



## **Kunde:**

Max Mustermann  
Dorfstraße 44  
0815 Unterburg/Tausendblum  
Deutschland/Österreich

## **Betrieb:**

Max Mustermann  
Dorfstraße 44  
0815 Unterburg/Tausendblum  
Deutschland/Österreich

## **Erstbeprobung „Ökologische Basischarakterisierung BD 9160**

<b>Probenbezeichnung:</b>	Acker sauer
<b>Probennehmer:</b>	E. D.
<b>Datum/Probennahme:</b>	17.08.2022
<b>Probenahmetiefe:</b>	0 bis 16 cm
<b>Kultur/Ertrag:</b>	Körnermais 12 t/ha
<b>Seehöhe:</b>	280 m üNN
<b>Klima:</b>	Ø NS: 500 mm
<b>Koordinaten:</b>	nicht bekannt

**Chemisches Labor:** Labor TB Unterfrauner GmbH  
**Labor-Nr:** 2  
**Probeneingang:** 30.08.2022

Neulengbach, 15.09.2022

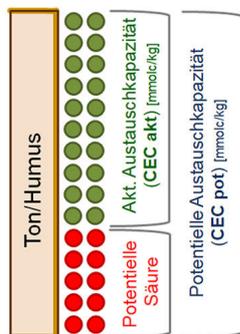


# BODENEIGENSCHAFTEN Probe BD 9160

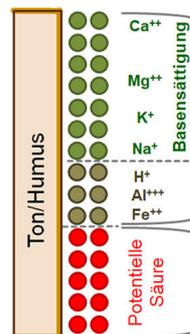
Schlagname: Boden sauer

BASISEIGENSCHAFTEN		Tiefe: 0 - 16 cm	Skelettgehalt in Vol.-%: 0					Probendatum: 21.03.2022
Parameter	Wert	sehr niedrig	niedrig	günstig	hoch	sehr hoch	Einschätzung	
Bodenschwere (KH)	38	[Bar chart: 38% in 'niedrig' range]					leichter Boden	
pH Wert H2O [-log H+]	6,9	[Bar chart: 6.9 in 'günstig' range]					schwach sauer	
pH Wert KCl [-log H+]	5,4	[Bar chart: 5.4 in 'niedrig' range]					mäßig sauer	
Kalkgehalt CaCO3 [%]	0,0	[Bar chart: 0% in 'sehr niedrig' range]					nicht nachweisbar	
gelöste Stoffe [eL, mS/cm]	0,3	[Bar chart: 0.3 in 'niedrig' range]					niedrig	
Org.Substanz [%] = Corg * 1,724	3,0	[Bar chart: 3.0 in 'günstig' range]					günstig	
C/N Verhältnis der org. Substanz	12,2	[Bar chart: 12.2 in 'günstig' range]					N Nachlieferung aus org. Substanz	
C/P Verhältnis der org. Substanz	133,6	[Bar chart: 133.6 in 'hoch' range]					P Fixierung	
C/S Verhältnis der org. Substanz	98	[Bar chart: 98 in 'niedrig' range]					S Nachlieferung aus org. Substanz	
Stabilität organische Substanz	1	[Bar chart: 1 in 'günstig' range]					Umbauprozesse im Gleichgewicht	
Stabilität Aggregate	4	[Bar chart: 4 in 'sehr niedrig' range]					Erosionsgefahr sehr hoch	
<b>KATIONENAUSTAUSCHKAPAZITÄT (CEC); Gesamtpotential = CEC potentiell; aktuell genutztes Potential = CEC aktuell</b>								
CEC potentiell [mmolc/kg]	114	[Bar chart: 114 in 'günstig' range]					pot mittel sorptionsstark	
CEC aktuell [mmolc/kg]	50	[Bar chart: 50 in 'niedrig' range]					akt sorptionsschwach	
CEC akt in % CEC pot	44	[Bar chart: 44% in 'sehr niedrig' range]					sehr niedrig	
Basensättigung in % CEC pot	44	[Bar chart: 44% in 'niedrig' range]					Gefahr Versauerung	
Elemente bez. auf CEC pot	Ca in % CECpot	29,5	[Bar chart: 29.5% in 'sehr niedrig' range]					sehr niedrig
	Mg in % CECpot	11,8	[Bar chart: 11.8% in 'niedrig' range]					niedrig
	K in % CECpot	1,4	[Bar chart: 1.4% in 'sehr niedrig' range]					sehr niedrig
	Na in % CECpot	0,7	[Bar chart: 0.7% in 'günstig' range]					günstig
	Al in % CECpot	0,0	[Bar chart: 0% in 'günstig' range]					günstig
	NH4N in % CECpot	0,4	[Bar chart: 0.4% in 'günstig' range]					günstig
	Fe in % CECpot	0,0	[Bar chart: 0% in 'günstig' range]					günstig
	Mn in % CECpot	0,0	[Bar chart: 0% in 'günstig' range]					günstig
	H in % CECpot	0,4	[Bar chart: 0.4% in 'aktuelle Säure gering' range]					aktuelle Säure gering
	Pot. Säure in % CECpot	55,8	[Bar chart: 55.8% in 'sehr hoch' range]					sehr hoch
Elemente bez. auf CEC akt	Ca in % CECakt	66,8	[Bar chart: 66.8% in 'günstig' range]					günstig
	Mg in % CECakt	26,8	[Bar chart: 26.8% in 'sehr hoch' range]					sehr hoch
	K in % CECakt	3,1	[Bar chart: 3.1% in 'günstig' range]					günstig
	Na in % CECakt	1,6	[Bar chart: 1.6% in 'sehr hoch' range]					sehr hoch
	Al in % CECakt	0,0	[Bar chart: 0% in 'günstig' range]					günstig
	H in % CECakt	0,8	[Bar chart: 0.8% in 'aktuelle Säure gering' range]					aktuelle Säure gering

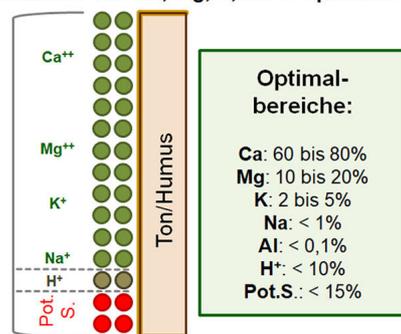
### Kationenaustauschkapazität (Sorptionskomplex)



### Zusammensetzung der Austauschkapazität



### Melioration: Neutralisierung Teile der potentiellen Säure Überführen von Ca, Mg, K, Na in Optimalbereich



Melioration  
DEC →

### MELIORATION in kg/ha – Maßnahmen zur Verbesserung / Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

	Dolomit* (mit 40% MgCO3)	Gips* (CaSO4 * 2 H2O)	Kalk* (CaCO3)	Magnesium (Mg)	Kalium (K)
min.	850 kg/ha	420kg/ha	4220 kg/ha		260kg/ha
org.	Aufbau Dauerhumus Zwischenfrüchte, Gründüngungen				

\*Berechnung bezieht sich auf qualitativ hochwertige, feinvermahlene Produkte!



Schlagname: Boden sauer

Kultur: Körnermais

Ertrag: 12,0 t/ha

PLANZENVERFÜGBARE STOFFE zum Zeitpunkt der Probenahme: 21.03.2022							Tiefe: 0 - 16 cm	
Nährstoff [kg/ha]	Wert	sehr niedrig	niedrig	günstig	hoch	sehr hoch	Diff. 1	Einschätzung
Calcium (Ca)	1490							ausreichend
Magnesium (Mg)	365							ausreichend
Kalium (K)	135						90	Mangel
Phosphor (P)	5						40	starker Mangel
Stickstoff (N)	15,5						210	starker Mangel
Sulfat (SO4)	13,9						80	starker Mangel
Eisen (Fe)	2,6						0,90	ausreichend
Mangan (Mn)	2,34							extremer Überschuss
Kupfer (Cu)	0,24							ausreichend
Zink (Zn)	1,96							extremer Überschuss
Molybdän (Mo)	0,02						0,05	Mangel
Bor (B)	0,16						0,29	starker Mangel
Silizium (Si)	21,6							ausreichend
Kobalt (Co)	0,002						0,010	starker Mangel

ORGANISCH GEBUNDENE NÄHRSTOFFE [kg/ha] und Mineralisierungspotential [kg/ha und Jahr]					
Nährstoff	Org. gebunden gesamt	Einschätzung	Mineralisierungspotential		
org. Kohlenstoff (C org)	42750	Zwischenfrüchte	342	bis	641
org Stickstoff (N org)	3520	hohe Reserven	28	bis	53
org. Phosphor (P org)	320	niedrige Reserven	3	bis	5
org. Schwefel (S org)	435	hohe Reserven	3	bis	7

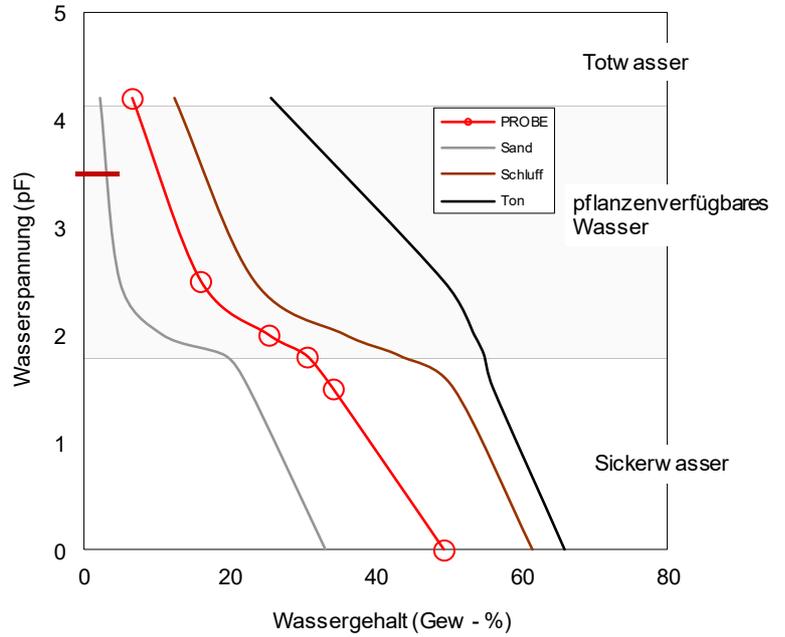
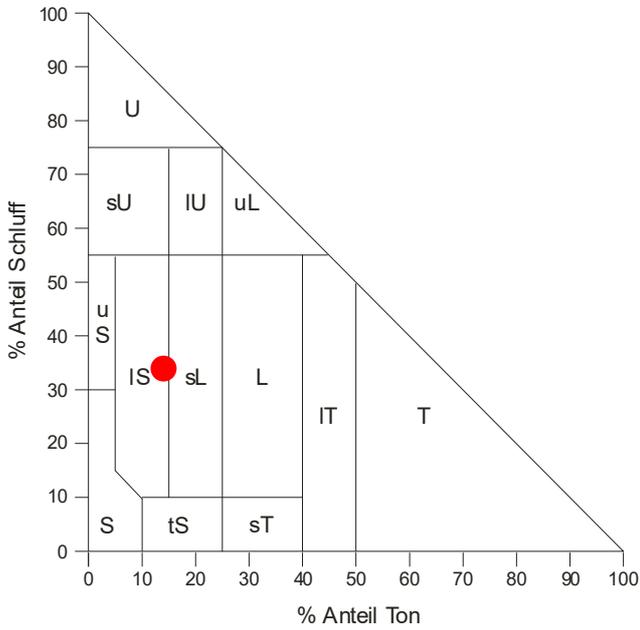
POTENTIELL TOXISCHE STOFFE in der Bodenlösung		
Aluminium (Al)		Kontaminationsgefahr
As, Ni, Cr, Pb, Cd		keine Auffälligkeiten

FRAKTIONEN: wasserlöslich, austauschbar, Reserve					
Bodenlösung [mg/l]		Austauschbar [kg/ha]		Reservegehalte [kg/ha]	
Calcium (Ca)	26,85	Calcium (Ca)	1469	Calcium (Ca)	1800
Magnesium (Mg)	11,54	Magnesium (Mg)	357	Magnesium (Mg)	500
Kalium (K)	5,13	Kalium (K)	133	Kalium (K)	200
Natrium (Na)	10,14	Natrium (Na)	39	Natrium (Na)	
Ammoniumstickstoff (NH4-N)	1,68	Ammoniumstickstoff (NH4-N)	13	Stickstoff total (N tot)	3535
Nitratstickstoff (NO3-N)	1,07				
Phosphor (P)	0,91	Phosphor (P)	4	Phosphor min. (P min)	800
				Phosphor total (P tot)	1625
Sulfat (SO4)	14,91			Schwefel total (S tot)	440
Chlorid (Cl)	29,12				
Aluminium (Al)	4,20	Aluminium (Al)	0,00	Aluminium (Al)	5100
Eisen (Fe)	3,06	Eisen (Fe)	0,00	Eisen (Fe)	6600
Mangan (Mn)	0,09	Mangan (Mn)	2,26	Mangan (Mn)	430
Bor (B)	0,02	Bor (B)	0,14	Bor (B)	0
Zink (Zn)	0,02	Zink (Zn)	1,95	Zink (Zn)	20
Kupfer (Cu)	0,02	Kupfer (Cu)	0,22	Kupfer (Cu)	15
Molybdän (Mo)	0,00	Molybdän (Mo)	0,02	Molybdän (Mo)	0
Silizium (Si)	11,83	Silizium (Si)	11,69	Silizium (Si)	1570
Kobalt (Co)	0,00	Kobalt (Co)	0,00	Kobalt (Co)	5

<b>MOBILISIERUNG:</b>	<b>Phosphor</b>
<b>ZUFUHR:</b>	<b>Kalium, Stickstoff, Schwefel, Molybdän, Bor, Kobalt</b>

<sup>1</sup> Differenz des Pflanzenbedarfs während der gesamten Vegetationsperiode zum Zeitpunkt der Probenahme

## Bodenphysikalische Ableitungen



Österreichisches Texturdreieck OENorm L 1050

Wasserspannung und Wassergehalt

Quelle: Stefan Diring (2010): *Gibt es in der Bodenphysik Möglichkeiten Einzelparameter durch einen einzelnen Summenparameter zu charakterisieren?* Wissenschaftliche Diplomarbeit. Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien



Detailbild der Bodenprobe

# Erläuterungen zu den Übersichtsblättern „Bodeneigenschaften“, „Pflanzenernährung“ und „Bodenphysikalische Ableitungen“



## Basiseigenschaften (siehe Übersichtsblatt „Bodeneigenschaften“)

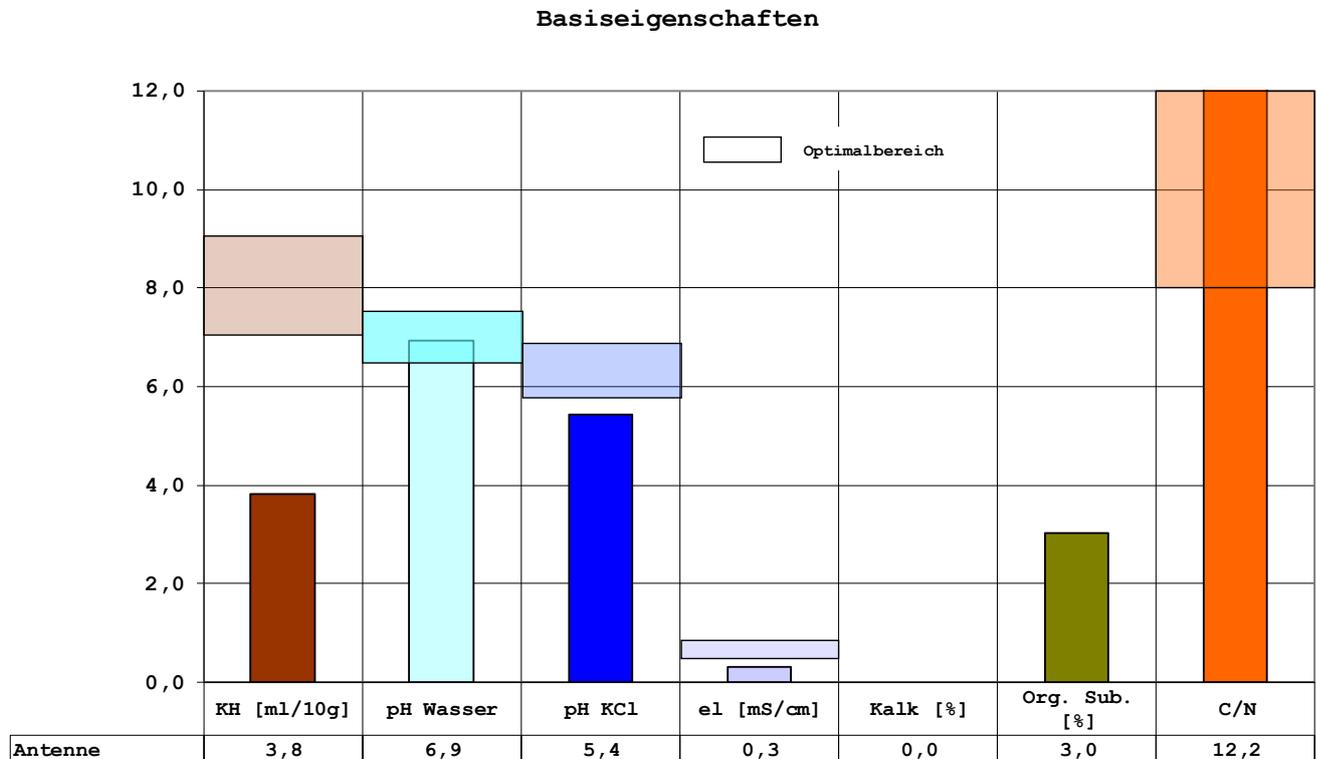


Abbildung: Basiseigenschaften des Bodens

### Bodenschwere/Wasserhaushalt

Die **lehmige/sandige** Bodenart bedingt einen **leichten** Boden. Der Boden kann maximal ~ **3,8 ml** Wasser pro 10 g zurückhalten, diese Menge entspricht einer **Wassermenge** von etwa **400 m<sup>3</sup>/ha** bei 16 cm Tiefe.

Bei voller Wassersättigung im Winter/Frühjahr reicht dies nicht aus, um Trockenperioden (z.B. Frühsommertrockenheit) unbeschadet zu überbrücken. Die angeführten Niederschlagsmengen (~500 mm) müssen günstig über die Vegetationsperiode verteilt sein, damit vom Standpunkt der Wasserversorgung ansprechende Erträge erzielt werden können.

→ Das **Wasserspeicherpotential** im Boden sollte durch Humusaufbau und optimaler Ausnutzung des erschließbaren Bodenvolumens durch Wurzeln und Bodenleben verbessert werden. Durch die Zufuhr bestimmter Bodenhilfsstoffe kann das Speicherpotential für Wasser ebenfalls gesteigert werden.

Die **pF-Kurve** auf dem Blatt für „Bodenphysikalische Ableitungen“ zeigt, bei welchen Wassergehalten in Gewichtsprozent (Gew.%) welche Saugspannungen (pF) herrschen. Unterhalb von pF 1,8 ist das Wasser schwach gebunden (Sickerwasser) und nicht pflanzenverfügbar. Von pF 1,8 bis 4,2 liegt der Bereich des pflanzenverfügbaren Wassers (= nutzbare Feldkapazität). Oberhalb von pF 4,2 ist das Wasser im Boden bereits so stark gebunden, dass die „Kräfte“ der meisten Kulturpflanzen nicht mehr ausreichen, das Wasser dem Boden zu entziehen, die Pflanzen welken („Welkepunkt“). Der energetische „Knackpunkt“ liegt bei pF 3,5. Ab dieser Saugspannung benötigt die Pflanze mehr Energie, dem Boden Wasser zu entziehen, als über die Photosynthese gebunden werden kann. Besteht die Möglichkeit einer Bewässerung sollte spätestens bei der Saugspannung von pF 3,5 (im Diagramm rot markiert) damit begonnen werden.

Um den aktuellen Zustand der Wasserspannung festzustellen genügt es, eine repräsentative Bodenprobe zu entnehmen. Diese wird im feuchten und trockenen Zustand gewogen, der Gewichtsunterschied entspricht dem Wassergehalt. Mit dem Relativbezug (Wassergehalt in %) kann direkt über die pF-Kurve der Abbildung die Saugspannung abgelesen werden.

### Aggregatstabilität

**Stabile Aggregate** sind die Voraussetzung für eine gute **Infiltrationsleistung** des Bodens und stellen sicher, dass Niederschlagswasser von oberflächennahen Bodenschichten in tiefere Bereiche abgeleitet und gespeichert wird. Regenwurmrohren und Wurzeln unterstützen die rasche Ableitung des Wassers. Eine rasche Entwässerung und Wiederbelüftung der Grobporen fördern die biologischen Prozesse im Boden.

Die Aggregatstabilität beeinflusst wesentlich die Neigung zur **Verschlämmung** und **Bodenerosion**. Stabile Aggregate reduzieren das Risiko, dass durch aufprallende Regentropfen, Bodenbearbeitung und Befahren die Brücken zwischen den Bodenteilchen zerstört werden. **Stehende Biomasse** (Kulturpflanzen, Zwischenfrüchte, Gründüngungen) und **Mulch** schützen den Boden zusätzlich vor der zerstörenden Aufprallenergie der Regentropfen.

Die **Aggregatstabilität** der untersuchten Probe ist **schlecht**, beim Ausschütteln der Probe mit destilliertem Wasser war die überstehende Flüssigkeit **stark getrübt**. Die Trübung beruht darauf, dass Feinteilchen in Suspension gehen (abschlämmbare Teilchen, Ton und Feinschluff).

Dies kann zur **Verschlämmung** sowie **verminderter Infiltrationsfähigkeit** des Bodens führen und damit Probleme im Wasser- und Lufthaushalt verursachen. Der gestörte Gasaustausch wirkt sich zudem negativ auf die biologische Aktivität und die Nährstoffaufnahme aus. Die **Erosionsgefahr** ist derzeit **sehr hoch**.

→ Das **Wassermanagement** kann optimiert und die Erosionsgefahr reduziert werden, indem die Stabilität der Aggregate gestärkt wird. Die Förderung der Lebendverbauung (Bodenleben, Wurzeln) und die regelmäßige Zufuhr von Calcium und Magnesium (Brückenbindung zwischen den Tonteilchen) sind dabei von besonderer Bedeutung. Diese Maßnahmen zum Erosionsschutz sollten regelmäßig durchgeführt werden.

### pH-Wert

Der pH-Wert eines Bodens kann in **wässriger Lösung** ( $pH_{\text{Wasser}}$ ) und in einer **Neutralsalzlösung** ( $pH_{\text{KCl}}$ ) gemessen werden.

Der  $pH_{\text{Wasser}}$  entspricht dem pH-Wert einer mit Regenwasser gefüllten Bodenpore und beschreibt die **Milieubedingungen** für **Mikroorganismen** und **Nährstoffspezies**. Der optimale Wertebereich des  $pH_{\text{Wasser}}$  liegt zwischen **6,5 und 7,8**. In diesem Bereich findet sich die größte Artenvielfalt der mikrobiologischen Gemeinschaft (auch Mykorrhiza). Bei der vorliegenden Probe liegt der  $pH_{\text{Wasser}}$  bei **schwach sauren 6,9**.

Der  $pH_{\text{KCl}}$  erlaubt die Aussage, welchem **Puffersystem** der Boden zugeordnet werden kann. Der optimale Wertebereich des  $pH_{\text{KCl}}$  liegt zwischen **5,9 und 6,9**.

Bei der vorliegenden Probe liegt der  $pH_{\text{KCl}}$  bei **mäßig sauren 5,4**. Das Puffersystem liegt im Übergangsbereich des **Austauscherpuffers zum Silikatpuffer**. Ab pH-Werten (KCl) von **< 5,9** beginnen sich die Tonminerale aufzulösen, deren Bestandteile (z.B. Al, Fe, Si) gehen vermehrt in Lösung und können ausgewaschen werden. Dies führt einerseits dazu, dass wichtige Austauscherflächen verloren gehen und andererseits der Boden weiter versauert (z.B. durch Al-Hydroxide). Zur Steigerung/Sicherung der Bodenfruchtbarkeit sollte das Säurepufferungsvermögen gestärkt werden (Ziel  $pH_{\text{KCl}}$ : 5,9-6,9).

→ Um eine **weitere Versauerung** und damit Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit zu **verhindern** sollten gezielt Säureanteile neutralisiert werden. Dabei sollten Mischungen von verschiedenen carbonatischen Produkten verwendet werden, welche auf die Bodenparameter individuell abgestimmt sind (siehe Melioration am Übersichtsblatt „Bodeneigenschaften“).

### Bodenlösung (gelöste Stoffe)

Die Bodenlösung ist das **wichtigste Medium** für die **Pflanzenernährung**, da die Wurzeln ausschließlich gelöste Stoffe aufnehmen können. Die Bodenlösung sollte eine „Idealzusammensetzung“ der einzelnen Nährstoffe aufweisen, da die Selektivität der Pflanzenaufnahme für bestimmte Nährstoffe nur aus der „Ideallösung“ optimal funktioniert.

Der **Salzgehalt** der Bodenlösung (= Summe aller gelösten Ionen), gemessen anhand der **elektrischen Leitfähigkeit (eL)**, beträgt beim untersuchten Boden **0,3 mS/cm** und liegt **unterhalb des günstigen Bereiches** für die Vegetationsperiode (*Soll: 0,5 bis 0,8 mS/cm*). Zu Vegetationsende oder in der Vegetationsruhe sollte die eL bei  $< 0,5$  mS/cm liegen, da sonst das Risiko der Auswaschung gegeben ist.

Folgende Elemente sind in der Bodenlösung für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlich (siehe auch wasserlösliche Fraktion am Übersichtsblatt „Pflanzenernährung“):

**Tabelle 1: Zusammensetzung der Bodenlösung, Konzentrationen in mg/l**

Nährstoff	Antenne
Ca	27,0
Mg	12,0
K	5,0
Na	10,0
NH <sub>4</sub> -N	1,7
NO <sub>3</sub> -N	1,0
P	0,91
SO <sub>4</sub>	15,0
Cl	29,0
Al	4,20
Fe	3,06
Mn	0,09
B	0,02
Zn	0,02
Cu	0,02
Si	11,83

Die **Verhältnisse** von Calcium (**Ca**) zu Kalium (**K**) und Magnesium (**Mg**) sind **ungünstig** (*Soll: Konzentration von  $Ca \gg K > Mg \gg Na$* ).

Die Phosphor (**P**) Konzentration liegt **oberhalb des Optimums** (*ausreichend: 0,2 bis 0,8 mg/l*). Die **Spurenelementversorgung** ist **gut**.

Die wasserlöslichen Anteile an Eisen (**Fe**) sind **erhöht** (*Soll:  $< 0,5$  mg/l*), eine höhere Konzentration kann die Verfügbarkeit anderer Nährstoffe beeinträchtigen.

Die wasserlöslichen Anteile an Aluminium (**Al**) sind stark erhöht (*SOLL:  $< 0,001$  mg/l*), eine Kontamination von Nachbarsystemen (z.B. Grundwasserkörper) und des Erntegutes kann nicht ausgeschlossen werden. Al in der Bodenlösung kann die Aufnahme von Phosphor (P), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) stark beeinträchtigen und kann daher die Ursache für sichtbare P-, Ca- und Mg-Mangelsymptome sein. Da Al zudem wurzeltoxisch ist besteht die Gefahr von Ertragseinbußen.

Die Konzentrationen von Chlorid (**Cl**) sind erhöht. Cl gelangt über die Zufuhr tierischer Ausscheidungen (Gülle, Jauche, Mist) und Mineraldünger (z.B. KCl, MgCl<sub>2</sub>,...) in den Boden.

Der Standort ist **aktuell sorptionsschwach**, bei Niederschlagsereignissen ist mit der **Auswaschung** von Elementen aus der Bodenlösung zu rechnen.

→ **Gelöstes Aluminium** zeigt den Zerfall von wertvollen Tonteilchen und damit den Verlust von Bodenfruchtbarkeit an. Durch die gezielte Neutralisation von Säuren wird der pH-Wert stufenweise erhöht, die weitere Degradation gestoppt und regenerative Prozesse werden eingeleitet (siehe Melioration am Übersichtsblatt „Bodeneigenschaften“).  
 → Bei **sorptionsschwachen** Böden sollte die Anwendung von leicht löslichen Stoffen nur in Ausnahmefällen erfolgen und die Menge unbedingt an das aktuelle Entwicklungsstadium des Pflanzenbestandes angepasst werden.

## Organische Substanz

Der Gehalt an *organischer Substanz* ist für einen Ackerstandort dieser Schwereklasse an der oberen Grenze des **günstigen Bereichs** und sollte erhalten werden.

Das **C/N-Verhältnis** von **12,2** ist günstig (*Soll: 8 bis 14 zu 1*). Das **C/P-Verhältnis** ist mit **133,6** weit (*Soll: 40 bis 100 zu 1*), der Standort neigt zur P-Fixierung. Das **C/S-Verhältnis** liegt mit **98** im Optimum (*Soll: < 130 zu 1*).

Bei günstigem Witterungsverlauf (Temperatur, Feuchte) können durch mikrobiologische Prozesse während der Vegetationsperiode folgende Mengen an Stickstoff (**N: 28 bis 53 kg/ha**), Phosphor (**P: 3 bis 5 kg/ha**) und Schwefel (**S: 3 bis 7 kg/ha**) mineralisiert werden. Die mineralisierten Nährstoffe können von den Pflanzen aufgenommen werden und einen wichtigen Beitrag zu deren Ernährung leisten.

→ Zum **Erhalt** bzw. **Aufbau** von **Dauerhumus** sollten Ernterückstände am Feld bleiben (wichtig: Strohrotte!), sowie regelmäßig Gründüngungen und Zwischenfrüchte angebaut und die biologische Aktivität gefördert werden (Optimierung von Luft-Wasserhaushalt, pH-Wert).

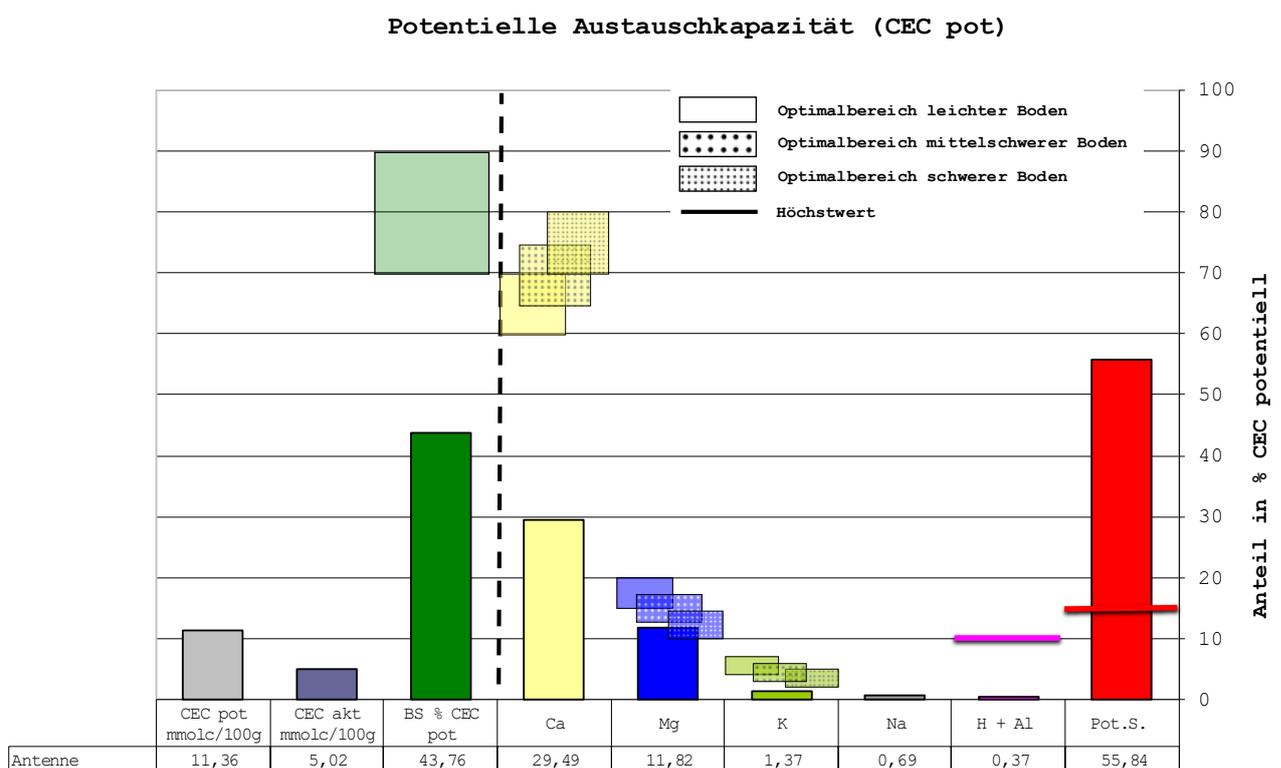
## Kationenaustauschkapazität (siehe Übersichtsblatt „Bodeneigenschaften“)

Die organische Substanz und die Tonteilchen im Boden besitzen geladene Oberflächen und können dadurch Nährstoffe austauschbar (= pflanzenverfügbar) anlagern und gegenüber Auswaschung schützen.

Das gesamte Potential eines Bodens, Nährstoffe austauschbar zu bevorraten wird als „**Potentielle Austauschkapazität**“ oder „**Potentielles Sorptionsvermögen**“ (international: Potential Cation Exchange Capacity (CEC potential)) bezeichnet. Die Austauschkapazität/das Sorptionsvermögen beschreibt für jeden Boden eine charakteristische Eigenschaft. Man kann z.B. davon ableiten, welche Mengen an zugeführten Nährstoffen (z.B. aus mineralischen/organischen Düngern) im Boden maximal gespeichert werden können.

Neben der „Potentiellen Austauschkapazität“ sind deren aktueller Ausnutzungsgrad („**Aktuelle Austauschkapazität**“), sowie die **Verhältnisse** der angelagerten Nährstoffe zueinander (**Ca : Mg : K**) zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung von entscheidender Bedeutung.

### Potentielle Austauschkapazität (CEC potentiell): Potential des Standortes



**Abbildung: Zusammensetzung der potentiellen Austauschkapazität (CEC pot)**

Beim untersuchten Boden (siehe Abbildung oben) beträgt die potentielle Austauschkapazität (**CEC pot**) **11,4 mmolc/100g**. Die Austauschkapazität ist auf die organische Substanz und auf Tonminerale, Oxide und Hydroxide zurückzuführen. Die aktuelle Austauschkapazität (**CEC akt**) beträgt **5 mmolc/100g**. Der Boden ist aktuell als **sorptionsschwach** zu bezeichnen.

Die **Basensättigung (BS)**, der prozentuelle Anteil der Summe von Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Natrium (Na) an CEC pot, liegt mit **44% deutlich unterhalb** des gewünschten Bereiches (*Soll: 70 bis 90%*). Das Vermögen, weitere Säureinträge abzapuffern, ist schlecht ausgeprägt. Es besteht die unmittelbare Gefahr, dass der Standort **noch stärker versauert** und die **Bodenfruchtbarkeit dauerhaft zusammenbricht**.

Die **Bodenfruchtbarkeit** wird durch das komplexe Zusammenwirken mineralogischer, physikalischer, chemischer und biologischer Wachstumsfaktoren bestimmt. Dazu zählen z.B. der Gehalt und die Verhältnisse an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, die Bodenreaktion (= pH-Wert), die Durchlässigkeit und Speicherkapazität für Wasser und Luft, der Humusgehalt sowie die biologische Aktivität. Diese Faktoren bilden die Grundlage, um in Verbindung mit Witterung und Bewirtschaftung den Ertrag dauerhaft und umweltverträglich zu optimieren.

**Im untersuchten Boden wird derzeit das Potential der Bodenfruchtbarkeit nicht ausgeschöpft.** Die potentielle Säure (**pot.S.**) am Austauscher ist mit **56% sehr hoch**, die Stoffverhältnisse liegen nicht im Optimalbereich, die Anteile von Ca, Mg und K sind sehr niedrig bzw. niedrig (siehe Abbildung oben bzw. Übersichtstabelle „Bodeneigenschaften“).

Im Zuge von Austauschprozessen werden Nährstoffe (z.B. Ca, Mg, K) durch Säuren vom Austauscher verdrängt, die Säuren lagern sich im Gegenzug an. Dieser Prozess der Nährstoffmobilisierung ist für die Ernährung der Kulturpflanzen über die Vegetationsperiode von essentieller Bedeutung.

Zur **Aufrechterhaltung dieser Prozesse** ist es notwendig, dass Teile der **angelagerten Säuren** in regelmäßigen Abständen **neutralisiert** werden. Das Überschreiten einer bestimmten Säuremenge am Austauscher führt dazu, dass die Säuren immer stärker angelagert werden und nicht mehr an den Austauschreaktionen teilnehmen (= „**Potentielle Säure**“, roter Balken in Abbildung oben). Durch diese **Blockade von Sorptionsplätzen** wird die aktuelle Austauschkapazität reduziert. Gleichzeitig reduzieren sich die Anteile an Ca, Mg und K, die Differenz zu den optimalen Wertebereichen wird immer größer (gelber/blauer/grüner Balken in Abbildung).

### **Aktuelle Austauschkapazität (CEC aktuell): IST-Zustand**

Auf Grund der **Blockade** von Bereichen der Austauscherflächen durch die potentielle Säure (**pot.S.**) können sich Ca, Mg und K nur am noch **aktiven Anteil anlagern**. Zur Bewertung des aktuellen Zustandes muss deshalb der aktive Anteil als Bezugsgröße herangezogen werden (CEC akt). Dies entspricht der Situation, welche die Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen aktuell vorfinden.

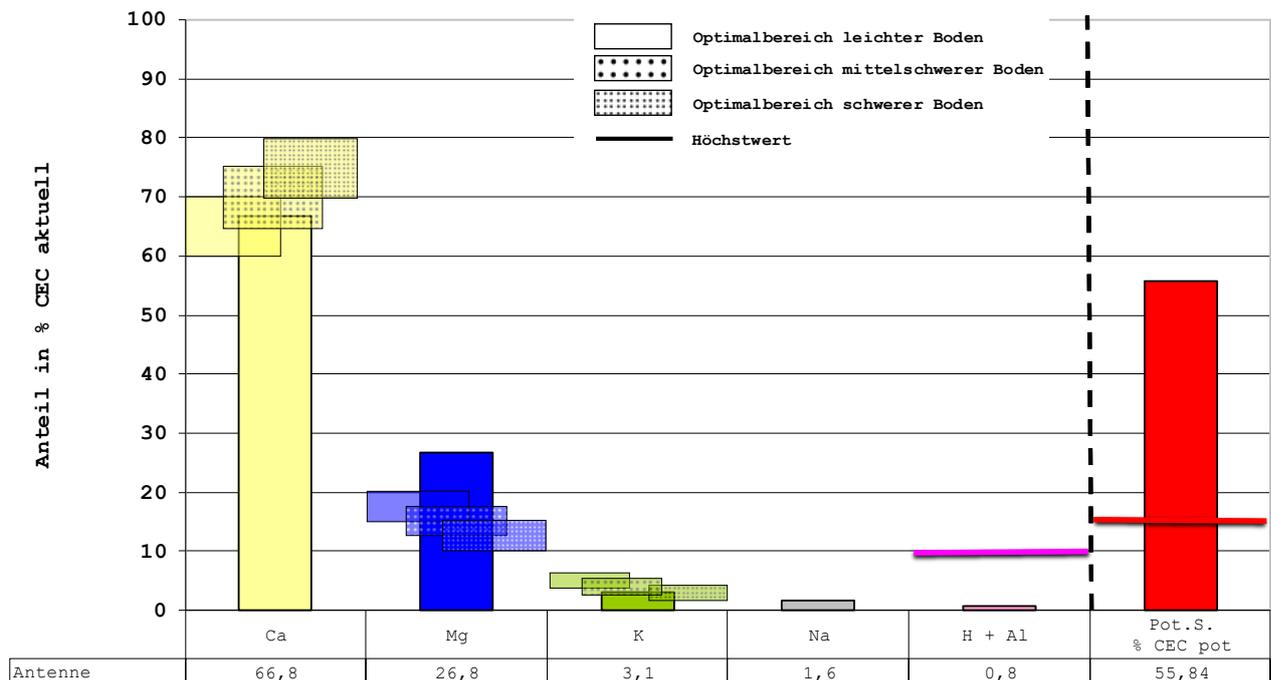
Die Verhältnisse der Stoffe zueinander bilden dabei einen wesentlichen Schlüsselfaktor zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit (Pflanzenernährung, Biologie, Aggregatstabilität, Luft/Wasserverhältnisse).

Nachfolgende Tabelle stellt die Verteilung der Stoffe am Austauscher dar, bei welcher optimale Verhältnisse herrschen (SOLL). Dem SOLL-Zustand ist die Zusammensetzung des aktuellen Austauschers der analysierten Bodenprobe gegenübergestellt. Die optimalen Wertebereiche sind abhängig von verschiedenen Basisparametern (z.B. der Bodenschwere).

**Tabelle 2: Optimalbereiche zu gemessenen Werten am aktuellen Austauscher in %**

	Ca	Mg	K	Na	(H+Al)
<b>SOLL</b>	<b>60-70</b>	<b>13-18</b>	<b>2-5,5</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 10</b>
Antenne	66,8	26,8	3,1	1,6	0,8

### Aktuelle Austauschkapazität (CEC akt)



**Abbildung:** Zusammensetzung der aktuellen Austauschkapazität (CEC akt) sowie Anteil der potentiellen Säure (Pot. S.) am CEC pot

Die Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen finden eine **ungünstige** Verteilung von Stoffen am aktuell genutzten Anteil des Austauschers vor.

Die Anteile von **Ca** liegen im Optimalbereich, jene von **Mg** deutlich im Überschuss. **Mg** ist ein Element, das ähnlich wie Ca die Möglichkeit besitzt, zwei Tonteilchen miteinander zu verbinden. Der Unterschied zwischen Ca und Mg besteht darin, dass die Wasserhülle, welche Ca umgibt, relativ stabil ist. Mg ist nur etwa halb so groß wie Ca und ändert die Größe der Wasserhülle in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte. Bei feuchten Bedingungen wird das Mg von einer großen Wasserhülle umgeben, die Tonminerale werden wie durch „Kugellager“ in eine sehr labile Phase überführt, die Blättchen verschieben sich bereits mit geringem Druck (Achtung: Verdichtungs- und Verschlammungsgefahr). Bei Trockenheit nimmt die Wasserhülle bis auf ein Minimum ab und das positiv geladene Mg Ion „fixiert“ zwei negativ geladene Tonteilchen miteinander, der Boden wird steinhart. Im Gegensatz dazu halten Ca-Ionen die Bindungsabstände zu den Tonteilchen relativ konstant und elastisch. Die Zufuhr von Gips bewirkt eine Erhöhung des Ca Anteiles und fördert über den sulfatischen Anteil die Auswaschung von Mg.

**K** ist günstig, **Na** sehr hoch.

Der Anteil an potentieller Säure (**pot. S.**) ist **sehr hoch** (s. oben).

→ Zur **Melioration** (Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit) muss potentielle Säure gezielt mobilisiert und neutralisiert werden. Gleichzeitig müssen die „freien“ Sorptionsplätze mit den gewünschten Stoffen im optimalen Verhältnis besetzt werden. Dabei sollten Mischungen aus Dolomit, Gips und Calciumcarbonat verwendet werden, z.B. AKRA DGC\* (siehe Melioration, Mengen und Verhältnisse beachten!). Die jährliche maximale Menge sollte 1.500 kg/ha nicht überschreiten.

Die Ergänzung des Kaliums kann mit organischen oder mineralischen Produkten erfolgen, die Menge sollte in mehreren Teilgaben jährlich im Herbst ausgebracht werden.

→ Zur **Bodenpflege** (Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit) im Anschluss an die abgeschlossene Melioration sollte dieselbe Produktkombination im selben Mischungsverhältnis wie zur Melioration jedes 3. Jahr mit einer Menge von 900 bis 1200 kg/ha ausgebracht werden.

\*ein Produkt der Karner Düngerproduktion, DGC = Dolomit/Gips/Calciumcarbonat



## Beurteilung der Nährstoffe (siehe Übersichtsblatt „Pflanzenernährung“)

Am Übersichtsblatt „Pflanzenernährung“ sind **Nährstoffe** und **potentiell toxische Stoffe** in verschiedenen Fraktionen (wasserlöslich, austauschbar, Reserve) tabellarisch gegenübergestellt. Als pflanzenverfügbar wird die Summe der wasserlöslichen + austauschbaren Fraktion definiert. Stoffe aus der Reservefraktion können durch verschiedene Prozesse im Laufe der Vegetationsperiode zum Teil mobilisiert (= pflanzenverfügbar) werden.

Die folgenden Tabellen stellen die verschiedenen Fraktionen (Pools) für die Hauptnährstoffe Calcium (**Ca**), Magnesium (**Mg**), Kalium (**K**), Phosphor (**P**), Stickstoff (**N**) sowie Schwefel (**S**) dar.

Bei dieser Momentaufnahme ist es nicht sinnvoll, dass die gesamte Menge an Nährstoffen, welche die angeführte Kultur beim angegebenen Ertragsniveau über die gesamte Vegetationsperiode benötigt, in einer leicht verfügbaren Form zur Verfügung steht. Entscheidend ist, dass der Bedarf in den jeweiligen Entwicklungsstufen gedeckt wird. Die Mobilisierungs- und Nachlieferungsprozesse sind unbedingt zu berücksichtigen, bei Bedarf soll eine Ergänzung erfolgen (Zeitpunkt, Menge, Bindungsform, Interaktionen beachten!).

### Calcium

Calcium (**Ca**) ist einer der wichtigsten Nährstoffe. Ca stabilisiert als „**Zellmörtel**“ das pflanzliche Gewebe und ermöglicht dadurch die Ausnutzung vieler anderer Nährstoffe. Diese Funktion bedingt, dass Ca in der Pflanze **nicht mobil** ist und somit über die gesamte Vegetationsperiode von den Wurzeln aufgenommen werden muss. Bestimmte Kulturen wie Leguminosen, Raps, Mais, Gemüse, Obst und Hopfen haben einen besonders hohen Calciumbedarf.

Ca liegt im Boden in **verschiedenen Bindungsformen** vor (carbonatisch z.B. als Kalk, silikatisch z.B. als Feldspat und organisch z.B. gebunden im Humus). Die Nachlieferung erfolgt über Prozesse der Verwitterung und Versauerung sowie Mineralisierung organischer Stoffe. **Austauschbares Ca** am Sorptionskomplex steht im **Fließgleichgewicht** mit dem Ca in der **Bodenlösung**.

Die Extraktionsverfahren der Bodenuntersuchung ergeben oft hohe Werte und spiegeln nicht immer die natürlichen Bedingungen wider. Zur Abschätzung der tatsächlichen Versorgung müssen deshalb noch weitere Parameter berücksichtigt werden (z.B. Bodenaktivität und Wasserverhältnisse, siehe unten).

Der **Ca-Gehalt** im **Boden** liegt häufig zwischen **0,1 und 1,2%**, in kalkhaltigen Böden höher, in Böden aus quarzreichen Sanden und in extrem versauerten Waldböden meist niedriger. Ein wesentlicher Teil des Gesamt-Ca liegt immer in austauschbarer Form vor. Der **Ca-Gehalt** in **Pflanzen** liegt zwischen **0,5 und 50 g/kg** Trockensubstanz (TS).

**Tabelle 3: Verschiedene Ca-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Menge kg/ha	Bemerkung
Ca	wasserlöslich	22,4	ausreichend
Ca	austauschbar	1469	ausreichend
Ca	nachlieferbar	1833	Reserven hoch

Im untersuchten Boden ist **Calcium** in allen Fraktionen **potentiell ausreichend** enthalten.

Insgesamt sind etwa **1500 kg/ha** Calcium in potentiell **pflanzenverfügbarer** Form vorhanden. Diese Menge ist **rechnerisch** für die gesamte Vegetationsperiode **ausreichend**. Dennoch kann es vorkommen, dass die angebauten Kulturen an Ca-Mangel leiden. Dabei spielen die Bodenaktivität und die Wasserverhältnisse eine wichtige Rolle. Der „Ca-Fluss“ zur Wurzel und die Aufnahme funktionieren nur bei optimalen Bedingungen. Ist es zu trocken, zu nass, zu kalt oder zu heiß, gelangt weniger Ca zur Wurzeloberfläche und trotz hoher Ca-Gehalte im Boden kann es zu Ca-Mangel in der Pflanze kommen.

→ Zur **Absicherung** einer **optimalen Ca-Versorgung** wird die Zufuhr einer Mischung von feinvermahlenden carbonatischen und sulfatischen Calcium-Produkten empfohlen. Auf das Verhältnis zu Magnesium ist zu achten.

## Magnesium

In der Pflanze ist Magnesium (**Mg**) **Baustein wichtiger Pflanzeninhaltsstoffe** (Chlorophyll, Phytin, ATP, ...), es aktiviert viele Enzyme und ist als Mg-ATP am Energietransfer beteiligt.

Der **Mg-Gehalt** salz- und carbonatarmer mitteleuropäischer **Böden** beträgt meist *0,5 bis 5 g/kg*, der überwiegende Anteil liegt in Silikaten vor. Quarzreiche Sandböden sind daher in der Regel Mg-arm, silikatreiche Tonböden Mg-reich. In carbonatischen Böden kann Mg außerdem in Carbonaten wie z.B. Dolomit oder Magnesit vorliegen. Aus der Verwitterung freigesetztes Mg wird zum Teil als austauschbares Mg an den Austauschern gebunden.

Die **Mg-Gehalte** in der **Pflanze** betragen in grünen Pflanzenteilen meist *1 bis 10 g/kg TS*, für die Mg-Versorgung der Pflanze sind vor allem die Mg-Konzentrationen in der Bodenlösung und der Gehalt an austauschbarem Mg im Boden von Bedeutung.

**Tabelle 4: verschiedene Mg-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Menge kg/ha	Bemerkung
Mg	wasserlöslich	9,6	ausreichend
Mg	austauschbar	357	Zufuhr für Melioration
Mg	nachlieferbar	500	Reserven hoch

In der **Bodenlösung** ist Magnesium in **ausreichender** Konzentration gelöst. Insgesamt sind etwa **365 kg/ha** Mg in **pflanzenverfügbarer** Form vorhanden. Diese Menge ist für die gesamte Vegetationsperiode **ausreichend**.

Die **Reserven** sind mit **500 kg/ha hoch**. Der Anteil von Mg am potentiellen Austauscher (**CEC pot**) ist **niedrig** (Zufuhr für Melioration, siehe weiter oben).

→ Zur Absicherung einer **optimalen Mg-Versorgung** sowie zum Ausgleich von Ernteentzug und Auswaschung wird die regelmäßige Zufuhr von feinvermahlenem Dolomit empfohlen. Auf das Verhältnis zu Calcium ist zu achten.

## Kalium

In der Pflanze ist Kalium (**K**) u. a. für die Einstellung des **osmotischen Drucks** und die Regulierung des **Wasserhaushaltes** verantwortlich und erhöht die **Frosthärte**. Außerdem aktiviert es unterschiedliche **Enzyme**.

Der Gesamtgehalt an **Kalium** im **Boden** steigt mit dem Tongehalt (in der Tonfraktion beträgt der Gehalt an Kalium 2 bis 4%) und teilt sich auf gelöstes Kalium (Bodenlösung), austauschbares Kalium (Sorptionskomplex) und gebundenes Kalium (Zwischenschichten von Tonmineralen) auf. Diese verschiedenen Kalium-Formen befinden sich bei einem **optimalen pH-Wert** im Boden (5,9 bis 6,9 im Neutralsalz) im **Fließgleichgewicht**.

In den **Pflanzen** liegt das Kalium meist als positives  $K^+$ -Ion vor und geht keine organischen Verbindungen ein. Die Kalium-Gehalte liegen häufig zwischen *5 und 50 g pro kg TS*.

**Tabelle 5: verschiedene K-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Menge kg/ha	Bemerkung
K	wasserlöslich	4,3	<b>Mangel</b>
K	austauschbar	133	<b>Mangel</b>
K	nachlieferbar	150	Reserven niedrig

Im untersuchten Boden sind die gelösten K-Konzentrationen (**K wasserlöslich**) im Verhältnis zu Ca und Mg **nicht ausreichend**. Das **pflanzenverfügbare** Kalium ist mit etwa **135 kg/ha niedrig**, diese Menge ist für die gesamte Vegetationsperiode nicht ausreichend. Der K-Anteil am potentiellen Austauscher (**CEC pot**) liegt **unterhalb** des **günstigen Bereichs** (siehe weiter oben, durch eine Meliorationsgabe kann der Anteil erhöht werden). Die **K-Reserven** sind **niedrig**.

→ Zur Aufrechterhaltung der **K-Versorgung** der Kulturpflanzen sollte Kalium zugeführt werden.  
**Hinweis:** werden nur die Körner von Getreide, Raps oder Mais geerntet und verbleiben die Ernterückstände am Feld, liegt der tatsächliche Entzug von Kalium bei 20 bis 25 kg/ha.

### Phosphor

In der Pflanze ist Phosphor (**P**) u.a. für den **Energietransfer** (ADP, ATP), bei der **Synthese** organischer Substanzen (z.B. DNA-Strang) und als **Zellbaustein** von Bedeutung.

**Phosphor** liegt im **Boden** in geringem Anteil in gelöster Form (meist < 0,1% des Gesamt-Phosphors) vor, weiters ist P gebunden an Oxide und Tonminerale (P austauschbar) sowie als Phosphatmineral (P nachlieferbar) und in der organischen Substanz (P organisch) vorhanden.

In **ungedüngten Böden** liegen die P-Gehalte z.B. in Sandböden bei < 100 mg/kg, in vielen schluffigen, lehmigen und tonigen Böden der gemäßigten Breiten zwischen 200 und 800 mg/kg. Bei jahrzehntelanger **hoher P-Zufuhr** können in landwirtschaftlich genutzten Böden bis über 2000 mg/kg P vorliegen.

In der **Pflanze** liegen die Phosphorgehalte allgemein zwischen 1 und 5 g/kg TS.

**Tabelle 6: verschiedene P-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Konzentration mg/l	Menge kg/ha	Menge in % P total	Bemerkung
P	wasserlöslich	0,91	0,8	0,05	Überschuss
P	austauschbar		4	0	starker Mangel
P	nachlieferbar		800	49	min. Reserven hoch
P	organisch		320	20	org. Reserven niedrig
P	total		1625		Gesamtgehalte mittel

Die P-Konzentration in der **Bodenlösung** beträgt **0,91 mg/l** und liegt oberhalb des Bereiches für eine gute Pflanzenentwicklung. Bei einer optimalen Konzentration zwischen 0,2 und 0,8 mg/l in der Hauptwachstumsphase können nahezu alle Kulturen, auch jene mit hohem Ertragsniveau, ausreichend versorgt werden.

Wichtig für eine optimale **P-Dynamik** sind neben der Betrachtung der Konzentration in der Bodenlösung die Ausstattung der verschiedenen Reservepools und die Milieubedingungen, welche die Nachlieferung steuern!

Insgesamt sind P < 5 kg/ha in **pflanzenverfügbarer** Form vorhanden. Diese Menge ist für die gesamte Vegetationsperiode **nicht ausreichend**. Es kann aber damit gerechnet werden, dass je nach Temperatur und Feuchteverhältnisse durch mikrobiologische und chemische Prozesse laufend P aus den Reservefraktionen mobilisiert wird. Der **säurelösliche** Reservepool ist mit P ca. **800 kg/ha gut** aufgefüllt, die **organischen** Reserven sind mit etwa **320 kg/ha niedrig**.

→ Zur **nachhaltigen Sicherung der P-Versorgung** sollten Maßnahmen gesetzt werden, die kontinuierlich P aus den Reservepools mobilisieren. Dazu eignen sich mehrere Strategien wie:

- Verbesserung und Stabilisierung des Puffersystems (z.B. Zufuhr von Dolomit, Kalk)
- Förderung der mikrobiellen Aktivität (z.B. Verbesserung der Durchlüftung, Versorgung mit Spurenelementen, Gründüngungen, Zwischenfrüchte, Stroh am Feld belassen-Strohrotte)
- Ionenkonkurrenz (z.B. durch Silikate/Kieselsäure)
- Anbau P-aufschließender Pflanzen (z.B. Buchweizen, weiße Lupine, Phacelia)
- Zufuhr P-aufschließender Bakterien (megaterium phosphaticum)

## Stickstoff

Stickstoff (N) gehört zu den **Hauptnährelementen** von Pflanzen und Mikroorganismen, er ist Bestandteil vieler organischer N-Verbindungen wie z. B. Proteinen, Vitaminen und Chlorophyll.

Der **Stickstoff-Gehalt** im **Boden** ist meist zu mehr als 90% organisch gebunden, der Gesamt-N-Gehalt ( $N_t$ ) beträgt im regelmäßig bearbeiteten A-Horizont („Ackerkrume“) des gemäßigt-humiden Klimas zwischen **3 und 9 t/ha**, in tiefgründigen Schwarzerden können es auch bis zu **14 t/ha** sein. Als sofort pflanzenverfügbare N-Verbindungen sind vor allem mineralische N-Formen ( $N_{min}$ ) von Bedeutung.

In der **Pflanze** ist Stickstoff im Allgemeinen mit **10 bis 50 g/kg TS** enthalten.

**Tabelle 7: Verschiedene N-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Menge kg/ha	Bemerkung
NH <sub>4</sub> -N	wasserlöslich	1,40	Mangel
NO <sub>3</sub> -N	wasserlöslich	0,80	
NH <sub>4</sub> -N	austauschbar	13,33	
N <sub>org</sub>	organisch	3520	Reserven hoch
N <sub>total</sub>	gesamt	3535	Reserven hoch

**Pflanzenverfügbare** Stickstoff (wasserlöslich und austauschbar) ist zum Zeitpunkt der Probenahme **im Mangel**. Die **organischen Stickstoff-Reserven** sind mit **3520 kg/ha hoch**, das **Mineralisierungspotential** liegt bei diesem Standort bei etwa **28 bis 53 kg/ha/Jahr**. Die Mineralisierungsrate ist abhängig von den Feuchte- und Temperaturbedingungen sowie von den Milieubedingungen für die Mikroorganismen (z.B. Säuremilieu, Nährstoffversorgung, Redoxpotential).

→ Die **Stickstoffernährung** der Pflanzen kann durch verschiedene Maßnahmen unterstützt werden:

- Steigerung der Effizienz durch Sicherstellung, dass die „unterstützenden“ Stoffe in günstiger Konzentration vorhanden sind (z.B. Calcium, Mangan, Magnesium, Phosphor, Schwefel, Eisen, Kobalt, Molybdän)
- biologische N-Fixierung (Knöllchenbakterien, freilebende N-bindende Bakterien)
- Zufuhr von organischen Stoffen (in Gülle liegt N zum Teil in mineralischer Form als NH<sub>4</sub><sup>+</sup> vor und ist damit sofort verfügbar, zum Teil liegt N als organisch gebundenes Molekül vor und wird erst über mikrobiologische Ab- und Umbauprozesse für die Pflanzen aufnehmbar)
- Zufuhr von mineralischen N-Düngern (Ammonium, Harnstoff).

Welche N-Formen und welche Mengen den besten Ertrag bringen, hängt von den spezifischen Bedingungen des Standortes (z.B. Feuchte, Temperatur, Luftkapazität) und den Ansprüchen der Kultur ab. Generell sollten nitrathaltige Dünger vermieden werden, da Nitrat die Energiebilanz der Pflanze extrem strapaziert (Nitrat kann erst nach Umwandlung in Ammonium von der Pflanze verwertet werden) und die Gefahr der Nitratbelastung in Wasserkörpern stark erhöht wird.

**Wichtig:** Auf das Verhältnis von Stickstoff zu Schwefel achten!

## Schwefel

Schwefel (S) ist Bestandteil vieler **Pflanzeninhaltsstoffe** (z.B. von Aminosäuren und damit von Proteinen, Enzymen und Vitaminen, von Geschmacks- und Geruchsstoffen, Lauchölen). Besondere Bedeutung hat Schwefel als Bestandteil von organischen Verbindungen, welche Schadorganismen (z.B. pathogene Pilze, Schadinsekten) zurückdrängen können.

Der **Gehalt** an Schwefel im **Boden** beträgt im humiden Klimabereich *0,1 bis 0,5 g/kg*, in Mooren kann der Gehalt auf bis zu 10 g/kg ansteigen, in sulfatsauren Marschen auf bis zu 35 g/kg. Bis auf diese Ausnahmen kommt es im humiden Klimabereichen zu keiner wesentlichen Anreicherung von Sulfaten, da diese leicht löslich sind und ausgewaschen werden. Der Großteil des Schwefels im Boden liegt in organischer Bindung vor.

Pflanzen nehmen Schwefel hauptsächlich als Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) auf, die **S-Gehalte** in **Pflanzen** betragen meist *1 bis 10 g/kg TS*.

**Tabelle 8: Verschiedene S-Pools des Bodens, Antenne**

Element	Verfügbarkeit	Menge kg/ha	Bemerkung
SO <sub>4</sub>	wasserlöslich	14	Mangel
S <sub>org</sub>	organisch	435	Reserven hoch
S <sub>total</sub>	gesamt	440	Reserven hoch

Der pflanzenverfügbare Schwefel (**wasserlöslicher Schwefel**) ist für die gesamte Vegetationsperiode nicht ausreichend. Die **organischen S-Gehalte** sind hoch, das **Mineralisierungspotential** liegt bei **3 bis 7 kg/ha** und Jahr.

→ Zur Optimierung der Pflanzenernährung sowie zum Ausgleich von Ernteentzug und Auswaschung wird die **Zufuhr von Schwefel** empfohlen. Eine Kombination mit Blattdüngern kann sinnvoll sein.  
**Wichtig:** Auf das Verhältnis von Stickstoff zu Schwefel achten!

## Spurenelemente und nützliche Elemente

Die Spurenelemente sind essentiell zur Pflanzenernährung und in Pflanzen in geringen Mengen vorhanden. Nützliche Elemente können bei bestimmten Kulturen Vorteile bei der Vitalität, der Abwehr von Schadorganismen oder der Bindung/Mobilisierung von Nährstoffen bedingen.

Eisen (**Fe**) ist meist als mineralische Reserve in großen Mengen im Boden vorhanden (org. Reserve meist unbedeutend => absoluter Mangel auf stark organischen Böden wie Hochmoor, **häufige Gehalte im Boden 5.000 bis 40.000 mg/kg**). Der **Gehalt in Pflanzen** liegt zwischen **50 und 1.000 mg/kg TS**. Fe ist an Redoxreaktionen, Photosynthese und Atmung beteiligt.

Mangan (**Mn**) ist im Boden in vielen Mineralen enthalten und kann zum Teil durch Humus fixiert werden (**häufige Gehalte im Boden 200 bis 400 mg/kg**). Der **Gehalt in Pflanzen** liegt zwischen **20 und 200 mg/kg TS**. Mangan aktiviert Enzyme und ist an Redoxreaktionen beteiligt.

Zink (**Zn**) ist in verschiedenen Mineralen enthalten und kann zum Teil ausgefällt oder im Humus fixiert werden (**häufige Gehalte im Boden 10 bis 300 mg/kg**). Die **Gehalte in Pflanzen** liegen zwischen **10 und 100 mg/kg TS**. Zink aktiviert Enzyme, ist an der Photosynthese beteiligt und fördert die Produktion von Wuchsstoffen.

Kupfer (**Cu**) ist in verschiedenen Mineralen und Erzen enthalten, kann als sekundäres Mineral ausgefällt oder im Humus fixiert werden (**häufige Gehalte im Boden 5 bis 100 mg/kg**). Die **Gehalte in Pflanzen** liegen zwischen **2 und 15 mg/kg TS**. Kupfer ist Bestandteil von Redoxsystemen (Photosynthese).

Bor (**B**) ist im Mineral Turmalin, sowie in Glimmern enthalten, oft als sekundäres Mineral ausgefällt (**häufige Gehalte im Boden 5 bis 100 mg/kg**). Die **Gehalte in Pflanzen** liegen zwischen **2 und 100 mg/kg TS**. Bor ist Baustein der Zellwand und beeinflusst die Wuchsstoffbildung.

Molybdän (**Mo**) ist in Silikaten wie Olivinen und Eisenoxiden vorhanden, nach der Verwitterung oft wieder ausgefällt (**häufige Gehalte im Boden 0,5 bis 5 mg/kg**). Die **Gehalte in der Pflanze** liegen zwischen **0,2 bis 3 mg/kg TS**. Molybdän ist Bestandteil von Enzymen (Nitratreduktase, Nitrogenase, Phosphatase).

Silizium (Si) ist der Hauptbestandteil vieler Böden (~ 30%), aber sehr immobil. Der **Gehalt in Pflanzen** ist hoch (**1.000 bis 10.000 mg/kg TS**) und entspricht in etwa dem Phosphor Gehalt! Silizium festigt Zellwände und Stützgewebe, fördert die Vitalität und stärkt die Abwehr von Schadorganismen.

Kobalt (Co) weist eine gute Beziehung zu den Eisengehalten auf. **Häufige Gehalte im Boden 1 bis 10 mg/kg**. Kobalt ist für die Pflanzenernährung nicht essentiell, jedoch für alle Bakterien und Tiere (Menschen) unbedingt notwendig (Vitamin B12). Der **Gehalt in Pflanzen** liegt zwischen **0,03 und 0,3 mg/kg TS**.

**Tabelle 9: Spurenelemente in verschiedenen Pools, Antenne**

Element	Pflanzenverfügbar kg/ha	Reservepool kg/ha	empfohlene Zugabe über den Boden* kg/ha
Fe	2,6	6600	keine
Mn	2,34	430	keine
Cu	0,24	15,0	keine
Zn	1,96	20,0	keine
Mo	0,02	0,00	0,05
B	0,16	0,00	0,29
Si	22,0	1570	keine
Co	0,002	3,3	0,01

\*) Differenz des Pflanzenbedarfs während der gesamten Vegetationsperiode zum Zeitpunkt der Probennahme.

Achtung: Überschüsse an Mn, Zn!

→ Zur **Optimierung** und **Sicherung** der Versorgung mit Spurenelementen sowie zum **Ausgleich vom Ernteentzug** wird die regelmäßige Zugabe von Produkten über den Boden empfohlen. Diese sollten viele Spurennährstoffe beinhalten und nicht wasserlöslich sein, sondern die Stoffe bei Bedarf in die Bodenlösung nachliefern (besonders wichtig fürs Bodenleben sind Kobalt und Molybdän).

Zur Absicherung der optimalen Ernährung der stehenden Kulturen sollen Blattdünger ergänzt werden. Dabei sollen keine Einzelnährstoffe ausgebracht werden, sondern Produkte, welche viele Spurennährstoffe in geringer Konzentration, aber optimalen Verhältnissen beinhalten.

### Toxische Elemente

Die wasserlöslichen Gehalte an Aluminium (Al) können Nachbarsysteme (z.B. Gewässer) gefährden. Al in der Bodenlösung kann die Aufnahme von Phosphor (P), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) stark beeinträchtigen und kann daher die Ursache für sichtbare P-, Ca- und Mg-Mangelsymptome sein. Da Al zudem wurzeltoxisch ist besteht die Gefahr von Ertragseinbußen.

→ Gelöstes Aluminium zeigt den Zerfall von wertvollen Tonteilchen und damit den Verlust von Bodenfruchtbarkeit an. Durch die gezielte Neutralisation von Säuren (siehe Melioration, z.B. AKRA DGC\*) wird die weitere Degradation gestoppt, regenerative Prozesse werden eingeleitet und das Gefährdungspotential wird reduziert.

\*ein Produkt der Kerner Düngerproduktion DGC = Dolomit/Gips/Calciumcarbonat

Mit freundlichen Grüßen

Univ.Lek. DI. Hans Unterfrauner

**Bemerkung: Die Interpretation und die empfohlenen Maßnahmen beziehen sich auf die eingeschickte Bodenprobe. Für die Qualität der Probenziehung und der Bodenprobe wird keine Haftung übernommen.**