

Pflanzenernährung und Düngung

**Welche Veränderungen ergeben sich durch den
Klimawandel?**

Prof. Dr. Hans-Werner Olfs

Fachgebiet Pflanzenernährung und Pflanzenbau

Hochschule Osnabrück



Pflanzenernährung und Düngung

Welche Veränderungen ergeben sich durch den Klimawandel?

- Klimawandel
 - Klimaszenarien
 - Auswirkungen auf Pflanzenwachstum und -ertrag
- Anpassungsoptionen im Bereich „Pflanzenernährung und Düngung“
- Schlussfolgerungen



Klima

„Unter Klima versteht man den über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten beschriebenen Zustand der Erdatmosphäre.“

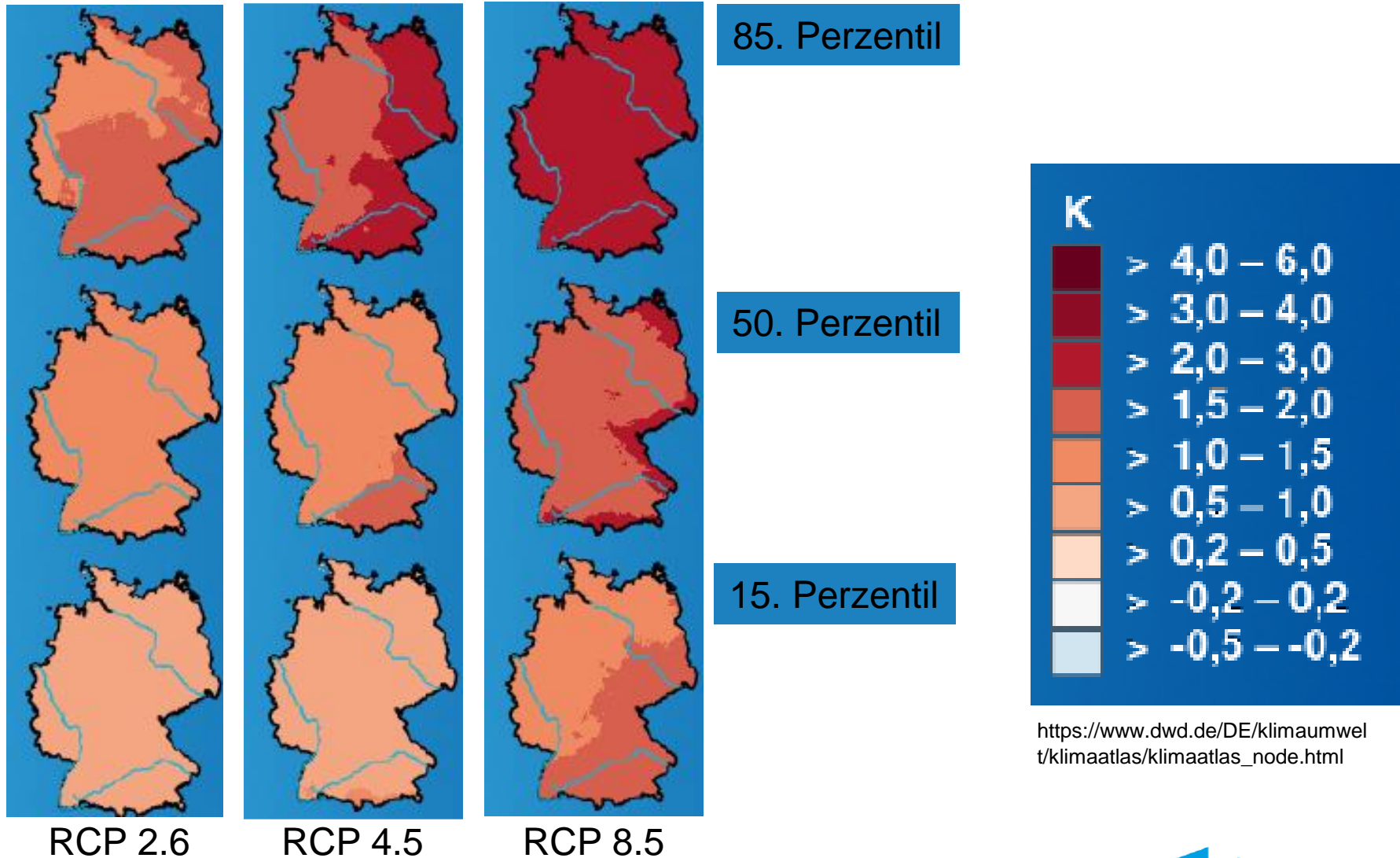
Klimaelemente:

- physikalische Parameter
 - **Lufttemperatur / Niederschlag** / Luftfeuchte / Bewölkung / Sonnenscheindauer / Luftdruck / Wind
- chemische Parameter
 - stoffliche Zusammensetzung von Luft und Niederschlägen
[Konzentrationen von **CO₂** / O₃ / NH₃ / N₂O / NO_x / SO₂ / VOC]



Klimaszenarien (2030 – 2060)

Vergleich Tagesmitteltemperatur für das gesamte Jahr

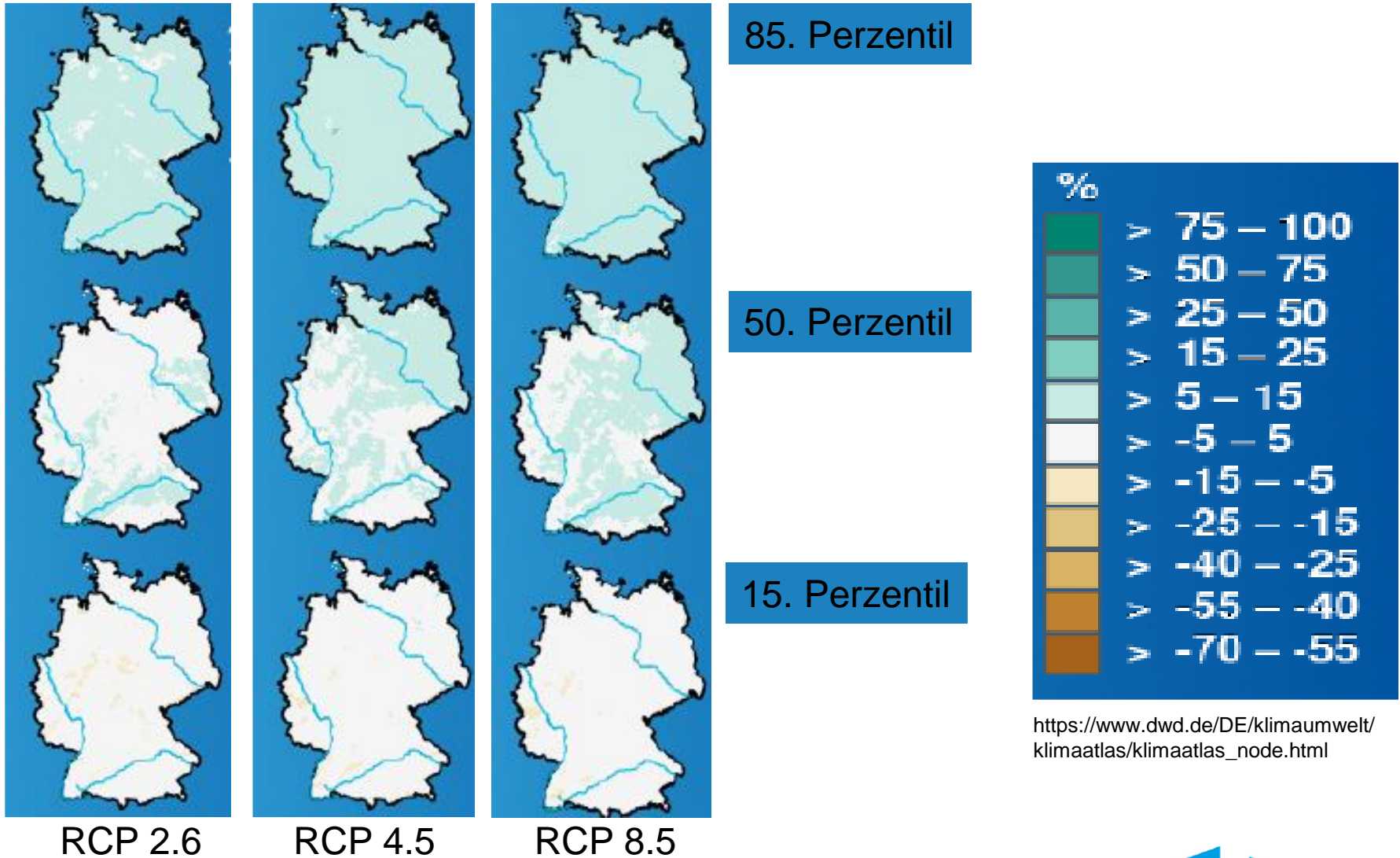


https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html



Klimaszenarien (2030 – 2060)

Vergleich Niederschläge für das gesamte Jahr

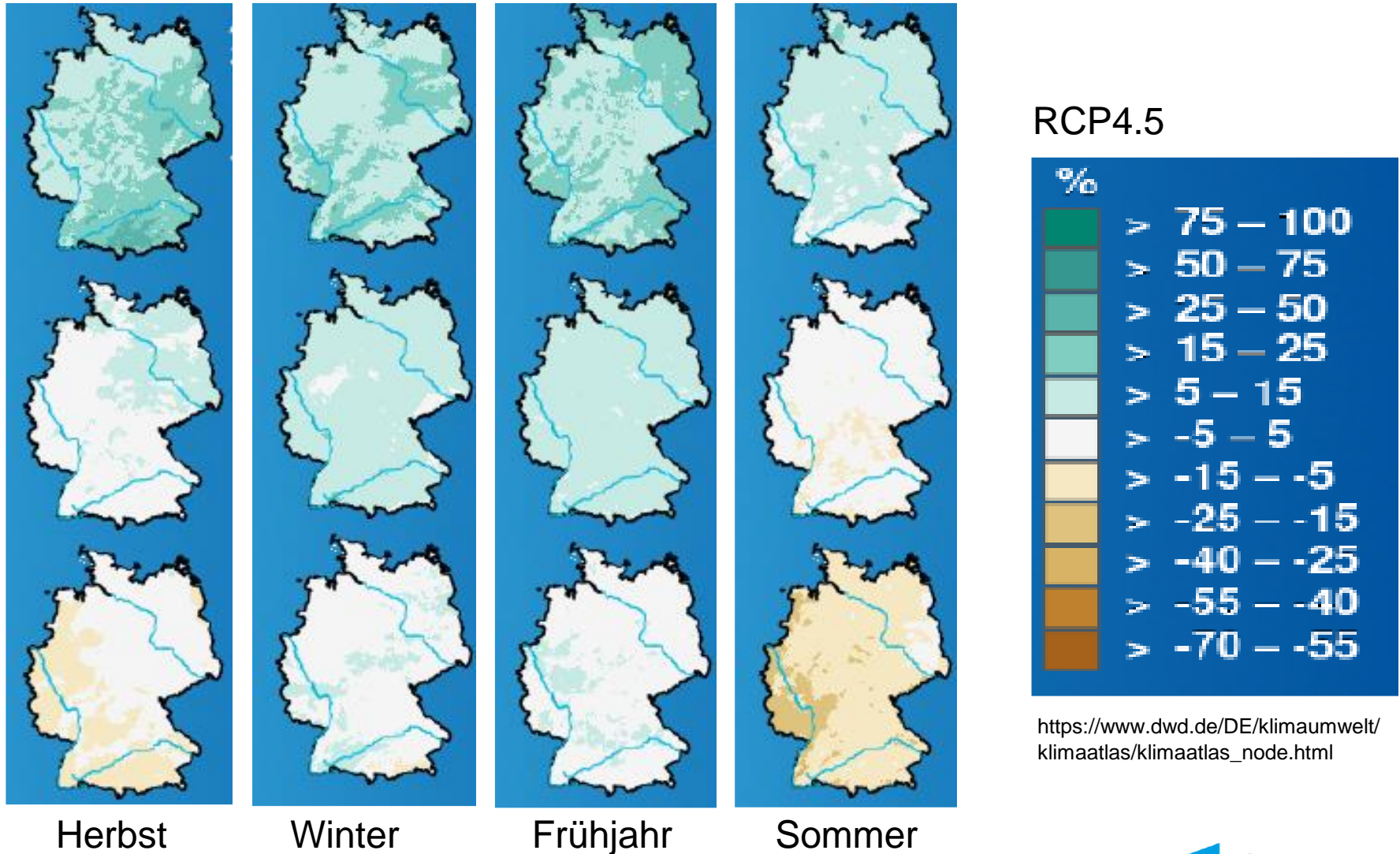


https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html



Klimaszenarien (2030 – 2060)

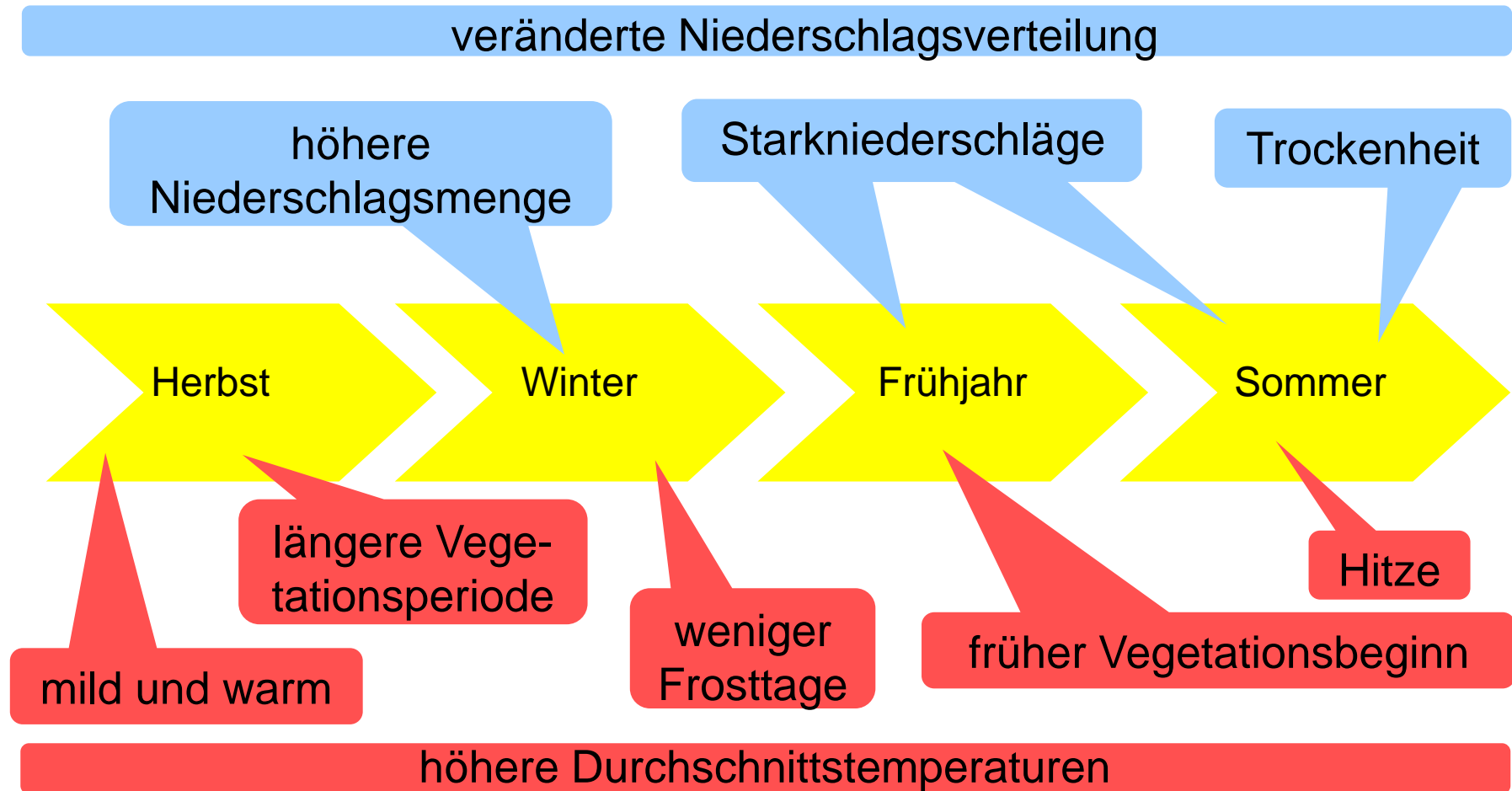
Vergleich Niederschläge in den 4 Jahreszeiten



https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html



Erwartete Änderungen im Verlauf der Vegetationsperiode




Auswirkungen erhöhter Temperaturen auf Pflanzenwachstum

positive Effekte (im unteren Temperaturbereich => Herbst/Winter)

- ✓ Keimung schneller und gleichmäßiger
- ✓ Photosyntheserate steigt
- ✓ Verlängerung der Vegetationszeit
- ✓

negative Effekte (im oberen Temperaturbereich => Sommer)

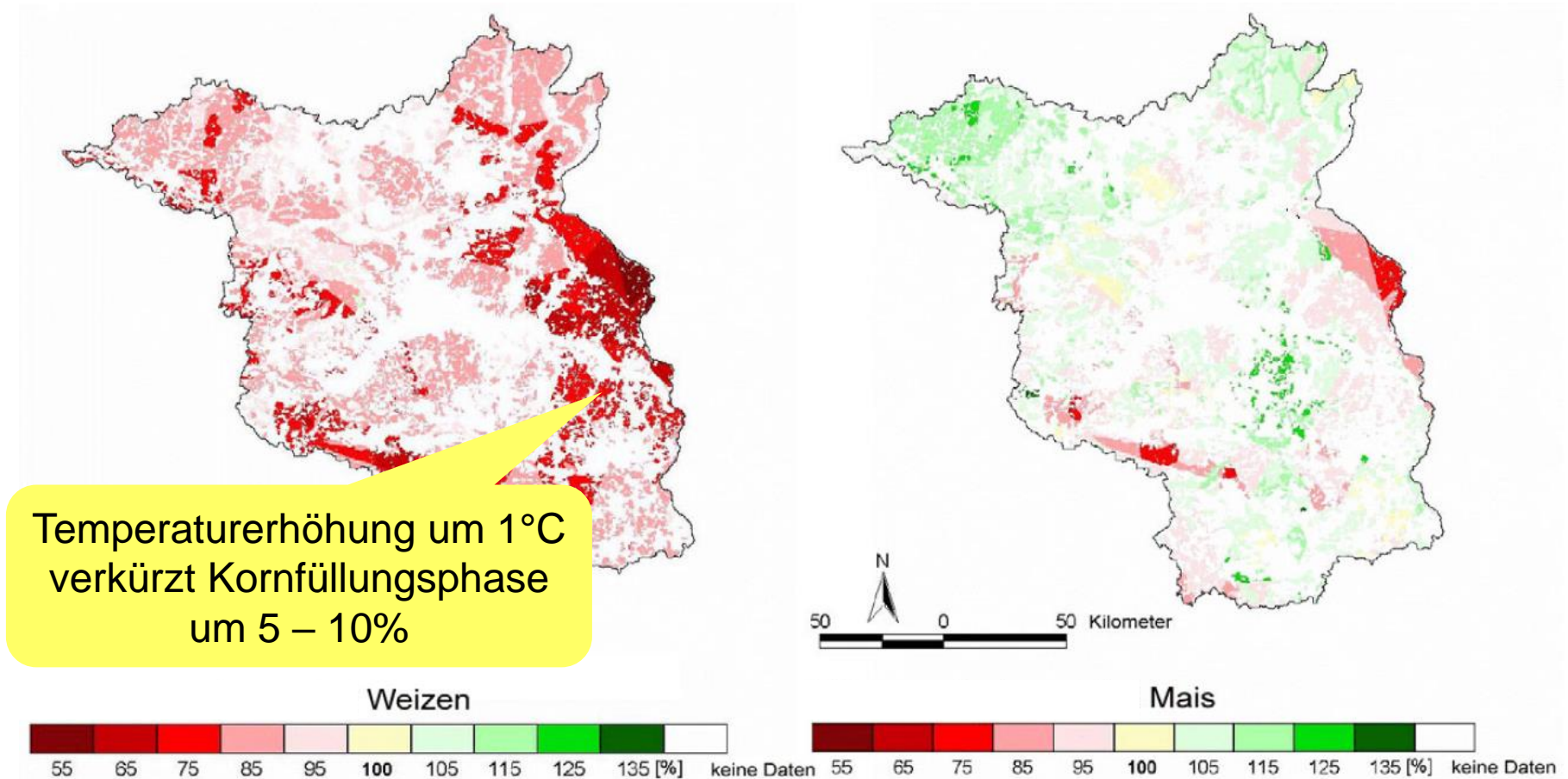
- Wasserverbrauch steigt
- Zunahme der Atmung (verringerte Netto-Assimilation)
- Verkürzung von deterministischen Entwicklungs-/Wachstumsphasen
-

=> Ertrag/Qualität 



Ertragsveränderungen bei Weizen und Mais in Brandenburg

Vergleich 1980/90 zu 2040/50 **ohne CO₂-Effekt**

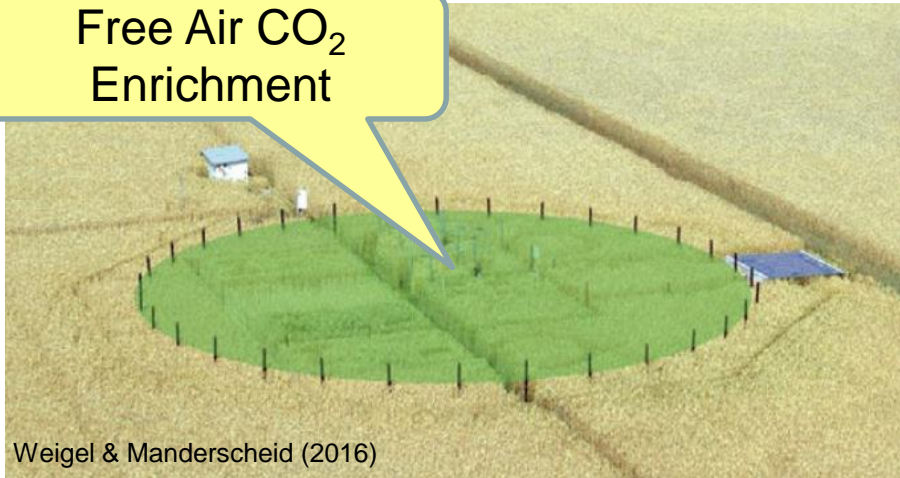


Lahmer (2006)

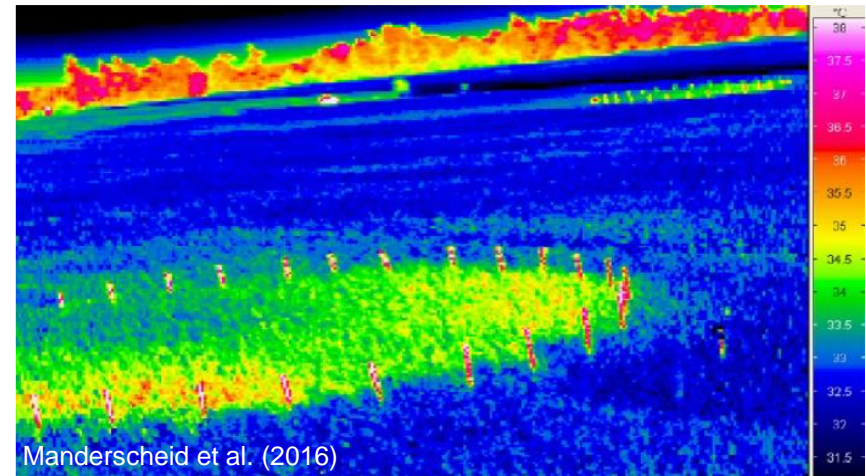


Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen auf das Pflanzenwachstum

Free Air CO₂
Enrichment



Weigel & Manderscheid (2016)



Manderscheid et al. (2016)

Kultur	Stickstoff-düngung	Parameter	CO ₂ -Effekt (%)
Gerste	100	Kornertrag	+ 12,0
	50		+ 13,1
Weidelgras	100	Oberirdische Biomasse	+ 8,8
	50		+ 9,8
Zuckerrübe	100	Zuckerertrag	+ 10,3
	50		+ 14,2
Weizen	100	Kornertrag	+ 15,6
	50		+ 11,7

Weigel & Manderscheid (2016)

Face-Experiment Thünen-Institut

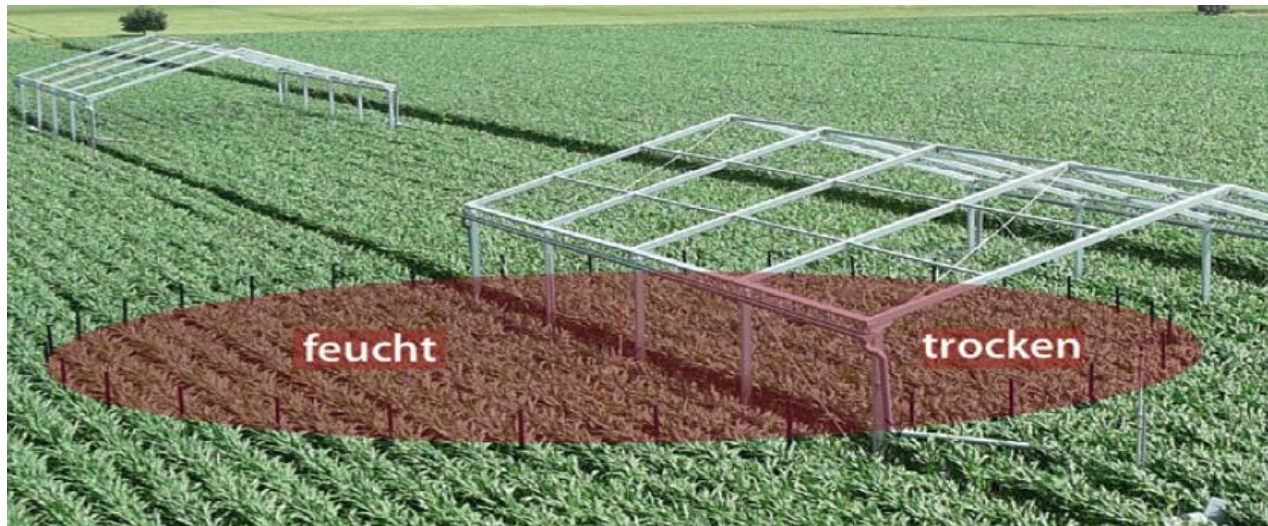
- höhere Erträge bei C3-Pflanzen
- verminderte Blatttranspiration führt zu erhöhter Bestandestemperatur und Bodenfeuchte
- bei C4-Pflanzen ist CO₂-Düngeeffekt nur bei reduzierter Wasserversorgung feststellbar



Wechselwirkungen zwischen CO₂-Konzentration und Wasserverfügbarkeit

Mais		„trocken“			„nass“		
		AMB	FACE	% ^a	AMB	FACE	% ^a
TM-Ertrag (g/m ²)	2007	2139 ± 53	2154 ± 58	1	2138 ± 17	2184 ± 52	2
	2008	1722 ± 51	2131 ± 78	24	2248 ± 28	2248 ± 38	0
TKM (g)	2007	248 ± 8	258 ± 3	4	247 ± 4	247 ± 2	0
	2008	235 ± 5	265 ± 5	13	275 ± 3	281 ± 2	2
Korn-Ertrag (g/m ²)	2007	1004 ± 18	1017 ± 38	1	1038 ± 21	1029 ± 25	-1
	2008	729 ± 45	1024 ± 54	41	1125 ± 13	1117 ± 15	-1

Manderscheid et al. (2014)



Weigel & Manderscheid (2016)



Anpassungsoptionen im Bereich „Pflanzenernährung und Düngung“

- N-Düngung
 - Ableitung der notwendigen N-Menge/N-Form
 - N-Verteilung (Beschränkung der Biomasse)
 - Strategie bei Vorsommertrockenheit
- K-Düngung in der Vegetation
 - Verbesserung der Wassereffizienz
- Blattapplikation
- Mikronährstoffversorgung
-

.... diese (oder ähnliche) Hinweise finden sich in vielen Stellungnahmen zum Klimawandel!



Veränderte Niederschlagsverteilung

Längere Trockenphasen

niedrige Bodenwassergehalte beeinflussen

- Mineralisation
- Diffusion & Massenfluss
- Nährstoffaufnahme

verringerte Wasseraufnahme für Pflanzen führt u.a. zu

- länger geschlossen Stomata
- höhere Blattemperatur durch geringere Transpiration
- insgesamt reduzierte Photosynthese
- vermehrte Produktion von ROS
- ...

Häufigere Starkniederschläge

Nährstoffverlust durch

- Erosion / oberflächlicher Abtrag
- Nährstoffauswaschung

Wassersättigung im Boden bewirkt u.a.

- Sauerstoffmangel für Wurzeln
- erhöhte Denitrifikation



Veränderte Niederschlagsverteilung

Längere Trockenphasen

niedrige Bodenwassergehalte beeinflussen

- Mineralisation
- Diffusion & Massenfluss
- Nährstoffaufnahme

verringerte Wasseraufnahme für Pflanzen führt u.a. zu

- länger geschlossen Stomata
- höhere Blattemperatur durch geringere Transpiration
- insgesamt reduzierte Photosynthese
- vermehrte Produktion von ROS
- ...

Häufigere Starkniederschläge

Nährstoffverlust durch

- Erosion / oberflächlicher Abtrag
- Nährstoffauswaschung

Vollwassersättigung im Boden bewirkt u.a.

- Sauerstoffmangel für Wurzeln
- erhöhte Denitrifikation

Welche Gegenmaßnahmen sind denkbar?



Wirkung einer Bor-Blattdüngung auf Ertrag und Qualität bei Zuckerrüben

Hypothese: Beweglichkeit von Bor im Boden bei niedrigen Bodenwassergehalten eingeschränkt => B-Blattdüngung zu ZR erhöht Erträge/Zuckergehalte und BZE

78 Versuche (1995 – 2006)

8 Versuche (2000 – 2006)

	Ertrag	BZE	Zucker	SMV		Ertrag	BZE	Zucker	SMV
	[t/ha]		[%]			[t/ha]		[%]	
Kontrolle	68,3	11,61	17,01	1,35		51,9	8,11	15,56	1,45
Bor [0,75 kg/ha]	68,2	11,60	17,01	1,36		58,8	9,54	16,17	1,37
GD 5%	n.s.	n.s.	n.s.	0,01		4,0	1,03	n.s.	0,07

RRV (2007)



Veränderte Niederschlagsverteilung

Längere Trockenphasen

niedrige Bodenwassergehalte beeinflussen

- Mineralisation
- Diffusion & Massenfluss
- Nährstoffaufnahme

verringerte Wasseraufnahme für Pflanzen führt u.a. zu

- länger geschlossen Stomata
- höhere Blattemperatur durch geringere Transpiration
- insgesamt reduzierte Photosynthese
- vermehrte Produktion von ROS
- ...

Häufigere Starkniederschläge

Nährstoffverlust durch

- Erosion/ oberflächlicher Abtrag
- Nährstoffauswaschung

Wassersättigung im Boden bewirkt u.a.

- Sauerstoffmangel für Wurzeln
- ...

Welche Gegenmaßnahmen sind denkbar?



Blattapplikation von Mikronährstoffen zur Abmilderung von Wasserstress

Gefäßversuch		Korn-Ertrag		Wassernutzungs-effizienz		Photosynthese-rate	
		g/Gefäß		g/L		mg CO ₂ /m/s	
adequate Wasserversorgung	Kontrolle	20,8	a	1,06	a	22,3	a
	Zn-Blatt *	19,2	a	0,98	a	23,3	a
Trockenstress	Kontrolle	13,9	B	0,96	B	17,6	B
	Zn-Blatt *	15,8	A	1,08	A	23,7	A
Feldversuch		Korn-Ertrag		Wassernutzungs-effizienz		Photosynthese-rate	
		t/ha		g/l		mg CO ₂ /m/s	
adequate Wasserversorgung	Kontrolle	5,6	a	1,48	a	16,8	a
	Zn-Blatt *	5,8	a	1,53	a	16,9	a
Trockenstress	Kontrolle	4,8	B	1,87	B	4,8	B
	Zn-Blatt *	5,6	A	2,15	A	8,7	A

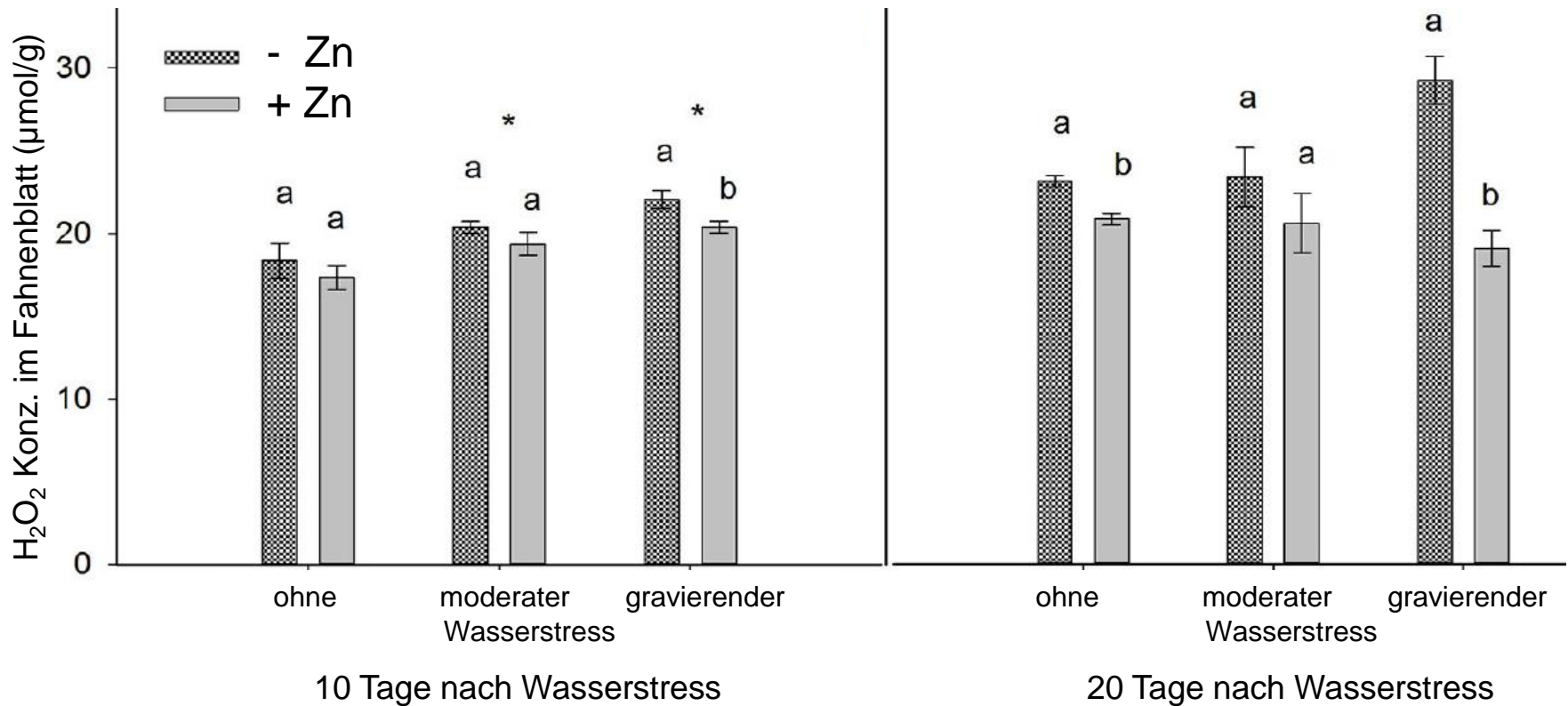
* 4 Zn-Blattapplikationen von Schossen bis Blüte

Karim et al. (2012)



Bodenapplikation von Mikronährstoffen zur Abmilderung von Wasserstress

Veränderung der Wasserstoffperoxid-Gehalte im Fahnenblatt

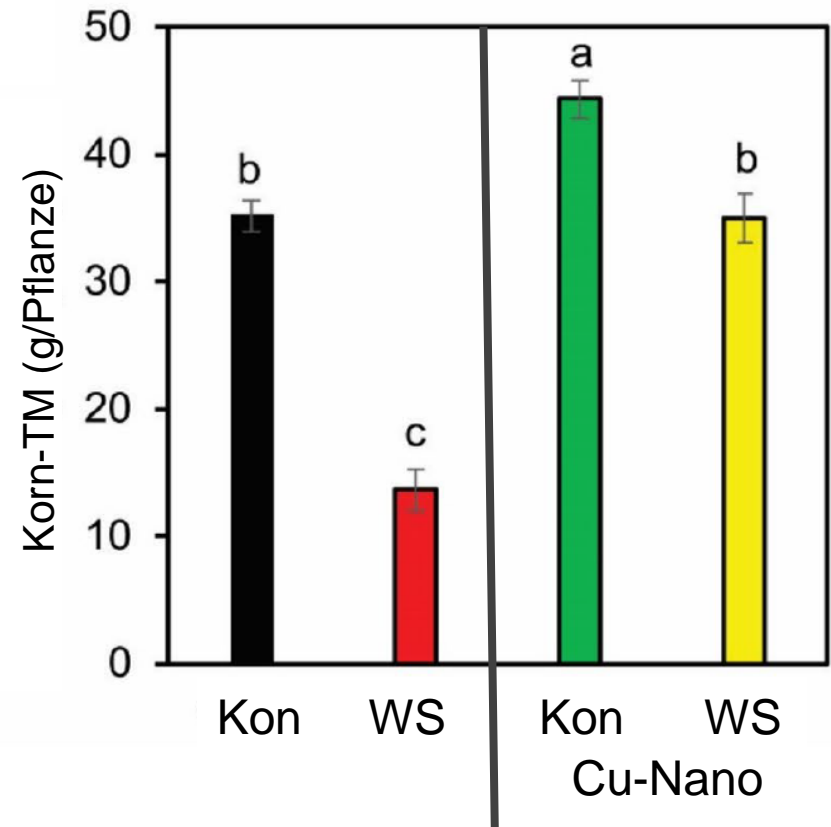
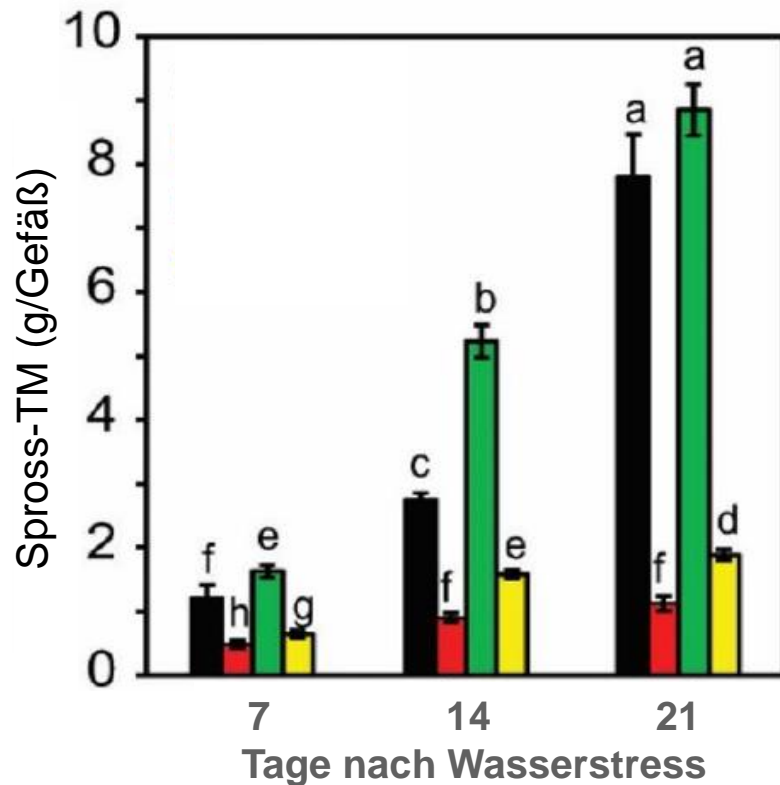


Ma et al. (2017)



Applikation von Cu-Nanopartikeln zur Abmilderung von Wasserstress

Gefäßversuch mit Mais



Nguyen et al. (2021)



Veränderte Niederschlagsverteilung

Längere Trockenphasen

niedrige Bodenwassergehalte
beeinflussen

- Mineralisation
- Diffusion & Massenfluss
- Nährstoffaufnahme

Welche Gegenmaßnahmen sind
denkbar?

Pflanzen führt u.a. zu

- länger geschlossen Stomata
- höhere Blattemperatur durch geringere Transpiration
- insgesamt reduzierte Photosynthese
- vermehrte Produktion von ROS
- ...

Häufigere Starkniederschläge

Nährstoffverlust durch

- Erosion / oberflächlicher Abtrag
- Nährstoffauswaschung

Wassersättigung im Boden bewirkt u.a.

- Sauerstoffmangel für Wurzeln
- erhöhte Denitrifikation



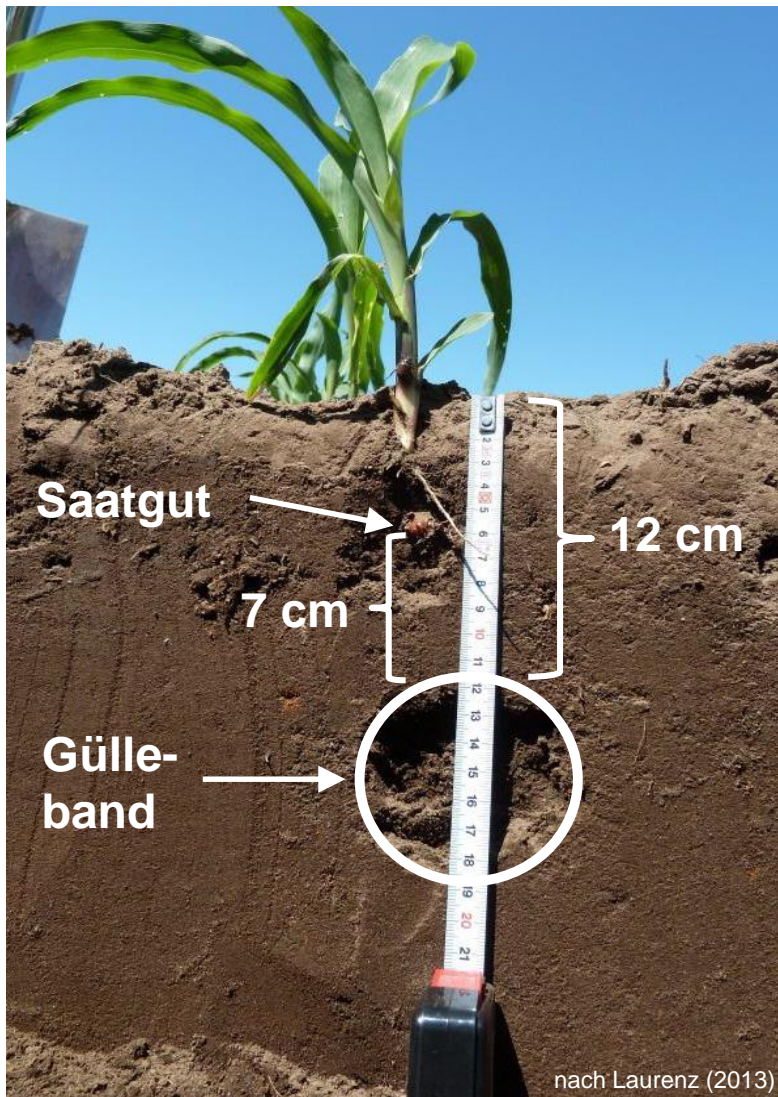
Platzierte Düngung durch Gülle-Injektion

Substitution der mineralischen Unterfußdüngung durch bandförmige Applikation von Gülle/Gärresten in den Boden

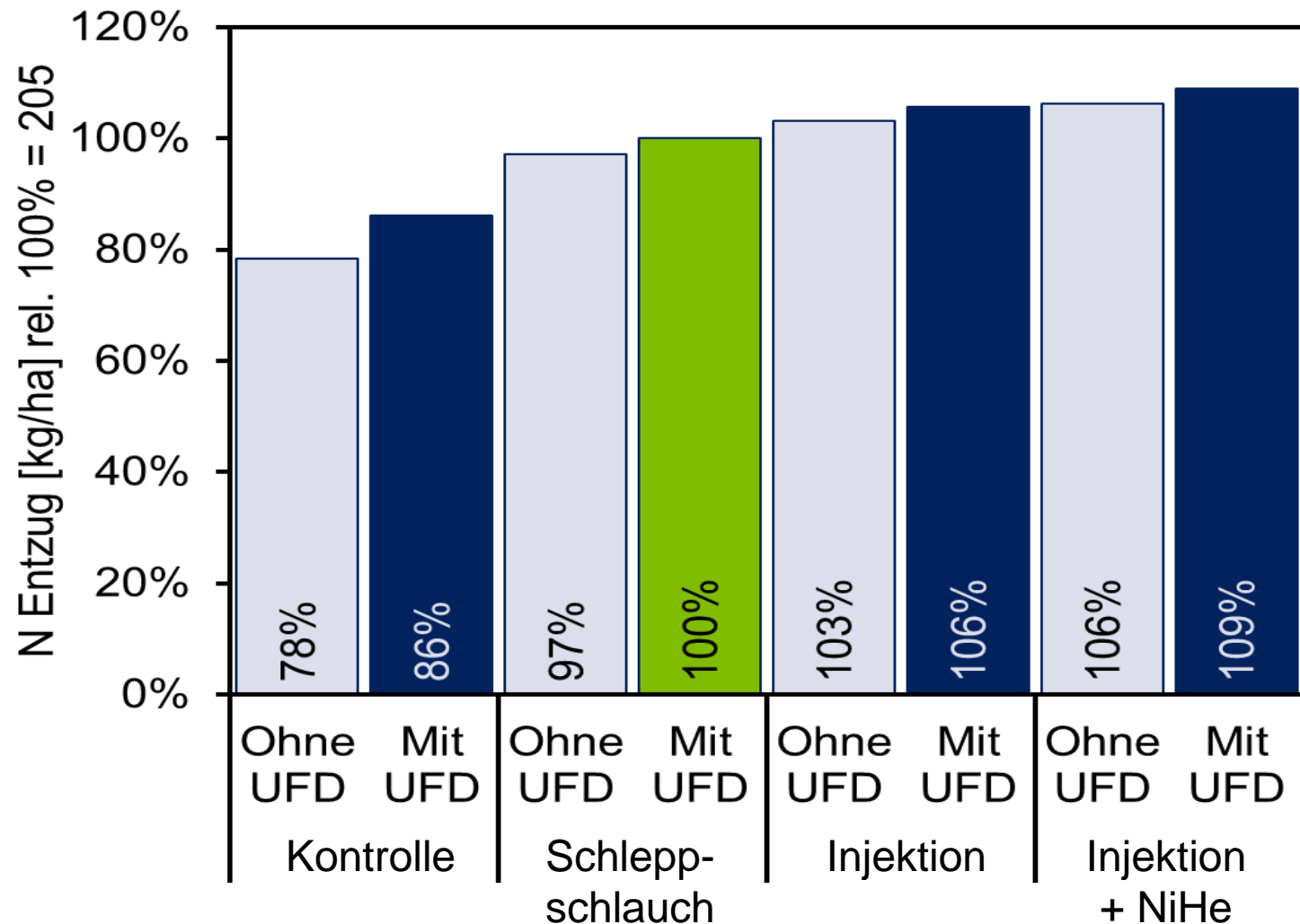
- Minimierung von NH_3 -Verlusten durch Injektion
- Reduktion der N_2O -Emissionen durch Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen
- Verbesserung der P-Aneignung durch Wurzelnähe
- Verringerung der NO_3 -Auswaschung



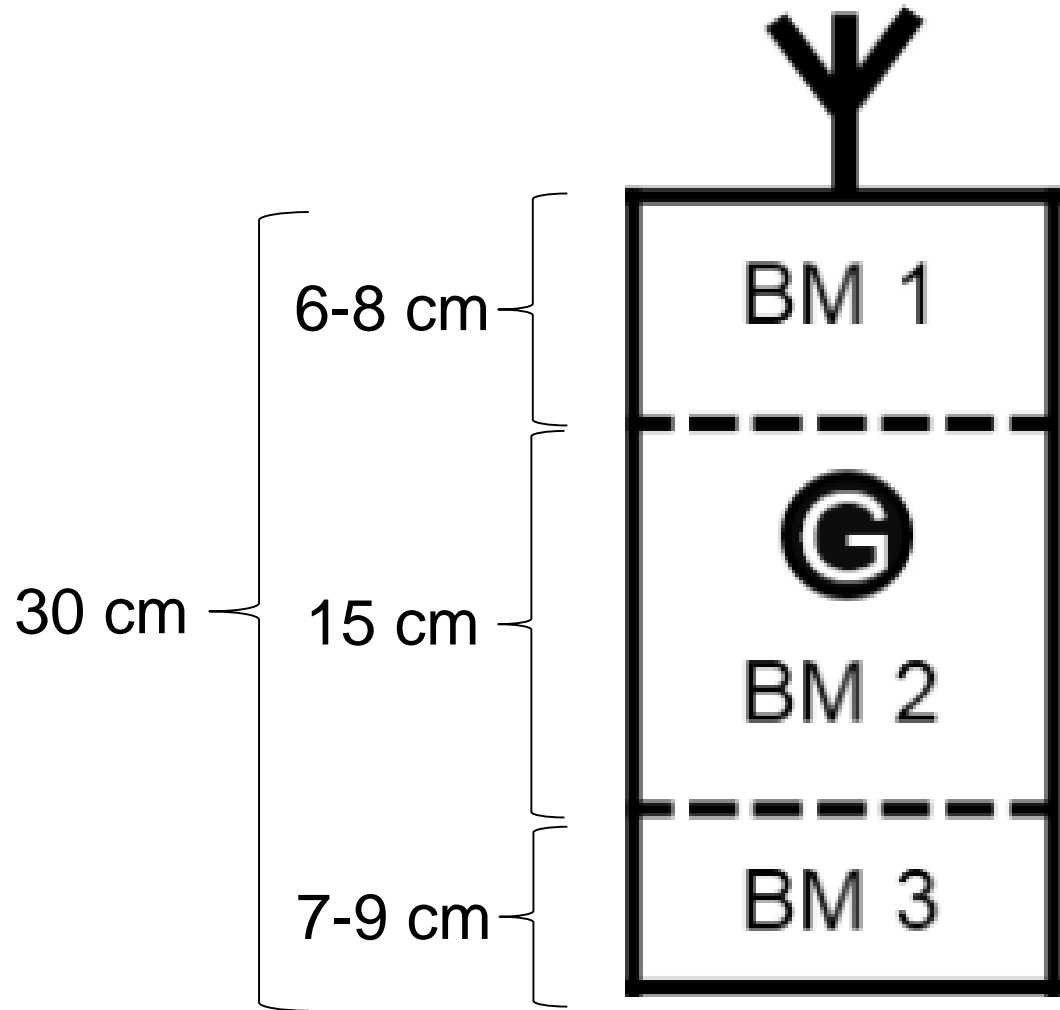
Platzierte Düngung durch Gülle-Injektion



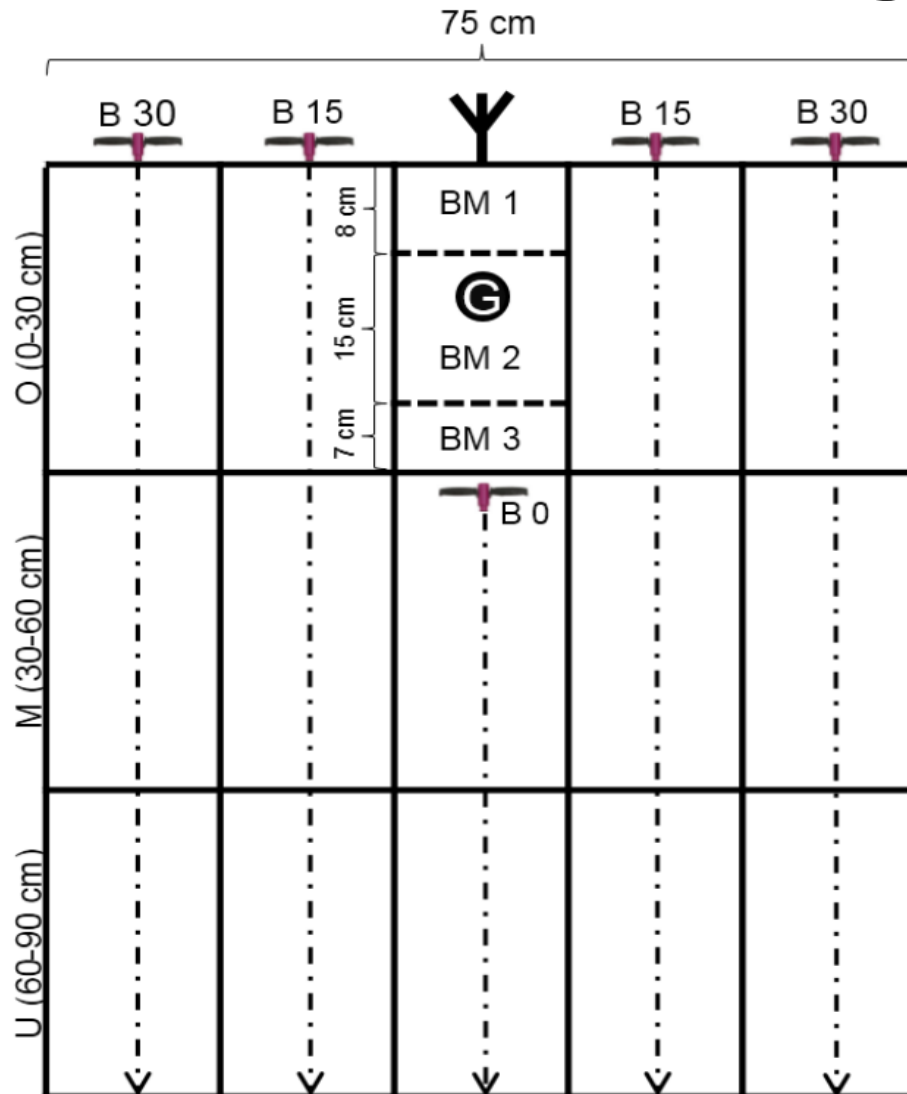
Mais-Feldversuchsserie in Nordwest-Deutschland (2013 – 2015)



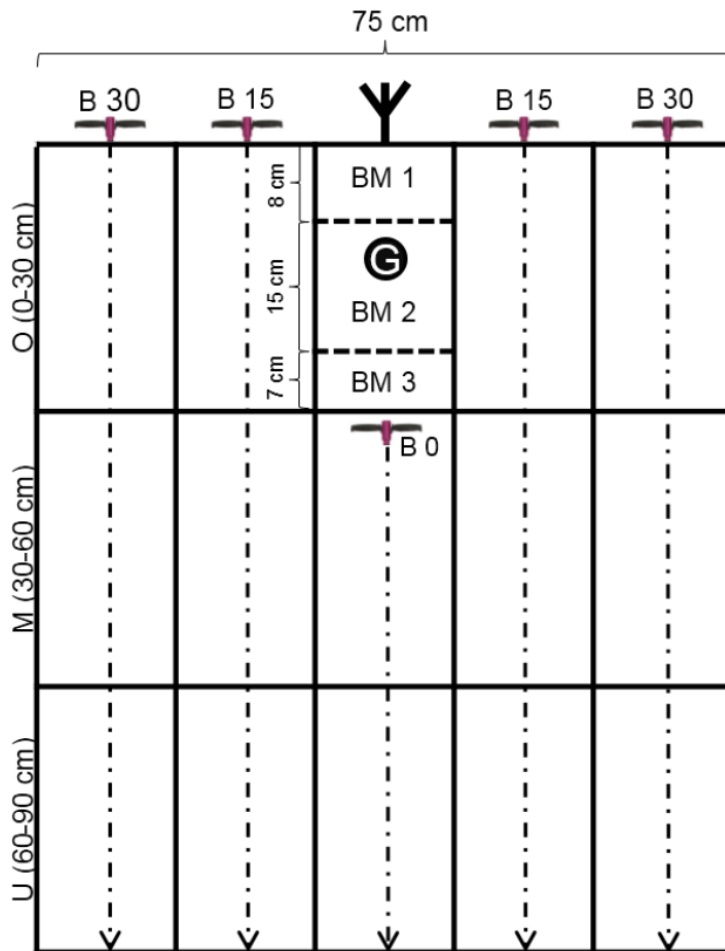
Entwicklung einer angepassten Beprobungsmethodik



Entwicklung einer angepassten Beprobungsmethodik



Boden-N_{min}-Dynamik



Bodenbeprobungsmethodik

N_{min} Konzentration
in mg/kg Boden

N-Entzug
kg/ha




Ergebnisdarstellung




Boden-N_{min}-Dynamik 2014

5. Mai 2014 (nach Auflauf des Maises = 24 Tage nach Gülle-Applikation)



		35		
19	19	45	19	19
		9,4		
3,1	3,1	4,1	3,1	3,1
1,7	1,5	1,6	1,5	1,7

Standard



		10		
4,8	6,3	220	6,3	4,8
		29		
3,3	3,5	5,1	3,5	3,3
1,6	1,6	1,8	1,6	1,6

Injektion + NiHe



Boden-N_{min}-Dynamik 2014

11. Juni 2014 (6-Blatt-Stadium = 61 Tage nach Gülle-Applikation)

13 kg/ha



4,6	7,4	4,8 2,8 5,8	7,4	4,6
11	15	15	15	11
11	12	15	12	11

Standard

21 kg/ha



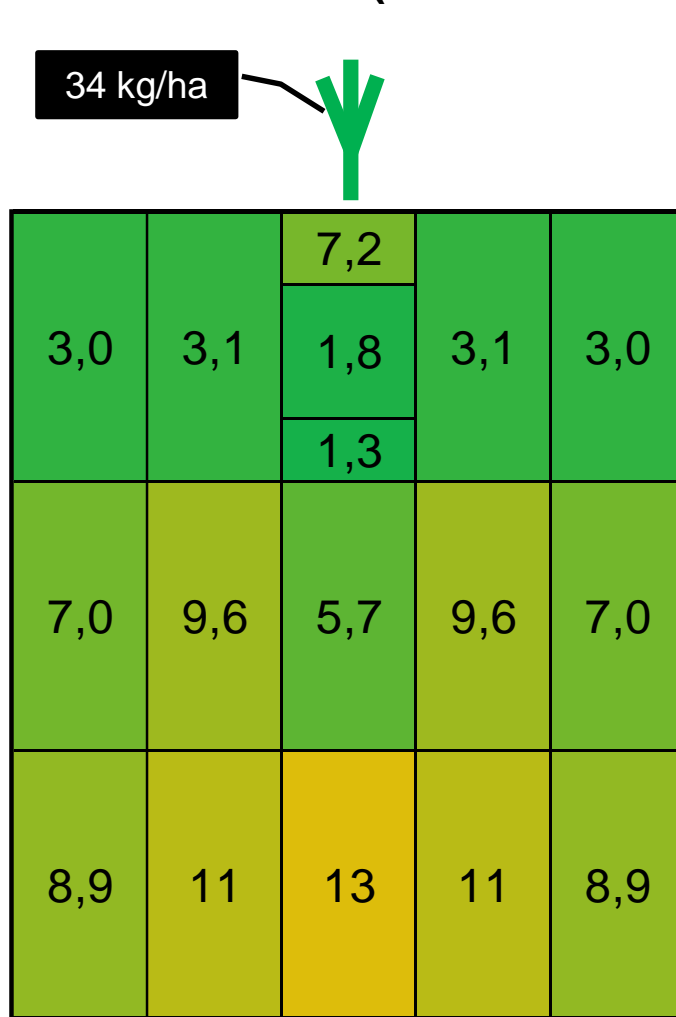
4,0	4,7	5,2 54 56	4,7	4,0
3,5	4,8	29	4,8	3,5
3,8	5,6	17	5,6	3,8

Injektion + NiHe

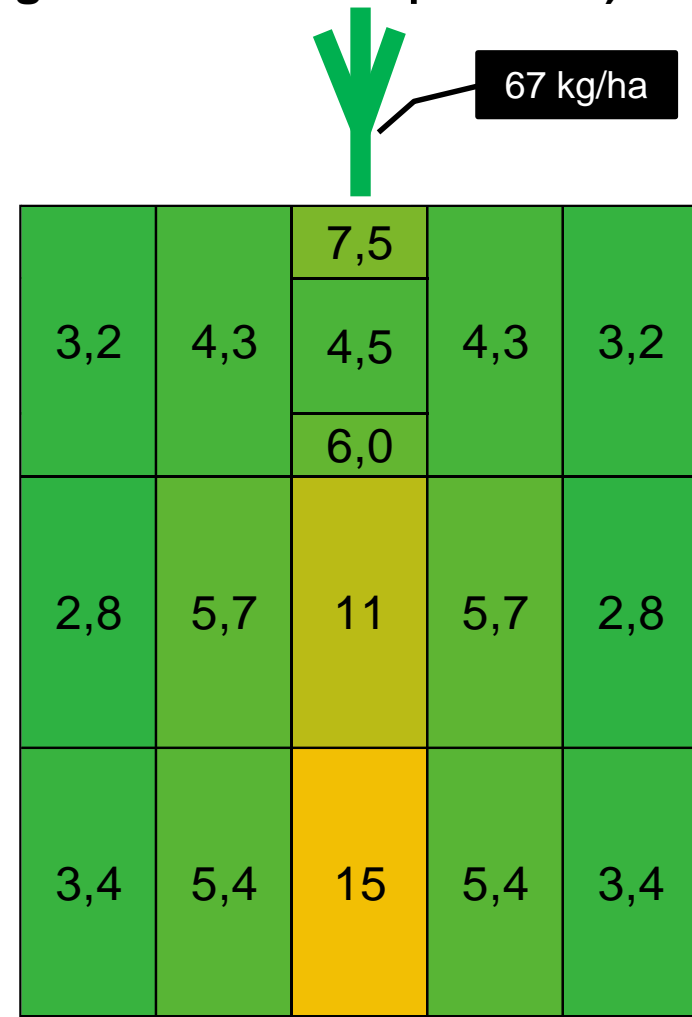


Boden-N_{min}-Dynamik 2014

2. Juli 2014 (10-Blatt-Stadium = 81 Tage nach Gülle-Applikation)



Standard

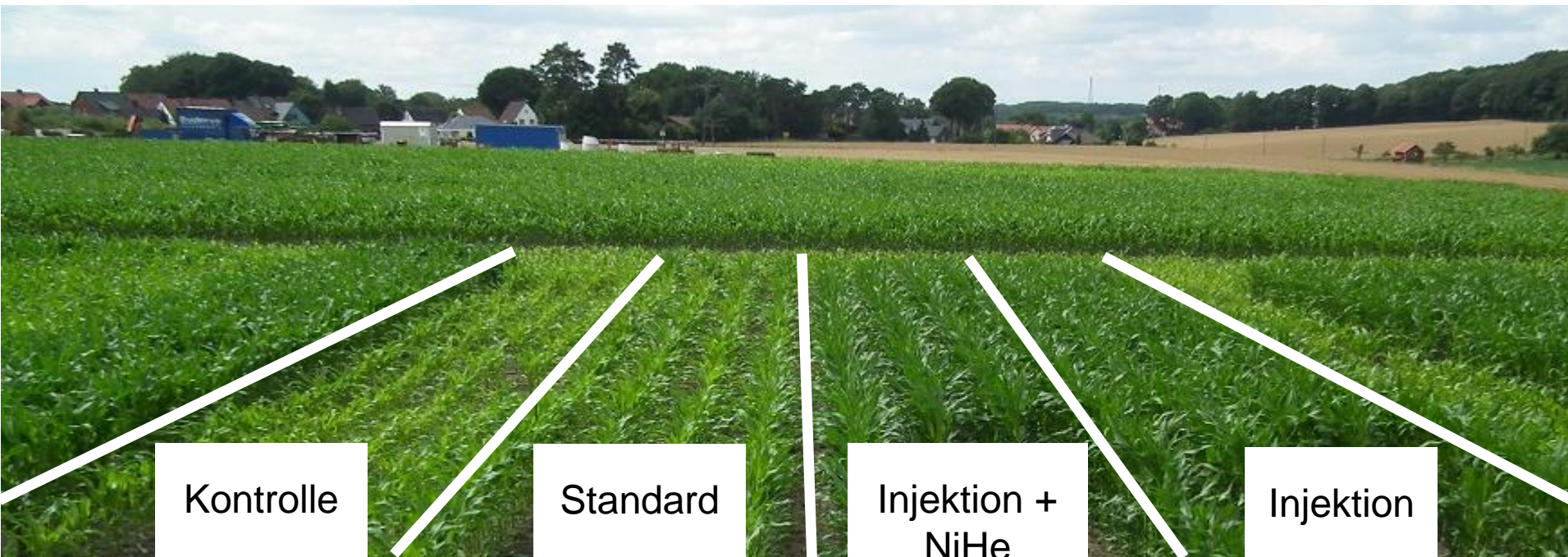


Injektion + NiHe



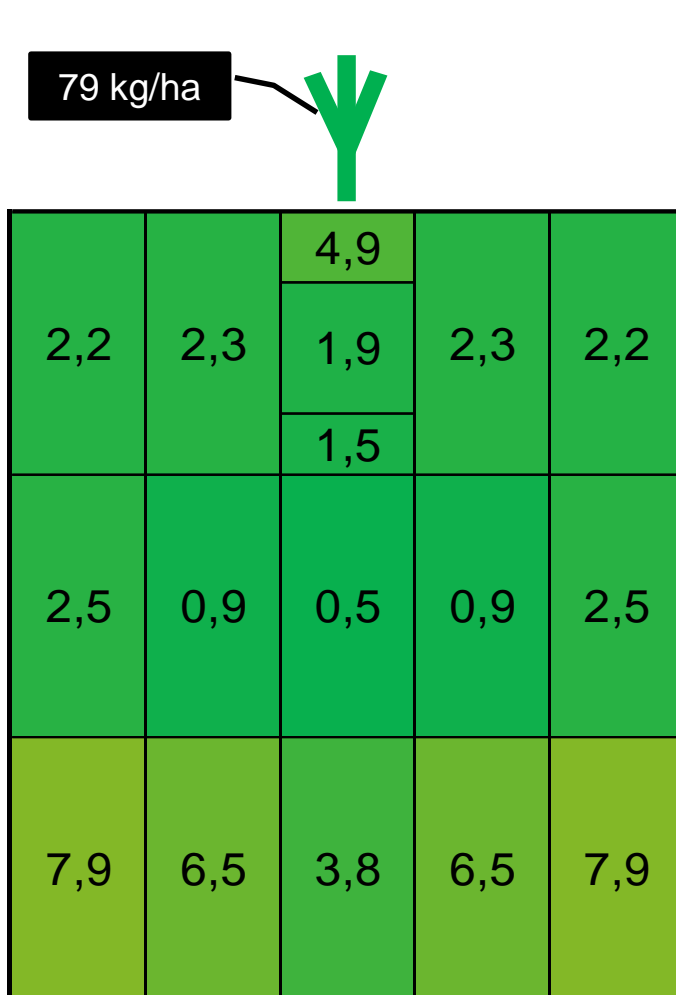
Blick in den Bestand

2. Juli 2014 (10-Blatt-Stadium = 81 Tage nach Gülle-Applikation)

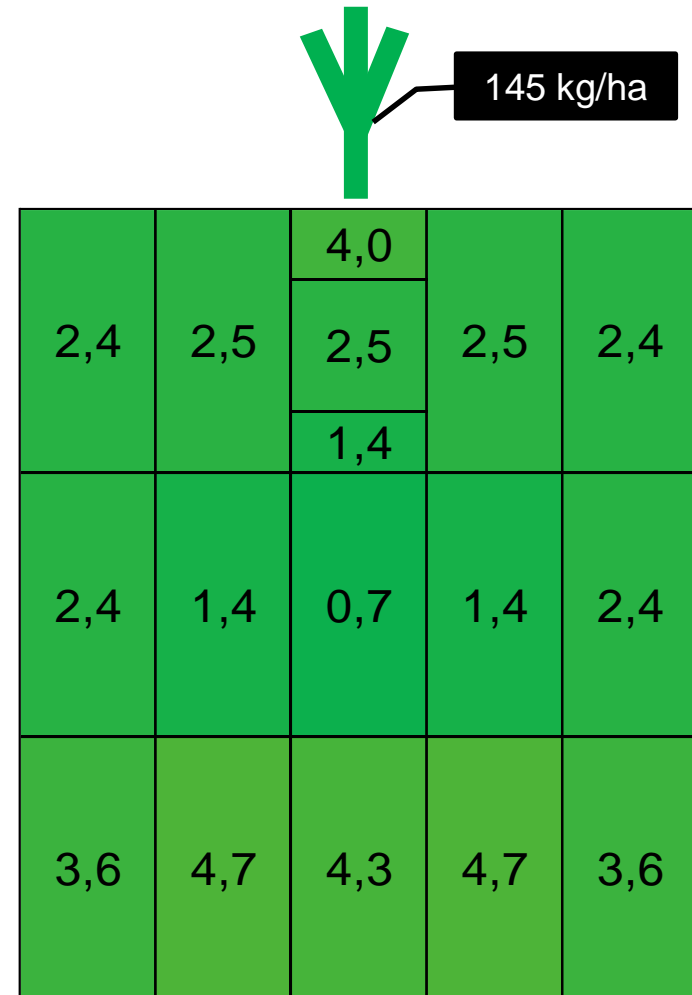


Boden-N_{min}-Dynamik 2014

Blüte (102 Tage nach Gülle-Applikation)



Standard



Injektion + NiHe



Boden-N_{min}-Dynamik 2014

Nach Ernte (185 Tage nach Gülle-Applikation)

165 kg/ha



5,9	6,2	2,8	6,2	5,9
		2,9		
		2,3		
1,6	1,6	1,3	1,6	1,6
1,6	1,0	1,0	1,0	1,6

Standard

186 kg/ha



5,2	4,9	2,9	4,9	5,2
		3,9		
		2,8		
1,3	1,5	1,7	1,5	1,3
1,3	1,0	0,7	1,0	1,3

Injektion + NiHe



Punktuelle mineralische Unterfuß-Düngung zu Mais



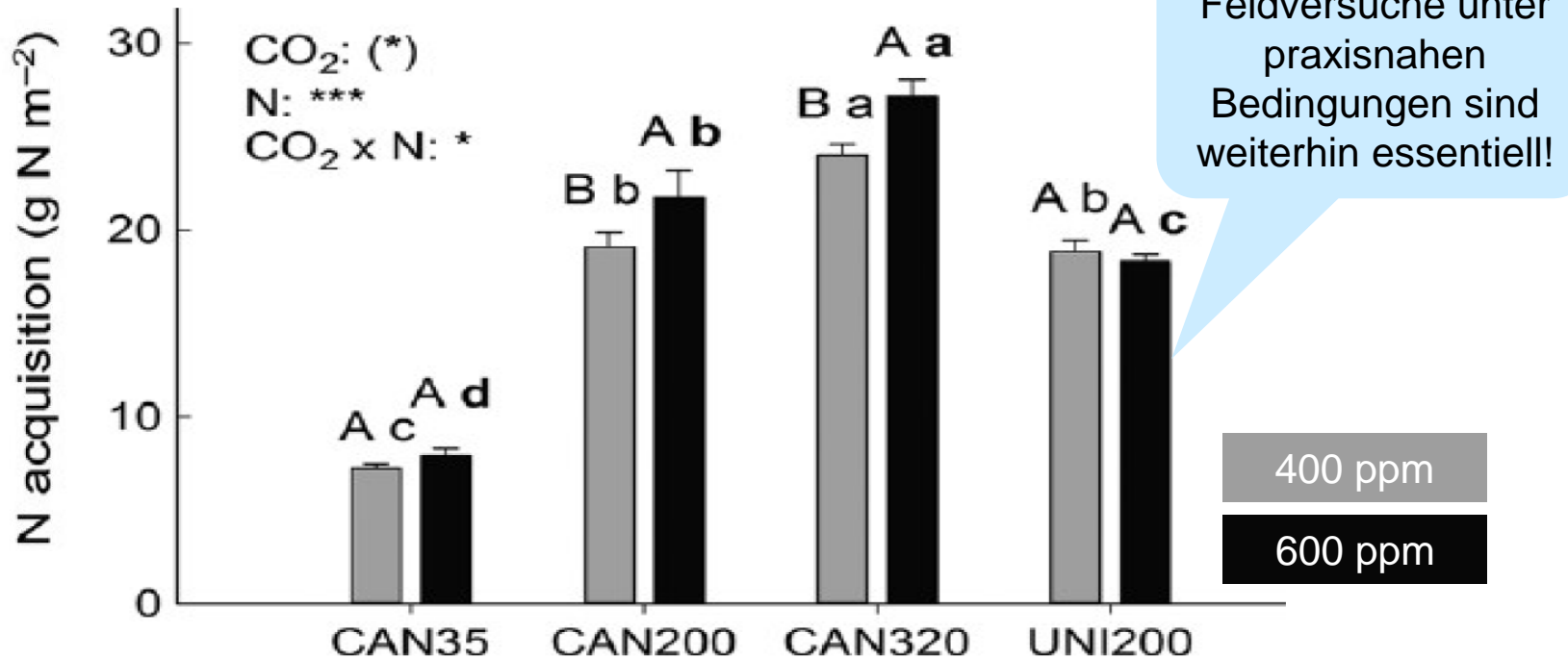
- 10 Feldversuche (2017 – 2019)
- lehmige Sande – schluffige Lehme
- P-Versorgungsstufe: B – E

Aufwandmenge DAP	Platzierung	Relativer TM-Ertrag in %	
		Körnermais *	Silomais
0 %	–	92 ^{a **}	94 ^a
50 %	punktuell	100 ^b	102 ^{bc}
75 %	konventionell	96 ^a	98 ^{ab}
	punktuell	102 ^b	103 ^{bc}
100 %	konventionell (Referenz)	100 ^b	100 ^b
	punktuell	106 ^c	107 ^c

Bouten et al. (2020)



Wechselwirkungen zwischen CO₂ und N-Düngermenge und -form



Variante

18-03-2015 28-04-2015 11-05-2015 11-06-2015 Gesamt

KAS 35 <=	CAN35	15	15		5	35
KAS 200 <=	CAN200	70	35	35	60	200
KAS 320 <=	CAN320	120	60	60	80	320
Harnstoff+NiFi <=	UNI200	70	35	35	60	200

Dier et al. (2017)



... und was ist sonst noch zu bedenken?

- Erfassung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden über Bodenanalysen (oder zukünftig über entsprechende Nährstoffsensoren)
- Bewertung der Nährstoffnachlieferung aus den Bodenvorräten (unter Berücksichtigung der kurz- und mittelfristigen Wetterprognosen)
- realistische Abschätzung (und fortlaufende Anpassung) der Ertragserwartung insbesondere in Abhängigkeit von dem nutzbaren Bodenwasserangebot (nach Teilflächen differenziert)
- (kontinuierliche) Erfassung des Nährstoffversorgungsstatus der Pflanzen
- Verknüpfung der Informationen über sogenannte „Decision Support“-Modelle



Was bleibt festzuhalten?

➤ Klimawandel führt zu

- ✓ höheren CO₂-Konzentrationen
- ✓ höheren Jahresdurchschnittstemperaturen und zu häufigeren Temperaturextremen
- ✓ Jahresniederschlagssummen ändern sich nur wenig, aber es muss mit längeren Trockenperioden und vermehrt mit Starkniederschlagsereignissen gerechnet werden

➤ Düngungsmaßnahmen müssen situativ angepasst werden

- ✓ Düngerapplikationszeitpunkte
 - vorziehen um günstige Bodenwasserbedingungen auszunutzen
 - kurzfristig entsprechend der erwartbaren Niederschlägen ansetzen
- ✓ Düngermengen kontinuierlich an Ertragserwartung anpassen in Abhängigkeit von
 - Niederschlag und Bodenwasserangebot
 - Nährstoffangebot des Bodens
- ✓ Düngerform (inkl. Zuschlagsstoffe)
 - schnelle direkte ODER langsam „kontinuierliche“ Freisetzung der Nährstoffe (s.o.)
 - Löslichkeit zur Einwaschung in den Boden beachten
- ✓ Düngerplatzierung
 - bessere räumliche Zugänglichkeit für Wurzeln
 - geringeres Risiko der Nährstofffestlegung im Boden

