

Ausbringtechnik flüssiger Wirtschaftsdünger: Vergleichende THG-Emissionsbewertung unter Berücksichtigung des Mineraldüngeäquivalents

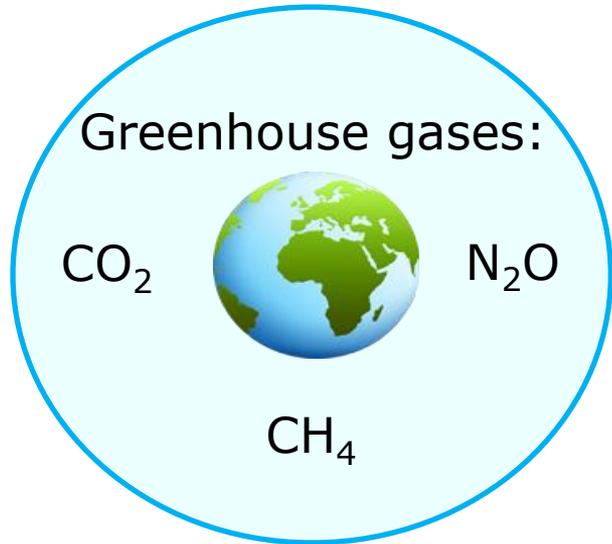
Bianca Zerhusen*, Fabian Lichti, Stefan Nesper
Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Anton Reindl, Monika Zehetmeier
Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur

7. Arbeitsforum Treibhausgasbilanzierung und Klimaschutz in der Landwirtschaft
09.-10.10.2018, Reckenholz, Agroscope

Einleitung

Treibhausgase in landwirtschaftlichen Systemen:



Klimapotenzial (=GWP) für 100 Jahre:

- CO₂: 1 kgCO₂e kg⁻¹
 - CH₄: 28 kgCO₂e kg⁻¹
 - N₂O: 265 kgCO₂e kg⁻¹
- IPCC, 2013

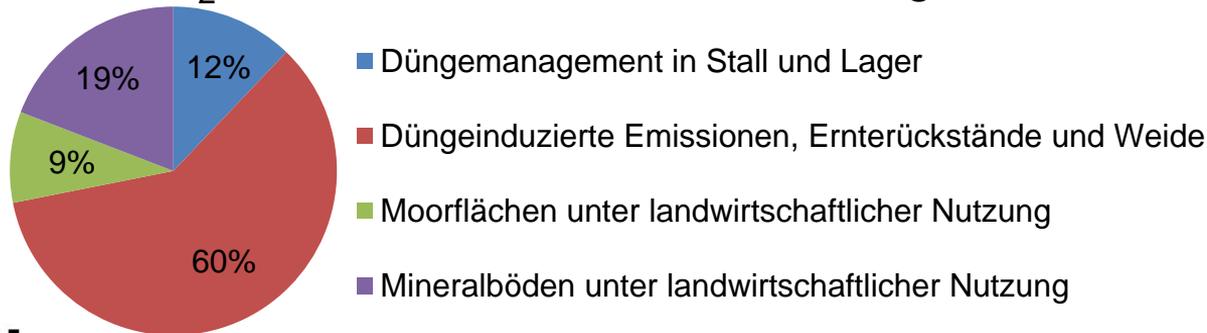
NH₃ ist kein THG, kann aber THG-Emissionen nach sich ziehen!

Einleitung

NH ₃ aus	Deutschland	Österreich	Schweiz
Landwirtschaft	95% (UBA, 2018a)	94% (UBA, 2018b)	95% (BAFU, 2018)
->Wirtschaftsdüngerausbringung	40% (inkl. Energiepflanzen-Gärreste) (Haenel et al., 2018)	43% (UBA, 2018b)	46% (Kupper et al., 2015)

In Deutschland:

- 12.5 % der THG aus Landwirtschaft + LULUC
- Davon macht N₂O 31% aus. Dies stammt aus folgenden Quellen:



Eigene Darstellung nach Daten von Osterburg et al., 2017

Ziel

- Beschreibung der “Best verfügbaren Technik (BvT)” zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger
- Identifizierung der Determinanten für die THG-Bilanz und NH_3 -Emissionen → Synergien bei der Reduktion von NH_3 und THG?
- Identifizierung von Interaktionen der Determinanten (& weitere Nachhaltigkeitsanalyse)

Integrierter Ansatz zur Berücksichtigung von:

- Allen Spurengasemissionen,
- Kraftstoffeinsatz,
- Stickstoffnutzungseffizienz (NUE),
- Mineraldüngung

Stand des Wissens

- Niedrigdruck Breitverteiler + Einarbeitung (mit Pflug, Grubber oder Scheibenegge)
- Band-Ausbringung (auch bezeichnet als Schleppschuh)
- Schleppschuh
- Injektor, offener Schlitz
- Injektor, geschlossener Schlitz
- *Hochdruck Injektor*
- *Bewässerung (in Kombination mit Gülle Verdünnung mit Wasser)*
- *Ansäuerung von Gülle (in Gülle Tankern)*

Santonja et al., 2017; EUC, 2017



Bilder Quelle: LfL, 2018

Stand des Wissens

Ausbringtechnik im deutschsprachigen Raum:

Deutschland:

DüV 2017:

Keine Breitverteilung mehr, sondern nur noch streifenförmige (mindestens Schleppschlauch) oder direkt in den Boden einarbeitende Technik auf:

- ⊙ bestelltem Ackerland ab 01.02.2020
 - ⊙ Grünland und mehrschnittiger Feldfutterbau ab 01.02.2025
- Auf unbestelltem Ackerland ist Breitverteilung, die nicht nach oben abstrahlt weiterhin erlaubt (mit Einarbeitung innerhalb von 4 h !)

Österreich und Schweiz: Bisher keine verpflichtende Maßnahme

Stand des Wissens

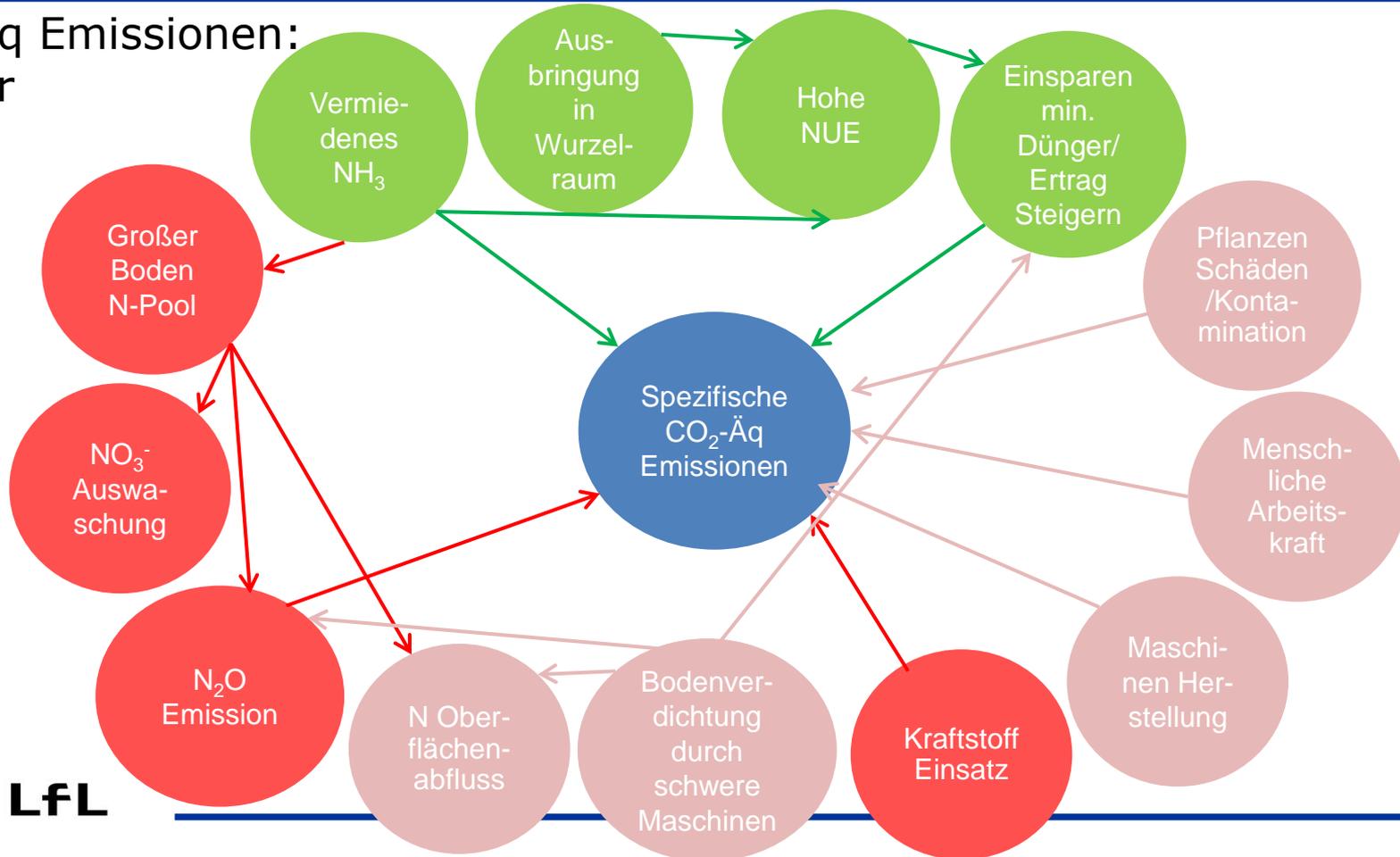
Art der Gülle Ausbringung	Rinder und Milchvieh	
	kg NH ₃ -N kgTAN ⁻¹	kg NH ₃ Emissions- reduktion [%]
Breitverteilung, ohne Einarbeitung	0,50	ref
Breitverteilung, Einarbeitung < 1 h	0,10	80%
Breitverteilung, Einarbeitung < 4h	0,26	48%
Breitverteilung, Einarbeitung < 6h	0,35	30%
Breitverteilung, Einarbeitung < 8h	0,40	20%
Breitverteilung, Einarbeitung < 12h	0,43	14%
Breitverteilung, Einarbeitung < 24h	0,46	8%
Breitverteilung, Einarbeitung < 48h	0,50	0%
Schleppschlauch, ohne Einarbeitung	0,46	8%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 1 h	0,04	92%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 4h	0,15	70%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 6h	0,20	60%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 8h	0,24	52%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 12h	0,30	40%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 24h	0,39	22%
Schleppschlauch, Einarbeitung < 48h	0,46	8%
Schleppschlauch, unterhalb der Vegetation	0,35	30%
Schleppschuh	0,36	28%
Injektion (offener Schlitz)	0,24	52%
Grubber oder Injektor	0,04	92%

Reduzierte Ammoniakemissionen können durch bodennahe, einarbeitende Ausbringtechnik garantiert werden

Wie sieht es mit dem Klimawandel aus?

Stand des Wissens

CO₂-Äq Emissionen:
Treiber



Stand des Wissens

Einflussfaktoren:

Management

- Oberfläche und Luftkontakt (Ausbringung Bodennah und Einarbeitend)
- Stoppeleinarbeitung
- Ausbringzeit (Morgens/Abends, Frühjahr/Sommer)
- Fruchtfolge/Zwischenfrüchte...

Manure properties

- Dünger pH
- Dünger TM (Viskosität)
- Dünger NH_4 -N-Gehalt
- Ausbringmenge
- Dünger N-Gehalt
- Dünger C_{org}-Gehalt...

Bodentyp

- pH
- Kationen Austausch Kapazität
- Bodenwasser-Gehalt
- Textur, Porosität (Belüftung)
- Infiltration
- C_{org}-Gehalt im Boden...

Klima

- Temperatur
- Regen
- Windgeschwindigkeit
- Solarstrahlung...

Pflanze

- Pflanzenhöhe, Blattfläche(Wind- und Sonnenbarriere)
- Phenologisches Stadium (N-Aufnahme), Dynamik der N-Aufnahme...

Korrelation mit Pflanzen -
Aufnahme und N-
Verlustpfaden: NH_3 ; N_2O ;
 NO_3^- ; N-Oberflächenabfluss

Material und Methode

- Produktionsziel A-Weizen
- Ø-Ertrag 91 dt FM * ha⁻¹ (≈78 dt DM)
- N-min 54 kg N * ha⁻¹
- Langjährige org. Düngung 17 kg N * ha⁻¹
- N-Entzug 244 kg N * ha⁻¹
- Rindergülle-Ausbringmenge 170 kg N_{org}
- 50% N-Mindestwirksamkeit
- 17,6% gasförmige Ausbringverluste
- Funktionelle Einheit: ha und kg TM



Material und Methode

Nitrogen use efficiency (NUE) = Stickstoffnutzungseffizienz:

Mineral Fertilizer Equivalent (MFE) = Mineraldüngeäquivalent (MDÄ)

$$MFE = \left(\frac{N \text{ Aufnahme organisch} - N \text{ Aufnahme Kontrollparzelle}}{N \text{ Aufnahme mineralisch} - N \text{ Aufnahme Kontrollparzelle}} \right) * 100$$

Yield Equivalent To Mineral Fertilizer (YEM) = Ertragsäquivalente Düngung

$$YEM = \left(\frac{\text{Ausbringmenge organischer Dünger}}{\text{Ausbringmenge mineralischer Dünger}} \right) * 100$$

Lichti, 2013

Material und Methode

Szenario 1: Versuchsergebnisse

Spurengasemissionen

Wulf et al., 2001: Simultaneous Measurement of NH₃, N₂O and CH₄ to Assess Efficiency of Trace Gas Emission Abatement After Slurry Application.



NUE

Lichti, 2013: Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärresten aus der Biogasgewinnung.



$$\text{NUE} = \text{YEM}; \text{MFE}$$

Mineraldüngung

Wendland et al., 2018: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland

$$N_{\text{mineralisch}} = N_{\text{Entzug}} - (N_{\text{organisch}} * \text{NUE})$$



Kraftstoffverbrauch

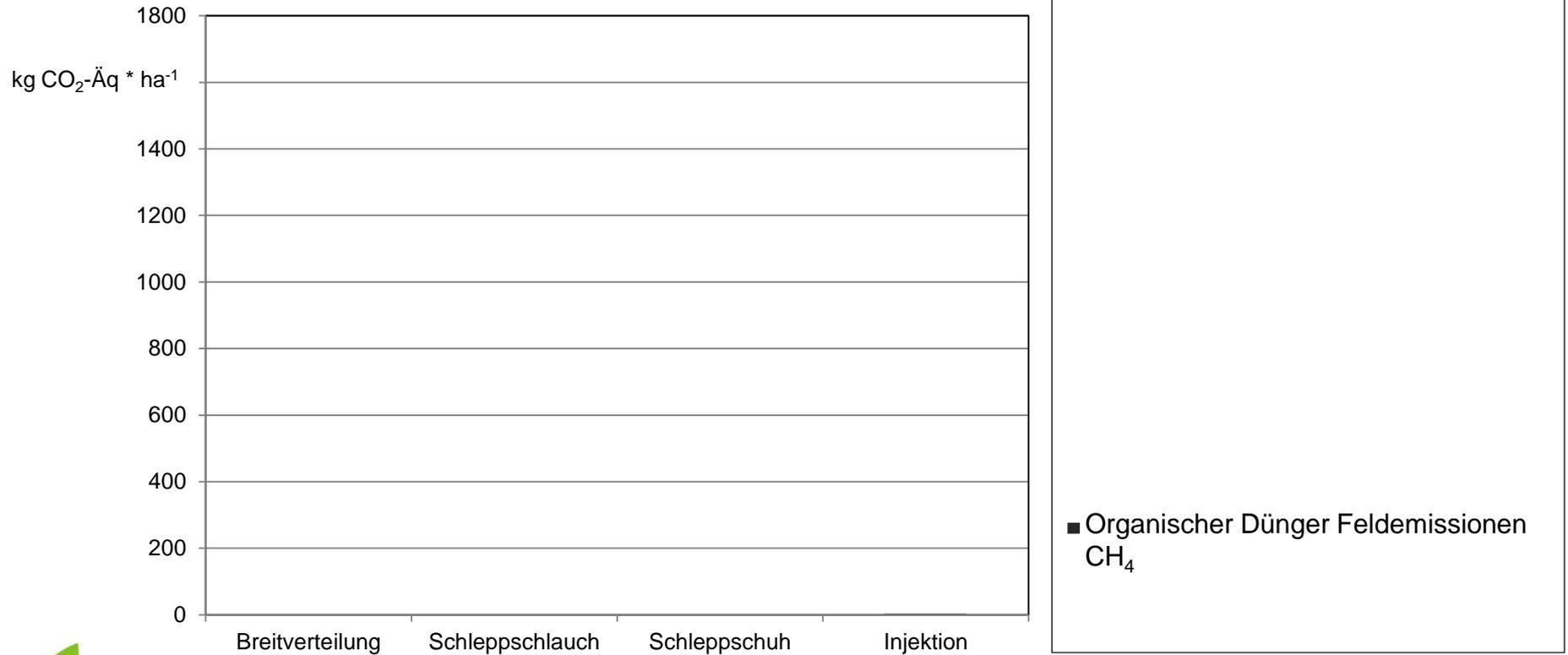
Schmidt, 2014: Potentiale der Energieeinsparung im Ackerbau und Grünland.

Ausbring-technik	Kraftstoff-bedarf (l * ha ⁻¹)
Breitverteilung	4
Schleppschlauch	5
Schleppschuh	7
Injektion	12

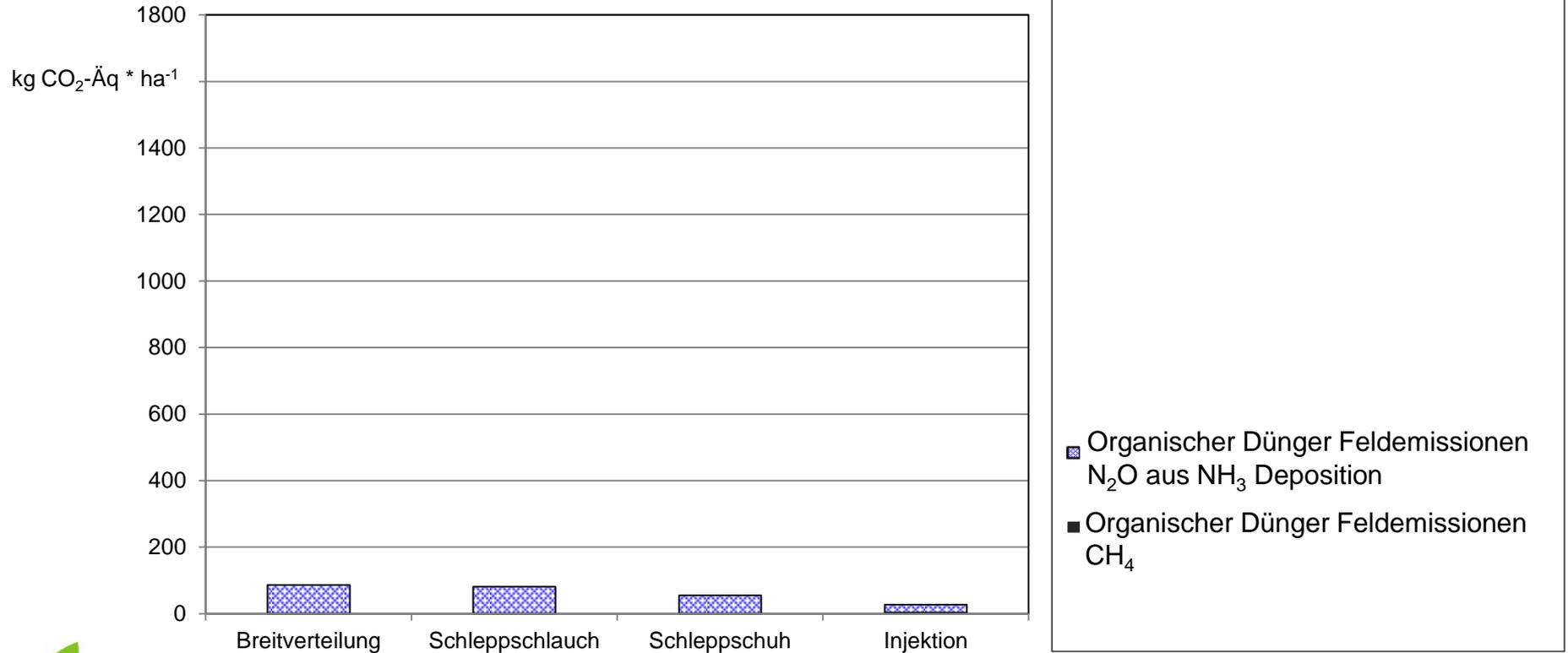
Material und Methode

	Mineraldünger- äquivalent [%]	Effektive N- Düngemenge [kg N * ha ⁻¹]	Einsparung Mineraldünger [kg N * ha ⁻¹]	Mineraldünger [kg N * ha ⁻¹]
Breitverteilung	30	51.0	0.0	100
Schleppschlauch	35	59.5	8.5	91,5
Schleppschuh	40	68.0	17.0	83
Injektion	55	93.5	42.5	57,5

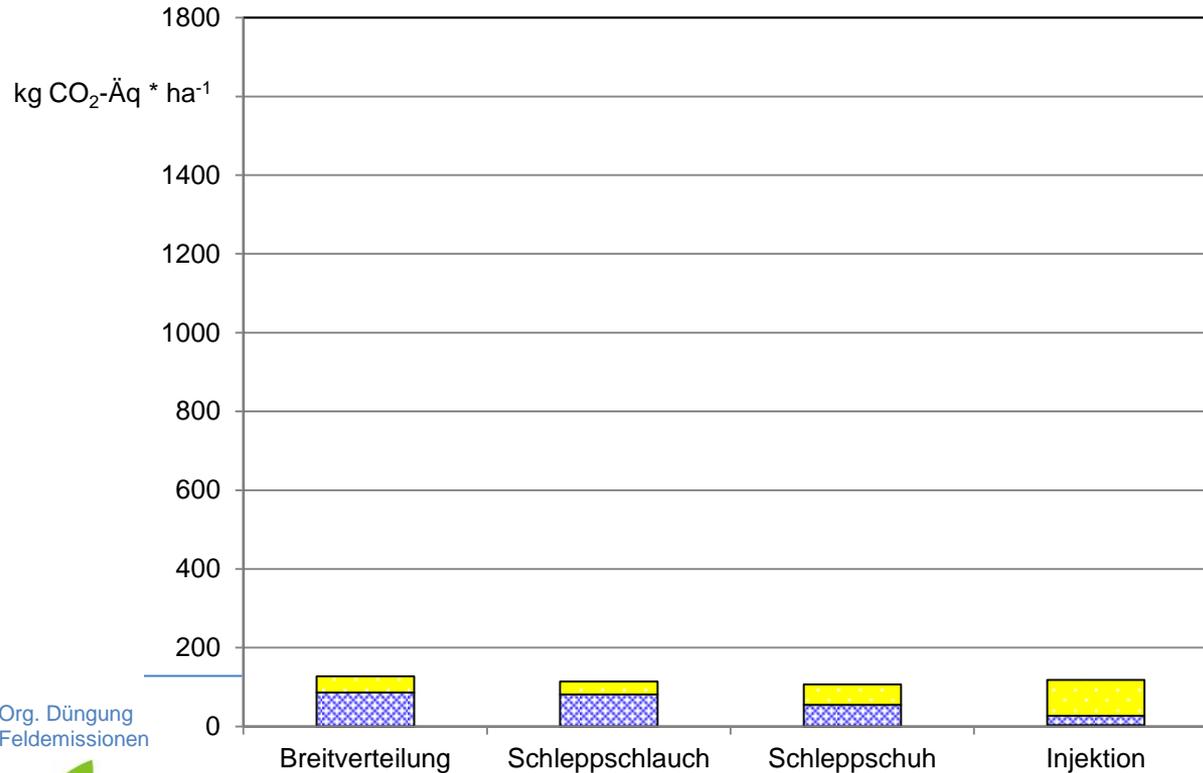
Ergebnisse



Ergebnisse



Ergebnisse



Gemessene Spurengase:

Kein statistischer
Unterschied im CO₂-Äq

Wulf et al., 2001

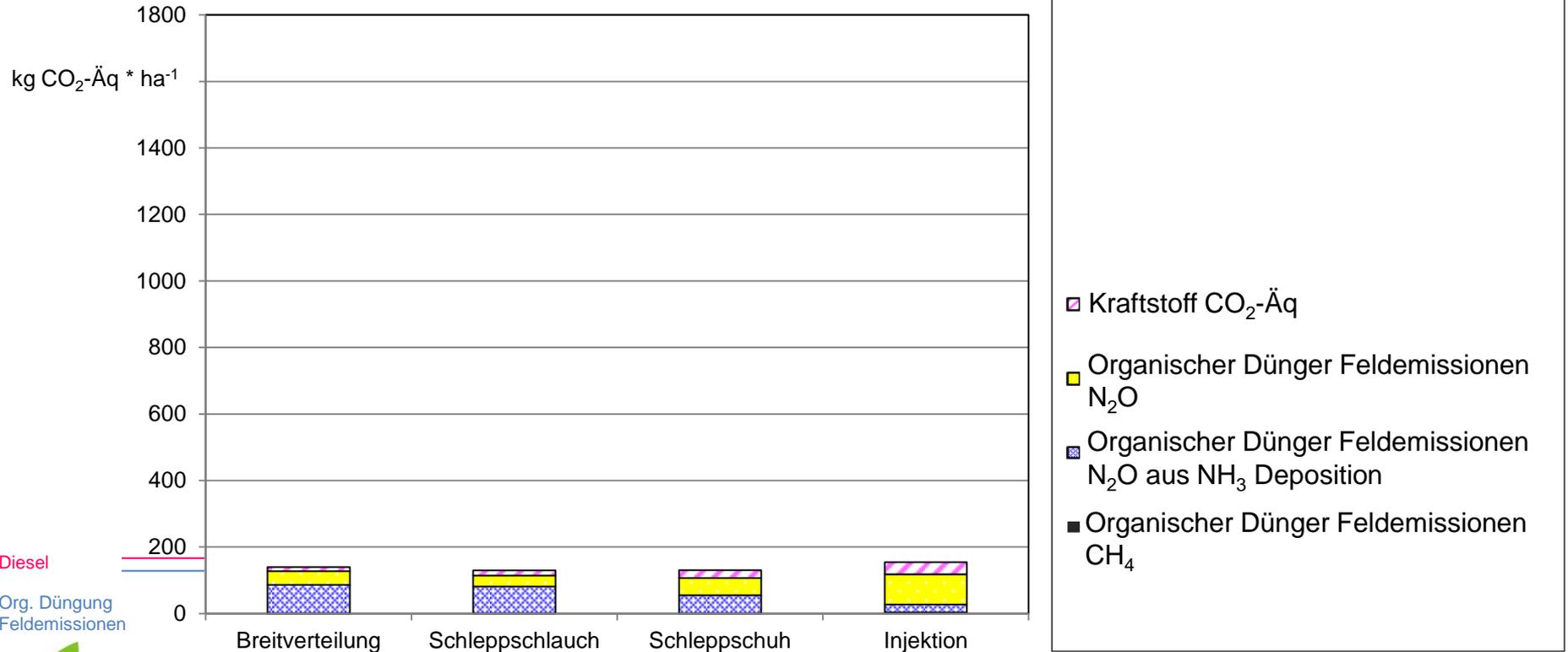
- Organischer Dünger Feldemissionen N₂O
- Organischer Dünger Feldemissionen N₂O aus NH₃ Deposition
- Organischer Dünger Feldemissionen CH₄

Org. Düngung
Feldemissionen



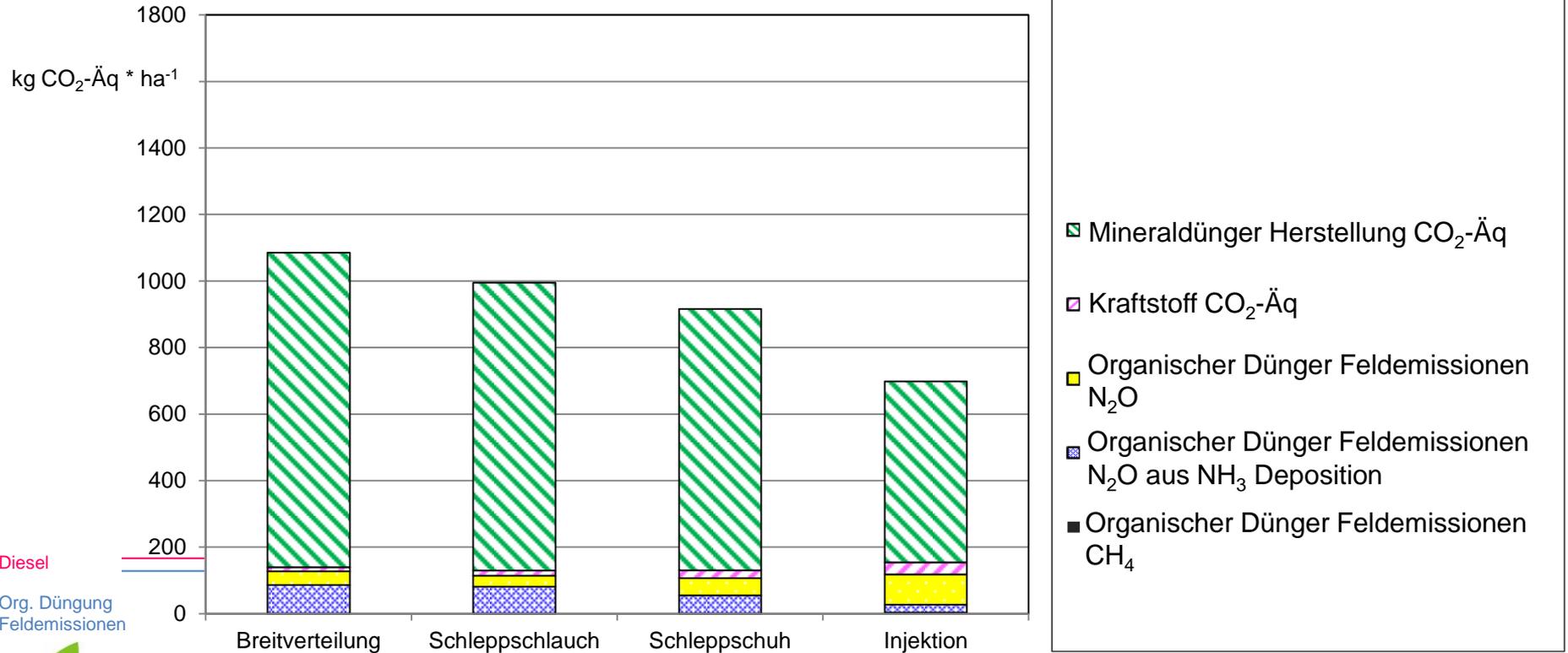
LfL

Ergebnisse



LfL

Ergebnisse



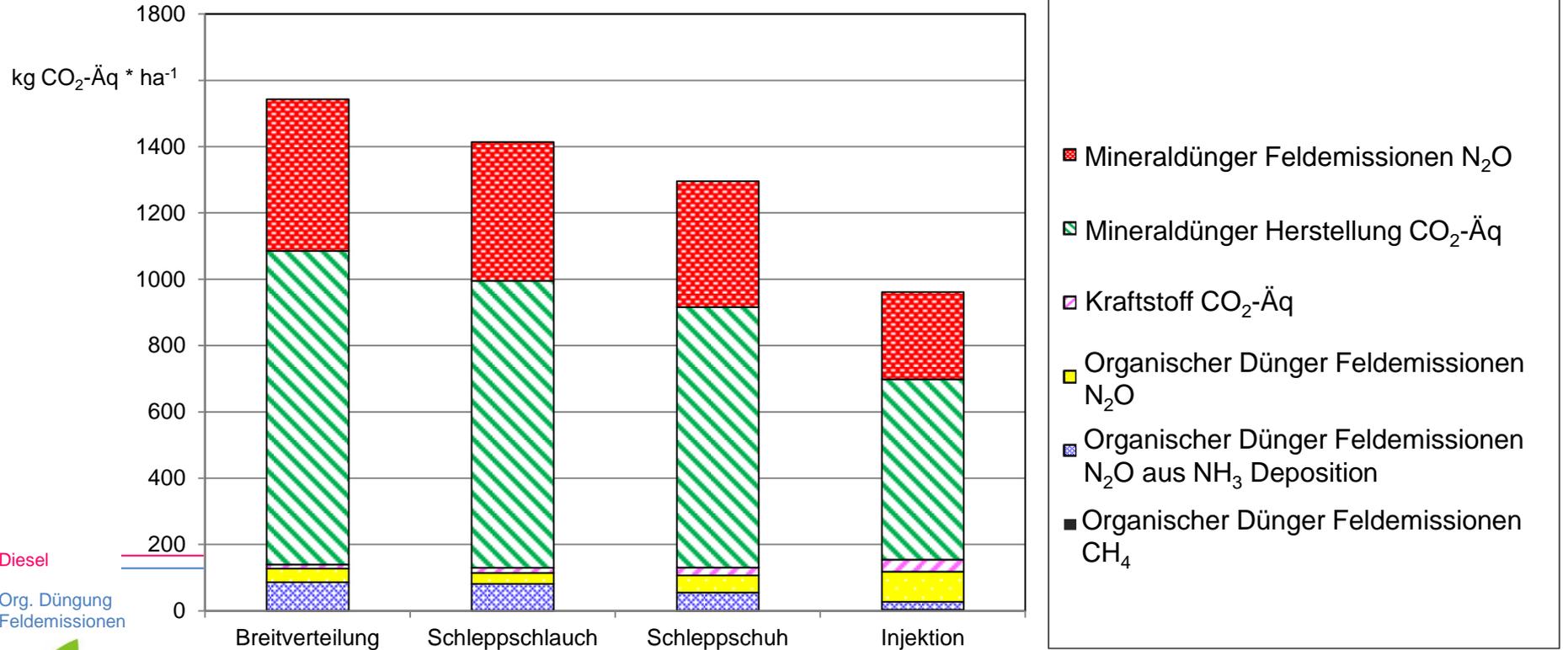
Diesel

Org. Düngung
Feldemissionen



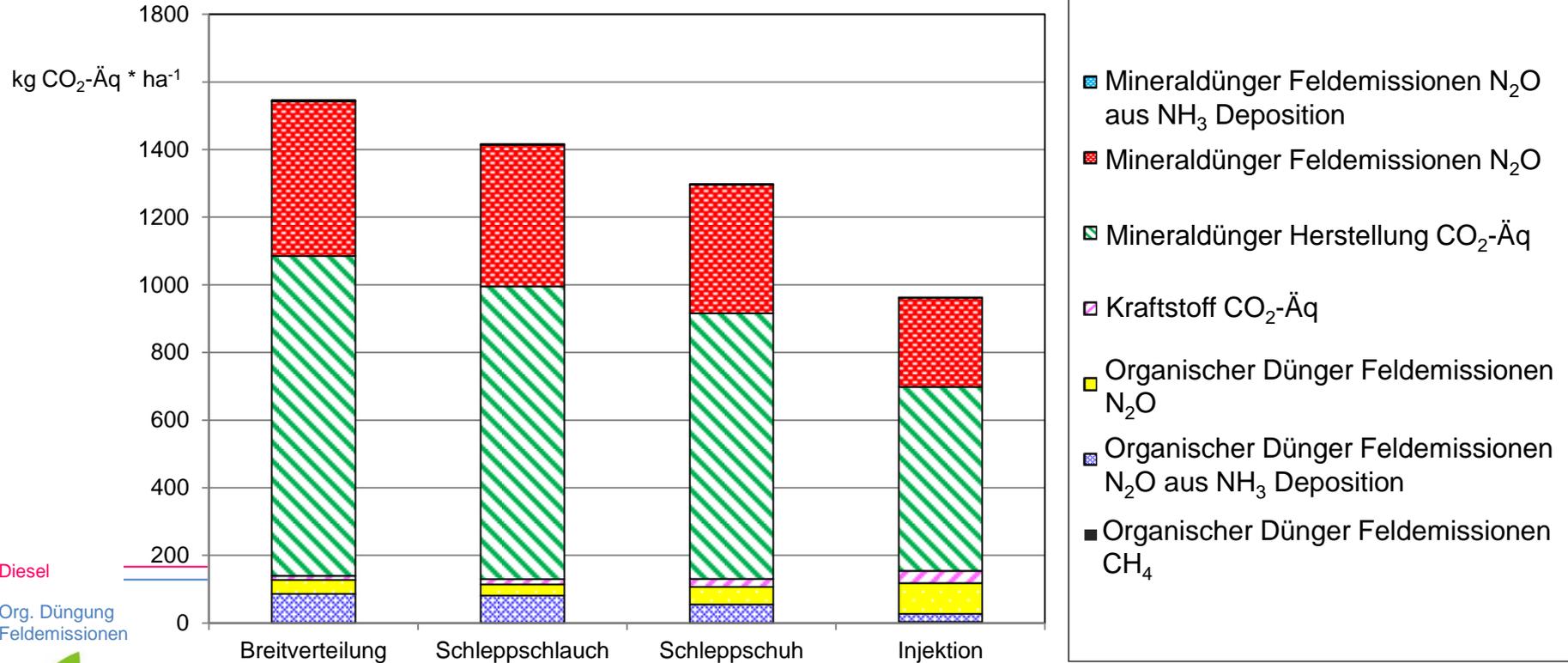
LfL

Ergebnisse

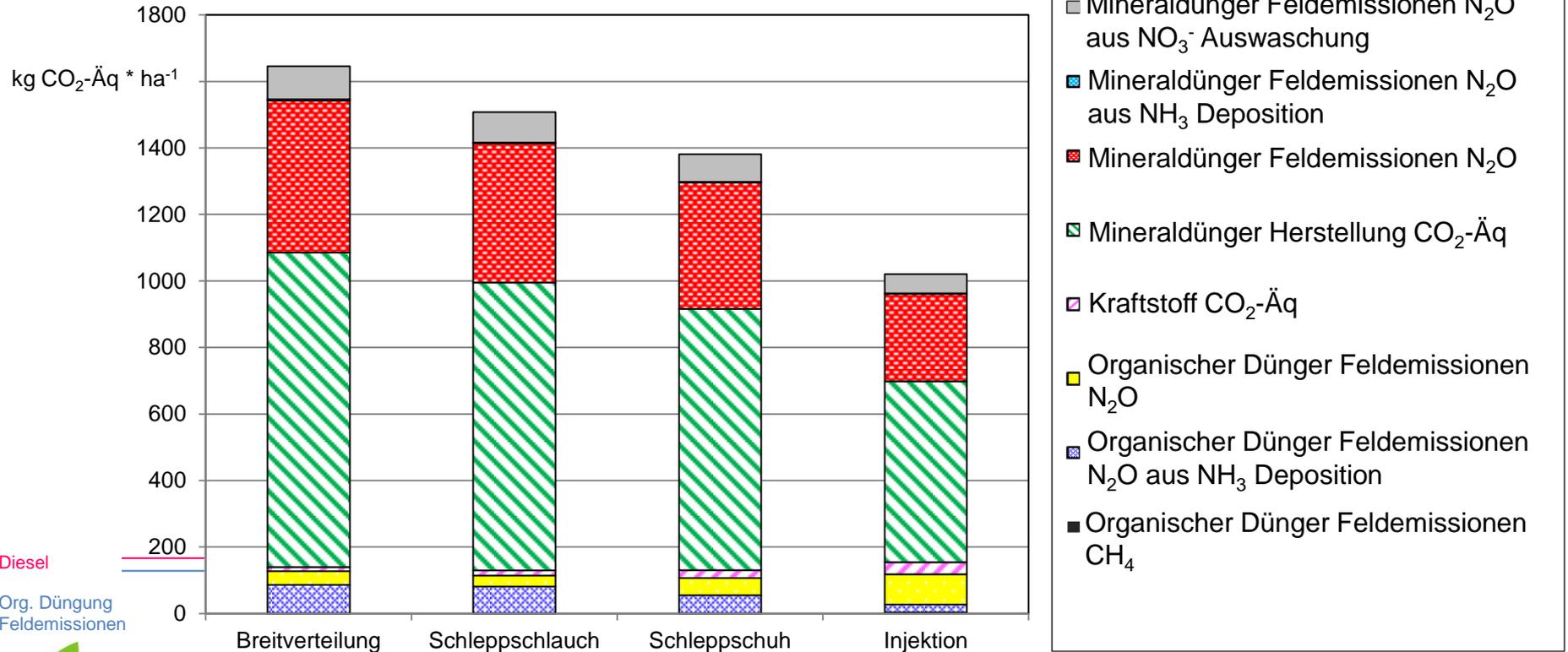


LfL

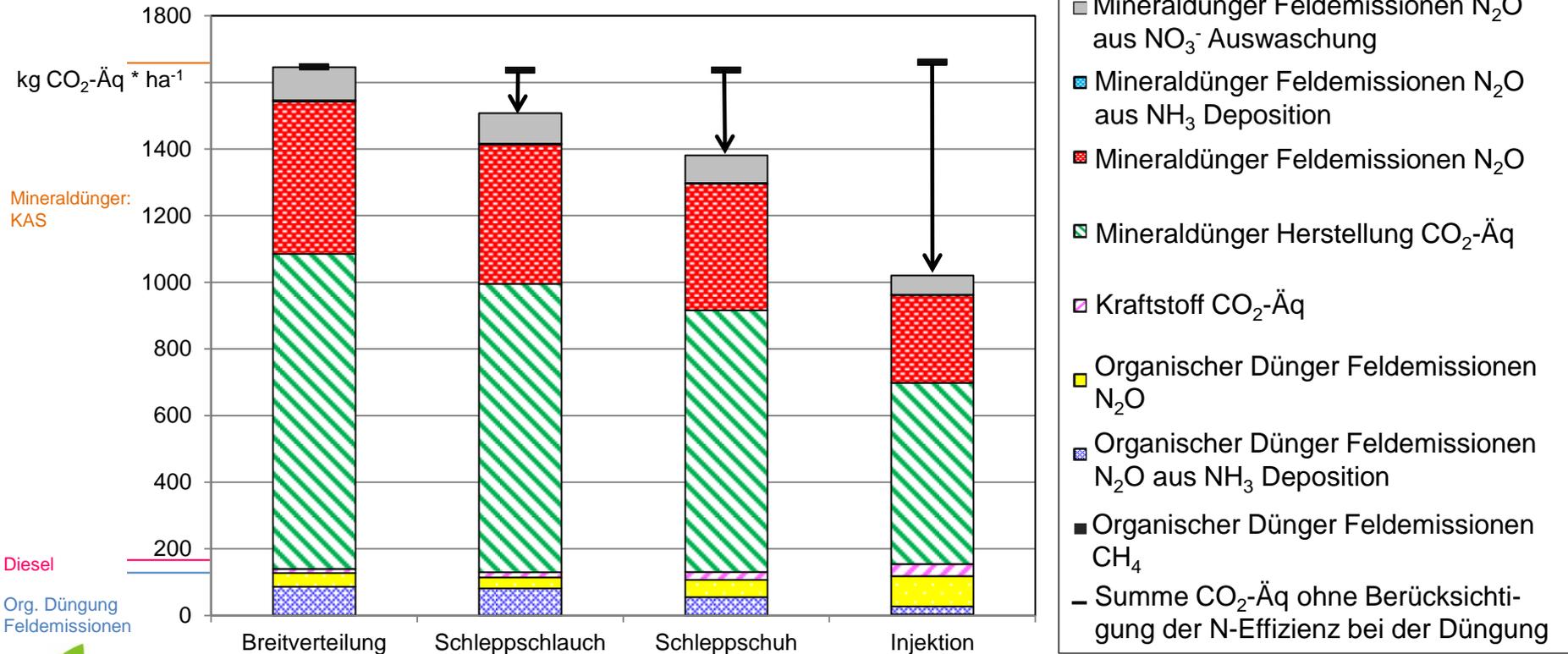
Ergebnisse



Ergebnisse



Ergebnisse



Material und Methode

Szenario 1: Versuchsergebnisse

Spurengasemissionen +

Wulf et al., 2001: Simultaneous Measurement of NH₃, N₂O and CH₄ to Assess Efficiency of Trace Gas Emission Abatement After Slurry Application

NUE +

Lichti, 2013: Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärresten aus der Biogasgewinnung

$$\text{NUE} = \text{YEM}; \text{MFE}$$

Mineraldüngung

Wendland et al., 2018: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland

$$N_{\text{mineralisch}} = N_{\text{Entzug}} - (N_{\text{organisch}} * \text{NUE})$$

Kraftstoffverbrauch

Schmidt, 2014: Potentiale der Energieeinsparung im Ackerbau und Grünland.

Ausbring-technik	Kraftstoff-bedarf (l * ha ⁻¹)
Breitverteilung	4
Schleppschlauch	5
Schleppschuh	7
Injektion	12

Szenario 2: Emissionsinventar (modifiziert)

Spurengasemissionen +

N₂O, NH₃ und NO₃⁻ wie im Inventar

NUE +

$$\text{NUE} = \text{TAN} - \text{NH}_3$$

Ergebnisse

Szenario 1: Versuchsergebnisse

Spurengasemissionen

Wulf et al., 2001: Simultaneous Measurement of NH₃, N₂O and CH₄

N₂O abhängig von Ausbringtechnik und je nach Annahme zu ausgebrachter N-Menge 0,0085 - 0,132 kg N₂O-N/kg N

Szenario 2: Emissionsinventar (modifiziert)

Spurengasemissionen

N₂O = 1 kg N₂O-N/kg N (Unsicherheit 0,3% - 3%)

NO₃⁻ = 0,3 kg NO₃⁻N/kg N

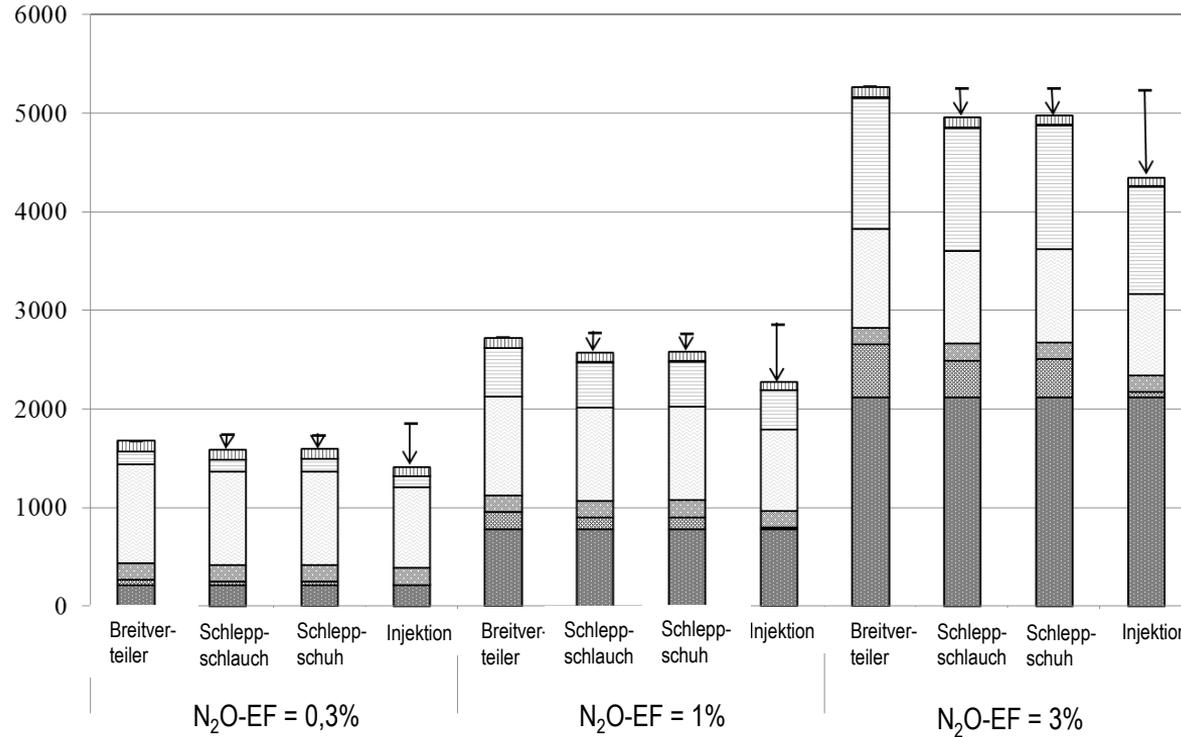
IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories...

NH₃-Emissionen für Rindergülle Ausbringung

Hergeleitet aus Versuchsergebnissen und Annahmen	
	NH ₃ -N * kg TAN ⁻¹
Breitverteilung	22% - 32%
Schleppschlauch	21% - 30%
Schleppschuh	14% - 20%
Injektion	6% - 9%
Haenel et al., 2018	
	NH ₃ -N * ₁ kg TAN ⁻¹
Breitverteilung	50%
Schleppschlauch	35%
Schleppschuh	36%
Injektion	5%

Ergebnisse

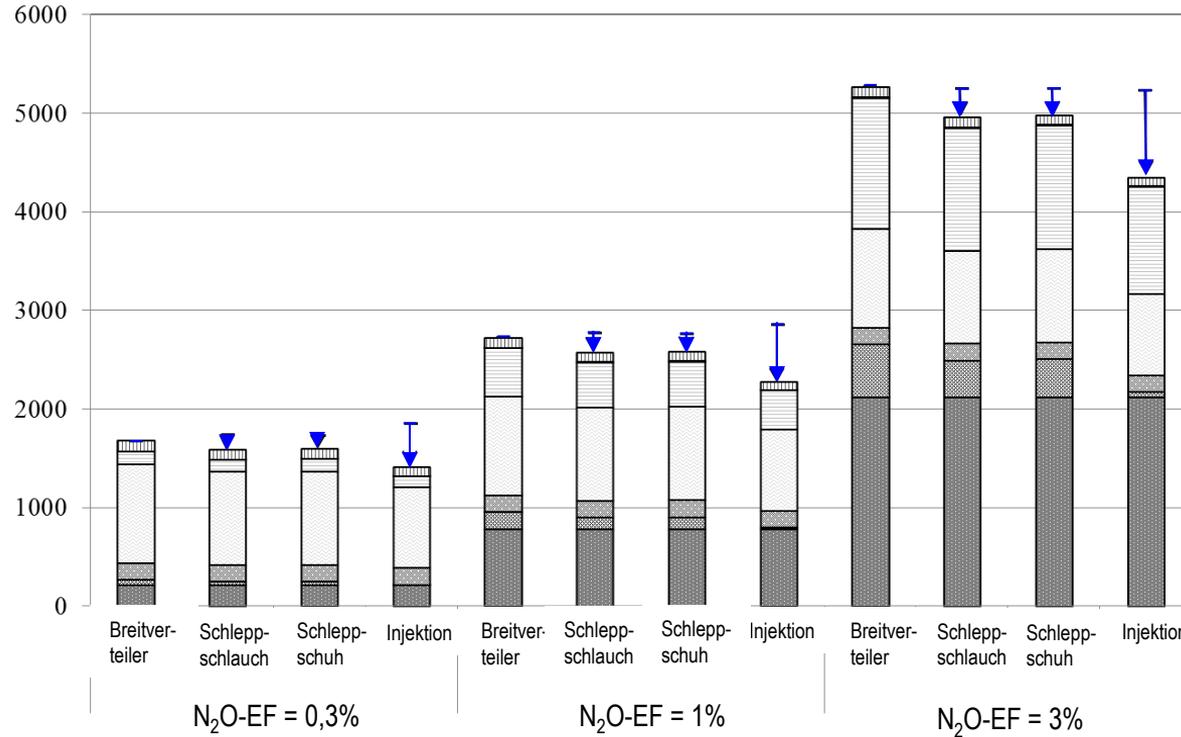
kg CO₂-Äq * ha⁻¹



- ▨ N_{min.} NO₃⁻
- ▩ N_{min.} NH₃
- N_{min.} N₂O
- N_{min.} Produktion
- ▨ N_{org.} NO₃⁻
- ▩ N_{org.} NH₃
- ▨ N_{org.} N₂O
- CO₂-Äq ohne Berücksichtigung NUE

Ergebnisse

kg CO₂-Äq * ha⁻¹



- ▨ N_{min.} NO₃⁻
- ▩ N_{min.} NH₃
- N_{min.} N₂O
- N_{min.} Produktion
- ▨ N_{org.} NO₃⁻
- ▩ N_{org.} NH₃
- ▨ N_{org.} N₂O
- CO₂-Äq ohne Berücksichtigung NUE

Diskussion

Kraftstoffverbrauch

KTBL-Dieselbedarf

Startseite



Nutzungsbedingungen
Kontakt
Impressum
Datenschutz-erklärung
KTBL Startseite

Durchschnittlich werden in der Landwirtschaft rund 100 l Diesel je Hektar verbraucht. Diese Online-Anwendung ermöglicht, in den verschiedenen Arbeitsverfahren eine Maschinenkombination auszuwählen und den Dieselverbrauch in Abhängigkeit verschiedener Parameter, zum Beispiel der Schlaggröße und der Hof/Feld-Entfernung, zu kalkulieren.

START |

► Dieselbedarfsrechner starten

Diskussion - Kraftstoffverbrauch

THG-Emissionen in kg CO₂-Äq * ha⁻¹ durch den Kraftstoffbedarf bei der Gülledüngung unter verschiedenen Ausgangsbedingungen:

Gülemenge; Durchschnittliche Schlaggröße; Hof-Feld-Entfernung Bodenschwere	Breit- verteilung	Schlepp- schlauch	Schleppschuh			Injektion
			leicht	mittel	schwer	
5m ³ ; 2ha; 2km	7	11	20	21	21	26
5m ³ ; 5ha; 14km	15	16	25	26	27	32
30m ³ ; 2ha; 2km	20	20	28	29	30	36
30m ³ ; 5ha; 14km	73	59	66	66	67	79
Modell-Annahmen	12	15	21			36

Quelle: Modelliert nach KTBL, 2018

Gesamte Prozesskette Winterweizen: 70-100 l/ha → ca. 300 kg CO₂-Äq * ha⁻¹

Diskussion - Kraftstoffverbrauch

THG-Emissionen in kg CO₂-Äq * ha⁻¹ durch den Kraftstoffbedarf bei der Gülledüngung unter verschiedenen Ausgangsbedingungen:

Gülemenge; Durchschnittliche Schlaggröße; Hof-Feld-Entfernung Bodenschwere	Breit- verteilung	Schlepp- schlauch	Schleppschutz		Emission
			mittel	schwer	
5m ³ ; 2ha; 2km	7	16	20	21	21
5m ³ ; 5ha; 14km	7	16	25	26	27
30m ³ ; 2ha; 2km	20	20	28	29	30
30m ³ ; 5ha; 14km	73	59	66	66	67
Modell-Annahmen	12	15	21		36

Geringer Anteil an THG-Emissionen der Düngung (vgl. Folien 22 und 26)

Quelle: Modelliert nach KTBL, 2018

Gesamte Prozesskette Winterweizen: 70-100 l/ha → ca. 300 kg CO₂-Äq * ha⁻¹

Material und Methode

Szenario 1: Versuchsergebnisse

Spurengasemissionen

Wulf et al., 2001: Simultaneous Measurement of NH₃, N₂O and CH₄ to Assess Efficiency of Trace Gas Emission Abatement After Slurry Application



NUE

Lichti, 2013: Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärresten aus der Biogasgewinnung



$$\text{NUE} = \text{YEM}; \text{MFE}$$

Mineraldüngung

Wendland et al., 2018: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland

$$N_{\text{mineralisch}} = N_{\text{Entzug}} - (N_{\text{organisch}} * \text{NUE})$$



Kraftstoffverbrauch

Schmidt, 2014: Potentiale der Energieeinsparung im Ackerbau und Grünland.

Ausbring-technik	Kraftstoffbedarf (l * ha ⁻¹)
Breitverteilung	4
Schleppschlauch	5
Schleppschuh	7
Injektion	12

Szenario 2: Emissionsinventar (modifiziert)

Spurengasemissionen

N₂O, NH₃ und NO₃⁻ wie im Inventar



NUE

$$\text{NUE} = \text{TAN} - \text{NH}_3$$



Szenario 3: Vermeidungskosten (Kombination S1 & S2)

Ergebnisse - Vermeidungskosten

Modelliert mit Daten nach KTBL, 2017

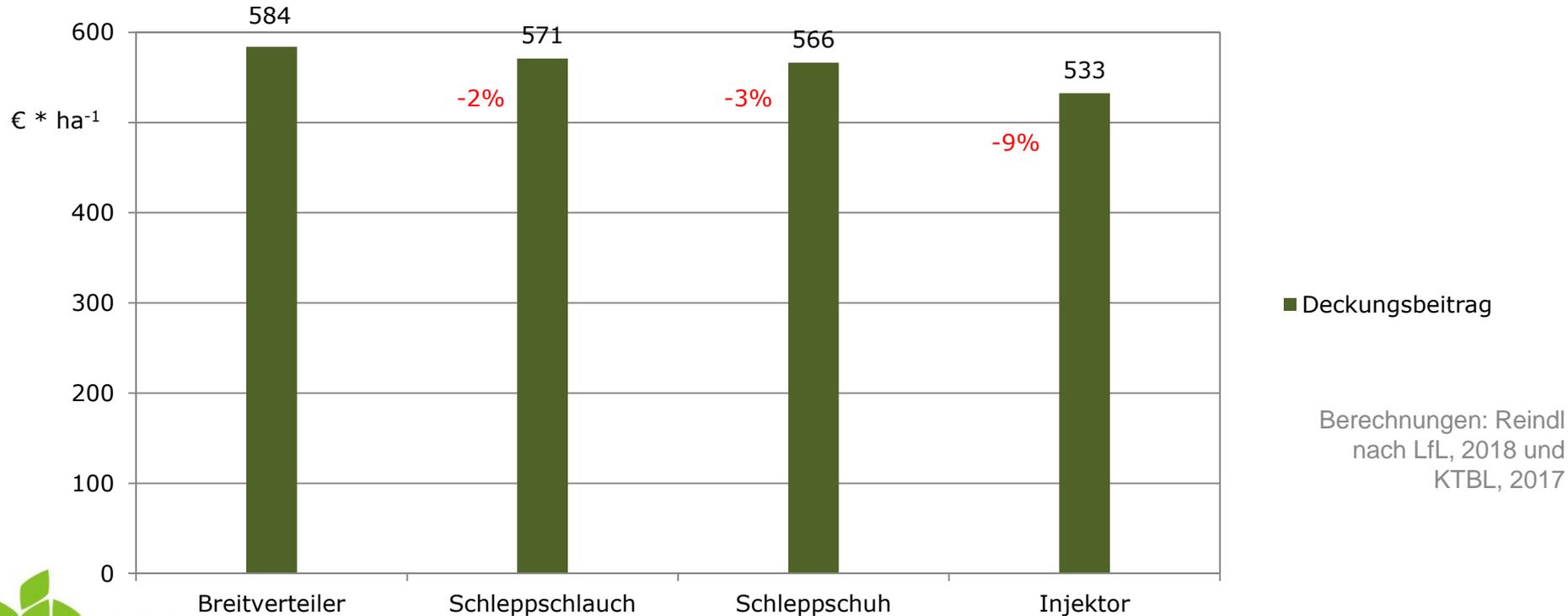
	Einheit	Prallkopf	Schlepp- schlauch	Schleppschuh	Injektor
Überfahrten Mineraldüngung	Anzahl	2	2	2	1
Ausbringkosten Gülle LU	€ / m ³	3,80	4,35	4,70	6,30

Mechanisierung: Überbetrieblich

Ergebnisse - Deckungsbeitrag

DB Veränderung im Vergleich zu Prallkopf

-13,2 € * ha ⁻¹	-17,7 € * ha ⁻¹	-51,4 € * ha ⁻¹
-0,30 € * m ⁻³	-0,41 € * m ⁻³	-1,18 € * m ⁻³



Ergebnisse – THG-Vermeidung und Kosten

THG-Vermeidungskosten Szenario 1

0,10 € * kg CO₂-Äq⁻¹

0,07 € * kg CO₂-Äq⁻¹

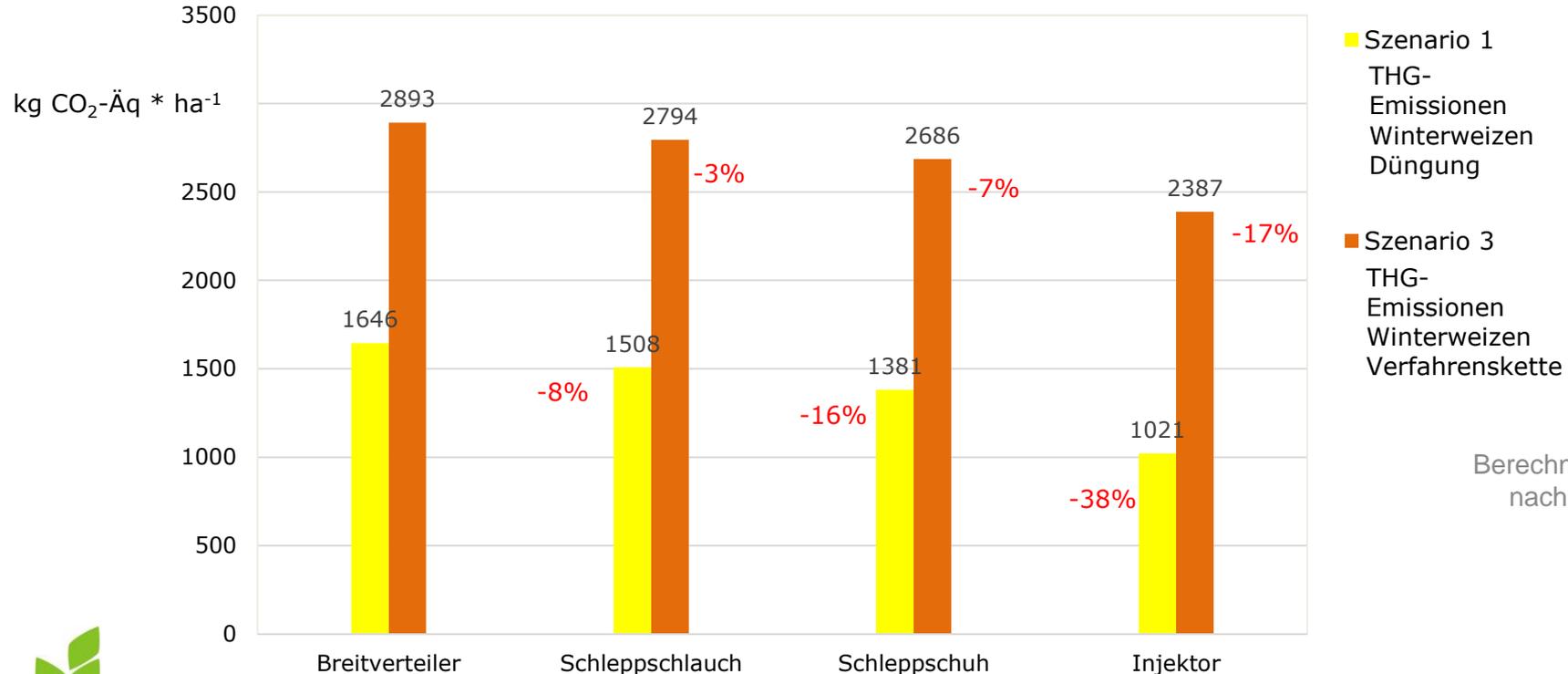
0,08 € * kg CO₂-Äq⁻¹

THG-Vermeidungskosten Szenario 3

0,13 € * kg CO₂-Äq⁻¹

0,09 € * kg CO₂-Äq⁻¹

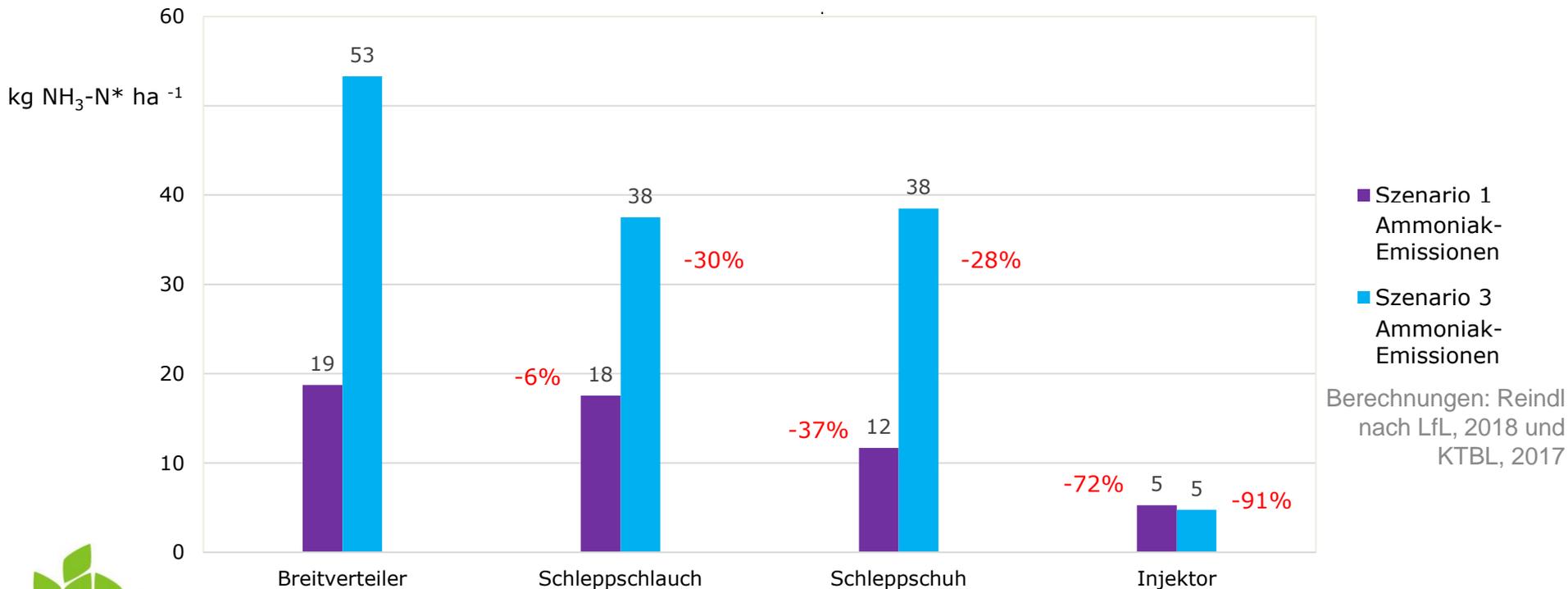
0,10 € * kg CO₂-Äq⁻¹



Berechnungen: Reindl
nach LfL, 2018 und
KTBL, 2017

Ergebnisse – Ammoniak-Vermeidung und Kosten

Ammoniak-Vermeidungskosten Szenario 1	11,3 € * kg NH ₃ -N ⁻¹	2,5 € * kg NH ₃ -N ⁻¹	3,8 € * kg NH ₃ -N ⁻¹
Ammoniak-Vermeidungskosten Szenario 3	0,84 € * kg NH ₃ -N ⁻¹	1,19 € * kg NH ₃ -N ⁻¹	1,06 € * kg NH ₃ -N ⁻¹



Schlussfolgerungen 1:

- Präzise Wirtschaftsdüngerausbringung kann NH_3 Emissionen vermeiden und sollte Hand in Hand mit einer Reduktion von Düngeaufwandmengen (falls die NUE erhöht wird) gehen, um Synergien mit der THG-Minderung zu erzielen.
- Investitionskosten sind nicht notwendiger Weise von höheren Erträgen/Qualitäten oder geringere Mineraldüngekosten gedeckt.
- Die Vermeidung negativer Umweltwirkungen kann mit Hilfe von Vermeidungskosten bewertet werden.

Schlussfolgerung 2:

- Bisher bleiben die N_2O Emissionen und die NUE verschiedener Ausbringtechniken in Betriebs- und Prozessmodellen oft unberücksichtigt
- Berücksichtigung der NUE hat großen Einfluss auf die THG-Bilanzergebnisse
- Alternative zu komplexen, dynamischen N Modellen in integrierten THG-Modellen; NH_3 -Verluste alleine beschreiben nicht ausreichend die NUE
- Forschungsbedarf
 - Feldversuche: N_2O Emissionen und NUE mit NH_3 -reduzierender Ausbringtechnik + Beschreibung von Technik, Management, Düngemittel, Böden, Wetter, Kulturpflanzen
 - Herausforderung im LCA:
 - Fruchtfolgen und Ernterückstände, Langzeiteffekte von Maßnahmen entlang der Produktionskette, Maßnahmen-Interaktion und Nebeneffekte
 - Bring together the loose ends!
- **Offene Fragen:** NUE – Gibt es hier mehr Fruchtart- und Standortspezifische Werte für eine Datensammlung (Forschungsaktivitäten der Forschungseinrichtungen / Tagungsteilnehmer)? Forschungsleitfaden für Feldversuche? Höhere N_2O -Emissionen bei Injektion berücksichtigen?

A scenic landscape at sunrise or sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm, golden glow over the scene. The foreground is a dark, grassy field. In the middle ground, a line of trees is silhouetted against the bright sky. An airplane is visible in the upper right portion of the sky, flying towards the right. Several power lines stretch across the top of the image.

Danke für die Aufmerksamkeit!

Literatur

- BAFU, (2018): <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html> Zugriff: 01.10.2018
- EUC (European Commission), (2017): Commission implementing decision (EU) 2017/302 of 15 February 2017 establishing best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for the intensive rearing of poultry or pigs (notified under document C(2017) 688). L43/231 Official Journal of the European Union
- Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B. (2018): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2016 Report on methods and data (RMD) Submission 2018. Thünen Report 57. Braunschweig, Germany ISBN 978-3-86576-181-1
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, NY, USA, 1535 pp.
- KTBL, (2017): Betriebsplanung Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, Germany
- KTBL, (2018b): Dieselbedarfsrechner. Web-Application (In German) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, Germany <https://daten.ktbl.de/dieselbedarf/main.html> Zugriff: 11.06.2018
- Kupper, T.; Bonjour, C.; Menzi, H. (2015): Evolution of farm and manure management and their influence on ammonia emissions from agriculture in Switzerland between 1990 and 2010. Atmospheric Environment 103; pp 215-221
- LfL, (2018): IDB – Internet Deckungsbeitragsrechner <https://www.lfl.bayern.de/iba/unternehmensfuehrung/088966/index.php> Zugriff: 11.06.2018
- Lichti, F. H. (2013): Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärrückständen aus der Biogasgewinnung. (In German) Dissertation. Technical University of Munich, Chair of Plant Nutrition. Germany
- Osterburg, (2017): Die Rolle der Landwirtschaft in der Klimaschutzpolitik. 8. Agrarwissenschaftliches Symposium „Herausforderung Klimawandel“ 21. September 2017, Hans Eisenmann-Zentrum, Freising
- Schmidt, J. (2014): Potentiale der Energieeinsparung im Ackerbau und Grünland. (In German) Land-Energie-Tag im Landkreis Starnberg. Landtechnik- und Energieberater FZ 3.11 AELF Ingolstadt
- Santonja, G. G.; Georgitzikis, K.; Scalet, B.; Montobbio, P.; Roudier, S.; Sancho, L. D. (2017): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) ISBN 978-92-79-70214-3
- UBA, (2018a): Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorie https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/3_tab_emi-ausgew-luftschadst_2017-06-12_0.png Zugriff: 06.02.2018
- UBA, (2018b): Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2018. REPORT REP-0641, Umweltbundesamt GmbH Vienna 2018. ISBN 978-3-99004-459-9
- Wendland, M.; Diepolder, M.; Offenberger, K.; Raschbacher, S. (2018): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland Gelbes Heft Stand: 2018 (In German). LfL-Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising, Januar 2018.
- Wulf, S.; Maeting, M.; Bergmann, S.; Clemens, J. (2001): Simultaneous Measurement of NH₃, N₂O and CH₄ to Assess Efficiency of Trace Gas Emission Abatement After Slurry Application. Phytol 41 (Austria) Special Issue: Nitrogen emissions, p. 131-142