



Bodenkultur und Düngung – Stickstoff 1

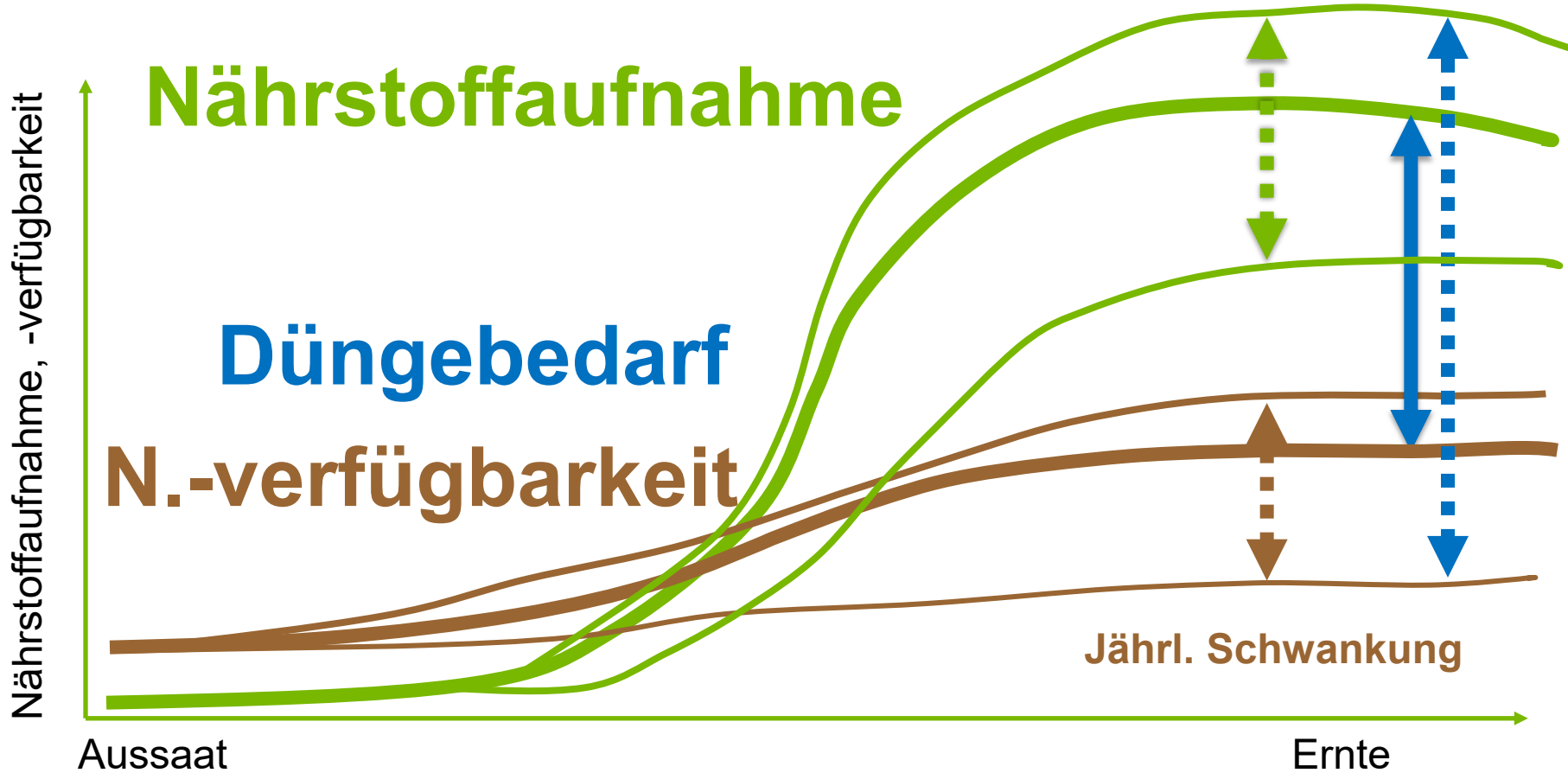
AT3 - Wintersemester 2025/26

Prof. Dr. Carl-Philipp Federolf

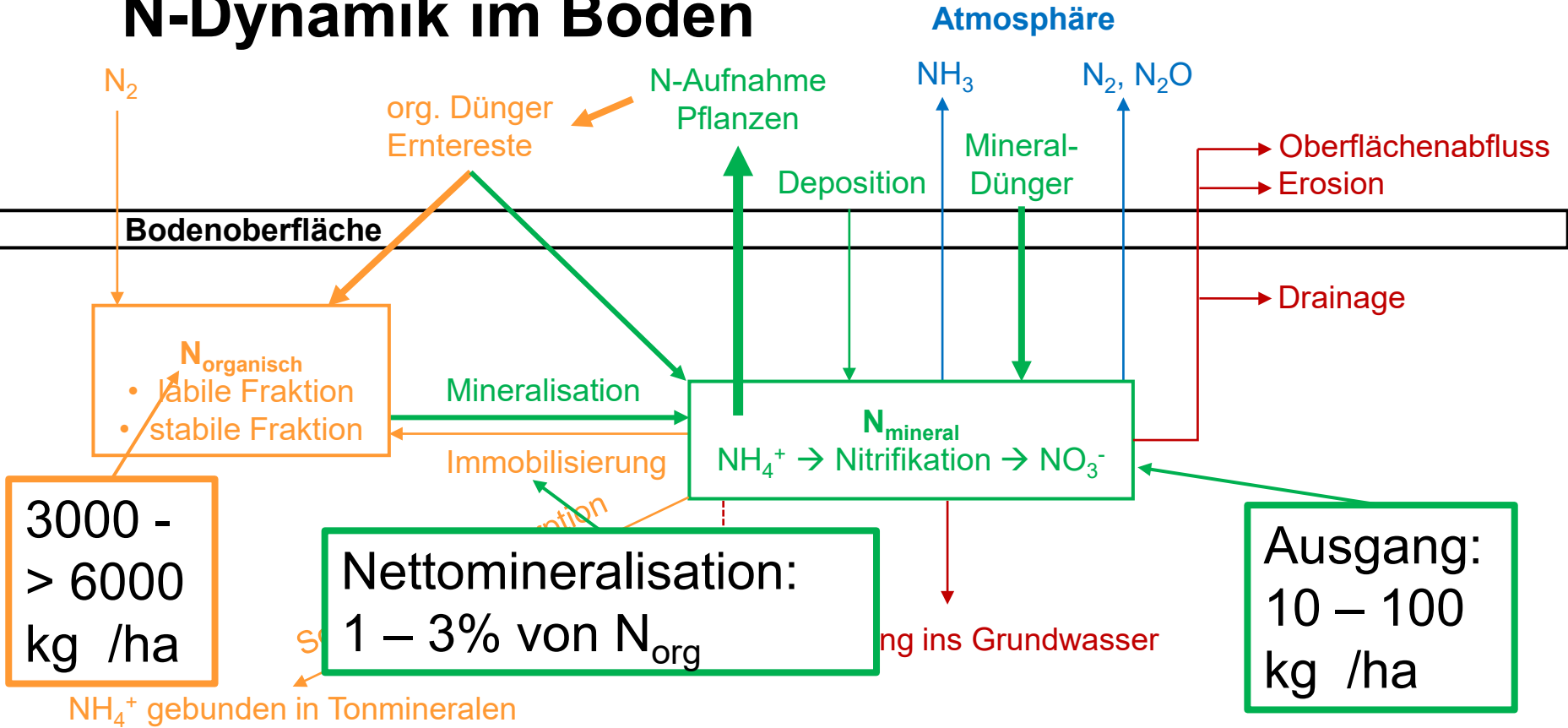
05.11.2025

Typische Kurve für die Nährstoffaufnahme

Jährl. Schwankung



N-Dynamik im Boden



Nitrogen cycle in the soil with major fractions, flows and turnover processes. Adapted from (Blume et al. 2010)

Nettomineralisation

kg Norg/ha	Nettomineralisation in %	
	1 %	3 %
4000	40 kg N / ha	120
5000	50	150
6000	60	180

- Treiber der Mineralisation:
 - Frische organische Substanz
 - Bodenleben
 - pH-Wert (>6)
 - Temperatur
 - Feuchtigkeit
 - Sauerstoff = Bodenstruktur

Methoden zur Bestimmung des Düngebedarfs - Stickstoff

- Berechnungsverfahren
 - Faustzahlen/Bilanzen/Empfehlungen
 - Simulationsrechnungen
- Bodenuntersuchung
- Pflanzenanalyse

- Ziel: ausgewogenes Nährstoffverhältnis für optimales Wachstum

Kultur- und standortbezogene N-Obergrenze (n. DüV)

=

N-Sollwert [kg N/ha]

Summe aus

- **N-Bedarfswert** [kg N/ha] - Gesamtpflanze (Tab. 1) und
- **Zu- oder Abschlag** (Tab. 2) aus der Differenz „5-jähriges Ertragsmittel“ und „mittlerer Ertrag“ (Tab. 1) [kg N/ha]

abzüglich:

- **im Boden verfügbare Stickstoffmenge** (N_{\min} /Nitrat-N, NID) und
Gleiche Anrechnung beider Größen, da NH_4 -N in Ackerböden zum Zeitpunkt der Düngebedarfsermittlung in der Regel in vernachlässigbarer Menge vorliegt.
- **pflanzennutzbare N-Lieferung aus:**
 - Ernteresten der **Vorfrucht** (Tab. 3)
 - Zwischenfrucht** (Tab. 3)
 - organischer Düngung** der letzten Jahre (Tab. 4) und
 - Bodenvorrat** (Humusgehalt) (Tab. 5)

Hinweis: Wenn im Herbst bereits eine Andüngung von Winterraps oder Wintergerste erfolgt ist, sind diese Düngungsmaßnahmen auf die im Frühjahr ermittelte Obergrenze anzurechnen. Angerechnet werden muss der ausnutzbare Stickstoff bei organischen Düngern: $N_{\text{ausnutzbar}} = N_{\text{gesamt}} \cdot \text{Mindestwirksamkeit (Anlage 3 DüV)}$ oder Ammoniumgehalt bzw. $N_{\text{verfügbar}}$ (wenn dieser größer ist). Mineralische Dünger werden zu 100 % angerechnet.

TAB. 1: N-BEDARFSWERTE FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE ACKERKULTUREN IN ABHÄNGIGKEIT VOM ERTRAGSNIVEAU

Kultur	Ertragsniveau [dt/ha]	N-Bedarfswert¹⁾ [kg N/ha]	Kultur	Ertragsniveau [dt/ha]	N-Bedarfswert¹⁾ [kg N/ha]
Winterraps	40	200	Wintertriticale	70	190
Winterweizen A, B	80	230	Hafer	55	130
Winterweizen C	80	210	Körnermais	90	200
Winterweizen E	80	260	Silomais FM	450	200
Hartweizen	55	200	Zuckerrübe	650	170
Winterfuttergerste	70	180	Kartoffel	450	180
Winterbraugerste	70	140	Frühkartoffel	400	220
Sommerfuttergerste	70	175	Sonnenblume	30	120
Sommerbraugerste	50	140	Öllein	20	100
Winterroggen	70	170			

¹⁾ Bezieht sich auf das angegebene Ertragsniveau und die zu Vegetationsbeginn in 0 bis 90 cm Bodentiefe zu ermittelnde verfügbare Stickstoffmenge; entspricht dem N-Bedarf an Stickstoff während einer Anbauperiode ohne Zu- bzw. Abschläge.

TAB. 2: ZU- UND ABSCHLÄGE AUF GRUND VON ABWEICHENDEM ERTRAGSNIVEAU

Kultur	Ertragsdifferenz [dt/ha] ¹⁾	Höchstzuschläge bei höheren Erträgen [kg N/ha] je Einheit nach Spalte 2 ^{2), 3)}	Mindestabschläge bei niedrigeren Erträgen [kg N/ha] je Einheit nach Spalte 2 ³⁾
Raps	5	10	15
Getreide und Körnermais	10	10	15
Silomais	50	10	15
Zuckerrübe	100	10	15
Kartoffel (inkl. Frühkartoffel)	50	10	10

¹⁾ Die Ertragsdifferenz ist die Differenz zwischen dem Ertragsniveau nach Tabelle 1 und dem standortbezogenen Ertragsniveau im Mittel der letzten fünf Jahre. Weicht das tatsächliche Ertragsniveau in einem der letzten fünf Jahre um mehr als 20 % vom Ertragsniveau des jeweils vorangegangenen Jahres ab, kann statt des Ertragsniveaus, das im Jahr der Abweichung erreicht wurde, das Ertragsniveau des jeweils vorangegangenen Jahres für die Ermittlung der Ertragsdifferenz herangezogen werden.

Zu- und Abschläge werden erst nach Erreichen der vollen Ertragsdifferenz angerechnet.

²⁾ Zuschläge bis maximal 40 kg N/ha.

³⁾ Bitte beachten: Es handelt sich um „Höchstzuschläge“ und „Mindestabschläge“.

TAB. 3: ABSCHLÄGE IN ABHÄNGIGKEIT VON VOR- UND ZWISCHENFRÜCHTEN

Vorfrucht (Hauptfrucht des Vorjahres)	Mindestabschlag [kg N/ha]
Grünland, Dauerbrache, Luzerne, Klee, Klee gras, Rotationsbrache mit Leguminosen	20
Rotationsbrache ohne Leguminosen, Zuckerrüben ohne Blattbergung	10
Raps, Körnerleguminosen, Kohlgemüse	10
Feldgras	10
Getreide (mit und ohne Stroh), Silomais, Körnermais, Kartoffel, Gemüse ohne Kohlarten	0
Zwischenfrucht	
Nichtleguminose, abgefroren	0
Nichtleguminose, nicht abgefroren	
- Im Frühjahr eingearbeitet	20
- Im Herbst eingearbeitet	0
Leguminose, abgefroren	10
Leguminose, nicht abgefroren	
- Im Frühjahr eingearbeitet	40
- Im Herbst eingearbeitet	10
Futterleguminosen mit Nutzung	10
andere Zwischenfrüchte mit Nutzung, keine Zwischenfrucht angebaut	0

Liegt der Leguminosenanteil im Bestand bei 60 % und größer, handelt es sich um Leguminosen; beträgt er weniger als 60 % im Bestand, spricht man von Nichtleguminosen.

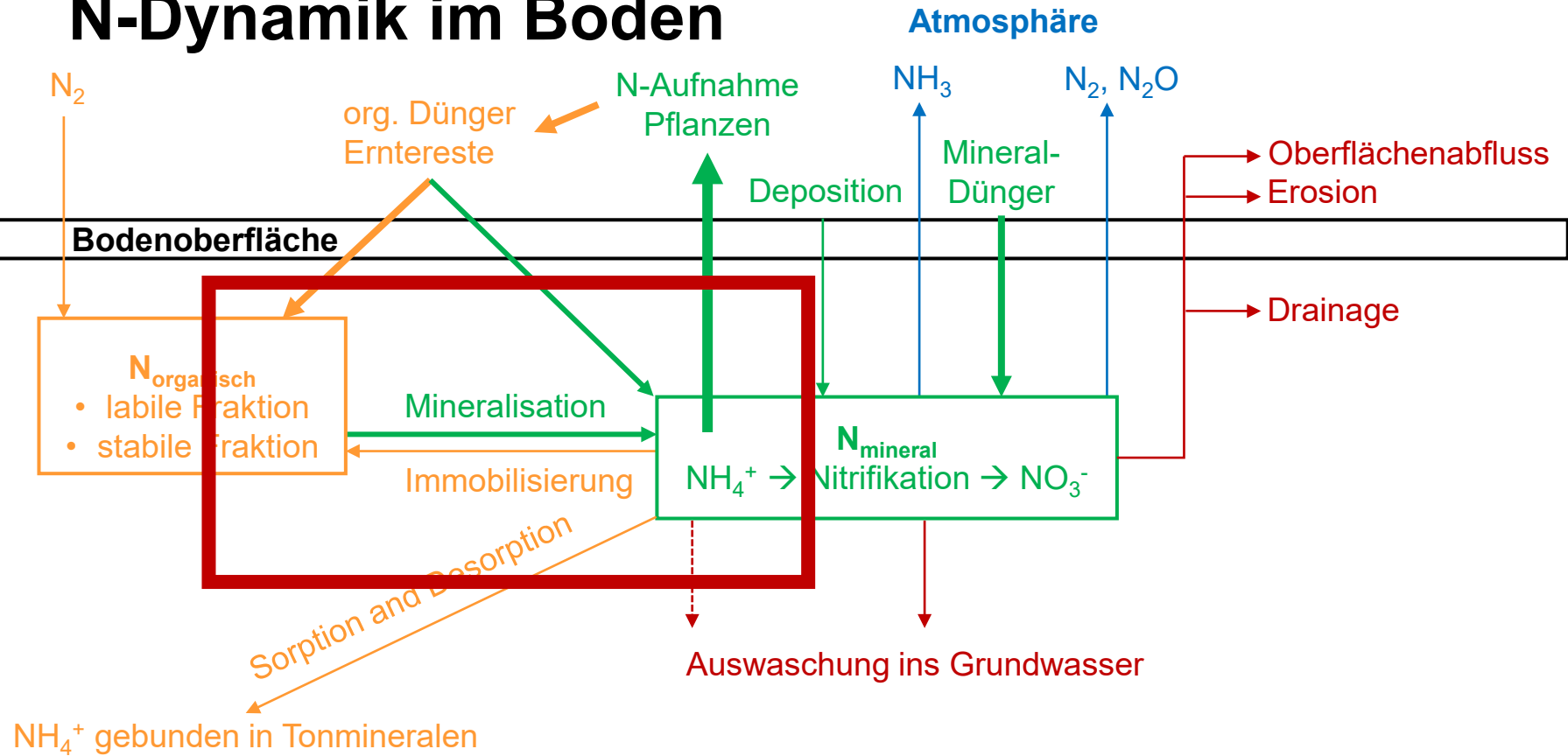
TAB. 4: ORGANISCHE DÜNGUNG DER LETZTEN JAHRE

Düngemittel		Mindestabschlag [% v. Ges. N]
organische oder organisch-mineralische Dünger (außer Kompost)	Jahr 1 nach Aufbringung	10
Kompost	Jahr 1 nach Aufbringung	4
	Jahr 2 nach Aufbringung	3
	Jahr 3 nach Aufbringung	3

TAB. 5: ABSCHLÄGE AUF GRUND DER STICKSTOFFNACHLIEFERUNG AUS DEM BODENVORRAT

Humusgehalt [%]	Mindestabschlag [kg N/ha]
größer 4,0 (humos)	20

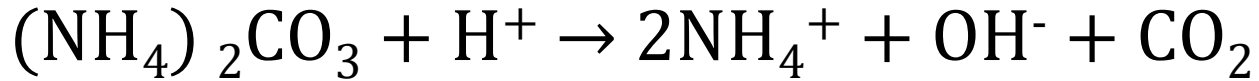
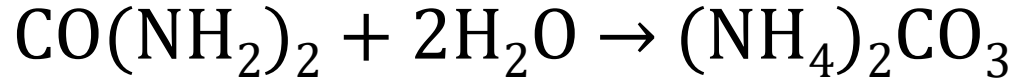
N-Dynamik im Boden



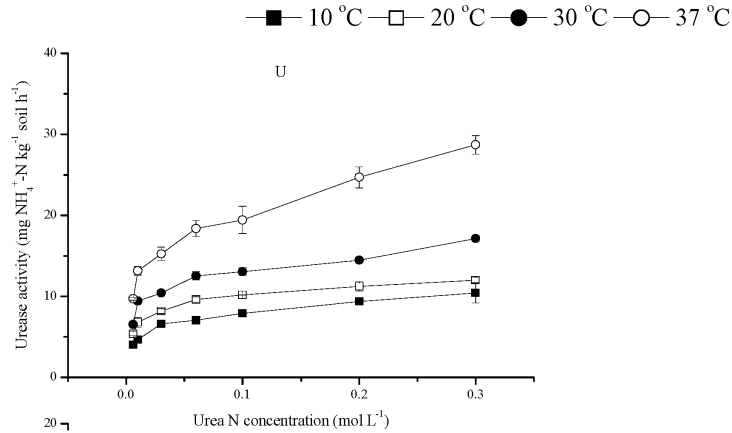
Nitrogen cycle in the soil with major fractions, flows and turnover processes. Adapted from (Blume et al. 2010)

Urease

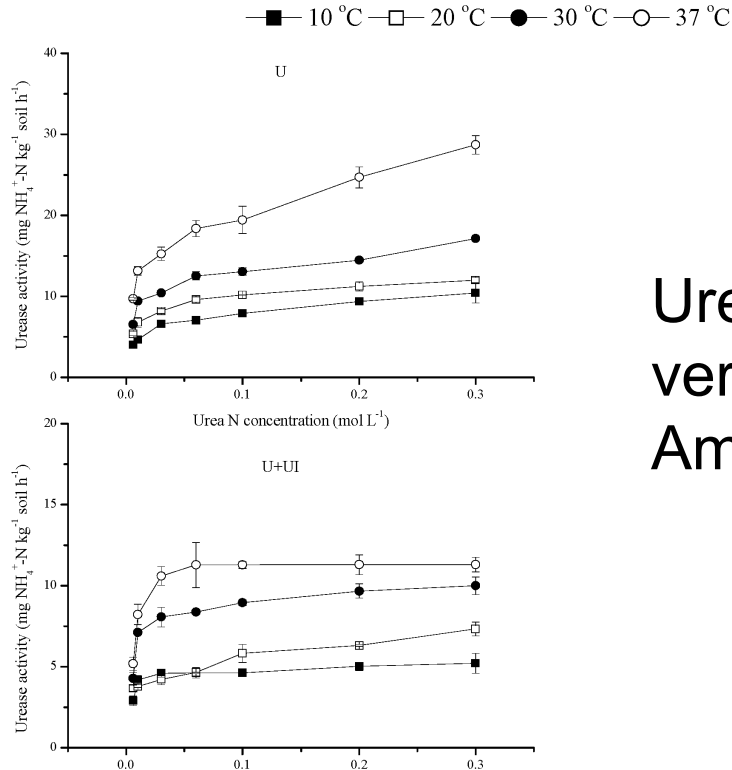
- Formel:



Ureaseaktivität ist abhängig von der Konzentration und der Temperatur



Ureaseaktivität ist abhängig von der Konzentration und der Temperatur

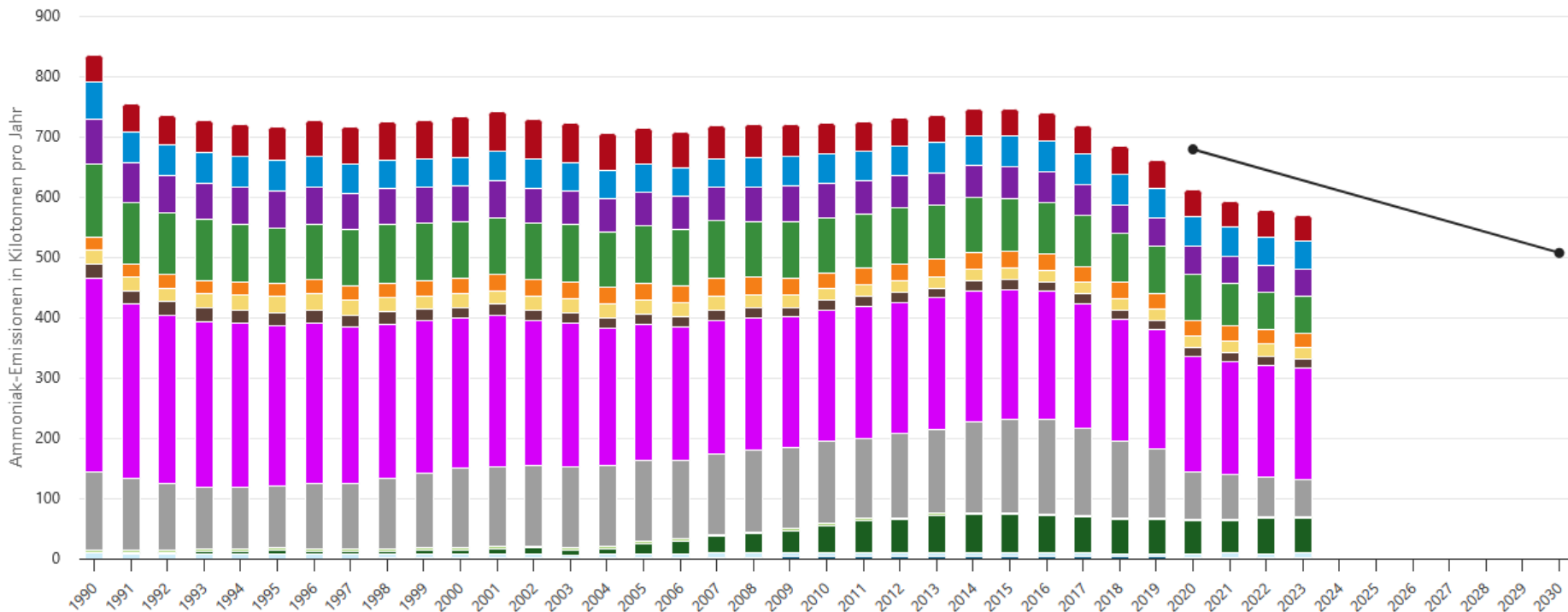


Ureaseinhibitoren
verlangsamen die
Ammonifikation

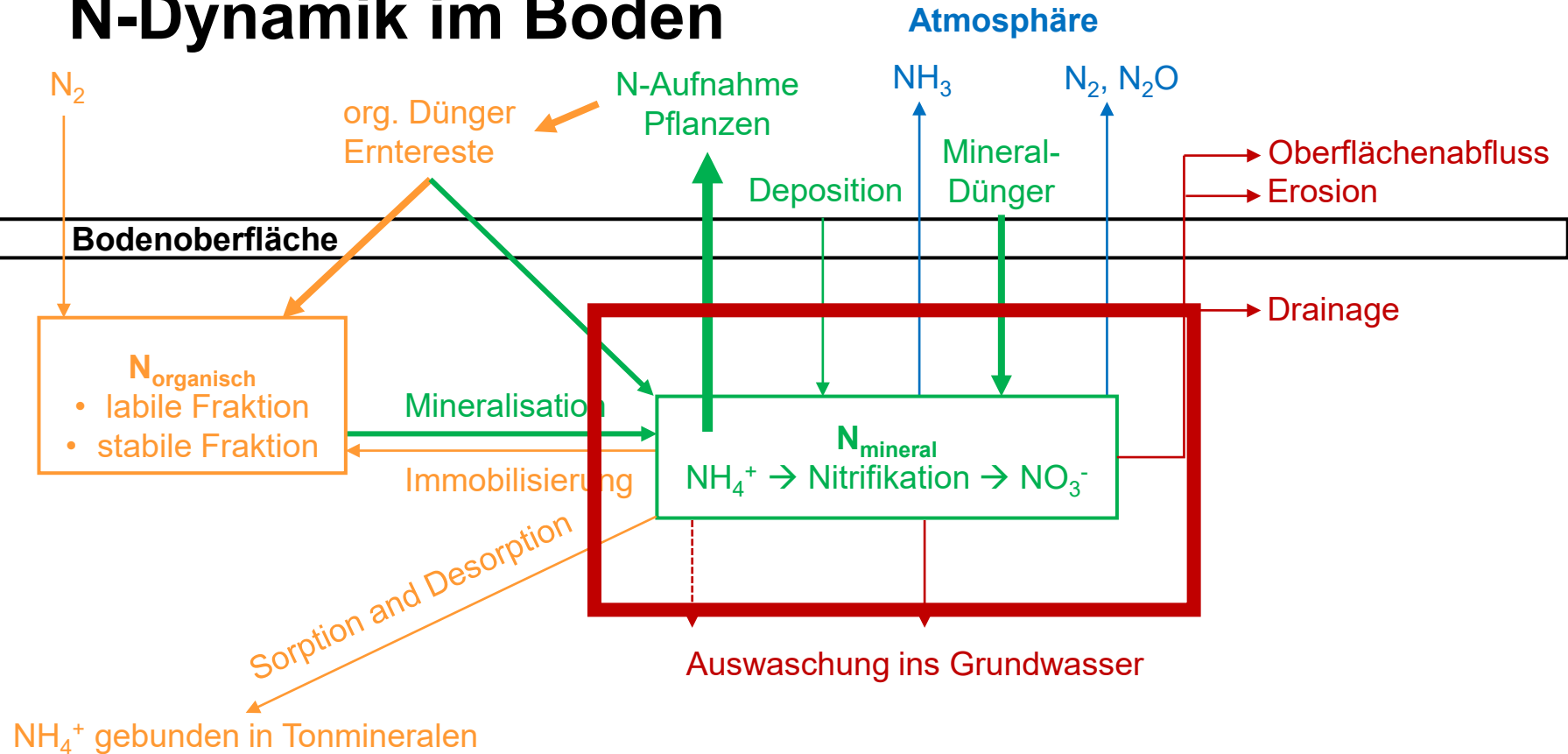
Ammoniak-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2023



- andere Sektoren
- Schweine
- Weidegang
- Klärschlammausbringung
- Energiepflanzenvergärung (Lager)
- Milchkühe
- Geflügel
- Wirtschaftsdüngerausbringung
- Ausbringung von anderen organischen Düngern
- Obergrenze laut NEC Richtlinie
- andere Rinder
- andere Tiere
- Mineraldüngerausbringung
- Ernterückstände



N-Dynamik im Boden

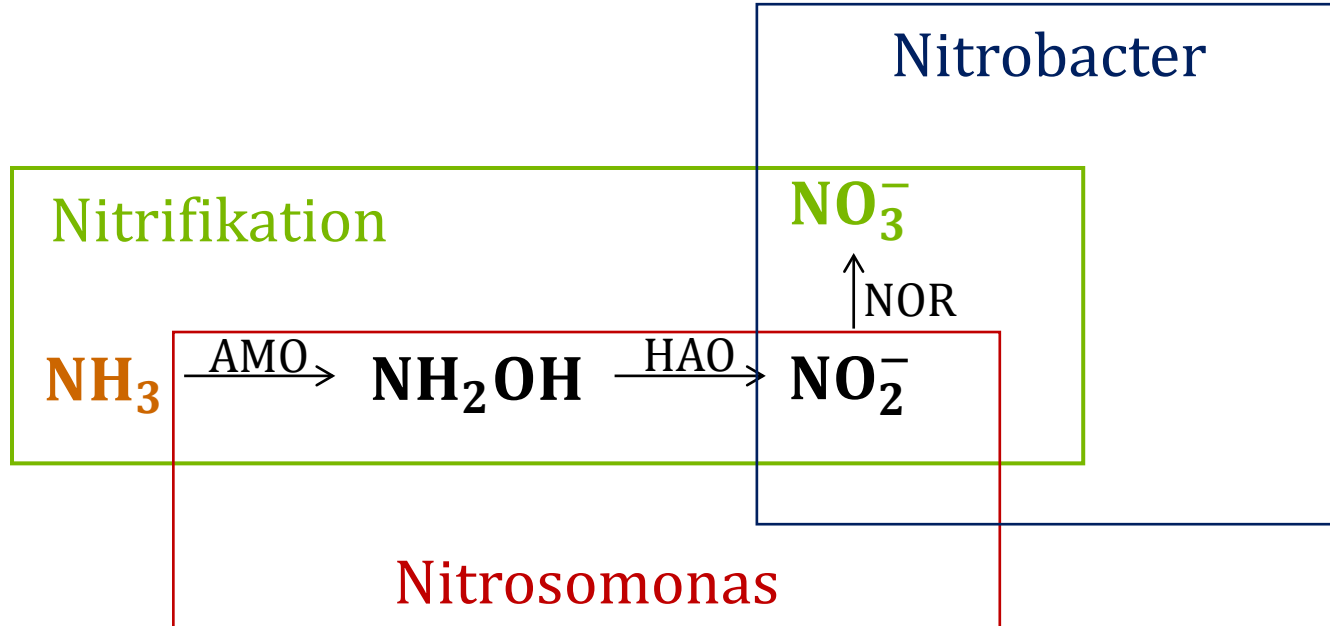


Nitrogen cycle in the soil with major fractions, flows and turnover processes. Adapted from (Blume et al. 2010)

AMO = ammonia monooxygenase
HAO = hydroxylamine oxidoreductase
NOR = nitric oxide reductase

Nitrifikation

Beste Bedingungen:
pH 8.3, Temp 25 – 33° C

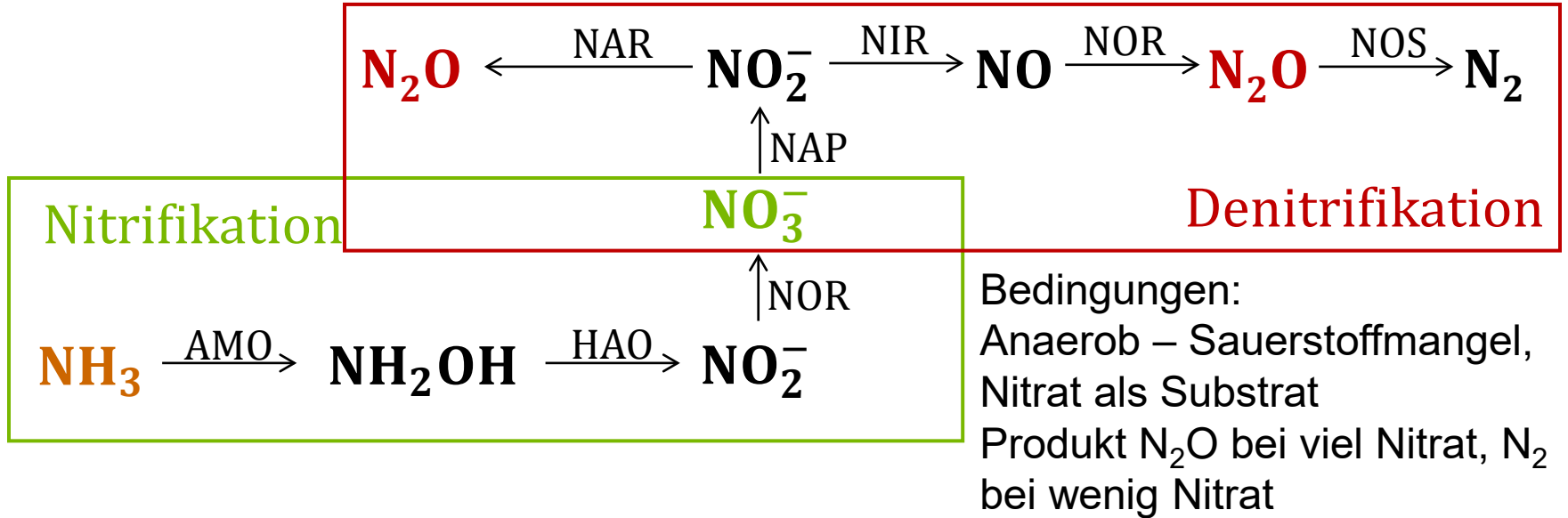


Verändert nach: Arp, D. J., & Stein, L. Y. (2003). Metabolism of Inorganic N Compounds by Ammonia-Oxidizing Bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(6), 471–495. <https://doi.org/10.1080/10409230390267446>

Nazih Kh. Shammass 1986 Interactions of Temperature, pH, and Biomass on the Nitrification Process. *Water Pollution Control Federation* Vol. 58, No. 1 (Jan., 1986), pp. 52-59 (8 pages)

Nitrifikation und Denitrifikation

AMO = ammonia monoxygenase
HAO = hydroxylamine oxidoreductase
NOR = nitric oxide reductase
NIR = nitrite reductase
NOS = nitrous oxide reductase
NAR, NAP = nitrate reductase

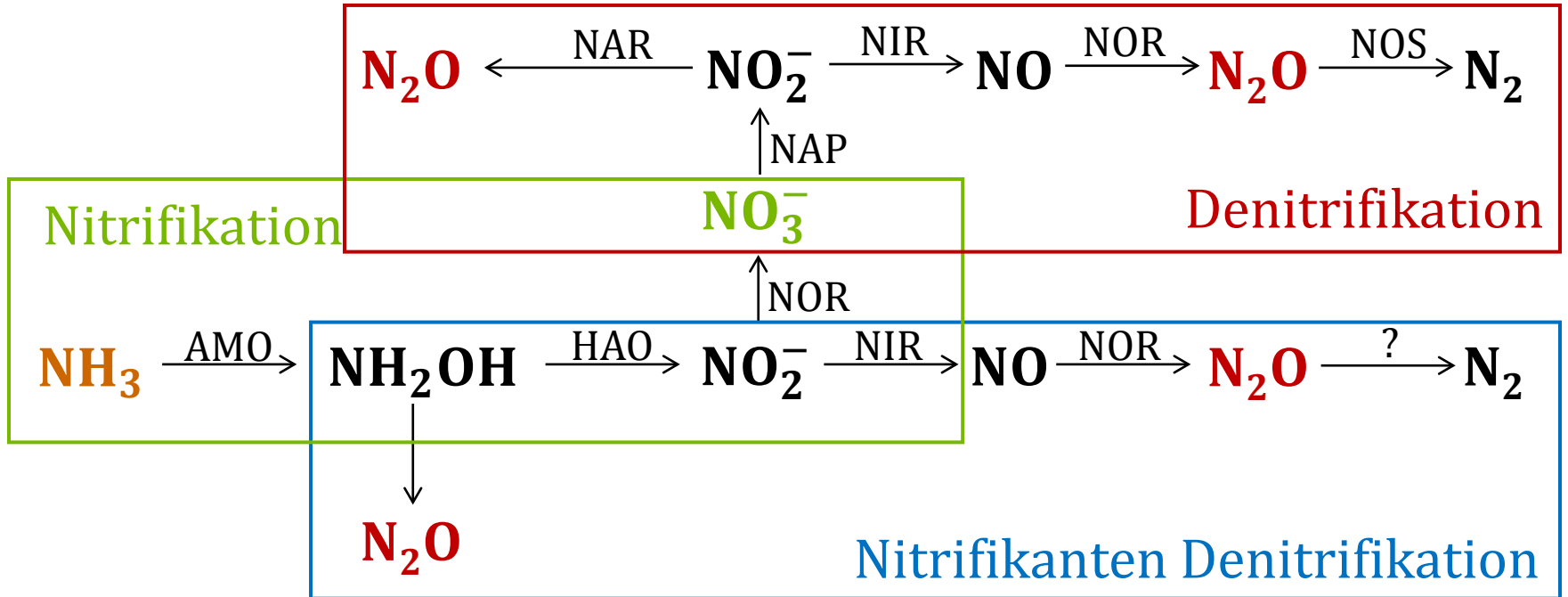


Verändert nach: Arp, D. J., & Stein, L. Y. (2003). Metabolism of Inorganic N Compounds by Ammonia-Oxidizing Bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(6), 471–495. <https://doi.org/10.1080/10409230390267446>

Baggs, E. M., & Philippot, L. (2010). Microbial terrestrial pathways of N₂O. In K. A. Smith (Hrsg.), *Nitrous oxide and climate change* (S. 4–36). Earthscan.

Nitrifikation und Denitrifikation

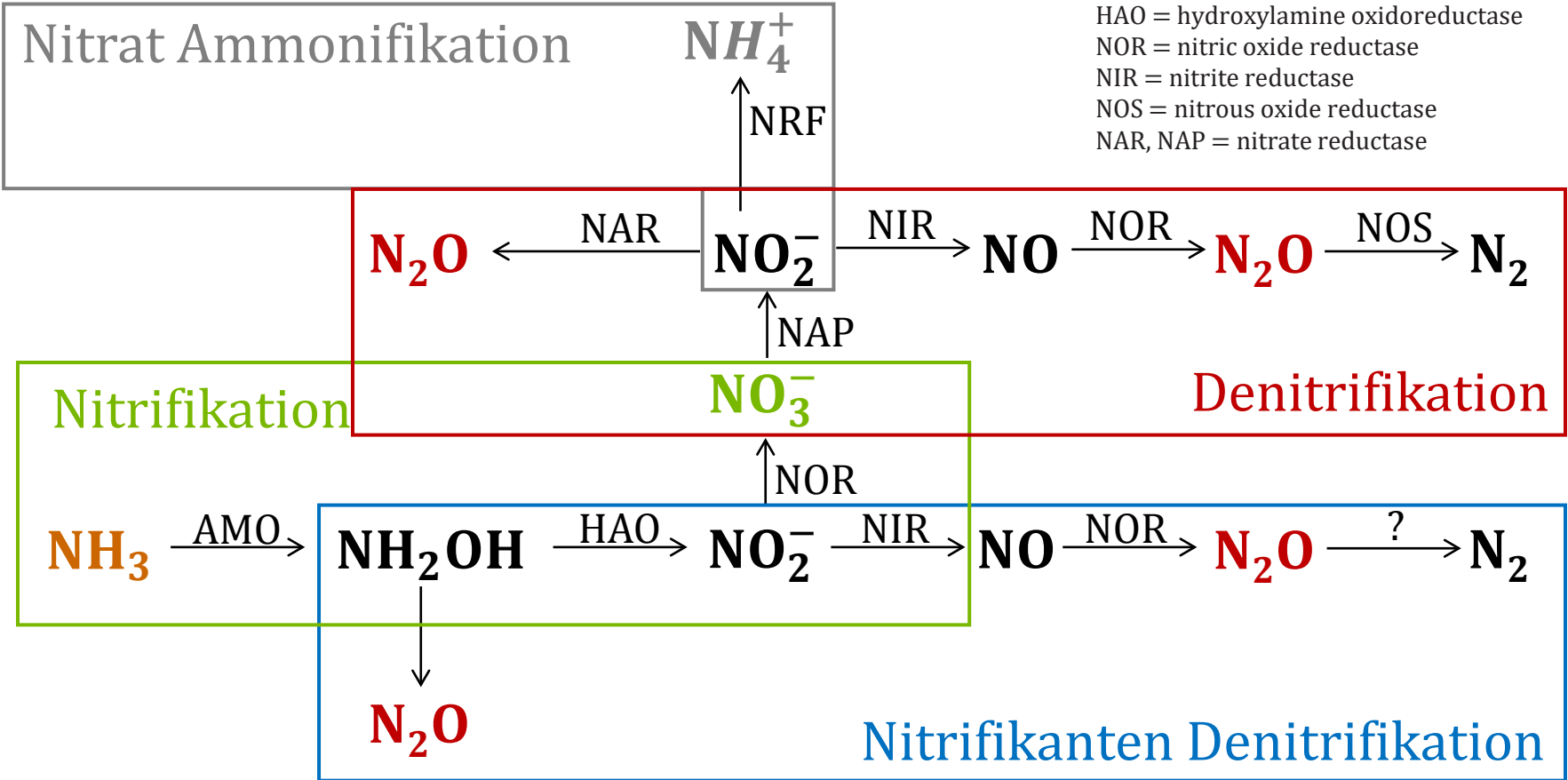
AMO = ammonia monooxygenase
 HAO = hydroxylamine oxidoreductase
 NOR = nitric oxide reductase
 NIR = nitrite reductase
 NOS = nitrous oxide reductase
 NAR, NAP = nitrate reductase



Verändert nach: Arp, D. J., & Stein, L. Y. (2003). Metabolism of Inorganic N Compounds by Ammonia-Oxidizing Bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(6), 471–495. <https://doi.org/10.1080/10409230390267446>

Baggs, E. M., & Philippot, L. (2010). Microbial terrestrial pathways of N₂O. In K. A. Smith (Hrsg.), *Nitrous oxide and climate change* (S. 4–36). Earthscan.

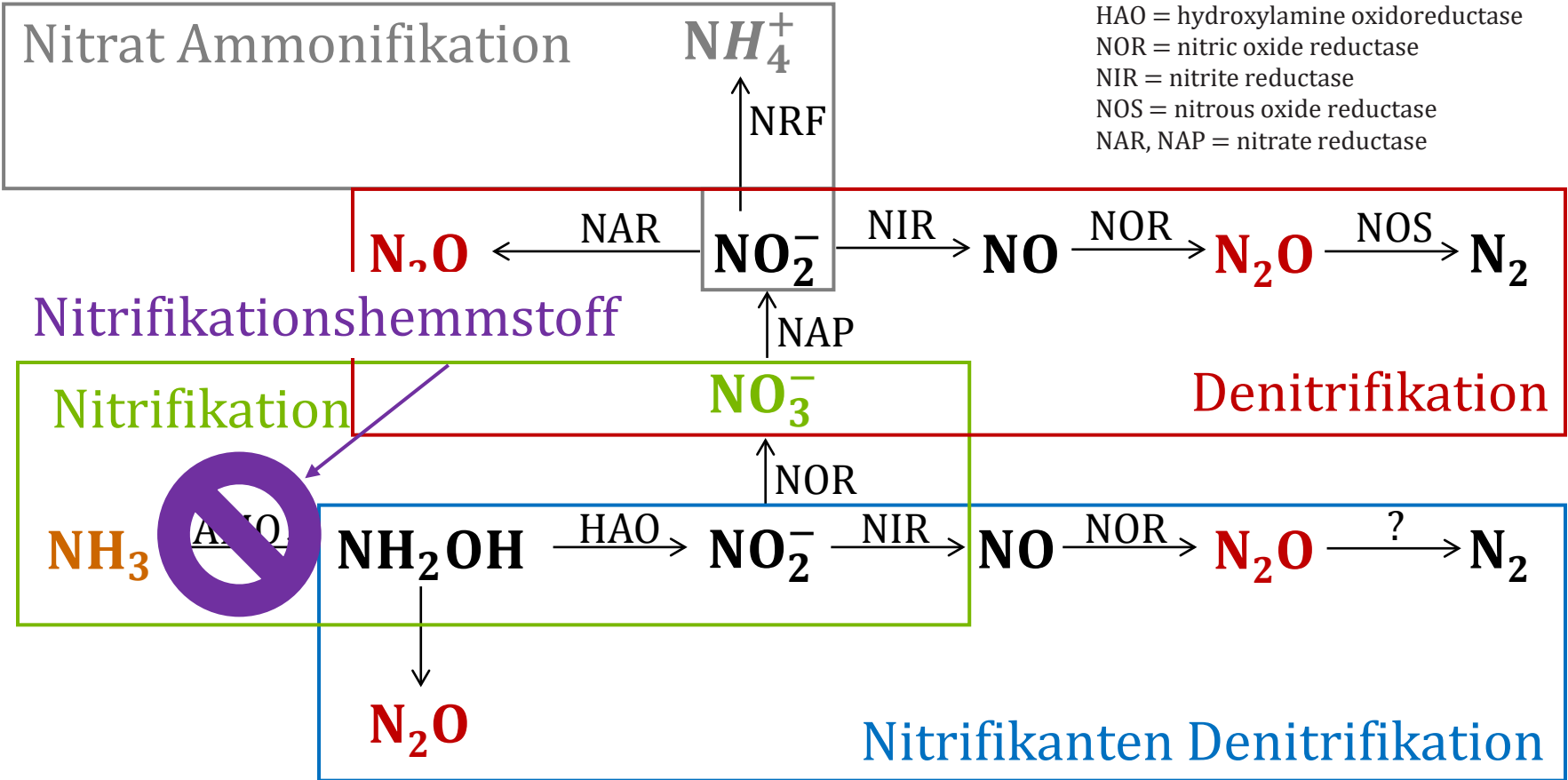
AMO = ammonia monooxygenase
 HAO = hydroxylamine oxidoreductase
 NOR = nitric oxide reductase
 NIR = nitrite reductase
 NOS = nitrous oxide reductase
 NAR, NAP = nitrate reductase



Verändert nach: Arp, D. J., & Stein, L. Y. (2003). Metabolism of Inorganic N Compounds by Ammonia-Oxidizing Bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(6), 471–495. <https://doi.org/10.1080/10409230390267446>

Baggs, E. M., & Philippot, L. (2010). Microbial terrestrial pathways of N₂O. In K. A. Smith (Hrsg.), *Nitrous oxide and climate change* (S. 4–36). Earthscan.

AMO = ammonia monoxygenase
 HAO = hydroxylamine oxidoreductase
 NOR = nitric oxide reductase
 NIR = nitrite reductase
 NOS = nitrous oxide reductase
 NAR, NAP = nitrate reductase



Verändert nach: Arp, D. J., & Stein, L. Y. (2003). Metabolism of Inorganic N Compounds by Ammonia-Oxidizing Bacteria. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 38(6), 471–495. <https://doi.org/10.1080/10409230390267446>

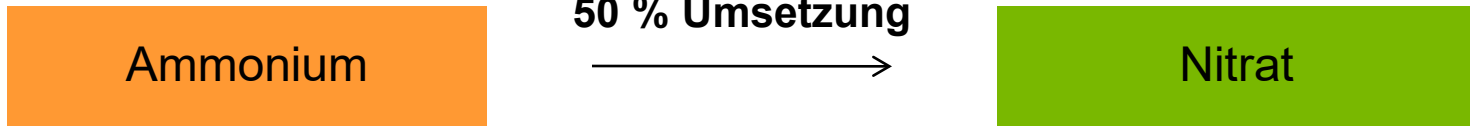
Baggs, E. M., & Philippot, L. (2010). Microbial terrestrial pathways of N₂O. In K. A. Smith (Hrsg.), *Nitrous oxide and climate change* (S. 4–36). Earthscan.

Ammoniumstabilisierte Dünger

- Nitrifikationsinhibitoren unterbinden zeitweilig die Umsetzung von NH_4 zu NO_3
- Ziele:
 - N-Freisetzung an Bedarf der Kulturen anpassen
 - weniger Nitratverlagerung/-auswaschung, Lachgas-Emissionen
 - Düngungsstrategie: Zusammenfassung mehrerer Teilgaben

Ammoniumstabilisierte Dünger

- Wirkungsdauer boden- und temperaturabhängig:



- Umwandlung von Mineraldünger z.B. Harnstoff (Buchner 1985)

Bodentemperatur	Umwandlungszeit
5 °C	6 Wochen
20 °C	1 Woche

- Verzögerung durch Nitrifikationsinhibitoren:

Bodentemperatur	Umwandlungszeit
5 °C	10 – 14 Wochen
20 °C	5 - 8 Wochen

Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren

Wirkstoff	Abkürzung	Formel	Zulassung gemäß DüMV 2019
Dicyandiamid	Didin DCD	C ₂ H ₄ N ₄	vor 2003
3-Methylpyrazol	Piadin 3-MP	C ₄ H ₆ N ₂	vor 2003
1H-1,2,4-Triazol	Triazol	C ₂ H ₃ N ₃	2003
3,4-dimethyl-1H-pyrazole, 3,4-Dimethylpyrazolphosphat	Entec DMPP	C ₅ H ₈ N ₂	2003
N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid	Alzon MPA	C ₇ H ₁₁ N ₃ O	2015
Nitrapyrin [2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridin]	Nitrapyrin	C ₆ H ₃ Cl ₄ N	2015
Isomerengemisch aus 2-(4,5-Dimethyl-1H-pyrazol-1-yl)bernsteinsäure und 2-(3,4-Dimethyl-1H-pyrazol-1-yl)bernsteinsäure	Entec EVO DMPSA (Entec EVO)	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₄	2019
N-(2-Nitrophenyl)phosphorsäuretriamid	2-NPT	C ₆ H ₉ N ₄ O ₃ P	2008
N-Butyl-thiophosphortriamid	NBPT	C ₄ H ₁₄ N ₃ PS	2015
N-Propylthiophosphortriamid	NPPT	C ₃ H ₁₂ N ₃ PS	2015

N_{\min} Werte werden veröffentlicht

Tabelle 1: Vorläufige N_{\min} -Werte für Sommerungen und endgültige N_{\min} -Werte für Winterungen mit einer tiefen (0-90 cm) Durchwurzelung des Bodens (kg N/ha).

Hauptfrucht	Ober-bayern		Nieder-bayern		Ober-pfalz		Ober-franken		Mittel-franken		Unter-franken		Schwa-ben	
	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig	Vor-läufig	End-gültig
W-Raps	46	42	46	44	46	43	54	48	51	47	50	49	46	38
W-Gerste	55	52	55	51	57	52	57	51	55	50	60	56	51	46
Triticale, W-Roggen	53	51	58	54	48	46	58	52	52	49	56	57	52	47
W-Weizen, Dinkel	51	52	53	52	56	55	65	58	58	58	64	63	54	54
S-Weizen, Durum, S-Roggen, S-Raps	59		54		55		67		60		63		62	
Z-Rüben, F-Rüben	60		50		50		63		64		58		56	
Silomais, Körnermais	60		63		55		64		64		63		57	
Sonstige Fruchtarten	61		53		54		62		61		63		59	

Nmin Probennahme

- Im Roten Gebiet (aktuell hinfällig...) jährliche Untersuchung pro Bewirtschaftungseinheit

Nmin Probennahme

- Zeitpunkt der Probenahme
 - Zwischen der Nmin-Probennahme und der letzten Bodenbearbeitung/Düngung müssen mindestens sechs Wochen liegen.
 - Frühjahr bei einer Winterung: zu Vegetationsbeginn, ca. ein bis zwei Wochen vor der Düngung
 - Frühjahr bei einer Sommerung: ca. ein bis zwei Wochen vor der Düngung
 - Herbst: November nach Vegetationsende

Nmin Probennahme

- i.d.R. drei Tiefen 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90
 - Bei flachgründigen Standorten, oder Sommerungen nur zwei.
- Handprobennahme mit drei Bohrstöcken:



Nmin Probennahme

- i.d.R. drei Tiefen 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90
 - Bei flachgründigen Standorten, oder Sommerungen nur zwei.
- Probennehmer mit einem Bohrstock:



N_{min} Probennahme – Anzahl Einstiche

- 15 – 20 je Probe
- Auf heterogenen Flächen mehrere Proben

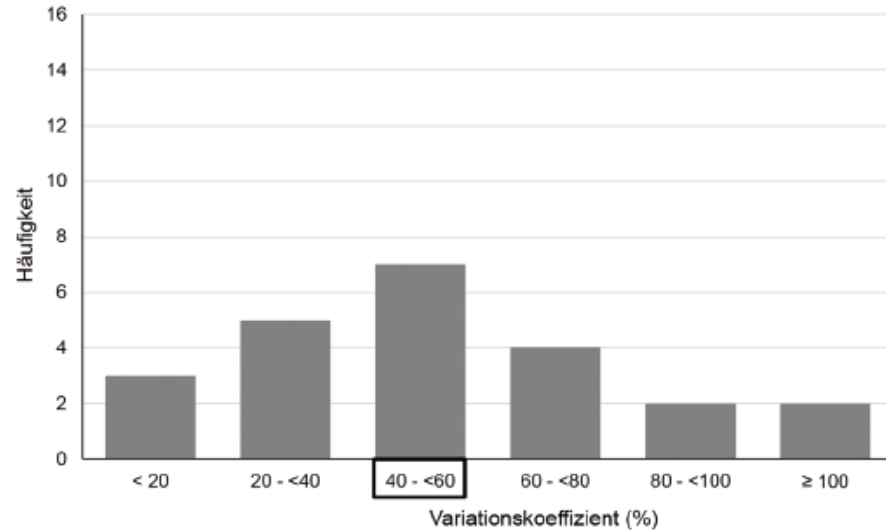


Abb. 3: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{min}-Konzentrationen beider Beprobungstermine des Entwicklungsversuches

Nmin Probennahme – Verarbeitung

- Boden in die ausreichend mit wasserfestem Stift beschrifteten (Betrieb, Schlagbezeichnung, Tiefe, Datum der Probenahme) Kunststoffbeutel füllen
- Proben in Kühltaschen mit Kühlelementen sofort zur Untersuchung ins Labor bringen oder im Kühlschrank bei Temperaturen von maximal +2 °C aufbewahren - **Nachmineralisierung**
- Die Proben sollten im tiefgefrorenen Zustand zwischengelagert und transportiert werden

Nmin kann auch nach Düngung durchgeführt werden... ABER!

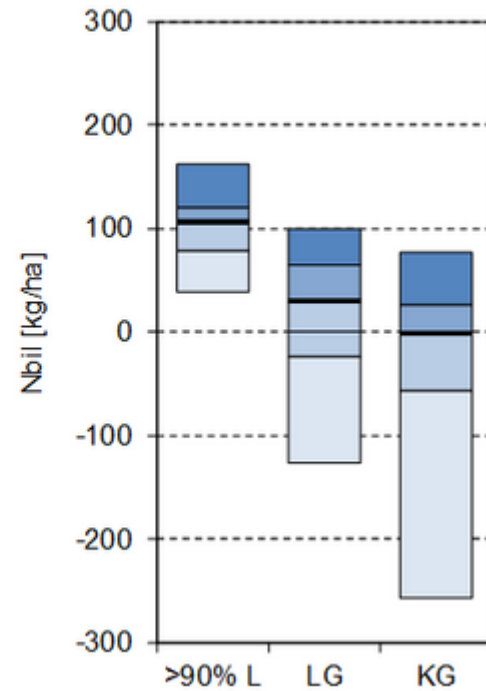
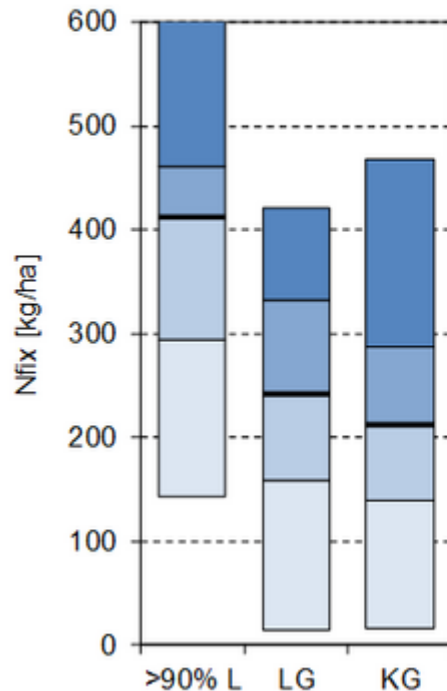
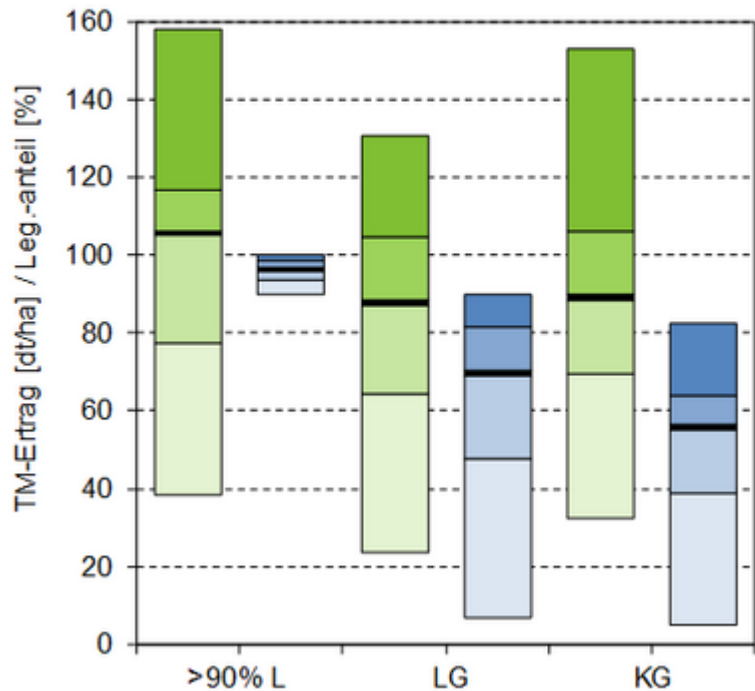


Stickstoffixierung Leguminosen

Ertrag (grün) & Leguminosenanteil (blau)

fixierte N-Menge

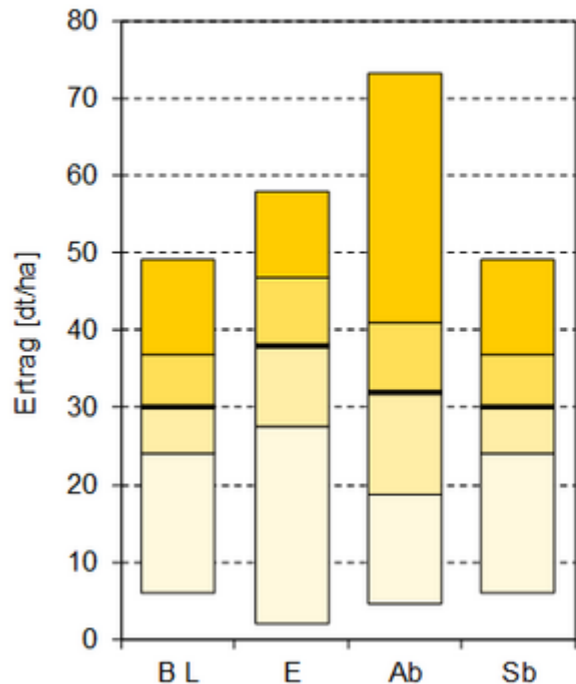
N-Bilanzsaldo



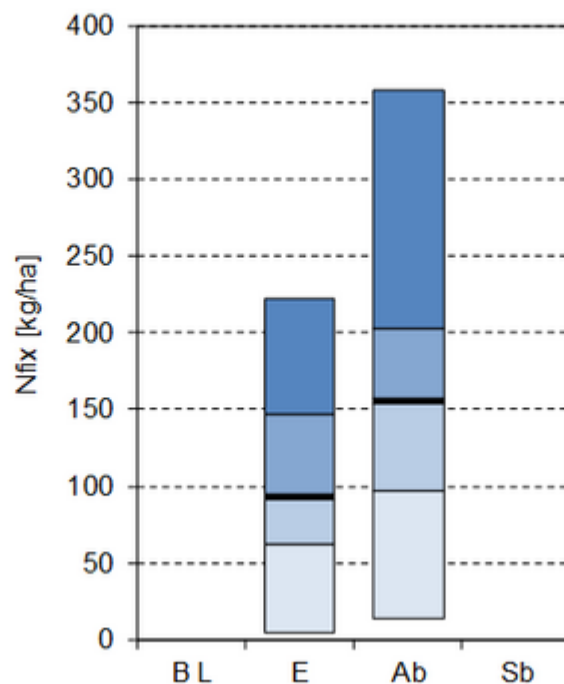
Trockenmasse-Erträge und Leguminosenanteile von Luzernebeständen mit mehr als 90 Prozent Luzerne (>90% L), Luzernegras (LG) und Klee gras (KG) aus Praxiserhebungen des Autors 2020-2021 von insgesamt 167 Beständen. Aus Ertrag und Leguminosenanteil wurde die fixierten N-Mengen und N-Bilanzsalde berechnet (N-Saldo-Rechner, Bachinger et al.). Jeder Abschnitt einer Säule enthält jeweils die Werte für ein Viertel der Bestände, der schwarze Streifen zeigt den Median an.

Stickstoffixierung Leguminosen

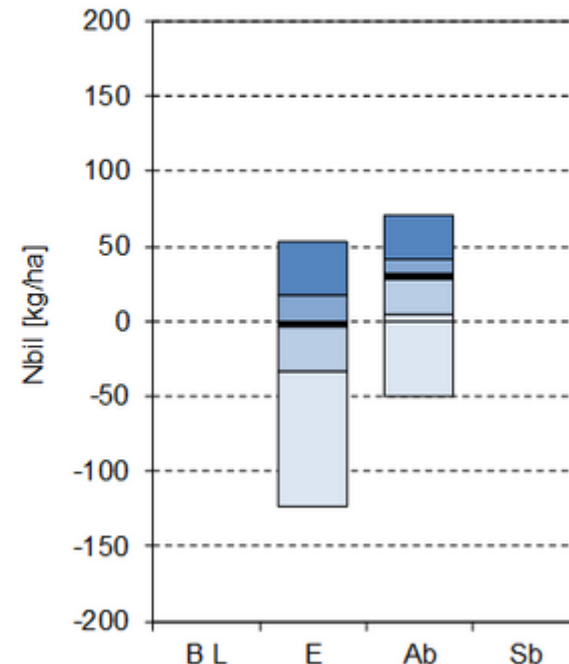
Ertrag



fixierte N-Menge

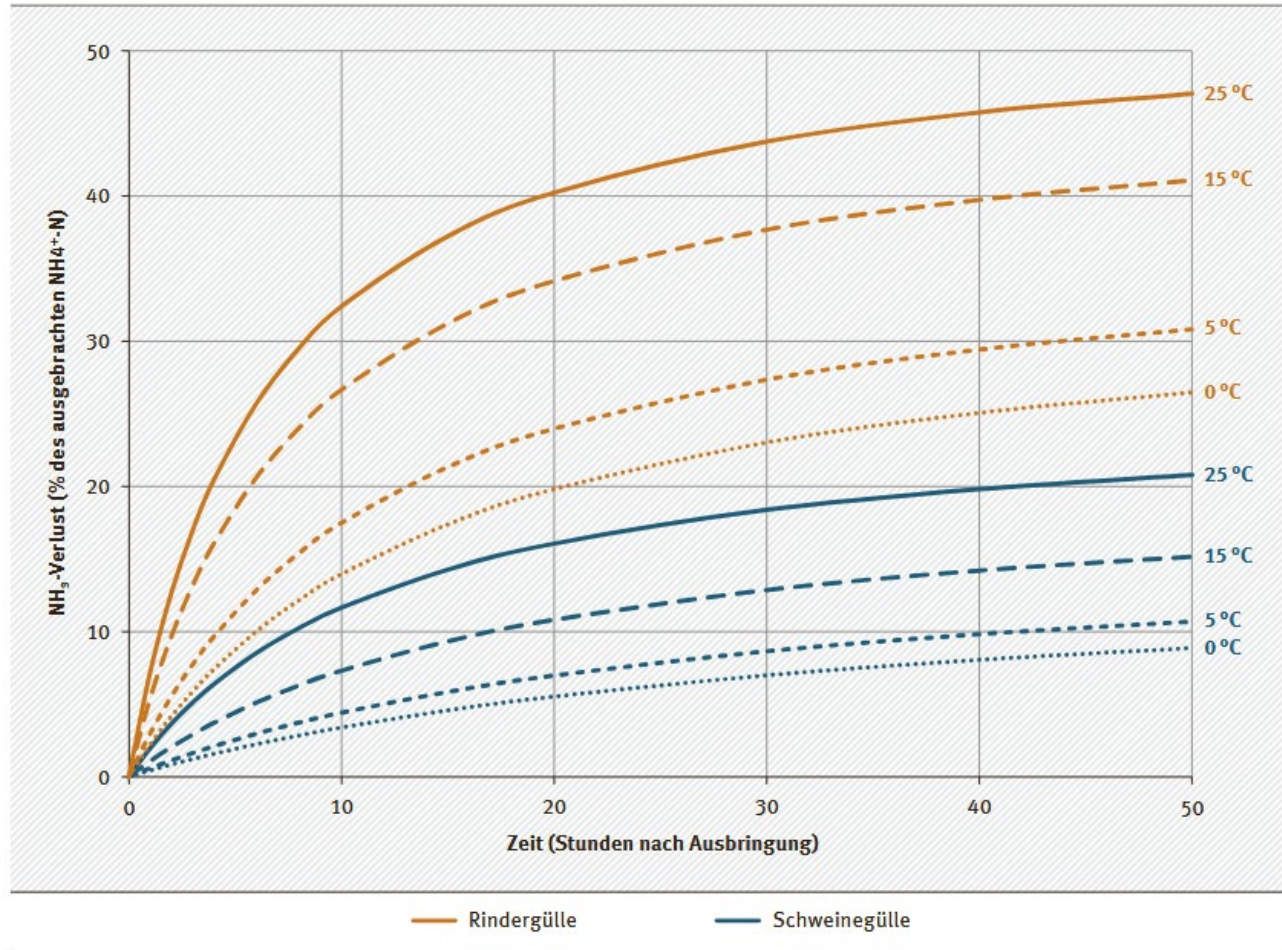


N-Bilanzsaldo



Erträge (86 % Trockenmasse) von Blauer Lupine (BL), Erbse (E), Ackerbohne (Ab) und Sojabohne (Sb) aus Praxiserhebungen des Autors 2015-2019 von insgesamt 310 Beständen. Aus Ertrag und Nmin zur Saat berechnete fixierte N-Mengen und N-Bilanzsalden (Mittel aus Berechnungen nach Kolbe, 2008 und Jost & Schmidtke, 2008). Jeder Abschnitt einer Säule enthält jeweils die Werte für ein Viertel der Bestände, der schwarze Streifen zeigt den Median an.

Temperaturabhängigkeit der Ammoniakfreisetzung von mit dem Schleppschlauch ausgebrachter Rinder- und Schweinegülle ohne Einarbeitung



Tab. 7: *Reduktion der Ammoniakemission durch emissionsmindernde Ausbringtechniken (relativ zur Referenzmethode Breitverteiler) im Grasland - Messresultate einer internationalen Literatursynthese (Webb et al, 2010) Quelle: Huguenin-Elie, 2018*

Ausbringtechnik	Anzahl (n) der Einzelexperimente	Reduktion	
		Mittelwert	Streubereich der Mittelwerte einzelner Publikationen
Schleppschlauch	45	35 %	0-74 %
Schleppschuh	37	64 %	57-70 %
Schlitzinjektion	56	80 %	60-99 %

Tab. 8: *Reduktion der Ammoniakemission durch emissionsmindernde Ausbringtechniken (relativ zur Referenzmethode Breitverteiler) im Grasland - Messresultate einer Untersuchung in der Schweiz (Häni et al., 2016) Quelle: Huguenin-Elie, 2018*

Ausbringtechnik	Anzahl (n) der Einzelexperimente	Reduktion	
		Mittelwert	Streubereich der einzelnen Experimente
Schleppschlauch	7	51 %	22-68 %
Schleppschuh	5	53 %	36-71 %
Schlitzinjektion	1	76 %	-

Stickstoffdünger

N-Formen und Wirkungsgeschwindigkeit

- Cyanamid
- Amid
- Ammonium
- Nitrat

langsam



schnell

Die wichtigsten N-Düngerformen

Gruppe	Typen-Bezeichnung	N %	N-Formen	Umsetzung im Boden
Ammonium-Dünger	Ammoniumsulfat = Ammonsulfat = schwefelsaures Ammoniak	21	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4^+ : Volatilisation, Adsorption, Fixierung, Immobilisierung, Pflanzenaufnahme, Nitrifizierung
Nitrat-Dünger = Salpeter-Dünger	Kalksalpeter	15	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	NO_3^- : Denitrifizierung, Ein(Aus)waschung, Immobilisierung, Pflanzenaufnahme
Ammonnitrat-Dünger	Kalkammonsalpeter = KAS	27	$\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$	
	Ammonsulfatsalpeter = ASS	26	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
Amid-Dünger	Harnstoff = Carbamid = Urea Kalkstickstoff = Cyanamid	46	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Urease}} (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$ a) anorg. Hydrolyse: $\text{N}\equiv\text{C}-\text{N}=\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{N}\equiv\text{C}-\text{NH}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ b) enzymatische u. anorg. Umsetzung: $\text{N}\equiv\text{C}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2$
		19.8	$\text{CaCN}_2 + \text{C}$	
Ammonnitrat-amid-Dünger	Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung = AHL	28	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit