

Nährstoffeffizienz im System Boden-Pflanze -Tier



Der Nährstoffhaushalt im System Boden – Pflanze

Franz Wiesler

- Hintergrund
- Wichtige Größen des Nährstoffhaushalts im System Boden – Pflanze
- Integriertes Nährstoffmanagement - ein Konzept zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz am Beispiel des Gemüsebaus

Hintergrund

Forderungen der Gesellschaft und Bemühungen des Gesetzgebers, neben Produktionszielen auch Umweltziele in der Landwirtschaft stärker zu berücksichtigen, z.B.

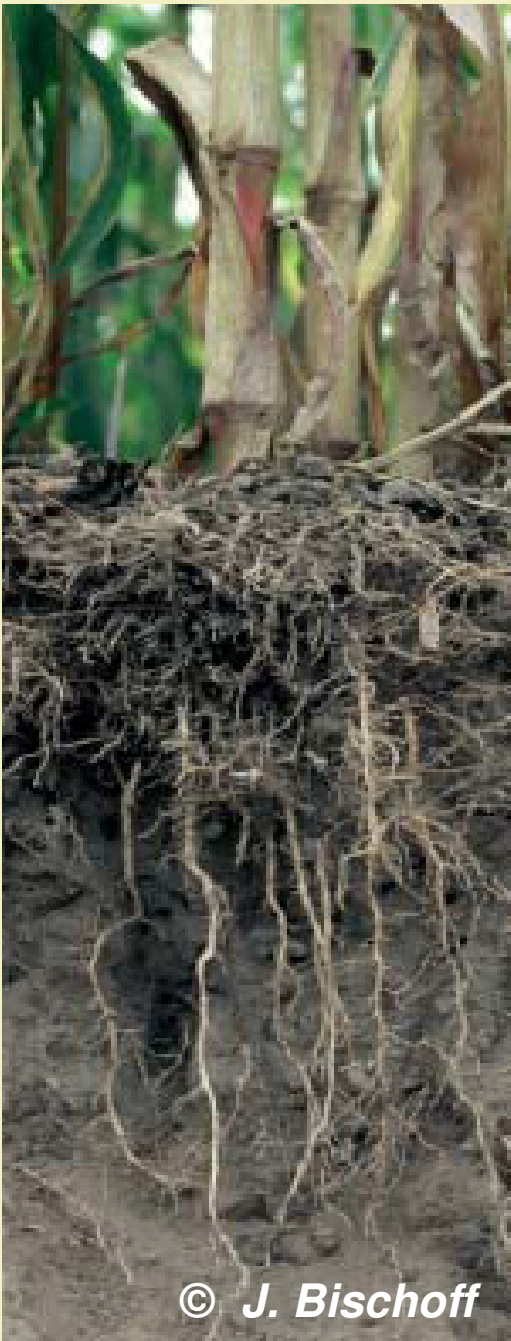
- EU-Nitratrichtlinie
- EU-Wasserrahmenrichtlinie
- EU-NEC-Richtlinie (National Emission Ceiling)
- Düngeverordnung

Novellierung der Düngeverordnung – einige vorgesehene Änderungen

- Präzisierung und Verbindlichkeit der Düngebedarfsermittlung
- Verbesserung der Nährstoffbilanzierung / ggf. Hoftorbilanzierung
- Herabsetzung der „unvermeidbaren“ N-Überschüsse
- Verlustarme Ausbringungstechnik, ggf. Einarbeitungsgebot
- Ausweitung von Sperrzeiten
- Erweiterung der Lagerkapazitäten
- N-Obergrenzen (170 kg ha^{-1}) für alle organischen Düngemittel
- Unzulässigkeit von P-Bilanzüberschüssen auf hoch (GK D) versorgten und P-Abreicherung auf sehr hoch versorgten (GK E) Böden

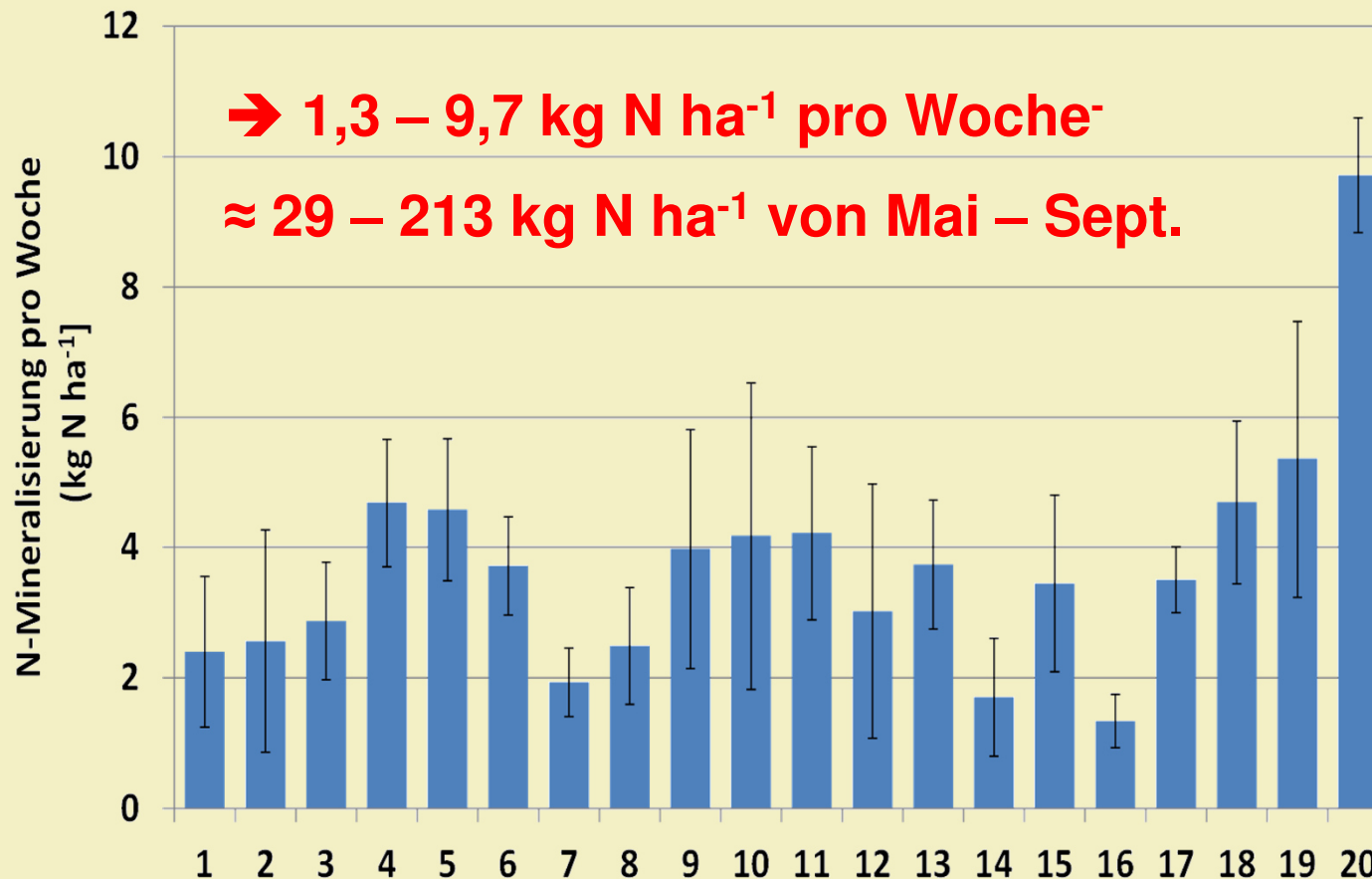
Wichtige Größen des Nährstoffhaushalts im System Boden – Pflanze

- Nährstoffangebot des Bodens (Mineralisierung, Immobilisierung, Löslichkeit, Sorption, Desorption)
- Nährstoffbedarf und Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanze
- Nährstoffzufuhr durch Düngung
- Nährstoffverluste in die Hydrosphäre und die Atmosphäre



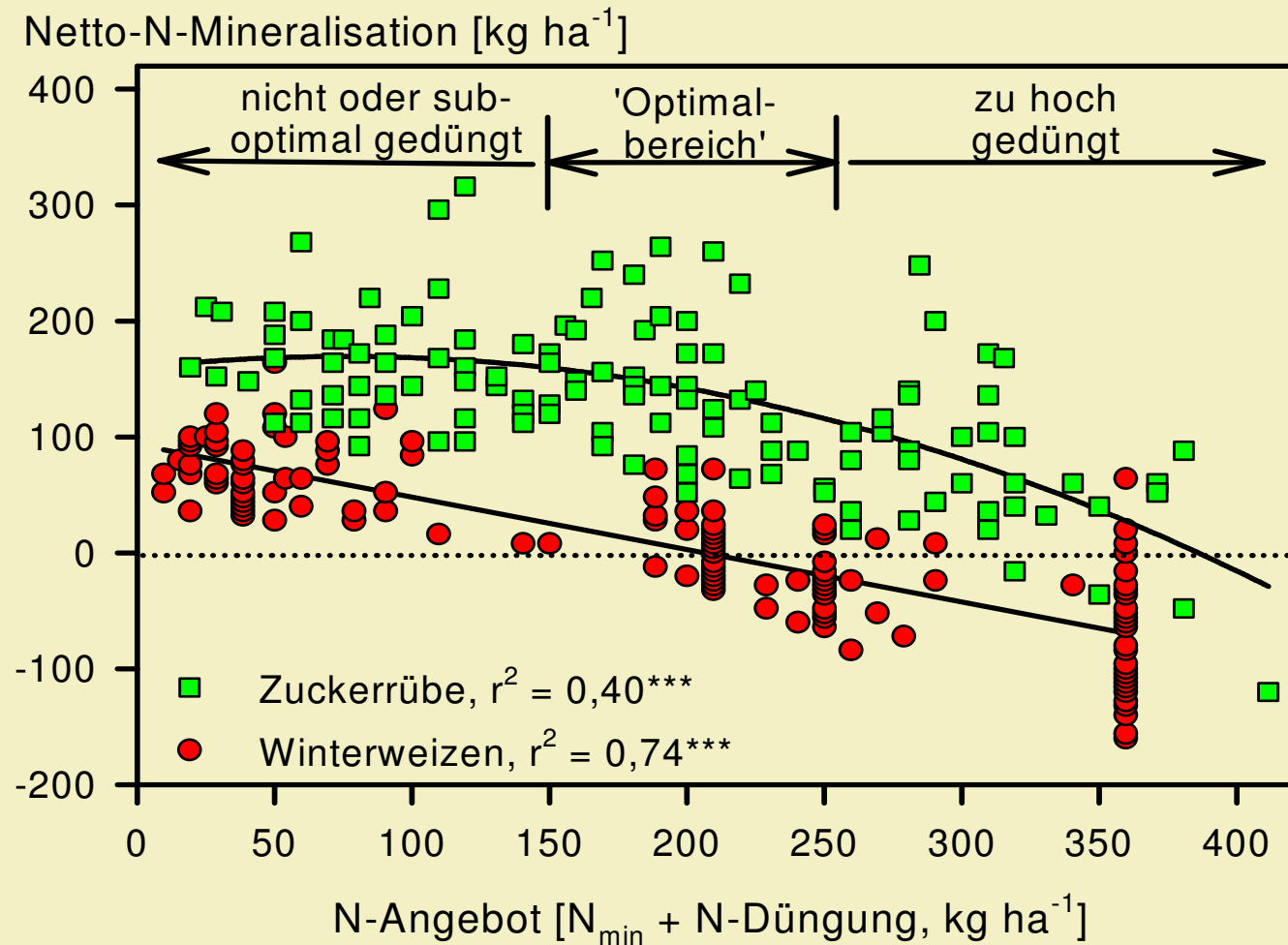
Netto-N-Mineralisierung in ungestörten Bodensäulen von 20 Standorten der Vorderpfalz

[nach Armbruster, Heger und Wiesler, Abschlussbericht, BLE, 2015]



Netto-N-Mineralisation während der Vegetationsperiode von Zuckerrüben und Winterweizen auf verschiedenen Versuchsstandorten in Niedersachsen

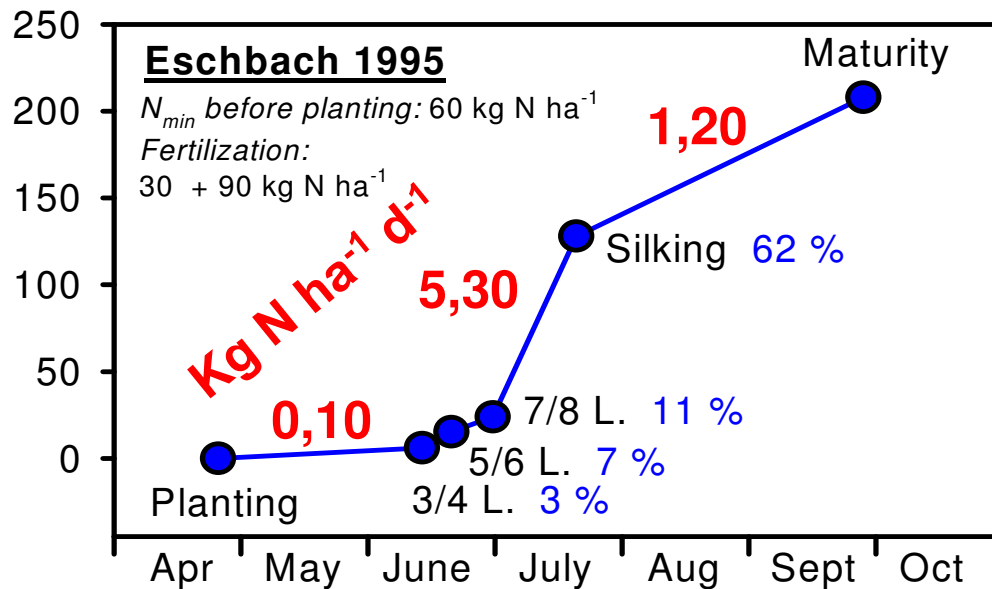
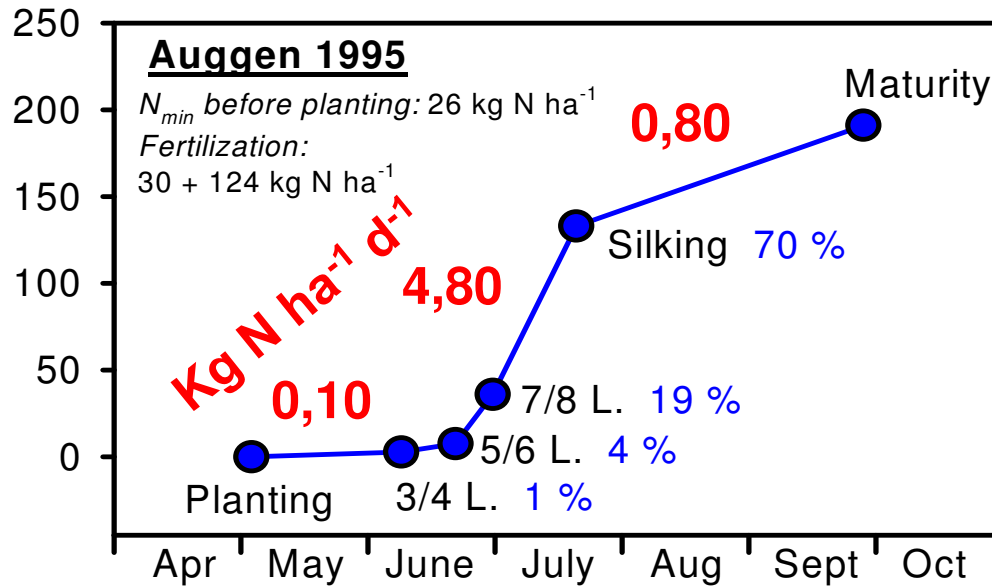
[nach Engels, Dissertation, Univ. Hannover, 1993]



Die N-Aufnahme im Verlauf der Vegetationsperiode von Mais – ermittelt in zwei Feldversuchen

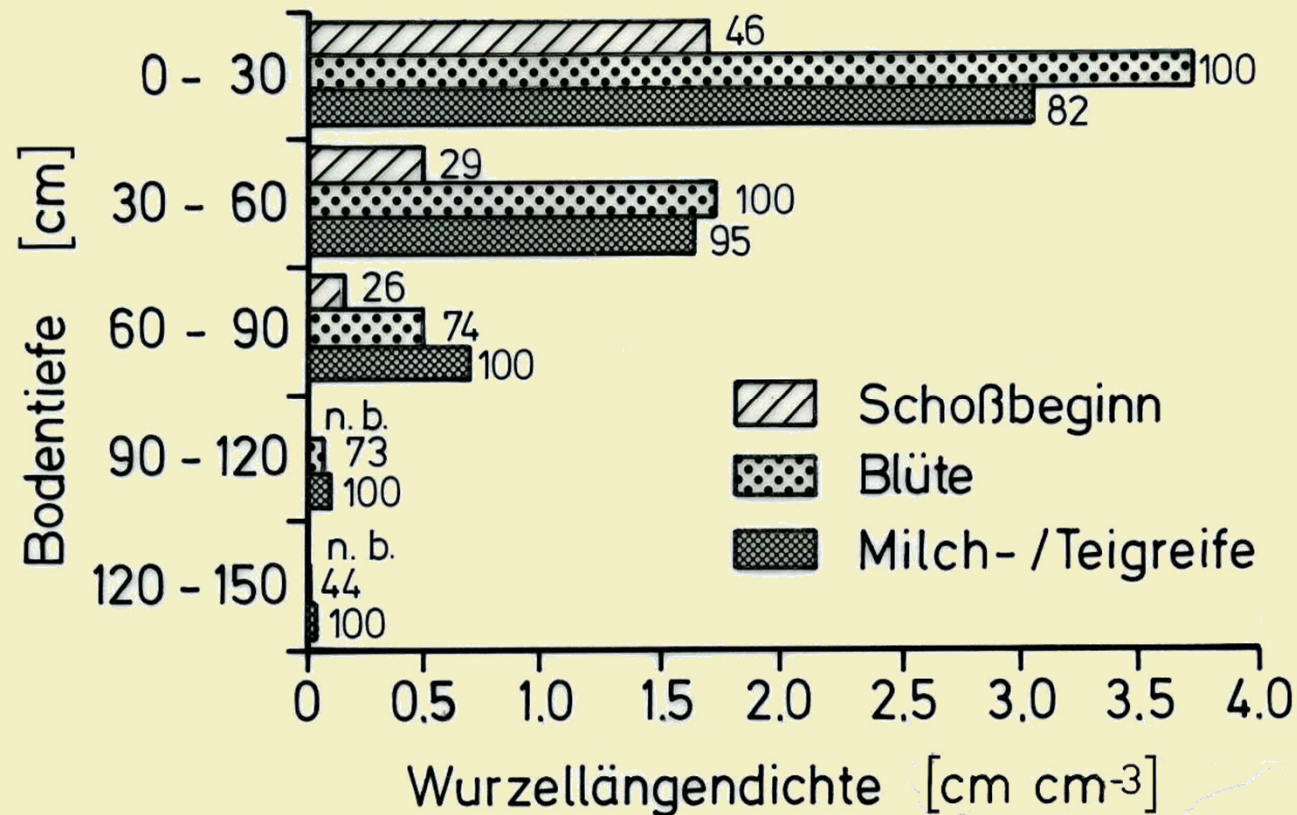
(nach Wiesler, 1998)

N uptake [kg ha⁻¹]



Die Durchwurzelung des Bodens in drei Entwicklungsstadien von Mais

[nach Wiesler und Horst, J. Plant Nutr. Soil Sci. 157, 1994]

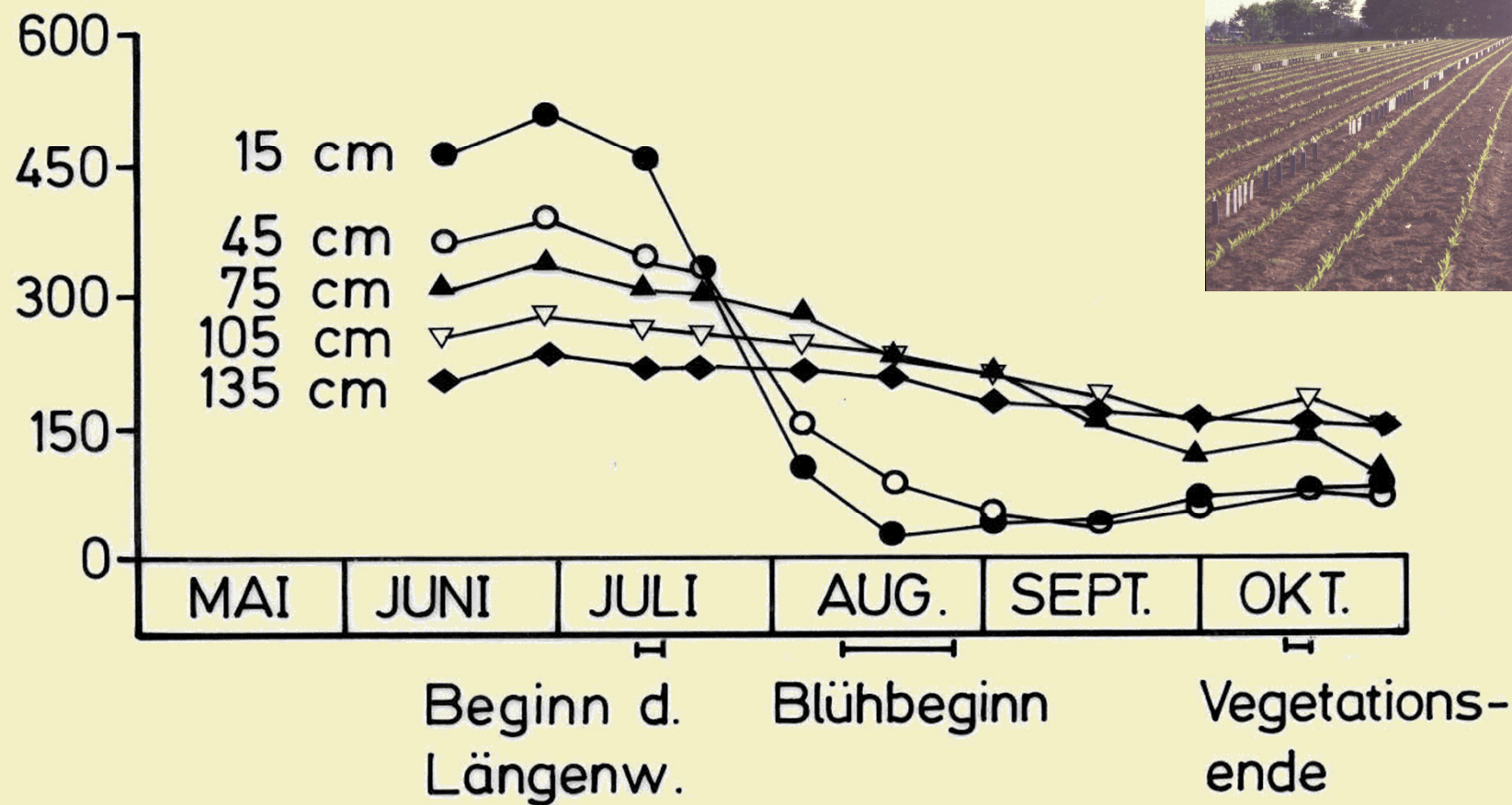


Nitrat-Konzentration im Saugkerzenwasser aus fünf Bodentiefen während der Vegetationsperiode von Mais

[nach Wiesler und Horst, Plant Soil 151, 1993]

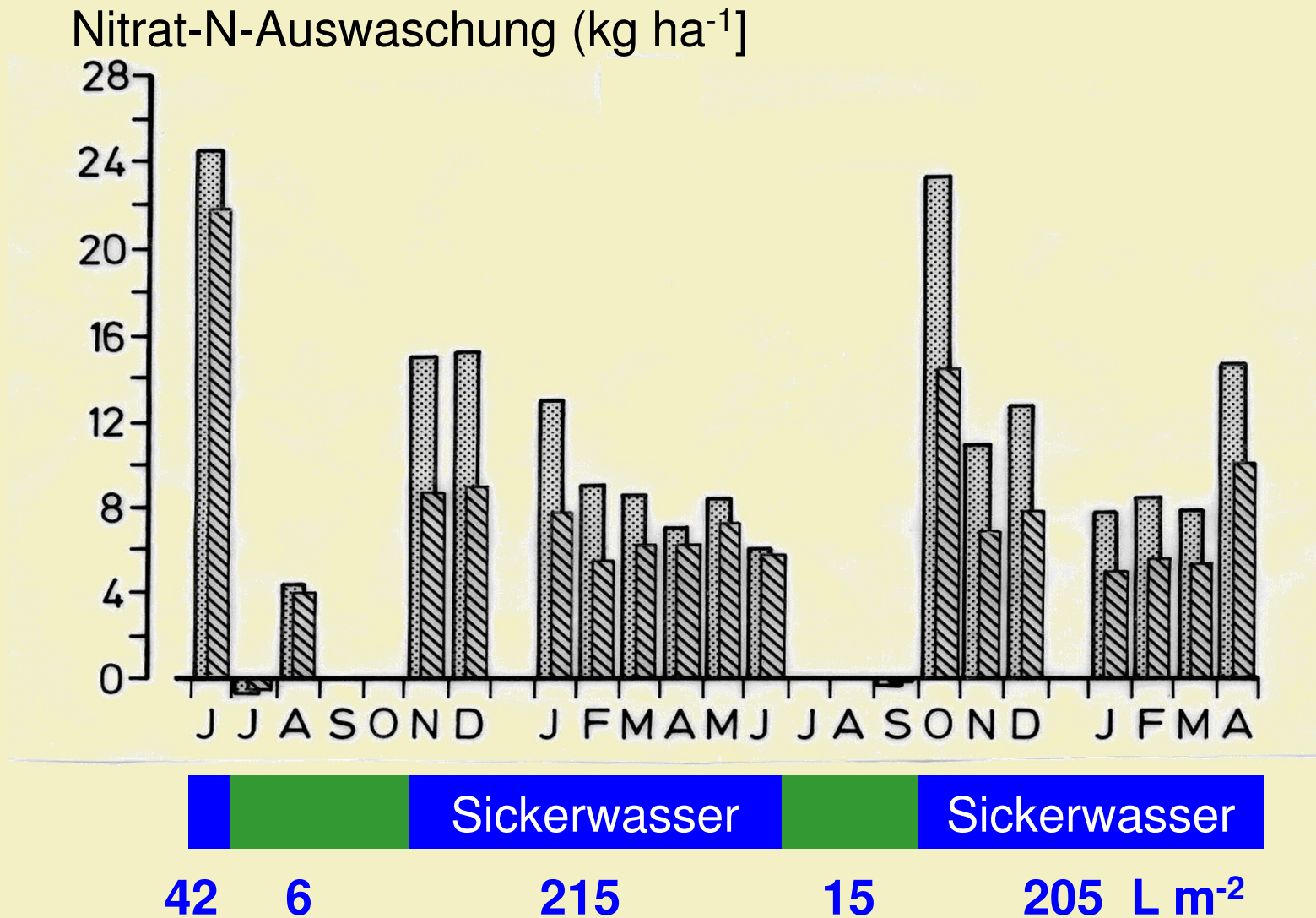
NO_3^- -Konzentration

[mg l^{-1}]



Sickerwasserbildung und Nitratauswaschung in einem 2-jährigen Versuchszeitraum auf den Parzellen von 2 Maissorten

[nach Wiesler und Horst, Plant Soil 151, 1993]



Zwischenfazit (I)

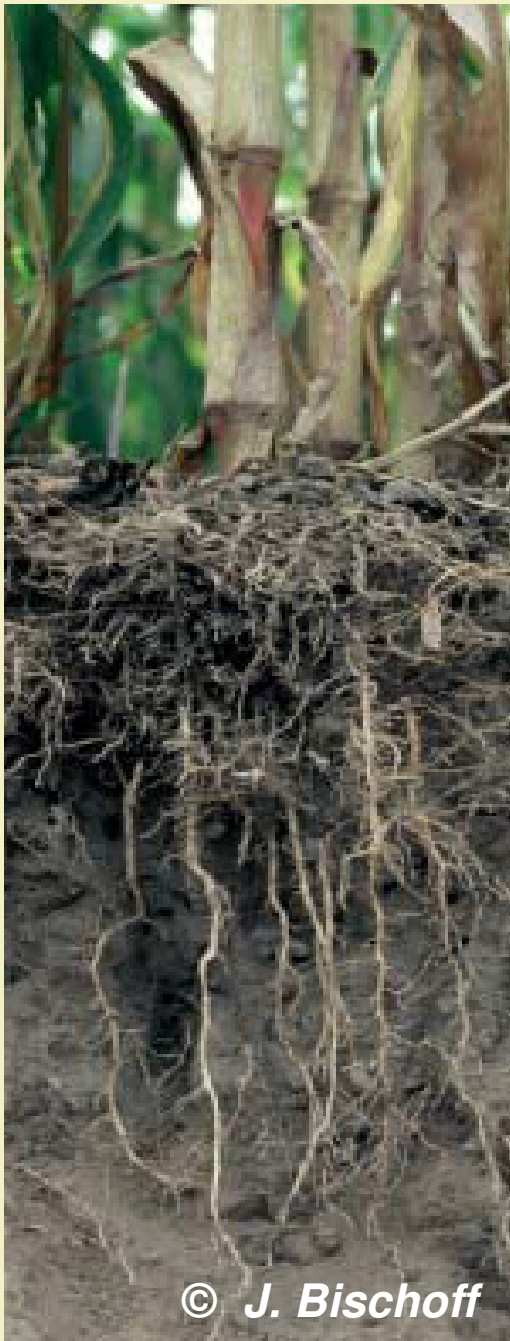
- Ackerbaulich genutzte Standorte unterscheiden sich sehr stark im Stickstoffnachlieferungsvermögen der Böden.
- Mais ist (i) aufgrund seiner langen Vegetationszeit und (ii) und seiner noch hohen N-Aufnahme nach der Blüte in der Lage diesen Stickstoff zu nutzen.
- Aus Sicht des Gewässerschutzes positiv ist die ausgeprägte Tiefendurchwurzelung und die anhaltende Aufnahmeaktivität der Wurzeln nach der Blüte. Kritisch sind dagegen der späte Beginn intensiver N-Aufnahme zu Vegetationsbeginn und die lange Periode mit Sickerwasserbildung nach der Reife.

Wichtige Größen des Nährstoffhaushalts im System Boden – Pflanze

- Nährstoffangebot des Bodens (Mineralisierung, Immobilisierung, Lösung)
- Nährstoffbedarf und Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanze
- Nährstoffzufuhr durch Düngung
- Nährstoffverluste in die Hydrosphäre und die Atmosphäre

Düngung

- (i) dient der Ernährung der Nutzpflanzen und dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (DüG)
- (ii) berücksichtigt den Schutz des Naturhaushaltes (DüG)
- (iii) stellt eine billige Form der Entsorgung von Reststoffen dar



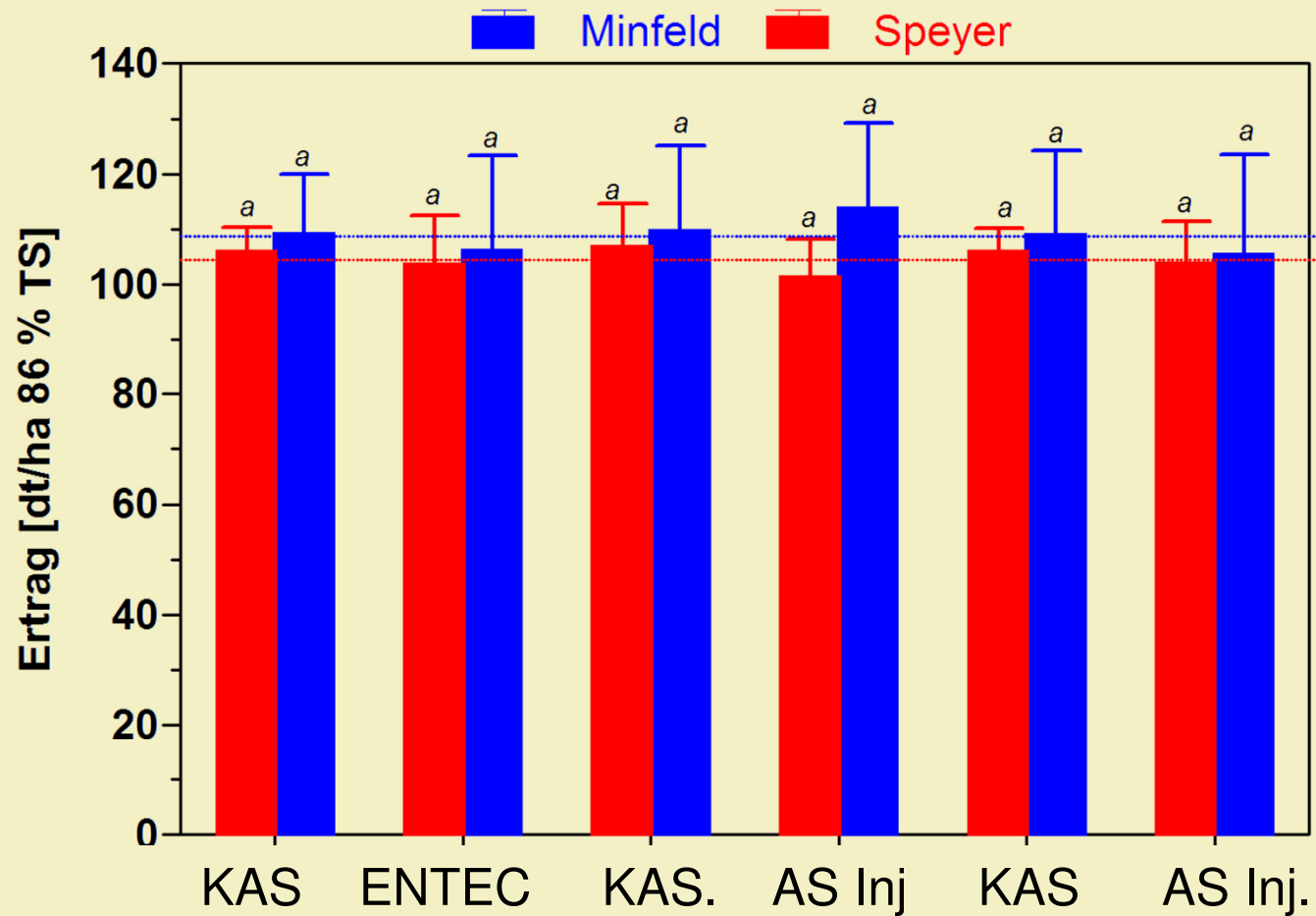
Auswirkungen von N-Bilanzüberschüssen auf Landwirtschaft und Umwelt

- **Akkumulation im Boden**
 - Erhöhtes N-Mineralisierungspotential des Bodens
 - ◆ verbesserte Bodenfruchtbarkeit
 - ◆ kompliziertere Ermittlung des Düngebedarfs
- **Austräge**
 - **Hydrosphäre**
 - Auswaschung / Runoff
 - NO_3^- -Verunreinigung von Grundwasser, Oberflächen-gewässern und küstennahen Gewässern
 - **Atmosphäre**
 - NH_3 -Emission
 - Erhöhte Redeposition von NH_4^+
 - ◆ Nährstoffungleichgewichte und Änderungen der Artenzusammensetzung in naturnahen Öko-systemen
 - ◆ Bodenversauerung
 - Denitrifikation
 - Erhöhte N_2O -Konzentrationen in der Atmosphäre
 - ◆ Absorption thermaler Strahlung
 - ◆ Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre

Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf N-Verluste aus dem System Boden – Pflanze am Beispiel von Mais

	NO ₃ - Auswaschung	NH ₃ - Emission	N ₂ O- Emission
• Ermittlung des Düngedarfs (N _{min} verzögert, Pflanzenanalyse, Sensortechnik vs. N _{min} zur Saat)	+++	+/-	+
• Düngungszeitpunkt	+++	+/-	+/-
• Düngerart (org. vs. mineralisch)	--	---	--
• Güllelagerraum	+++		+
• Düngungstechnik (Unterfuß, Unterflur, Injektion vs. oberflächig)		+++	--
• Nitrifikationshemmstoffe	++	+/-	+++
• Ureasehemmstoffe		++	++
• FF, Zwischenfrüchte, U.-Saaten	+++		+
• Bodenbearbeitung	+/-	+	+/-

+, ++, +++ = positive Effekte; -, --, --- = negative Effekte



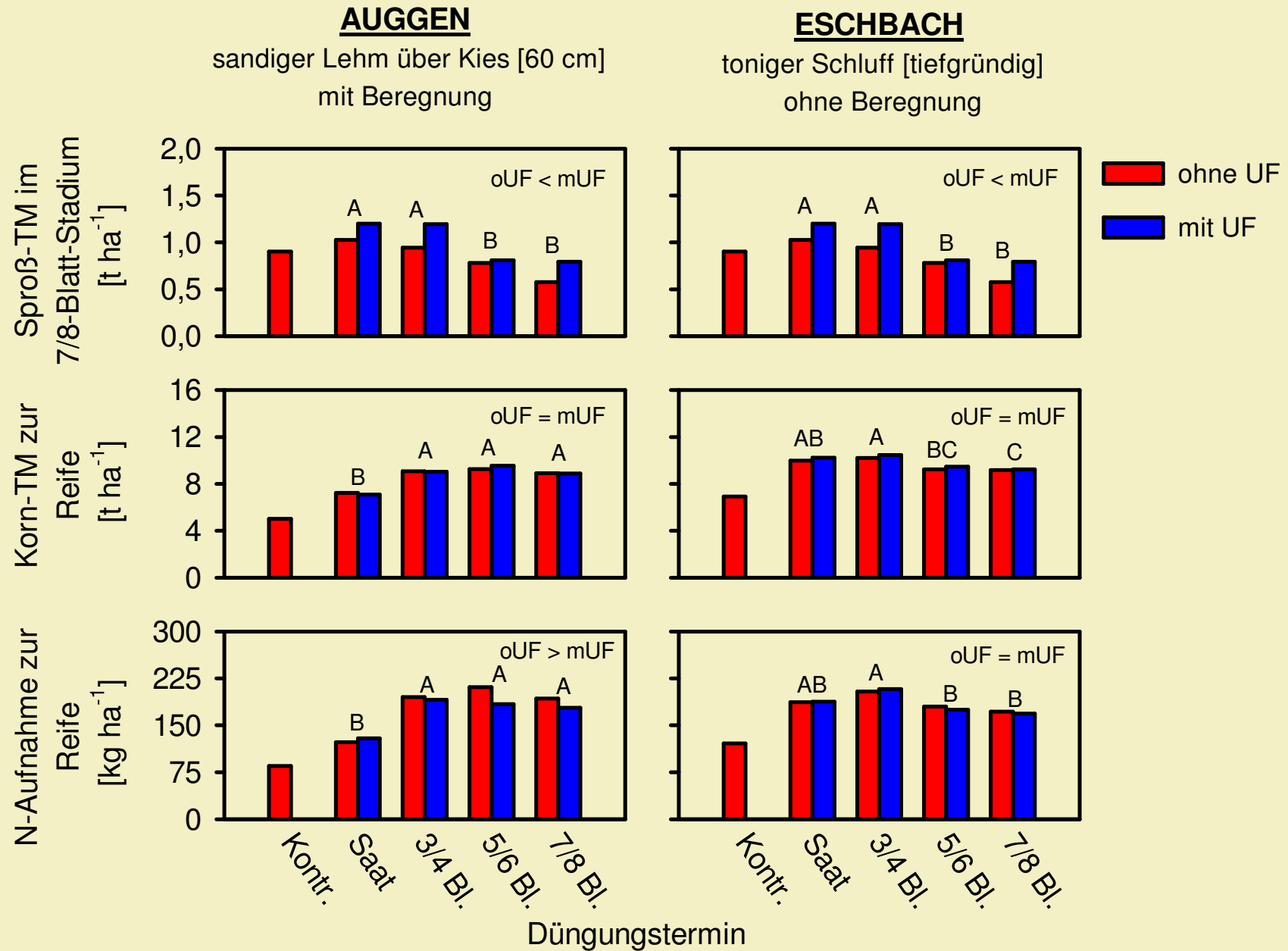
Einfluss der Düngerform und des Düngungszeitpunktes auf Kornertrag und N-Bilanz von Mais

[Armbruster und Wiesler, Interreg INDEE, 2012-2014]

KAS	ENTEC	KAS.	AS Inj	KAS	AS Inj.	Düngungszeitpunkt
Saat 4-BI.	Saat -	(UF) 4-BI.	Saat -	Saat 4-BI.	Saat -	
153	153	103	153	122	122	Düngermenge
- 1	11	- 42	4	- 25	- 17	N-Saldo

Jugendentwicklung, Kornertrag und N-Aufnahme von Mais in Abhängigkeit von Standort, Düngungstechnik und Düngungszeitpunkt

[nach Wiesler et al., Transactions of the 9th Nitrogen Workshop, TU Braunschweig, 1996]



Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf N-Verluste aus dem System Boden – Pflanze am Beispiel von Mais

	NO ₃ - Auswaschung	NH ₃ - Emission	N ₂ O- Emission
• Ermittlung des Düngedarfs (N _{min} verzögert, Pflanzenanalyse, Sensortechnik vs. N _{min} zur Saat)	+++	+/-	+
• Düngungszeitpunkt	+++	+/-	+/-
• Düngerart (org. vs. mineralisch)	--	---	--
• Güllelagerraum	+++		+
• Düngungstechnik (Unterfuß, Unterflur, Injektion vs. oberflächig)		+++	--
• Nitrifikationshemmstoffe	++	+/-	+++
• Ureasehemmstoffe		++	++
• FF, Zwischenfrüchte, U.-Saaten	+++		+
• Bodenbearbeitung	+/-	+	+/-

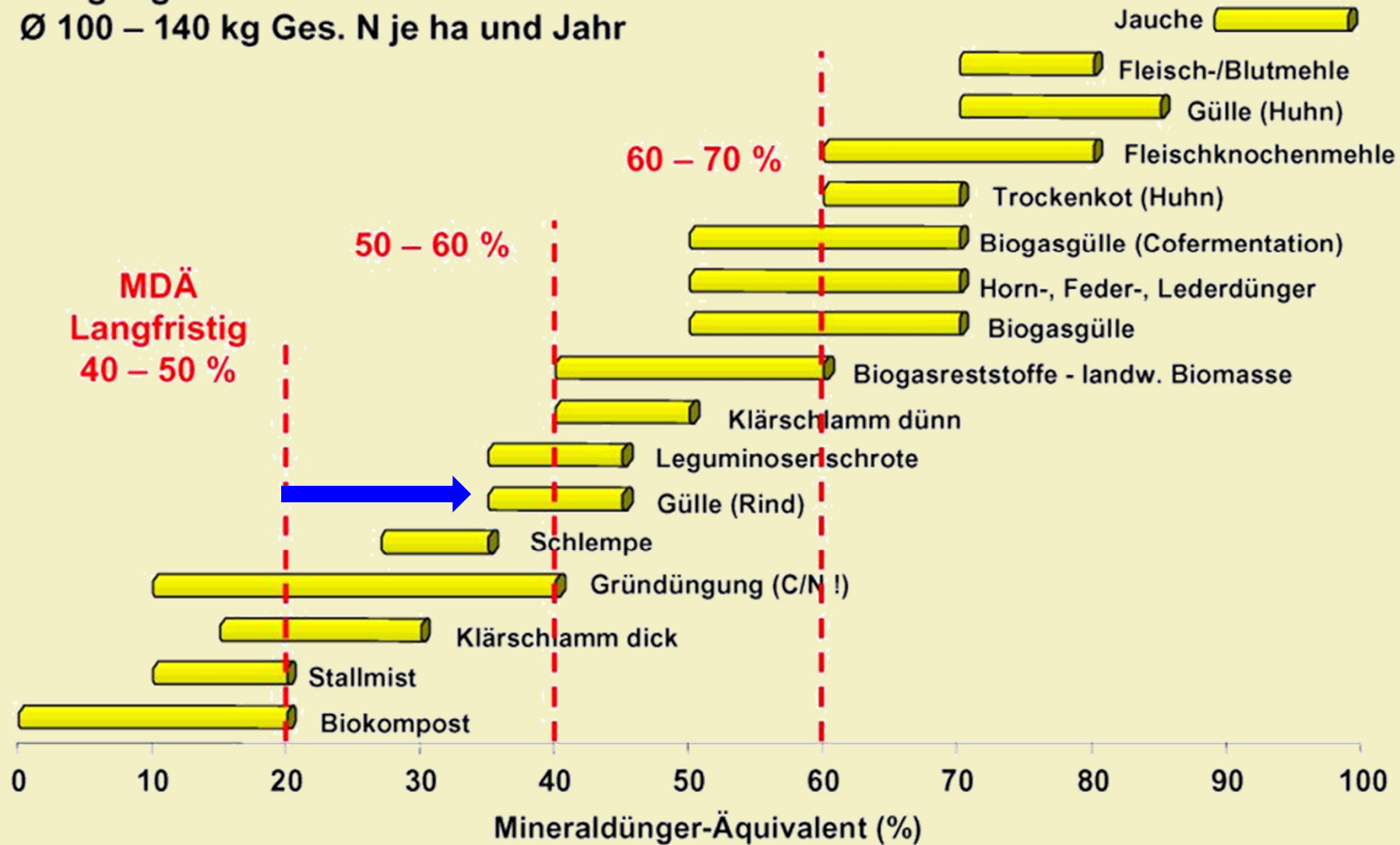
+, ++, +++ = positive Effekte; -, --, --- = negative Effekte

Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente organischer Dünger

[nach Gutser et al., J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 2005]

Düngungsniveau:

Ø 100 – 140 kg Ges. N je ha und Jahr



N-Effizienz von Mineraldünger und Rindergülle in einem Langzeitversuch

Fruchtfolge Silomais – Winterweizen – Wintergerste, 11 Jahre
Einheitliche N-Abfuhr von 155 – 160 kg N ha⁻¹

[nach Gutser und Ebertseder, BAD Tagungsband 2005]

Düngung		N-Saldo	N-Effizienz
Gülle	KAS		
[kg N ha ⁻¹]		[kg N ha ⁻¹]	[%]
0	155	-3	100
103	112	60	72
205	67	112	59

Vorschlag des AK Nachhaltige Nährstoffhaushalte im VDLUFA für betriebsspezifisch zulässige N-Überschüsse gemäß einer kompletten Betriebsbilanz nach PARCOM

Betriebstyp	Organische Düngung (kg N ha ⁻¹)	Zulässiger N-Überschuss (kg N ha ⁻¹)
I	< 50	60 (30 + 20 ^a + 10 ^b)
II	50 - 100	90 (45 + 20 ^a + 25 ^b)
III	> 100	120 (60 + 20 ^a + 40 ^b)

a: N-Deposition

b: NH₃-Emissionen, ca. 30 % des Gesamt-N

Orientierungswerte für eine optimal verwertbare organische Düngung

Ackerland: < 120 kg N ha⁻¹ a⁻¹

Grünland: 130 - 160 N ha⁻¹

Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf N-Verluste aus dem System Boden – Pflanze am Beispiel von Mais

	NO ₃ - Auswaschung	NH ₃ - Emission	N ₂ O- Emission
• Ermittlung des Düngbedarfes (N _{min} verzögert, Pflanzenanalyse, Sensortechnik vs. N _{min} zur Saat)	+++	+/-	+
• Düngungszeitpunkt	+++	+/-	+/-
• Düngerart (org. vs. mineralisch)	--	---	--
• Güllelagerraum	+++		+
• Düngungstechnik (Unterfuß, Unterflur, Injektion vs. oberflächig)		+++	--
• Nitrifikationshemmstoffe	++	+/-	+++
• Ureasehemmstoffe		++	++
• FF, Zwischenfrüchte, U.-Saaten	+++		+
• Bodenbearbeitung	+/-	+	+/-

+, ++, +++ = positive Effekte; -, --, --- = negative Effekte

Verbleib des Ammoniumstickstoffs bei unterschiedlicher Ausbringungstechnik von Rindergülle zu Mais

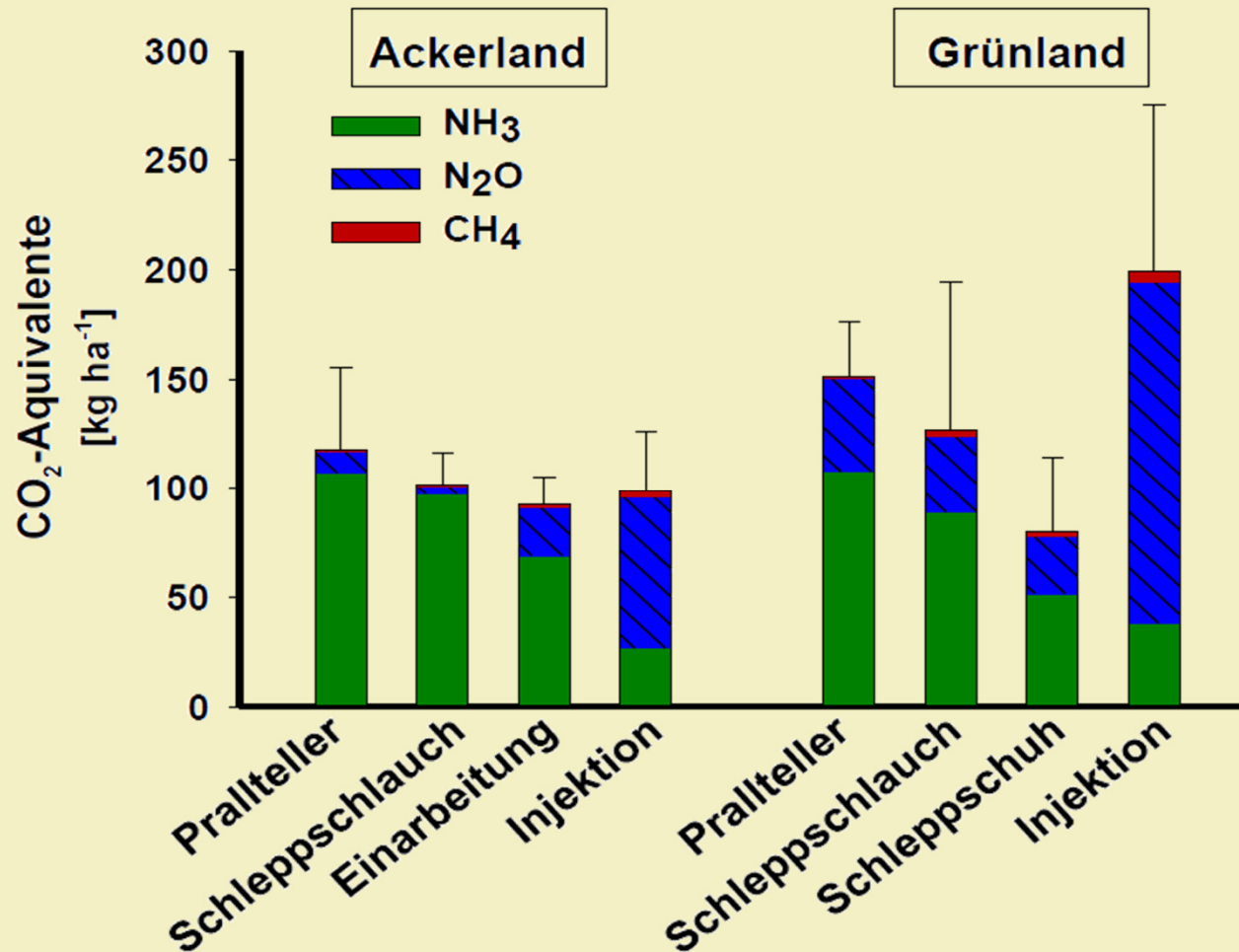
[nach Dosch und Gutser, 1996; zitiert in Gutser und Ebertseder, BAD Tagungsband 2005]

	Prallteller	Schlepp- schlauch [kg N ha ⁻¹]	Injektion
NH₃-Emission	40	20	2
N₂O-Emission	4	4	8
Festlegung	10	15	14
Verfügbare N-Menge	26	41	56

Düngung: 80 kg NH₄-N ha⁻¹

Einfluss der Ausbringungstechnik von Gärrückständen* auf die Emission klimarelevanter Gase (CO₂-Äquivalente)

[nach Wulf, Maeting und Clemens, J. Environ. Qual 31, 2002]



*Gärsubstrat:
70 % Rindergülle,
30 % Haushaltsabfälle

Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf N-Verluste aus dem System Boden – Pflanze am Beispiel von Mais

	NO ₃ - Auswaschung	NH ₃ - Emission	N ₂ O- Emission
• Ermittlung des Düngebedarfs (N _{min} verzögert, Pflanzenanalyse, Sensortechnik vs. N _{min} zur Saat)	+++	+/-	+
• Düngungszeitpunkt	+++	+/-	+/-
• Düngerart (org. vs. mineralisch)	--	---	--
• Güllelagerraum	+++		+
• Düngungstechnik (Unterfuß, Unterflur, Injektion vs. oberflächig)		+++	--
• Nitrifikationshemmstoffe	++	+/-	+++
• Ureasehemmstoffe		++	++
• FF, Zwischenfrüchte, U.-Saaten	+++		+
• Bodenbearbeitung	+/-	+	+/-

+, ++, +++ = positive Effekte; -, --, --- = negative Effekte

Zwischenfazit (II)

- Ackerbaulich genutzte Standorte unterscheiden sich sehr stark im Stickstoffnachlieferungsvermögen der Böden.
- Mais ist (i) aufgrund seiner langen Vegetationszeit und (ii) und seiner noch hohen N-Aufnahme nach der Blüte in der Lage diesen Stickstoff zu nutzen.
- Aus Sicht des Gewässerschutzes positiv ist die ausgeprägte Tiefendurchwurzelung und die anhaltende Aufnahmeaktivität der Wurzeln nach der Blüte. Kritisch sind dagegen der späte Beginn intensiver N-Aufnahme zu Vegetationsbeginn und die lange Periode mit Sickerwasserbildung nach der Reife.
- Insbesondere in Regionen mit intensiver Tierhaltung stellt die vergleichsweise geringe Wirksamkeit von organischen Düngern eine große Herausforderung dar. Trotz vielversprechender Ansätze (Ausbringungstechnik, Zusatzstoffe) sollte die mit organischen Düngern ausgebrachte N-Menge begrenzt ($\approx 120 \text{ kg ha}^{-1}$).
- Insgesamt sollten die geeignetsten Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz in ein System des „**integrierten N-Managements**“ einbezogen werden.

Schwachstellen, die unter den Bedingungen einer intensiven Gemüseproduktion in der Pfalz einer höheren Stickstoffeffizienz entgegen stehen

- enge Gemüsefruchtfolgen mit Problemen hinsichtlich ungünstiger Bodenstruktur, Durchwurzelung des Bodens, langen Brachezeiten etc.
- hohe N-Mengen in Ernterückständen, (i) die stark auswaschungsgefährdet sind, (ii) deren Transfer auf die Folgefrüchte nicht gewährleistet ist und iii) deren Einbeziehung in die Düngerbedarfsermittlung unbefriedigend ist.
- nicht bedarfsgerechte N-Düngung aufgrund starker Betonung der äußeren Qualität (Farbe, Größensortierung etc.) und Nichtberücksichtigung der standortspezifischen N-Mineralisierung.



Was sind die wirksamsten Bausteine für ein integriertes N-Management im Gemüsebau?

[nach Armbruster, Heger, Laun und Wiesler, VDLUFA-Schriftenreihe 69, 2014]

Düngebedarfs- ermittlung	Fruchtfolge	Ernte rückstände	Stickstoff- bilanz [kg N ha ⁻¹]	Nitrat-N-Aus- waschung
Faustzahlen	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	288	330
N-Expert	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	126	154
SPAD	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	100	156

Zeitraum 2005 – 2010

Standort: Rinkenbergerhof



Was sind die wirksamsten Bausteine für ein integriertes N-Management im Gemüsebau?

[nach Armbruster, Heger, Laun und Wiesler, VDLUFA-Schriftenreihe 69, 2014]

Düngebedarfs- ermittlung	Fruchtfolge	Ernte rückstände	Stickstoff- bilanz [kg N ha ⁻¹]	Nitrat-N-Aus- waschung
Faustzahlen	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	288	330
N-Expert	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	126	154
SPAD	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	100	156
N-Expert	Gem. / So.-Zwischenfr.	Einarbeitung	79	79
N-Expert	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Einarbeitung	62	87
N-Expert	Gem. / Getreide	Einarbeitung	98	77

Was sind die wirksamsten Bausteine für ein integriertes N-Management im Gemüsebau?

[nach Armbruster, Heger, Laun und Wiesler, VDLUFA-Schriftenreihe 69, 2014]

Düngebedarfs- ermittlung	Fruchtfolge	Ernte rückstände	Stickstoff- bilanz [kg N ha ⁻¹]	Nitrat-N-Aus- waschung
Faustzahlen	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	288	330
N-Expert	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	126	154
SPAD	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	100	156
N-Expert	Gem. / So.-Zwischenfr.	Einarbeitung	79	79
N-Expert	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Einarbeitung	62	87
N-Expert	Gem. / Getreide	Einarbeitung	98	77
SPAD	Gem. / So.-Zwischenfr.	Einarbeitung	54	n.d.
SPAD	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Einarbeitung	47	n.d.
SPAD	Gem. / Getreide	Einarbeitung	79	n.d.

Was sind die wirksamsten Bausteine für ein integriertes N-Management im Gemüsebau?

Düngebedarfs- ermittlung	Fruchtfolge	Ernte rückstände	Stickstoff- bilanz	Nitrat-N-Aus- waschung
			[kg N ha ⁻¹]	
Faustzahlen	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	288	330
N-Expert	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	126	154
SPAD	Gemüse / Gemüse	Einarbeitung	100	156
N-Expert	Gem. / So.-Zwischenfr.	Einarbeitung	79	79
N-Expert	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Einarbeitung	62	87
N-Expert	Gem. / Getreide	Einarbeitung	98	77
SPAD	Gem. / So.-Zwischenfr.	Einarbeitung	54	n.d.
SPAD	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Einarbeitung	47	n.d.
SPAD	Gem. / Getreide	Einarbeitung	79	n.d.
N-Expert	Gemüse / Gemüse	Abfuhr	30	141
N-Expert	Gem. / So.-Zwischenfr.	Abfuhr	-29	n.d.
N-Expert	Gem. / Wi.-Zwischenfr.	Abfuhr	-36	n.d.
N-Expert	Gem. / Getreide	Abfuhr	37	n.d.

Geschätzte Nitratkonzentration im Sickerwasser der Gemüseanbauflächen der Pfalz bei unterschiedlichem N-Management

[nach Armbruster, Laun und Wiesler, VDLUFA-Schriftenreihe 66, 2010]

Szenarium	Geschätzte Nitratkonz. [mg L^{-1}]	
	ohne Denitrifikation	50 % Denitrifikation
● Düngung nach Faustzahlen	336	168
● Düngung nach N-Expert	160	80
● Düngung nach N-Expert → Abfuhr Ernterückstände (20 %)	142	71
● Düngung nach N-Expert → Anbau einer Zwischenfrucht (20 %)	145	73
● Düngung nach N-Expert → Anbau einer Zwischenfrucht (20 %) und → Abfuhr d. Zwischenfruchtbiomasse	123	62

Fazit

- Ackerbaulich genutzte Standorte unterscheiden sich sehr stark im Stickstoffnachlieferungsvermögen der Böden.
- Mais ist (i) aufgrund seiner langen Vegetationszeit und (ii) und seiner noch hohen N-Aufnahme nach der Blüte in der Lage diesen Stickstoff zu nutzen.
- Aus Sicht des Gewässerschutzes positiv ist die ausgeprägte Tiefendurchwurzelung und die anhaltende Aufnahmeaktivität der Wurzeln nach der Blüte. Kritisch sind dagegen der späte Beginn intensiver N-Aufnahme zu Vegetationsbeginn und die lange Periode mit Sickerwasserbildung nach der Reife.
- Insbesondere in Regionen mit intensiver Tierhaltung stellt die vergleichsweise geringe Wirksamkeit von organischen Düngern eine große Herausforderung dar. Trotz vielversprechender Ansätze zur Verbesserung der N-Ausnutzung sollte die mit organischen Düngern ausgebrachte N-Menge begrenzt ($\approx 120 \text{ kg ha}^{-1}$) werden.
- Insgesamt sollten die geeignetsten Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz in ein System des „**integrierten N-Managements**“ einbezogen werden.
- Das Beispiel Gemüse zeigt, dass durch ein integriertes N-Management eine Trendwende in der Gewässerbelastung mit Nitrat erreicht werden kann.

