

Maßnahmen zur Emissionsreduktion im Rahmen der Düngeverordnung und der Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft in Deutschland

– Wirkungsweisen und Erfahrungen

Andreas Pacholski + Bernhard Osterburg
Thünen Institut (für Agrarklimaschutz)

Gabriele Borghardt
Umweltbundesamt (UBA)

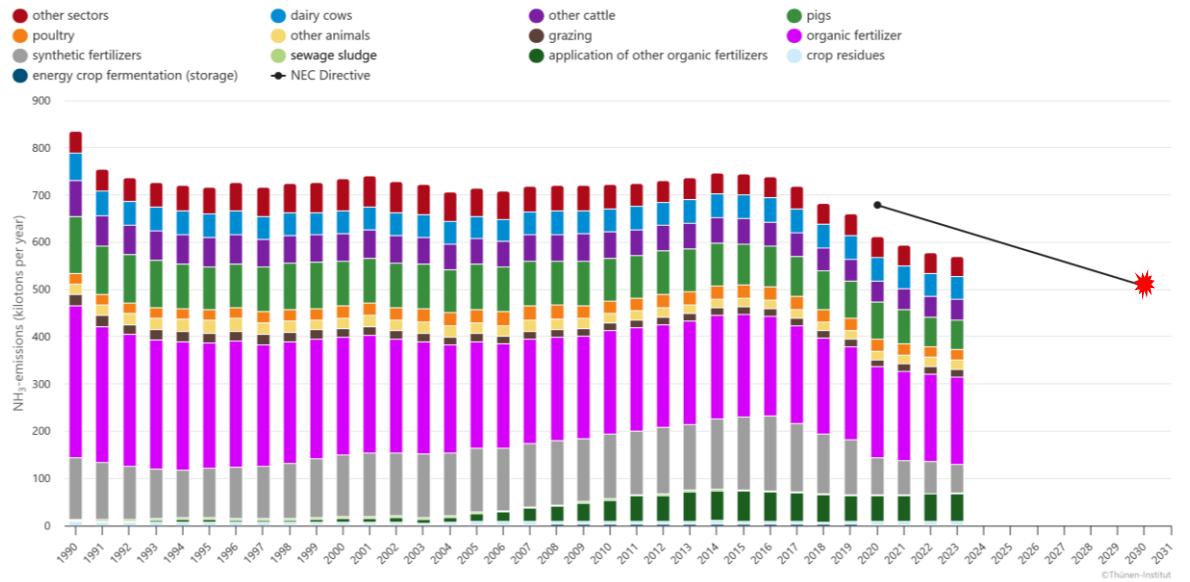


Agenda

- Notwendigkeit zur Reduktion von Ammoniakemissionen in Deutschland
- Regulatorische Rahmenbedingungen für die Ammoniakemissionsreduzierung in Deutschland
- Maßnahmen zur Reduzierung
 - Tierställe und Lagerhallen
 - Einsatz von organischen Düngemitteln und Mineraldüngemitteln
- Wirkung der Maßnahmen
- Schlussfolgerungen

Erfordernisse zur Reduktion von Ammoniakemissionen

Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland



Auswirkungen von NH₃-Emissionen auf die Luftqualität (PM 2,5) und die Integrität der Ökosysteme (Versauerung, Eutrophierung)

- 95% der NH₃-Emissionen stammen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten
- Ca. 50% Tierunterbringung und Lagern
- Ca. 40% aus organischen Düngemitteln, Weideexkrementen und der Anwendung von Gärresten
- Ca. 10% aus Mineraldüngemitteln, überwiegend auf Harnstoff basierenden Düngemitteln

NEC-Richtlinie: 29% Reduktion bis 2030
(Basisjahr 2005)

- Quelle: Thünen & UBA, Emissionsbericht 2025

Regulatorische Umsetzung von NH₃-Reduzierungsmaßnahmen

Technische Anleitung Luft und Düngeverordnung



Biogas plant in Lower Saxony (source: Pacholski)

Reduzierung von Ammoniakemissionen aus Tierställen, Güllelagern und Biogasanlagen

- TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)
- PREVENTION (Nr. 5.4.7.1. besondere Vorschriften für Tierhaltungsbetriebe)

Reduzierung von Ammoniakemissionen durch Düngemittelanwendung

- Deutsche Düngemittelverordnung (Düngeverordnung) im Rahmen der NEC-Richtlinie und der Wasserrahmenrichtlinie
- Regelungen zur Lagerung organischer Dünger

Anlagenbezogen Luftreinhaltung (Punktquellen)

Reduktion von NH₃-Emissionen: Ställe, Lagerung
organischer Dünger, Produktionsanlagen



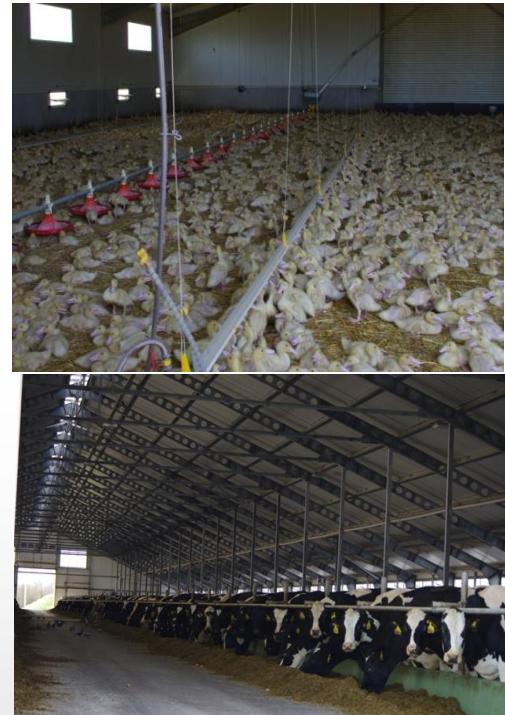
Koordinierte NH₃-Minderungsmaßnahmen im deutschen Luftreinhalteprogramm (NEC-D.)

Maßnahme	Jahr der Umsetzung	Direkte oder indirekte Reduktion
TA LUFT		
Neubau große Tierhaltungsanlagen (G-Anlagen) Schweine + Geflügel nur mit NH ₃ -Abgasreinigung (70% Reduktion); mittelgroße Tierhaltungsanlagen (V-Anlagen) mindestens 40% Reduktion	2021	Direkt
Nachrüstung alter Stallanlagen mit geeigneter NH ₃ -Reduktionstechnologie bis 2026 (G-Anlagen) oder 2029 (V-Anlagen)	2026-2029	Direkt
Protein-optimierte Fütterung von Schweinen und Geflügel zur Reduktion von NH ₃ -Emissionen um 20%	2024	Direkt
Reduktion von Ammoniakemissionen aus Außengüllelagern um 90% (neue Anlagen) oder 85% (alte Anlagen, Verbesserung bis 2029) im Vergleich zu offenen Lagertanks	2029	Direkt

Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Verwaltungsvorschrift, die Standards festlegt, die für Behörden verbindlich sind

- Grundlage für über 50.000 Anlagen, die eine Genehmigung benötigen
- Über 3.000 Tierhaltungsbetriebe in Deutschland
- Schutz der menschlichen Gesundheit vor negativen Umweltauswirkungen (Kapitel 4)
- Vorschriften (Kapitel 5; 5.4.7.1. besondere Vorschriften für Tierhaltungsbetriebe)
- Anpassung an den Stand der Technik
- Umsetzung von Best Available Techniques (BAT) zur Reduzierung von Luftschadstoffemissionen (z.B. Ammoniak, Geruch, Feinstaub)



source: Borghardt

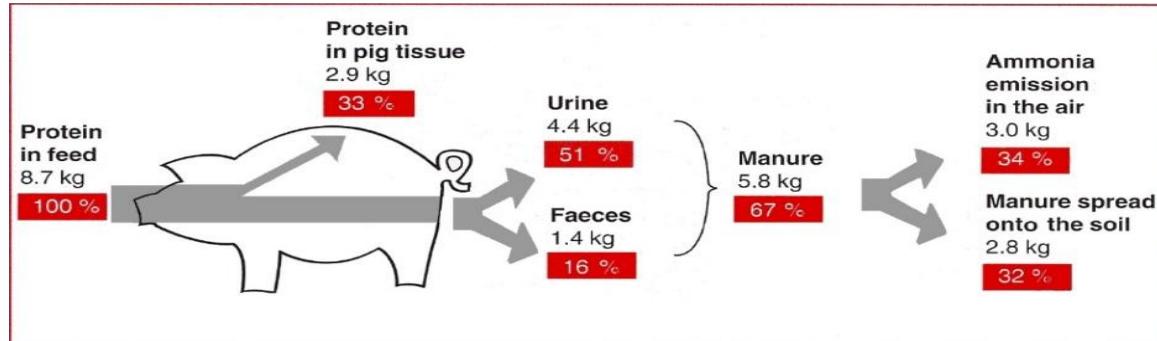
BAT Implementierung – Emissionswerte in Stallgebäuden

- (1) 20% Reduzierung von Ammoniak durch N-anangepasste Fütterung;
- (2) 70% Reduzierung von Ammoniak durch Abluftreinigung (IED-Anlagen für Schweine und Geflügel);
- (3) 40% Reduzierung von Ammoniak durch systemintegrierte Maßnahmen;
- (4) 33% Reduzierung von Ammoniak in natürlicher Belüftung (höheres Tierwohl)

Referenz: Zwangsbelüftete Anlagen mit vollständig geschlitztem Boden, Tiefstall und N-reduzierter Fütterung



Multi-Phasen Fütterung zur Reduktion von NH₃ Emissionen



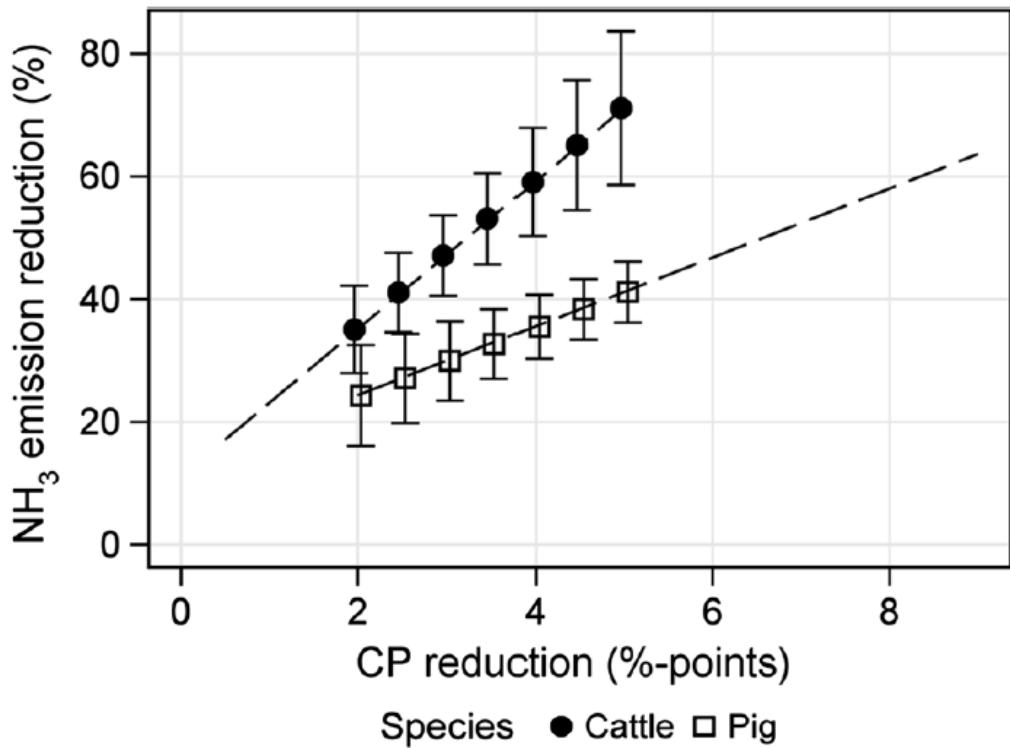
N-reduced feeding	NH ₃ -reduction potential*	Remarks
2-Phasen (**-9 bis -13 €/Kg NH ₃)	Up to 10%	18% → 15% mean crude protein (cp)
3 – 4 Phases (**-8 bis -11 €/Kg NH ₃)	Up to 20%	18 → 13% mean crude protein, substitution with essential Amino acids (Lysin, Methionin)
Multiphasen (**-8 bis -12 €/Kg NH ₃)	Up to 40%	Daily adaptation, 18% → 13% mean crude protein, Ausgleich mit essentiellen Aminosäuren (Lysin, Methionin)

Referenz: Einphasenfütterung in der Schweinehaltung, 18% Rohprotein

* VDI-RL 3894/ Blatt 1

**Minderungskosten nach Döhler 2011, in UBA-Texte 79/2011

N-reduzierte Multi-Phasen Fütterung



E.P.M. Sajeev; B. Amon, C. Ammon, W. Zollitsch, W. Winiwarter: Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis

Nutr Cycl Agroecosyst (2018) 110:161–175

<https://doi.org/10.1007/s10705-017-9893-3>

Reduktionstechniken in Schweineställen

TA Luft 2021 Nr. 5.4.7.1	Ammonia EF (kg per animal place and year) (reduction, %)
Luftreinigungssysteme (gesamte Volumenflussrate)	0,87 (70%)
Luftreinigungssysteme (Teilvolumenflussrat: 70% reduction of ammonia with 60 % of the total volume flow rate)	1,8 (40%)
Geneigte Wände im Mistkanal	1,5 (50%)
Konvexe Bodenfläche und getrennte Mist- und Wasserkanäle	1,8 (40%)
Kühlen von Jauche um mindestens 10°C der Jauchetemperatur Oberflächenkühler für Gülle (Kühlflossen) Güllekühlkanäle	1,5 (50%) 1,8 (40%)
Gülleansäuerung im Stall (pH 5,5 – 6.0)	1,02 (65%)

Reference: forced ventilated plants with slatted floor and deep pit as well as N-reduced feeding:
2.91 kg NH₃/animal place *year

Implementierung von NH₃-Reduktionsmaßnahmen in der DüVO

Mineralische und organische Düngung



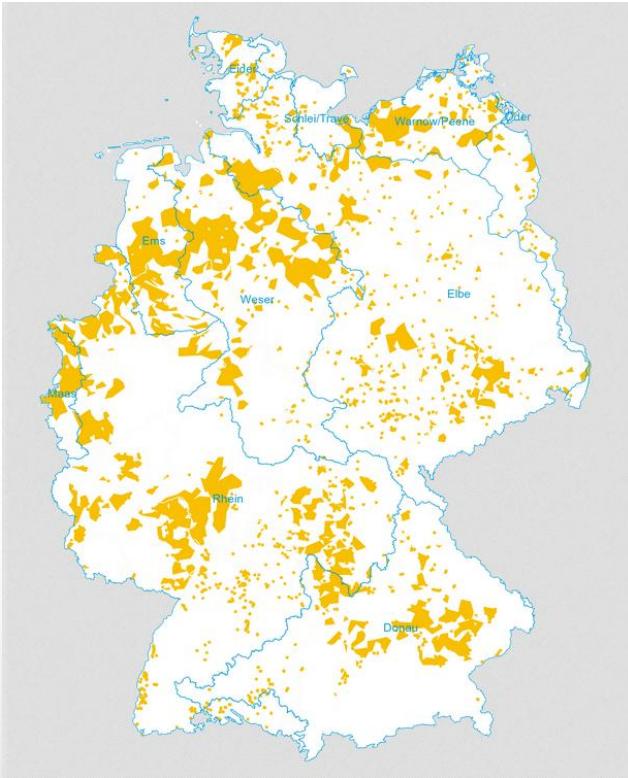
NH₃-Reduktionsmaßnahmen in der deutschen Düngeverordnung (DüVO)

Maßnahme	Jahr der Umsetzung	Direkt oder indirekte Reduktion von NH ₃ Emissionen
DÜV 2017		
Anwendung von Harnstoff nur mit Urease-Hemmer oder Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden	2020	Direkt
Bandanwendung oder Injektion von Gülle und Gärresten auf Ackerland mit wachsenden Kulturen	2020	Direkt
Bandanwendung / Injektion von Gülle und Gärresten auf Grünland	2025	Direkt
Einarbeitung von Gülle, Gärresten und Geflügelkot auf unbearbeitetem Ackerland innerhalb von 4 Stunden	2017	Direkt
Obergrenze Anwendung organischer Stickstoff (N)-Düngemittel von 170 kg N/ha auch für Gärreste aus Energiefesten	2017	Indirekt
Keine N-Anwendung im Herbst auf Ackerland (Ausnahme: vor Deckfrüchten, Winterraps oder Wintergerste nach Getreide)	2017	Indirekt
Einheitliche Regeln für die Ermittlung des Düngemittelbedarfs für N in allen Bundesländern Deutschlands	2017	Indirekt

NH₃-Reduktionsmaßnahmen in der deutschen Düngeverordnung (DüVO)

Maßnahme	Jahr der Umsetzung	Direkt oder indirekte Reduktion
DÜV 2020		
Einarbeitung Gülle, Gärresten, Geflügelkot auf unbearbeitetem Ackerland innerhalb von 1 Stunde	2025	Direkt
Erhöhung der Mindesteffektivität von Gülle und Gärresten bei der Düngemittelplanung für Ackerland um 10%	2020	Indirekt
Erhöhung der Mindesteffektivität von Gülle und Gärresten bei der Düngemittelplanung für Grünland um 10%	2025	Indirekt
Ausdehnung Schutzgebieten entlang Wasserläufen ohne N-Düngung	2020	Indirekt
Anforderungen für nitratbelastete Gebiete (ca. 20% der Gesamt-ackerfläche): Reduktion N-Düngung 20%, keine N-Düngung im Herbst	2020	Indirekt

Rote Gebiete in Deutschland (Stand 2023)



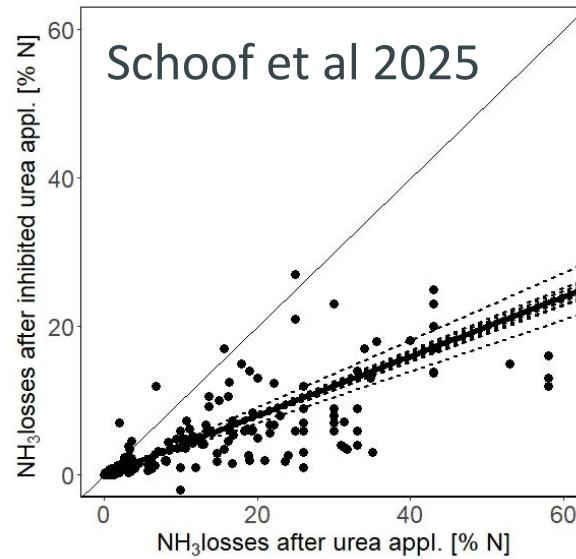
EU-Wasserrahmenrichtlinie: Nitrat-Schwellenwerte in europäischen Oberflächen- und Grundwasserkörpern

- Überschüssiges Nitrat im Grundwasser hauptsächlich in Regionen mit hoher Tierdichte und leichten Böden sowie in Regionen mit geringer Grundwasserneubildung
- Die Tierhaltung ist der wichtigste Hebel zur Kontrolle von N-Überschüssen und zur Verbesserung der Wasserqualität in roten Zonen in Deutschland

Deutsche Düngemittelverordnung:

- Die Anwendungsmengen von N werden in roten Zonen reduziert
- Geringere NH₃-Emissionen durch Anwendung des gleichen Emissionsfaktors

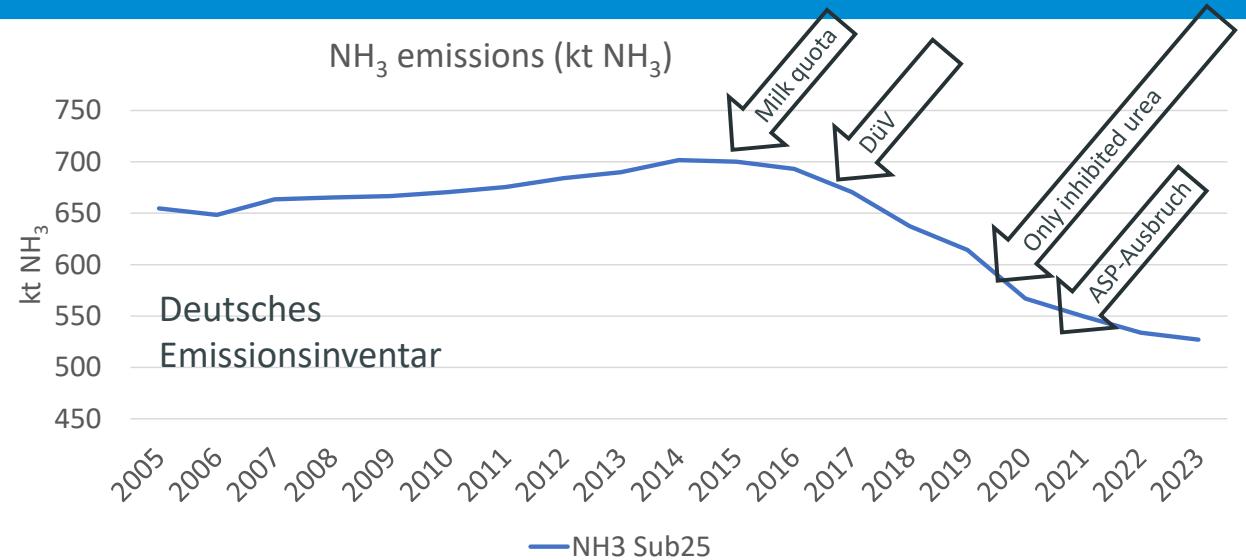
Reduktion von Emissionen durch Anwendung von Ureaseinhibitoren (z.B. NBPT, NBPT-NPPT, 2-NPT)



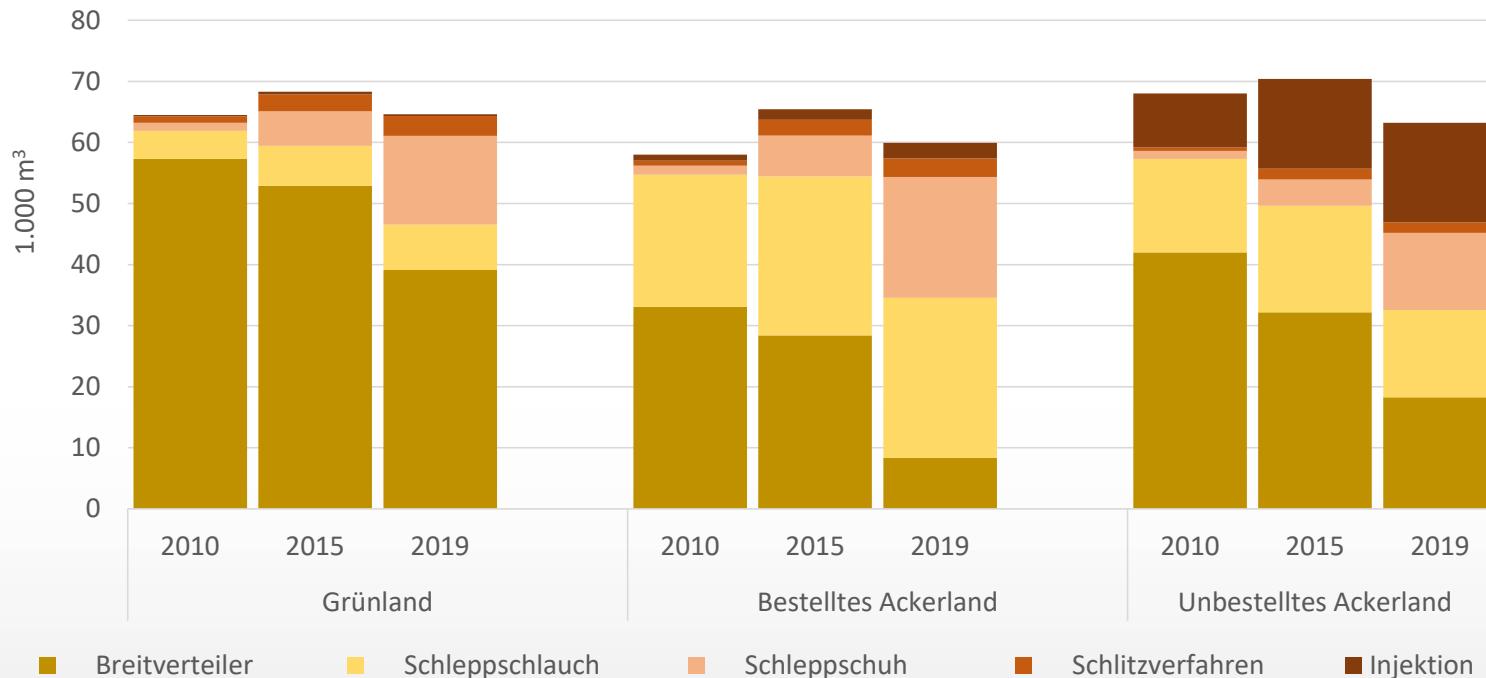
Aktuelle Ergebnisse aus dem nationalen Verbundprojekt NH₃Min

- Erhebliche Reduzierungen durch Minderungsmaßnahmen (UI 60% Minderung)
- Doppelt-inhibierter Harnstoff (UI+NI) und UI in UAN mit reduziertem Reduktionseffekt von UI

Entwicklung der nationalen NH₃ Emissionen und Wirkung der Minderungsmaßnahmen



Entwicklung eingesetzte (emissionsärmere) Ausbringungstechnik für flüssige Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Gärreste)



Neu: Verschiedene Bundesländer: flächenhafte Ausbringung per Gülleverdünnung (v.a. Rindergülle)

Quelle: Statistisches Bundesamt

Entwicklung der NH₃-Emissionen in verschiedenen Bereichen der Landwirtschaft

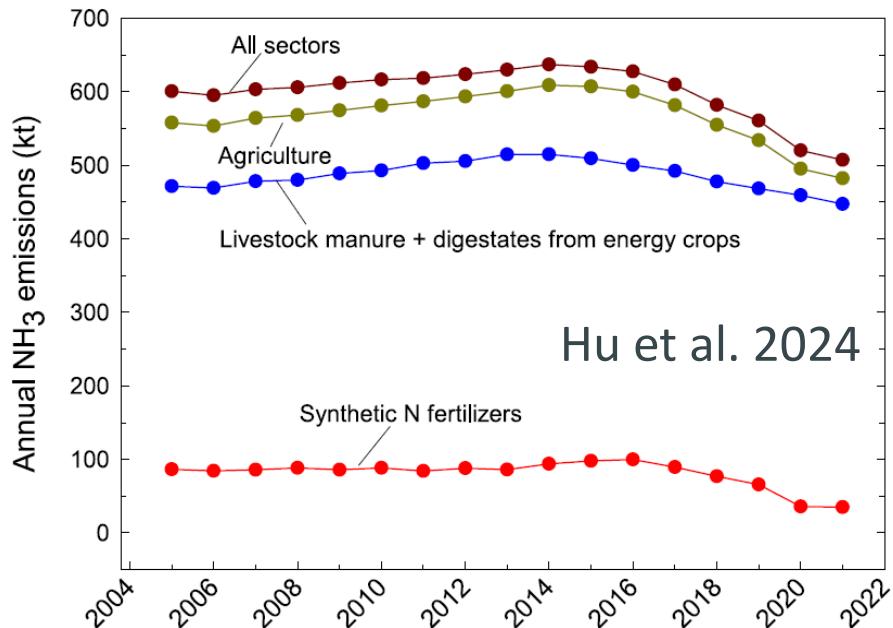
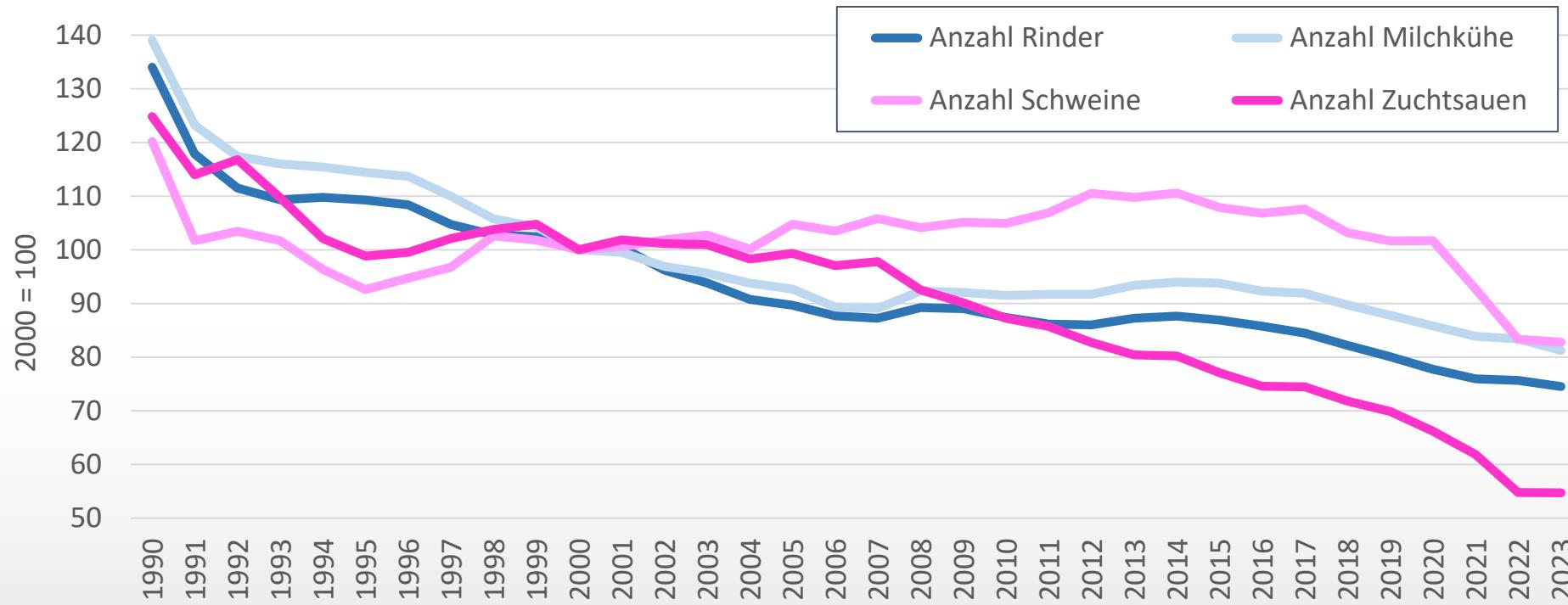


Fig. 1. Annual NH₃ emissions in Germany between 2005 and 2021 from different sources.

- Total
- Dairy cattle
- other cattle
- Pigs
- Poultry
- Horses+sheep+goat
- Biogas digestates

- Abnehmende Tierzahlen
- Wirkung der novellierten DüV
- Markteffekte

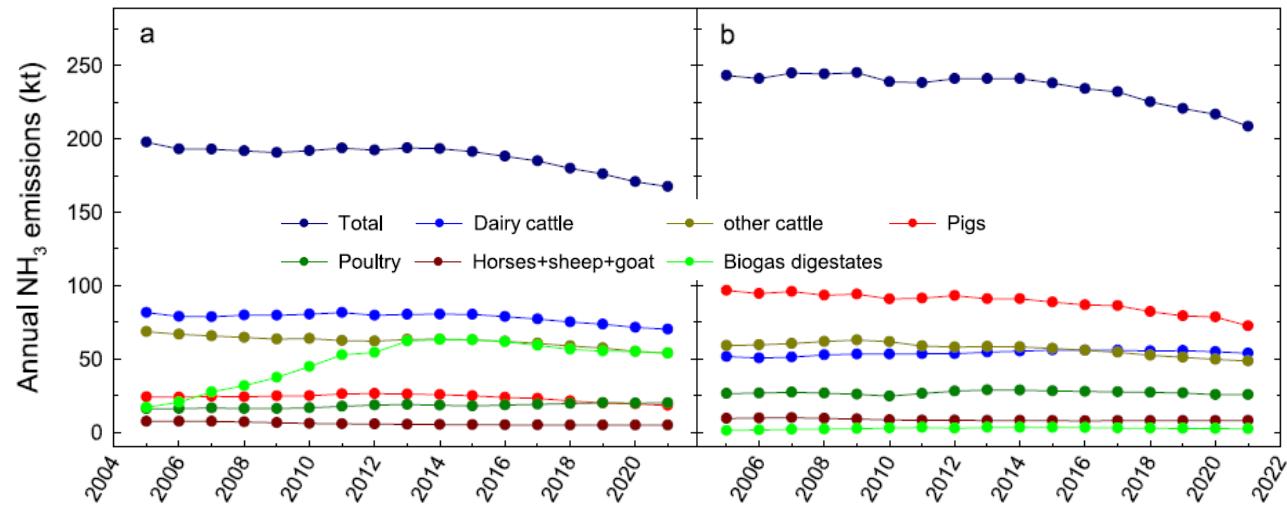
Abnehmende Rinder- und Schweinebestände



Quelle: Statistisches Bundesamt

Wirkung der NH₃-Minderungsmaßnahmen: Tierhaltung + organische Düngung

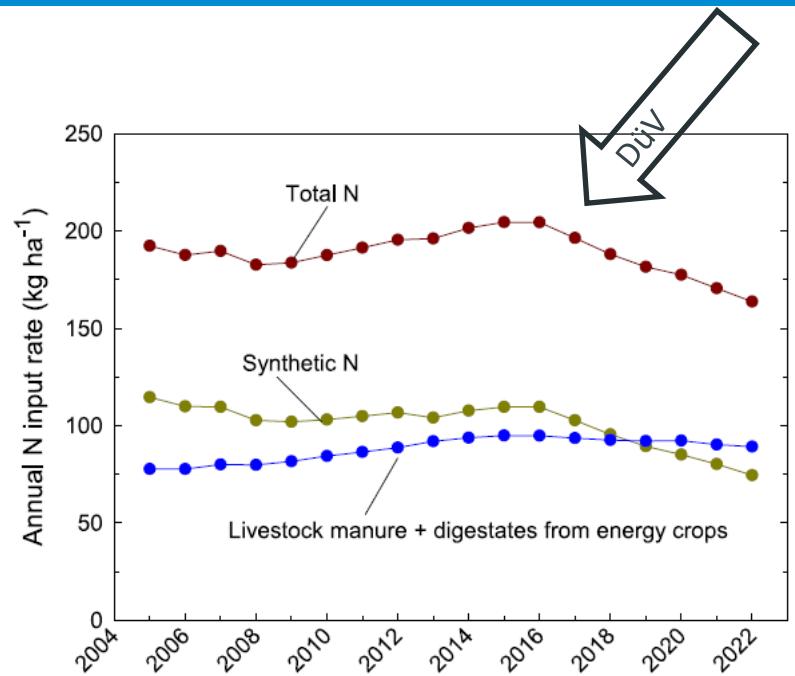
Hu et al. 2024



a. Emissionen aus der Ausbringung organischer Dünger b. aus Ställen + Lagern

→ Effekt Phasenfütterung auf Emissionen aus Schweinehaltung

Wirkung der NH₃-Minderungsmaßnahmen



Hu et al. 2024

Fig. 8. Mean annual N input rate (kg N ha^{-1}) with synthetic N fertilizers and livestock manure plus digestates from energy crops in Germany between 2005 and 2022.

Wirkung der NH₃-Minderungsmaßnahmen: Ureaseinhibitor + Absatz mineralischer Düngemittel

Hu et al. 2024

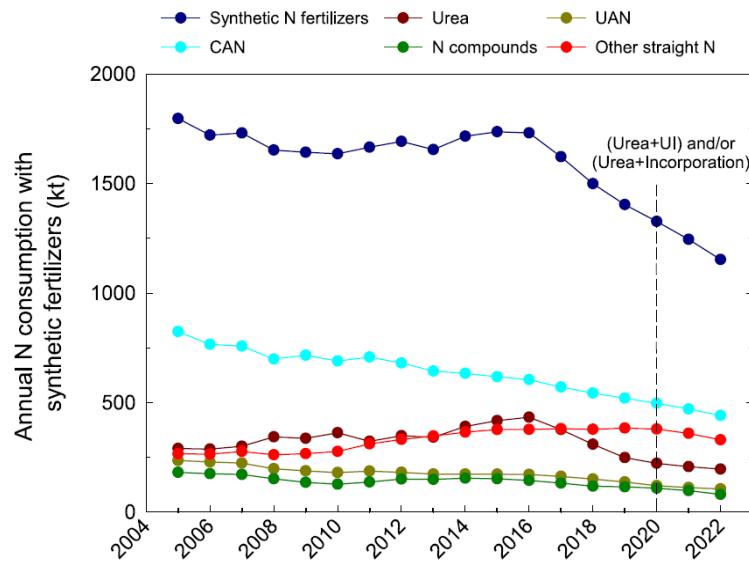
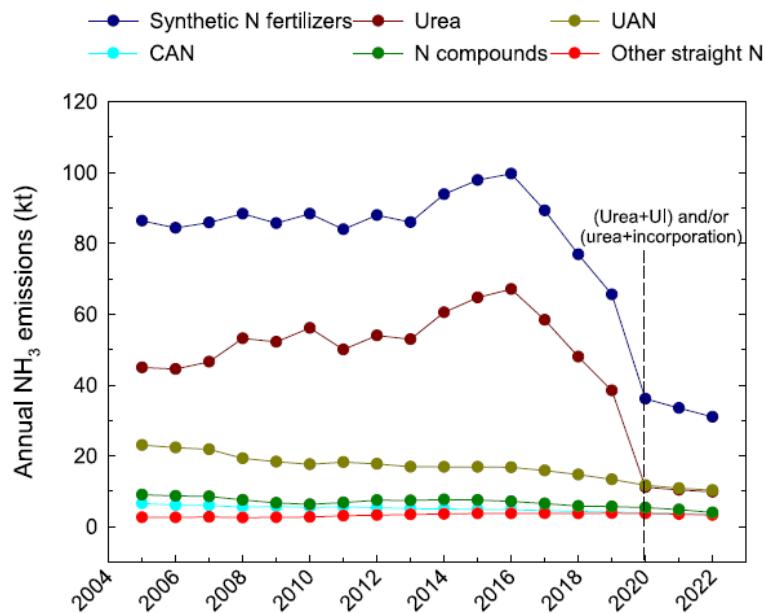


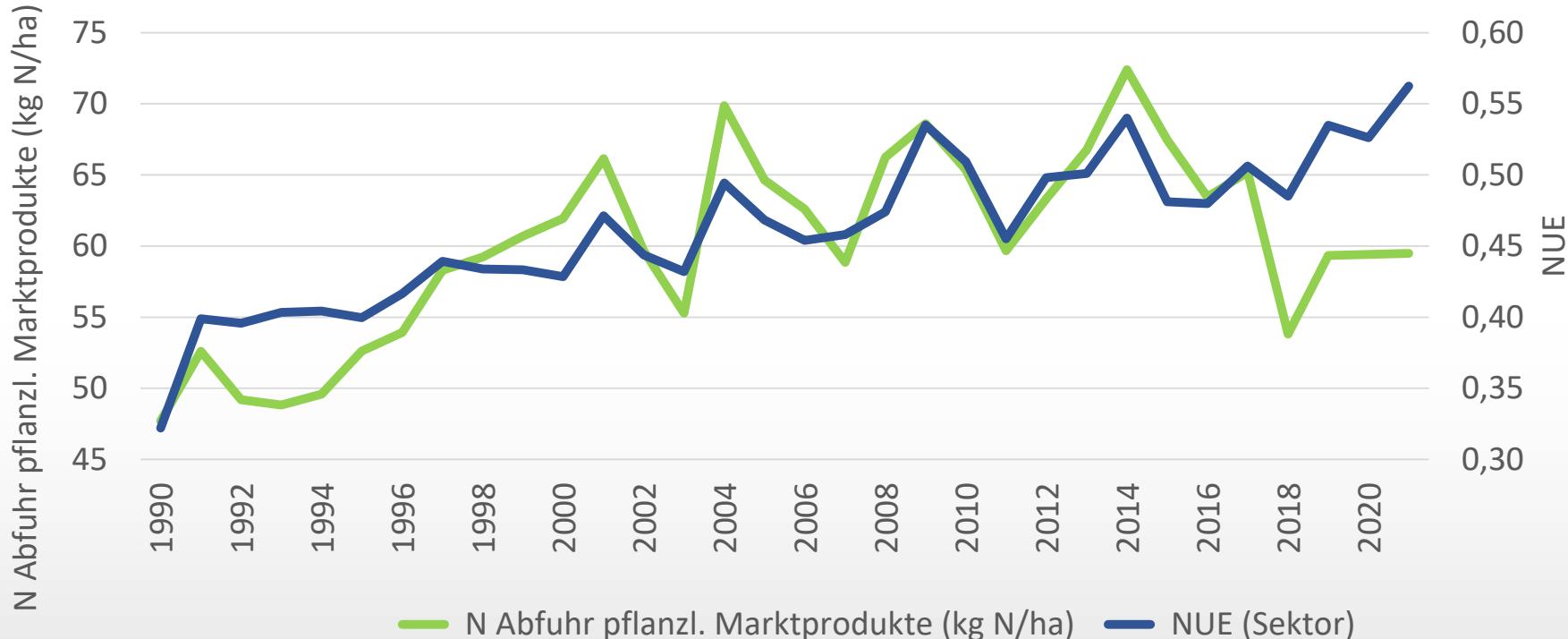
Fig. 5. Annual NH_3 emissions from synthetic N fertilizers in Germany between 2005 and 2022. DüV_amended made it mandatory for urea to be incorporated immediately or add UIs after 2020. NH_3 emissions from synthetic N fertilizers were calculated based on their annual consumption and emission factors.

Veränderungen der Stickstoffbilanz zwischen 1990 und 2021 (II)

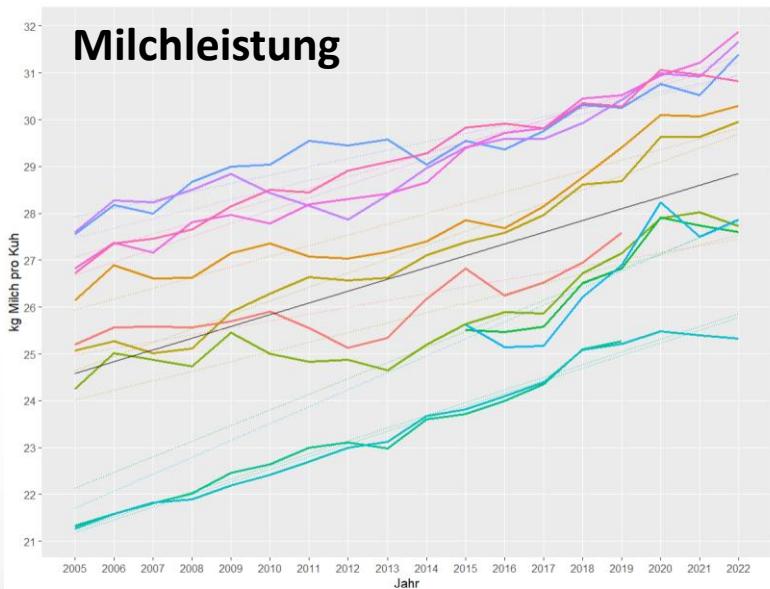
	1990-1994	2017-2021	Differenz
	kg N/ha LF		
Mineraldünger	105	86	-19
org. Düngemittel, Kofermente	3	6	4
N-Deposition (außerlandw.)	7	3	-4
Biolog. N-Fixierung	14	13	0
Futtermittel (Inland)	32	36	3
Futtermittel (Import)	27	25	-2
Saatgut	1	1	0
Summe Zufuhr	189	171	-18
Pflanzliche Marktprodukte	50	59	10
Tierische Marktprodukte	23	30	7
Summe Abfuhr	72	89	17
Saldo	117	82	-35

Quelle: BMEL (2023), Stat. Monatsberichte

Entwicklung der N-Abfuhr über pflanzliche Marktprodukte und der N-Ausnutzung (nitrogen use efficiency, NUE: Abfuhr/Zufuhr)

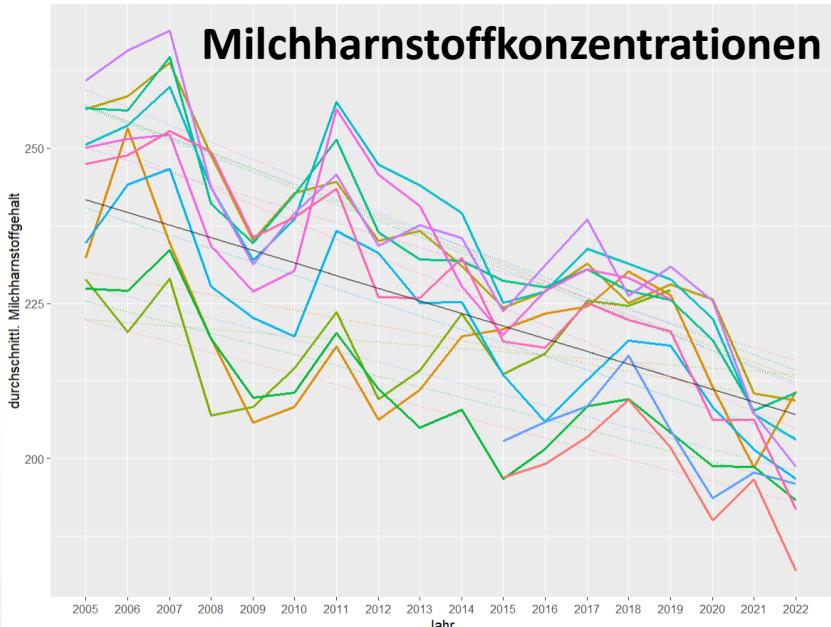


Ausblick: Berücksichtigung der Fütterung von Milchrindern: N-Ausscheidungen über Milchharnstoffwerte abschätzen



Daten der Milchleistungsprüfung

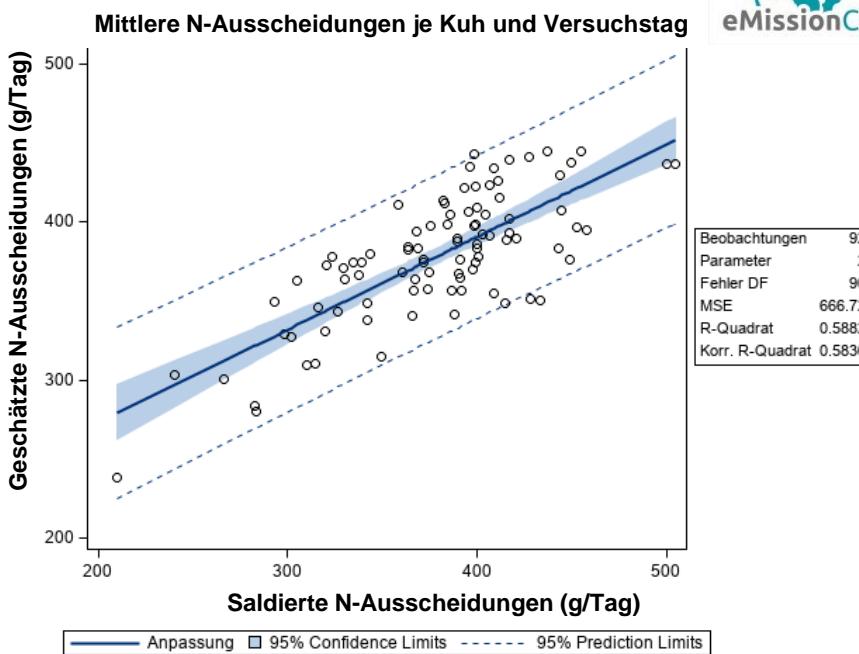
Bundesland



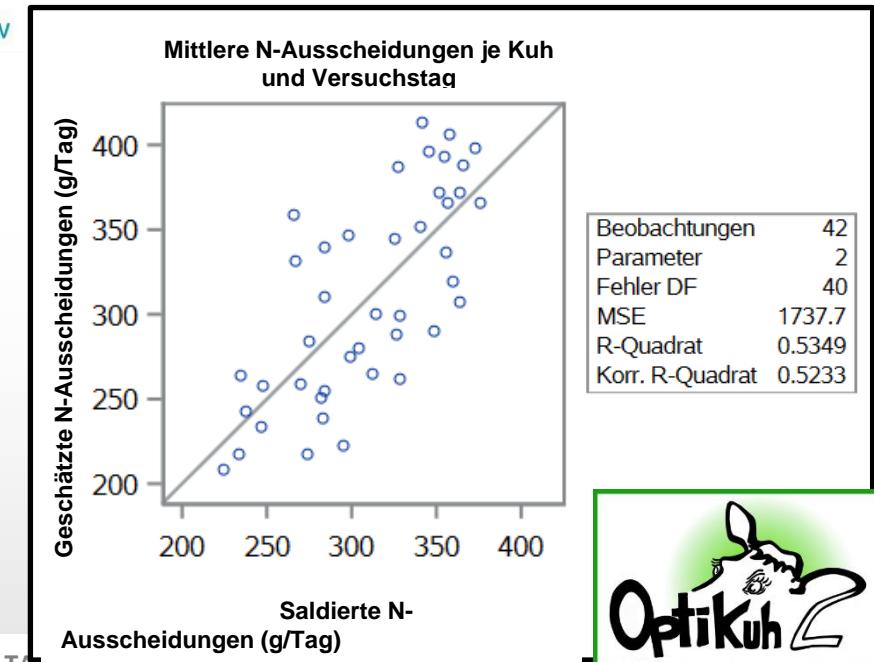
Estimation and mean N excr per cow and day

$$N\text{-excr [g/day]} = -235,2 + 4,8 * \text{milk amount [kg/day]} + 0,8 * \text{milk urea [ppm]} + 84,1 * \text{milk protein [%]}$$

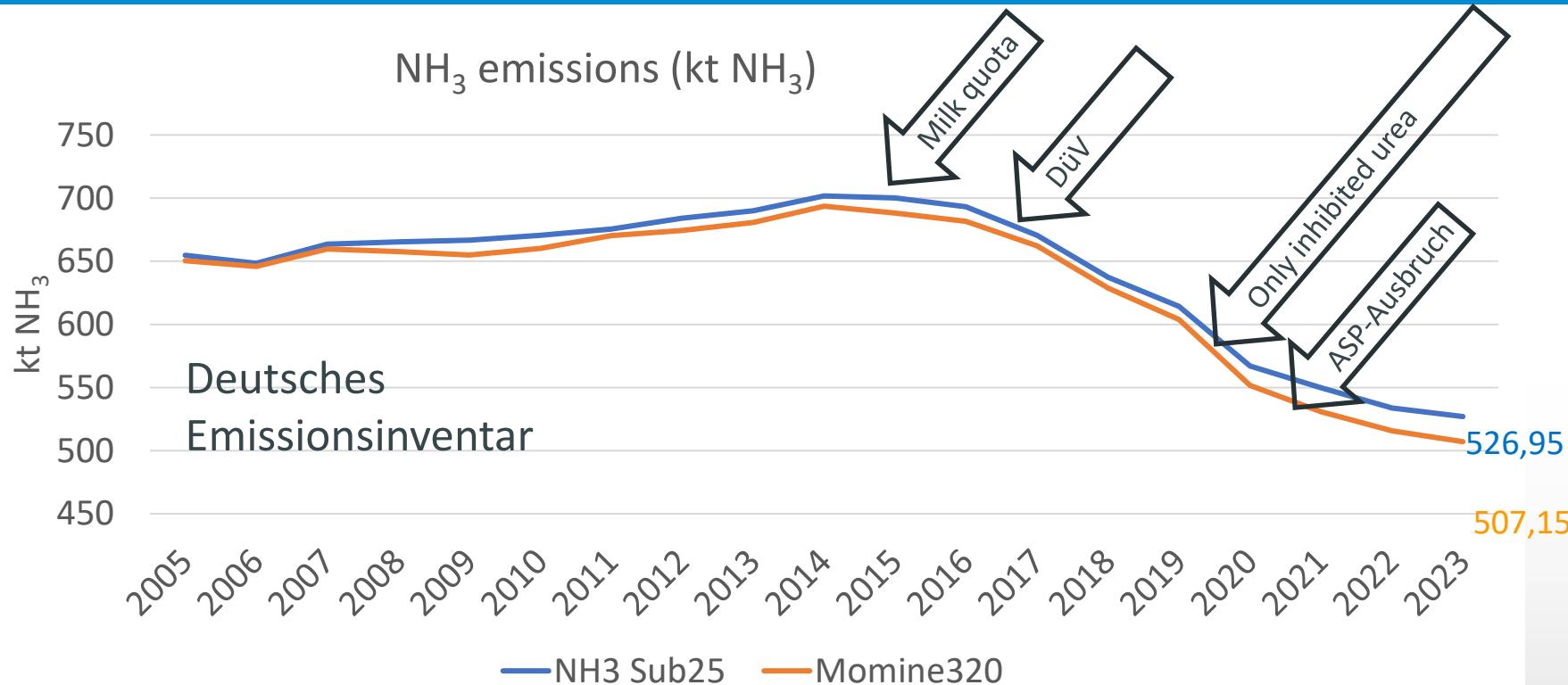
estimation (eMissionCow)



validation (optiKuh2)



Veränderung der nationalen NH₃ Emissionen bei Berücksichtigung veränderter Milchviehfütterung



Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Deutliche Reduktion der NH₃-Emissionen im Lauf der letzten 10 Jahre
- Markt- und politische Effekte (Düngerpreise, Afrikanische Schweinepest et.)

- Wirkung der Minderungsmaßnahmen nachweisbar:
 - Reduktion der N-Aufwendungen mit Einführung der DüVO (selektiv vor allem bei Betrieben mit hohen N-Überschüssen)
 - Verbesserte, N-optimierte Fütterung der Tiere und reduzierte Hofemissionen
 - Wirkung der Einführung der Einarbeitungs- und UI-Pflicht für Harnstoff
 - Wirkung verbesserter Ausbringtechnik

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit! Fragen?

Andreas.pacholski@thuenen.de, gabriele.borghardt@uba.de

www.thuenen.de, www.uba.de

