



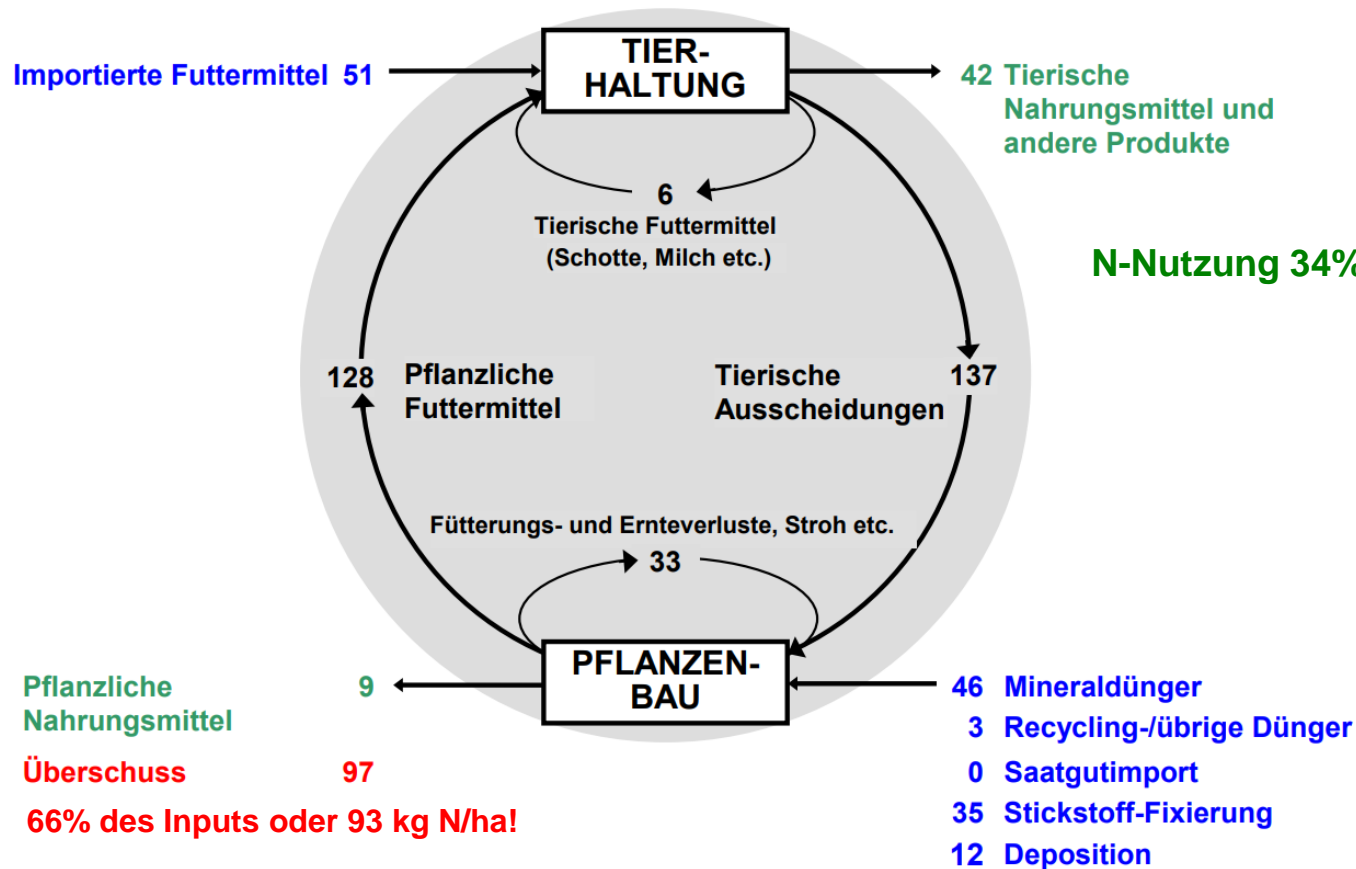
Hofdünger: Düngerwert und gute Verwertung

Jochen Mayer und Carole Epper

Critical N Workshop, Wallierhof, 24. November 2022



N-Kreislauf Landwirtschaft Schweiz 2018



Ernst Spiess, Frank Liebisch (2020)
 Nährstoffbilanz der schweizerischen
 Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2018.
 Agroscope Science 100. DOI
<https://doi.org/10.34776/as100g>

Parlamentsbeschluss Pa. Iv. 19.475
 in der Frühlingssession 2021:

Reduktion N-Überschuss bis 2030
 um mindestens 20%
 (im Vergleich zu 2014-2016)

Abbildung 4: Stickstoffkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 2018 (in 1000 t N) mit den verschiedenen Input- (in blau) und Output-Größen (in grün), dem Überschuss (in rot) und den landwirtschaftsinternen Flüssen (in schwarz).



N Kreislauf in Gemischtbetrieb

Input

Futter NPK

Innerbetrieblicher Nährstoffkreislauf

Nutzung des Futters durch tierisches Produkt

Output

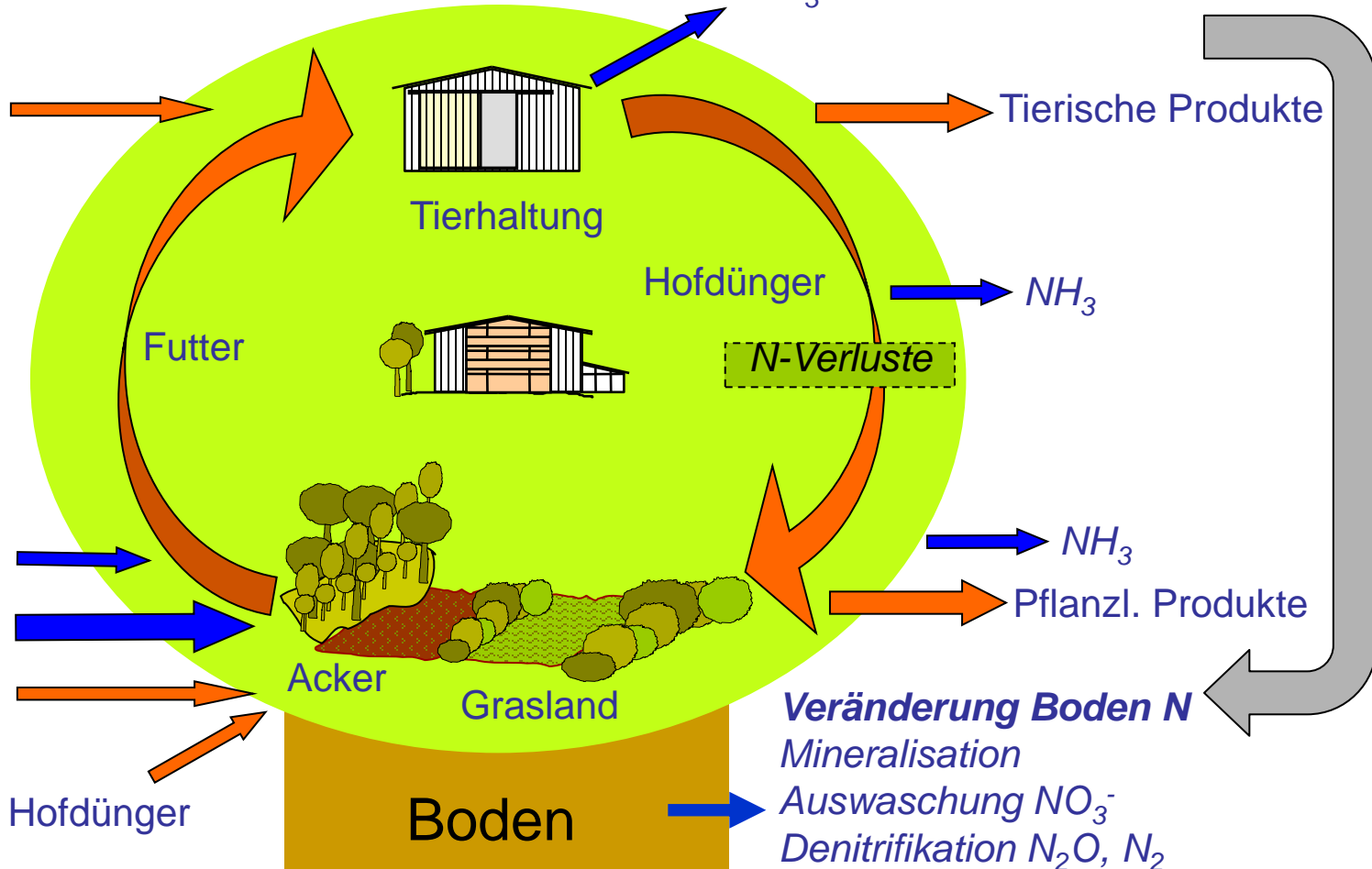
Tier. Produkt

N 27%, P 25%, K 9%

Ausscheidung

N 73%, P 75%, K 91%

Futter



Rezirkulation

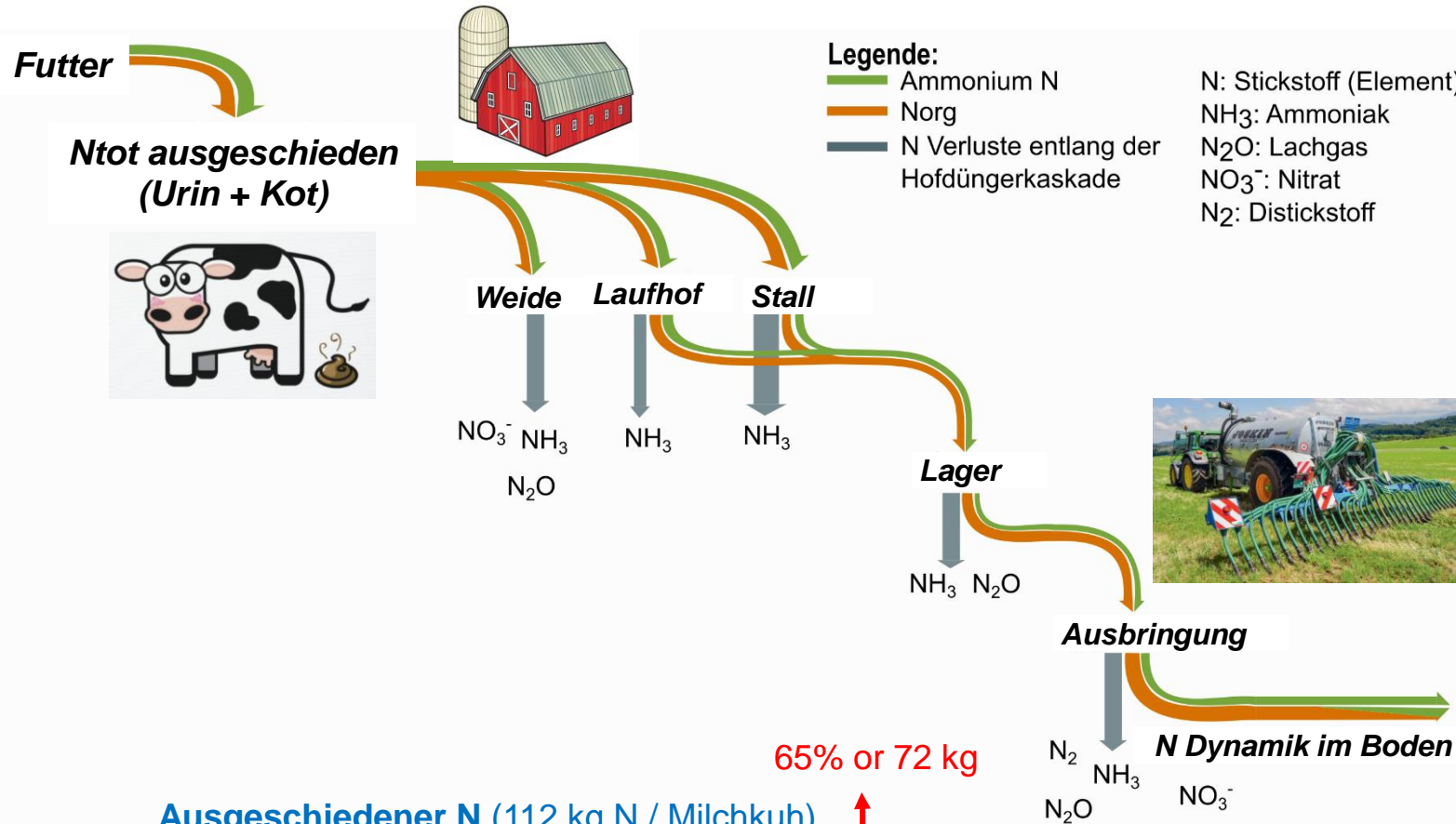
> 90%
P, K, Mg, ...

aber N??

Veränderung Boden N
Mineralisation
Auswaschung NO₃⁻
Denitrifikation N₂O, N₂



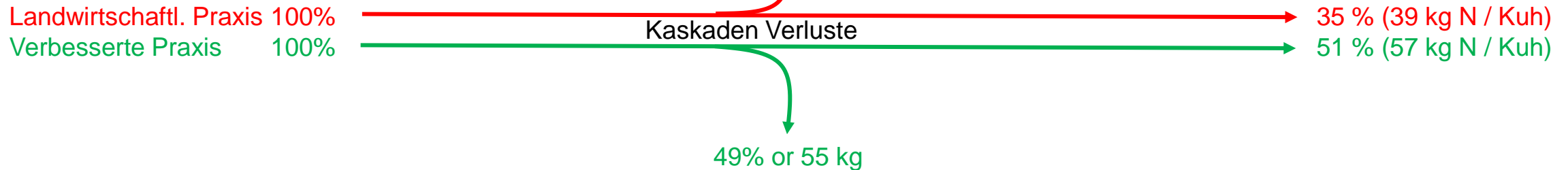
N Verluste entlang der Hofdüngerkaskade



Mittel Schweizer Gemischtbetriebe

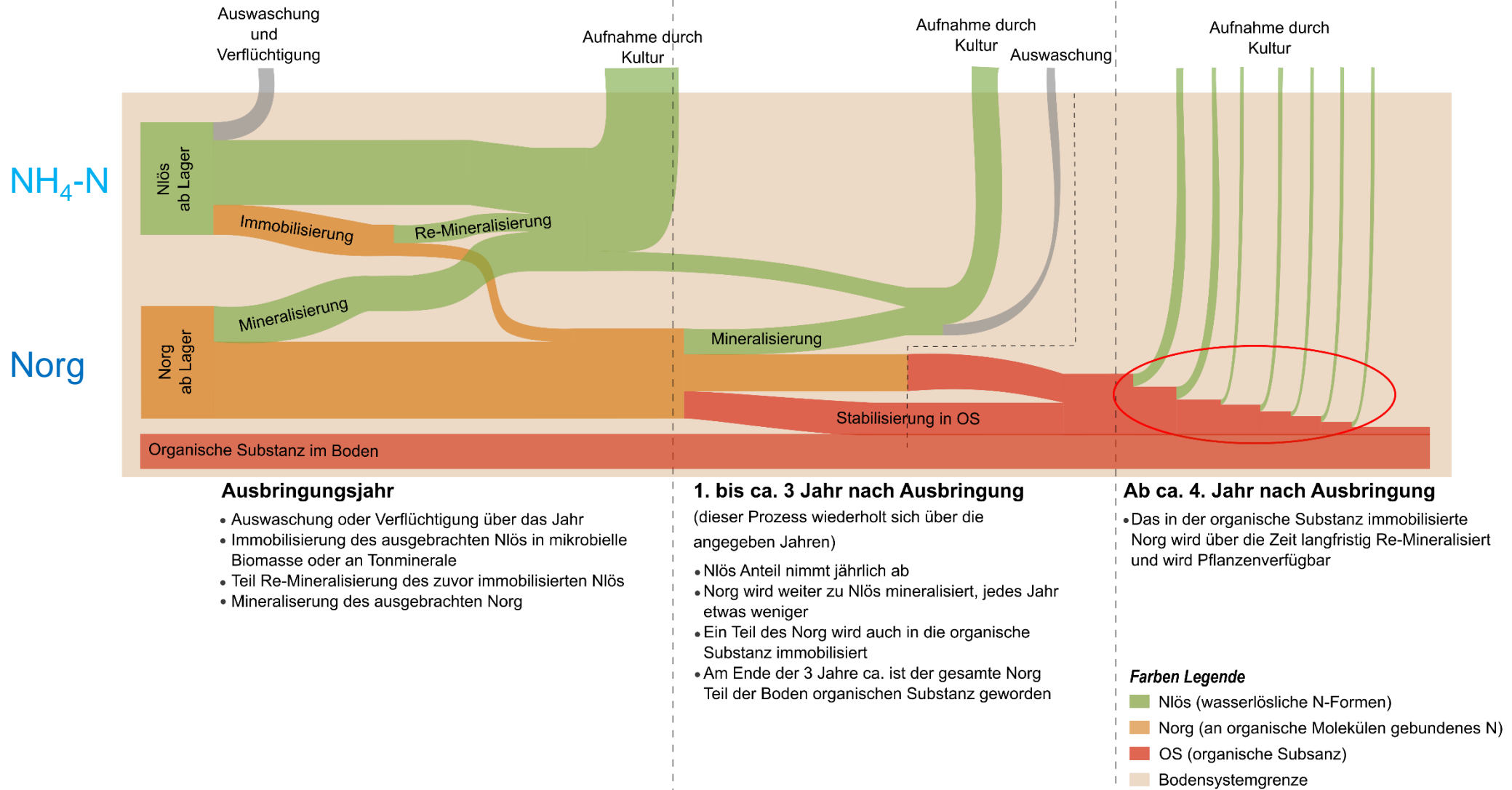


Nutzung N Pflanzen





N Dynamik im Boden: Prozesse, welche die N-Ausnutzungseffizienz beeinflussen





Recycle4Bio Experiment (R4B) Ziele

- N-Ausnutzung von **unbehandelter** Gülle im Vergleich zu **vergorener** Gülle und **flüssigem Gärgut** (Presswasser)?
- N-Ausnutzung von **festem Gärgut** und daraus hergestelltem **Kompost**?
- Einfluss der Zugabe von **Pflanzenkohle**?
- N-Ausnutzung der **NH₄-N Fraktion** der Flüssigdünger im Ausbringungsjahr?
- **Nachwirkung** in den Folgejahren?
- Verlagerung von **NH₄-N** wird in tiefere Bodenschichten?
- Unterschiede beim **Auswaschungsrisiko** zwischen den Flüssigdüngern?
- Wie viel **Nitrat-N** wird potenziell ausgewaschen?

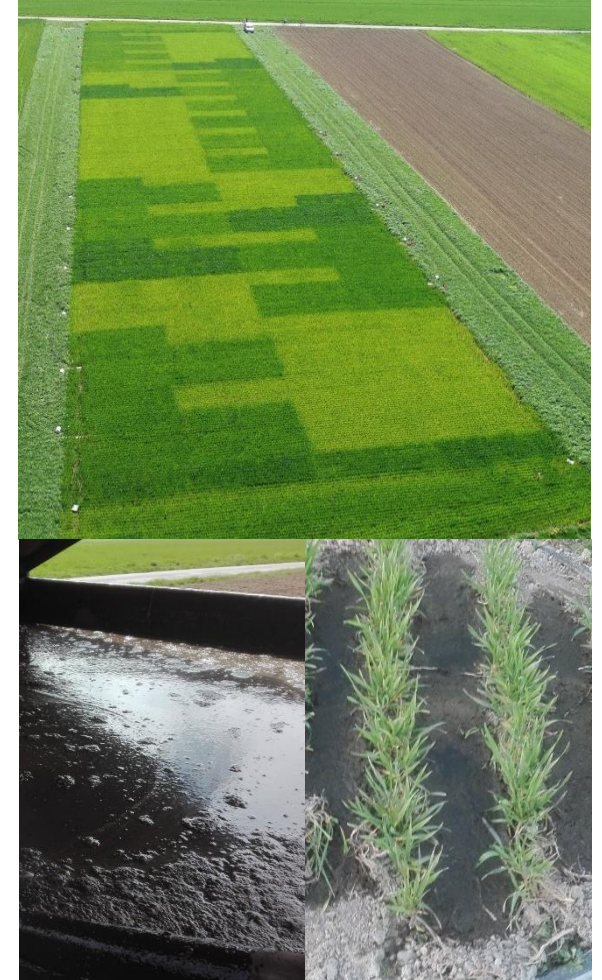


Foto: Maïke Krauss, FiBL



Foto: Maïke Krauss, FiBL

Standort Wallbach (AG)

- 330m N.N.
- 10.8 C, 1104 mm (2004-2017)
- Parabraunerde aus Löss

Kontrollen

NON	Kein N (0-Kontrolle)
MIN	Mineralischer N-Dünger (Positiv-Kontrolle)

Flüssige organische Dünger (Kernverfahren)

SLU	Gülle (aerob)
SLA	Biogasgülle (anaerob, landwirtschaftliche Vergärungsanlage)
SLA+	Biogasgülle SLA + Pflanzenkohle
LID	Gärgut flüssig (anaerob, gewerbliche Vergärungsanlage)

Feste organische Dünger (reduzierte Untersuchungsintensität)

SD	Gärgut fest (anaerob, gewerbliche Vergärungsanlage)
SDC-	Gärgut fest kompostiert (wie SD, nachkompostiert)
SDC+	Gärgut fest kompostiert (wie SD, + Pflanzenkohle, nachkompostiert)

Vorfrucht 2017:
WW mit Kunstwiese

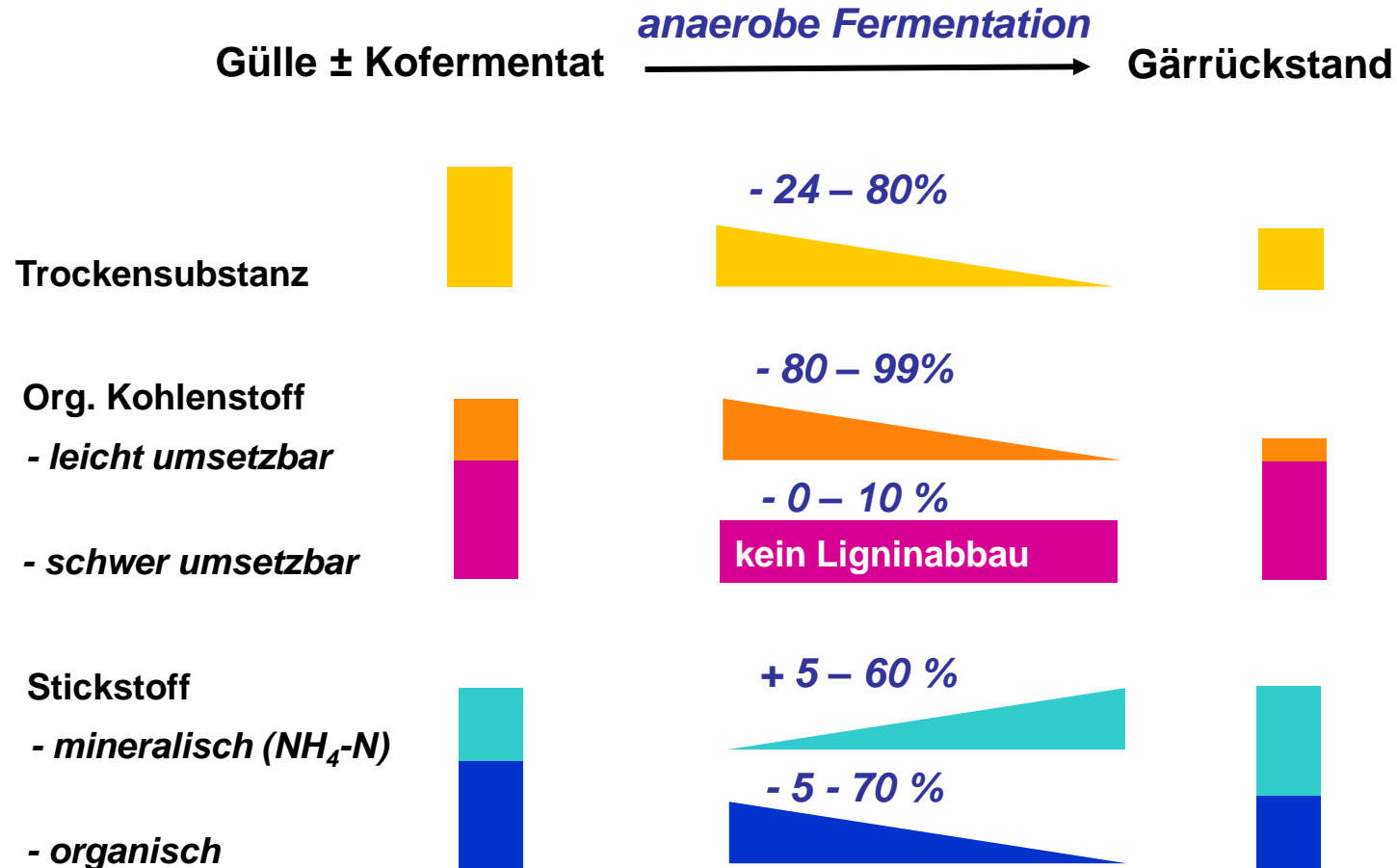
Mais 2018: 140 kg N

WW 2019: 140 kg N

WG 2020: 120 kg N

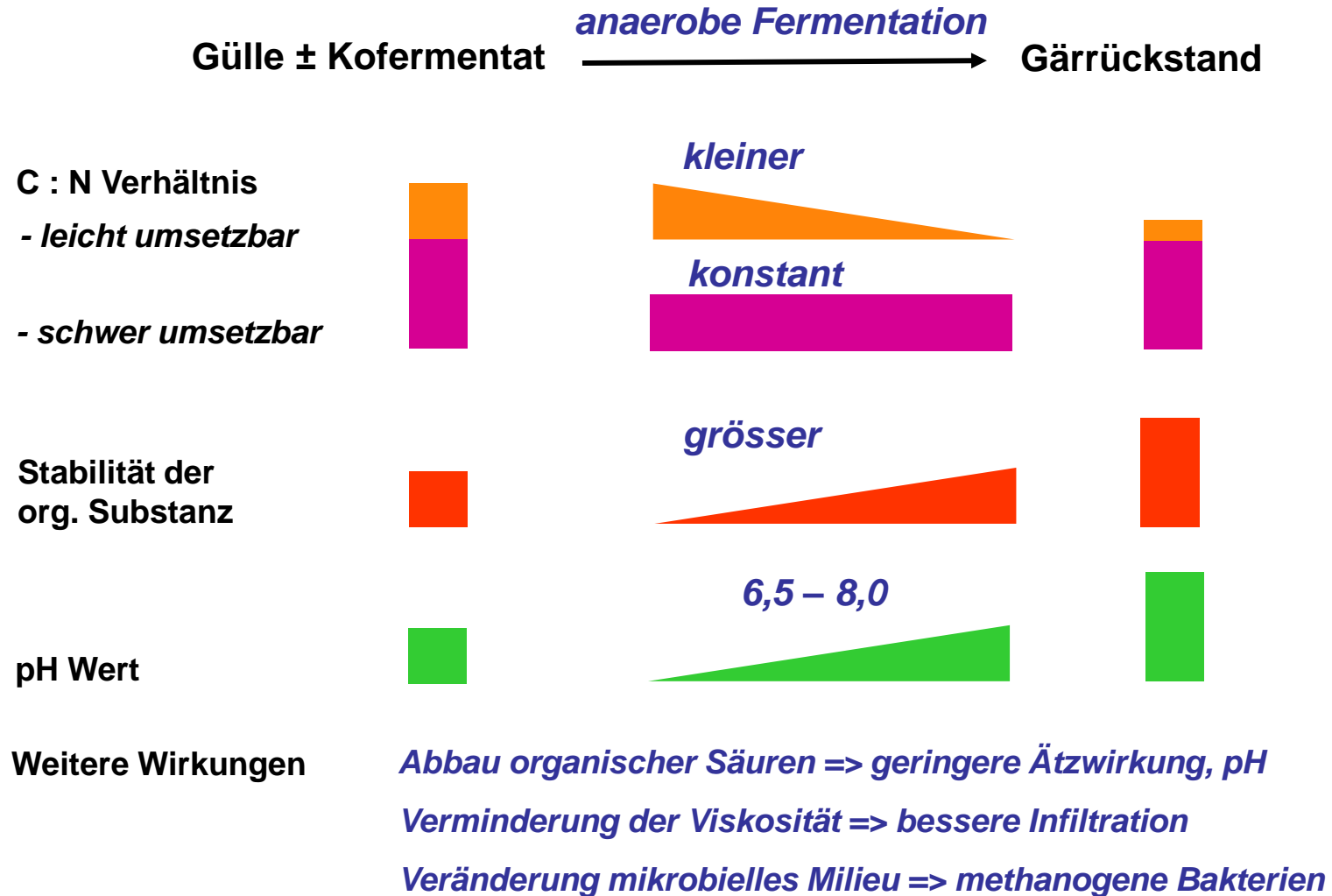


Eigenschaften von Biogasgülle





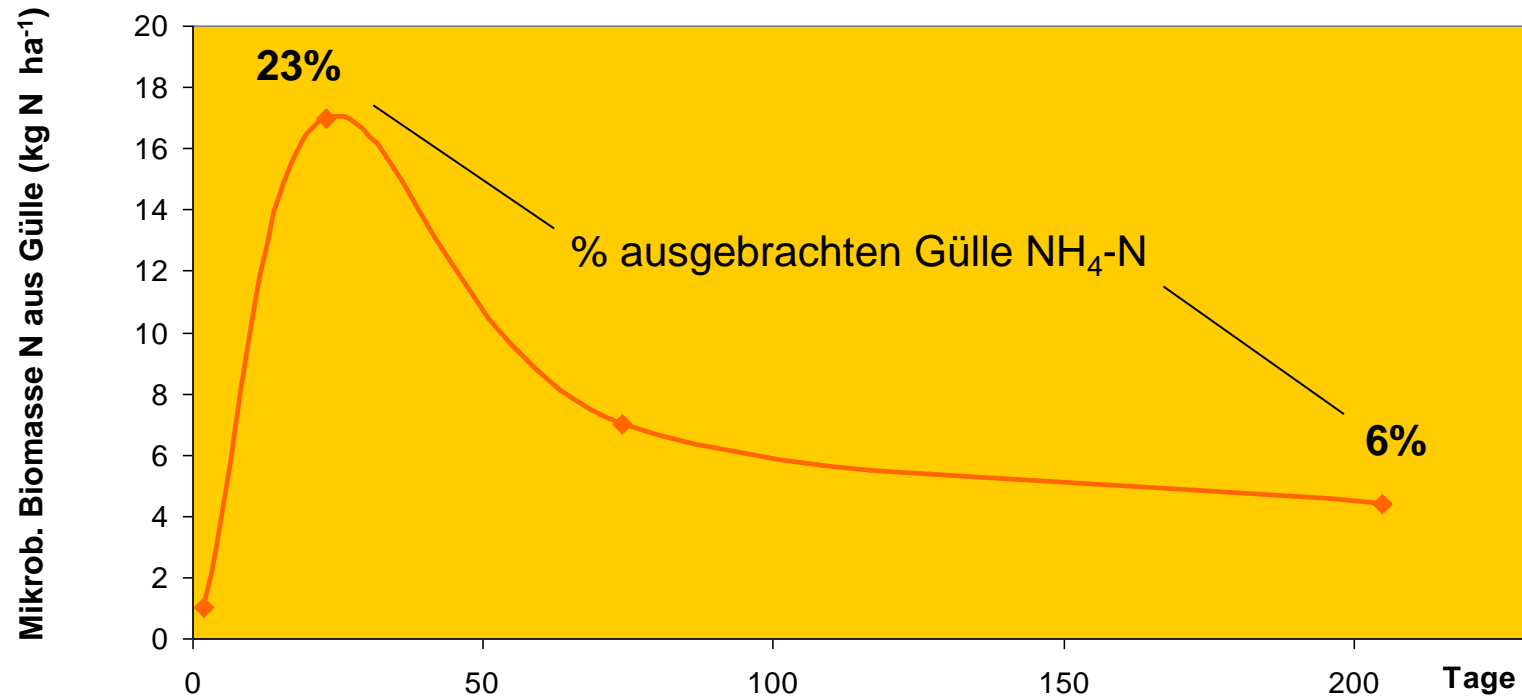
Eigenschaften von Biogasgülle





Temporäre mikrobielle Immobilisierung des $\text{NH}_4\text{-N}$ aus Rindergülle

Feldversuch, Nørhøne Dänemark, Boden 0 – 20 cm



Quelle: Jensen et al. 2000



Abhängigkeit C-Gehalt und N-Immobilisierung von Gülle

Dünger	C-Gehalt (% i. FS)	N-Immobilisierung (% Düngung)	
		Sand	Löss
Rindergülle	4,4	24	44
	2,0	16	34
	0,6	13	30
Kalk-Ammonsalpeter		7	13

Quelle: Gutser und Dosch 1996



R4B Zusammensetzung Recyclingdünger

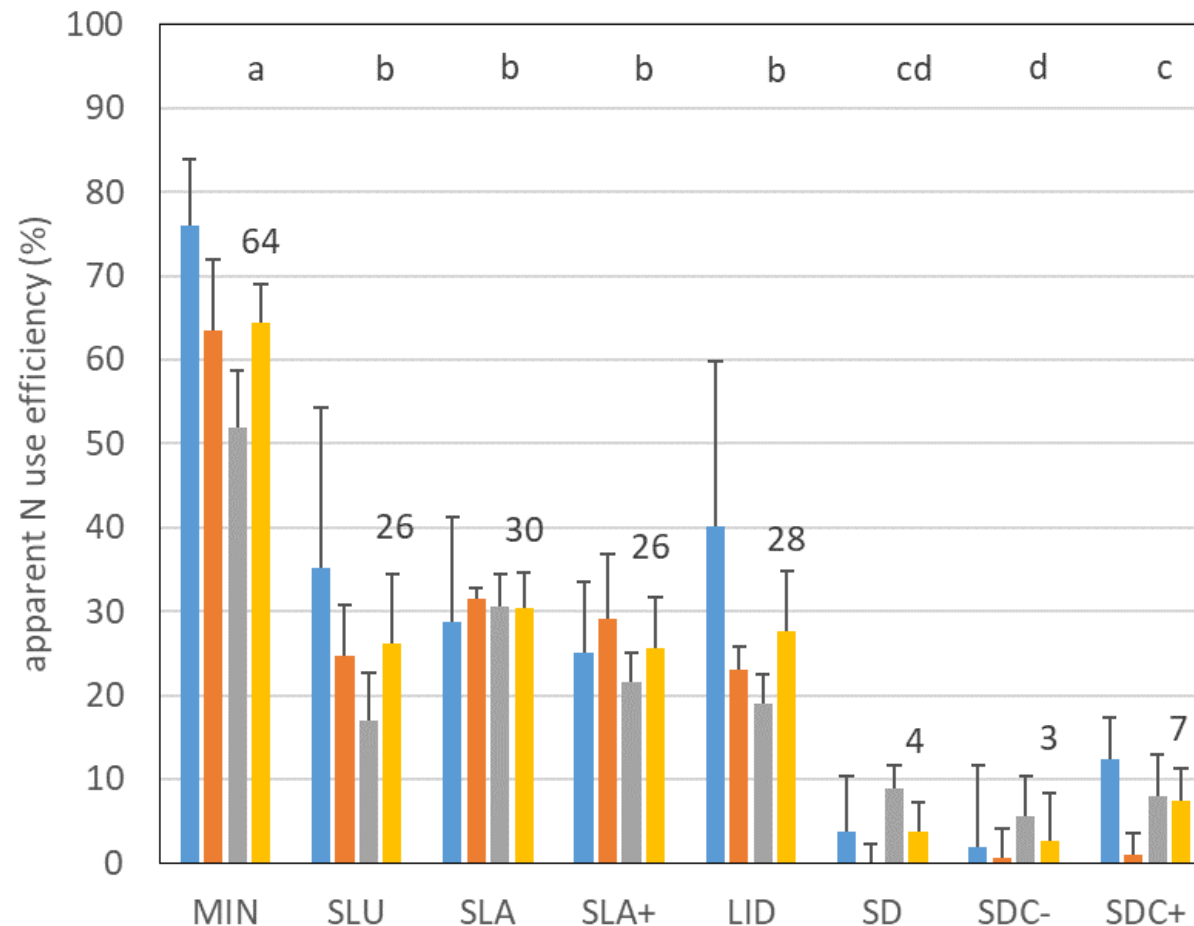
Dünger	TS-Gehalt %	pH	Gesamt-N g/kg TS	NH ₄ ⁺ % Gesamt-N	C/N
SLU	4.6 ±1.4	7.1 ±0.2	42.4 ±5.0	49.6 ±3.9	10.3 ±1.3
SLA	5.5 ±0.8	7.9 ±0.1	75.8 ±9.1	62.0 ±4.7	5.4 ±0.9
SLA+	8.4 ±1.1	8.0 ±0.2	49.1 ±3.7	54.6 ±5.4	8.4 ±0.9
LID	10.2 ±2.5	7.8 ±0.0	51.0 ±9.2	57.2 ±1.7	6.5 ±0.3
SD	38.2 ±4.1	7.4 ±0.6	15.6 ±3.2	25.2 ±11.1	24.4 ±10.7
SDC-	43.2 ±4.6	7.4 ±0.5	17.0 ±1.3	5.4 ±0.8	17.1 ±6.1
SDC+	41.3 ±4.3	7.6 ±0.4	14.3 ±1.2	4.5 ±1.1	20.1 ±3.5



R4B Scheinbare N-Ausnutzung

Scheinbare N-Ausnutzung* (%):

$(N \text{ Aufnahme gedüngt} - N \text{ Aufnahme NON}) / N \text{ Düngemenge (kg N/ha)} * 100$



***Scheinbare N-Ausnutzung**

- Differenzenmethode
- Bezugsgrösse oberirdische N-Aufnahme
- Relativ zur 0-N Kontrolle

- Silo-Mais 2018
- Winter-Weizen 2019
- Winter-Gerste 2020
- Kumulativ 2018 - 2020

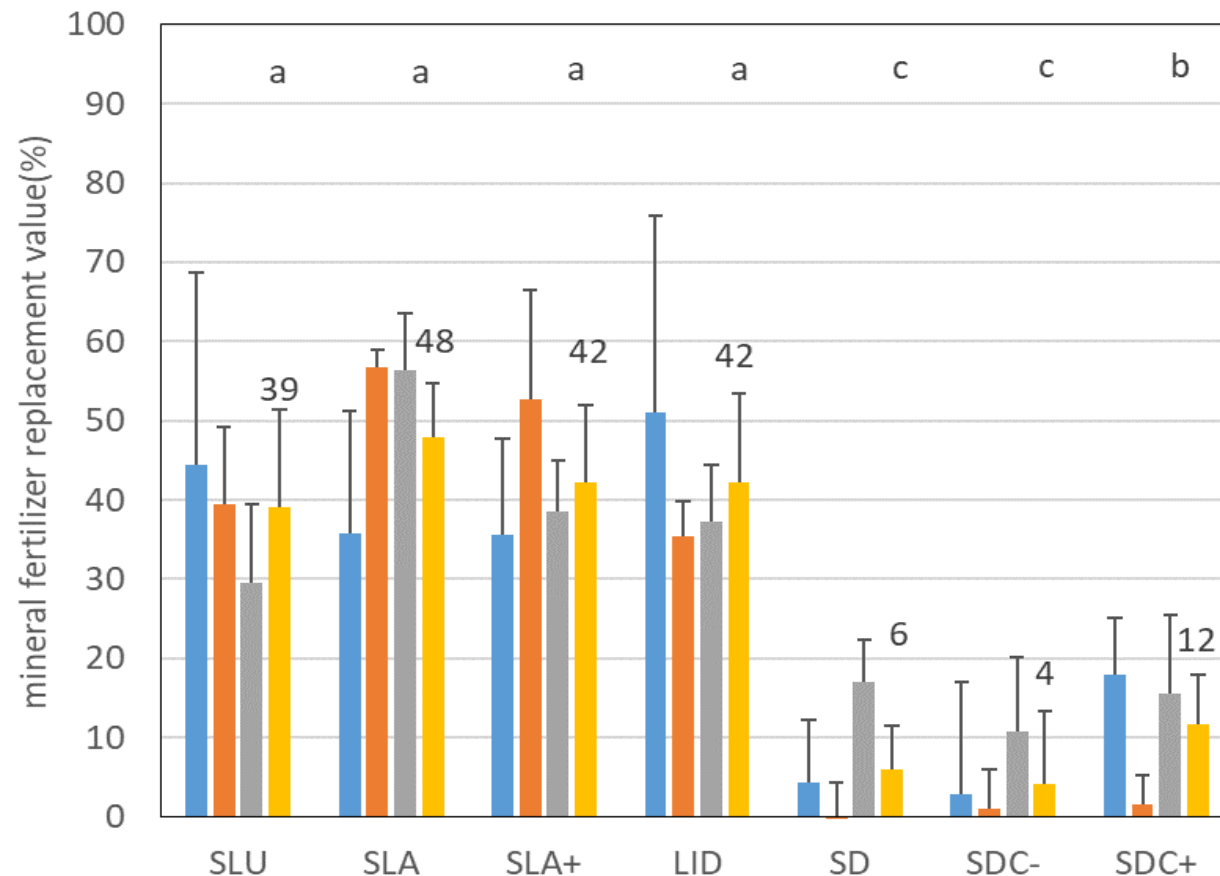
Signifikante Unterschiede nur für kumulative Werte angezeigt



R4B Mineraldünger-Äquivalent

Mineraldünger-Äquivalent* (%):

$(N \text{ Aufnahme gedüngt} - N \text{ Aufnahme NON}) / (N \text{ Aufnahme MIN} - N \text{ Aufnahme NON}) * 100$



*Mineraldünger-Äquivalent

- Differenzenmethode
- Bezugsgrösse oberirdische N-Aufnahme
- Bezugsgrösse relativ zur Mineraldüngung

- Silo-Mais 2018
- Winter-Weizen 2019
- Winter-Gerste 2020
- Kumulativ 2018 - 2020

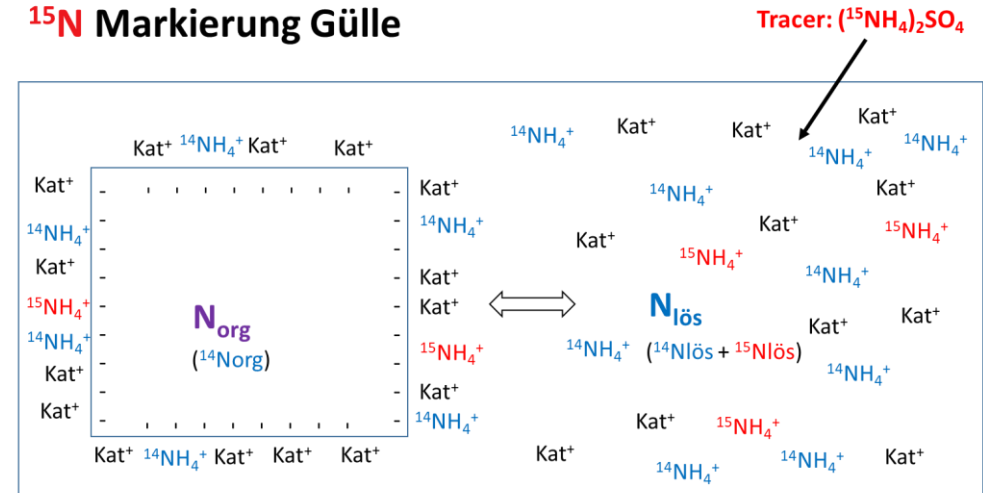
Signifikante Unterschiede nur für kumulative Werte angezeigt



¹⁵N Markierung Gülle



¹⁵N Markierung Gülle



Kat⁺ = Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺,...

Stabile Isotopenmethode

NH₄-NUE (%):

$$NUE(\%) = \frac{{}^{15}N_{\text{excess Probe gedüngt}}}{{}^{15}N_{\text{excess Dünger NH}_4\text{-N}}} \times 100$$



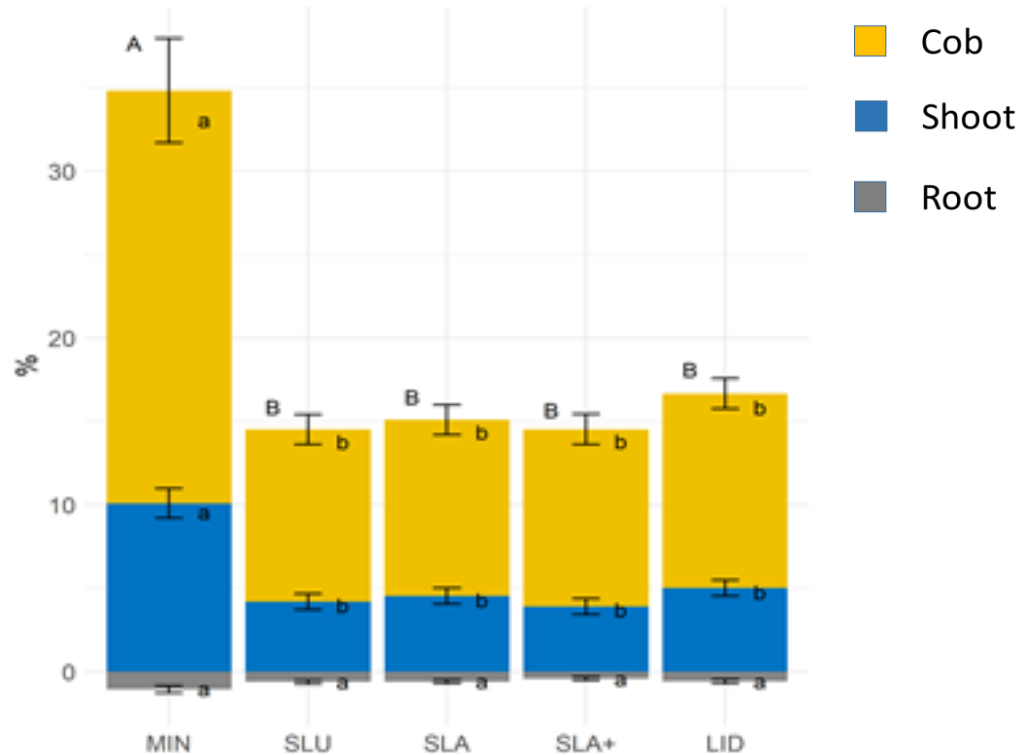


R4B NH₄-N Ausnutzung

NH₄-N Fraktion mit ¹⁵N markiert

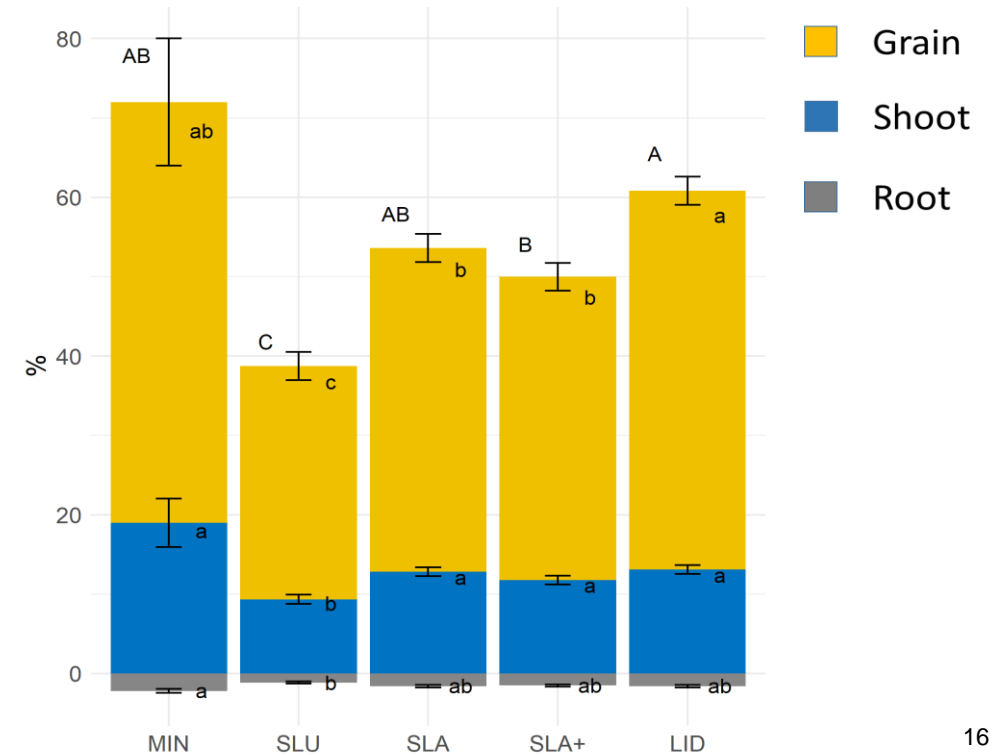
2018 Mais

% des applizierten NH₄-N



2019 Winter Weizen

% des applizierten NH₄-N





R4B Verluste Ammoniak

Mittlere kumulative NH₃-N Verluste 54h nach Ausbringung

(Efosa et al. 2021, in preparation)

	SLU	SLA	LID
kg ha ⁻¹	9.9	16.6	16.1
	(3.2)*	(5.3)	(5.8)
% ausgebrachter N _{tot}	15.6	25.3	24.3
	(5.1)	(9.9)	(8.8)
% ausgebrachter NH ₄ -N	31.0	41.5	43.0
	(8.8)	(16.8)	(16.0)

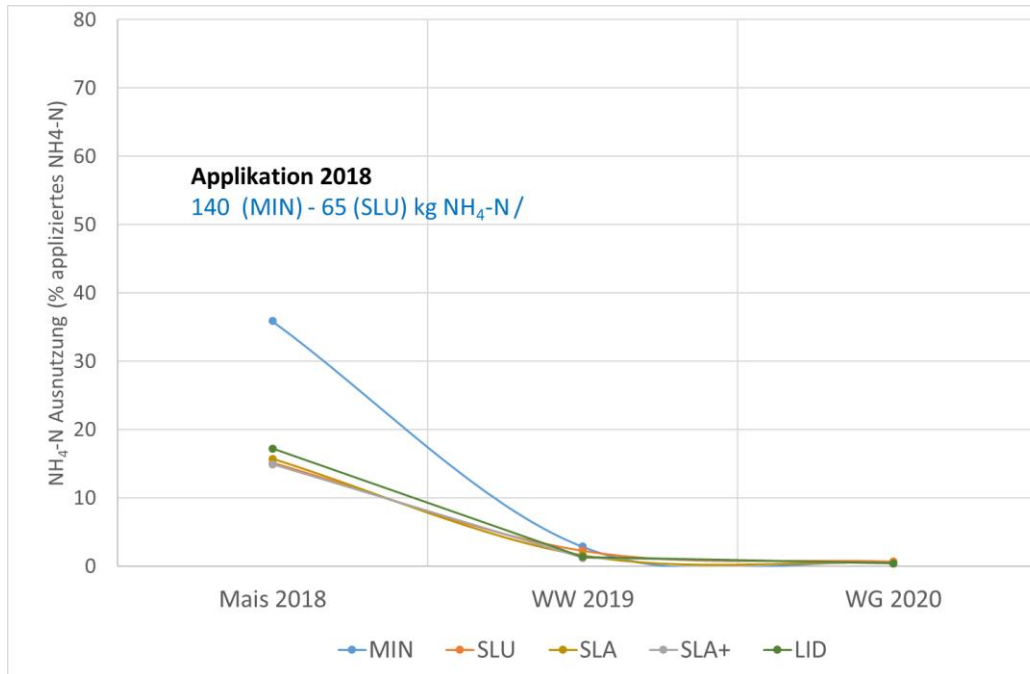
*Werte in Klammern zeigen Standardabweichung



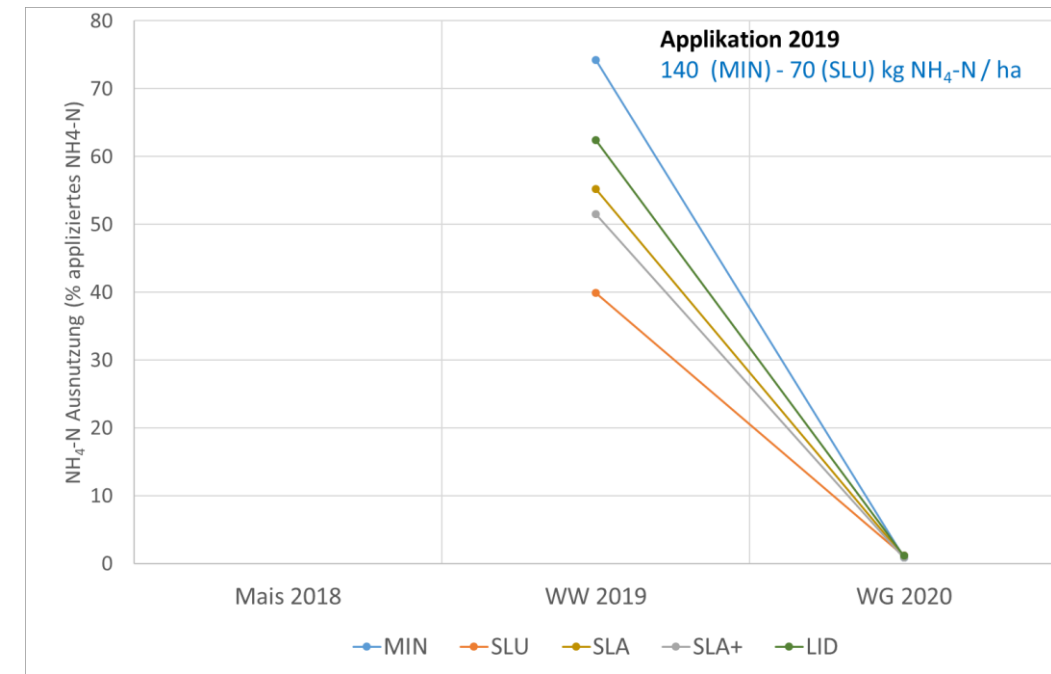
R4B NH₄-N Ausnutzung

NH₄-N Fraktion mit ¹⁵N markiert

2018 Mais



2019 Winter Weizen

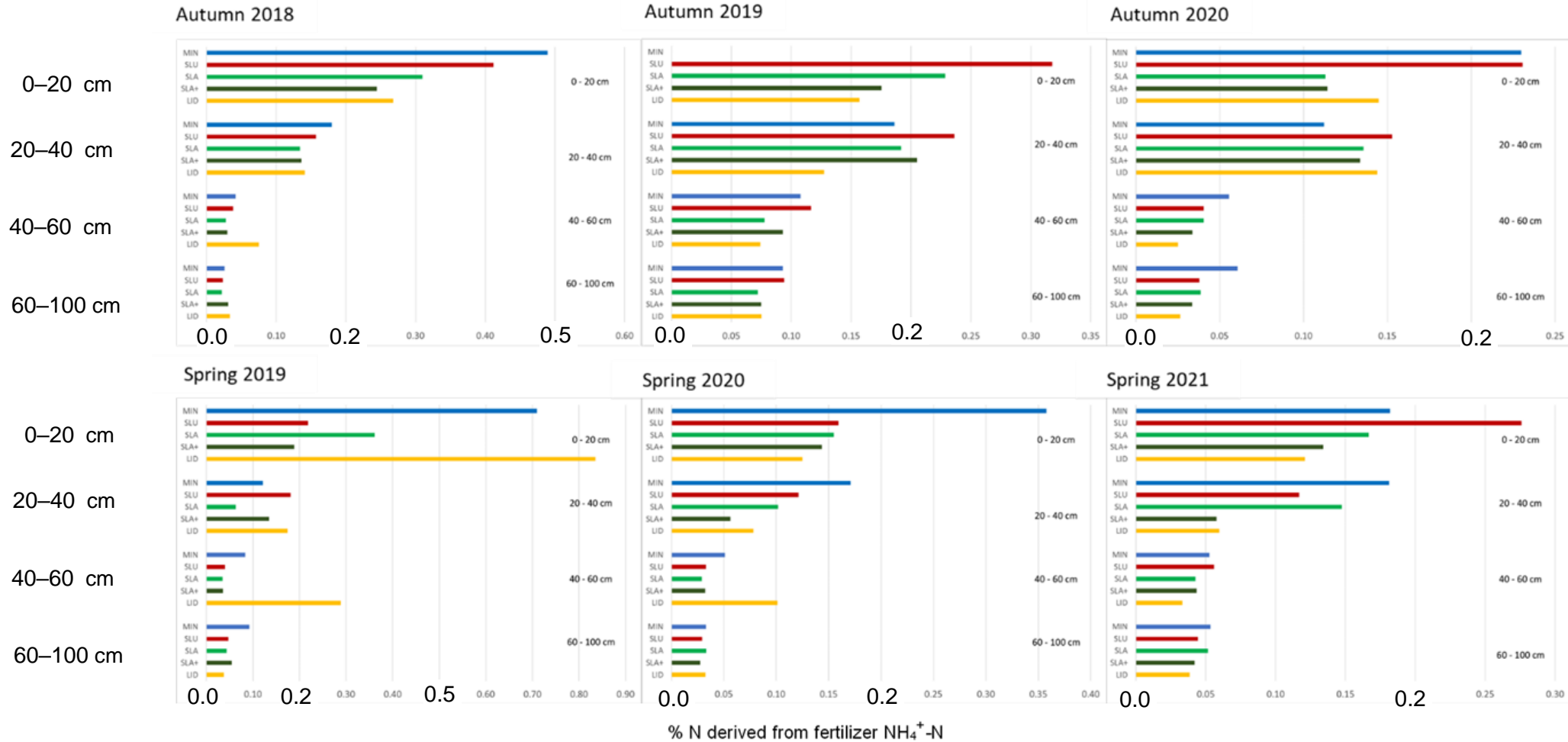




R4B Verluste Auswaschung

Wiederfindung von $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ in unterschiedlichen Bodentiefen

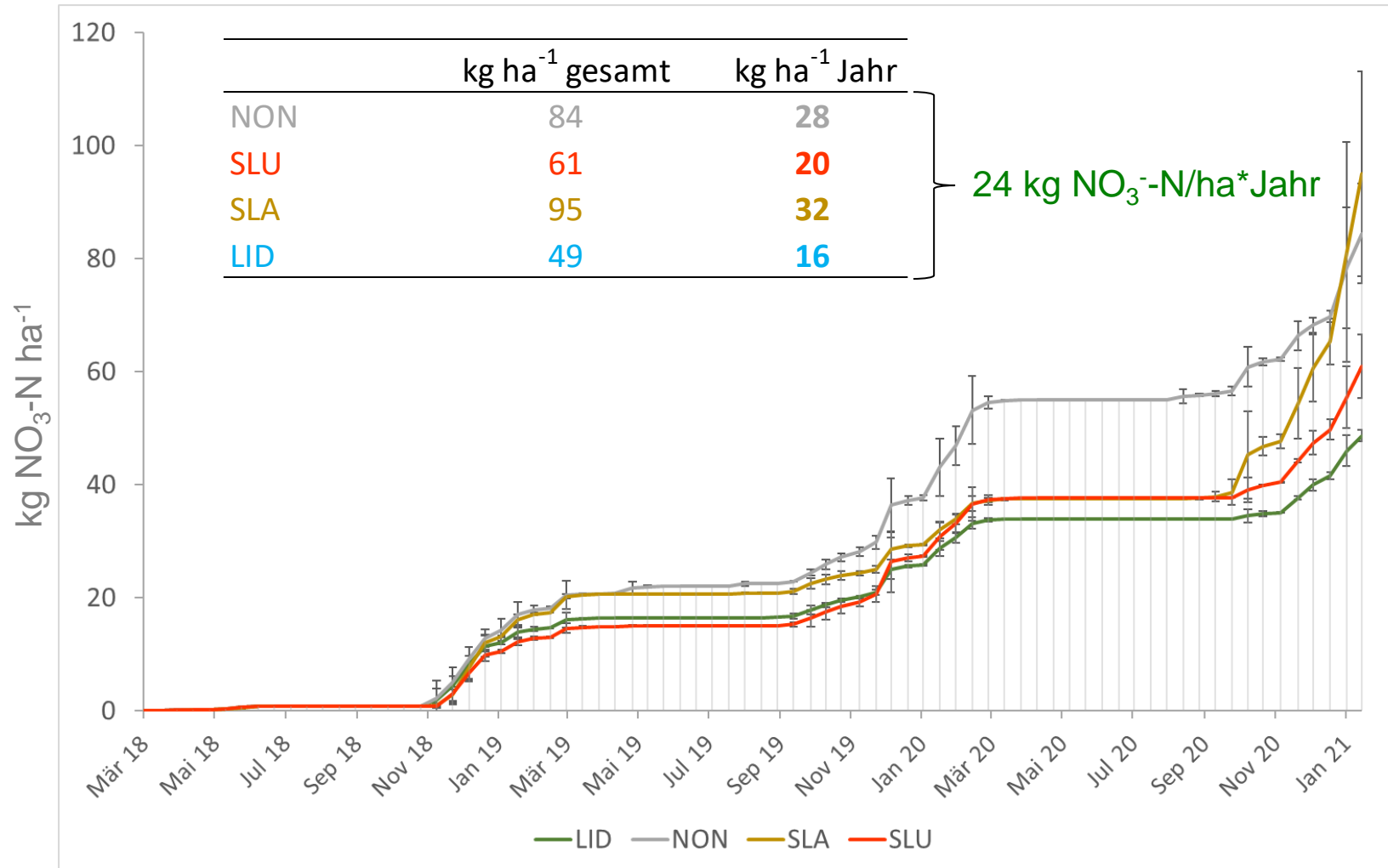
Application 2018





R4B Verluste Auswaschung

NO₃-N Auswaschung in Lysimeteranlage Reckenholz





Zusammenfassung **Recycle4Bio**

Liquid organic fertilizers

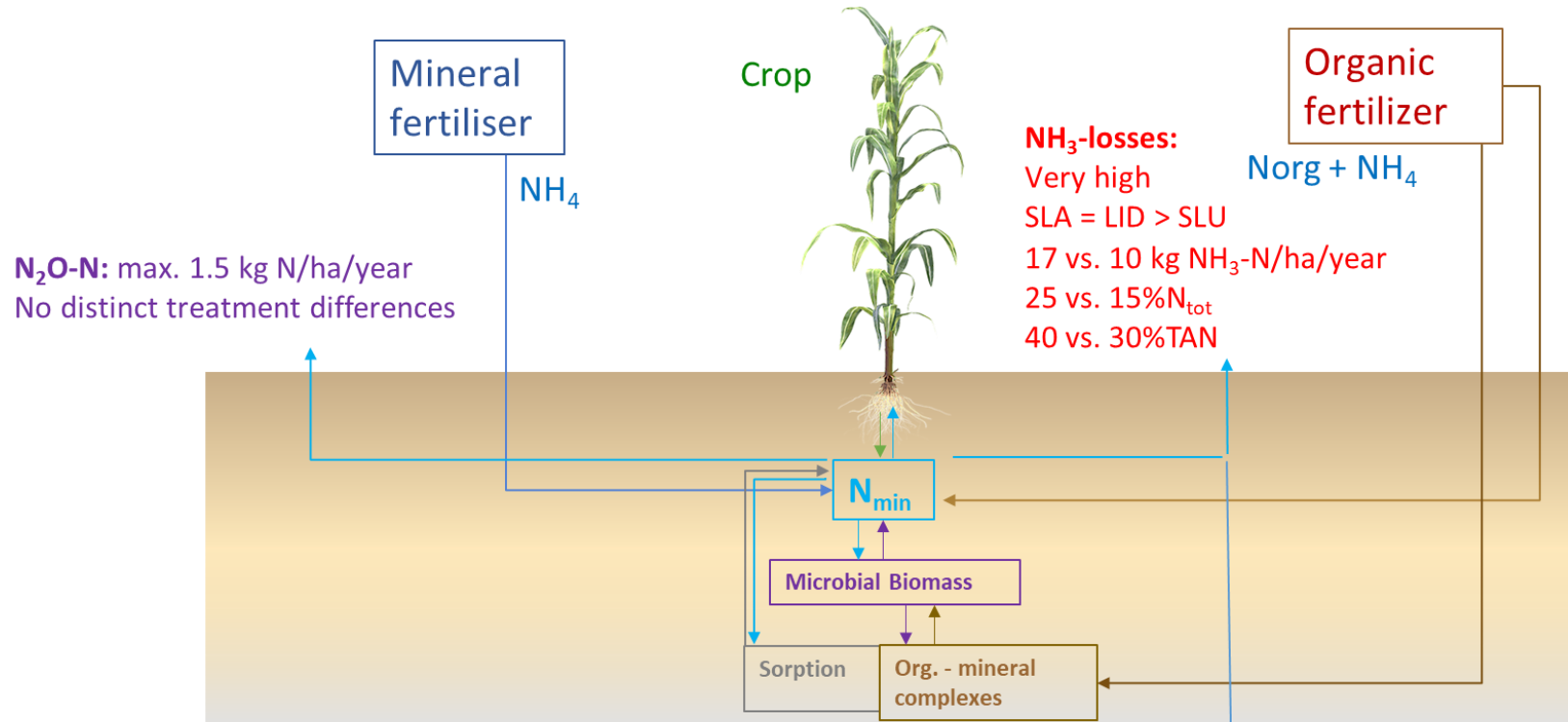
Apparent N use efficiency (NUE): $MIN > SLA \geq SLA^+ = LID = SLU$
Mineral fertilizer equivalent (MFE): $SLA \geq SLA^+ = LID = SLU$
NH₄-N use efficiency: $MIN > SLA = SLA^+ = LID \geq SLU$

NUE: 26-30%
MFE: 39-48%
NH₄-NUE: 40-60%¹

Solid organic fertilizers

Apparent N use efficiency: $SDC^+ \geq SDC^- = SD$
Mineral fertilizer equivalent (MFE): $SDC^+ > SDC^- = SD$

NUE: 3-7%
MFE: 4-12%



¹ results from MP19 only

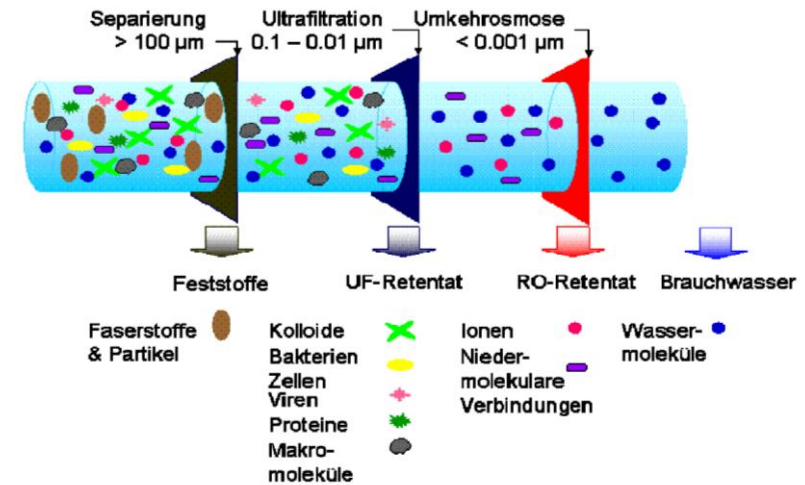
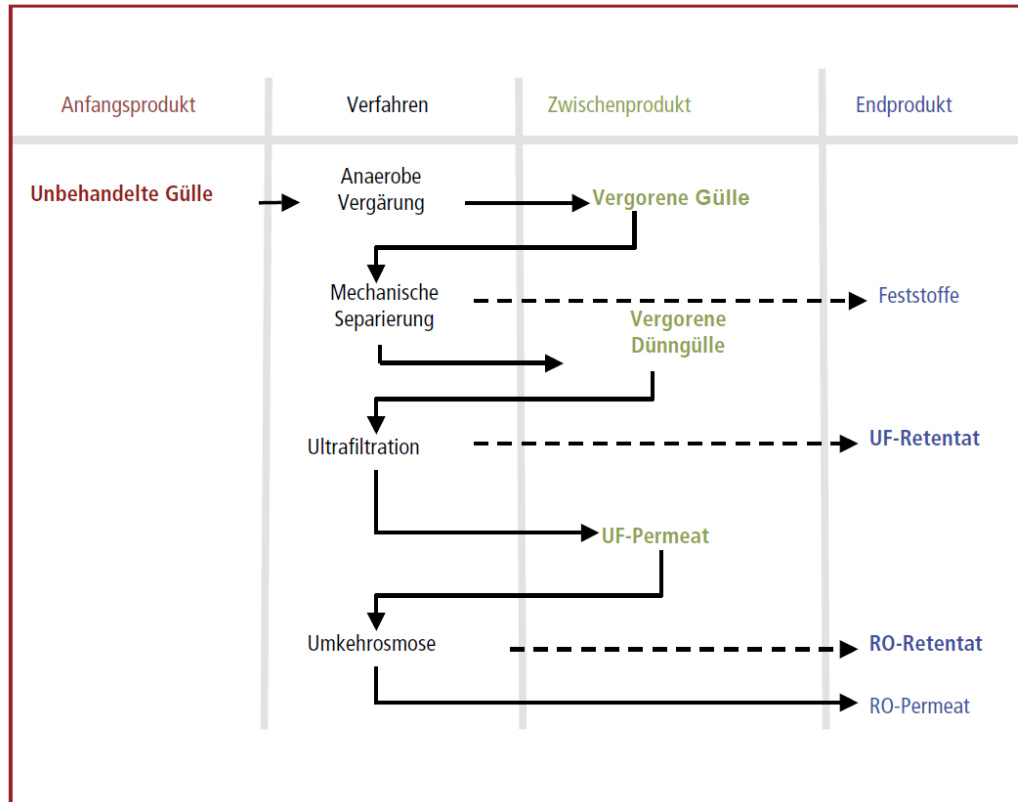
Leaching:
 Ca. 25 kg NO₃-N/ha/year, trend to treatment differences



Technische Gülleaufbereitung

Aufbereitung: Vergärung / Separierung / Ultrafiltration / Umkehrosmose

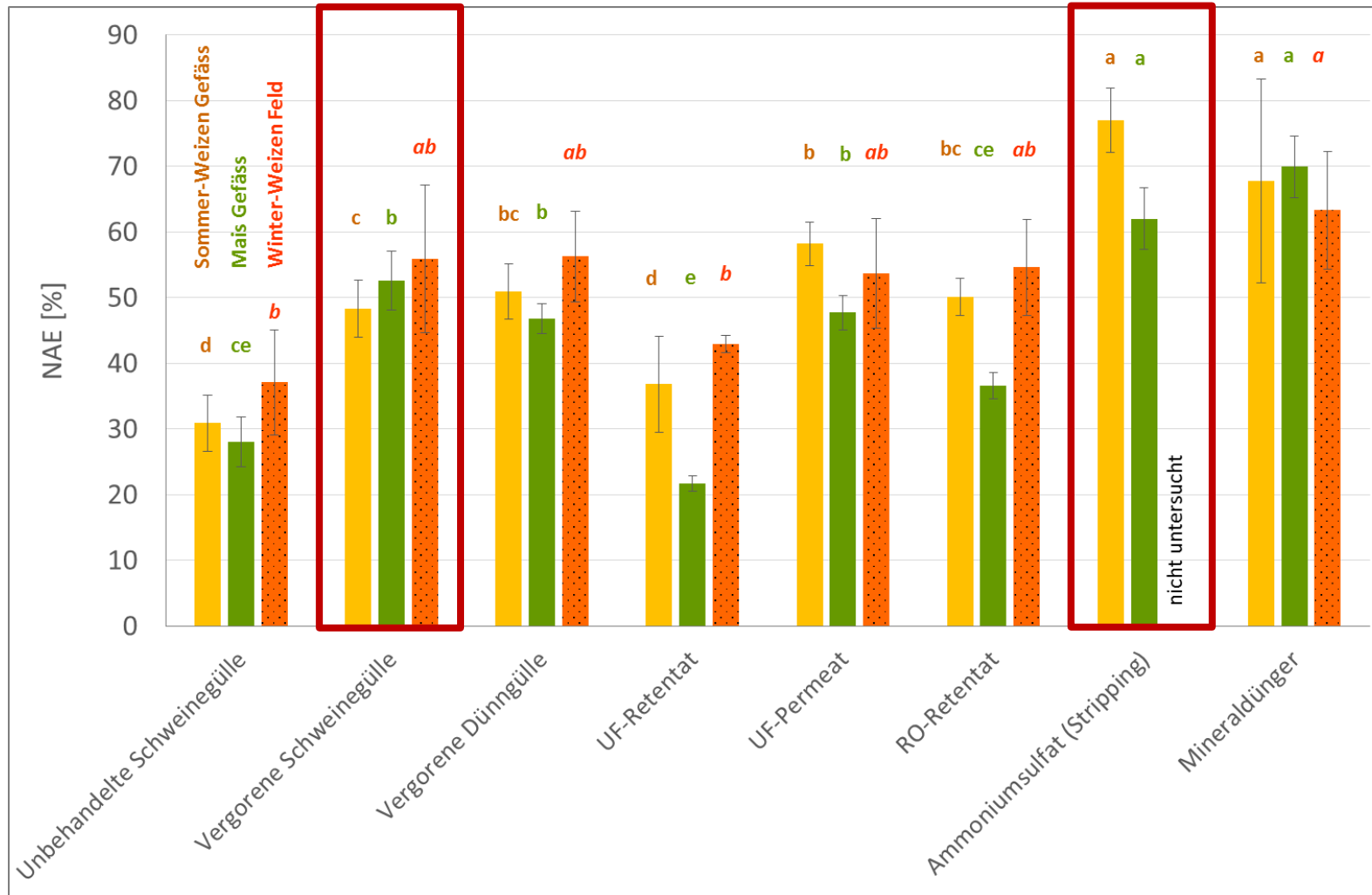
Quelle: Bosshard et al. (2010): Agrarforschung 1, 378-383.





Stickstoffausnutzungseffizienz (NAE)

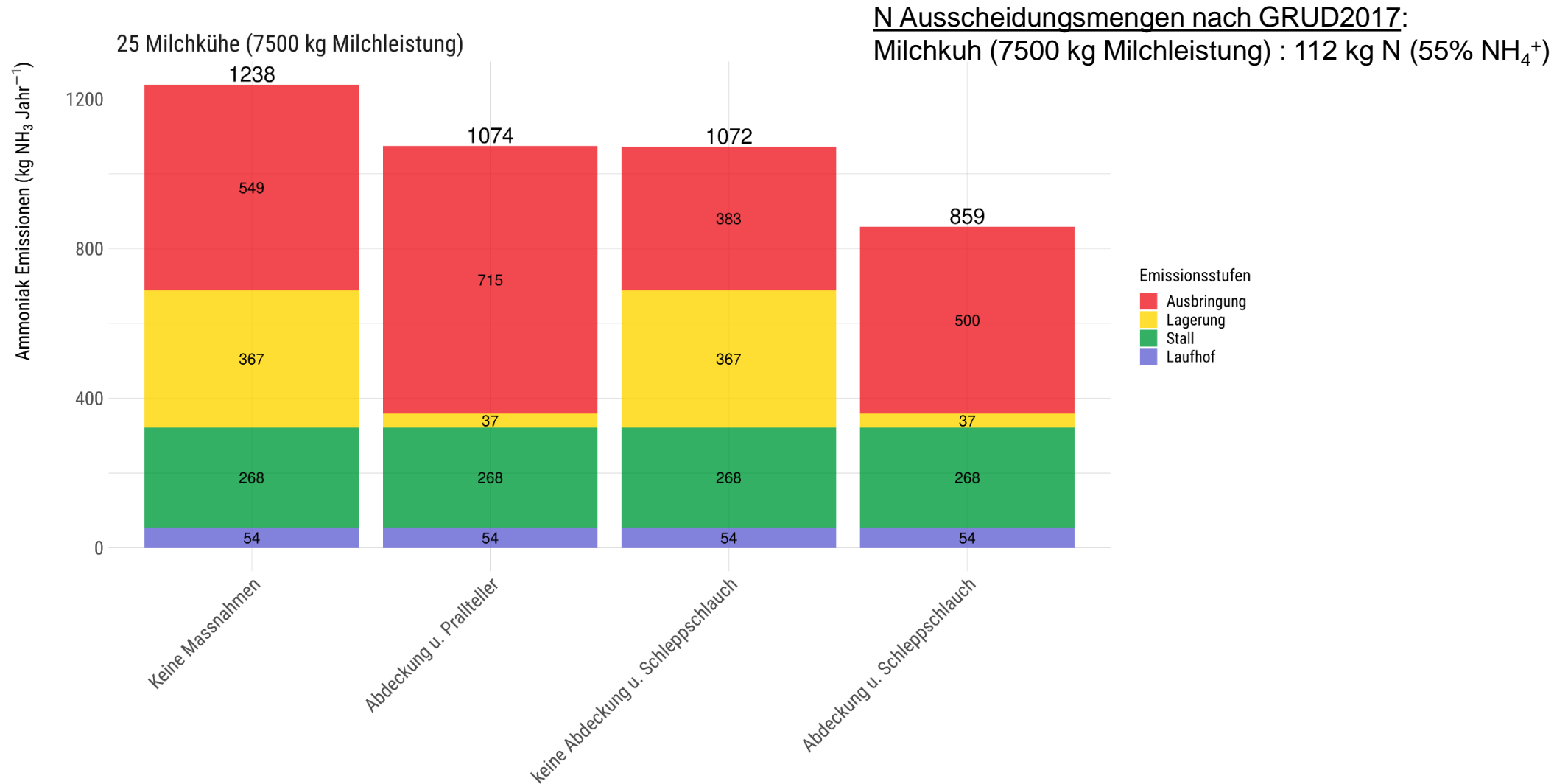
NAE von Schweinegülle nach verschiedenen Aufbereitungsschritten



Quelle: Bosshard et al. (2010): Agrarforschung 1, 378-383.



Veränderung der NH₃ Emissionen in Abhängigkeit des Hofdüngermanagements - Beispiel





Veränderung des Ammonium N Gehalt im ausgebrachten Hofdünger in Abhängigkeit des Hofdüngermanagements

Beispiel 25 Milchkühe (Standard Milchleistung 7'500 kg)

Stickstoff	Keine Massnahmen	Güllelager Abdeckung und Prallteller	Keine Güllelager Abdeckung und Schleppschlauch	Güllelager Abdeckung und Schleppschlauch
N _{tot} ausgeschieden (kg N)	2'800	2'800	2'800	2'800
NH ₄ ⁺ N Anteil (kg N)	1'540	1'540	1'540	1'540
NH ₃ Verluste (kg N)	1'238	1'074	1'072	859
NH ₄ ⁺ N ausgebracht * (kg N)	549	714	716	929
N _{tot} Ausgebracht (kg N)	1'562	1'726	1'728	1'941
Anteil NH ₄ ⁺ N ausgebracht (%)	35	41	41	48

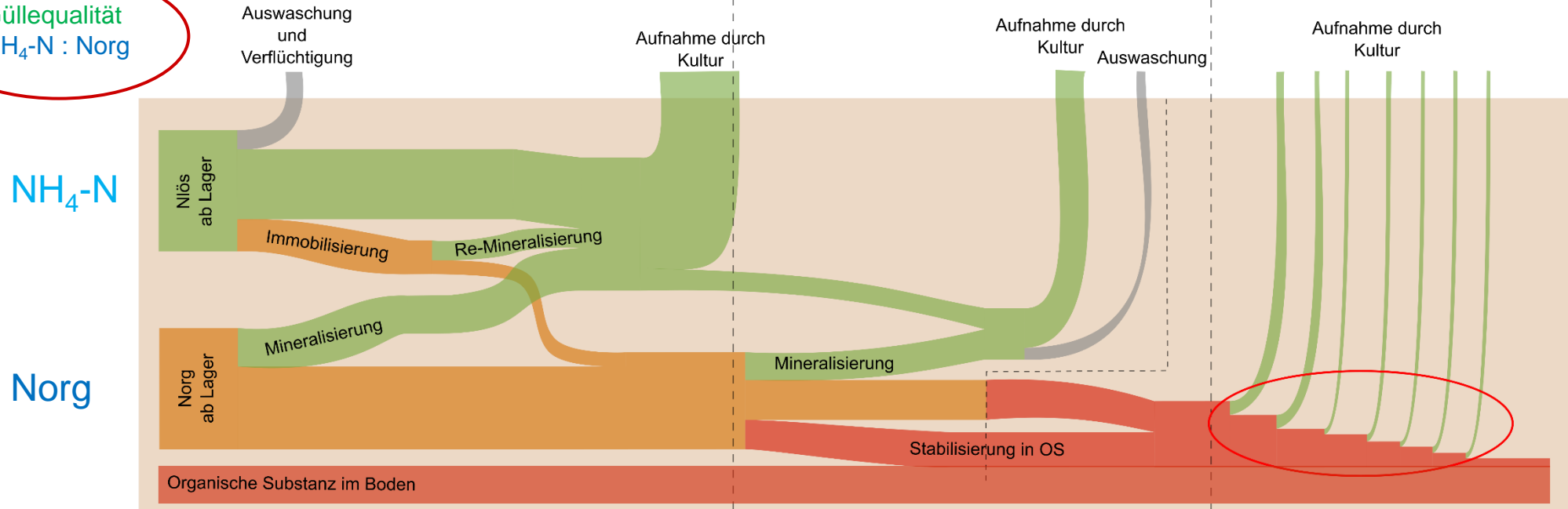
* Hierzu wurde auch die Mineralisierung des Norg während der Güllelagerung mitberücksichtigt



Überlegungen zur Suisse-Bilanz

Neudefinition des betriebsspezifischen N-Ausnutzungsgrades => Modellierung

Güllequalität
NH₄-N : Norg



Ausbringungsjahr

- Auswaschung oder Verflüchtigung über das Jahr
- Immobilisierung des ausgebrachten NIös in mikrobielle Biomasse oder an Tonminerale
- Teil Re-Mineralisierung des zuvor immobilisierten NIös
- Mineralisierung des ausgebrachten Norg

1. bis ca. 3 Jahr nach Ausbringung

- (dieser Prozess wiederholt sich über die angegebenen Jahren)
- NIös Anteil nimmt jährlich ab
 - Norg wird weiter zu NIös mineralisiert, jedes Jahr etwas weniger
 - Ein Teil des Norg wird auch in die organische Substanz immobilisiert
 - Am Ende der 3 Jahre ca. ist der gesamte Norg Teil der Boden organischen Substanz geworden

Ab ca. 4. Jahr nach Ausbringung

- Das in der organische Substanz immobilisierte Norg wird über die Zeit langfristig Re-Mineralisiert und wird Pflanzenverfügbar

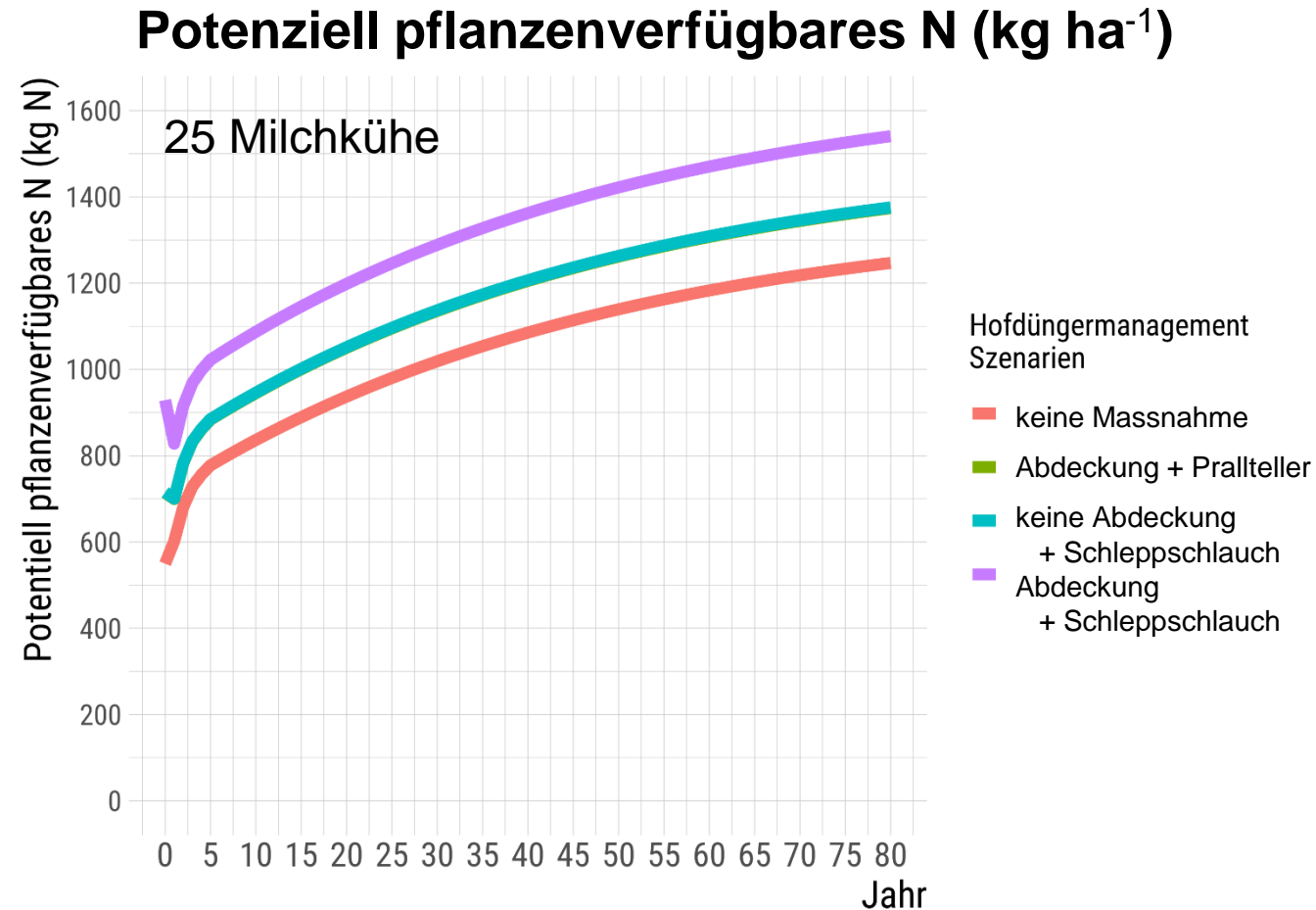
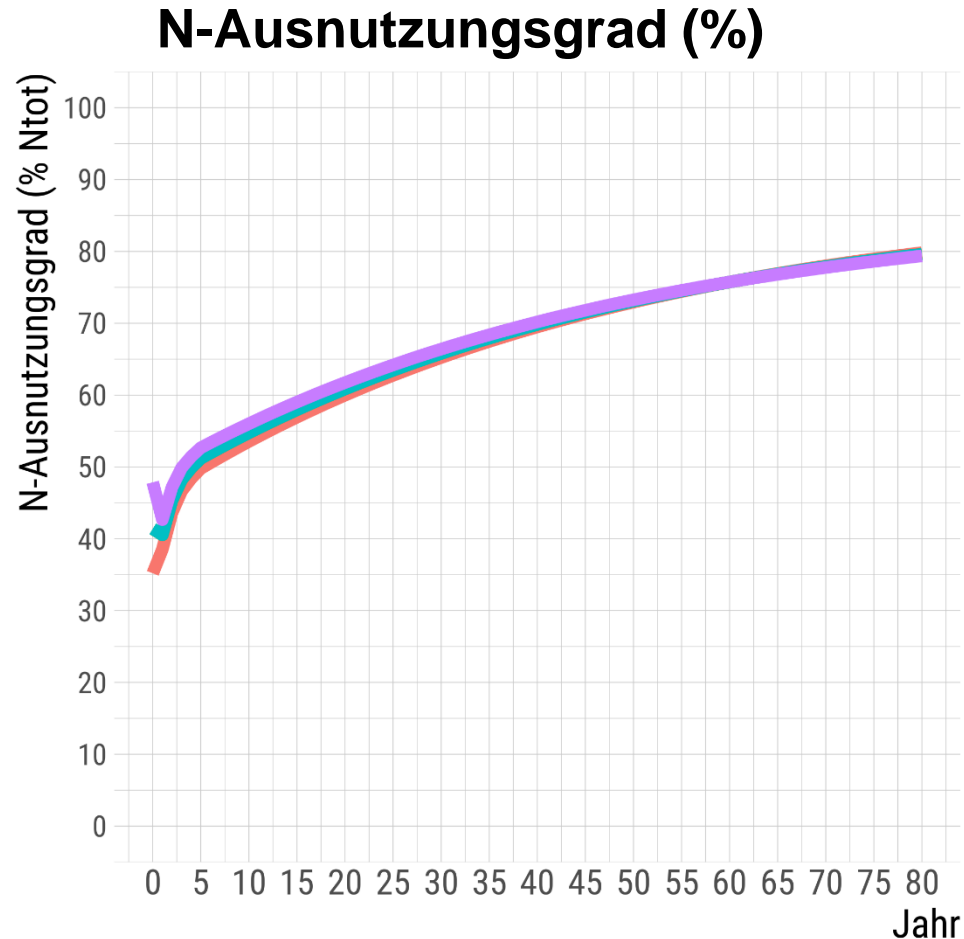
Farben Legende

- NIös (wasserlösliche N-Formen)
- Norg (an organische Molekülen gebundenes N)
- OS (organische Substanz)
- Bodensystemgrenze



N-Ausnutzungsgrad von Rindergülle

NAG bei wiederholter, regelmässiger Applikation in Abhängigkeit vom Hofdüngermanagement





Schlussfolgerungen und Ausblick

- Der **N-Ausnutzungsgrad (NAG)** bei wiederholter, regelmässiger Applikation ist **höher als 60% von N_{tot}** (Suisse-Bilanz aktuell)
- Bei **besten landwirtschaftlicher Praxis** dürfte der NAG von
 - **Rindergülle** > **70%**
 - **Schweinegülle** > **80%** betragen
- **Reduktion** von **N-Verlusten** entlang der **Hofdüngerkaskade** erhöht N_{tot} Anfall in der Suisse-Bilanz und verbessert NAG des Betriebes
- Verluste entlang der Hofdüngerkaskade sollen berechnet werden (Agrammon) und **NAG der Hofdüngerqualität betriebspezifisch** bestimmt werden



Diskussion Verbesserung Nährstoffwirkung: **N!!!**

Güllelager

- Abdeckung

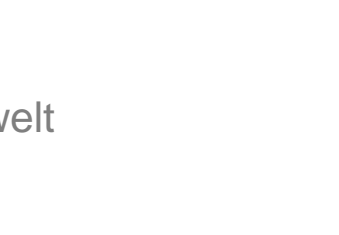
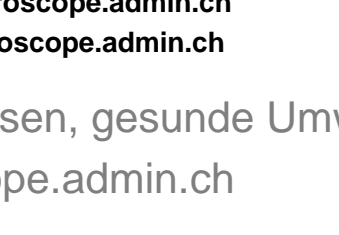
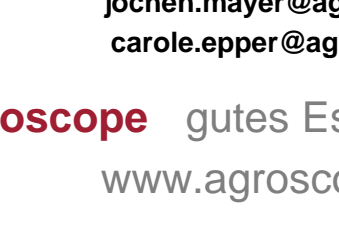
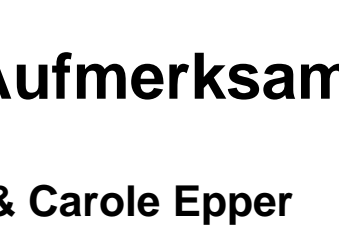
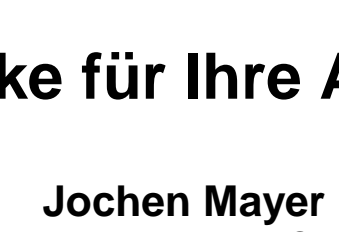
Güllebehandlung

- Vergärung
- Ansäuerung, ggf. im Stall
- Separierung (verschieden Technologien)
- N-Stripping (Ammoniumsulfatlösung)

....

Applikation

- Schleppschlauch
- Schleppschuh
- Injektion
- **Smarte Maschinen**
- ...



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Jochen Mayer & Carole Epper

jochen.mayer@agroscope.admin.ch

carole.epper@agroscope.admin.ch

Agroscope gutes Essen, gesunde Umwelt

www.agroscope.admin.ch

