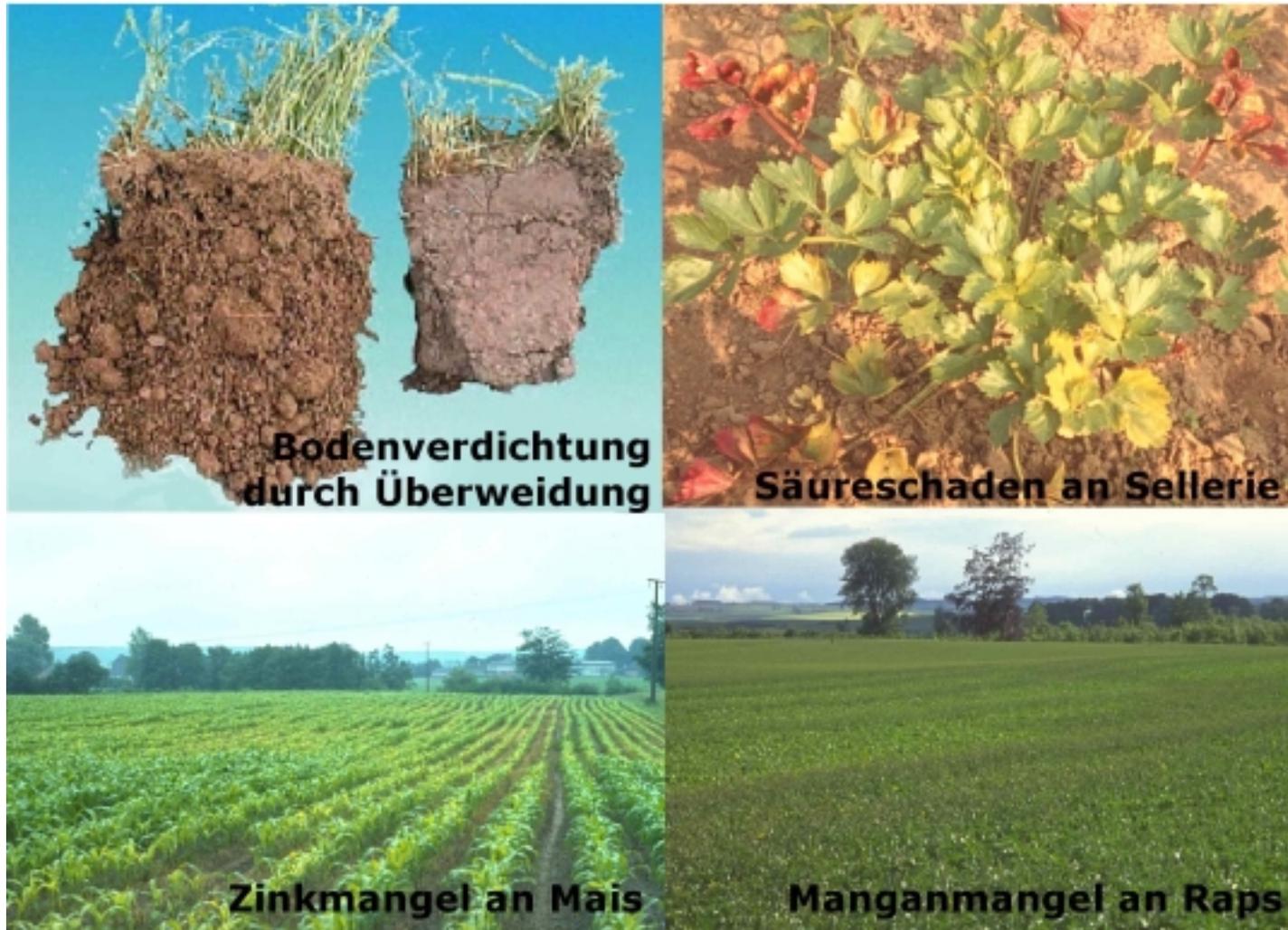


Ermittlung des Kalkbedarfes

von

Silvia Haneklaus

Bedeutung der Kalkversorgung



Optimale Bodenreaktion – Kompromiss hinsichtlich Ansprüchen an Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit
(Photos: K. Betteridge; E. Schnug)



Eine standortgerechte Kalkzufuhr ist Voraussetzung für die Erhaltung bzw. Förderung der Infiltrationskapazität landwirtschaftlicher Böden

Der Kalkbedarf steht in engem Zusammenhang mit:

- **Tongehalt**

Belegung der Bodenaustauscher mit Ca^{2+} und Mg^{2+} ist wichtig für die Stabilität von Bodenaggregaten

- **Humusgehalt**

Variable Ladung und KAK steigt mit pH-Wert

- **Kationenaustauschkapazität (KAK)**

Summe der austauschbaren Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+ [$\text{meq } 100\text{g}^{-1}$])

- **Basensättigung**

Anteil der Summe von Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ an der KAK [$\text{meq } 100\text{g}^{-1}$]

- **Calcium-Sättigung**

Anteil der Summe von Ca^{2+} an der KAK [$\text{meq } 100\text{g}^{-1}$]

Schwarzerde



Braunerde



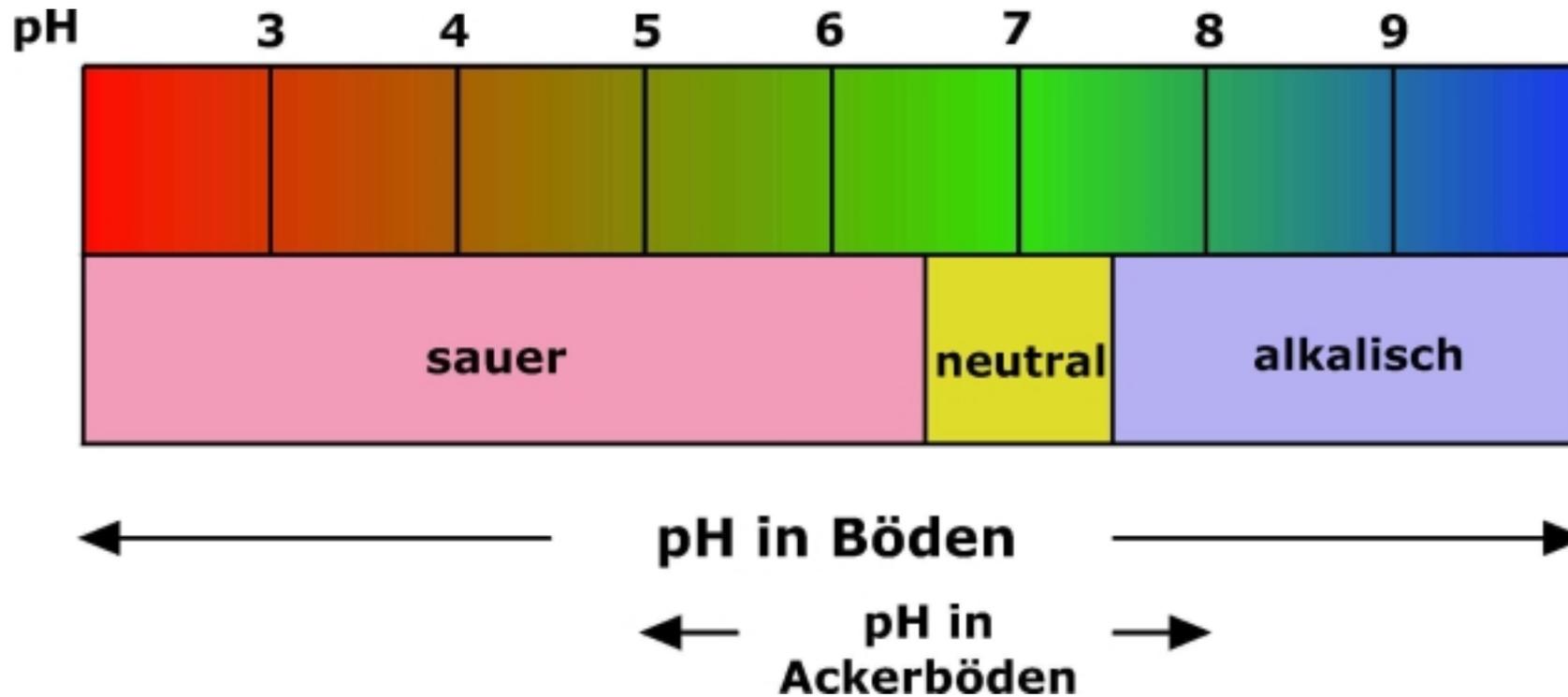
Podsol



Ton (%)	18	16	4,5
org. Subst. (%)	7	3	6
pH	7	6,1	4,2
Sättigung (%) Ca	91	64	23
Sättigung (%) Mg	8	6	3
Sättigung (%) H	1	25	74
	(Mg+K+Na)		(Mg+K)
KAK (meq/100g)	28	18	12
Basensättigung (%)	99	75	26
			(H+Al)

Beispiel für Höhe der KAK, Zusammensetzung des Kationenbelages und Basensättigung verschiedener Böden (nach Schröder, 1978)

**Ist der pH-Wert als Indikator für
den Kalkbedarf ausreichend?**



Aktuelle Acidität:

H⁺-Ionen in der Bodenlösung [pH]

Potenzielle Acidität:

An Austauschern adsorbierte H⁺ und Al³⁺-Ionen [meq 100g⁻¹ Boden]

Der pH-Wert als Indikator für die Basensättigung

Bisherige Annahme:

- H⁺ Ionen bedingen die Versauerung von Böden und sind die wichtigsten Konkurrenten für Ca²⁺ und Mg²⁺ an den Bodenaustauschern.

Konsequenz:

- Der Kalkbedarf (notwendiger Nachschub an Ca²⁺ und Mg²⁺ für Verluste durch Auswaschung) wird INDIREKT über den pH-Wert bestimmt.

Tatsache:

- Die Anwendung von Gülle führt dem Boden vermehrt einwertige und daher strukturschädliche Kationen (NH₄⁺; K⁺) zu, die zur Sicherung der Aggregatstabilität ebenfalls durch Kalkzufuhr kompensiert werden müssten, aber
- **der pH-Wert zeigt dies nicht an!**
- **Daher ist der pH-Wert kein genereller Indikator für den Kalkbedarf.**

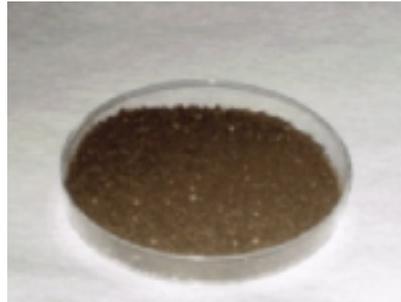
Variabilität von Basensättigung und pH-Werten auf einem Standort (Rogasik, 2002)

Probe	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ²⁺	Na ²⁺	pH
		(meq kg ⁻¹)				
1	0,1	32,4	3,1	3,5	1,3	6,0
2	0,1	22,9	2,6	3,2	9,3	5,6
3	0,1	44,8	4,8	4,6	0,1	5,8
4	14,0	26,2	2,9	3,8	0,1	5,7
5	0,1	25,7	3,1	3,4	0,1	6,0

Methoden zur Ermittlung des Kalkbedarfes auf Basis von pH-Werten

*Pufferkurven
&
Titrationsverfahren*

Pufferkurven



Boden

+



Kalk (CaCO_3)

+



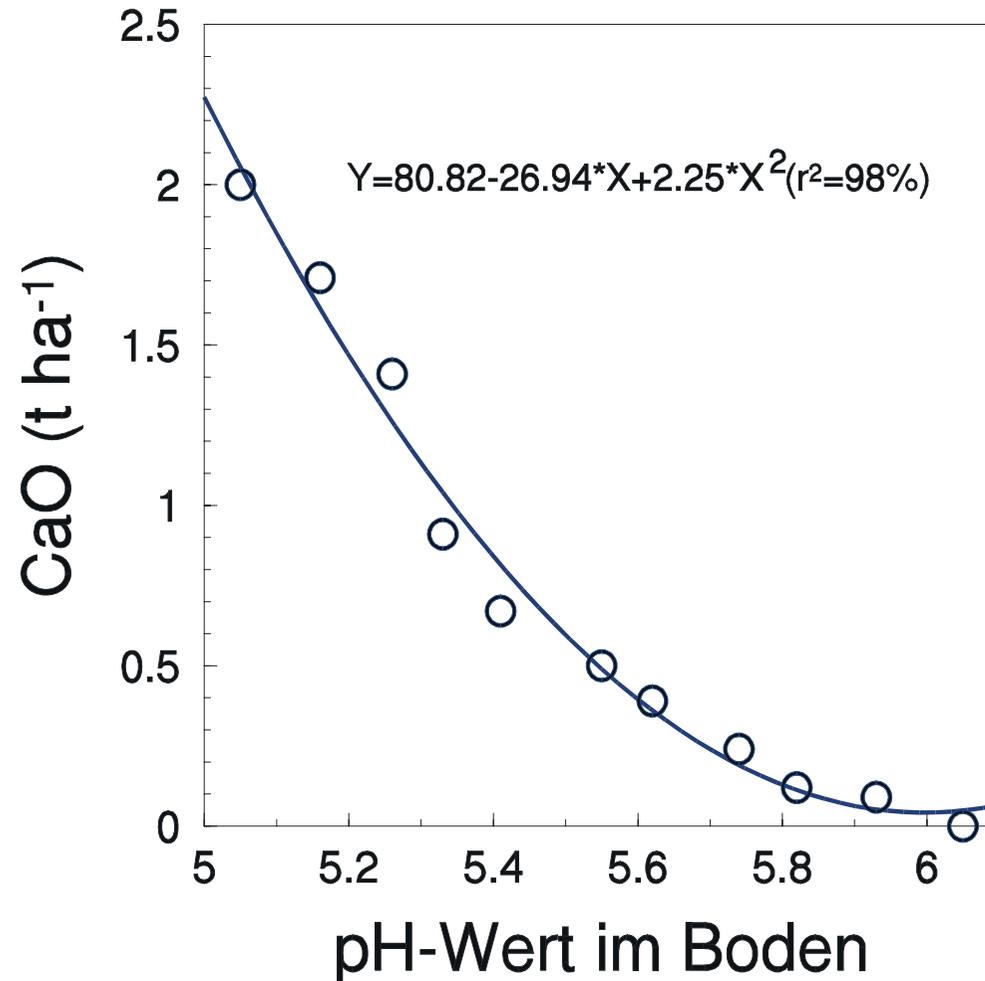
Wasser

Reaktionszeit: 2 – 6 Tage

Temperatur: 5° C - 60° C (+ Chloroform)

pH-Messung in 0,01 M CaCl_2 Lösung (1:2.5 bis 1:5)

(Quellen: Bache, 1988; Barrow und Cox, 1990; Haneklaus und Schnug, 2000)



Beispiel für eine typische Pufferkurve auf einem schwach lehmigen Sand (Ziel-pH = 6.0)

Titrationungsverfahren

nach Dunn (1943)

10 g Boden + 0.02 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0, 10, 20, 40, 60, 80 ml)

plus 100, 90, 80, 60, 40, 20 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$

plus Chloroform

pH-Wert Messung nach 4 Tagen

nach Jensen (1955)

10 g Boden + 0.17 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0, 20, 40, 60, 80, 100 ml)

plus 500, 480, 440, 420, 400 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$

pH-Wert Messung nach 3 Tagen

nach Mänthylathi und Ylärinta (1980)

25 ml Boden + 62.5 ml (0.01 M CaCl_2 + 0.0055 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

25 ml Boden + 62.5 ml (0.01 M CaCl_2 + 0.0103 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

pH-Wert Messung nach 6 Tagen

Methoden zur Ermittlung des Kalkbedarfes auf Basis von pH-Werten

Schnellmethode nach Schachtschabel

Schnellverfahren nach Schachtschabel - Bestimmung der potenziellen Acidität -

1. 10 g lufttrockener Boden + 25 ml Wasser
2. Nach 1 und 2 Stunden schütteln
3. 12 – 15 Stunden stehen lassen
4. pH-Wert direkt messen
5. Ermittlung des H⁺-wertes aus Tabellen



Berechnung des Kalkbedarfes entsprechend

$$1 \text{ meq H}^+ 100 \text{ g}^{-1} \text{ Boden} = 8.4 \text{ dt CaO ha}^{-1}$$

$$\text{dt CaO für Ziel-pH} = \frac{\text{Ziel pH} - \text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}}{\text{pH } 7 - \text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}} * \text{dt CaO für pH } 7$$

Methoden zur Ermittlung des Kalkbedarfes auf Basis von pH-Werten

VDLUFA Methode

Bestimmung der aktuellen Acidität

$\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$



Ermittlung des Kalkbedarfes aus Tabellen auf Basis von

- Nutzung
- Bodenart
- Humusgehalt
- pH-Klasse

Einteilung der Bodenarten zur Ermittlung des Kalkbedarfes (VDLUFA, 2000)

Bodengruppe	Bodenart	Tongehalt (%)	Ton- und Feinschluffgehalt (%)
1	Sand	< 5	< 7
2	schwach lehmiger Sand	> 5 - 12	> 7 - 16
3	stark lehmiger Sand	> 12 - 17	> 16 - 23
4	sandiger/schluffiger Lehm	> 17 - 25	> 23 - 35
5	schwach toniger Lehm bis Ton	> 25	> 35
6	Hochmoore und saure Niedermoore	> 30% Humus	

pH-Klassen von Ackerböden in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt

Bodenart	pH-Klasse	Humusgehalt (%)			
		≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 15,0	15,1 - 30
Sand	A	≤ 4,5	≤ 4,2	≤ 3,9	≤ 3,6
	B	4,6 - 5,3	4,3 - 4,9	4,0 - 4,6	3,7 - 4,2
	C	5,4 - 5,8	5,0 - 5,4	4,7 - 5,1	4,3 - 4,7
	D	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8	5,2 - 5,4	4,8 - 5,1
	E	≥ 6,3	≥ 5,9	≥ 5,5	≥ 5,2
schwach lehmiger Sand	A	≤ 4,8	≤ 4,5	≤ 4,1	≤ 3,7
	B	4,9 - 5,7	4,6 - 5,3	4,2 - 4,9	3,8 - 4,5
	C	5,8 - 6,3	5,4 - 5,9	5,0 - 5,5	4,6 - 5,1
	D	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3	5,6 - 5,9	5,2 - 5,5
	E	≥ 6,8	≥ 6,4	≥ 6,0	≥ 5,6
stark lehmiger Sand	A	≤ 5,0	≤ 4,7	≤ 4,3	≤ 3,8
	B	5,1 - 6,0	4,8 - 5,5	4,4 - 5,1	3,9 - 4,7
	C	6,1 - 6,7	5,6 - 6,2	5,2 - 5,8	4,8 - 5,4
	D	6,8 - 7,1	6,3 - 6,7	5,9 - 6,2	5,5 - 5,8
	E	≥ 7,2	≥ 6,8	≥ 6,3	≥ 5,9
sandiger/schluffiger Lehm	A	≤ 5,2	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0
	B	5,3 - 6,2	5,0 - 5,7	4,6 - 5,3	4,1 - 4,9
	C	6,3 - 7,0 ¹	5,8 - 6,5	5,4 - 6,1	5,0 - 5,7
	D	7,1 - 7,4	6,6 - 7,0	6,2 - 6,5	5,8 - 6,1
	E	≥ 7,5	≥ 7,1	≥ 6,6	≥ 6,2
schwach toniger Lehm bis Ton	A	≤ 5,3	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0
	B	5,4 - 6,3	5,0 - 5,8	4,6 - 5,4	4,1 - 5,0
	C	6,4 - 7,2 ¹	5,9 - 6,7	5,5 - 6,3	5,1 - 5,9
	D	7,3 - 7,7	6,8 - 7,2	6,4 - 6,7	6,0 - 6,3
	E	≥ 7,8	≥ 7,3	≥ 6,8	≥ 6,4
Hochmoore und saure Niedermoore ²	A, B				≤ 4,2
	C				4,3
	D, E				≥ 4,4

pH-Klasse: A sehr niedrig - B niedrig - C optimal - D hoch - E sehr hoch

Kalkbedarf: A Gesundungskalkung - C Erhaltungskalkung - E Keine Kalkbedarf

¹auf Böden mit freiem Kalk ist keine Erhaltungskalkung erforderlich

²auf sauren organischen Böden wird Ackernutzung nicht empfohlen

Kalkbedarf von Ackerböden innerhalb einer Fruchtfolge zur Einstellung der optimalen Bodenreaktion

pH- Klasse	Humusgehalt (%)							
	≤4,0		4,1 - 8,0		8,1 - 15,0		15,1 - 30	
	pH	CaO (dt ha ⁻¹)	pH	CaO (dt ha ⁻¹)	pH	CaO (dt ha ⁻¹)	pH	CaO (dt ha ⁻¹)
Sand								
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
	•	•	•	•	•	•	•	•
	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
B	4,6	27	4,3	28	4,0	28	3,7	12
	•	•	•	•	•	•	•	•
	5,3	7	4,9	6	4,6	5		
C	5,4 - 5,8	6	5,0 - 5,4	5	4,7 - 5,1	4	4,3 - 4,7	3
D	5,9 - 6,2	-	5,5 - 5,8		5,2 - 5,4		4,8 - 5,1	
E	≥ 6,3	-	≥ 5,9		≥ 5,5		≥ 5,2	
stark lehmiger Sand								
A	≤ 4,5	87	≤ 4,2	89	≤ 3,8	90	≤ 3,3	33
	•	•	•	•	•	•	•	•
	5,0	63	4,7	60	4,3	60	3,8	23
B	5,1	58	4,8	54	4,4	54	3,9	21
	•	•	•	•	•	•	•	•
	6,0	15	5,5	13	5,1	11	4,7	6
C	6,1 - 6,7	14	5,6 - 6,2	12	5,2 - 5,8	10	4,8 - 5,4	5
D	6,8 - 7,1	-	6,3 - 6,7	-	5,9 - 6,2	-	5,5 - 5,8	-
E	≥ 7,2	-	≥ 6,8	-	≥ 6,3	-	≥ 5,9	-

**Kalkbedarfsbestimmung auf der
Basis von pH-Werten adressiert
nicht die Basensättigung!**

Methoden zur Ermittlung des Kalkbedarfes auf Basis von pH- Werten und Calciumsättigung

Finnisches Standardverfahren

Klassifizierungssystem für Böden, pH-Werte und Calciumsättigung nach Kurki (1977)

Klassifikation der Bodenfruchtbarkeit	Empfohlene Kalkdüngungsmengen (dt CaCO ₃ /ha)	Tonböden		Grobkörnige Mineralböden		Organische Böden	
		pH _(H₂O)	Ca (mg L ⁻¹)	pH _(H₂O)	Ca (mg L ⁻¹)	pH _(H₂O)	Ca (mg L ⁻¹)
(5) Gut	-	6,2 - 6,6	2600 - 3600	6,2 - 6,6	2000 - 2600	5,6 - 6,0	2600 - 3600
(4) Zufriedenstellend	20 - 40	5,8 - 6,2	2000 - 2600	5,8 - 6,2	1400 - 2000	5,2 - 5,6	1600 - 2600
(3) Ausreichend	40 - 60	5,4 - 5,8	1500 - 2000	5,4 - 5,8	800 - 1400	4,8 - 5,2	1000 - 1600
(2) Relativ niedrig	60 - 80	5,0 - 5,4	1000 - 1500	5,0 - 5,4	400 - 800	4,4 - 4,8	600 - 1000
(1) Niedrig	80 - 100	< 5,0	< 1000	< 5,0	< 400	< 4,4	< 600

Zusammenfassung und Fazit

- **Pufferkurven** zeigen direkt und standortspezifisch für jeden Boden den pH-Effekt der Kalkung an und werden zur Kalibrierung von **Titrationsverfahren** verwandt.
- Wesentlicher Nachteil der **Schnellmethode** ist, dass sie auf theoretischen Berechnungen beruht und die Validierung hauptsächlich unter Laborbedingungen erfolgte.
- Die **VDFLUFA Methode** ist das schnellste aller Verfahren, da lediglich der aktuelle pH-Wert bestimmt wird.
- Die **Calcium-Sättigung** muss zukünftig bei allen Verfahren zur Bestimmung der Kalkbedarfsermittlung, die auf der Messung von pH-Werten beruhen, entsprechende Berücksichtigung finden, um die Funktionalität von Böden sicherzustellen.