

Gehalt an organischer Bodensubstanz: Braucht es eine Aktualisierung der Interpretation für landwirtschaftliche Böden?

¹Thomas Guillaume, ²Alice Johannes

¹Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

²Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Thomas Guillaume, E-Mail: thomas.guillaume@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs17-98g> Publikationsdatum: 30. März 2026



Eine Handvoll Ackerboden. (Autor: Alice Johannes)

Zusammenfassung

Die organische Substanz (OS) ist ein Schlüsselindikator für die Bodenqualität. Der OS-Gehalt des Bodens wird stark von landwirtschaftlichen Praktiken beeinflusst. Viele landwirtschaftliche Böden haben aber einen zu niedrigen OS-Gehalt. Für Landwirtinnen und Landwirte ist es deshalb besonders wichtig, den OS-Gehalt gemäss Bodenanalyse für die Wahl geeigneter Anbaumethoden richtig zu interpretieren. Die *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz* (GRUD) liefern ein Interpretationsraster für den OS-Gehalt des Bodens als Referenz für die Interpretation von Bodenanalysen, insbesondere im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN). Dieses Raster wurde jedoch seit den 1980er Jahren kaum angepasst. Ziel dieser Studie ist es, die Relevanz des OS:Ton-Verhältnisses für die Interpretation des OS-Gehalts von Böden landwirtschaftlicher Parzellen zu bewerten. Dadurch soll die Grundlage für

eine mögliche Weiterentwicklung des Interpretationsrasters der GRUD geschaffen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der OS-Gehalt gemäss den GRUD selten als unzureichend eingestuft wird, auch wenn das OS:Ton-Verhältnis dies in einem Drittel der Fälle nahelegt. Das GRUD-basierte Raster fokussierte sich bislang in erster Linie auf die Funktion des Bodens, Stickstoff zu liefern, in Abhängigkeit von unterschiedlichen OS-Gehalten. Dadurch ist ihre Aussagekraft für die Bewirtschaftung von Parzellen auf der Grundlage von Bodenanalysen begrenzt. Der Einbezug des OS:Ton-Verhältnisses in die GRUD würde dagegen standortspezifischere Informationen für eine Steuerung der Bewirtschaftung liefern, die auf einer umfassenderen Berücksichtigung der Bodenqualität beruht.

Key words: Soil organic matter, carbon-to-clay ratio, fertility, soil quality, soil management.

Einleitung

Bedeutung der organischen Substanz

Die organische Substanz (OS) des Bodens, auch Humus genannt, spielt eine wesentliche Rolle für die Funktionsfähigkeit eines Bodens und für die von ihm erbrachten Leistungen. Die OS verbessert die Bodenstruktur (Kay, 1998) und damit die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern. Sie erhöht die Verfügbarkeit von Nährstoffen für Pflanzen und begrenzt den Verlust von Nährstoffen in die Umwelt. Ausserdem fördert sie die biologische Aktivität der Bodenfauna und der Mikroorganismen. Entsprechend wird der OS-Gehalt als wichtigster Indikator für die Bodenqualität angesehen (Bünemann *et al.*, 2018).

Der OS-Gehalt wird stark von den landwirtschaftlichen Praktiken beeinflusst. Bei einem grossen Teil der Ackerflächen in der Schweiz, wie auch anderswo auf der Welt, wurde ein erheblicher Verlust an OS (Guillaume *et al.*, 2021), Sanderman *et al.*, 2017) und ein degradierter Zustand (Lal, 2015) festgestellt. Deshalb ist es besonders wichtig, dass die Landwirtinnen und Landwirte die bei Bodenanalysen gemessenen OS-Werte so interpretieren können, dass diese Informationen sie bei der Wahl geeigneter Anbaumethoden unterstützen.

Die aktuelle Interpretationsmethode und ihre Entwicklung

Eine Interpretation des OS-Gehalts des Bodens wird in den *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz* (GRUD; Sinaj & Richner, 2017) in drei separaten Tabellen angeboten. Jede dieser Tabellen weist eine eigene Grundlage, ein eigenes Klassifikationsziel und ein eigenes Interpretationsraster auf. Die älteste Tabelle mit dem Titel «Bodenkundliche Klassifizierung des Humusgehaltes» (Tabelle 2–2) war bereits in der 1963 veröffentlichten deutschsprachigen Version

der GRUD, *Richtlinien für die Düngerberatung*, enthalten (abrufbar auf der Website von Agroscope) und wurde seither nicht mehr verändert. Diese Klassifikation ist identisch mit dem Klassifikationssystem im Dokument *Klassifikation der Böden der Schweiz*, das von der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz herausgegeben wurde (BGS, 2010). Sie basiert auf relativ breiten Klassen des Gehalts an organischer Substanz (z.B.: <2 %, 2–5 %, 5–10 %), ohne Berücksichtigung der Bodentextur.

Die zweite Tabelle mit dem Titel «Agronomische Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens zur Abschätzung der potenziellen N-Nachlieferung des Bodens» (Tab. 2–3) wurde 1987 in der Westschweizer Version der GRUD eingeführt (Ryser *et al.*, 1987), zu einer Zeit, als damit begonnen wurde, den Humusgehalt des Bodens bei der Korrektur der N-Düngungsnormen zu berücksichtigen. Diese Tabelle ermöglicht eine qualitative Interpretation des OS-Gehalts, basierend auf vier Tongehaltsklassen (Tab. 1). Auf der Grundlage von Tabelle 2–3 wurde im selben Jahr eine dritte Tabelle mit dem Titel «Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzials der organischen Substanz» (Tabelle 8–12) eingeführt. Sie gibt quantitativ die Anzahl der N-Einheiten an, die von der Düngungsnorm abgezogen oder hinzugefügt werden müssen, und zwar nach ähnlichen Klassen des OS- und Tongehalts wie in Tabelle 2–3.

Tabelle 8–12 hat seit 1987 zahlreiche Änderungen erfahren, von einer linearen Reduzierung der Stickstoffgabe (–10 kg N/ha) pro Prozent Zunahme des OS-Gehalts bis hin zu grösseren Korrekturen ($\pm$ 40 kg N/ha), die anhand von Klassen des OS- und Tongehalts festgelegt sind (Tab. 1). Im Gegensatz zu dieser Tabelle wurden für Tabelle 2–3 seit ihrer Einführung derselbe Ansatz und ähnliche Schwellenwerte beibehalten. Die wich-

Tabelle 1 | Zusammenfassung der Tabellen der GRUD-17 «Agronomische Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens zur Abschätzung der potenziellen N-Nachlieferung des Bodens» (2–3) und «Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzials der organischen Substanz» (8–12).

OS-Klassen	Tabellen 2–3 und 8–12 ^a				Tabelle 2–3	Tabelle 8–12
	< 10 % Ton	10–19,9 % Ton	20–29,9 % Ton	≥ 30 % Ton	Potenzielle N-Lieferung	Korrektur gegenüber Norm (kg N/ha)
I	< 1,2 ^b	< 1,6	< 2,0	< 2,5	gering	0 bis +40
II	1,2–2,9	1,6–3,4	2,0–3,9	2,5–5,9	ausreichend	0
III	3,0–4,9	3,5–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	gut	0 bis –40
IV	5,0–19,9	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	erhöht	–40 bis –80
V	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	sehr hoch	–80 bis –120

^aTongehaltsklassen nach Tabelle 2–3, da Tabelle 8–12 nur 3 Tongehaltsklassen berücksichtigt

^bOS-Schwellenwert (%) für die Tongehaltsklasse

tigste Änderung erfolgte in der nächsten Version der GRUD (Ryser *et al.*, 1994), wobei je nach Texturklasse die Schwellenwerte für den OS-Gehalt, welche die Klassen «ausreichend» und «gut» trennen, um 1 bis 2,5 % erhöht und die Schwellenwerte, welche die Klassen «gut» und «erhöht» trennen, um 0 bis 3 % gesenkt wurden. Seit-her haben sich die Schwellenwerte für den OS-Gehalt nicht mehr verändert. In der aktuellen Version der GRUD (2017) wurde jedoch eine geringfügige Anpassung vorgenommen, indem leichte und mittlere Böden in drei Tongehaltsklassen (0–10 %, 10–20 %, 20–30 %) statt wie bisher zwei (0–15 %, 15–30 %) unterteilt wurden.

Es ist jedoch eine Entwicklung in der Terminologie zu beobachten, die zur Bezeichnung der Tabelle 2–3 und ihrer Schwellenwerte verwendet wird, was einen Paradigmenwechsel bei der Verwendung widerspiegelt. Der ursprüngliche Titel der Tabelle im Jahr 1987, «Einteilung der Böden nach dem Gehalt an organischer Substanz bzw. Humus», zielte auf eine allgemeinere Beurteilung der Bodenqualität ab und beschränkte sich nicht allein auf die Funktion der Stickstoffversorgung. Der Hinweis auf die Stickstoffdynamik des Bodens tauchte erstmals 1994 auf und blieb bis 2009 bestehen, bevor er 2017 direkt in den Titel der Tabelle aufgenommen wurde. Gleichzeitig spiegelt sich dieser Wandel auch in den Begriffen wider, mit denen der Gehalt an organischer Substanz beschrieben wird: von Begriffen, die sich auf allgemeine Merkmale der organischen Substanz beziehen (z.B. «humos», «humusreich»), hin zu quantitativen Begriffen (z.B. «erhöht», «sehr hoch»).

Es ist auch interessant, die Entwicklung der Klassen «ausreichend» und «gut» zu verfolgen. Die Klasse «ausreichend» blieb über die Versionen hinweg weitgehend stabil, wobei 2001 und 2009 der Begriff auf «ausreichend/normal» erweitert wurde, was darauf hindeutet, dass diese Klasse die Norm oder den Schweizer Durchschnitt darstellt. Dies stimmt mit Tabelle 8–3 überein, wonach für diese Klasse keine Korrektur der N-Düngungsnorm erforderlich ist.

Die Entwicklung dieser Interpretationsraster für den OS-Gehalt deutet auf einen Übergang von einer umfassenden Bewertung der Qualität und der vielfältigen Funktionen des Bodens zu einer eher nutzungsorientierten Sichtweise, die sich allein auf die Funktion der N-Nachlieferung konzentriert. Diese Ausrichtung ist nicht überraschend, da die Verfügbarkeit von Nährstoffen für Pflanzen das Hauptanliegen der GRUD ist. Sie wirft jedoch Fragen auf, weil keine Anpassung der Schwellenwerte parallel zur Entwicklung der Terminologie vorgenommen wurde. Waren diese Schwellenwerte von Anfang an auf die Bewertung der N-Lieferung aus-

gerichtet, oder hat sich ihre Funktion im Laufe der Zeit verändert, ohne dass die Werte entsprechend angepasst wurden? Der genaue Ursprung der Schwellenwerte sowie die Gründe für ihre Entwicklung konnten trotz Nachforschungen nicht eindeutig ermittelt werden. Dass in den letzten 40 Jahren jedoch keine wesentliche Überarbeitung stattgefunden hat, deutet auf ein erhebliches Optimierungspotenzial hin, insbesondere im Hinblick auf die jüngsten Fortschritte beim Verständnis der Bildung, Dynamik und Rolle organischer Stoffe sowie bei den Konzepten zur Bodenqualität. Wenn die Interpretationsraster der GRUD heute auf die Funktion der N-Lieferung ausgerichtet sind, stellt sich die Frage, ob dieser Ansatz für die Bewertung der Gesamtqualität einer landwirtschaftlichen Parzelle und für das Festlegen von Zielen für den OS-Gehalt durch die Landwirtinnen und Landwirte geeignet ist.

Das OS:Ton-Verhältnis

Das Kohlenstoff/Ton-Verhältnis (in diesem Artikel zum OS:Ton-Verhältnis umgerechnet) (Johannes *et al.*, 2017) ist ein einfacher Indikator für die Bodenqualität, der viel Beachtung gefunden hat, seit er im «Proposal for a Soil Monitoring Law» vom 5. Juli 2023 der Europäischen Union übernommen wurde, um den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden zu bewerten. Interessanterweise wurde dieser Indikator auf den landwirtschaftlichen Böden des Schweizer Mittellandes entwickelt und wird auch als Indikator für die Empfindlichkeit der Bodenstruktur (structure vulnerability index, SVI) verwendet (z.B. Sauzet *et al.*, 2024). Die vorgeschlagenen Schwellenwerte basieren auf der durchschnittlichen Qualität der Bodenstruktur, die für jedes Verhältnis festgestellt wurde. Das Schema zur Interpretation des Kohlenstoff/Ton-Verhältnisses wurde von einer Methode zur visuellen Bewertung der Qualität der Bodenstruktur (visual evaluation of soil structure, VESS) abgeleitet (Ball *et al.*, 2007, Guimaraes *et al.*, 2011).

Ursprünglich wurden die Schwellenwerte für diesen Indikator für Kohlenstoff vorgeschlagen (Kohlenstoff/Ton-Verhältnis [Johannes *et al.*, 2017]) und obwohl bei den Laboranalysen der OS-Gehalt über den organisch gebundenen Kohlenstoff bestimmt wird, haben wir uns entschieden, in diesem Artikel das OS:Ton-Verhältnis zu verwenden, damit die Terminologie mit den ÖLN-Analysen übereinstimmt. Zur Angabe des OS:Ton-Verhältnisses wie in Tabelle 2 wurde für die Umrechnung von Kohlenstoff auf OS der üblicherweise im Labor verwendete Faktor von 1,725 (Sinaj & Walter 2017) angewandt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein OS:Ton-Verhältnis von 1:5,8 (17 %) als realistisches Ziel

Tabelle 2 | Interpretation des OS-Gehalts in Bezug auf die Qualität der Bodenstruktur nach dem Ansatz des OS:Ton-Verhältnisses (Johannes *et al.*, 2017).

Interpretation für die Bodenbewirtschaftung	Referenzwerte für das OS:Ton-Verhältnis	Interpretation für die Qualität der Bodenstruktur	Beispiele	
			Böden mit 10 % Ton	Böden mit 20 % Ton
Hervorragend! Realistisches Ziel! OS-Gehalt muss verbessert werde	OS:Ton = 22 %	sehr gut	> 2,2 %	> 4,4 %
	OS:Ton = 17 %	gut	1,7–2,2 %	3,4–4,4 %
	OS:Ton = 13 %	ungenügend	1,4–1,7 %	2,8–3,4 %
		sehr ungenügend	< 1,4 %	< 2,8 %

für einen landwirtschaftlichen Boden von guter Qualität angesehen werden kann. Unter einem Verhältnis von 1:7,5 (13 %) wird der OS-Gehalt als unzureichend und der Boden als «degradiert» angesehen und über einem Verhältnis von 1:4,6 (22 %) wird der OS-Gehalt als «sehr gut» eingestuft. Dieser Indikator berücksichtigt gleichzeitig die Bodenqualität (Sauzet *et al.*, 2024) und die Dynamik der Stabilisierung von Kohlenstoff im Boden (Deluz *et al.*, 2024). Diese Indikatoren gelten für Mineralböden, hauptsächlich Braunerde, und wurden auf Böden mit bis zu 50 % Tonanteil in der Region Jura angewendet (Johannes *et al.*, 2023).

Ziel dieses Artikels ist es, die Folgen und Grenzen der Verwendung des OS:Ton-Verhältnisses für die Interpretation des OS-Gehalts in landwirtschaftlichen Parzellen in der Schweiz zu bewerten. Dazu wurden die in den GRUD definierten Schwellenwerte mit den Schwellenwerten des OS:Ton-Verhältnisses verglichen und die Unterschiede in der Beurteilung je nach Methode für eine Auswahl von Parzellen herausgearbeitet.

Material und Methoden

Um die derzeit in den GRUD verwendete Interpretationsmethode mit der vorgeschlagenen Methode zu vergleichen, die auf dem OS:Ton-Verhältnis beruht, wurden die Daten aus dem Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Freiburg (FRIBO) herangezogen. Die Analyse wurde zu einer Auswahl von Parzellen durchgeführt, die den Böden entsprachen, auf deren Grundlage die Schwellenwerte für das OS:Ton-Verhältnis ausgearbeitet wurden (Johannes *et al.*, 2017), d.h. gut entwässerte Böden von Dauergrünland oder Ackerland, einschliesslich Böden, die in den vorhergehenden 30 Jahren einmal oder mehrmals umgenutzt wurden. Bergweiden, Dauerkulturen

sowie Böden mit hydromorphen Eigenschaften (Gleyso- len und Histosole) wurden ausgeschlossen.

Insgesamt wurden 184 Parzellen aus den 250 Parzellen des FRIBO-Netzes ausgewählt. Weitere Details zu den Auswahlkriterien und den Boden- und Klimabedingungen der Standorte finden sich in Guillaume *et al.* (2021). Die Daten stammen aus Probenahmen, die im Rahmen des sechsten Messzyklus zwischen 2012 und 2016 durchgeführt wurden. Auf jeder Parzelle wurden 25 Subproben des Bodens (0–20 cm) auf einer Fläche von 10×10 Metern mit dem Edelman-Bohrer entnommen, gemischt und anschliessend im Labor (Sol-Conseil, Gland) auf Textur und Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org}) analysiert. Weitere Details zur Probe- nahme sind zu finden in Petel *et al.* (2024). Jede Parzelle wurde sowohl nach den Schwellenwerten von Tabelle 2–3 der GRUD (Sinaj & Walter 2017) als auch nach den in der Studie von Johannes *et al.* (2017) vorgeschlagenen Schwellenwerten klassifiziert (siehe Tabelle 2).

Ergebnisse

Die Ackerland-Parzellen des FRIBO-Netzwerks weisen im Durchschnitt einen geringeren Tongehalt und niedrige- re OS-Werte auf als Dauergrünland-Parzellen (Tab. 3). Obwohl sich die Verteilung dieser Parameter bei Dauer- grünland insgesamt zu höheren Werten hin verschiebt, überschneidet sich der Bereich der gemessenen Werte und er ist bei beiden Landnutzungsarten breit.

Der Schwellenwert zur Kategorie «gut» stimmt bei bei- den Klassifikationsansätze im Bereich eines Tongehalts zwischen 20 % und 35 % relativ gut überein (Abb. 1). Im Gegensatz dazu stellen die in den GRUD festgeleg- ten Schwellenwerte höhere Ansprüche an Böden mit einem geringen Tongehalt (<20 %), aber weniger hohe

Tabelle 3 | Merkmale der Böden der in dieser Studie untersuchten Parzellen. Die Werte werden nach ihrem Median (min – max) dargestellt.

Typen	Organische Substanz (%)	Ton (%)	OS:Ton (%)
Ackerland (n=131)	3,1 (1,5–9,4)	17 (9–59)	20 (10–37)
Dauergrünland (n=53)	6,4 (3,9–12,1)	23 (12–75)	30 (11–48)

Ansprüche an tonreiche Böden (> 35 %) (Abb. 1). Die Beziehung zwischen dem Gehalt an OS und Ton ist in den GRUD nicht linear, im Gegensatz zum Ansatz, der auf dem OS:Ton-Verhältnis basiert und über die ganze Skala lineare Schwellenwerte festgelegt.

Von den 184 untersuchten Standorten wurde gemäss der GRUD-Klassifizierung der OS-Gehalt bei keinem Boden als «gering» eingestuft, und nur zwei Böden von Dauergrünland erreichten nicht mindestens die Kategorie «gut» (Abb. 2). Bei Ackerland wurde der OS-Gehalt bei der Mehrheit der Böden (63 %) als «ausreichend» bewert-

tet. Bei Anwendung des Ansatzes nach dem OS:Ton-Verhältnis sind bei Ackerland alle Qualitätsklassen vertreten, mit einer relativ ausgeglichenen Verteilung auf die drei höchsten Klassen («ungenügend», «gut», «sehr gut»; 31–34 %) und einem geringen Anteil an Böden, die als «sehr ungenügend» eingestuft wurden (5 %).

Alle Parzellen, die gemäss den GRUD mindestens als «gut» beurteilt wurden, erreichten diese Kategorie auch bei einer Bewertung nach dem OS:Ton-Verhältnis, mit Ausnahme von drei Fällen. Im Gegensatz dazu wurde bei diesem Ansatz knapp die Hälfte (47 %) der gemäss den GRUD als «ausreichend» eingestuften Parzellen in die Kategorie «gut» eingeteilt. Die andere Hälfte verteilt sich dagegen auf die Klassen «ungenügend» (45 %) und «sehr ungenügend» (8 %).

Unabhängig vom verwendeten Ansatz gibt es nur wenige Dauergrünland-Parzellen, die nicht mindestens als «gut» eingestuft werden. Wie bei Ackerland wird die Kategorie «sehr gut» bzw. «erhöht» nach der GRUD-Bewertung selten, bei Anwendung der Schwellenwerte für das OS:Ton-Verhältnis dagegen häufig erreicht. Dieses

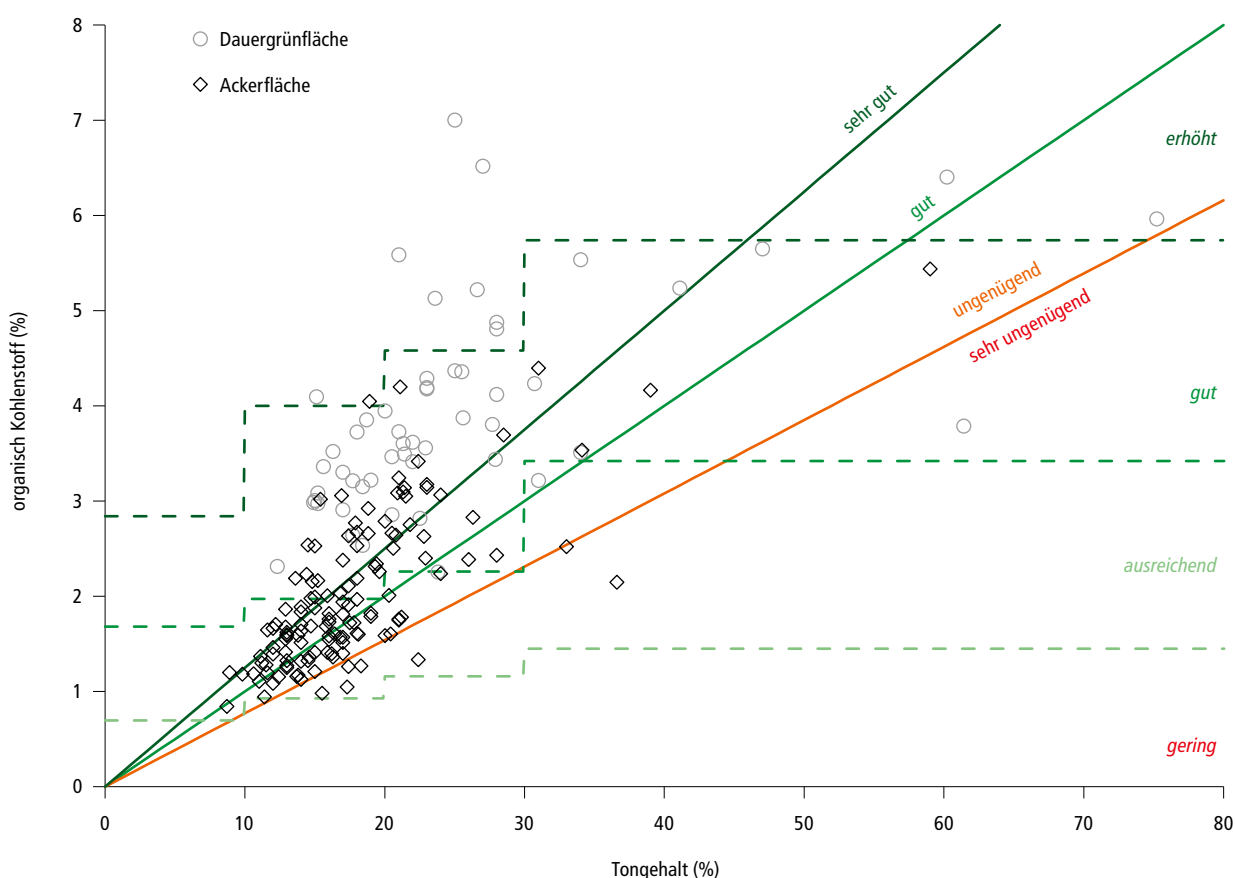


Abbildung 1 | Klassifizierung der Standorte des FRIBO-Netzwerks nach den Schwellenwerten, die in den GRUD (gestrichelte Linien und kursiver Text) (Sinaj & Walter, 2017) festgelegt sind bzw. nach dem OS:Ton-Verhältnis (durchgezogene Linien) (Johannes *et al.*, 2017), hier angegeben nach dem mit dem Faktor 1,725 umgerechneten Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff.

Muster ist bei Dauergrünland besonders ausgeprägt, wobei nur 11 % der Parzellen nach diesem Ansatz nicht als «sehr gut» eingestuft werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der GRUD-Ansatz die Parzellen grob in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe besteht aus den Ackerflächen-Böden mit dem geringsten OS-Gehalt. Der OS-Gehalt dieser Böden wird als ausreichend eingestuft. Die andere Gruppe umfasst im Wesentlichen die Ackerflächen-Böden mit dem höchsten OS-Gehalt sowie die Dauergrünland-Parzellen. Der OS-Gehalt dieser Böden wird als «gut» beurteilt. Die Bewertung auf der Grundlage des OS:Ton-Verhältnisses ermöglicht eine nuancenreichere Beurteilung des OS-Gehalts von Ackerland-Böden. Alle Klassen sind auch bei den Dauergrünland-Parzellen vertreten, die Bewertung fällt jedoch positiver aus als nach dem GRUD-Ansatz, wobei die grosse Mehrheit der Parzellen als sehr gut eingestuft wird.

Diskussion

Nach dem aktuellen Interpretationsraster der GRUD ist der OS-Gehalt bei allen untersuchten Parzellen ausreichend. Aber ist das wirklich der Fall? Nach der Bewertung über das OS:Ton-Verhältnis reicht bei etwa einem Drittel der Ackerland-Parzellen der OS-Gehalt nicht aus, um eine funktionsfähige Bodenstruktur zu ermöglichen (Abb. 2). Ausserdem erreichen die Böden der im FRIBO-Netzwerk erfassten Ackerflächen im Durchschnitt nur 60 % ihres potenziellen OS-Gehalts (Guillaume *et al.*, 2022). Diese Ergebnisse deuten auf eine Verzerrung

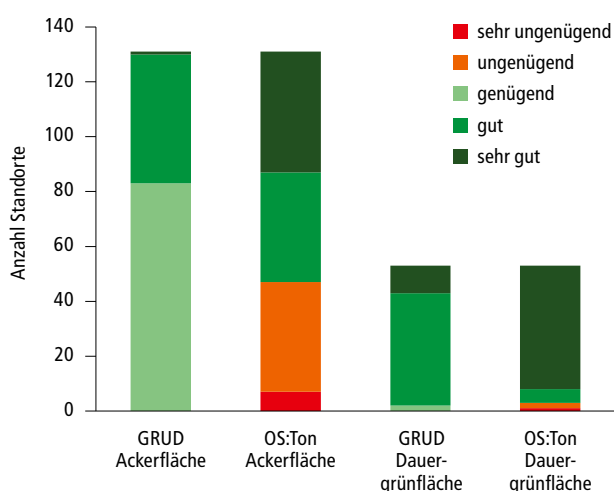


Abbildung 2 | Aufteilung der Ackerland- bzw. Dauergrünland-Parzellen des FRIBO-Netzwerks in Bodenqualitätsklassen nach den beiden Bewertungsansätzen. Es ist zu beachten, dass die Kategorie «ausreichend» nur in den GRUD besteht.

durch die aktuelle Bewertungsmethode mit einer tendenziell zu positiven Beurteilung des OS-Gehalts, und einer zu wenig feinen Unterscheidung zwischen den landwirtschaftlichen Parzellen. Dies wurde bereits 1991 festgestellt: Von 284 Parzellen im Kanton Waadt wurde bei der Bewertung des OS-Gehalts keine einzige Parzelle als unzureichend und 93 % der Parzellen wurden als reich eingestuft (Collaud, 1991). Bereits damals wurde darauf hingewiesen, dass die Interpretationsskala der GRUD an die Bandbreite der in unseren Regionen vorkommenden Böden angepasst werden sollte.

Die geringe Unterscheidungsfähigkeit zwischen sehr unterschiedlichen OS-Gehalten bei Ackerland schränkt den Mehrwert stark ein, den eine Bodenanalyse den Landwirtinnen und Landwirten für eine Anpassung der Parzellenbewirtschaftung an die Qualität des Bodens bieten kann. Es ist allerdings daran zu erinnern, dass das Interpretationsraster der GRUD (Tabelle 2–3, Tab. 1) seit 1994 nicht mehr das Ziel verfolgt, die Gesamtqualität des Bodens zu bewerten, sondern hauptsächlich seine Fähigkeit, die Kultur mit N zu versorgen. Die für das Raster gewählte Terminologie und das geringe Differenzierungsvermögen ist also der Verwendung im Zusammenhang mit der N-Düngung geschuldet. Bis 2009 wurde davon ausgegangen, dass ein OS-Mangel nicht durch eine zusätzliche N-Düngung korrigiert werden kann, um den Bedarf der Kultur zu decken. Aus diesem Grund wurden alle Böden als mindestens ausreichend/normal für den Bedarf der Kulturen angesehen, und Anpassungen der N-Düngung erfolgten nur in Richtung einer Reduzierung, wenn der OS-Gehalt und damit die N-Versorgung des Bodens die Norm überschritt.

Seit 2009 wird in den GRUD davon ausgegangen, dass eine geringe Bodenfruchtbarkeit – die sich in einem geringen OS-Gehalt widerspiegelt – in manchen Fällen durch eine erhöhte N-Düngung ausgeglichen werden kann. Bei keiner der Parzellen des FRIBO-Netzwerks wurde der OS-Gehalt als «gering» eingestuft, und es ist anzunehmen, dass diese Einstufung auch für Parzellen auf nationaler Ebene zutrifft. In der Praxis wird daher fast nie empfohlen, die N-Zufuhr zu erhöhen, um einen OS-Mangel auszugleichen. Umgekehrt, wird bei einem hohen OS-Gehalt eine Reduktion der N-Düngung über einen relativ breiten Bereich (0 bis 40 kg N/ha) empfohlen. Die Bodenanalyse liefert dann nur einen allgemeinen Korrekturhinweis und überlässt es den Landwirtinnen und Landwirten, aufgrund ihrer Kenntnis der Parzellen zu beurteilen, welche Anpassung vorzunehmen ist. Die Unterstützung durch Tabelle 8–12 der GRUD bei der Anpassung der N-Düngung an die Bodenbedingungen ist deshalb begrenzt.

Da Tabelle 2–3 offensichtlich auf die Bewertung der Funktion des Bodens von Ackerkulturen zur N-Lieferung zugeschnitten ist, eignet sie sich nicht als einzige Referenz für die Beurteilung der Qualität landwirtschaftlicher Böden aufgrund des OS-Gehalts. Ein Indikator wie das OS:Ton-Verhältnis, der auf die Qualität und Widerstandsfähigkeit der Bodenstruktur ausgerichtet ist, ist für die Steuerung des OS-Gehalts hilfreicher, da er eine umfassendere Interpretation der Bodengesundheit ermöglicht. Natürlich reicht die OS allein nicht aus für eine vollständige Bewertung der Gesundheit eines Bodens. Selbst wenn der OS-Gehalt als ausreichend angesehen werden kann, bestehen möglicherweise andere Beeinträchtigungen des Bodens, wie z. B. eine Verdichtung. Wegen der Häufigkeit dieser Bodenbeeinträchtigung bei Dauergrünland und der geringen Differenzierungsfähigkeit zwischen Dauergrünland-Parzellen (Abb. 2) scheint es besonders wichtig zu sein, das OS:Ton-Verhältnis für Dauergrünland zusammen mit anderen Indikatoren zu verwenden.

Das OS:Ton-Verhältnis ist also kein universeller Indikator für die Bodengesundheit, der auf alle Nutzungs- und Bodenarten anwendbar ist. Er gilt zwar für eine breite Auswahl von Böden, beschränkt sich aber auf gut entwässerte mineralische landwirtschaftliche Böden mit einem bestimmten Bereich des Tongehalts. Das Interpretationsraster ist beispielsweise nicht geeignet, um die Degradation von torfigen Böden (Histosole) oder schlecht drainierten Böden (z.B. Gleysolen) zu bewerten. Der Texturbereich, in dem das OS:Ton-Verhältnis aussagekräftig ist, liegt zwischen einem Tongehalt von mindestens 10–15 % und höchstens 40–50 % (Johannes *et al.*, 2023). Für Böden, die ausserhalb dieses Anwendungsbereichs liegen, sollte ein anderes Interpretationssystem verwendet werden. Ausserdem sollte eine Anpassung der Schwellenwerte für höher gelegene Böden wie bestimmte Wiesen in Betracht gezogen werden. Die genauen Beträge solcher an andere Texturen oder Höhenlagen angepassten Schwellenwerte müssen durch zukünftige Forschungsarbeiten bestimmt werden.

Schlussfolgerungen

Diese Studie zeigt, dass das Interpretationsraster der GRUD in seiner derzeitigen Form kein ausreichendes Instrument ist, um Landwirtinnen und Landwirte effektiv bei der Steuerung des OS-Gehalts der Böden ihrer Parzellen zu unterstützen, weil es den OS-Gehalt von Parzellen kaum als unzureichend beurteilt. Die Verwendung des OS:Ton-Verhältnisses für die Bewertung würde eine bessere Differenzierung zwischen Parzellen ermöglichen, die derzeit als mindestens ausreichend eingestuft werden, aber einen sehr unterschiedlichen OS-Gehalt aufweisen.

Die Einführung des OS:Ton-Verhältnisses wäre in erster Linie eine Neujustierung der qualitativen Bewertung des Gehalts an organischer Substanz aufgrund einer durch Feldstudien begründeten Bewertungsgrundlage der Bodenqualität mit standortspezifischer Beurteilung.

Eine interessante Alternative wäre die Entkopplung der GRUD-Tabellen zur Bodenqualität (Tabelle 2–3) und zur Korrektur der N-Düngung (Tabelle 8–2), die derzeit inhaltlich sehr ähnlich sind und sich auf die N-Lieferung konzentrieren (vgl. Tab.1). Damit würde sich einerseits die Gesamtqualität eines Bodens und andererseits seine Fähigkeit, die Kulturen mit N zu versorgen, besser einschätzen lassen. Das auf dem OS:Ton-Verhältnis basierende System ist heute ausgereift genug, um direkt in die GRUD integriert zu werden, wobei Tabelle 2–3 durch eine neue Tabelle ersetzt würde, in der die Schwellenwerte für das OS:Ton-Verhältnis gemäss Johannes *et al.* (2017) verwendet werden. Es besteht allerdings noch ein erheblicher Forschungsbedarf, um die Schwellenwerte an Böden ausserhalb des oben genannten Gültigkeitsbereichs (sehr tonhaltige Böden, schlecht entwässerte Böden, Böden in Höhenlagen) anzupassen und eine solide Beziehung zwischen dem OS-Gehalt des Bodens in Verbindung mit seinem Tongehalt und der Korrektur der N-Düngung herzustellen. ■

Dank

Wir danken Grangeneuve, dem Kompetenzzentrum des Kantons Freiburg für Ausbildung, Beratung und Vollzug im Bereich der Landwirtschaft, für die Bereitstellung der Daten des landwirtschaftlichen Bodenbeobachtungsnetzes des Kantons Freiburg (FRIBO). Wir danken auch Christoph Carlen für das Korrekturlesen des Dokuments.

Literatur

- Ball, B. C., Guimaraes, R. M. L., Cloy, J. M., Hargreaves, P. R., Shepherd, T. G., & McKenzie, B. M. (2017). Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. *Soil and Tillage Research*, **173**, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.006>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., Deyn, G. B. D., Goede, R. d., ... & Brussaard, L. (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, **120**, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Collaud G. (1991). Caractéristiques et état de fertilité des sols de Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **23** (2): 65–71.
- Deluz, C., Sebag, D., Verrecchia, E., & Boivin, P. (2024). soil organic matter thermal pools as influenced by depth, tillage, and soil texture – a rock-eval® analysis study on the cropland soils of the swiss plateau. *Geoderma*, **445**, 116871. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116871>
- Guimaraes, R. M. L., Ball, B. C., & Tormena, C. A. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, **27** (3), 395–403. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>
- Kay, B.D. (1998). Soil Structure and Organic Carbon: A Review. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett & B.A. Stewart (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle* (pp. 169–197). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203739273-13>
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P. C., & Boivin, P. (2017). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. does clay content matter?. *Geoderma*, **302**, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>
- Johannes, A., Sauzet, O., Matter, A., & Boivin, P. (2023). Soil organic carbon content and soil structure quality of clayey cropland soils: a large-scale study in the swiss jura region. *Soil Use and Management*, **39** (2), 707–716. <https://doi.org/10.1111/sum.12879>
- Guillaume, T., Bragazza, L., Levasseur, C., Libohova, Z., & Sinaj, S. (2021). Long-term soil organic carbon dynamics in temperate cropland-grassland systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **305**. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107184>
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, **7** (5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Petel, F., Busmann, S., von Niederhäusern, A., 2024. FRIBO. Résultats de l'observation des sols dans le canton de Fribourg 1987–2021, Institut Agricole de l'Etat de Fribourg, Grangeneuve.
- Ryser J.-P., Charles J.-P., Chauvin B., Degailler J., Dougoud P., Felber R., Mailard A.-N., Rossier D., Thöni E., Vullioud P. (1987) Directives de fumure pour les grandes cultures et les herbages de Suisse romande. *Revue suisse agriculture*, **19** (6), 297–314.
- Ryser J.-P., Walther, U., Menzi, H., Flisch, R., Jeangros, B., Kessler, W., Mailard, A., Siegenthaler, & Vullioud P. (1994) Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse agriculture*, **26** (4), 191–250.
- Sanderman, J., Hengl, T., & Fiske, G. J. (2017). Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114** (36), 9575–9580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>
- Sauzet, O., Johannes, A., Deluz, C., Dupla, X., Matter, A., Baveye, P. C., ... & Boivin, P. (2024). The organic carbon-to-clay ratio as an indicator of soil structure vulnerability, a metric focused on the condition of soil structure. *Soil Use and Management*, **40** (2). <https://doi.org/10.1111/sum.13060>
- Sinaj, S., & Richner, W. (2017). Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017). *Recherche Agronomique Suisse* **8** (6), Publication Spéciale, 276 p.
- SSP (2010), Classification des sols en Suisse, Edition 3, Société Suisse de Pédologie, Luzern. 92.p
- Walter U., Ryser J.-P., Flisch R., Siegenthaler A., 1987, Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. FAP-RAC-FAC, Bawarel Offsetdruck AG, Affoltern