



Berner
Fachhochschule

Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen aus der Landwirtschaft der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt für das Jahr 2021

Im Auftrag des Lufthygieneamts beider Basel

Alex Valach¹, Thomas Kupper¹, Christoph Häni¹

¹Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen

04. November 2022

Inhalt

Zusammenfassung	3
1. Ausgangslage und Zielsetzung	4
2. Material und Methoden	4
2.1 Grundlagen der Emissionsberechnung	4
2.1.1 Modell Agrammon	4
2.1.2 Verwendete Modellversion von Agrammon	6
2.2 Datengrundlage zur Produktionstechnik für die einzelbetriebliche Emissionsrechnung	6
2.2.1 Tierzahlen	6
2.2.2 Produktionstechnik	6
2.2.2.1 Stallsysteme	6
2.2.2.2 Güllelager	8
2.2.2.3 Ausbringung Gülle	8
2.2.2.4 Mineralische N-Dünger und Recyclingdünger	8
2.2.2.5 Übrige Parameter	10
2.3 Berechnung der Treibhausgasemissionen	10
3. Resultate	12
3.1 Landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen 2008, 2015 und 2021	12
3.2 Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen zwischen 2008 und 2021	13
3.3 Landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen	14
4. Schlussfolgerungen	16
5. Verdankungen	16
6. Literatur	17
Anhang 1	18
Tierzahlen und landwirtschaftliche Nutzfläche 2021, 2015 und 2008	18
Anhang 2	19
Emissionsfaktoren für Methan in kg CH ₄ pro Tier und Jahr	19
Anhang 3	20
Gesamtemissionen und TAN-Flüsse aufgelöst nach den Emissionsstufen für die einzelnen Tierkategorien 2021 sowie Total für 2015 und 2008	20
Anhang 4	21
Gesamtemissionen der Treibhausgasemissionen	21

Zusammenfassung

Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft verursachen in der Schweiz den grössten Teil der Einträge von reaktivem Stickstoff, welcher vielfältige negative Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität, Boden, Wasser, die menschliche Gesundheit sowie die Klimaerwärmung hat. Die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen bei Ammoniak (NH_3) sollte daher in erster Priorität bei der Landwirtschaft erfolgen. Voraussetzung dazu ist die Kenntnis der aktuellen Emissionssituation. In der vorliegenden Arbeit wurden die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt für 2021 berechnet und die Entwicklung der Emissionen zwischen 2008 und 2021 beurteilt. Zusätzlich erfolgt eine Abschätzung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen.

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt für das Jahr 2021 betragen gemäss einzelbetrieblicher Emissionsrechnung insgesamt 635 t $\text{NH}_3\text{-N}$. Die Emissionen aus der Tierproduktion lagen bei 576 t $\text{NH}_3\text{-N}$, was 91% der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen entspricht. Innerhalb der Tierproduktion betrug der Anteil von Rindvieh 80% (463 t $\text{NH}_3\text{-N}$). Zwischen 2008 und 2021 haben die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen um rund 8% abgenommen.

Die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt lagen für 2021 bei rund 94'000 t $\text{CO}_2\text{-Äquivalente}$ ($\text{CO}_2\text{-eq.}$). CH_4 und N_2O trugen rund zwei Drittel bzw. ein Drittel den gesamten $\text{CO}_2\text{-eq.}$ Die weitaus wichtigste Einzelquelle ist CH_4 aus der enterischen Fermentation von Wiederkäuern (etwa 60% des Totals der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in $\text{CO}_2\text{-eq.}$). Die N_2O Emissionen aus Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, -ausbringung machen den grössten Anteil des Totals der N_2O Emissionen aus (rund 12% Anteil des Totals der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in $\text{CO}_2\text{-eq.}$). Zwischen 2008 und 2021 resultierte eine Abnahme der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen um 5%.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Ammoniakemissionen aus Landwirtschaft, Verkehr, Industrie/Gewerbe, Abfallbewirtschaftung und Haushalte bilden zusammen mit den Stickoxid-Emissionen aus der Verbrennung fossiler und biogener Brenn- und Treibstoffe die wichtigsten Quellen von reaktiven Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre. Diese werden über unterschiedlich grosse Distanzen verfrachtet, nehmen an chemischen Reaktionen in der Atmosphäre teil und werden schliesslich in ihrer ursprünglichen oder in umgewandelter Form über die verschiedenen Depositionspfade in Böden und Oberflächengewässer eingetragen. Sie haben vielfältige Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität, Boden, Wasser, die menschliche Gesundheit sowie die Klimaerwärmung (Sutton et al., 2011). So tragen reaktive Stickstoffverbindungen beispielsweise wesentlich zur Versauerung und Eutrophierung von naturnahen Ökosystemen bei (z.B. Wälder, Hochmoore, artenreiche Naturwiesen), was sich auf Vegetation und Fauna negativ auswirkt.

Ammoniak (NH_3) verursachte im Jahr 2019 in der Schweiz rund 70% der Emissionen von reaktivem Stickstoff (Hoesly et al., 2018). Davon stammten 94 % aus der Landwirtschaft (Kupper et al., 2022). Die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen bei NH_3 sollte daher in erster Priorität bei der Landwirtschaft erfolgen (BAFU, BLW, 2016).

Die Landwirtschaft verursacht rund 13% der schweizerischen-Emissionen an Treibhausgasen (THG). Der grösste Beitrag stammt von Methan (CH_4) aus der enterischen Fermentation, vor allem von Wiederkäuern (7%¹), und aus den Stufen Stall und Lagerung von Hofdünger (2%¹). Der Anteil von Lachgas (N_2O) beträgt 1%¹ aus den Stufen Stall und Lagerung Hofdünger und 3%¹ aus landwirtschaftlich genutzten Böden (FOEN, 2021).

Die Kenntnis der aktuellen Emissionssituation bildet eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der Notwendigkeit hinsichtlich Umsetzung von emissionsmindernden Massnahmen. Die einzelbetriebliche Berechnung der Ammoniakemissionen und darauf basierend die Erstellung eines Emissionsinventars ist momentan die verlässlichste Basis dafür. Eine solche Rechnung für NH_3 wurde für die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt für die Jahre 2008 und 2015 erstellt (Kupper, Bonjour, 2016). Das vorhandene Inventar soll im Rahmen des vorliegenden Projekts für 2021 neu berechnet und die Entwicklung der Emissionen zwischen 2008 und 2021 beurteilt werden. Zusätzlich erfolgt eine Abschätzung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen.

2. Material und Methoden

2.1 Grundlagen der Emissionsberechnung

2.1.1 Modell Agrammon

Die HAFL erarbeitet im Auftrag des BAFU zusammen mit Oetiker+Partner AG das nationale Emissionsinventar für Ammoniak. Die Grundlage für die Berechnung der Ammoniakemissionen mittels Agrammon (www.agrammon.ch) bildet ein Stickstoffflussmodell. Ausgehend von der in den Exkrementen der Nutztiere enthaltenen Stickstoffmenge (N) bildet das Modell den Stickstofffluss über die Emissionsstufen Tierhaltung (Weide, Stall/Laufhof), Hofdüngerlager (flüssig und fest) sowie Hofdüngerausbringung (flüssig und fest) ab. Die Emissionen beim Einsatz von mineralischen N-Düngern und Recyclingdüngern im Pflanzenbau sowie jene der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden ebenfalls berücksichtigt (Abbildung 1).

Für die Emissionen ist nicht in erster Linie der gesamte von den Tieren ausgeschiedene Stickstoff (N_{tot}) relevant, sondern vor allem der lösliche Stickstoff (TAN; Englisch: Total Ammoniacal Nitrogen). Dieser bildet die Basis zur Bildung von NH_3 , der aus dem mit dem Urin ausgeschiedenen Harnstoff bei gleichzeitiger Anwesenheit von festen Exkrementen (Kot) entsteht. Bei den Emissionsstufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, Hofdüngerausbringung werden die Ammoniakverluste mittels Emissionsraten in Prozent des durchfliessenden löslichen Stickstoffs berechnet. Bei der Güllelagerung wird

¹ Anteil jeweils in Prozent der gesamtschweizerischen Emissionen.

davon ausgegangen, dass Ammoniak von der Gülleoberfläche unabhängig des Füllstands des Lagerbehälters freigesetzt wird. Daher kommt für diese Emissionsstufe eine Emissionsrate proportional zur Oberfläche des Güllelagers zur Anwendung (g NH₃-N pro m²). Bei der Mistlagerung wird zusätzlich die Immobilisierung eines gewissen Anteils des TAN und bei der Güllelagerung die Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff zu TAN berücksichtigt.

Die Menge der Emissionen auf einer Stufe hängt damit vom Input an TAN in die betreffende Stufe und von der Höhe der Emissionsrate ab. Diese ist wesentlich vom angewendeten System und den eingesetzten emissionsmindernden Techniken abhängig². Entstehen auf einer Stufe weniger Emissionen, beispielsweise aufgrund der Umsetzung von emissionsreduzierenden Massnahmen, steigt der TAN-Input und, bei gleich grosser Emissionsrate vor und nach Umsetzung der Massnahmen, die Emission auf den nachfolgenden Stufen an. Die Wirksamkeit einer emissionsmindernden Massnahme wird dadurch auf das ganze System bezogen leicht reduziert.

Im Pflanzenbau geht ein gewisser Anteil des mit Mineral- bzw. Recyclingdünger ausgebrachten Stickstoffs als Ammoniak verloren. Die Emissionsrate wird unter Berücksichtigung der Düngerart in Prozent der Menge des ausgebrachten Gesamtstickstoffs ausgedrückt.

Als Ergebnis der Modellrechnung resultieren der Fluss von Gesamtstickstoff (N_{tot}) und TAN in kg N pro Jahr sowie die Ammoniakemissionen in kg NH₃-N pro Jahr.

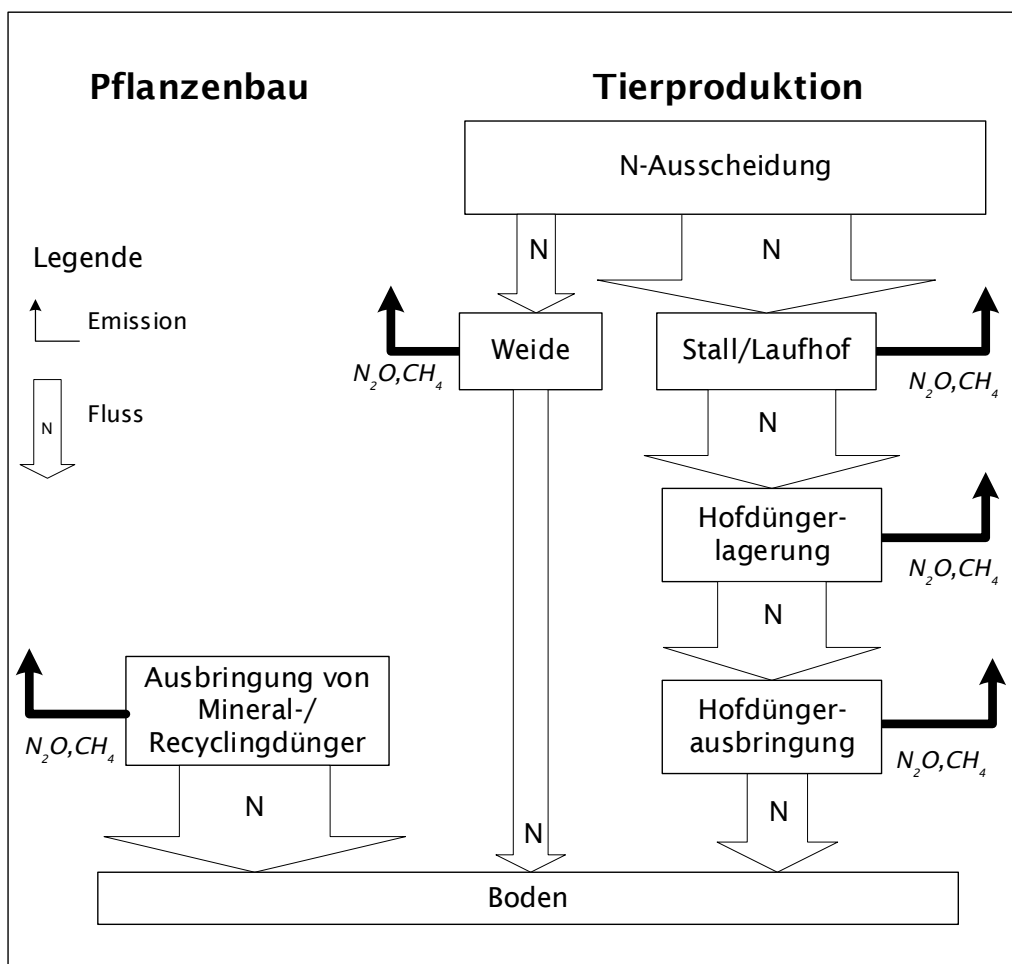


Abbildung 1: Darstellung des Stickstoffflussmodells, das dem Model Agrammon hinterlegt ist.

² Die NH₃-Emissionen hängen im Einzelnen ab von (i) der N-Menge im System, (ii) den phys./chem. Bedingungen für die Ammoniakfreisetzung an der emittierenden Oberfläche (Wirkung von Urease, Temperatur, pH), (iii) der Grösse der emittierenden Oberfläche, (iv) dem Luftaustausch über der emittierenden Oberfläche. So wird beispielsweise einem Anbindestall eine tiefere Emissionsrate zugeordnet im Vergleich zu einem Laufstall.

Die Emissionen wurden auf die Kantone BL und BS verteilt. Die Betriebe mit den Postleitzahlen 40XX sowie 4125 Riehen und 4126 Bettingen wurden dem Kt. BS zugeteilt. Kanton BL wurden 41XX bis 44XX sowie 2814 Roggenburg zugeordnet.

2.1.2 Verwendete Modellversion von Agrammon

Die neue Version von Agrammon 6.2.1 generiert zusätzlich die Emissionen von N₂O aus Stall/Laufhof sowie aus der Lagerung und der Ausbringung von Hofdüngern. Die Berechnung der THG-Emissionen aus den weiteren Quellen basiert auf FOEN (2021).

Das neue Modell Agrammon weist gegenüber der früheren Version 4.0, welche für die Emissionsrechnung Kantone BL und BS von 2015 verwendet wurde (Kupper, T., Bonjour, C. 2016), die folgenden Änderungen auf:

- N-Ausscheidung einzelner Nutztierkategorien sowie Änderung Anteil von TAN in den Ausscheidungen von Rindvieh (Milchkühe und übriges Rindvieh)
- Verluste von N durch Lachgas (N₂O), Stickstoffmonoxid (NO) und elementaren Stickstoff (N₂) werden neu zur Korrektur des N-Flusses verwendet
- Emissionsraten mineralische N-Dünger: Anwendung differenzierter Emissionsraten nach Düngertyp
- Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Pflanzenbeständen werden neu nicht mehr berücksichtigt

Diese Änderungen waren bereits in der Version 5.1.4 implementiert und in die Version 6.0.1 übernommen. Die Version 6.0.1 weist gegenüber der Version 5.1.4 weitere Anpassungen auf, die jedoch nur zu kleinen Änderungen der Resultate führen (Kupper et al., 2022). Für das nationale Inventar führte die Modelländerung von 4.0 zu 5.1.4 zu einer Differenz von 12% (Kupper et al., 2018). Für die Emissionsrechnung Kantone BL und BS ist mit einer ähnlichen Differenz zu rechnen.

2.2 Datengrundlage zur Produktionstechnik für die einzelbetriebliche Emissionsrechnung

2.2.1 Tierzahlen

Die einzelbetriebliche Berechnung der Emissionen erfolge auf der Grundlage der Daten zu den Tierzahlen und verfügbaren Informationen zur landwirtschaftlichen Produktionstechnik, welche Stallssysteme, Güllelager (Volumen und Art der Abdeckung) und Gülleausbringung mit emissionsmindernden Verfahren sowie die Beteiligung an den BTS- bzw. RAUS Programmen beinhalten. Soweit nicht anders angegeben, wurden die Daten vom Lufthygieneamt beider Basel, Abteilung Industrie und Gewerbe geliefert.

Die Tierzahlen der verschiedenen Nutztierkategorien wurden entsprechend der Kategorien des Bundesamts für Statistik (BFS) geliefert. Die Transformation in die Tierkategorien zur Berechnung von Ammoniakemissionen mittels Modell Agrammon gemäss Tabelle 1 ist in Kupper et al. (2021) aufgeführt. Die resultierenden Tierzahlen sind in Anhang 1 enthalten.

2.2.2 Produktionstechnik

2.2.2.1 Stallssysteme

Für Rindvieh erfolgte die Transformation der vom Lufthygieneamt beider Basel gelieferten Stallsystemkategorien in die in Agrammon implementierten Kategorien „Anbindestall mit Produktion von Vollgülle, Anbindestall mit Produktion von Gülle und Mist, Laufstall mit Produktion von Vollgülle, Laufstall mit Produktion von Gülle und Mist“. Die als Laufställe angegebenen Systeme wurden in einem ersten Schritt als Laufställe in die Modellrechnung übernommen. Daraus resultierte jedoch ein sehr niedriger Anteil an Laufställen, der nicht der heutigen Verteilung von Stallssystemen entsprechen kann. Daher wurde jeder Tierkategorie eines Betriebs, die für BTS-Beiträge angemeldet war, ein Laufstall zugeordnet, unabhängig von der Angabe des Stallsystems gemäss Lufthygieneamt beider Basel. Zudem war je nach Tierkategorie für 8% bis 63% der Tiere kein Stallsystem definiert. Die Zuordnung dieser nicht definierten Stallssysteme, erfolgte so, dass die resultierende relative Verteilung ungefähr derjenigen

gemäss Daten der Zusatzerhebung des BFS von 2013 entsprach. Weil die Kategorie „Laufstall mit Tiefstreu oder Tretmist“, welche bei Mutterkühen, Aufzuchtrindern und vor allem bei Masttieren (Rindviehmast) und Mastkälbern häufig angewendet werden, in beiden späteren Datensätzen nicht vorkam, wurde sie bei diesen weggelassen. Das Vorgehen zur Zuordnung der Stallsysteme ist in der Tabelle 2 beschrieben.

Tabelle 1: Tierkategorien zur Berechnung von Ammoniakemissionen mittels Modell Agrammon.

Rindvieh Milchkühe* Aufzuchtrinder unter 1-jährig Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig Aufzuchtrinder über 2-jährig Masttiere (Rindviehmast) Mastkälber Mutterkühe Mutterkuhkälber	Schweine Säugende Sauen* Galtsauen Ferkel abgesetzt bis 25 kg Eber Mastschweine	Geflügel Legehennen Junghennen Mastpoulets Masttruten Anderes Geflügel
Pferde und übrige Equiden Pferde über 3-jährig Pferde unter 3-jährig Maultiere und Maulesel, Ponys, Kleinpferde und Esel jeden Alters	Kleinwiederkäuer Schafe** Milchschafe** Ziegen**	

* Saugferkel sind bei den säugenden Sauen eingeschlossen und werden nicht separat modelliert

** Nur Muttertiere; männliche Tiere und Aufzucht sind eingeschlossen

Für Schweine erfolgte eine Unterteilung in die Kategorien „Konventioneller Stall ohne Auslauf“ und „Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf“. Das Kriterium zur Unterscheidung zwischen den beiden Systemen war, wo vorhanden, die Teilnahme am RAUS Programm. Die wenig wichtigen Kategorien Tiefstrestall und Weidehaltung wurden weggelassen. Das Vorgehen zur Zuordnung der Stallsysteme ist in der Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 2: Transformation der vom Lufthygieneamt beider Basel gelieferten Stallsysteme in die in Agrammon implementierten Kategorien für Rindvieh.

	System Lufthygieneamt beider Basel	BTS*	System Agrammon
Alle Rindviehkategorien	Rindvieh - Laufstallmist und Vollgülle (10-40% eingestreut)	ja	Laufstall Vollgülle
		nein	Laufstall Vollgülle
	Rindvieh - Laufstallmist und Vollgülle (40-60% eingestreut)	ja	Laufstall Gülle und Mist
		nein	Laufstall Gülle und Mist
	Rindvieh - Laufstallmist und wenig Gülle (60-90% eingestreut)	ja	Laufstall Gülle und Mist
		nein	Laufstall Gülle und Mist
	Rindvieh - Nur Gülle	ja	Laufstall Vollgülle
		nein	Anbindstall Vollgülle
	Rindvieh - Nur Mist	ja	Laufstall Gülle und Mist
		nein	Anbindstall Gülle und Mist
	undefiniert	ja	Laufstall Gülle und Mist
		nein	Anbindstall Gülle und Mist

*Kriterium: angemeldet beim BTS Programm (ja/nein)

Bei Geflügel erlaubten die Daten des Lufthygieneamtes beider Basel eine eindeutige Zuordnung zu den beiden wichtigsten Kategorien Kotbandentmistung ohne Belüftungstrocknung und Bodenhaltung/Kotgrube bei Jung- und Legehennen. Für etliche Betriebe mit kleinen Beständen von weniger als 500 Tieren war ebenfalls Kotbandentmistung als Stallsystem ausgewiesen, was in der Praxis jedoch nicht

vorkommt. Daher wurde hier ein Mindestwert von 500 Tieren gesetzt. Um wiederum eine der Zusatzerhebung des BFS von 2013 ähnliche relative Verteilung zu erhalten, wurden die nicht definierten Systeme und Systeme Kot (Bodenhaltung/Kotband) mit mehr als 500 Tieren sowie die Systeme Kot (Bodenhaltung/Kotgrube) mit mehr als 1000 Tieren dem System Kotbandentmischung ohne Belüftungstrocknung zugeordnet. Bei den übrigen Geflügelkategorien kommt nur das System Bodenhaltung vor. Eine Anmeldung beim RAUS Programm erlaubte die Zuordnung von Zugang zu einer Weide. Das Vorgehen zur Zuordnung der Stallsysteme ist in der Tabelle 4 beschrieben.

Tabelle 3: Transformation der vom Lufthygieneamt beider Basel gelieferten Stallsysteme in die in Agrammon implementierten Kategorien für Schweine

Alle Schweine-Kategorien	System Lufthygieneamt beider Basel	RAUS *	System Agrammon
	Schweine - nur Gülle	ja	Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf
		nein	Konventioneller Stall ohne Auslauf
	undefiniert	ja	Labelstall mit Mehrflächenbucht und Auslauf
		nein	Konventioneller Stall ohne Auslauf

* Kriterium: angemeldet bei RAUS Programm (ja/nein)

2.2.2.2 Güllelager

Für das Lagervolumen der Gülle waren die beiden Kategorien gedeckt und ungedeckt verfügbar. Für 14% des Lagervolumens waren keine Angaben verfügbar. Für diese Lager wurde eine feste Abdeckung gewählt.

Tabelle 4: Transformation der vom Lufthygieneamt beider Basel gelieferten Stallsysteme in die in Agrammon implementierten Kategorien für Geflügel.

	System Lufthygieneamt beider Basel	Tierzahl	System Agrammon
Legehennen Jungghennen	Geflügel - Kot (Bodenhaltung/Kotband)	>500	Kotbandentmischung ohne Belüftungstrocknung
		≤500	Bodenhaltung
	Geflügel - Kot (Bodenhaltung/Kotgrube)	>1000	Kotbandentmischung ohne Belüftungstrocknung
		≤1000	Bodenhaltung
	undefiniert	>500	Kotbandentmischung ohne Belüftungstrocknung
		≤500	Bodenhaltung
Übrige-Kat.*	Geflügel - Mist (Tiefstreue/Kotgrube)	-	Bodenhaltung
	undefiniert	-	Bodenhaltung

* Alle übrigen Geflügelkategorien

2.2.2.3 Ausbringung Gülle

Für die Zuordnung der Techniken für die Ausbringung von Gülle war die mittels Schleppschauchverteiler pro Betrieb begüllte Fläche verfügbar. Diese wurde durch die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) dividiert. Der so resultierende Anteil des Schleppschauchverteilers lag mit rund 15% der ausgebrachten Gülle jedoch deutlich zu tief. Daher wurde angenommen, dass alle Betriebe, welche einen Schleppschauch einsetzen, die gesamte Güllemenge mit dieser Technik ausbringen.

2.2.2.4 Mineralische N-Dünger und Recyclingdünger

Die Emissionen der mineralischen N-Dünger basiert auf den gesamtschweizerischen Emissionen, die aus der Verwendungsmenge und den Emissionsraten je Düngertyp hergeleitet wurden (Kupper et al., 2022). Für die Umrechnung der Emissionen auf die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt wurden die gesamtschweizerischen Verwendungsmengen mit dem Quotienten der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt und der gesamtschweizerischen LN multipliziert. Die Grundlagen dazu sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der Schweiz und der Kantone Basel-Landschaft (BL) und Basel-Stadt (BS) sowie die Anteile der Kantone BL und BS am Total der LN der Schweiz für 2008, 2015 und 2021 (Quelle: BFS, 2021).

	2008	2015	2021
	ha LN		
Schweiz	1'060'243	1'049'725	1'044'034
Kanton BL	21'782	21'621	21'436
Kanton BS	414	428	423
Kanton BL/BS	22'196	22'049	21'859
	Anteil in Prozent		
Kanton BL	2.05%	2.06%	2.05%
Kanton BS	0.039%	0.041%	0.041%
Kanton BL/BS	2.09%	2.10%	2.09%

Tabelle 6 zeigt die geschätzten verbrauchten Mengen von mineral. N-Düngern in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt. Bei der Ausbringung von mineral. N-Düngern gelten unterschiedliche Emissionsrate je nach pH-Wert des Bodens (EEA, 2019). Dabei wurde ein mittlerer Wert angenommen. Dieser impliziert einen Anteil an Böden mit normalem bzw. hohem pH-Wert von 54% und 46%, was dem geschätzten gesamtschweizerischen Mittel entspricht. Als pH-Wert normal gilt ≤ 7.0 und hoch > 7.0 (EEA, 2019).

Tabelle 6: Zolltarifnummern von 2021, Düngertypen, Emissionsraten (ER) der Düngertypen und geschätzte Verwendungsmenge von mineralischen Stickstoffdüngern in den Kantonen in t N pro Jahr (Quellen: Agricura, 2011, 2016, 2021).

Zolltarif-Nr.	Name	ER ^{###}	2008		2015		2021	
			BL	BS	BL	BS	BL	BS
2814.2000.011	Ammoniakgas	2.2%	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
2834.2100.011	Kaliumnitrat	1.9%	2.2	0.0	2.5	0.0	1.4	0.0
3102.1000.011	Harnstoff	13.1%	178	3.4	149	2.9	156	3.1
3102.2100.011	Ammoniumsulfat	10.3%	23	0.4	26	0.5	22	0.4
3102.2900.011	Ammoniumsulfatsalpeter	10.3%	26	0.5	50	1.0	57	1.1
3102.3000.011	Ammoniumnitrat (AN)	1.9%	361	6.9	241	4.8	34	0.7
3102.4000.011	Mischungen AN-Calciumcarbonat	1.0%	320	6.1	252	5.0	375	7.4
3102.5000.011	Natriumnitrat	1.9%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3102.6000.011	Doppelsalze*	10.3%	8.1	0.2	8.4	0.2	5.9	0.1
3102.9010.011	Calciumcyanamid**	13.1%	7.2	0.1	1.6	0.0	6.3	0.1
3102.8000.011	Mischungen Harnstoff/AN	13.1%	0.0	0.0	6.6	0.1	3.1	0.1
3102.9090.013	Andere Stickstoffdüngemittel***	1.2%	37	0.7	38	0.8	74	1.5
3102.9000.011	Calcium-Magnesiumnitrat [#]	1.0%	1.2	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0
3105.2000.011	Mehrnährstoffdünger ^{##}	5.7%	122	2.3	155	3.1	110	2.2
3105.3000.011	Diammoniumorthophosphat	5.7%	21	0.4	11	0.2	15	0.3
3105.4000.011	Monoammoniumorthophosphat	5.7%	1.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
3105.5100.011	Mehrnährstoffdünger NP	5.7%	0.0	0.0	1.9	0.0	23	0.5
	Total		1108	21	943	19	883	17

*, **, ***, ##, ###: beim aufgeführten Düngertyp eingeschlossen sind die folgenden Dünger (Zolltarif-Nr., Name):

* 3102.2900.013, Andere Doppelsalze und Mischungen

** 3102.7000.011, Calciumcyanamid

*** 3105.9000.011, Andere Dünger; 3102.9000.013, Andere Stickstoffdüngemittel

2834.2900.011, Calciummagnesiumnitrat

3105.5900.011, Andere Mehrnährstoffdünger; 3105.9000.013, Andere Dünger und a. Mehrnährstoffdünger
Mehrnährstoffdünger sind in der Regel NPK-Dünger

Mittlere Emissionsrate bei unbekanntem pH-Wert des Bodens (Herleitung: Kupper et al., 2022).

Für die Schätzung der Emissionen aus der Ausbringung von Recyclingdüngern wurden direkt die gesamtschweizerischen Emissionen nach Kupper et al. (2021) verwendet (Tabelle 7: Ammoniakemissionen aus der Anwendung von Recyclingdüngern in t NH₃-N der Schweiz und der Kantone Basel-Landschaft (BL) und Basel-Stadt (BS) (Quelle: Kupper et al., 2022)). Die Herunterskalierung auf die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt erfolgte analog dem Vorgehen bei den mineralischen N-Düngern. Dieses Vorgehen impliziert die Annahme, dass die Anteile der verschiedenen Recyclingdünger (Klärschlamm (nur für 2008 relevant), Kompost, festes und flüssiges Gärgut aus industriell-gewerblichen Anlagen, aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen bzw. Co-Vergärung) in den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt identisch ist mit denjenigen auf gesamtschweizerischer Ebene.

Tabelle 7: Ammoniakemissionen aus der Anwendung von Recyclingdüngern in t NH₃-N der Schweiz und der Kantone Basel-Landschaft (BL) und Basel-Stadt (BS) (Quelle: Kupper et al., 2022).

	2008	2015	2021
	t NH ₃ -N		
Schweiz	370	576	784
Kanton BL	6.4	12	16
Kanton BS	0.1	0.2	0.3

2.2.2.5 Übrige Parameter

Für Parameter, welche nicht verfügbar waren (z.B. Angaben zur Weidedauer, Art und Nutzung der Laufhöfe etc.), wurden Standardwerte eingesetzt. Dabei kamen für die Höhenstufen Tal, Hügel und Berg die entsprechenden Parameter aus dem nationalen Emissionsinventar der geographischen Region Zentral Schweiz, zu der die Kantone BL und BS gehören, zur Anwendung. Soweit die Höhenstufen für einzelne Betriebe nicht verfügbar waren, wurden sie der Hügelregion zugeteilt. Die Werte der Emissionsrechnung BL/BS von 2008 und 2015 wurden aus den vorliegenden Datenbanken übernommen.

2.3 Berechnung der Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgte basierend auf den Kategorien gemäss FOEN (2021) wie aufgeführt in Tabelle 8.

Die Quellen stammen ursprünglich aus dem Leitfaden zur Erstellung von Treibhausgasinventaren (IPCC, 2006). Die Quellen 1 bis 9 lassen sich direkt der Tierproduktion und der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzfläche zuordnen (Quellen 1 und 2: CH₄, Quellen 3 bis 9: N₂O). Die Quellen 10 bis 12 sind indirekte Emissionen. Quelle 10 sind N₂O Emissionen, welche im Boden aufgrund des atmosphärischen Eintrags von N gebildet werden. Die Emissionen der Quelle 11 und 12 implizieren Emissionen aus Oberflächengewässern oder Grundwasser aufgrund des Eintrags von N infolge Auswaschung und oberflächlicher Abschwemmung von N. Die Bildung von Lachgas im terrestrischen und aquatischen Milieu erfolgt aufgrund von Nitrifikation/Denitrifikation.

Für die CH₄-Quellen enterische Fermentation und Stall/Laufhof und Hofdüngerlagerung liegen tierspezifische Emissionsfaktoren vor. Die Emission liess sich so direkt mittels Multiplikation der Tierzahlen und den Emissionsfaktoren berechnen. Die Emissionen von N₂O aus Weide, Stall/ Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung wurden mittels Agrammon generiert. Für die Schätzung der Emissionen der übrigen Kategorien wurden die gesamtschweizerischen Emissionen mit dem Quotienten der LN des Kantons BL bzw. BS und der gesamtschweizerischen LN multipliziert. Die gesamtschweizerischen Emissionen wurden teilweise im Rahmen des vorliegenden Projekts berechnet oder aus dem schweizerischen THG Inventar (FOEN, 2021) übernommen.

Tabelle 8: Berücksichtigte Quellen und Emissionsfaktoren gemäss IPCC (2006) der Treibhausgasemissionen.

	Quellen	Gas	Emissionsfaktor	Begriffe in FOEN (2021)
1.	Enterische Fermentation	CH ₄	Gemäss Anhang 2	Enteric fermentation
2.	Stall/Laufhof und Hofdüngerlagerung	CH ₄	Gemäss Anhang 2	Manure management
3.	Weide, Stall/ Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung	N ₂ O	Gemäss Kupper (2021)	Berechnung basierend auf Agrammon
4.	Mineralische N-Dünger	N ₂ O	0.01 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	Inorganic N fertilisers (kg N ₂ O-N/kg)
5.	Recyclingdünger	N ₂ O	0.01 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	Organic N fertilisers; gemäss FOEN (2021) ist hier auch Hofdünger zur Ausbringung eingeschlossen. Hofdüngerausbringung ist bereits in Ziff. 3 eingeschlossen. Daher sind hier nur Recyclingdünger enthalten.
6.	Ernterückstände	N ₂ O	0.01 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	Crop residue
7.	Mineralisierung/ Immobilisierung von N	N ₂ O	0.01 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	Mineralisation/immobilisation soil organic matter (kg N ₂ O-N/kg)
8.	Bewirtschaftung von organischen Böden	N ₂ O	8 kg N ₂ O-N kg ha ⁻¹	Cultivation of organic soils (nicht berücksichtigt, da keine ackerbauliche Nutzung von organischen Böden vorkommt)
9.	Ausscheidungen der Nutztiere auf Weide	N ₂ O	0.0189 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	Urine and dung deposited by grazing animals (wird hier weggelassen, da bereits in Ziff. 3 eingeschlossen)
10.	Atmosphärische Deposition von N	N ₂ O	0.0256 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	EF4 from atmospheric deposition of N
11.	Auswaschung und Abschwemmung von N aufgrund von Ausbringung Dünger (Hof-, Mineral- Recyclingdünger)	N ₂ O	0.0075kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	EF5 from leaching and run-off of N fert, manure
12.	Auswaschung und Abschwemmung von N aufgrund von Mineralisierung/Immobilisierung von N	N ₂ O	0.0075 kg N ₂ O-N kg N ⁻¹	EF5 from leaching and run-off of N Min./imm. associated with loss/gain of soil organic matter (SOM)

3. Resultate

3.1 Landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen 2008, 2015 und 2021

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt insgesamt für das Jahr 2021 betragen gemäss einzelbetrieblicher Emissionsrechnung 635 t NH₃-N (Tabelle 9). Die Emissionen aus der Tierproduktion lagen bei 576 t NH₃-N, was 91% der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen entspricht. Innerhalb der Tierproduktion wurden vom Rindvieh 463 t NH₃-N emittiert (Tabelle 9). Dies machte 80% der Emissionen der Tierhaltung aus. Die Emissionen aus der Schweine- und Geflügelproduktion, sowie von den übrigen Nutztieren (Pferde und andere Equiden, Kleinwiederkäuer) lagen mit 59 t NH₃-N, 34 t NH₃-N bzw. 22 t NH₃-N deutlich tiefer (Anteil an der Gesamtemission aus der Tierproduktion: 10%, 6% bzw. 3%). Im Vergleich zur gesamten Schweiz liegt der Anteil der Emissionen von Rindvieh in den Kantonen BL/BS etwas höher sowie derjenige der Schweine tiefer. Für Geflügel und die übrigen Nutztiere sind die Emissionsanteile ähnlich wie auf gesamtschweizerischer Ebene (Kupper et al., 2022).

Tabelle 9: Ammoniakemissionen der Emissionsstufen der Tierproduktion sowie aus dem Pflanzenbau der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt 2021 gemäss einzelbetrieblicher Emissionsrechnung. Angabe der Mengen in t NH₃-N pro Jahr und der Anteile der Emissionsstufen am Total der Tierproduktion in Prozent (bei der Summierung gerundeter Zahlen innerhalb der Tabelle können Rundungsdifferenzen auftreten).

	Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen					
	Kt. BL	Kt. BS	Kt. BL/BS	Kt. BL	Kt. BS	Kt. BL/BS
	t NH ₃ -N			% des Totals*		
Weide	21	0.3	21	4%	5%	4%
Stall/Laufhof	214	2.2	216	37%	40%	37%
Hofdüngerlagerung	63	0.8	64	11%	14%	11%
<i>Hofdüngerlagerung Gülle</i>	29	0.2	29	5%	3%	5%
<i>Hofdüngerlagerung Mist</i>	34	0.6	34	6%	11%	6%
Hofdüngerausbringung	272	2.3	275	48%	41%	48%
<i>Hofdüngerausbringung Gülle</i>	229	1.5	231	40%	27%	40%
<i>Hofdüngerausbringung Mist</i>	43	0.8	44	8%	14%	8%
Total Tierproduktion	570	5.5	576	91%	83%	91%
Rindvieh	458	5.1	463	80%	92%	80%
Schweine	59	0.0	59	10%	0%	10%
Geflügel	34	0.2	34	6%	4%	6%
Andere	22	0.3	22	3%	4%	3%
Total Tierproduktion	570	5.5	576	91%	83%	91%
Mineraldünger	42	0.8	43	7%	12%	7%
Recyclingdünger	16	0.3	16	3%	5%	3%
Total Pflanzenbau	58	1.1	59	9%	17%	9%
Total Landwirtschaft	628	6.6	635	100%	100%	100%

* Die Emissionen aus den Stufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung beziehen sich auf das Total der Emissionen aus der Tierproduktion.

Die Emissionen verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Emissionsstufen: 48% der Emissionen stammen aus der Ausbringung von Hofdüngern, 38% von Stall/Laufhof. Die Anteile von Hofdüngerlagerung und Weide betragen ca. 11% bzw. 4%. Die Verteilung ist damit ähnlich oder etwas höher als auf Ebene Schweiz (Kupper et al., 2022). Die Emissionen aus dem Pflanzenbau betragen 59 t NH₃-N (9% der Gesamtemissionen von Ammoniak aus der Landwirtschaft). Von den Emissionen von Mineraldüngern sind rund 50% der Verwendung von Harnstoff zuzuordnen.

Die Emissionen aus dem Kanton BL sind um einen Faktor von etwa 100 höher als diejenigen vom Kanton BS (Tabelle 9). Bei letzterem fällt auf, dass der Anteil aus dem Pflanzenbau rund doppelt so

hoch liegt. Dies ist auf die relativ niedrigen Tierzahlen zurückzuführen. Eine detaillierte Übersicht zu den Emissionen nach Emissionsstufe und Tierkategorien ist in Anhang 3 aufgeführt.

3.2 Entwicklung der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen zwischen 2008 und 2021

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone BL und BS haben zwischen 2008 und 2021 insgesamt um 8% abgenommen (Tabelle 10). Die jährliche Abnahme der Emissionen war grösser in den Jahren nach 2015 als zuvor. Die Emissionen vom Rindvieh verzeichneten einen leichten Rückgang um 14%, da der Gesamtbestand um 9% zurückging. Dies ist vor allem auf die Abnahme der Anzahl Milchkühe um 25% zurückzuführen (Anhang 1), welche pro Tier die weitaus höchsten NH₃-Emissionen verursachten³. Die Anzahl der Mutterkühe hat zwar um rund 50% zugenommen, was aber die Minderemission der Milchkühe nicht kompensierte.

Tabelle 10: Ammoniakemissionen der Emissionsstufen der Tierproduktion sowie aus dem Pflanzenbau der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt 2008, 2015, und 2021. Angabe der Mengen in t NH₃-N pro Jahr und der Anteile der Emissionsstufen am Total der Tierproduktion in Prozent. Die Spalte rechts gibt die prozentuale Differenz der Emissionen von 2021 im Vergleich zu 2008 an (bei der Summierung gerundeter Zahlen innerhalb der Tabelle können Rundungsdifferenzen auftreten).

	Landwirtschaftliche Ammoniakemissionen						Differenz
	2008	2015	2021	2008	2015	2021	2008-2021
	t NH ₃ -N			% des Totals*			%
Weide	22	21	21	3%	3%	4%	-5%
Stall/Laufhof	212	235	216	32%	37%	37%	2%
Hofdüngerlagerung	103	78	64	16%	13%	11%	-38%
Hofdüngerlagerung Gülle	49	43	29	8%	7%	5%	-40%
Hofdüngerlagerung Mist	54	36	34	8%	6%	6%	-36%
Hofdüngerausbringung	309	298	275	48%	47%	48%	-11%
Hofdüngerausbringung Gülle	248	254	231	39%	40%	40%	-7%
Hofdüngerausbringung Mist	61	45	44	10%	7%	8%	-27%
Total Tierproduktion	646	633	576	93%	92%	91%	-11%
Rindvieh	538	523	463	85%	83%	80%	-14%
Schweine	62	60	59	8%	9%	10%	-3%
Geflügel	23	28	34	4%	5%	6%	45%
Andere	23	22	22	3%	3%	3%	-5%
Total Tierproduktion	646	633	576	93%	92%	91%	-11%
Mineraldünger	44	45	43	6%	7%	7%	-2%
Recyclingdünger	6	12	16	1%	2%	3%	156%
Total Pflanzenbau	50	57	59	7%	8%	9%	18%
Total Landwirtschaft	697	690	635	100%	100%	100%	-8%

*Die Emissionen aus den Stufen Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung und -ausbringung beziehen sich auf das Total der Emissionen aus der Tierproduktion.

Die Emissionen aus der Schweineproduktion haben sich nicht geändert, obwohl der Gesamtbestand 6% grösser war im Vergleich zu 2008. Dies ist auf die abnehmenden Emissionen pro Tier zurückzuführen, welche vor allem durch die abnehmende N-Ausscheidung zu erklären ist. Eine starke Zunahme der

³ Emissionen 2021: Milchkühe: 32.7 kg NH₃-N pro Tier und Jahr; Mutterkühe: 22.4 kg NH₃-N pro Tier und Jahr; übrige Rindviehkategorien: 5.7 bis 13.7 kg NH₃-N pro Tier und Jahr.

Emissionen um 45% zeigt die Geflügelproduktion, welche durch den um insgesamt 71% grösseren Bestand verursacht wird. Die stärkste Zunahme (um mehr als 2 Grössenordnungen) erfolgte bei den Mastpoulets, Masttruten und dem übrigen Geflügel. Die Bestände der Pferde und anderen Equiden sowie der Kleinwiederkäuer stiegen um 13% an bzw. haben um 20% abgenommen. Die Emissionen beider Kategorien lagen 2021 niedriger als 2008. Bei den Pferden und anderen Equiden hat nur die Anzahl von Ponys, Kleinpferden und Eseln zugenommen, diejenige der Pferde abgenommen. Da die letzteren rund doppelt so hohe Emissionen verursachen als die kleineren Equiden haben die Emissionen insgesamt abgenommen. Die Ursache der abnehmenden Emissionen der Kleinwiederkäuer ist die Abnahme der Tierzahlen.

Die Entwicklung der Emissionen stimmt damit weitgehend mit dem gesamtschweizerischen Trend überein, wobei die Zunahme beim Geflügel in den Kantonen BL/BS vergleichsweise stärker ausfallen.

Die Emissionen aus der Weide haben um 5% abgenommen, wogegen die Emissionen aus dem Stall/Laufhof um 2% zugenommen haben. Die höheren Emissionen 2008 aus der Lagerung von Gülle sind auf ein grösseres Volumen von ungedecktem Lagervolumen zurückzuführen (2008: 35'080 m³; 2021: 2'746 m³)⁴. Die tieferen Emissionen aus der Ausbringung von Gülle (-11%) von 2021 gegenüber 2008 konnten der zunehmenden Verwendung des Schleppschlauchs zugeordnet werden. Ursache für die wesentlich niedrigeren Emissionen aus Lagerung und Ausbringung von Mist im Jahr 2021 ist der niedrigere Anteil von Stallsystemen, welche Mist produzieren, und des damit einhergehenden tieferen TAN-Flusses in Mist.

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone BL und BS für 2008 und 2015 lagen gemäss Kupper und Bonjour (2016) bei 808 und 767 t NH₃-N. Im Vergleich dazu betragen die hier berechneten Emissionen 697 und 690 t NH₃-N (Differenzen 14%, 2008 und 10%, 2015). Die Verwendung unterschiedlicher Modellversionen führen somit wie erwartet zu prozentual entsprechend tieferen Emissionen bei Verwendung der aktuellen Version von Agrammon (vgl. Kap. 2.1.2).

3.3 Landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen

Tabelle 11 zeigt die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt. Das Total beträgt ca. 94'000 t CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.). Rund 99% davon stammen aus dem Kanton Basel-Landschaft. Die Anteile von CH₄ und N₂O betragen rund zwei Drittel bzw. ein Drittel der gesamten CO₂-eq., was in etwa mit den gesamtschweizerischen Anteilen übereinstimmt (FOEN, 2021). Die enterische Fermentation macht bei CH₄ einen Anteil von 85% aus. Bei N₂O tragen die direkt der Landwirtschaft zuteilbaren Emissionen (Quellen 3 bis 7, Tabelle 11), rund zwei Drittel zum Total der landwirtschaftlichen N₂O Emissionen bei. Die indirekten Emissionen (Quellen 10 bis 12, Tabelle 11) machen einen Anteil von rund einem Drittel aus.

Die N₂O Emissionen aus Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlager, -ausbringung (Quelle 3) machen den grössten Anteil des Totals der N₂O Emissionen aus (rund 12% Anteil am total der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen). Die Beiträge von mineralischen N-Düngern, Recyclingdüngern oder Ernterückständen sind um einen Faktor von 2 oder mehr kleiner. Von den indirekten Quellen ist die atmosphärische Deposition mit einem Anteil von bis zu 6% am Total verhältnismässig gross und damit die zweitgrösste Einzelquelle.

Die Verteilung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen unterscheiden sich zwischen den Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt. Beim Kanton Basel-Landschaft beträgt der Anteil von CH₄ 68% bis 69%, wogegen der Anteil aus dem Kanton Basel-Stadt bei rund 58% bis 62% liegt. Dies ist durch die niedrigere Verbreitung der Tierproduktion bedingt.

⁴ Die höheren Emissionen von 2008 sind auch unter Berücksichtigung des totalen Lagervolumen, das 2008 237'736 m³, 2015 284'144 m³, und 2021 330'138 m³ betrug, plausibel. Denn die Emissionen aus einem ungedeckten Lager sind 10-mal höher als aus einem Lager mit fester Abdeckung, welche in 2008 85% des gesamten Lagervolumens ausmachte.

Die zeitliche Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen zeigt zwischen 2008 und 2021 einen schwach abnehmenden Trend. Bis 2015 blieben die Emissionen praktisch gleich. Im Jahr 2021 resultierte eine Abnahme um 5% im Vergleich zum Jahr 2008. Ein ähnlich schwach abnehmender Trend zeigte sich auch auf nationaler Ebene (FOEN, 2021; Abnahme um 1% bzw. 4% zwischen 2008 und 2015 bzw. 2019). Die Entwicklung der Emissionen aus den unterschiedlichen Quellen unterscheiden sich: bei allen Quellen, die im Zusammenhang mit der Tierproduktion stehen (Quellen, 1,2,3), liegt eine leichte Abnahme von bis zu 9% vor. Ein stärkerer Rückgang von 19% zeigt die Quelle 4 (mineralische N-Dünger). Die Entwicklung ist direkt proportional zur Verwendungsmenge von N-Düngern. Eine starke Zunahme lässt sich bei Quelle 5 (Recyclingdünger) beobachten: die Emissionen haben sich verdoppelt. Die absolute Menge liegt jedoch mit 600 t CO₂-eq. auf tiefem Niveau. Der Anteil am Total ist mit ca. 0.6% im Jahr 2021 entsprechend klein.

Tabelle 11: Die Gesamtemissionen von Treibhausgasen in 1000 t CO₂-Äquivalente. Die berücksichtigten Quellen und Emissionsfaktoren sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Gesamtemissionen von Treibhausgasen in t CH₄ und N₂O sind in Anhang 4 aufgeführt. (bei der Summierung gerundeter Zahlen innerhalb der Tabelle können Rundungsdifferenzen auftreten).

		2008 BL/BS	2015 BL/BS	2021 BL	2021 BS	2021 BL/BS	2021 BL/BS
		1000 t CO ₂ -Äquivalente					Diff.
1. Enterische Fermentation	CH ₄	58	58	55	0.6	56	-4%
2. Stall/Laufhof Hofdüngerlagerung	CH ₄	10	10	9.1	0.1	9.2	-8%
3. Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung,-ausbringung	N ₂ O	13	12	11	0.1	12	-9%
4. Mineralische N-Dünger	N ₂ O	5.2	4.4	4.1	0.1	4.2	-19%
5. Recyclingdünger	N ₂ O	0.3	0.5	0.6	0.0	0.6	100%
6. Ernterückstände	N ₂ O	3.7	3.7	3.6	0.1	3.7	0%
7. Mineralisierung/Immobilisierung von N	N ₂ O	1.3	1.6	1.8	0.0	1.8	38%
10. Atmosphärische Deposition von N	N ₂ O	6.0	5.4	5.2	0.1	5.3	-12%
11. Auswaschung, Abschwemmung N Ausbr. Dünger	N ₂ O	1.8	1.7	1.6	0.0	1.6	-11%
12. Auswaschung, Abschwemmung N Mineral./Immob.	N ₂ O	0.4	1.0	1.4	0.0	1.4	250%
Total	CH ₄	68	68	64	0.7	65	-5%
Total	N ₂ O	31	30	30	0.4	30	-4%
Total CO ₂ -Äquivalente		99	98	94	1.1	95	-5%
		Anteile in Prozent					
1. Enterische Fermentation	CH ₄	58%	60%	59%	53%	59%	
2. Stall/Laufhof Hofdüngerlagerung	CH ₄	10%	10%	9.7%	8.8%	10%	
3. Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung,-ausbringung	N ₂ O	13%	12%	12%	12%	12%	
4. Mineralische N-Dünger	N ₂ O	5.2%	4.5%	4.4%	8.8%	4.4%	
5. Recyclingdünger	N ₂ O	0.3%	0.5%	0.6%	0.0%	0.6%	
6. Ernterückstände	N ₂ O	3.7%	3.8%	3.8%	8.8%	3.9%	
7. Mineralisierung/Immobilisierung von N	N ₂ O	1.3%	1.6%	1.9%	0.0%	1.9%	
10. Atmosphärische Deposition von N	N ₂ O	6.0%	5.5%	5.5%	8.8%	5.6%	
11. Auswaschung, Abschwemmung N Ausbr. Dünger	N ₂ O	1.8%	1.7%	1.7%	0.0%	1.7%	
12. Auswaschung, Abschwemmung N Mineral./Immob.	N ₂ O	0.4%	1.0%	1.5%	0.0%	1.5%	
Total	CH ₄	68%	69%	68%	62%	68%	
Total	N ₂ O	32%	31%	32%	38%	32%	

4. Schlussfolgerungen

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt betragen für das Jahr 2021 gemäss einzelbetrieblicher Emissionsrechnung insgesamt 635 t NH₃-N. Die Emissionen aus der Tierproduktion lagen bei 576 t NH₃-N, was 91% der gesamten landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen entspricht. Innerhalb der Tierproduktion betrug der Anteil von Rindvieh 80% (463 t NH₃-N).

Zwischen 2008 und 2021 haben die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen um rund 8% abgenommen. Die Entwicklung der Emissionen können als plausibel betrachtet werden. Vor allem die tieferen Bestände von Rindvieh generell und v.a. von Milchkühen haben die Abnahme der NH₃-Verluste bewirkt. Das Total der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt beträgt ca. 94'000 t CO₂-eq. Rund 99% davon stammen aus dem Kanton Basel-Landschaft. Die Anteile von CH₄ und N₂O betragen rund zwei Drittel bzw. ein Drittel der gesamten CO₂-eq. Die enterische Fermentation macht bei CH₄ einen Anteil von 85% aus. Bei N₂O tragen die direkt der Landwirtschaft zuteilbaren Emissionen rund zwei Drittel zum Total der landwirtschaftlichen N₂O Emissionen bei. Die Treibhausgasemissionen haben insgesamt zwischen 2008 und 2021 um 5% abgenommen. Sowohl der Trend als auch die Anteile von CH₄ und N₂O an den gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen stimmen in etwa mit den gesamtschweizerischen Emissionen überein.

5. Verdankungen

Wir bedanken uns bei Daniel Bretscher (Agroscope) für die Lieferung von Emissionsfaktoren zur Berechnung der Methanemissionen und für die fachliche Unterstützung und Beratung bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen.

6. Literatur

- BAFU, BLW. 2016. Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Umwelt-Wissen Nr. 1633. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BFS. 2021 STAT-TAB – interaktive Tabellen (BFS), Beschäftigte, Landwirtschaftliche Betriebe, Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und Nutztiere auf Klassifizierungsebene 1 nach Kanton. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, Switzerland. URL: https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000_101/px-x-0702000000_101/px-x-0702000000_101.px (25.11.2021).
- EEA. 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. Luxembourg: European Environment Agency.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R., Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 11-14. Agrarforschung 16, 50-71.
- FOEN. 2021. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2019 National Inventory Report. Federal Office for the Environment FOEN, Climate Division, 3003 Bern, Switzerland.
- Hoesly, R.M., Smith, S.J., Feng, L., Klimont, Z., Janssens-Maenhout, G., Pitkanen, T., Seibert, J.J., Vu, L., Andres, R.J., Bolt, R.M., Bond, T.C., Dawidowski, L., Kholod, N., Kurokawa, J.I., Li, M., Liu, L., Lu, Z., Moura, M.C.P., O'Rourke, P.R., Zhang, Q. 2018. Historical (1750–2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the Community Emissions Data System (CEDS). *Geosci. Model Dev.* 11(1): 369-408.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Kupper, T., Bonjour, C. 2016. Einzelbetriebliche Berechnung der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft der Kantone Basel-Landschaft/Basel-Stadt für das Jahr 2015. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Zollikofen, Bonjour Engineering GmbH, Lostorf, p. 41.
- Kupper, T. 2021. Technische Parameter Modell Agrammon (Stand 2021) (<http://www.agrammon.ch/dokumente-zum-download/>). Berner Fachhochschule. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.
- Kupper, T., Bonjour, C., Menzi, H., Bretscher, D., Zaucker, F. 2018. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2015 URL: <http://www.agrammon.ch/dokumente-zum-download/>. Berner Fachhochschule. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.
- Kupper, T., Häni, C., Bretscher, D., Zaucker, F. 2022. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2020. Berner Fachhochschule. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen. URL: <http://www.agrammon.ch/dokumente-zum-download/>.
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman J.W., Bealey J.W., Billen G., Bleeker, A., Bouwman A., Grennfelt, G., van Grinsven, H. & Grizzetti G. 2011. The challenge to integrate nitrogen science and policies. In: Sutton, M. A., Howard, C. M., Erisman, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., Grizzetti, B., (eds.). *The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives.* Cambridge Cambridge University Press. pp 82-96.

Anhang 1**Tierzahlen und landwirtschaftliche Nutzfläche 2021, 2015 und 2008**

Anzahl Betriebe, Tierzahlen und landwirtschaftliche Nutzfläche (LN in ha) gemäss Lufthygieneamt bei der Basel sowie Verbrauch von mineralischen N-Düngern der landwirtschaftlichen Betriebe der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt total und einzeln für die beiden Kantone. Spalte rechts: Änderung in Prozent zwischen 2008 und 2015.

		2021			2015			2008	Δ 2008 2021
		total	BL	BS	total	BL	BS	total	
Betriebe*		738	731	7	773	764	9	806	-8%
Rindvieh	Milchkühe	7924	7885	39	9352	9314	38	10552	-25%
	Aufzuchtrinder unter 1-jährig	4688	4613	75	5140	5075	65	3589	31%
	Aufzuchtrinder 1-bis 2-jährig	3842	3815	27	3847	3826	21	3537	9%
	Aufzuchtrinder über 2-jährig	1392	1380	12	1676	1661	15	1568	-11%
	Mutter- /Ammenkühe	3666	3549	117	3211	3081	130	2436	50%
	Mutterkuhkälber	779	779		0	2060		1949	-60%
	Masttiere (Rindviehmast)	1345	1327	18	2089	2752	29	2374	-43%
	Mastkälber	1912	1882	30	2793	1361	41	1973	-3%
Schweine	Galtsauen	1514	1514	0	1361	1361	0	1572	-4%
	Säugende Sauen	155	155	0	187	187	0	208	-25%
	Ferkel abgesetzt (bis 25 kg)	1823	1823	0	2120	2120	0	2110	-14%
	Eber	20	20	0	22	22	0	35	-43%
	Mastschweine	8355	8355	0	7996	7838	158	7282	15%
Geflügel	Junghennen	4833	4833	0	4544	85759	0	3536	37%
	Legehennen	102344	101774	570	86079	30538	320	70223	46%
	Mastpoulets	52145	52145	0	30538	360	0	19403	169%
	Masttruten	392	392	0	360	273	0	86	356%
	Anderes Geflügel	525	523	2	273	1403	0	237	122%
Pferde und andere Equiden	Pferde über 3-jährig	1290	1290	0	1425	76	22	1382	-7%
	Pferde unter 3-jährig	43	43	0	76	369	0	150	-71%
	Maultiere/Maulesel, Ponies, Kleinpferde und Esel	781	781	0	376	3155	7	342	128%
Klein- wieder- käufer	Schafe	2610	2610	0	3165	108	10	3439	-24%
	Milchschafe	135	135	0	108	475	0	188	-28%
	Ziegen	490	462	28	482	9314	7	362	35%

*Als Betriebe wurden gezählt: Betriebe, die Tiere gemäss den oben aufgeführten Kategorien oder LN aufweisen.

Anhang 2**Emissionsfaktoren für Methan in kg CH₄ pro Tier und Jahr**

	2008	2015	2021	2008	2015	2021
	Enterische Fermentation			Stall/Laufhof und Hofdüngerlagerung		
Milchkühe	133	137	137	22	23	23
Aufzuchtrinder unter 1-jährig	30	30	30	2.7	3.0	3.0
Aufzuchtrinder 1 bis 2-jährig	61	61	61	6.3	7.1	6.9
Aufzuchtrinder über 2-jährig	61	61	61	6.3	7.1	6.9
Mutter- /Ammenkühe	107	107	107	12	13	13
Mutterkuhkälber	16	16	16	1.7	1.8	1.8
Masttiere (Rindviehmast)	43	43	43	7.8	8.0	7.8
Mastkälber						
Galtsauen						
Säugende Sauen						
Ferkel abgesetzt (bis 25 kg)						
Eber						
Mastschweine	1.0	1.0	1.0	4.43	4.28	4.00
Junghennen						
Legehennen						
Mastpoulets						
Masttruten						
Anderes Geflügel	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Pferde über 3-jährig						
Pferde unter 3-jährig	17	17	17	2.7	2.7	2.7
Maultiere/Maulesel, Ponys, Kleinpferde und Esel	6.3	6.4	6.2	1.3	1.3	1.3
Schafe						
Milchschafe	8.4	8.7	9.1	1.2	1.2	1.2
Ziegen	9.9	10.0	9.9	1.2	1.2	1.2

*gleicher Emissionsfaktor für alle Tierarten der entsprechen Tierkategorie

Anhang 3**Gesamtemissionen und TAN-Flüsse aufgelöst nach den Emissionsstufen für die einzelnen Tierkategorien 2021 sowie Total für 2015 und 2008**

Tierkategorie	Emission (t NH ₃ -N/Jahr)							Fluss TAN (t N/Jahr)						
	Weide	Stall/ Laufhof	Lager Gülle	Lager Mist	Ausbrin- gung Gülle	Ausbrin- gung Mist	Total	Ausschei- dung	Weide	Stall/ Laufhof	Lager Gülle	Lager Mist	Ausbrin- gung Gülle	Ausbrin- gung Mist
Milchkühe	6.6	87.0	14.2	7.3	134	10.0	259	488	78.4	410	291	24.3	291	15.6
Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig	1.3	12.2	1.7	3.2	10.8	4.4	33.4	64.5	14.5	49.9	23.7	10.6	23.2	6.8
Aufzuchtrinder über 2-jährig	2.5	13.4	2.4	2.0	14.8	2.8	37.9	84.5	29.8	54.7	32.3	6.8	31.6	4.4
Aufzuchtrinder 1- bis 2-jährig	1.1	5.2	1.4	1.3	8.3	1.8	19.0	42.1	12.9	29.2	18.3	4.3	17.8	2.8
Mutterkühe	4.2	30.6	5.5	3.4	31.4	4.6	79.7	165	51.0	115	69.5	11.2	67.7	7.1
Mutterkuhkälber	0.5	2.7	0.3	0.6	2.1	0.8	6.9	14.9	4.9	10.0	4.6	2.0	4.6	1.3
Masttiere	0.2	3.2	1.1	1.9	6.5	2.6	15.4	28.1	1.9	26.2	14.7	6.2	14.3	4.1
Mastkälber	0.0	3.5	0.5	1.5	3.9	2.0	11.5	18.9	0.1	18.8	8.7	5.0	8.6	3.2
Säugende Sauen	0.0	12.0	0.7	0.0	4.3	0.0	17.0	26.3	0.0	26.3	14.3	0.0	13.8	0.0
Galtsauen	0.0	1.1	0.1	0.0	1.0	0.0	2.2	4.3	0.0	4.3	3.3	0.0	3.2	0.0
Ferkel abgesetzt (bis 25 kg)	0.0	1.0	0.1	0.0	1.0	0.0	2.1	4.2	0.0	4.2	3.2	0.0	3.1	0.0
Eber	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0
Mastschweine und Remonten	0.0	22.8	1.7	0.0	13.2	0.0	37.7	64.3	0.0	64.3	41.6	0.0	40.4	0.0
Junghennen	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.5	0.9	0.0	0.9	0.0	1.3	0.0	0.5
Legehennen	2.9	9.7	0.0	7.0	0.0	8.0	27.6	49.1	4.2	44.9	0.0	67.5	0.0	26.2
Mastpoulets	0.0	2.3	0.0	0.7	0.0	2.4	5.4	11.3	0.0	11.3	0.0	17.4	0.0	7.8
Masttruten	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2
Übriges Geflügel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1
Pferde über 3-jährig	0.6	4.9	0.0	3.0	0.0	2.4	10.9	22.9	4.8	18.1	0.0	9.9	0.0	4.2
Pferde unter 3-jährig	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.7	0.3	0.5	0.0	0.3	0.0	0.1
Ponys, Kleinpferde, Esel, M.	0.1	1.2	0.0	0.7	0.0	0.6	2.6	5.1	0.6	4.5	0.0	2.5	0.0	1.1
Schafe	0.9	3.0	0.0	1.2	0.0	0.9	6.0	15.7	7.4	8.3	0.0	4.0	0.0	1.5
Milchschafe	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	1.1	0.3	0.8	0.0	0.4	0.0	0.2
Ziegen	0.1	0.8	0.0	0.3	0.0	0.2	1.5	3.3	1.1	2.2	0.0	1.1	0.0	0.4
Total 2021	21.1	216	29.6	34.4	231	44.0	576	1113	211	902	523	175	519	87.4
Total 2015	21.0	232	41.6	35.1	252	43.6	625	1187	216	972	580	163	565	83.2
Total 2008	22.0	212	49.4	53.8	248	60.6	646	1209	233	968	530	213	503	105

Anhang 4**Gesamtemissionen der Treibhausgasemissionen**

		2008 BL/BS	2015 BL	2015 BS	2021 BL	2021 BS
		t CH ₄ oder t N ₂ O				
1. Enterische Fermentation	CH ₄	2302	2330	20	2183	25
2. Stall/Laufhof Hofdüngerlagerung	CH ₄	388	386	3.5	365	3.4
3. Weide, Stall/Laufhof, Hofdüngerlagerung,-ausbringung	N ₂ O	43	41	0.5	38	0.4
4. Mineralische N-Dünger	N ₂ O	18	15	0.3	14	0.3
5. Recyclingdünger	N ₂ O	1	1.6	0.0	2.1	0.0
6. Ernterückstände	N ₂ O	13	12	0.2	12.2	0.2
7. Mineralisierung/Immobilisierung von N	N ₂ O	4.4	5.5	0.1	6.1	0.1
10. Atmosphärische Deposition von N	N ₂ O	21	18	0.4	17	0.3
11. Auswaschung, Abschwemmung N Ausbr. Dünger	N ₂ O	6.2	5.6	0.1	5.4	0.1
12. Auswaschung, Abschwemmung N Mineral./Immob.	N ₂ O	1.2	3.3	0.1	4.6	0.1
Total	CH ₄	2690	2716	24	2548	28
Total	N ₂ O	108	102	1.7	99	1.5