



AGRISAN-Methodik

Methodik zum einfachen Vergleich der physikalischen, chemischen und biologischen Haupt-Bodeneigenschaften

Interreg Projekt ATCZ272 AGRISAN - Gesunde und trockenheitsangepasste Bewirtschaftung von Boden und Landschaft



EUROPÄISCHE UNION



bioforschung
austria



Bundesamt
für Wasserwirtschaft

In der Publikation werden die AGRISAN-Methodik und zwei Beispiele für die Interpretation der Ergebnisse von tschechischen und österreichischen Standorten vorgestellt.

Die AGRISAN-Methodik ermöglicht es, zeitnah Informationen über negative Veränderungen von physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften zu erhalten. Die Methodik macht es möglich, die Ergebnisse leicht und verständlich zu interpretieren, um daraus Empfehlungen für die Praxis geben zu können. Dabei ist es das Ziel, den ausgewählten Boden mit einem an den Standort am besten angepassten natürlichen Boden oder einem nahegelegenen Naturstandort mit der gleichen Bodenart zu vergleichen.

INHALT

Einleitung	.....	1
1. Theoretische Basis	.....	2
2. Probenentnahme und Probenaufbereitung	.....	3
3. Bodendichte	.....	6
4. Bodenaggregatstabilität	.....	7
5. Organischer Kohlenstoff und Gesamt Stickstoff	.....	8
6. Bodenacidität (pH-Wert)	.....	9
7. Elektrische Leitfähigkeit (EC)	.....	9
8. Basale Bodenatmung	.....	10
9. Bestimmung des mineralisierbaren Stickstoff	.....	11
10. Bewertung der gewonnenen Ergebnisse	.....	12
11. Das Prinzip der Bewertung mit dem Bodenqualitätsindex	.....	13
12. Vorteile des Bodenqualitätsindex „SQI-area“	.....	16
13. Vergleich von tschechischen und österreichischen Boden	.....	17
14. Bewertung der Bodenreaktion (pH-Wert)	.....	19
15. Schlussfolgerung	.....	20

Einleitung

Der Umfang neuer agrarwissenschaftlicher Erkenntnisse nimmt zu. Gleichzeitig entfernen sich diese wissenschaftlichen Erkenntnisse kontinuierlich von der landwirtschaftlichen Praxis. Woran liegt das? Warum ist es schwierig, mit der Wissenschaft Schritt zu halten? Dafür gibt es mehrere Gründe, die auf den technischen Ansatz von Agrarökosystemen aufbauen. Dieser Ansatz führt zwar zu einer erheblichen Steigerung der Pflanzenproduktion, beruht aber nicht auf einer Steigerung der biologischen Aktivitäten der einzelnen Komponenten des Agrarökosystems. Besonders verwirrend und unverständlich für die Landwirte ist die scheinbare Vitalität der oberirdischen Pflanzenteile und die fortschreitende Verschlechterung des Bodens. Sie argumentieren einfach: "Wir haben die Empfehlungen der Wissenschaftler befolgt. Warum verschlechtert sich aber dann der Boden?" Aus diesem Grund ändern sich allmählich die Prioritäten und der eigentliche Auftrag für die Forschungstätigkeit. Überprüfbare Versuchsergebnisse lassen sich jedoch erst nach etwa 15 Jahren formulieren. Die wissenschaftlichen Empfehlungen, die die Quantität der Produktion widerspiegeln, sind noch immer allgegenwärtig. Erst allmählich liegen auch Empfehlungen vor, die sich auf spätere Anforderungen und eine höhere Qualitätsproduktion stützen. Die Forschung zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel befindet sich derzeit erst im Aufbau. Es fehlt jedoch noch an einer Validierung der Hypothesen durch Langzeitexperimente. Es fehlen auch Langzeitversuche zur Einbeziehung von Zwischenfrüchten in Fruchtfolgen in Synergie mit langen Sommerdürren usw. Eine wichtige Rolle spielt dabei, dass als Hauptbewertungskriterium die Anzahl der Veröffentlichungen mit Impact-Faktor gemessen wird, was zu einer Verdünnung der Forschungskapazitäten wissenschaftlicher Arbeitsgruppen führt. Dadurch ist die laufende Forschung zu einer stärkeren Spezialisierung auf Teilprobleme gezwungen und das Potenzial der ganzheitlichen Ökosystemforschung verringert sich. Nicht selten werden dadurch widersprüchliche Interpretationen desselben Phänomens formuliert. Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass der Schwerpunkt der Untersuchungen nach wie vor auf den oberirdischen Teil der Pflanzen liegt, der relativ leicht zu messen ist, während der unterirdische Teil und die Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten mit dem Boden viel schwieriger zu untersuchen und anschließend zu interpretieren sind.



Der unterirdische Teil des Ökosystems, insbesondere der Zustand des Bodenmikrobioms, spielt jedoch eine Schlüsselrolle bei der Bestimmung des Einflusses der einzelnen lebenden Komponenten (Pflanzen, Tiere und Mikroben) auf den Zustand des gesamten Agrarökosystems. Infolgedessen ist die Integration neuer Erkenntnisse in eine in der Praxis anwendbare, kohärente Funktionseinheit selten. Es wird daher empfohlen, eine systematische Überwachung und Untersuchung von Trends, Bedrohungen und der langfristigen Entwicklung des Bodens zu initiieren und zu fördern.

1. Theoretische Basis:

Auf der Grundlage einer Literaturrecherche wurde eine wissenschaftliche Arbeit von Kuzyakov und Zamanian aus dem Jahr 2019 (Agropedogenesis: Humankind as the 6th soil-forming factor and attractors of agrogenic soil degradation, *Biogeosciences Discussions*. 1-42. <https://doi.org/10.5194/bg-2019-151>) ausgewählt, die eine Reihe von Hauptsymptomen der Bodendegradation unter dem Einfluss menschlicher Aktivitäten beschreibt. Landwirtschaftliche Praktiken führen die Bodenentwicklung zu einem quasi-stabilen Zustand mit einem vordefinierten Bereich gemessener Eigenschaften - Attraktoren (ein Attraktor ist ein Minimal- oder Maximalwert einer Bodeneigenschaft, zu dem sich der Parameter bei langfristiger intensiver landwirtschaftlicher Nutzung von dem natürlichen Zustand aus entwickeln wird). Auf der Grundlage von Phasendiagrammen und Expertenwissen definierten die beiden Autoren eine Reihe von "Haupteigenschaften" (Bodendichte und Makroaggregate, Gehalt an organischer Substanz, C:N Verhältnis, pH - Wert und elektrische Leitfähigkeit - EC, mikrobielle Biomasse und basale Bodenrespiration) unter Berücksichtigung der Bodentiefe (Oberboden und Unterboden). Diese Haupteigenschaften sind besonders empfindlich gegenüber der Bodennutzung und bestimmen die anderen Eigenschaften während der Agropedogenese. Die Haupteigenschaften des Bodens helfen bei der Ermittlung von Schwellenwerten und Stadien der Bodendegradation, die eine Frühwarnung vor negativen Entwicklungen sein kann.

Diese wissenschaftliche Arbeit ist für das AGRISAN-Projekt sehr wertvoll, weil sie sich speziell mit denjenigen Bodenmerkmalen befasst, die hinreichend robust (sie reagieren nicht auf Veränderungen und Schwankungen in den vorangegangenen Monaten) und dennoch empfindlich genug sind (sie sind in der Lage, den Trend von Veränderungen zu erkennen). Von den vorgeschlagenen Bodenmerkmalen haben wir die meisten ausgewählt und sie für die Zwecke des Projekts als "Schlüsselmerkmale" bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine Gruppe von Bodenfruchtbarkeitsmerkmalen, die folgende Vorteile haben: (1) sie werden direkt von der Bewirtschaftung beeinflusst - sie reagieren empfindlich auf landwirtschaftliche Nutzung und Bodendegradation, (2) sie bestimmen den Zustand vieler anderer Parameter, und (3) sie sind nur minimal voneinander abhängig.

Für das AGRISAN-Projekt wurden folgende "Haupteigenschaften" ausgewählt: a) physikalisch - Bodendichte und Stabilität der Bodenaggregate, b) chemisch - gesamte organische Kohlenstoff, gesamte Stickstoff, pH (H₂O), pH (KCl), EC-Leitfähigkeit, c) biologisch - mineralisierbarer Bodenstickstoff und basale Bodenrespiration (Abb. 1).



Abb. 1 Ausgewählte Bodenmerkmale für die AGRISAN-Methode und ihre Bedeutung.

2. Probenentnahme und Probenaufbereitung

Die Bodenprobenahme erfolgt an den betreffenden Standorten nach Kriterien, die der Landwirt selbst wählen kann. Der Landwirt kann die Proben von Standorten nehmen, die sich auf demselben Feld befinden, aber aus unbekanntem Gründen unterschiedliche Vitalität oder Produktionsmerkmale aufweisen. Eine weitere Möglichkeit ist der Vergleich der Bodenparameter der Anbaufläche mit dem Boden mit der nächstgelegenen natürlichen Vegetation. Ein solcher Vergleich ermöglicht es dem Landwirt, sich mit den Eigenschaften des Bodens vertraut zu machen, die durch den Menschen potentiell beeinträchtigt werden. Zur Testung der AGRISAN-Methode wurden drei unterschiedlich bewirtschaftete Böden ausgewählt. Im optimalen Fall handelte es sich um Böden von benachbarten Flächen. Es handelte sich dabei um Flächen mit konventioneller Bewirtschaftung, biologischer Bewirtschaftung und um Dauergrünland (Abb. 2). Das Dauergrünland ist dabei für die Bewertung der erhaltenen Parameter entscheidend. Sie ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich der "wichtigsten Bodeneigenschaften" aus konventionellem oder ökologischem Anbau mit dem Bodenmilieu unter Dauergrünland, in dem physikalische, chemische und biologische Prozesse durch naturnahe Mechanismen gesteuert werden. Der Landwirt kann so die Unterschiede und möglichen Reserven zwischen dem bewirtschafteten Boden und dem Dauergrünlandboden vergleichen, ohne dass er tabellarische Zielwerte benötigt.



Abb. 2 Beispiel für die Entnahme von Bodenproben von unterschiedlich bewirtschafteten Böden.

Für die AGRISAN Methode wurden Mischproben aus jeweils zwei unterschiedlichen Bodenhorizonten (Oberboden und Unterboden) entnommen. Der Oberboden wurde an mindestens fünf Stellen mittels spezieller Bodensonde (Abb. 4, 5), mit austauschbarem Vorderteil zur Entnahme von intakten Bodenproben, bis zu einer Tiefe von 18 cm, genommen. Um ausreichend repräsentative Proben zu erhalten, wurden aufgrund der unterschiedlichen Konfiguration der Untersuchungsfläche die Bodenproben in regelmäßigen Abständen entnommen. Die obersten drei Zentimeter wurden bei allen Bodenproben nach der Beprobung entfernt, um eine Verzerrung der Bewertung auf der Grundlage der Ergebnisse der Dauergrünlandproben (wo der Oberboden stark durchwurzelt ist) zu vermeiden (Abb. 5). Die Proben aus dem Unterboden wurden aus den ersten 10 cm unter der Pflugsohle (20-30 cm) entnommen. Wenn möglich unter Beibehaltung derselben Tiefe je Standort (Abb. 3). Der Zeitpunkt der Probenahme wurde auf das Frühjahr festgelegt, kurz nachdem der Boden aufgetaut war. Der Grund dafür war, einen möglichst langen Zeitraum zu erhalten, in dem der Boden relativ ruhig war, damit die Ergebnisse der Bestimmung nicht durch vorherige Ereignisse übermäßig beeinflusst werden.

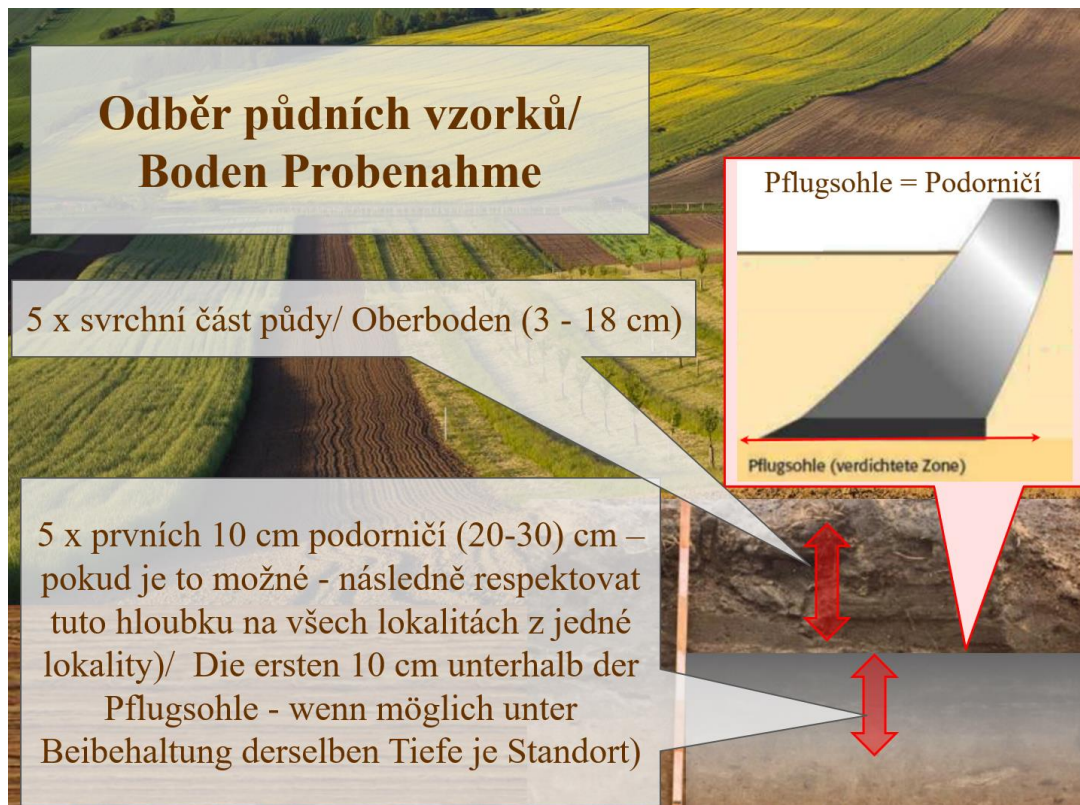


Abb. 3 Spezifikation der Boden Probenahme für Oberboden und Unterboden.



Abb. 4 Detailansicht des vorderen Teils der Sonde für intakte Bodenproben.



Abb. 5 Beispiel für die praktische Entnahme von Bodenproben im Weinberg und sofortige Absiebung in Fraktionen unter und über 5 mm (Foto von Jana Asszonyi, Mendelu).

3. Bodendichte

Die Bodendichte gibt das Gewicht pro Volumeneinheit des Bodens in seinem ungestörten Zustand an.



Abb. 6 Ein Vergleich der Masse eines bestimmten Bodenvolumens zeigt, wie viel mehr Platz für das Bodenleben zur Verfügung steht.

Die Bodendichte wird sowohl von den festen Teilchen als auch von den Poren bestimmt, die mit Luft und Wasser gefüllt sind. In der gängigen Terminologie wird der Begriff "Bodendichte" für getrockneten Boden verwendet. Lehm- und tonhaltige Böden haben im Allgemeinen eine geringere Bodendichte als sandige Böden. Vor allem bei höheren Gehalten an organischer Substanz aggregieren Lehmbodenpartikel stärker und bilden poröse Aggregate. Die durchschnittliche Bodendichte des Oberbodens für Lehmböden sollte etwa $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ und für Unterböden $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$ betragen. Die Bodendichte von Mineralböden schwankt zwischen $0,8$ und $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$, bei organischen Böden in der Regel zwischen $0,2$ und $0,3 \text{ g.cm}^{-3}$.

Neben der Bodendichte musste für die Bestimmung der anderen Haupteigenschaften im Rahmen des AGRISAN-Projekts eine repräsentative Mischbodenfraktion gewonnen werden. In der Praxis gingen wir so vor, dass wir jede mit der speziellen Bodensonde gezogene Probe unmittelbar nach der Sammlung in frisch angefeuchtetem Zustand durch ein 5 mm Maschensieb siebten (Abb. 5). Die beiden Fraktionen des Bodens über und unter 5 mm wurden getrennt gesammelt, dann im Labor ausgebreitet und mehrere Wochen bis zur Massekonstanz luftgetrocknet. Das Volumengewicht der Bodenprobe nach dem Trocknen auf konstanten Feuchtigkeitsgehalt wurde durch Wiegen und Addieren der Gewichte der beiden Fraktionen der Probe bestimmt.

4. Bodenaggregatstabilität

Die Widerstandsfähigkeit von Bodenaggregaten gegenüber dem Zerfall in kleinere Aggregate oder in die Grundbausteine des Bodens - Sand, Staub, Ton - durch Wasser ist ein grundlegender Indikator für die Bodenqualität. Material, das bei plötzlichen Regenfällen durch den Zerfall von Bodenaggregaten freigesetzt wird, setzt sich in den Makroporen des Bodens ab und verringert deren Durchlässigkeit für infiltrierendes Wasser, erhöht das Volumen des über die Bodenoberfläche fließenden Wassers und erhöht das Risiko der Wassererosion.



Abb. 7 Die Bodenaggregatstabilität gegenüber der Zersetzung durch Wasser ist ein grundlegender Indikator für die Bodenqualität.

Im Projekt wurde zur Bestimmung der Aggregatstabilität an jedem Standort und Bodentiefe ebenfalls Bodenproben mittels Spaten für die Bestimmung der Aggregatstabilität genommen. Die naturfeuchten Bodenproben wurden im Labor zur Lufttrocknung ausgebreitet. Während der Lufttrocknung wurden die Aggregate vorsichtig auseinander gebrochen. Anschließend erfolgte die Bestimmung der Aggregatstabilität nach dem Siebtauchverfahren (ÖNORM L1072).

Hierbei wurde der luftgetrocknete Boden aus der Spatenprobe ohne Druckauswirkung 2 mm gesiebt und die Bodenaggregate in der Siebtauchapparatur in dest. Wasser auf einem Sieb in vertikaler Richtung bewegt. Nach 5 Minuten Nasssiebung wurden die im Sieb verbliebenen Aggregate, bei 105°C getrocknet. Zur Bestimmung des Sandanteils wurden die verbliebenen Bodenaggregate mit 0,1 molarer Tetra-Natriumdiphosphat-Lösung überstaut und die Aggregate zerstört. Von der entstandenen Suspension wurde nach 2 h erneut eine Nasssiebung vorgenommen und erneut getrocknet. Die Aggregatstabilität wurde dann als Anteil der stabilen Aggregate ohne Sandanteil von der Gesamtprobe berechnet.

5. Organischer Kohlenstoff und Gesamt Stickstoff

Der organische Kohlenstoff im Boden ist ein wichtiges Merkmal der Bodenfruchtbarkeit. Böden mit hohem organischem Kohlenstoffgehalt können mehr Nährstoffe und Wasser speichern. Er verbessert die Bodenstruktur, wodurch Wasser rascher versickern, und Erosion vermieden werden kann. Das Kohlenstoff:Stickstoff -Verhältnis gibt Auskunft über die Qualität der organischen Bodensubstanz.

Eine Teilprobe der 5 mm gesiebten Probe wurde bei 105°C getrocknet und zur Homogenisierung mittels Planetenkugelmühle fein vermahlen. In der fein vermahlene Bodenprobe wurde anschließend der Gesamtkohlenstoff und der Gesamtstickstoff mittels Elementaranalyse bei 1000°C (TruSpec, LECO Corporation) bestimmt. Der anorganische Kohlenstoff wurde als Carbonat mittels Scheibler-Methode gemessen (ÖNORM L 1084). Der Anteil des organischen Kohlenstoffs wurde als Differenz des Gesamtkohlenstoffs und des Carbonatkohlenstoffs ermittelt. Der Humusgehalt errechnete sich aus organischem Kohlenstoff x 1,72 (ÖNORM L1080).



Abb. 8 Der gesamte organische Kohlenstoff und der Gesamtstickstoff im Boden werden mit speziellen Geräten bestimmt.

6. Bodenacidität (pH-Wert)

Die Bodenacidität gibt die Säure- oder Basenwirkung der Bodenlösung an und beruht auf die Messung der Wasserstoffionen in der Bodenlösung. Im Projekt wurde sowohl die aktuelle Acidität, also die Suspension von Boden in Wasser, als auch die potentielle Acidität gemessen. Bei dieser werden, ebenfalls die am Boden-Austauscher sorbierten Wasserstoffionen, durch Verdrängung durch eine Neutralsalzlösung (KCl-Lösung), miterfasst.

Zur Bestimmung wurde die 5 mm gesiebte, luftgetrocknete Probe herangezogen und der pH im Wasser sowie in 1 molarer KCl Lösung bestimmt. Hierfür wurde das 5-fache Volumen an destillierten Wasser bzw. Kaliumchloridlösung dem Boden zugefügt, gut durchmischt und für 18 h zugedeckt stehen gelassen. Unmittelbar nach erneuerlichem Durchmischen der Suspension erfolgte die pH Messung mittels Glaselektrode. (nach ÖNORM L1083)



7. Elektrische Leitfähigkeit (EC)

Die elektrische Leitfähigkeit (EC, conductivity) des Bodens steigt mit zunehmender Konzentration der Ionen in der Bodenlösung. Damit ist sie ein indirekter Indikator für den Grad der Versalzung. In Kombination mit anderen Indikatoren kann sie einen Hinweis auf die Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen geben.

Ähnlich wie bei der Bestimmung der Bodenacidität wurde für die Bestimmung die luftgetrocknete Bodenfraktion unter 5 mm verwendet. In einem ersten Schritt wurden 20 g der Bodenprobe mit 100 ml abgekochtem destilliertem Wasser versetzt. Die Proben wurden dann für 1 Stunde in einen Schüttler gestellt. Anschließend wurden die Proben filtriert, zentrifugiert (3000 U/min, 25 Minuten lang) und erneut filtriert. Anschließend wurde die elektrische Leitfähigkeit (EC) des Bodens mit einem Leitfähigkeitsmessgerät (Conductivity Meter) gemessen. Es erfolgt eine Dreifach – Bestimmung aller Proben.

Die Leitfähigkeit entspricht dem Salzgehalt des Bodens und wird in Mikrosiemens pro Zentimeter angegeben.

8. Basale Bodenatmung

Zur Bestimmung der basalen Bodenatmung (BBA) wurde die Natronkalk - CO₂ - Aufnahmemethode verwendet (Keith und Wong, 2006; Measurement of soil CO₂ efflux using Natronkalk absorption: both quantitative and reliable). Die BBA wurde nach Befeuchtung der getrockneten Probe auf 70 % des Wasserhaltevermögens ohne Zugabe eines organischen Substrats bestimmt.



Abb. 9 Die basale Bodenatmung geht immer mit einem Verlust an bodeninterner Energie einher, so dass sie auch unter dem Aspekt einer effektiven mikrobiellen Steuerung der Bodenressourcen betrachtet werden muss.

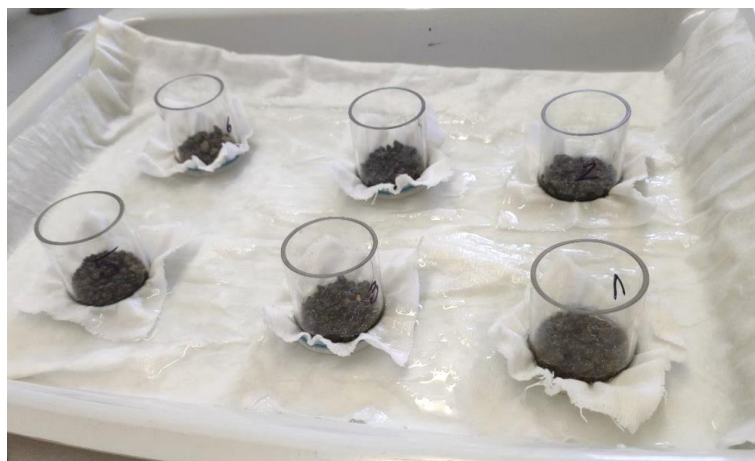


Abb.10 Bestimmung des Wasserhaltevermögens in Mischproben (Foto von J. Asszonyi).

Zur Bestimmung des Wasserhaltevermögens wurden die Bodenproben in den Behältern 1 h lang von unten durch Filterpapier mit destilliertem Wasser gesättigt (Abb. 10). Nach der Sättigung wurden die Behälter auf trockenes Filterpapier gestellt und das überschüssige Wasser 10 Minuten lang abgesaugt. Nach dem Absaugen wurde das Wasserhaltevermögen durch Wiegen bestimmt.



Abb. 11 Inkubationsgefäße, in denen der Boden für die Bestimmung der Bodenatmung inkubiert wurde.

Die Basalatmung wurde in 60 g Boden bestimmt. Der Boden wurden hierfür in Glasgefäße gefüllt, auf 70 % des Wasserhaltevermögens angefeuchtet, mit einem Glasdeckel verschlossen und 7 Tage lang vorinkubiert, um eine Stabilisierung der Bedingungen des künstlich hergestellten Bodensystem zu erhalten. Nach 7 Tagen wurde das alkalische Sorptionsmittel, Natronkalk vorbereitet (Trocknung für 4,5 h bei 105 °C, dann gewogen) und in die Glasgefäße mit dem vorinkubierten Boden in einem offenen Kunststoffbehälter gegeben. Anschließend wurde die basale Atmung bestimmt, indem die Probenbehälter mit dem Boden und dem Natronkalk für 72 Stunden luftdicht verschlossen wurden. Nach der Inkubationszeit wurde der Natronkalk in den Kunststoffbehältern getrocknet (4,5 Stunden bei 105 °C) und erneut gewogen. Die Gewichtsänderung des Natronkalkes vor und nach der Inkubation wurde dann auf die Masse des umgewandelten Kohlenstoffs aus 1 kg Bodentrockengewicht umgerechnet. Die Bestimmung der basalen Bodenatmung wurde für jede Mischprobe in dreifacher Ausführung durchgeführt.

9. Bestimmung des mineralisierbaren Stickstoffs

Die Bestimmung der Stickstoffumwandlungsrate und -geschwindigkeit im Boden sollte mit einer einfachen und leicht reproduzierbaren Methode erfolgen. Außerdem sollte sie dem Landwirt ausreichend nützliche Informationen über die mineralisierbaren Stickstoffvorräte im Boden liefern, die in einem relativ kurzen Zeitraum von einigen Wochen freigesetzt werden können. Aufgrund der großen Komplexität der am Stickstoffkreislauf beteiligten Prozesse wurde die Methode zur Bewertung des Stickstoffverfügbarkeitsindex (sensu KEENEY 1982) gewählt. Die Methode basiert auf der Produktion von Ammoniumionen während einer siebentägigen anaeroben Inkubation von Bodenproben bei 40 °C (Abbildung 12). Das Prinzip der Methode besteht darin, die Mineralisierung von leicht zersetzbarem organischem Stickstoff durch überlebende thermophile, anaerobe Mikroorganismen zu messen. Die Stickstoffquellen sind ursprünglich hauptsächlich in den Strukturbestandteilen und lebenden Zellen von

Gemeinschaften aerober psychrophiler und mesophiler Mikroorganismen enthalten, die unter den gegebenen Inkubationsbedingungen spontan absterben und anschließend ammonifiziert werden. Der mineralisierbare Bodenstickstoff korreliert daher sehr gut mit der mikrobiellen Mineralisierungsrate im Boden.



Abb. 12 Bestimmung des mineralisierbaren Stickstoffs in der Boden-Wasser Suspension.

Um die Zunahme des Ammoniumstickstoffs nach der beschriebenen anaeroben Bebrütung bei erhöhter Temperatur zu bestimmen, muss zunächst die tatsächliche Menge an Ammoniumstickstoff im Boden ermittelt werden. Dazu wurden 20 g Boden in Reaktionsgefäße eingewogen und mit 100 ml 2M KCl versetzt. Die Suspension wurde anschließend für 1 Stunde geschüttelt, dann gefiltert und zur Ammoniumstickstoff Bestimmung destilliert. Der Ammoniumstickstoff wurde nach der Destillations-Titrations-Methode bestimmt (Peoples et al., 1989). Für die Inkubation wurden 20 g desselben Bodens in Reaktionsgefäße eingewogen, 50 ml destilliertes Wasser hinzugefügt, verschlossen und eine Stunde lang geschüttelt. Anschließend wurde der Boden in einen Brutschrank gestellt und 7 Tage lang bei 40 °C inkubiert. Am Ende der Inkubation wurden 50 ml 4M KCl in die bebrütete Suspension gegeben und eine Stunde lang geschüttelt. Anschließend wurde das gleiche Verfahren wie bei den nicht bebrüteten Proben angewandt - sie wurden filtriert und destilliert.

Die Bestimmung des mineralisierbaren Bodenstickstoffs erfolgt durch Subtraktion der tatsächlichen Menge an Ammoniumstickstoff vor der Bebrütung von der während der Bebrütung akkumulierten Menge an Ammoniumstickstoff. Die Bestimmung des mineralisierbaren Bodenstickstoffs wurde für jede Mischprobe in dreifacher Ausführung durchgeführt.

10. Bewertung der gewonnenen Ergebnisse

Zur Beurteilung des Bodenzustands ist eine umfassende Bewertung der maßgebenden Bodenmerkmale erforderlich. Diese wurden in der Einleitung als „wichtige Bodeneigenschaften“ bezeichnet und sind für ein breites Spektrum von Ökosystemleistungen verantwortlich. In der Vergangenheit wurden viele Bodenqualitätsparameter vorgeschlagen,

um bestimmte Gruppen von Bodenfunktionen zu bewerten. Ein Nachteil dieser Parameter ist die Schwierigkeit, verschiedene Parameter miteinander zu vergleichen, da sie auf einer Kombination spezifischer Bodeneigenschaften beruhen. Um dieses Problem zu vermeiden, verwenden wir einen Zugang, der auf dem Vergleich von Flächen in einem Strahlendiagramm beruht und ausgewählte physikalische, chemische und biologische Eigenschaften kombiniert. Der neue Ansatz wird ausführlich in Kuzyakov et al. (2020) vorgestellt ("New approaches for evaluation of soil health, sensitivity and resistance to degradation. Front. Agric. Sci. Eng 7: 282-288.) und ermöglicht einen schnellen und einfachen Vergleich von Parametergruppen und Böden. Kuzyakov und andere bezeichnen ihn als SQI-Fläche (Soil Quality Index - area).

Tab. 1 Ausgewählte "Haupt-Bodeneigenschaften" und deren Interpretation für AGRISAN.

Bodeneigenschaften	Abkürzung	Interpretation
Bodendichte	ρ	
Stabilität der Aggregate	Agr. St.	
Gesamter organischer C	C_{org}	
Gesamt-Bodenstickstoff	N_{tot}	
Elektrische Leitfähigkeit	EC	
pH (H ₂ O)*	pH (H₂O)	*
pH (KCl)*	pH (KCl)	*
Basale Bodenatmung	Resp.	
Mineralisierbare N	N_{min}	
* Da die pH-Werte dem Negativ des dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration entsprechen und bei einer Umrechnung in absolute Werte die grafische Darstellung der anderen Eigenschaften verdecken würden, werden sie separat verglichen.		

11. Das Prinzip der Bewertung mit dem Bodenqualitätsindex

Der Ansatz mit der SQI-area basiert auf den Vergleich der Fläche innerhalb eines Strahlendiagramms, das aus einer Gruppe von einzelnen Bodenparametern konstruiert wurde, die mit einem willkürlichen Gewicht (in den meisten Fällen, ohne den einzelnen Parametern ein bestimmtes höheres oder niedrigeres Gewicht zuzuweisen) zum SQI beitragen (Abb. 13). Jeder einzelne Bodenparameter sollte in Bezug auf den vom Menschen am wenigsten beeinträchtigte Boden normiert werden. Im Falle der AGRISAN-Methode wird Dauergrünland (100 %) als ein solcher Boden betrachtet. Unter Verwendung der zitierten Arbeit zur Standardisierung wird die folgende Gleichung für die Parameter Agr.St., C_{org}, N_{tot} und N_{min} angewendet:

$$stP_i = \frac{P_x}{P_n} 100 \quad [\%] \quad (1)$$

wobei stP_i der standardisierte Parameter i ist, P_x die Parameterwerte im konventionell oder ökologisch bewirtschafteten Ackerland und P_n die Parameterwerte im Dauergrünland sind. Für die Bodenparameter, bei denen es zu einer Verschlechterung der Bodenqualität kommt, wenn

der Wert zunimmt, wird für die Standardisierung im AGRISAN-Projekt folgende Gleichung angewandt. Dies trifft für die Parameter EC und Resp. zu:

$$stP_i = 100 - \left(\frac{P_x}{P_n} 100 - 100 \right) [\%] \quad (2)$$

Der Schlüsselparameter Bodendichte (ρ) wird für die Standardisierung doppelt gewichtet:

$$stP_i = 100 - 2 \left(\frac{P_x}{P_n} 100 - 100 \right) [\%] \quad (3)$$

Eine solche Standardisierung ermöglicht den Vergleich eines beliebigen Bodenqualitätsindex (SQI), der sich aus einer beliebigen Anzahl von Parametern zusammensetzt. Auf der Grundlage der standardisierten Parameter kann ein Strahlendiagramm sowohl für den natürlichen Boden (alle Werte werden als 100% angenommen, Abb. 13) als auch für verschiedene intensiv bewirtschaftete Böden erstellt werden. Ein Vergleich der von den beiden so erstellten Polygonen abgedeckten Fläche spiegelt den Gesamtgrad der Bodenverschlechterung wider. Die relevante Fläche entspricht der Summe der einzelnen Dreiecke, die Polygon bilden, wobei n die Anzahl der für SQI und π (3.14) verwendeten Parameter ist.

$$Area_{SQI} = 50 \sum_i^n stP_i^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \quad (4)$$

Zur Testung der AGRISAN-Methode wurden je Standort, Böden von drei unterschiedlich bewirtschafteten Böden (konventionell, biologisch, Dauergrünland) ausgewählt und in zwei verschiedenen Tiefen (Oberboden und Unterboden) untersucht. Für einen objektiven Vergleich der erhaltenen Werte der "wichtigsten Bodeneigenschaften" (z. B. Flächenanbindung, Ansaatverfahren usw.) waren 6 Standorte auf der Seite der österreichischen Projektpartner und 12 Standorte auf der Seite der tschechischen Partner optimal geeignet (Tabelle 2). Die Eingrenzung der Auswahl war im Rahmen des Projekts entscheidend, um den Hauptzweck der AGRISAN-Methode objektiv nutzen zu können - d.h. den Boden an einem beliebigen Standort mit der Bodenumgebung unter Dauergrünland zu vergleichen, wo physikalische, chemische und biologische Prozesse durch natürliche Mechanismen dominiert werden.

Zur Veranschaulichung des SQI-Flächenansatzes haben wir Daten aus zwei Datensätzen ausgewählt: konventionell bewirtschaftete Ackerflächen in der Tschechischen Republik (CZ-C-T) und Dauergrünland (CZ-N-T) - siehe Tabelle 2. Obwohl die Gesamtfläche des Polygons teilweise von der Anzahl der in die Berechnung einbezogenen Parameter abhängt, bleibt das Flächenverhältnis zwischen den verglichenen Böden unabhängig. Das Verhältnis zwischen der Summe der Flächen aller Dreiecke des konventionell bewirtschafteten Bodens und der durch alle Parameter definierten Fläche des nahezu ungestörten Dauergrünlandbodens spiegelt die Gesamtintensität der Verschiebung der ausgewählten wichtigsten Bodeneigenschaften wider (Abb. 13). Daher sollte auch der nächstgelegene Standort des minimal gestörten Bodens mit dauerhafter Vegetation mit äußerster Sorgfalt ausgewählt werden.

Tabelle 2 Durchschnittswerte ausgewählter tschechischer und österreichischer Standorte (CZ, insgesamt 12; AT, insgesamt 6). Die verwendeten Symbole und ihre möglichen Interpretationen sind in Tabelle 1 beschrieben. Das Symbol **T** steht für Oberboden, **S** für Unterboden, **C** für konventionelles, **O** für ökologisches und **N** für Dauergrünland.

Lokality v České republice / Lokalitäten in der Tschechischen Republik							
	ρ	Agr. St.	C org	N tot	EC	Resp.	Nmin
n=12	[g/cm ³]	(%)	(%)	(%)	(μS/cm)	(g C/ kg)	(kgN/ha)
CZ-C-T	1,40	50,7	1,44	0,14	75	0,14	327
CZ-C-S	1,55	39,4	1,08	0,11	67	0,12	162
CZ-O-T	1,43	48,8	1,41	0,15	79	0,09	445
CZ-O-S	1,57	38,8	1,06	0,12	76	0,10	179
CZ-N-T	1,29	71,6	2,27	0,20	76	0,11	534
CZ-N-S	1,48	57,0	1,43	0,13	73	0,10	217

Lokality v Rakousku / Lokalitäten in Österreich							
	ρ	Agr. St.	C org	N tot	EC	Resp.	Nmin
n=6	[g/cm ³]	(%)	(%)	(%)	(μS/cm)	(g C/ kg)	(kgN/ha)
AT-C-T	1,49	22,7	2,31	0,20	132	0,15	319
AT-C-S	1,52	32,4	1,97	0,17	138	0,14	99
AT-O-T	1,40	32,6	2,27	0,20	127	0,16	420
AT-O-S	1,47	34,6	1,83	0,16	135	0,15	103
AT-N-T	1,46	60,2	2,50	0,23	150	0,12	604
AT-N-S	1,48	39,2	1,92	0,17	122	0,14	140

Da die meisten Bodenparameter mit der Degradation abnehmen, ist es einfach, ihre standardisierten Werte auf der Grundlage eines ungestörten Bodens zu berechnen und dann die relative Abnahme der Parameter in intensiv genutzten oder degradierten Böden zu vergleichen (nach dem Grundsatz: je mehr, desto besser), siehe Gleichung (1). Im Falle der AGRISAN-Methode trifft dies auf die Parameter Agr.St., Corg, Ntot und Nmin zu. Bei den Parametern, die mit der Verschlechterung des Bodens zunehmen (weniger ist besser) (z. B. Bodendichte), sollte eine Standardisierung nach Gleichung (2) vorgenommen werden. Bei der AGRISAN-Methode trifft dies auf die Parameter EC (entspricht dem Salzgehalt) und Resp. (die Bestimmung der basalen Bodenatmung, nach der in Kapitel 8 beschriebenen Methode, entspricht der verringerten Fähigkeit des Bodens als Ganzes, seine internen Energiequellen vor mikrobiellem Abbau zu schützen) zu. Lediglich bei der Standardisierung der Bodendichte (ρ) wird das Gewicht des Parameters verdoppelt, indem er nach Gleichung (3) berechnet wird, da empirisch festgestellt wurde, dass sich die absoluten Werte aufgrund der Bodendegradation nur geringfügig verschieben, aber der Parameter von zentraler Bedeutung ist.

Die Acidität des Bodens (pH (H₂O) und pH (KCl)) kann nach den vorgeschlagenen Berechnungen nicht standardisiert werden. Die pH-Werte entsprechen dem negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration und ihr Anstieg ist nicht, wie bei den anderen Parametern, linear. Bei der AGRISAN-Methode wurde der pH-Wert unter sorgfältiger Berücksichtigung der empfohlenen optimalen Werte individuell bewertet.

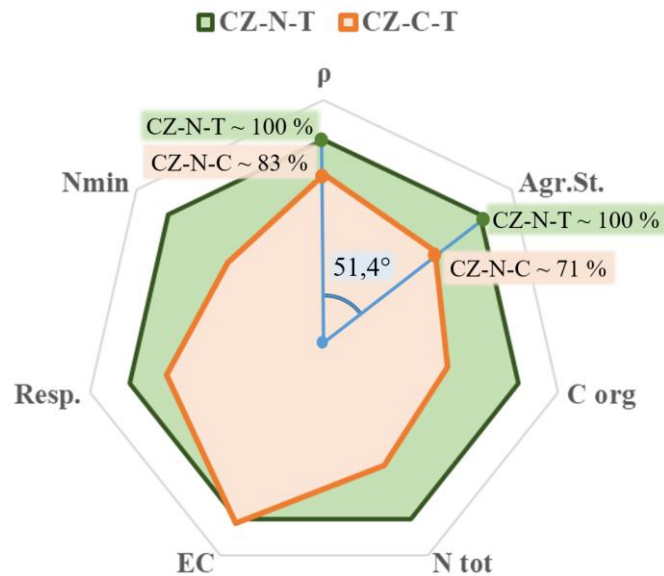


Abb. 13 Der Bodenqualitätsindex (SQI-area) eignet sich für die einheitliche Bewertung einer beliebigen Anzahl von Bodenparametern und für den Vergleich von Böden aus unterschiedlichen Standorten. Seine Aussagekraft besteht darin, die Verringerung der Fläche des Polygons in einem Strahlendiagramm zwischen den messbaren Eigenschaften eines Bodens mit verschlechterten Eigenschaften und einem Boden mit minimalem menschlichem Einfluss zu quantifizieren. Die Aussagekraft des mathematischen Ausdrucks in Gleichung (4) beruht auf die Summierung der Flächen von Dreiecken, deren Seiten eine relative Größe nach Standardisierung des betreffenden Parameters (gemäß Gleichungen (1), (2), (3)) haben. Der Winkel, den sie einnehmen, besitzt entsprechend der Anzahl der betrachteten Parameter (in unserem Fall sieben), die Größe von einem Bruchteil von 360° . Das Verhältnis von konventionell bewirtschafteten Flächen zu Dauergrünland beträgt in diesem Beispiel 59 % und spiegelt den Grad der Verschlechterung der Bodeneigenschaften durch die konventionelle Bewirtschaftung wider.

12 Vorteile des Bodenqualitätsindex "SQI-area"

1. die Unabhängigkeit der Bewertungsergebnisse von der Anzahl der in die SQI-Berechnung einbezogenen Bodenparameter. Obwohl die einzelnen Flächen teilweise von der Anzahl der Parameter abhängig sind, ist das Verhältnis zwischen den Flächen der geschädigten und der unbeschädigten Böden unabhängig. Die verschiedenen SQI (die nach unterschiedlichen Grundsätzen und unter Berücksichtigung einer unterschiedlichen Anzahl von Parametern berechnet wurden) können daher leicht zwischen den Studien verglichen werden.
2. Der Vergleich mit intakten Böden ist notwendig. Dies vermittelt ein klares Bild davon, wie stark der Einfluss einer bestimmten Bewirtschaftungsmethode ist.
3. Der flächenbezogene SQI-Ansatz ermöglicht einen einfachen grafischen Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen und Landnutzungsänderungen.
4. Der Ansatz vereinfacht die Bewertung der relativen Empfindlichkeit und Widerstandsfähigkeit einzelner Bodenparameter gegenüber einer Verschlechterung und gibt Aufschluss darüber, auf welche Bodeneigenschaften bei neuen Bewirtschaftungsmethoden

besonders geachtet werden sollte. So sind gemäß dem Beispiel in Abb.13 die Aggregatstabilität, der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff, der Gesamtstickstoffgehalt und der mineralisierbare Stickstoff Eigenschaften, die besonders empfindlich (maximale Abnahme) auf eine Bodendegradation reagieren. Im Gegensatz dazu ist der EC-Wert der Bodenleitfähigkeit resistent gegen eine Verschlechterung.

5. Die Verschlechterung zwischen Gruppen von Bodeneigenschaften (d. h. physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften) ist leicht zu vergleichen.

6. Es ist unerheblich, in welchen Einheiten die Parameter gemessen wurden, da alle Parameter durch denselben Parameter im Vergleich zum unbeschädigten Boden standardisiert werden.

7. Wenn die Schwellenwerte für eine vollständige Degradation bekannt sind, lässt sich leicht erkennen, wie nah der Boden an einer vollständigen, irreversiblen Degradation ist. Auf diese Weise lassen sich Degradationsklassen, Schwellenwerte zwischen ihnen und Grenzen, über die hinaus der Boden nicht wiederhergestellt werden kann, definieren.

8. die Auswirkungen von Revitalisierungsmaßnahmen auf einzelne Eigenschaften können leicht bewertet werden. So kann die Verbesserung der Eigenschaften (Umkehrung der Degradation) beurteilt werden.

9. Schließlich bietet der SQI-Flächenansatz eine nützliche Visualisierung und Abschätzung der Verschlechterung einzelner Parameter.

10 Selbst bei signifikanten Unterschieden zwischen den absoluten Werten einzelner Parameter (z.B. etwa doppelt so hohe EC-Leitfähigkeitswerte in österreichischen Böden) kann der SQI-Flächenansatz problemlos angewendet werden.

13 Vergleich von tschechischen und österreichischen Böden

Betrachtet man die zusammenfassende Tabelle der Durchschnittswerte der "wichtigsten Bodeneigenschaften" ausgewählter tschechischer und österreichischer Standorte, so wird deutlich, dass auch auf der Basis spezifischer Messgrößen, folgendes festgestellt werden kann:

- Die Stabilität der Aggregate im Oberboden ist an den tschechischen Standorten mehr als doppelt so hoch als an den österreichischen Standorten (50,7% bzw. 22,7%).
- Der Gehalt an organischem Kohlenstoff und Stickstoff ist in österreichischen Oberböden ist etwa doppelt so hoch wie in tschechischen Oberböden.
- Die elektrische Leitfähigkeit EC ist, wie bereits erwähnt, in österreichischen Böden, doppelt so hoch wie in tschechischen Böden.
- Die Spannweiten der Messwerte einiger Parameter unterscheiden sich nicht wesentlich (ρ , basale Bodenatmung und mineralisierbarer Stickstoff).

Eine Bewertung anhand absoluter Werte reicht jedoch nicht aus, um konkrete qualifizierte Empfehlungen zu formulieren. Für solche Empfehlungen sollten die gemessenen Werte mit dem lokal am besten angepassten Boden-Boden-Pflanzen-System korreliert werden.



Abb.14 Grafischer Vergleich ausgewählter tschechischer und österreichischer Standorte anhand des Bodenqualitätsindex "SQI-area" (CZ, insgesamt 12; AT, insgesamt 6). Das Symbol T steht für Oberboden, S für Unterboden, C für konventionelle Bewirtschaftung, O für biologische Bewirtschaftung und N für Dauergrünland. Das obere Diagrammpaar stellt einen Vergleich des Bodenqualitätsparameter zwischen tschechischem (links) und österreichischem (rechts) Oberboden dar. Das untere Diagrammpaar zeigt analog den Zustand des Unterbodens.

Der Bodenqualitätsindex "SQI-area" erlaubt es, die erzielten Ergebnisse wie folgt zu interpretieren:

- Die Bodenbewirtschaftung, ob konventionell oder biologisch, in der Tschechischen Republik erhöht die Verdichtung der Ackerböden erheblich und verringert den Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff im Boden im Vergleich zur Bodenbewirtschaftung in Österreich.
- Bei biologisch bewirtschafteten Böden in der Tschechischen Republik verbessern sich die biologischen Eigenschaften des Bodens, die basale Bodenatmung und der mineralisierbare Stickstoff, während andere Eigenschaften unverändert bleiben.

- Die Stabilität der Bodenaggregate ist in österreichischen Oberböden im Vergleich zu tschechischen Böden im Allgemeinen geringer, verbessert sich aber in ökologisch bewirtschafteten Böden.
- Der Bodenqualitätsindex SQI-area ähnelt in den Unterböden eher den ungestörten Böden.
- Sowohl bei den tschechischen als auch bei den österreichischen Böden spiegelt sich die Art der Bewirtschaftung des Oberbodens in der Ausprägung der gemessenen Merkmale im Unterboden wider. Bei den tschechischen Böden folgt er jedoch eher dem Zustand des Oberbodens.
- Interessant ist die Situation für den Parameter der elektrischen Leitfähigkeit EC im Ober- und Unterboden in österreichischen Böden, dem in Zukunft mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Tabelle 3 Vergleich ausgewählter tschechischer und österreichischer Standorte anhand des Bodenqualitätsindex "SQI-Fläche" (berechnet nach Gleichung (4)).

Bewirtschaftungsverfahren	CZ Boden		AT Boden	
	Oberboden	Unterboden	Oberboden	Unterboden
Konventionell	59 %	71 %	69 %	86 %
Biologisch	71 %	74 %	78 %	83 %

Die Werte der SQI-area in Tabelle 3 verdeutlichen die Bedeutung der Unterschiede zwischen den verglichenen Standorten auf tschechischem und österreichischem Gebiet mit konkreten Zahlen. Der größte Unterschied besteht zwischen der Bodenqualität in der konventionellen Bewirtschaftung im Unterboden, der 15 % (10 % im Oberboden) zu Ungunsten der Böden in der Tschechischen Republik beträgt. Der Vergleich der Merkmale liefert auch eine relativ einfache Anleitung, wie man diese Situation ändern kann. Mit dem Hintergrundwissen, dass die Bewertung mit einem nächstgelegenen Dauergrünland verglichen wurde, liegt ein Verbesserungspotenzial der Böden in der Tschechischen Republik auf der Hand. Es kann empfohlen werden, ein größeres Augenmerk auf die Verbesserung der Flüsse und Speicher der organischen Substanz im Boden zu legen. Dieser Bereich der Bodenpflege, wurde in der Tschechischen Republik lange Zeit unterschätzt. Ein verbessertes Management der Dynamik der organischen Substanz im Boden wird sich positiv auf die Erhöhung der Aggregatstabilität und die Verringerung der Schüttdichte des Bodens sowie auf die biologischen Merkmale auswirken.

14. Bewertung der Bodenreaktion (pH-Wert)

Bei der AGRISAN-Methode konnte die Acidität des Bodens aufgrund des nicht linearen Anstiegs der Werte mit zunehmendem pH-Wert nicht standardisiert und somit nicht in die grafische Auswertung einbezogen werden. Daher betrachten wir die Bodenreaktion separat.

Der durchschnittliche pH-Wert für die bewerteten Böden in der Tschechischen Republik reicht von 5,82 (CZ-T-T) bis 6,28 (CZ-O-S), in Österreich von 8,08 (AT-N-T) bis 8,24 (AT-C-S). Für das Pflanzenwachstum und für die lebende Komponente der Böden befinden wir uns an den

entgegengesetzten Enden des für den Pflanzenanbau empfohlenen Bereichs, und es ist fraglich, inwieweit sich die viel höhere Wasserstoffionenaktivität in den Böden der tschechischen Standorte in den bewerteten Merkmalen widerspiegelt. In der Tschechischen Republik ist es üblich, die Bedeutung des Säuregehalts der Böden zu überschätzen, und ohne die Zusammenhänge mit der Mineraldüngung und der Atmosphärenchemie zu verstehen, wird die Bodenreaktion der Oberböden durch regelmäßige Kalkung verändert. So wurde an vielen Standorten beobachtet, dass der Unterschied zwischen Böden von Dauergrünland und Böden, die konventionell oder ökologisch bewirtschaftet werden, größer als eins ist. Es ist daher mit einer Schwankung der Bodenreaktion zu rechnen. Auch aus diesen Gründen empfehlen die Projektpartner, den pH-Wert auf einzelnen Parzellen getrennt von anderen Parametern und unter Berücksichtigung früherer pH-Wert-Anpassungen zu bewerten.

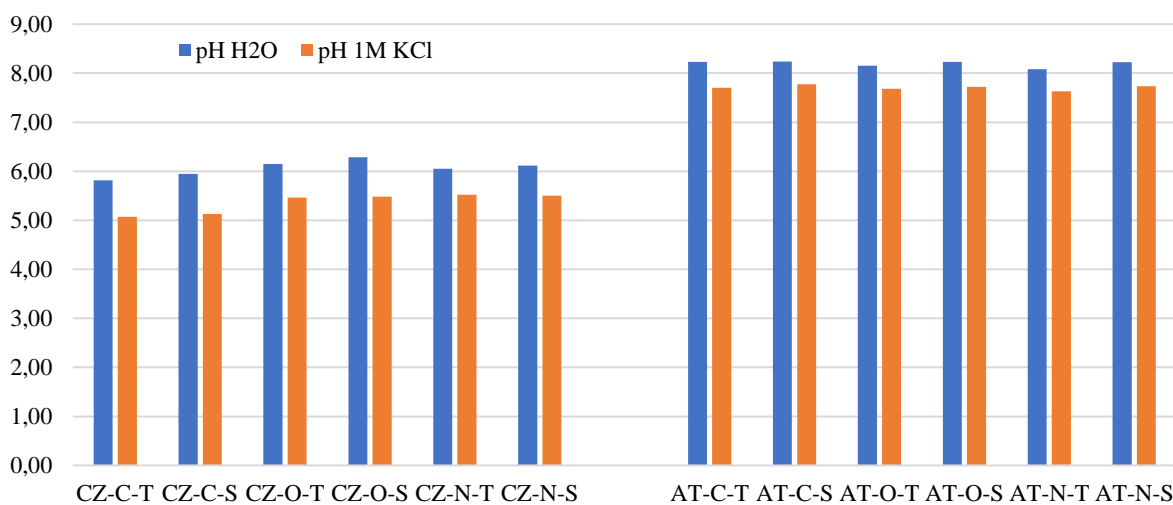
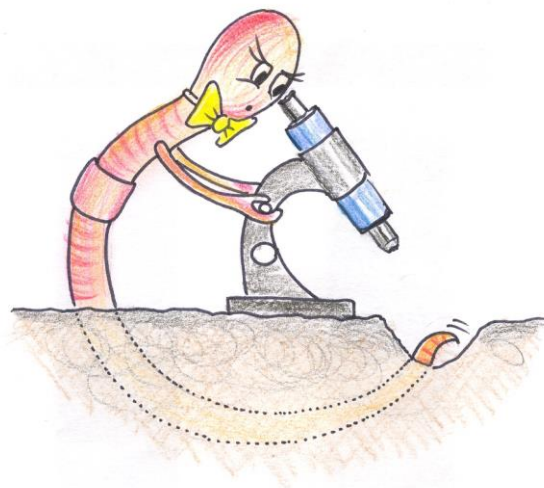


Abb. 15 Die durchschnittliche aktive (pH (H₂O)) und austauschbare (pH (KCl)) Acidität des Bodens verdeutlicht den grundlegenden Unterschied zwischen den Böden in der Tschechischen Republik und den Böden in Österreich.

15. Schlussfolgerung

Der Boden ist ein hierarchisches, sich selbst erzeugendes und selbst organisierendes System, das die Existenz von Pflanzen und Tieren unterstützt, Lebensraum für Mikroorganismen bietet, die Speicherung von Kohlenstoff (Sequestrierung) ermöglicht und Wasser-, Stoff- und Energieflüsse realisiert. Der Boden lässt sich nicht auf ein einfaches System mit einer vorhersehbaren Entwicklung reduzieren. Es ist jedoch möglich, von benachbarten Böden zu lernen, die bessere Eigenschaften aufweisen. Die AGRISAN-Methode wurde in diesem Sinne entwickelt. Sie soll rechtzeitig Informationen über nachteilige Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften in Form einer ausreichend klaren Botschaft und daraus resultierender Empfehlungen für die Praxis liefern. Ziel ist es, den ausgewählten Boden mit einem Boden zu vergleichen, der vorzugsweise vom gleichen Standort (oder einem nahen gelegenen Standort mit der gleichen historischen Entwicklung) stammt und am besten an die örtlichen Bedingungen angepasst ist.



AGRISAN-Methodik

Herausgegeben von der Mendel-Universität Brünn, Zemědělská 1, 613 00 Brünn

Autoren: Jaroslav Záhora, Jana Vavříková (Mendel Universität Brünn), Eva Erhart, Marion Bonell (Bio Forschung Austria), Květuše Hejátková (ZERA), Alexander Eder, Andrea Schmid (Bundesamt für Wasserwirtschaft)

Fotos und Bilder: Jaroslav Záhora, Jana Asszonyi

Grafikdesign und Satz: Mendel-Universität Brünn

Gedruckt von der Mendel-Universität Brünn, Zemědělská 1, 613 00 Brünn

in einer Auflage von 200 Stück

Brünn, 2022

1. Auflage

Die Publikation wurde keiner stilistischen Korrektur unterzogen.

© Mendel-Universität Brünn, Brünn 2022



AGRISAN-Methodik

Herausgegeben von der Mendel-Universität Brunn,
Zemědělská 1, 613 00 Brunn

© Mendel-Universität Brunn, Brunn 2022