

Bestimmung der potentiellen Kationenumtauschkapazität / Basensättigung in Böden mit $\text{pH}_{(\text{Wasser})} > 5.9$

Version 1.2 (2020)

Code der Referenzmethode	KUK2		Mögliche Einsatzbereiche
Einsatzbereich	Düngeberatung	Ackerkulturen und Grasland	x
		Gemüsebau (Freiland / Gewächshaus)	
		Weinbau, Obstbau, Beerenanbau, Gewürz- und Medizinalpflanzen	
	Standortcharakterisierung		x
	Schadstoffbeurteilung		x
	Recyclingdünger	Kompost	
		Gärgut fest	
		Gärgut flüssig	
		Klärschlamm	
	Hofdünger	Mist	
		Gülle	
Mineraldünger			
Pflanzenkohle			
Forschungsmethoden			
Rechtliche Grundlagen / Vollzugshilfen	Messung der Kationenaustauschkapazität für Düngeberatung laut den Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD).		
Zulassungskriterien für Labors	-		
Analysenprogramm	Probennahme	AF-PN, OW-PN	
	Probenaufbereitung	AF-OW-PA	
	Aufschluss	KUK2-Ex	
	Messung	KUK2, KUK2-H	

Konzentrations- / Messbereich	
Angabe der Ergebnisse	% Basensättigung; keine Dezimalstelle. Ca, Mg, K, Na, H, $\text{KUK}_{\text{pot.}}$ mÄq/100 g trockenen Boden; eine Dezimalstelle.
Äquivalente Methoden	Diese Methode entspricht KAK, jedoch mit Einschränkung betreffend pH-Wert der Böden.
Sicherheit / Umwelt	Barium ist ein sehr toxisches Element, wenn es eingenommen wird. Es ist ebenfalls schädlich für die Umwelt und muss adäquat entsorgt werden.



Bestimmung der potentiellen Kationenumtauschkapazität / Basensättigung in Böden mit $\text{pH}_{(\text{Wasser})} > 5.9$

1. Prinzip

Die Kenntnis der austauschbaren Menge Einzelionen an Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ und evtl. Na^+ (T-Wert) ist von besonderem Interesse. Daneben ist der Anteil an basischen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ = S-Wert) für die Berechnung der Basensättigung (V-Wert) von Bedeutung.

$$\text{Basensättigung in \% (V - Wert)} = \frac{\text{S - Wert} \cdot 100}{\text{T - Wert}}$$

Potentielle Kationenumtauschkapazität = T-Wert

Zur Bestimmung der potentiellen Kationenumtauschkapazität werden die Bodenproben mit einer auf pH 8.1 gepufferten Bariumchlorid/Triethanolamin-Lösung behandelt. Im Filtrat können, nachdem Barium als Bariumsulfat gefällt wurde, die Anteile an austauschbaren Ca-, Mg-, K- und bei Bedarf Na-Ionen bestimmt werden.

Die Bestimmung der H-Ionen erfolgt gemäss Methode KUK2-H in diesem (unbehandelten) Filtrat.

2. Durchführung

Apparaturen und Geräte

- (A) Atomabsorptions-Spektrometer.
- (B) Flammenphotometer.
- (C) div. Messkolben (100, 500, 1000 ml).
- (D) div. Bechergläser.
- (E) pH-Meter.
- (F) Trockenschrank oder Brutschrank.
- (G) Trichter.
- (H) Vollpipetten, 10 und 50 ml.
- (I) Heizplatte.
- (K) Uhrgläser.
- (L) Rundfilter aschefrei (Schleicher & Schuell, 589¹, Ø 11 cm).

Reagenzien

- (1) Demineralisiertes Wasser (H_2O , Leitfähigkeit $< 5 \mu\text{S/cm}$).
- (2) Salzsäure-Lösung HCl 1 N (Titrisol).
- (3) Schwefelsäure-Lösung 2 N:
 H_2SO_4 -Titrisol 1 N in 500 ml Messkolben spülen und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (4) Salzsäure 1:1:
1 Teil Salzsäure rein (HCl 37 %, $M = 36.46 \text{ g/mol}$) mit 1 Teil H_2O (1) mischen.
- (5) Triethanolamin-Lösung 8 %:
8 g Triethanolamin ($(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$, $M = 149.19 \text{ g/mol}$, $d = 1.12 \text{ g/ml}$) in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) auffüllen.

- (6) Lanthanchlorid-Lösung 10 %:
50 g Lanthanchlorid ($\text{LaCl}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) in einen 100 ml Messkolben (C) geben, auflösen und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (7) Calcium-Standardlösung I (1 g Ca/l) 1000 ppm:
Inhalt einer Ca-Titrisol-Ampulle 1 g Ca/l in einen 1000 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (8) Calcium-Standardlösung II 100 ppm:
10 ml der Calcium-Standardlösung I (7) in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (9) Ca-Kalibrierlösungen:
 0 ppm Ca: 0 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 1 ppm Ca: 1 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 2 ppm Ca: 2 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 3 ppm Ca: 3 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 4 ppm Ca: 4 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 5 ppm Ca: 5 ml Ca-Standardlösung II (8) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
- (10) Magnesium-Standardlösung I (1 g Mg/l) 1000 ppm:
Inhalt einer Mg-Titrisol-Ampulle (1 g Mg/l) in einen 1000 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (11) Magnesium-Standardlösung II 50 ppm:
50 ml der Magnesium-Standardlösung I (10) in einen 1000 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (12) Mg-Kalibrierlösungen:
 0 ppm Mg: 0 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 0.25 ppm Mg: 0.5 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 0.5 ppm Mg: 1 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 1 ppm Mg: 2 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 2 ppm Mg: 4 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 3 ppm Mg: 6 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 4 ppm Mg: 8 ml Mg-Standardlösung II (11) + 10 ml LaCl_3 (6) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 Die oben angegebenen Lösungen je in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (13) Kalium-Standardlösung I (1 g K/l) 1000 ppm:
Inhalt einer K-Titrisol-Ampulle (1 g K/l) in einen 1000 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (14) Kalium-Standardlösung II 100 ppm:
10 ml der Kalium-Standardlösung I (13) in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (15) K-Kalibrierlösungen:
 0 ppm K: 0 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 0.5 ppm K: 0.5 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 1 ppm K: 1 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 1.5 ppm K: 1.5 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 2.5 ppm K: 2.5 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 3 ppm K: 3 ml K-Standardlösung II (14) + 10 ml $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ (5) + 10 ml H_2SO_4 (3) + 0.5 ml HCl (4)
 Die oben angegebenen Lösungen je in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (16) Natrium-Standardlösung I (1 g Na/l) 1000 ppm:
Inhalt einer Na-Titrisol-Ampulle (1 g Na/l) in einen 1000 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.
- (17) Natrium-Standardlösung II 100 ppm:
10 ml der Natrium-Standardlösung I (16) in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H_2O (1) zur Marke auffüllen.

(18) Na-Kalibrierlösungen:

0 ppm Na: 0	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)
0.5 ppm Na: 0.5	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)
1 ppm Na: 1	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)
2 ppm Na: 2	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)
3 ppm Na: 3	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)
5 ppm Na: 5	ml Na-Standardlösung II (17) + 10 ml (HOCH ₂ CH ₂) ₃ N (5) + 10 ml H ₂ SO ₄ (3) + 0.5 ml HCl (4)

Die oben angegebenen Lösungen je in einen 100 ml Messkolben (C) geben und mit H₂O (1) zur Marke auffüllen.

Arbeitsvorschrift:

50 ml Filtrat gemäss Methode KUK2-Ex in 150 ml Becherglas pipettieren (H) und 0.5 ml HCl 1:1 (4) zusetzen. Der pH-Wert dieser Lösung sollte ca. 2 betragen. Anschliessend Lösung zum Sieden erhitzen. Dann 10.0 ml H₂SO₄ (3), (H) tropfenweise zugeben, wobei sich ein weisser BaSO₄-Niederschlag bildet. Becherglas mit Uhrglas bedecken und die Lösung während mindestens 2 Stunden auf 45°C (F) warmstellen. Anschliessend durch Rundfilter (L) in 100 ml Messkolben filtrieren. Bei der Filtration sollte vorerst nur die überstehende Lösung abdekantiert werden, so dass der Niederschlag zwei Mal im Becherglas ausgewaschen werden kann. Beim dritten Waschvorgang, BaSO₄-Niederschlag in Faltenfilter spülen und dort weitere zwei Mal auswaschen. Nun Lösung mit H₂O (1) auf 100 ml auffüllen und gut mischen.

In diesem Barium-freien Teil des Filtrats können nun die Ca-, Mg-, K- und bei Bedarf Na-Ionen gemessen werden (A, B).

Die Bestimmungen erfolgen spektrofotometrisch bei folgenden Geräteeinstellungen und Messbereichen:

Element	Gerät:	Wellenlänge	Kalibrierlösungen
Ca ²⁺	(A)	422.7 nm	(9)
Mg ²⁺	(A)	285.2 nm	(12)
K ⁺	(B)	766.5 nm	(15)
Na ⁺	(B)	589.0 nm	(18)

Üblicherweise müssen die Extrakte verdünnt werden:

Ca-Bestimmung, Verdünnung 1:100 (1:50)

Mg-Bestimmung, Verdünnung 1:20 (1:10)

K-Bestimmung, Verdünnung 1:5

3. Berechnung**3.1. Berechnung der Menge Kationen in mäg/100 g Boden bei einer Einwaage von 20 g Boden****Berechnungselemente:**

- Gehaltsangabe der Kalibrierreihe und der Analysenlösung: mg Kation pro 1000 ml = a
- Gewichtungsfaktor = b:
 - 150 ml Ausgangsfiltrat entsprechen 6 g Boden
 - 50 ml Ausgangsfiltrat aufgefüllt auf 100 ml entsprechen 2 g Boden
 - 100 ml Ba-freie Analysenlösung entsprechen 2 g Boden
 - 1000 ml Ba-freie Analysenlösung entsprechen 20 g Boden

Gesucht: Gehalt in 100 g Boden

$$\frac{100 \text{ g}}{20 \text{ g}} = 5 = b$$

- Äquivalentgewichte = c:

Kation	Atomgewicht in mg/mmol	Ladungszahl des Kations	Äquivalentgewicht in mg/mmol = c
Ca	40.080	2	20.040
Mg	24.305	2	12.153
K	39.098	1	39.098
Na	22.990	1	22.990

Berechnung austauschbare Kationen:

$$\frac{\text{mäq Kationen}}{100 \text{ g Boden}} = \frac{a \cdot b}{c} = \frac{\text{mg Kationen} / 1000 \text{ ml} \cdot 5}{\text{Äquivalentgewicht des entsprechenden Kations (mg / mmol)}}$$

3.2. Berechnung der potentiellen Kationenumtauschkapazität:

$$\text{KUK}_{\text{pot.}} = \text{T-Wert} = (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) + (\text{K}^{+}) + (\text{Na}^{+}) + (\text{H}^{+}) \text{ mäq/100 g Boden}$$

3.3. Berechnung der Basensättigung:

$$\text{S-Wert} = (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) + (\text{K}^{+}) + (\text{Na}^{+}) \text{ in mäq/100 g Boden}$$

$$\% \text{ Basensättigung (V – Wert)} = \frac{\text{S – Wert} \cdot 100}{\text{T – Wert}}$$

4. Resultatangabe

% Basensättigung; keine Dezimalstelle.

Ca, Mg, K, Na, H, KUK_{pot.} mäq/100 g trockenen Boden; eine Dezimalstelle.

5. Bemerkungen

Na⁺ wird in der Regel nur auf besondere Anordnung hin analysiert.

6. Historie

Version	Art der Änderung	neu	bisher
Version 1.0 (1995)	Erstellung Methode		
Version 1.1 (1996)	Editorisch		
Version 1.2 (2020)	Editorisch	Elektronische Veröffentlichung mit geändertem L	

Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch/referenzmethoden
Auskünfte	Diane Bürge
Copyright	© Agroscope 2020