

DISS. ETH Nr. 28223

**Alternative protein and energy sources for intensive production of
high-quality beef in Switzerland**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

MAGDALENA KELLER

MSc Agricultural Sciences, University of Hohenheim

born on 24th May 1990

citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Michael Kreuzer, examiner
Dr. Katrin Giller, co-examiner
Dr. Paolo Silacci, co-examiner

2022

Summary

Intensive Swiss beef production is characterised by high average daily gains (1.3 – 1.4 kg) which are achieved by feeding high-energy diets based on maize silage and considerable amounts of concentrate (> 1/3 of the diet). Concentrates often contain imported soybean meal (SBM) as the main protein source to cover the high metabolisable protein requirements of growing bulls. However, SBM is associated with several ecological and socio-economic drawbacks such as deforestation, land use change and the loss of livelihoods for indigenous people, highlighting the need for alternative, preferably local and sustainably produced protein sources. In contrast, grass silage is of minor importance in intensive beef production, though large parts of Switzerland are typical grassland areas, and the use of this resource is promoted and subsidised by the Swiss governmental programme for “grassland-based milk and meat production”. However, increasing the dietary proportion of grass silage while reducing the shares of maize silage and concentrate reduces dietary energy supply and is thus assumed to impair animal performance. On the other hand, the higher crude protein content of the grass compared to maize silage could contribute to dietary protein supply, possibly reducing the need for additional concentrated protein, though urinary nitrogen (N) emissions may increase because of the high ruminal protein degradability of the grass silage protein. Using grass silage can reduce feed-food competition compared to the use of feed crops grown on arable land and improves the fatty acid (FA) profile of meat lipids for human nutrition.

The aim of this doctoral thesis was to develop and experimentally assess key factors for alternative and more sustainable feeding strategies adapted to Swiss production conditions. Two feeding experiments were carried out at the ETH research station AgroVet-Strickhof, Lindau, Switzerland to assess the effects of such feeding strategies on animal performance, carcass, meat and adipose tissue quality, methane emission as well as on N and energy utilisation. For each experiment, 30 crossbred Limousin bulls with an initial body weight of around 164 kg and 4.4 months of age were allocated to five dietary treatments (n = 6). In the first experiment, the use of alternative protein sources replacing SBM was investigated when feeding a diet composed of grass silage, maize silage and concentrate in a ratio of, g/kg dry matter (DM), 500:300:200. Concentrates included either SBM, faba beans, pumpkin seed cake or spirulina (*Arthrospira platensis*). In the fifth diet, the use of an additional protein source was omitted and a low-protein concentrate mainly based on wheat was used. In the second experiment, incremental proportions of grass silage replacing part of the maize silage and concentrate with or without corn-cob-mix (CCM) complementation were fed. Diets were composed of either grass silage, maize silage and concentrate in ratios of, g/kg DM, 100:600:300 (G100; control diet), 300:500:200 (G300), and 500:300:200 (G500), or grass silage, CCM and concentrate in a ratio of, g/kg DM, 500:300:200 (G500_{CCM}) and 750:150:100 (G750_{CCM}). Bulls fed the control diet received a high-protein concentrate including SBM, while the other four diets included a low-protein concentrate.

The results of the first experiment indicate that faba beans, pumpkin seed cake and spirulina can replace SBM in a grass/maize-silage based diet fed to growing bulls. No differences were found among protein-supplemented groups regarding animal performance, carcass, meat, and adipose tissue quality as well as N utilisation. Only minor effects were observed on nutrient digestibility, energy utilisation and methane emission. Most importantly, when omitting additional concentrated protein in a grass/maize-silage based diet, compared to the protein-supplemented groups, fattening and slaughter performance as well as meat and adipose tissue quality were maintained, whereas urinary N excretion was significantly reduced. Consequently, there seems to be no need for additional concentrated protein, when feeding a diet consisting half of grass silage to maintain a high growth performance with an average daily gain > 1.4 kg. However, the latter finding, limits the final assessment of the alternative protein sources tested in present experiment regarding their suitability as substitutes for SBM as metabolisable protein supply was obviously sufficiently covered by the combinations of the different dietary components.

The results of the second experiment showed a significant impact on growth performance. Average daily weight gains were significantly higher in bulls fed G100 (1.43 kg) and G500_{CCM} (1.35 kg) than in bulls fed G300 (1.15 kg), G500 (1.20 kg) and G750_{CCM} (1.17 kg). All groups had comparable total feed intake, whereas the feed conversion ratio was significantly higher for G100 than for the other groups. The average slaughter performance was comparable among groups, though, regarding numerical values, G100 did not achieve the target carcass fat cover score of 3 and was on average graded with 2 (insufficient fat cover). Physicochemical meat quality was rather comparable among all groups and no or no systematic dietary impacts were found, except for shear force values. Significantly lower shear force values were measured in beef samples of G750_{CCM} (40 N) compared to G100 (75 N). Increasing the dietary proportion of grass silage improved the nutritional meat quality by increasing the proportion of *n*-3 FA and reducing the ratio of *n*-6/*n*-3 FA without affecting sensory properties. Urinary N emission were reduced in G500_{CCM}, whereas significantly higher urinary N emission were observed when feeding either a maize silage/concentrate-based diet (G100) or a diet with a high proportion of grass silage (G750_{CCM}). No significant diet effect was found for energy utilisation and absolute methane production. Methane emission intensity was, across all groups, numerically lowest for G100 but numerically lower values were also observed for G500_{CCM} compared to G300, G500 and G750_{CCM}.

In conclusion, a diet consisting of grass silage, maize-based forages and a low-protein concentrate in a ratio of, g/kg DM, 500:300:200 seems to be a suitable alternative compared to conventional maize-silage/concentrate-based diets for intensive beef production. Such an alternative diet composition allows to maintain performance and carcass quality, while improving the nutritional value of the meat. At the same time, methane emission was not increased, whereas the environmental impact could be reduced due to lower urinary N excretion. Further research is required regarding the substitution value of alternative protein sources to SBM when feeding a diet based on low-protein forages such as maize silage. Additionally, the results imply that the metabolisable protein requirements for growing bulls may

be overestimated and nutrient recommendation should be revised where applicable to minimise N emissions from beef production. Additionally, future studies should include a detailed sustainability assessment, e.g. life cycle assessment, to evaluate the sustainability and environmental impact of alternative feeding strategies.

Zusammenfassung

Typisch für die Schweizer Intensivmast sind hohe durchschnittliche Tageszunahmen (1.3 – 1.4 kg), die üblicherweise durch die Fütterung einer energiereichen Ration basierend auf Maissilage und einer beträchtlichen Menge an Kraftfutter (> 1/3 der Ration) erzielt werden. Das Kraftfutter enthält oftmals importiertes Sojaextraktionsschrot (SES) als Proteinträger, um den Bedarf von Mastbullen an absorbierbarem Protein im Darm (APD) zu decken. Der Einsatz von SES ist jedoch mit mehreren ökologischen und sozioökonomischen Nachteilen, wie z. B. der Abholzung von tropischem Regenwald, veränderter Landnutzung und dem Verlust der Lebensgrundlage für die einheimische Bevölkerung, verbunden, was den Bedarf an alternativen, vorzugsweise lokalen und nachhaltig produzierten Proteinquellen unterstreicht. Hohe Anteile an Grassilage spielen in der Intensivmast hingegen eine untergeordnete Rolle, obwohl grosse Teile der Schweiz typische Grünlandstandorte sind und die Nutzung dieser Ressource gegenwärtig durch das Bundesprogramm zur "Graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion" gefördert und subventioniert wird. Eine Erhöhung des Grassilageanteils bei gleichzeitiger Verringerung der Anteile an Maissilage und Kraftfutter in der Ration reduziert jedoch die Energieversorgung der Tiere, was vermutlich zu einer verringerten Mastleistung führt. Andererseits könnte der höhere Rohproteingehalt der Grassilage zur Proteinversorgung der Tiere beitragen und so vermutlich den Bedarf an zusätzlichen Proteinkonzentraten senken. Die hohen Proteinabbaubarkeit des Grassilageproteins im Pansen könnte jedoch zu höheren Stickstoff- (N)-Emissionen, insbesondere über den Urin führen. Darüber hinaus bietet die Verwendung von Grassilage die Möglichkeit, die Nahrungsmittelkonkurrenz verglichen mit dem Einsatz von Futterpflanzen, die auf Ackerflächen angebaut werden, zu verringern und ausserdem das Fettsäuren (FS)-Profil im Fleisch im Hinblick auf die menschliche Ernährung zu verbessern.

Das Ziel dieser Doktorarbeit war es, Schlüsselgrössen für alternative und nachhaltigere Fütterungsstrategien, angepasst an Schweizer Produktionsbedingungen, zu entwickeln und experimentell zu bewerten. Hierzu wurden zwei Fütterungsversuche auf der ETH-Forschungsstation AgroVet-Strickhof, Lindau, Schweiz, durchgeführt, um die Auswirkungen solcher Fütterungsstrategien auf die Mastleistung, Schlachtkörper-, Fleisch- und Fettgewebsqualität, Methanemission sowie die N und Energieverwertung zu untersuchen. Für jeden Versuch wurden 30 männliche Limousin-Kreuzungen mit einem anfänglichen Körpergewicht von etwa 164 kg und einem Alter von 4.4 Monaten jeweils fünf Fütterungsgruppen zugeteilt (n = 6). Im ersten Versuch wurde der Einsatz alternativer Proteinträger als Ersatz für SES in einer Ration bestehend aus Grassilage, Maissilage und Kraftfutter im Verhältnis von, g/kg Trockensubstanz (TS), 500:300:200 getestet. Das Kraftfutter enthielt entweder SES, Ackerbohnen, Kürbiskernkuchen oder Spirulina (*Arthrospira platensis*) als Proteinquelle. Bei der fünften Fütterungsgruppe wurde auf den Einsatz eines Proteinträgers im Kraftfutter verzichtet und stattdessen ein proteinarmes, überwiegend auf Weizen basierendes Kraftfutter verwendet. Im zweiten Versuch wurde

der Ersatz von Maissilage und Kraftfutter durch ansteigende Anteile an Grassilage in der Ration mit und ohne Corn-Cob-Mix (CCM)-Ergänzung erforscht. Die Rationen setzten sich aus Grassilage, Maissilage und Kraftfutter in Verhältnissen von, g/kg TS, 100:600:300 (G100; Kontrollration), 300:500:200 (G300), 500:300:200 (G500) oder aus Grassilage, CCM und Kraftfutter im Verhältnis von, g/kg TS, 500:300:200 (G500_{CCM}) und 750:150:100 (G750_{CCM}) zusammen. Die Kontrollration enthielt ein proteinreiches Kraftfutter mit SES, während in den anderen vier Rationen ein proteinarmes Kraftfutter eingesetzt wurde.

Die Ergebnisse des ersten Versuchs weisen darauf hin, dass Ackerbohnen, Kürbiskernpresskuchen und Spirulina SES vollständig in einer Gras-/Maissilage-basierten Ration in der Intensivmast ersetzen können. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen mit Proteinergänzung hinsichtlich der Mastleistung, Schlachtkörper-, Fleisch- und Fettgewebsqualität sowie der N-Verwertung festgestellt. Lediglich kleine Unterschiede zeigten sich hinsichtlich Nährstoffverdaulichkeit, Energieverwertung und Methanproduktion. Besonders hervorzuheben ist, dass, durch den Verzicht auf einen zusätzlichen Proteinträger in der Ration, verglichen mit den proteineränzten Rationen, die Mast- und Schlachtleistung sowie die Fleisch- und erhalten blieben, während die N-Ausscheidung über den Urin signifikant reduziert wurde. Folglich scheint eine Ration, die zur Hälfte aus Grassilage besteht, keiner weiteren Proteinergänzung über das Kraftfutter zu bedürfen, um eine hohe Mastleistung mit einer durchschnittlichen Tageszunahme von > 1.4 kg zu erzielen. Diese Beobachtung schränkt jedoch die abschliessende Bewertung der im vorliegenden Versuch getesteten alternativen Proteinquellen hinsichtlich ihrer Eignung als Ersatz für SES ein, da offensichtlich eine ausreichende APD Versorgung durch die Kombination der verschiedenen Rationskomponenten gegeben war.

Die Ergebnisse des zweiten Versuchs zeigten einen signifikanten Einfluss der Fütterung auf die Mastleistung. Die durchschnittlichen Tageszunahmen der Bullen, die die Rationen G100 (1.43 kg) und G500_{CCM} (1.35 kg) erhielten, waren signifikant höher als die der Bullen, die die Rationen G300 (1.15 kg), G500 (1.20 kg) und G750_{CCM} (1.17 kg) bekamen. Alle Gruppen wiesen eine vergleichbare Gesamtfutteraufnahme auf, wohingegen die Futtermittelverwertung für die Gruppe G100 signifikant höher war als für die anderen Gruppen. Die durchschnittliche Schlachtleistung war für alle Gruppen vergleichbar, wobei die Schlachtkörper der Gruppe G100 im Hinblick auf die numerischen Werte nicht die angestrebte Fettabdeckung (Fettgewebsklasse 3) erzielten und durchschnittlich mit der Fettgewebsklasse 2 bewertet wurden. Die physikochemische Fleischqualität war weitestgehend ähnlich zwischen den Gruppen und wurden keine oder keine systematischen Fütterungseffekte, mit Ausnahme der Scherkraftwerte beobachtet. Für die Gruppe G750_{CCM} wurden signifikant niedrigere (40 N) Scherkraftwerte des Fleisches gegenüber der Kontrollgruppe G100 (75 N) gemessen. Mit steigendem Grassilageanteil in der Ration konnte der ernährungsphysiologische Wert des Fleisches durch höhere Anteile an $n-3$ FS und ein niedrigeres Verhältnis von $n-6/n-3$ FS optimiert werden, ohne dass die sensorische Qualität beeinträchtigt wurde. Die N-Ausscheidung über den Urin war signifikant niedriger für die Gruppe G500_{CCM}, wohingegen signifikant höhere N-Ausscheidungen über den Urin bei

Verfütterung einer Maissilage/Kraftfutter-basierten Ration (G100) oder einer Ration mit einem hohen Anteil an Grassilage (G750_{CCM}) festgestellt wurden. Die Fütterung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Energieverwertung sowie die Methanproduktion. Die Methanemissionsintensität war über alle Gruppen hinweg für G100 numerisch am niedrigsten. Eine numerisch niedrige Methanemissionsintensität wurde aber auch für G500_{CCM} gegenüber den Gruppen G300, G500 und G750_{CCM} ermittelt.

Insgesamt lässt sich sagen, dass eine Ration bestehend aus Grassilage, einem maisbasiertem Grundfutter und einem Kraftfutter ohne Proteinträger im Verhältnis von, g/kg TS, 500:300:200 durchaus eine Alternative zu einer herkömmlichen Maissilage/Kraftfutter-basierten Mastration zu sein scheint. Mit solch einer alternativen Rationszusammensetzung kann die Mastleistung sowie Schlachtkörperqualität erhalten und gleichzeitig der Nährwert des Fleisches verbessert werden. Gleichzeitig kommt es zu keiner Erhöhung der Methanemissionen, während die Umweltbelastung aber durch geringere N-Ausscheidungen über den Urin reduziert werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich des Ersatzes von SES durch alternative Proteinquellen bei Verfütterung einer Ration basierend auf proteinarmen Grundfuttermitteln wie Maissilage. Darüber hinaus implizieren die Ergebnisse, dass der APD Bedarf von Mastbullen überschätzt wird und die Bedarfsempfehlungen allenfalls angepasst werden sollten, um die N Emissionen aus der Rindfleischproduktion zu minimieren. Künftige Studien sollten zudem eine detaillierte Nachhaltigkeitsbewertung umfassen, z. B. in Form einer Ökobilanz, um die Nachhaltigkeit und die Umweltauswirkungen verschiedener Fütterungsstrategien zu bewerten.