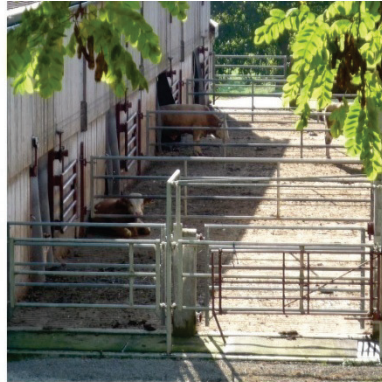


Minderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausen



Tobias Siegerist

November 2010

Fachbericht im Rahmen des obligatorischen Berufspraktikums im Masterstudium für
Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Zürich

Leitung: Dr. Peter Maly, Interkantonales Labor, IKL, Kanton Schaffhausen

Impressum

Auftraggeber

Interkantonales Labor (IKL), Schaffhausen

Fachexperten

M. Keck, ART Tänikon

T. Kupper, SHL Zollikofen

H. Menzi, SHL Zollikofen

S. Schrade, ART Tänikon

F. Stadelmann, lawa Luzern

A. Zehnder, Landwirtschaftsamt Schaffhausen

Kontakt

P. Maly

Interkantonales Labor

Postfach

8201 Schaffhausen

peter.maly@ktsh.ch

www.interkantlab.ch

Titelbild

T. Siegerist, zunhammer.de (oben rechts), joskin.com (unten links), bigdutchman.de (Mitte)

Schaffhausen, November 2010

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung für den Schnellleser | 8 |
| Entstehung und Verminderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft..... | 8 |
| Emissionsminderung..... | 8 |
| Die wirkungsvollsten Massnahmen zur erfolgreichen NH ₃ -Reduktion..... | 11 |
| Hofdüngerausbringung..... | 11 |
| Hofdüngerlager | 11 |
| Rindvieh | 11 |
| Schweine..... | 11 |
| Geflügel..... | 11 |
| Emissionsberechnungen für den Kanton Schaffhausen..... | 12 |
| Ist-Zustand | 12 |
| Minderungspotential..... | 13 |
| 1. Einleitung..... | 16 |
| 2. Entstehung und Verminderung von NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft..... | 17 |
| 2.1. Definitionen | 17 |
| 2.2. Entstehung und Entwicklung der schweizerischen NH ₃ -Emissionen..... | 18 |
| 2.3. Emissionsminderung..... | 20 |
| 2.3.1. Stall / Laufhof..... | 20 |
| 2.3.2. Hofdüngerlagerung | 21 |
| 2.3.3. Hofdüngerausbringung | 22 |
| 2.3.4. Pralltellerverbot in Deutschland | 24 |
| 3. Agrammon | 25 |
| 3.1. Modell Agrammon..... | 25 |
| 3.1.1. Einzelbetriebsmodell..... | 25 |
| 3.1.2. Regiomodell..... | 26 |
| 3.1.3. Einzelbetriebsmodell mit kantonalen Anpassungen | 27 |
| 3.1.4. Anwendung von Agrammon | 27 |
| 4. Emissionsberechnungen für den Kanton Schaffhausen | 28 |
| 5. Möglichkeiten zur Emissionsreduktion an Beispielen von Referenzbetrieben..... | 30 |
| 5.1. Übersicht der berechneten Betriebstypen..... | 31 |
| 5.2. Betriebstypenübersicht nach GVE | 32 |
| 5.3. Betriebstypenübersicht nach Aufstallung..... | 33 |
| 5.4. Erklärung der Resultatdarstellung..... | 34 |
| 5.5. A1 Milchbetrieb | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.6. | A2 Milch- und Rindviehmastbetrieb | 38 |
| 5.7. | A3 Rindviehmastbetrieb..... | 40 |
| 5.8. | A4 Rindviehmastbetrieb (mit Biogasanlage)..... | 42 |
| 5.9. | A5 Mutterkuhbetrieb..... | 44 |
| 5.10. | B1 Milch-, Rindviehmast- und Schweinemastbetrieb..... | 46 |
| 5.11. | B2 Rindvieh- und Schweinemastbetrieb | 48 |
| 5.12. | B3 Milch- Rindvieh- und Schweinemastbetrieb | 50 |
| 5.13. | B4 Rindviehmast- und Schweinebetrieb | 52 |
| 5.14. | C1 Schweinebetrieb..... | 54 |
| 5.15. | C2 Schweinebetrieb..... | 56 |
| 5.16. | D1 Geflügelbetrieb | 58 |
| 5.17. | D1a Geflügelbetrieb mit Mastpoulets statt Legehennen | 60 |
| 5.18. | D2 Milch-, Geflügel- und Schweinemastbetrieb..... | 62 |
| 5.19. | D3 Milch- und Geflügelbetrieb | 64 |
| 5.20. | Zusammenfassung der Resultate, die wirkungsvollsten Massnahmen zur erfolgreichen NH ₃ -Reduktion im Überblick | 66 |
| 5.20.1. | Hofdüngerausbringung..... | 66 |
| 5.20.2. | Hofdüngerlager | 66 |
| 5.20.3. | Rindvieh | 66 |
| 5.20.4. | Schweine..... | 66 |
| 5.20.5. | Geflügel..... | 66 |
| 6. | Die effektivsten Massnahmen in Beispielbetrieben dargestellt | 67 |
| 6.1. | E1 Milch-Beispielbetrieb | 68 |
| 6.2. | E2 Rindvieh-Beispielbetrieb..... | 69 |
| 6.3. | E3 Schweine-Beispielbetrieb | 70 |
| 6.4. | E4 Geflügel-Beispielbetrieb | 71 |
| 7. | Kostenabschätzung | 72 |
| 7.1. | Kosten von Massnahmen im Stall..... | 72 |
| 7.1.1. | Laufstall Milchkühe | 72 |
| 7.1.2. | Mastschweinegestall..... | 73 |
| 7.1.3. | Zuchtschweinegestall | 73 |
| 7.2. | Kosten von Massnahmen bei der Hofdüngerlagerung..... | 74 |
| 7.2.1. | Güllebehälter-Abdeckungen | 74 |
| 7.3. | Kosten von Massnahmen bei der Hofdüngerausbringung | 75 |
| 8. | Umsetzbarkeit der Minderungsmassnahmen..... | 76 |
| 8.1. | Ausbringung..... | 76 |
| 8.1.1. | Techniken der Kategorie 1..... | 76 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 8.1.2. | Techniken der Kategorie 2..... | 77 |
| 8.1.3. | Schlussfolgerung Ausbringung | 77 |
| 8.2. | Lagerung..... | 77 |
| 8.2.1. | Techniken der Kategorie 1..... | 77 |
| 8.2.2. | Techniken der Kategorie 2..... | 77 |
| 8.2.3. | Schlussfolgerung Lagerung | 78 |
| 8.3. | Stall und Laufhof..... | 78 |
| 8.3.1. | Rindviehställe | 78 |
| 8.3.2. | Schweineställe..... | 78 |
| 8.3.3. | Geflügelställe | 78 |
| 9. | Minderungspotential Kanton Schaffhausen..... | 80 |
| 10. | Literatur | 83 |
| 11. | Anhang | 85 |
| 11.1. | Emissionsraten und Korrekturfaktoren..... | 86 |
| 11.1.1. | Stall, Emissionsraten..... | 86 |
| 11.1.2. | Stall, Korrekturfaktoren | 86 |
| 11.1.3. | Laufhof, Emissionsraten..... | 87 |
| 11.1.4. | Laufhof, Korrekturfaktoren | 88 |
| 11.1.5. | Hofdüngerlager, Emissionsraten | 88 |
| 11.1.6. | Hofdüngerlager, Korrekturfaktoren..... | 88 |
| 11.1.7. | Hofdüngerausbringung, Emissionsraten | 89 |
| 11.1.8. | Hofdüngerausbringung, Korrekturfaktoren..... | 89 |
| 11.2. | Notizen aus Besprechungen und Telefongesprächen | 90 |
| 11.2.1. | Besprechung IAW Luzern, Sursee | 90 |
| 11.2.2. | Besprechung SHL Zollikofen..... | 92 |
| 11.2.3. | Telefongespräch LA Schaffhausen | 95 |
| 11.2.4. | Telefongespräch SHL Zollikofen | 97 |
| 11.2.5. | Besprechung ART Tänikon | 97 |
| 11.3. | Einzelbetrieb-Berechnungen: Eingabedaten und alle Berechnungen | 100 |
| 11.3.1. | Referenzszenario (keine emissionsmindernde Massnahmen) | 101 |
| 11.3.2. | A1 Milchbetrieb | 102 |
| 11.3.3. | A2 Milch- und Rindviehmastbetrieb | 104 |
| 11.3.4. | A3 Rindviehmastbetrieb | 108 |
| 11.3.5. | A4 Rindviehmastbetrieb (mit Biogasanlage)..... | 110 |
| 11.3.6. | A5 Mutterkuhbetrieb..... | 112 |
| 11.3.7. | B1 Milch-, Rindviehmast- und Schweinemastbetrieb..... | 114 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 11.3.8. | B2 Rindvieh- und Schweinemastbetrieb | 118 |
| 11.3.9. | B3 Milch-, Rindvieh- und Schweinemastbetrieb..... | 120 |
| 11.3.10. | B4 Rindviehmast- und Schweinebetrieb | 124 |
| 11.3.11. | C1 Schweinebetrieb | 126 |
| 11.3.12. | C2 Schweinebetrieb | 128 |
| 11.3.13. | D1 Geflügelbetrieb | 130 |
| 11.3.14. | D1a Geflügelbetrieb mit Mastpoulets statt Legehennen | 132 |
| 11.3.15. | D2 Milch-, Geflügel- und Schweinemastbetrieb | 134 |
| 11.3.16. | D3 Milch- und Geflügelbetrieb..... | 136 |
| 11.3.17. | E1 Milch-Beispielbetrieb..... | 138 |
| 11.3.18. | E2 Rindvieh-Beispielbetrieb | 140 |
| 11.3.19. | E3 Schweine-Beispielbetrieb | 142 |
| 11.3.20. | E4 Geflügel-Beispielbetrieb..... | 144 |
| 11.4. | Berechnung Minderungspotential Kanton Schaffhausen: Eingabedaten..... | 146 |
| 11.4.1. | Alle Eingabedaten aus Datenerhebung, Region Ostschweiz..... | 146 |
| 11.4.2. | geänderte Daten für Szenario "keine Minderung" | 153 |
| 11.4.3. | geänderte Daten für Szenario "mögliche Minderung" | 154 |
| 11.4.4. | geänderte Daten für Szenario "maximal mögliche Minderung" | 155 |
| 11.5. | Detaillierte NH ₃ -Emissionen pro Tierkategorie für den gesamten Kanton | 158 |
| 11.6. | Erste Berechnungen Gesamtkanton, Vergleich verschiedener Tierzahl-Daten..... | 160 |
| 11.6.1. | Modellierung mit Daten von der Emissionsberechnung der Schweiz 2007 | 160 |
| 11.6.2. | Vergleich Modellierung mit Daten SHL und LA Schaffhausen | 161 |
| 11.7. | Detailliertes Vorgehen GIS-Analyse | 162 |

Abstract

Über 90% der schweizerischen Ammoniak-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft. Ammoniak-Depositionen führen zur Überdüngung und belasten so Wälder, Moore und artenreiche Ökosysteme, welche auf stickstoffarme Böden angewiesen sind.

Berechnungen mit der Software "Agrammon" zeigen, dass erhebliche Reduktionen von NH_3 -Emissionen eines landwirtschaftlichen Betriebes möglich sind, diese jedoch je nach Betriebstyp sehr unterschiedlich effektiv ausfallen bezüglich Durchführbarkeit und Kosteneffizienz. Im Stall und im Auslauf von Rindvieh ist es vor allem wichtig, dass die verschmutzten Flächen so klein wie möglich gehalten werden. Ausserdem verringert eine rasche Trennung von Kot und Harn die Ammoniakbildung. Die Emissionen aus Offenställen für Rindvieh oder auch Mastschweine sind im Winter geringer, da die Temperatur tief bleibt. Bei grossen Geflügelställen könnte eine Abluftreinigung in Erwägung gezogen werden, ist jedoch mit erhöhten Kosten und eventuell dem Einsatz von Säure verbunden. Wäscher hätten allerdings eine sehr grosse Minderungswirkung.

In der Hofdüngerlagerung können die Emissionen durch Abdecken reduziert werden. Für offen gebaute Güllesilos wäre z.B. die Schwimmfolie eine effektive und nicht so teure Massnahme.

Um Gülle verlustarm auszubringen eignen sich Verfahren wie der Schleppschlauch- oder der Schleppschuhverteiler. Gölledrill-Verfahren oder Tiefeninjektion hätten ein noch grösseres Minderungspotential, sind aber auf den steinigen und tonhaltigen Böden des Kantons Schaffhausen vermutlich schwierig einsetzbar. Eine billige und effektive Möglichkeit bietet sich in der Mistausbringung an: Wird der auf Äckern ausgebrachte Mist sofort eingearbeitet, so können diese Ausbringemissionen um 90-95% gesenkt werden.

Die meisten Massnahmen im Stall können nur bei Neu- oder Umbauten umgesetzt werden, Techniken wie sofortige Einarbeitung des Mists oder sauber halten des Laufhofbodens sind grundsätzlich für alle Betriebe machbar.

Zusammenfassung für den Schnelleser

Entstehung und Verminderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft

Über 90% der gesamtschweizerischen Ammoniak-Emissionen ($\text{NH}_3\text{-N}$) stammen aus der Landwirtschaft (Kupper, et al., 2010). Auch bei den totalen Stickstoff-Emissionen (N_{tot}) ist die Landwirtschaft mit rund 60 % der grösste Schadstoffemittent (EKL, 2005).

Gemäss früheren Berechnungen (Reidy & Menzi, 2006) und Berechnungen mit Agrammon liegen die durchschnittlichen Emissionen im Kanton Schaffhausen im Jahr 2007 bei ca. 27 kg $\text{NH}_3\text{-N}/\text{ha}^*\text{a}$ landwirtschaftlicher Nutzfläche. Das liegt deutlich unter dem schweizerischen Durchschnitt von 46.2 kg $\text{NH}_3\text{-N}/\text{ha}^*\text{a}$.¹

Die Reduktion von NH_3 -Emissionen trägt jedoch nicht nur dazu bei, dass die Biodiversität erhalten bleibt (kleinere Eutrophierung empfindlicher Ökosysteme), sondern durch kleinere NH_3 -Emissionen bleibt auch mehr Stickstoff im Hofdünger erhalten. Der Ackerbaukanton Schaffhausen produziert zu wenig Hofdünger mit einer Nutztierdichte von 0.7 DGVE (Düngergrössvieheinheiten) statt den benötigten 1.7 DGVE für eine ausreichende Düngung.

Emissionsminderung

Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen sind auf verschiedenen Stufen des landwirtschaftlichen Betriebs vorhanden:

Stall / Laufhof

- Verschmutzte Flächen klein halten
- Laufhof nur bei Bedarf benutzen, kein Laufhof, wenn die Weide genutzt wird
- Falls Laufhof nicht im Stallsystem integriert: keine Fütterung im Laufhof
- Rindvieh und Mastschweine: Offen- / Kaltställe
- Schweine- und vor allem Geflügelställe (Neubauten): Säure- oder Biowäscher zur Abluftreinigung
- Legehennen: Kotbandentmistung, häufige Entmistung

¹ schweizerischer Durchschnitt der Schweiz gemäss DYNAMO-Berechnungen 2005: 38 kg $\text{NH}_3\text{-N}/\text{ha}^*\text{a}$ (DYNAMO ist der Vorgänger von Agrammon, vgl. Kapitel 3)

Hofdüngerlagerung: Abdeckung von Güllelager ergibt 40%-90% Emissionsminderung und mehr Stickstoffdünger

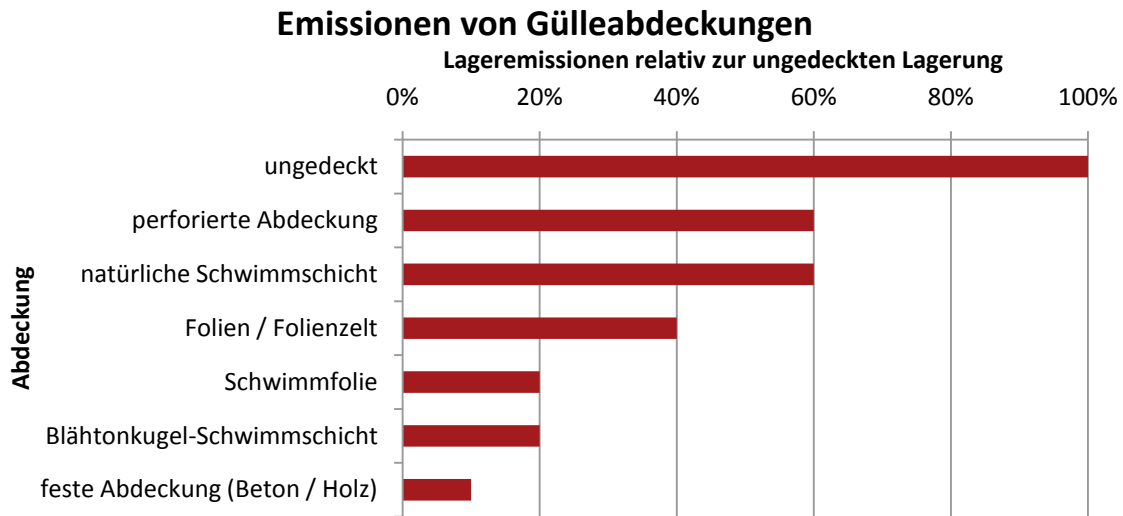


Abbildung 1: Emissionen verschiedener Güllelagerabdeckungen relativ zu den Lageremissionen bei ungedeckter Güllelagerung. Natürliche und Blähtonkugel-Schwimmschichten müssen 10 -15 cm mächtig sein, damit die dargestellte Minderung erreicht wird. (SHL, 2010c), (Van Caenegem, Dux, & Steiner, 2005)

Gezielte Hofdüngerausbringung ergibt 30%-80% Emissionsminderung und bessere Düngung

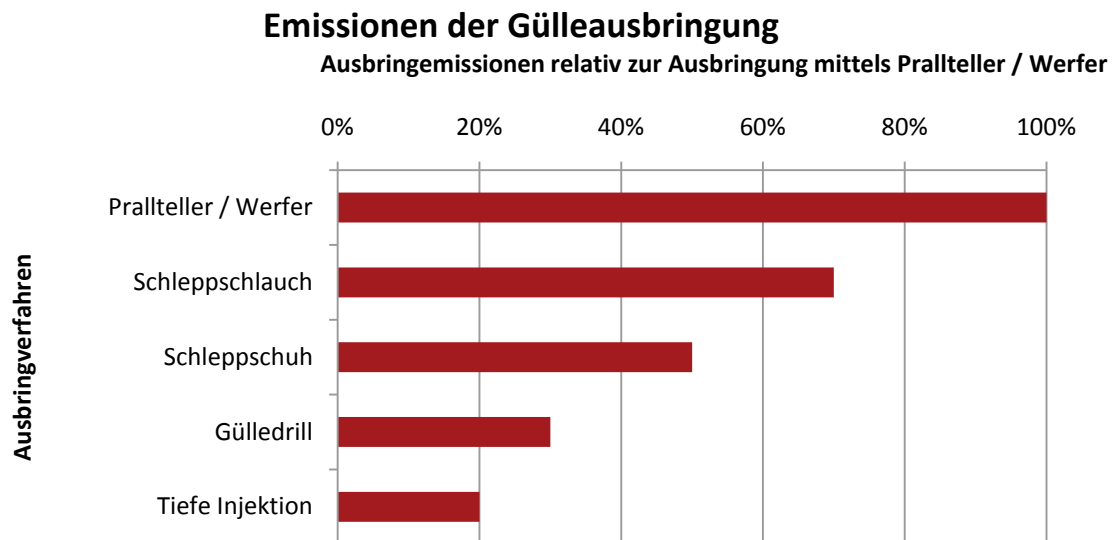


Abbildung 2: Emissionen verschiedener Gülle-Ausbringverfahren relativ zu den Ausbringemissionen bei der Gülleausbringung mittels Prallteller / Werfer

Weitere wichtige Massnahmen sind die sofortige Einarbeitung von ausgebrachtem Mist (vgl. Abbildung 3) und die Gülleverdünnung. Die Lufttemperatur während der Ausbringung hat ebenfalls einen Einfluss auf die Höhe der Ammoniakemissionen.

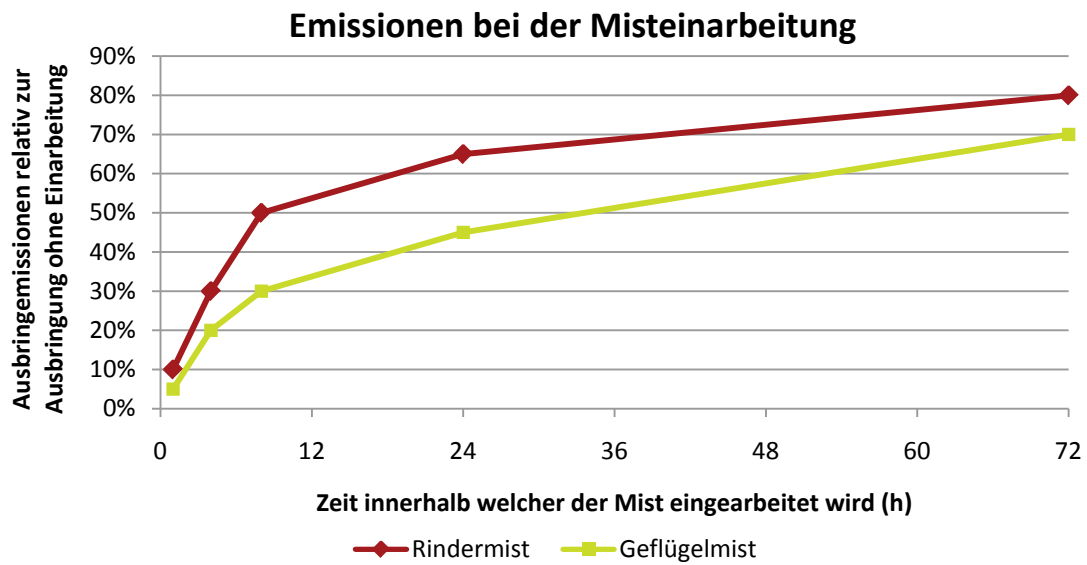


Abbildung 3: Reduktion der Ausbringemissionen in Abhängigkeit der Einarbeitungszeit bei der Mistausbringung. Eine Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden ergäbe eine Reduktion der Ausbringemissionen von 70% (Rindermist) bzw. 80% (Geflügelmist).

Die wirkungsvollsten Massnahmen zur erfolgreichen NH₃-Reduktion

In der nachfolgenden Auflistung sind die Resultate aus den Einzelbetriebsberechnungen und einige zusätzliche Hinweise zusammengefasst.

Hofdüngerausbringung

- Schleppschlauch- und insbesondere Schleppschuhverteiler sind effektiv, wenn hauptsächlich Gülle produziert wird
- Einarbeitung des Mists innerhalb weniger Stunden, vor allem an warmen Tagen

Hofdüngerlager

- Lageremissionen können vermieden werden, in dem die Lager abgedeckt werden
- Für Güllelager ist eine feste Abdeckung die effektivste Variante, eine Schwimmfolie oder eine Blähton-Schwimmschicht ist ebenfalls sehr empfehlenswert
- Geflügelmist soll abgedeckt werden
- Mistlager könnten beschattet oder abgedeckt werden, um weniger Emissionen zu erzeugen (Keck & Schrade, 2010)

Rindvieh

- verschmutzte Flächen möglichst klein halten
- möglichst keine Fütterung im Laufhof, ausser wenn der Laufhof mehrmals pro Tag gereinigt wird
- in Stallsystemen integrierte Laufhöfe mehrmals täglich reinigen
- bei Ställen mit Tiefstreu oder Tretmist: rasche Einarbeitung des Mists, weil die Lager- und Ausbringemissionen nur vom Mist ausgehen
- bei Ställen mit Vollgülleproduktion: Ausbringemissionen durch bodennahe Verteilsysteme wie Schleppschlauch- oder Schleppschuh-Verteiler reduzieren

Schweine

- der grösste Teil der Emissionen entsteht im Stall und im Auslauf
- es entsteht praktisch nur Gülle, somit sind bodennahe Gülleverteiler wirkungsvoll
- keine ungedeckten Güllelager, da sich keine natürliche Schwimmschicht bildet
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential
- Kaltställe oder Ställe mit Auslauf als Offenfront reduzieren die Emissionen

Geflügel

- wenn möglich Kotbandentmistung (mit Kotbandtrocknung) einsetzen
- häufige Kotbandentmistung (mehrmals pro Woche)
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential
- Mist innerhalb weniger Stunden einarbeiten

Emissionsberechnungen für den Kanton Schaffhausen

Ist-Zustand

Das Rindvieh macht einen sehr grossen Teil der GVE aus und stellt somit auch die grösste Ammoniakquelle dar.

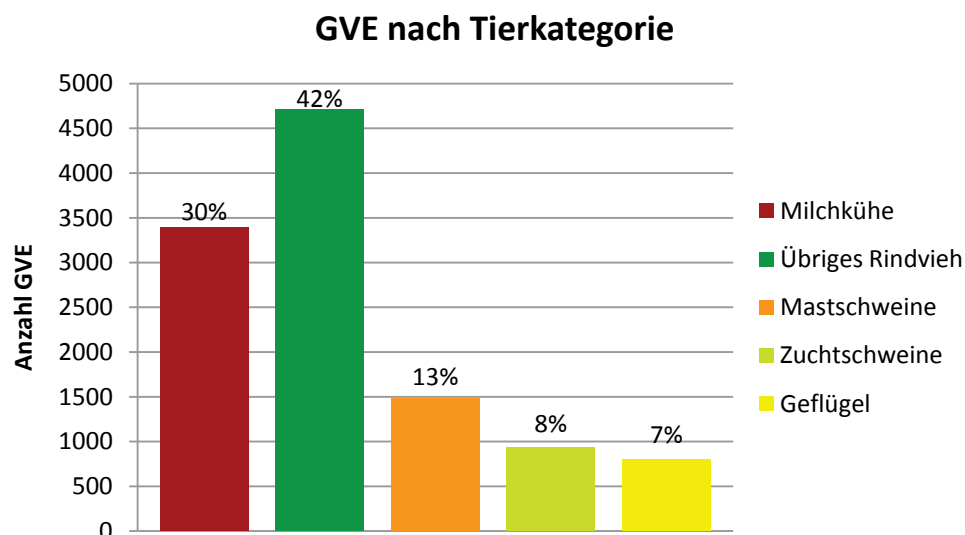


Abbildung 4: Grossvieheinheiten (GVE) der wichtigsten Tierkategorien im Kanton Schaffhausen von 2007. Die NH₃-Emissionen stehen in direktem Zusammenhang mit der GVE der Tierkategorie.

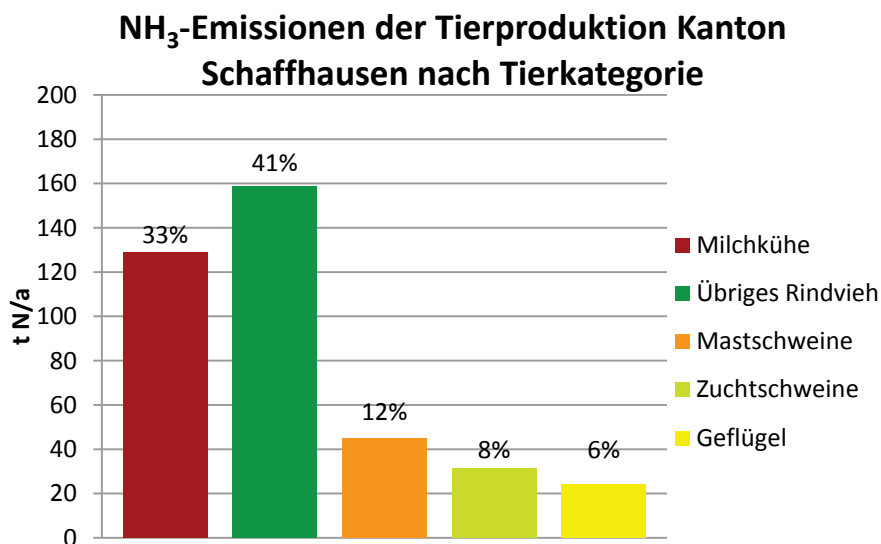


Abbildung 5: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft des Kantons Schaffhausen, aufgeteilt auf die wichtigsten Tierkategorien. Die Prozentwerte beziehen sich auf die totalen Emissionen aus der Tierproduktion, welche 93% der gesamten Emissionen aus der Landwirtschaft ausmachen (Vgl. **Abbildung 6**)

Je nach Betriebstyp kann die Verteilung stark vom Durchschnitt abweichen.

Die Gesamtemissionen des Kantons Schaffhausen belaufen sich auf ca. 419 t NH₃-N /a. Das ergibt bei einer totalen landwirtschaftlichen Nutzfläche von 15'524 ha ca. 27 kg NH₃-N/ha*a. Der Kanton Schaffhausen liegt mit 27 kg NH₃-N / ha*a deutlich unter dem schweizerischen Durchschnitt von 46.2 kg NH₃-N / ha*a (Reidy & Menzi, 2006).

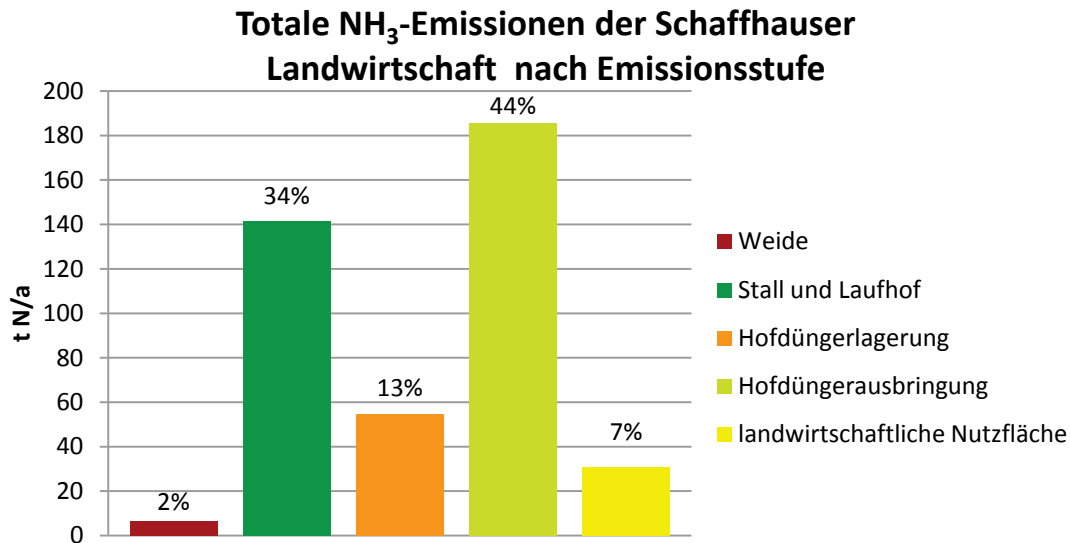


Abbildung 6: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausens in den Stufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung und landwirtschaftliche Nutzfläche.

Minderungspotential

Das Minderungspotential im Kanton Schaffhausen wird mit 4 Szenarien dargestellt: keine Minderung, Ist-Zustand 2007, mögliche Minderung und maximal mögliche Minderung. Der Zustand "keine Minderung" wurde mit den Annahmen berechnet, dass alle Tiere des Rindviehs ausschliesslich im Laufhof gefüttert werden, alles Geflügel mit Bodenhaltung gehalten wird, 100% der Gülle mittels Prallteller ausgebracht, und kein Mist eingearbeitet wird.

Beim Zustand der möglichen Minderung (R) wird davon ausgegangen, dass 20% der Gülle mit Prallteller ausgebracht wird, keine ausschliessliche Fütterung im Laufhof stattfindet (20% teilweise, 60% nicht im Laufhof und 20% ohne Laufhof), Schweinen ausschliesslich stickstoffreduziertes Futter verabreicht wird, der Mist innerhalb von 1h bis maximal 3 Tagen eingearbeitet wird² und alle Legehennen mehr als einmal pro Woche mittels Kotband entmistet werden.

Das Szenario "maximal mögliche Minderung" (V) enthält alle technisch möglichen Minderungs-massnahmen zu 100% umgesetzt.

² Anteil der eingearbeiteten Menge Mist: 5% innerhalb 1 h, 10% innerhalb 4 h, 45% innerhalb 8 h, 20% innerhalb 1 d, 20% innerhalb 3 d

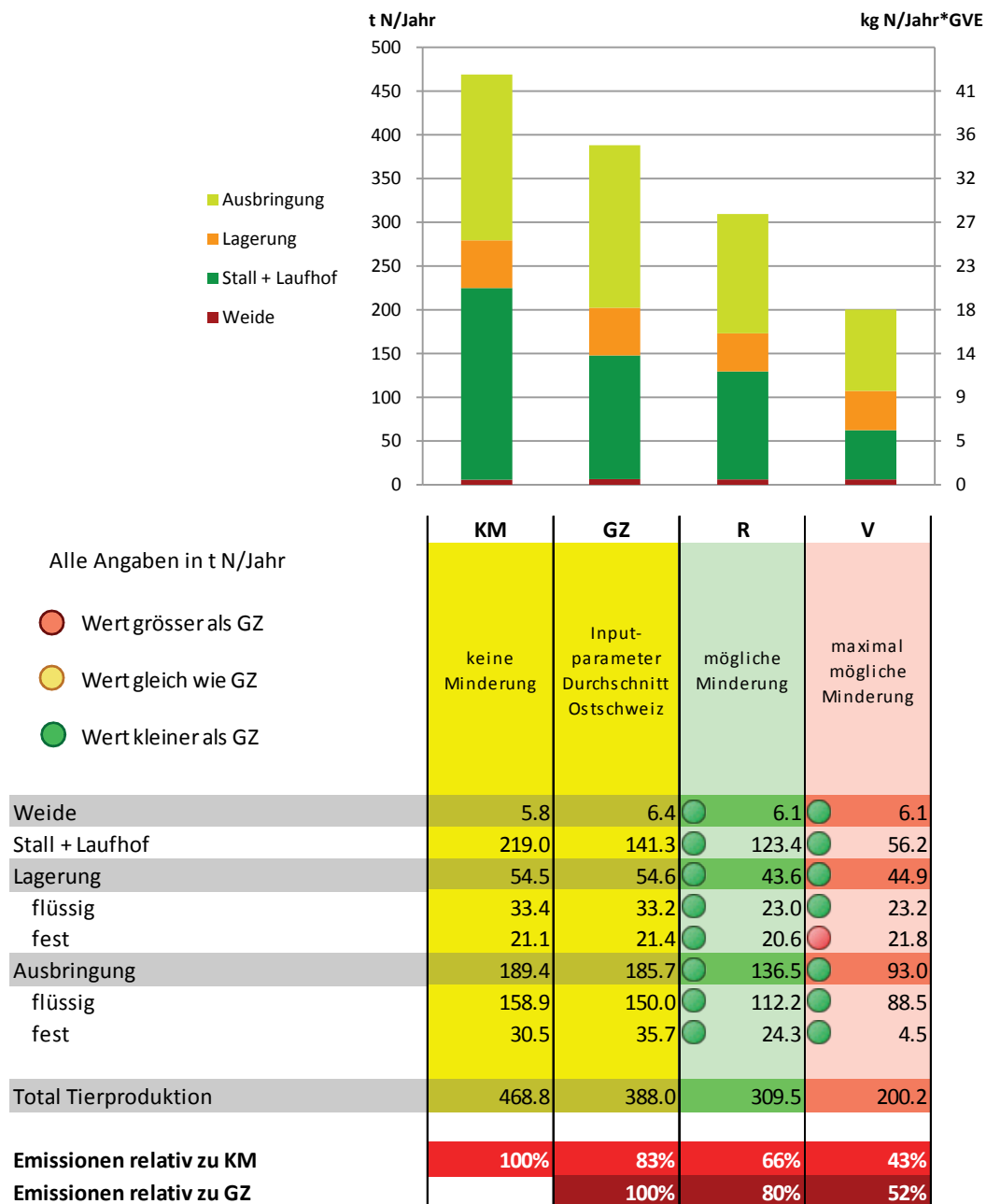


Abbildung 7: Minderungspotential der NH₃-Emissionen nach Emissionsstufen im Kanton Schaffhausen. KM entspricht den Emissionen, wenn keine mindernden Massnahmen umgesetzt würden, GZ ist der Zustand, welcher aufgrund der Umfragedaten von 2007 (Kupper, et al., 2010) momentan herrschen müsste. R ist das Potential, welches ungefähr möglich sein sollte, V ein Vergleich, was möglich wäre bei 100% Umsetzung der bekannten Massnahmen.

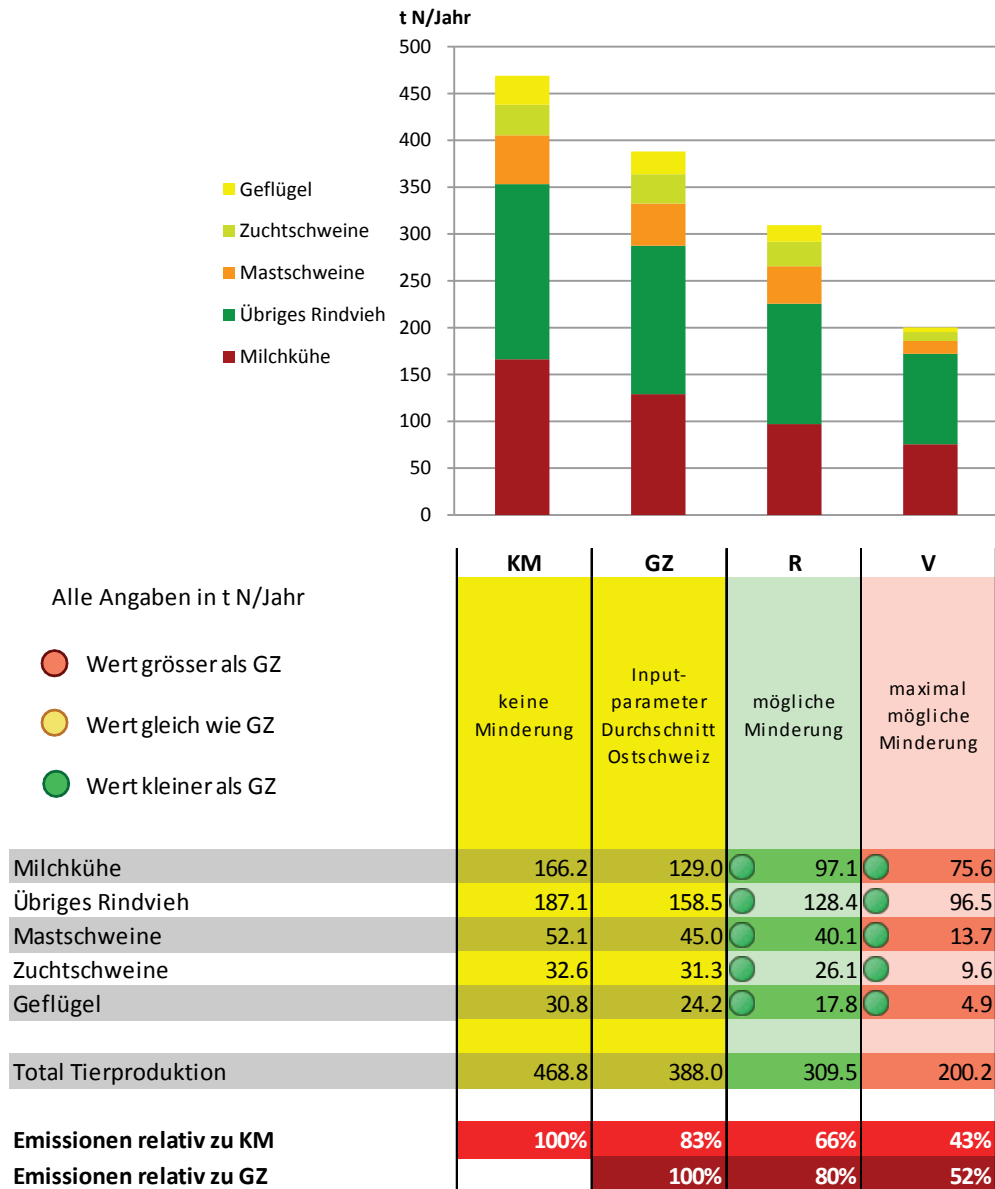


Abbildung 8: Minderungspotential nach Tierkategorien im Kanton Schaffhausen. KM entspricht den Emissionen, wenn keine mindernden Massnahmen umgesetzt würden, GZ ist der Zustand, welcher aufgrund der Umfragedaten von 2007 (Kupper, et al., 2010) momentan herrschen müsste. R ist das Potential, welches ungefähr möglich sein sollte, V ein Vergleich, was möglich wäre bei 100% Umsetzung der bekannten Massnahmen.

1. Einleitung

Über 90% der gesamtschweizerischen Ammoniak-Emissionen ($\text{NH}_3\text{-N}$) stammen aus der Landwirtschaft. (Kupper, et al., 2010) Auch bei den totalen Stickstoff-Emissionen (N_{tot}) ist die Landwirtschaft mit rund 60 % der grösste Schadstoffemittent. (EKL, 2005)

Die Schweiz und Deutschland zählen mit ca. 35 (CH) bzw. 27 kg $\text{NH}_3\text{-N}/\text{ha}^*\text{a}$ (D) im Jahr 2000 im europäischen Vergleich zu den Ländern mit sehr hohen NH_3 -Emissionen. (EKL, 2005)

Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft entweichen in die Atmosphäre, in Böden und Oberflächengewässer. Schon niedrige Konzentrationen können eine wesentliche zusätzliche Düngungswirkung haben. (IBK/INFRAS/econcept, 2006) Die stickstoffhaltigen Schadstoffemissionen belasten vor allem Ökosysteme, die auf stickstoffarme Bedingungen angewiesen sind, wie Wälder, Moore und artenreiche Wiesen. (BAFU und BLW, 2008)

Eine Reduktion der NH_3 -Emissionen trägt jedoch nicht nur dazu bei, dass die Biodiversität erhalten bleibt (kleinere Eutrophierung empfindlicher Ökosysteme), sondern durch kleinere NH_3 -Emissionen bleibt auch mehr Stickstoff im Hofdünger erhalten, was wichtig ist für einen Ackerbauanton wie den Kanton Schaffhausen, der mit einer Nutztierdichte von 0.7 DGVE (Düngergrössvieheinheiten) statt den benötigten 1.7 DGVE zur ausreichenden Düngung im Prinzip zu wenig Hofdünger produziert.

Zur Berechnung der Ammoniakemissionen von Landwirtschaftsbetrieben wurde die webbasierte Software "Agrammon" entwickelt, mit welcher im Rahmen dieser Arbeit Berechnungen für verschiedene Betriebstypen und den gesamten Kanton Schaffhausen gemacht wurden.

Im vorliegenden Bericht werden diese Berechnungen dokumentiert und die Auswirkungen verschiedener Techniken zur Emissionsreduktion veranschaulicht. Ausserdem werden die Umsetzbarkeit und die Probleme dieser Massnahmen erläutert und Empfehlungen gemacht, welche Techniken weiterverfolgt und angewandt werden sollten.

Der Bericht soll als Nachschlagewerk dienen, um bei Entscheidungen bezüglich Ammoniak-Emissionen einen Überblick über das Thema zu erhalten. Deshalb sind nebst den Resultaten aus Berechnungen auch eine grobe Auflistung der Kosten einiger Massnahmen, sowie Emissions- und Korrekturfaktoren der Eingabeparameter von Agrammon (vgl. Anhang) enthalten.

Um das erforderliche Wissen für diese Arbeit zu erhalten, konnten Besprechungen mit verschiedenen Personen gemacht werden:

- Herbert Neukomm und Andreas Zehnder, Landwirtschaftsamt Schaffhausen
- Franz Stadelmann, Landwirtschaft und Wald (Iawa) Luzern
- Thomas Kupper und Harald Menzi, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL) Zollikofen
- Margret Keck und Sabine Schrade, Agroscope Reckenholz Tänikon (ART)

Herzlichen Dank allen, die sich für diese Arbeit Zeit genommen haben!

2. Entstehung und Verminderung von NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft

2.1. Definitionen

Harnstoffhydrolyse:

Reaktion, die Ammoniak erzeugt: $CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$, die Reaktion wird durch das Enzym *Urease* katalysiert.

Reduzierte und oxidierte Stickstoffverbindungen:

Reduzierte Stickstoffverbindungen sind Ammoniak (NH₃) und Ammonium (NH₄⁺). Oxidierte Stickstoffverbindungen sind NO, NO₂, NO₃⁻, N₂O.

Critical Loads (kritische Eintragsraten):

"Critical Loads sind ein Mass für längerfristig tolerierbare Schadstoffeinträge in ein Ökosystem." (EKL, 2005) Sie werden angegeben als Deposition pro Flächeneinheit, z.B. kg ha⁻¹ · a⁻¹ (BUWAL, 2002)

Da sie wie die Immissionsgrenzwerte der schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung nach dem Stand des Wissens festgelegt werden, sind sie von der Bedeutung her gleichwertig (EKL, 2005). Nebst Ammoniak-Depositionen tragen aber auch oxidierte Stickstoffverbindungen zum Stickstoffeintrag und somit zu einer allfälligen Überdüngung eines Ökosystems bei. N-Depositionen entstehen aus Gasen, Staub und Niederschläge, welche Stickstoffverbindungen enthalten. Depositionen lassen sich nicht direkt aus den Emissionen berechnen, die Depositionsfrachten müssen über modellierte Konzentrationen zusammen mit Depositionsgeschwindigkeiten hergeleitet werden. (Bucher, 2010)

Critical Levels (kritische Konzentrationen):

"Konzentrationen von Luftschadstoffen in der Atmosphäre, oberhalb derer nach dem Stand des Wissens direkte schädliche Auswirkung auf Rezeptoren, wie Menschen, Pflanzen, Ökosysteme oder Materialien, zu erwarten sind." (BUWAL, 2002)

"Bei den empfindlichsten Flechten und Moosen führt bereits eine Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Mittel über mehrere Jahre zu Veränderungen im Artenspektrum, während für die übrige Vegetation der kritische Konzentrationsbereich bei 2– 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt. Diese Werte zur Festlegung eines Critical Levels von 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittel) zum Schutz der höheren Pflanzen." (EKL, 2010)

Critical Loads für Wälder:

Gemässigte und boreale³ Wälder haben einen Critical Load von 10-20 kg N/ha*a (EKL, 2005).

Schweizerische Ammoniakemissionen:

Im Jahr 2007 wurden in der Schweiz insgesamt 52.3 kt NH₃-N/a als Ammoniak emittiert, davon sind 49 kt NH₃-N/a aus der Landwirtschaft. (Kupper, et al., 2010) Das entspricht 46.2 kg NH₃-N/ha*a (bei einer totalen landwirtschaftlichen Nutzfläche von 1'060'278 ha im Jahr 2007, Daten BFS)

Schweizerische ökologisch tolerierbare Ammoniakemissionen:

Damit die Critical Loads eingehalten werden können, müssten die Gesamtschweizerischen NH₃-Emissionen auf 25 kt NH₃-N/a gesenkt werden. (BAFU und BLW, 2008)

³ Boreale Zone: zwischen dem 50. und dem 70. Breitengrad auf der Nordhalbkugel

Schaffhauser Emissionsrate:

Gemäss früheren Berechnungen (Reidy & Menzi, 2006) und Berechnungen mit Agrammon (vgl. Kapitel 4) liegen die durchschnittlichen Emissionen im Kanton Schaffhausen im Jahr 2007 bei ca. 27 kg NH₃-N/ha*a landwirtschaftlicher Nutzfläche. Das liegt deutlich unter dem schweizerischen Durchschnitt von 46.2 kg NH₃-N/ha*a.

2.2. Entstehung und Entwicklung der schweizerischen NH₃-Emissionen

Die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft entstehen vor allem durch die Nutztierhaltung. Ammoniak wird gebildet, wenn Eiweiss oder Harnstoff in den Ausscheidungen der Tiere zersetzt wird. Hauptquellen auf einem landwirtschaftlichen Betrieb sind die Ställe und die Ausbringung sowie die Lagerung von Flüssig- oder Festmist.

Durch die tierschutzgerechtere Haltung der Nutztiere entstehen höhere Stallemissionen als dies in konventionellen Ställen üblich war. Es werden jedoch Massnahmen für die neuen Stallkonzepte entwickelt, welche die erhöhten Emissionen eindämmen sollten. Minderungsmaßnahmen sind auch bei der Lagerung (durch Abdeckung der Hofdüngerlager) und bei der Ausbringung (emissionsarme Ausbringverfahren wie Schleppschlauch oder Schleppschuh und rasche Einarbeitung des Mists) möglich. Viele Massnahmen sind jedoch mit erhöhtem Aufwand, Mehrkosten oder auch mit einem Umstellen der landwirtschaftlichen Praxis verbunden. Die Minderung der Ammoniakemissionen bewirkt aber auch eine Erhöhung des Stickstoffgehalts im Hofdünger, was einen höheren Düngewert und damit eine Kosteneinsparung für den Betrieb bedeutet.

Der richtige Umgang mit dem Hofdünger kann somit einiges bewirken.

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen zwischen 1990 und 2007. Folgende Änderungen sind zu beobachten:

- *Zunahme der Stall-/Laufhof-Emissionen:* Der Grund ist, wie oben erwähnt, die tierfreundlichere Stallbauweise, welche zu grösseren verschmutzten Flächen führte. Neue Rindviehställe werden nicht mehr als Anbindeställe, sondern als Laufställe gebaut, in denen sich die Tiere frei bewegen können. Auch Schweineställe haben vermehrt Ausläufe, was ebenfalls erhöhte Emissionen erzeugt.
- *Zunahme der Güllelager-Emissionen:* Aufgrund der Zunahme von Stallssystemen mit Produktion von Vollgülle entstanden vermehrt Güllelager-Emissionen. Das erklärt zugleich den Rückgang der Mistlager-Emissionen. Die Lageremissionen sind jedoch oft kein signifikanter Teil der Gesamtemissionen. Ausserdem sind - zumindest im Kanton Schaffhausen - sehr viele Güllelager bereits als fest abgedeckte Güllegruben gebaut.
- *Abnahme der Ausbringemissionen:* Für alle Änderungen auf den verschiedenen Stufen ist natürlich auch die landwirtschaftliche Produktionstechnik, welche sich laufend verändert, verantwortlich. So kann eine veränderte Fütterung zu erhöhter oder verminderter Stickstoff-Ausscheidung führen, was sich auf alle nachfolgenden Emissionsstufen (Weide, Stall/Laufhof, Lagerung, Ausbringung) auswirkt. Die Abnahme der Ausbringemissionen könnte seinen Grund aber auch im Stickstofffluss haben: Da die Stall- und Laufhofemissionen zunahmen, ist bereits ein grösserer Teil des Stickstoffs vor der Ausbringung aus dem Hofdünger entwichen und stand somit bei der Ausbringung nicht mehr zur Verfügung. Genauere Beschreibungen zum Stickstoffflussmodell sind in Kapitel 3 zu sehen.

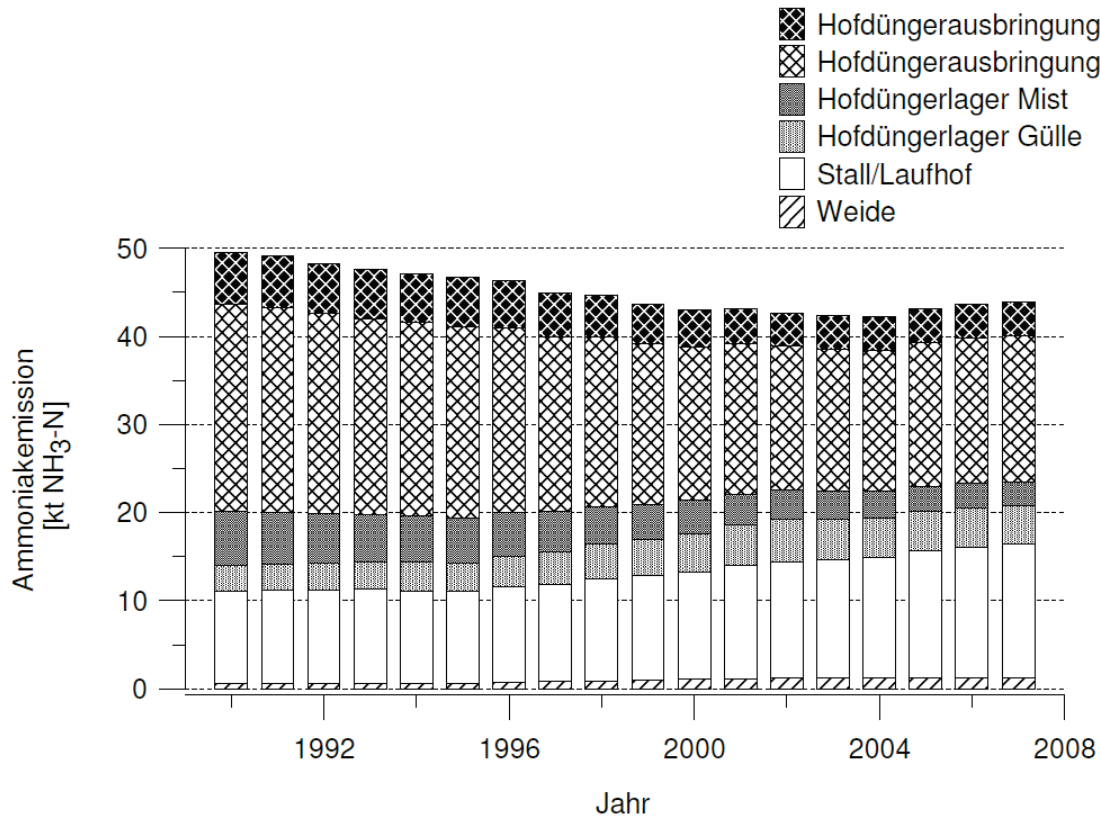


Abbildung 9: Entwicklungen der Ammoniakemissionen aus der Tierproduktion von 1990 bis 2007 nach Emissionsstufe Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager und Hofdüngerausbringung (Kupper, et al., 2010)

Die restlichen 4-5 % der Ammoniakemissionen stammen aus nicht-landwirtschaftlichen Zweigen (Kupper, et al., 2010). Ein Teil, welcher ziemlich konstant blieb, stammt aus Industrie und Gewerbe, ein grösserer Teil aus dem Verkehr. Die Ammoniakemissionen im Verkehr haben sich während der Zeit von 1990 bis 2007 ungefähr verdoppelt, was auf den Einsatz des Katalysators zurückzuführen ist.

Ammoniakemissionen aus Haushalten machen einen weiteren Teil der nicht-landwirtschaftlichen Emissionen aus. Des Weiteren stammt ein Teil, welcher seit 1990 halbiert werden konnte, aus der Abfallbewirtschaftung. (Kupper, et al., 2010)

2.3. Emissionsminderung

Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Minderung der NH₃-Emissionen auf den unterschiedlichen Stufen aufgelistet.

2.3.1. Stall / Laufhof

Ammoniak-Reduktionsmassnahmen im Stall oder Laufhof unterscheiden sich je nach Tierkategorie und Stallsystem (vgl. Abbildung 10 - Abbildung 13).



Abbildung 10: automatischer Schieber, häufige Reinigung des Laufhofs (Rindvieh) (UFA, 2008)



Abbildung 11: Abluftreinigung (Schweine- oder Geflügelstall) (Globogal AG, 2010)



Abbildung 12: Kotbandentmischung (Geflügel) (Big Dutchman, 2010)



Abbildung 13: Kalt- bzw. Offenställe (Rindvieh und Schweinemast)

2.3.2. Hofdüngerlagerung

Um die Lageremissionen einzudämmen, sind Güllelager abgedeckt, oder als gedeckte Grube zu bauen.



Abbildung 14: feste Abdeckung (gedeckte Grube) (IBK, 2010)



Abbildung 15: Schwimmfolie auf Güllesilo (FAT Tänikon, 2004)



Abbildung 16: Folienzelt (Dux, Van Caenegem, Steiner, & Kaufmann, 2005)



Abbildung 17: Blähtonkugel-Schwimmschicht (Dux, Van Caenegem, Steiner, & Kaufmann, 2005)

Emissionen von Gülleabdeckungen

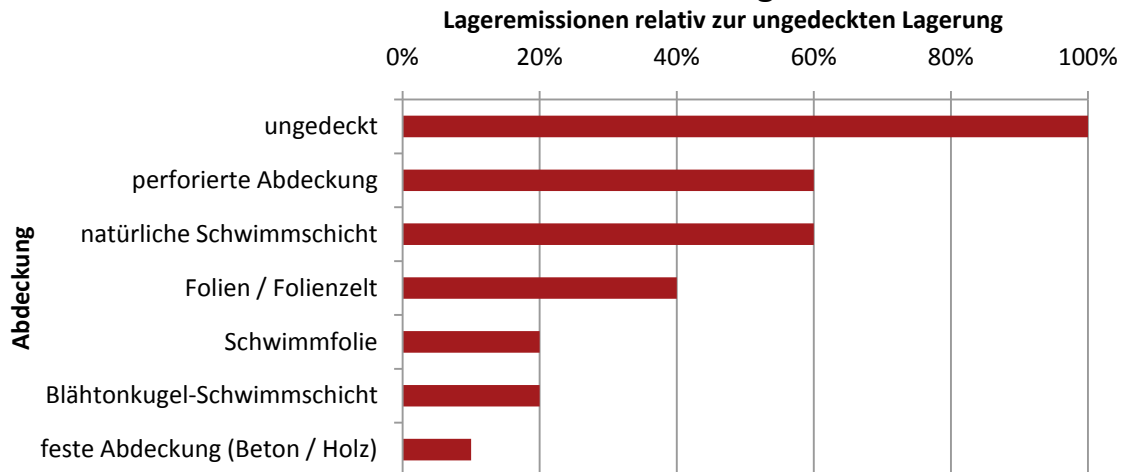


Abbildung 18: Emissionen verschiedener Güllelagerabdeckungen relativ zu den Lageremissionen bei ungedeckter Güllelagerung. Natürliche und Blähtonkugel-Schwimmschichten müssen 10 -15 cm mächtig sein, damit die dargestellte Minderung erreicht wird. (SHL, 2010c), (Van Caenegem, Dux, & Steiner, 2005)

Gemäss Massnahmenplan Lufthygiene werden im Kanton Schaffhausen folgende Massnahmen bereits umgesetzt: (IKL, 2010)

- Neue Güllesilos werden nur noch mit Abdeckung bewilligt
- Bestehende Schweinegüllesilos müssen abgedeckt werden
- Die feste Schwimmdecke bei Rindergüllelager darf nicht zerstört werden, sonst wird eine Abdeckung notwendig

Ausserdem wird beantragt, dass Geflügelmist gedeckt und trocken gelagert werden muss und keine Zwischenlager ausserhalb des Hofes bestehen dürfen. (IKL, 2010)

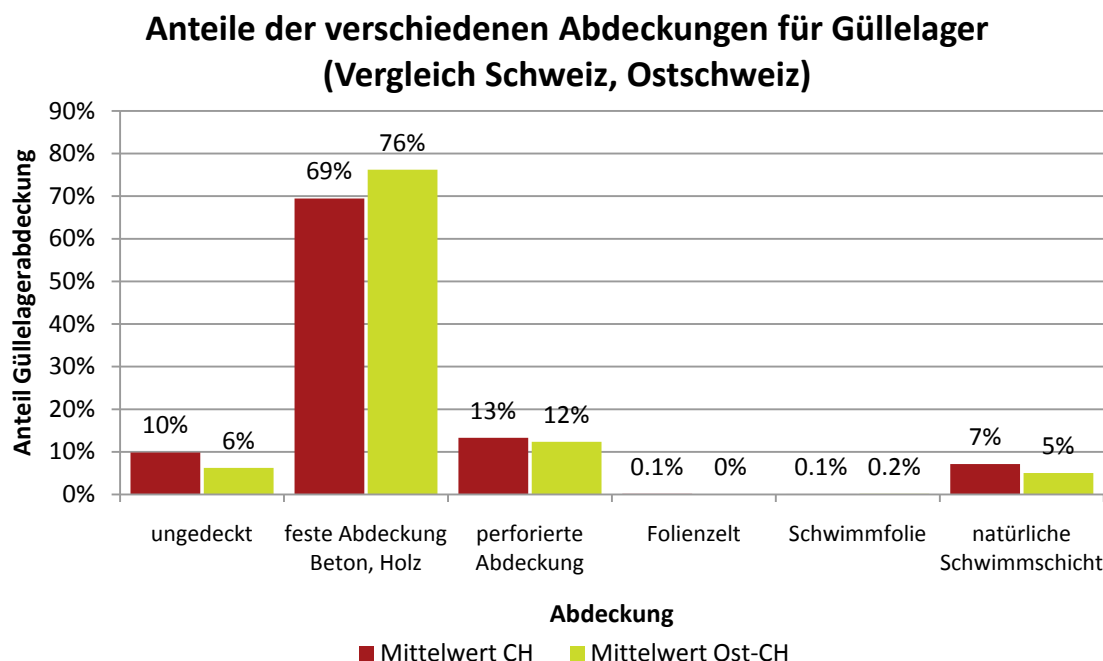


Abbildung 19: Anteile der verschiedenen Abdeckungen für Güllelager in der Schweiz, verglichen mit den Werten der Ostschweiz. Es wird angenommen, dass die Verteilung im Kanton Schaffhausen derjenigen der Ostschweiz entspricht (Quelle: Umfragedaten 2007 der gesamtschweizerischen NH₃-Berechnungen (Kupper, et al., 2010)).

2.3.3. Hofdüngerausbringung

Bei der Hofdüngerausbringung können Emissionen reduziert werden, in dem die Gülle bodennah oder direkt in den Boden ausgebracht wird (Abbildung 20 - Abbildung 23). In der Schweiz wird ca. 87% der Gülle mittels Prallteller oder Werfer ausgebracht, ca. 12% mit dem Schleppschlauchverteiler und ungefähr 1% mit dem Gölledrill. Die Werte für die Ostschweiz entsprechen ziemlich genau dem schweizerischen Durchschnitt.

Für den Massnahmenplan Lufthygiene des Kantons Schaffhausen wird beantragt, dass die Massnahme "Gülleaustrag mit Schleppschlauch oder vergleichbare Verfahren (Schleppschuh- oder Schlitzdrillverfahren)" umgesetzt werden. (IKL, 2010)



Abbildung 20: Schleppschauchverteiler (Vakutec, 2010)



Abbildung 21: Schleppschauchverteiler (Zunhammer GmbH, 2010)



Abbildung 22: Gülledrill-Verfahren (Veenhuis Machines B.V., 2010)



Abbildung 23: Tiefe Injektion (Joskin, 2010)

Emissionen der Gülleausbringung

Ausbringemissionen relativ zur Ausbringung mittels Prallteller / Werfer

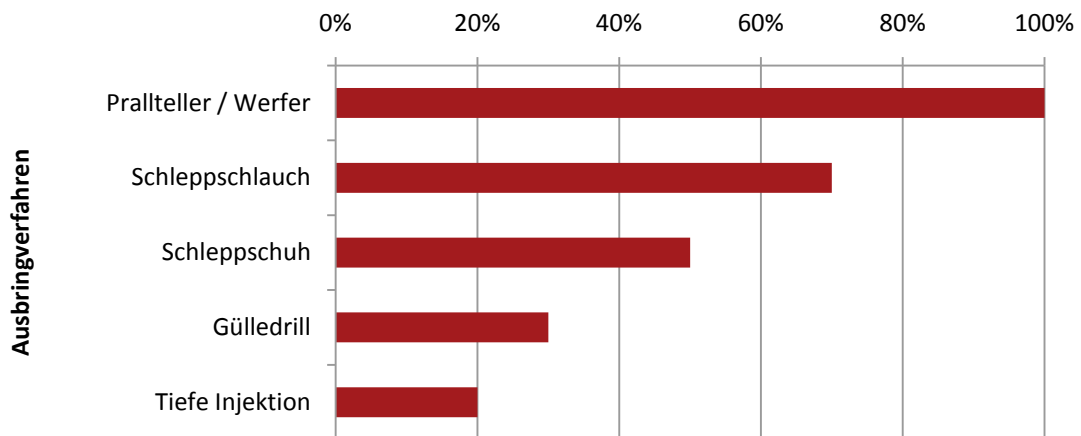


Abbildung 24: Emissionen verschiedener Gülle-Ausbringverfahren relativ zu den Ausbringemissionen bei der Gülleausbringung mittels Prallteller / Werfer

Weitere wichtige Massnahmen sind die sofortige Einarbeitung von ausgebrachtem Mist (vgl. Abbildung 25) oder die Gülleverdünnung. Die Lufttemperatur während der Ausbringung hat ebenfalls einen Einfluss auf die Höhe der Ammoniakemissionen.

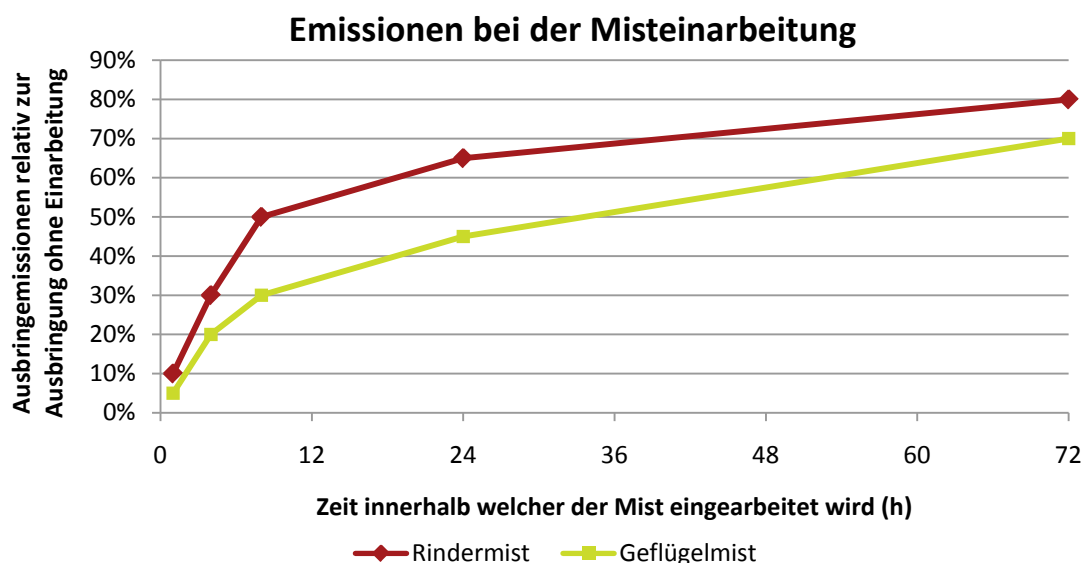


Abbildung 25: Reduktion der Ausbringemissionen bei der Mistausbringung in Abhängigkeit der Einarbeitungszeit. Eine Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden ergäbe eine Reduktion der Ausbringemissionen von 70% (Rindermist) bzw. 80% (Geflügelmist).

2.3.4. Pralltellerverbot in Deutschland

Die Düngeverordnung (DüV) von Deutschland legt die Art von Gülle-Ausbringung fest:

§ 3 Abs. 10: *Geräte zum Ausbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Das Aufbringen von Stoffen nach Satz 1 mit Geräten nach Anlage 4 ist ab dem 1. Januar 2010 verboten. Geräte, die bis zum 14. Januar 2006 in Betrieb genommen wurden, dürfen abweichend von Satz 2 noch bis zum 31. Dezember 2015 für das Aufbringen benutzt werden.*

Wobei Anlage 4 folgende Aufzählung enthält:

Anlage 4 (zu § 3 Abs. 10) Geräte zum Ausbringen von Düngemitteln, die nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen

1. Festmiststreuer ohne gesteuerte Mistzufuhr zum Verteiler,
2. Güllewagen und Jauchewagen mit freiem Auslauf auf den Verteiler,
3. zentrale Prallverteiler, mit denen nach oben abgestrahlt wird,
4. Güllewagen mit senkrecht angeordneter, offener Schleuderscheibe als Verteiler zur Ausbringung von unverdünnter Gülle,
5. Drehstrahlregner zur Verregnung von unverdünnter Gülle.

Ein Prallteller-Verteiler ist somit in Deutschland ab 2010 bzw. 2015 verboten. Ein Breitverteiler, welcher die Gülle nach hinten oder nach unten verteilt, ist immer noch erlaubt.

3. Agrammon

3.1. Modell Agrammon

Mit dem Simulationsmodell Agrammon können die Ammoniakemissionen von landwirtschaftlichen Betrieben berechnet werden. Durch Verändern der Betriebsdaten können die Auswirkungen auf die Emissionen abgeschätzt werden. Dazu werden die Ammoniakverluste auf der Basis des Stickstoffflusses berechnet. Für die Emissionsstufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, Hofdüngerausbringung und übrige Quellen werden die Verluste mittels Emissionsraten als Anteil des durchfliessenden löslichen Stickstoffs berechnet. Wichtige produktionstechnische Einflussgrössen wie Fütterung, Stallsystem, Abdeckung der Güllelager oder emissionsmindernde Ausbringungssysteme werden dabei als Korrekturfaktoren für die Emissionsraten berücksichtigt. (SHL, Oetiker + Partner, BAFU, 2010)

Die Emissionsraten und Korrekturfaktoren für alle in Agrammon modellierbaren Einflussgrössen sind im Dokument "Technische Parameter Modell Agrammon" (SHL, 2010c) aufgelistet. Die Dokumentation zu dieser Auflistung "Dokumentation Technische Parameter Modell Agrammon" (SHL, 2010b) liefert Angaben zu Quellen, Annahmen und Expertenschätzungen für die einzelnen Emissionsraten oder Korrekturfaktoren. Eine Übersicht der wichtigsten Korrekturfaktoren befindet sich im Anhang.

Agrammon ist ein webbasiertes Programm, welches kostenlos benutzbar ist. Es wurde von der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL) und von den Firmen Bonjour Engineering GmbH sowie Oetiker+Partner AG mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) entwickelt (SHL, Oetiker + Partner, BAFU, 2010).

Agrammon ist zurzeit in drei unterschiedlichen Versionen vorhanden (Einzelbetriebsmodell, Regiomodell und Einzelbetriebsmodell mit kantonalen Anpassungen), wobei die Berechnungen bei allen drei Modellen dieselben sind. Der Unterschied der drei Versionen ist die Eingabe, welche für bestimmte Bedürfnisse angepasst wurde.

3.1.1. Einzelbetriebsmodell

Der Aufbau der verschiedenen Agrammon-Versionen ist überall identisch, deshalb gelten die Erläuterungen für das Einzelbetriebsmodell auch für die nachfolgenden beiden. Abbildung 26 zeigt die Benutzeroberfläche von Agrammon.

Zum Erfassen der Betriebsdaten werden Kategorien erstellt. Jede Tierart wird einer Kategorie zugewiesen, in welcher die Anzahl, Aufstallung und weitere betriebliche Parameter eingegeben werden. Für die Hofdüngerlagerung und -ausbringung sind schon Kategorien vorhanden, die ausgefüllt werden müssen. Für jedes Güllelager, welches sich nicht unter einem Stall befindet, muss unter "Gülle" eine Kategorie erstellt werden. Güllelager unter den Ställen werden in den Stall- und Laufhofemissionen schon berücksichtigt.

Um die Berechnung zu starten, nachdem alle Daten eingegeben sind, wird vom Reiter "Eingabe" auf "Resultate als Tabelle" oder "Resultate als Grafik" gewechselt. Dort können verschiedene Darstellungen der Resultate - geordnet nach Emissionsstufe oder Tierkategorie - ausgewählt werden. Die Tabellendarstellung kann als Excel-Datei heruntergeladen werden, womit eigene Darstellungen und Vergleiche verschiedener Massnahmen möglich sind.

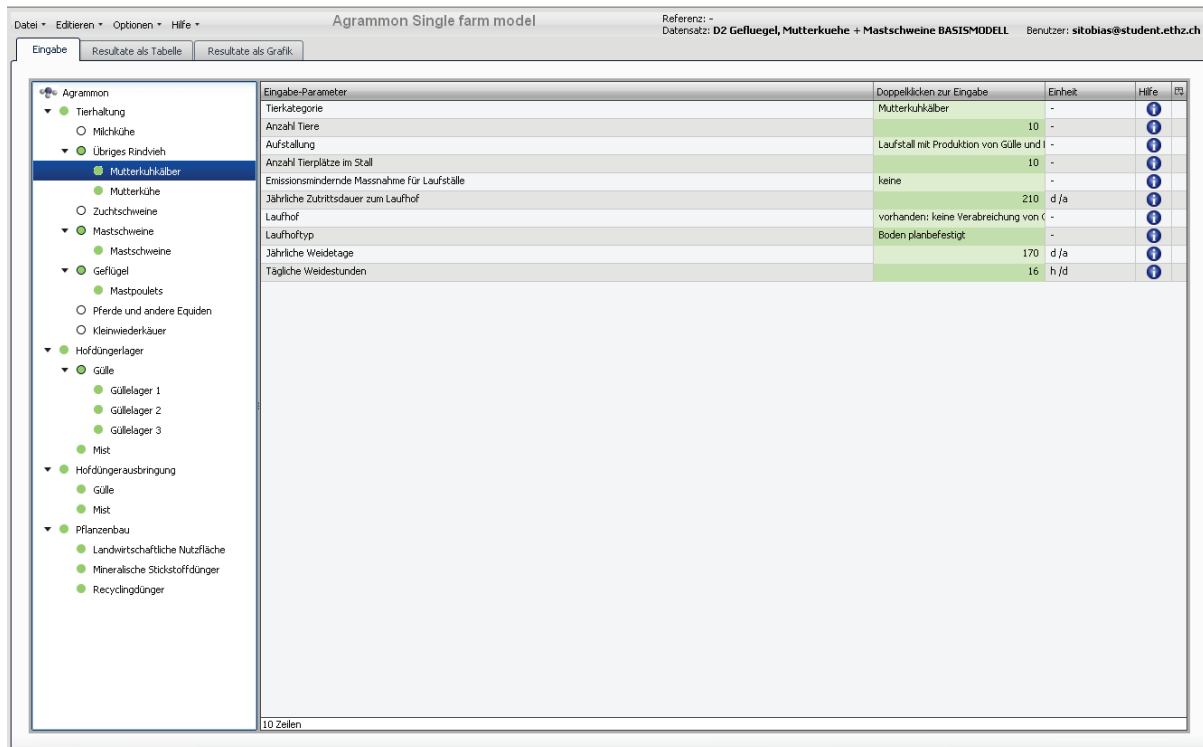


Abbildung 26: Benutzeroberfläche von Agrammon. Links die Spalte mit den einzelnen Kategorien (gruppiert in Tierhaltung, Hofdüngerlagerung und -ausbringung, Pflanzenbau) und rechts die Eingabeparameter mit den zugewiesenen Werten

3.1.2. Regiomodell

Agrammon Regio hat genau die gleichen Eingabeparameter wie das Einzelbetriebsmodell. Das Regiomodell ist jedoch für die Berechnung von mehreren Betrieben zusammen gedacht. Weil dann sehr viele unterschiedliche Kategorien entstehen, hat Agrammon Regio Vereinfachungen, so dass *alle* Tiere einer einzelnen Kategorie erfasst, und z.B. die Anteile der verschiedenen Aufstallungen mit Prozentwerten angegeben werden können. Es kann im Regiomodell beispielsweise eine Kategorie "Milchkühe" definiert werden, in der 40% der Tiere in Anbindeställen mit Produktion von Vollgülle, 10% in Anbindeställen mit Produktion von Gülle und Mist, 45% in Laufställen mit Produktion von Vollgülle und 5% in Laufställen mit Produktion von Gülle und Mist zugeordnet sind. Im Einzelbetriebsmodell hätte man für jede einzelne Aufstallung eine eigene Kategorie machen müssen, im Regiomodell kann dies mit der Funktion "flatten" in einem Arbeitsgang gemacht werden.

Bei Erstellen einer neuen Kategorie kann für bestimmte Eingabeparameter ausgewählt werden, ob diese "einfach", "flatten" oder "branch" sein sollen. Wird "**einfach**" gewählt, entspricht es der Einstellung im Einzelbetriebsmodell.

Mit der Einstellung "**flatten**" für einen Eingabeparameter werden alle möglichen Auswahlwerte, statt in einer Drop-down-Liste, als einzelne Parameter dargestellt, bei denen der Anteil der Tiere, welche diesem Parameter entsprechen, eingefüllt werden kann.

Für die Einstellung "**branch**" müssen zwei Eingabeparameter beim Erstellen der Kategorie mit "branch" markiert werden. Dann werden diese beiden Parameter mit ihren Auswahlwerten in einer Matrix dargestellt und die Prozentwerte der Anzahl Tiere, welche jeweils für diese beiden Werte kombiniert vorkommen, kann dort angegeben werden. Beispielsweise kann kombiniert werden, welcher Anteil der Tiere in einem bestimmten Stallsystem *und* einem bestimmten Laufhofstyp

vorkommen. So ist es möglich, in *einer* Tabelle jede mögliche Kombination dieser beiden Parameter anzugeben.

3.1.3. Einzelbetriebsmodell mit kantonalen Anpassungen

Das Einzelbetriebsmodell mit kantonalen Anpassungen wurde vom Kanton Luzern initiiert und in Zusammenarbeit mit dem BAFU in Auftrag gegeben. Das Ziel dieser Version ist, nur emissionsmindernde Massnahmen modellieren zu können, die als Auflagen in Baubewilligungen einsetzbar sind. Massnahmen, die nicht kontrolliert werden können, wurden entfernt. Bei diesen deaktivierten Eingabedaten verwendet Agrammon Standardwerte für die Berechnung.

Zudem wurden einige neue Massnahmen im Bereich der Aufstallungen hinzugefügt. So gibt es emissionsmindernde Massnahmen im Stallklima, bei der Belüftung und zusätzliche Massnahmen im Laufhof.

Datensätze vom Modell mit kantonalen Anpassungen können nicht im Basismodell (Einzelbetriebsmodell) verwendet werden und umgekehrt.

Eine detaillierte Bedienungsanleitung zu Agrammon ist in Arbeit. (Kupper, 2010)

3.1.4. Anwendung von Agrammon

Das Regiomodell von Agrammon eignet sich sehr gut für regionale Berechnungen, z.B. Emissionsberechnungen eines ganzen Kantons. Für Einzelbetriebsberechnungen wird das Einzelbetriebs-Basismodell oder das Modell mit kantonalen Anpassungen verwendet.

Die Massnahmen, welche im Modell mit den kantonalen Anpassungen zusätzlich eingeführt wurden, wären auch im Basis-Einzelbetriebs- und im Regiomodell wünschenswert. Diese neuen (oft baulichen) Massnahmen sind eine gute Ergänzung zum Basismodell. Die Massnahmen aus dem Basismodell, welche im kantonalen Modell fehlen, sollten aber auch in die Berechnungen miteinbezogen werden können, weil sie zum Teil sehr effektiv und zudem oftmals kostengünstiger als bauliche sind. Deshalb wäre ein Basismodell mit den zusätzlichen Massnahmen des kantonal angepassten Modells eine gute Lösung zur differenzierten Betrachtung möglicher Minderungsmassnahmen eines einzelnen Betriebs.

4. Emissionsberechnungen für den Kanton Schaffhausen

In den nachfolgenden Grafiken ist der heutige Zustand der NH₃-Emissionen im Kanton Schaffhausen abgeschätzt. Dazu wurden Berechnungen mit Agrammon Regio gemacht, wobei als Inputparameter die Daten aus der Umfrage von 2007 (Kupper, et al., 2010) für die Ostschweiz und die Tierzahlen von 2007 des Kantons Schaffhausen verwendet wurden. Es wurde getrennt nach Tal- und Hügelregion gerechnet und am Ende die Resultate addiert.

Die dargestellten Gesamtemissionen stammen ausschliesslich aus der Tierhaltung, wobei nur Milchkühe, Rindvieh, Schweine und Geflügel berücksichtigt wurden. Die Anteile der Emissionen von Pferden, anderer Equiden und Kleinwiederkäuer sind vernachlässigbar.

Die Gesamtemissionen des Kantons Schaffhausen belaufen sich auf ca. 419 t NH₃-N / a mit den oben beschriebenen Inputparametern. Das ergibt bei einer totalen landwirtschaftlichen Nutzfläche von 15'524 ha ca. 27 kg NH₃-N / ha*a. Diese Zahl liegt ca. 9% über dem Wert, welcher Reidy und Menzi (Reidy & Menzi, 2006) mit dem Programm "DYNAMO" berechnet hatten. Um 10-20% höhere Emissionen gegenüber DYNAMO sind üblich, wenn die Berechnungen mit Agrammon gemacht werden.

Abbildung 27 zeigt die Tierzahlen des Kantons Schaffhausen, ausgedrückt als Grossvieheinheit (GVE), wobei ersichtlich wird, dass Rindvieh einen sehr grossen Teil der GVE und somit auch der Gesamtemissionen ausmacht (aus Abbildung 27 und Abbildung 28 wird klar, dass die Emissionen direkt von der Anzahl der GVE abhängig sind.).

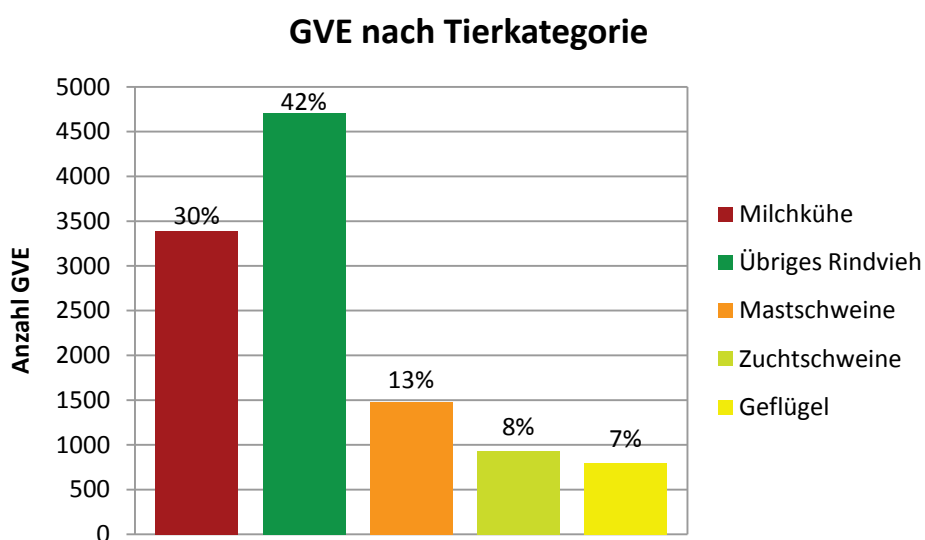


Abbildung 27: Grossvieheinheiten (GVE) der wichtigsten Tierkategorien im Kanton Schaffhausen von 2007.

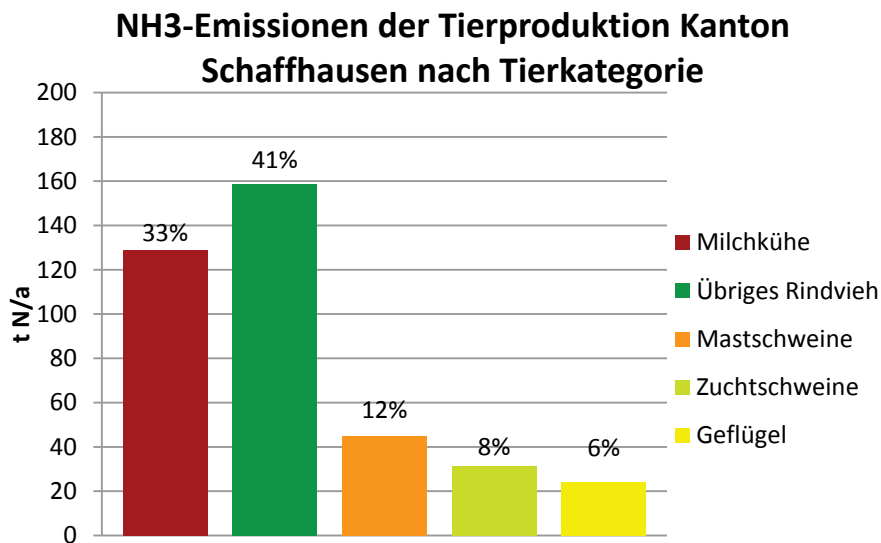


Abbildung 28: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft des Kantons Schaffhausen, aufgeteilt auf die wichtigsten Tierkategorien. Die Prozentwerte beziehen sich auf die totalen Emissionen aus der Tierproduktion, welche 93% der gesamten Emissionen aus der Landwirtschaft ausmachen (Vgl. **Abbildung 29**)

Der Kanton Schaffhausen liegt mit 27 kg NH₃-N / ha*a unter dem schweizerischen Durchschnitt von 46.2 kg NH₃-N / ha*a (Reidy & Menzi, 2006).

Abbildung 28 zeigt die NH₃-Emissionen auf den verschiedenen Stufen der landwirtschaftlichen Produktion. Je nach Betriebstyp kann die Verteilung stark vom Durchschnitt abweichen (vgl. Kapitel 5).

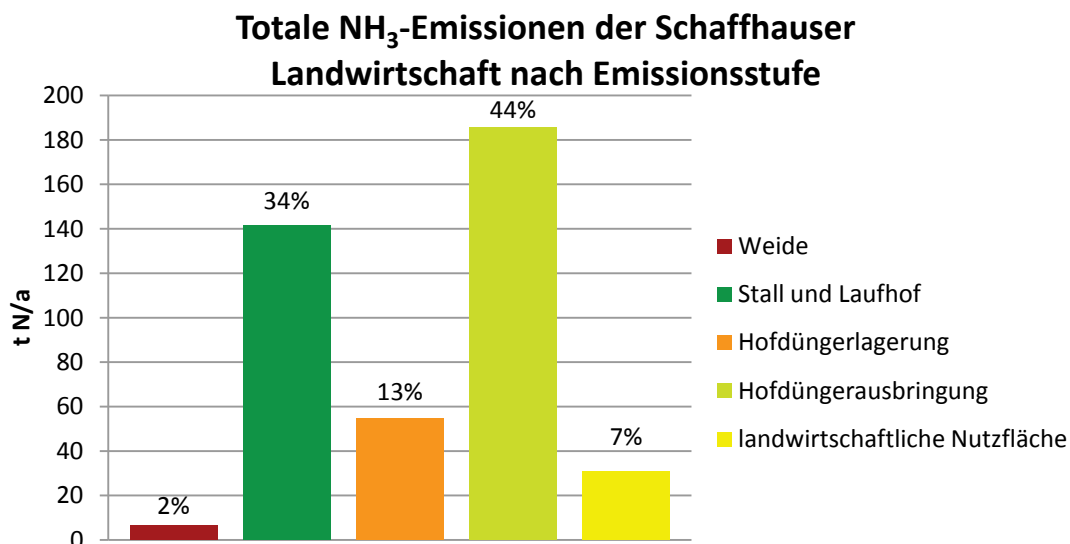


Abbildung 29: NH₃-Emissionen der Landwirtschaft im Kanton Schaffhausens in den Stufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung und als Vergleich diejenigen der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

5. Möglichkeiten zur Emissionsreduktion an Beispielen von Referenzbetrieben

Grundlage für die Berechnungen der Referenzbetriebe waren Baugesuche aus den Jahren zwischen 2003 und 2010. Alle Daten, die in den Bewilligungen vorhanden waren wurden übernommen. Zudem stand eine Auflistung der Güllelager von 2006 zur Verfügung. Um zu überprüfen, ob die gewählten Betriebe nach 2006 noch ein neues Güllelager gebaut hatten, konnten die Abnahmeprotokolle der Güllelager vom Gewässerschutz durchgesehen werden. Ebenfalls vorhanden ist die produzierte Menge Vollgülle pro Jahr. Mit den Daten des Hofdünger-Erhebungsbogens vom Kanton Schaffhausen (Kanton Schaffhausen, 2010), konnte - je nach gewähltem Stallsystem - verglichen werden, wie viel Vollgülle theoretisch produziert wird.

Da aus der Güllelager-Auflistung nicht ersichtlich war, ob sich ein Lager unterhalb oder neben einem Stall befindet, wurden alle Güllelager modelliert. Lager unterhalb des Stalls dürften in Agrammon eigentlich nicht eingegeben werden, da dessen Emissionen in den Stallemissionen einberechnet werden. Weil jedoch für die meisten Lager eine feste Abdeckung angenommen wurde, ist der Fehler vernachlässigbar.

Da die Tierproduktion (inkl. Hofdüngerlagerung und -ausbringung) keine Auswirkung auf die Emissionen der Pflanzenproduktion hat, wurden die Resultate der Pflanzenproduktion nicht dokumentiert. Somit mussten keine Daten über Mineral- und Recyclingdünger, so wie die landwirtschaftliche Nutzfläche abgeschätzt werden.

Als Vergleich zu allen berechneten Szenarien jedes Betriebes wurde nebst dem Grundzustand (geschätzter Ist-Zustand) auch ein Zustand ohne Minderungsmaßnahmen für jeden Betrieb gerechnet. Dieses Szenario ("keine Minderung") ist für jeden Betrieb gleich, natürlich unter Berücksichtigung der Tierzahlen und der Aufstallung. Kleine Differenzen gab es bei den Betrieben, welche mit dem Agrammon-Modell mit kantonalen Anpassungen berechnet wurde, weil da gewisse Parameter nicht definiert werden können, sondern als Standardwert implementiert sind. Die Unterschiede sind jedoch sehr klein. Eine genaue Definition jedes Eingabewertes für den Zustand "keine Minderung" ist im Anhang ersichtlich.

5.1. Übersicht der berechneten Betriebstypen

Tabelle 1: Übersicht aller Referenzbetriebe (GVE-Verteilung und kurze Beschreibung), welche variiert und mit Agrammon berechnet wurden.

| Betriebs-Nr. | GVE | | | | | Beschreibung |
|--------------|-----------|------------------|---------------|--------------|----------|--|
| | Milchkühe | Übriges Rindvieh | Zuchtschweine | Mastschweine | Geflügel | |
| A1 | 98 | 4 | | | | Milchbetrieb, Verabreichung Grundfutter ausschliesslich im Laufhof |
| A2 | 80 | 25 | | | | Milchbetrieb mit etwas Rindviehmast, kein Laufhof |
| A3 | | 145 | | | | Rindviehmast, Tretmist |
| A4 | | 77 | | | | Rindviehmast, Tretmist, Szenarien mit Biogasanlage |
| A5 | | 25 | | | | Mutterkuhbetrieb, Mehrraumlaufstall (Verabreichung Grundfutter ausschliesslich im Laufhof, perforierter Laufhofboden mit darunterliegendem Güllelager) |
| B1 | 36 | 61 | | 51 | | Milch-, Rindviehmast- und Schweinemastbetrieb, 1/3 der GVE sind Schweine, Schleppschlauch im Grundzustand, Stallsysteme mit hoher Gülleproduktion |
| B2 | | 40 | | 85 | | Rindviehmast- und Schweinemastbetrieb, 2/3 der GVE sind Schweine, Rindvieh auf Tretmist |
| B3 | 70 | 8 | 17 | | | Milch-, Rindvieh- und Schweinebetrieb, 3/4 der GVE sind Milchkühe (Gülle und Mist im Laufstall) |
| B4 | | 40 | 27 | | | Rindviehmast- und Schweinebetrieb, GVE-Verhältnis Rindvieh - Schweine ca. 60% - 40%, Schweine im konventionellen Stall |
| C1 | | | 57 | 56 | | Reiner Schweinebetrieb |
| C2 | | | 75 | 4 | | Reiner Schweinebetrieb, Vergleich Labelstall mit Kaltstall / Offenfrontstall |
| D1 | | | | | 180 | Legehennenbetrieb |
| D1a | | | | | 72 | Gleicher Betrieb wie D1 mit gleich vielen Mastpoulets statt Legehennen |
| D2 | | 10 | | 14 | 72 | Geflügelbetrieb mit wenigen Mutterkühen und einigen Mastschweinen 3/4 der GVE sind Geflügel |
| D3 | 22 | | | | 72 | Milch- und Geflügelbetrieb, 3/4 der GVE sind Geflügel |

5.2. Betriebstypenübersicht nach GVE

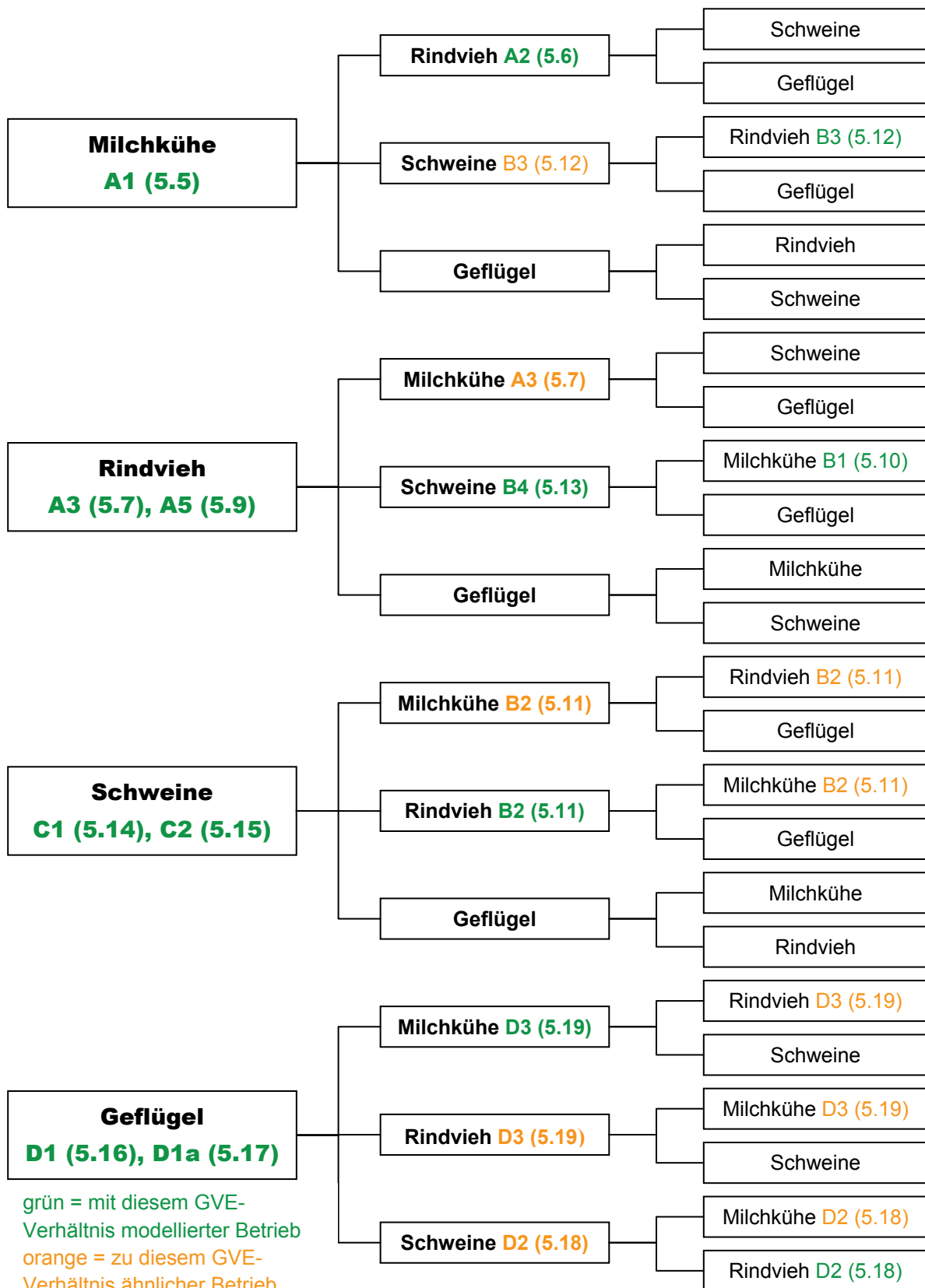


Abbildung 30: Betriebstypenübersicht nach GVE. Vorgehen: Von links nach rechts: zuerst die Kategorie wählen, welche die meisten GVE besitzt, danach, falls eine zweite Kategorie vorhanden ist, diejenigen mit der zweitgrössten GVE-Zahl und falls noch eine dritte Kategorie besteht, die dritte wählen. Die Bezeichnungen neben dem Kategoriennamen sind die Betriebsnummern, mit zugehöriger Kapitelnummer in Klammer.

5.3. Betriebstypenübersicht nach Aufstallung

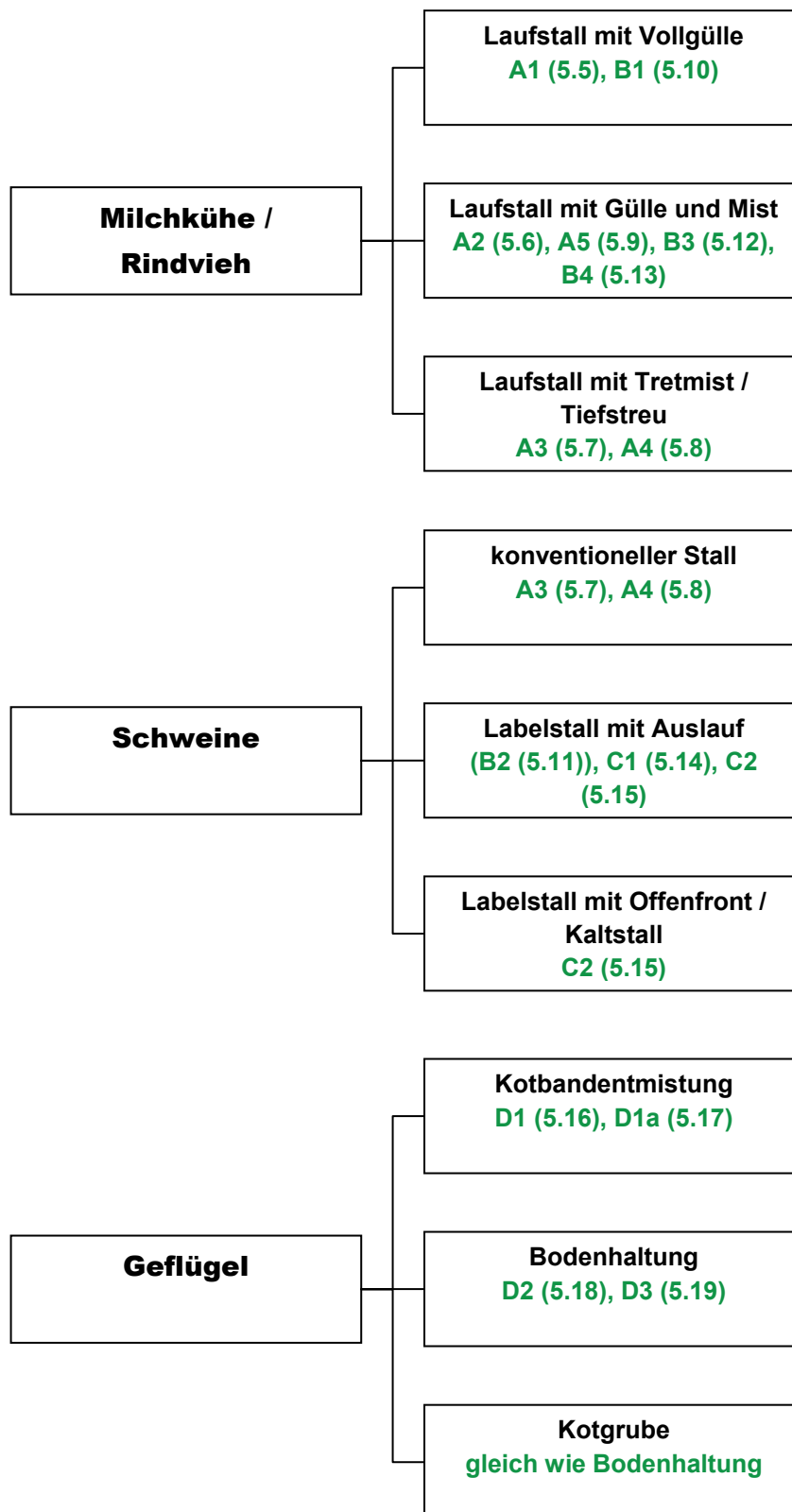





Abbildung 31: Betriebstypenübersicht nach Aufstallung. Die Bezeichnungen neben dem Kategoriennamen sind die Betriebstypen, mit zugehöriger Kapitelnummer in Klammer.

5.4. Erklärung der Resultatdarstellung

Tabelle 2: Betriebsdatentabelle des jeweiligen Referenzbetriebes. Die Bilder links von der Tabelle symbolisieren die Stufen Stall/Laufhof (dunkelgrüner Rahmen), Hofdüngerlager (oranger Rahmen) und Hofdüngerausbringung (hellgrüner Rahmen). **Annahmen für Betriebsdaten sind rot**, sichere Betriebsdaten (aus Datenerhebungen, GIS-Orthofotos etc.) schwarz gedruckt.

| Nummer und Betriebstyp | | |
|---|---|---|
|  | Tierkategorie mit Anzahl der Tiere (in Klammer: Anzahl GVE) E-Massnahmen sind emissionsmindernde Massnahmen, wie wärmegeämmtes Dach, Verneblung, gezahnter Kotschieber auf gerilltem Boden etc. | |
|  | Gülle: Lagerdaten Volumen der einzelnen Güllelager, alle Güllelager wurden modelliert. Tiefe, Rührhäufigkeit, Gülleart (Schweine- oder Rindergülle) | Mist: Lagerdaten Anteil direkt ausgebrachte Menge Anteil gedeckte gelagerte Menge |
|  | Gülle: Ausbringdaten Ausbringmethoden (Prallteller, Schleppschlauch etc.) | Mist: Ausbringdaten Einarbeitung innerhalb bestimmter Zeit Bsp.: "Einarbeitung 1 d" = der Mist wird innerhalb einem Tag eingearbeitet. |

LN: landwirtschaftliche Nutzfläche (ha), wird aber nicht benötigt in den Berechnungen

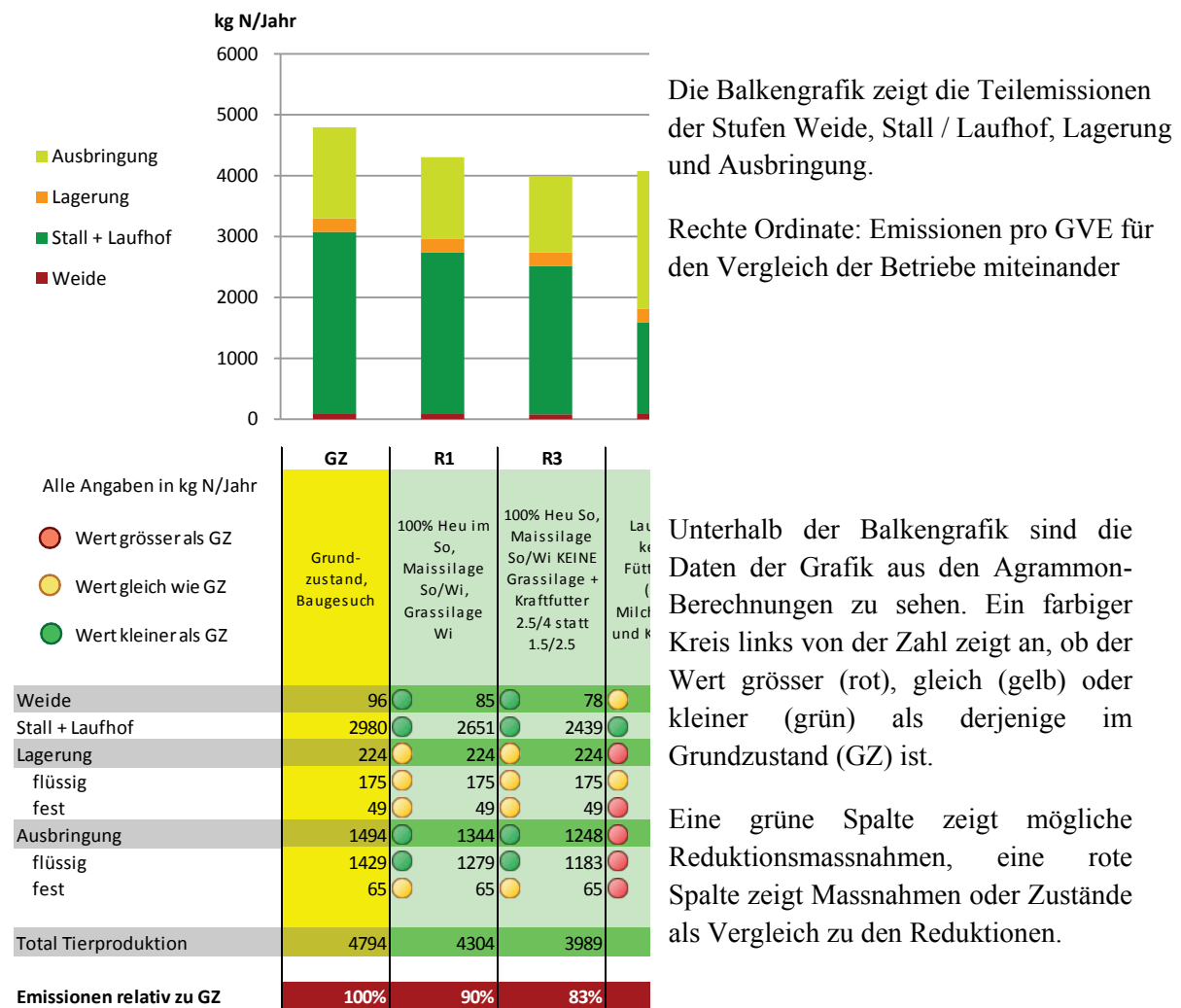


Abbildung 32: Resultate der Berechnungen für den Referenzbetrieb, verwendetes Agrammon-Modell. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.4.1. Erläuterungen




Hier werden jeweils die Erläuterung der einzelnen Berechnungsvariationen gemacht und interessante Feststellungen dokumentiert.

5.4.2. Empfehlungen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen für den beschriebenen Betriebstyp aufgelistet.

5.5. A1 Milchbetrieb

Tabelle 3: die wichtigsten Betriebsdaten des Milchbetriebs A1

| A1 Milchbetrieb | |
|---|---|
|  | 98 Milchkühe (98 GVE) Milch: 6500 kg/a Laufstall mit Vollgülle Keine E-Massnahmen Laufhof: 270 d/a, Fütterung ausschliesslich im Laufhof, planbefestigt Weide: 180 d/a, 8.5 h/d |
| | 39 Kälber (4 GVE) Laufstall mit Tretmist Keine E-Massnahmen Laufhof: 60 d/a, Fütterung ausschliesslich im Laufhof, planbefestigt Keine Weide |
|  | Gülle 90 m ³ 235 m ³ 525 m ³ 1150 m ³ 542 m ³ |
| | 2.5 m tief, feste Abdeckung, 7-12 x Rühren pro Jahr, nur Rindergülle |
|  | Mist 25% direkt ausgebracht |
| | Gülle Prallteller Verdünnung 1:1, 30 m ³ /ha-Gabe, 20% nach 18:00 |
| | Mist Einarbeitung 1 d |

LN: 76.61 ha

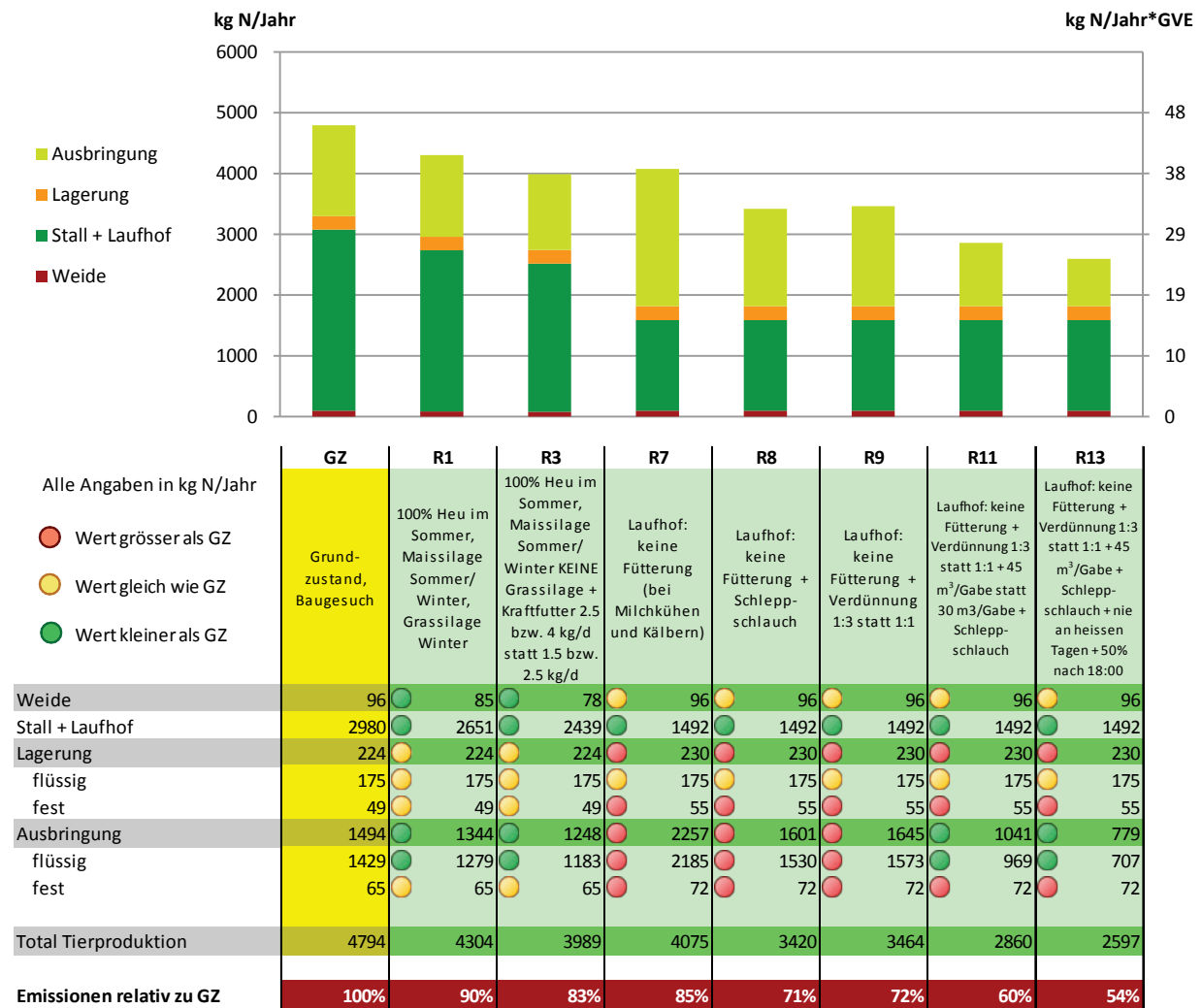


Abbildung 33: Resultate der Berechnungen für den Betrieb A1, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen

5.5.1. Erläuterungen

Bei Betrieben mit Laufställen sind vermutlich oft die Stall- und Laufhof-Emissionen der grösste Anteil an den Gesamtemissionen.

Werden alle Kühe im Laufhof gefüttert, bewirkt das Umstellen auf Fütterung im Stall eine Emissionsreduktion von 15% total und 50% im Stall (R7). Die Ausbringemissionen steigen dadurch natürlich massiv an, weil mehr Stickstoff im Hofdünger zur Verfügung steht.

Hohe Ausbringemissionen können bei Stallssystemen mit Vollgülle durch Schleppschlauch- oder andere emissionsmindernde Verteilsysteme effektiv reduziert werden.

Eine Verdünnung der Gülle kann fast dieselbe Wirkung haben wie ein Schleppschlauchverteiler als Ersatz des Pralltellers. Eine Verdünnung von 1:3 erzeugt jedoch auch doppelt so viel Gülle und somit mehr Transporte.

Mit der Fütterung nicht im Laufhof, Schleppschlauch und einigen einfachen Massnahmen bei der Gülleausbringung (Verdünnung und Ausbringungszeitpunkt) können die Gesamtemissionen um knapp 50% gesenkt werden (R13)

Eine weitere einfache Massnahme ist die regelmässige Reinigung der Laufflächen. Ausserdem können die verschmutzten Flächen klein gehalten werden, in dem organisatorische Massnahmen getroffen werden, z.B. keinen Zutritt zum Laufhof für die Tiere während der Weidezeit.


5.5.2. Empfehlungen

- Fütterung sollte möglichst nicht im Laufhof stattfinden⁴
- Wenn kein Schleppschlauchverteiler eingesetzt werden kann, wäre die Gülleverdünnung eine ähnlich effektive Massnahme, beides kombiniert wäre natürlich noch besser.

⁴ Das gilt nicht, wenn der Laufhof im Stallsystem integriert ist und dadurch die verschmutzten Flächen verkleinert werden können. Der Zugangsweg zu den Liegeboxen könnte beispielsweise nur über den Laufhof möglich sein und nicht auch noch über einen separaten Laufgang.

5.6. A2 Milch- und Rindviehmastbetrieb

Tabelle 4: die wichtigsten Betriebsdaten des Milch- und Rindviehmastbetriebs A2

| A2 Milch- und Rindviehmastbetrieb | | |
|---|--|---|
|  | 80 Milchkühe (80 GVE) 6500 kg Milch /a, Laufstall mit Gülle und Mist Keine E-Massnahmen Kein Laufhof Weide: 180 d/a, 8.5 h/d | 10 Aufzuchtrinder 1. Jahr, je 15 2. und 3. Jahr, 10 Kälber, 15 Mastrinder (25 GVE) Laufstall mit Gülle und Mist Keine E-Massnahmen Kein Laufhof Weide: Aufzuchtrinder: 140 d/a, 12 h/d (1. Jahr), 170 d/a, 17 h/d (2. Jahr), 160 d/a, 15 h/d (3. Jahr) |
| | Gülle 340 m ³ 2.5 m tief, 7-12 x Rühren pro Jahr Feste Abdeckung Nur Rindergülle | Mist 986 m ³ 2.5 m tief, 7-12 x Rühren pro Jahr Feste Abdeckung Nur Rindergülle |
|  | Gülle Prallteller Verdünnung 1:1 | Mist Einarbeitung 1 d |

LN: 69.52 ha



Abbildung 34: Resultate der Berechnungen für den Betrieb A2, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.6.1. Erläuterungen

Diese Modellierung ging davon aus, dass im Grundzustand kein Laufhof vorhanden ist da die Tiere Auslauf auf eine Weide haben. Deshalb sind die Stallemissionen tief. In V6 ist ersichtlich, wie hoch sie sein könnten, wenn ein Laufhof vorhanden wäre, in welchem das Grundfutter verabreicht wird.

Es wird aber auch klar, dass ein Laufhof nicht unbedingt die Stall- und Laufhof-Emissionen in die Höhe schnellen lässt. V7 zeigt, wenn die Fütterung nicht im Laufhof stattfindet, bewirkt sogar ein planbefestigter Laufhof keine viel grösseren Gesamtemissionen.

Weidehaltung wirkt sich positiv auf die Emissionen aus. Wären die Tiere immer im Stall, würden die Emissionen um knapp 20% zunehmen (V4).

Grosse Wirkung zeigen die Massnahmen bei der Ausbringung. Ein Betrieb mit Produktion von Gülle *und* Mist (wie in diesem Fall angenommen wurde), kann bei der Ausbringung von Gülle oder Mist Minderungsmaßnahmen einsetzen, um die Ausbringemissionen zu senken (R2, R3), die Kombination bewirkt dann natürlich noch einiges mehr.

Ausserdem zeigt sich nochmals (vgl. A1, Kapitel 5.5), dass die Fütterung der Milchkühe ebenfalls eine Rolle spielt (R1, R5). Da 80 von total 105 GVE Milchkühe sind, wirkt sich diese Massnahme natürlich umso mehr aus.

Die Abdeckung des Mistlagers bewirkt eine Halbierung der Mistlager-Emissionen, was in diesem Fall die gesamten Lageremissionen fast halbieren könnte, da von der Güllelagerung keine hohen Emissionen vorhanden sind.

5.6.2. Empfehlungen

- Ein Laufhof führt nicht unbedingt zu höheren Emissionen, wenn die Verabreichung von Grundfutter nicht im Laufhof stattfindet.
- Weidehaltung senkt die Emissionen und sollte somit nicht verhindert werden
- Wenn ein Güllelager fest abgedeckt ist, spielt es keine Rolle, wie oft die Gülle gerührt wird, da die Emissionen sowieso schon tief sind und somit nicht mehr stark variieren. Gleiches müsste für Abdeckungen mit ähnlich hohen Wirkungsgraden gelten, z.B. für die Schwimmbolie.

5.7. A3 Rindviehmastbetrieb

Tabelle 5: die wichtigsten Betriebsdaten des Rindviehmastbetriebs A3

| A3 Rindviehmastbetrieb | | | |
|---|---|---|------------------------------------|
| 44 Mastkälber (4 GVE) | 176 Aufzuchtrinder 1. Jahr (44 GVE) | 242 Mastrinder (97 GVE) | |
| Laufstall Tiefstreu oder Tretmist, keine E-Massnahmen, Laufhof planbefestigt | | | |
| Laufhof: 60 d/a, keine Fütterung im Laufhof, Keine Weide | Laufhof: 230 d/a, keine Fütterung, im Laufhof, Weide: 140 d/a, 12 h/d | Laufhof: 140 d/a, Fütterung nur im Laufhof, Keine Weide | |
| Gülle | | Mist | |
| 180 m ³ | 670 m ³ | 580 m ³ | 25 % Rindermist direkt ausgebracht |
| 2.5 m tief, feste Abdeckung, 7-12 x Röhren pro Jahr pro Jahr, nur Rindergülle | | | |
| Gülle | | Mist | |
| Prallteller Selten Ausbringung an heissen Tagen | | Einarbeitung 1 d | |



LN: 58.9 ha



* für Kälber und Aufzuchtrinder, Güllelager 670 m³ unter Stall = kein Volumen für die Berechnung mit Agrammon

Abbildung 35: Resultate der Berechnungen für den Betrieb A3, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen. Die Farben bei R8 - R14 markieren vom Grundzustand abweichende Aufstallungssysteme.

5.7.1. Erläuterungen

Tretmistställe produzieren hauptsächlich Mist, eine Reduktion in der Gülleausbringung ist somit nicht sinnvoll.

Die Gesamtemissionen sind bei allen drei Laufhofotypen (Tretmist / Tiefstreu, Gülle und Mist, Vollgülle) ungefähr gleich hoch.

Die Massnahmen mit dem grössten Reduktionspotential sind "keine Fütterung im Laufhof" und die sofortige Einarbeitung des Mists. Der Unterschied der Reduktion zwischen Einarbeitung innerhalb einem Tag und einer Stunde ist viel grösser als zwischen drei Tagen und einem Tag.

Ein Laufhofboden, der nicht planbefestigt ist, kann die Stall- und Laufhofemissionen merklich senken.

5.7.2. Empfehlungen

- die Fütterung im Laufhof sollte möglichst umgangen werden⁴
- Rindermist sollte möglichst rasch nach dem Ausbringen eingearbeitet werden, einige Stunden warten erhöht die Emissionen bereits massiv.
- Laufställe mit Gülleproduktion vermindern die Lageremissionen, da viele Güllelager gedeckt, die Mistlager jedoch offen sind.

5.8. A4 Rindviehmastbetrieb (mit Biogasanlage)

Tabelle 6: die wichtigsten Betriebsdaten des Rindviehmastbetriebs (mit geplanter Biogasanlage) A4



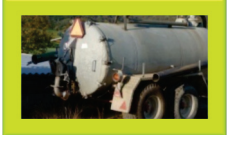
| A4 Rindviehmastbetrieb | | |
|---|--|--|
|  | 255 Aufzucht-rinder 1. Jahr (64 GVE), 45 Mastkälber (5 GVE), 19 Mastrinder (8 GVE) Laufstall mit Tiefstreu / Tretmist, keine E-Massnahmen Laufhof planbefestigt, keine Fütterung im Laufhof, Zutritt: 230 d/a, 60 d/a, 140 d/a (je nach Tierkategorie) Keine Weide | |
|  | Gülle 429 m ³ 2.5 m tief, feste Abdeckung Nur Rindergülle | Mist 16 m ³ 2.5 m tief, feste Abdeckung Nur Rindergülle |
|  | Gülle Prallteller Verdünnung 1:2 | Mist Einarbeitung 1 d |
| LN: 76.06 ha | | |



Abbildung 36: Resultate der Berechnungen für den Betrieb A4, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien. Blau markiert den Zustand mit Biogasanlage, wobei dazu die Lageremissionen von V1 (gelb) und die Ausbringemissionen von V7 (orange) verwendet wurden.

5.8.1. Erläuterungen

Mit den Berechnungen für diesen Betrieb, wurde versucht, den Einfluss einer Biogasanlage auf die Ammoniak-Emissionen darzustellen. Die einzige Annahme, welche dazu gemacht wurde, ist, dass 90% des Mists direkt ausgebracht wurde. Damit soll erreicht werden, dass die Lageremissionen sehr klein werden, weil der Mist in die Biogasanlage geht und somit abgeschlossen gelagert ist. Das Problem war dann aber, dass die Ausbringemissionen aufgrund des erhöhten N-Flusses massiv anstiegen (vgl. V1). Um den Zustand zu umgehen, wurde zusätzlich ein Szenario gerechnet, bei dem *kein* Mist direkt ausgebracht wurde (vgl. V7). Für die Gesamtemissionen mit der Biogasanlage (R4, R6) konnten dann die Ausbringemissionen von V7 (*ohne* direkt ausgebrachten Mist) und die Lageremissionen von V1 (90% direkte Ausbringung) übernommen werden. So können Einsparungen im Lager *und* in der Ausbringung gemacht werden, wie das beim Einsatz einer Biogasanlage sein müsste. (Die Annahmen sind natürlich sehr grob - es wird einfach davon ausgegangen, dass der Stickstoff, welcher in die Biogasanlage fließt, aus dem System heraus geht, also nicht mehr Emissionsquelle des Betriebes ist.)

Wenn angenommen werden kann, dass eine Biogasanlage den Stickstoff im Hofdünger umweltfreundlich umwandelt, ist das eine Reduktionsmassnahme mit hohem Potential (über 30% Reduktion der Gesamtemissionen)

Schieberanlagen reduzieren die *Gesamtemissionen* nicht stark, wenn hohe Lager- und Ausbringemissionen vorhanden sind. Das gleiche gilt für Weideauslauf anstelle eines Laufhofs. Diese Massnahmen wirken erst dann in höherem Umfang, wenn die Lager- und Ausbringemissionen ebenfalls reduziert werden.

Ohne Biogasanlage würde bei einem Tretmiststall eine Abdeckung des Mistlagers Sinn machen, da diese die Mistlager-Emissionen um 50% senken könnte (nicht dargestellt). Bei so einem grossen Anteil der Lageremissionen an den Gesamtemissionen, könnten damit ca. 10% der Emissionen eingespart werden.

Wie bei anderen Berechnungen konnte auch bei diesem Betrieb wieder festgestellt werden, dass die Einarbeitung innerhalb von 1 Tag im Vergleich zur Einarbeitung innerhalb von 3 Tagen nur wenig bringt, die Einarbeitung innerhalb 1 h im Vergleich zur Einarbeitung innerhalb von 1 Tag, jedoch sehr viel (vgl. Abbildung 25, S.24).

Gärgülle hat ungefähr die gleiche Emissionsrate wie Rindergülle. Somit müssten bei deren Ausbringung wiederum die gleich hohen Emissionen entstehen.

5.8.2. Empfehlungen

- Für Biogasanlagen liegen uns keine Daten vor, deshalb muss noch abgeklärt werden, wie viel Ammoniak eine Biogasanlage produziert. Mit den obigen Annahmen wäre es jedoch eine sehr gute Reduktionsmöglichkeit.
- Mist innerhalb weniger Stunden einarbeiten (Vgl. Abbildung 25, S. 24)
- Bei diesen grossen Mengen von Mist, welche bei einem Tretmist- / Tiefstreustall anfallen, entstehen hohe Lageremissionen. Eine möglichst direkte Ausbringung des Mists bewirkt - in Kombination mit der sofortigen Einarbeitung - ebenfalls eine merkliche Reduktion.
- Die Abdeckung des Mistlagers würde bei so grossem Mistanfall merkliche Reduktionen der Gesamtemissionen bewirken.

5.9. A5 Mutterkuhbetrieb

Tabelle 7: die wichtigsten Betriebsdaten des Mutterkuhbetriebs A5

| A5 Mutterkuhbetrieb | |
|--|--|
| 24 Mutterkühe + 1 Stier (20 GVE), 10 Mutterkuhkälber, 10 Aufzuchtrinder 1. Jahr (5 GVE) | |
| Laufstall mit Gülle und Mist Keine E-Massnahmen Laufhof: perforiert, Fütterung ausschliesslich im Laufhof (Futtertenn vorhanden), 210 d/a (230 d/a für Aufzuchtrinder) Weide: 170 d/a, 16 h/d, (140 d/a, 12 h/d für Aufzuchtrinder) | |
|  | Gülle 370 m ³ Perforierte Abdeckung Nur Rindergülle |
|  | Mist 25% direkt ausgebracht |
|  | Gülle Prallteller |
| | Mist Einarbeitung 3 d |

LN: 0 ha (keine Angaben)



Abbildung 37: Resultate der Berechnungen für den Betrieb A5, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien. Die Farben bei R6 und R9 markieren vom Grundzustand abweichende Aufstallungssysteme.

5.9.1. Erläuterungen

Die Verabreichung von Grundfutter *ausschliesslich* im Laufhof wird nur bei Mehrraumlaufställen mit integriertem Laufhof - wie in diesem Fall - gemacht. Da sich der Futtertenn (Gebäude, in dem das Futtermittel maschinell abgeladen und verteilt werden kann) gegenüber dem Liegebereich, auf der anderen Seite des Laufhofs befindet, *muss* in diesem Fall die Fütterung ausschliesslich im Laufhof stattfinden.

Der perforierte Laufhofboden ist die beste Lösung bezüglich der Emissionen im Laufhof (Auslauf auf Weide wäre noch besser (SHL, 2010d, S. 11)). Ein planbefestigter Boden hat, auch wenn er mit Schieber, Harnabfluss etc. ausgerüstet wäre (Modell Agrammon mit kantonalen Anpassungen), immer noch die höheren Emissionen wie ein perforierter.

Ein perforierter Boden im Laufhof ist die beste Emissionsminderungsmöglichkeit im Laufhof, setzt aber voraus, dass das Güllelager direkt unter dem Laufhof ist. Somit ist die Abdeckung des Güllelagers ebenfalls perforiert und ausserdem wird sich keine ausgeprägte Schwimmschicht bilden, da die Ausscheidungen andauernd hineinfallen. Die perforierte Abdeckung des Lagers bewirkt aber erheblich mehr Emissionen als ein gedecktes Güllelager. Bezüglich der Gesamtemissionen ist diese Lösung jedoch besser als ein planbefestigter Laufhof (in dem das Grundfutter ebenfalls ausschliesslich verabreicht wird) kombiniert mit einer festen Abdeckung des Güllelagers (vgl. GZ mit V6).

Die Ausbringung mit Schleppschlauch oder die möglichst sofortige Einarbeitung des Mists bringen vor allem etwas, wenn die Aufstallung ausschliesslich Gülle *oder* Mist produziert. Bei einer Aufstallung wie in diesem Fall mit Gülle *und* Mist, bringen beide Massnahmen einzeln nur wenige Prozente Reduktion (vgl. GZ mit R6 und R9).

Alle drei Laufstalltypen haben sehr ähnlich hohe Gesamtemissionen. Der Laufstall mit Tiefstreu oder Tretmist bewirkt ca. 15% mehr Lageremissionen, diese könnten mit der Abdeckung des Mistlagers eingedämmt werden, allerdings nicht weiter als die Lageremissionen des Grundzustands. Das lässt darauf schliessen, dass der Hauptteil der Lageremissionen bei allen Stalltypen vom Güllelager unter dem Laufhof kommt.

Ein Massnahmen-Paket wie Fütterungsbuchten + gerillter Boden und gezahnter Kotschieber + Wärmedämmung des Daches und Verneblung + gut gesteuerte Lüftung bringen total eine Reduktion der Gesamtemissionen von ca. 6% (Modell Agrammon mit kantonalen Anpassungen).




Keine Fütterung im Laufhof würde die Emissionen nur wenig senken, im Vergleich zu anderen Betrieben (z.B. A1, Kapitel 5.5). Ausserdem ist die ausschliessliche Fütterung im Laufhof Teil des Konzepts eines Mehrraumlaufstalls. Mit der Fütterung ausschliesslich im Laufhof rechnet Agrammon mit einem Anfall von 60% der Ausscheidungen im Laufhof und einer Reduktion der Stallemissionen von 30%. Die Aufenthaltsdauer im Laufhof beträgt über 10 h/d (SHL, 2010b, S. 6).

5.9.2. Empfehlungen

- Soll ein Mehrraumlaufstall mit integriertem Laufhof gebaut werden, in welchem auch die Fütterung stattfindet, ist ein Güllelager unter dem Laufhof und somit ein perforierter Laufhofboden am ehesten geeignet.
- Integrierte Laufhöfe sollten mehrmals täglich gereinigt werden (z.B. mit automatischer Schieberanlage)
- um die Ausbringemissionen spürbar senken zu können, ist ein Laufstall mit Vollgülle oder mit Tiefstreu / Tretmist besser geeignet als ein Laufstall mit Gülle und Mist
- dieser Betriebstyp hat ein kleines Reduktionspotential

5.10. B1 Milch-, Rindviehmast- und Schweinemastbetrieb

Tabelle 8: die wichtigsten Betriebsdaten des Milch-, Rindviehmast- und Schweinemastbetriebs B1

| B1 Milch-, Rindviehmast- +Schweinemastbetrieb | | | | | |
|---|---|--|--|--|---|
|  | 36 Milchkühe (36 GVE) Laufstall mit Vollgülle Weide 180 d/a, 8.5 h/d Keine E-Massnahmen | | 36 Aufzuchtrinder 1. Jahr, 130 Mastrinder (61 GVE) Laufstall mit Gülle + Mist, keine Weide | | 300 Mastschweine (51 GVE) Labelstall mit Auslauf Durchmast Keine E-Massnahmen |
| | Laufhof planbefestigt, keine Fütterung im Laufhof, 270 d/a (Milchkühe), 230 d/a (Aufzuchttiere), 140 d/a (Mastrinder) | | | | |
|  | Gülle 195 m ³ Nur Rindergülle | | 291 m ³ Nur Rindergülle | | 535 m ³ Nur Schweinegülle |
| | 2.5 m tief, feste Abdeckung | | | | |
|  | Gülle Schleppschlauch! | | Mist Einarbeitung 1 d | | |
| | | | | | |

LN: 67.64 ha



* E= Auslauf-Emissionsminderung + Chemiewäscher + mit Güllekanal / geneigten Seitenwänden / Metallspaltenboden + Verneblung + impulsarme Zuluftführung; F= Fütterungsbuchten + geneigter planbefestigter Boden, mittige Harnabflussrinne und Schieber alle 2 h + Verneblung + gut gesteuerte Lüftung

Abbildung 38: Resultate der Berechnungen für den Betrieb B1, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.10.1. Erläuterungen

Für einen Betrieb wie diesen, der sehr viel Gülle produziert, lohnt sich ein Schleppschlauchverteiler auf jeden Fall (vgl. mit V1: Gülleausbringung mit Prallteller).

Mit der Abdeckung des ungedeckten Güllelagers können die Gesamtemissionen nicht stark gesenkt werden. Gleiches gilt für die sofortige Einarbeitung oder die gedeckte Lagerung von Mist. Alle Massnahmen kombiniert ergeben jedoch eine beachtliche Reduktion von 12%. Es kann also auch mit relativ einfachen Massnahmen eine erhebliche Reduktion der Gesamtemissionen erbracht werden.

Obwohl der Hauptteil aller GVE Rindvieh ist, bringt eine Reduktion im Mastschweinestall einiges (vgl. R11).

Sehr aufwändige Massnahmen im Stall führen schlussendlich wieder zu erhöhten Ausbringemissionen, welche in diesem Fall höchstens mit einem noch effektiveren Gülleverteilsystem (z.B. Schleppschuh, Gülledrill oder tiefe Injektion) gemindert werden könnten.

Wird der Milchkuhbestand erhöht, so dass 30% mehr GVE auf dem Betrieb vorhanden sind, erhöhen sich lediglich die Stall- und Ausbringemissionen. Wenn keine neuen Lager gebaut werden, gibt es keine erhöhten Lageremissionen. Ausserdem steigen die Emissionen nicht proportional zur Erhöhung der GVE (V2).




Würde der Hoftierbestand um die 300 Mastschweine verringert, das entspricht einer Reduktion von ca. 34% der GVE, verringern sich die Emissionen ebenfalls um diese Grössenordnung.

5.10.2. Empfehlungen

- einfache Massnahmen, wie Lager abdecken und rasche Einarbeitung sind wirkungsvoll
- Schleppschlauch- oder ähnliche bodennahe Gülleausbringung sollte auf Betrieben mit grosser Güllemenge angewendet werden.

5.11. B2 Rindvieh- und Schweinemastbetrieb

Tabelle 9: die wichtigsten Betriebsdaten des Rindvieh- und Schweinemastbetriebs B2

| B2 Rindvieh- und Schweinemastbetrieb | | | | |
|---|---|--|--|--|
|  | 100 Mastrinder (40 GVE) Tretmist Keine E-mindernde Massnahmen Laufhof: 140 d/a, keine Fütterung, planbefestigt, keine Weide | | 500 Mastschweine (85 GVE) Labelstall Keine E-mindernde Massnahmen Durchmast, 155 g RP/kg, 13.5 MJ VES/kg | |
|  | Gülle 540 m ³ 1200 m ³ 2.5 m 6 m Feste Abdeckung nur Schweinegülle | | Mist 80 m ³ 2.5 m Feste Abdeckung Nur Rindergülle | |
|  | Gülle Prallteller Verdünnung 1:2 | | Mist Einarbeitung 1 d | |

LN : 67.17 ha



* E1= Fütterungsbuchten, geneigter, planbefestigter Boden mit mittiger Harnabflussrinne und stationärem Schieber im Laufstall (Reinigung alle 2 h), Wärmedämmung des Daches + gut gesteuerte Lüftung,

E2 = Auslauf mit Teilspaltenboden oder planbefestigter Boden mit stationärem Schieber (Reinigung alle 2 Stunden) in Kombination mit Windschutz, Beschattung und einer Schweinedusche im Kotbereich, mit Güllekanal geeigneten Seitenwänden, Metallspaltenboden, Wärmedämmung des Daches, Impulsarme Zuluftführung, KEINE Abluftreinigung

Abbildung 39: Resultate der Berechnungen für den Betrieb B2, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.11.1. Erläuterungen

Die wirkungsvollen Reduktionsmassnahmen bei diesem Mischbetrieb liegen vor allem beim Schweinestall und dessen Lager- und Ausbringemissionen.

Ein ungedecktes Lager sollte auf jeden Fall vermieden werden (V1).

Die vielen Massnahmen im Rindviehstall nützen nicht sehr viel, da die Emissionen von Anfang an nicht sehr hoch sind im Vergleich zu den Stallemissionen des Schweinestalls.

Ein Biowäscher reduziert die Stallemissionen beträchtlich, ein Chemiewäscher hat ein noch höheres Reduktionspotential. Ausserdem entfernt der Chemiewäscher den Stickstoff aus dem System, wogegen der Biowäscher eine Erhöhung der Ausbringemissionen zur Folge hat (Waschwasser kann zur Gülle gegeben werden), was jedoch wiederum mit geeigneten Massnahmen gemindert werden könnte. Beim Chemiewäscher hingegen muss Säure eingesetzt und das Waschwasser entsorgt werden.




Die sofortige Einarbeitung des Mists bringt in diesem Fall mehr als der Einsatz eines Schleppschlauchverteilers, da Gülle und Mist in beachtlichen Mengen produziert wird und das Reduktionspotential bei der sofortigen Einarbeitung sehr viel grösser ist als beim Schleppschlauchverteiler (-90% der Ausbringemissionen bei der sofortigen Einarbeitung im Vergleich zu -30% der Ausbringemissionen beim Schleppschlauchverteiler, (SHL, 2010b, S. 14)) Beide Massnahmen sind jedoch sinnvoll und empfehlenswert.

5.11.2. Empfehlungen

- Das grösste Reduktionspotential haben die Stall- und Laufhofemissionen: Stallemissionen primär im Schweinestall senken, nicht im Rindviehstall
- Wäscher haben ein grosses Reduktionspotential für diesen Betrieb
- Mist möglichst sofort einarbeiten und Schleppschlauchverteiler benützen bringt vor allem etwas, wenn die Stallemissionen reduziert werden
- Auf keinen Fall ein ungedecktes Schweinegüllelager verwenden

5.12. B3 Milch- Rindvieh- und Schweinemastbetrieb

Tabelle 10: die wichtigsten Betriebsdaten des Milch-, Rindvieh- und Schweinemastbetriebs B3

| B3 Milch-, Rindvieh- + Schweinemastbetrieb | | |
|---|---|--|
|  | 70 Milchkühe (70 GVE) Laufstall mit Gülle + Mist Laufhof planbefestigt, keine Fütterung im Laufhof Weide 180 d/a, 8.5 h/d Keine E-Massnahmen | 10 Aufzuchttrinder 2.Jahr, 4 Aufzuchttrinder > 2.Jahr, 16 Kälber (8 GVE) Laufstall mit Gülle + Mist Zutrittszeiten gemäss Agrammon |
| | | 68 Mastschweine, 12 Galtsauen, 5 säugende Sauen (17 GVE) Labelstall mit Auslauf Durchmast / Daten Agrammon Keine E-Massnahmen |
|  | Gülle 571 m ³ 2.5 m tief, 7-12 x Rühren pro Jahr Schweine- + Rindergülle | Mist 757 m ³ 2.5 m tief, 7-12 x Rühren pro Jahr Nur Rindergülle |
|  | Gülle Prallteller | Mist Einarbeitung 1 d |

LN: 37.15 ha



Abbildung 40: Resultate der Berechnungen für den Betrieb B3, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.12.1. Erläuterungen

Da der Anteil der Schweine an der totalen GVE-Summe klein ist, wurden die Emissionen des Schweinestalls nicht untersucht.

Wie üblich für einen Betrieb, der Gülle und Mist in grösseren Mengen produziert, bringen der Schleppschlauch-Verteiler und eine Misteinarbeitung innerhalb von 1 h ungefähr gleich viel. Beide Massnahmen reduzieren die Gesamtemissionen um ca. 10% (R4, R5).

Sehr gross ist der Unterschied zwischen der Differenz bei einer Einarbeitung innerhalb 3 Tagen zu innerhalb 1 Tag (V1 - GZ) und innerhalb 1 Tag zu innerhalb 1 Stunde (GZ - R5): es spielt fast keine Rolle, ob der Mist innerhalb von 3 Tagen, oder innerhalb 1 Tag eingearbeitet wird, aber es macht sehr viel aus, wenn er sofort eingearbeitet wird.

Eine weitere bemerkenswerte Reduktionsmassnahme ist die Fütterung der Milchkühe mit Heu und Maissilage im Sommer und Maissilage im Winter. Das ist deshalb von Bedeutung, weil durch die veränderte Fütterung weniger Stickstoff ins System hineinfliesst, was Auswirkungen auf die Ausscheidungen hat, wobei das eine Reduktion in *allen* nachfolgenden Stufen zur Folge hat. Deshalb sollte die Fütterung ebenso beachtet werden wie eine Ausbringreduktionsmassnahme.

Ausserdem bringt eine weitere "einfache" Massnahme merkliche Reduktionen: die Verdünnung der Gülle von 1:3 statt 1:1. Das ergibt natürlich eine doppelt so grosse Güllemenge zum Ausbringen, kann die Emissionen aber im selben Ausmass senken, wie der Schleppschlauchverteiler (vgl. R12 mit R4).




Mit einer Kombination aus oben genannten Massnahmen können die Gesamtemissionen des Grundzustands um über 30% gesenkt werden.

5.12.2. Empfehlungen

- Fütterungsmassnahmen müssen auf einem Betrieb mit hauptsächlich Rindvieh auch beachtet werden.
- Der Unterschied zwischen einer Einarbeitung des Mists innerhalb von 3 oder innerhalb von 1 Tag ist sehr gering. Ein grosser Unterschied macht es jedoch, wenn innerhalb von wenigen Stunden bzw. möglichst sofort eingearbeitet wird.

5.13. B4 Rindviehmast- und Schweinebetrieb

Tabelle 11: die wichtigsten Betriebsdaten des Rindviehmast- und Schweinebetriebs B4

| B4 Rindviehmast- + Schweinebetrieb | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | 100 Mastrinder (40 GVE) Laufstall mit Gülle und Mist Laufhof planbefestigt mit Schieber und Harnabflussrinne, Fütterung ausschliesslich im Laufhof, 140 d/a Keine Weide | | 40 säugende Sauen, 30 Mastschweine (27 GVE) Konventioneller Stall (ohne Auslauf) Durchmast bei Mastschweinen Keine E-Massnahmen | |
| | Gülle 120 m ³ 2.5 m tief Rindergülle | | 63 m ³ 2.5 m tief Schweinegülle | 468 m ³ 4.13 m tief leer |
|  | Gülle Prallteller | | Mist Einarbeitung 1 d | |
|  | LN: 34.11 ha | | | |



* **Rindvieh**: geneigter planbefestigter Boden, mittige Harnabflussrinne und stationärer Schieber (alle 2 h) + Verneblung + gut gesteuerte Lüftung, **Schweine**: mit Güllekanal / geneigten Seitenwänden / Metallspaltenboden + Verneblung + impulsarme Lüftung

Abbildung 41: Resultate der Berechnungen für den Betrieb B4, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.13.1. Erläuterungen

Obwohl Mist entsteht, sind die Lageremissionen dieses Betriebes nicht von Bedeutung. Mit einer Abdeckung des Mistlagers können die Emissionen nur um wenige Prozente gesenkt werden.

Die direkte Ausbringung von Mist würde die Gesamtemissionen nur merklich reduzieren, wenn die Lageremissionen einen grösseren Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen würden, in diesem Beispiel spielt es keine grosse Rolle.

70% der Emissionen stammen von den Mastrindern, 30% von den Schweinen. Trotzdem kann mit einem Chemiewäscher im Schweinestall eine beachtliche Reduktion der Gesamtemissionen erzielt werden.

Die Fütterung der Mastrinder im Laufhof hat in diesem Beispiel eine nicht so grosse Auswirkung auf die Gesamtemissionen (R1). Ausserdem reduziert der Schieber und die Harnabflussrinne im Laufhof die Gesamtemissionen nicht stark, weil die Tiere nur 140 Tage pro Jahr im Laufhof sind (was bei einer Verabreichung des Grundfutters ausschliesslich im Laufhof wahrscheinlich keine realistische Zahl ist).

In der Ausbringung haben die Minderungsmassnahmen bei der Gülle mehr Auswirkungen als beim Mist.

Gesamtbetrieblich betrachtet ist ein nennenswertes Reduktionspotential vorhanden (R5 - R9). Es ist jedoch zu beachten, dass die emissionsmindernden Massnahmen im Stall (vgl. Fussnote unter Abbildung 41) in Kombination mit Chemiewäscher und keine Fütterung im Laufhof nicht mehr sehr viel zusätzliche Reduktion bringt. Werden diese Massnahmen aber nur in Kombination mit dem Schleppschlauchverteiler ergriffen, kann ebenfalls eine Reduktion auf ca. 68% der Gesamtemissionen erzielt werden.




Das ungedeckte Güllelager darf nicht ungedeckt verwendet werden. Wenn es gebraucht wird, soll eine feste Abdeckung oder eine Schwimmfolie eingesetzt werden. Ungedeckt erhöhen sich die Gesamtemissionen um 7 %.

5.13.2. Empfehlungen

- Schleppschlauch oder andere emissionsmindernde Verteilsysteme haben in diesem Mischbetrieb hohes Reduktionspotential
- Ein Wäscher im Schweinestall bringt - trotz geringerem Anteil der Schweineemissionen - bemerkenswerte Reduktionen.
- mit der Kombination von Massnahmen im Stall und in der Gülleausbringung können grosse Emissionsreduktionen erzielt werden.
- keine ungedeckten Güllelager verwenden

5.14. C1 Schweinebetrieb

Tabelle 12: die wichtigsten Betriebsdaten des Schweinebetriebs C1

| C1 Schweinebetrieb | | |
|---|--|--|
|  | 32 säugende Sauen, 78 Galtsauen, 320 abgesetzte Ferkel, 2 Eber (57 GVE) Labelstall, mit Mehrflächenbucht und Auslauf Keine E-Massnahmen | 330 Mastschweine (56 GVE) Durchmast, NPR-Futter Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf Keine E-Massnahmen |
|  | Gülle 1080 m ³ ungedeckt, 4.4 m tief nur Schweinegülle | Mist 120 m ³ gedeckt, 2.5 m tief nur Schweinegülle |
|  | Gülle Prallteller | Mist Einarbeitung 1 d |
| LN: 40.54 ha | | |



* E= Auslauf-Emissionsminderung + Chemiewäscher + mit Güllekanal / geneigten Seitenwänden / Metallspaltenboden + Verneblung + impulsarme Zuluftführung

Abbildung 42: Resultate der Berechnungen für den Schweinebetrieb C1, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agramon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen

5.14.1. Erläuterungen

Labelställe produzieren gemäss Agrammon keinen Mist, sondern nur Gülle. Massnahmen beim Mistlager oder der Mistausbringung bringen somit nichts.

Ein offenes Güllelager mit Schweinegülle emittiert ziemlich stark, so dass Abdecken sicherlich sinnvoll ist. Eine Schwimmfolie als Abdeckung reduziert die Lageremissionen um 80% (SHL, 2010c), wirkt somit fast gleich effizient wie eine feste Abdeckung und müsste optisch unauffällig sein. Laut Massnahmenplan des Kantons Schaffhausen müssen offene Schweinegüllelager abgedeckt werden. (IKL, 2010)

Die grössten Emissionen stammen aus Stall und Laufhof. Mit vielen Massnahmen können diese um einen sehr grossen Teil reduziert werden (R10). Das erfordert aber bauliche Änderungen und ist somit vor allem für Neubauten denkbar. Ein Chemiewäscher alleine reduziert die Stallemissionen auch schon um knapp 50%⁵. Kombiniert mit der Abdeckung des Güllelagers und einer Ausbringung mittels Schleppschlauch können die Gesamtemissionen um über die Hälfte gesenkt werden.

Der Einsatz von Schleppschlauch-Verteilern lohnt sich bei Labelställen vor allem dann, wenn im Stall und im Laufhof Reduktionsmassnahmen vorgenommen werden und somit mehr Stickstoff in den Hofdünger geht.

Die Ausbringung der Gülle mittels tiefer Injektion reduziert die Ausbringemissionen um 80% statt 30% wie beim Schleppschlauch. (SHL, 2010c) Für einen Betrieb, der fast ausschliesslich Ackerland und kein Grasland besitzt, wäre diese Art von Gülleausbringung vorteilhaft, wenn die Bodenbeschaffenheit geeignet ist.

Das Minderungspotential eines Schweinestalls ist sehr gross (vgl. R12), es gibt viele Massnahmen, die (vor allem) bei Neubauten umgesetzt werden können.



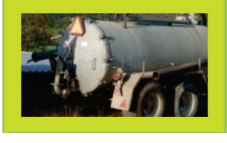
5.14.2. Empfehlungen

- Ungedeckte Schweinegüllelager müssen abgedeckt werden (Vgl. Massnahme C1 im Massnahmenplan (IKL, 2010)), am besten feste Abdeckung, Schwimmfolie, oder eine Blähtonkugel-Schwimmschicht verwenden
- Bei Labelställen müssen vor allem die Stall- und Laufhofemissionen gesenkt werden.
- Schleppschlauch lohnt sich am meisten in Kombination mit Reduktionsmassnahmen in Stall und Laufhof
- Kaltställe oder Labelställe mit Offenfront bringen ebenfalls eine merkliche Reduktion- (für ausführlichere Resultate mit Kaltställen vgl. Kapitel 5.15.1).
- Ein Chemiewäscher alleine bringt schon sehr grosse Reduktionen, es muss jedoch beachtet werden, dass bei Labelställen nur ca. 50% der Stallemissionen geführt abgeleitet werden können, da die andere Hälfte der Stallemissionen im Laufhof anfällt, die Effektivität des Wäschers ist somit nicht so gross wie in einem Stall ohne Auslauf.
- Ein Chemiewäscher macht nur Sinn bei geführten Emissionen aus zwangsbelüfteten Ställen

⁵ Korrekturfaktor Chemiewäscher: -90%, da jedoch bei einem Labelstall ca. die Hälfte der Emissionen im Auslauf anfallen, können diese nicht über die Abluftreinigung reduziert werden. (SHL, 2010d, S. 12)

5.15. C2 Schweinebetrieb

Tabelle 13: die wichtigsten Betriebsdaten des Schweinebetriebs C2

| C2 Schweinebetrieb | |
|---|---|
|  | 34 säugende Sauen, 104 Galtsauen, 500 Ferkel, abgesetzt (75 GVE) Labelstall, mit Mehrflächenbucht und Auslauf Keine E-Massnahmen |
| | 26 Mastschweine (4 GVE) Durchmast, NPR-Futter Labelstall, mit Mehrflächenbucht und Auslauf Keine E-Massnahmen |
|  | Gülle 560 m ³ gedeckt, 2,5 m tief nur Schweinegülle |
| | Mist 0% direkt ausgebracht 0% gedeckt gelagert |
|  | Gülle Prallteller |
| | Mist Einarbeitung 1 d |

LN: 40 ha



* E= Auslauf-Emissionsminderung + Chemiewäscher + mit Güllekanal / geneigten Seitenwänden / Metallspaltenboden + Verneblung + impulsarme Zuluftführung

Abbildung 43: Resultate der Berechnungen für den Betrieb C2, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen. Gelb markierte Reduktionsmassnahmen sind Szenarien mit Kaltstall statt normalem Labelstall.

5.15.1. Erläuterungen

Ein Kaltstall, oder ein Labelstall mit Auslauf als Offenfront hat im Vergleich zum normalen Labelstall 13% weniger NH₃-Emissionen (R1). Die emissionsmindernden Massnahmen reduzieren die Stallemissionen zusätzlich um etwa den gleichen Anteil wie beim normalen Labelstall. Ein Offen- oder Kaltstall ist also zu bevorzugen.

Beim Kaltstall bewirken einige Reduktionsmassnahmen, dass die Ausbringemissionen ungefähr gleich gross werden wie die Stall- und Laufhof-Emissionen. Dann wird eine Reduktionsmassnahme bei der Gülleausbringung sehr wirkungsvoll im Bezug auf die Gesamtemissionen (Vgl. R3, R5).

Weiter gelten die gleichen Schlussfolgerungen wie für den Betrieb C1 (vgl. 5.14). Die Anteile an den Gesamtemissionen der verschiedenen Emissionsstufen sind bei beiden Betrieben ungefähr gleich gross. Einzig die Lageremissionen sind bei diesem Betrieb kleiner, weil das gesamte Güllelager als fest abgedeckt angenommen wurde. Die anderen Parameter des Grundzustands waren jedoch übereinstimmend mit Betrieb C1 und so kann daraus geschlossen werden, dass die verschiedenen Kategorien bei den Schweinen keinen grossen Einfluss auf die Verteilung der Emissionen hat. Für einen Ferkelbetrieb gelten die gleichen Erkenntnisse wie für einen Mastschweinebetrieb.

5.15.2. Empfehlungen

- ein Kaltstall oder ein Labelstall mit Auslauf als Offenfront ist zu bevorzugen
- beim Einsatz von emissionsmindernden Massnahmen im Stall sollten auch die Ausbringemissionen reduziert werden

5.16. D1 Geflügelbetrieb

Tabelle 14: die wichtigsten Betriebsdaten des Geflügelbetriebs D1




| D1 Geflügelbetrieb | | |
|---|--|---|
|  | 18'000 Legehennen (180 GVE) Weidezugang Kotbandentmischung <i>ohne Kotbandtrocknung</i> , Entmistung 3-4 mal pro Monat Tränkenippel Keine Abluftreinigung | |
|  | Gülle Kein Lager Spielt keine Rolle, weil bei Geflügel keine Gülle anfällt | Mist 12% direkt ausgebracht 100% abgedeckt |
|  | Gülle Prallteller Spielt keine Rolle, weil bei Geflügel keine Gülle anfällt | Mist Einarbeitung 1 d |
| LN: 26.42 ha | | |



Abbildung 44: Resultate der Berechnungen für den Betrieb D1, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.16.1. Erläuterungen

Die effektivste Massnahme bei Geflügel überhaupt ist die Kotbandentmistung. Bodenhaltung oder Kotgrube bewirken doppelt so hohe Stallemissionen wie die Kotbandentmistung. Die Kotbandentmistung kann jedoch nicht bei jeder Geflügelkategorie eingesetzt werden. Bei Legehennen sollte sie aber auf jeden Fall zur Anwendung kommen. Das Entmistungsintervall spielt eine sehr grosse Rolle. Je häufiger entmistet wird, umso kleiner werden die Stallemissionen, wobei die Differenzen sehr gross sind (Vgl. V2 mit GZ)

Die Kotbandtrocknung hat eine zusätzliche Reduktion der Stallemissionen von 60% zur Folge, was in diesem Fall die Gesamtemissionen um ca. 30% sinken lässt, ohne dass eine andere Massnahme ergriffen werden muss.

Die Freilaufhaltung erhöht die Gesamtemissionen, weil im Stall keine Reduktion stattfindet (verschmutzte Fläche ist im Stall immer noch gleich gross, (SHL, 2010c)) Die Weideemissionen sind aber nicht übermässig hoch.

Ein Wäscher (Bio oder Chemie) reduziert die Stall- und Laufhof-Emissionen beträchtlich. Der Chemiewäscher erhöht ausserdem die Lager- und Ausbringemissionen nicht, weil der Stickstoff im Wäscher aus dem System austritt und somit für nachfolgende Schritte nicht mehr verfügbar ist. Das ist natürlich auch ein Nachteil, weil dann weniger Stickstoff für die Düngung zur Verfügung steht.

Die Lageremissionen sind schwierig zu senken. Es ist auf jeden Fall der gesamte Geflügelkot bzw. -mist abzudecken. Die Emissionen zusätzlich senken kann man, in dem die Menge des direkt ausgebrachten Mists oder Kots erhöht wird.⁶ Die Gesamtemissionen können dadurch aber nicht sehr stark reduziert werden (Vgl. R5).

Die Einarbeitung ist der wichtigste Faktor bei der Ausbringung. Es gilt: je schneller desto besser, und zwar nichtlinear - in den ersten Stunden nach der Ausbringung kann am meisten bewirkt werden (Abbildung 25, S.24).

Auch Geflügelställe haben ein hohes Reduktionspotential, wenn Wäscher und rasche Einarbeitung umgesetzt wird (Vgl. R8).




5.16.2. Empfehlungen

- Wenn immer möglich Kotbandentmistung mit Kotbandtrocknung einsetzen
- häufige Kotbandentmistung
- Wäscher haben sehr hohes Reduktionspotential
- Kot- oder Mistlager unbedingt abdecken
- ausgebrachten Kot oder Mist sofort einarbeiten

⁶ Unter der Bedingung, dass der ausgebrachte Geflügelmist schnell eingearbeitet wird

5.17. D1a Geflügelbetrieb mit Mastpoulets statt Legehennen

Tabelle 15: die wichtigsten Betriebsdaten des Geflügelbetriebs D1a

| D1a Geflügelbetrieb | | |
|---|--|---|
|  | 18'000 Mastpoulets (72 GVE) Weidezugang Bodenhaltung Tränkenippel, keine Abluftreinigung | |
|  | Gülle Kein Lager Spielt keine Rolle, weil bei Geflügel keine Gülle anfällt | Mist 12% direkt ausgebracht 100% abgedeckt |
|  | Gülle Prallteller Spielt keine Rolle, weil bei Geflügel keine Gülle anfällt | Mist Einarbeitung 1 d |
| LN: 26.42 ha | | |

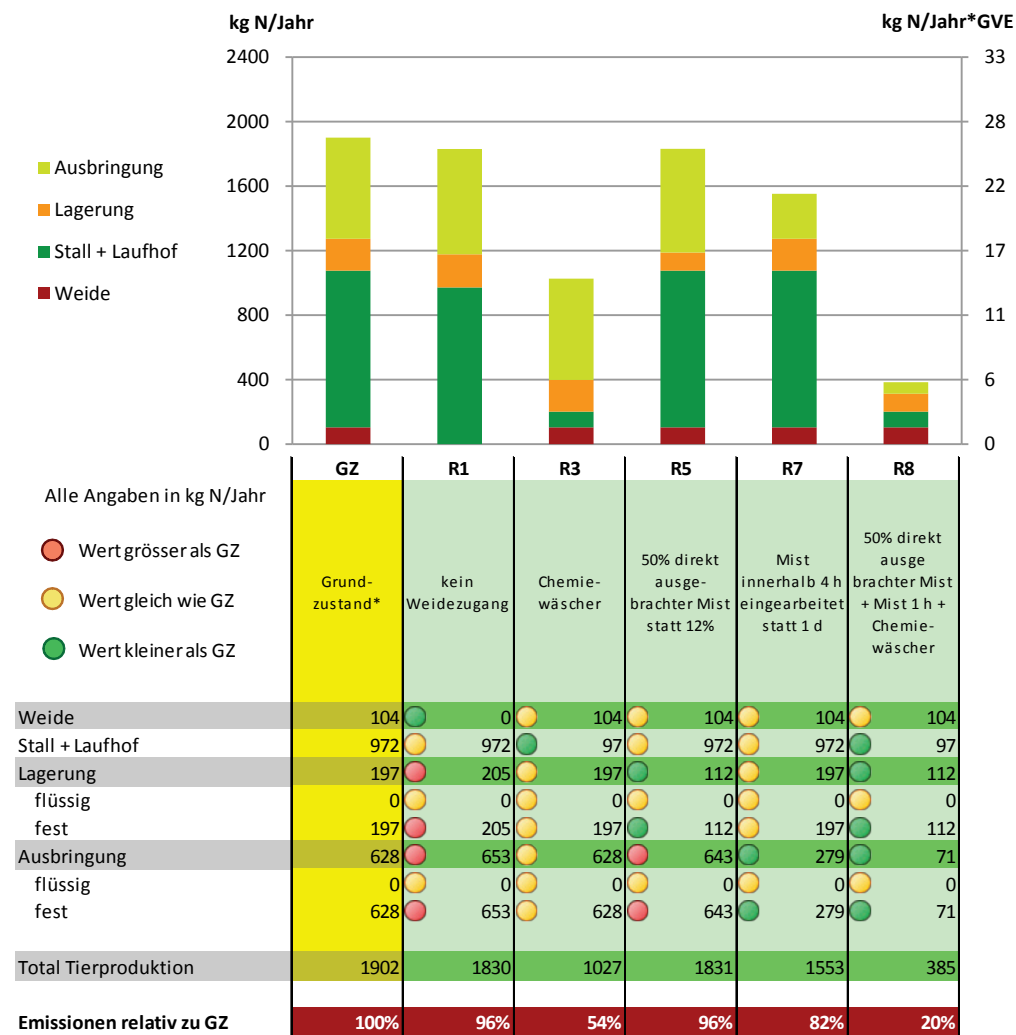


Abbildung 45: Resultate der Berechnungen für den Betrieb D1a, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen

5.17.1. Erläuterungen

Der Betrieb D1a ist ein fiktiver Betrieb, dessen Daten denjenigen des Geflügelbetriebs D1 entsprechen, nur dass er statt Legehennen Mastpoulets hält. Somit ist auch die Aufstallung Bodenhaltung statt Kotbandentmistung (Mastpoulets werden nur mit Bodenhaltung gehalten).

Mastpoulets erzeugen knapp die Hälfte der Gesamtemissionen der Legehennen (haben aber auch nur 40% der GVE von Legehennen). Die Anteile der Emissionen der verschiedenen Stufen an den Gesamtemissionen variieren jedoch: während der Anteil der Stall- und Laufhofemissionen bei beiden Geflügelkategorien ungefähr gleich gross ist, ist der Anteil der Lageremissionen bei Mastpoulets kleiner, derjenige der Ausbringemissionen grösser als bei Legehennen.

Ein direkter Vergleich ist jedoch komplex. Wichtig scheint zu sein, dass die Verhältnisse der einzelnen Minderungsmaßnahmen gegenüber dem Grundzustand ungefähr gleich bleiben. Das heisst, die einzelnen Massnahmen haben bei beiden Geflügelkategorien ähnliche Wirkung.




Die schnellere Einarbeitung hat bei den Mastpoulets eine noch grössere Wirkung, da die Ausbringemissionen im Grundzustand prozentual höher sind als bei den Legehennen.

5.17.2. Empfehlungen

- Wäscher haben sehr hohes Reduktionspotential
- Kot- und Mistlager abdecken
- ausgebrachten Kot oder Mist sofort einarbeiten, bringt hier noch mehr als bei Legehennen

5.18. D2 Milch-, Geflügel- und Schweinemastbetrieb

Tabelle 16: die wichtigsten Betriebsdaten des Geflügel-, Milch- und Schweinemastbetriebs D2

| D2 Geflügel-, Milch- + Schweinemastbetrieb | | | |
|---|---|--|---|
|  | 10 Mutterkühe + 10 Kälber (10 GVE) | 82 Mastschweine (14 GVE) | 18'000 Mastpoulets (72 GVE) |
| | Laufstall mit Gülle und Mist Laufhof planbefestigt, keine Fütterung, 210 d/a Keine E-Massnahmen Weide 170 d/a, 16 h/d | Konventioneller Stall Durchmast Keine E-Massnahmen | Bodenhaltung Tränkenippel Keine Weide Keine Abluftreinigung |
|  | Gülle | | Mist |
| | 240 m ³ Nur Schweinegülle 2.5 m tief, 7-12 x Rühren pro Jahr, feste Abdeckung | 125 m ³ Nur Schweinegülle | 125 m ³ Nur Rindergülle 12% Geflügelmist direkt ausgebracht 25% Rindermist direkt ausgebracht 100% Geflügelmist gedeckt gelagert |
|  | Gülle | Mist | |
| | Prallteller | Einarbeitung 1 d | |

LN: 48.94 ha

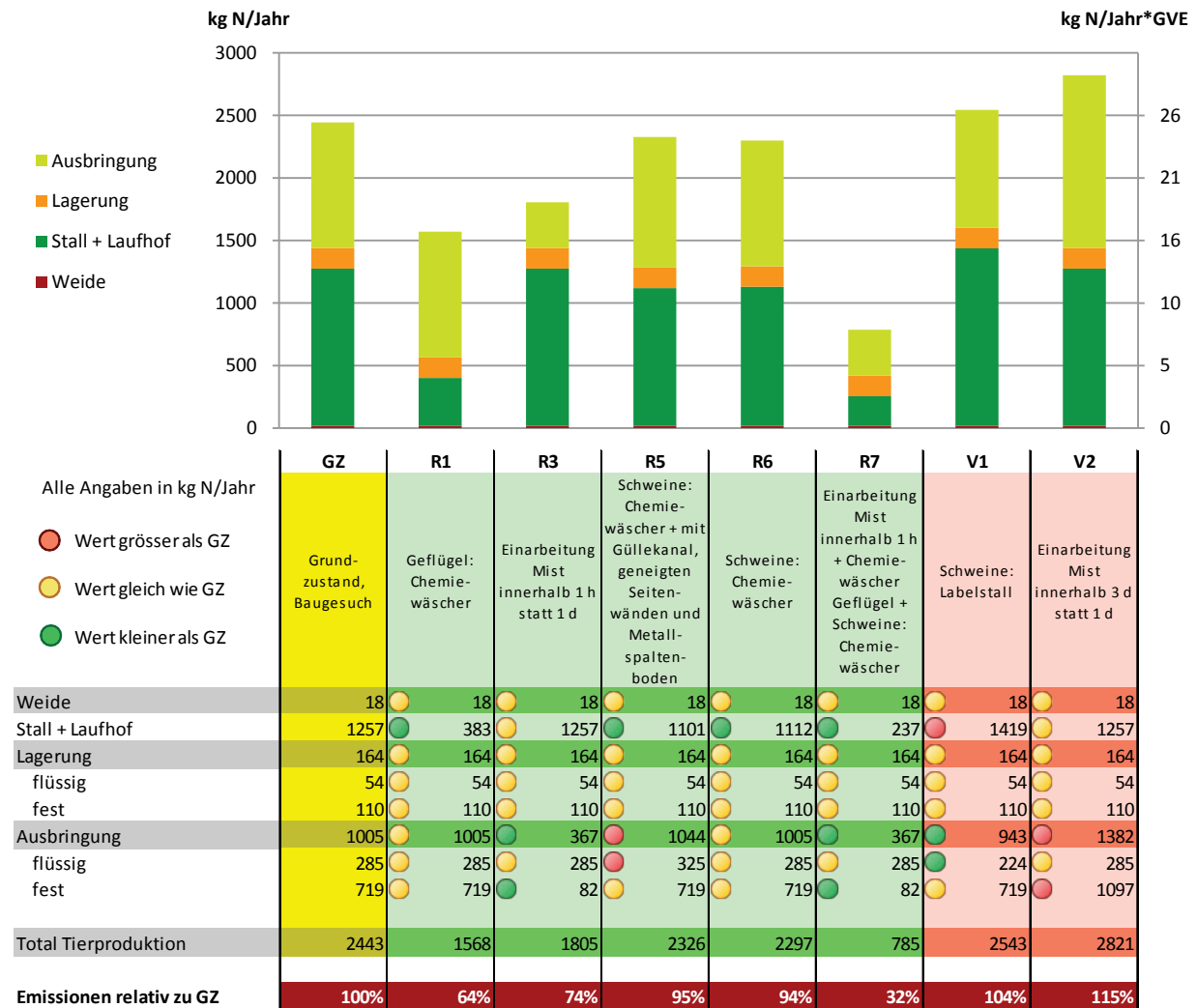


Abbildung 46: Resultate der Berechnungen für den Betrieb D2, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.18.1. Erläuterungen

Über 70% der Emissionen dieses Betriebes stammen vom Geflügel. Reduktionsmassnahmen haben den grössten Effekt, wenn im Geflügelstall reduziert wird. Ausserdem stammt somit der grösste Teil des Mists von den Mastpoulets. Damit ist klar, dass ein Schleppschlauchverteiler oder andere Massnahmen bei der Gülleausbringung keinen grossen Einfluss haben werden.

Da sehr viel Geflügelmist vorhanden ist, gibt es bereits einen bemerkenswerten Unterschied zwischen der Einarbeitung des Mists innerhalb von drei, und innerhalb von einem Tag. Bei Rindermist ist dieser Unterschied nicht so gross, es entstehen deshalb oft nicht viel mehr Emissionen, wenn innerhalb von drei statt einem Tag eingearbeitet wird. Beim Geflügelmist gilt aber: eine Einarbeitung innerhalb von einem Tag kann die Ausbringemissionen des Mist bereits um über 50% senken im Vergleich zu keiner Einarbeitung⁷ (SHL, 2010b, S. 15).

Ein Chemiewäscher hat - wie schon oft festgestellt - grosse Auswirkungen und somit ein hohes Reduktionspotential. Ausserdem ist die Abluftreinigung die einzige Reduktionsmassnahme, die in einem Mastpouletstall vorgenommen werden kann, da Mastpoulets ja nur mit Bodenhaltung gehalten werden können.

Trotz dem kleinen Anteil (14%) der Gesamtemissionen der Schweine, können interessante Feststellungen gemacht werden: Obwohl bei R5 eine zusätzliche emissionsmindernde Massnahme (Güllekanal und Metallspaltenboden) eingesetzt wurde, sind die Gesamtemissionen höher, als, wenn diese Massnahme nicht genutzt wird (gilt nur in Kombination mit dem Chemiewäscher - die Massnahme alleine erzeugt allerdings eine Reduktion im Vergleich zum Grundzustand). Das erklärt sich mit dem Flussmodell: Durch die Massnahme im Stall steigen die Ausbringemissionen an. Die Massnahme alleine senkt die Stallemissionen um einen grösseren Teil, als die Ausbringemissionen ansteigen. Werden die Stallemissionen aber durch den Chemiewäscher massiv gesenkt (und die Ausbringemissionen beim Chemiewäscher ja nicht erhöht), können diese scheinbar in einem Stall ohne bestehenden Reduktionsmassnahmen um den gleichen Teil gesenkt werden, wie im Stall mit einer zusätzlichen Massnahme, nur dass beim Einsatz des Chemiewäschers alleine keine erhöhten Ausbringemissionen entstehen, was zu tieferen Gesamtemissionen führt. Hingegen muss beim Chemiewäscher das N-haltige Wasser speziell entsorgt werden.

Ein Vergleich von konventionellem Stall zum Labelstall zeigt, dass in diesem Fall die Gesamtemissionen nicht stark steigen würden (V1), wenn der Labelstall statt dem konventionellen vorhanden ist. Ausserdem können die Emissionen ebenfalls um einige Prozent gesenkt werden mit dem Chemiewäscher. Im Moment (Oktober 2010) gibt es bezüglich dem Schweine-Labelstall Unterschiede zwischen Agrammon Basismodell und Agrammon mit den kantonalen Anpassungen. Deshalb bewirkt ein Labelstall mit Chemiewäscher im Basismodell die tieferen Gesamtemissionen als im kantonalen Modell. Das kantonale Modell entspricht aber eher der Wirklichkeit, womit dieser Punkt in den Berechnungen uninteressant wird.

5.18.2. Empfehlungen

- Die möglichst rasche Einarbeitung ist bei einem Betrieb mit vorwiegend Geflügel eine der effektivsten Massnahmen⁷
- Da Mastpoulets nur Bodenhaltung als Aufstallung haben, können die Emissionen nicht mit einer Kotbandentmistung reduziert werden. Deshalb wäre ein Wäscher die einzige Reduktionsmassnahme, um die hohen Stallemissionen einzudämmen

⁷ Bei Geflügelmist ist der Effekt der Emissionsminderung durch sofortige Einarbeitung beim Ausbringen im Vergleich zu Rindermist noch grösser (Vgl. Abbildung 25, S.22). Korrekturfaktoren der Ausbringemissionen bei Geflügelmist: -95% innerhalb von 1 Stunde, -80% innerhalb von 4 Stunden, -55% innerhalb von 1 Tag, -30% innerhalb von 3 Tagen (SHL, 2010c, S. 15)

5.19. D3 Milch- und Geflügelbetrieb

Tabelle 17: die wichtigsten Betriebsdaten des Mischbetriebs mit Mastpoulets D3

| D3 Milch- und Geflügelbetrieb | | |
|--|---|--|
|  <p>22 Milchkühe (22 GVE) Milch: 8800 kg / Jahr Heu, Mais- und Grassilage Anbindestall mit Gülle & Mist Keine E- Massnahmen Laufhof: 100d/a, keine Fütterung, planbefestigt Weide: 150 d/a, 2,5 h/d</p> | <p>2 Aufzuchttiere Laufstall mit Tiefstreu oder Tretmist Keine E- Massnahmen Kein Laufhof Keine Weide</p> | <p>18'000 Mastpoulets (72 GVE) Kein Weidezugang Bodenhaltung Tränkenippel Keine Abluftreinigung</p> |
|  <p>Gülle 120 m³ 405 m³ 2.2 m 3 m Feste Abdeckung Nur Rindergülle</p> | <p>Mist 30% Geflügelmist direkt ausgebracht 100% Geflügelmist gedeckt gelagert 25% Rindermist direkt ausgebracht</p> | |
|  <p>Gülle Prallteller Keine Gärgülle Verdünnung 1:3, Ausbringmenge: 45 m³/ha·Gabe</p> | <p>Mist Einarbeitung 1 d (30% 4 h, 70% 1 d) (30% / 70% Sommer/Winter)</p> | |
| LN : 48.19 ha | | |

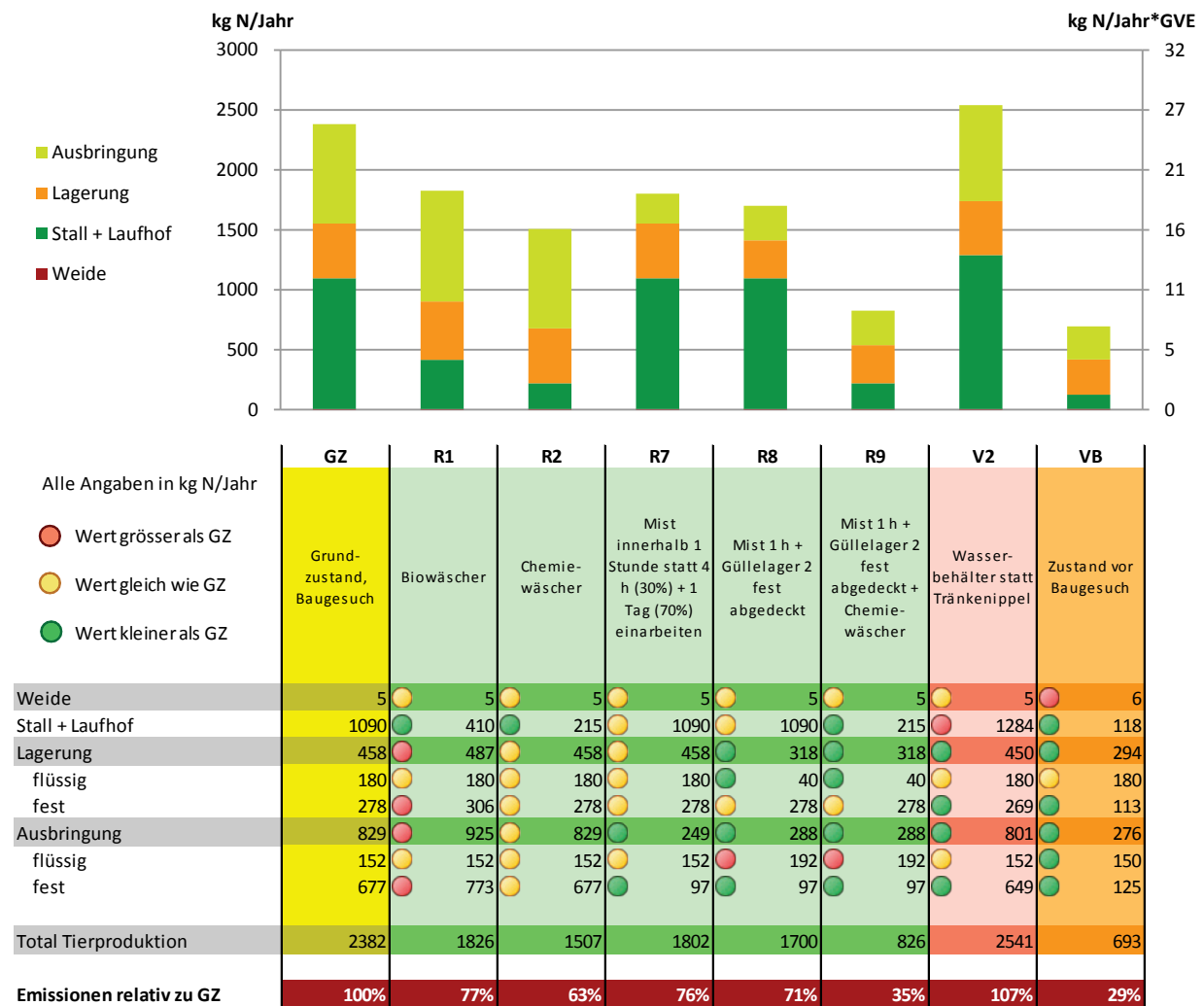


Abbildung 47: Resultate der Berechnungen für den Betrieb D3, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

5.19.1. Erläuterungen

Eine Tierbestandsaufstockung um 18'000 Mastpoulets ist eine grössere Veränderung und erhöht die Gesamtemissionen natürlich beträchtlich (vgl. VB vs. GZ: ca. dreimal höhere Emissionen danach).

Wie auch schon in D2 erwähnt (Kapitel 5.18), ist die Abluftreinigung die einzige Möglichkeit, die hohen Stallemissionen von Mastpoulets zu senken. Diese ist dann jedoch sehr effektiv (R1, R2).

Eine zweite, bereits mehrmals erwähnte Massnahme, welche bei Geflügel sehr viel bringt, ist die möglichst rasche Einarbeitung des Mists.

Das ungedeckte Güllelager des Milchviehstalls hat auf die Gesamtemissionen keine grossen Auswirkungen mehr, es senkt sie um einige Prozent, wenn es abgedeckt wird, statt nur eine natürliche Schwimmschicht zu haben.

5.19.2. Empfehlungen

- Tränkenippel sind hinsichtlich der Emissionen immer zu bevorzugen
- Wäscher können die Emissionen sehr stark eindämmen
- Mist möglichst rasch einarbeiten
- Massnahmen primär beim Geflügel ergreifen

5.20. Zusammenfassung der Resultate, die wirkungsvollsten Massnahmen zur erfolgreichen NH₃-Reduktion im Überblick

In der nachfolgenden Auflistung sind die Resultate aus den Einzelbetriebsberechnungen und einige zusätzliche Hinweise zusammengefasst.

5.20.1. Hofdüngerausbringung

- Schleppschlauch- und insbesondere Schleppschuhverteiler sind effektiv, wenn hauptsächlich Gülle produziert wird
- Schleppschuh, Gülledrill oder Tiefeninjektion sind noch effektiver als ein Schleppschlauch
- Bei Betrieben mit Schleppschlauchverteilern muss beachtet werden, dass schon im Grundzustand eine erhebliche Reduktion der maximal möglichen Gesamtemissionen vorliegt.
- Einarbeitung des Mists innerhalb weniger Stunden, vor allem an warmen Tagen

5.20.2. Hofdüngerlager

- Lageremissionen können vermieden werden, in dem die Lager abgedeckt werden
- Für Güllelager ist eine feste Abdeckung die effektivste Variante, eine Schwimmfolie oder eine Blähton-Schwimmschicht ist ebenfalls sehr empfehlenswert
- Die Abdeckung von Rindermist ist bei Betrieben mit viel Tiefstreu- oder Tretmist wirkungsvoll. Ansonsten ist diese Massnahme nicht sehr effektiv.
- Geflügelmist soll abgedeckt werden (grösserer Effekt als bei Rindermist (SHL, 2010b, S. 13)). Das wird im Kanton Schaffhausen bereits verlangt, nebst den NH₃-Emissionen auch wegen der Geruchsentwicklung von ungedecktem Geflügelkot. Als Abdeckung gilt ein geschlossener Behälter oder eine Folie (SHL, 2010b)
- Mistlager könnten beschattet oder abgedeckt werden, um weniger Emissionen zu erzeugen (Keck & Schrade, 2010)

5.20.3. Rindvieh

- verschmutzte Flächen möglichst klein halten
- möglichst keine Fütterung im Laufhof, ausser wenn der Laufhof mehrmals pro Tag gereinigt wird
- in Stallsystemen integrierte Laufhöfe mehrmals täglich reinigen
- bei Ställen mit Tiefstreu oder Tretmist: rasche Einarbeitung des Mists, weil die Lager- und Ausbringemissionen nur vom Mist ausgehen
- bei Ställen mit Vollgülleproduktion: Ausbringemissionen durch bodennahe Verteilsysteme wie Schleppschlauch- oder Schleppschuh-Verteiler reduzieren

5.20.4. Schweine

- der grösste Teil der Emissionen entsteht im Stall und im Auslauf
- es entsteht praktisch nur Gülle, somit sind bodennahe Gülleverteiler wirkungsvoll
- keine ungedeckten Güllelager, da sich keine natürliche Schwimmschicht bildet
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential
- Kaltställe oder Ställe mit Auslauf als Offenfront reduzieren die Emissionen

5.20.5. Geflügel




- wenn möglich Kotbandentmistung (mit Kotbandtrocknung) einsetzen
- häufige Kotbandentmistung (mehrmals pro Woche)
- Wäscher haben ein sehr hohes Reduktionspotential
- Mist innerhalb weniger Stunden einarbeiten

6. Die effektivsten Massnahmen in Beispielbetrieben dargestellt

In diesem Kapitel werden vier fiktive Betriebe dargestellt, welche dazu dienen, die Auswirkungen der effektivsten Massnahmen für die jeweilige Tierkategorie aufzuzeigen. Es handelt sich um einen Milch-, einen Rindviehmast-, einen Schweinemast- und einen Legehennenbetrieb. Die Darstellungsart ist dieselbe wie bei den Berechnungen in Kapitel 5.

6.1. E1 Milch-Beispielbetrieb

Tabelle 18: Betriebsdaten des Milch-Beispielbetriebs E1

| E1 Milch-Beispielbetrieb | | |
|---|---|--|
|  | 100 Milchkühe (100 GVE) Milch: 6500 kg / Jahr Laufstall mit Vollgülle Keine E- Massnahmen Laufhof: 270 d/a, planbefestigt, Fütterung ausschliesslich im Laufhof Weide: 180 d/a, 8.5 h/d | |
|  | Gülle 2000 m ³ 2.5 m Natürliche Schwimmschicht Nur Rindergülle | Mist 0% Rindermist direkt ausgebracht |
|  | Gülle Prallteller Häufige Ausbringung an besonders heissen Tagen | Mist Keine Einarbeitung |

LN : 0 ha

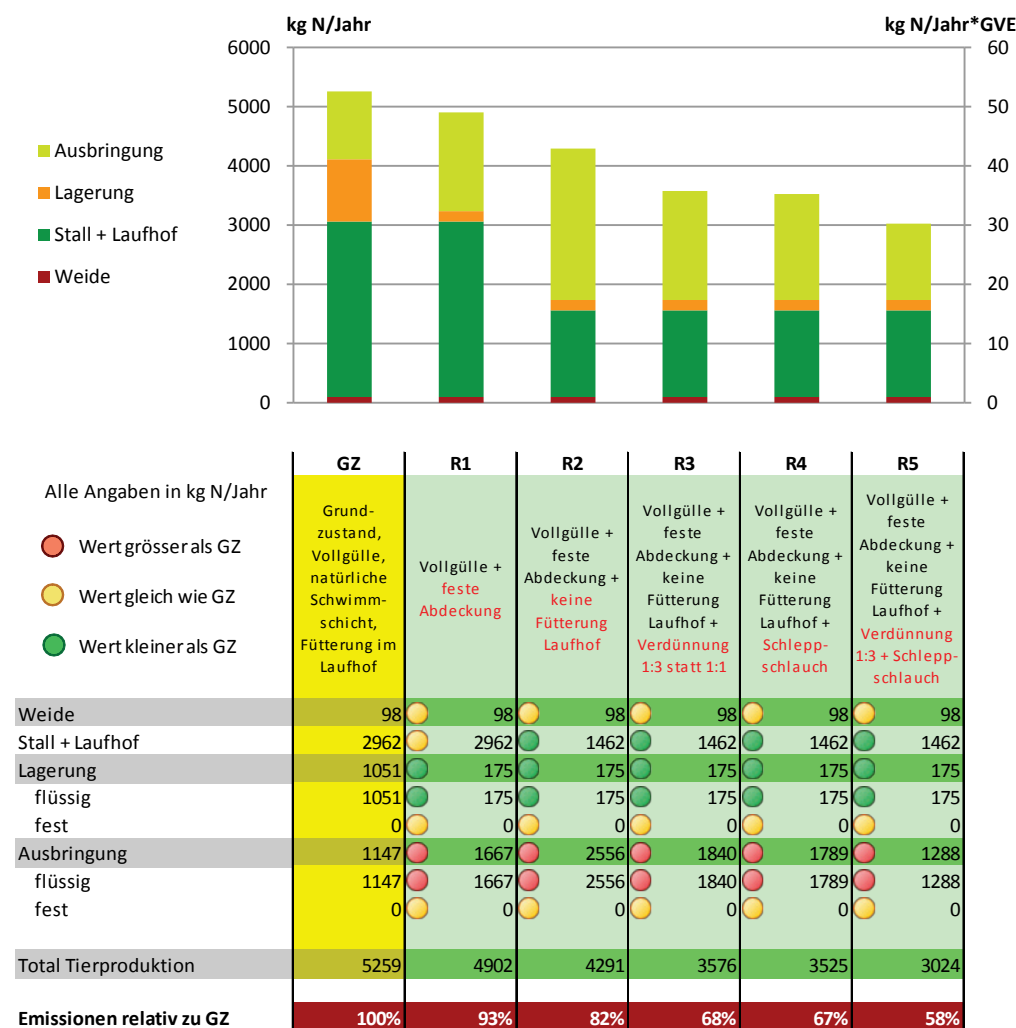


Abbildung 48: Resultate der Berechnungen für den Beispiel-Betrieb E1, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

6.2. E2 Rindvieh-Beispielbetrieb

Tabelle 19: Betriebsdaten des Rindvieh-Beispielbetriebs E2



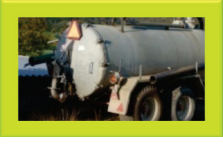
| E2 Rindvieh-Beispielbetrieb | | |
|---|--|---|
|  | 100 Mastrinder (40 GVE) Laufstall mit Tretmist Keine E- Massnahmen Laufhof: 140d/a, planbefestigt, Fütterung ausschliesslich im Laufhof Keine Weide | |
|  | Gülle 120 m ³ 2.5 m Natürliche Schwimmschicht Nur Rindergülle | Mist 0% Rindermist direkt ausgebracht |
|  | Gülle Prallteller Häufige Ausbringung an besonders heissen Tagen | Mist Keine Einarbeitung |
| LN : 0 ha | | |



Abbildung 49: Resultate der Berechnungen für den Beispiel-Betrieb E2, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

6.3. E3 Schweine-Beispielbetrieb

Tabelle 20: Betriebsdaten des Schweine-Beispielbetriebs E3






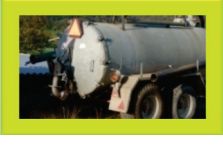
| E3 Schweine-Beispielbetrieb | |
|---|---|
|  | 100 Mastschweine (17 GVE) 155 g RP/kg, 13.5 MJ VES/kg Labelstall Keine E-Massnahmen |
|  | Gülle 100 m ³ 2.5 m ungedeckt Nur Schweinegülle |
|  | Mist 0 % Schweinemist direkt ausgebracht |
| | Mist Keine Einarbeitung |
| | Gülle Prallteller Manchmal Ausbringung an besonders heissen Tagen |
| | LN : 0 ha |



Abbildung 50: Resultate der Berechnungen für den Beispiel-Betrieb E3, berechnet mit dem Basismodell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

6.4. E4 Geflügel-Beispielbetrieb

Tabelle 21: Betriebsdaten des Geflügel-Beispielbetriebs E4

| E4 Geflügel-Beispielbetrieb | | |
|---|--|--|
|  | 1000 Legehennen (10 GVE) Bodenhaltung, Weidezugang Wasserbehälter | |
|  | Gülle Keine Gülle | Mist 12% direkt ausgebracht 0% gedeckt gelagert |
|  | Gülle Keine Gülleproduktion | Mist Keine Einarbeitung |

LN : 0 ha



Abbildung 51: Resultate der Berechnungen für den Beispiel-Betrieb E4, berechnet mit dem kantonal angepassten Modell von Agrammon. GZ = Grundzustand, R = Reduktionsmassnahmen, V = Vergleichsszenarien.

7. Kostenabschätzung

Das Ziel des Kapitels über die Kostenabschätzung ist, einen Überblick der ungefähren Investitionskosten verschiedener Minderungsmassnahmen zu erhalten. Die Zahlen stammen teilweise aus älteren Quellen und könnten deshalb nicht mehr dem Stand von heute entsprechen. Trotzdem kann damit ein Grundgefühl erhalten werden, welche Massnahmen eher teuer und welche billig zu realisieren sind.

Es wurde bewusst auf die Erwähnung der Jahreskosten jeder Massnahme verzichtet, welche aus Abschreibungen, Reparaturen, Versicherungen und Zinsen resultiert, da zum Teil die *zusätzlichen* Kosten, teilweise jedoch auch die Kosten gesamter Anlagen inklusive der mindernden Massnahme vorhanden sind. So würde ein Vergleich der Jahreskosten - einerseits einer ganzen Anlagen, andererseits nur eines bestimmten Teils - das Verständnis eher erschweren, als den angestrebten Überblick zu verschaffen.

7.1. Kosten von Massnahmen im Stall

Die Zahlen dieses Kapitels wurden der FAT-Publikation "Ammoniak: Kosten der Emissionsminderung" (Zimmermann, Hausheer, & Pfefferli, 1997) entnommen.

7.1.1. Laufstall Milchkühe

Bei den Minderungsmassnahmen im Rindviehstall handelt es sich um Berechnungen an einem Boxenlaufstall für Milchkühe mit Vollgülle-System. Für den Tiefstreu-Laufstall und den Anbindestall sind kaum Massnahmen bekannt und bei der Rindviehmast sei die Wirksamkeit der Massnahmen gering (Zimmermann, Hausheer, & Pfefferli, 1997).

Tabelle 22: Kosten von Massnahmen im Boxenlaufstall für Ein- und Neubau. Die Kosten pro Platz stammen aus einer Berechnung mit 40 Plätzen (Quelle: FAT (Zimmermann, Hausheer, & Pfefferli, 1997)).

| Massnahme | Investitionskosten pro Platz bei Einbau (Fr.) | Investitionskosten pro Platz bei Neubau (Fr.) |
|--|---|---|
| Optimiertes Schiebersystem | | |
| mit ebenem Boden | 75 ¹⁾ | 75 |
| mit geneigtem Boden | 1511 ²⁾ | 75 |
| Schiebersystem mit Sprayer ³⁾ | | |
| mit ebenem Boden | 1213 ¹⁾ | 1200 |
| mit geneigtem Boden | 2279 ²⁾ | 1200 |
| Fütterungsbuchten | 188 ¹⁾ | 68 |

¹⁾ Ausgangssituation: Festboden

²⁾ Ausgangssituation: Spaltenboden

³⁾ Zusätzlicher Güllelagerraum nötig (nicht bewertet)

7.1.2. Mastschweinestall

Tabelle 23: Kosten von Massnahmen im Mastschweinestall für Ein- und Neubau Die Kosten pro Platz stammen aus einer Berechnung mit 120 Plätzen (Quelle: FAT (Zimmermann, Hausheer, & Pfefferli, 1997)).

| Massnahme bei Teil- oder Vollspaltenboden | Investitionskosten pro Platz bei Einbau (Fr.) | Investitionskosten pro Platz bei Neubau (Fr.) |
|---|---|---|
| Buchtengestaltung | | |
| Vollspaltenboden ¹⁾ | 107 | --- |
| Spülsystem | | |
| Vollspaltenboden | 254 | 254 |
| Teilspaltenboden | 254 | 254 |
| Schiebersystem | | |
| Vollspaltenboden | 295 | 275 |
| Teilspaltenboden | 148 | 144 |
| Biowäscher | 170 | 100 |
| Impulsarme Zuluftführung | 54 | 0 |

¹⁾ Umbau in einen Teilspaltenboden. Nicht inbegriffen ist die für ein einwandfreies Funktionieren erforderliche Tierbestandsreduktion um 20%

7.1.3. Zuchtschweinestall

Tabelle 24: Kosten von Massnahmen im Zuchtschweinestall für Ein- und Neubau Die Kosten pro Platz stammen aus einer Berechnung mit 30 Plätzen (Quelle: FAT (Zimmermann, Hausheer, & Pfefferli, 1997)).

| Massnahme | Investitionskosten pro Platz bei Einbau (Fr.) | Investitionskosten pro Platz bei Neubau (Fr.) |
|---------------------------------|---|---|
| Spülsystem | 1360 | 1360 |
| Schiebersystem | 1476 | 1476 |
| Reduzierte Güllefläche im Kanal | 1679 | 1559 |
| Biowäscher | 927 | 347 |
| Impulsarme Zuluftführung | 203 | 0 |

Die Kosten der Massnahmen sind im Zuchtschweinestall viel höher als im Mastschweinestall weil die Tierbestandgrösse sehr viel kleiner ist bei den Zuchtschweinen.

7.2. Kosten von Massnahmen bei der Hofdüngerlagerung

Massnahme bei der Hofdüngerlagerung ist die Abdeckung von Güllebehältern.

7.2.1. Güllebehälter-Abdeckungen

Tabelle 25: Investitionskosten von Güllebehälter mit unterschiedlichen Abdeckungen beim Neubau eines Stahl-Email-Güllesilos, Vergleich mit einer gedeckten Güllegrube. In Klammer sind die Kosten der Abdeckung (Quelle: FAT (Dux, Van Caenegem, Steiner, & Kaufmann, 2005))

| System | Investitionskosten Güllebehälter Grösse A (Fr.) | Investitionskosten Güllebehälter Grösse B (Fr.) | Grösse A ¹⁾ | Grösse B ¹⁾ |
|---|---|---|---|---|
| Güllesilo Stahl-Email offen | 52'136 (---) | 73'590 (---) | D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³ | D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³ |
| Güllesilo mit Schwimmfolie | 62'201 (10'065) | 89'512 (15'922) | D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³ | D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³ |
| Güllesilo mit schwimmendem Holzteller (Selbstbau) | 58'906 (6'770) | | D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³ | |
| Güllesilo mit Blähtonkugel- Schwimmschicht ²⁾ | 54'432 (2'296) ³⁾ | 77'671 (4'082) ⁴⁾ | D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³ | D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³ |
| Güllesilo mit Zeldach | 68'046 (20'046) | 94'221 (26'200) | D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m ³ | D = 15 m H = 4.5 m V = 795 m ³ |
| Güllesilo mit Kegeldach und Gitterfolie (Selbstbau) | 56'553 (8'553) | | D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m ³ | |
| Geschlossene, runde Unterflur- Güllegrube aus Beton | 75'863 | 118'901 | D = 12.5 m H = 3.5 m V = 430 m ³ | D = 17 m H = 3.5 m V = 794 m ³ |

¹⁾ D=Innendurchmesser, H=Innenhöhe, V=Volumen

²⁾ Nur für Güllelager ohne natürlicher Schwimmschicht geeignet (Dux, Van Caenegem, Steiner, & Kaufmann, 2005)

³⁾ Jahreskosten für den Ersatz von Blähtonkugeln: Fr. 706.-

⁴⁾ Jahreskosten für den Ersatz von Blähtonkugeln: Fr. 1255.-

7.3. Kosten von Massnahmen bei der Hofdüngerausbringung

Massnahmen wie Verfahren der bodennahen Gülleausbringung sind mit Kosten verbunden, wogegen Einarbeitung des Mists oder der Verdünnung von Gülle mit Wasser primär ein Umstellen der landwirtschaftlichen Praxis zur Folge hat.

Tabelle 26: Kosten von Massnahmen bei der Gülleausbringung (Quelle: ART-Bericht (**Gazzarin & Albisser, 2010**)).

| Ausbringverfahren, Fassgrösse, jährliche Ausbringmenge | Mittlerer Anschaffungspreis (Fr.) | Kosten pro m³ Gülle¹⁾ (Fr.) |
|--|--|--|
| Vakuumfass, 5'000 l, 1'700 m ³ /a | 20'000 | 1.72 |
| Vakuumfass, 5'000 l, 2'000 m ³ /a | 20'000 | 1.52 |
| Vakuumfass, 8'000 l, 3'000 m ³ /a | 31'000 | 1.40 |
| Vakuumfass, 10'000 l, 4'000 m ³ /a | 43'000 | 1.42 |
| 9 m Schleppschlauchverteiler + Fass 5'000 l, 2'000 m ³ /a | 43'000 | 2.95 |
| 9 m Schleppschlauchverteiler + Fass 5'000 l, 4'000 m ³ /a | 43'000 | 1.75 |
| 12 m Schleppschlauchverteiler + Fass 6'000 l, 5'000 m ³ /a | 48'000 | 1.57 |
| 12 m Schleppschlauchverteiler + Fass 12'000 l, 8'000 m ³ /a | 85'000 | 1.54 |

¹⁾ Abschreibungen, Reparatur- und Wartungskosten der Maschine

Beim Vergleich von Vakuumfass (Breitverteiler) und Schleppschlauch fällt auf, dass ein Schleppschlauch (30% Reduktion der Ausbringemissionen) gegenüber dem Breitverteiler erst ungefähr gleich tiefe Kosten pro ausgebrachter Güllemenge hat, wenn die doppelte Menge an Gülle mit dem gleich grossen Fass und Schleppschlauchverteiler ausgebracht wird. Das heisst, Schleppschlauchverteiler rentieren vor allem dann, wenn sie von mehreren Betrieben gemeinsam angeschafft und gebraucht werden.

Weitere emissionsarme Ausbringverfahren wie Schleppschuh (50%), Schlitzdrill (60%) und Tiefeninjektion (80%) haben vermutlich noch höhere Kosten als das Schleppschlauch-Verfahren.

8. Umsetzbarkeit der Minderungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 5 dargestellten Massnahmen auf ihre Umsetzbarkeit hin überprüft. Die Massnahmen werden geordnet nach Kategorie 1 und 2 gemäss UNECE-Leitfaden (UNECE, 2007) aufgeführt. Techniken der Kategorie 3 werden nicht erwähnt, da diese Kategorie definiert ist, als "Techniken, die sich als unwirksam erwiesen haben, oder aus praktischen Gründen vermutlich ausgeschlossen werden." (UNECE, 2007)

8.1. Ausbringung

Die Ausbringung ist die letzte Stufe der Hofdüngerkette und macht in der Regel einen grossen Teil der Emissionen aus. Ohne eine Verringerung auf dieser Stufe besteht die Gefahr, dass ein grosser Teil der Verminderung im Stall oder bei der Hofdüngerlagerung zunichte gemacht wird. (UNECE, 2007)

8.1.1. Techniken der Kategorie 1

Wenn es um die Anschaffung von Geräten, wie emissionsarme Gülleverteiler geht, sind unter Umständen die Massnahmen auf grossen Betrieben kostenwirksamer als auf kleinen, weil die Kosten pro Einheit Emissionsminderung mit abnehmender Hofdüngermenge steigen.

8.1.1.1. Hangneigung und Schleppschlauchverteiler

Die Einsatzmöglichkeit für Schleppschlauchverteiler wird durch die Hangneigung begrenzt. Gemäss einer Publikation der Agroscope, sind Schleppschlauchverteiler am Fass bis zu einer Hangneigung von 20%, solche mit Verschlauchung bis zu 30% einsetzbar. (Frick & Menzi, 1997)

Um die Einsatzmöglichkeit von Schleppschlauchverteilern im Kanton Schaffhausen zu prüfen, wurde eine Analyse in einem Geoinformationssystem (GIS) gemacht. Vorhanden sind Daten zur Bodenbedeckung und Hangneigung in drei Stufen (0-18%, 18-35%, >35%). Alle Parzellen(-teile), welche eine Bodenbedeckung "Acker-Wiese-Weide" haben wurden mit der Hangneigung kombiniert, so dass die Gesamtfläche aller "Acker-Wiese-Weide"-Flächen mit der jeweiligen Hangneigungsstufe berechnet werden konnte. Die Resultate dieser Analyse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Anteil der Flächen mit Acker, Wiese oder Weide in Abhängigkeit der Hangneigung

| Hangneigung | Anteil an Fläche mit Acker, Wiese oder Weide | Anteil der Fläche mit Acker, Wiese oder Weide pro Parzelle* |
|-------------|--|---|
| 0 - 18% | 83% | 67% |
| 18 - 35% | 14% | 25% |
| > 35% | 3% | 8% |

* Die Hangneigung einer einzelnen Parzelle wurde als Maximum der Hangneigungen aller darin liegenden Teilparzellen definiert, falls der Anteil der Fläche dieser Teilparzelle mind. 10% betrug. Detaillierte Angaben zur GIS-Analyse vgl. Anhang.

Unter der Annahme, dass die Flächen mit Acker, Wiese oder Weide der landwirtschaftlichen Nutzfläche entsprechen, müsste auf über 80% der Flächen mit einem Schleppschlauchverteiler am Fass gefahren werden können. Da in der Realität eine Parzelle, welche nur zum Teil mit dem Schleppschlauch befahrbar wäre, wahrscheinlich gesamthaft mit dem Prallteller / Werfer gedüngt wird, wurde in einer zweiten Analyse die Hangneigung einer Parzelle als das Maximum der Hangneigung aller enthaltenden Teilparzellen definiert. Falls eine Teilparzelle jedoch weniger als 10% Flächenanteil der gesamten Parzelle hatte, wurde diese vernachlässigt. So ergibt sich ein -

wahrscheinlich realistischeres - Resultat, welches zeigt, dass über 60% der Flächen problemlos mit Schleppschlauch am Fass und ca. 90% mit verschlachtetem Schleppschlauch befahrbar wären.

8.1.2. Techniken der Kategorie 2

Die Gülleverdünnung wird bei Vollgülleproduktion in der Regel immer gemacht. Eine Verdünnung von 1:1 (Gülle zu Wasser) ist üblich. (Zehnder, 2010) Eine noch stärkere Verdünnung wäre einfach machbar, es stellt sich dann jedoch die Frage der Wirtschaftlichkeit bezüglich dem erhöhten Transportaufwand für die gleiche Menge reine Gülle. Allerdings müsste Gülle aus Stallsystemen, bei denen ebenfalls emissionsmindernde Massnahmen eingesetzt werden, eine höhere Stickstoffdichte aufweisen, was eine kleinere Ausbringmenge, bzw. eine grössere Verdünnung kompensieren könnte.

Bei zu starker Verdünnung besteht die Gefahr der Auswaschung und des Oberflächenabflusses.

In Agrammon nicht vorhanden ist die Hochdruckinjektion, bei welcher die Gülle mit einem Druck von 5 bis 8 bar unter die Erdoberfläche gepresst wird. Da die Erdoberfläche nicht durch Zinken oder Scheibeneggen aufgerissen wird, lässt sich dieses Verfahren auch an Steilhängen und auf steinigem Böden anwenden. Feldversuche zeigten, dass dieses Verfahren eine dem Schlitzdrillverfahren vergleichbare Emissionsminderung von bis zu 60% hat, die Technik muss jedoch noch genauer untersucht werden.

8.1.3. Schlussfolgerung Ausbringung

Für den Kanton Schaffhausen kommt als Massnahme bei der Gülleausbringung der Schleppschlauch (-30%) oder Schleppschuh (-50%) in Frage. Eine Einarbeitung könnte auch bei der Gülle eine Massnahme sein, muss jedoch möglicherweise als zweiter Arbeitsgang erledigt werden, da Maschinen, welche die Gülleausbringung mit direkter Einarbeitung ermöglichen zu schwer oder zu teuer sind, oder, da die direkte Injektion in den Boden aufgrund des steinigem und schweren Bodens im Kanton Schaffhausen weniger gut möglich ist. Schleppschläuche / Schleppschuhe müssten auf den meisten landwirtschaftlichen Nutzflächen im Kanton Schaffhausen bezüglich Hangneigung einsetzbar sein.

Beim Einarbeiten des Mists ist Potential zur Minderung vorhanden, die möglichst rasche Einarbeitung ist sehr effektiv und die Kosten sind gering. Eine Einarbeitung innerhalb weniger Stunden sollte, wo immer möglich, angestrebt werden.

8.2. Lagerung

Da die Lagerung anteilmässig in den meisten Fällen weniger als 30% der Gesamtemissionen ausmacht, sind den Minderungsmaßnahmen auf dieser Stufe nicht erste Priorität zu geben.

Die Abdeckung von Festmist bei Geflügelställen ist machbar und - auch wegen den Geruchsemissionen - nötig.

8.2.1. Techniken der Kategorie 1

Eine Abdeckung der Güllelager ist im Kanton Schaffhausen grundsätzlich vorgeschrieben (IKL, 2010). Viele Güllelager sind unter dem Boden und somit fest abgedeckt, oder im Stall integriert.

Schwimmfolien sind gemäss UNECE-Leitfaden für kleinere Lagunen geeignet (UNECE, 2007) und könnten auch für nicht gedeckte Güllesilos verwendet werden. Eine natürliche Schwimmschicht ist nicht Stand der Technik. (BAFU, BLW, 2009)

8.2.2. Techniken der Kategorie 2

Die natürliche Schwimmschicht von Rindergülle reduziert die Emissionen im gleichen Masse, wie eine perforierte Abdeckung, wie sie z.B. vorkommt, wenn sich der Laufhof direkt über dem Güllelager

befindet. Für Betriebe, welche die Gülle nicht häufig ausbringen und einen ausreichend hohen Anteil an Trockensubstanz in der Gülle haben könnte eine natürliche Schwimmschicht von mindestens 10 - 15 cm Dicke auf ungedeckten Güllelagern eine Möglichkeit sein.

Eine künstliche Schwimmschicht, z.B. aus LECA-Granulat (Blähton) gehört ebenfalls in diese Kategorie, da die Wirksamkeit und Anwendbarkeit noch nicht ausreichend erforscht wurde. (UNECE, 2007) Laut ART Tänikon reduziert eine 10-15 cm starke Blähton-Schwimmschicht die Lageremissionen um 80%, (Van Caenegem, Dux, & Steiner, 2005) was vergleichbar mit einer Schwimmfolie ist.

8.2.3. Schlussfolgerung Lagerung

Die Einhausung von Geflügelmist wird bei Neubauten von Geflügelställen im Kanton Schaffhausen bereits verlangt. Geflügelmist muss gedeckt und trocken gelagert werden und darf nicht ausserhalb des Hofes zwischengelagert werden. (IKL, 2010) Eine vollständige Abdeckung oder Einhausung ist sinnvoll, das vermindert nebst den NH₃-Emissionen zusätzlich die Geruchsemissionen.

Güllelager sind meistens schon abgedeckt, bei offenen Lagern mit natürlicher Schwimmschicht wird ein Teil der Ammoniakemissionen zurückgehalten, eine Abdeckung, wie z.B. eine Blähtonschwimmschicht oder eine Schwimmfolie wäre jedoch mit relativ wenig Aufwand möglich und effektiv. Falls eine natürliche Schwimmschicht vorhanden ist, muss darauf geachtet werden, dass diese beim Rühren oder Befüllen nicht zerstört wird. Die Gülle muss deshalb unterhalb der Schwimmschicht eingeleitet werden. (UNECE, 2007).

8.3. Stall und Laufhof

8.3.1. Rindviehställe

Im Rindviehstall gibt es im Moment nur eine Technik der Kategorie 1, nämlich die Verwendung eines "gezahnten" Kotschiebers auf einem gerillten Boden. Das Ziel ist eine saubere Bodenfläche, welche gleichzeitig ausreichend trittsicher für die Tiere ist (UNECE, 2007). Nach neueren Erkenntnissen ist dies jedoch nicht mehr die beste Möglichkeit, Laufställe sauber zu halten. Der Boden sei zu wenig trittsicher. Ein optimiertes Schiebersystem mit automatischen Schiebern, welche die Laufgänge möglichst oft reinigen, muss angestrebt werden. Ausserdem ist es vor allem wichtig, dass die verschmutzte Fläche möglichst klein gehalten wird (in Kombination mit der Einhaltung der vom Tierschutz / RAUS-Verordnung minimal vorgeschriebenen Fläche) (Keck & Schrade, 2010).

8.3.2. Schweineställe

Säure- und Biowäscher werden vorwiegend in grossen Anlagen in Dänemark, Deutschland und den Niederlanden eingesetzt. Ob diese Technik auch für Ställe in Süd- und Mitteleuropa geeignet ist, muss überprüft werden. Am wirtschaftlichsten sind diese Systeme, wenn sie bei der Errichtung neuer Stallungen in das Belüftungssystem installiert werden. Ein Einbau in bestehende Ställe ist mit hohen Zusatzkosten verbunden und gehört daher nicht zur Kategorie 1 (UNECE, 2007).

Eine Steuerung des Stallklimas, welche sicherstellt, dass Lüftungsrate und Temperatur nicht zu sehr ansteigen, gehört zur Kategorie 2.

8.3.3. Geflügelställe

Kotbandentmistung gehört zur Kategorie 1. Der Mist muss häufig und rasch aus dem Stall transportiert werden, deshalb werden grosse Legehennenställe bereits mit Kotbandentmistung gebaut.

Mastpoulets werden auf volleingestreuten Bodenhaltungsställen gehalten. Da sie nur einige Wochen alt werden, kann der Stall danach entmistet und wieder neu desinfiziert werden. Mist von Mastpoulets ist aufgrund des Einstreus schon relativ trocken. (Zehnder, 2010)

Kategorie 1 bei Mastpoulets ist, Wasserverluste aus dem Tränkesystem zu vermeiden (z.B. durch Nippeltränken) (UNECE, 2007)

9. Minderungspotential Kanton Schaffhausen

Im Folgenden wird das Minderungspotential im Kanton Schaffhausen dargestellt. Der in Kapitel 4 vorgestellte Zustand entspricht hier dem Grundzustand (GZ), es wird davon ausgegangen, dass dieser dem heutigen Zustand entspricht.

Als Vergleich ist der Zustand ohne Minderungsmassnahmen (KM) aufgeführt. Dieser wurde berechnet, mit den Annahmen, dass alle Tiere des Rindviehs ausschliesslich im Laufhof gefüttert werden, alles Geflügel mit Bodenhaltung gehalten wird, 100% der Gülle mittels Prallteller ausgebracht, und kein Mist eingearbeitet wird.

Beim Zustand der möglichen Minderung (R) wird davon ausgegangen, dass 20% der Gülle mit Prallteller ausgebracht wird, keine ausschliessliche Fütterung im Laufhof stattfindet (20% teilweise, 60% nicht im Laufhof und 20% ohne Laufhof), Schweinen ausschliesslich stickstoffreduziertes Futter verabreicht wird, der Mist innerhalb von 1h bis maximal 3 Tagen eingearbeitet wird⁸ und alle Legehennen mehr als einmal pro Woche mittels Kotband entmistet werden. Weitere Annahmen sind im Anhang zu finden.

Als Vergleich wurde ausserdem ein Szenario berechnet, welches alle technisch möglichen Minderungsmassnahmen zu 100% enthält (V).

Die genauen Eingabeparameter aller Szenarien sind im Anhang dokumentiert.

⁸ Anteile des eingearbeiteten Mists: 5% innerhalb von 1 h, 10% innerhalb von 4 h, 45% innerhalb von 8 h, 20% innerhalb von 1 d, 20% innerhalb von 3 d.

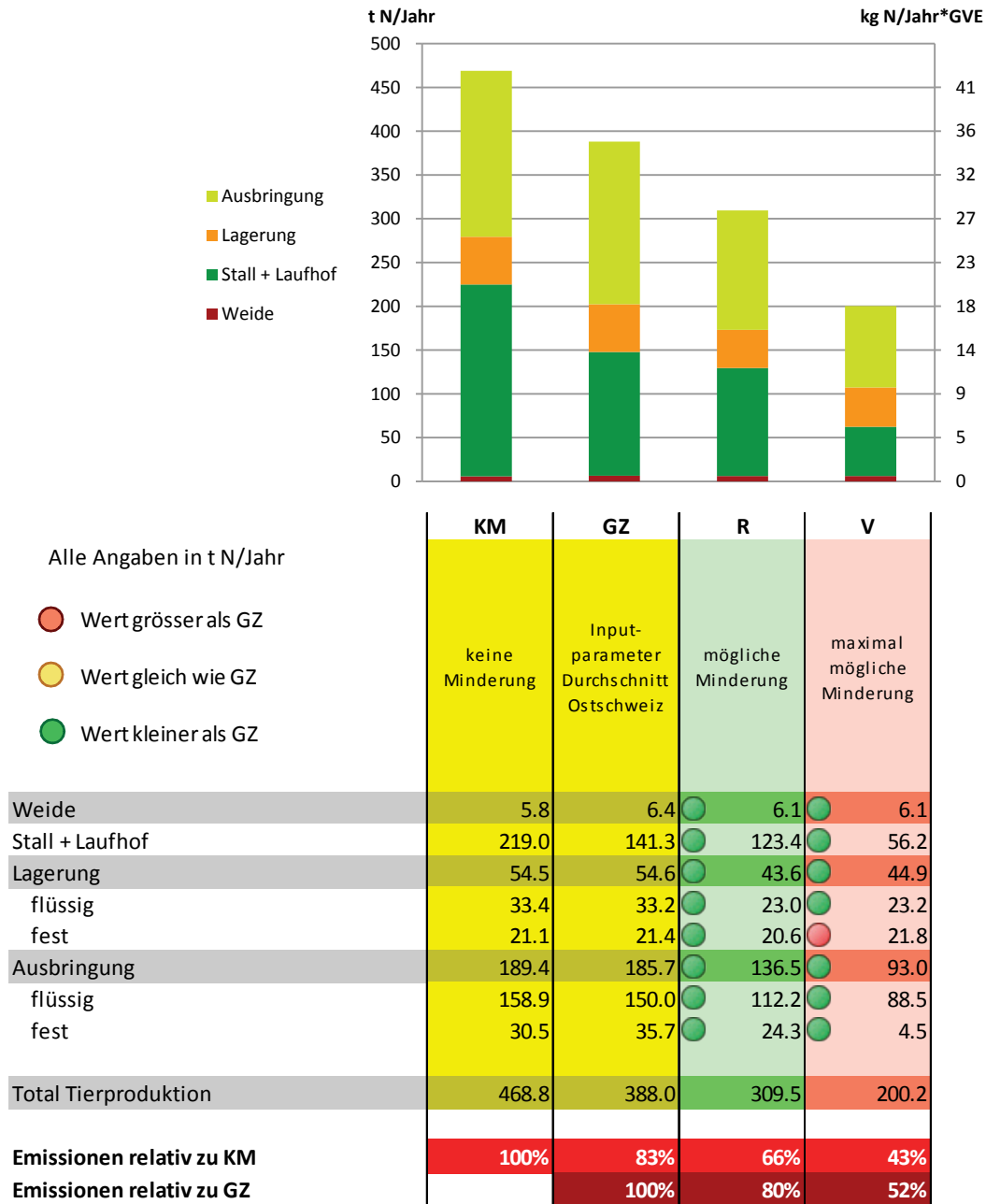


Abbildung 52: Minderungspotential der NH₃-Emissionen nach Emissionsstufen im Kantons Schaffhausen. KM entspricht den Emissionen, wenn keine mindernden Massnahmen umgesetzt würden, GZ ist der Zustand, welcher aufgrund der Umfragedaten von 2007 (Kupper, et al., 2010) momentan herrschen müsste. R ist das Potential, welches ungefähr möglich sein sollte, V ein Vergleich, was möglich wäre bei 100% Umsetzung der bekannten Massnahmen.

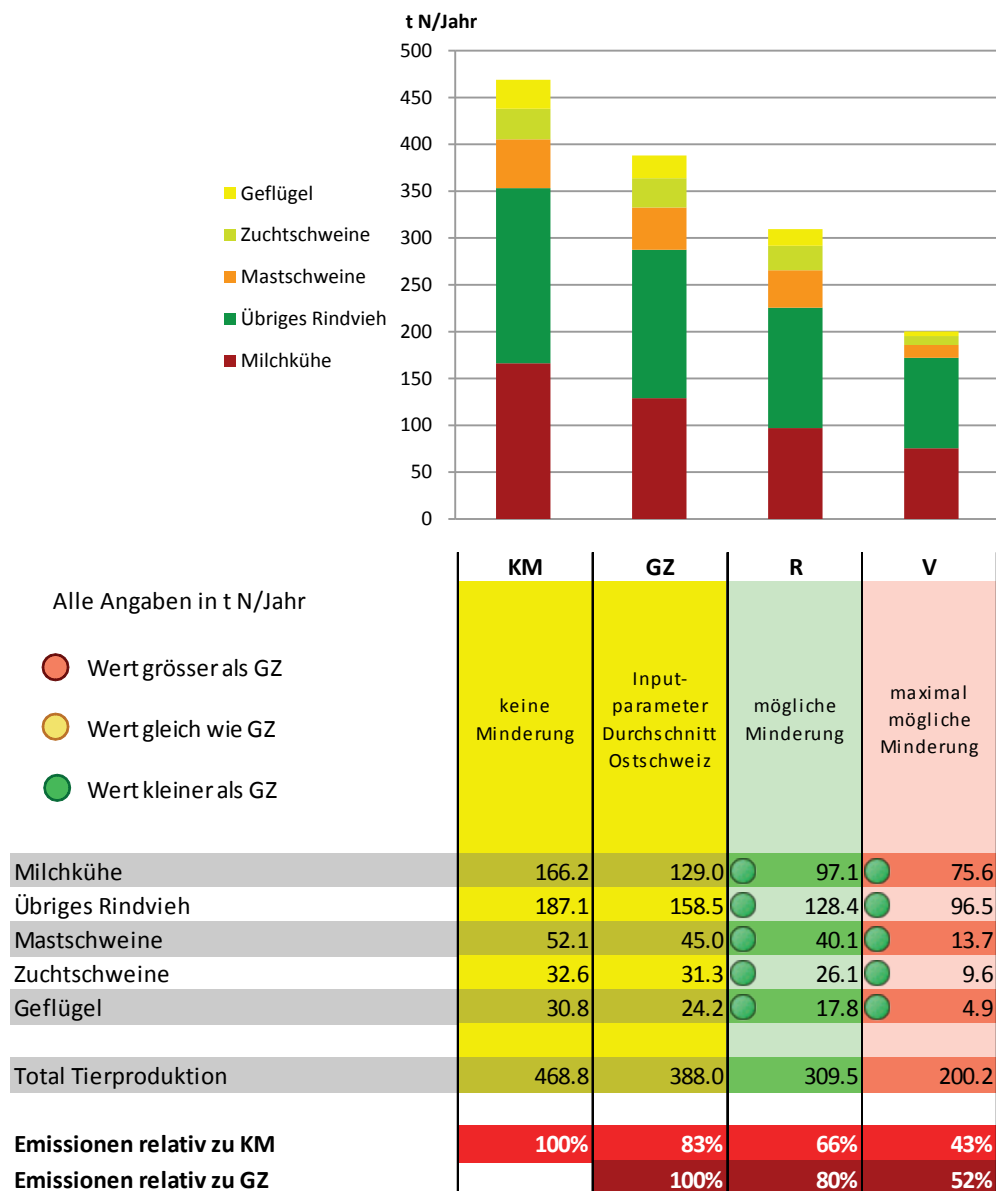


Abbildung 53: Minderungspotential nach Tierkategorien im Kanton Schaffhausen. KM entspricht den Emissionen, wenn keine mindernden Massnahmen umgesetzt würden, GZ ist der Zustand, welcher aufgrund der Umfragedaten von 2007 (Kupper, et al., 2010) momentan herrschen müsste. R ist das Potential, welches ungefähr möglich sein sollte, V ein Vergleich, was möglich wäre bei 100% Umsetzung der bekannten Massnahmen.

10. Literatur

- BAFU und BLW. (2008). *Umweltziele Landwirtschaft*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU, BLW. (2009). *Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft (Wasser, Boden, Luft), Entwurf Modul Bauliche Anlagen: Baulicher Umweltschutz auf Landwirtschaftsbetrieben*.
- Big Dutchman. (16. 11 2010). Von <http://www.bigdutchman.de> abgerufen
- Bucher, P. (03. 11 2010). Fragen per Mail zu Critical Loads und reduzierten Stickstoffverbindungen.
- BUWAL. (2002). *Ammoniak (NH₃)-Minderung bei der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Mitteilung zur Luftreinhalteverordnung LRV Nr. 13*.
- Dux, D., Van Caenegem, L., Steiner, B., & Kaufmann, R. (2005). *Kosteneffizienz von Güllebehälter-Abdeckungen (FAT-Berichte 642)*. Agroscope FAT Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.
- EKL. (2010). *25 Jahre Luftreinhaltung auf der Basis des Umweltschutzgesetzes. Thesen und Empfehlungen*. Bern: Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL).
- EKL. (2005). *Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Schriftenreihe Umwelt Nr. 384*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- FAT Tänikon. (2004). Abdeckung Güllesilos. *Informationstagung Landtechnik 12/13.10.2004*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwissenschaft und Landtechnik.
- Frick, R., & Menzi, H. (1997). *Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern?* Tänikon: Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).
- Gazzarin, C., & Albisser, G. (2010). *Maschinenkosten 2010 - Mit Kostenansätzen für Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen (ART-Bericht 733)*. Tänikon, CH-8356 Ettenhausen: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Globogal AG. (16. 11 2010). Von www.globogal.ch abgerufen
- IBK. (2010). Gülle ist viel Wert! Internationale Bodenseekonferenz (IBK).
- IBK/INFRAS/econcept. (2006). *Ammoniak in der Landwirtschaft, Inputpapier der Arbeitsgruppe Landwirtschaft/Umweltschutz zuhanden IBK-U*.
- IKL. (2010). *Kanton Schaffhausen, Massnahmenplan Lufthygiene 2006 / 2007, Umsetzung des Massnahmenplans, Stand August 2010*. Interkantonales Labor (IKL), Schaffhausen.
- Joskin. (11. 11 2010). Von www.joskin.com abgerufen
- Kanton Schaffhausen. (2010). *Hofdünger und Abwässer aus dem Landwirtschaftsbetrieb; Ausbringfläche*. <http://www.sh.ch/Formulare.1053.0.html> (Stand 02.09.2010).
- Keck, M., & Schrade, S. (08. 11 2010). Besprechung Minderung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft in verschiedenen Stallsystemen.

Kupper, T. (29. 9 2010). Telefongespräch.

Kupper, T., Bonjour, C., Achermann, B., Zaucker, F., Rihm, B., Nyfeler-Brunner, A., et al. (2010). *Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2007 Prognose bis 2020*.

Reidy, B., & Menzi, H. (2006). *Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 bis 2000 mit Hochrechnungen bis 2003, Technischer Schlussbericht*. (unveröffentlicht).

SHL. (2010a). *Anforderungen: Minderungsmassnahme "Beschattung und Windschutz im Laufhof"*.

SHL. (2010b). *Dokumentation Technische Parameter Modell Agrammon*.

SHL. (2010c). *Technische Parameter Modell Agrammon*.

SHL. (2010d). *Technische Parameter Modell Agrammon Zusatzmodul Kanton Luzern*.

SHL, Oetiker + Partner, BAFU. (6. Juli 2010). www.agrammon.ch.

UFA. (2008). *UFA Revue Nr. 1 / 2008*.

UNECE. (2007). *Leitfaden über Techniken zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen*. ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13 (Übersetzung BAFU).

Vakutec. (11. 11 2010). Von www.vakutec.at abgerufen

Van Caenegem, L., Dux, D., & Steiner, B. (2005). *Abdeckungen für Güllesilos (FAT-Berichte 631)*. Ettenhausen: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.

Veenhuis Machines B.V. (11. 11 2010). Von www.veenhuis.com abgerufen

Zehnder, A. (12. 10 2010). Telefongespräch.

Zimmermann, A., Hausheer, J., & Pfefferli, S. (1997). *Ammoniak: Kosten der Emissionsminderung*. CH-8356 Tänikon TG: Agroscope FAT Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.

Zunhammer GmbH. (11. 11 2010). Von www.zunhammer.de abgerufen