sojaöl und Sojaextraktionsschrot).*  
Für diese Futtermittel muss die verwendete Fläche zwischen den Koppelprodukten aufgeteilt werden (Allokation). Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten: Die Aufteilung kann aufgrund von physischen Eigenschaften (z.B. Masse, Energiegehalt, etc.) oder aufgrund der Preise der Produkte erfolgen. Hier

wurde eine physische Allokation nach NEL- und Rohproteingehalt des Futtermittels angewendet, weil diese aussagekräftig im Hinblick auf die Verwendung der Futtermittel in der Milchproduktion ist. Zudem ist sie – im Gegensatz zu den Preisen – robuster und kaum zeitlichen oder räumlichen Schwankungen unterworfen. Die Gewichtung der beiden Kriterien NEL- und Rohproteingehalt wurde anhand der Fütterungsempfehlungen für Milchkühe (3.14 MJ NEL/kg ECM und 62.8 g Rohprotein/kg ECM, nach Jans *et al.*, 2015) vorgenommen.

**3. Verarbeitete oder zusammengesetzte Futtermittel:** *lassen sich nicht direkt aus einem Ertrag und aus Erträgen von Koppelprodukten ableiten (z.B. Kraftfutter, Milchpulver, Teigwaren, etc.)*

Der Flächenbedarf für verarbeitete Futtermittel wird aus Ökoinventar-Datenbanken wie ecoinvent (ecoinvent Centre, 2016) oder SALCA entnommen. Die Allokation erfolgt wie in den Datenbanken hinterlegt und damit anders als bei den pflanzlichen Futtermitteln aufgrund von ökonomischen Kriterien. Die Erstellung neuer Faktoren für solche Futtermittel anhand der im oberen Abschnitt genannten Allokation wäre zu aufwändig (z.B. für Milch). Die durchschnittliche Zusammensetzung der verschiedenen Kraftfuttermittel wurde aufgrund der Recherchen von Kneubühler (2017) modelliert (*Tabelle 2*).

**4. Futtermittel aus industrieller Produktion:** Landwirtschaftlicher Flächenbedarf gleich 0 (z.B. Harnstoff, Chemikalien, Mineralstoffe).

Auf diese Weise wurde der Flächenbedarf für alle Futtermittel, welche in der Futtermitteldatenbank (Agroscope, 2017) aufgeführt sind, ermittelt.

**Remontierung von Milchkühen**

Die Remontierung von Tieren wird wie in 3.3 beschrieben berechnet. Die Fläche, die für jedes kg Lebendgewicht dem Betrieb zugeschrieben wird, wurde der SALCA-Datenbank entnommen (siehe mehr dazu in 5.2.2 und *Tabelle 6*). Diese Ökoinventare berücksichtigen den gesamten Flächenbedarf auf dem Betrieb und betriebsextern aus den Vorketten gemäss dem Lebenszyklusansatz.

*Tabelle 6 : Angenommener Flächenbedarf für die Remontierung, aus der SALCA-Datenbank, für IP- und Bio-Produktion. LG = Lebendgewicht.*

Landkategorie	IP, Kalb, pro kg LG		Bio, Kalb, pro kg LG	
	m <sup>2</sup> *Jahr	Anteil	m <sup>2</sup> *Jahr	Anteil
Ackerland	2.33	10%	1.96	7%
Grasland, intensiv	17.28	75%	7.47	27%
Grasland, extensiv	3.50	15%	18.58	66%
TOTAL	23.11	100%	28.01	100%

**5.1.3 Fläche für Saatgutproduktion und Erträge bei Bio-Produktion**

Wie die Betriebsfläche wird auch der Flächenbedarf für die zugeführten Futtermittel und zugeführten Tiere an die Bio-Produktion angepasst, falls es sich um einen Bio-Betrieb handelt. Mit dem Bio-Anbaustandard wird in der Regel ein niedrigerer Ertrag erreicht, als mit konventioneller Landwirtschaft (AGRIDEA, 2012). Daraus resultiert ein höherer Flächenbedarf für Bio-Futtermittel. Für pflanzliche Futtermittel wird anhand des Deckungsbeitragskatalogs 2012 (AGRIDEA, 2012) für verschiedene Kulturen die prozentuale Differenz zwischen dem Ertrag für integrierte Produktion (IP) und Bio ermittelt. Diese Faktoren werden verwendet, um bei Bio-Futtermitteln einen Zuschlag für den Flächenbedarf zu berechnen (Liste im *Anhang A*).

Für Futtermittel tierischer Herkunft wird – wo vorhanden – ein Datensatz für Bio-Produktion verwendet, statt für IP. Dasselbe gilt für die zugeführten Tiere, wo statt dem IP- der Bio-Datensatz verwendet wird (siehe *Tabelle 6*).

Für den Anbau von Futtermitteln wird Saatgut verwendet, welches ebenfalls landwirtschaftliche Fläche belegt. Um einen Ökobilanz-Ansatz zu verfolgen, wird diese Fläche anhand der Formel in Nemecek *et al.* (2001)

auch berücksichtigt. Diese schliesst ein, dass für die Saatgutproduktion auch Saatgut benötigt wurde und dies eine «unendliche» Kette bildet (geometrische Reihe). Dazu wird berücksichtigt, dass die Erträge in der Saatgutproduktion teilweise erheblich tiefer liegen (Saatgutsproduktions-effizienz<sup>2</sup> z.B. für Zuckerrüben 0.04), es bei anderen Kulturen hingegen kaum Unterschiede gibt (z.B. Getreide). Die Angaben für das benötigte Saatgut stammen aus AGRIDEA (2012) und KTBL (2005) (siehe Liste *Anhang A*).

## 5.2 Schritt 2: Bestimmung der Ackerfähigkeit dieser Fläche

In Schritt 2 wird die Eignung der genutzten Flächen für den Ackerbau und deren pflanzliches Ertragspotenzial bestimmt. Dabei werden die Bodeneigenschaften (inkl. Topographie) und das Klima berücksichtigt. Dazu wird die genutzte Fläche in die folgenden Kategorien eingeordnet:

- Bodeneignung: «gut», «mittel», «ungeeignet»
- Klimaeignung: «warm», «kühl», «ungeeignet»

### 5.2.1 Bestimmung der Ackerfähigkeit der Betriebsfläche

Die Bodeneignung der Betriebsflächen wird anhand der Kriterien der Ertragswertschätzung und der Kriterien für Fruchtfolgeflächen von den Betriebsleitenden eingeschätzt (*Tabelle 7*). Es besteht die Möglichkeit, die Betriebsfläche in mehrere Abschnitte zu trennen und separat zu bewerten. Die jeweils tiefste Bewertung bestimmt das Ergebnis: Um beispielsweise eine Einschätzung als «gut» zu erhalten, müssen alle Werte einer Fläche diesen Kriterien entsprechen, umgekehrt reicht ein Kriterium in der Kategorie «ungeeignet» um die gesamte Fläche in diese Kategorie einzuordnen. Die gemäss Flächenbewertung auf dem Betrieb ackerbaulich nutzbare Fläche kann nicht kleiner sein, als die bereits für die Milchproduktion verwendete Ackerfläche gemäss Flächendeklaration des Betriebes (inkl. Kunstwiesen).

*Tabelle 7: Kriterien zur Einschätzung der Boden-bezogenen Ackerfähigkeit, abgeleitet aus der Ertragswertschätzung (BLW, 2018), Werte mit \* angepasst aus Fruchtfolgekriterien Kanton Zürich (2014)*

Kriterien/Einschätzung	Gut	Mittel	Ungeeignet
Gründigkeit	>50 cm	30-50 cm	<30 cm
Wasserdurchlässigkeit	normal	Häufig vernässt	Stark vernässt
Tongehalt Oberboden	10-40%	0-10%, 40-60%	>60%
Humusgehalt	2-10%	0-2%, 10-30%	>30%
Steinigkei	<20%	20-40%	>40%
Hangneigung	<18%*	18-25%*	>25%*

Kann die Bodeneignung nicht auf dem Betrieb eingeschätzt werden, so wird diese anhand der Schweizer Bodeneignungskarte abgeschätzt (BLW (2000), siehe *Anhang B*). In der vorliegenden Arbeit wurde dies für die Pilotbetriebe aus dem vorigen Projekt (Hofstetter *et al.*, 2014) so gehandhabt. Mangels aktualisierter und detaillierter Bodenkarten musste auf diese Bodenkarte mit geringer Auflösung (nur im Massstab 1:200'000 verfügbar) zurückgegriffen werden, die teilweise auch nicht mehr aktuell ist. Die Kategorien der Bodeneignungskarte «sehr gut» und «gut» werden zur Bodeneignung «gut» zusammengefasst, die Kategorien «mäsig» und «eingeschränkt» zu «mittel» und «ungeeignet» wird entsprechend als «ungeeignet» eingeteilt.

Als zweite Komponente wird die Klimaeignung betrachtet. Dazu werden die Klimaeignungskarten für Körnermais und Winterweizen von Holzkämper *et al.* (2015) herangezogen, und nach Gemeinde analysiert. Für jede Gemeinde wurden drei Flächenanteile der gesamten LN bestimmt: Anteil «warme Klimaregion», Anteil «kühle Klimaregion», sowie Anteil «klimabedingt nicht geeignet für Ackerbau».

Die allgemeine Klimaeignung für Ackerbau wird anhand der Klimaeignungskarte für Winterweizen abgeschätzt. Die Körnermais-Eignungskarte wird hingegen für die Abgrenzung einer wärmeren Klimaregion herangezogen, bei welcher ein Anbau von wärmebedürftigen Pflanzen wie Körnermais und Soja möglich sind.

<sup>2</sup> Verhältnis des Ertrags aus der Saatgutproduktion zum Ertrag der kommerziellen Produktion.

Die verwendeten Karten haben eine kontinuierliche Skala und zeigen einen geschätzten Ertrag, ausgehend von einem Maximalertrag von jeweils 85 dt/ha für Winterweizen und 140 dt/ha für Körnermais. Um den Annahmen in 5.3.2 zu entsprechen, wurden die Klimaregionen wie folgt abgegrenzt:

- Ertrag  $\geq 70$  dt/ha für Körnermais → Klimaregion "warm"
- Ertrag  $\geq 34$  dt/ha für Winterweizen → Klimaregion "kühl".

Diese Regionen schliessen aber auch noch unterschiedliche Eignungsklassen für Bodeneignung und somit unterschiedliche Ertragswerte mit ein (siehe 5.3.2).

### 5.2.2 Bestimmung der Ackerfähigkeit der zugeführten Fläche für Futtermittel und Remontierung

Futtermittel aus Produkten, die in der Regel auf Ackerfläche wachsen, werden als ackerfähig in der Kategorie Klima «warm» und Boden «gut» eingeteilt.

Für Wiesenfutter ist keine solche pauschale Annahme möglich, da ein unbekannter Anteil des Graslands ackerfähig ist, und die Herkunft solch zugeführter Futtermittel oft unbekannt ist. Daher wurde für diese Futtermittel der Flächenbedarf für die unterschiedlichen Wiesenfutter jeweils eingeteilt in «Ackerland», «Grasland intensiv» und «Grasland extensiv». Beispielsweise wurde für Dürrfutter im Wachstumsstadium sieben 100% extensives Grasland angenommen, da die späte Nutzung eine extensive Bewirtschaftung impliziert. Für einige Wiesenfutter kann andererseits davon ausgegangen werden, dass diese von Ackerland stammen, z.B. Luzerne. Für die restlichen Wiesenfuttermittel wurde ein ertragsgewichteter Durchschnitt aus der Schweizer Landnutzungsstatistik angenommen, konkret 0% Ackerland, 94% intensives Grasland und 6% extensives Grasland. Dabei wurden Kunstwiesen und intensive Wiesen zum intensiven Grasland gezählt, und extensiv genutzte Wiesen, extensiv genutzte Weiden und Waldweiden, sowie wenig intensiv genutzte Wiesen zum extensiven Grasland gezählt. Die Referenzerträge aus der Futtermitteldatenbank für Dürrfutter wurden für die Ertragsgewichtung verwendet (A1-A5 für intensiv und A6 und A7 für extensiv).

Für weitere Futtermittel sowie für die Remontierung wird die Einteilung in diese drei Kategorien aus dem jeweiligen Ökoinventar übernommen (siehe auch *Tabelle 6*).

Die drei Kategorien Ackerland, Grasland intensiv und Grasland extensiv müssen noch in die Kategorien der Ackerfähigkeit eingestuft werden (Boden: «gut», «mittel», «ungeeignet», Klima: «warm», «kühl», «ungeeignet»). Dies erfolgt anhand der schweizweiten Analyse der Klima- und Bodeneignung der LN (*Tabelle 8*). Dazu wurde für jede Kategorie die entsprechenden Flächen anhand der Klima- und Bodeneignung bestimmt (z.B. «Boden gut, Klima warm»). Es wurde die Annahme getroffen, dass bereits vorhandenes Ackerland grundsätzlich gut für Ackerbau geeignet ist. Von der Kategorie mit der besten Ackerfähigkeit («Boden gut, Klima warm») wurde also die Fläche abgezogen, welche momentan für Ackerbau benutzt wird inkl. Kunstwiesen. Zweitens gilt die Annahme, dass die intensiven Grünflächen tendenziell in den besser ackerfähigen Regionen liegen als die extensiven. Die Flächen, welche als intensives Grasland zusammengefasst werden können (ohne Kunstwiesen), wurden also unter den restlichen ackerfähigen Kategorien aufgeteilt. Das extensive Grasland wird als ungeeignet klassiert.

Tabelle 8: Aufteilung der gesamten Schweizer LN nach Flächentyp in die Kategorien aus der Ackerfähigkeitsmatrix

Zusammenfassung nach Flächentyp	Anteil in Boden gut, Klima warm	Anteil in Boden mittel, Klima warm	Anteil in Boden gut, Klima kühl	Anteil in Boden mittel, Klima kühl	Anteil ungeeignet
Fläche Ackerland ohne Kunstwiesen	100%	0%	0%	0%	0%
Grasland intensiv, inkl. Kunstwiesen	20%	26%	9%	18%	28%
Grasland extensiv	0%	0%	0%	0%	100%
Rest	0%	0%	0%	0%	100%
Zusammenfassung für Grasland total	17%	22%	7%	15%	38%

### 5.3 Schritt 3: Bestimmung des pflanzlichen Produktionspotenzials

Die Bestimmung des pflanzlichen Produktionspotenzials benötigt vier unterschiedliche Fruchtfolgen. Es soll entweder der Proteinertrag oder der Energieertrag maximiert werden, was zu einer unterschiedlichen Auswahl von Kulturen führt. Einige der Kulturen mit hohen Ertragspotenzialen wie Soja (Protein) oder Mais (Energie) gedeihen nur im wärmeren Klima. Daraus ergeben sich vier Kombinationen. In einem ersten Schritt werden die optimalen Fruchtfolgen zusammengestellt (5.3.1), danach wird das Ertragspotenzial berechnet (5.3.2).

#### 5.3.1 Zusammenstellung der Fruchtfolgen

Zur Bestimmung des pflanzlichen Ertragspotenzials und zur Zusammenstellung der Fruchtfolgen wurden verschiedene Kriterien betrachtet:

1. Der Protein- bzw. Energieertrag soll maximiert werden
2. Die Kriterien des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) für nachhaltige Fruchtfolgen werden eingehalten
3. Für die Fruchtfolge für die kälteren Klimaregionen werden Kulturen ausgeschlossen, die höhere Temperaturansprüche haben.
4. Agronomische Kriterien für die Fruchtfolgegestaltung wie Saat- und Erntezeitpunkte oder Krankheitsübertragung werden berücksichtigt (Vuilloud, 2005).

Zuerst wurde eine Tabelle mit den geeigneten Kulturen aus Richner *et al.* (2017) erstellt und mit Daten zu Proteingehalt, Energiegehalt in kcal, Saatgutbedarf, sowie zur Proteinqualität ergänzt (siehe auch *Anhang C*). Daraus wurde das pflanzliche Ertragspotenzial berechnet. Anhand dieser Zahlen ist ersichtlich, welche Kulturen für die Maximierung des Energie- bzw. Proteinertrags in Frage kommen.

Danach wurden die möglichen Fruchtfolgen zusammengestellt. Ohne die ÖLN-Kriterien würde dies bedeuten, auf den ackerfähigen Flächen der Milchproduktion eine Monokultur der ertragsreichsten Kulturen für die Humanernährung (Soja für Proteinmaximierung, Körnermais für Energiemaximierung) anzubauen. Mit den ÖLN-Kriterien sind aber diverse Aspekte zu berücksichtigen. Beispielsweise gelten maximale Anteile in der Fruchtfolge für verschiedene Kulturen und zudem müssen bei einigen Kulturen minimale Anbaupausen eingehalten werden. Somit wäre eine Fruchtfolge aus den ertragsreichsten Pflanzen bezüglich Protein (Soja, Kartoffeln, Süsslupine, Eiweisserben) nicht erlaubt. Weiter gibt es ackerbauliche Einschränkungen, wenn bestimmte Kulturen aufeinanderfolgen (siehe Vuilloud (2005)). Werden alle diese Einschränkungen berücksichtigt, und die ertragreichsten Fruchtfolgen zusammengestellt, ergeben sich die Fruchtfolgen in *Tabelle 9*. Bis auf die Vorfrucht/Folgefucht Kombinationen Winterraps/Sojabohne und Körnermais/Kartoffeln, welche bei Vuilloud (2005) als «mittel» geeignet angegeben sind, sind (gegebenenfalls mit Zwischenfrüchten) alle Kombinationen «gut» oder «sehr gut» geeignet. Um guter landwirtschaftlicher Praxis gerecht zu werden wird

davon ausgegangen, dass wo immer möglich Zwischenkulturen bzw. Gründungen in die Fruchtfolgen integriert würden.

Tabelle 9: Fruchtfolgen für warmes und kühles Klima, welche den Protein- und Energie-Ertrag maximieren. <sup>1</sup>Korrigiert nach Verwertbarkeit, <sup>2</sup>Korrigiert nach Proteinqualität

		Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Protein- ertrag <sup>1,2</sup> , (g/m <sup>2</sup> ) bzw. Energie- ertrag <sup>1</sup> (kcal/m <sup>2</sup> )	
						Boden gut	Boden mittel
Protein	warm	Sojabohne	Kartoffel	Süßlupine/Ackerbohne	Winterraps	67	52
	kühl	Ackerbohne	Kartoffel	Winterweizen	Öllein	39	30
Ener-	warm	Winterroggen	Zuckerrübe	Körnermais	Kartoffel	2844	2198
	kühl	Winterhafer	Zuckerrübe	Winterroggen	Kartoffel	1906	1473

### 5.3.2 Berechnung des pflanzenbaulichen Potenzials

Als Referenzertrag für die Fläche mit der besten Ackerfähigkeit (Boden gut, Klima warm), gilt der Ertrag aus Richner *et al.* (2017) abzüglich eines Faktors für die Saatgutproduktion. Für die weiteren Kategorien werden Ertragsabzüge angenommen (siehe *Tabelle 10*). Da die Datenlage bezüglich Erträgen bei unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen eher spärlich ist, wurde anhand der Tabelle in BLW (2018) eine Abschätzung des Ertrags bei mittlerer Bodenqualität und kühlerem Klima gemacht.

Tabelle 10: Angenommener Ertrag ausgehend vom Referenzertrag in Richner *et al.* (2017) für die unterschiedlichen Kategorien der Ackerfähigkeit, gemäss Ertragswertschätzung BLW (2018)

Geschätzter Ertrag bei unterschiedlichen Kategorien (100% = Standardertrag nach Richner <i>et al.</i> , 2017)	Boden «gut»	Boden «mittel»	Boden «ungeeignet»
Klima «warm»	100%	77%	0%
Klima «kühl»	79%	61%	0%
Klima «ungeeignet»	0%	0%	0%

## 5.4 Schritt 4: Bestimmung der Qualität des pflanzenbaulichen Produktionspotenzials sowie der Milch

In diesem letzten Schritt geht es darum, den Output der Milchproduktion zu bestimmen, in Protein bzw. Energie umzuwandeln, sowie diesen ins Verhältnis zum pflanzenbaulichen Ertragspotenzial zu setzen. Dies erfolgt wie in 3.3 bis 3.4 beschrieben. Bei allen Produkten wird eine maximale Verwertung angenommen. Bei der Milch und den pflanzlichen Produkten werden 5% für Verluste bei Transport und Verarbeitung angenommen (ausser Zuckerrübe 9% Verluste der Energie). Beim Fleisch wird eine maximale Verarbeitung nach Laisse *et al.* (2018) angenommen (inkl. Blut, Innereien etc.): für die Energie beträgt die Verwertbarkeit 0.61 für Rindfleisch und 0.66 für Kalbfleisch und für Protein 0.61 für Rindfleisch und 0.59 für Kalbfleisch.

Der Indikator wird zusammengestellt wie in 3.4 beschrieben, analog zum Indikator zur Bestimmung der Nahrungsmittelkonkurrenz (*Formel 5*).

Formel 5: Ermittlung der Flächenkonkurrenz in Milchproduktionssystemen

$$\text{Flächenkonkurrenz} = \frac{\text{Pflanzliches Produktionspotenzial (Protein bzw. Energie)}}{\text{Milch und Fleisch als Erzeugnisse (Protein bzw. Energie)}}$$

### 5.5 Vorgehen für die Sensitivitätsanalysen

Um die Wirkung der Korrektur für Proteinqualität und der Definition der Ackerfähigkeit/des Ertragsniveaus darzustellen, werden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse dazu finden sich in 6.4.

#### 5.5.1 Sensitivitätsanalyse A: Ohne Berücksichtigung der Proteinqualität

Die Wirkung der Berücksichtigung der Proteinqualität wird für beide Indikatoren gerechnet (siehe mehr dazu unter 4.3.1). Es wurden dieselben Proteinfurchfolgen verwendet und lediglich der Schritt der Proteinkorrektur wird weggelassen.

#### 5.5.2 Sensitivitätsanalyse B: Schwellenwert für Ackerfähigkeit erhöhen

Sowohl bei der Einteilung der verschiedenen Zonen der Eignung zum Ackerbau (siehe 5.2) wie auch bei der Einschätzung des erreichbaren Ertrages (siehe 5.3.2) mussten gewisse Annahmen getroffen werden. Die Erträge können an guten Standorten deutlich höher sein als mit den Referenzerträgen aus Richner *et al.* (2017) angenommen wurde, an schlechteren hingegen tiefer. Innerhalb der verschiedenen Klimaregionen ist von einer grossen Streuung der Erträge auszugehen. Wird nun die Definition der Klimaregionen geändert, indem z.B. weniger günstige Lagen ausgeschieden werden, so ist mit höheren Durchschnittserträgen auf der verbleibenden Fläche zu rechnen. Diese Sensitivitätsanalyse zeigt, wie sich die Annahmen bezüglich der ackerbaulichen Eignung und der erreichbaren Erträge auf die Ergebnisse auswirken.

Dazu werden die Klimaregionen neu definiert, indem sie verkleinert und auf jeweils günstigere Lagen beschränkt werden. Entsprechend erhöhen sich die durchschnittlichen Erträge in diesen Regionen. Das maximale Ertragspotenzial wird für die Kategorie «Boden: gut, Klima: warm» gegenüber dem bisherigen Referenzertrag um 40% erhöht (analog zum Maximalertrag der Klimaeignungskarten). Für die anderen Ackereignungskategorien wird gegenüber dem Maximalertrag derselbe Abzug angenommen wie vorher (*Tabelle 10*). Dies wirkt sich auf den angenommenen Ertrag aus, welcher bei den einzelnen Kategorien höher wird. Da die Schwellenwerte für die Klimaeignung aufgrund der jeweils tiefsten Annahme für den Ertrag gesetzt wurden (siehe auch 5.2.2), werden diese in der Sensitivitätsanalyse ebenfalls auf die höheren Erträge angepasst.

Es wird also betreffend Klimaeignung weniger Fläche als ackerfähig und mehr Fläche statt in der warmen in der kühleren Klimaregion eingestuft, was bewirkt, dass die Betriebe im Schnitt (zumindest für die Kriterien, die von der Karte entnommen werden und für die zugeführten Flächen) als weniger ackerfähig bewertet werden. Dafür haben diejenigen, die auch mit der Änderung noch ackerfähige Flächen besitzen, ein höheres Ertragspotenzial pro Fläche und somit höhere Indikatorwerte. Die zugeführten Flächen werden ebenfalls anders eingeordnet, da auch schweizweit weniger Fläche als ackerfähig eingestuft wird.

## 6 Ergebnisse der Praxisbetriebe

Wie in Kapitel 2 beschrieben, wurde die Methodik auf verschiedenen Praxisbetrieben mit dem Ziel getestet, deren Anwendbarkeit zu überprüfen. Die Stichprobe der Betriebe ist nicht repräsentativ für die Milchproduktion in der Schweiz.

### 6.1 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz

Die Werte für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz liegen zwischen 0.01 und 0.54 für Protein bzw. 0.03 und 0.68 für Energie und somit für alle untersuchten Betriebe  $<1$  (Abbildung 4). Dies bedeutet, dass sämtliche untersuchten Betriebe mehr für den Menschen verwertbares Protein bzw. Energie produzierten als sie verfütterten. Betriebe mit höheren Milchleistungen weisen meist höhere Nahrungsmittelkonkurrenz auf, als Betriebe mit tieferen Milchleistungen, wenngleich dies nicht für alle Betriebe in gleichem Masse zutrifft. Vier Betriebe weisen Werte nahe Null auf, was auf eine sehr geringe Nahrungsmittelkonkurrenz hinweist.

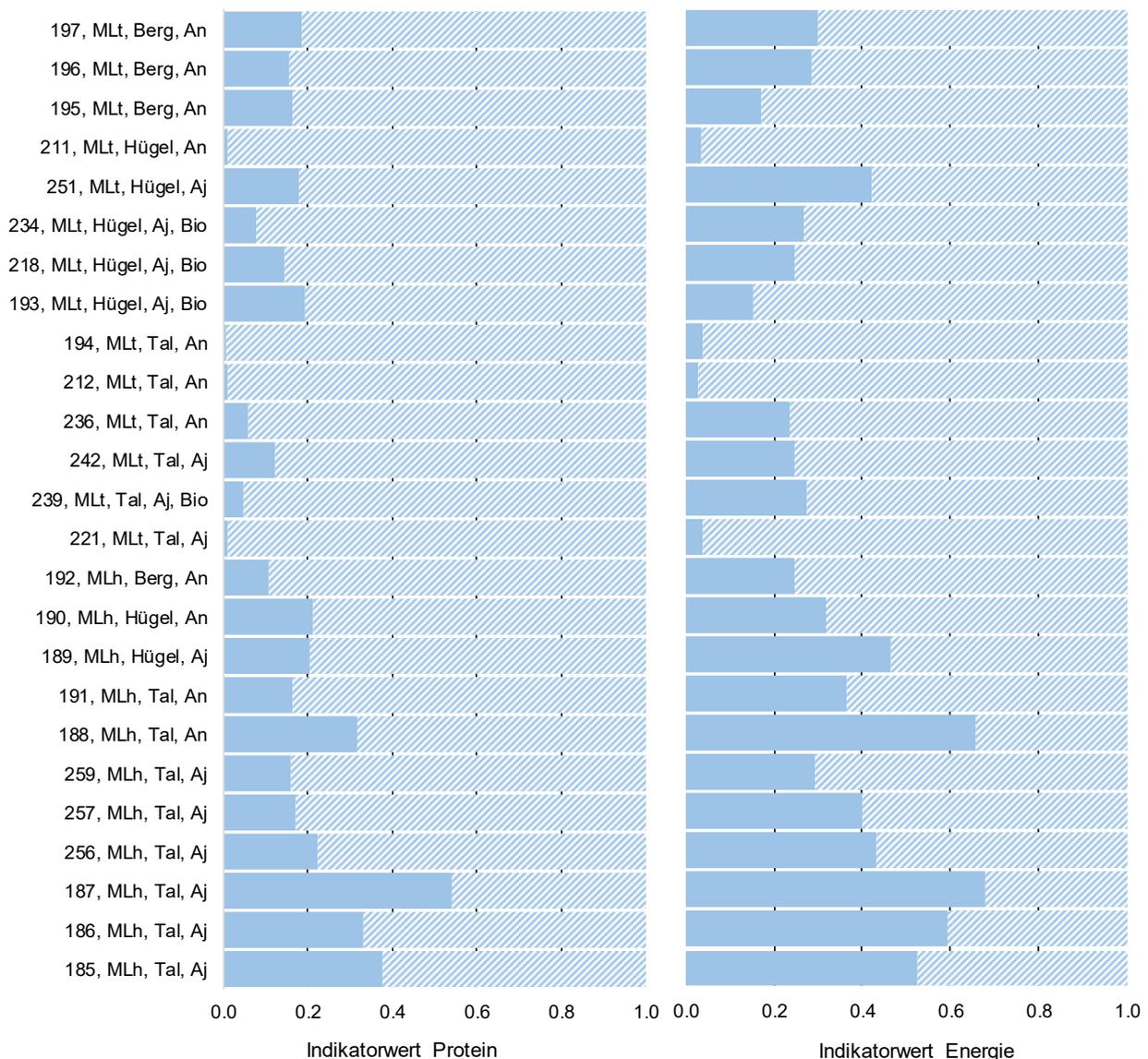


Abbildung 4: Ergebnisse der Testbetriebe für die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz Protein und Nahrungsmittelkonkurrenz Energie. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

Für die meisten Testbetriebe liegen die Ergebnisse für den Indikator Energie höher als für den Protein-Indikator. Dies ist teilweise mit dem Maiseinsatz in der Fütterung zu erklären. Mais trägt in der Fütterung hauptsächlich zur Energieversorgung bei und wird in einigen Betrieben in bedeutendem Umfang eingesetzt. Die menschliche Verwertbarkeit wird entsprechend vor allem tangiert, wenn nach Energie untersucht wird. Des weiteren sind die Unterschiede zwischen Protein und Energie vermutlich wesentlich auf die Berücksichtigung der Proteinqualität zurückzuführen (siehe 6.2.1). Die Muster der Indikatoren für Protein bzw. Energie ähneln sich jedoch stark. So zeigen Betriebe mit hohen Indikatorwerten nach Energie auch hohe Werte für den Indikator nach Protein (allerdings auf tieferem Niveau). Da die Milchviehhaltung für die Proteinversorgung des Menschen einen besonderen Stellenwert einnimmt (siehe 7.3), fokussieren sich die folgenden Ausführungen auf den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz für Protein. Die Feststellungen sind meist auch auf die Nahrungsmittelkonkurrenz nach Energie übertragbar. Die Zusammensetzung der Futtermischung beeinflusst die Ergebnisse massgebend. Wiesenfutter wird in der vorliegenden Untersuchung als einzige Futtermittelkategorie als gar nicht menschlich verwertbar betrachtet (siehe 4.3.2). Die meisten Testbetriebe haben relativ hohe Anteile an Wiesenfutter in der Jahresration (38-96% TS-Anteil, durchschnittlich 77%). Die Kraffutteranteile (Futtermittel mit <12% Rohfaser) betragen 0-24% (Abbildung 5).

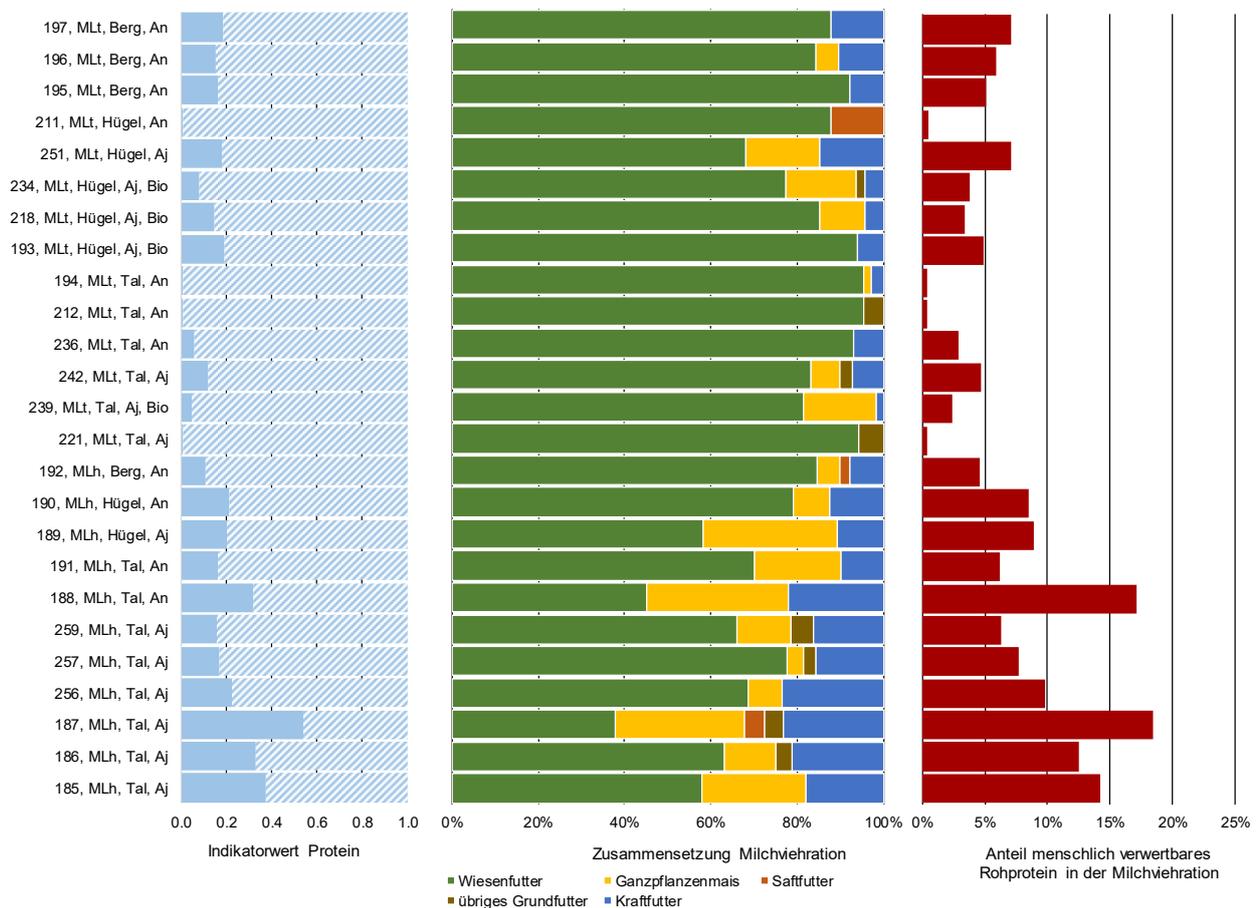


Abbildung 5: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Protein sowie die Anteile von verschiedenen Futtermittelgruppen und den für Menschen verwertbaren Anteil an den Futtermischungen der Milchkühe auf den Testbetrieben. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

Da viele Krafffuttermittel relativ hohe menschlich verwertbare Anteile aufweisen (siehe auch *Tabelle 2*), hat deren Einsatz deutliche Auswirkungen auf die Indikatoren. Die Betriebe, für welche die Nahrungsmittelkonkurrenz gegen Null tendiert, setzen keine oder sehr wenig Krafffuttermittel ein. Von den Betrieben mit einer Milchleistung über 8'000 kg pro Kuh und Jahr, setzen alle bedeutende Mengen Krafffutter ein und haben so im Schnitt höhere Indikatorwerte als diejenigen, bei denen die Milchleistung unter 8'000 kg pro Kuh und Jahr liegt.

Nicht nur Krafffuttermittel, sondern auch andere Futtermittelkategorien wie Safffutter oder Ganzpflanzenmais können wesentliche Anteile an menschlich verwertbaren Komponenten beinhalten. Dies verdeutlicht Betrieb 239, welcher kaum Krafffuttermittel einsetzte, hingegen rund 17% der TS in Form von Ganzpflanzenmais. Der menschlich verwertbare Anteil Rohprotein in der Jahresration des Betriebes beträgt bescheidene 2%. Die Nahrungsmittelkonkurrenz nach Protein ist entsprechend tief (0.05), nach Energie mit 0.28 jedoch deutlich höher (*Abbildung 4*). Auch sind nicht alle Futtermittel einer Kategorie gleich gut in der menschlichen Ernährung einsetzbar. So setzten die Betriebe 259 und 186 ähnliche Anteile der aufgeführten Futtermittelkategorien ein. Bei Betrieb 186 führte dies allerdings zu rund 12% menschlicher Verwertbarkeit der Gesamtration, bei Betrieb 259 nur zu rund der Hälfte (6%). Betrieb 259 setzte zur Proteinausgleichsfütterung wesentlich auf Biertreber und Rapsschrot, welche die menschliche Ernährung nicht bzw. nur wenig konkurrenzieren (vgl. *Tabelle 2, Tabelle 5 bzw. Anhang E*). Betrieb 186 hingegen fütterte grössere Mengen handelsüblicher Mischfutter, welche gemäss *Tabelle 2* höhere menschlich verwertbare Anteile aufweisen.

Da es sich beim Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz um einen Quotienten handelt, wird er neben dem eingesetzten Futter von der aus dem Futter erzeugten Milch- bzw. Fleischmenge beeinflusst. Es ist also auch möglich, den Indikator durch die Verbesserung des Milch- und Fleischleistung (bei stabilen menschlich verwertbaren Anteilen der Ration) zu reduzieren.

## 6.2 Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz: Sensitivitätsanalysen

Um die Wirkung der Korrektur nach Proteinqualität und die Bedeutung der angenommenen Werte für die menschliche Verwertbarkeit der Futtermittel auf den Indikator darzustellen, wurden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

### 6.2.1 Sensitivitätsanalyse A: ohne Berücksichtigung der Proteinqualität

Die Proteinqualität der pflanzlichen Futtermittel wird als tiefer beurteilt als die Proteinqualität von Milch und Fleisch, weil die Aminosäuren-Zusammensetzung tierischer Proteinquellen besser dem Bedarf des Menschen entspricht. Im Mittel beträgt das Verhältnis der Proteinqualität in Milch und Fleisch zur Futterproteinqualität 2.10. Das bedeutet, dass die Proteinqualität doppelt so hoch ist wie diejenige der Futtermittel. Entsprechend wurde durch die Berücksichtigung der Proteinqualität die Nahrungsmittelkonkurrenz im Mittel halbiert (*Abbildung 6*). Wird die Korrektur nach Proteinqualität nicht berücksichtigt, gleichen sich die Protein-Indikatorwerte den Energie-Indikatorwerten an und liegen neu zwischen 0.02 und 0.93 mit einem Mittelwert von 0.33. Der Verzicht auf die Korrektur nach Proteinqualität erhöht die Indikatorwerte somit um 0.01 bis 0.40 bzw. durchschnittlich um 114%.

Die Veränderung ist zudem abhängig von der Proteinqualität der einzelnen Futtermittel. Proteinausgleichsfuttermittel wären bezüglich Aminosäuren-Zusammensetzung für die menschliche Ernährung meist wertvoller als andere Mischfuttermittel (*Tabelle 2*). Dies ist auf den hohen Anteil Soja zurückzuführen (ca. 2/3), deren Protein für den Menschen von hohem Wert ist (*Anhang C*). Betrieb 193 beispielsweise setzt auf herkömmliches Proteinausgleichsfutter, was den Indikator gegenüber der Originalanalyse nur um den Faktor 1.6 erhöht (*Abbildung 6*). Dagegen verfüttert Betrieb 239 kein Proteinausgleichsfutter sondern nur Maissilage und Gerstenfuttermehl. Die Aminosäuren-Zusammensetzung dieser Futtermittel entspricht weniger gut dem menschlichen Bedarf, weshalb der Faktor gegenüber der Originalanalyse bei 2.8 liegt. Die Konkurrenz zur menschlichen Ernährung reduziert sich also durch die Berücksichtigung der Proteinqualität stärker für Betriebe, wel-

che Futtermittel mit tiefen DIAAS-Werten (bzw. weniger wertvoller Aminosäuren-Zusammensetzung) einsetzen. Auch zur Proteinausgleichsfütterung können Futtermittel tieferer Proteinqualität eingesetzt werden, so etwa Ackerbohnen oder Erbsen.

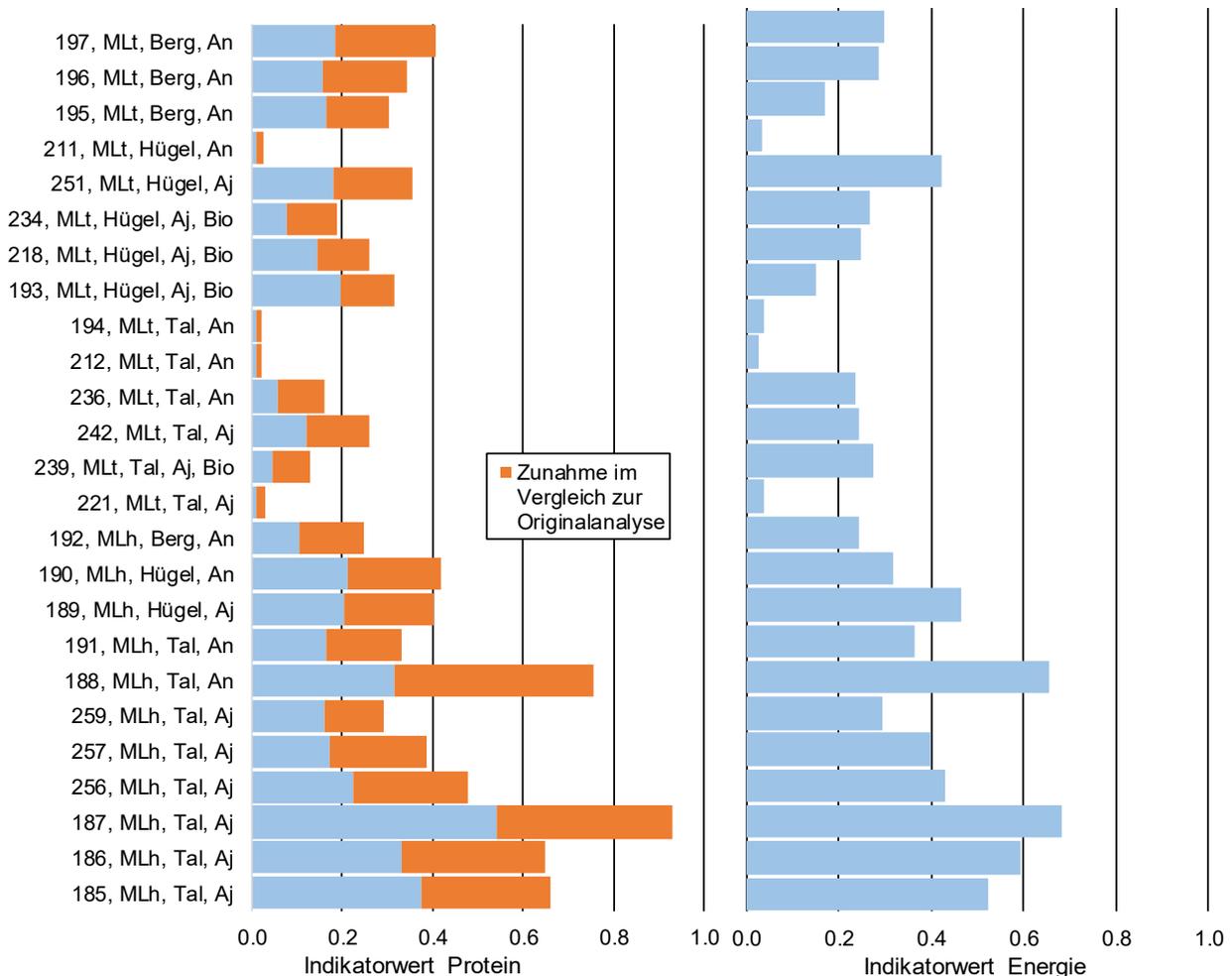


Abbildung 6: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Protein ohne Berücksichtigung der Proteinqualität. Darstellung des Indikators Nahrungsmittelkonkurrenz Energie aus der Originalanalyse als Vergleich. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

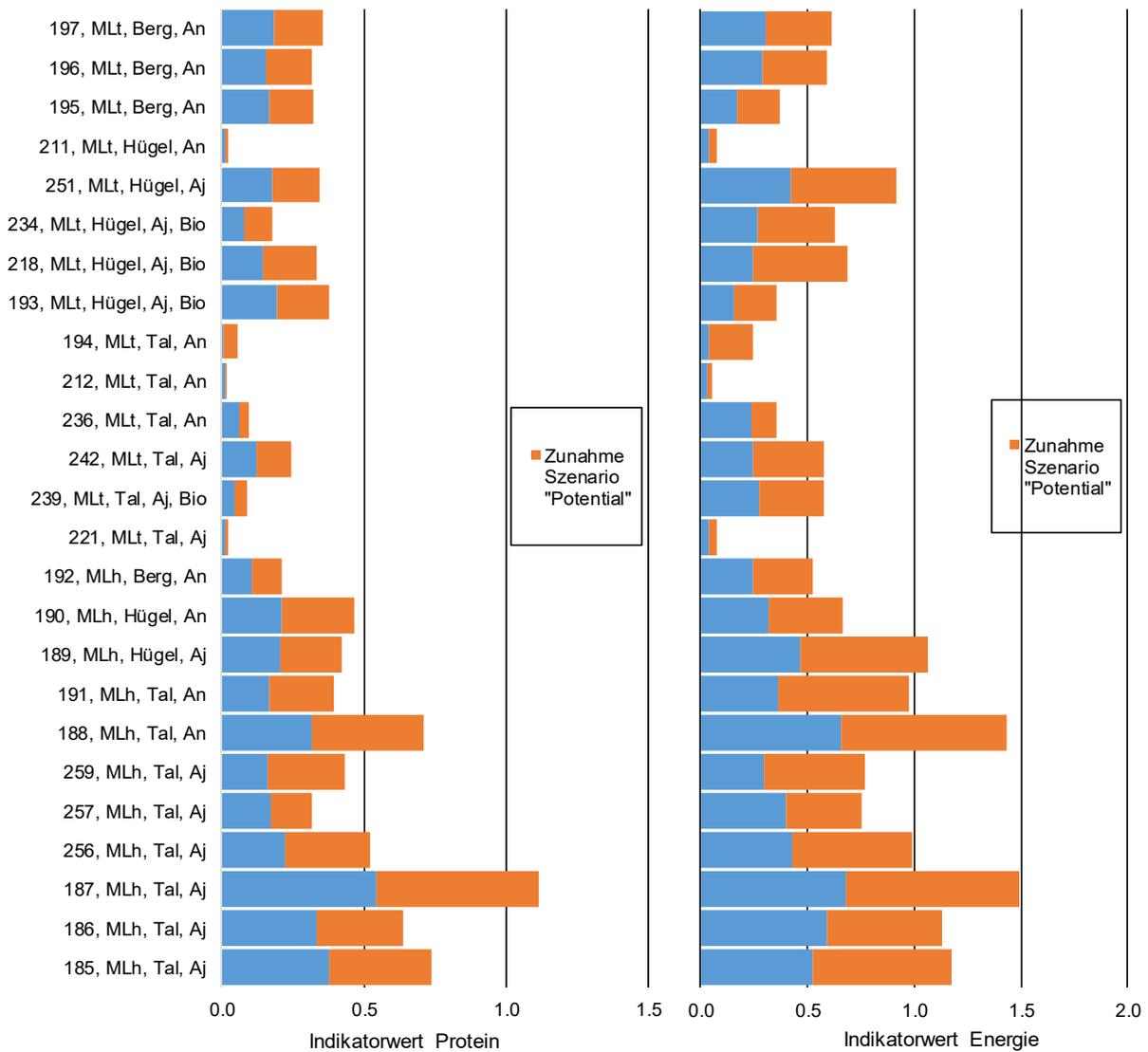
### 6.2.2 Sensitivitätsanalyse B: Verwertungsszenario «Potential»

Werden veränderte Ernährungsgewohnheiten und entsprechend höhere Verwertbarkeit der Futtermittel in der menschlichen Ernährung (

Abbildung 7) angenommen, erhöhen sich die essbaren Anteile in einigen Futtermitteln wesentlich (vgl. 4.3.2). Für das Rohprotein wären im Szenario «Potential», je nach Rationszusammensetzung, bis zu 40% der Milchviehration für den Menschen essbar (Abbildung 8).

Das angepasste Szenario erhöht die Nahrungsmittelkonkurrenz der Milchproduktion wesentlich. Die Indikatoren liegen neu zwischen 0.02 und 1.11 mit einem Mittelwert von 0.35 für Protein bzw. 0.06 und 1.50 mit einem Mittelwert von 0.68 für Energie. Die Sensitivitätsanalyse bewirkt 0.01 bis 0.66 höhere Indikatorwerte im Vergleich zum Szenario «Current». Es ändert sich zwar die absolute Höhe der Werte, nicht jedoch die Reihenfolge der Betriebe. Bei den meisten Betrieben bewirkt das veränderte Verwertbarkeitsszenario eine Verdoppelung der Nahrungsmittelkonkurrenz (Erhöhung um durchschnittlich 120% für Protein bzw. 135% für Energie). Eine Ausnahme stellt hier Betrieb 194 dar, welcher als Ergänzung zum Wiesenfutter nur Brotabfälle

verfüttert. Bei diesen wird im Szenario «Potential» davon ausgegangen, dass sie menschlich verwertbar wären. Entsprechend erhöht sich die Nahrungsmittelkonkurrenz (insbesondere für die Energie) drastisch. Betriebe mit hohen Wiesenfutteranteilen (vgl. *Abbildung 5*) konkurrenzieren die menschliche Ernährung auch in diesem Szenario weiterhin wenig. Betriebe mit höherem Krautfuttereinsatz stellen hingegen eine zunehmende



Konkurrenz zur menschlichen Ernährung dar, insbesondere was die Energie betrifft.

Abbildung 7: Ergebnisse der Testbetriebe für die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz Protein und Energie mit dem Verwertbarkeitsszenario «Potential» statt «Current». MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

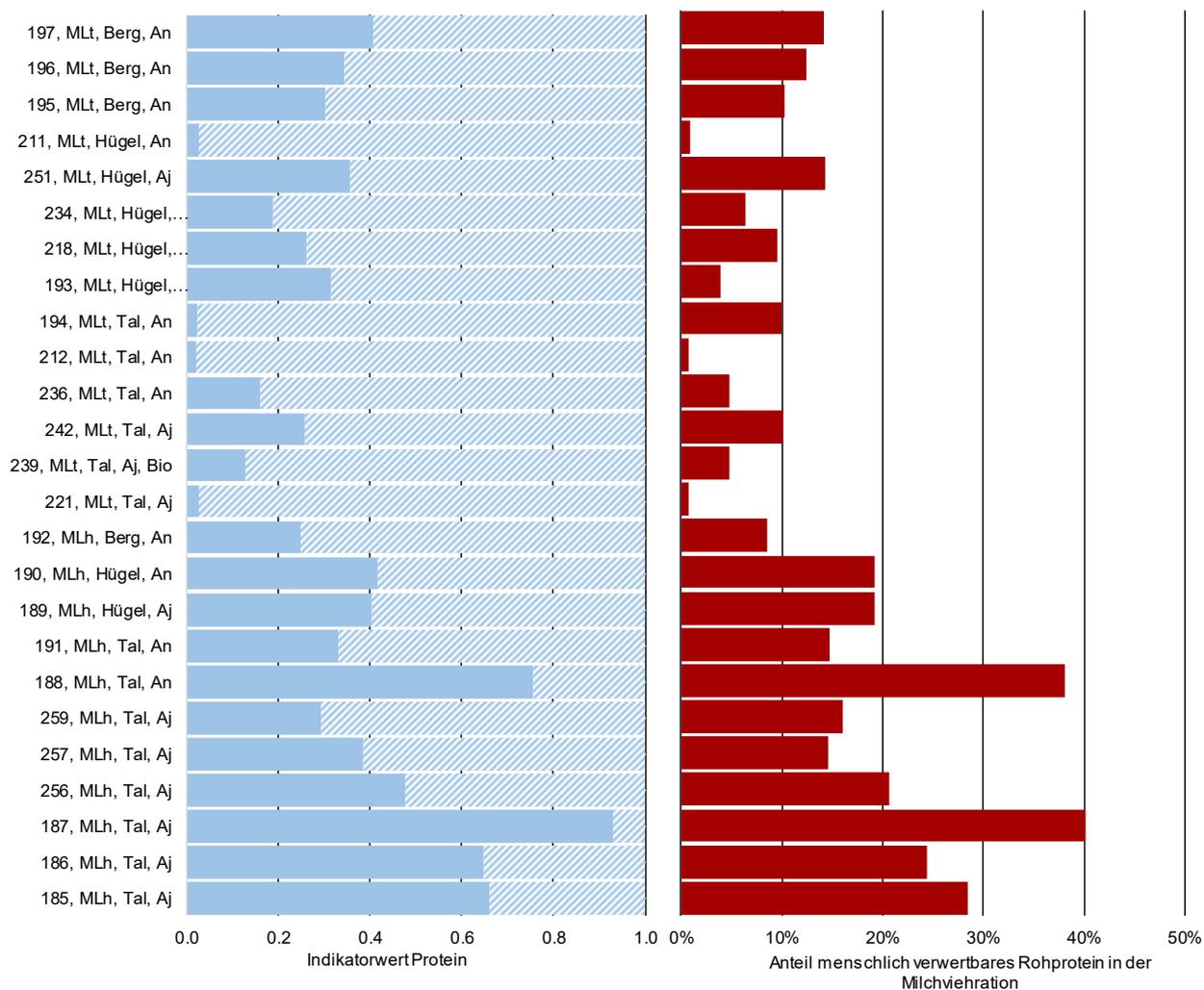


Abbildung 8: Ergebnisse der Testbetriebe mit dem Verwertbarkeitsszenario «Potential» statt «Current» für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Protein sowie den für Menschen verwertbaren Anteil an den Futterrationalen der Milchkühe auf den Testbetrieben. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

### 6.3 Indikator Flächenkonkurrenz für Pilot- und Praxisbetriebe

Für den Indikator zur Flächenkonkurrenz liegen die Ergebnisse zwischen 0.69 und 2.64 für Protein bzw. 1.52 und 5.93 für Energie, mit einem Mittelwert von 1.69 bzw. 3.75 (Abbildung 9). Nur zwei Betriebe liegen unter eins (für den Protein-Indikator). In den meisten Fällen könnte durch den Anbau von Ackerkulturen direkt mehr zur menschlichen Ernährung beigetragen werden als indirekt durch die Milchproduktion.

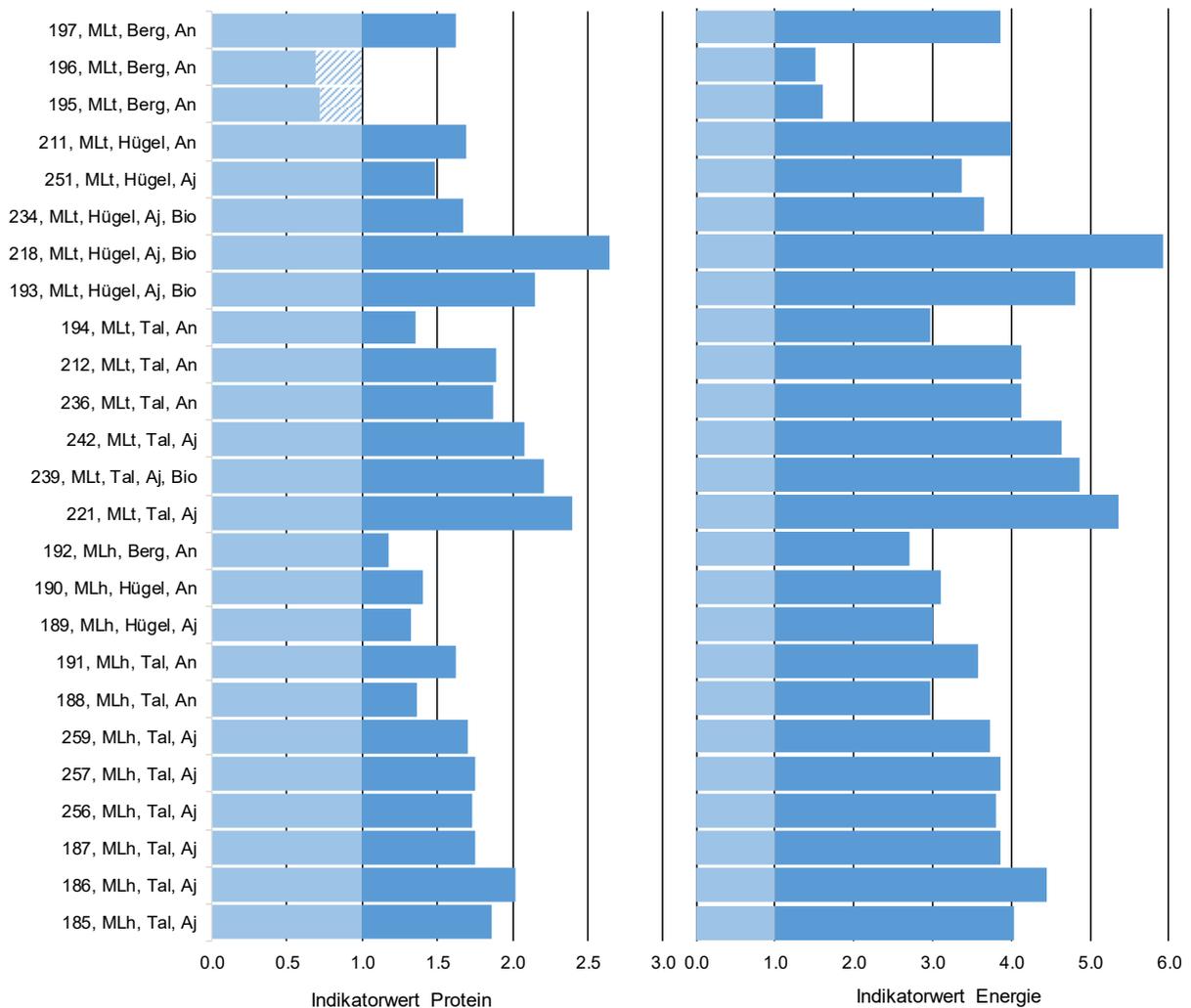


Abbildung 9: Ergebnisse der Testbetriebe für die Indikatoren Flächenkonkurrenz Protein und Flächenkonkurrenz Energie. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

Entscheidend für die unterschiedlichen Indikatorwerte ist die ackerfähige Fläche, insbesondere die betriebs-eigene, da hier die grössten Variationen auftreten (Abbildung 10). Die zwei Betriebe mit den niedrigsten Indikatorwerten liegen in der Bergzone. Ihre Betriebsfläche wird zu 100% als ungeeignet für Ackerbau eingestuft. Die beiden anderen Betriebe in der Bergzone bewirtschaften gemäss Einschätzung der Bodeneignung teilweise ackerfähige Flächen.

Neben der Ackerfähigkeit der genutzten Fläche ist von Bedeutung, wie effizient die Fläche zur Milchproduktion genutzt wird. Grössen wie die Futtermittelverwertung und die Remontierungsrate haben daher einen Einfluss auf den Indikator.

Die Indikator-Werte für Protein liegen je nach Betrieb 54 bis 58% tiefer als diejenigen für den Energie-Indikator, obschon sich die Muster zwischen den stark Betrieben gleichen. Allerdings gibt es Unterschiede: Für den Energieertrag spielt die Klimaregion eine weniger wichtige Rolle als für den Proteinertrag. Der Ertragsunterschied zwischen den beiden Proteinfuchtfolgen (warm und kühl) ist grösser (58% weniger Ertrag bei kühlerem Klima) als derjenige für die beiden Energie-Fuchtfolgen (67% weniger Ertrag bei kühlerem Klima) (siehe auch Tabelle 9).

Mit der totalen Fläche für die Milchproduktion ( $m^2/a/kg$  ECM), lässt sich nicht direkt auf den Indikatorwert schliessen, da die Eignung zum Ackerbau eine entscheidende Rolle spielt (Abbildung 10). Während die totale

Fläche je nach Betrieb von 1.11 bis 2.61 m<sup>2</sup>a/kg ECM beträgt, ist die für den Ackerbau geeignete Fläche mit 0.46 bis 1.98 m<sup>2</sup>a/kg ECM tiefer. Der Anteil ackerfähige Fläche an der total zur Milchproduktion genutzten Fläche beträgt 29 – 87 %.

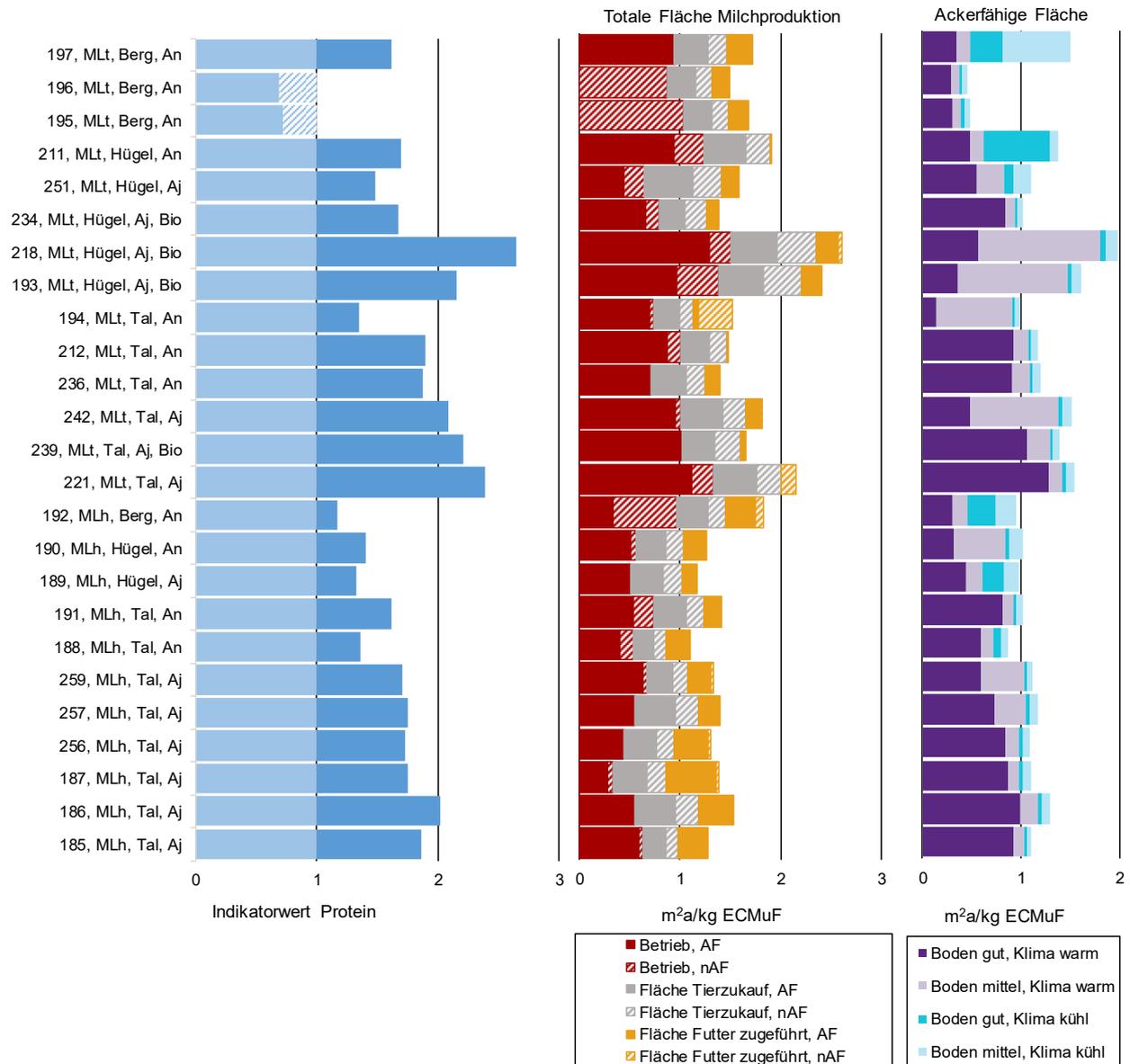


Abbildung 10: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Flächenkonkurrenz Protein (links). Mitte: pro kg ECM (energiekorrigierte Milch) benötigte Fläche aufgeschlüsselt nach betriebseigener Futterfläche, Fläche für die Remontierung (betriebsene und externe) und Fläche für das zugeführte Futter. Rechts: pro kg ECM benötigte ackerfähige Fläche aufgeschlüsselt nach Boden- und Klimaeignungskategorien. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft, AF= für Ackerbau geeignet, nAF= für Ackerbau ungeeignet.

## 6.4 Indikator Flächenkonkurrenz: Sensitivitätsanalysen

Um die Wirkung der Korrektur für Proteinqualität und der Definition der Ackerfähigkeit/des Ertragsniveaus darzustellen, werden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Mehr zu den einzelnen Sensitivitätsanalysen findet sich in 5.5.

### 6.4.1 Sensitivitätsanalyse A: ohne Berücksichtigung der Proteinqualität

Wie für den Indikator zur Nahrungsmittelkonkurrenz (siehe 6.2.1) werden hier die Ergebnisse ohne die Berücksichtigung der Proteinqualität aufgezeigt (Abbildung 11). Der Indikator für Energie bleibt dadurch unbeeinflusst.

Die Werte für den Protein-Indikator liegen neu zwischen 0.99 und 3.78 mit einem Mittelwert von 2.43 und somit durchschnittlich um 44% höher. Die relativen Veränderungen zwischen den einzelnen Betrieben unterscheiden sich leicht und hängen von den unterschiedlichen Anteilen an Klimaregionen und demzufolge unterschiedlichen Fruchtfolgen ab. Die Rangfolge der Betriebe bleibt aber im Wesentlichen unverändert. Der Verzicht auf die Korrektur nach Proteinqualität führt also zu höheren absoluten Werten für die Flächenkonkurrenz nach Protein; für die relative Einschätzung der Betriebe ändert sich aber nur wenig.

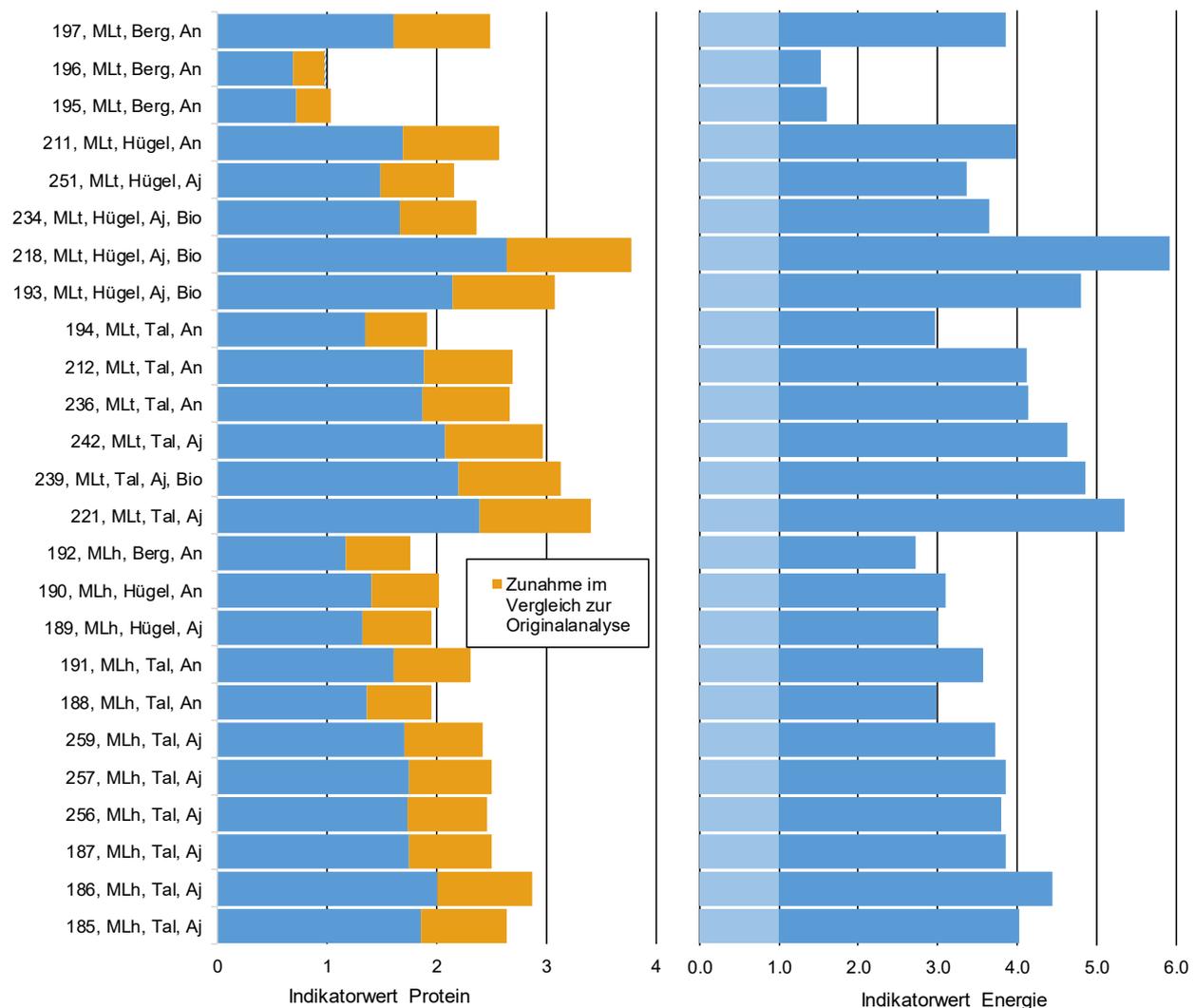


Abbildung 11: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Flächenkonkurrenz Protein ohne Berücksichtigung der Proteinqualität. Darstellung des Indikators Flächenkonkurrenz Energie aus der Originalanalyse zum Vergleich. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

### 6.4.2 Sensitivitätsanalyse B: Veränderung des Schwellenwerts für Ackerfähigkeit/Erhöhung des geschätzten Ertrags

Hier wird der Schwellenwert zur Klimateignung erhöht und der Referenzertrag entsprechend um 40% (siehe mehr dazu in 5.5.2). Es gibt klare Veränderungen in den Ergebnissen der Testbetriebe (

Abbildung 12). Die Indikatorwerte für Protein liegen neu zwischen 0.56 und 1.68 mit einem Mittelwert von 1.15. Die Werte des Energie-Indikators liegen nun zwischen 1.80 und 5.90 bei einem Mittelwert von 3.89. Somit liegt die Spannweite für den Protein-Indikator etwas niedriger, und die Spannweite für den Energie-Indikator innerhalb derjenigen der Originalanalyse (vgl. 6.3). Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse je nach Betrieb: Beim Protein-Indikator gibt es eine Veränderung von -40% bis -17% im Vergleich zur Originalanalyse; der Energie-Indikator ändert sich weniger stark (-16% bis +18%).

Dass einige Betriebe nun höhere und andere tiefere Werte für den Energieindikator aufweisen, ist folgendermassen zu erklären: Einerseits wurde der Schwellenwert zur Klimaeignung erhöht, was bewirkt, dass die meisten Gemeinden weniger Fläche in der «warmen» Klimaregion und auch weniger ackerfähige Flächen haben. Andererseits kann auf diesen Flächen aber ein höherer Ertrag erzielt werden. Je nachdem, welcher Effekt überwiegt, fällt die Konkurrenz höher oder tiefer aus. Die Veränderungen sind für die einzelnen Gemeinden und somit die einzelnen Betrieben unterschiedlich. Der Proteinindikator reagiert in der Sensitivitätsanalyse mit einer Reduktion der Konkurrenz, während es bei Energieindikator sowohl zur Erhöhung als auch zur Verminderung der Konkurrenz kommen kann.

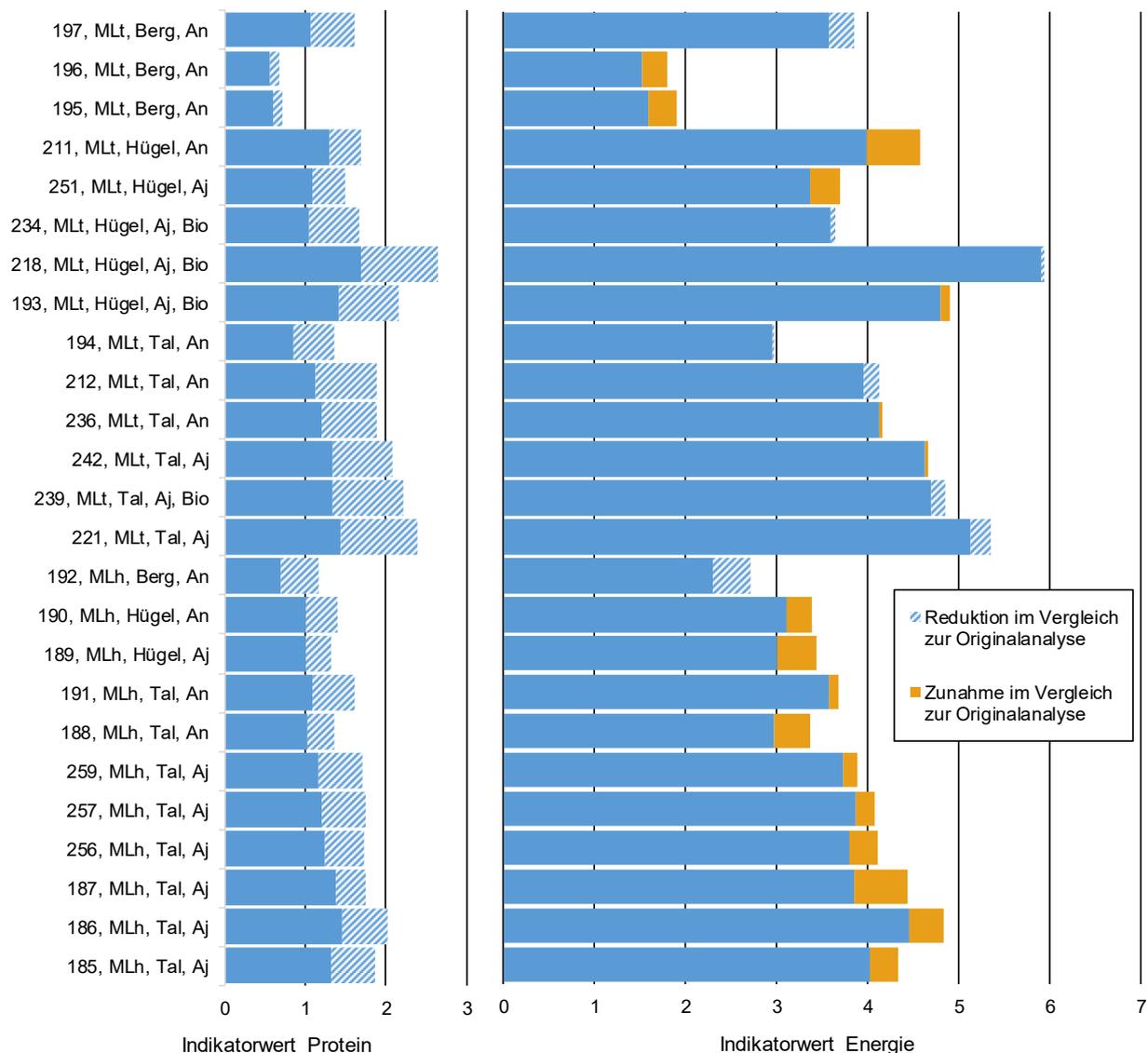


Abbildung 12: Ergebnisse der Testbetriebe für die Indikatoren Flächenkonkurrenz Protein und Flächenkonkurrenz Energie für die Sensitivitätsanalyse mit einer Erhöhung des Ertrags und des Schwellenwerts für die Klimaeignung. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft.

Im Vergleich zur Originalanalyse nimmt die ackerfähige Fläche sowie die Fläche in der Klimaregion «warm» für alle Betriebe ab (um 17-40% bzw. 3-37%) (*Abbildung 13*). Für die meisten Betriebe ist diese Abnahme bedeutender als der zusätzlich mögliche Ertrag durch die Erhöhung des Ertragspotentials. Dies trifft insbesondere für den Proteinерtrag zu.

Neben der betriebseigenen Fläche fällt auch die Bewertung der zugeführten Fläche durch Futter und Remontierung unterschiedlich aus, da die gesamtschweizerische Analyse der Klimaeignung und somit die Bewertung von Flächen aus intensivem Grasland unterschiedlich ausfallen. Die Sensitivitätsanalyse veranschaulicht, wie wichtig die Einteilung der Fläche in die verschiedenen Eignungskategorien ist. Insbesondere bei den Betrieben, welche anhand der Schweizer Bodeneignungskarte bewertet werden (siehe 5.2.1), würden die Ergebnisse vermutlich anders ausfallen, wenn aktuellere und genauere Karten verfügbar wären.

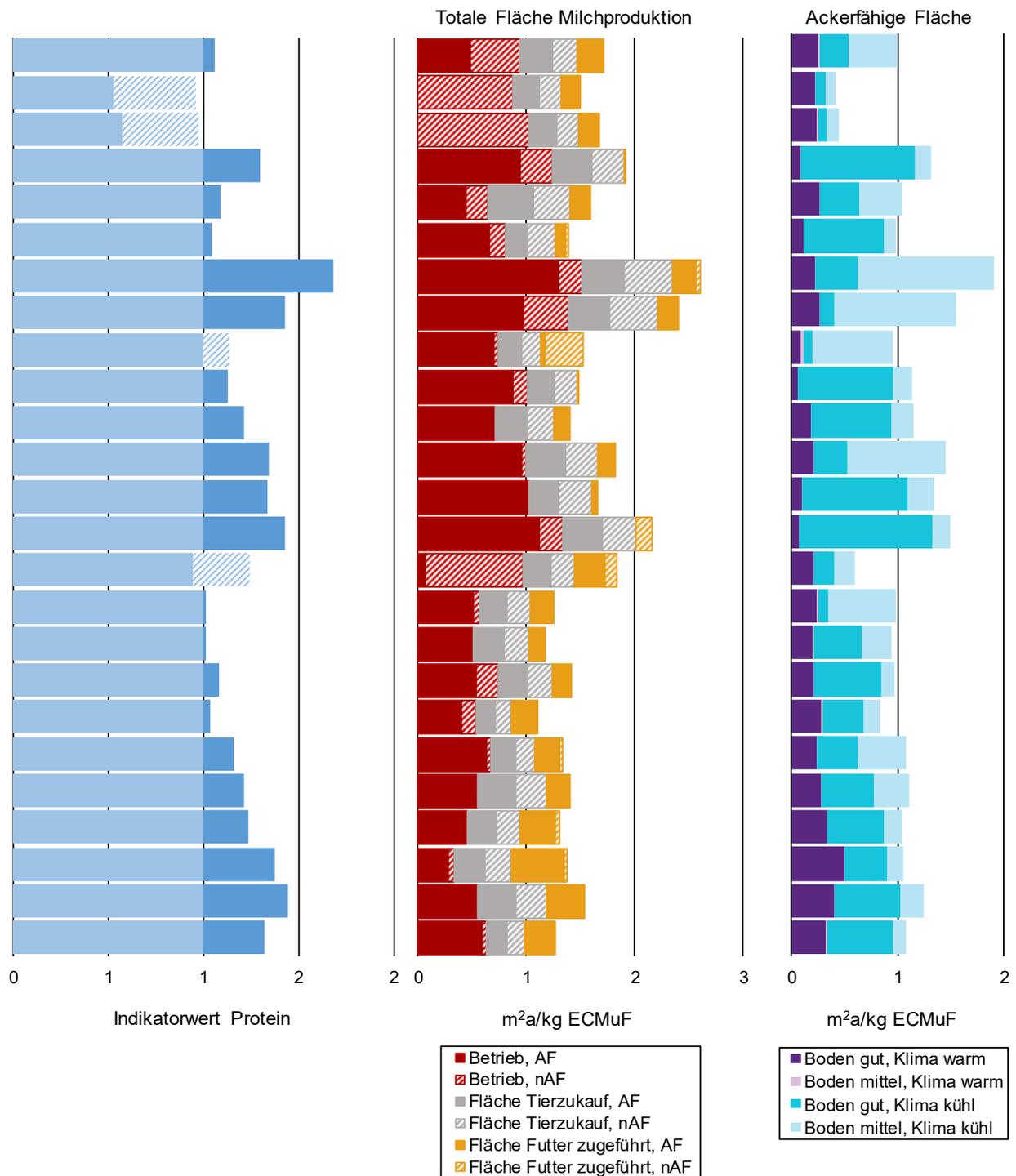


Abbildung 13: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Flächenkonkurrenz Protein für die Sensitivitätsanalyse mit einer Erhöhung des Ertrags und des Schwellenwerts für die Klimaeignung (links, aus Abbildung 10). Mitte: pro kg ECM (energiekorrigierte Milch) benötigte Fläche aufgeschlüsselt nach betriebseigener Futterfläche, Fläche für die Remontierung (betriebseigene und externe) und Fläche für das zugeführte Futter. Rechts: pro kg ECM benötigte ackerfähige Fläche aufgeschlüsselt nach Boden- und Klimaeignungskategorien. MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel= Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft, AF= für Ackerbau geeignet, nAF= für Ackerbau ungeeignet.

## 6.5 Interpretation

Für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz besteht ein deutlicher Zusammenhang mit dem Krafftutereinsatz pro produzierte Einheit Milch (*Abbildung 14*). Dennoch gibt es Betriebe, die trotz hohen Krafftuterteilen relativ tiefe Nahrungsmittelkonkurrenz aufweisen. Der Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz bringt also zusätzliche Informationen gegenüber der Krafftutereintensität. Betriebe, die trotz Krafftutereinsatz eine tiefe Nahrungsmittelkonkurrenz aufweisen, setzen vermehrt Nebenprodukte und Abfälle wie Brotabfälle oder Biertreber ein, welche als nicht verwertbar gelten. Soll also die Nahrungsmittelkonkurrenz bei gleichem Krafftutereinsatz reduziert werden, sind Nebenprodukte aus der Nahrungsmittelproduktion wie Futterkartoffeln, Melasse oder Mühlennachprodukte einzusetzen. Solche Nebenprodukte sind häufig eher energiereich. Proteinreiche Nebenprodukte, die gar nicht für die menschliche Ernährung geeignet sind (z.B. Biertreber) sind die Ausnahme.

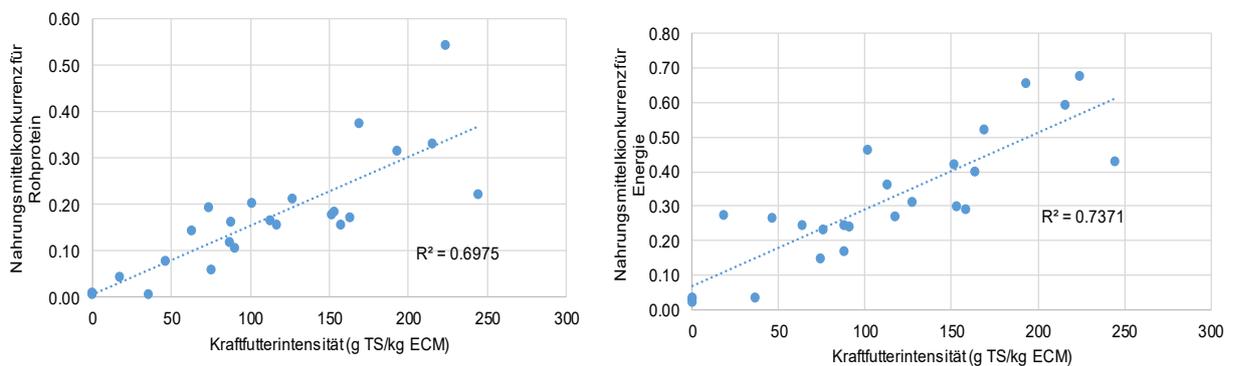


Abbildung 14: Ergebnisse der Testbetriebe und Korrelation mit der Krafftutereintensität für die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz Protein und Nahrungsmittelkonkurrenz Energie.

Ein positiver Zusammenhang des Indikators Nahrungsmittelkonkurrenz besteht auch mit der Milchleistung (*Abbildung 15*). Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die höhere Milchleistung nicht kausal die höhere Nahrungsmittelkonkurrenz bewirkt. Höhere Leistungen erhöhen den Divisor (*Formel 3*), was bei gleichbleibender Fütterung zu tieferer Nahrungsmittelkonkurrenz führt. Höhere Milchleistungen erfordern jedoch auch Futterrationen mit höheren Nährstoffgehalten, was meist mit einer Erhöhung der menschlich verwertbaren Anteile einhergeht. Entsprechend ist die Milchleistung mit dem Krafftutereinsatz korreliert. Offenbar wurden die höheren menschlich verwertbaren Anteile in Futtermitteln bei den untersuchten Betrieben nicht durch höhere Milchleistungen kompensiert.

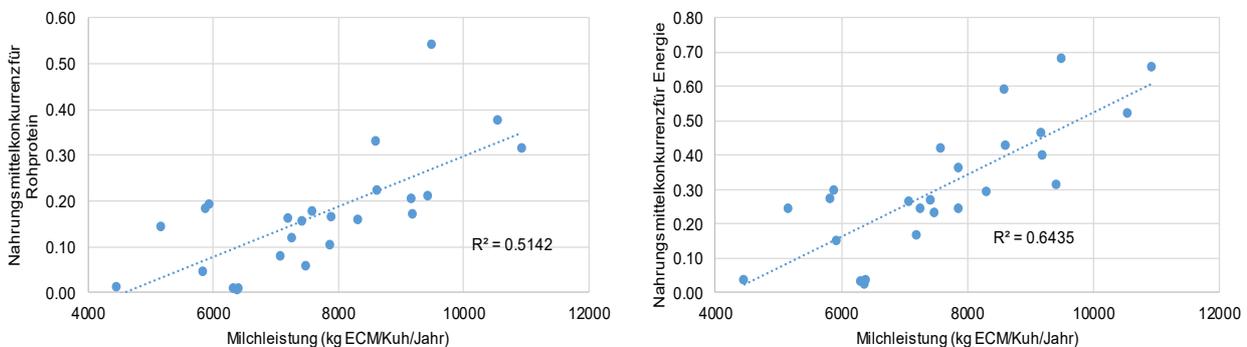


Abbildung 15: Ergebnisse der Testbetriebe und Korrelation mit der Milchleistung für die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz Protein und Energie.

Der Indikator Flächenkonkurrenz zeigt eine Korrelation mit der ackerbaulich geeigneten Fläche (betriebseigene sowie externe), allerdings stärker für den Energie-Indikator als für den Protein-Indikator (*Abbildung 16*).

Dies kann damit erklärt werden, dass der Ertrag zwischen den verschiedenen Klimaregionen für den Protein-Indikator stärker schwankt. Es ist demzufolge von Bedeutung, wie gross die gesamte Fläche ist und, mehr noch, wie diese in die verschiedenen Kategorien eingestuft wurde.

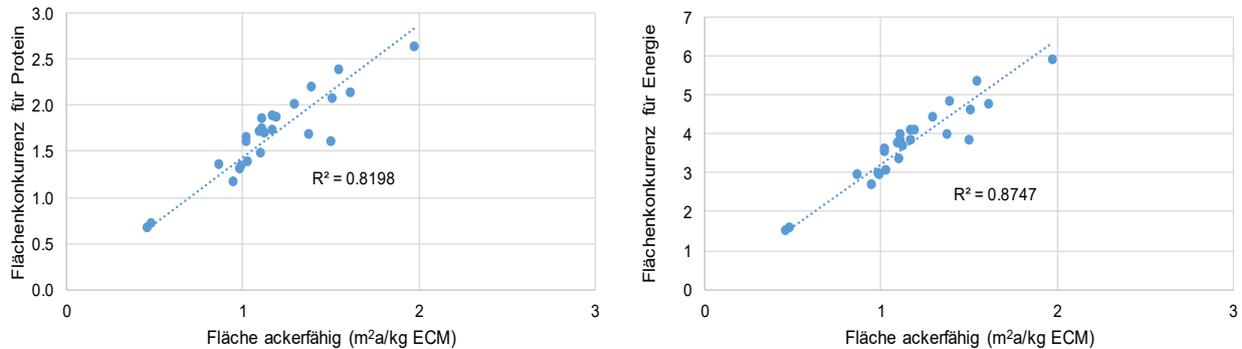


Abbildung 16: Ergebnisse der Testbetriebe und Korrelation mit der ackerfähigen Fläche für die Indikatoren Flächenkonkurrenz Protein und Energie.

Der Indikator ist ausserdem abhängig von der Futtermittelverwertung (kg TS/kg ECM) (Abbildung 17). Deutlich ersichtlich ist, dass die Betriebe mit besonders guter Futtermittelverwertung (d.h. tiefe Werte) die höchste Flächenkonkurrenz aufweisen und vergleichsweise viel ackerfähige Flächen benötigen (Kreisgrösse). Dies ist mit der höheren Nährstoffdichte der Futtermittel aus Ackerkulturen zu erklären: Je besser die Futtermittelverwertung (kg TS/kg ECM), desto höher ist meist der Nährstoffgehalt der Ration und umso wahrscheinlicher ist der Einsatz von Futtermitteln von Ackerflächen. Es gibt allerdings Betriebe, die trotz mittlerer Futtermittelverwertung niedrige Indikatorwerte erzielen; diese benötigen wenig ackerfähige Fläche (Kreisgrösse). Zusammenfassend kann gesagt werden: Wenn die genutzte Fläche als nicht-ackerfähig eingestuft wird, ist die Futtermittelverwertung zweit-rangig. Nutzt ein Betrieb hingegen ackerfähige Flächen, verstärkt eine schlechte Futtermittelverwertung die Konkurrenz zur menschlichen Ernährung.

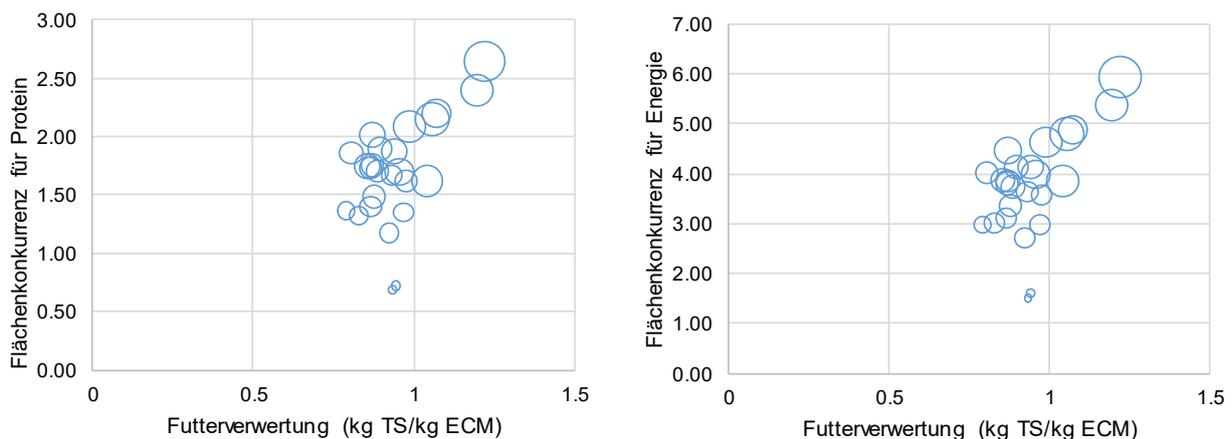


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen der Futtermittelverwertung und den Indikatoren Flächenkonkurrenz Protein und Energie. Die Kreisgrösse ist im Durchmesser abhängig von der ackerfähigen Fläche.

Die beiden Indikatoren zeigen für diese Auswahl von Testbetrieben keine Korrelation miteinander (Abbildung 18). Das überrascht nicht, da die beiden Ansätze deutlich unterschiedliche Aussagen machen. Es besteht keine Redundanz zwischen den beiden Methoden, sondern die beiden Ansätze ergänzen sich und sollten

zusammen betrachtet werden. Setzt ein Betrieb nur wenig Kraftfutter ein, nutzt jedoch ackerfähige Flächen als Wiesen und Weiden, fällt die Nahrungsmittelkonkurrenz zwar gering aus, die Flächenkonkurrenz hingegen hoch. Umgekehrt kann ein Betrieb Flächen nutzen, welche als nicht ackerfähig eingestuft werden, aber die Futterration mit Kraftfutter anreichern. Dieser Betrieb wird in der Flächenkonkurrenz niedrige Werte erreichen, dafür in der Nahrungsmittelkonkurrenz höhere.

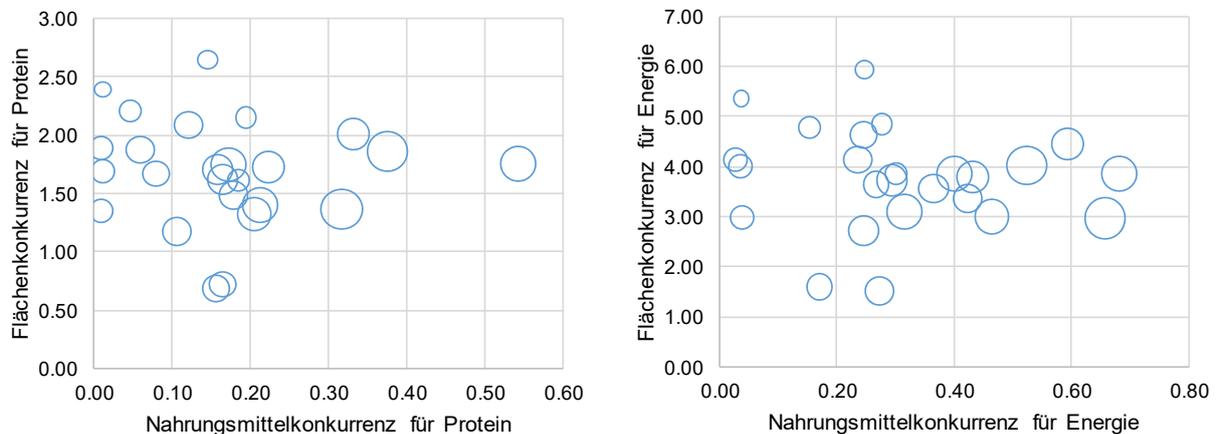


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen den Indikatorwerten Nahrungsmittelkonkurrenz und Flächenkonkurrenz für Protein und Energie. Kreisgrösse im Durchmesser abhängig von Milchleistung.

Für beide Indikatoren liegen die Ergebnisse nach Energie höher als nach Protein, da Milchprodukte im Verhältnis zum Bedarf des Menschen mehr zu der Protein- als zu der Energieversorgung beitragen. Wird die Proteinqualität jedoch nicht berücksichtigt (siehe 6.2 und 6.4), ist dieser Unterschied für den Nahrungsmittelkonkurrenz-Indikator fast nicht mehr sichtbar. Beim Vergleich der beiden Indikatoren ist deutlich ersichtlich, dass die Testbetriebe je nach Zielvariable unterschiedlich abschneiden. Während alle Werte für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz unter eins liegen, erzielen beim Indikator Flächenkonkurrenz lediglich zwei Betriebe Werte von unter eins, und zwar nur nach Protein. Für die Testbetriebe besteht also bezüglich Nahrungsmittel eine eher tiefe Konkurrenz (Milchproduktion trägt mehr zur Protein- und Energieversorgung für Menschen bei, als wenn die Futtermittel direkt verzehrt würden); bezüglich Fläche dagegen eine eher hohe Konkurrenz (Milchproduktion trägt weniger zur Protein- und Energieversorgung für Menschen bei, als wenn die Fläche direkt verwendet würde).

Bei der Flächenkonkurrenz sind die Indikatoren für Energie und Protein sehr eng korreliert. Bei der Nahrungsmittelkonkurrenz besteht dieser Zusammenhang ebenfalls, ist jedoch weniger ausgeprägt (Abbildung 19).

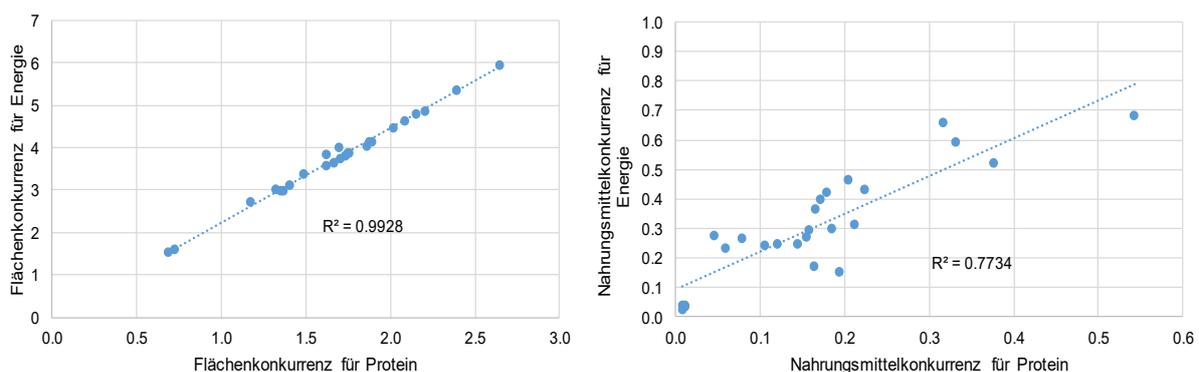


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen den Indikatorwerten für Protein und Energie jeweils für Flächenkonkurrenz (links) und Nahrungsmittelkonkurrenz (rechts).

## 7 Diskussion

Die Diskussion beginnt mit den Möglichkeiten zur Reduktion der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz (7.1), gefolgt vom Vergleich mit anderen Studien (7.2). Schliesslich wird die Aussagekraft der Indikatoren diskutiert (7.3).

### 7.1 Möglichkeiten zur Reduktion der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz

Die beiden entwickelten Indikatoren beschreiben einen Sachverhalt aus jeweils unterschiedlichen Perspektiven. Um die jeweiligen Werte zu optimieren, müssen deshalb unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Dabei ist zwischen der Betriebsebene und der sektoralen Ebene zu unterscheiden. Auf Betriebsebene sind primär die Betriebsleitenden und die Beratung angesprochen; die Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Produktion werden jedoch durch Behörden und Privatwirtschaft beeinflusst. Auf sektoraler Ebene sind die Einflussmöglichkeiten der Betriebsleitenden gering; primär sind die Behörden Verbände, Verarbeiter und der Handel angesprochen.

Zum anderen können die Optimierungsmöglichkeiten in direkte und indirekte Massnahmen eingeteilt werden:

1. **Direkt:**
  - a. Reduktion der potenziell durch den Menschen verwertbaren Futtermittel in der Futtermittelerzeugung (Nahrungsmittelkonkurrenz) bzw.
  - b. Reduktion der Futterproduktion auf ackerfähigen Flächen (Flächenkonkurrenz).
2. **Indirekt** durch Erhöhung der Effizienz des Milchproduktionssystems durch bessere Futterverwertung, tiefere Remontierungsraten, etc. (gilt für beide Indikatoren)

Für eine Reduktion der Nahrungsmittelkonkurrenz müssten vermehrt für den Menschen nicht verwertbare Futtermittel eingesetzt werden (1a): Wiesenfutter und Nebenprodukte aus der Nahrungsmittelproduktion wie z.B. Futterkartoffeln, Kleie oder Birtreber. Dies kann direkt auf Betriebsebene erfolgen, indem anstelle von Kraftfutter Futtermittel verwendet werden (eigener Anbau oder Zukauf), die für die menschliche Ernährung ungeeignet sind. Die Proteinausgleichsfütterung stellt dabei eine Herausforderung dar, da weniger proteinreiche Nebenprodukte anfallen.

Für den Indikator Flächenkonkurrenz ist eine Optimierung auf Betriebsstufe schwieriger, wenn Milch produziert werden soll. Wenn auf dem Betrieb Flächen mit unterschiedlicher ackerbaulicher Eignung zur Verfügung stehen, sollte das Futter bevorzugt auf Flächen angebaut werden, die dafür weniger geeignet sind. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf einen Teil der ackerfähigen Betriebsfläche für die Futterproduktion zu verzichten, und diese direkt für die Nahrungsmittelproduktion zu nutzen. Stattdessen könnten Futtermittel zugeführt werden, die von weniger für den Ackerbau geeigneten Flächen stammen (1b).

Indirekt wirkt es sich auf beide Indikatoren günstig aus, wenn die Futterverwertung (für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz ohne zusätzliche Gabe von Kraftfutter) erhöht werden kann (2). Zentral ist auch eine hohe Qualität des Futters (Verdaulichkeit, Nährstoffgehalte) und geringe Verluste. Eine längere Lebensleistung der Kühe mit gleicher Milchleistung beeinflusst beide Indikatoren ebenfalls günstig, da weniger Tiere remontiert werden müssen. Alig *et al.* (2015) haben beispielsweise gezeigt, dass sich mit der Erhöhung der Anzahl Laktationen, die Treibhausgasemissionen von Verkehrsmilchbetrieben um 3-4% vermindern liessen. Ein ähnlicher Trend lässt sich auch für die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz vermuten.

Bei einer Betrachtung auf sektoraler Ebene bieten sich weitere Optimierungsmöglichkeiten. Beispielsweise könnte die Milchproduktion auf Betrieben gefördert werden, welche niedrige Flächenkonkurrenz aufweisen, d.h. Flächen nutzen, auf denen keine alternative Nahrungsmittelproduktion möglich ist. Dies ist typischerweise im Berggebiet der Fall und entspricht zudem einer Erwartung der Gesellschaft und der KonsumentInnen.

Wichtig ist anzumerken, dass es bei der Optimierung der Werte gewisse Trade-Offs zwischen den beiden Indikatoren geben kann. Betriebe mit einem hohen Anteil ackerbaulich nutzbaren Flächen können zwar die

Nahrungsmittelkonkurrenz senken (z.B. durch Kraffutterreduktion), kaum jedoch die Flächenkonkurrenz. Im Gegenteil: produzieren sie weniger intensiv, und die Futterverwertung verschlechtert sich, so nimmt die Flächenkonkurrenz sogar zu, da die ackerbaulich nutzbare Fläche pro kg ECM zunimmt. Umgekehrt kann ein Betrieb Flächen bewirtschaften, welche als nicht geeignet zum Ackerbau eingestuft werden, und die Futterration mit Kraffutter anreichern. Damit werden zwar niedrige Werte in der Flächenkonkurrenz erreicht, hingegen verschärft sich die Nahrungsmittelkonkurrenz.

## 7.2 Vergleich der Testergebnisse mit anderen Studien und methodische Neuerungen

Methodisch sind die im Folgenden dargestellten Studien zur Ermittlung der Nahrungsmittelkonkurrenz ähnlich aufgebaut. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden mit Publikationen aus den USA, Frankreich, Österreich und Grossbritannien verglichen. In diesen Arbeiten erfolgte jedoch keine Korrektur nach Proteinqualität; zwecks Vergleichbarkeit werden die Indikatorwerte der vorliegenden Arbeit ebenfalls ohne Berücksichtigung der Proteinqualität dargestellt (*Abbildung 20*). Die Annahmen zu den menschlich verwertbaren Anteilen in den Futtermitteln unterschieden sich ebenfalls. In älteren Studien (Oltjen & Beckett, 1996; Wilkinson, 2011) wurde rudimentär in Verwertbarkeitskategorien eingeteilt, während diese später verfeinert wurden (Ertl *et al.*, 2015; Laisse *et al.*, 2016). In der vorliegenden Untersuchung wurde die menschliche Verwertbarkeit für sehr viele weitere Futtermittel eruiert und in eine praxistaugliche Berechnungsmethode integriert. In den Vergleichsstudien wurde die Remontierung nicht berücksichtigt oder die Beschreibung ist diesbezüglich unklar. Die Berücksichtigung der Remontierung (Ersatz von abgehenden Kühen) erhöht den Futter- und Flächenbedarf und damit die Indikatorwerte. Aufgrund des höheren Detaillierungsgrades bei der Datenerhebung und der Modellierung des Milchproduktionssystems sowie unterschiedlicher Annahmen für die menschliche Verwertbarkeit sind die Resultate entsprechend nur bedingt vergleichbar. Zudem ist die Stichprobe in der vorliegenden Studie nicht repräsentativ für die Schweizer Milchwirtschaft. Dies trifft allerdings auch für die meisten Studien aus der Literatur zu.

Im Vergleich zur Literatur liegen die Protein-Indikatorwerte für die Nahrungsmittelkonkurrenz eher im unteren Bereich (*Abbildung 20*). Etwa die Hälfte der untersuchten Betriebe liegt unter dem tieferen Wert der amerikanischen Ration von Oltjen and Beckett (1996), welche nach geringer Nahrungsmittelkonkurrenz optimierten. Dies liegt zum einen sicherlich daran, dass die hier untersuchten Betriebe alle sehr hohe Wiesenfutteranteile aufweisen. Dies ist üblich in der Schweiz, fanden doch Ineichen *et al.* (2016) durchschnittliche Wiesenfutteranteile von 76% in Schweizer Milchviehrationen. Hohe Wiesenfutteranteile führen zu tiefen für den Menschen direkt verwertbaren Anteilen der Gesamtration. Neben den hohen Wiesenfutteranteilen trägt vor allem der vergleichsweise tiefe Kraffuttereinsatz zur geringen Nahrungsmittelkonkurrenz der Schweizer Betriebe bei. So wurden beispielsweise bei Ertl *et al.* (2015) Kraffuttermengen um 300 g TS/kg ECM eingesetzt, während die in der vorliegenden Studie untersuchten Betriebe im Mittel nur ein Drittel pro kg ECM einsetzten ( $108 \pm 73$  g TS/kg ECM). Laisse *et al.* (2016) untersuchten Betriebe mit Kraffutteranteilen von 8%-41% der Jahresration, während die Schweizer Betriebe in der aktuellen Studie Anteile zwischen 0% und 24% aufwiesen. Teilweise ist aber unklar, welche Definitionen von Kraffutter in den verschiedenen Studien angewandt wurden bzw. sind die Futtermittelkategorien nicht identisch mit den hier verwendeten Definitionen. Nichtsdestotrotz dürfte die unterschiedliche Rationszusammensetzung ein wesentliches Element sein, das auch die Unterschiede der Resultate der verschiedenen Studien erklärt.

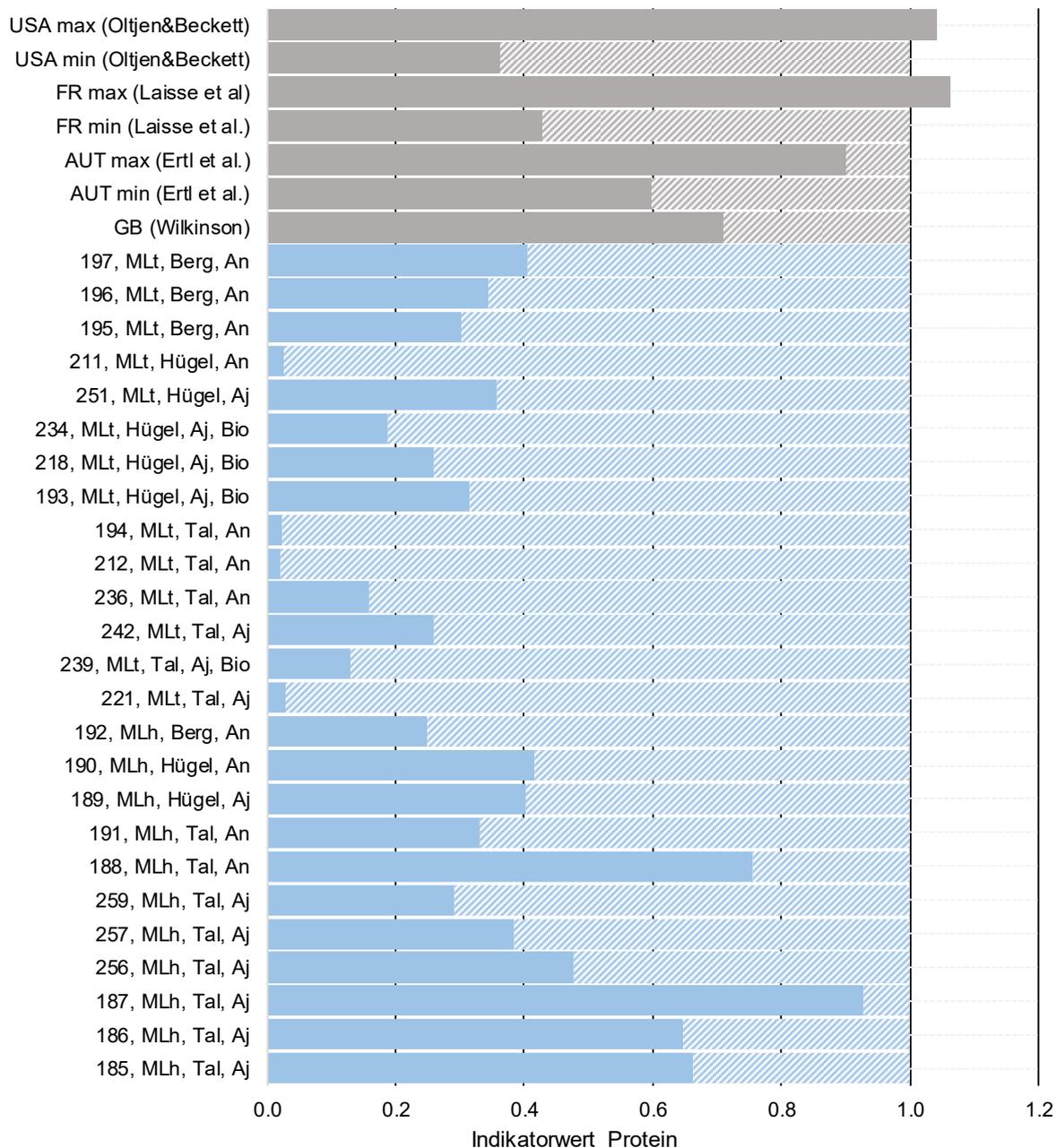


Abbildung 20: Ergebnisse der Testbetriebe für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Protein (ohne Proteinqualitäts-Korrektur) im Vergleich mit Werten aus internationalen Studien (Ertl et al., 2015; Laisse et al., 2018; Oltjen & Beckett, 1996; Wilkinson, 2011). MLt= Milchleistung unter 8000kg/Kuh/a, MLh= Milchleistung über 8000kg/Kuh/a, Berg= Bergzone, Hügel = Hügelzone, Tal= Talzone, Aj= Betrieb mit Ackerbau, An= Betrieb ohne Ackerbau, Bio= biologische Landwirtschaft, max= höchster Wert aus Studie, min= niedrigster Wert aus Studie, USA= Vereinigte Staaten von Amerika, FR= Frankreich, AUT= Österreich, GB= Grossbritannien

Zur Ermittlung der Flächenkonkurrenz ist bislang nur die Studie von van Zanten *et al.* (2016) publiziert, da die Methode – unseres Wissens ausser von den Autoren selber – bisher noch nie eingesetzt wurde. In der Studie wurden zwei unterschiedliche Betriebstypen für die Milchproduktion in den Niederlanden berechnet. Auf Sandböden wurde eine Flächenkonkurrenz von 2.10 für Protein und 4.35 für Energie ermittelt, was vergleichbar mit den in der vorliegenden Studie untersuchten ackerfähigen (mineralischen) Böden im Mittelland ist. Hingegen ermittelten Van Zanten *et al.* (2016) auf einem Torfboden eine Flächenkonkurrenz von 0.67 für Protein und 1.22 für die Energie. Torfböden wurden als ungeeignet für Ackerbau betrachtet.

Die Methodik in dieser Studie ist zwar an diejenige von van Zanten *et al.* (2016) angelehnt (vier Schritte, siehe 5); dennoch ist sie aufgrund der Weiterentwicklungen und Anpassungen nur bedingt vergleichbar. Bei der Bestimmung des Flächenbedarfs für zugeführte Futtermittel haben van Zanten *et al.* (2016) eine ökonomische Allokation angewendet, während in dieser Studie eine Allokation nach NEL und Rohprotein angewandt wurde (siehe auch 5.1.2). So wurde vielen Nebenprodukten wie Stroh, Zuckerrübenschnitzel, und Zitrustreber in der Studie von van Zanten *et al.* (2016) – im Gegensatz zur vorliegenden Studie – ein Flächenbedarf von 0 zugewiesen. Weiter wurde in der vorliegenden Studie die Fläche für die Aufzucht berücksichtigt. Diese trägt teilweise bedeutend zum Flächenbedarf bei, während bei van Zanten *et al.* (2016) darüber keine Angabe gemacht wird.

Auch bei der Bewertung der Ackerfähigkeit der Flächen ergeben sich Unterschiede: Bei van Zanten *et al.* (2016) wurde die Ackerfähigkeit anhand der globalen FAO-Eignungskarten abgeschätzt (GAEZ-Datenbank). Diese Werte dienen sowohl der Bewertung der betriebseigenen wie auch jener der externen Fläche. Für die Ackerfähigkeit der betriebseigenen Fläche kann man also davon ausgehen, dass in der vorliegenden Arbeit präzisere Einschätzungen vorliegen. Bei van Zanten *et al.* (2016) wurde allerdings auch die Ackerfähigkeit für externe Flächen angepasst. Die durchschnittliche Herkunft der Futtermittel wurde – anders als in dieser Studie – nicht nur dazu verwendet, den Flächenbedarf zu bestimmen, sondern auch die Anbaueignung verschiedener Kulturen. Mit unserer Methode wurde hingegen für zugeführten Futtermitteln, die von Ackerland stammen mit den Referenzerträgen gerechnet.

Ebenfalls neu wurde in dieser Studie statt einer «Monokultur» der global ertragsreichsten Kulturen eine Fruchtfolge (nach Vorgaben des ÖLN) zur Produktion des pflanzlichen Potenzials vorgeschlagen, welche explizit die Protein- und Energieerträge maximiert. Ein weiterer Unterschied besteht in der Berücksichtigung der Proteinqualität, welche in van Zanten *et al.* (2016) als Verdaulichkeit des Proteins, und in dieser Studie als DIAAS-Wert berücksichtigt wurde.

### 7.3 Aussagekraft der Ergebnisse und der Indikatoren

Aufgrund der Ergebnisse der Testbetriebe lassen sich keine Aussagen über die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz für die gesamte Milchbranche der Schweiz machen, da die Stichprobe der beteiligten Betriebe zu klein und nicht repräsentativ war.

Die beiden Indikatoren sind auch nicht zur Gesamtbeurteilung der Nachhaltigkeit eines Milchproduktionssystems geeignet. Sie können aber als einzelne Indikatoren im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertungen herangezogen werden, welche spezifische Fragen aus der Perspektive der Ernährungssicherheit beantworten (siehe auch 1). Der Indikator für Nahrungsmittelkonkurrenz zeigt auf, was passieren würde, wenn der menschlich direkt verwertbare Anteil der eingesetzten Futtermittel verzehrt würde. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die meisten Futtermittel im Hinblick auf die Milchproduktion erzeugt wurden. Beispielsweise baut ein Betrieb Silomais an; dies wäre jedoch nicht der Fall, wenn er keine Milchkühe oder andere Raufutterverzehrer halten würde. Der Indikator der Flächenkonkurrenz zeigt das Potenzial an, was mit den genutzten Flächen alternativ hätte geschehen können. Daher ergänzen sich die Informationen zu einem Gesamtbild.

Der neue Indikator für die «Flächenkonkurrenz» kann den häufig in Ökobilanzen verwendeten Indikator «Flächenbedarf» ergänzen, indem auch das Potenzial zur direkten Nahrungsmittelproduktion der Ressource landwirtschaftliche Nutzfläche abgebildet wird. Somit kann dieser wichtige Aspekt in Ökobilanzstudien der Land- und Ernährungswirtschaft – mit Fokus auf der Tierproduktion – einfließen.

#### 7.3.1 Aggregation der Indikatoren

Eine Aggregation der beiden Indikator-Ansätze zu einem Gesamt-Indikator wird nicht empfohlen, weil die Indikatoren unterschiedliche Fragestellungen beantworten und jeweils andere Optimierungsmöglichkeiten implizieren. Ebenso wird von einer Aggregation der beiden Indikatoren für Protein und Energie abgeraten. Hingegen lässt sich anhand des Beitrags der Milch zur menschlichen Ernährung eine Priorisierung vornehmen: 1 kg Milch (bezogen auf ECM) deckt 65% des Tagesbedarfs an Protein aber nur 28% an Energie für einen durchschnittlichen Erwachsenen (25-50 Jahre alt, Durchschnitt von Frauen und Männern, mittleres

Aktivitätsniveau (physical activity level (PAL) von 1.6 (SGE, 2015)). Beim durchschnittlichen Rindfleisch decken 100 g 42% des Tagesbedarfs an Protein aber nur 6% für Energie. Die Bedeutung von Milch und Fleisch für die Proteinversorgung des Menschen ist also wesentlich höher. Aus dieser Perspektive hat der Indikator für Protein eine höhere Priorität als jener für Energie. Wenn zwecks Vereinfachung der Kommunikation einer der beiden Indikatoren gewählt werden soll, so wird der Protein-Indikator empfohlen. Die Indikatoren für Protein und Energie sind zumindest für den Indikator Flächenkonkurrenz stark korreliert, so dass in den meisten Fällen keine unterschiedlichen Schlussfolgerungen gezogen werden.

### 7.3.2 Auswirkungen einer Umstellung von Milchproduktion auf Ackerbau

Beide Indikatoren berechnen eine alternative Nutzung von Futtermitteln bzw. der landwirtschaftlichen Fläche für einen bestimmten Betrieb. Diese Veränderungen sind hypothetisch und stellen keine konkreten Umsetzungsvorschläge dar. Viele der Annahmen sind innerhalb des aktuellen sozioökonomischen Kontextes unrealistisch. Für die Frage, was geschehen würde, wenn alle Futtermittel mit hoher Nahrungsmittelkonkurrenz innerhalb der Schweiz nicht mehr verwendet würden, oder wenn alle ackerfähigen Flächen der Milchproduktion beackert würden, wären andere Forschungsansätze notwendig, z.B. basierend auf der Verwendung von sektoralen Modellen wie in Zimmermann *et al.* (2017).

Beim Indikator zur Flächenkonkurrenz hätte die Umstellung der ackerfähigen Flächen auf eine Protein- oder Energie-optimierende Fruchtfolge weitreichende Konsequenzen, welche vertieft untersucht werden müssten. Was die Umweltauswirkungen einer solchen Umstellung wären, ist unklar und vermutlich von Betrieb zu Betrieb verschieden. Um die Frage der ökologischen Nachhaltigkeit einer Umstellung von der Milchproduktion zum Ackerbau zu beantworten, müsste eine ausführliche Vergleichs-Ökobilanz beider Varianten (mit Milchproduktion und direkter pflanzlicher Produktion) durchgeführt werden. Aspekte, die im Verlaufe des Projekts diskutiert wurden, sind folgende:

- Auswirkungen der Fruchtfolgen ohne Kunstwiese vs. mit Kunstwiese
- Auswirkungen des Wegfalls von tierischen Hofdüngern
- Auswirkungen auf Umwelt-Indikatoren wie Eutrophierung, Treibhausgasbilanz, Ökotoxizität, Biodiversität etc.

### 7.3.3 Unsicherheiten

Die Entwicklung der Indikatoren war begleitet von einem Zielkonflikt zwischen einer Berechnungsweise, die möglichst wenig Daten verwendet und auf alle Schweizer Milchproduktionsbetriebe anwendbar ist, und der Aussagekraft und Genauigkeit der Indikatoren. Besonders betroffen von diesem Zielkonflikt ist die Datenerhebung. Je genauer und betriebsspezifischer Flächeneignung, Futterrationen oder Remontierungsraten ermittelt werden sollen, desto aufwändiger die Datenerhebung. Wird hingegen anhand von Modellannahmen oder Beispieldaten gerechnet, so ist der Aufwand wesentlich geringer.

Die grössten Unsicherheiten in der Berechnung liegen für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz bei der Verwertbarkeit der Futtermittel für den Menschen, da diese Werte oft auf Annahmen beruhen. Dasselbe gilt für die Proteinqualität, wo ebenfalls eine grosse Anzahl an Werten nötig war, obwohl nur wenige Quellen für DIAAS-Werte verfügbar sind.

Für den Indikator Flächenkonkurrenz liegt die wichtigste Unsicherheit bei der Einschätzung der Ackerfähigkeit und des pflanzlichen Ertrags. Mit der Einordnung der Ackerfähigkeit in vier Kategorien, dem GRUD-Ertrag als Standard und den gemeinsamen Ertragsverminderungen für alle Kulturen wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt. Der tatsächlich erzielbare Ertrag ist unbekannt. Beispielsweise dürfte für einige Kulturen auch bei kühlerem Klima keine Ertragsverminderung oder gar eine Ertragssteigerung möglich sein bzw. wärmeres Klima zu tieferen Erträgen führen. Künftige Änderungen des Klimas dürften sich auch auf die Ertragspotenziale auswirken. Ausserdem spielen weitere Faktoren wie Management, Bewässerung, Düngung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Bodenbearbeitung eine Rolle für den realisierbaren Ertrag. Einige der genannten Aspekte wurden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen untersucht (siehe 6.2 und 6.4).

### 7.3.4 Weiterer Forschungsbedarf

Die Indikatoren könnten im Vergleich zu den bestehenden Methoden zumindest in gewissen Aspekten verfeinert werden. Trotzdem gibt es weitere Entwicklungsmöglichkeiten und Forschungsbedarf:

- Ausweitung für die Anwendung auf ausländische Betriebe und ein internationaler Vergleich mit repräsentativen Daten
- Ausweitung für die Anwendung auf weitere tierische Produktionssysteme
- Differenzierung der Aufzucht: Möglichkeit zur Erfassung von unterschiedlichen Arten der Aufzucht (z.B. nur in Bergzone)
- Futtermittelzusammensetzung: Umfassendere Möglichkeiten zur Erhebung der Kraffutter (mehr unterschiedliche Kraffuttermischungen)
- Berücksichtigung weiterer ernährungsspezifischer Faktoren in der Milch/pflanzlichen Produktion (Vitamin B12, Vitamin D, gesättigte Fettsäuren, Cholesterin, Ballaststoffe, etc.)
- Verfeinerung der Ackerbaueignungsanalyse: Optimierungsmöglichkeiten sowohl bei der Klima- wie auch bei der Bodeneignung (bessere schweizweite Bodeneignungskarte, bessere Daten zu Ertragspotenzialen nach Klima-/Bodeneignung und nach Kultur, Einteilung in feinere Kategorien etc.)
- Genauere Berücksichtigung der Proteinqualität: «Blending» von Proteinquellen (durch Mischung von Produkten mit unterschiedlicher Aminosäuren-Zusammensetzung)
- Berechnung der Futtermittelflächen: Eine andere Art der Allokation der Futtermittelflächen (siehe auch 5.1.2) könnte je nach Anwendung Sinn ergeben (z.B. verdauliche Energie statt NEL für Anwendung auf andere Tierarten, oder nur Protein/nur Energie).
- Möglichkeit, je nach Bedarf verschiedene Szenarien für Verwertbarkeit der Futtermittel für Menschen zu berücksichtigen.

### 7.3.5 Die beiden Indikator-Ansätze im Vergleich

Nachfolgend wird eine Übersicht über die wichtigsten Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Indikator-Ansätze Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz dargestellt (*Tabelle 11*).

Tabelle 11: Vergleich der beiden Indikator-Ansätze

	Indikator Flächenkonkurrenz	Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz
Aussage	Potenzial der alternativen Nahrungsmittelproduktion auf der für die Futterproduktion genutzten Fläche	Aktuelle («Current») Nutzung der Futtermittel, Aktuelle Verwertungsraten in der Nahrungsmittelindustrie
Besondere Aspekte	Berücksichtigt die Nutzungsmöglichkeiten der Futterflächen	Berücksichtigt die Nutzung der Nebenprodukte der Nahrungsmittelindustrie
Anwendungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategische Planung</li> <li>• Systemoptimierung Sektor</li> <li>• Aufzeigen der Nutzungskonflikte in der Nahrungsmittelproduktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahl des Produktionssystems (Milchleistung, Haltungssystem) auf Stufe Betrieb</li> <li>• Optimierung der gesamten Futterration</li> <li>• Verwertung der Nebenprodukte</li> </ul>
Handlungsoptionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebtagesleistung erhöhen</li> <li>• Remontierungsrate senken</li> <li>• Aufzucht im Berggebiet</li> <li>• Futtermittelverwertung verbessern (ohne Steigerung des Kraffutters)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionale Differenzierung der Milchproduktion</li> <li>• Zusammensetzung der Futterration anpassen (mehr Futter mit geringem Flächenbedarf oder von extensivem Grasland stammend)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammensetzung der Futterration anpassen (mehr Wiesenfutter, mehr Nebenprodukte, überlegter Kraffuttereinsatz)</li> </ul>

## 8 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Indikatoren zur Bemessung des Beitrags der Milchproduktion zur Ernährungssicherheit bezüglich Energie- und Proteinversorgung für die menschliche Ernährung weiterentwickelt und auf 25 Praxisbetrieben getestet. Die untersuchten Betriebe stellen keine repräsentative Stichprobe der Schweizer Milchproduktionsbetriebe dar.

Unseres Wissens handelt es sich hier um die erste Studie, die beide Indikatoransätze kombiniert. Sie wurden so umgesetzt, dass sie sich relativ einfach auf jeden beliebigen Schweizer Milchproduktionsbetrieb anwenden lassen. Gegenüber den vorhandenen wissenschaftlichen Studien wurde die Methodik für beide Indikatoren verfeinert und angepasst. Die Liste der berücksichtigten Futtermittel wurde beträchtlich erweitert, so dass alle in der Futtermitteldatenbank gelisteten Futtermittel berücksichtigt werden können. Beim pflanzlichen Ertragspotenzial wurde nicht nur die beste Kultur, sondern eine optimierte Fruchtfolge zu Grunde gelegt. Die Ackerfähigkeit der Flächen wurde für die Schweiz detailliert aufgrund verfügbarer räumlichen Informationen bzw. Angaben der Betriebe abgeschätzt. Zudem wurde die Proteinqualität systematisch berücksichtigt.

Die untersuchten Betriebe weisen für den Indikator Nahrungsmittelkonkurrenz Werte zwischen 0.01 und 0.54 für Protein und 0.03 und 0.68 für Energie auf. Dies bedeutet eine geringe direkte Konkurrenz auf Basis der eingesetzten Futtermittel, bzw. dass das Milchproduktionssystem mehr für den Menschen verwertbares Protein bzw. Energie hervorbringt, als dafür im Futter eingesetzt wurde. Die Indikatorwerte für die Nahrungsmittelkonkurrenz korrelieren stark mit dem Krafftuttereinsatz pro produzierte Einheit Milch. Für Betriebe, die nur sehr wenig oder gar kein Krafftutter einsetzen, ergaben sich Werte um Null. Betriebe, die trotz bedeutenden Krafftutteranteilen an der Gesamtration niedrige Indikatorwerte aufweisen, setzen vermehrt Nebenprodukte aus der Futter- und Nahrungsmittelproduktion als Futtermittel ein wie Rapsextraktionsschrot, Futterkartoffeln oder Birtreber.

Für den Indikator zur Flächenkonkurrenz liegen die Ergebnisse zwischen 0.69 und 2.64 für Protein und 1.52 und 5.93 für Energie. Nur zwei Betriebe weisen einen Indikatorwert  $< 1$  (für Protein) auf. In den meisten Fällen würde ein Anbau von direkt für den Menschen verwertbaren Ackerprodukten mehr zur menschlichen Ernährung beitragen als die Milchproduktion auf den betreffenden Flächen. Entscheidend für die Indikatorwerte eines Betriebs ist die ackerfähige Fläche. Dies gilt insbesondere für die betriebseigenen Flächen, da diese in den meisten Fällen den grössten Teil der Unterschiede ausmachen. Die zwei Betriebe mit den niedrigsten Indikatorwerten liegen in der Bergzone; deren Betriebsfläche galt zu 100% als ungeeignet für Ackerbau. Haben zwei Betriebe betreffend ihrer betriebseigenen Nutzfläche jedoch ähnliche Bedingungen, spielen Effizienzparameter der Milchproduktion (Futtermittelverwertung, Remontierungsrate) eine bedeutende Rolle. Neben dem Flächenbedarf pro produzierte Einheit Milch, spielt die Qualität (Ackerfähigkeit) der eingesetzten Flächen eine erhebliche Rolle. Mit dem neuen Indikator für die «Flächenkonkurrenz» kann der häufig in Ökobilanzen verwendete Indikator «Flächenbedarf» ergänzt werden, indem auch das Potenzial zur direkten Nahrungsmittelproduktion der Ressource landwirtschaftliche Nutzfläche abgebildet wird.

Die Ergebnisse der untersuchten Betriebe lassen sich nicht auf die gesamte Schweizer Milchproduktion extrapolieren, da die untersuchte Stichprobe zu klein und nicht repräsentativ war. Die Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass die Flächenkonkurrenz zwischen der Milchproduktion und der ackerbaulichen Nutzung zur direkten menschlichen Ernährung grösser ist als die Nahrungsmittelkonkurrenz. Ein Vergleich mit ausländischen Studien zeigt, dass die Werte für die Betriebe in dieser Studie in einem ähnlichen Bereich lagen. Der Vergleich ist allerdings aufgrund methodischer Unterschiede nur beschränkt möglich; bei der Flächenkonkurrenz existiert zudem nur eine Vergleichsstudie mit zwei Milchproduktions-Systemen.

Beide Indikatoren weisen in Bezug auf Protein eine geringere Konkurrenz auf als in Bezug auf Energie. Gründe hierfür sind, dass im Verhältnis zum Bedarf des Menschen Milchprodukte mehr zur Protein- als zur Energieversorgung beitragen und dass bei der Umwandlung der Futterenergie durch Wiederkäuer in tierische Produkte hohe Verluste entstehen. Zudem wird die Qualität des Proteins in den tierischen Produkten höher bewertet als jene des Proteins in den Futtermitteln. Die Indikatoren Nahrungsmittelkonkurrenz und Flächen-

---

konkurrenz beschreiben die gleiche Thematik mit einem unterschiedlichen Fokus. Auf den untersuchten Betrieben korrelieren sie deshalb nicht miteinander. Die Kombination der Indikatoren hilft aber die Nahrungsmittelkonkurrenz aus zwei unterschiedlichen Perspektiven umfassender zu beurteilen, so dass die Feed-Food-Competition als Ganzes messbar wird. Setzt ein Betrieb nur geringe Kraftfuttermengen ein, nutzt aber ackerfähige Flächen für die Futterproduktion, weist er zwar eine geringe Nahrungsmittel- dafür aber eine hohe Flächenkonkurrenz auf. Umgekehrt weist ein Betrieb, der sein Wiesenfutter auf nicht ackerfähig nutzbaren Flächen produziert, aber im hohen Masse Kraftfutter verfüttert, niedrige Werte für die Flächen- aber höhere für die Nahrungsmittelkonkurrenz auf. Mit den beiden Indikator-Ansätzen lässt sich die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz in der Milchproduktion objektiv darstellen und damit ein Beitrag zur Verbesserung der Ernährungssicherheit leisten. Zudem kann der Aspekt Feed-Food-Competition in die Bewertung der gesamten Nachhaltigkeit einfließen.

In weiterführender Forschung zu diesem Thema könnte die Methodik zum einen so ausgeweitet werden, dass sie sich auf weitere tierische Produktionssysteme anwenden liesse (z.B. Monogastrier oder Mastsysteme), zum anderen so, dass auch ausländische Betriebe mit unterschiedlichen agrarpolitischen und klimatischen Voraussetzungen untersucht werden könnten.

## 9 Literatur

- AGRIDEA, 2012. Deckungsbeiträge Ausgabe 2012. Agridea, Fibl, Lindau.
- AGRIDEA, 2013. Fuplan. Fütterungsplan für Milchvieh, Aufzucht- und Mastvieh, Mutterkühe und Kleinwiederkäuer Lindau: AGRIDEA.
- Agroscope, 2015. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Posieux,
- Agroscope, 2017. Schweizerische Futtermitteldatenbank. [www.feedbase.ch](http://www.feedbase.ch).
- Alig M., Prechsl U., Schwitter K., Waldvogel T., Wolff V., Wunderlich A., Zorn A. & Gaillard G., 2015. Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmassnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz. Agroscope, Zürich, Agroscope Science 29, 160 p.
- biofarm, 2018. Rapskerne CH. Accessed 06.11.2018. Available at <https://webshop.biofarm.ch/productdetail?i=12604>.
- BLW, 2000. Digitale Bodeneignungskarte der Schweiz. Available at <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/datenmanagement/geografisches-informationssystem-gis/download-geodaten.html#accordion1541586371335>.
- BLW, 2018. Anleitung für die Schätzung des landwirtschaftlichen Ertragswertes. 150 p.
- Cervantes-Pahm S.K., Liu Y. & Stein H.H., 2014. Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. British Journal of Nutrition, 111: 1663-1672.
- Day L., 2013. Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security. Trends in Food Science & Technology, 32: 25-42.
- ecoinvent Centre, 2016. ecoinvent Data - The Life Cycle Inventory Data V3.3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf Available at <http://www.ecoinvent.org>.
- Ertl P., Klocker H., Hörtenhuber S., Knaus W. & Zollitsch W., 2015. The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. Agricultural Systems, 137: 119-125.
- Ertl P., Knaus W. & Zollitsch W., 2016a. An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. Animal, 10: 1883-1889.
- Ertl P., Steinwider A., Schönauer M., Krimberger K., Knaus W. & Zollitsch W., 2016b. Net food production of different Livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. Bodenkultur, 67: 91-103.
- FAO, 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Rome, FAO Food and Nutrition Paper, 79 p.
- Hofstetter P., Akert F., Kneubühler L., Kunz P., Frey H.-J., Estermann J., Gut1 W., Höltschi M., Menzi H., Petermann R., Schmid H. & Reidy B., 2014. Optimierung von Milchproduktionssystemen mit Eingrasen Systemvergleich Hohenrain II. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 16: 27-31.
- Holzkämper A., Fossati D., Hiltbrunner J. & Fuhrer J., 2015. Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland. Regional Environmental Change, 15: 109-122.
- House J.D., Neufeld J. & Leson G., 2010. Evaluating the Quality of Protein from Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Products Through the use of the Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score Method. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 11801-11807.
- Ineichen S., Sutter M. & Reidy B., 2016. Graslandbasierte Milchproduktion. Erhebung der aktuellen Fütterungspraxis und Ursachenanalyse für hohe bzw. geringe Leistungen aus dem Wiesenfutter. BFH HAFL, 73 p.
- Jans F., Kessler J., Münger A. & Schlegel P., 2015. Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer, Agroscope, Posieux.

- Jørgensen H. & Lauridsen C., 2004. Nutrient composition and bioavailability of protein and energy in common fruits and vegetables prepared for human consumption. In: Challenges to food science and technology - Food Congress 2004, Levnedsmiddelcentret. 135.
- Kanton Zürich, 2014. Kriterien für Fruchtfolgeflächen im Kanton Zürich. Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Landwirtschaft und Natur.
- Klocker H., 2014. Untersuchung der Lebensmittel-Konversionseffizienz in der Milcherzeugung in Hinblick auf die Nahrungskonkurrenz. Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Kneubühler L., 2017. EffiMi- Effiziente Milchproduktion - Entwicklung einer Berechnungsmethode zur Beurteilung der Effizienz von Milchproduktionssystemen. Master thesis. Berner Fachhochschule, Zollikofen. 165 p.
- Kopf-Bolanz K., Bisig W., Jungluth N. & Denkel C., 2015. Quantitatives Potential zur Verwertung von Molke in Lebensmitteln in der Schweiz. Agrarforschung Schweiz, 6: 270-277.
- Kraievskaja S., Stetsenko N. & Korol O., 2017. Comparing between the amino acid composition of flax seeds before and after germination. Agrobiodiversity, 2017: 253-257.
- KTBL, 2005. Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt,
- Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudre D., Rouille B., Benoit M., Veysset P., Remond D. & Peyraud J.-L., L'efficience nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : un nouvel indicateur pour évaluer la compétition entre alimentation animale et humaine.
- Laisse S., Rouillé B., Baumont R. & Peyraud J.-L., 2016. Évaluation de la contribution nette des systèmes bovins laitiers français à l'approvisionnement alimentaire protéique pour l'être humain. Renc. Rech. Ruminants, 23: 4.
- Nemecek T., Alig Ceesay M. & Sutter M., 2014. Ökobilanz der graslandbasierten Milchproduktion: Stärken, Schwächen und Verbesserungspotenziale. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 16: 11-16.
- Nemecek T., Heil A., Gaillard, G. & Garcia J., 2001. SALCA - Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database, Umweltinventare für die Landwirtschaft, Version 012, Dezember 2001. FAL, Interner Bericht Teilprodukt Ökobilanzen, Produkt Öko-Controlling, 75 p.
- Oltjen J.W. & Beckett J.L., 1996. Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. J Anim Sci, 74: 1406-9.
- Richner W., Sinaj S., Carlen C., Flisch R., Gilli C., Huguenin-Elie O., Kuster T., Latsch A., Mayer J., Neuweiler R. & Spring J.-L., 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 276.
- Schönauer M., 2016. Abschätzung des Futtermittelanteils in Rationen österreichischer Nutztiere mit direkter potenzieller Verwertungsmöglichkeit in der menschlichen Ernährung. Universität für Bodenkultur, Wien.
- SGE, 2015. DACH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Available at [www.sge-svn.ch/grundlagen/lebensmittel-und-naehrstoffe/naehrstoffempfehlungen/dachreferenzwerte/](http://www.sge-svn.ch/grundlagen/lebensmittel-und-naehrstoffe/naehrstoffempfehlungen/dachreferenzwerte/).
- Steinwider A., Hofstetter P., Frey H. & Gazzarin C., 2016. Lebensmittel-Konversionseffizienz von stall- und weidebasierten Milchproduktionssystemen. Agrarforschung Schweiz, 7: 448-455.
- USDA, 2018. USDA Food Composition Databases. Available at <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>.
- van Zanten H.H.E., Mollenhorst H., Klootwijk C., van Middelaar C. & de Boer I., 2016. Global food security: land use efficiency of livestock systems. International Journal of Life Cycle Assessment, 21: 747-758.
- Vuilloud P., 2005. Optimale Fruchtfolgen im Feldbau, 3. Auflage. Agroscope, Changins, 3 p.
- Wilkinson J., 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. Animal, 5: 1014-1022.
- Zimmermann A., Nemecek T. & Waldvogel T., 2017. Umwelt- und ressourcenschonende Ernährung: Detaillierte Analyse für die Schweiz. Agroscope, Agroscope Science 55, 170 p.

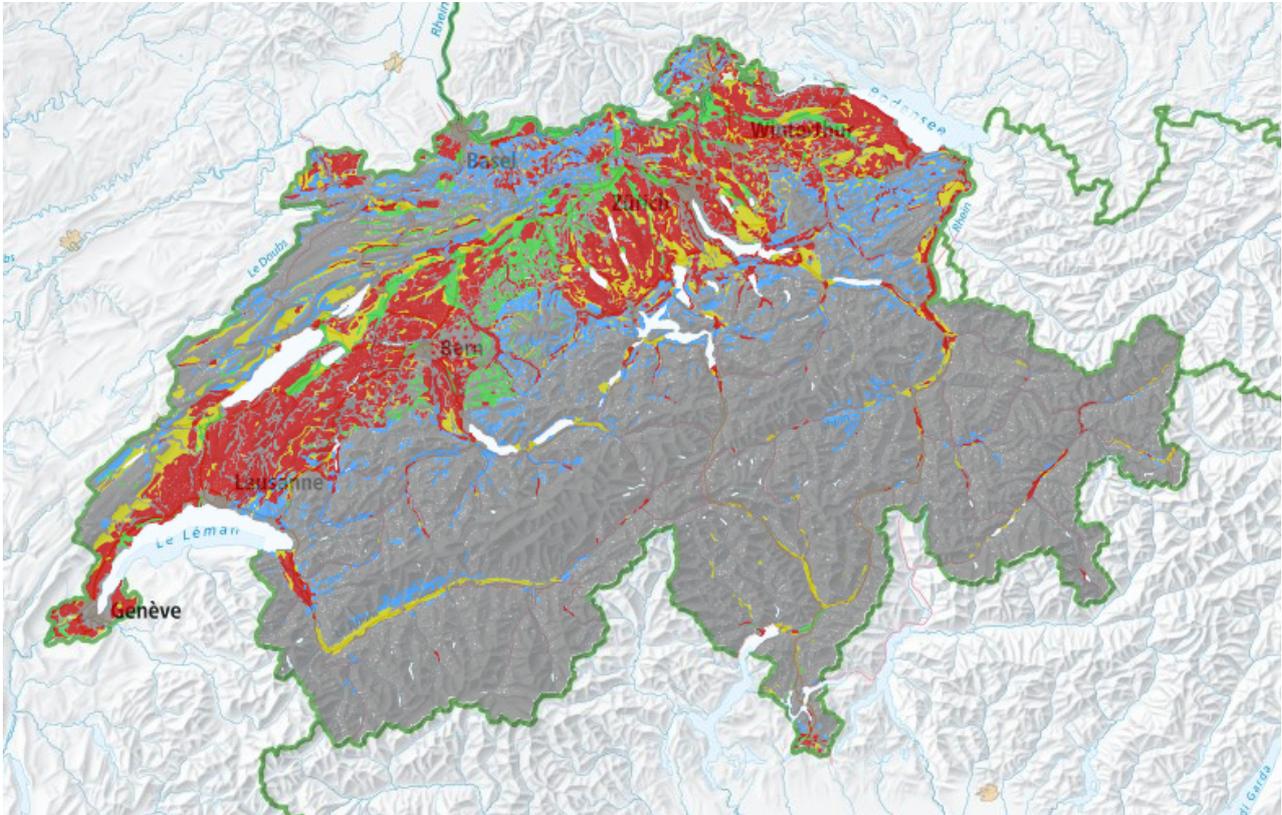
## Anhang A: Liste der Saatgut- und Bio Faktoren

Bezeichnung	Bio-Faktor Ertragsabzug	Zuschlag Fläche für Saatgut
Weide	0.83	1
Eingrasen	0.83	1
Grassilage	0.83	1
Dürrfutter	0.83	1
Trockengras	0.83	1
Grünmais	0.81	1.01
Silomais	0.81	1.01
Grünschnitt	0.83	1
Ganzpflanzensilage	0.81	1.01
Stroh	0.75	1.02
Lieschen	0.73	1
Spindel	0.90	1
Äpfel	0.70	1
Gerste, Körner	0.70	1.02
Birnen	0.70	1
Futterrüben	0.70	1
Karotten	0.70	1
Kartoffeln CH	0.70	1.09
Kartoffeln	0.70	1.09
Kohlrüben	0.70	1
Randen	0.70	1
Stoppelrüben	0.70	1
Topinambur, Knollen	0.70	1
Zichorienwurzeln	0.70	1
Zuckerrüben	0.65	1
Ackerbohnen, Samen	0.83	1.07
Brotweizen, Körner CH	0.69	1.05
Baumwolle, Samen	0.61	1
Bohnen, Samen	0.83	1.07
Brotweizen, Körner	0.69	1.03
Reis, Körner	0.75	1.02
Dinkel, Vesen	0.79	1.04
Dinkel, Vesen CH	0.79	1.04
Erdnüsse mit Schalen	0.78	1.02
Futterweizen, Körner	0.69	1.02
Hafer, Körner	0.86	1.02
Johannisbrot	0.78	1.02
Kokosnuss	0.80	1.02
Lein, Samen	0.61	1
Lupinen, Samen	0.78	1.06
Mais, Körner, trocken	0.73	1.01
Maiskolben ohne Lieschen, CH	0.73	1.01
Maiskolben mit Lieschen, CH	0.73	1.01
Mais, Körner, feucht, CH	0.73	1.01
Ölpalm, Kernen	0.80	1
Ölpalm, Früchte	0.80	1
Erbsen, Samen	0.78	1.06
Raps, Samen	0.61	1

---

Bezeichnung	Bio-Faktor Ertragsabzug	Zuschlag Fläche für Saatgut
Hirse, Körner	0.75	1.02
Roggen, Körner	0.76	1.03
Senf, Körner	0.61	1
Sojabohnen	0.74	1.05
Sonnenblumen, Samen nicht entschält	0.71	1
Sorghum, Körner	0.75	1.02
Cassava, Wurzeln	0.70	1.02
Hartweizen, Körner	0.69	1.06
Trauben	0.84	1
Triticale, Körner	0.78	1.04
Wicken, Samen	0.61	1
weitere	0.90	1.02

## Anhang B: Bodeneignungskarte



### Legende

- Sehr gute Produktion (Hangneigung < 25%)
- Gute Produktion (Hangneigung < 25%)
- Mässige Produktion (Hangneigung < 25%)
- Ackerbau beeinträchtigt (Hangneigung ø 25%, max. 35%)
- Ungeeignet
- Seen, Enklaven

Aus (BLW, 2000)

## Anhang C: Quellen Proteinqualität und Abzug Saatgut für die evaluierten Kulturen

Tabelle 12: Proteinqualität für die evaluierten Kulturen.

Kultur	Proteinqualität (DIAAS/PDCAAS)	PDCAAS	DIAAS	Quelle	Angenommener Abzug für Saatgutproduktion
Sojabohne	0.996		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.040
Kartoffeln	0.95	X		(Jørgensen & Lauridsen, 2004)	0.090
Süsslupine	0.647		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b) (Wert für Erbsen)	0.050
Eiweisserbsen	0.647		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.060
Ackerbohnen	0.570		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.050
Winterraps	0.702		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.000
Winterhafer	0.77		X	(Cervantes-Pahm <i>et al.</i> , 2014)	0.030
Öllein	0.6004		X	(Kraievska <i>et al.</i> , 2017)	0.030
Körnermais	0.424		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.020
Winterweizen	0.402		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.030
Wintertriticale	0.498		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016a)	0.030
Sonnenblume	0.478		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.000
Wintergerste	0.472		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.020
Winterroggen (Hybridsorten)	0.476		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b)	0.030
Ölhanf	0.61	X		(House <i>et al.</i> , 2010)	0.020
Dinkel	0.476		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b) (Wert für Roggen)	0.040
Hirse	0.476		X	(Ertl <i>et al.</i> , 2016b) (Wert für Roggen)	0.030
Emmer, Einkorn	0.402		X	Ertl <i>et al.</i> (2016b) (Wert für Weizen)	0.030
Zuckerrüben	0			Keine Betrachtung des Proteins	0.000

Tabelle 13: Berücksichtigte Kulturen und Daten zur Berechnung des finalen Energie- und Proteintrags. Aus dem Stickstofftrag wurde der Proteintrag gerechnet. 1) aus Richner et al. (2017), 2) aus USDA (2018), 3) biofarm (2018), Proteinqualität aus verschiedenen Quellen (siehe

Tabelle 12), Abzug für Saatgut berechnet wie in 0 beschrieben. Annahme 5% Verlust bei Transport/Verarbeitung für alle Kulturen ausser für Zuckerrüben 9% (nur Melasse und Zucker werden berücksichtigt).

Kultur	Ertrag (dt/ha) <sup>1</sup>	Energiegehalt (kcal/100g) <sup>2</sup>	Stickstofftrag (kg N/ha) <sup>1</sup>	Proteinqualität (DIAAS/PDCAA S)	geeignet für kältere Regionen	Abzug für Saatgutproduktion	Energieertrag (kcal/m <sup>2</sup> ), korrigiert Saatgutbedarf	Proteintrag, korrigiert Saat-	Rangfolge Energieertrag	Rangfolge Proteintrag
Sojabohne	30	446	180	0.996	nein	0.04	1220	102	18	1
Kartoffeln	450	77	135	0.95	ja	0.09	2995	69	3	2
Süsslupine	30	371	165	0.647	nein	0.05	1004	60	22	3
Eiweisserbsen	40	341	140	0.647	ja	0.05	1231	51	17	4
Ackerbohnen	40	341	160	0.57	ja	0.06	1218	51	19	5
Winterraps	35	454 <sup>3</sup>	102	0.702	ja	0.00	1510	43	15	6
Winterhafer	55	379	88	0.77	ja	0.03	1921	39	6	7
Öllein	20	472	109	0.6004	ja	0.02	879	38	23	8
Körnermais	100	365	130	0.424	nein	0.01	3433	32	1	9
Sommerhafer	55	379	91	0.56	ja	0.03	1921	29	6	10
Winterweizen	60	331	121	0.402	ja	0.03	1830	28	9	11
Wintertriticale	60	336	96	0.498	ja	0.03	1858	28	8	12
Sommerraps	25	454	65	0.702	ja	0.00	1078	27	21	13
Sonnenblume	30	626	95	0.478	ja	0.00	1784	27	11	14
Sommertriticale	55	336	88	0.498	ja	0.03	1703	25	13	15
Wintergerste	60	354	89	0.472	ja	0.02	1977	24	5	16
Winterroggen (Hybridsorten)	65	338	85	0.476	ja	0.02	2045	24	4	17
Sommerweizen	50	331	101	0.402	ja	0.03	1525	23	14	18
Sommergerste	55	354	81	0.472	ja	0.02	1813	22	10	19
Ölhanf	13	553	60	0.61	ja	0.02	669	21	25	20
Winterroggen	55	338	72	0.476	ja	0.02	1731	20	12	21
Dinkel	45	337	72	0.476	ja	0.04	1383	20	16	22
Hirse	35	357	58	0.476	nein	0.03	1151	16	20	23
Emmer, Einkorn	25	357	55	0.402	ja	0.03	822	13	24	24
Zuckerrüben	900	44	108	0	ja	0.00	3218	0	2	25

## Anhang D: Standardrationen Jungtiere

Tabelle 13: Verwendete Standardrationen für die Jungtiere, basierend auf den Empfehlungen von (Agroscope, 2015).

\* Als Tränker werden die Kälber von der Geburt bis zu einem Lebendgewicht von 75 kg bezeichnet. Anschliessend unterscheidet sich die Fütterung eines Aufzucht- von derjenigen eines Masttieres.

\*\* Als Aufzuchtkalb werden die Tiere ab 75 kg bis zum Absetzen von der Milch bezeichnet.

\*\*\* Die Gesamtfuttermenge ist vom Erstkalbealter abhängig. Entsprechend wird hier der Anteil des jeweiligen Futtermittels am Gesamtverzehr vom Absetzen bis zum ersten Abkalben angegeben.

Futtermittel	Verzehr kg TS/ Tränker*	Verzehr kg TS/ Aufzuchtkalb**	Anteil Verzehr/ Aufzuchtrind***
Vollmilch	37	72	
Dürrfutter, AR2	1	46	27%
Dürrfutter, AR5			49%
Dürrfutter, G4			14%
Silomais			7%
Mischfutter Aufzucht		100	3%

## Anhang E: Verwertbarkeit von Futtermitteln

Tabelle 13: Die verwertbaren Anteile in der Humanernährung (vAH) der wichtigsten Futtermittel nach Protein und Energie für die beiden Verwertbarkeitsszenarien «Current» und «Potential» sowie die Quellen dazu.

Futtermittel	vAH Energie Szenario «Curr»	vAH Protein Szenario «Curr»	Quelle	vAH Energie Szenario «Pot»	vAH Protein Szenario «Pot»	Quelle
Ackerbohne	0.70	0.37	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.85	0.85	Schönauer (2016)
Äpfel	0.67	0.67	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Schätzung
Apfeltrester	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.13	0.13	Eigene Berechnungen
Auswuchsweizen	0.60	0.60	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Eigene Berechnungen
Baumwolleextraktionsschrot	0.63	0.23	Kneubühler (2017)	0.80	0.50	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Baumwollsamens	0.63	0.85	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Bierhefe getrocknet	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Schönauer (2016)
Biertreber	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.00	0.00	Annahme
Birnen	0.67	0.67	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Schätzung
Birnentrester	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.13	0.13	Eigene Berechnungen
Blätter von Zwischenfuttermitteln	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Bohnen	0.70	0.37	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.85	0.85	Wie Ackerbohne
Brotabfälle	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Wie Weizen
Bruchreis	0.51	0.51	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Wie Reis
Dextrose	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Annahme
Dinkel	0.51	0.51	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Eigene Berechnungen
Dinkelspelzen	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.00	0.00	Eigene Berechnungen
Erdnussextraktionsschrot	0.27	0.12	Kneubühler (2017)	0.52	0.31	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Erdnusskuchen	0.27	0.22	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.52	0.31	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Erdnussöl	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Futtergemüse	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Schätzung
Futterhefe	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Annahme
Futterrübe	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.18	Eigene Berechnungen
Futterweizen	0.60	0.60	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Futterzucker	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Annahme

Futtermittel	vAH Energie Szenario «Curr»	vAH Protein Szenario «Curr»	Quelle	vAH Energie Szenario «Pot»	vAH Protein Szenario «Pot»	Quelle
Ganzpflanzensilage, diverse	0.13 -	0.10 -	Kneubühler (2017)	0.16 -	0.24 -	Eigene Berechnungen
Gerste	0.40	0.40	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Gerstenfuttermehl	0.40	0.40	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.40	0.40	Schönauer (2016)
Gerstenschälmehl	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.20	0.20	Schönauer (2016)
Getreideschlempe	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.00	0.00	Schönauer (2016)
Griebenmehl	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.20	0.20	Schönauer (2016)
Hafer	0.50	0.50	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.75	0.75	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Haferabfallmehl	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.20	0.20	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Haferflocken	0.50	0.50	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.75	0.75	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Haferfuttermehl	0.50	0.50	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.40	0.40	Schönauer (2016)
Haferspelzen	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.00	0.00	Annahme
Harnstoff	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Johannisbrot	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Kaffeextraktionsabfälle	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Kakaoschalen	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Kartoffelflocken	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	wie Maisstärke
Kartoffelmehl	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	wie Maisstärke
Kartoffeln	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Schätzung
Kartoffelprotein	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Annahme
Kartoffelschälabfälle	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.00	0.00	Annahme
Kartoffelstärke	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Annahme
Kokosextraktionsschrot	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.87	0.47	wie Rapsextraktions-schrot
Lebertran	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Annahme
Leinextraktionsschrot	0.05	0.10	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.19	0.15	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Leinkuchen	0.27	0.22	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.19	0.15	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Leinöl	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Leinsamen	0.28	0.53	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.68	0.62	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)

## Anhang E: Verwertbarkeit von Futtermitteln

Futtermittel	vAH Energie Szenario «Curr»	vAH Protein Szenario «Curr»	Quelle	vAH Energie Szenario «Pot»	vAH Protein Szenario «Pot»	Quelle
Lupine	0.63	0.33	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.85	0.85	Schönauer (2016), wie Ackerbohne
Maisflocken	0.70	0.70	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maisfuttermehl	0.70	0.70	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maisganzpflanze	0.19	0.19	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.45	0.45	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maiskeime	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b), wie Kleber
Maiskleber	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maiskleberfutter	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maiskolbenschrot	0.66	0.66	Kneubühler (2017)	0.41	0.41	Eigene Berechnungen
Maiskörner	0.70	0.70	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Maiskörnersilage	0.70	0.70	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.81	0.81	Eigene Berechnungen
Maisquellstärke	1.00	1.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Kneubühler (2017)
Maisstärke	1.00	1.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Kneubühler (2017)
Malzkeime getrocknet	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Wie Maiskeime
Milchprodukte	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Annahme
Mischfett	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Eigene Berechnungen
Mühlennachproduktegemisch	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.20	0.20	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Palmkernextraktionsschrot	0.50	0.21	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Palmöl	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Paniermehl	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Wie Weizen
Propylenglykol	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Wie Dextrose
Proteinerbse	0.70	0.37	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.90	0.90	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Rapsextraktionsschrot	0.30	0.14	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.87	0.47	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Rapskuchen	0.30	0.26	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.87	0.47	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Rapsöl	-	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Rapssamen	0.30	0.64	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.87	0.74	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Reisfuttermehl	0.51	0.51	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.40	0.40	Schönauer (2016), Futtermehl
Rispenhirse	0.51	0.51	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.52	0.52	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)
Roggen	0.60	0.60	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	1.00	1.00	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)

Futtermittel	vAH Energie Szenario «Curr»	vAH Protein Szenario «Curr»	Quelle	vAH Energie Szenario «Pot»	vAH Protein Szenario «Pot»	Quelle
Senfsaat, weiss getoastet	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.87	0.87	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b), wie Raps
Sojabohne	0.50	0.51	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.93	0.93	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sojabohnenschalen	0.00	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.00	0.00	Annahme
Sojaextraktionsschrot	0.50	0.30	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.92	0.65	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sojakuchen	0.50	0.42	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.92	0.65	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sojaöl	-	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Sonnenblumenextraktions-schrot	0.14	0.05	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.46	0.30	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sonnenblumenkerne	0.14	0.64	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.46	0.68	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sonnenblumenkuchen	0.14	0.20	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.46	0.30	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Sonnenblumenöl	-	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	1.00	1.00	Schönauer (2016)
Sorghum	0.51	0.51	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.52	0.82	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Stroh, diverse	0.00	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.00	0.00	Annahme
Teigwaren	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Traubentrester getrocknet	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.13	0.13	Wie Apfeltrester
Triticale	0.60	0.60	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.82	0.82	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Weizen	0.60	0.60	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	1.00	1.00	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Weizenflocken	0.60	0.60	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	1.00	1.00	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Weizenfuttermehl dunkel	0.60	0.60	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.40	0.40	Schönauer (2016)
Weizenkeime	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b), wie Kleber
Weizenkeimkuchen	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b), wie Kleber
Weizenkleber	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.80	0.80	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Weizenkleie	0.00	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.20	0.20	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Weizenstärke	1.00	1.00	Kneubühler (2017)	1.00	1.00	Kneubühler (2017)
Wicke	0.63	0.33	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.81	0.80	Ertl et al (2015a), Ertl et al. (2016b)
Wiesenfuttermittel	0.00	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)	0.00	0.00	Ertl et al. (2015), Ertl et al. (2016b)

## Anhang E: Verwertbarkeit von Futtermitteln

Futtermittel	vAH Energie Szenario «Curr»	vAH Protein Szenario «Curr»	Quelle	vAH Energie Szenario «Pot»	vAH Protein Szenario «Pot»	Quelle
Zitronensäure	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Zitrustrester getrocknet	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Zuckerrüben	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.18	Eigene Berechnungen
Zuckerrübenblätter, ohne Köpfe	0.00	0.00	Kneubühler (2017)	0.00	0.00	Annahme
Zuckerrübenmelasse	0.00	0.00	Ertl <i>et al.</i> (2015), Ertl <i>et al.</i> (2016b)	0.80	0.80	Ertl <i>et al.</i> (2015a), Ertl <i>et al.</i> (2016b)