

Bodenrahmenrichtlinie 2.0:

Aus alten Fehlern nichts gelernt

Walter W. Wenzel
Institut für Bodenforschung
Universität für Bodenkultur Wien

ÖGAUR Frühjahrstagung 2025

Wien, 17.06.2025



- EU-Richtlinie zur Bodenüberwachung & Resilienz (SML)
 - Überblick über Fokus und wichtige Aspekte
 - Deskriptoren & Kriterien zur Erfassung der Bodengesundheit
- Definition & Konzept der Bodengesundheit
- SML – ausgewählte Probleme und alternative Lösungsvorschläge
 - Umsetzung des Konzepts der Bodengesundheit
 - Bodenmonitoring / Auswahl der Standorte
 - Deskriptoren (Beispiel: organischer Kohlenstoff - SOC: clay ratio)
 - Fokus
- Zusammenfassung & Schlussfolgerungen

- Gesunde Böden bis 2050
- Alle Böden
- Nachhaltiges Bodenmanagement
- Management kontaminierter Standorte
- **Schwerpunkt Bodenmonitoring**
 - Stratified random sampling
 - 0-30 cm
 - Alle 6 Jahre
- Bodenbezirke
- Bodeneinheiten
 - Bodenbezirke
 - Landnutzungskategorien
 - Bodenregionen der EU

- Erfassung der Bodengesundheit
 - hinsichtlich aller Bodengefährdungen
 - nachhaltige Zielwerte (nicht bindend) (target values)
 - Maßnahmenwerte (trigger values)
 - Erhebung von kritischen Verlusten an Ökosystemleistungen
 - Erfassung von Gebieten mit unzureichender Bodengesundheit
 - Maßnahmen
 - Information der Öffentlichkeit

SML – Deskriptoren & Kriterien

SML – Kriterien auf EU-Level

Aspekt der Bodendegradation	Deskriptoren der Bodengesundheit	Kriterien für gesunde Böden
Bodenversalzung	Elektrische Leitfähigkeit	< 4 dS m ⁻¹
Verlust organischer Substanz	SOC: clay ratio (Mineralboden)	> 1/13 (Korrekturfaktor für Bodentyp / Klima möglich, mit Bezug zur Bodenstruktur)
Bodenverdichtung Unterboden	Rohdichte trocken	1.47 - 1.80 g cm ⁻³ (Texturabhängig) (Anpassung an lokale Bodenbedingungen möglich)
Oberboden	Gesättigte Leitfähigkeit Luftkapazität wie für Unterboden	kein Kriterium > 10 cm d ⁻¹ > 5 Vol.-%

SML – Deskriptoren & kritische Werte

SML – Kriterien durch Mitgliedsstaaten bzw. keine Kriterien

Aspekt der Bodendegradation	Deskriptoren der Bodengesundheit	Kriterien für gesunde Böden
Bodenkontamination	Schwermetalle (As, Sb, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn) Ausgewählte organische Verbindungen	kein Risiko
Verlust an Wasserrückhaltekapazität und Infiltration (in Einzugsgebieten)	Wasserhaltekapazität Gesättigte Leitfähigkeit Luftkapazität	> Minimalwert (Hochwasser- & Dürrerisiko)
Überhöhter Nährstoffgehalt	Phosphor Stickstoff C:N Verhältnis	< Maximalwert kein Kriterium kein Kriterium
Verlust an Bodenbiodiversität	DANN Metabarcoding, PFLA, Abundanz (Collembolen, Ameisen), DNA (bakterielle Diversität) (zumindest ein Deskriptor), ...	kein Kriterium
Bodenversauerung	pH-Wert Basensättigung	kein Kriterium kein Kriterium
Bodenerosion	Erosionsrate	Kein Kriterium

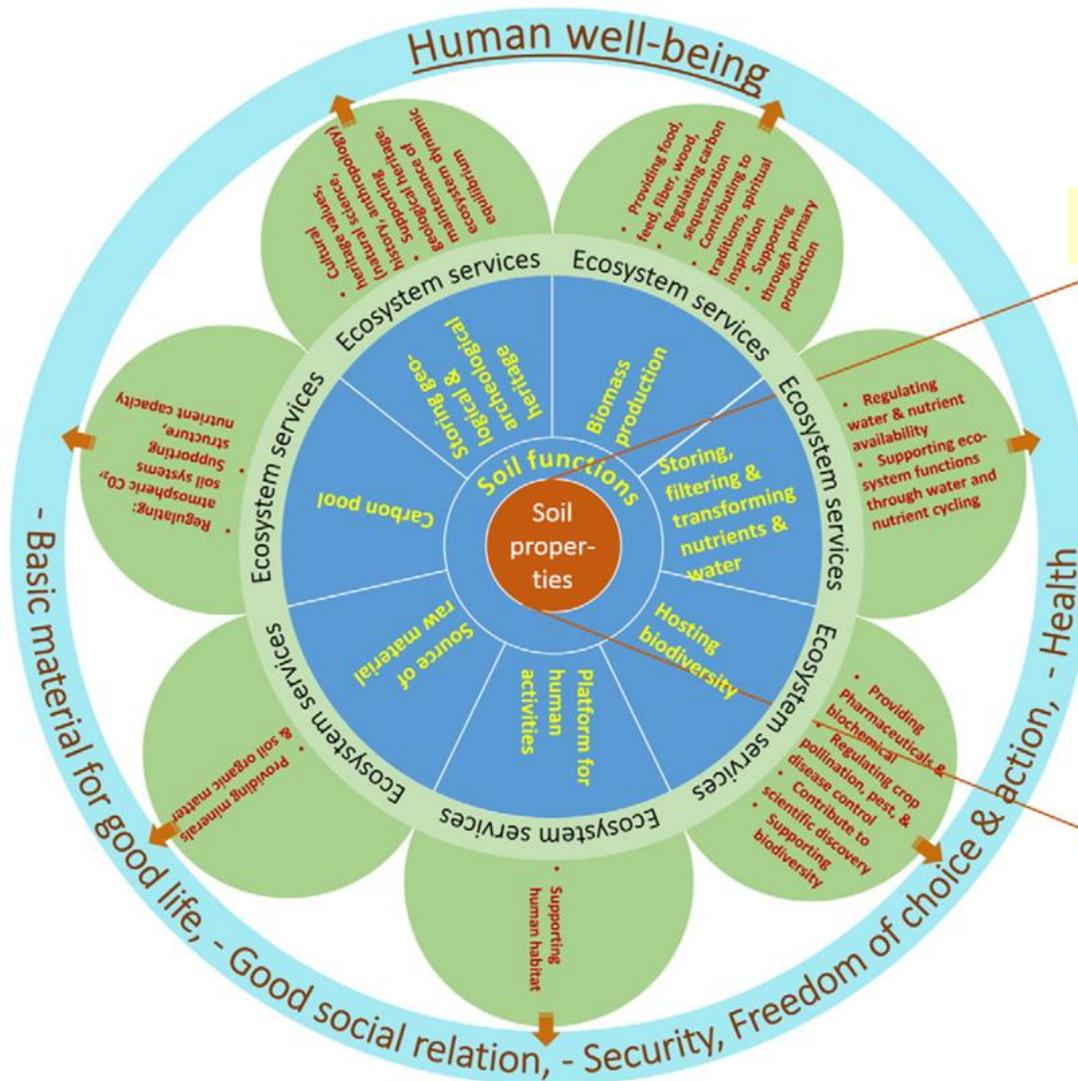
Bodengesundheit – Definitionen & Konzepte

Bodengefährdungen

- Bodenverbrauch & Versiegelung
- Erosion
- Bodenverdichtung
- Verlust organischer Substanz
- Versalzung
- Bodenkontamination
- Verlust von Biodiversität



Adhikari & Hartemink (2016),
Geoderma 262: 101-111.



Bodeneigenschaften

- Soil organic carbon
- Sand, silt, clay, & coarse fragments
- Soil pH
- Depth to bed rock
- Bulk density
- Available water capacity
- Cation exchange capacity
- Electrical conductivity
- Soil porosity & air permeability
- Hydraulic conductivity & infiltration
- Soil biota
- Soil structure & aggregation
- Soil temperature
- Clay mineralogy
- Subsoil pans

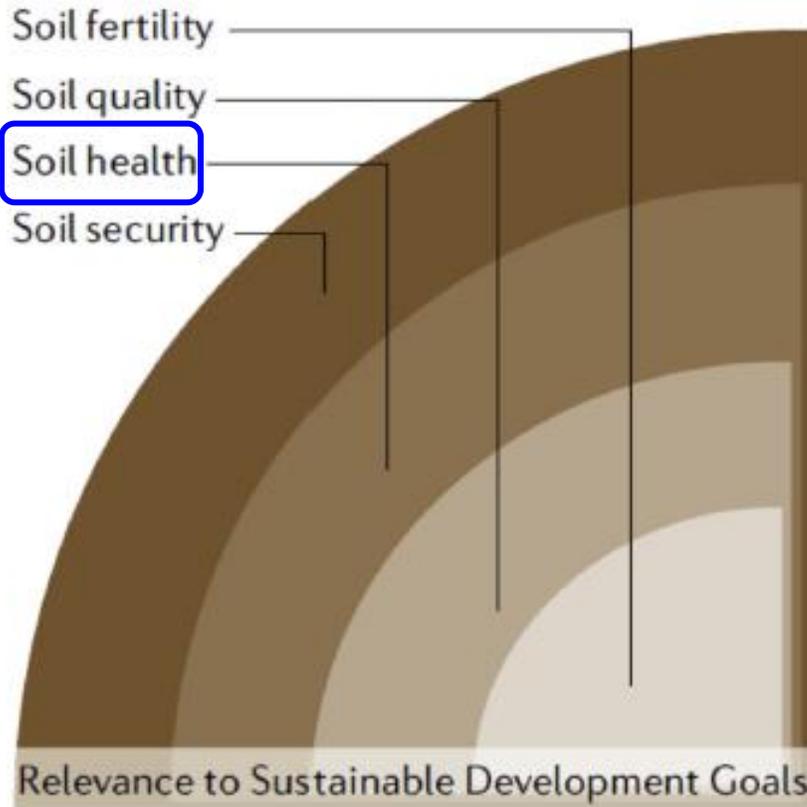
Die Definition von **Bodengesundheit** ist eng mit der ausgewogenen Bereitstellung von **Ökosystemleistungen** mit dem ultimativen Ziel der Förderung unserer Lebensbedingungen über verschiedene **Bodenfunktionen** verbunden, wobei letztere durch **Bodeneigenschaften** kontrolliert werden.

Deskriptoren
(Indikatoren)

Kritische Werte
Zielwerte
Monitoring

Bodengesundheit – Definitionen & Konzepte

Lehmann et al. (2020), Nat. Rev. Earth Environ. 1, 544-553.

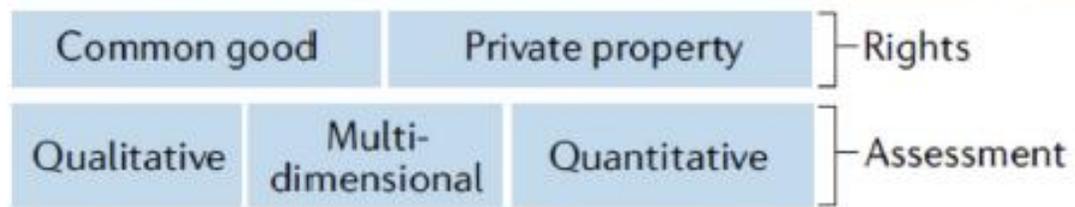


Scale	Functions	Services	Primary stakeholders
Global	Habitat provisioning	Policy Culture Human health	Global and national policymakers
National	Carbon sequestration	Biodiversity Climate control Recreation	Public
Regional	Water cycling	Water quality	Neighbours
Local	Nutrient cycling	Economic viability	
Field Pedon	Primary productivity	Plant production	Farmer, land user



Bodengesundheit im Vergleich zu anderen Konzepten:

- Bodenfruchtbarkeit
- Bodenqualität
- Bodensicherheit



Bodengesundheit – Definitionen & Konzepte

- **Bodengesundheit** entspricht der Kapazität des Bodens **Ökosystemleistungen** im Einklang mit intrinsischen Bodeneigenschaften, Klima und Landnutzung nachhaltig bereit zustellen.
- **Gesunde Böden** sind charakterisiert durch physikalische, chemische und biologische Eigenschaften
 - welche **Multifunktionalität** ermöglichen,
 - die Kapazität zur **ausgewogenen** Bereitstellung von **Ökosystemleistungen** bestimmen,
 - und **Resilienz gegen Stress** unterstützen.
- Bodengesundheit wird durch **Prozesse der Bodendegradation** beeinträchtigt, sodass diagnostische **Indikatoren (Deskriptoren)** unter bzw. über **kritische Werte** zu liegen kommen.
- Der **Gesundheitszustand von Böden** kann durch ein Set **chemischer, physikalischer und biologischer Messungen** erfasst werden

‘soil health’ means the physical, chemical and biological condition of the soil determining its capacity to function as a vital living system and to provide ecosystem services

SML - Umsetzung des Konzepts der Bodengesundheit

Der Gesundheitszustand von Böden kann durch ein Set chemischer, physikalischer und biologischer Messungen erfasst werden

JRC Healthy Soils_12SEG
Feb 2022.

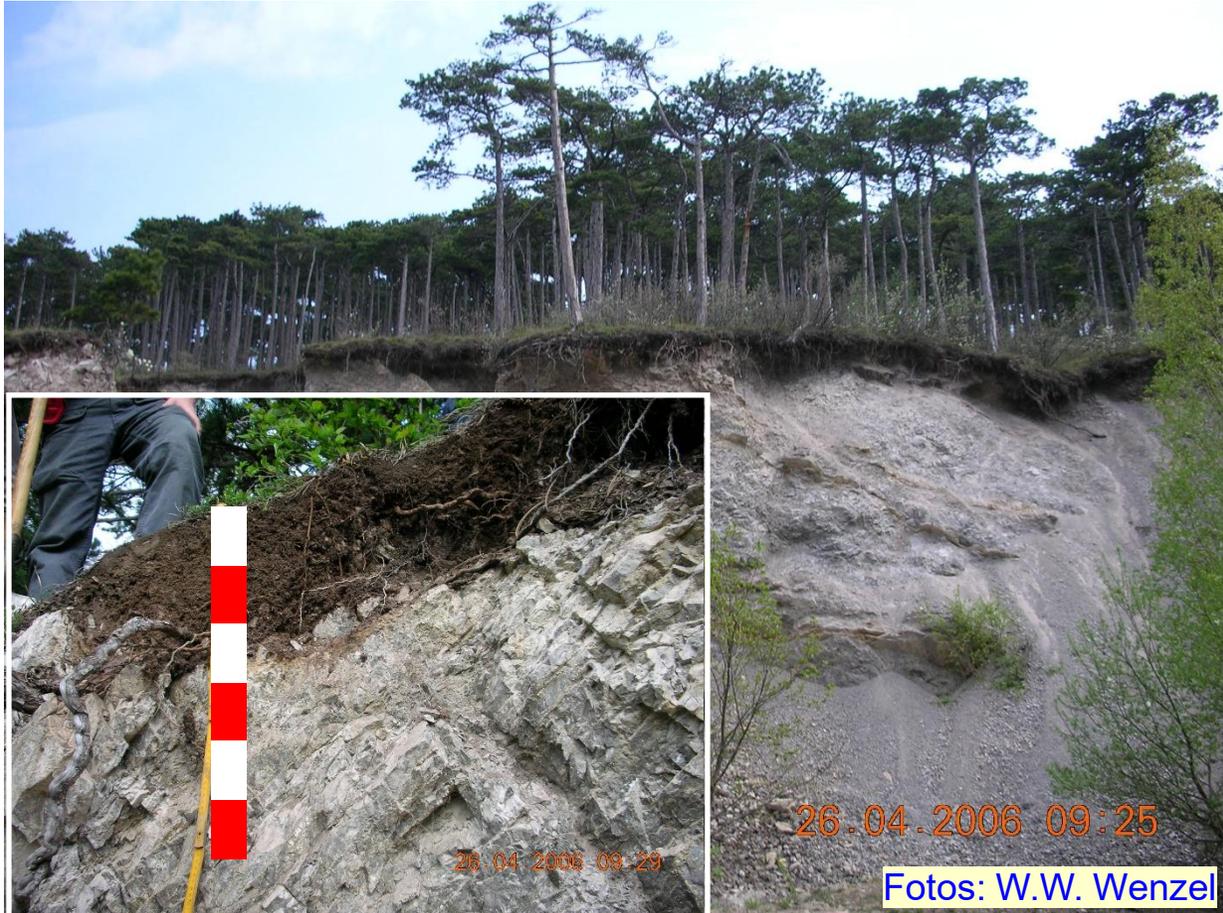
■ Problem:

- Rein naturwissenschaftlicher Zugang – ignoriert gesellschaftliche Dimension
- Wird der umfassenden Definition von Bodengesundheit nicht gerecht:

„ . Kapazität zur ausgewogenen Bereitstellung von Ökosystemleistungen ...“

- Böden unterscheiden sich von Natur aus in ihrer Kapazität, Ökosystemleistungen zu erbringen, wobei diese wohl oft nicht als „ausgewogen“ zu bezeichnen sind
- „Ausgewogen“ ist einer Bewertung durch die Gesellschaft unterworfen und muss letztendlich politisch verhandelt werden
- Dabei wird (muss) es wohl zu einer nutzungsabhängigen Prioritätensetzung kommen (z.B. eine höhere Gewichtung der Biomasseproduktion in landwirtschaftlich genutzten Böden, Vorrang für Ausgleichsfunktionen und Biodiversität in Naturschutzgebieten)

SML - Umsetzung des Konzepts der Bodengesundheit



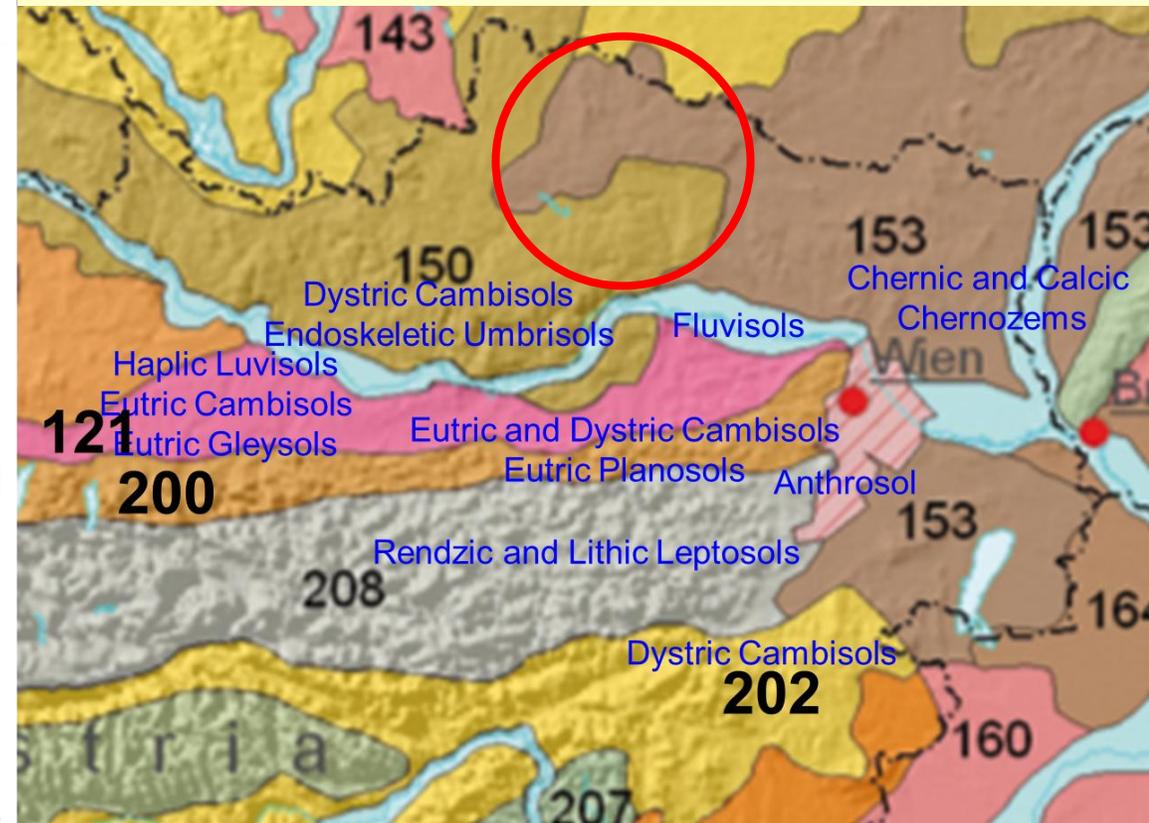
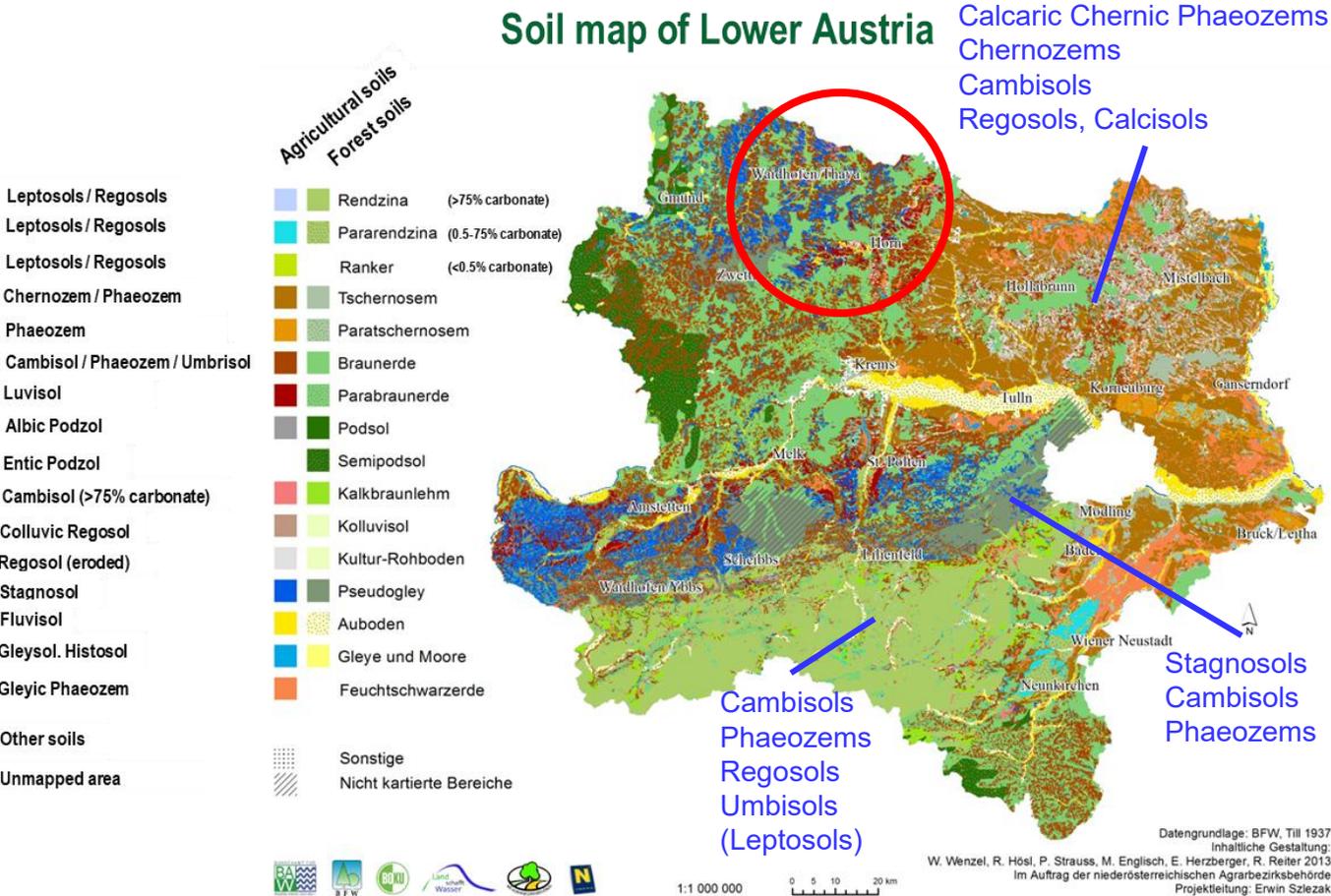
- Konsequenzen für die Erfassung und Bewertung des Gesundheitszustands von Böden:
 - Einheitliche Indikatoren und Benchmarks über diverse ökologische Bedingungen und Landnutzungsformen hinweg sind problematisch weil
 - Unterschiedliche Ausgangsmaterialien, Klima- und Bodenbedingungen zu unterschiedlichen Kapazitäten und Gewichtungen von Ökosystemleistungen der Böden führen
 - Nationale, regionale und lokale gesellschaftliche Anforderungen zu unterschiedlichen Gewichtungen der Ökosystemleistungen und Zielwerten für Indikatoren führen können
 - Eine Bewertung des Gesundheitszustandes anhand einheitlicher Benchmarks für Indikatoren (z.B. SOC: clay ratio 1/13) ist daher irreführend und fachlich nicht gerechtfertigt
 - Ein europaweiter Vergleich des Gesundheitszustandes ist daher mit Hilfe einiger Indikatoren nicht sinnvoll
 - Damit stellt sich auch die Frage, ob es einer verpflichtenden Harmonisierung der Methoden für die Auswahl von Monitoringstandorten, Probenahme und Untersuchungsverfahren bedarf
 - Das eigentliche, dem Konzept der Bodengesundheit inhärente Problem (siehe oben) wird dadurch nicht gelöst

- Rahmenrichtlinie: Random stratified sampling
 - Basierend auf veralteter, ungenauer und teils grob falscher Karte von Bodeneinheiten
 - Entnahmetiefe 30 cm
- Bodenmonitoring in Österreich
 - Rastersystem
 - Entnahmetiefen nutzungsabhängig (z.B. Acker 0-20 cm)
- Probleme:
 - Verlust des Bezugs zu früheren Aufnahmen
 - Archivproben obsolet
 - Enormer zusätzlicher Aufwand, um – zumindest zunächst – nicht verbindliche Zielwerte für 3 Kriterien quer über Europa vergleichen zu können
- Alternative
 - Detaillierter Karten aus existierendem Rastersystem (Machine Learning)

SML – Bodenmonitoring

Bodenkarte NÖ nach österr. und internationaler (WRB) Klassifikation

Bodenregionen als Basis für die Auswahl der Monitoringstandorte des SML



Soil Regions of the European Union and Adjacent Countries 1:5,000,000', 2005
<http://data.europa.eu/88u/dataset/ae71f1fee-1ae9-4624-ae3ff49513fe9dcb>

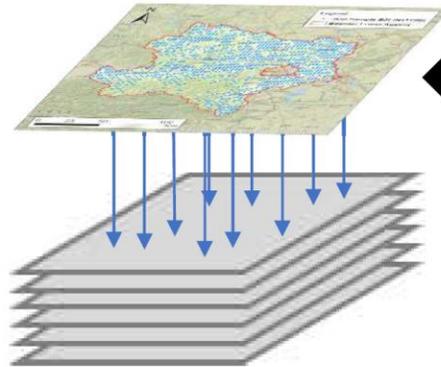
'soil unit' means a spatially discrete area within a soil district resulting from the intersection of spatial data used as criteria for **statistical homogeneity** within that soil district

SML - Bodenmonitoring

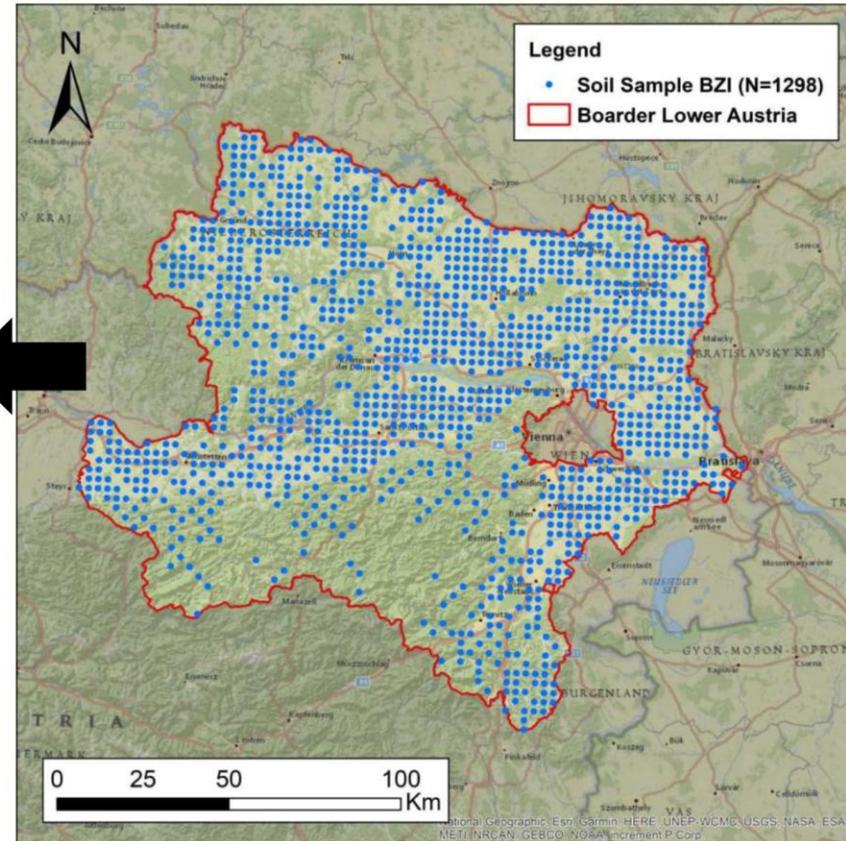
Covariates based on the SCORPAN factors

$$S = f(s, c, o, r, p, a, n) + e$$

- Topography
 - DEM (elevation)
 - Aspect
 - Slope
 - Curvature
 - Roughness
 - Topographic Wetness Index (TWI)
- Soil Parameters (eBOD)
 - Textur Classes
 - Soil Type
 - Soil Class
 - pH
 - Lime
 - SOM
- Climate
 - Precipitation
 - Radiation
 - Temperature
- Corine Land Cover
- Geology



Modelling



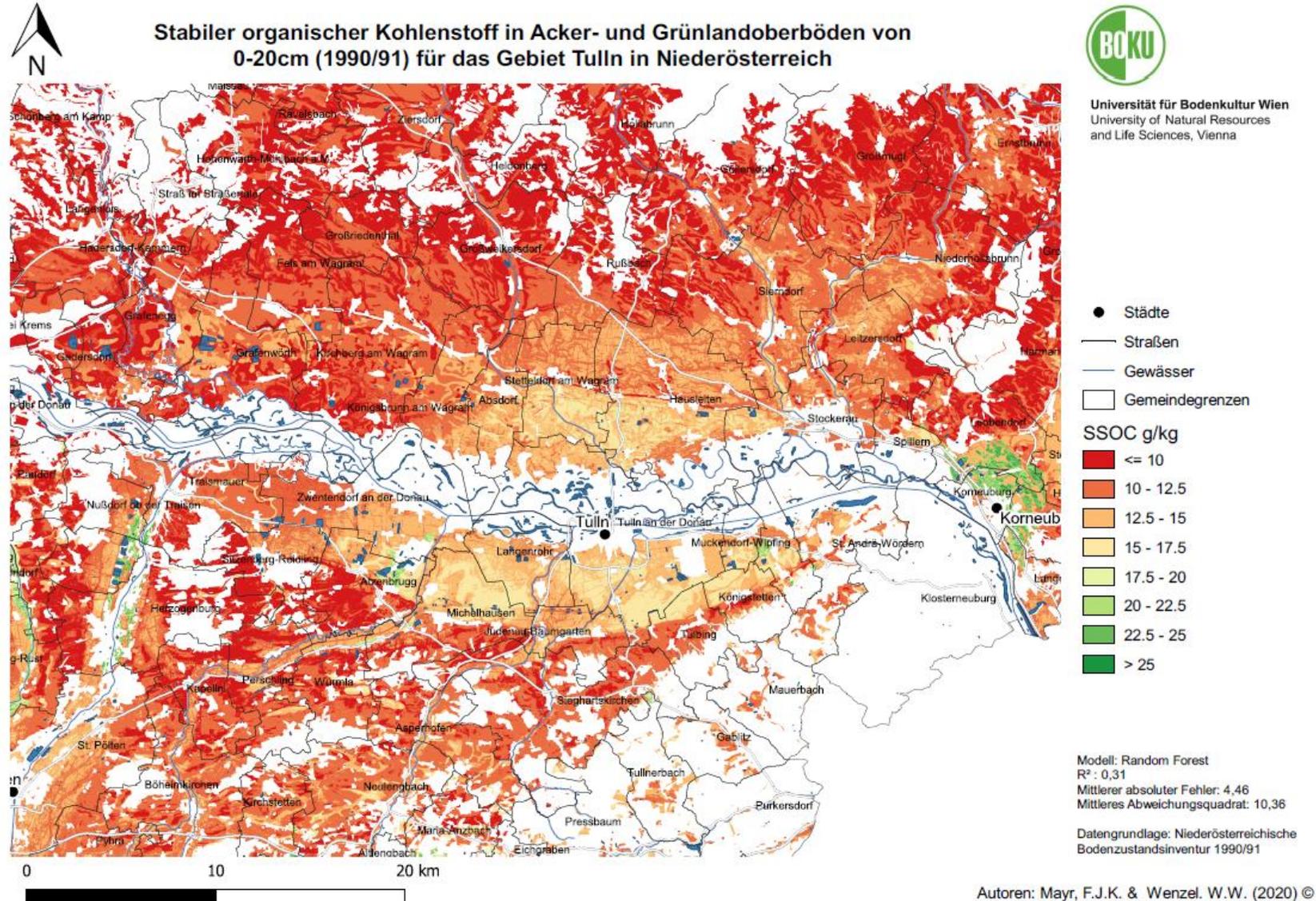
Niederösterreichische Bodenzustandsinventur (BZI, 1991/92)

Alternativer Ansatz:

- Beibehaltung existierende Monitoringsysteme
- Detaillierte Karten durch Interpolation mit Hilfe von Machine Learning / KI (z.B. Random Forest)

Quellen: <https://www.data.gv.at>, BFW und BOKU-Met

SML - Bodenmonitoring

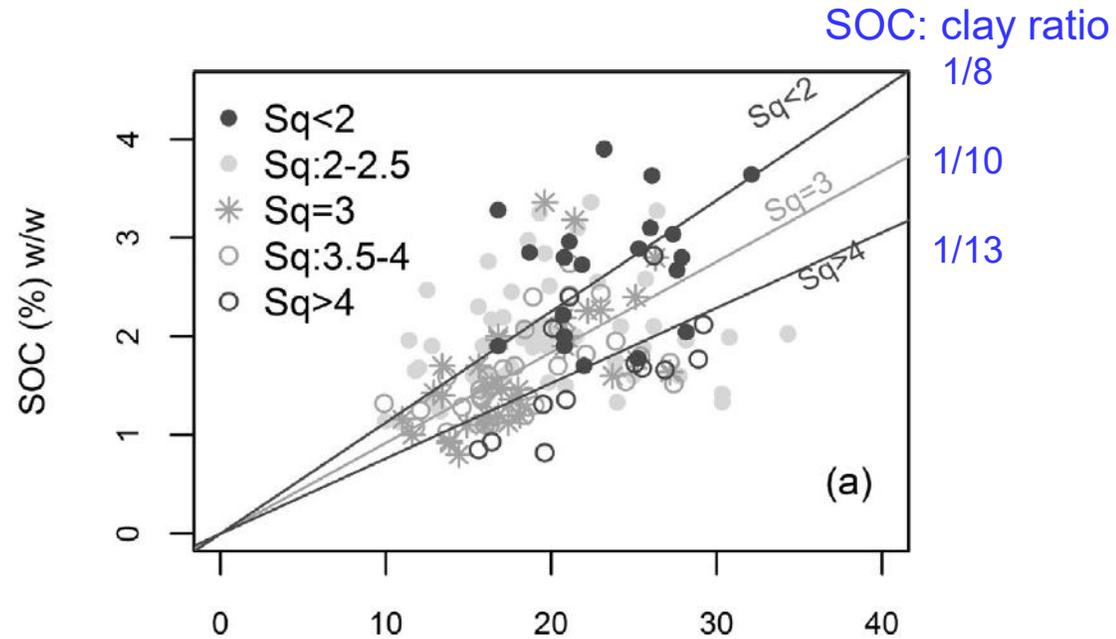


Alternativer Ansatz:

- Beispiel für eine Karte des organischen Kohlenstoffs für die Region Tullnerfeld
- Sehr detailliert
- Durch Stratified Random Sampling gemäß SML ohne Verwendung von Machine Learning wohl nur mit enormer Anzahl der Monitoringstandorte zu übertreffen

- **Gesucht:**
 - Funktionale, interpretierbare Deskriptoren mit Bezug zu Bodenfunktionen / Ökosystemservices
 - [SML: Einheitliche Kriterien der Bodengesundheit für unterschiedliche Bedingungen \(Europa\)](#)
- **Potenzielle Deskriptoren:**
 - Konzentration des Organischen Kohlenstoffs (SOC)
 - Kohlenstoffvorräte
 - Normalisierte SOC-Konzentrationen ([SML: Kohlenstoff zu Tongehalt](#), [SOC: clay ratio](#))
- Variieren mit ökologischen Bedingungen (Ausgangsmaterial, Klima etc.)
- Einige Veröffentlichungen zeigen Bezug zwischen SOC: clay ratio und der Qualität der Bodenstruktur bzw. des Porenraums
 - Westschweiz (Johannes et al., 2017 und weitere Publikationen des Autorenteam)
 - England & Wales (Prout et al., 2021)
- EU-Richtlinie stützt sich auf diese wenigen Arbeiten und legt SOC: clay ratio als generellen Deskriptor der Bodengesundheit fest, mit Kriterium 1/13

SML - Deskriptor für organischen Kohlenstoff

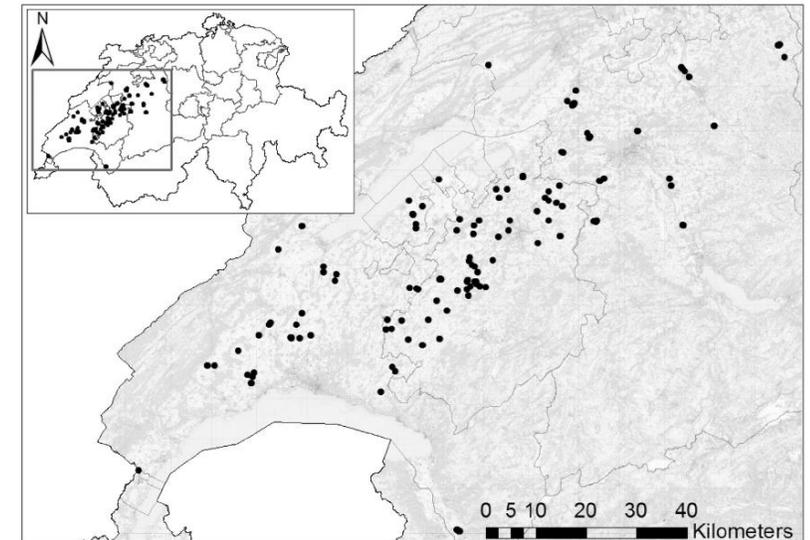


SOC: clay ratio

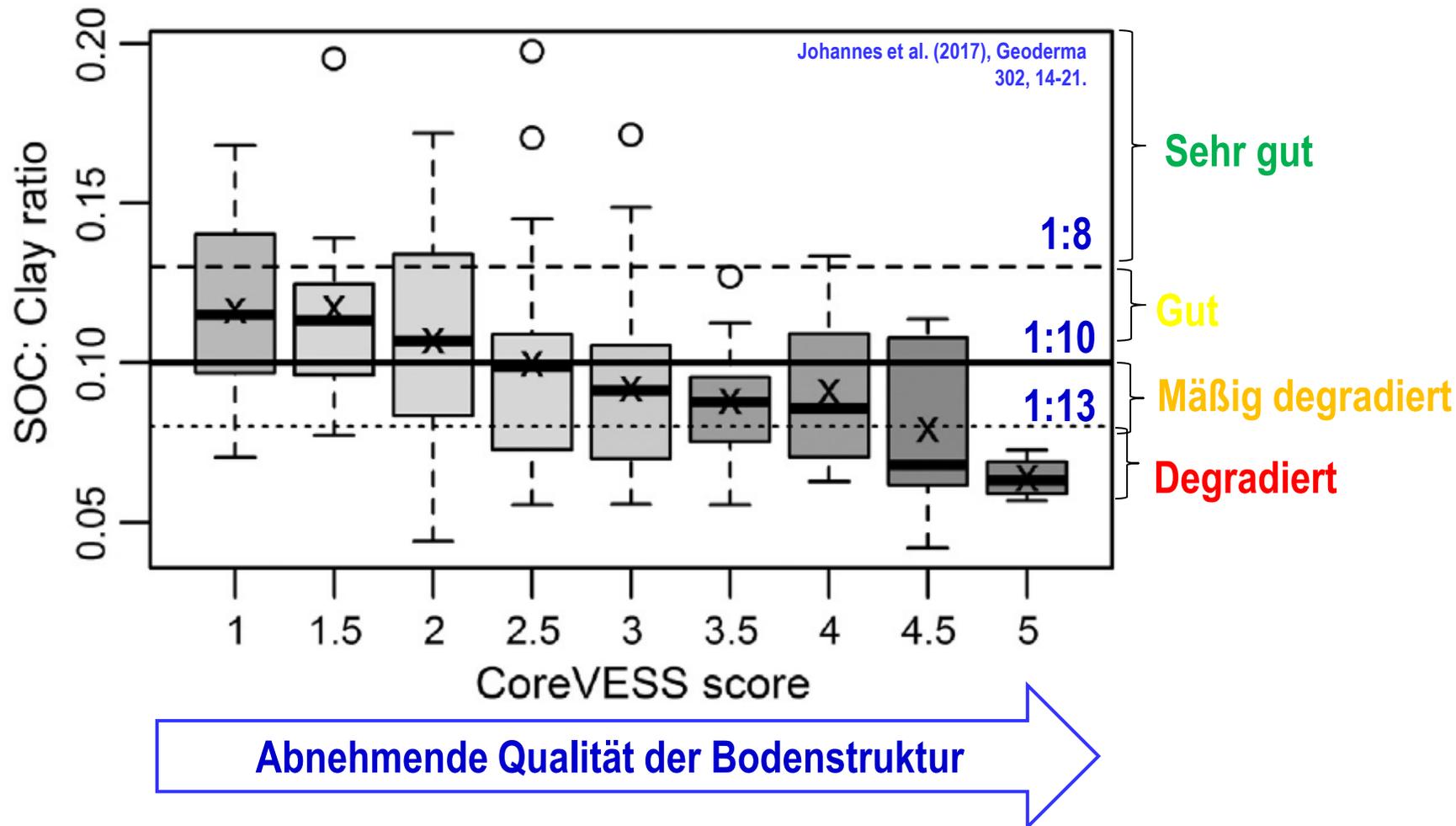
Strukturqualität

SOC:clay	Expected structural quality	CoreVESS*	
> 1:8	Very good	< 2	Sehr gut
1:10 < SOC:clay < 1:8	Good	2-3	Gut
1:13 < SOC:clay < 1:10	Improvement suggested SOC:clay of 1:10	3-4	Moderat
< 1:13	Bad	> 4	Degradiert

* Johannes et al., 2016.



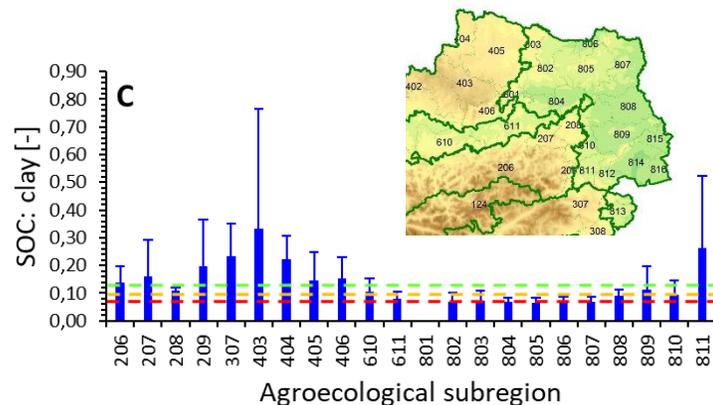
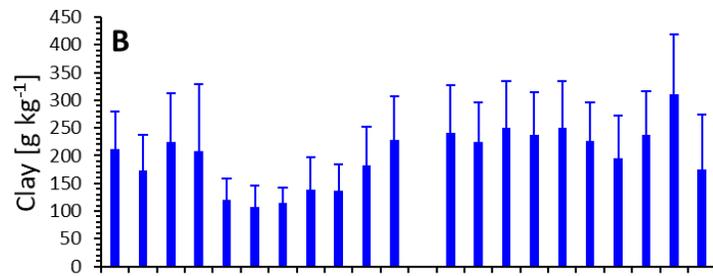
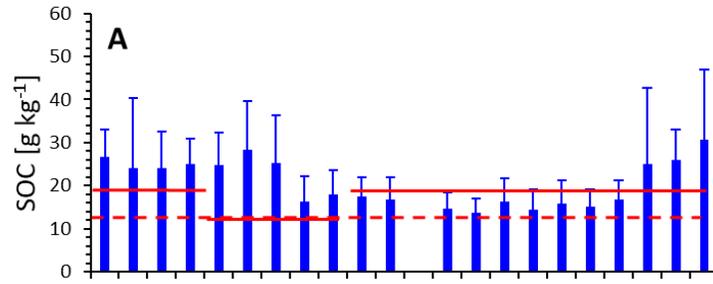
SML - Deskriptor für organischen Kohlenstoff



- Nur für wenige Regionen validiert
- Richtlinie definiert Einheitliches Kriterium (1/13) zur Abgrenzung „gesunder“ und „ungesunder“ Böden für ganz Europa
- In anderen Regionen (Deutschland, Frankreich, Baltikum, Österreich) konnte der Bezug zwischen Strukturqualität und SOC: clay nicht gefunden werden
- Viele Böden mit guter Bodenstruktur würden als „ungesund“ qualifiziert werden

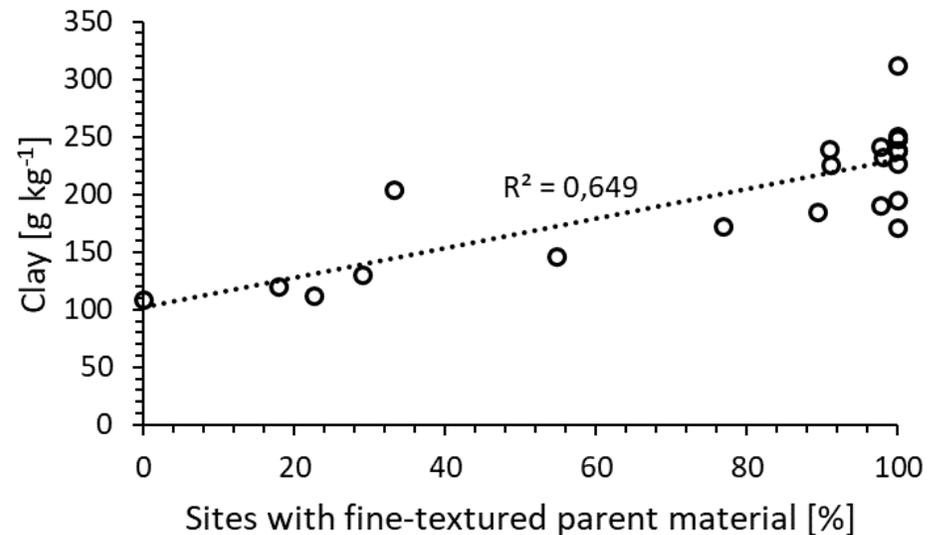
SML - Deskriptor für organischen Kohlenstoff

Cultivated soils

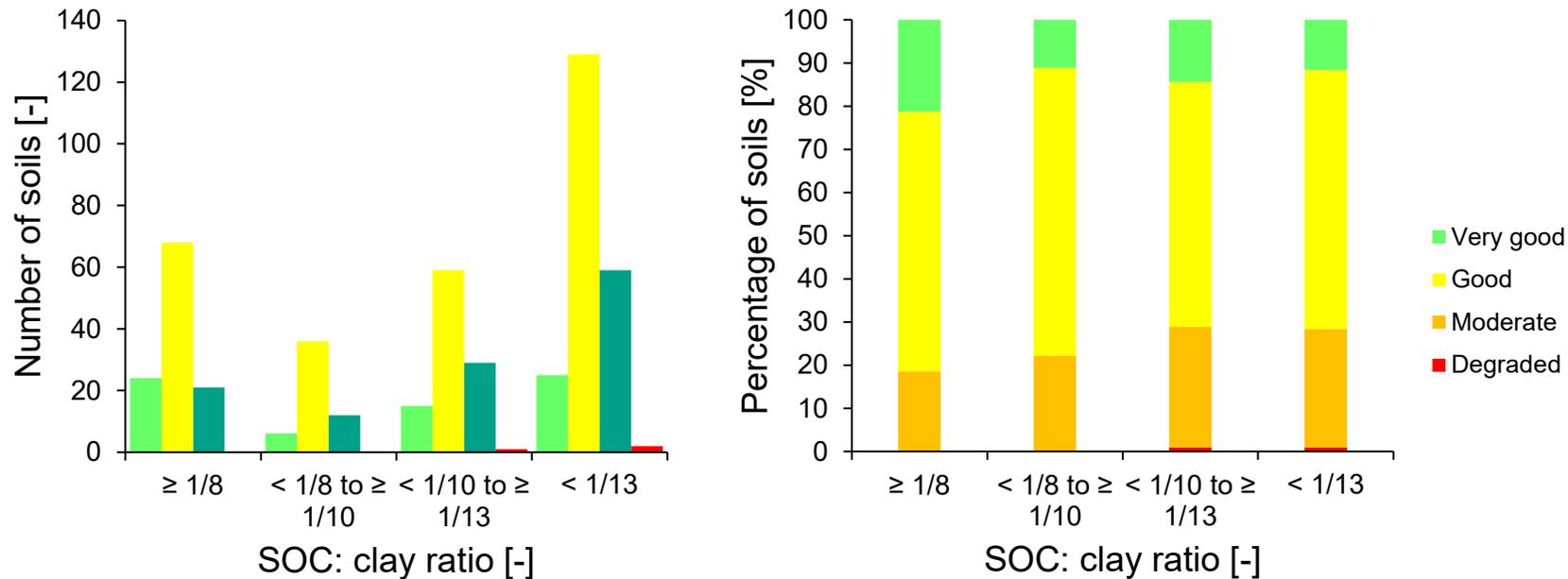


Wenzel et al. (2024), Geoderma 452 (2024) 117080

- Fallstudie NÖ
- Tongehalt und SOC variieren weitgehend unabhängig voneinander zwischen Kleinproduktionsgebieten und Bodentypen
- Tongehalt im Oberboden hängt wesentlich vom Ausgangsmaterial ab
- Verzerrung des SOC: clay ratio
- Einheitliche Kriterien (Zielwerte) nicht sinnvoll
- Korrektur für Klima (SML) in NÖ daher ohne fachliche Grundlage

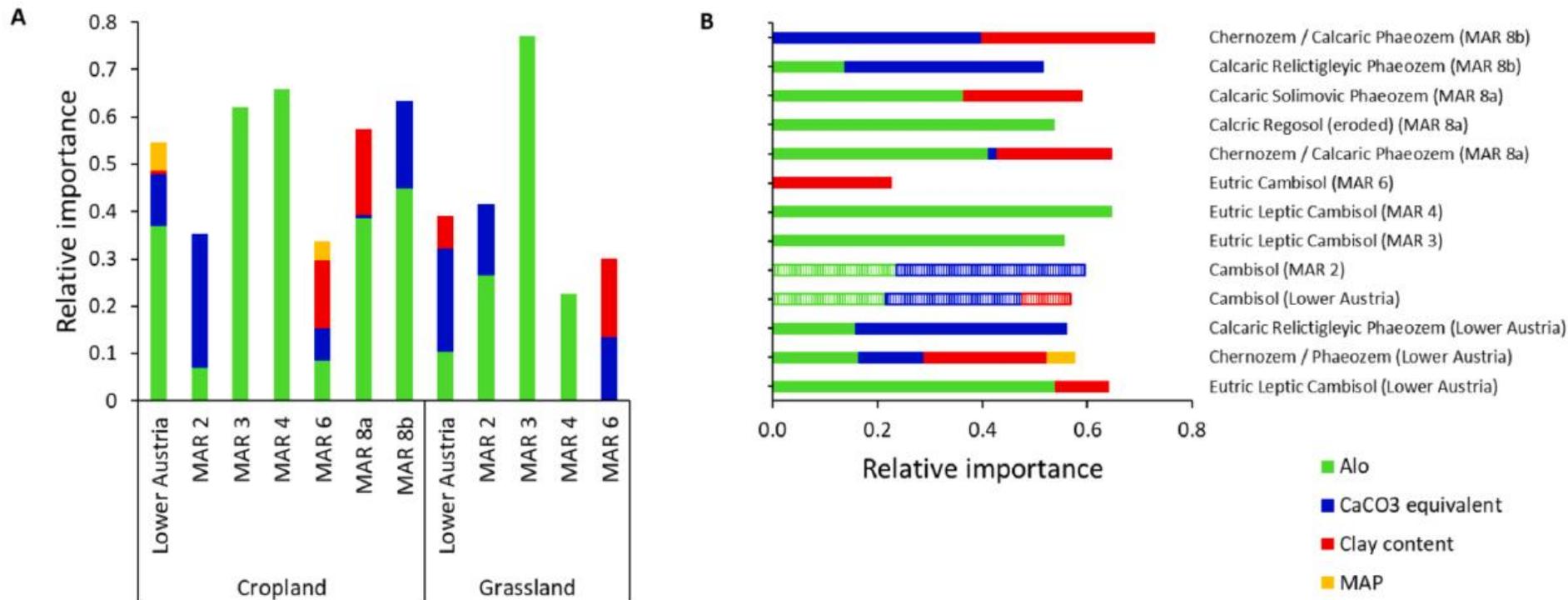


SML - Deskriptor für organischen Kohlenstoff



- In NÖ praktisch kein Bezug zwischen SOC: clay ratio und Qualität der Bodenstruktur
- Einfluss des Tongehalts des Ausgangsmaterials
- Tongehalt nicht die bestimmende Variable des SOC in NÖ Böden
- Fachliche Grundlage für das Kriterium SOC: clay ratio nicht gegeben

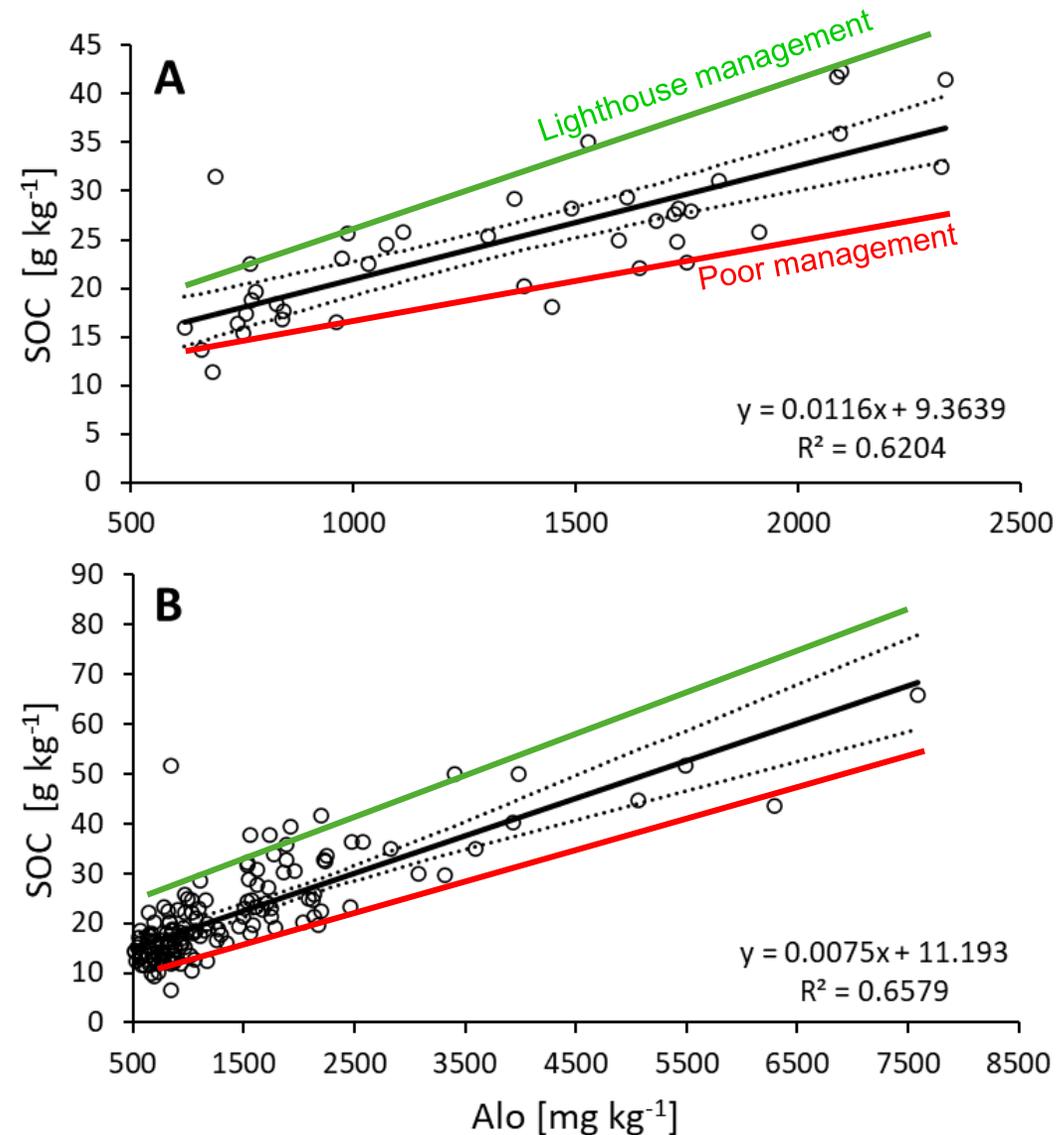
SML - Deskriptor für organischen Kohlenstoff



- SOC in NÖ vorwiegend nicht von Tongehalt sondern von anderen Bodeneigenschaften kontrolliert:
 - Oxalatlösliches Aluminium
 - Karbonatgehalt
- Zunehmende Evidenz in der Literatur, dass dies eher die Regel als die Ausnahme ist

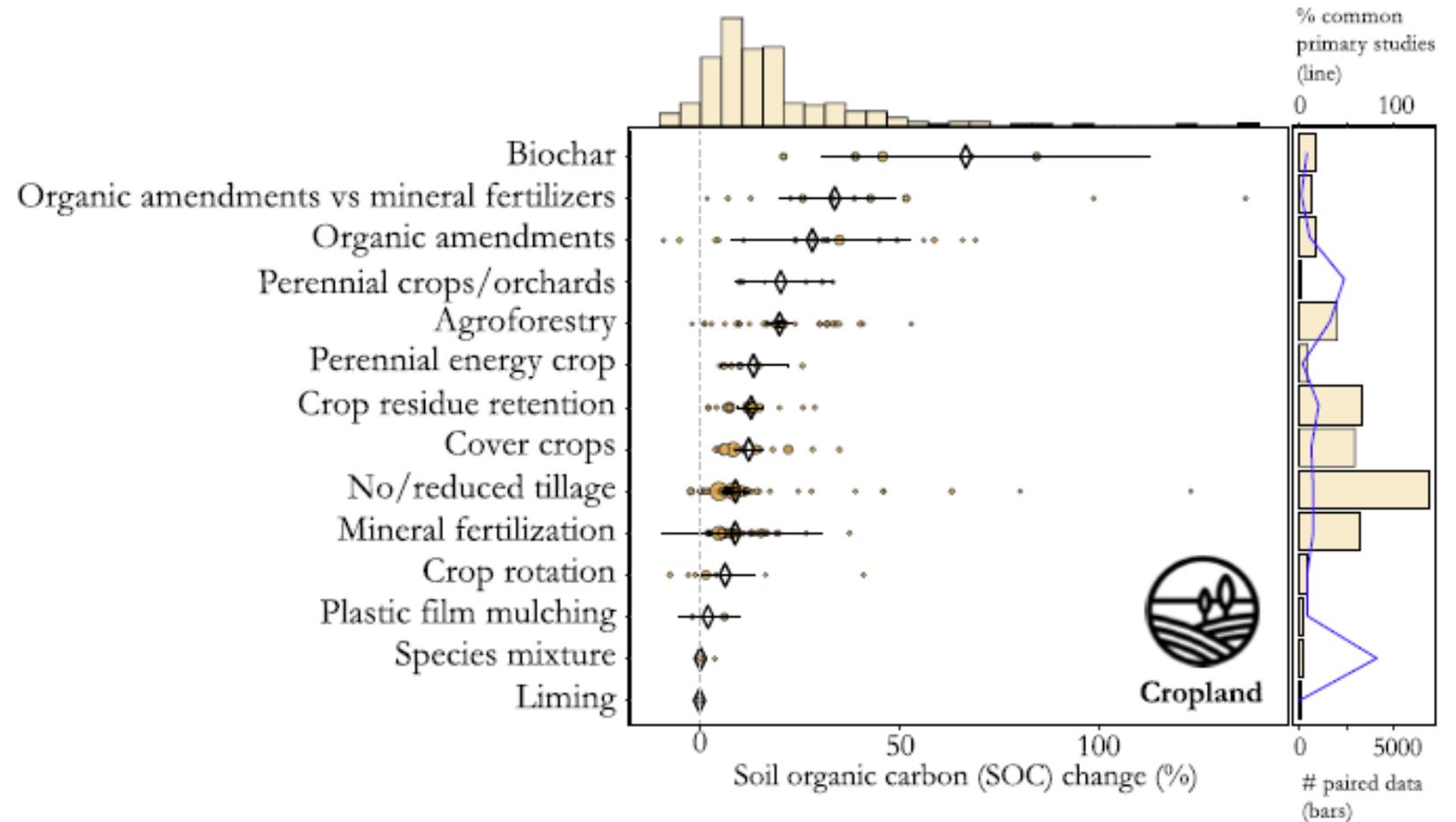
SML - Fokus

- SML: Einheitliche, fachlich teils problematische Kriterien für ganz EUropa
- Alternativvorschlag:
 - Ableitung von Erwartungswerten des organischen Kohlenstoffs (SOC) in Abhängigkeit der wichtigsten Kontrollvariable(n) (in NÖ meist oxalatlösliches Aluminium [Al_o] und Karbonatgehalt) mittels Regressionsmodellen für aktuell gebietstypisches “mittleres” Management (schwarze Linie)
 - Zusätzlich auch für verschiedene Managementkategorien (z.B. “Lighthouse”, “Poor”)
 - Etablierung von Beziehungen zu Bodenfunktionen / Ökosystemleistungen (z.B. zur Qualität der Bodenstruktur, Wasserretention etc.)
 - Grundlage für die Ableitung von regional wirksamen Maßnahmen mit den Stakeholdern



Beillouin et al et al. (2023), Nature Communications, 14, 3700.

- Fokus des SML auf detaillierten Vorschriften für das Monitoring
- Erfolgskontrolle von Maßnahmen über Bodenmonitoring sehr aufwändig
- Besser validierte Maßnahmen in den Bodenbezirken priorisieren und deren Umsetzung überprüfen (ähnlich ÖPUL)



- Zahlreiche Probleme, z.B.
 - Fokus
 - Interpretation des Konzepts der Bodengesundheit
 - Monitoringkonzept
 - Deskriptoren (z.B. SOC: clay ratio)
- Methoden zur Erfassung der Bodengesundheit noch unreif für gesetzliche Regelung sofern dieses auf ein harmonisiertes Bodenbeobachtungssystem mit generell gültigen Kriterien fokussiert
- Es wäre effizienter, die Methodik der Bodenbeobachtung den Mitgliedstaaten zu überlassen, die Verbesserung der Bodengesundheit über validierte Maßnahmen zu steuern und über Reporting Erfolgskontrollen zu implementieren
- NÖ Landschaftsfonds Projekt ABB-LEBO-777/0001 (Bodengesundheit: NÖ als Beispielsregion)

