



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

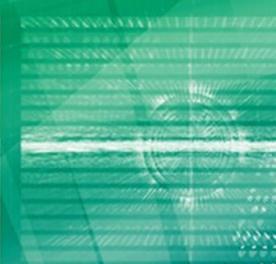
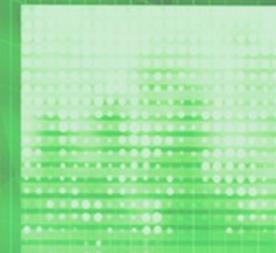
Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF  
Agroscope



# Wie lässt sich die Bodenqualität mit Indikatoren standortspezifisch beurteilen?

## Das Bodencockpit Projekt

Franziska Häfner,  
Gina Garland, Florian Walder



# Was ist Bodenqualität? Was ist ein guter Boden?

*“Die Fähigkeit eines Bodens, innerhalb der Grenzen eines natürlichen oder bewirtschafteten Ökosystems zu funktionieren, ...“*  
*(Doran and Parkin, 1994, Cornell University)*



Bodenstrukturqualität



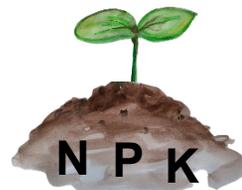
Wasserspeicherkapazität



C-Speicherkapazität



Biologische Aktivität



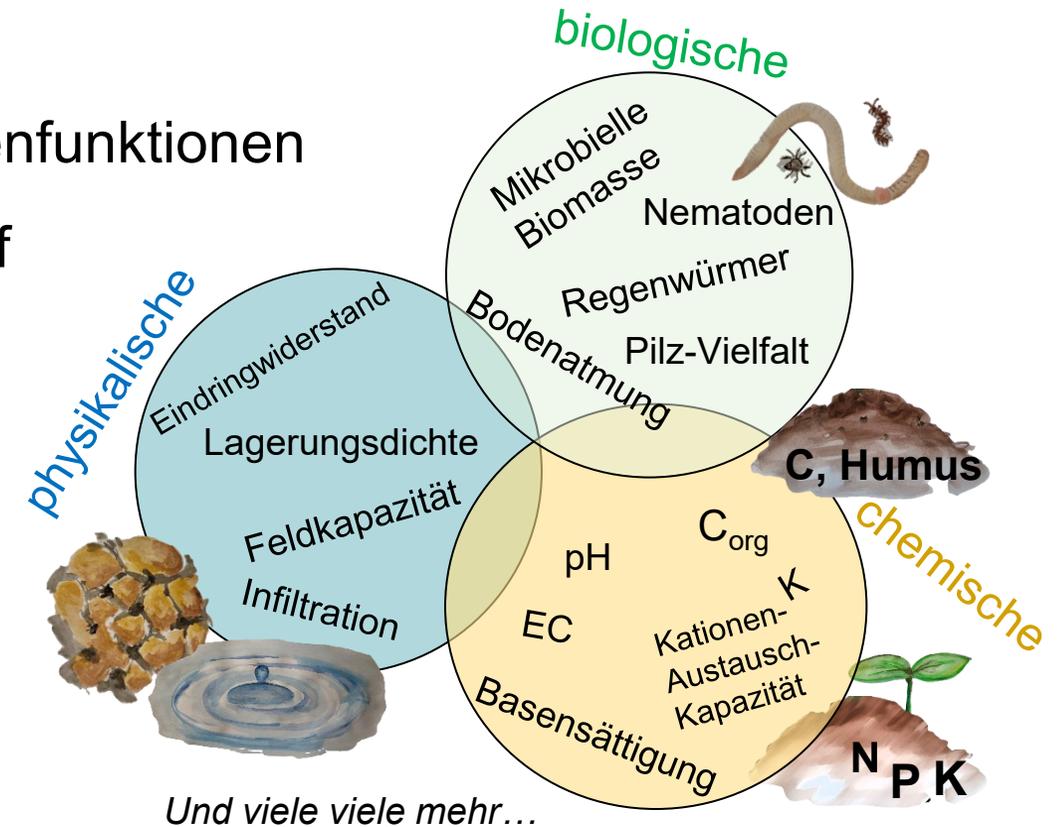
Nährstoffregulierung

# Wie kann man die Bodenqualität erfassen?

## Was sind gute Indikatoren?

Kriterien (Thiele-Bruhn et al. 2020):

- Aussagekraft und Erklärungswert für Bodenfunktionen
- Sensitivität → reagiert charakteristisch auf Veränderungen, z. B. Bewirtschaftung
- Erfahrung z.B. etablierte Methode
- Kosteneffizienz und Praktikabilität
- Zielgruppe



# 🇨🇭 Wie kann man Indikatoren bewerten?

- Pedo-klimatischen Bedingungen → Standortspezifischer Kontext  
→ Bodentextur, Bodentyp, Wasserhaushaltsklasse, Wasserbilanz, Hangneigung, Steingehalt
- Referenzwerte, Grenzwerte und Zielwerte als Beurteilungsbasis
- Was für Referenzwerte gibt es?



## Standortspezifische Beurteilung

### Pedo-klimatische Bedingungen

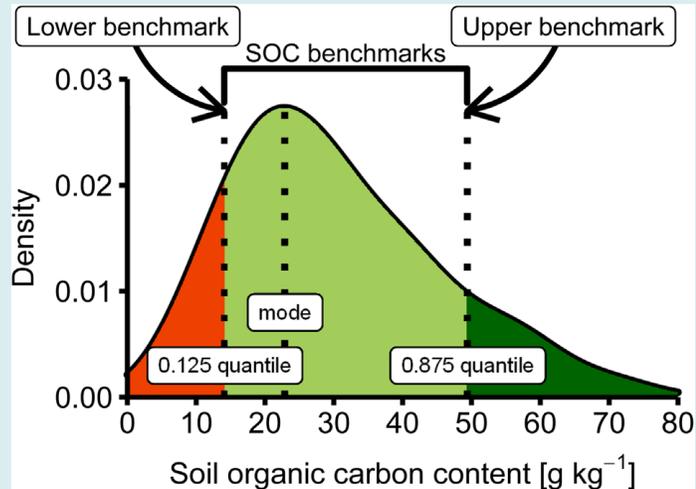
= inhärente Eigenschaften, Grenzen z.B.  
Textur, Wasserhaushalt, Bodentyp,  
Gründigkeit,..

### Bodenzustand

= messbare Bodeneigenschaften  
(Humusgehalt, Bodendichte, ..)

# Wie lassen sich Indikatoren bewerten? Die Suche nach Referenzwerten

... aus Datenverteilungen



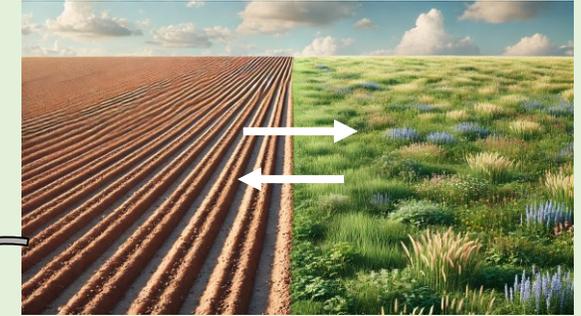
z.B. C<sub>org</sub> (Drexler et al. 2022)

... aus Experimenten/  
Synthesen/ Experten-basiert



z.B. pH-Wert, Lagerungsdichte

“Natürliche” Referenzfläche  
als Vergleich selten vorhanden und  
wenig praktikabel



Referenzgleichungen und  
Pedotransferfunktionen  
eine standortspezifische  
Vergleichsgröße,  
z. B. Basalatmung

Häfner et al. (in Bearbeitung)



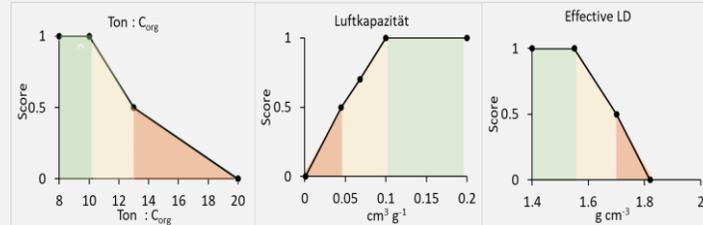
# Konzept «Standortspezifisches Potenzial»

nach Vogel et al. (2019)

**Indikatoren**




## Beurteilung der Indikatoren



(i) **Mit Grenz- und Zielwerten:**  
1=Potenzial/ Optimum\$

(ii) **Vergleich von Messwert zu Referenzwerten aus Pedo-Transferfunktion und Referenzgleichungen**

(i) **Aggregation zur “Bodenfunktion”**

$$\bar{X}_{\text{Harmon. Mittelwert}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{Indikator X}} + \frac{1}{\text{Indikator Y}}}$$

ii) **Indikator als direkter Proxy einer Bodenfunktion**

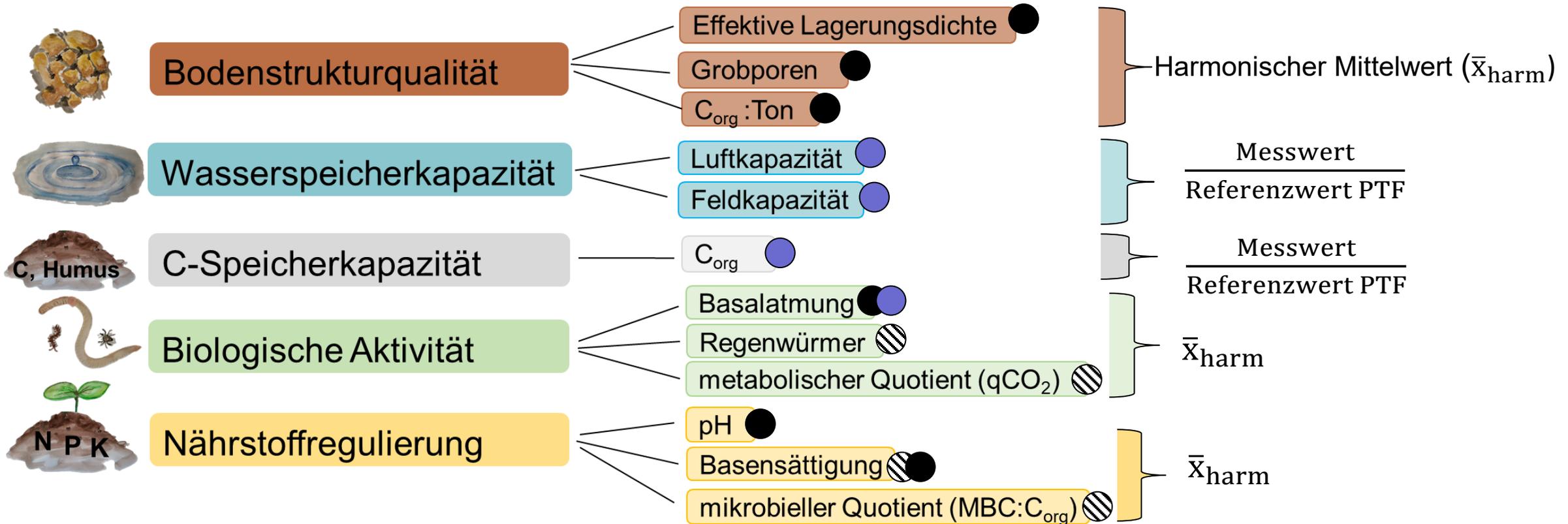
$$= \frac{\text{Messwert}}{\text{Vergleichswert (Referenz)}}$$

# Was beurteilen?

● Grenzwert vorhanden

● Referenzgleichung/  
Pedo-Transferfunktion

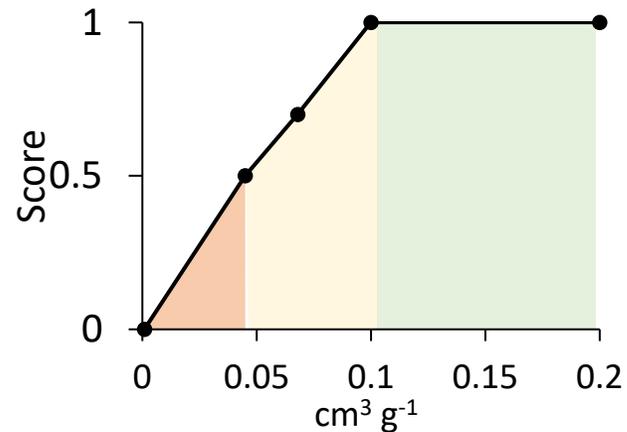
▨ Grenzwert tlw. vorhanden/  
adaptiert



## Grobporen/ Luftkapazität

(Johannes et al 2019)

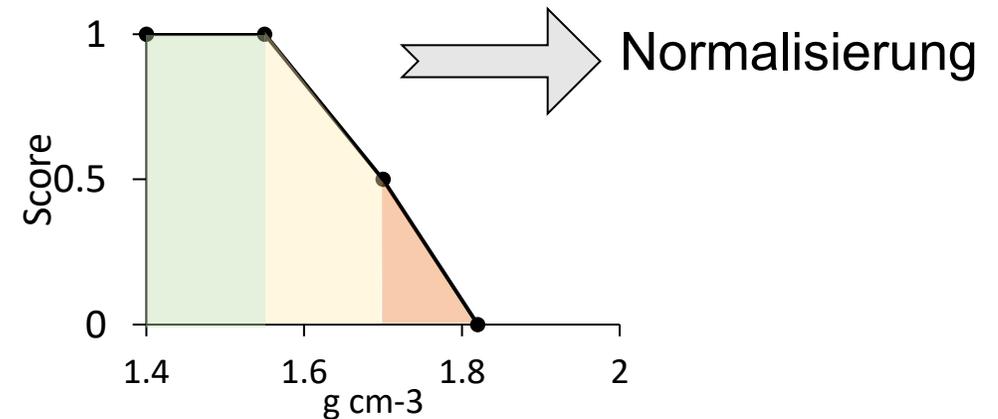
| Referenzwert                          | Interpretation  |
|---------------------------------------|---|
| 0.068 cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> | Ursachenfindung für schlechte Bodenstruktur empfohlen |
| 0.045 cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> | Kurzfristige Massnahmen für Verbesserung notwendig    |



## Effektive Lagerungsdichte $LD_{\text{eff}} = LD + 0.009 \times \text{Ton (\%)}$

(Kaufmann et al. 2010)

| Referenzwert                    | Interpretation                             |
|---------------------------------|--|
| < 1.4 (1.55) g cm <sup>-3</sup> | Optimum                                    |
| 1.7 g cm <sup>-3</sup>          | Grenzwert zwischen Optimum und limitierend |
| 1.82 g cm <sup>-3</sup>         | Durchschnitt für limitierende Bedingungen  |



# Proof-of Concept: Langzeitversuche

**Beprobung**

Oberboden 0-20 cm 



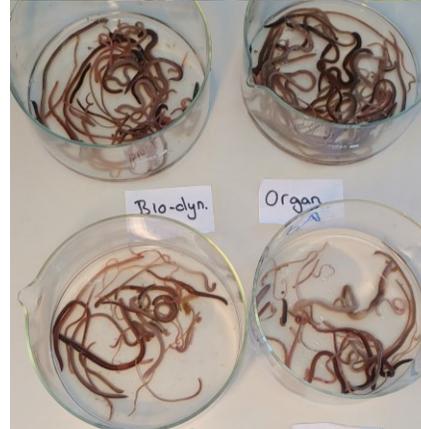
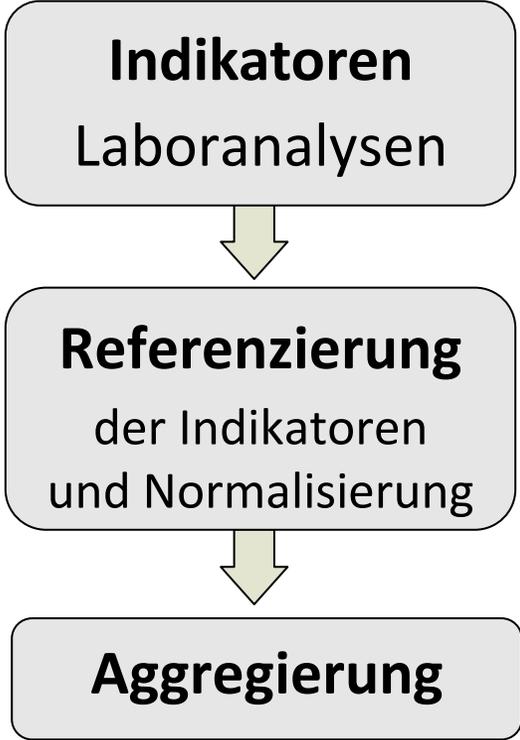
visNIR

**4 Versuche (CH)**  
**12 Behandlungen**  
DOK, SSO, FAST, ZOFE

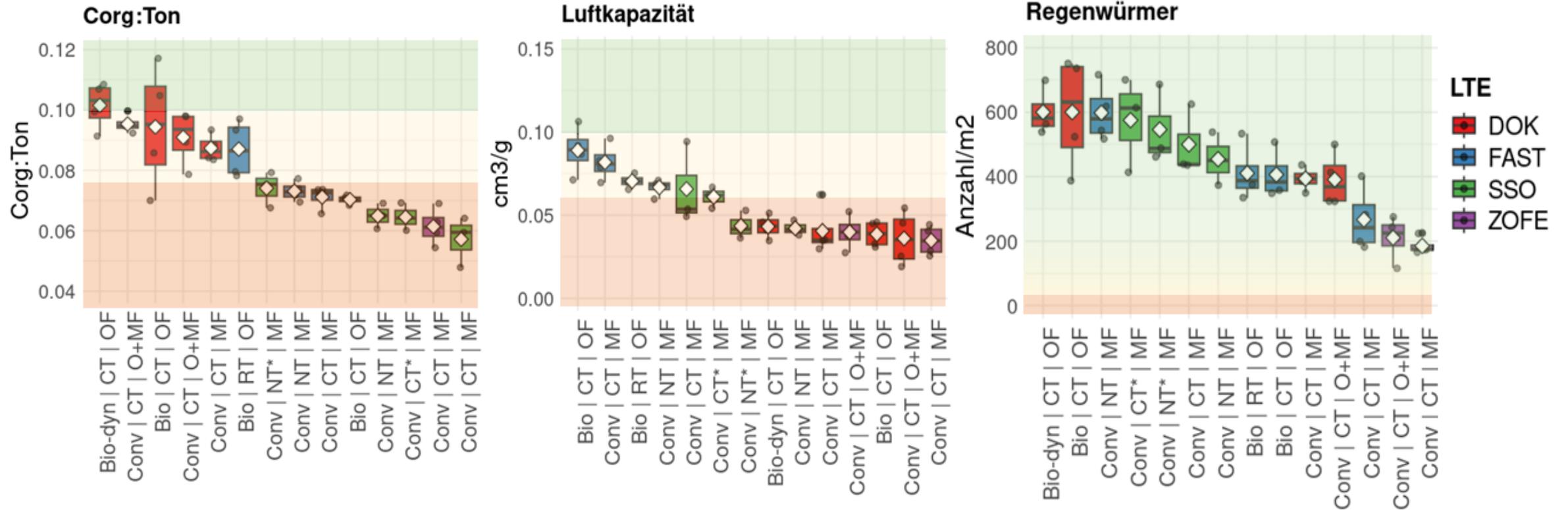
Böden: 12-27% Ton  
Cambisols & Luvisols

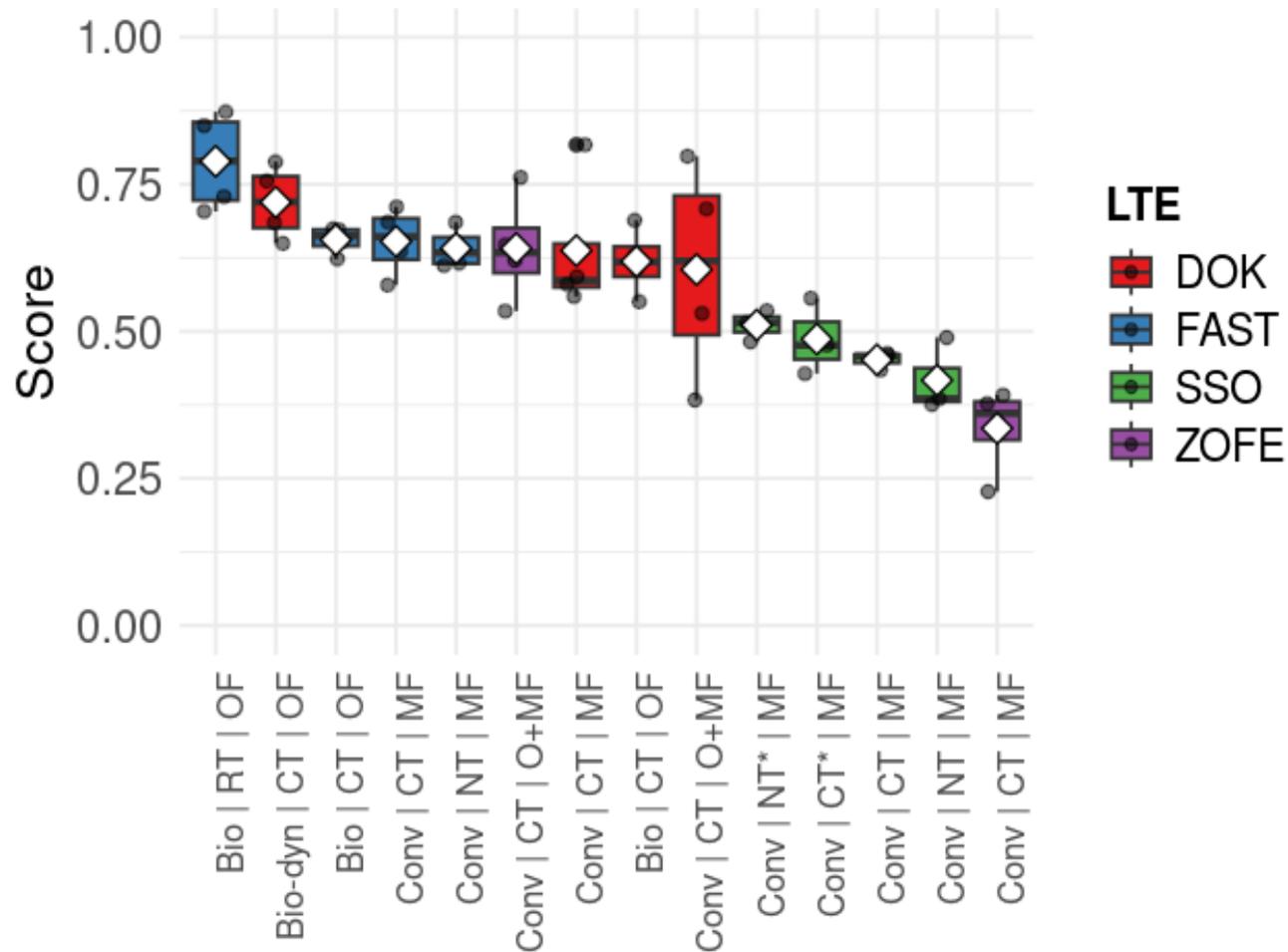
Vergleich von  
Bewirtschaftungen, z.B.

- Pflug vs. Direktsaat
- Organ. vs. min. Düngung
- konventionell vs. biologisch



# Beurteilung der Indikatoren





$$= \bar{x}_{\text{harm}} \text{scores}(LD_{\text{eff}}, LK, C_{\text{org}}:\text{Ton})$$

$LD_{\text{eff}}$  = effektive Lagerungsdichte

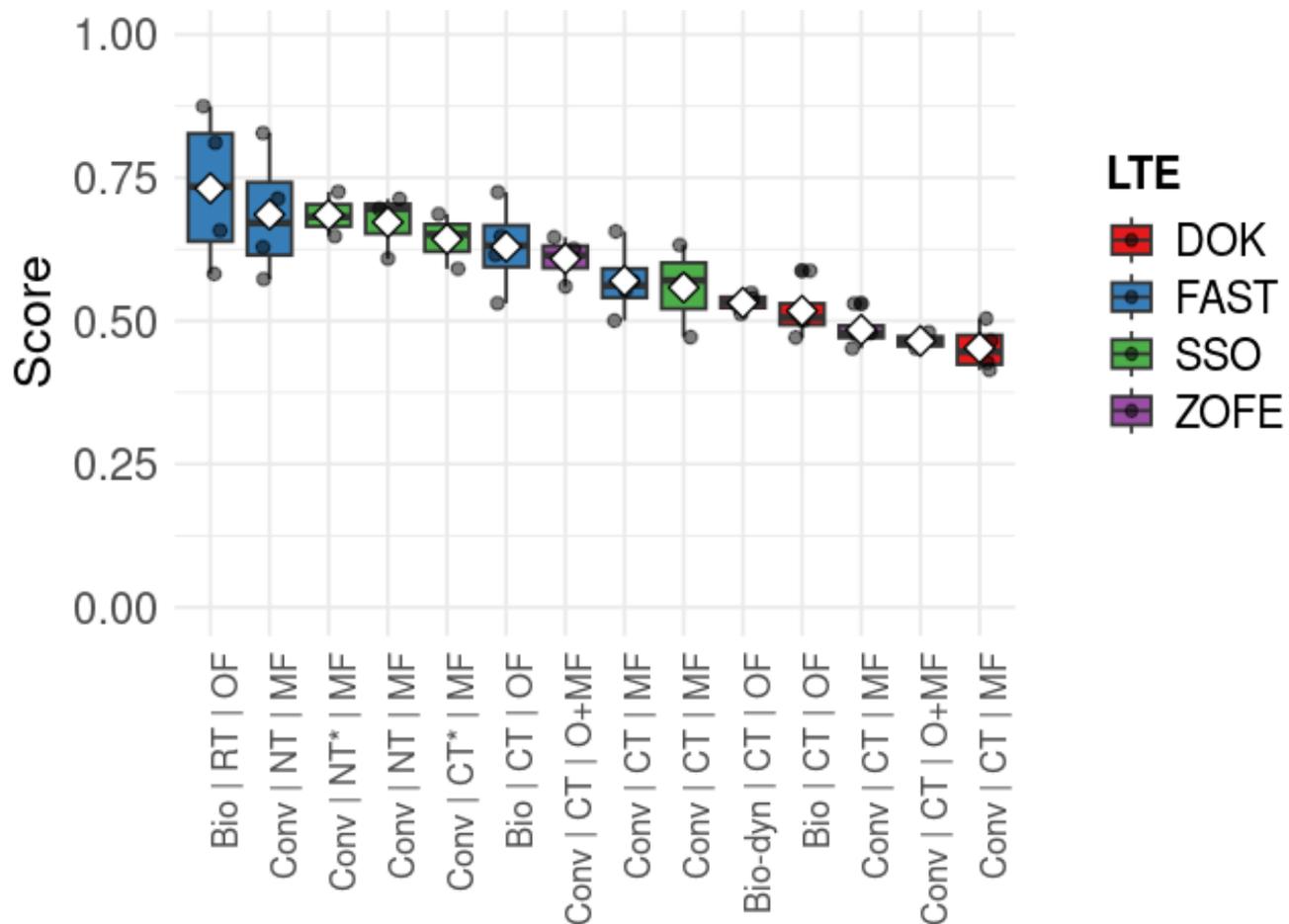
$LK$  = Luftkapazität

$\bar{x}_{\text{harm}}$  = harmonischer Mittelwert

## Score 0-1

1 = "Standortpotenzial"/  
keine Einschränkung

# Swiss Carbon Storage (nach Vogel et al. 2019)



$$C_{\text{Potenzial}} = (7.18 + 0.20 F) \times p_b d \times (1 - V_s)$$

*Six et al. (2002)*

$$C_{\text{Zustand}} = \sum_i C_{\text{org}_i} \times p_{b,i} d_i \times (1 - V_{s,i})$$

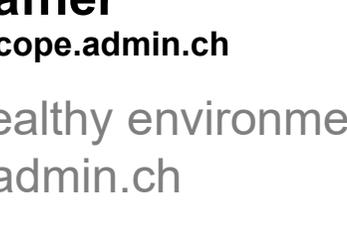
$$C - \text{Speicherung} = \frac{0.8 \times C_{\text{Zustand}}}{C_{\text{Potenzial}}}$$

$F$  = Feinerde (% Ton+ Schluff; < 50  $\mu\text{m}$ )  
 $p_b d$  = Lagerungsdichte x Oberboden-Mächtigkeit (dm)  
 $V_s$  = % Volumen der Steine >2mm

# Schlussfolgerungen

- Bewertungskonzept von 0 bis 1 zeigt Verbesserungspotenziale bei unterschiedlicher Bewirtschaftung auf
  - Wirkung «bodenschonender» Maßnahmen in den LTE erkennbar, aber nicht voll ausgeschöpft (Score < 1)
- Indikatoren mit Referenzwerten sind eine unverzichtbare Grundlage für die Bewertung des Bodens:
  - Referenzgleichungen / Pedotransferfunktionen weniger sensitiv als empirische «kritische» Grenzwerte
  - Verlässliche biologische Referenzwerte fehlen!
- Praktikabilität:
  - Hoher Aufwand für einige Indikatoren (Bodenproben, Analytik)
  - Methodische Vereinfachungen z.B. durch Proximal Sensing für praktische Anwendung notwendig





# Danke – Merci

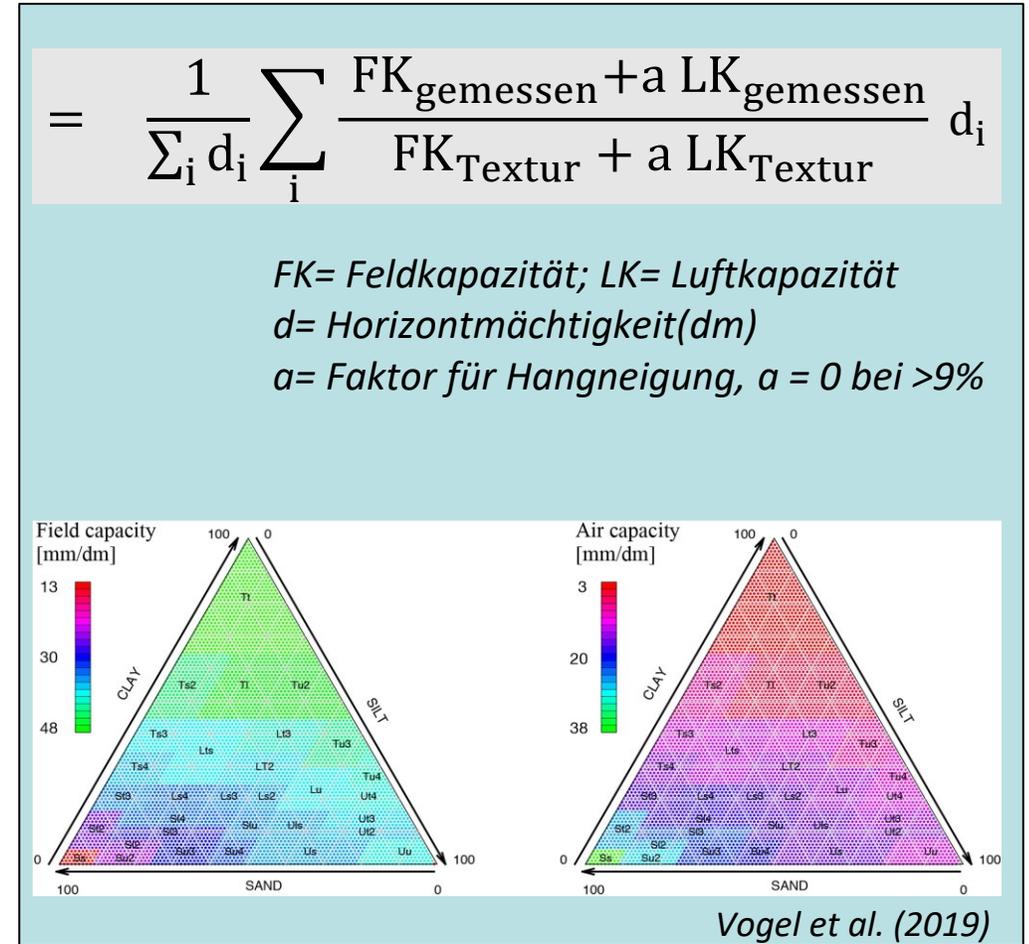
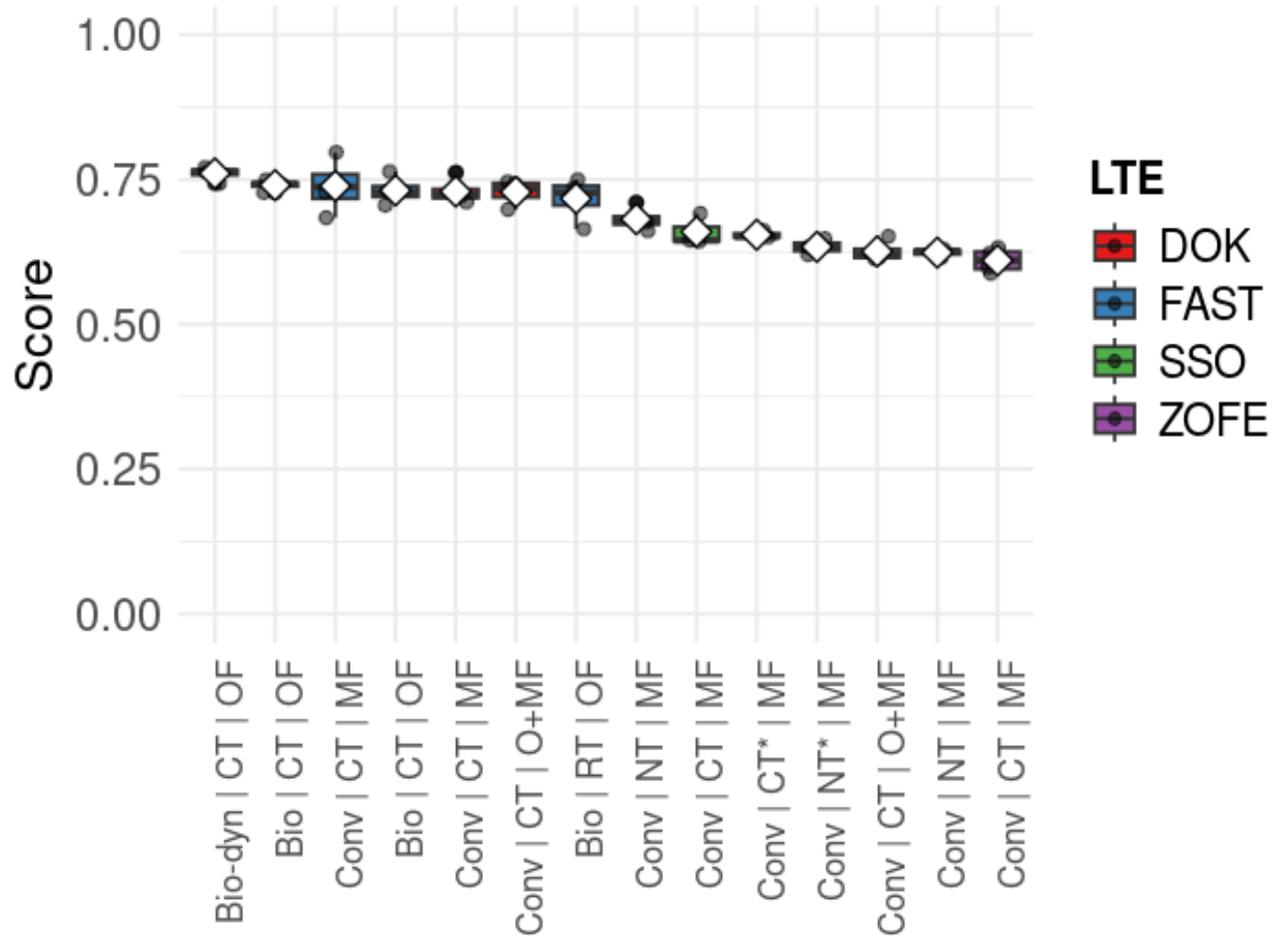
**Franziska Häfner**

[franziska.haefner@agroscope.admin.ch](mailto:franziska.haefner@agroscope.admin.ch)

**Agroscope** good food, healthy environment  
[www.agroscope.admin.ch](http://www.agroscope.admin.ch)

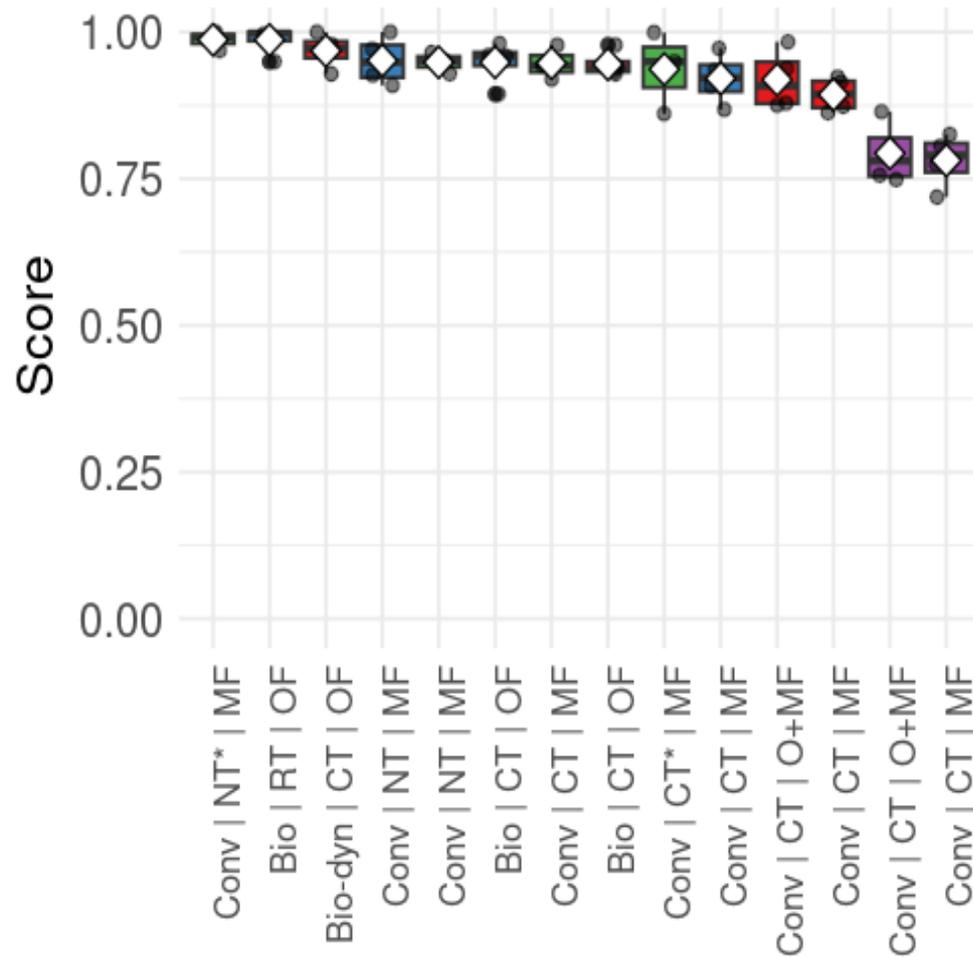


# Wasserspeicherkapazität (nach Vogel et al. 2019)





# Biologische Aktivität



$$= \bar{x}_{\text{harm}} \text{scores}(\text{Regenwürmer, Basalatmung, } q\text{CO}_2)$$

## LTE

- DOK
- FAST
- SSO
- ZOFE

$\bar{x}_{\text{harm}}$  = harmonischer Mittelwert  
 Regenwürmer: Anzahl und Biomasse  
 $q\text{CO}_2$  = metabolischer Quotient  
 Basalatmung : mikrobielle Biomasse-C