

Nährstoffe im Boden mobilisieren – geht das?

PD Dr. Kurt Möller

Referat Pflanzenbau

LTZ-Augustenberg, Außenstelle Forchheim

Vortragsveranstaltung BAD-Tagung Würzburg, 26. April 2023



Gliederung

- Einleitung
- Pflanzenbauliche Ansätze zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz
 - Gründüngung
 - Ausbringungstechnik
 - Stabilisierte N-Düngemittel
 - Optimierter Betriebsmitteleinsatz
- Effekte mafische/ultramafische Gesteinsmehle
- Fazit

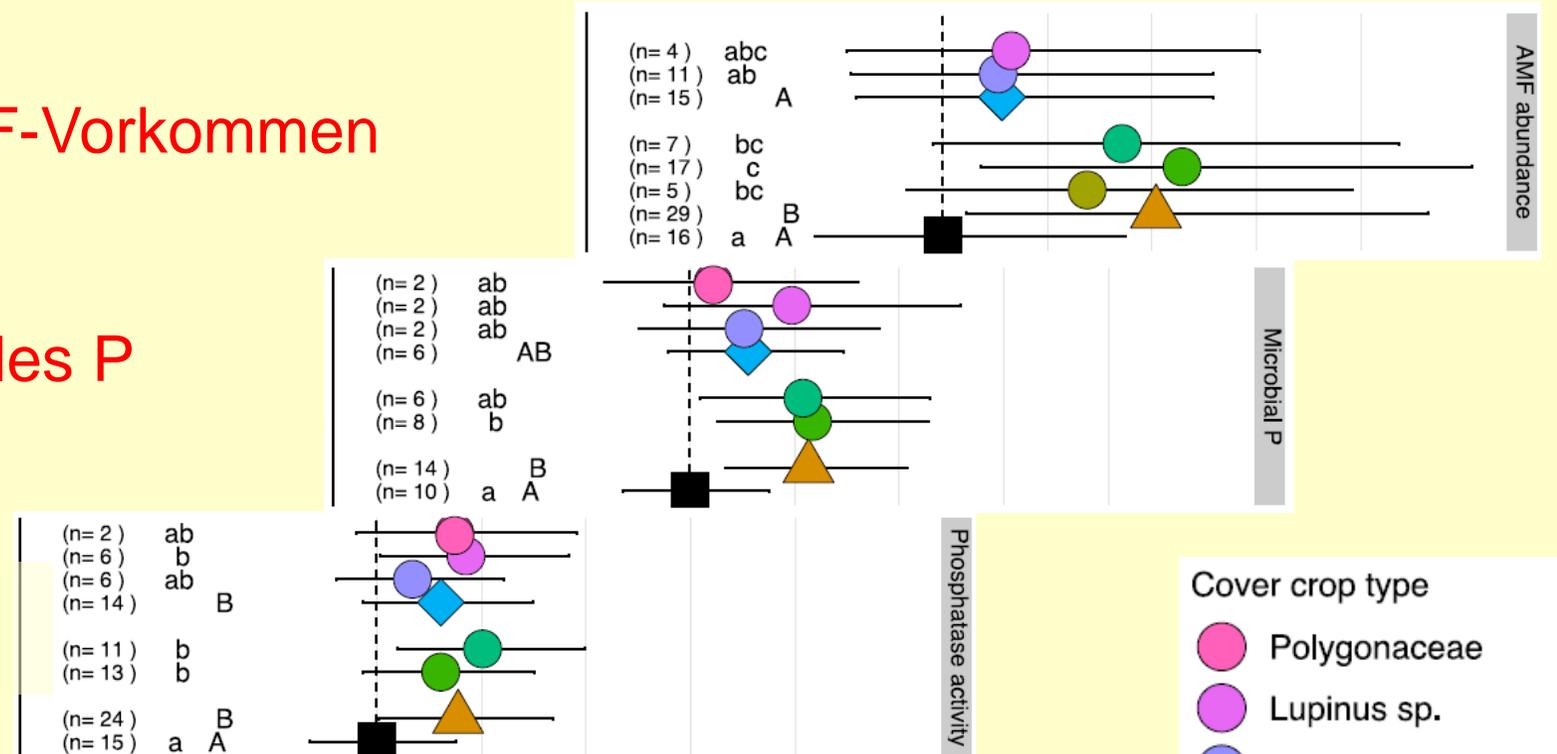


Einfluss verschiedener Zwischenfruchtarten (Familien) auf bodenbiologische Parameter und extrahierbare P-Gehalte im Boden (Hallama et al. 2019)

AMF-Vorkommen

Mikrobielles P

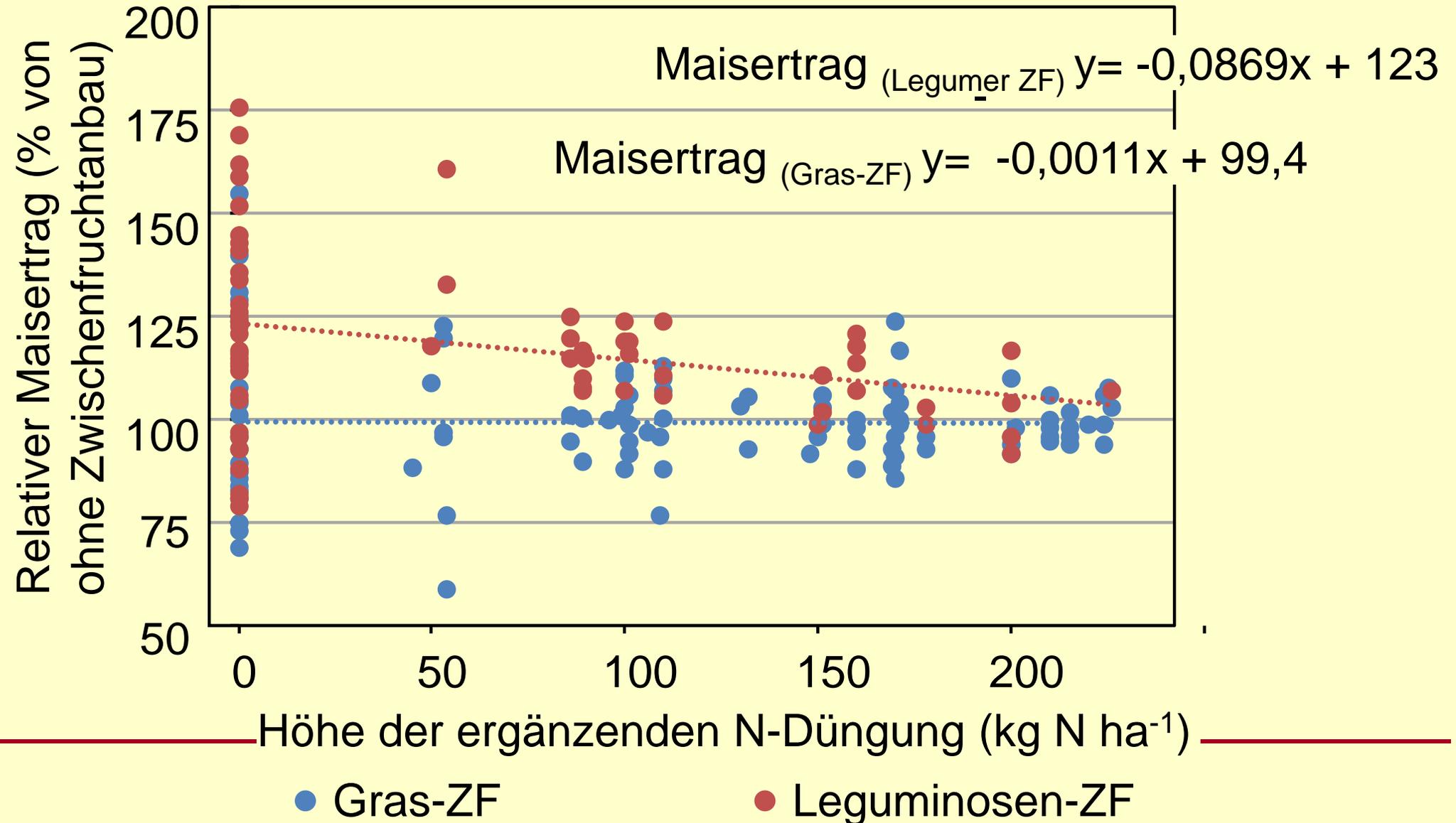
Phosphataseaktivität



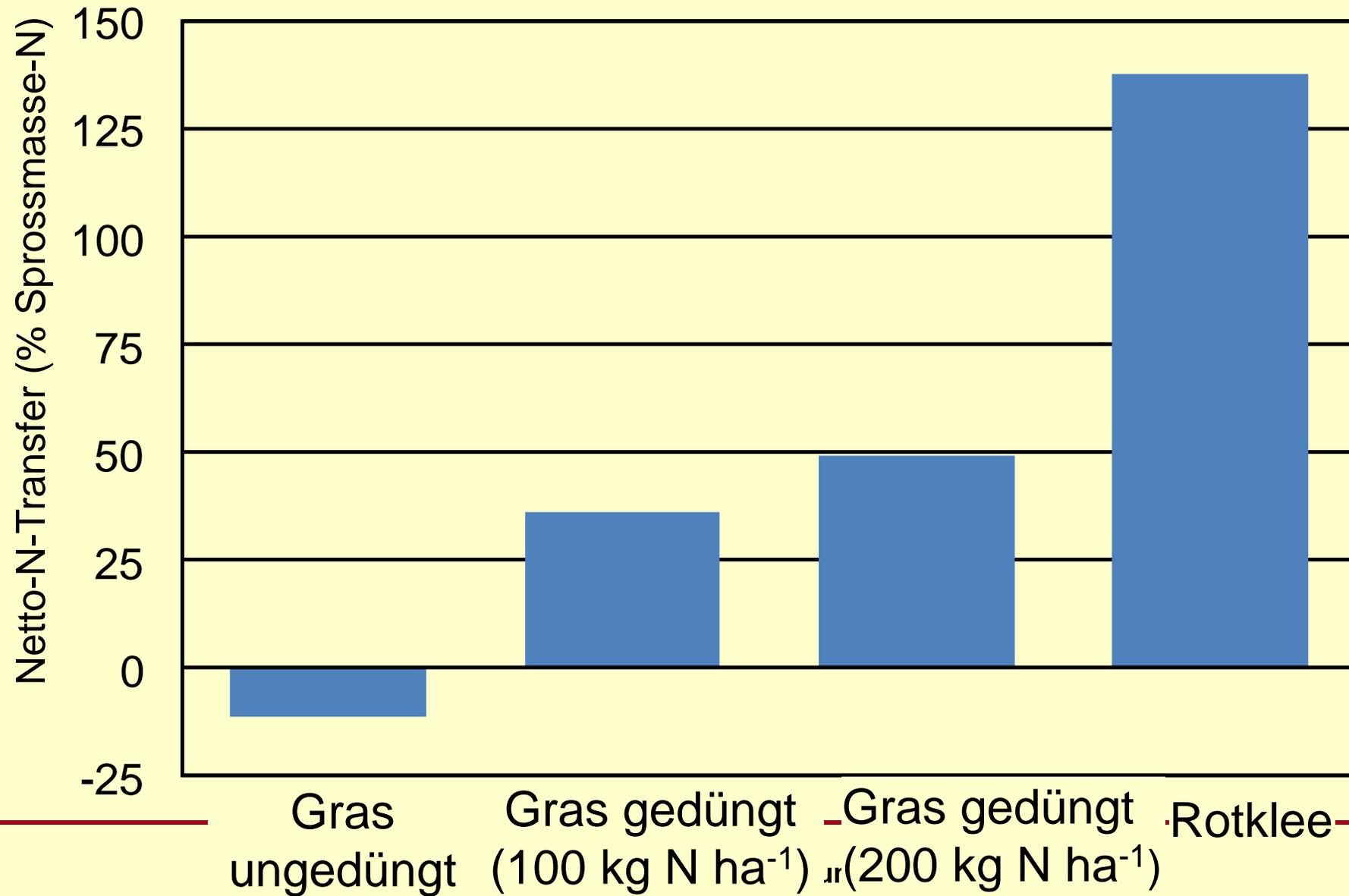
- Wirkung auf indirekte Parameter wie Phosphatasen, Mykorrhiza, etc. deutlich stärker als auf extrahierbare P-Gehalte oder auf Ertrag bzw. P-Aufnahme der Nachfrucht
- Problematik: N- und P-Wirkungen „vermengen“ sich, insbesondere bei Leguminosen



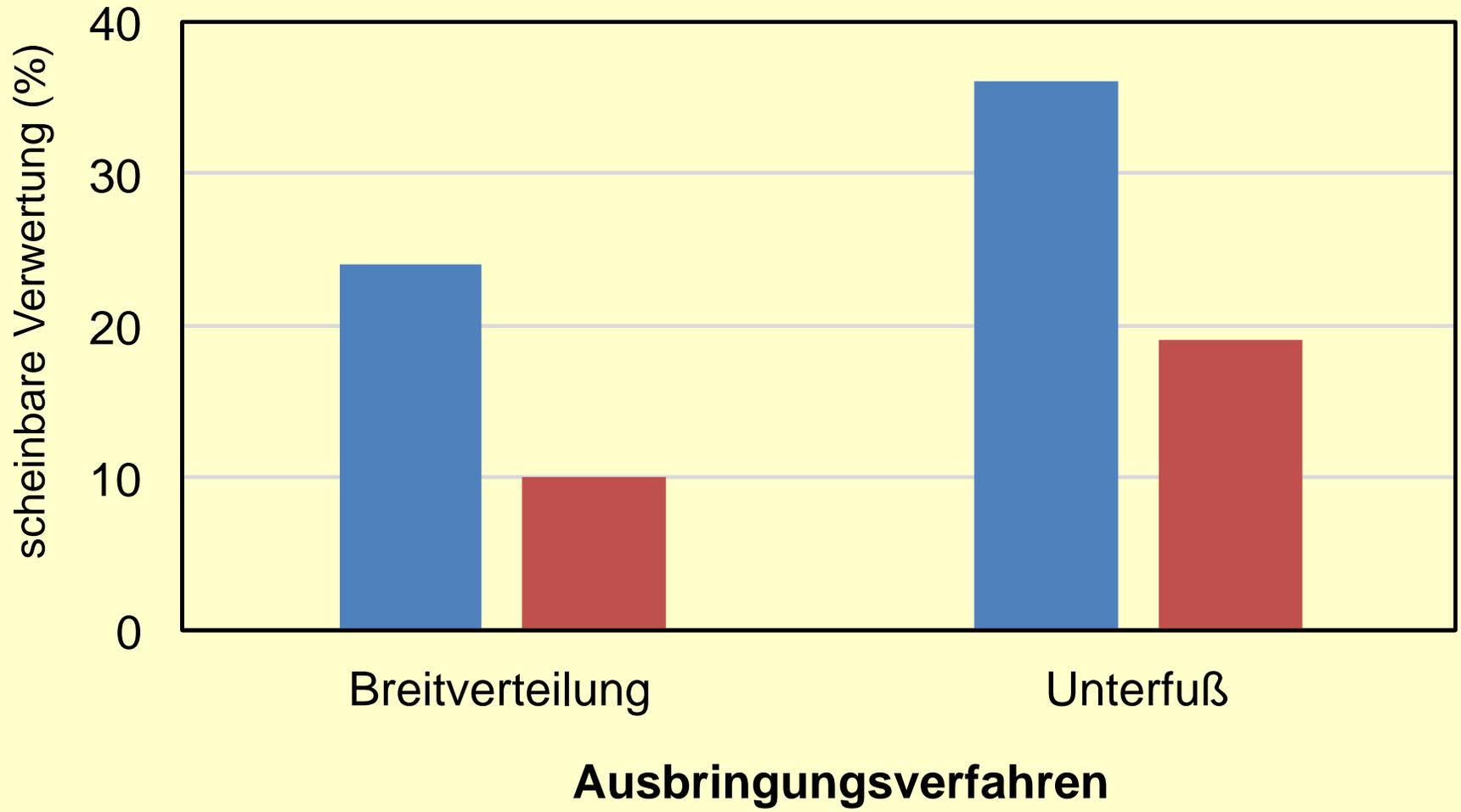
Meta-Analyse zum Einfluss legumen und nicht-legumen Zwischenfruchtanbaus auf den relativen Maisertrag in Abhängigkeit der nachfolgenden N-Düngung (kein Zwischenfruchtanbau = 100 %)
(Marcillo et al. 2017)



Scheinbarer Netto-N-Transfer (%) aus der Gründüngungssprossmasse zu Zuckerrüben und Kartoffeln (Schröder et al. 1997)



Einfluss der Gülleunterfußdüngung auf die N- und P-Verwertung bei Mais; Mittelwert aus 14 Feldversuchen (Schröder et al. 2015)



■ N-Verwertung ■ P-Verwertung



Eindrücke zur Gärrestunterfußdüngung bei Mais



UF-Düngerdepot und Wurzelwachstum

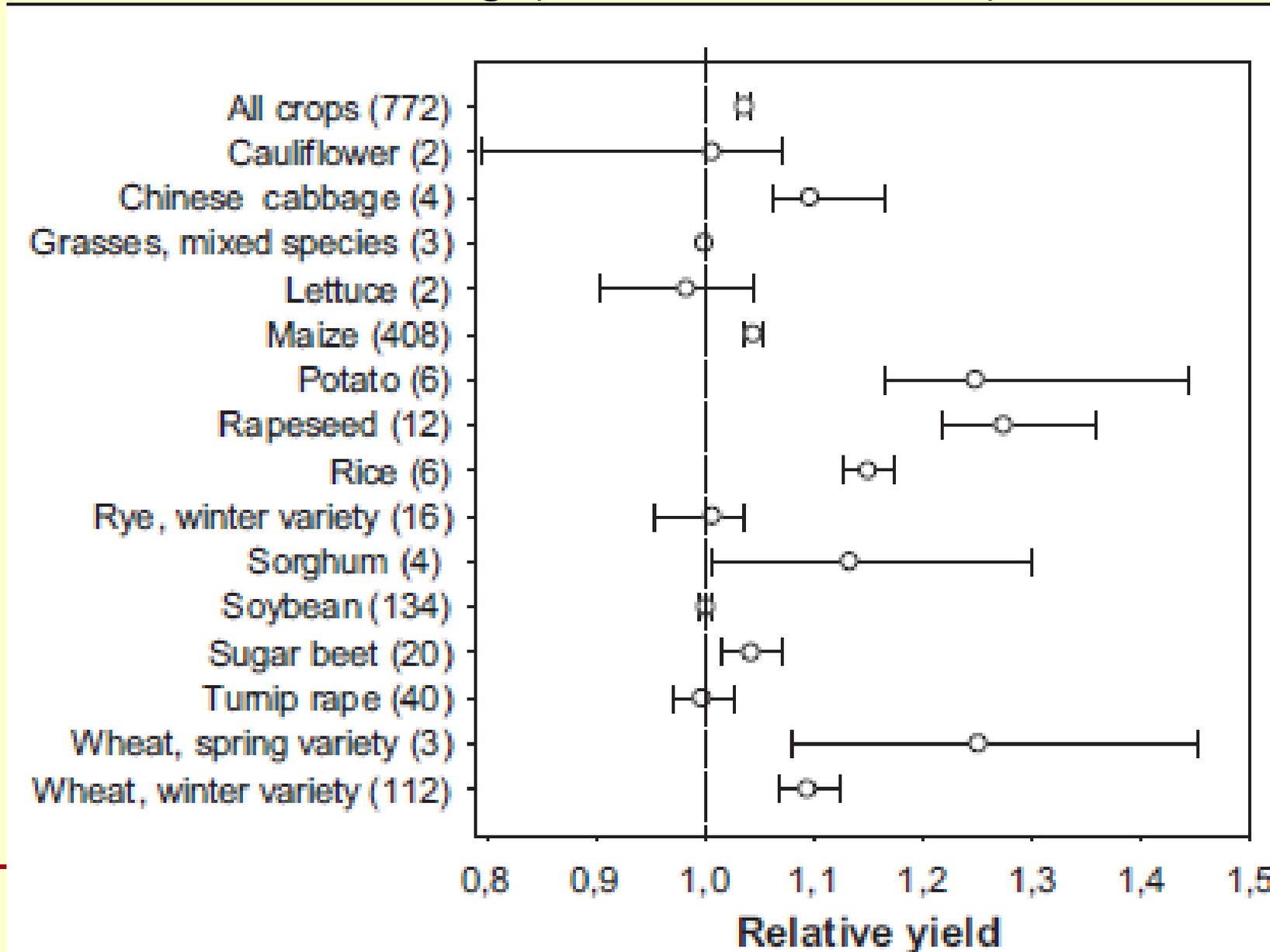


Müller-Sämman, 2014

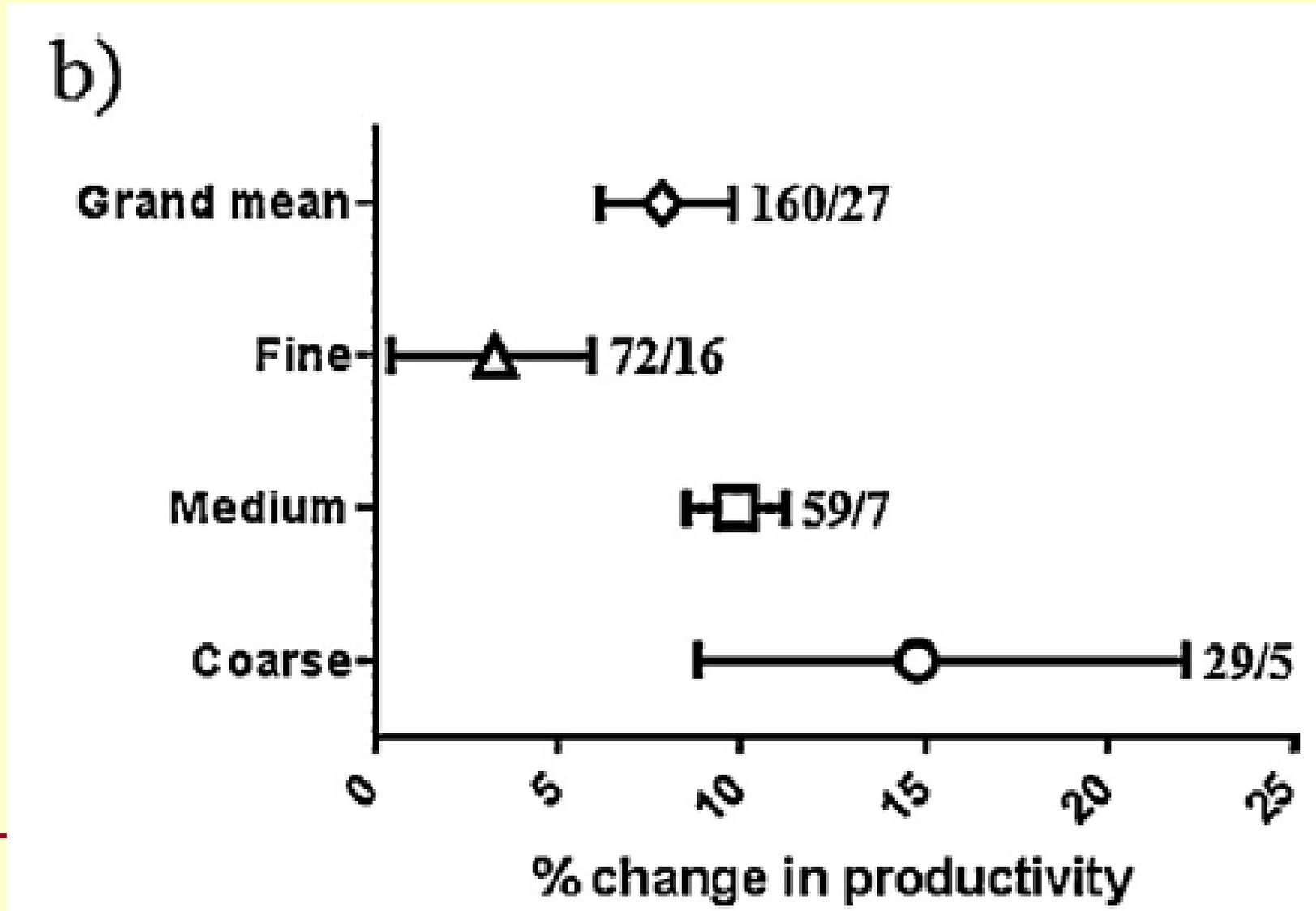
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg



Einfluss einer Bandapplikation auf den Ertrag im Vergleich zur Breitverteilung (Mehdi et al. 2016)



Einfluss von Nitrifikationsinhibitoren auf die Produktivität in Abhängigkeit der Bodentextur (Abalos et al. 2014)

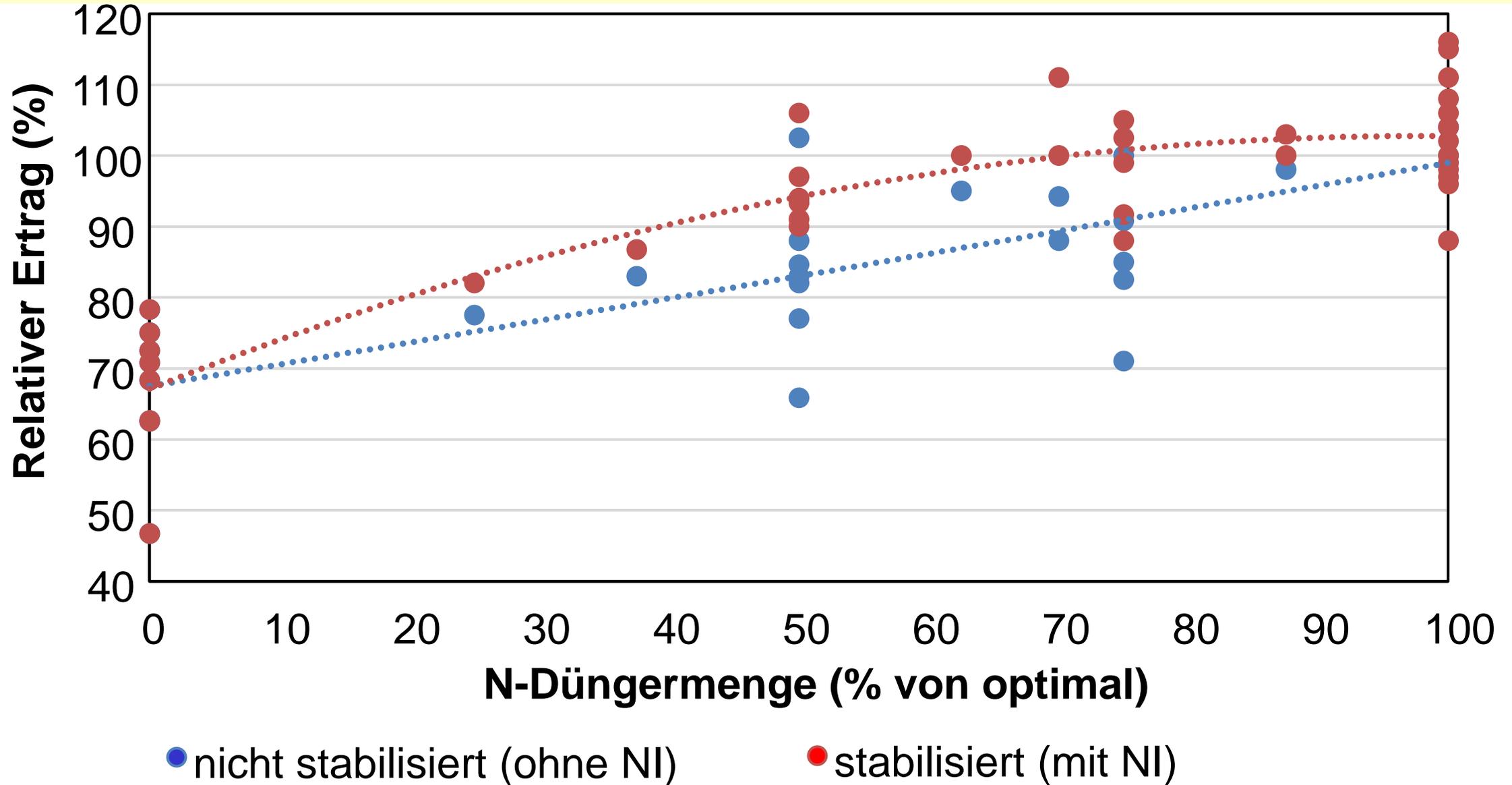


Mineraldüngeräquivalente (relative N-Düngewirkung im Jahr der Ausbringung) (Petrova et al.)

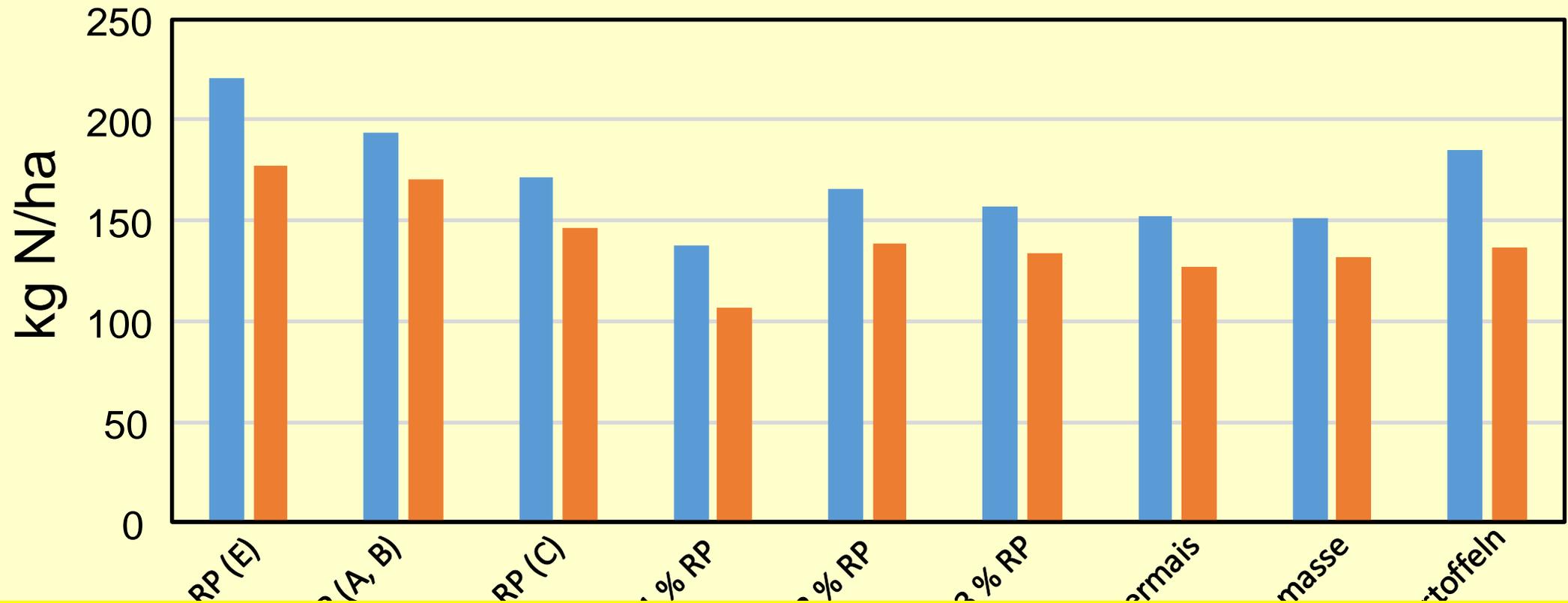
Erzeuger	Verfahren	Produkt	MDÄ (%)	
			Silomais	Sommerweizen
BGA 1	ohne	Vollgärrest	61	62
„Feststoff- schiene“	Separierung	Fugat	68	50
	Separierung	Feststoff	38	4
	Trocknung	Feststoff	-6	13
	Pelletierung	Pellets	49	53
BGA 4	ohne	Vollgärrest	13	63
„Flüssig- schiene“	Separierung	Feststoff	31	5
	Separierung	Fugat	47	89
	Verdampfung	N-red. Gärrest	70	42
	Strippung	ASL	174	128



Auswirkung der Verwendung stabilisierter N-Düngemittel auf den Ertrag (Metaanalyse Rose et al. 2018)



Vergleich der N-Düngemenge nach DüV-Obergrenze und Landesempfehlung NID – Mittelwerte 2018-2021 in BaWü (Daten: LTZ)



Fazit:

- Mittelwert DüV: 140 kg N/ha
- Mittelwert NID (BaWü): 119 kg N/ha
- Einsparpotenzial BaWü: 17.000 Tonnen N → ca. 40-45 Mio. Euro



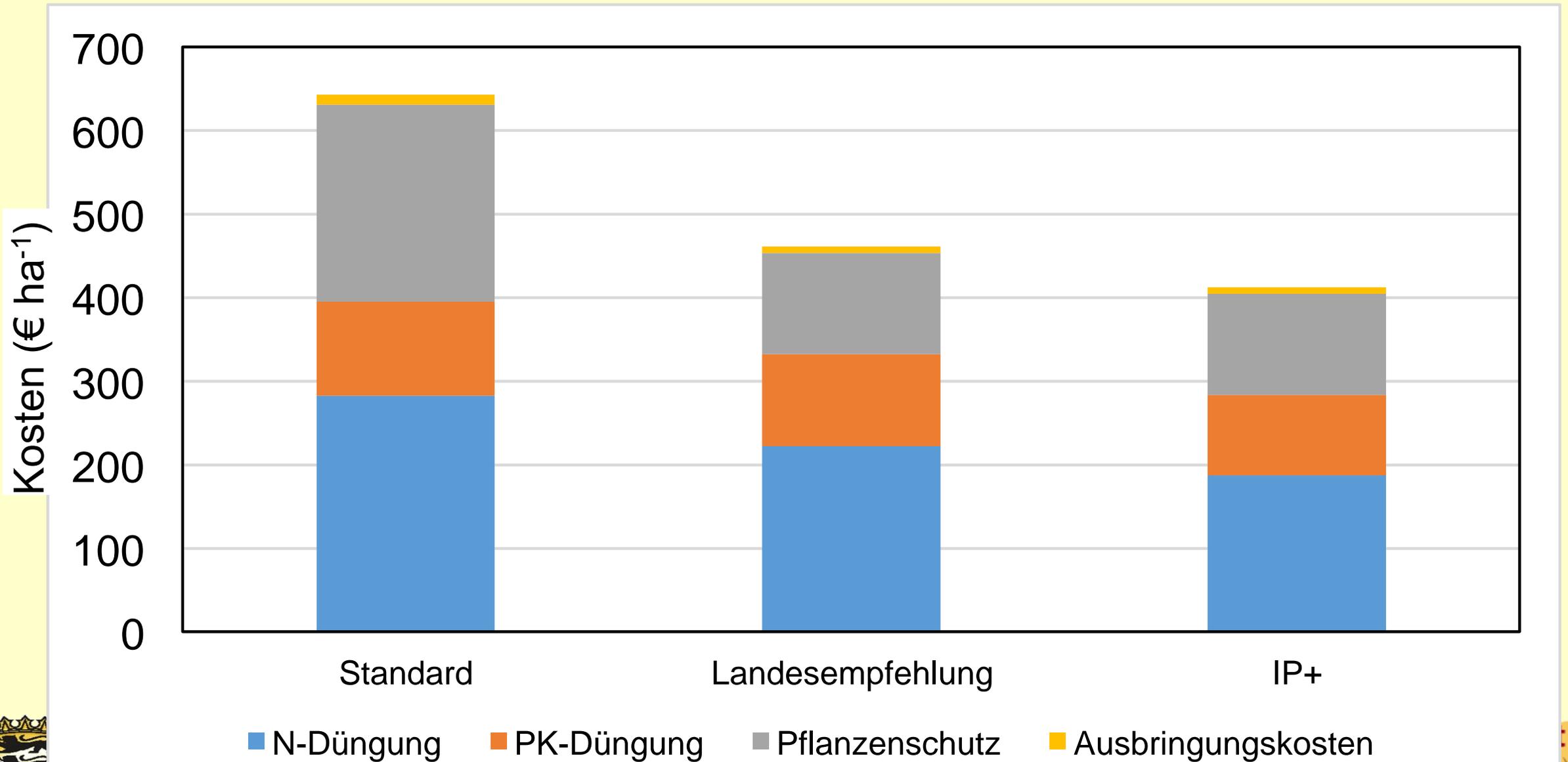
Systemversuche zum optimalen Betriebsmitteleinsatz: Mittelwert der eingesetzten N-Düngemittel (kg N ha⁻¹), Behandlungsindex und Erträge (dt TM ha⁻¹) im Durchschnitt der Standorte Ettlingen, Ladenburg, Windischbuch und Tachenhausen

Betriebsmitteleinsatz	W-Weizen	W-Gerste	Silomais	Körnermais	Gewichteter Mittelwert
Standard	202 / 4,2	168 / 4,9	158 / 1,9	167	177 / 3,7
Landesempfehlung bzw. Grundabsicherung	173 / 1,6	119 / 2,2	120 / 1,7	138	139 / 1,8
IP+	143 / 1,5	105 / 2,3	102 / 1,2	107	117 / 1,7

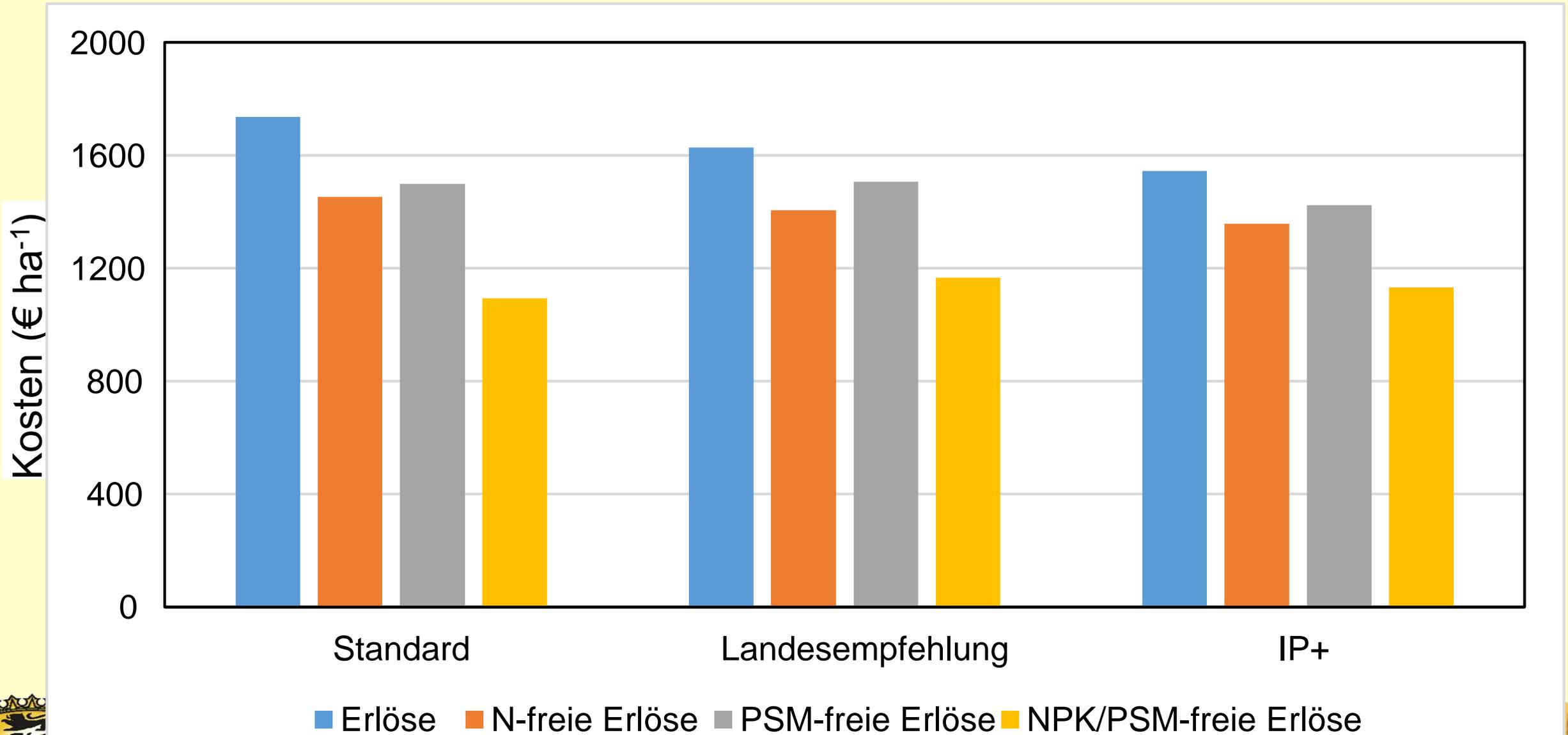
Erträge	W-Weizen	W-Gerste	Silomais	Körnermais	Gewichteter Mittelwert
Standard	87,9	89,6	133	71,3	98,4
Landesempfehlung bzw. Grundabsicherung	84,1	78,8	134	74,9	94,0
IP+	82,6	75,9	115	74,8	87,8



Systemversuche zum optimalen Betriebsmitteleinsatz: Kostenstruktur (€ ha⁻¹)

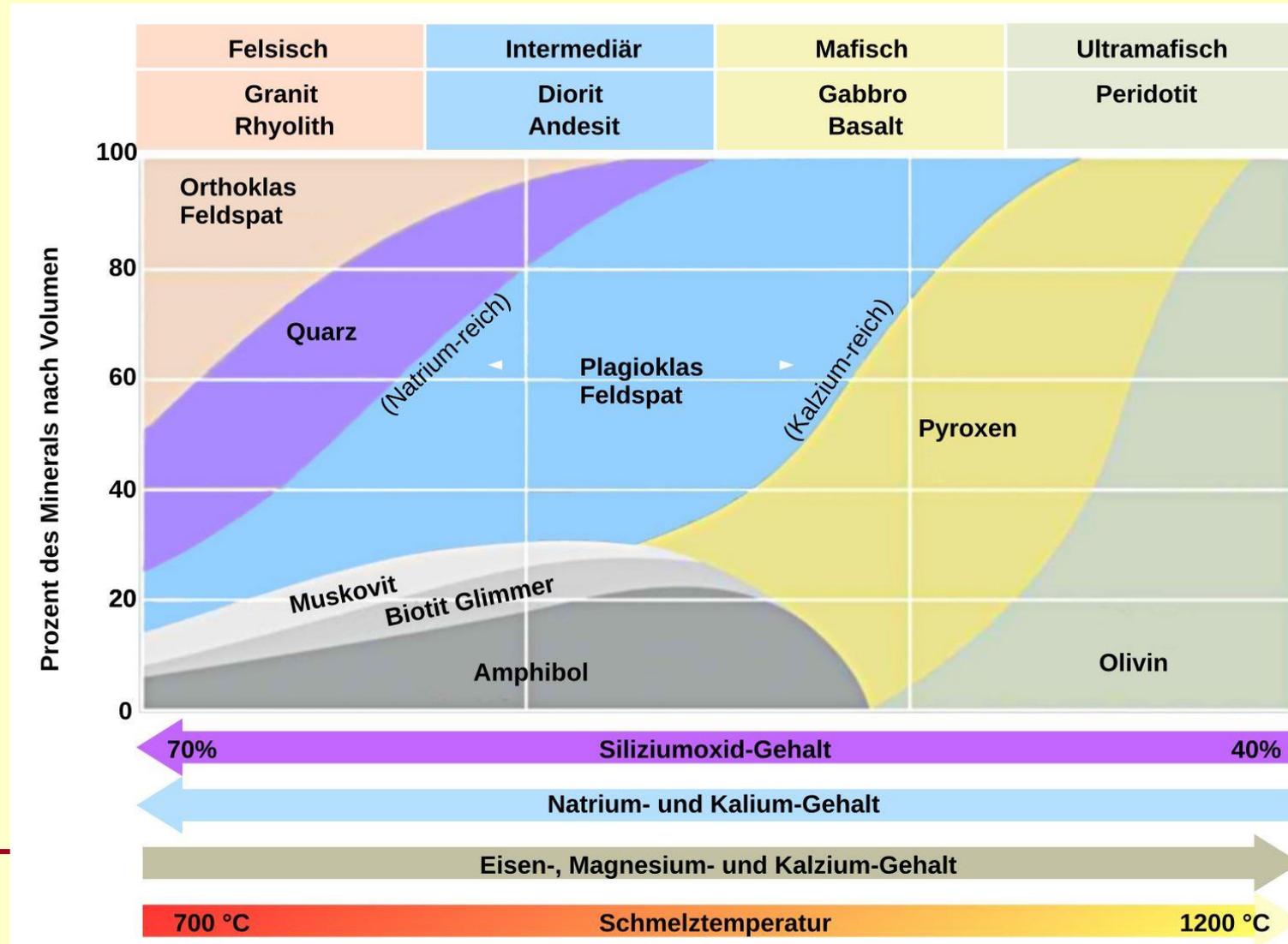


Systemversuche zum optimalen Betriebsmitteleinsatz: ökonomische Bewertung (€ ha⁻¹)

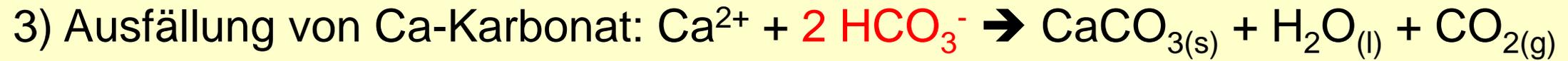
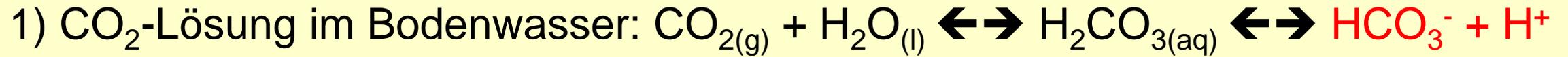


Mafische und ultramafische Gesteinsmehle zur Kalkung und zur CO₂-Bindung

(<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/QAPF>)



Stand der Forschung: Kalkersatz und CO₂-Bindung durch mafische und ultramafische Gesteinsmehle

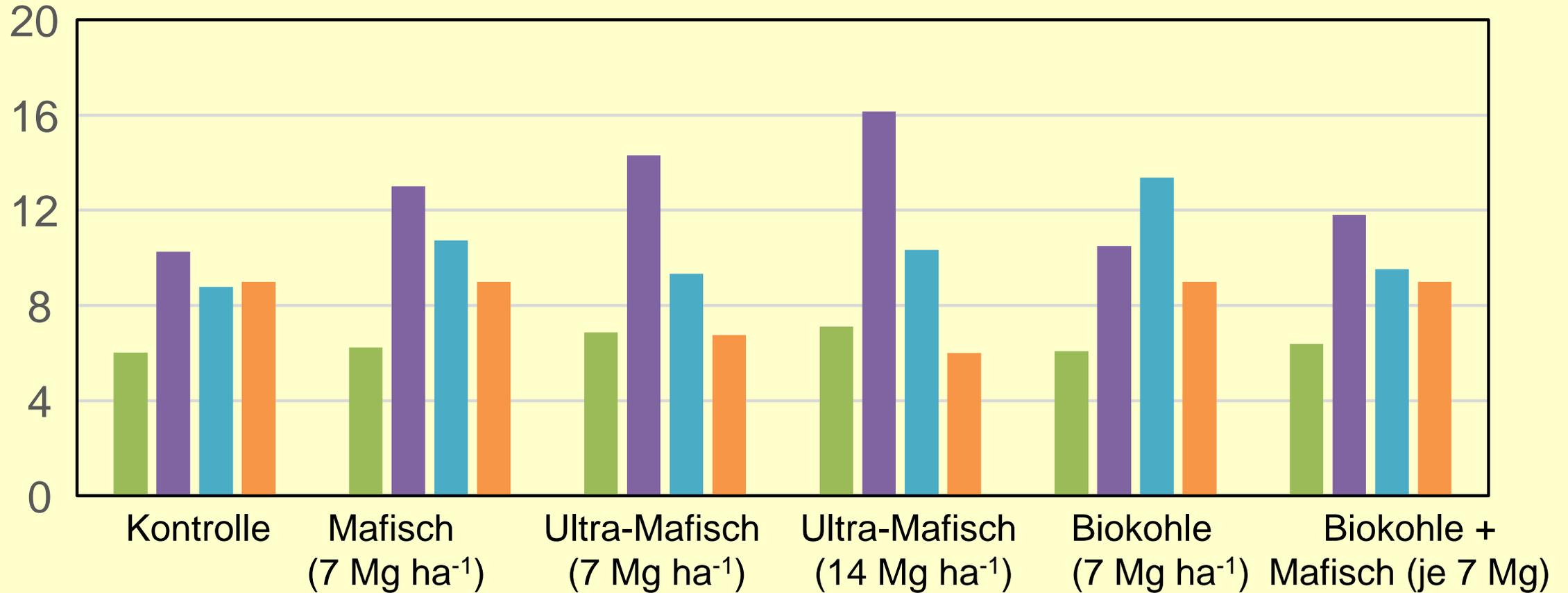


=> Transport im Wasserkörper in die Ozeane (Haque et al. 2019, Zhang et al. 2018)

- Prozess wird positiv von Temperatur, Feuchte und der Feinheit der Körnung des Gesteinsmehls beeinflusst (Strefler et al. 2018)
- Potenzial Kompensation von etwa 10 % der weltweiten CO₂-Emissionen



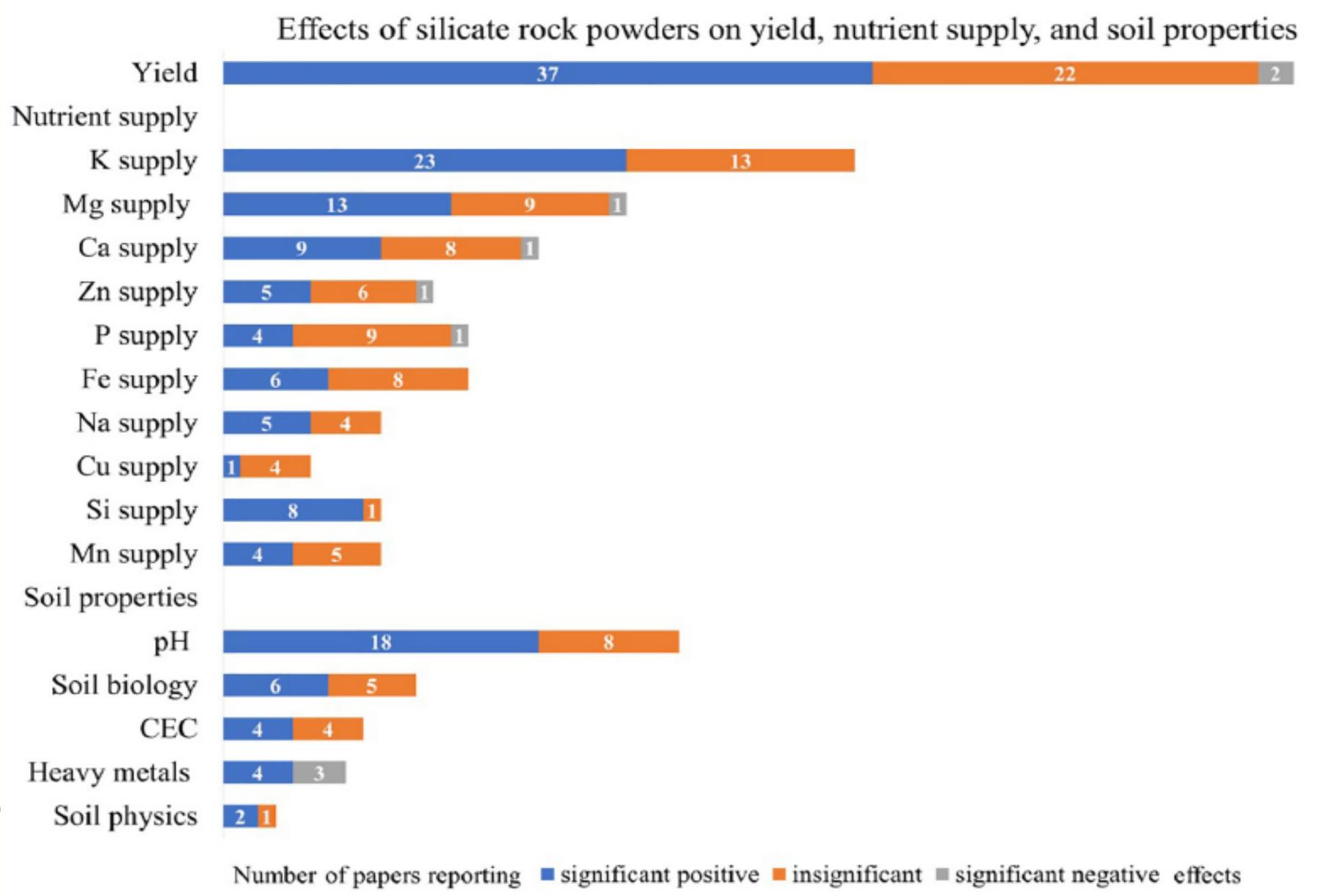
Einfluss der Applikation von mafischen/ultramafischen Gesteinsmehlen und Biokohle auf ausgewählte Bodenparameter 6 Monate nach der Erstanwendung



■ pH-Wert ■ P_{CAL} (mg/100 g) ■ K_{CAL} (mg/100 g) ■ Mg_(CaCl₂) (g/100 g)



Auswertung der Ergebnisse zur Wirkung von mafischen/ultramafischen Gesteinsmehlen aus 40 Feldversuchen (Swoboda et al. 2022)



Fazit

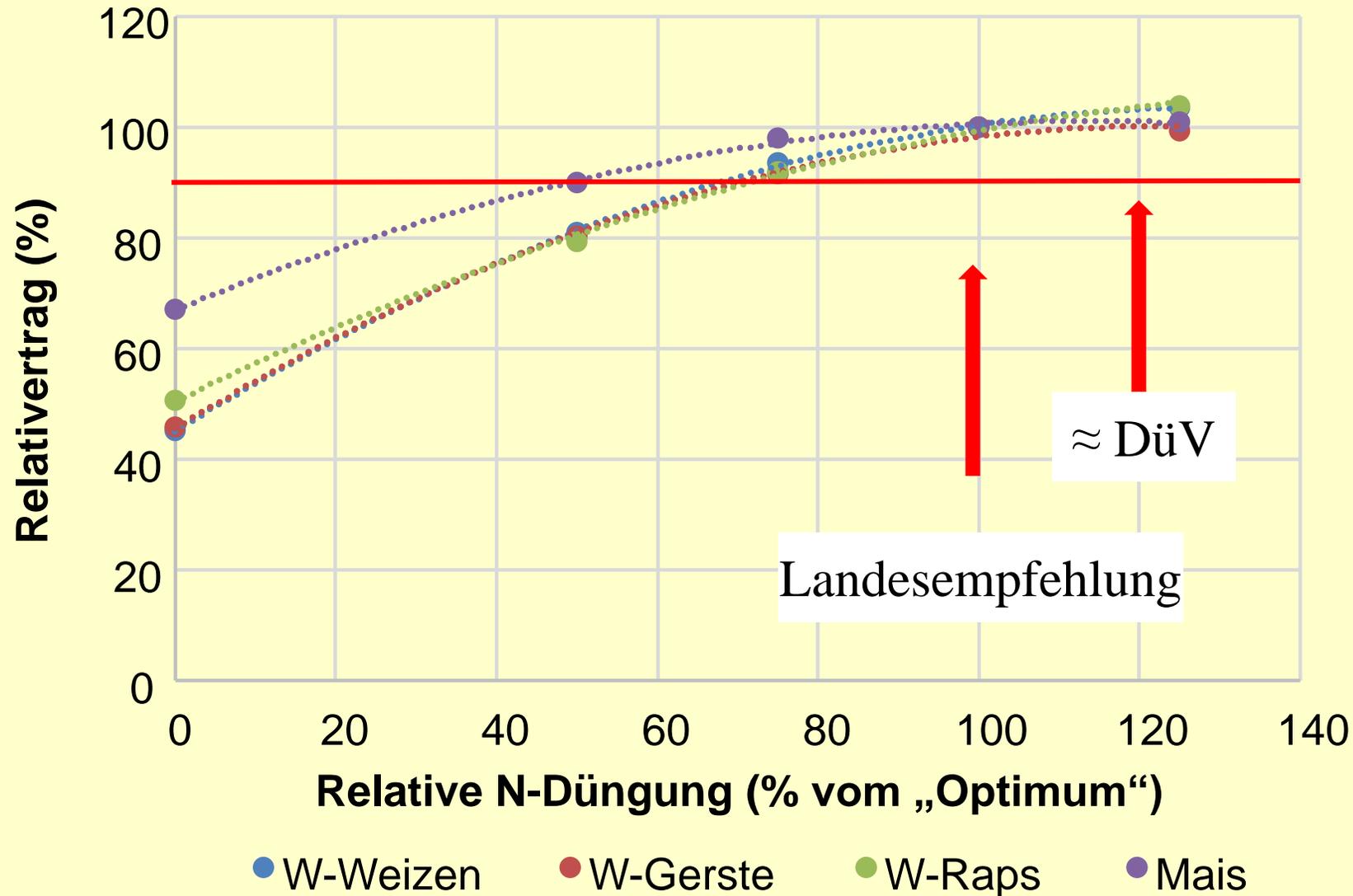
- Knappe Nährstoffe verfügbar machen? → Knappe Nährstoffe „verfügbar erhalten“!!!
 - Nährstoffmobilisierung durch Zwischenfrüchte kaum nachweisbar → Vorsicht mit indirekten Parametern
 - Mehr Leguminosen in Zwischenfruchtmischungen, insbesondere vor Sommerungen
 - Bestimmte Mg-/Ca-reiche (Si-arme) Gesteinsmehle als Kalkersatz verwenden?
- Pflanzenbauliche Methoden:
 - Ausbringungstechnik: Einarbeitung und Bandapplikation bei N und P
 - Nährstoffeffizienz erhöhen durch Beachtung von S- und Spurenelementversorgung
- Optimale Betriebsmittelintensität überdenken:
 - Muss es Backweizen sein? → 60 % des Backweizens als Futterweizen vermarktet
 - Insgesamt etwas weniger N-Düngemittel anwenden (auf Versuche beruhenden Landesempfehlungen folgen) kombiniert mit einer dazu passenden PSM-Intensität
- Es fehlt an Versuchen die verschiedene Ansätze der N-Effizienzsteigerung kombinieren: z. B. stabilisierter N-Dünger in Bandapplikation



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Produktionsfunktionen auf Basis von zehn N-Steigerungsversuchen in Deutschland (Datenbasis: Heyn & Olf 2018) (rote Linie: 90 % Ertrag)



● W-Weizen ● W-Gerste ● W-Raps ● Mais



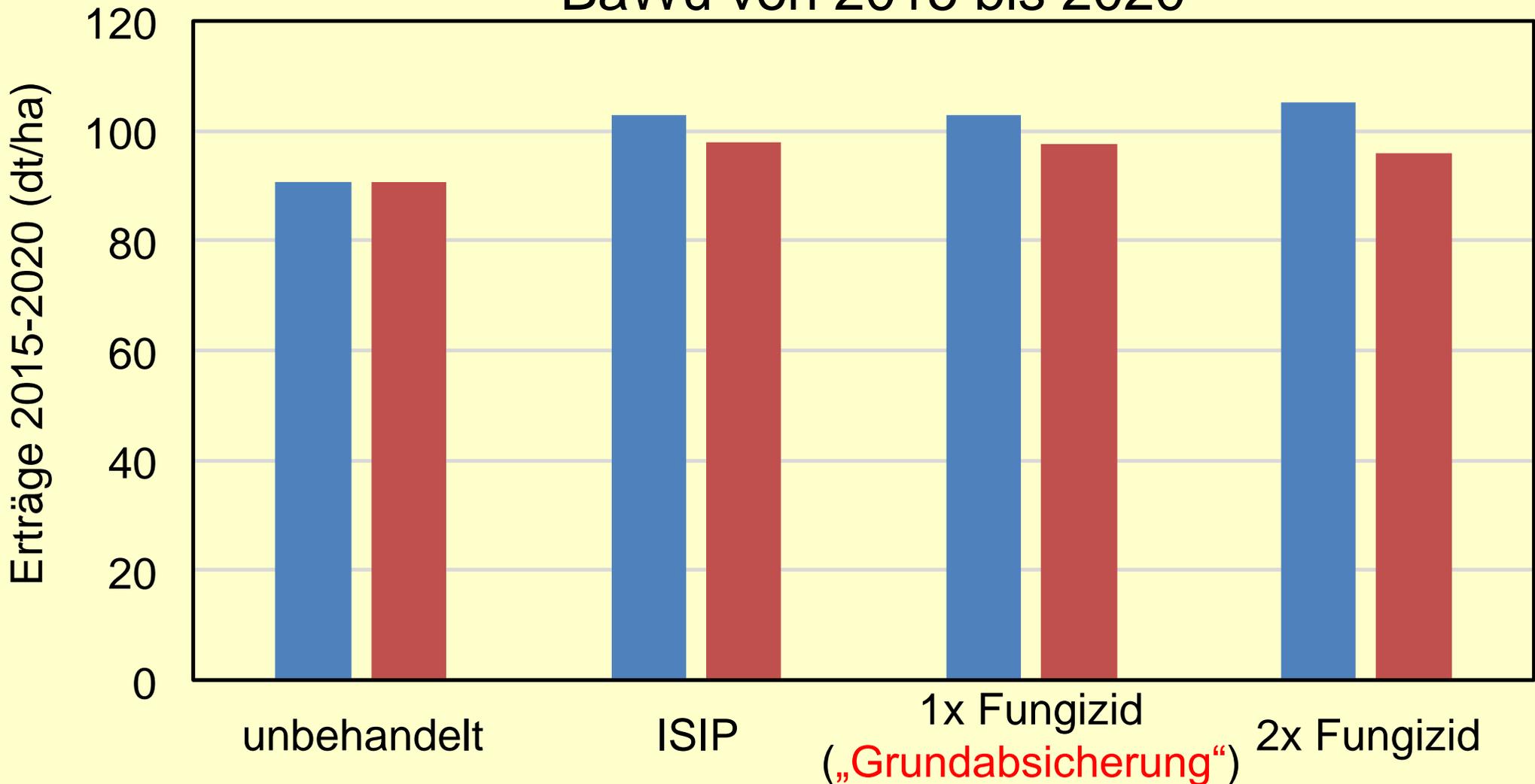
Praxisvergleich betriebsübliche Düngung (Landwirt) mit der Düngung nach Vorgaben des Pilotprojekts (Pilot) (Hohenlohe)

Jahr	Verfahren	Anzahl Standorte	N-Düngung (kg N/ha)	TM-Ertrag (dt/ha)
1990	Landwirt	9	150	129
	Pilot	9	87	125
1991	Landwirt	5	180	118
	Pilot	5	100	117
1992	Landwirt	12	151	167
	Pilot	12	76	168
1993	Landwirt	18	158	159
	Pilot	18	86	162
Ø 4 Jahre	Landwirt	44	157	150
	Pilot	44	85	151

Fazit: Trotz deutlich geringerer N-Düngung in der Pilot-Variante gab es keine Unterschiede in den TM-Erträgen.



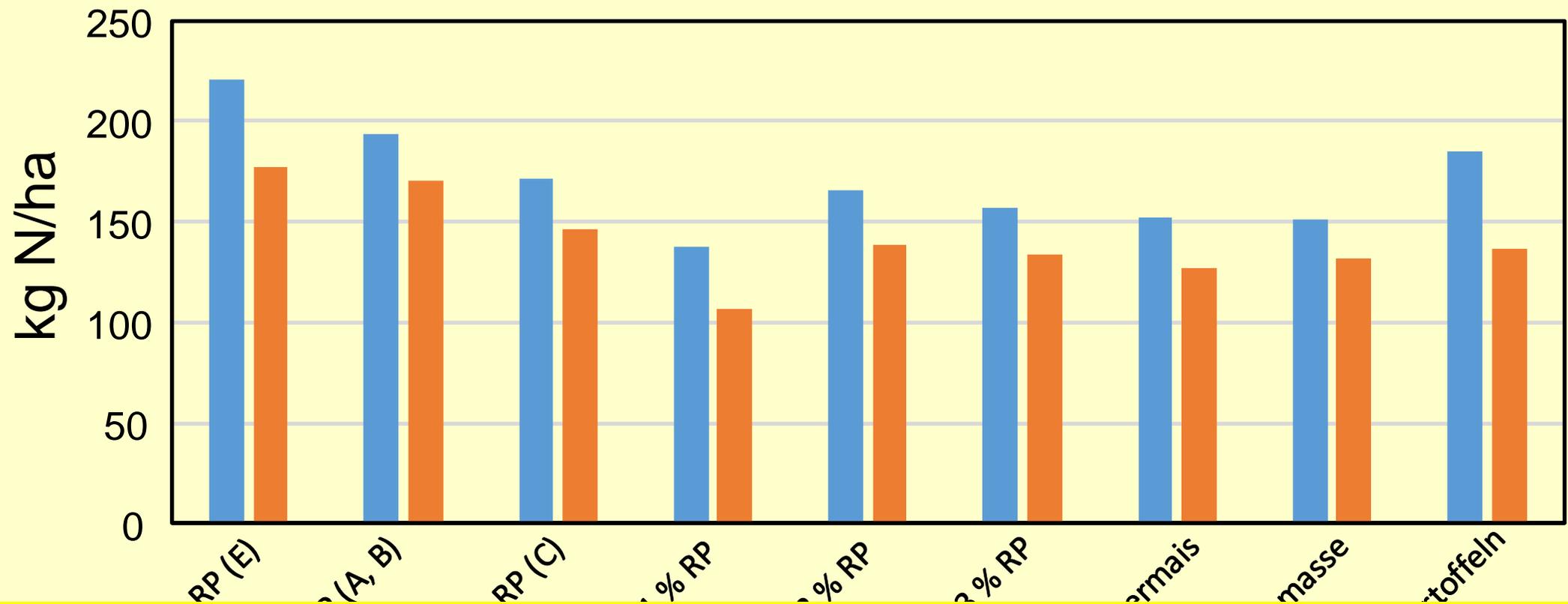
Einfluss der Fungizidstrategie auf den Kornertrag und die kostenbereinigten Erträge von Winterweizen – Mittelwerte LTZ-Versuche aus 12 Standorten in BaWü von 2015 bis 2020



■ Erträge 2015-2020 (dt/ha) ■ kostenbereinigte Erträge (dt/ha)



Vergleich der N-Düngemenge nach DüV-Obergrenze und Landesempfehlung NID – Mittelwerte 2018-2021 in BaWü (Daten: LTZ)

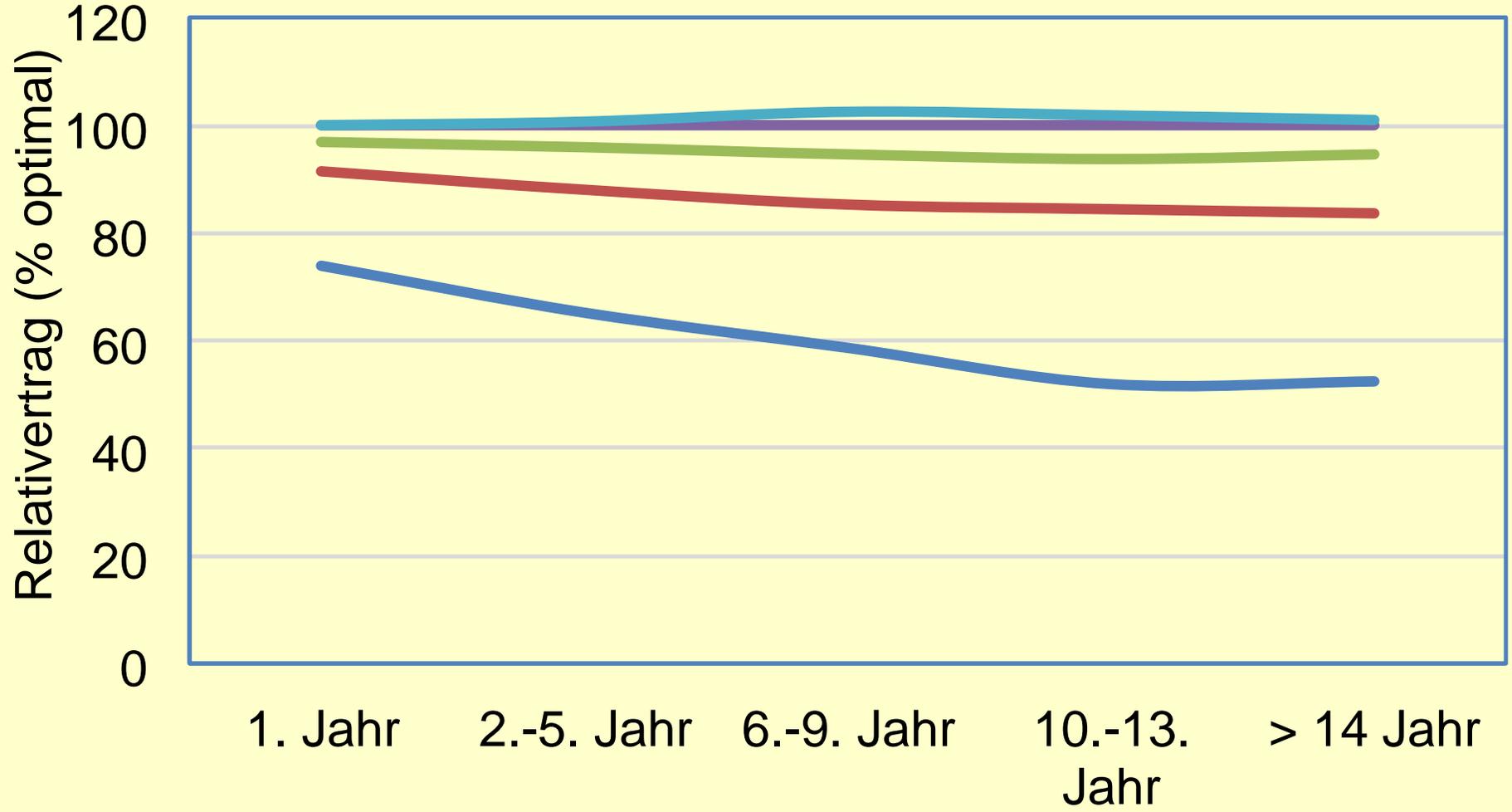


Fazit:

- Mittelwert DüV: 140 kg N/ha
- Mittelwert NID (BaWü): 119 kg N/ha
- Einsparpotenzial BaWü: 17.000 Tonnen N → ca. 40 Mio. Euro



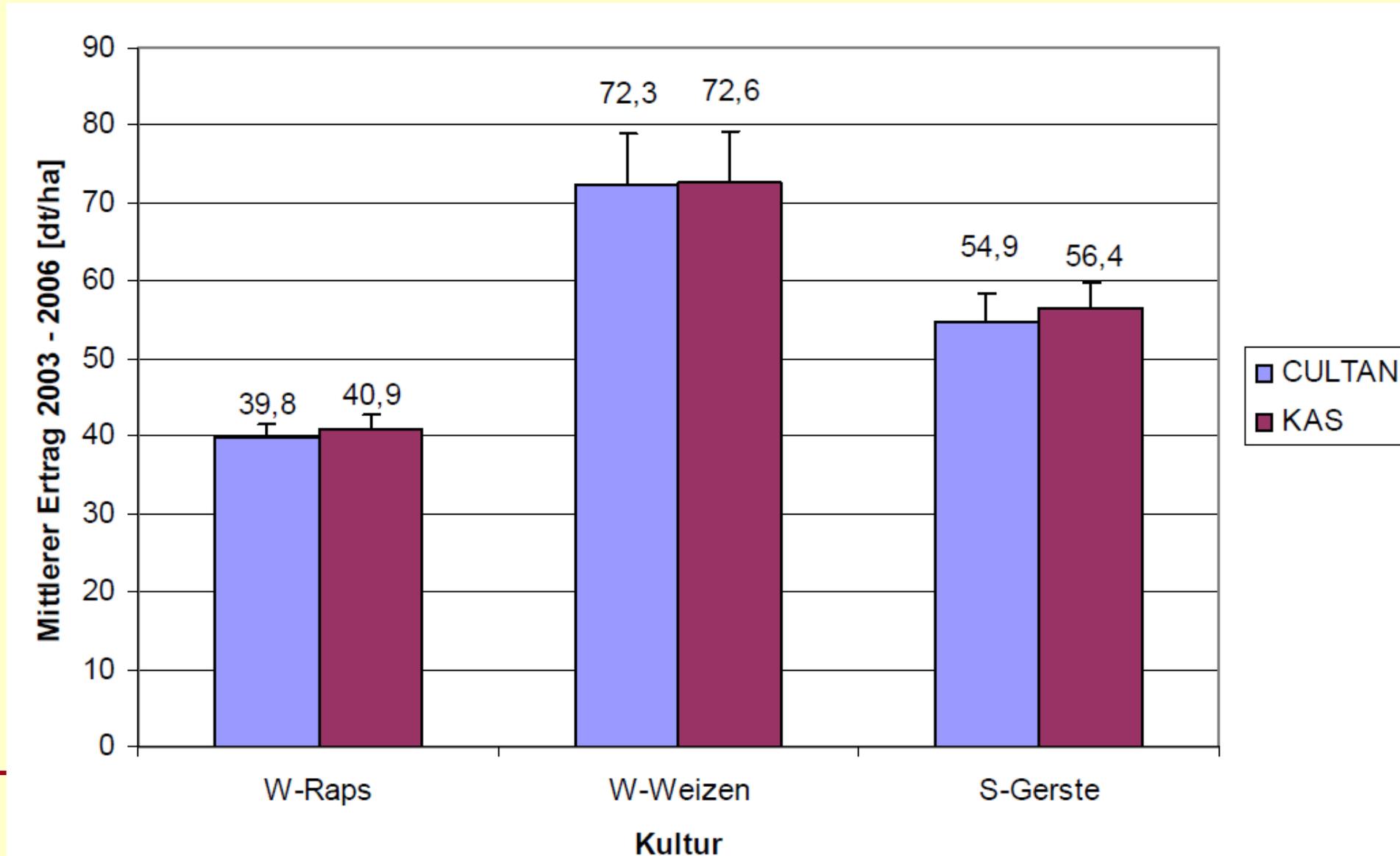
Ertragstrends in 12 Dauerversuchen in Hessen in Abhängigkeit des N-Düngungsniveaus („Optimal“-Variante = 100 %) (Heyn und Olf 2018)



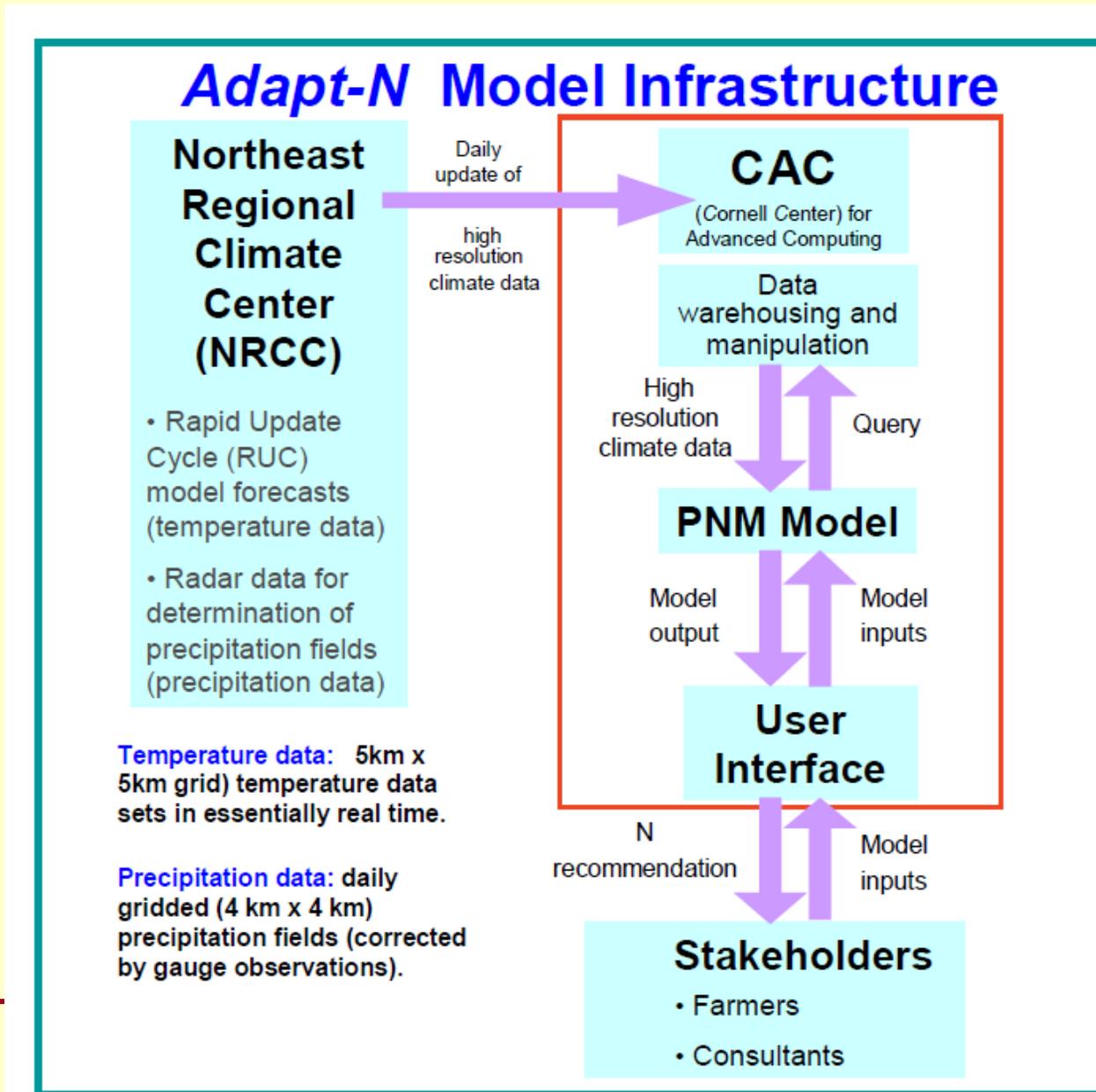
— Null — 50 %-N — 75 %-N — 100 %-N — 125 %-N



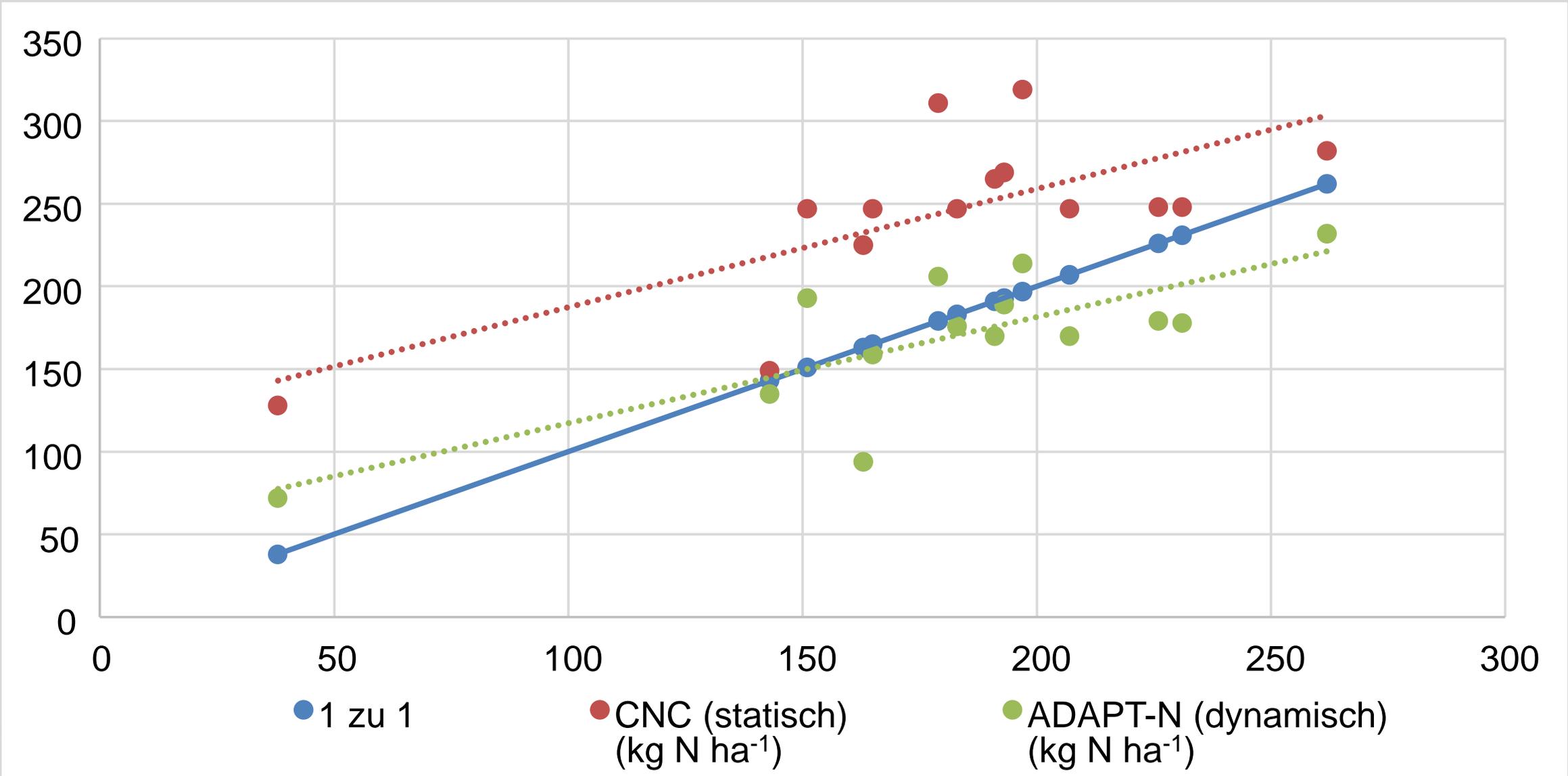
Mittlere Erträge von Winterraps, Winterweizen und Sommergerste bei CULTAN- und KAS-Düngung (Fehlerbalken = Standardschätzfehler Mittelwert; n = 70) (Bischoff et al. 2007)



ADAPT-N (Melkonian et al. 2008)

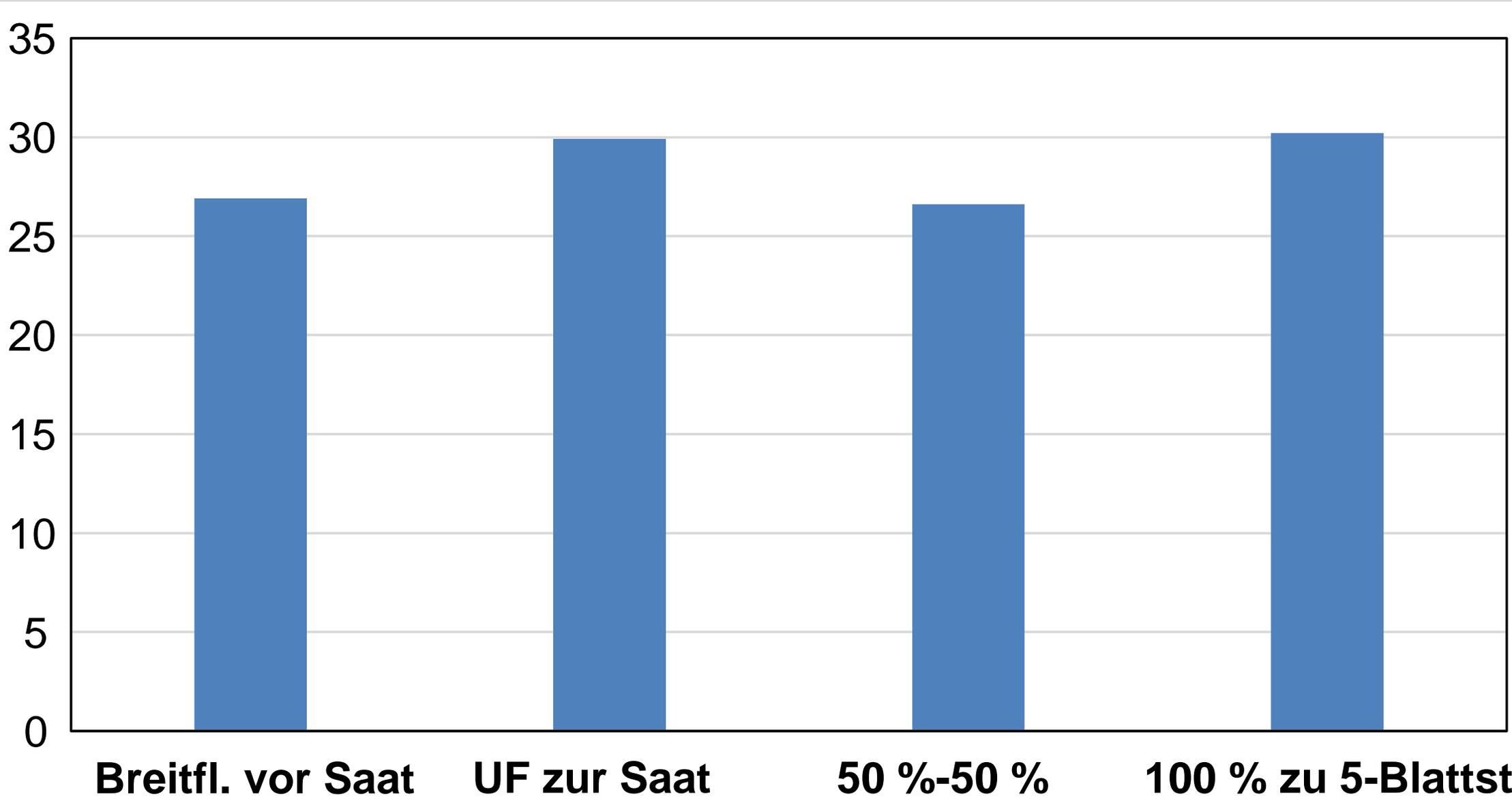


Beziehung zwischen dem N-Standortoptimum und der N-Bedarfsberechnung nach statischer und dynamischer N-Düngeberechnung (Sela et al. 2017)

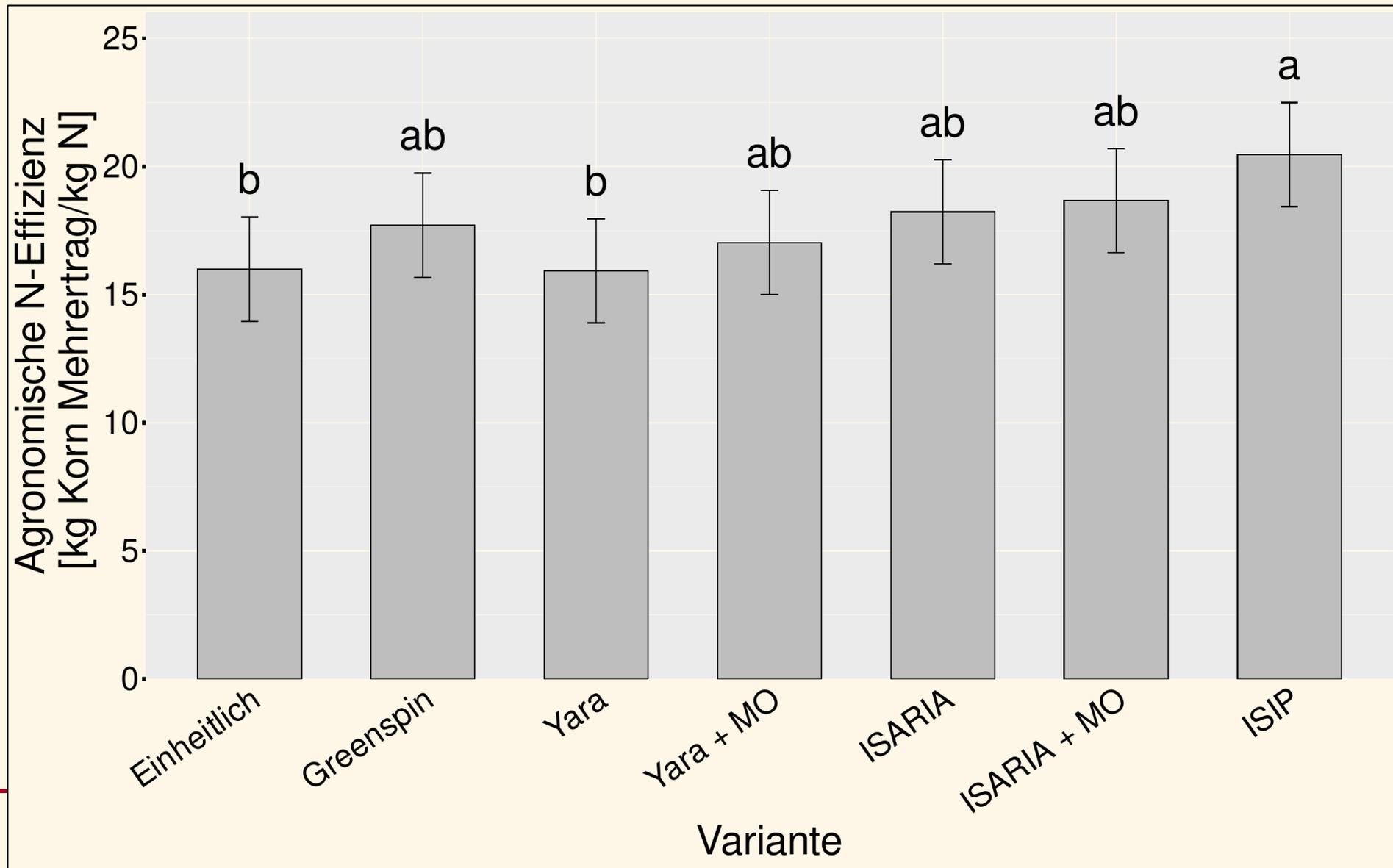


Einfluss des Ausbringungsverfahrens und Zeitpunktes auf die agronomische N-Effizienz (Purucker et al. 2020)

kg Korn-TM/kg N



Vergleich digitaler Verfahren der N-Berechnung: Wirkungen auf die Agronomische N-Effizienz (Maier et al. 2021)

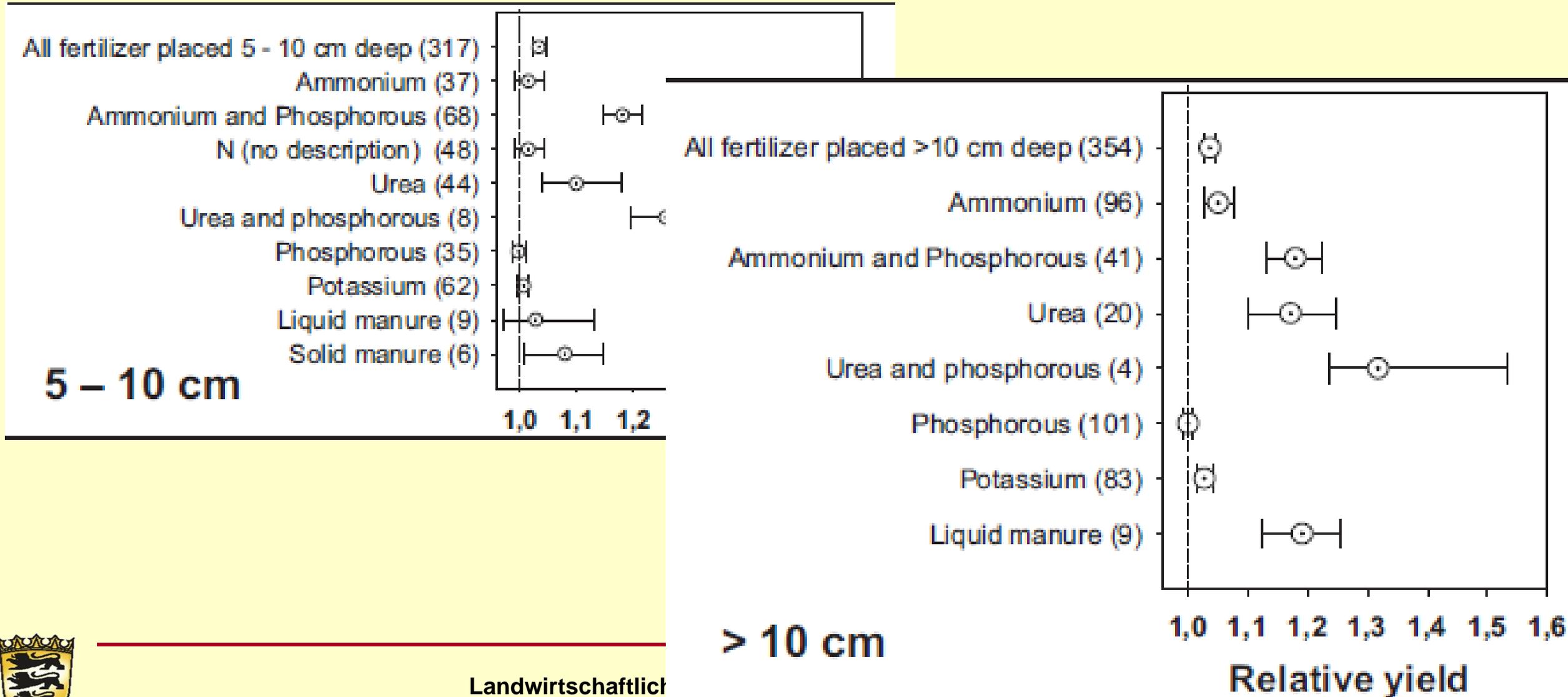


Vergleich des vorgesehenen N-Bedarfs in Österreich, Schweiz und Deutschland

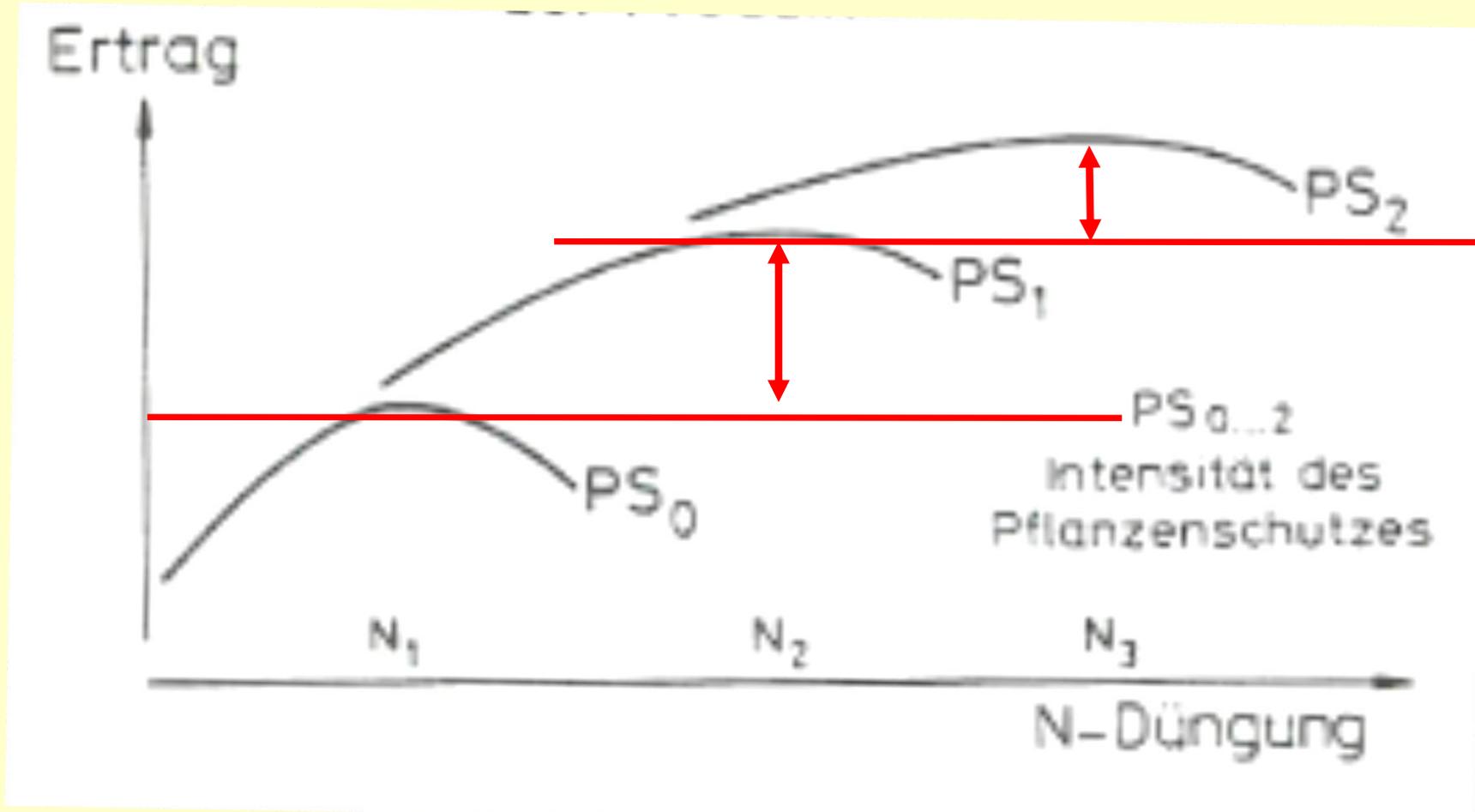
Kultur	Ertragspotenzial (dt ha ⁻¹)	Österreich	Schweiz	Deutschland ¹⁾
Winterweizen (B bzw. E)	80	200	160	230 – 260
Wintergerste	70	133	117	180
Triticale	70	120	113	180
Winterroggen	70	110	105	170
Sommerbraugerste	50	70	90	140
Hafer	55	96	90	130
Winterraps	40	130	170	200
Silomais	450	150	110	200
Körnermais	90	130	110	200
Zuckerrüben	650	125	100	170
Speisekartoffeln	450	140	120	180
Durchschnitt aller Kulturen	-	120	112	178



Einfluss einer Bandapplikation auf den Ertrag im Vergleich zur Breitverteilung: Einfluss der Ablagetiefe (Mehdi et al 2016)



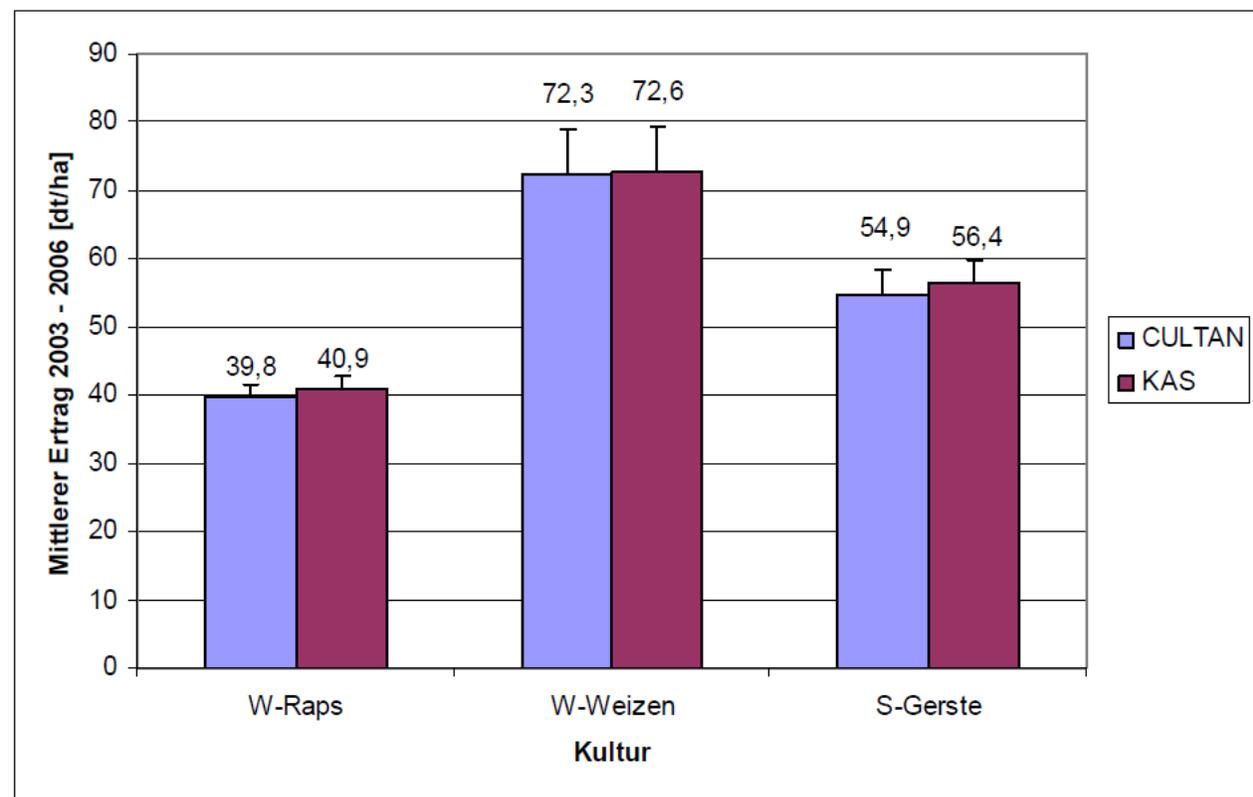
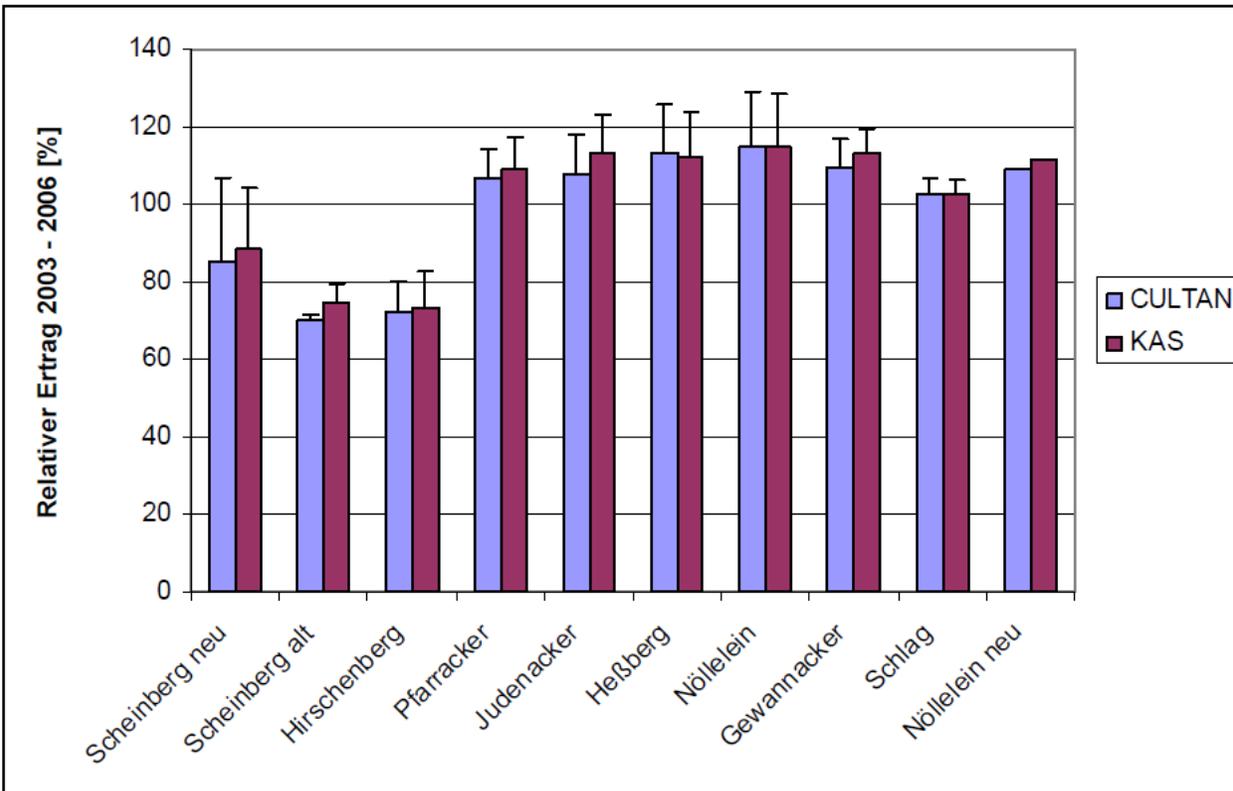
Einfluss der Düngung in Abhängigkeit des Pflanzenschutzniveaus auf den Ertrag (Baeumer et al. 1992)



- Pflanzenschutz sichert N-abhängige Ertragspotenzial → N-
- Produktionsfunktion stark abhängig vom Pflanzenschutzniveau
- Weniger N = geringerer PSM-Bedarf



Vergleich der Nährstoffeffizienz CULTAN-Verfahren im Main-Tauber-Kreis 2003-2007 (Bischoff 2007)



Ansätze für einen umweltverträglicheren Pflanzenbau 2030 - Pflanzenschutz

- Chemisch-synth. Pflanzenschutz:
 - zur „Grundsicherung“ einsetzen, nicht zur Ertragsmaximierung:
 - Verzicht Wachstumsregler
 - Vermeidung von Frühsaaten
 - Bestände kompensieren sehr stark: sich nicht vom Anblick der Bestände blenden lassen → Maßstab = die finanzielle Endabrechnung nach der Ernte
 - **Ziel im Getreidebau:** 1x Fungizid, kein Insektizid, 1x Herbizid (ggf. Ergänzung durch Striegel)
- Konsequenter Behandlungsfenster anlegen (Düngung, Pflanzenschutz) → Einschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmen
- Kosten für „Versicherungsschutz“ einsparen (100 – 250 Euro ha⁻¹) → mehr Risiken in Düngung und Pflanzenschutz hinnehmen → auf „Versicherungsschutz“ ein Stück weit verzichten
- → mit 50 % des PSM + 70 % der N-Düngung → 90 % Ertrag & 100 % Deckungsbeitrag anstreben



Ansätze für einen umweltverträglicheren Pflanzenbau 2030: Fruchtfolge und Düngung

• Fruchtfolge

- Pragmatischer Zwischenfruchtanbau „ohne bohai“:
 - Der Zusatznutzen spezieller Arten und Mischungen meist pflanzenbaulich irrelevant (z. B. mykorrhizierende Wirkung, Allelopathie, etc.)
 - → Hauptsache die Bestände entwickeln sich stark und bedecken den Boden (evtl. Gemenge mit Leguminosenanteilen)
- Ggf. eine zusätzliche Kultur aufnehmen und ein ausgewogenes Verhältnis von Sommerungen und Winterungen anstreben (z. B. Klee gras)

• Düngung

- N-Düngung moderat reduzieren: nach NID oder „DüV-20“ oder gar „DüV-30%“, realistische Ertragserwartungen ansetzen
- Stärker Schwefel und Spurennährstoffe in Blick nehmen
- Bodenuntersuchungsparameter erweitern (S_{\min} , Spurennährstoffe)
- ggf. Behandlungsfenster (z. B. Nullparzellen, oder umgekehrt zudüngen, z. B. mit S-haltigen N-Düngemitteln)
- Überprüfung der Qualitätsziele: 70 % des Backweizens wird verfüttert

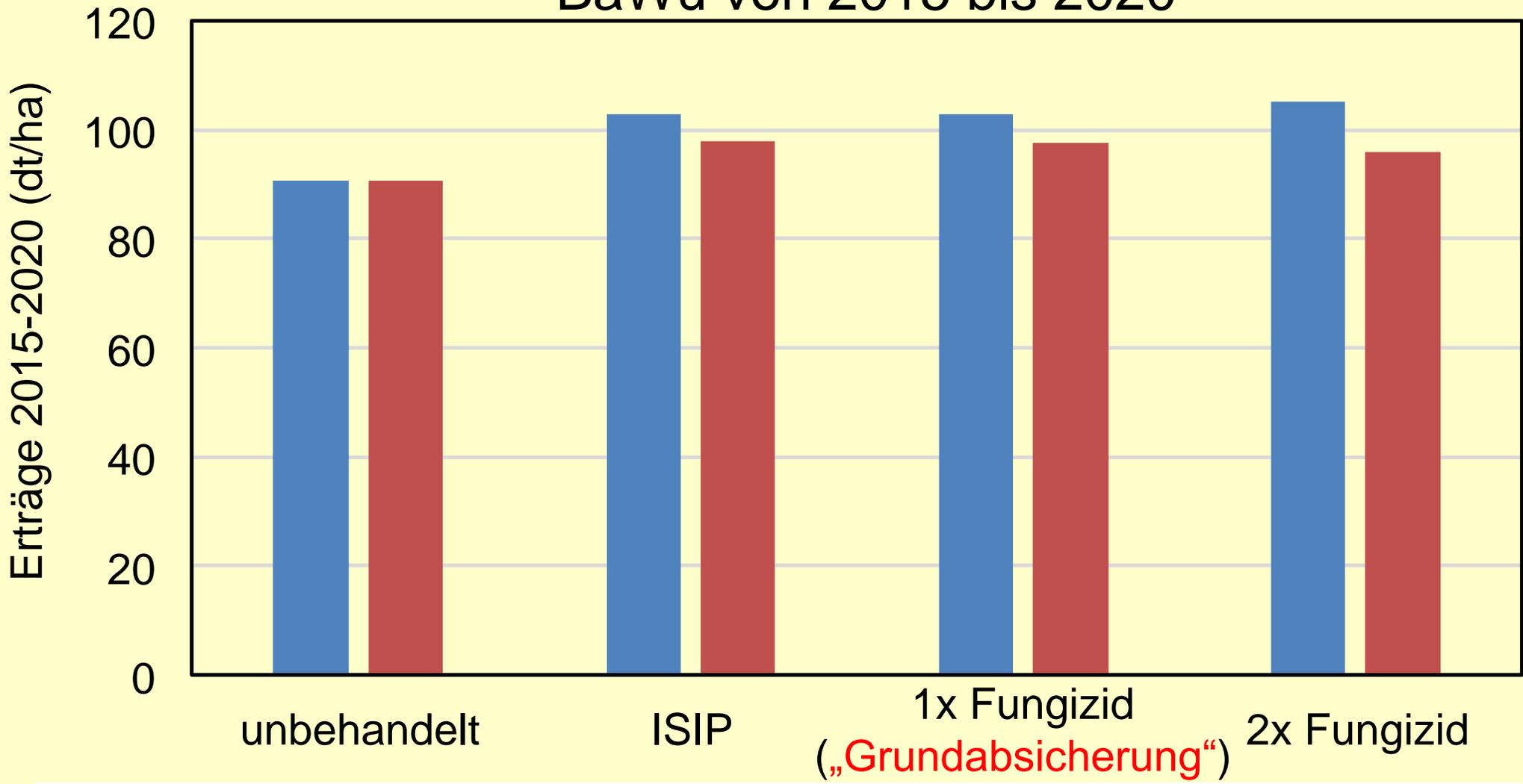


Vergleich des vorgesehenen N-Bedarfs in Österreich, Schweiz und Deutschland

Kultur	Ertragspotenzial (dt ha ⁻¹)	Österreich	Schweiz	Deutschland ¹⁾
Winterweizen (B bzw. E)	80	200	160	230 – 260
Wintergerste	70	133	117	180
Triticale	70	120	113	180
Winterroggen	70	110	105	170
Sommerbraugerste	50	70	90	140
Hafer	55	96	90	130
Winterraps	40	130	170	200
Silomais	450	150	110	200
Körnermais	90	130	110	200
Zuckerrüben	650	125	100	170
Speisekartoffeln	450	140	120	180
Durchschnitt aller Kulturen	-	120	112	178



Einfluss der Fungizidstrategie auf den Kornertrag und die kostenbereinigten Erträge von Winterweizen – Mittelwerte LTZ-Versuche aus 12 Standorten in BaWü von 2015 bis 2020



■ Erträge 2015-2020 (dt/ha)

■ kostenbereinigte Erträge (dt/ha)



Kompensationsfähigkeit: Beziehung zwischen Verlust Krankheitsbefall (Johnson 1987)

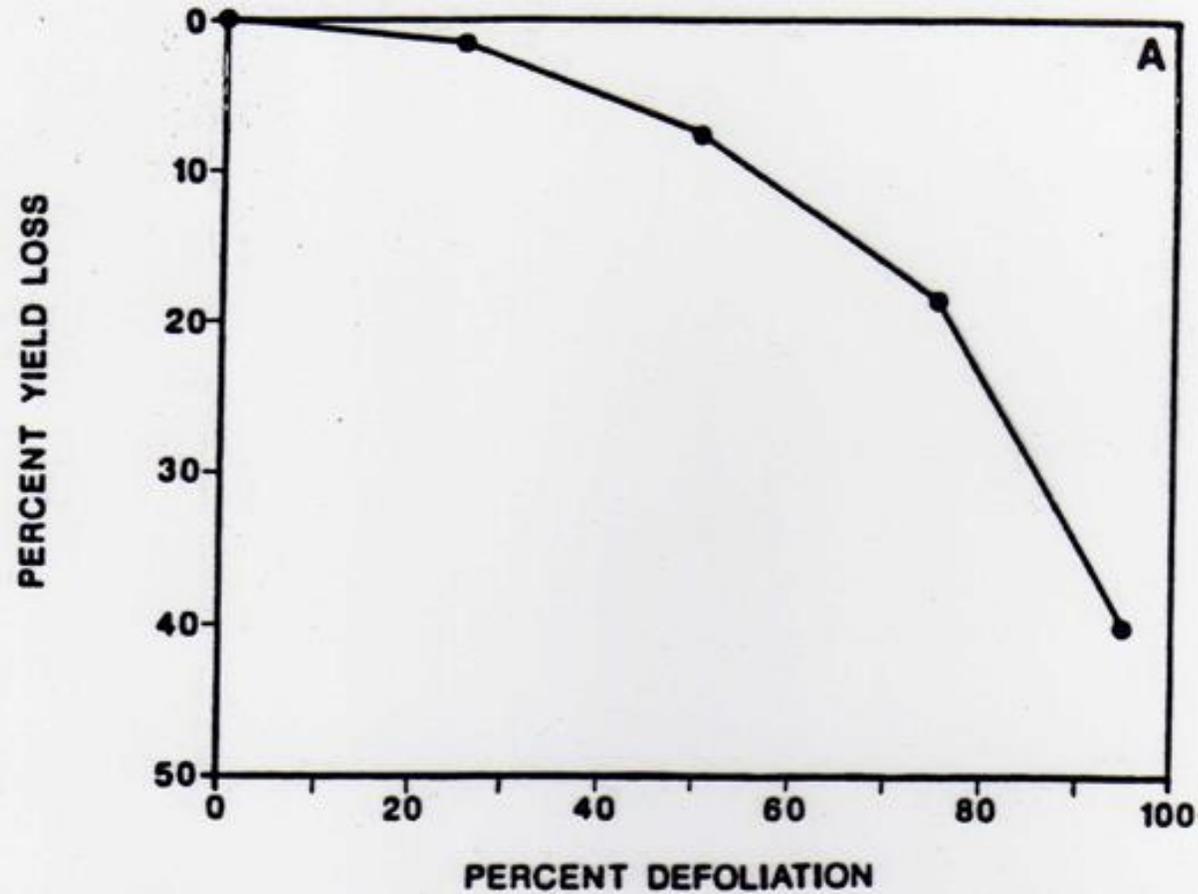
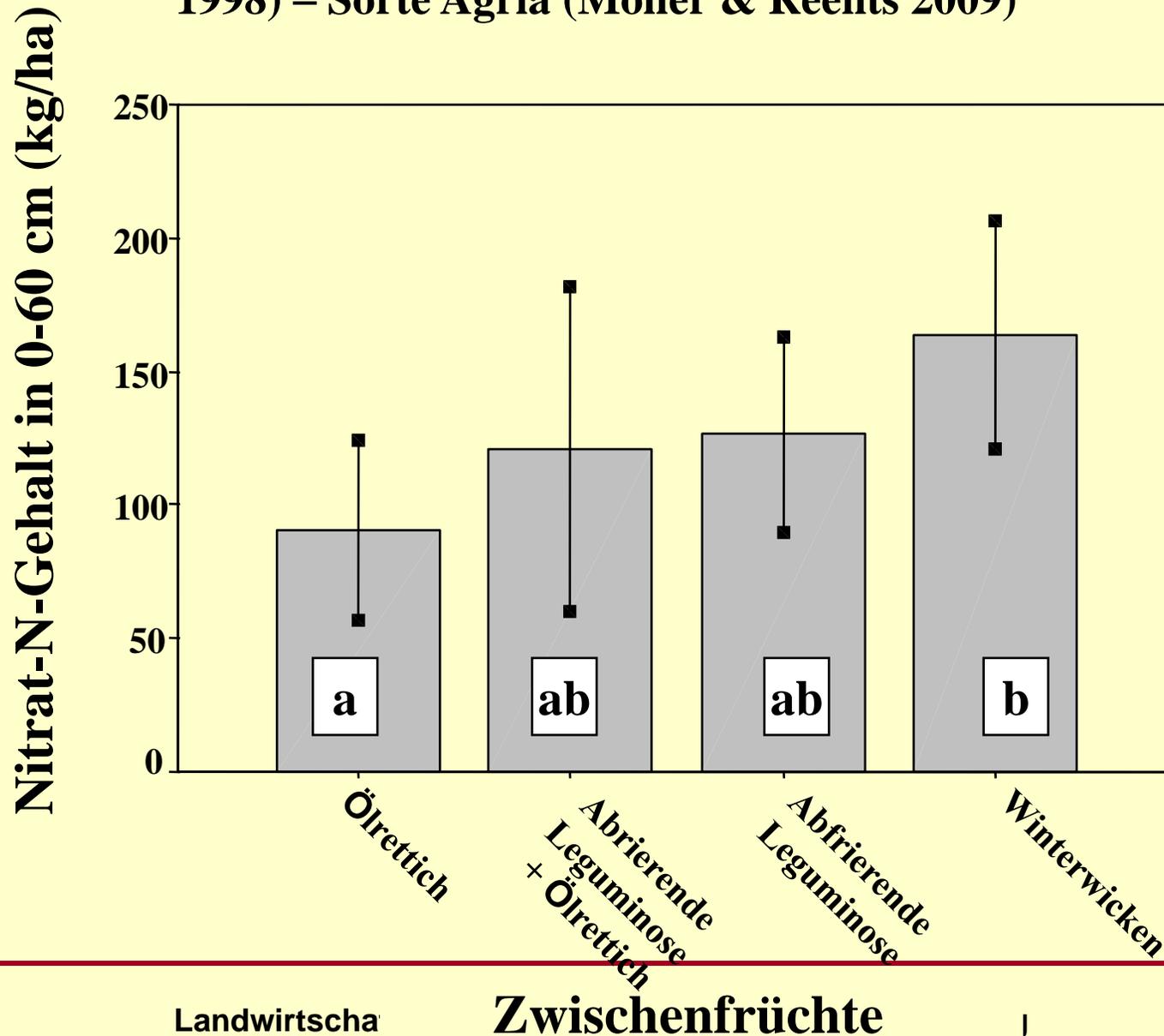


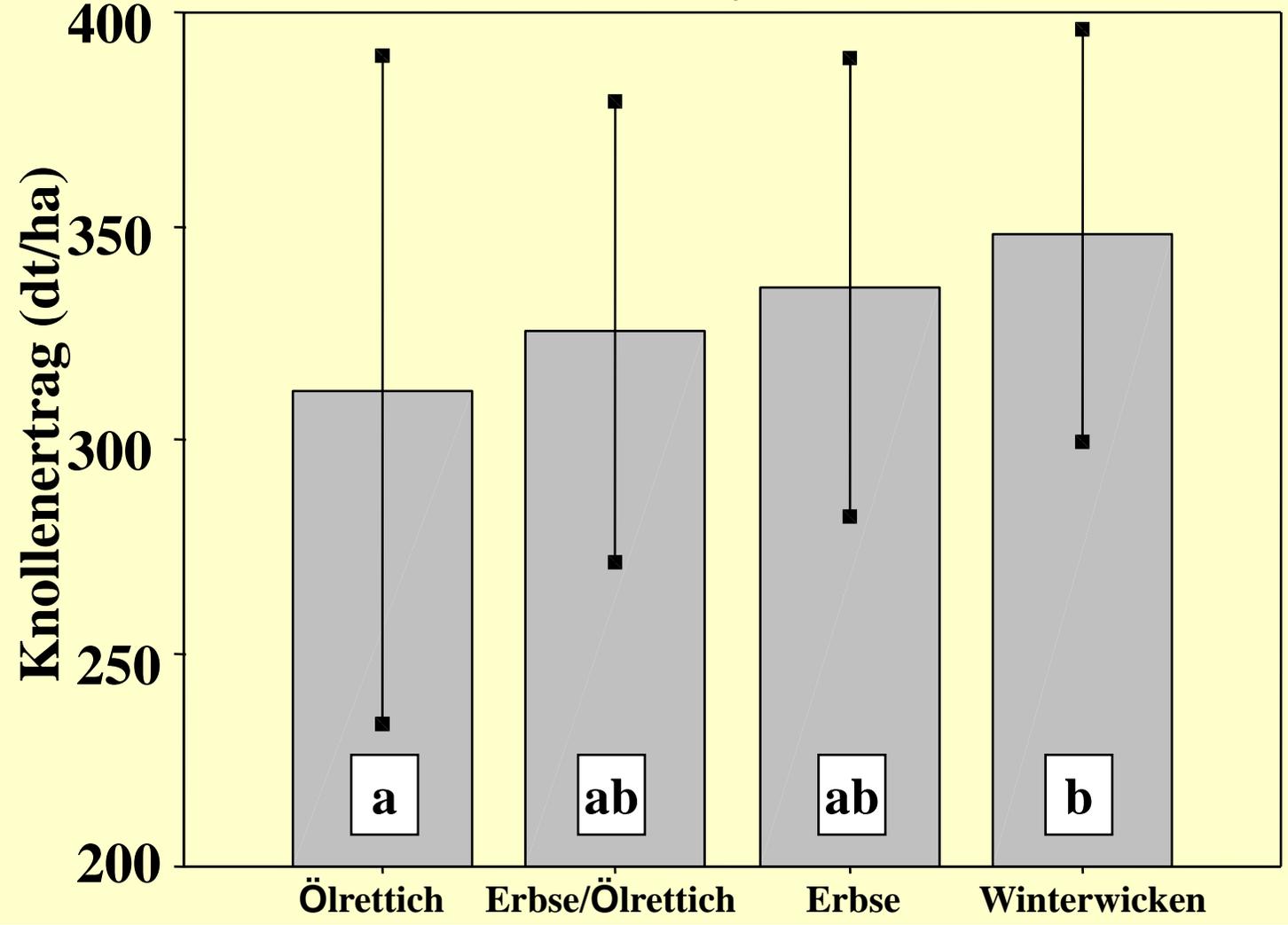
Fig. 2. Percent loss of final tuber yield resulting from two kinds of injury in a simulated potato crop (9). A, One-time defoliation of older leaf tissue at midseason (8). B, Feeding of potato leafhopper nymphs over a period of approximately 1 mo at midseason (10).



Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitrat-N-Gehalte unter den nachfolgenden Kartoffeln zum Auflaufen (Scheyern 1997 und 1998) – Sorte Agria (Möller & Reents 2009)



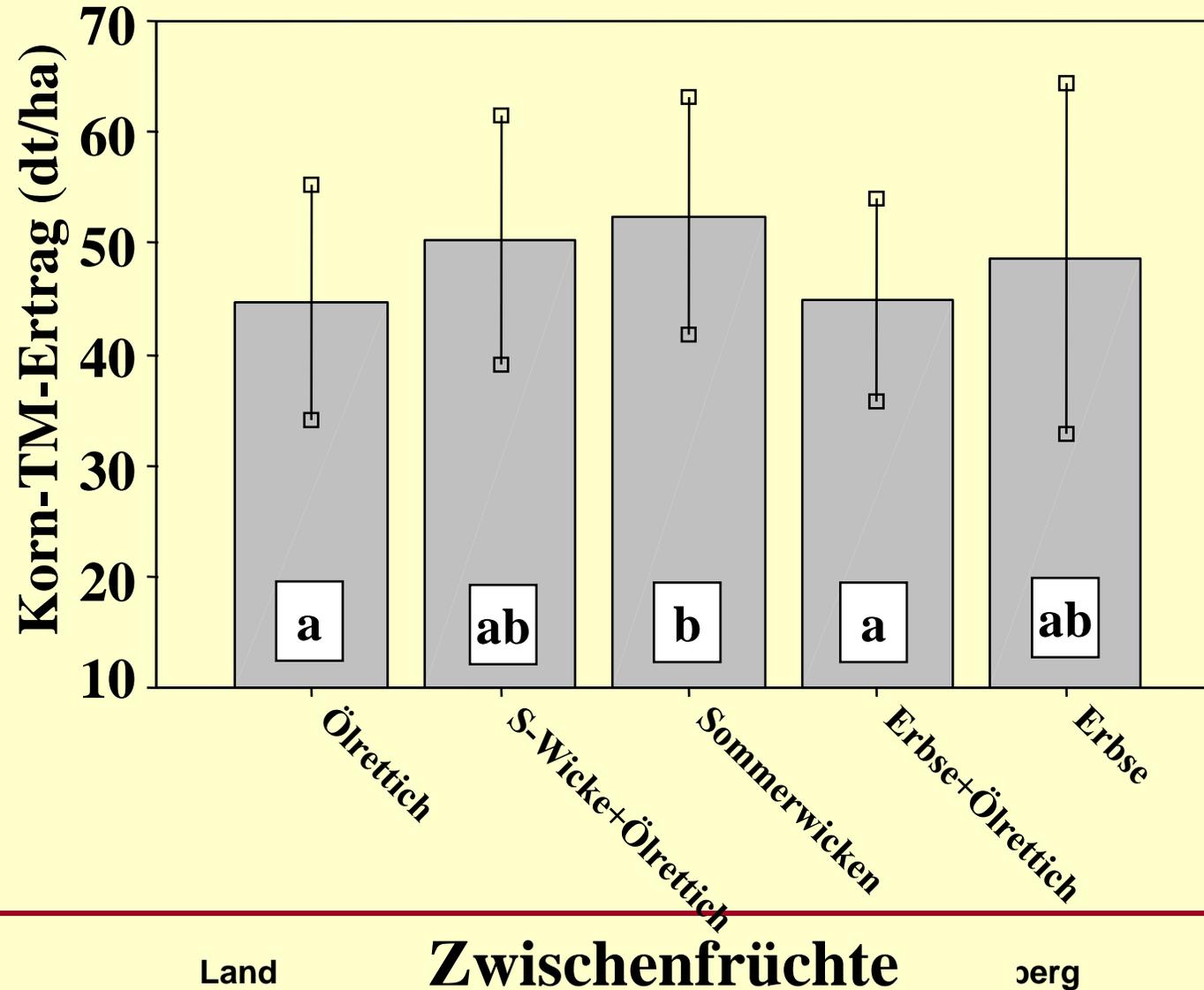
Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf den Knollenertrag nachfolgender Kartoffeln (Scheyern 1997 und 1998) – Sorte Agria (Möller und Reents 2009)



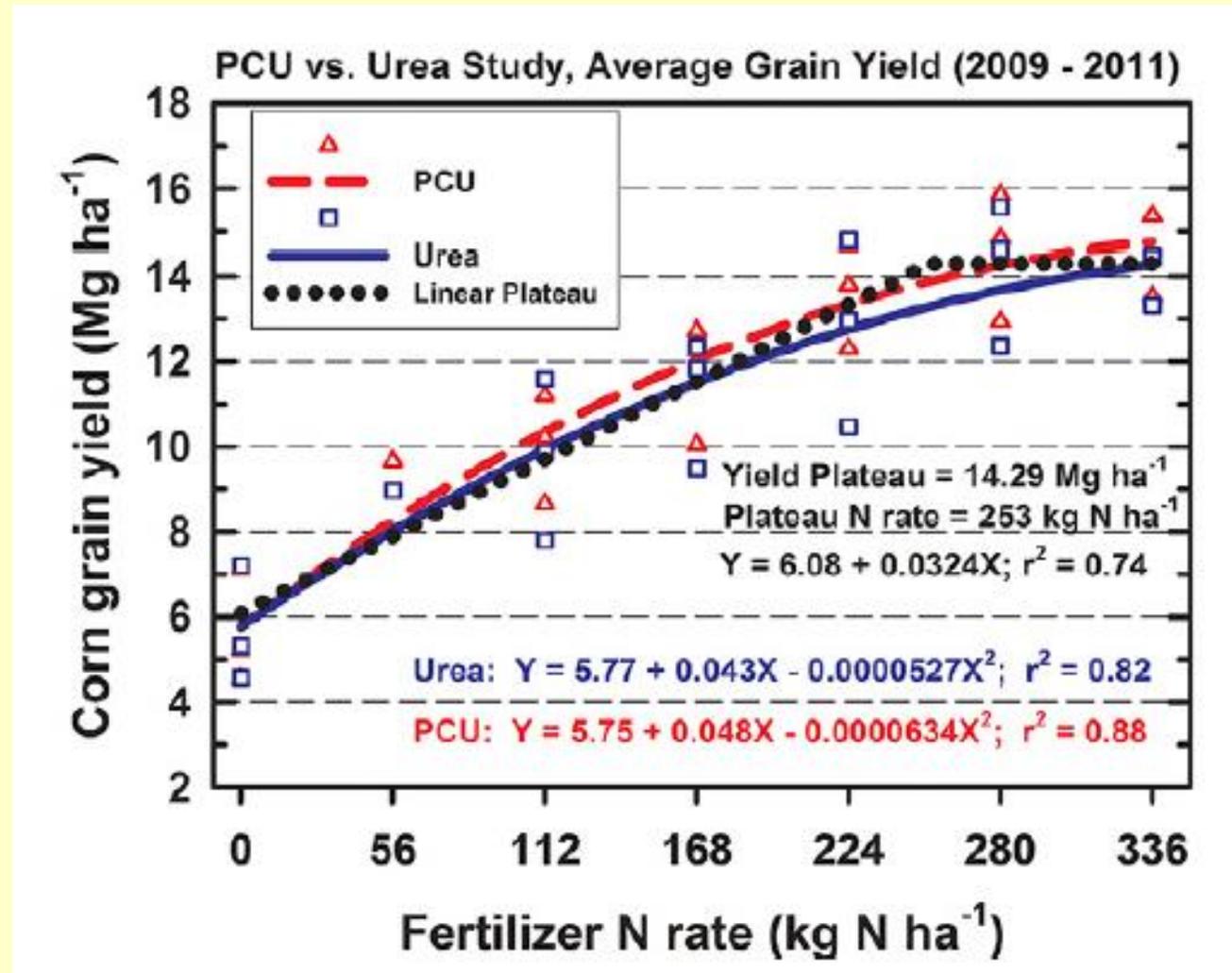
Zwischenfruchtarten und –gemenge



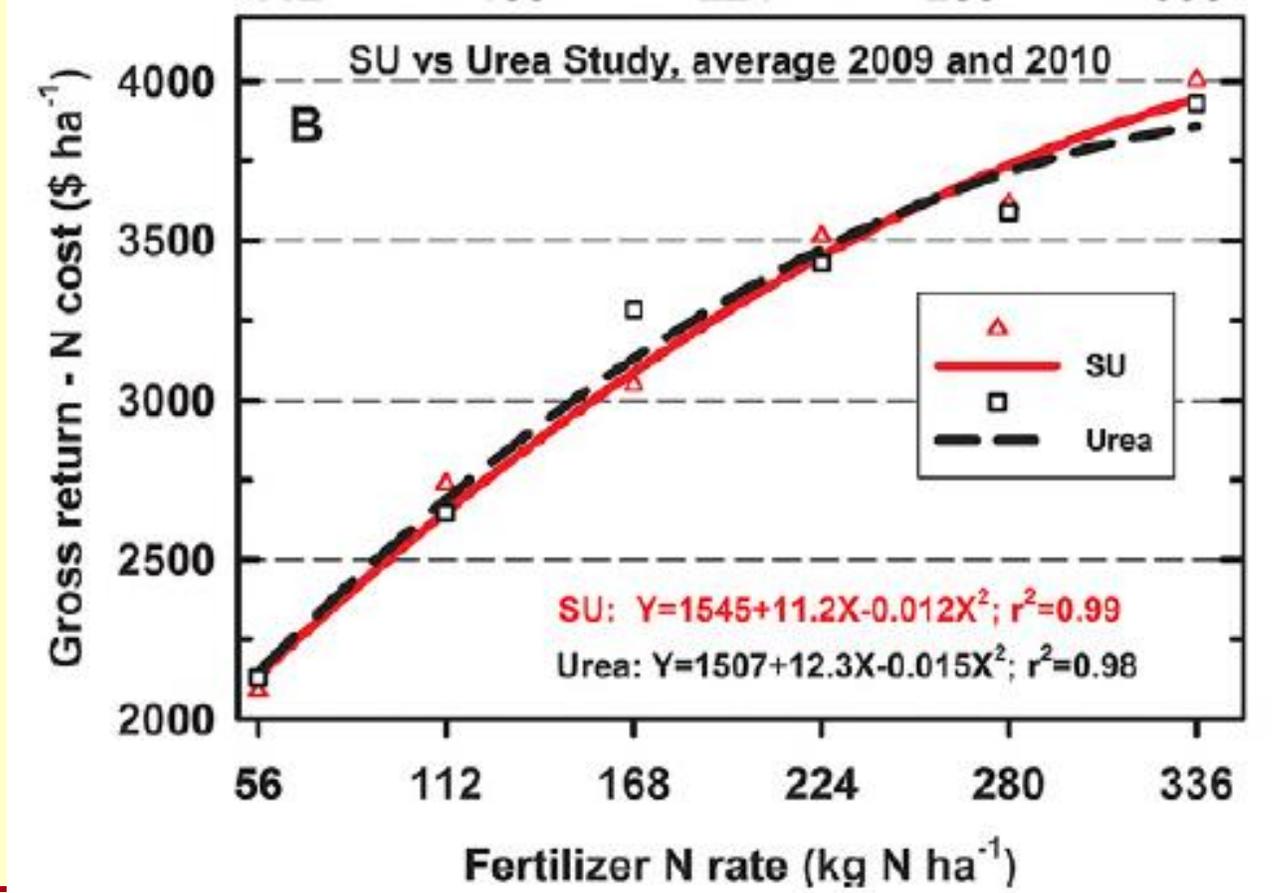
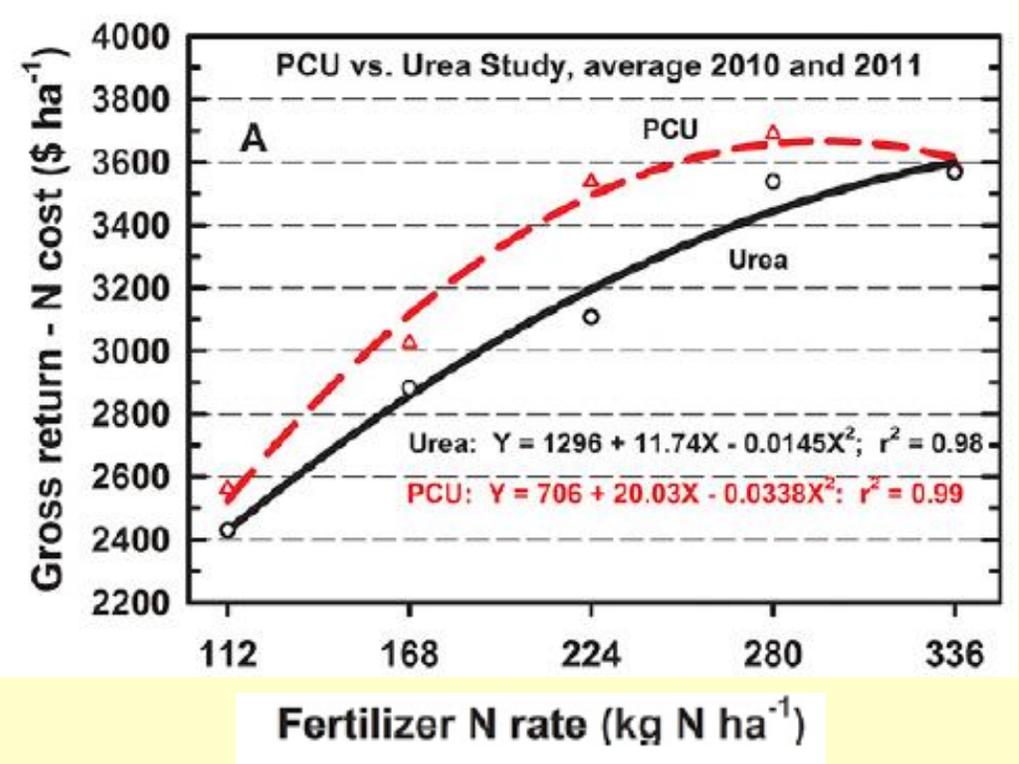
Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte nach Erbsen auf den Kornertrag von Winterweizen (Sorte Bussard) Viehhausen 1998-2000 (Möller und Reents 2009)



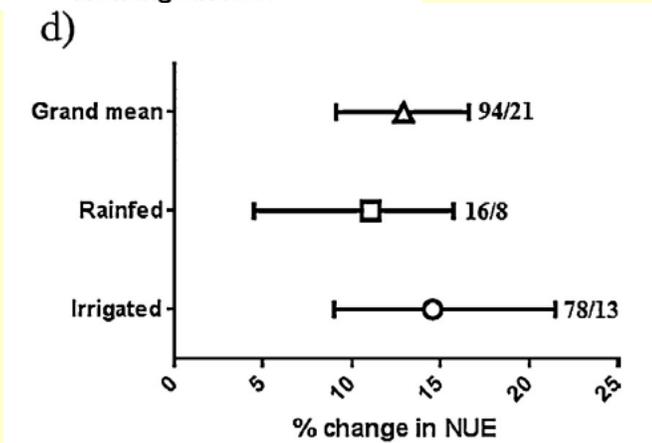
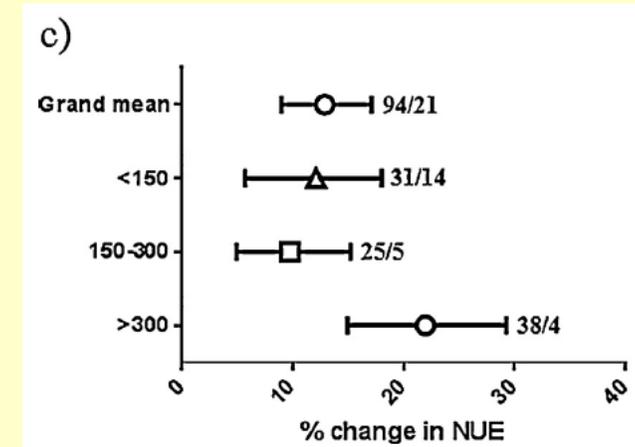
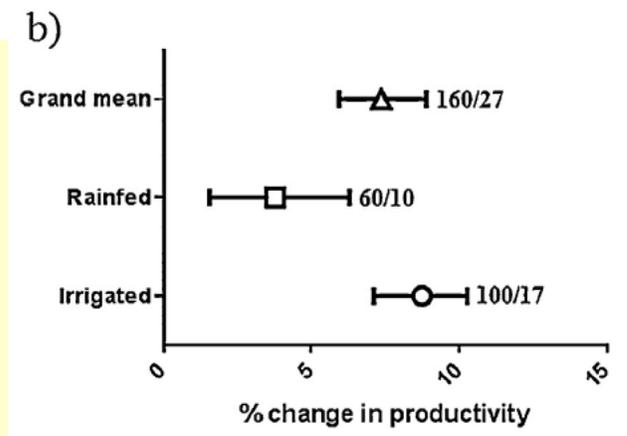
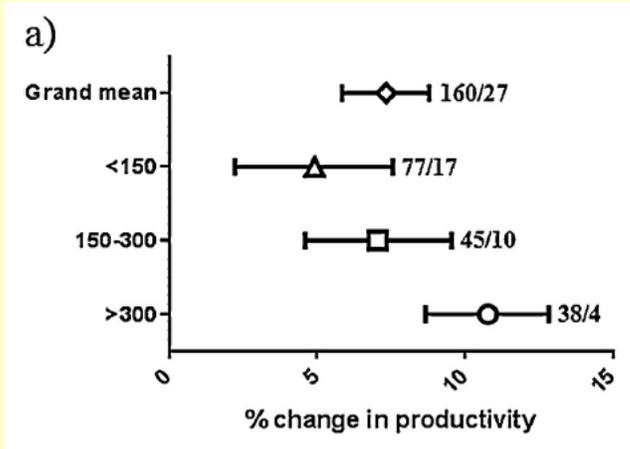
Average corn grain yields as a function of N rate for each N source (polymer-coated urea [PCU] and urea) from 2009 through 2011, and a linear plateau model estimate of maximum yield in the PCU vs. urea study (Halvorson & Bartolo, 2014).



Average gross economic returns minus fertilizer N cost as a function of fertilizer N rate for each N source using the averaged grain yields across continuous corn years in the (A) polymer-coated urea (PCU) vs. urea study and (B) stabilized urea (SU) vs. urea study (Halvorson & Bartolo, 2014)



The effect of inhibitors on crop productivity and NUE as a percentage of the control for different N fertilizer rates in kg N ha⁻¹(a and c) and for rainfed vs irrigated systems (b and d) (Abalos et al. 2014)



The effect of inhibitor type (urease (NBPT), nitrification (DCD and DMPP) and both (DCD + NBPT); a and c) and the different inhibitors (b and d) on crop productivity and NUE as a percentage of the control (Abalos et al. 2014)

