

Bestimmung der Körnung im mineralischen Anteil der Feinerde

Version 3.1 (2020)

Code der Referenzmethode	KOM		Mögliche Einsatzbereiche
Einsatzbereich	Düngeberatung	Ackerkulturen und Grasland	x
		Gemüsebau (Freiland / Gewächshaus)	x
		Weinbau, Obstbau, Beerenanbau, Gewürz- und Medizinalpflanzen	x
	Standortcharakterisierung		x
	Schadstoffbeurteilung		x
	Recyclingdünger	Kompost	
		Gärgut fest	
		Gärgut flüssig	
		Klärschlamm	
	Hofdünger	Mist	
		Gülle	
	Mineraldünger		
	Pflanzenkohle		
	Forschungsmethoden		
Rechtliche Grundlagen / Vollzugshilfen	Bestimmung der Textur für Düngeberatung laut den Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD).		
Zulassungskriterien für Labors	Die Grenzen des Ringversuches PEP (WEPAL) werden eingehalten. Jährlich wird eine aktuelle Liste für Bodenuntersuchungen zur Düngeberatung empfohlenen Labors auf den Internetseiten von Agroscope und BLW publiziert.		
Analysenprogramm	Probennahme	AF-PN	
	Probenaufbereitung	AF-OW-PA	
	Aufschluss	-	
	Messung	KOM	

Konzentrations- / Messbereich	
Angabe der Ergebnisse	Gewichtsprozent Tonanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle Gewichtsprozent Schluffanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle Gewichtsprozent Sandanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle
Äquivalente Methoden	Konventionsmethode, die auf die Schweizer Definition für die einzelnen Partikel beruht. Ton Partikel $2\ \mu\text{m}$ Schluff Partikel $2 - 50\ \mu\text{m}$ Sand Partikel $> 50\ \mu\text{m}$
Sicherheit / Umwelt	Keine besonderen Massnahmen



1. Prinzip

Die Gewichtsanteile der Kornfraktionen Ton und Schluff an einer Bodenprobe werden mit Hilfe aliquoter Proben aus einem Sedimentationsvorgang in wässriger Suspension bestimmt. Die Kornfraktion Sand wird entweder als Differenz zu 100 % berechnet oder über eine Siebanalyse bestimmt.

Nach der Humuszerstörung wird die Bodensuspension dispergiert, anschliessend lässt man die suspendierten Körnungsteilchen während definierter Zeitintervalle sedimentieren. Nachdem alle Teilchen sedimentiert sind, die einen grösseren als den zu bestimmenden Äquivalentdurchmesser haben, entnimmt man aus vorgeschriebener Tiefe eine aliquote Menge der Suspension und wiegt deren Trockensubstanz. Der Körnungsanteil wird bezogen auf den mineralischen Anteil der Feinerde (Summe der Ton-, Schluff- und Sandanteile = 100%) ausgedrückt.

2. Durchführung

Apparaturen und Geräte

- (A) Waage (0.001 g Teilung)
- (B) Sedimentationszylinder 500 ml
- (C) Trockenschrank 105°C
- (D) Heizbank (evtl. programmierbar)
- (E) Rückflusskühler
- (F) Wasserbad auf 25°C thermostatisierbar
- (G) pH-Meter mit pH-Elektrode oder pH-Indikatorstäbchen (z.B. Spezialindikator pH 8-11)
- (H) Stoppuhr
- (I) Vollpipette 25 ml, mit der die Bedingungen unter (J) eingehalten werden können
- (J) Pipettboy. Der Pipettboy wird so eingestellt, dass mit der Pipette (I) in 11 s genau 25 ml Flüssigkeit eingesaugt werden. Der Unterdruck am Ende des Pipettvorgangs darf maximal 70 mbar erreichen.
- (K) Wägegläser
- (L) Exsikkator
- (M) Prüfsieb, Maschenweite 0.05 mm
- (N) Diverse Infusionsflaschen, Messkolben und Messzylinder 100 bis 1000 ml
- (O) Diverse Pipetten
- (P) Faltenfilter (Schleicher & Schuell, 790½, Ø 32 cm)

Reagenzien

- (1) Demineralisiertes Wasser (H₂O, Leitfähigkeit <5 µS/cm)
- (2) Wasserstoffperoxid, (H₂O₂, 30%; kühl und vor Licht geschützt aufbewahren)
- (3) Natronlauge konz. (Natriumhydroxid NaOH, M=40.00 g/mol):
100 g Natriumhydroxid in 100 ml H₂O (1) lösen.
- (4) Salzsäure 3M (HCl rein, 37 %, M=36.46 g/mol),:
1 Teil Salzsäure 37% zu 3 Teil H₂O (1) geben.
- (5) Dispergierungsmittellösung (10-prozentige Natrium-Hexa-Metaphosphat [Natriumpolyphosphat] - Lösung (NaPO₃)_x)
1000 ml-Messkolben (N) zur Hälfte mit H₂O (1) füllen. 100 g Natrium-Hexa-Metaphosphat langsam zusetzen und unter Rühren mit dem Magnetrührer auflösen. 25 ml Natronlauge (3) zusetzen und mit H₂O (1) zur Marke auffüllen. Anschliessend durch Faltenfilter (P) filtrieren.

Arbeitsvorschrift

- Zur Herstellung der Bodensuspension wird eine repräsentative Probe von 10. g getrockneter Feinerde in einen Sedimentationszylinder (B) eingewogen und in diesem mit etwa 150 ml H₂O (1) sowie mit 40 ml Wasserstoffperoxid (2) übergossen; danach wird sie während mindestens 12 Std. stehengelassen und gelegentlich geschwenkt. Bei starker Schaumbildung sprüht man etwas H₂O (1) darüber. Danach ca. 150 ml H₂O (1) zugeben.

Anmerkungen:

- Vor der Entnahme einer repräsentativen Feinerdeprobe muss die Bodenprobe gründlich gemischt werden; dies lässt sich z.B. mit einer 10-minütigen Mischung in einer Mischtrommel („Turbula“) erreichen. Bei der Entnahme muss darauf geachtet werden, dass keine Entmischungen auftreten, d.h. die Feinerdeprobe sollte aus der gesamten Schütthöhe der Bodenprobe entnommen werden.
- Besteht der Verdacht, dass die luftgetrocknete Bodenprobe noch einen Wassergehalt von mehr als 10% aufweist (z.B. bei tonreichen Böden), muss an einer Parallelprobe eine Trockensubstanzbestimmung durchgeführt werden (vgl. Referenzmethode TS). Der

gefundene Trockensubstanzanteil muss bei der Berechnung der Körnungsanteile berücksichtigt werden.

- Dann wird die Probe am Rückflusskühler (E) während mindestens 1 Stunde gekocht (D). Bei starker Schaumbildung sprüht man etwas H₂O (1) darüber. Humusreiche Böden (ab ca. 10% Humus) müssen nach dem einstündigen Kochen nochmals (evtl. sogar mehrfach) mit 40 ml Wasserstoffperoxid (2) versetzt und weitere 60 Minuten am Rückflusskühler gekocht werden, damit die organische Substanz vollständig zerstört wird.

Anmerkungen: Für die Humuszerstörung kann die jeweilige Reaktionsdauer bei Raumtemperatur bzw. beim Kochen so gewählt werden, dass günstige Arbeitsabläufe im Labor entstehen (z.B. auch programmiertes Kochen über Nacht).

- Anschliessend gibt man in die noch handwarme (mindestens 35° C) Suspension 20 ml Dispergierungsmittellösung (5) und schüttelt gut durch. Sicherstellen, dass keine Bodenteilchen an der Gefässwand haften bleiben. Mit H₂O (1) füllt man ungefähr bis zur 475 ml-Marke auf. Zur Temperaturangleichung stellt man die Messzylinder über Nacht in das auf 25°C thermostatisierte Wasserbad.

Anmerkung: Je nach Organisation der Untersuchungen kann statt mit nur einem Sedimentationszylinder auch mit zwei Gefässen (z.B. Infusionsflasche 500 ml und Sedimentationszylinder 500 ml) gearbeitet werden. Dabei erfolgen Humuszerstörung und Suspendierung im ersten, die Sedimentierung im zweiten Gefäss.

- Vor Beginn der Analyse wird der pH-Wert der Suspension kontrolliert (G). Der Sollbereich liegt zwischen pH 8.5 und 10.5. Die Einstellung erfolgt sorgfältig mittels Salzsäure (4). Danach füllt man mit H₂O (1) bis zur 500 ml-Marke auf.
- Entnahme der "Ton+Schluff"-Fraktion:
Vor dem Pipettieren der "Ton+Schluff"-Fraktion wird die Suspension während mindestens 30 Sekunden kräftig gemischt (mit Druckluft oder von Hand). Der Bodensatz muss vollständig in Suspension gehen. Unmittelbar nach Beendigung des Rührens wird die Stoppuhr (H) in Gang gesetzt. Etwa 10 Sekunden vor Erreichen der Sedimentationszeit taucht man die zum Aufsaugen vorbereitete Pipette (I) sorgfältig auf die gewählte Entnahmetiefe (vgl. Tab. 1) ein. Unmittelbar nach Ablauf der erforderlichen Sedimentationszeit saugt man mit Hilfe des Pipettboys (J) während genau 11 Sekunden ein 25 ml Aliquot der Suspension ein und gibt dieses in ein tariertes Wägegglas (K). Die Wägeggläser mit den Suspensionen im Trockenschrank (C) bei 105°C über Nacht trocknen. Die noch heissen Wägeggläser im Exsikkator (L) abkühlen lassen und den Trockenrückstand zurückwägen. Diese Wägung ergibt den Trockenrückstand (Ton+Schluff+Dispergierungsmittel).

Anmerkungen:

- Um Spritzverluste durch Siedeverzug zu vermeiden, kann das Suspensionsaliquot in den Wägeggläsern vor dem Trocknen im Trockenschrank noch auf einem Sandbad bei 90-100°C eingeeengt werden.
- Die maximale Eintauchtiefe bzw. die Höhe des Sedimentationszylinders ist so zu wählen, dass zwischen Pipettenspitze und Boden des Sedimentationszylinders noch mindestens 10 cm bzw. 20% der gesamten Sedimentationsstrecke verbleiben.
- Beim Pipettieren der „Ton+Schluff“-Fraktion ist es besonders wichtig, dass Sedimentationszeit und -tiefe genau eingehalten werden!

- Entnahme der "Ton"-Fraktion:
Analoges Vorgehen wie bei der Entnahme der "Ton+Schluff"-Fraktion; Entnahmezeit und -tiefe gemäss Tab. 1 wählen. Diese Wägung ergibt den Trockenrückstand (Ton+Dispergierungsmittel).
- Sedimentationszeit und Sedimentationstiefe

Tab. 1: Sedimentationszeit (in h:min:s) für Ton+Schluff- bzw. Ton-Bestimmung bei der Temperatur von 25°C und verschiedenen Entnahmetiefen							
Fraktion:	Ton+Schluff			Ton			
Tiefe:	10 cm	15 cm	20 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Zeit:	0:00:40	0:00:59	0:01:19	3:26:17	6:52:34	10:18:51	13:45:08

- Bei serienmässigen Körnungsbestimmungen erfolgt das Aufrühren der Suspension sowie das Entnehmen des Suspensionsaliquotes aus aufeinanderfolgenden Sedimentationszylindern in regelmässigen Zeitabständen (z.B. 60 Sekunden).

- Von jeder neu hergestellten Dispergierungsmittellösung (5) ist ein 5-facher Blindwert zu bestimmen, indem in einen 500 ml Messzylinder (N) 20 ml Dispergierungsmittellösung (5) gegeben werden und dann mit H₂O (1) bis zur Marke aufgefüllt wird. Davon wird fünfmal eine dem Suspensionsaliquot (z.B. 25 ml) entsprechende Menge in Wägegläschen (K) pipettiert und im Trockenschrank (C) bei 105°C getrocknet. Anschliessend lässt man sie im Exsikkator (L) abkühlen, der Trockenrückstand (Dispergierungsmittel) wird ausgewogen.

Anmerkung: Um Spritzverluste durch Siedeverzug zu vermeiden, kann das Suspensionsaliquot in den Wägegläsern vor dem Trocknen im Trockenschrank noch auf einem Sandbad bei 90-100°C eingeeengt werden.

- Mit Hilfe der Sedimentationsanalyse lassen sich die Gewichtsanteile von Ton und Schluff bestimmen. Der Sandanteil wird bei Bezug auf die mineralische Feinerde aufgrund der Ton- und Schluffanteile als Differenz berechnet. Er lässt sich allerdings auch analytisch bestimmen. Zu diesem Zweck wird der Inhalt des Sedimentationszylinders quantitativ auf ein 0.05 mm-Prüfsieb (M) gegeben und - nachdem die feineren Teilchen der Ton- und Schlufffraktionen mit H₂O (1) durchgespült worden sind - der Siebrückstand quantitativ in ein Wägeglas (K) überführt. Die Wägegläser mit dem Siebrückstand werden im Trockenschrank (C) bei 105°C über Nacht getrocknet. Die noch heissen Wägegläser werden im Exsikkator (L) abkühlen lassen und der Trockenrückstand wird zurückgewogen; diese Wägung ergibt den Trockenrückstand (Sand). Mit Hilfe eines Siebsatzes kann die Sandfraktion noch weiter unterteilt werden.

Anmerkung: Die direkte Bestimmung des Sandanteiles durch mechanische Fraktionierung ermöglicht gleichzeitig eine Kontrolle der Berechnung des Sandanteiles aufgrund der Sedimentationsanalyse von Ton- und Schluffanteil.

3. Berechnung

TS_{TUD} = Trockenrückstand (Ton + Schluff + Dispergierungsmittel) pro Suspensionsaliquot [g]

TS_{TD} = Trockenrückstand (Ton + Dispergierungsmittel) pro Suspensionsaliquot [g]

TS_D = Trockenrückstand (Dispergierungsmittel) pro Suspensionsaliquot (Blindwert) [g]

TSs = Trockenrückstand (Sand) [g]

VT_s = Gesamtvolumen der Suspension, [cm³]

VA_s = Suspensionsaliquot für die Trockenrückstandsbestimmung [cm³]

G_E = Einwaage luftgetrocknete Feinerde [g]

G_H = Humusgehalt der Feinerde [Gew.%]; vgl. Methode **Corg**

Ton_m = Gewichtsanteil der Tonfraktion an der mineralischen Feinerde [%]

Schluff_m = Gewichtsanteil der Schlufffraktion an der mineralischen Feinerde [%]

Sand_m = Gewichtsanteil der Sandfraktion an der mineralischen Feinerde [%]

Berechnung der Körnung (Ton_m, Schluff_m und Sand_m) bezogen auf die **mineralische Feinerde**

Formel

Beispiele für 10.0 g Einwaage(G_E), 3.5 %Humus(G_H), 500 cm³ Suspensionsvolumen (VT_s) und 25 cm³ Suspensionsaliquot (VA_s):

$$\text{Ton}_m = \frac{(\text{TS}_{\text{TD}} - \text{TS}_{\text{D}}) \times \left(\frac{\text{VT}_s}{\text{VA}_s}\right) \times 100}{\left(1 - \frac{\text{G}_H}{100}\right) \times \text{G}_E}$$

$$\text{Ton}_m = \frac{(\text{TS}_{\text{TD}} - \text{TS}_{\text{D}}) \times \left(\frac{500}{25}\right) \times 100}{\left(1 - \frac{3.5}{100}\right) \times 10.0}$$

$$\text{Schluff}_m = \frac{(\text{TS}_{\text{TUD}} - \text{TS}_{\text{TD}}) \times \left(\frac{\text{VT}_s}{\text{VA}_s}\right) \times 100}{\left(1 - \frac{\text{G}_H}{100}\right) \times \text{G}_E}$$

$$\text{Schluff}_m = \frac{(\text{TS}_{\text{TUD}} - \text{TS}_{\text{TD}}) \times \left(\frac{500}{25}\right) \times 100}{\left(1 - \frac{3.5}{100}\right) \times 10.0}$$

$$\text{Sand}_m = \frac{(\text{TS}_s) \times 100}{\left(1 - \frac{\text{G}_H}{100}\right) \times \text{G}_E}$$

$$\text{Sand}_m = \frac{(\text{TS}_s) \times 100}{\left(1 - \frac{3.5}{100}\right) \times 10.0} \quad \text{Sandanteil gemessen}$$

$$\text{Sand}_m = 100 - \text{Ton}_m - \text{Schluff}_m$$

Sandanteil berechnet

4. Resultatangabe

Gewichtsprozente Tonanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle.

Gewichtsprozente Schluffanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle.

Gewichtsprozente Sandanteil an der mineralischen Feinerde; keine Dezimalstelle.

• Anmerkungen

- Die grafische Darstellung der Körnung eines Bodens kann in Form eines sog. „Körnungsdreieckes“ erfolgen. Wird die Körnung auf die Feinerde bezogen, kann dies nur ein rechtwinkliges Dreieck mit den Katheten Ton^f und Schluff_f sein. Bezieht sich die Körnung dagegen auf die mineralische Feinerde, lässt sie sich zusätzlich auch als gleichseitiges Dreieck mit den Seiten Ton_m , Schluff_m und Sand_m darstellen.
- Aus den laborinternen Standardabweichungen von 0.8% für Ton und 1.0% für Schluff (siehe Validierung) ergibt sich ein 95%-Vertrauensbereich von $\pm 1.8\%$ für Ton bzw. $\pm 2.2\%$ für Schluff. Für die Vergleichbarkeit zwischen Labors wird eine grössere Streuung erwartet.

5. Bemerkungen

- Stokes Formel zur Fallgeschwindigkeit feiner Teilchen in einer Suspension:

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{(D_1 - D_2) \cdot g \cdot r^2}{\eta}$$

v = Fallgeschwindigkeit [cm/s]

D_1 = Dichte des Teilchens, z.B. Quarz = 2.65 g/cm³ [g/cm³]

D_2 = Dichte der Flüssigkeit, z.B. Wasser = 1.00 g/cm³ [g/cm³]

g = Erdbeschleunigung, 981 cm/s²

η = Viskosität der Flüssigkeit, z.B. Wasser bei 25°C = 0.008904 Poise [Poise]

r = Teilchenradius, z.B. Ton = 1×10^{-4} cm [cm]

Die Schluff- und Sandfraktionen lassen sich mit Sedimentations- bzw. Siebtechniken noch weiter unterteilen, indem zusätzliche Sedimentationszeiten (Schlufffraktionierung) bzw. weitere Siebe (Sandfraktionierung) verwendet werden. Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz empfiehlt dabei folgende Klassengrenzwerte (BGS-Bulletin Nr. 3, 1979, S. 86-87):

Körnungsfraction	Klassengrenzwerte [μm]
Feinschluff	2-20
Grobschluff	20-50
Feinsand	50-200
Staubsand	50-100
grober Feinsand	100-200
Mittelsand	200-500
Grobsand	500-2000

Anmerkung zur Behandlung von Böden mit besonderen Eigenschaften.

Bei aussergewöhnlicher Bodenzusammensetzung, v.a. bei hohen Kalk-, Salz- oder Gipsgehalten, kann es möglich sein, dass die routinemässige Körnungsmethode fragwürdige Resultate ergibt. Dies kann zu schlechten Übereinstimmungen zwischen Tongehalt und Kationenaustauschkapazität oder zu fehlerhaften Korrekturen bei der Bemessung der P- und K-Düngung führen. Nur für diese besonderen Fragestellungen empfehlen wir in Anlehnung an die entsprechenden ISO-Methoden folgendes Vorgehen:

- **Kalkhaltige Böden (CaCO₃):** Der Kalkanteil derartiger Proben ist auf die verschiedenen Körnungsfractionen der mineralischen Feinerde verteilt. Falls eine Körnungsbestimmung der kalkfreien Feinerde gewünscht wird, ist folgendes Vorgehen zu wählen:
 - a) wiederholt HCl (4) zugeben, bis kein Aufschäumen mehr zu beobachten ist;
 - b) H₂O (1) zugeben und die Suspension absetzen lassen;
 - c) die überstehende Lösung vorsichtig dekantieren.
 Die Arbeitsschritte b) und c) sind solange zu wiederholen, bis die Säure aus der Lösung entfernt werden konnte.

- **Böden mit hohem Salzgehalt:** Durch hohe Salzgehalte (Leitfähigkeit $> 0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$) werden die Sedimentationsbedingungen verfälscht. Bevor die Dispergierungsmittellösung zugegeben wird, müssen diese Salze durch wiederholte Zugabe von H_2O (1) mit anschliessendem Sedimentieren und vorsichtigem Dekantieren entfernt werden.
- **Gipshaltige Böden (CaSO_4):** Das Entfernen von Gips ist schwieriger als das der anderen Salze. Das übliche Vorgehen zur Entfernung von Salzen muss deshalb mit einem intensiven mechanischen Rühren ergänzt werden.

6. Validierung

Die Validierung beruht auf Arbeiten von Peter Weisskopf (Wk 1998/9) und Hans Stünzi (HSt 2007).

(6a) Messunsicherheit

Die Bestimmung von Ton und Schluff beruht auf Gewichtsunterschieden im Milligramm-Bereich für Wägegläser von 30-40 Gramm. Bei den Wägungen bewirkt eine Abweichung von 1 mg eine Änderung des Ton- oder Schluffgehalts um 0.2% absolut.

Für den Wert TSD (Trockenrückstand Dispergierungsmittel) wurde eine durchschnittliche Standardabweichung von 1.9 mg gefunden (30 Bestimmungen, je 5-6-fach). Diese Standardabweichung beinhaltet das Trocknen von Wägegut und Wägegläsern, Transfer zum und vom Ofen und Exsikkator. Für TSTUD und TSTD wird eine eher grössere Standardabweichung erwartet, da der Grad der Trocknung und hygroskopisches Verhalten des Wägeguts hineinspielen.

Daraus berechnet sich für die Bestimmung von Ton und Schluff (aus 2 resp. 3 Wägeresultaten) Standardabweichungen von 2.8 resp. 3.4 mg, was bei Ton 0.5% und bei Schluff 0.7% entspricht.

(6b) Reproduzierbarkeit

Die durchschnittliche Standardabweichung von 15- bis 18-fachen Bestimmungen an 10 Proben betrug für Ton 0.8% ($\pm 0.3\%$), für Schluff 1.0% ($\pm 0.3\%$) (Wk 1998).

Die Messunsicherheit der Wägungen (6a) trägt mehr als die Hälfte zur den Standardabweichungen bei und ist demnach eine bedeutende Quelle der Messunsicherheit.

(6c) Robustheit

Die Wirkung von systematischen Abweichungen der Methodik auf das Resultat:

	Abweichungen		
	Ton % (abs.)	Schluff % (abs)	
Nach Referenzmethode „erlaubte“ Variationen			
Schluff aus 15 cm Tiefe / 59 Sek. verglichen mit 10 cm Tiefe / 40 Sek		0.6 ± 0.9	Wk 1999
Mischen mit reduzierter Luftmenge		deutlich tiefer, variabel	sth 2007
länger als 30 Sek. intensiv mischen		kein Einfluss	sth 2007
pH 8.5 verglichen mit 10.5	0.4 ± 0.6	0.7 ± 1.5	sth 2007
Deutliche Abweichung von der Referenzmethode			
20° statt 25°	0.0 ± 0.9	0.5 ± 0.6	Wk 1998
30° statt 25°	0.6 ± 0.5	-1.5 ± 0.4 *	Wk 1998
20 ml Pipette mit seitlicher Ansaugung	-0.5 ± 0.6	1.2 ± 1.1 *	Wk 1998
25 ml Pipette mit vernachlässigbarem Saugwiderstand statt 40 mBar	kein Einfluss	kein Einfluss	sth 2007
Beide Pipettierungen 10% zu lang gewartet	-0.1 ± 0.8	-0.3 ± 1.0	Wk 1998
Beide Pipettierungen 10% zu wenig gewartet	-0.1 ± 0.5	0.8 ± 0.8	Wk 1998
Beide Pipettierungen 1 cm zu wenig tief	-0.1 ± 0.5	-1.5 ± 1.1 *	Wk 1998
Beide Pipettierungen 1 cm zu tief	1.1 ± 0.3 *	-0.1 ± 1.0	Wk 1998
Extrem-Variationen			
Beide Pipettierungen 5 cm zu tief	1.5 ± 0.7 *	2.2 ± 1.4 *	Wk 1998
Beide Pipettierungen 10 cm zu tief	2.8 ± 1.4 *	3.8 ± 2.9 *	Wk 1998
Ton&Schluff-Pipettierung 30% zu früh		1.9 ± 0.9 *	Wk 1999
Ton&Schluff-Pipettierung in 7 statt 11 Sek.		1.6 ± 0.7 *	Wk 1999

*: deutlicher Einfluss

Wk 1998: je 3fachbestimmungen an 10 Proben

WK 1999: je 1-2fachbestimmungen an 15 Proben

stht 2007: je 1-2fachbestimmungen an 8-9 Proben

Weitere Befunde zur Robustheit

- Die Verwendung einer 3 Monate alten Lösung von Natriumhexametaphosphat, in der 3% zu Orthophosphat hydrolysiert war, gab gleiche Resultate wie eine frische.
- Die Verwendung von „Natriumpolyphosphat (NaPO_3)_n [n=ca.25]“ von Merck „Natriumhexametaphosphat (NaPO_3)₁₂₋₁₃•Na₂O“ von Fluka gab sehr ähnliche Resultate.
- Jegliches Vermindern der Mischungsintensität vor der Sedimentation führt zu kleineren Schluffresultaten, wobei das Ausmass der Verminderung zufällig ist und drastisch sein kann. Wenn die nötige Mischintensität erreicht ist, gibt intensiveres Mischen keine höheren Schluffwerte.
- Probenabhängigkeit: Die in der Tabelle aufgeführten relativ kleinen Wirkungen von Variationen sind Durchschnittswerte. Die Streuungen beruhen jedoch nicht nur auf Zufälligkeit, da manchmal Abweichungen von den Durchschnittswerten probenspezifisch reproduzierbar waren. Zum Beispiel gab es bei der um Faktor 2 zu tiefen Ton-Entnahme Proben, bei denen der daraus resultierende Fehler klein war, während sich die Resultate bei anderen Proben sehr dramatisch änderten.

(6d) Richtigkeit

Uns ist keine Möglichkeit bekannt, die Richtigkeit der Körnungsanalyse zu überprüfen. Referenzmaterialien gibt es nicht. Da die internationale Ringanalyse ISE 63 µm als Obergrenze für Schluff verwendet statt 50 µm wie in der Schweiz üblich, kann damit nicht die Richtigkeit durch einen unabhängigen Vergleich kontrolliert werden.

Ein Hinweis zur Richtigkeit ist, dass Analysen mit grösserer Einwaage dasselbe Resultat geben.

7. Historie

Version	Art der Änderung	neu	bisher
Version 1 (1995)	Erstellung Methode		
Version 1.1 (1996)			
Version 1.2 (1998)	Änderung Methodencode	KOM	KO-1
Version 1.3 (1999)	Überarbeitung Methode	Behandlung von Böden mit speziellen Eigenschaften in Kapitel 5	Kapitel 2
Version 2.0 (2000)	Überarbeitung Methode	Präzisierung Geräte und Arbeitsablauf, Resultatangabe	
Version 3.0 (2008)	Überarbeitung Methode	Validierung	
Version 3.1 (2020)	Editorisch editorisch	Formel Sandanteil gemessen Elektronische Veröffentlichung mit geändertem Layout	Sandanteil Berechnet

Impressum

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