

Fachschule Landwirtschaft
 Modul Pflanzliche Erzeugung:
 Pflanzenernährung und Düngung



Rheinland-Pfalz
 DIENSTLEISTUNGSZENTRUM
 LÄNDLICHER RAUM (DLR)
 RHEINHESSEN-NAHE-
 HUNSÜCK

Stickstoffkreislauf

N in Böden, Pflanzen, Gewässer und Atmosphäre

Dr. Friedhelm Fritsch, DLR R-N-H, Abt. Landwirtschaft, Bad Kreuznach

Stickstoff und seine Verbindungen

NH_3 = Ammoniak

NH_4^+ = Ammonium

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ = Harnstoff

R-NH_2 = organische Verbindungen
 z.B. Aminosäuren, Proteine

N_2 = molekularer Stickstoff (79 % der Luft)

N_2O = Lachgas (Distickstoffoxid)

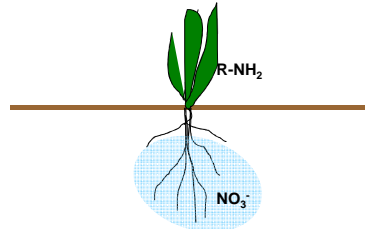
NO_2^- = Nitrit

NO_3^- = Nitrat (Anion der Salpetersäure)

Mineraldünger: Nitrat, Ammonium, Harnstoff

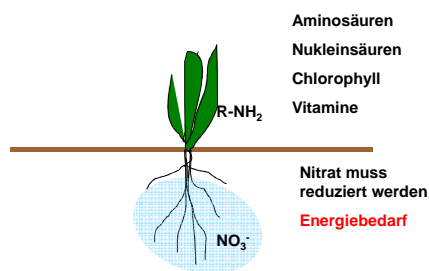
Organische Dünger: Ammonium, R-NH_2

Stickstoffaufnahme



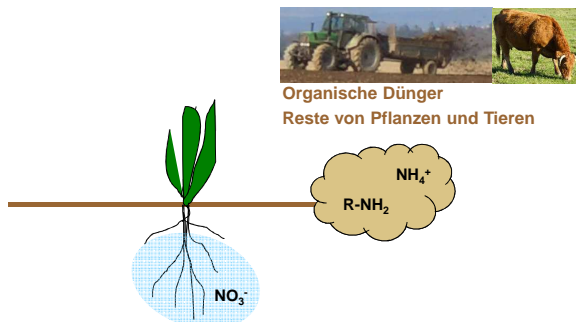
R-NH_2 = N in organischen Verbindungen
 NO_3^- = Nitrat

Stickstoffaufnahme



R-NH_2 = N in organischen Verbindungen
 NO_3^- = Nitrat

Stickstoff in organischen Düngern: organisch gebundener und Ammonium-N



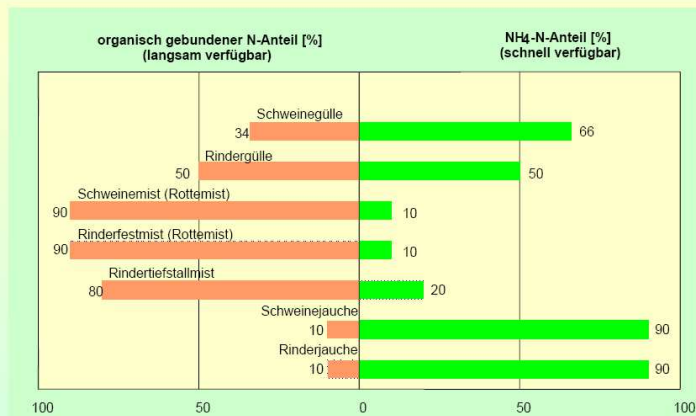
R-NH₂ = N in organischen Verbindungen

NO₃⁻ = Nitrat

NH₄⁺ = Ammonium

Stickstoff in organischen Düngern: organisch gebundener und Ammonium-N

N-Charakteristik verschiedener Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft



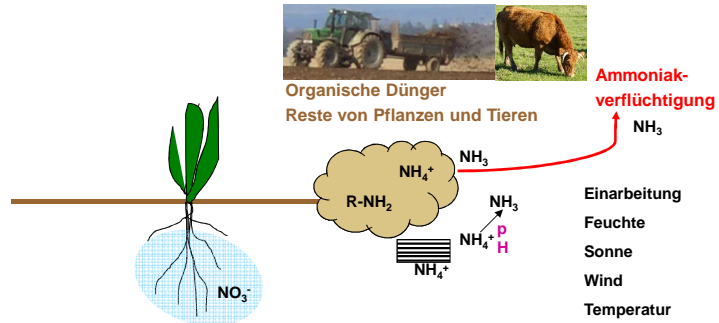
Vortrag: Düngungstagung 2007
Dr. habil. E. Albert, Referat Pflanzenbau

Freistaat Sachsen
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

23.02.2007

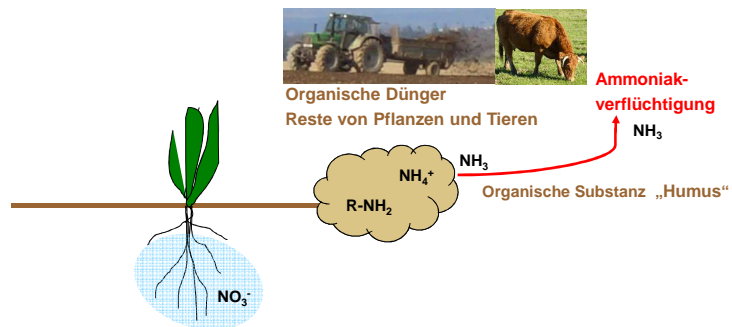
5

Stickstoffverlust: Ammoniakverflüchtigung



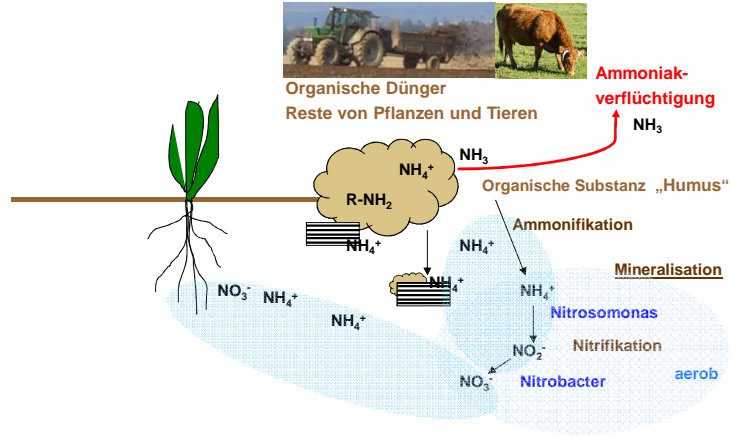
R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak

Stickstoffanreicherung im Boden durch organische Düngung und Erntereste



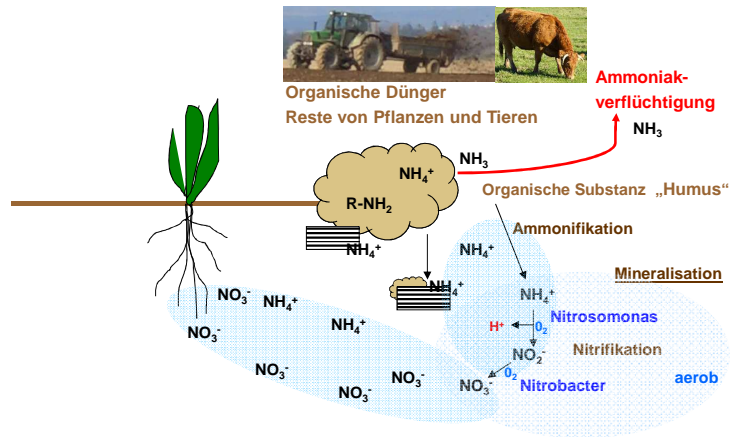
R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak

Mineralisation des Stickstoffs



R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak

Mineralisation des Stickstoffs



R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak


Stickstoffmineralisierung

Umwandlung organisch gebundenen Stickstoffs in anorganischen, pflanzenverfügbaren Stickstoff

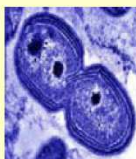
Ammonifikation:
 $-C-C-C-C-(org)-N \longrightarrow R-NH_2 + CO_2 + C\text{-Verbindungen}$
 $R-NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + R-OH + \text{Energie}$

Nitrifikation:
 $NH_4^+ + 1,5 O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$
 $NO_2^- + 0,5 O_2 \longrightarrow NO_3^-$

- Gute Durchlüftung (Sauerstoff),
- \pm neutrale Bodenreaktion,
- mittlerer Wassergehalt,
- gemäßigte Temperatur




Nitrobacter



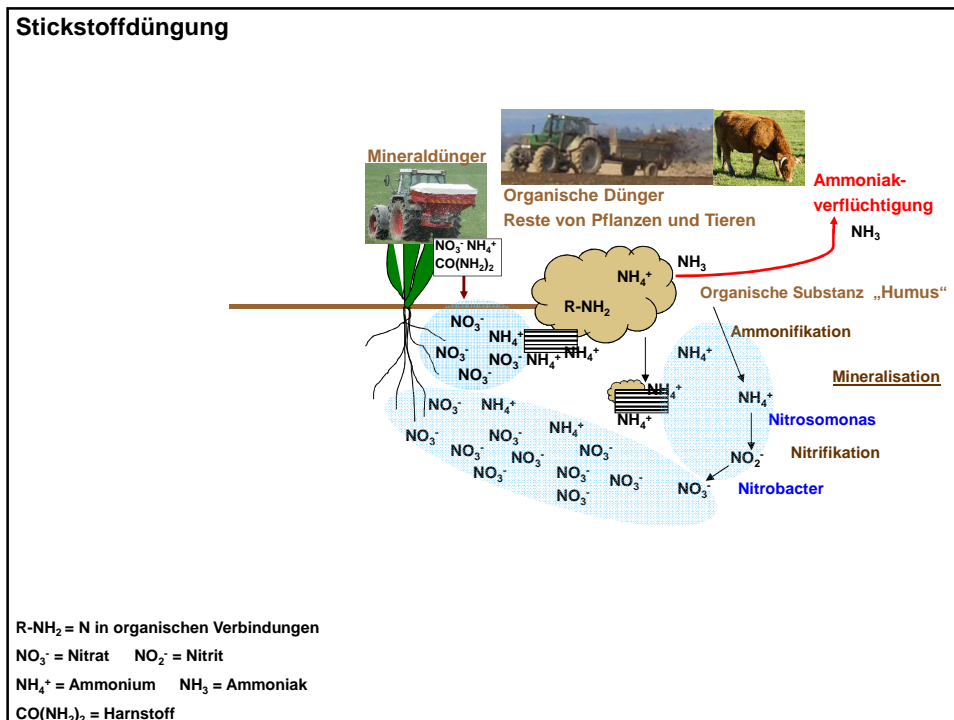
Nitrosomonas

plus ...

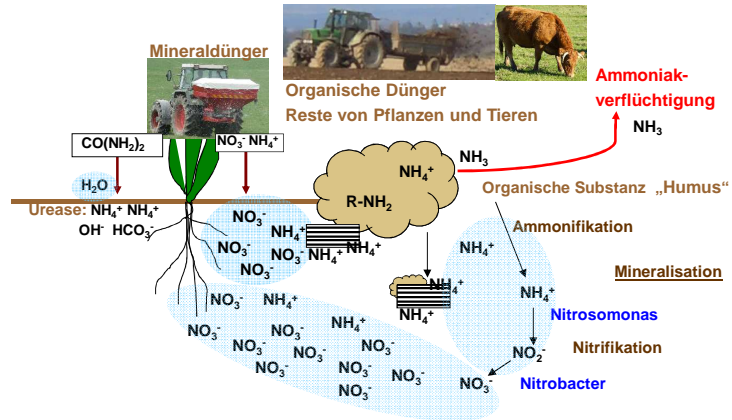


Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg



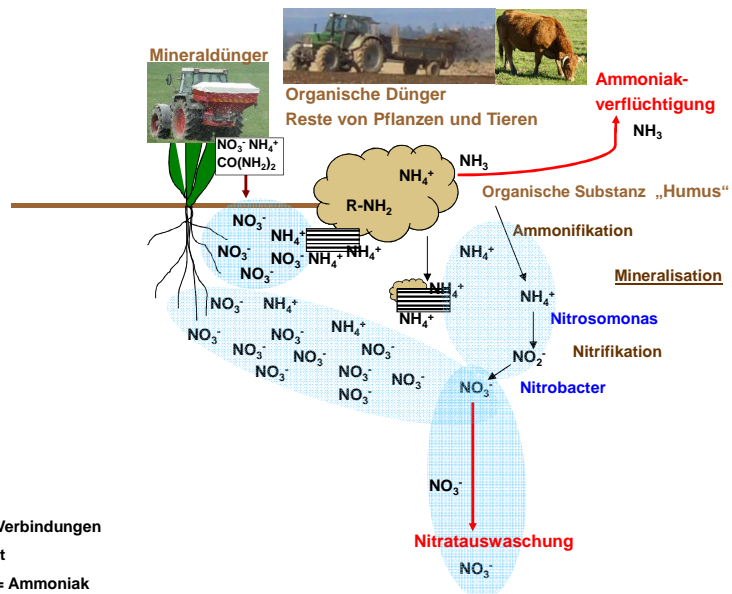


**Stickstoffdüngung:
Umsetzung von Harnstoff**



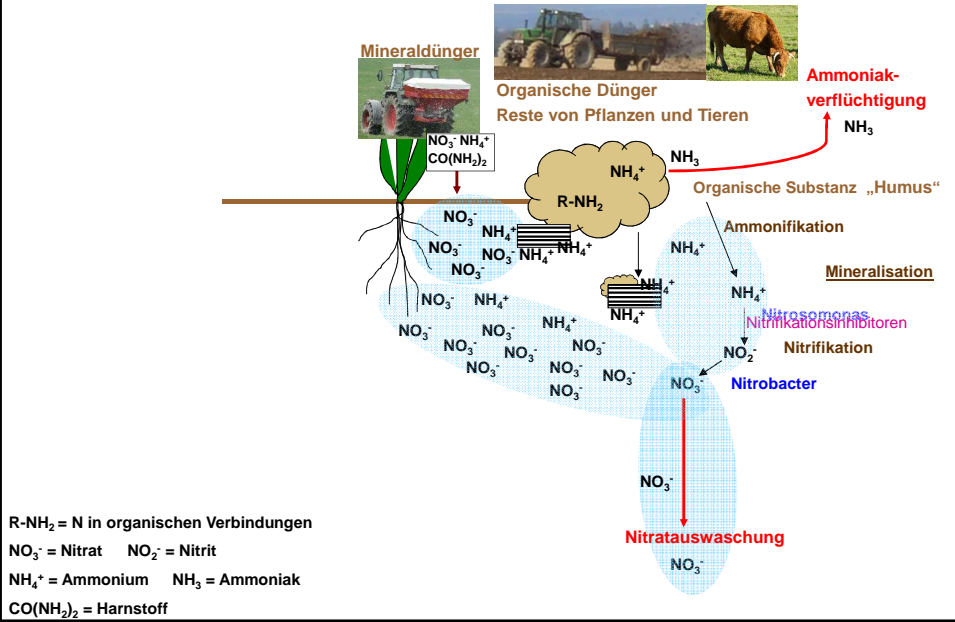
R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak
 CO(NH₂)₂ = Harnstoff

Stickstoffverlust: Nitratauswaschung

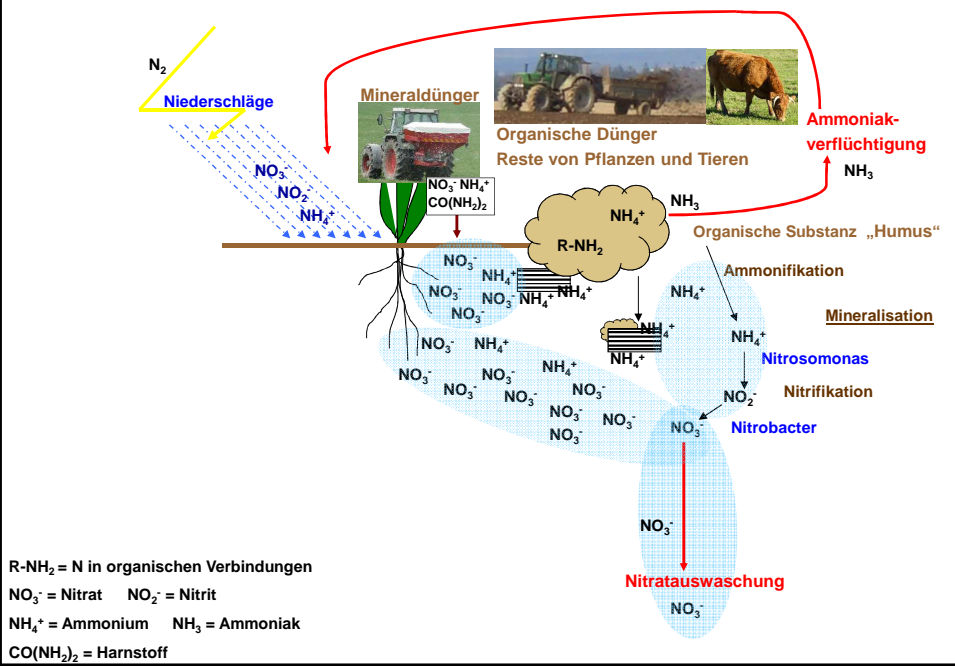


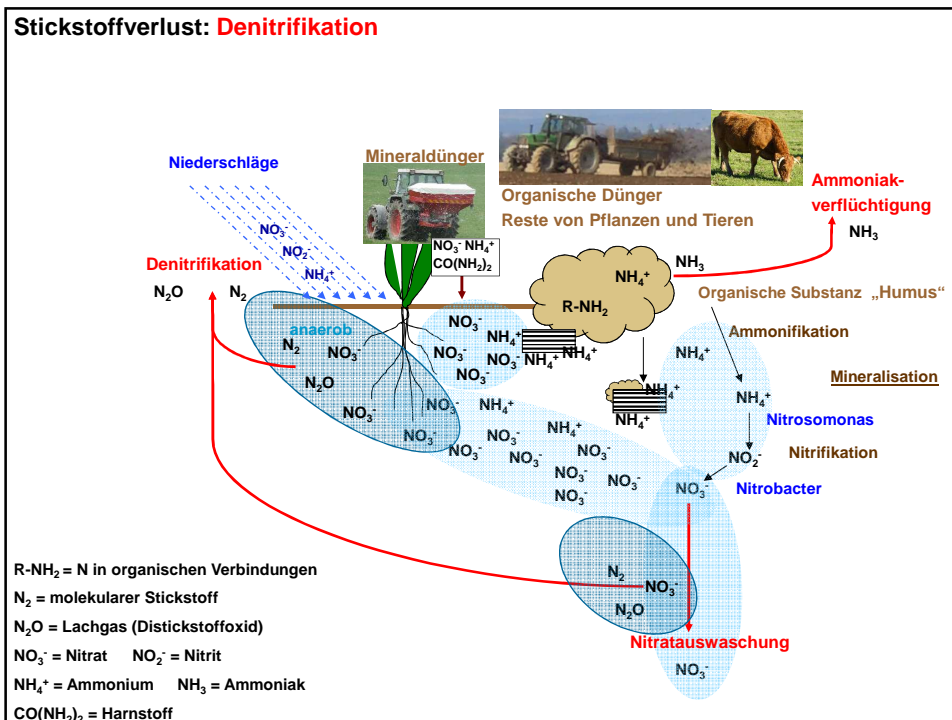
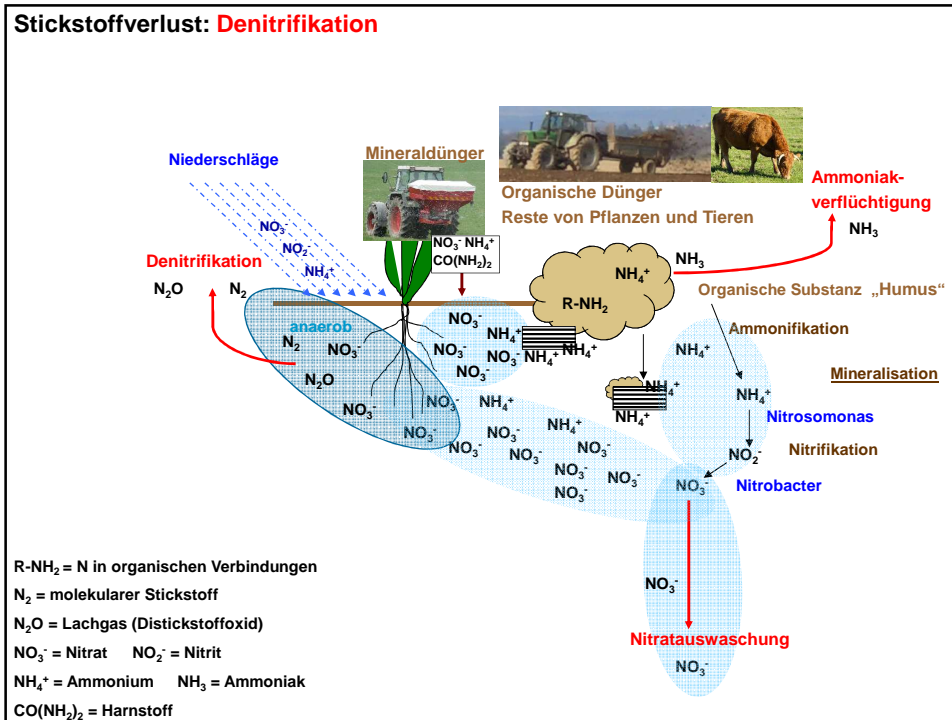
R-NH₂ = N in organischen Verbindungen
 NO₃⁻ = Nitrat NO₂⁻ = Nitrit
 NH₄⁺ = Ammonium NH₃ = Ammoniak
 CO(NH₂)₂ = Harnstoff

Nitrifikationsinhibitoren



Stickstoff in Niederschlägen





Denitrifikation

Nitratatmung oder dissimilatorische Nitratreduktion


$$2 \text{NO}_3^- + 2 \text{org. C} \longrightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 \text{ (+ Energie)}$$

$\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO} \longrightarrow \text{N}_2\text{O}$


„Treibhausgas“,
 ca. 300mal wirksamer als CO_2

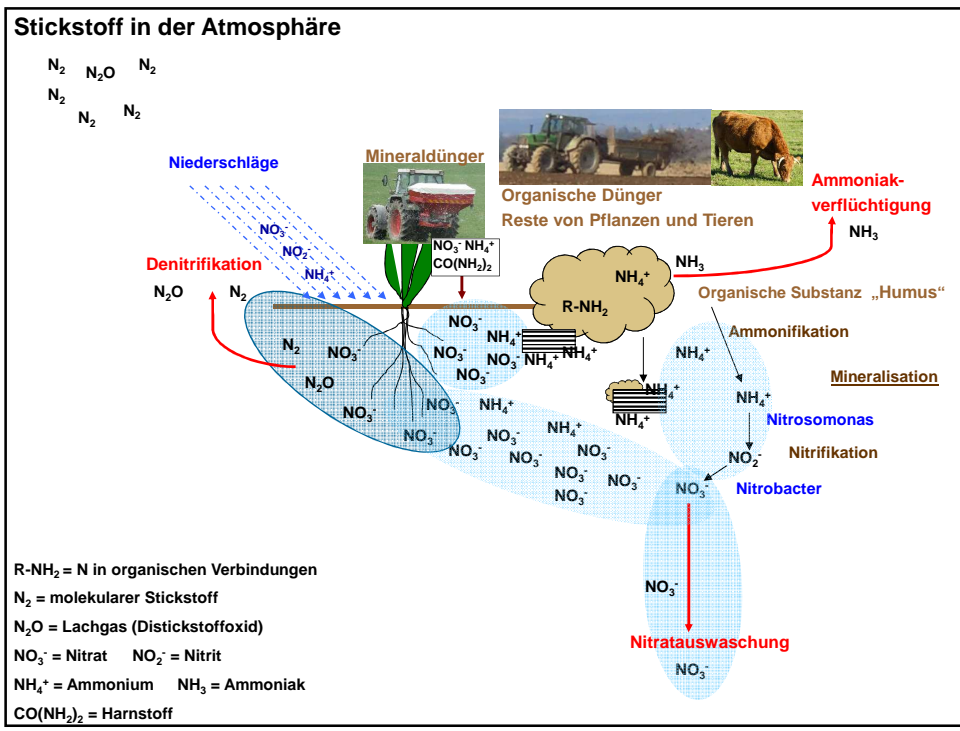
- hoher Wassergehalt des Bodens, anaerobe Verhältnisse
- hoher Gehalt an leicht verfügbarem organischem Material
- hoher Nitratgehalt
- wechselnde Feuchtigkeitszustände

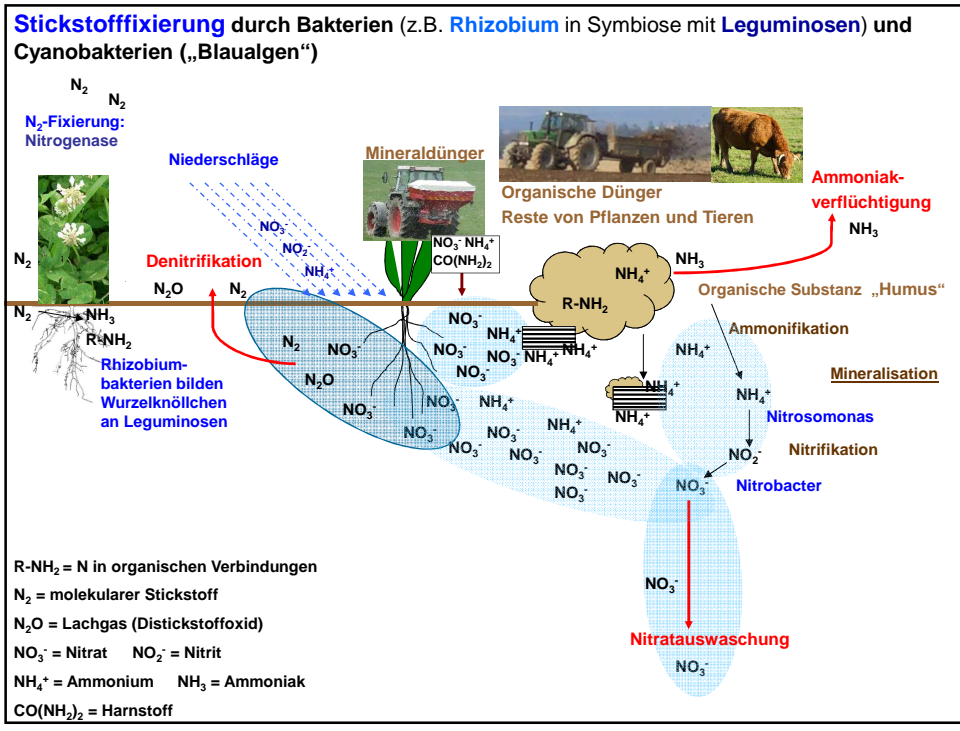
Mindestens 1% des gedüngten Stickstoffs gehen im Durchschnitt als N_2O verloren, evtl. bis zu 5%. Nur so viel Stickstoff wie unbedingt nötig!



Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg







Stickstoffumsetzungen

Stickstoff-Fixierung:

$$N_2 \xrightarrow{\text{Nitrogenase}} 2 NH_3 \rightarrow \dots \rightarrow \text{Aminosäuren} \rightarrow \dots$$

energieaufwändig, sauerstoffempfindlich
 Rhizobien in Symbiose mit Leguminosen
 Actinomyceten in Symbiose mit Gehölzen (z.B. Erle, Sanddorn)
 Freilebende Stickstofffixierer (Bakterien, Blualgen)

Wirtschaftlich bedeutsam!
 Vorfruchtwirkung; N-Quelle des ökologischen Landbaus

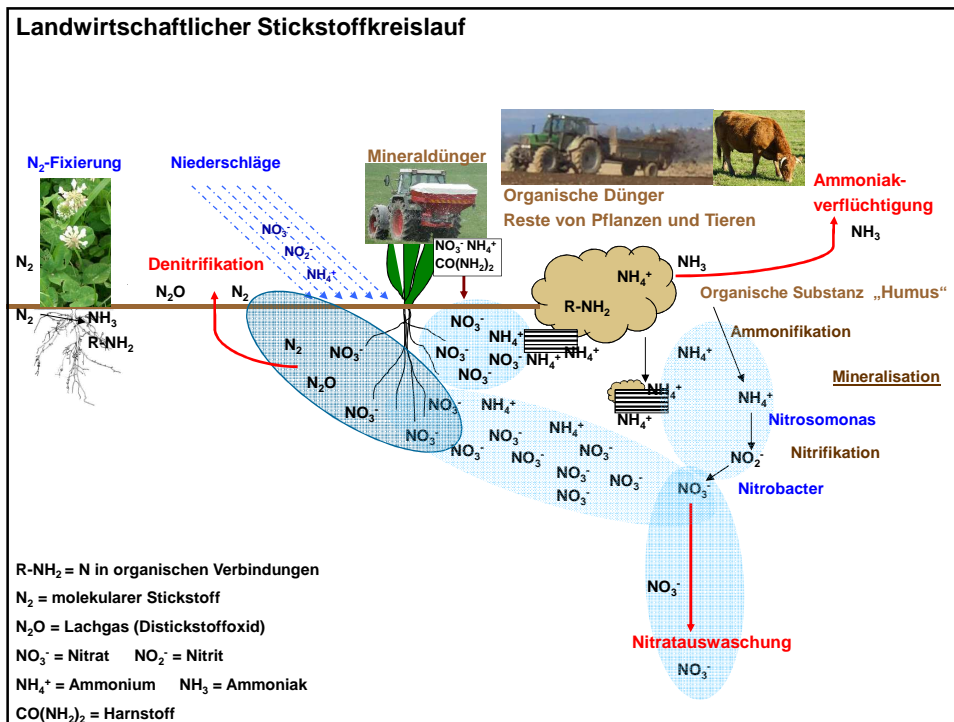
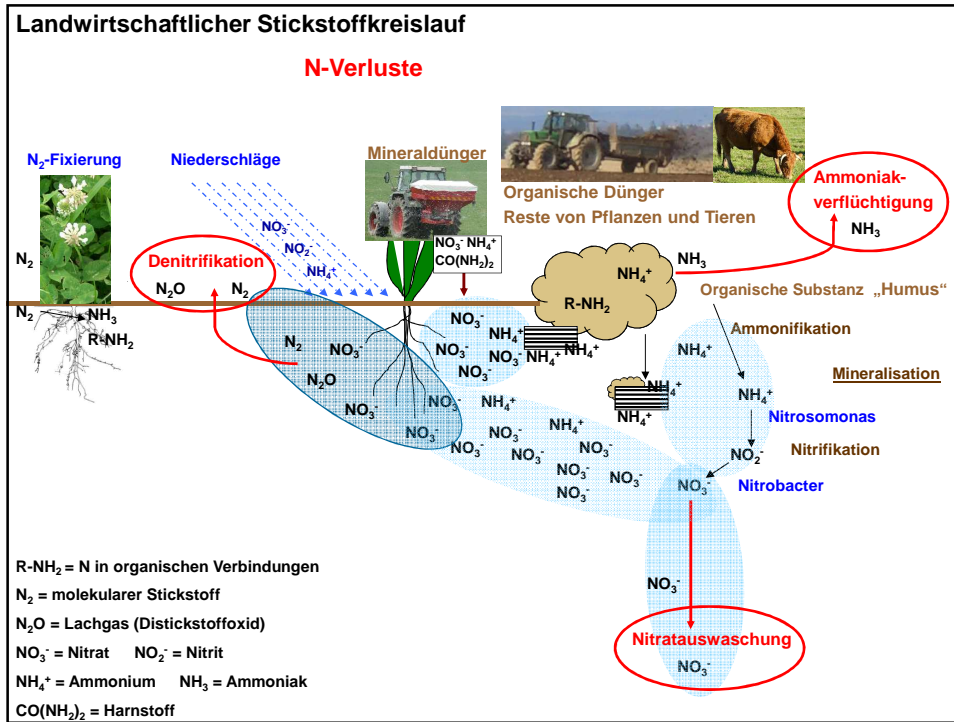
Eingebrachte Stickstoffmengen:

Freilebende Fixierer:	ca. 30 kg N/ha*a
Soja, Buschbohnen:	ca. 100 kg N/ha*a
Ackerbohnen, Luzerne:	ca. 200 – 250 kg N/ha*a

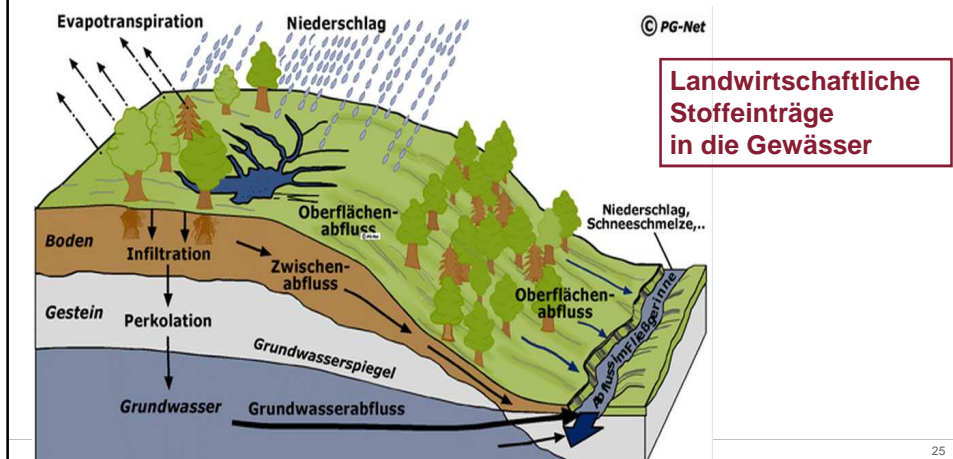


Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg





Auswaschung mit Sickerwasser ins Grundwasser: **Nitrat, Phosphat**
 Interflow (Zwischenabfluss): **Nitrat**, bei hoher P-Absättigung auch **Phosphat, PSM**
 Oberflächenabfluss (hängige Lagen): nährstoffhaltiges Material, Dünger, **PSM**
 Bodenerosion: an Bodenpartikeln gebundenes **Phosphat, PSM**
 Abdrift: **PSM**
 direkte Einträge wg. fehlerhafter Anwendung
 via Kläranlagen: unsachgemäße **PS-Gerätereinigung** und **PSM-Anwendungen**



NO_3^- = Nitrat = N-Aufnahmeform der Pflanzen

Grenzwert im **Trinkwasser: 50 mg Nitrat/l**

Konzentration im **Bodenwasser** in einem fruchtbaren Boden nach einer Düngung oder z.B. nach einer Klee-Zwischenfrucht = **50 kg Nitrat-N/ha = 222 kg Nitrat/ha**
 etwa 25 Gew.-% Wasser im Boden, das sind pro ha in einer 25 - 30 cm Bodenschicht 1 Million Liter Wasser

ergibt: 222.000.000 mg Nitrat in 1.000.000 l = **222 mg Nitrat/l**

auch in der ungedüngten Natur gibt es ohne Nitrat kein Pflanzenwachstum

gedüngte Pflanzen nehmen etwa 100 – 250 kg N/ha auf

Gegenrechnung

400 mm Wasserverbrauch (Kulturpfl.) = 4.000.000 l Wasser-Verbrauch/ha
 dabei 200 kg N-Aufnahme/ha * 4,43 = 886 kg Nitrat-Aufnahme
 = durchschnittlich **221 mg Nitrat/l** Bodenwasser

NO_3^- = Nitrat = N-Aufnahmeform der Pflanzen

auch in der ungedüngten Natur nehmen die Pflanzen N in Form von Nitrat auf

Grenzwert im Trinkwasser: 50 mg Nitrat/l

Wie hoch ist die Konzentration im Bodenwasser?

Kulturpflanzenbestand 100 bis 250 kg N-Aufnahme pro ha und Jahr

Wasserverbrauch etwa 400 mm = 4.000.000 l Wasser/ha

200 kg N-Aufnahme/ha * 4,43 = 886 kg Nitrat-Aufnahme

= durchschnittlich **221 mg Nitrat/l Bodenwasser**

Wald 10 bis 20 kg N-Aufnahme pro ha und Jahr

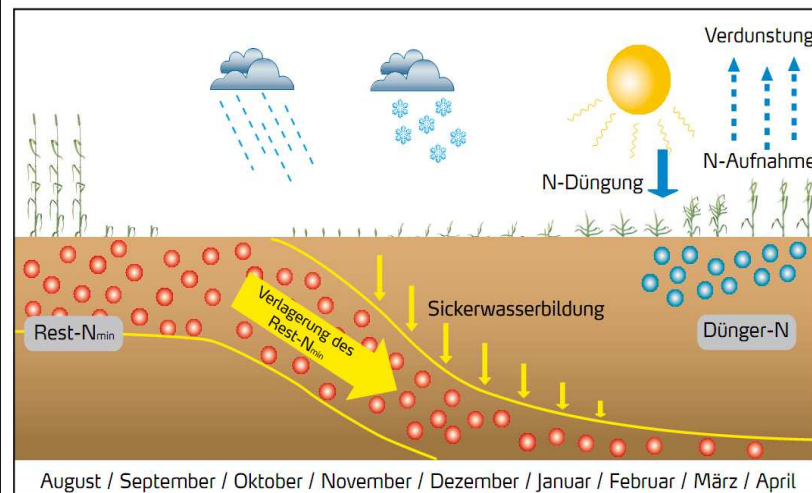
Wasserverbrauch etwa 400 mm = 4.000.000 l Wasser/ha

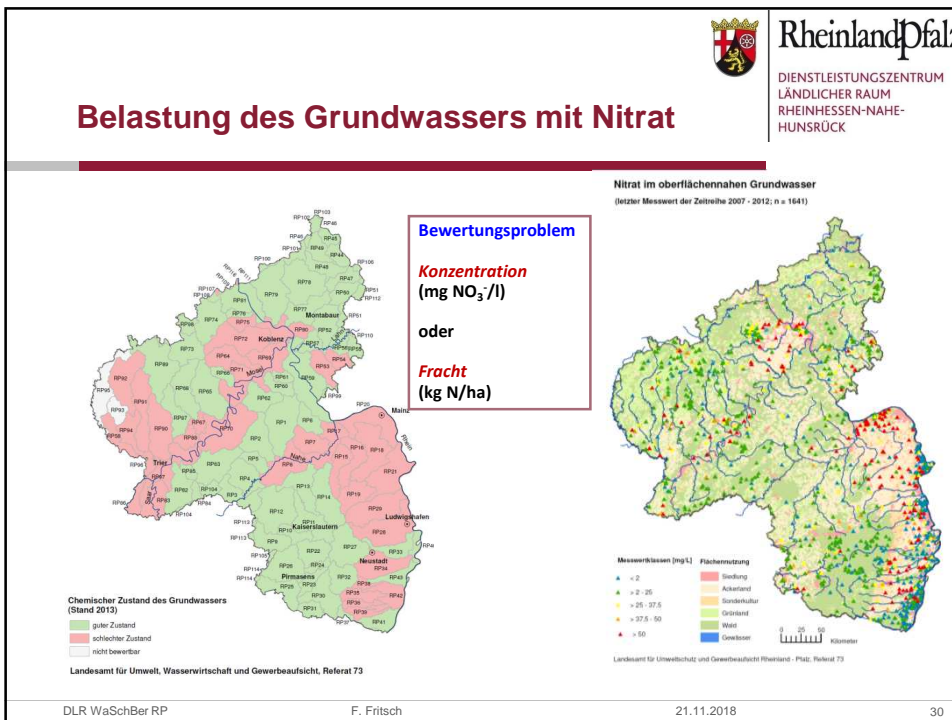
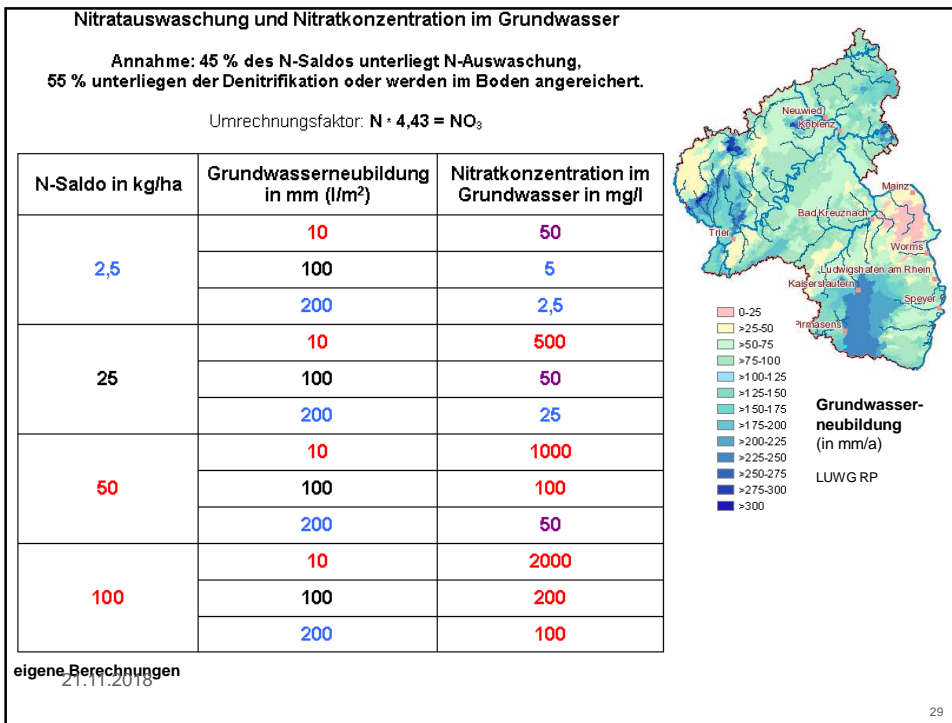
15 kg N-Aufnahme/ha * 4,43 = 66 kg Nitrat-Aufnahme

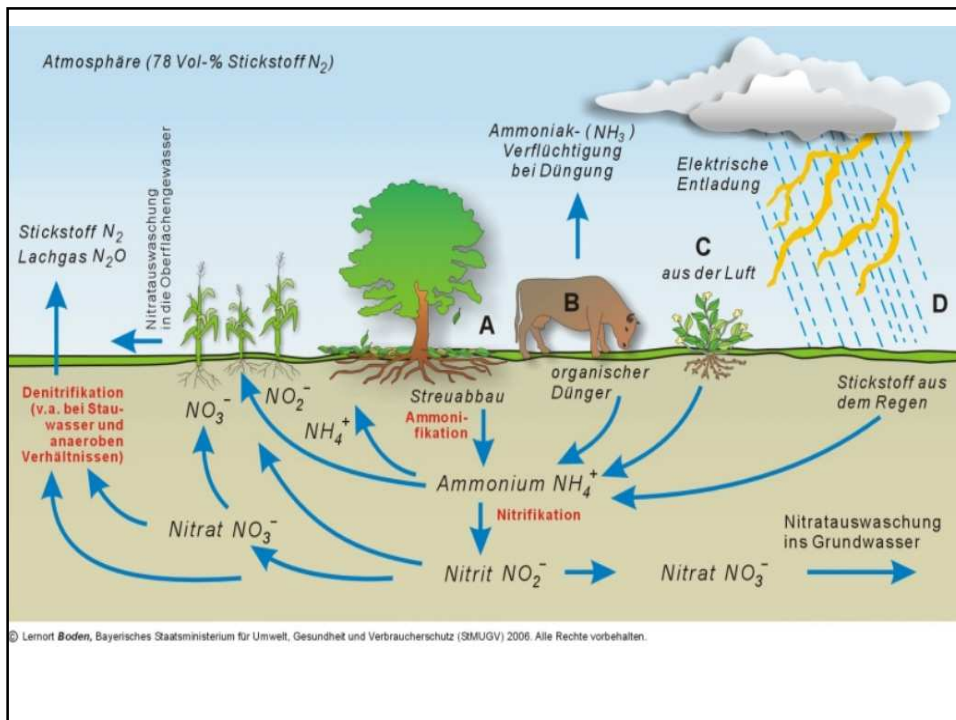
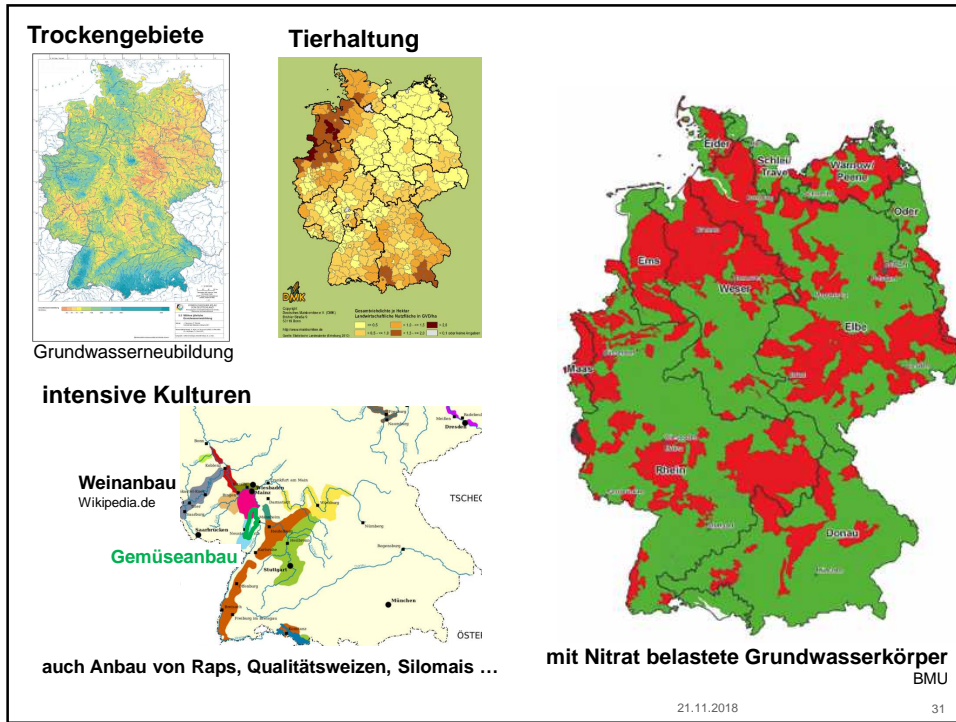
= durchschnittlich **16,5 mg Nitrat/l Bodenwasser**

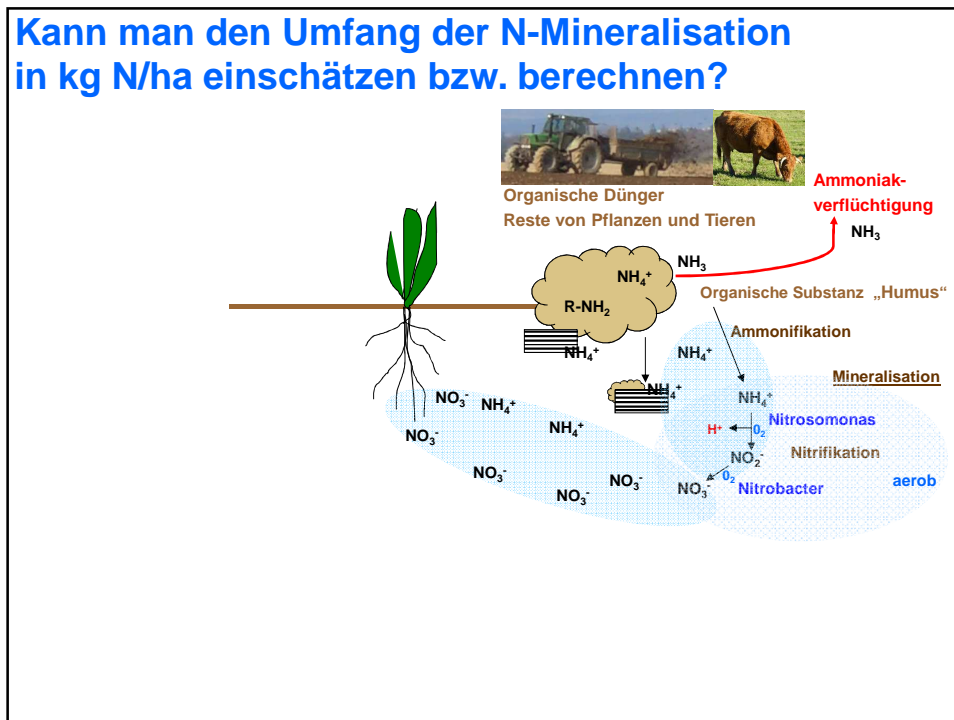
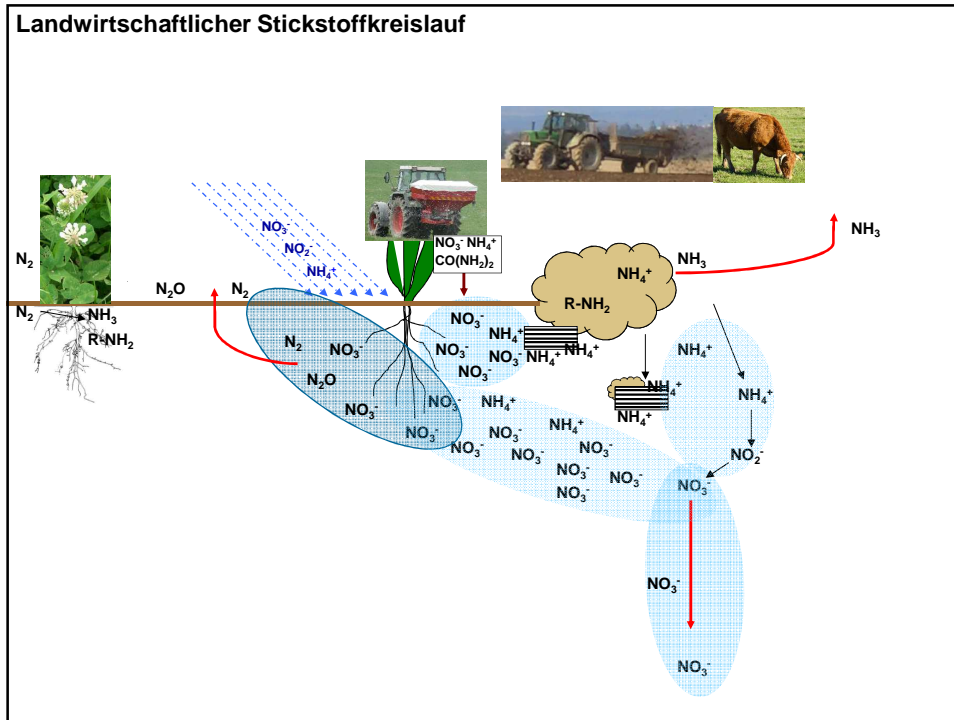
N-Verlagerung findet über Winter statt

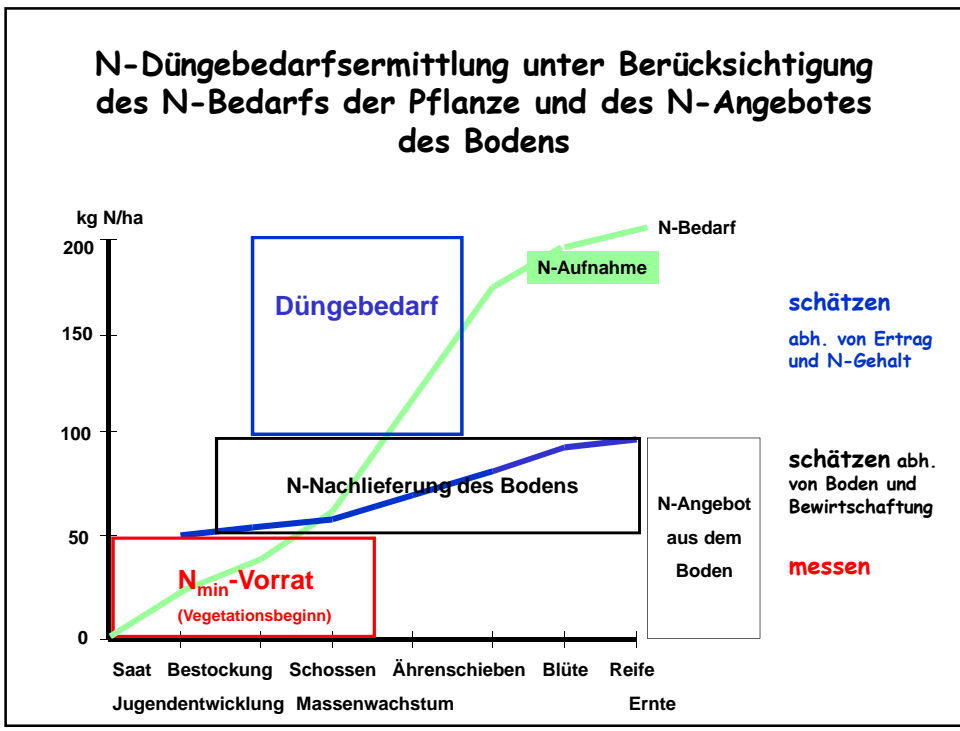
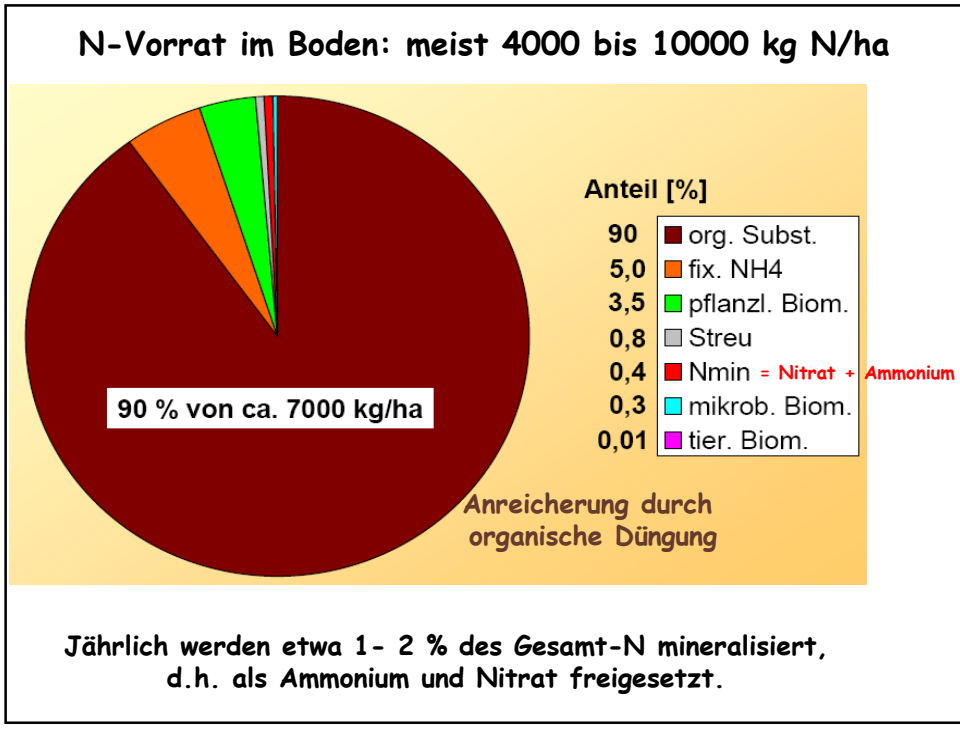
Verlagerung findet statt, wenn die Wasserspeicherkapazität des Bodens überschritten wird und die Pflanzen gleichzeitig kaum N aufnehmen: Sickerwasser wird gebildet. Dies passiert normalerweise nur in den Wintermonaten, wenn Vegetationsruhe herrscht. Die Wasserspeicherkapazität ist abhängig von der Bodenart: auf leichten Standorten ist das Maximum schneller erreicht, als auf schweren Böden. Bei Überschreitung kommt es bei Niederschlägen zu einem abwärts gerichteten Wasserstrom. Nicht genutztes Nitrat kann so in tiefere Bodenschichten verlagert werden, ein Eintrag ins Grundwasser kann erfolgen. Wichtig ist daher, hohe N-Restmengen im Herbst in den Böden zu vermeiden, die verlagert werden können.











Bsp. für Umfang der N-Nachlieferung in fruchtbaren Böden

N_{null}-Variante Düngungsversuch

Beispiel:

40 dt/ha WiWz (9 % RP)	<u>kg N/ha</u>
Korn-N = $40 * 0,86 * 9 : 5,7$	= 54
Stroh-N = $40 * 0,43$	= 17
Restpfl. + 13 %	= 9
N-Menge im Weizen	= 80

Nährstoffmonitoring RP 2004-2013

240 Ackerflächen: **0,18 % N**

ca. 4,4 Mill. kg Boden/ha (ca. 30 cm)

0,18 % = **8.000 kg N/ha**

1 % Mineralisierung = **80 kg N/ha**

+ Mineralisierung außerhalb Vegetationszeit

Humus- und N-Gehalte im Boden bleiben bei gleichbleibender Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitungsintensität) relativ konstant!

Wie wird die N-Nachlieferung aufrechterhalten?

	<u>kg N/ha</u>
Korn, gedüngte Pflanzen	170 (= Abfuhr)
Erntereste Stroh-N = $64 * 0,5$	= 32
Restpfl. + 13 %	= 26
Niederschläge	= 20
N-Bindung Mikroorganismen	= ?
N-Saldo im Vorjahr	= ??
Summe N-Eintrag	= ca. 80

37

Bsp. für Umfang der N-Nachlieferung in fruchtbaren Böden

N_{null}-Variante Düngungsversuch

Beispiel:

40 dt/ha WiWz (9 % RP)	<u>kg N/ha</u>
Korn-N = $40 * 0,86 * 9 : 5,7$	= 54
Stroh-N = $40 * 0,43$	= 17
Restpfl. + 13 %	= 9
N-Menge im Weizen	= 80

Nährstoffmonitoring RP 2004-2013

240 Ackerflächen: **0,18 % N**

ca. 4,4 Mill. kg Boden/ha (ca. 30 cm)

0,18 % = **8.000 kg N/ha**

1 % Mineralisierung = **80 kg N/ha**

+ Mineralisierung außerhalb Vegetationszeit

Humus- und N-Gehalte im Boden bleiben bei gleichbleibender Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitungsintensität) relativ konstant!

Wie wird die N-Nachlieferung aufrechterhalten?

	<u>kg N/ha</u>
Korn, gedüngte Pflanzen	170 (= Abfuhr)
Erntereste Stroh-N = $64 * 0,5$	= 32
Restpfl. + 13 %	= 26
Niederschläge	= 20
N-Bindung Mikroorganismen	= ?
N-Saldo im Vorjahr	= ??
Summe N-Eintrag	= ca. 80

in der Realität variiert die N-Nachlieferung sehr stark durch unterschiedliche

- **Vor- und Zwischenfrüchte** (Erntereste, C:N-Verh., Leguminosen-N-Bindung)
- **Böden** (Bodenart, Bodentyp, mikrobielle Aktivität, pH)
- **Witterung** (Niederschläge, Temperatur, Sonneneinstrahlung, Höhenlage)
- **Bodenbearbeitung** (Direktsaat ...Pflug... häufiges Fräsen)
- **organische Düngung** (1 GV ca. 80 - 100 kg N (je ca. 50 % NH₄-N und N_{org}))

38