

LfULG-ISS Plauen, Winterschulung, 15.01.2025

# Kalkdüngung als Risikoabsicherung für die Auswirkungen des Klimawandels

Dr. Andreas Weber



NATURKALK  
**BDG**

Bayerische Düngekalk Werbe- und Marketing GmbH

Gewerbepark A 8  
93086 Wörth a.d. Donau

[www.bdg-wm.de](http://www.bdg-wm.de)



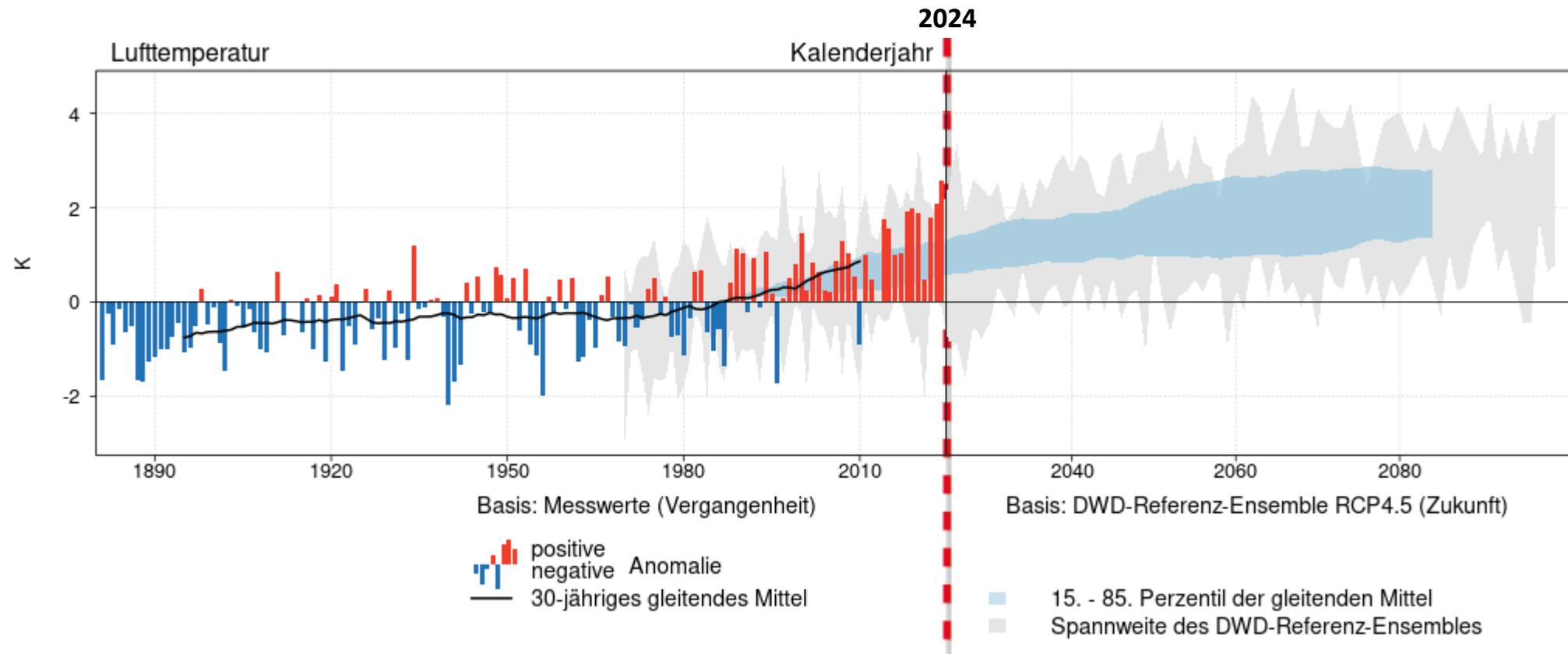
**Hitze, Dürre oder Nässe ?  
– den Boden wappnen gegen Wetterstress!**



# Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen

## Temperatur-Abweichungen in Sachsen

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

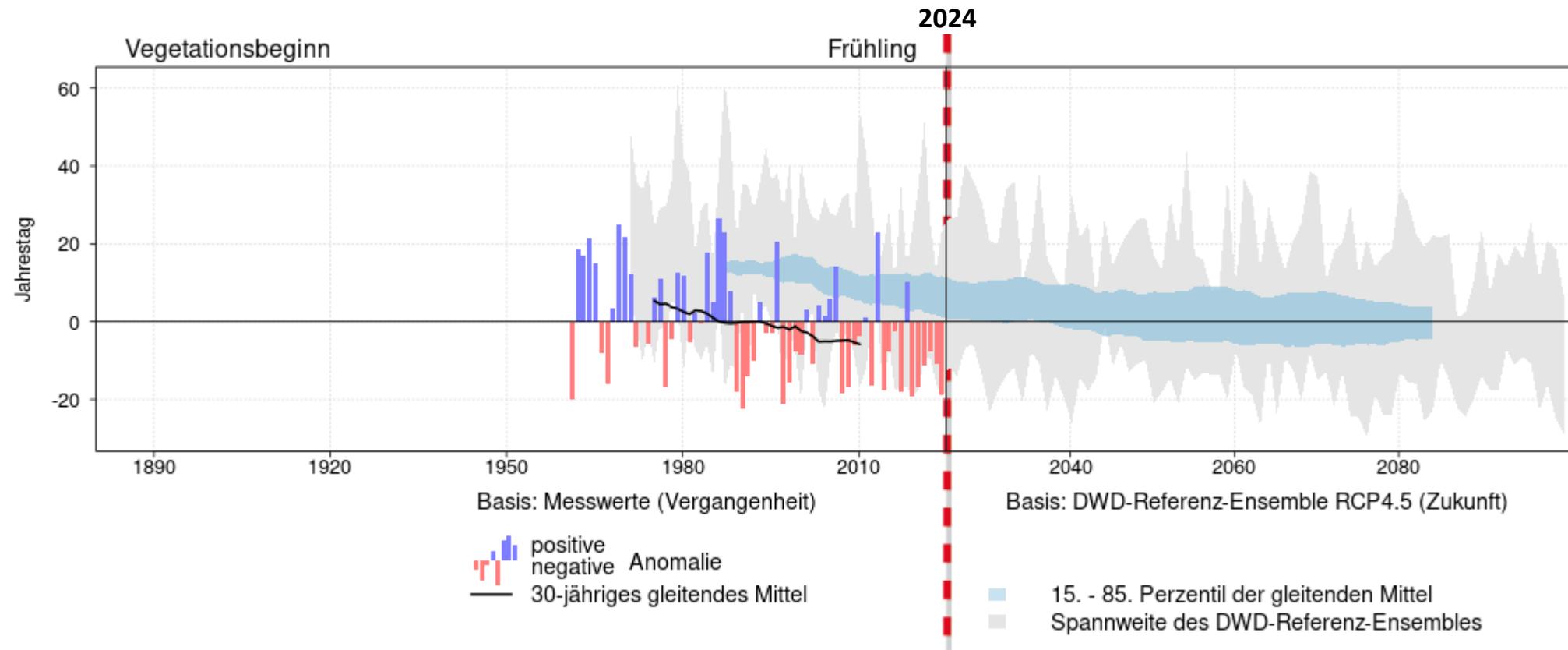


Quelle: Deutscher Wetterdienst

# Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen

## Abweichungen des Vegetationsbeginns in Sachsen

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

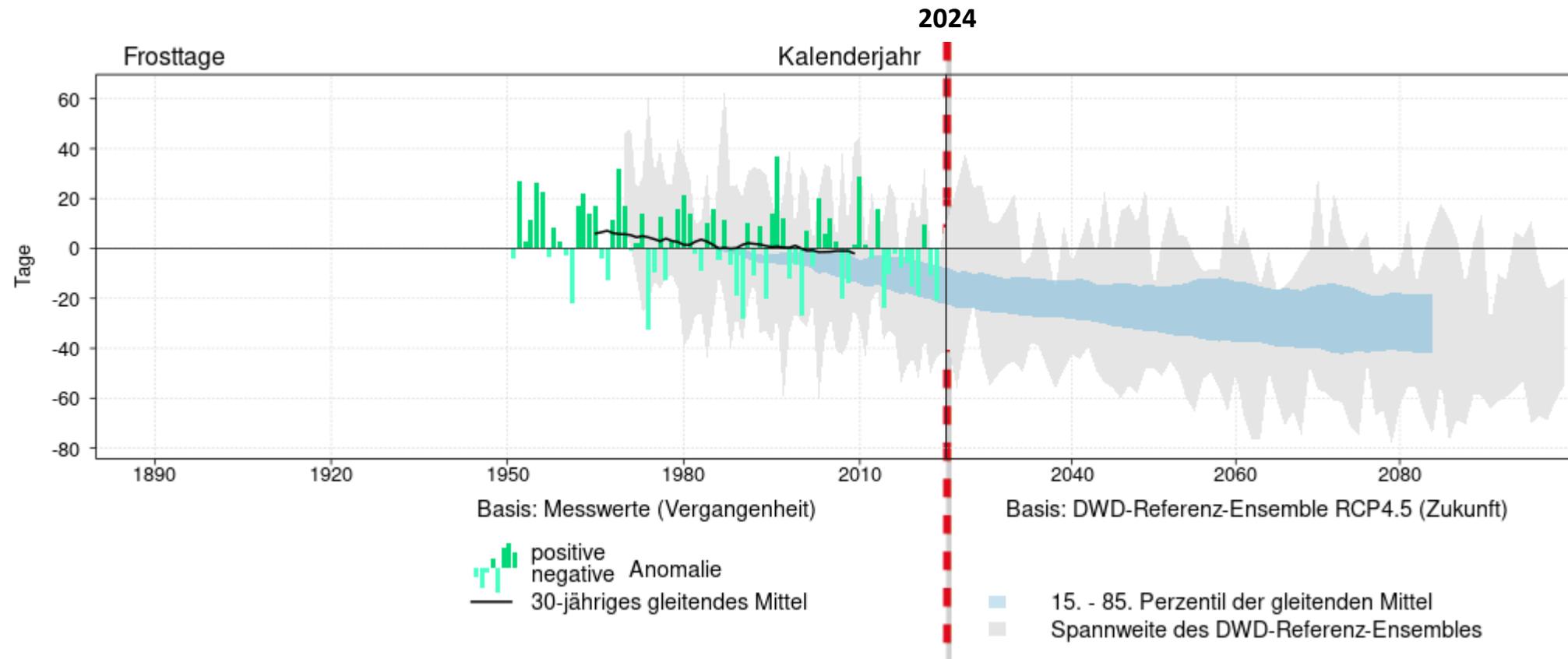


Quelle: Deutscher Wetterdienst

# Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen

## Abweichungen Frosttage (<0° C) in Sachsen

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

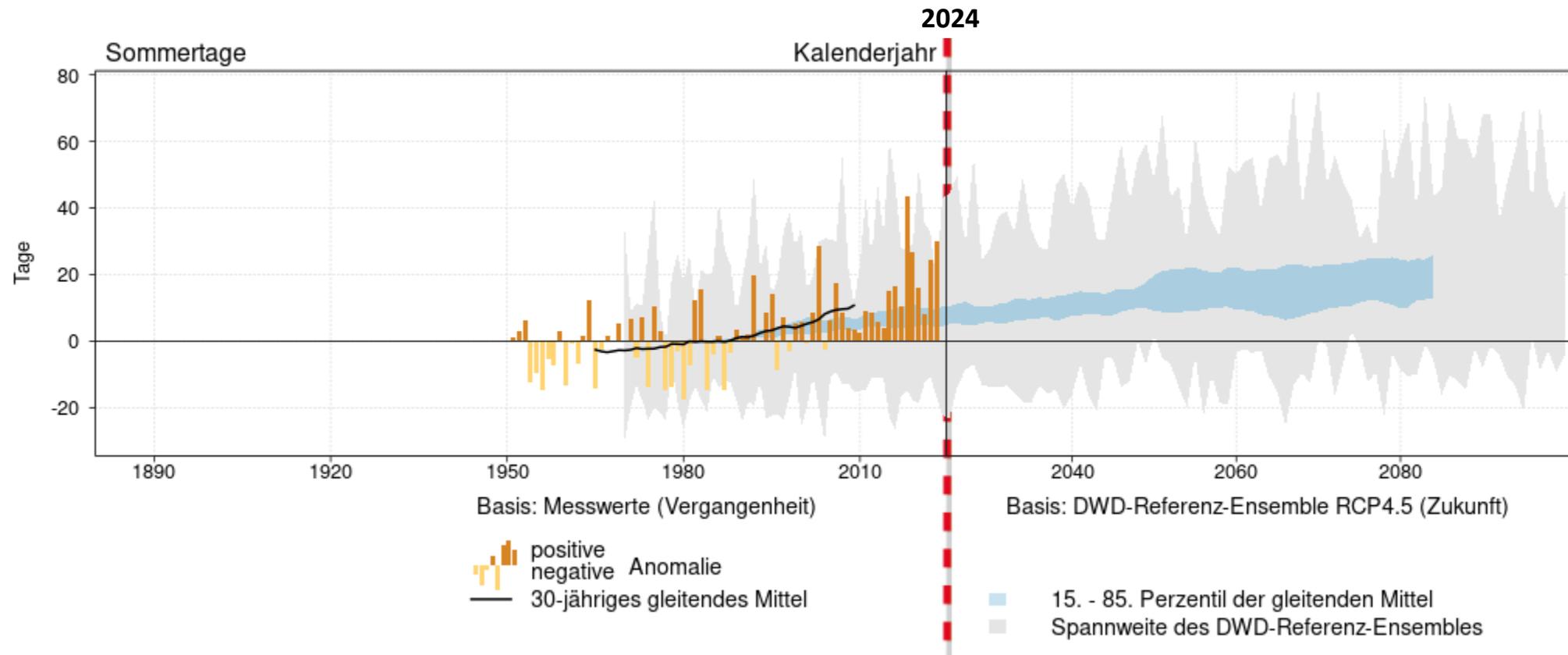


Quelle: Deutscher Wetterdienst

# Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen

## Abweichungen Sommertage (>25°C) in Sachsen

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

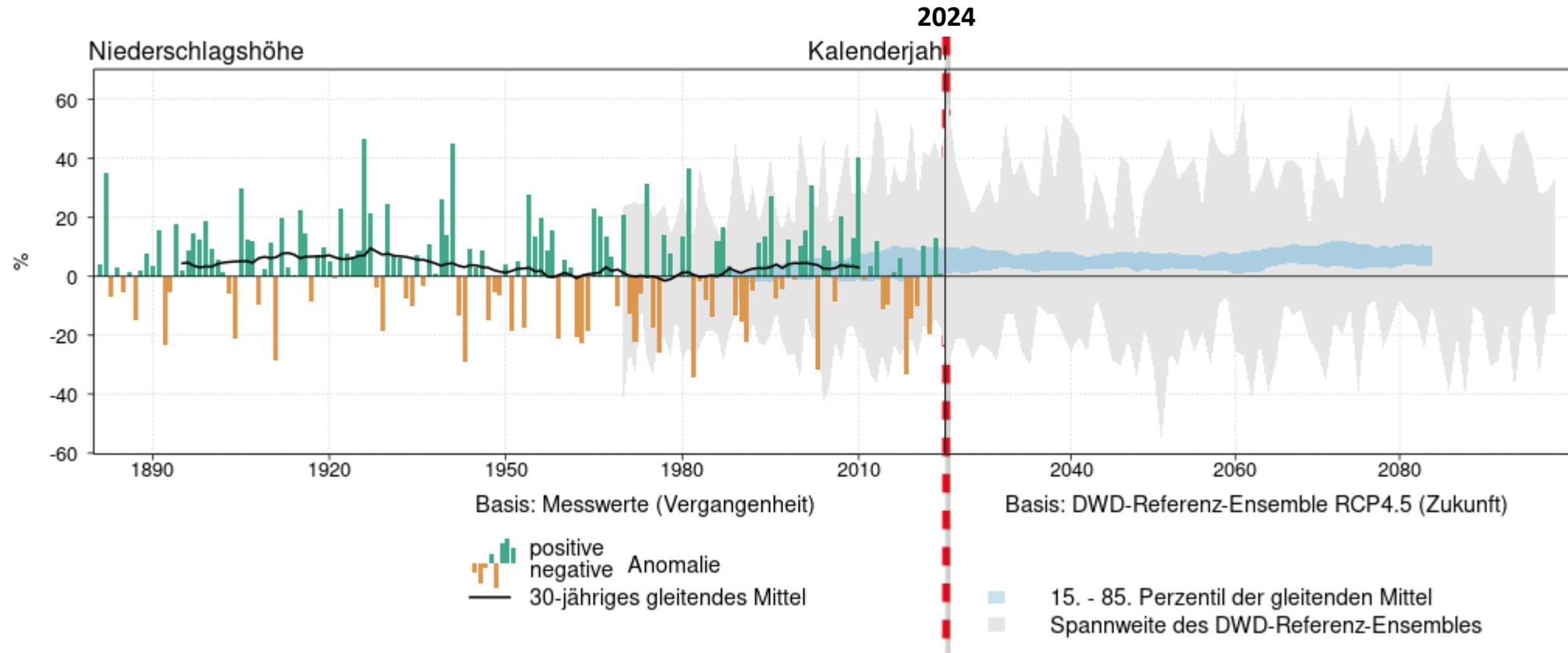


Quelle: Deutscher Wetterdienst

# Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen

## Niederschlags-Abweichungen in Sachsen

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

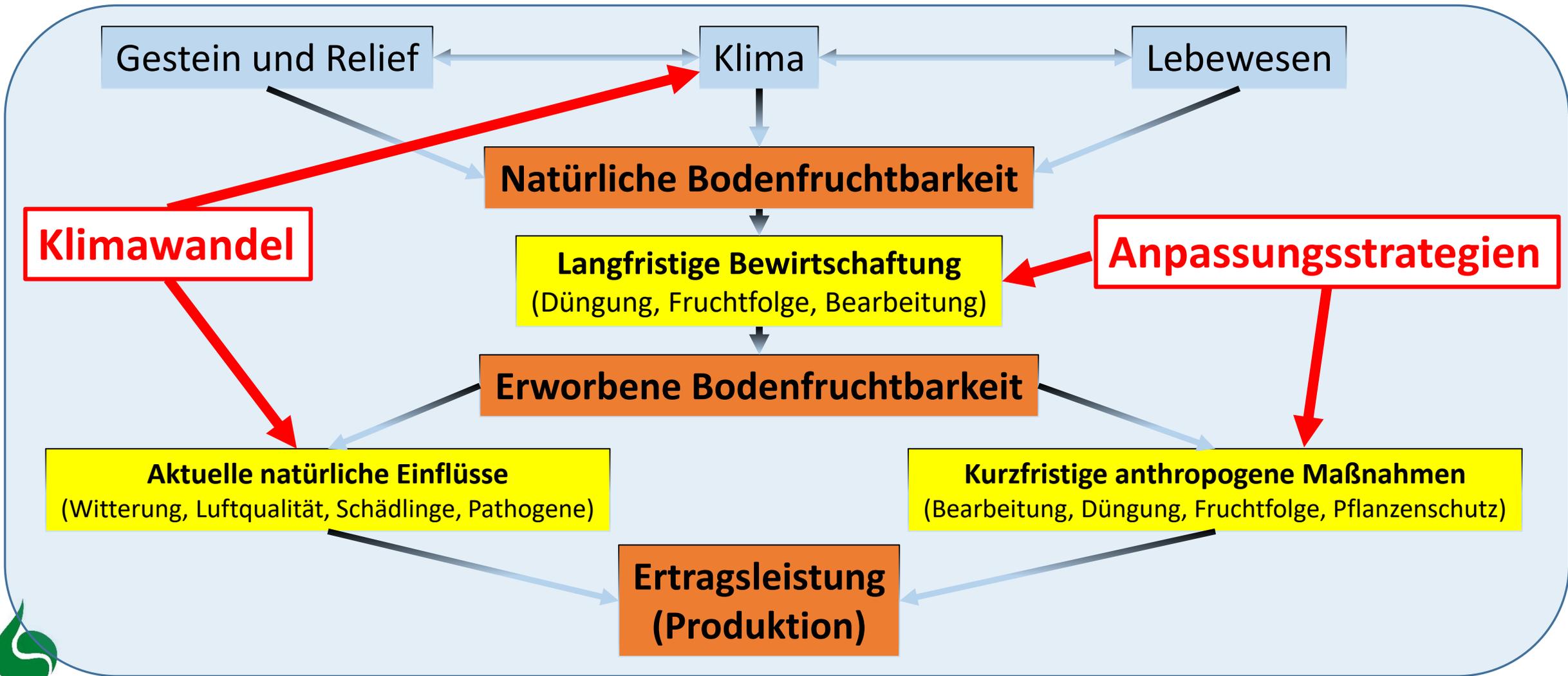


Quelle: Deutscher Wetterdienst

# Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Produktion

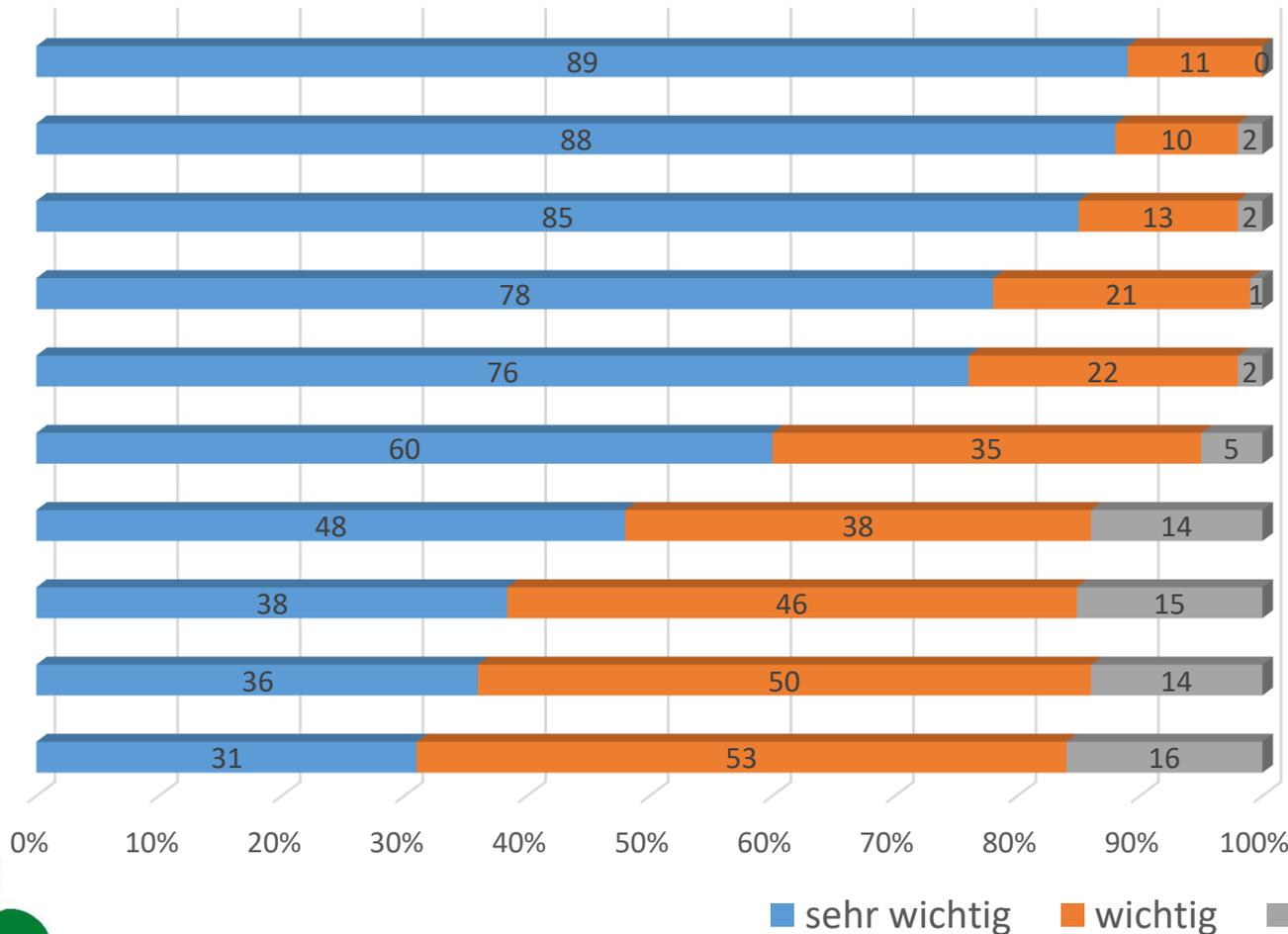


# Beziehungen zwischen Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung des Bodens in einem Agrarökosystem



# Umfrage: Einschätzung der Bedeutung von Bodeneigenschaften zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit

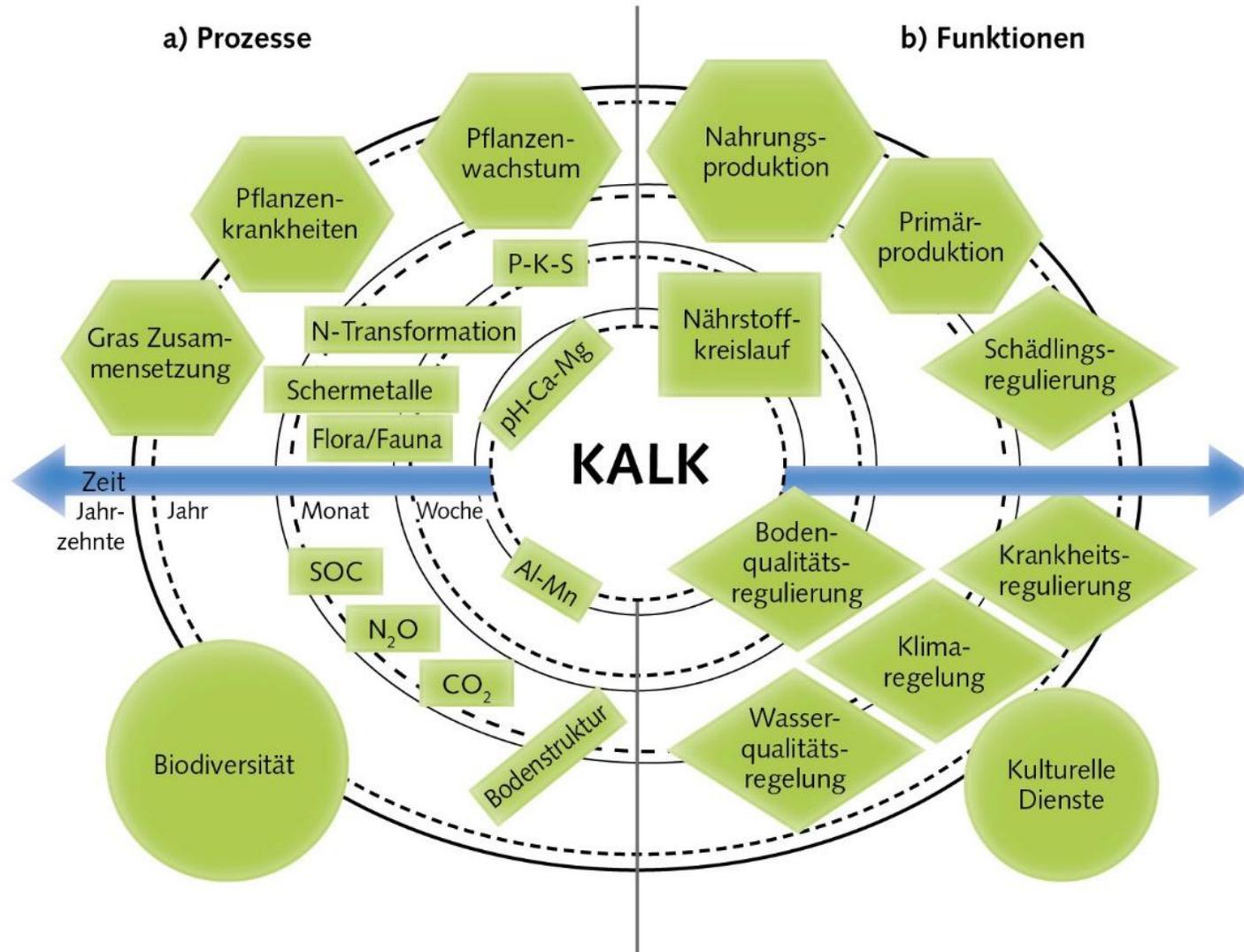
Durch die Kalkung direkt und indirekt beeinflusst



- Rang 1: Wasserspeichervermögen (nFK)
- Rang 2: Wasserinfiltrationskapazität/-rate
- Rang 3: Bodenleben, biologische Aktivität
- Rang 4: Durchwurzelbarkeit
- Rang 5: Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen
- Rang 6: Pflanzengesundheit, phytosanitäre Funktion
- Rang 7: Humusgehalt, organische Bodensubstanz
- Rang 8: Ausgeglichener Luft- und Wärmehaushalt
- Rang 9: Tragfähigkeit, Aggregatstabilität
- Rang 10: Befahrbarkeit

Quelle: Dr. Macholdt, Empirische Studie (n=206), Justus-Liebig-Universität Gießen (2021)  
Ergebnisse einer Expertenurfrage bei 83 prakt. Landwirten, 66 Beratern, 57 Wissenschaftlern

# Das Multitalent Kalk



Nach: Holland et al., 2018

# Kalkung

= wichtigste Maßnahme, der Versauerung von Kulturböden entgegenzuwirken

- Weitere Ziele:**
- Optimierung der **Bodeneigenschaften und Bodenprozesse** für das Pflanzenwachstum bzw. der Filter- und Pufferfunktionen des Bodens
  - Sicherstellung der **Calciumversorgung** der Pflanzen

## Kalk der Mehrwirkungsdünger

physikalisch

chemisch

biologisch

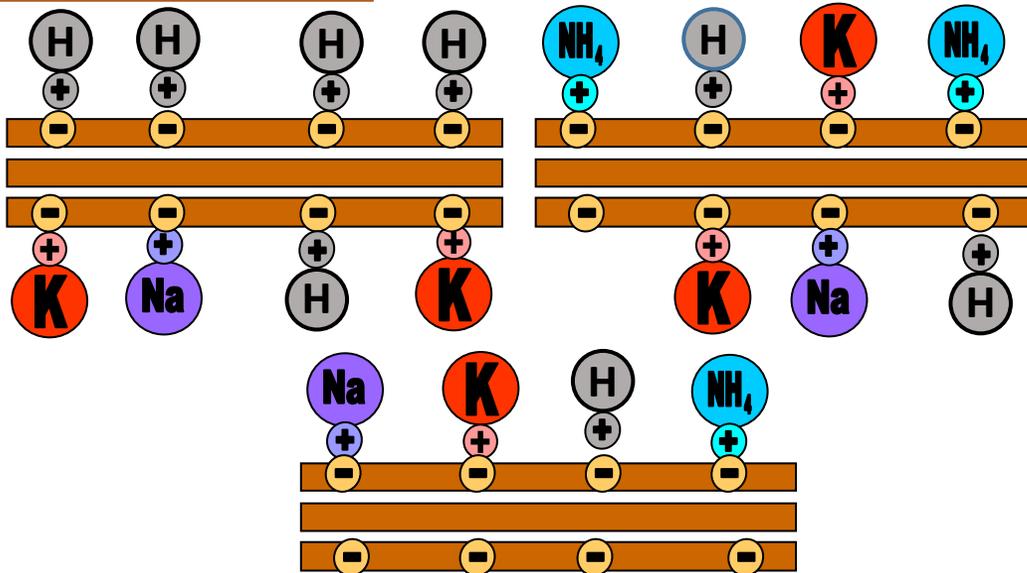
# Physikalische Kalkwirkung

## Was hat Kalk mit der Bodenstruktur zu tun ?

- **Tonminerale und Humusteilchen** sind Bodenbestandteile, die eine große chemische aktive Oberfläche aufweisen und damit Nährstoffe adsorbieren und leicht wieder in die Bodenlösung abgeben können (**Bodenaustauscher**).
- Die Basensättigung = **Belegung der Bodenaustauscher** (Tonminerale, Humusteilchen) **mit  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen** ist ein wichtiger Einflussfaktor auf die **Stabilität von Bodenaggregaten**.
- Nur durch **regelmäßige Kalkung** wird eine hohe Basensättigung mit  **$\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen der Bodenaustauscher** erreicht, die förderlich für die Tonflockung ist.

# Lagerungsformen der Tonminerale

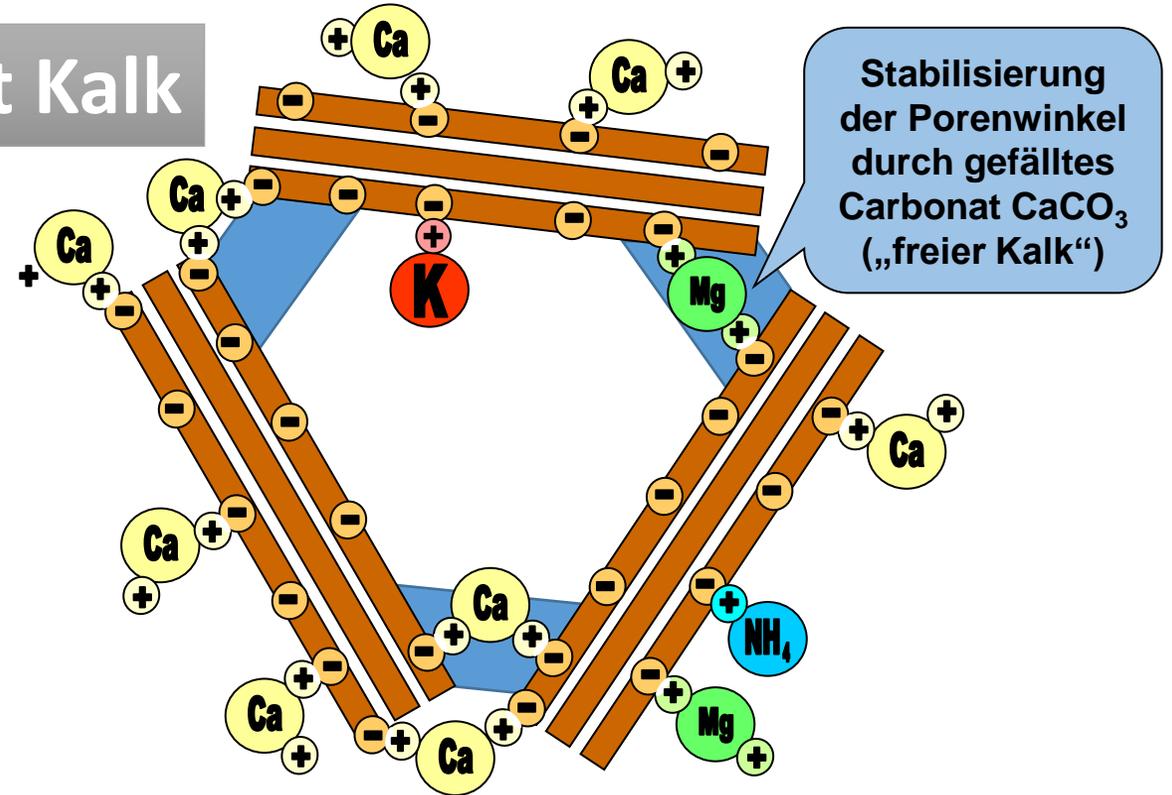
ohne Kalk = versauert



Tonteilchen bilden ein Kohärentgefüge (Fläche-Fläche)

- Verkleben der Tonteilchen
- Dichte, flächige Plattenstruktur
- Geringes Porenvolumen
- Gasaustausch und Wassertransport stark behindert

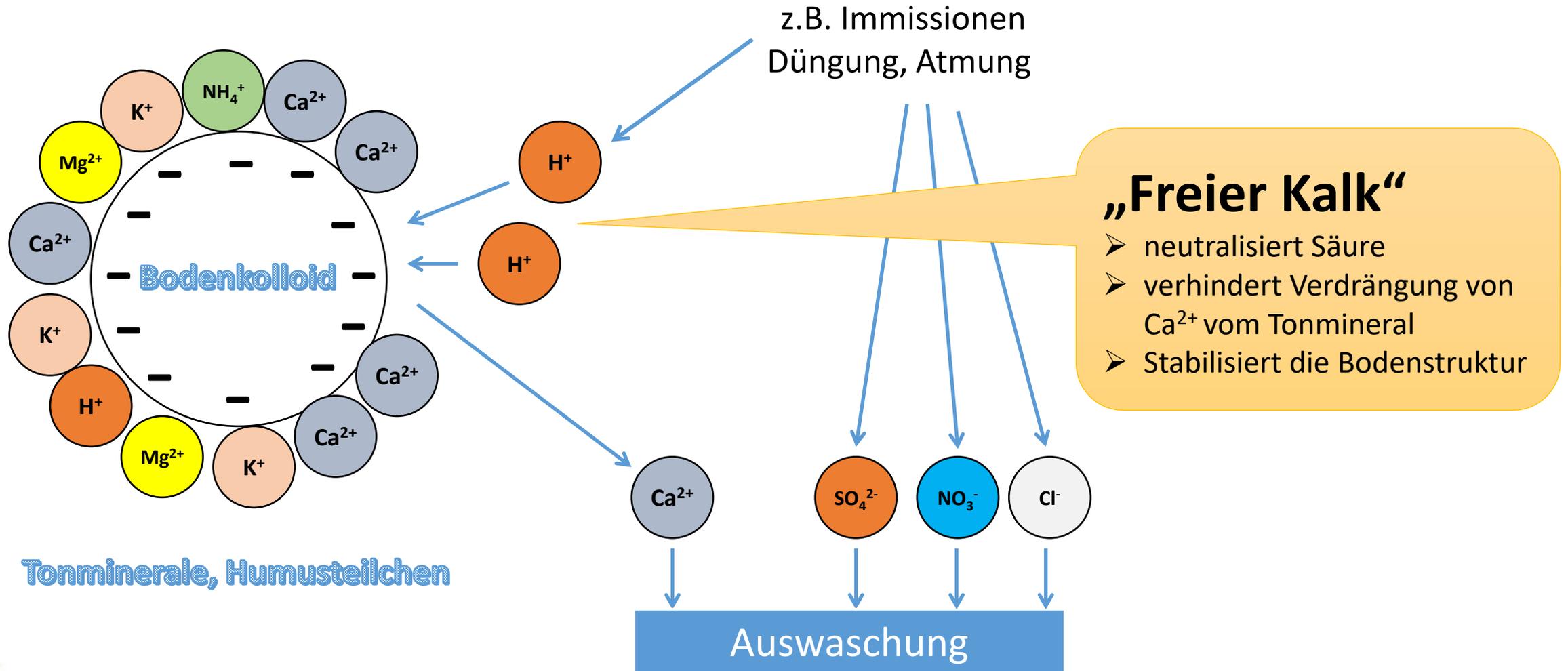
mit Kalk



Bildung einer stabilen Kartenhausstruktur durch **Flockung**

- Lockeres Bodengefüge **bei Dominanz von  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$**
- Freie negative Ladungen ziehen positiv geladene Nährstoffe an ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ )
- Freie Kationenladungen ziehen Ton- und Humusteilchen an

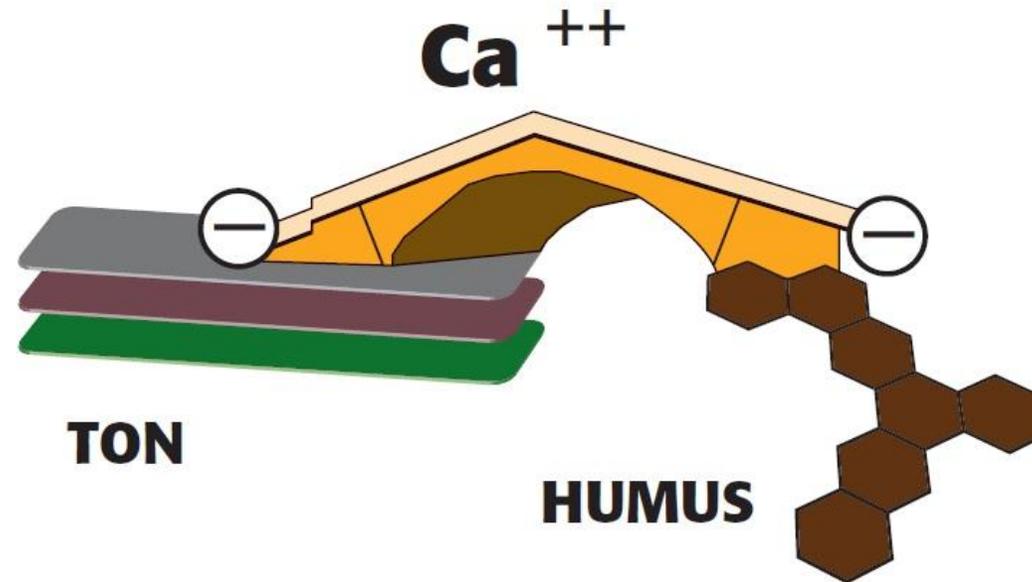
# Kalkverluste, Verluste basisch wirksamer Kationen durch Auswaschung als Folge der Versauerung



# Physikalische Kalkwirkung – Teil 2

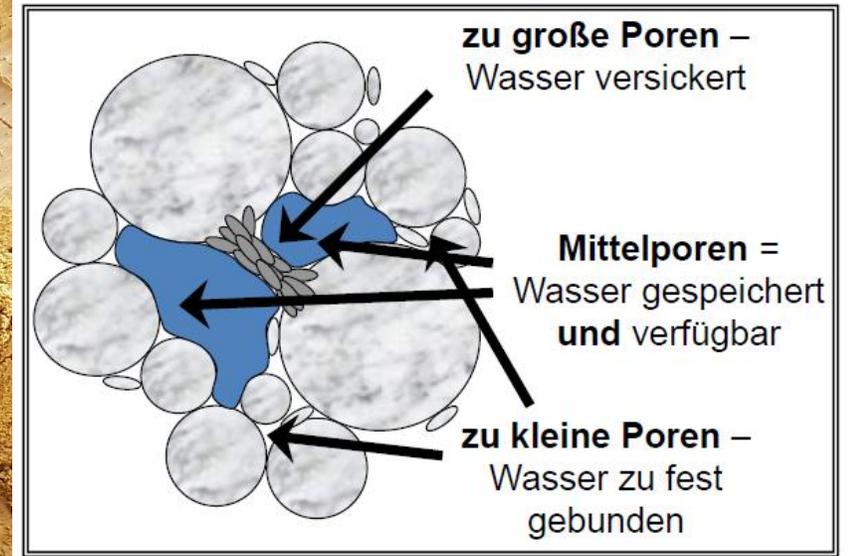
## Bildung von TON-HUMUS-KOMPLEXEN

= Verbindung zwischen Tonmineralen und organischer Substanz (Humusteilchen) durch „Calcium-Brücke“ zu stabilen Ton-Humus-Komplexen.



- **Aggregatbildung zwischen Humusstoffen und Tonmineralen**
- **Stabilisierung der Bodenkrümel**
- **Bildung stabiler Humusformen → Dauerhumus !**

# Zusammenhang zwischen Bodenstruktur und Wasserhaushalt



## Das Porensystem des Bodens:

- Feinporen ( $< 0,2 \mu\text{m}$ )
  - Mittelporen ( $0,2 - 10 \mu\text{m}$ )
  - enge (langsam dränende) Grobporen ( $10 - 50 \mu\text{m}$ )
  - weite (schnell dränende) Grobporen ( $> 50 \mu\text{m}$ )
  - Kontinuität der Poren  
wichtig für Luftdurchlässigkeit und Wasserleitfähigkeit
- Totwasser  
nFK  
Luftkapazität

# Kalkung und Porenvolumen im Boden

## Änderung der Porengrößenverteilung durch eine Meliorationskalkung

nach Dr. Schuhbauer, 1981 (in +/- %)

Durchschnitt aus 4 Standorten und 132 Messreihen

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Porengröße	>0,05 mm	0,05 – 0,01 mm	0,01 – 0,0002 mm	<0,0002 mm
verantwortlich für:	<b>Wasserversickerung</b> Gasaustausch	<b>Wasserversickerung</b> <b>Wasserspeicherung</b> (Wasser leicht verfügbar) Gasaustausch	Wasserspeicherung (Wasser schwer pflanzenverfügbar)	Totwasser (für Pflanzen nicht verfügbar)
Lebensraum für:	Wurzeln Mikroorganismen	Wurzelhaare Pilze Bakterien		
<b>Oberboden</b>	<b>+ 57 %</b>	<b>+ 21 %</b>	<b>- 5 %</b>	<b>- 1 %</b>
<b>Pflugsohle</b>	<b>+ 13 %</b>	<b>+ 53 %</b>	<b>- 5 %</b>	<b>- 2 %</b>
<b>Unterboden</b>	<b>+ 2 %</b>	<b>+ 9 %</b>	<b>- 2 %</b>	<b>- 4 %</b>

# Änderung der Wasserversickerung durch eine Meliorationskalkung

nach Dr. Schuhbauer, 1981

Stechzylindermethode, Ermittlung des  $k_f$  – Wertes

Probezeitraum: 11 Jahre Probezahl: 552 Proben

Standort Bodenschicht	Moos (Ndb.) schwach pseudovergleyte Parabraun- erde aus Löss	Puch (Obb.) Parabraun- erde aus Löss	Burgsdorf (Ndb.) saure Braunerde aus Granit	Althausen (Ufr.) Pelosol aus Gipskeuper	Durchschnitt aus den vier Standorten
Oberboden 8 – 17 cm	+ 24 %	+ 129 %	+ 69 %	+ 150 %	+ 93 %
Pflugsohle 27 – 32 cm	+ 101 %	+ 19 %	+ 154 %	+ 239 %	+ 128 %
Unterboden 36 – 55 cm	+ 586 %	+ 124 %	+ 23 %	+ 143 %	+ 219 %

# Änderung der nutzbaren Feldkapazität durch Kalkung

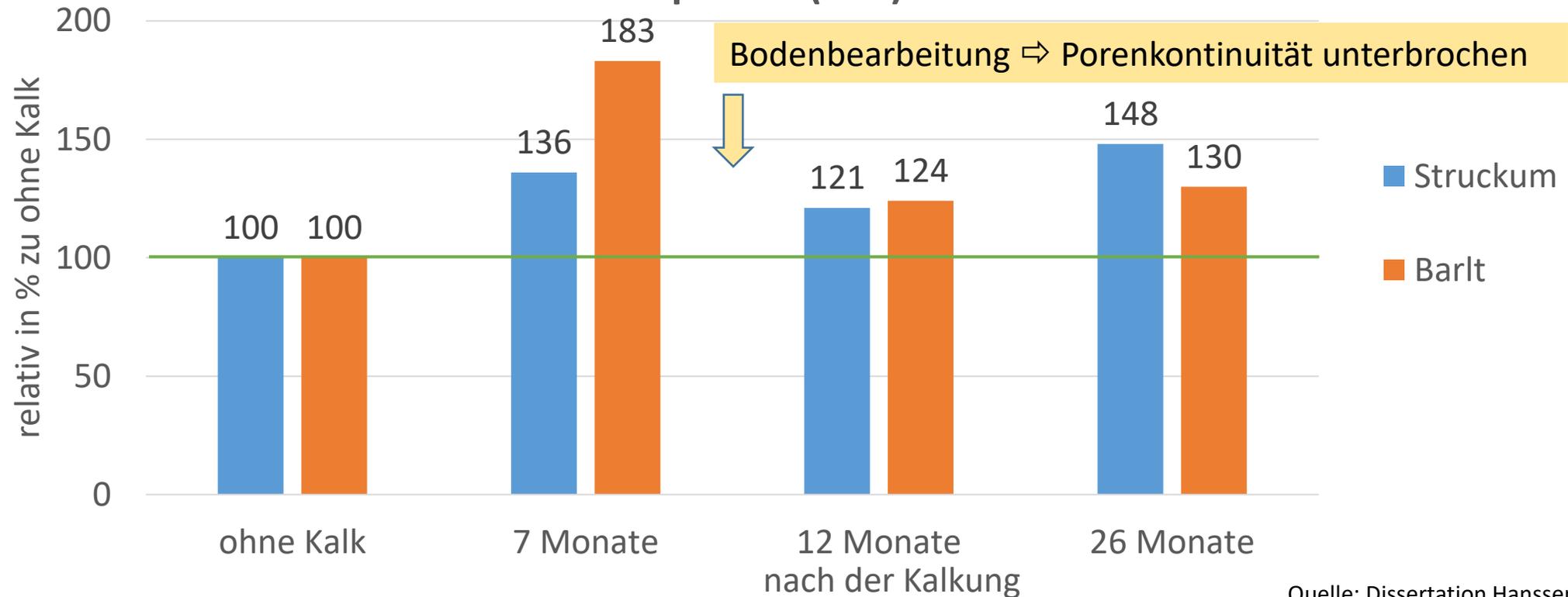
## Standorte:

Struckum, Kleimarsch; Ton: 27 %; Schluff: 57 %; Sand: 16 %; **Ausgangs-pH-Wert: 4,7 → 6,4 – 6,8 durch 133 dt CaO/ha**

Barlt, Kleimarsch; Ton: 45 %; Schluff: 45 %; Sand: 10 %; **Ausgangs-pH-Wert: 5,5 → 6,5 – 6,8 durch 60 dt CaO/ha**

Aufkalkung auf:

## Nutzbare Feldkapazität (nFK) in 0-10 cm Tiefe



Quelle: Dissertation Hanssen, Uni Kiel (2020)

# Bei Nässe kann Kalk...

- Die Regenverdaulichkeit (Infiltration) steigern
- Für eine schnellere Abtrocknung und Erwärmung des Bodens sorgen
- Luft in den Boden bringen für eine Aktivierung des Bodenlebens

# Bei Trockenheit kann Kalk...

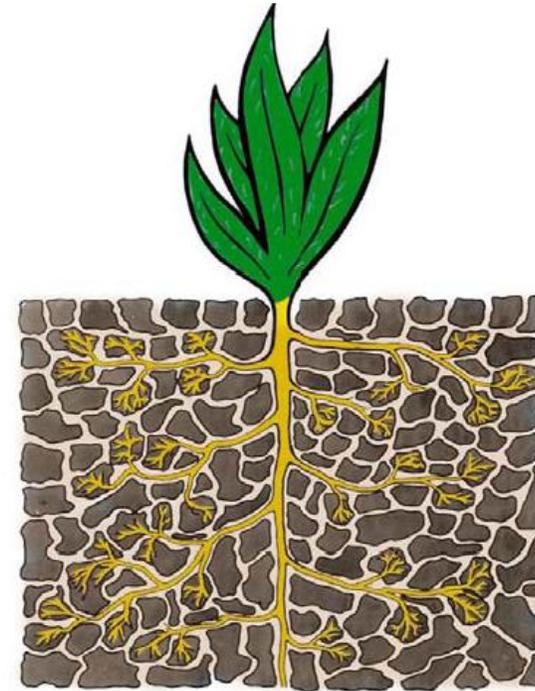
- mehr Wasser im Boden speichern
  - Die nutzbare Feldkapazität dauerhaft erhöhen
  - Die Wasserverdunstung deutlich reduzieren
- ➔ Kalk hilft „Wasser sparen“

# Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit



Bei schlechter Bodenstruktur ist die Nährstoffaufnahme auf wenige Bereiche geschränkt.

Insgesamt muss ein höheres Nährstoffpotenzial vorhanden sein.



Eine gute Bodenstruktur ermöglicht eine optimale Durchwurzelung und damit eine gute Ausnutzung der gesamten Nährstoffe

→ **Räumliche Nährstoffverfügbarkeit !**

# Kalk der Mehrwirkungsdünger

## Physikalische Kalkwirkung

- Stabilisiert Bodenkrümel,
- Verbessert die Bodenstruktur,
- Verbessert die Durchwurzelbarkeit
- Optimiert den Wasserhaushalt

## Chemische Kalkwirkung

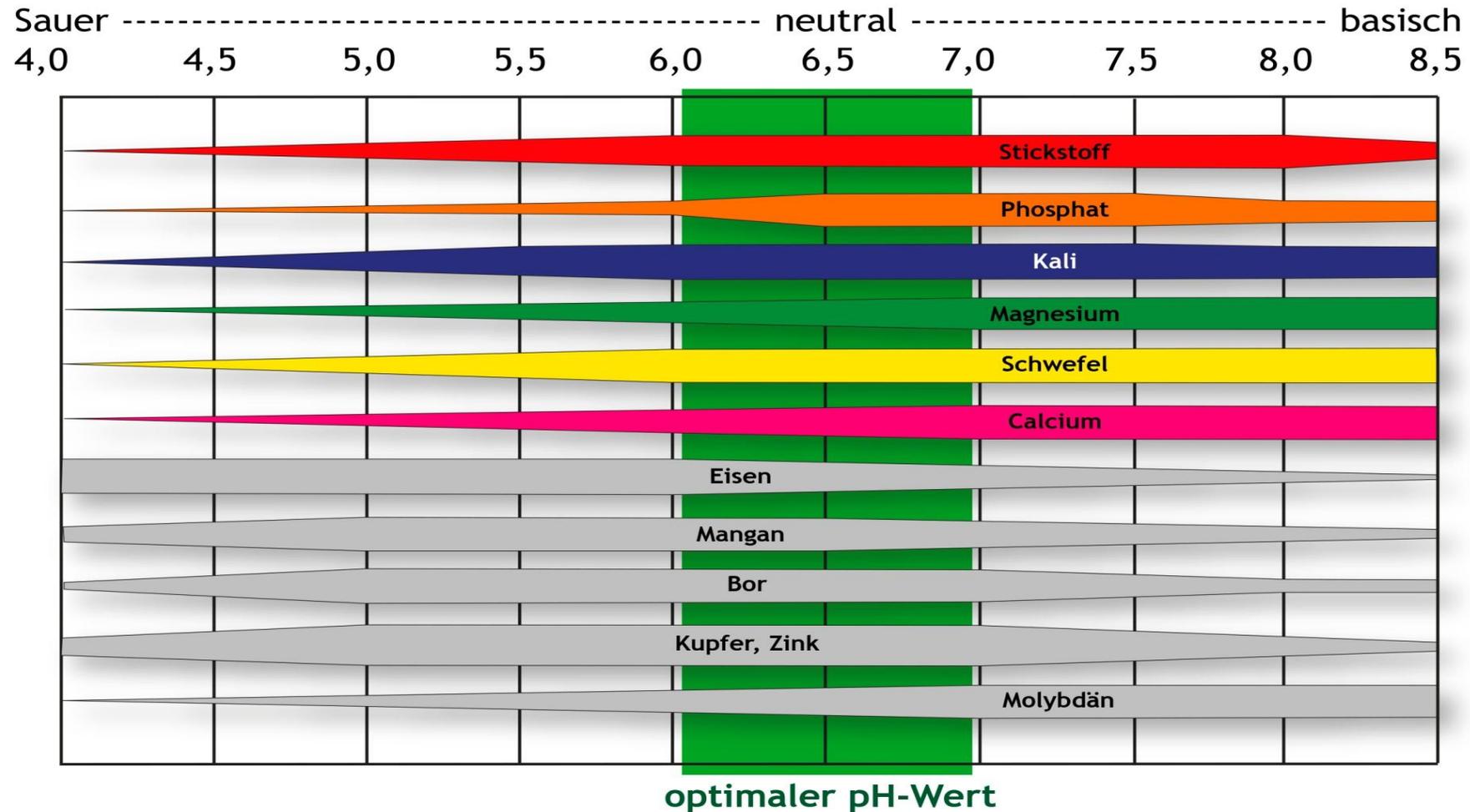
- Neutralisation von Säuren (**Regulierung des pH-Wertes**)
- Beseitigt Säuretoxizität und Schwermetalltoxizität
- Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit

## Biologisch Kalkwirkung

- Fördert die biologische Aktivität durch Anpassung des pH-Wertes
- Verbessert den Umbau der organischen Substanz

# Chemische Kalkwirkung durch pH-Regulierung

## Nährstoffverfügbarkeit und pH-Wert



Quelle: DHG, BAD, IVA

# Kalk der Mehrwirkungsdünger

## Physikalische Kalkwirkung

- Stabilisiert Bodenkrümel,
- Verbessert die Bodenstruktur,
- Verbessert die Durchwurzelbarkeit
- Optimiert den Wasserhaushalt

## Chemische Kalkwirkung

- Neutralisation von Säuren (Regulierung des pH-Wertes)
- Beseitigt Säuretoxizität und Schwermetalltoxizität
- Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit

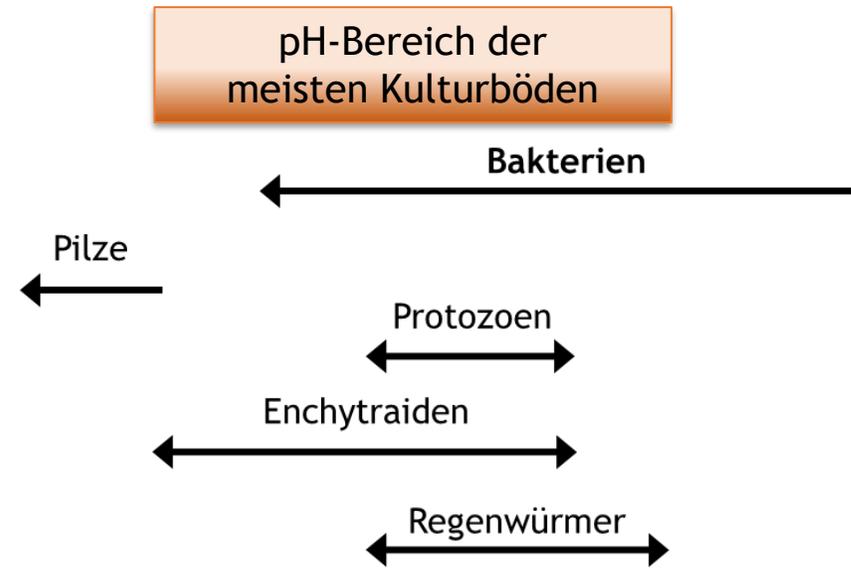
## Biologisch Kalkwirkung

- Fördert die biologische Aktivität durch Anpassung des pH-Wertes
- Verbessert den Umbau der organischen Substanz

# Biologische Kalkwirkung

## Einstellung günstiger pH-Bereiche für Bodenlebewesen

Bakterien	6,0 – 9,0
Saproph. Pilze	< 5,5
Protozoen	6,5 – 7,5
Enchytraiden	5,5 – 7,5
Regenwürmer	6,5 – 8,0



pH-Wert	2	3	4	5	6	7	8	9
Feinabstufung	extrem sauer	sehr stark sauer	stark sauer	mäßig sauer	schwach sauer	schwach alkalisch	stark alkalisch	extrem alkalisch
Grobabstufung	<b>sauer</b> (viele H <sup>+</sup> -Ionen)				<b>neutral</b>		<b>alkalisch</b> (viele OH <sup>-</sup> -Ionen)	

Quelle:  
nach K. Stöven,  
FAL, 2002

# Optimale Kalkversorgung/Ziel-pH-Werte → Ackerland

## Grundlage:

zahlreiche langjährige Exakt-Feldversuche der Oficialberatung (Kalksteigerungsversuche)

Gehaltsklasse C	Ackerland (Humusgehalt ≤ 4 %)	
	Ziel pH-Wert	Erhaltungskalkung alle 4 Jahre ! (dt CaO/ha)
Sand	5,4 – 5,8	6
Schwach lehmiger Sand	5,8 – 6,3	10
Stark lehmiger Sand bis schluffiger Lehm	6,1 – 6,7	14
Lehm	6,3 – 7,0	17
Toniger Lehm bis Ton	6,4 – 7,2	20

# Grundnährstoffversorgung sächsischer Ackerflächen

(Ø 2015-2018, 11.859 Proben mit 105.704 ha)

Gehalts- klasse	Flächenanteile (%) und Trend in Gehalts- u. pH-Klassen				
	<b>A</b> sehr niedrig	<b>B</b> niedrig	<b>C</b> optimal	<b>D</b> hoch	<b>E</b> sehr hoch
<b>P</b>	11,1 ↗	41,7 ↗	25,5 ↓	13,8 ↘	7,9 →
<b>K</b>	5,5 ↗	21,5 →	30,7 ↘	28,0 →	14,3 ↗
<b>Mg</b>	0,8 →	4,3 ↘	7,4 ↘	18,7 ↘	68,8 ↑
<b>pH</b>	2,6 →	26,2 ↘	57,4 ↗	11,1 →	2,7 →

**Trend:** ↘ sinkend  
 ↓ stark sinkend  
 → gleichbleibend  
 ↗ steigend  
 ↑ stark steigend



1 | 15.08.2019 | Dr. Michael Grunert

# 3-fach-Wirkung der Kalkung auf Grünland





# Optimale Kalkversorgung / Ziel-pH-Werte → Grünland

## Grundlage:

zahlreiche langjährige Exakt-Feldversuche der Oficialberatung (Kalksteigerungsversuche)

Gehaltsklasse C	Grünland (Humusgehalt ≤ 15 %)	
	Ziel pH-Wert	Erhaltungskalkung (dt CaO/ha)
Sand	4,7 – 5,0	4
Schwach lehmiger Sand	5,2 – 5,5	5
Stark lehmiger Sand bis schluffiger Lehm	5,4 – 5,7	6
Lehm	5,6 – 5,9	7
Toniger Lehm bis Ton	5,7 – 6,1	8

# Grundnährstoffversorgung sächsischer Grünlandflächen

(Ø 2015-2018, 3.502 Proben mit 14.480 ha)

Gehalts- klasse	Flächenanteile (%) und Trend in Gehalts- u. pH-Klassen				
	<b>A</b> sehr niedrig	<b>B</b> niedrig	<b>C</b> optimal	<b>D</b> hoch	<b>E</b> sehr hoch
<b>P</b>	29,5 ↗	36,6 ↗	20,7 →	8,3 ↘	4,9 ↘
<b>K</b>	20,0 ↗	38,1 ↑	20,7 ↘	16,2 →	5,0 ↓
<b>Mg</b>	0,7 →	4,0 →	6,9 →	13,0 ↘	75,4 ↗
<b>pH</b>	2,4 →	29,1 →	41,6 ↘	20,1 ↗	6,8 →

Trend: ↘ sinkend  
 ↓ stark sinkend  
 → gleichbleibend  
 ↗ steigend  
 ↑ stark steigend

1 | 15.08.2019 | Dr. Michael Grunert

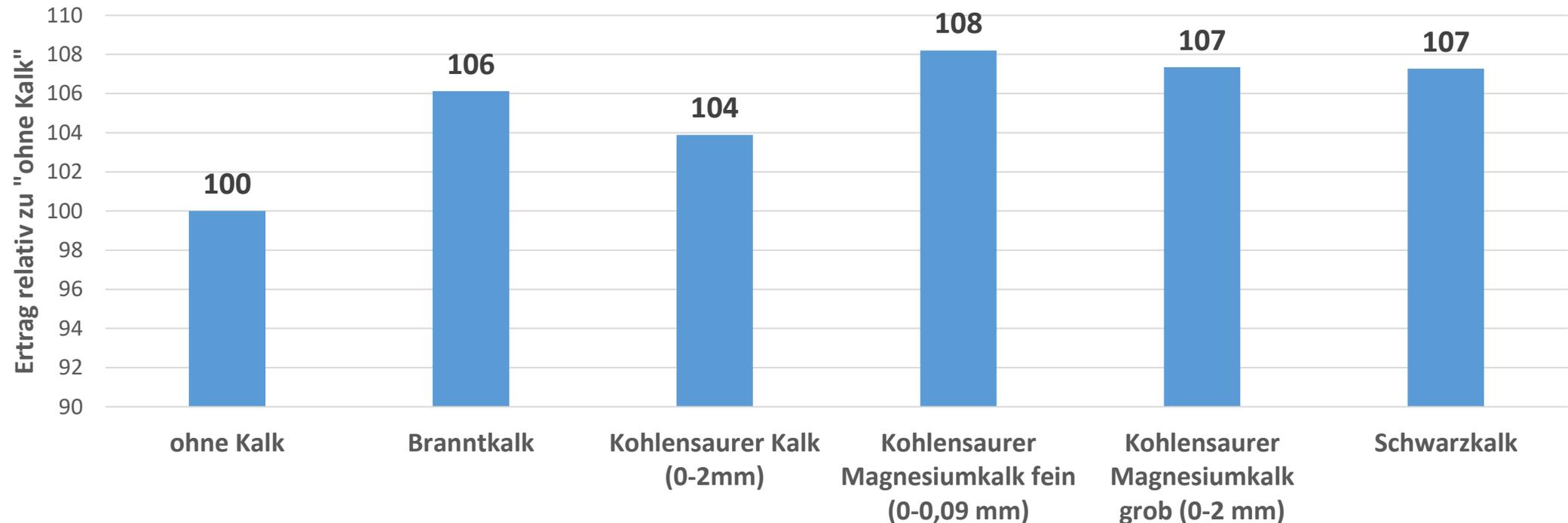


Fotos: Grunert, LfULG

# Wirtschaftlichkeit der Kalkung - Ertragswirkung

Kalkformen-Dauerversuch seit 1996, Standort Cunnersdorf (Sachsen); Bodenart: Pseudogley, Substrat: Sandlöss über Geschiebelehm  
Fruchtfolge: Zuckerrübe – Sommergerste – Ackerbohne – Winterweizen - Wintergerste

## Ertrag **aller Kulturen** relativ zu "ohne Kalk"- Mittel aus 29 Versuchsjahren

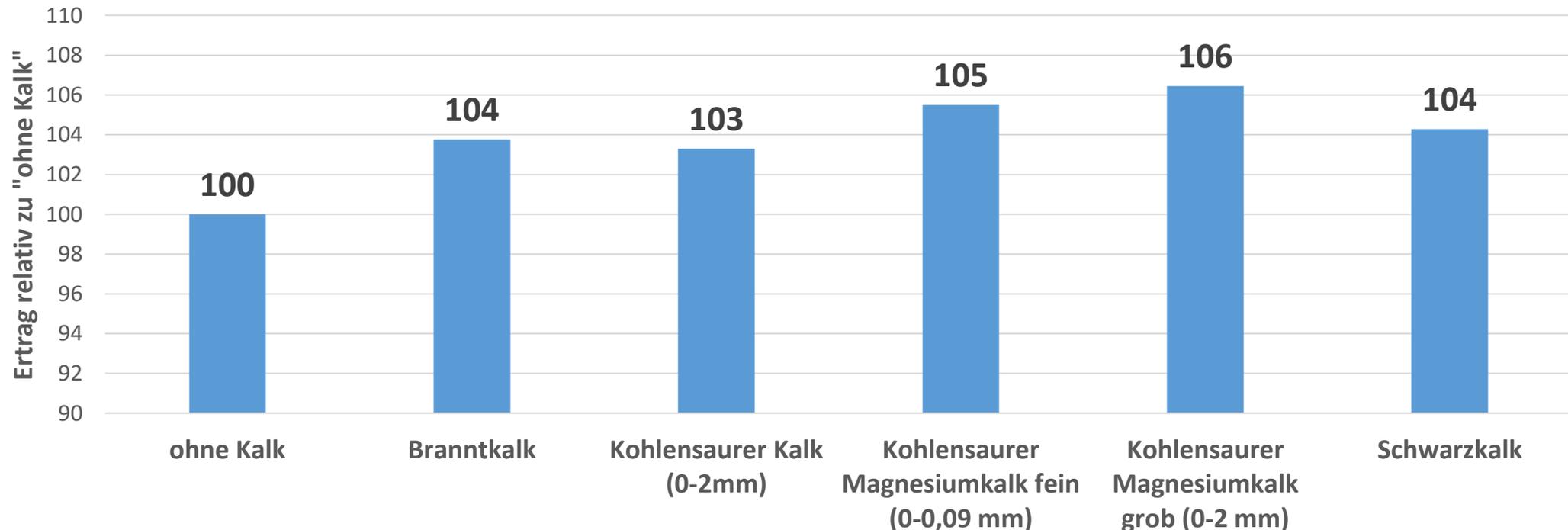


pH-Wert (2024)	6,1	6,4	6,4	6,4	6,3	6,4
Geh.-Klasse	B	C	C	C	C	C

# Wirtschaftlichkeit der Kalkung - Ertragswirkung

Kalkformen-Dauerversuch seit 1996, Standort Cunnersdorf (Sachsen); Bodenart: Pseudogley, Substrat: Sandlöss über Geschiebelehm  
Fruchtfolge: Zuckerrübe – Sommergerste – Ackerbohne – Winterweizen - Wintergerste

## Ertrag **Winterweizen** relativ zu "ohne Kalk"- Mittel aus 7 Versuchsjahren

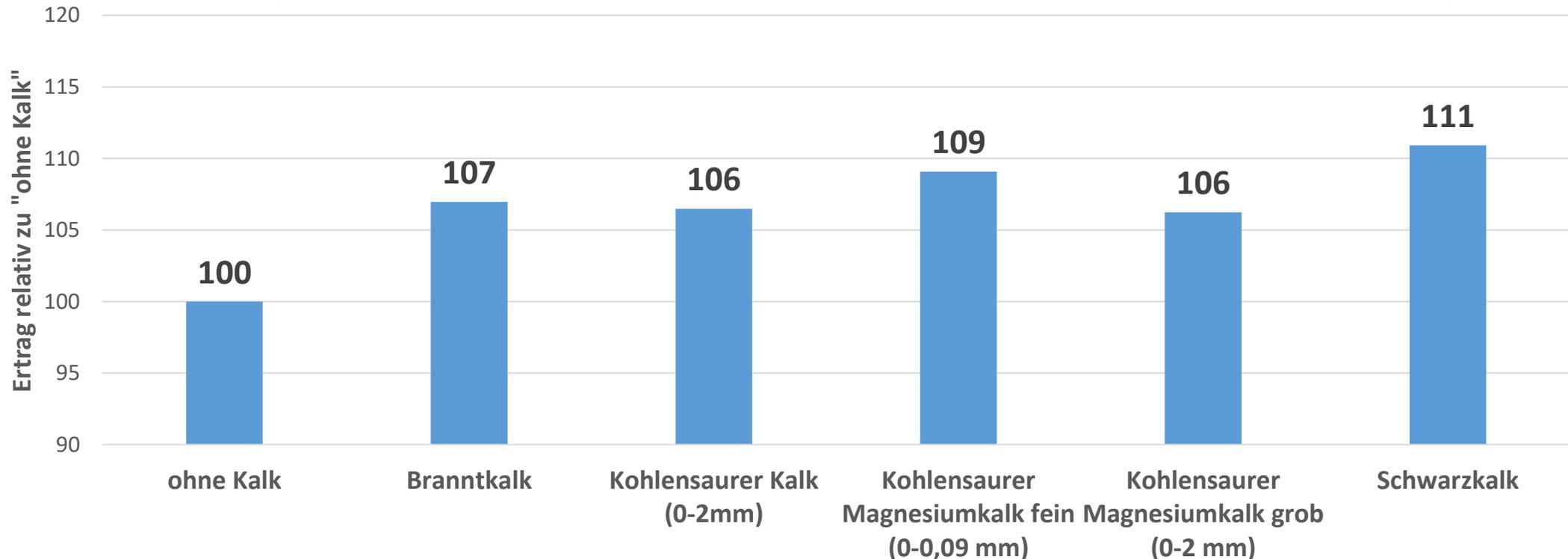


pH-Wert (2024)	6,1	6,4	6,4	6,4	6,3	6,4
Geh.-Klasse	B	C	C	C	C	C

# Wirtschaftlichkeit der Kalkung - Ertragswirkung

Kalkformen-Dauerversuch seit 1996, Standort Cunnersdorf (Sachsen); Bodenart: Pseudogley, Substrat: Sandlöss über Geschiebelehm  
Fruchtfolge: Zuckerrübe – Sommergerste – Ackerbohne – Winterweizen - Wintergerste

## Ertrag **Sommergerste** relativ zu "ohne Kalk"- Mittel aus 6 Versuchsjahren



pH-Wert (2024) 6,1  
Geh.-Klasse B

6,4  
C

6,4  
C

6,4  
C

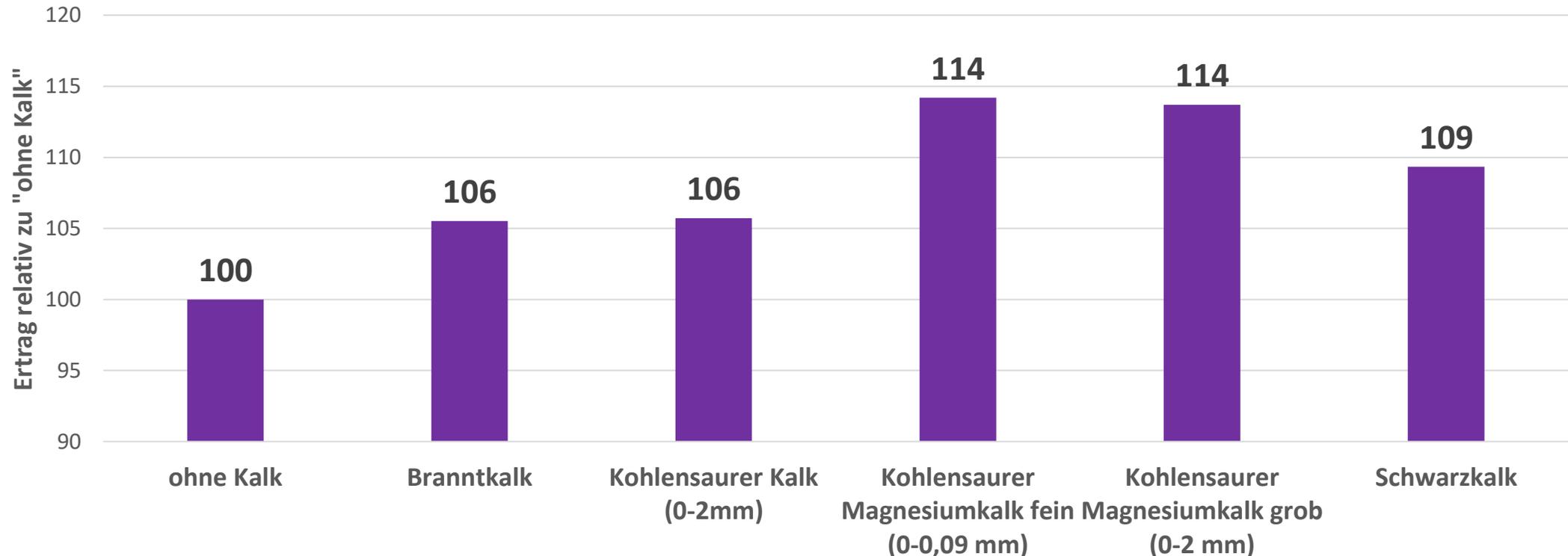
6,3  
C

6,4  
C

# Wirtschaftlichkeit der Kalkung - Ertragswirkung

Kalkformen-Dauerversuch seit 1996, Standort Cunnersdorf (Sachsen); Bodenart: Pseudogley, Substrat: Sandlöss über Geschiebelehm  
Fruchtfolge: Zuckerrübe – Sommergerste – **Ackerbohne** – Winterweizen – Wintergerste

## Ertrag **Ackerbohne** relativ zu "ohne Kalk"- Mittel aus 5 Versuchsjahren



pH-Wert (2024) 6,1  
Geh.-Klasse B

6,4  
C

6,4  
C

6,4  
C

6,3  
C

6,4  
C

# Wirtschaftlichkeit der Kalkung - Deckungsbeiträge

**Kalkformen-Dauerversuch** seit 1996, Standort Cunnersdorf (Sachsen); Bodenart: Pseudogley, Substrat: Sandlöss über Geschiebelehm  
Fruchtfolge: Zuckerrübe – **Sommergerste** – Ackerbohne – Winterweizen - Wintergerste

Erntejahr	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2010-2019
Hauptfrucht im Erntejahr	Winterweizen	Winterweizen	Ackerbohne	Sommergerste	Zuckerrübe	Wintergerste	Winterweizen	Ackerbohnen	Sommergerste	Zuckerrüben	Mittelwert
<b>Kalkform</b>	<b>Deckungsbeiträge in €/ha (inkl. Kalkkosten)</b>										
ohne Kalk	341	535	-142	451	1.031	128	855	649	161	1.225	523
Branntkalk	331	484	-165	450	1.097	212	871	736	193	1.245	545
Kohlensaurer Kalk	357	527	-142	515	1.143	136	888	746	154	1.333	565
Kohlensaurer Magnesiumkalk fein	365	559	-124	497	1.332	189	876	825	203	1.353	608
Kohlensaurer Magnesiumkalk grob	375	596	-88	483	1.253	133	898	789	207	1.428	607
Rückstandskalk	352	536	-136	488	1.126	131	894	774	201	1.384	575
Differenz Maximum zu 'ohne Kalk'	34	61	54	64	301	84	43	176	46	203	106

Quelle: LfL - Reisenweber

# Zusammenfassung

- Die Auswirkungen des Klimawandels erfordern **Anpassungsmaßnahmen** im Pflanzenbau zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung
  - Die wichtigsten Bodeneigenschaften zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit werden maßgeblich **durch eine Bedarfsgerechte Kalkversorgung positiv beeinflusst:**
    - Wasserspeichervermögen
    - Wasserinfiltrationskapazität
    - Bodenleben und biologische Aktivität
    - Durchwurzelbarkeit
    - Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen
  - Die **regelmäßige** Optimierung der Kalkversorgung durch eine an den Standort angepasste **Erhaltungskalkung** leistet einen wichtigen Beitrag zur
    - Ertragssicherheit
    - Wirtschaftlichkeit
    - Umweltverträglichkeit
- im Rahmen einer **Anpassung an den Klimawandel** im Pflanzenbau

vielen Dank



Grafik: BGJ Landwirtschaft Berufsschule München-Land, 2023