

# Bodenkartierung: Möglichkeiten, Grenzen und zukünftige Entwicklungen

Stefan J. Forstner ([stefan.forstner@bfw.gv.at](mailto:stefan.forstner@bfw.gv.at))

Abt. Landwirtschaftlicher Boden, Institut für Waldökologie und Boden  
Bundesforschungszentrum für Wald

Herbst-Bodenforum 2022

# Die Österreichische Bodenkartierung

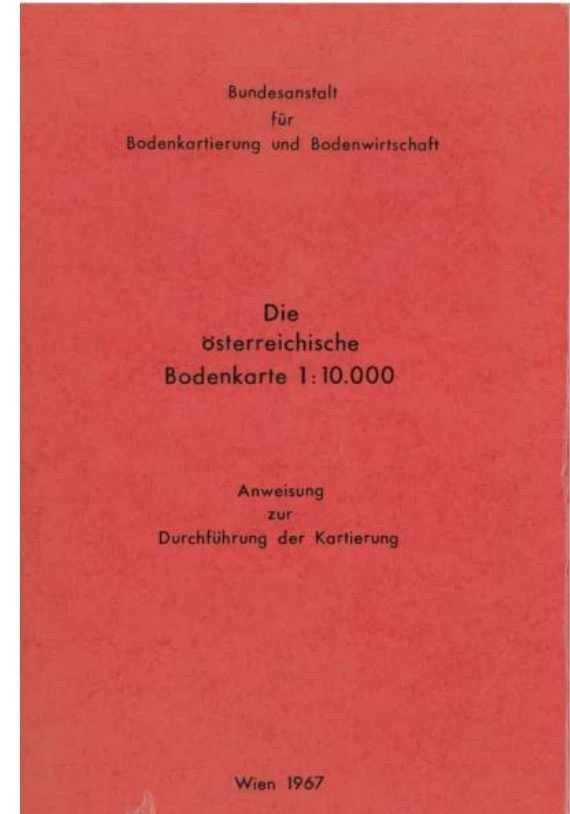
- Aufgabe und Methoden: Vom Feld zu Karte
- Grenzen: Räumlich, Zeitlich, Inhaltlich
- Zukunft: Nahe, Mittlere, Ferne

# Aufgabe der Bodenkartierung

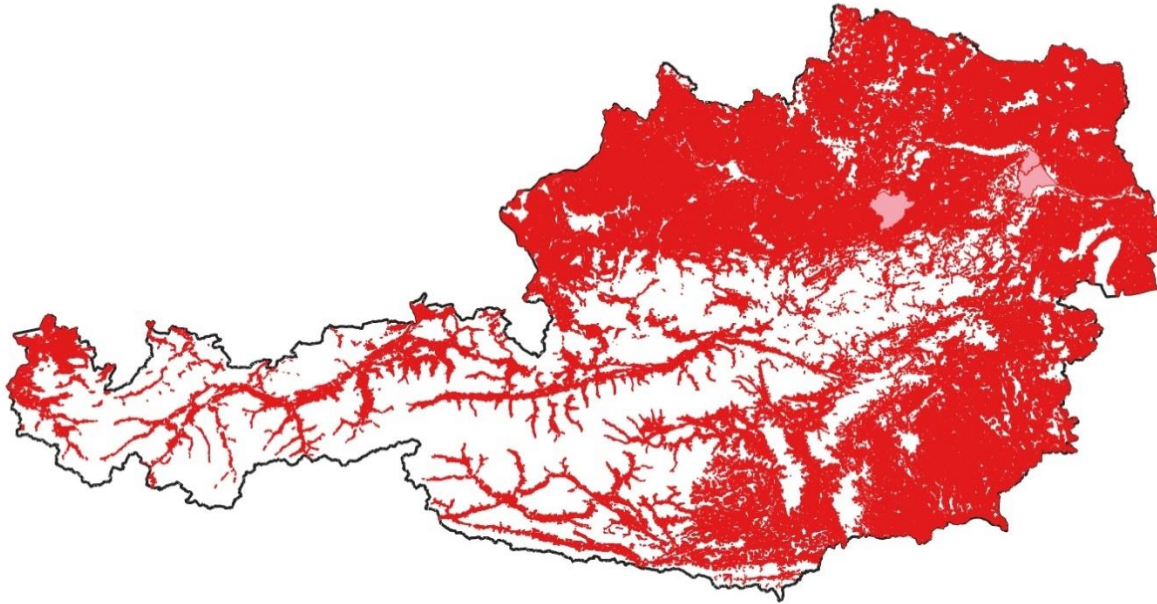
„[...] eine gründliche, umfassende Bestandsaufnahme [...], in der **alle wesentlichen Dauereigenschaften der Böden** festgehalten sind.“ S.2

„Die Kartierung der **Nutzfläche** eines Staates ist eine **umfangreiche, langwierige und kostspielige Maßnahme**. Es ist daher zu trachten, die Bodenkarten in einer Weise zu erstellen, daß sie nach Inhalt und Form für Jahrzehnte brauchbar sind.“ S. 2

„Die rote Bibel“



# Grenzen (I): Raum - Landnutzung



- Staatsgebiet  
Österreich: 83 879 km<sup>2</sup>  
(Summe Kartierungsbereiche)
- Kartierte **LW-Fläche**:  
28 630 km<sup>2</sup> (34%, Stand  
1958-2022)
- Kein Wald, keine  
unproduktiven Flächen

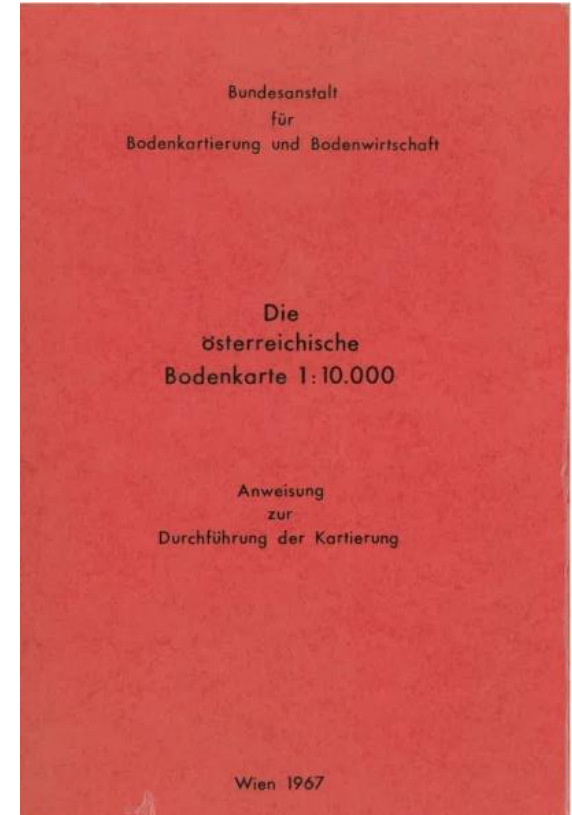
# Methoden der Bodenkartierung (I)

„Die Bohrungen, [werden] in einer Dichte von **zwei bis drei Bohrstichen je Hektar** vorgenommen [...]“  
S. 24

„In der Regel sollen je Hektar zwei Bohrungen vorgenommen werden; unter ungünstigen Bedingungen wird die Anzahl [...] ansteigen, **es werden aber auch dann vier Stiche je Hektar** genügen müssen.“ S. 43

**Von den Bohrpunkten hat der Kartierer auf die flächenmäßige Verbreitung eines Bodenvorkommens zu schließen und verschiedenartige Flächen gegeneinander abzugrenzen.“** S. 24

„Die rote Bibel“



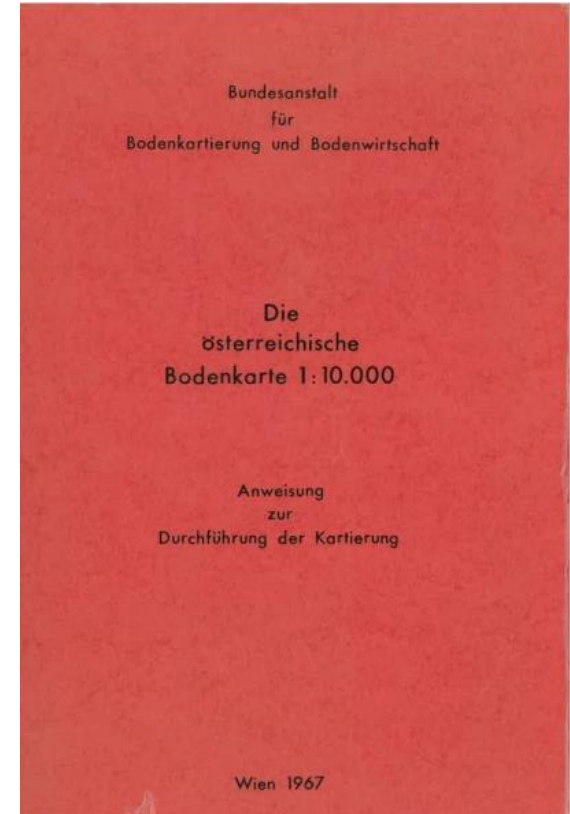


# Methoden der Bodenkartierung (II)

„Sobald der Kartierer aus der Bohrarbeit einen ausreichenden Überblick über die in einem Teilgebiet vorliegenden Bodenverhältnisse gewonnen hat, **wird an einer typischen Stelle jeder Bodeneinheit eine Profilgrube angelegt.**“  
S.24

„Auf Grund der Bohrarbeit und der Profilgrubenuntersuchungen erfolgt auf den Feldkarten **die Abgrenzung der Bodeneinheiten, wobei sich der Kartierer um eine flüssige Linienführung zu bemühen hat.**“ S.25f

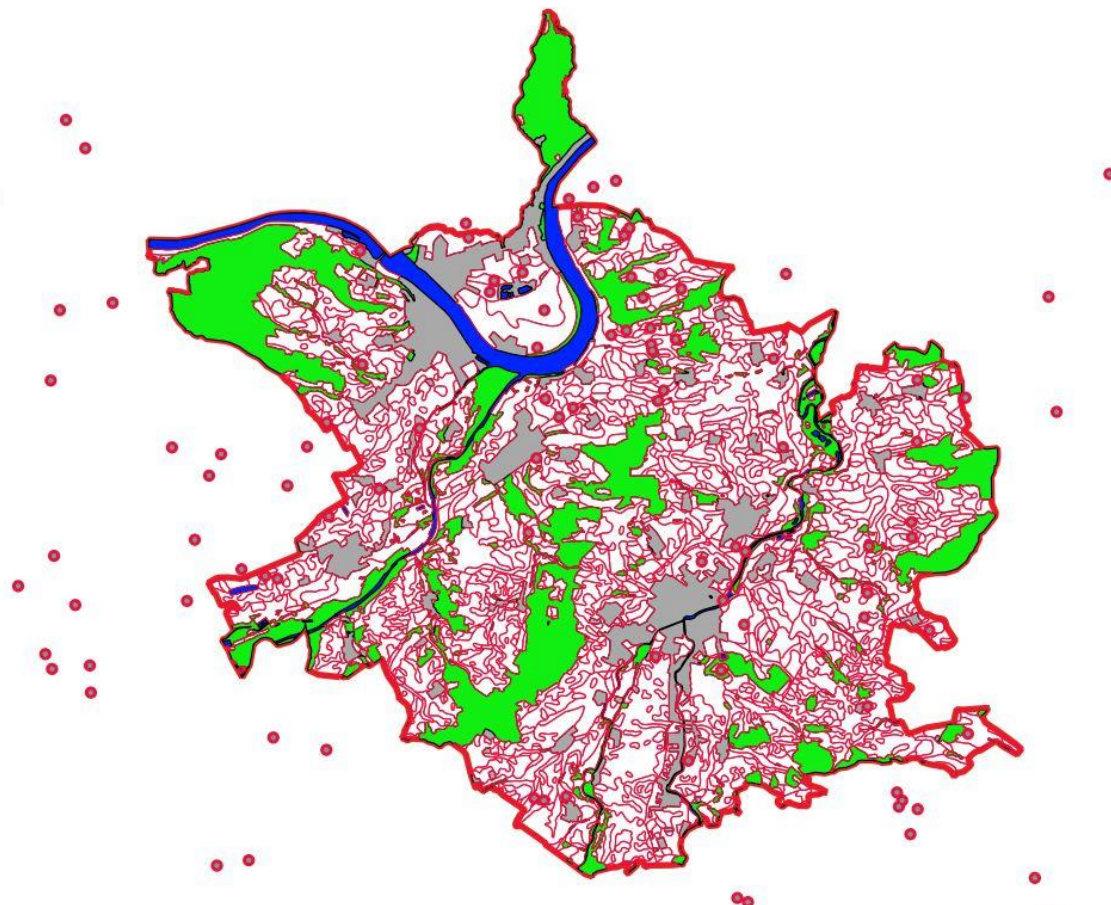
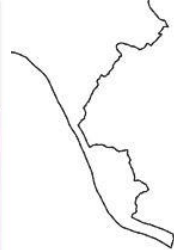
„Die rote Bibel“



# Grenzen (II): Raum – Genauigkeit und Repräsentativität

- Abgrenzung der Bodenformen im Feld ( $\Sigma$  ~5-10 Mio., trotzdem „Zufallsstich“)
- Einzeichnen auf Feldkarten 1:10.000 → Lagegenauigkeit?
- Umzeichnen auf Feldreinkarten 1:10.000 → Lagegenauigkeit?
- Verkleinern/Generalisieren auf 1:25.000 → Lagegenauigkeit?
- Digitalisierung (Lagegenauigkeit: techn. Vorgabe  $\pm 30\text{m}$  für Flächen)  
→ Lagegenauigkeit tatsächlich  $\pm 50\text{m}$  für Flächen,  $\pm 20\text{m}$  für Referenzprofile
- Repräsentativität der Referenzprofile
- ...und dennoch:

**Eine einzigartige Datengrundlage & Jahrhundert-Leistung**



## Landwirtschaftliche Bodenkarte

Wieselburg, Ybbs/Donau, Persenbeug-Gottsdorf, Neumark/Ybbs, Bergland, Petzenkirchen

# eBOD

## Wieselburg, Ybbs/Donau, Neumark/Ybbs, Bergland, Petzenkirchen

# Grenzen (III): Raum - Bodenformkomplexe

**Kartensteuerung**

Österreichische Bodenkarte

**Bodentyp und Ausgangsmaterial**

☐ Bodentypengruppe

☒ **Bodentypen**  
Grundlage bildet das Heft 13 der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (Heft 13 1969, 95 Seiten, FINK, J.: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs)

☐ Ausgangsmaterial

☐ Sonstige Flächen

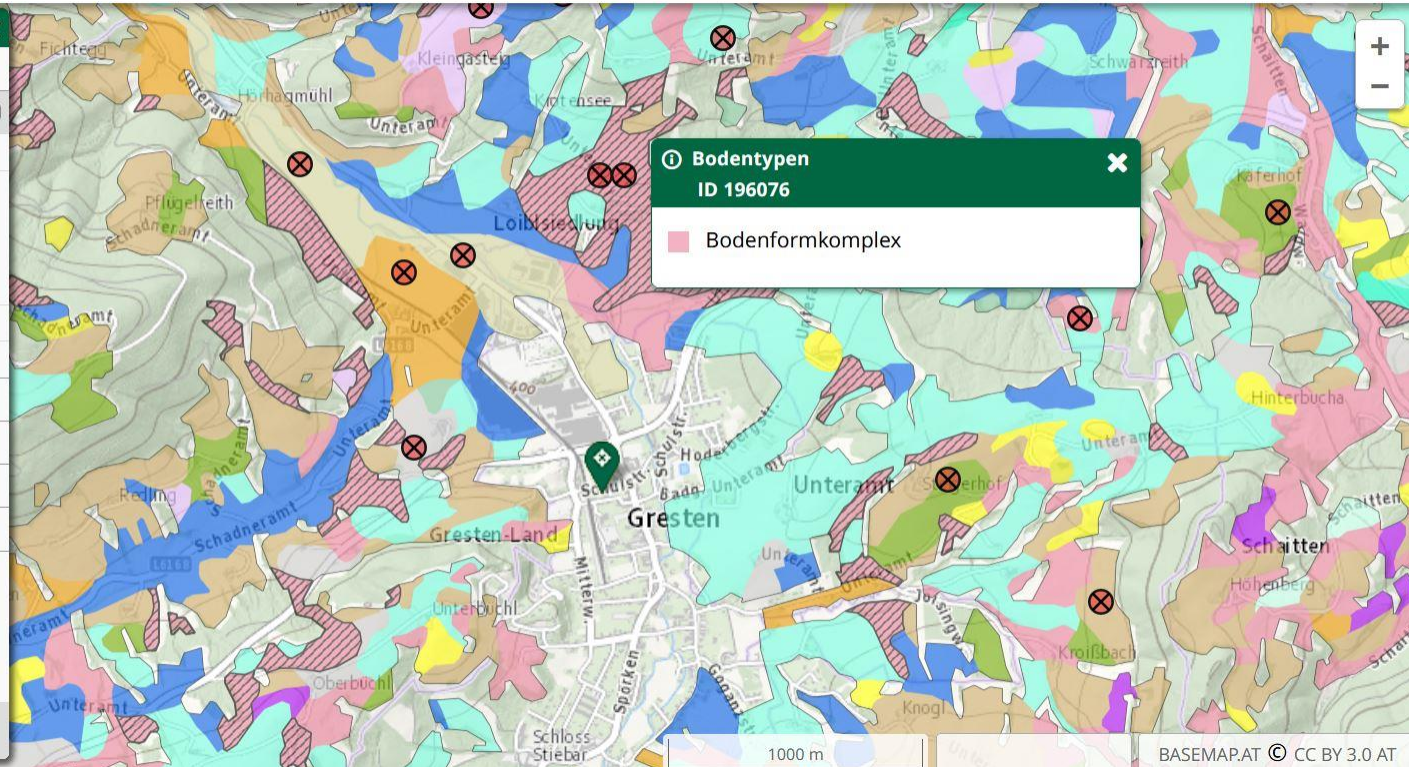
**Bodeneigenschaften**

**Bodenkennwerte (oberster Horizont)**

**Bodenwertigkeiten**

**Karten-Applikationen**

Automatisch



- Boden als Kontinuum vs. Maßstab/Auflösung

# Grenzen (III): Zeit – Aktualität



- Kartierte **LW-Fläche**: 28 630 km<sup>2</sup>  
(Stand 1958-2022)
- **LW-Nutzfläche 2020**: 26 006 km<sup>2</sup>  
(Statistik Austria)
- Differenz: ~262 000 ha →  
Boden“verbrauch“, Wald-  
Expansion
- Beispiel Moore und Anmoore –  
noch aktuell?

# Grenzen (IV): Inhalt – Analytik, Systematik

- Analytik
  - Wesentliche Dauereigenschaften: Textur, Humus (Nassoxidation!), Karbonat, pH
  - Keine Mikro- und Makronährstoffe (gesamt)
  - „[...] eine Verhinderung jeder Personalvermehrung [gegen Mitte der 1960er Jahre] hatte zur Folge, daß ein Teil des Analysenprogramms [...] nicht realisiert werden konnte.“ BA f. Bodenkunde, 1983
  - Keine KAK, keine löslichen/pflanzenverfügbaren Nährstoffe, keine Physik, keine Biologie, keine Humus-Fractionen, keine Prozessraten, keine Mineralogie, keine IR-Spektren, ...
- Klassifikations-System
  - (Noch) keine ÖBS, WRB

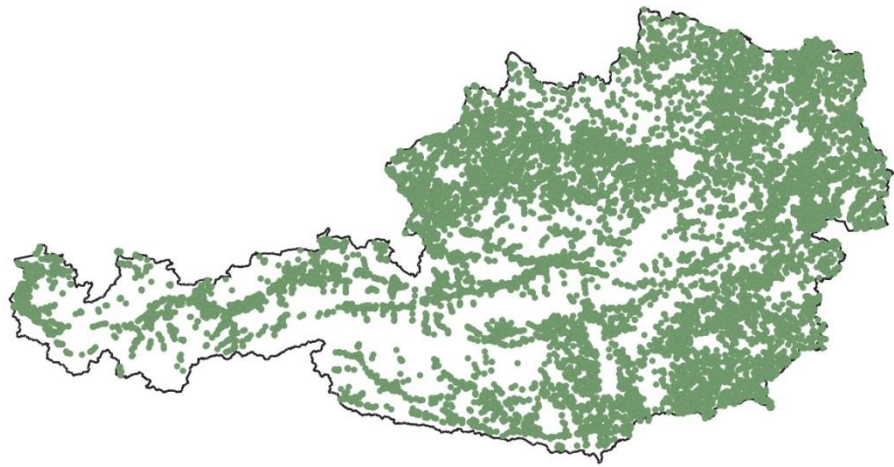
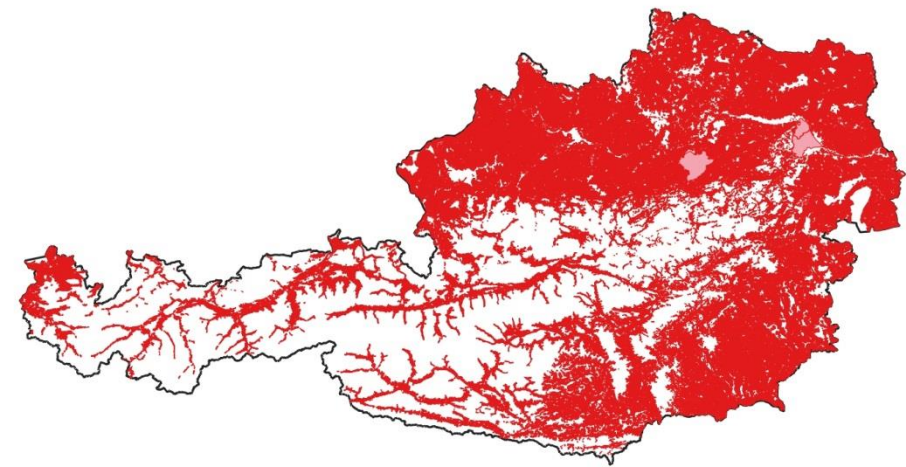
## 🕒 Bodentypen

Grundlage bildet das Heft 13 der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (Heft 13 1969, 95 Seiten, FINK, J.: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs)

# Mögliche Zukunft der Bodenkartierung

- Nahe: Fertigstellung der offenen Kartierungsbereiche, Digitalisierung, Datenbereinigung und Parametrisierung, Datenstandardisierung und -bereitstellung
- Mittlere: **Digital Soil Mapping** (quasi-kontinuierliche Eigenschaftskarten), Punktuelle Wiederholungsaufnahmen (Evaluierung)
- Fern: Neuaufnahmen auch mit modernen Methoden (Gamma-Spektroskopie, Boden-Radar, IR-Spektroskopie,..); Erweiterte Analytik

# Die eBOD enthält Flächen- und Punktdaten...



## ... - ein Grundlage für *Digital Soil Mapping (DSM)*

Digital wie bitte?

[...] the development of **a numerical or statistical model** of the **relationship among environmental variables and soil properties**, which is then **applied to a geographic data base to create a predictive map.**"

Scull et al. 2003, zit. n. Piikki et al. 2021

$$S = f(c, l, o, r, p, t)$$

Zakharov 1927, zit. n. Florinsky 2012

→ **Mentales Modell der Bodenentwicklung** wird im Computer nachgebildet

# Digital Soil Mapping: Das Prinzip

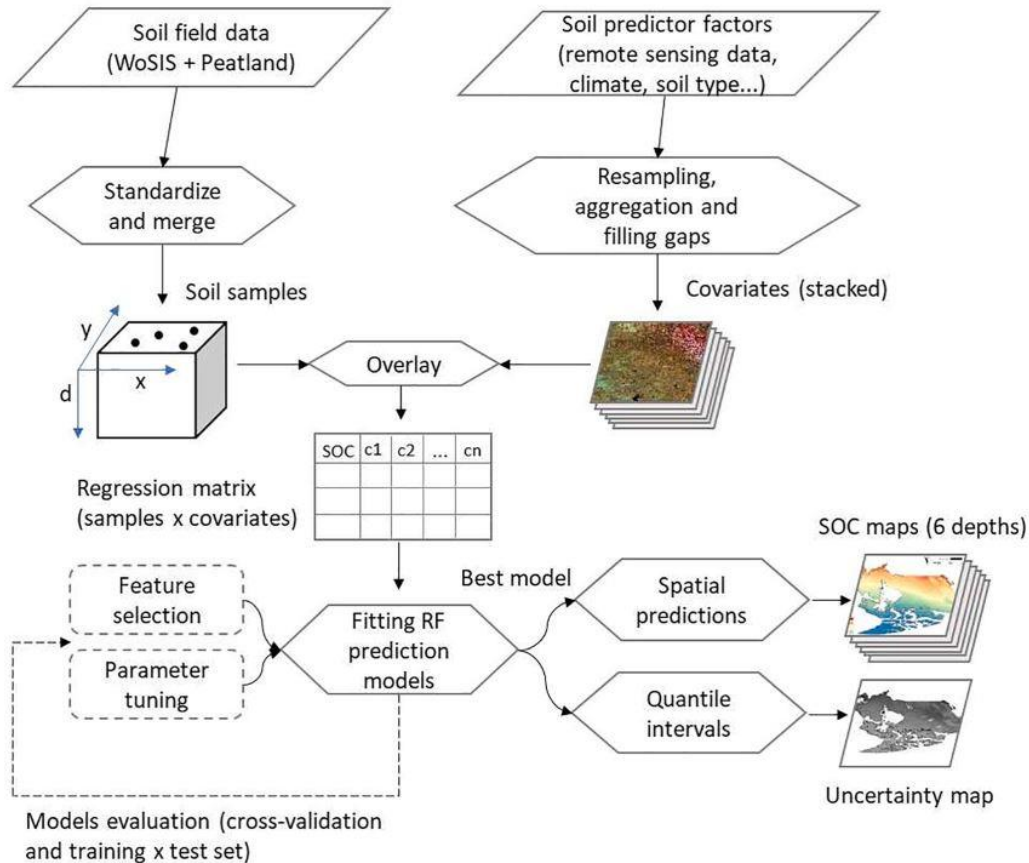


Fig. 5. Methodological flowchart for modeling and mapping SOC concentration in Canada.

# DSM: Einige mögliche Ko-Variablen

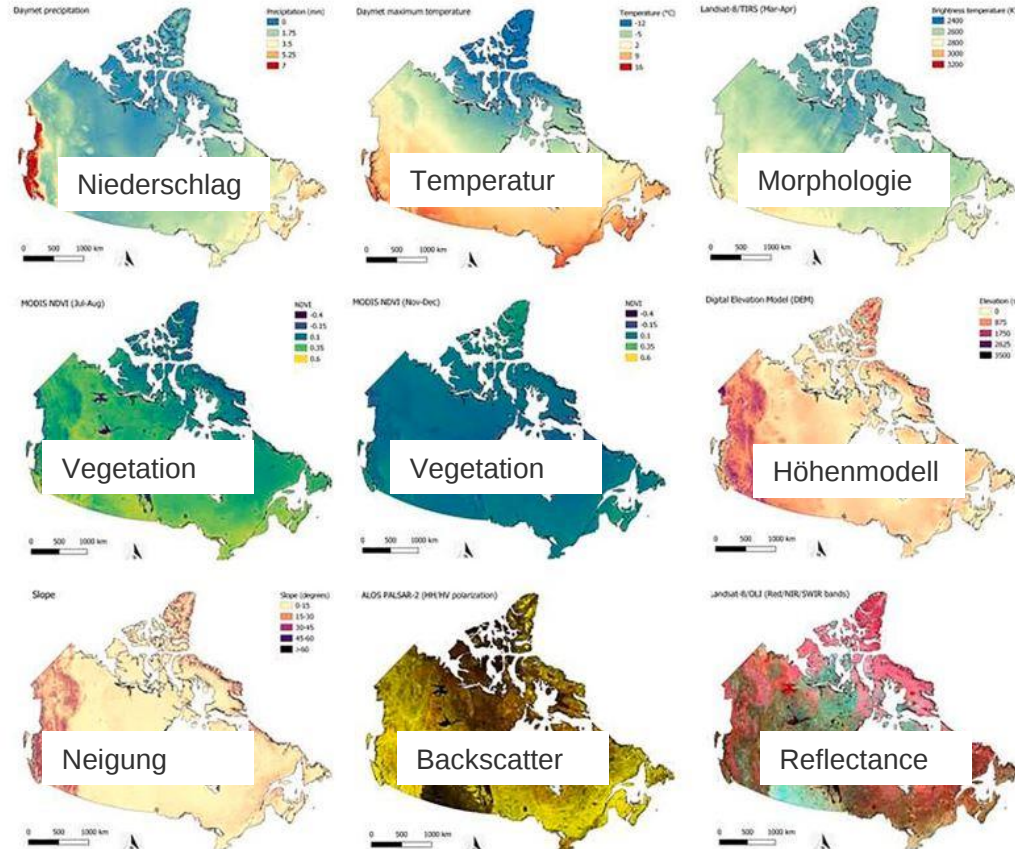
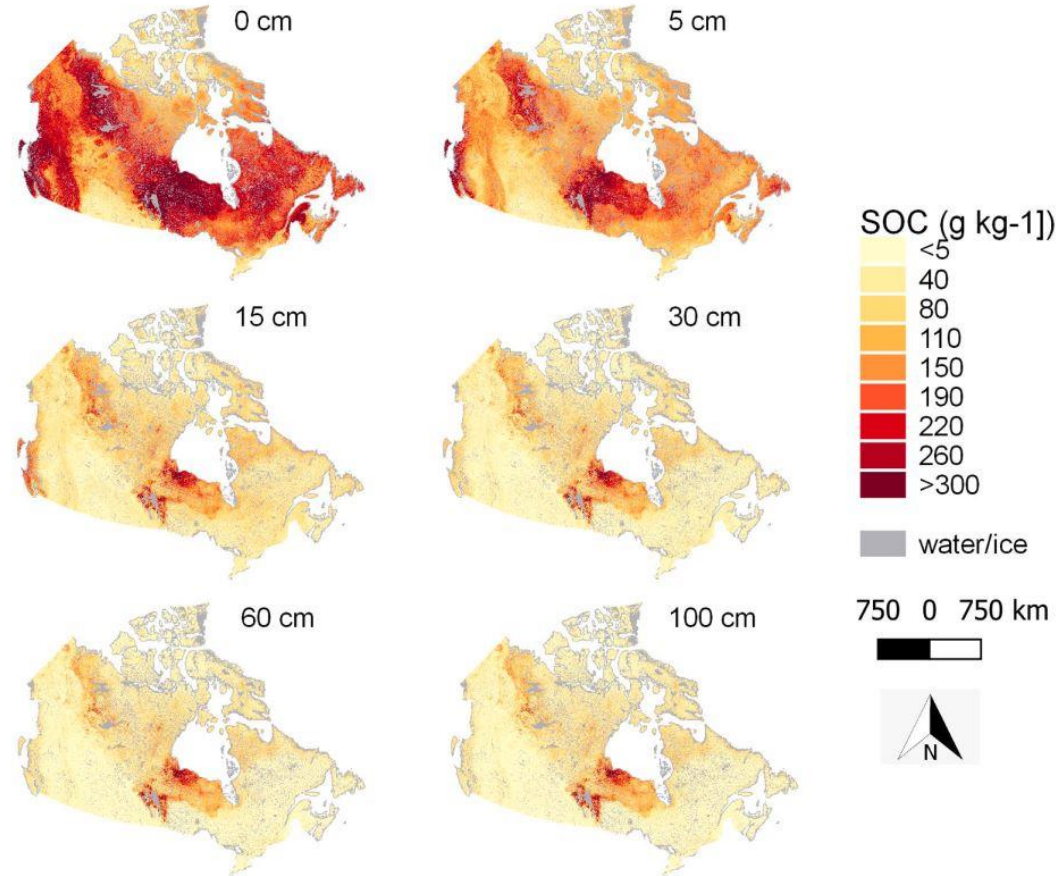
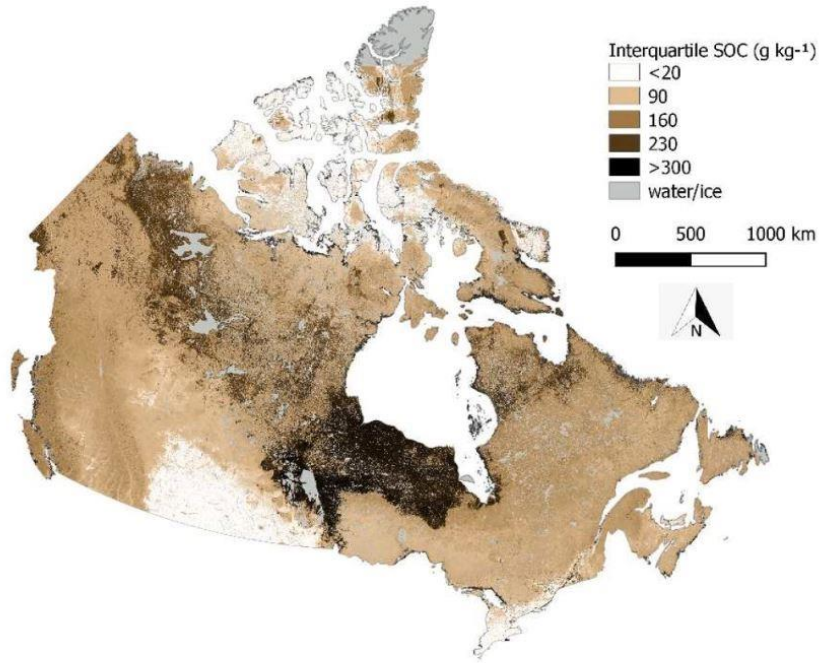


Fig. 4. Examples of the satellite data used as SOC covariates in this study.

# DSM: Beispiele (I) – Tiefenstufen

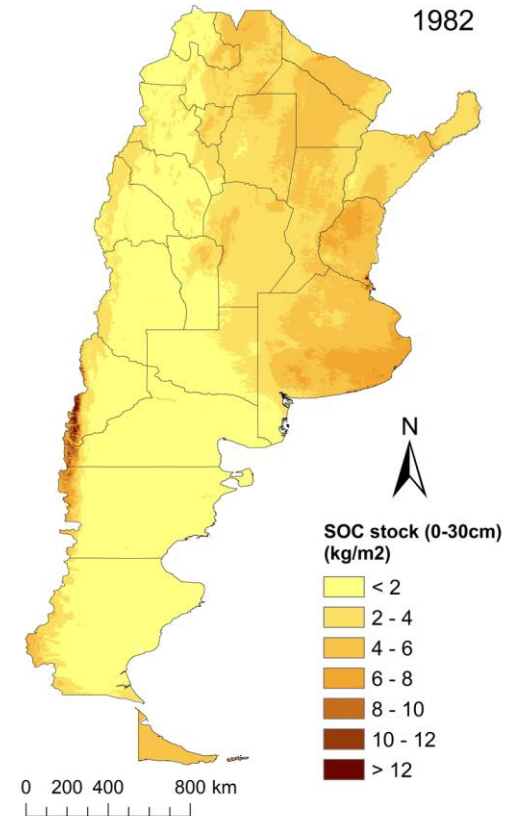


# DSM: Beispiele (II) – Unsicherheit und Zeitreihen



**Fig. 11.** Uncertainty map represented by SOC prediction intervals, i.e., 90% minus the 10% quantile values calculated using the quantile regression forest method.

Soethe et al. 2022



Heuvelink et al. 2021

## DSM: Beispiele (III) – Für Politik und Praxis

<https://www.theglobeandmail.com/canada/article-what-lies-beneath-exploring-canadas-invisible-carbon-storehouse/>

# Danke!

Ernst Leitgeb, Claudia Haumer,

Günther Aust, Christian Amann, Silvia Gmoser, Franz Heinrich, Daniel Horvath,  
Hannes Pock, Michael Wandl,

Michael Englisch, Thomas Exner, Karl Gartner, Günther Gollobich, Edwin  
Herzberger, Eva Jordan, David Keßler, Rainer Reiter, Sebastian Riedel, Judith  
Schaufler, Franz Starlinger, Thomas Zimmermann,

Barbara Kitzler, Michaela Djordjevic, Katja Ettenauer, Sophia Fenninger, Eugene  
Fink, Armin Hofbauer, Vanessa Landsteiner, Kerstin Michel, Brigitte  
Schraufstädter, Raffaella Wettl,

Robert Jandl, Cecilie Foldal, Andreas Schindlbacher,

Sigrid Schwarz, die AG „Digital Soil Mapping Österreich (DSM-AT)“ ... uvm....



Foto | Filmstill aus „See Aural Woods“ (Luma,Launisch & Takamovsky)

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum  
für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Austria, 1131 Wien  
Seckendorff-Gudent-Weg 8  
Tel.: +43 1 878 38-0  
direktion@bfw.gv.at  
<http://www.bfw.ac.at>



<https://www.facebook.com/BundesforschungszentrumWald>



<https://twitter.com/bfwald>



<https://www.youtube.com/user/Waldforschung>

# Referenzen

- Amundson, R., 2021. Factors of soil formation in the 21st century. *Geoderma* 391, 114960. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114960>
- de Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R.J.A., Montanarella, L., van Wesemael, B., 2015. A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. *European Journal of Soil Science* 66, 121–134. <https://doi.org/10.1111/ejss.12193>
- Bundesanstalt für Bodenkartierung und Bodenwirtschaft (Ed.), 1967. Die österreichische Bodenkarte 1:10.000 - Anweisung zur Durchführung der Kartierung. Landw.chem. Bundesversuchsanstalt, Bodenkartierung und Bodenwirtschaft, Wien XX., Denigsgasse 31-33.
- Bundesanstalt für Bodenwirtschaft (Ed.), 1983. 25 Jahre Bodenkartierung. Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, 1200 Wien, Denigsgasse 31.
- Chen, S., Martin, M.P., Saby, N.P.A., Walter, C., Angers, D.A., Arrouays, D., 2018. Fine resolution map of top- and subsoil carbon sequestration potential in France. *Science of The Total Environment* 630, 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.209>
- Chen, S., Arrouays, D., Leatitia Mulder, V., Poggio, L., Minasny, B., Roudier, P., Libohova, Z., Lagacherie, P., Shi, Z., Hannam, J., Meersmans, J., Richer-de-Forges, A.C., Walter, C., 2022. Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma* 409, 115567. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115567>
- Florinsky, I.V., 2012. The Dokuchaev hypothesis as a basis for predictive digital soil mapping (on the 125th anniversary of its publication). *Eurasian Soil Sc.* 45, 445–451. <https://doi.org/10.1134/S1064229312040047>
- Heuvelink, G.B.M., Angelini, M.E., Poggio, L., Bai, Z., Batjes, N.H., van den Bosch, R., Bossio, D., Estella, S., Lehmann, J., Olmedo, G.F., Sanderman, J., 2021. Machine learning in space and time for modelling soil organic carbon change. *European Journal of Soil Science* 72, 1607–1623. <https://doi.org/10.1111/ejss.12998>
- Jenny, H., 1994. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Dover, New York.
- McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3–52. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström, M., Stenberg, B., 2021. Perspectives on validation in digital soil mapping of continuous attributes—A review. *Soil Use and Management* 37, 7–21. <https://doi.org/10.1111/sum.12694>
- Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O.A., McArthur, D., 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 27, 171–197. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>
- Sothe, C., Gonsamo, A., Arabian, J., Snider, J., 2022. Large scale mapping of soil organic carbon concentration with 3D machine learning and satellite observations. *Geoderma* 405, 115402. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115402>

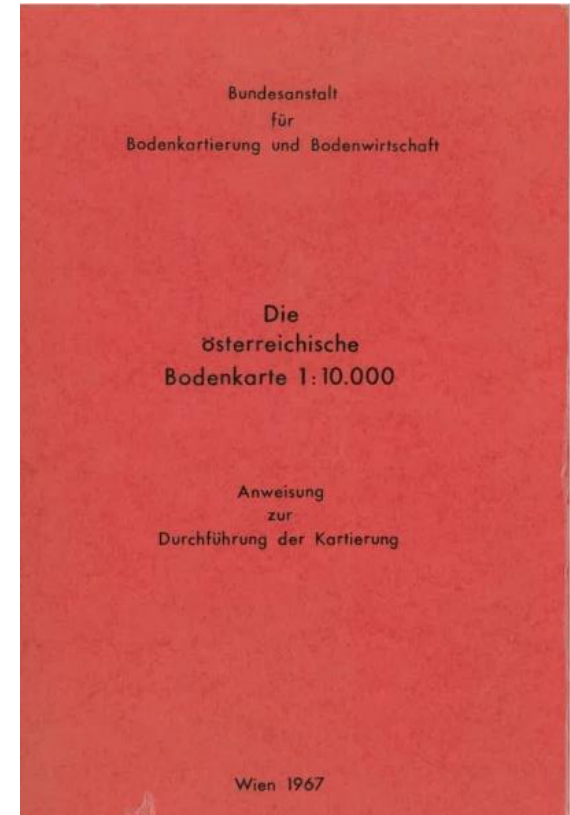
# Etwas Terminologie

- Durchführende Stelle: **Österreichische Bodenkartierung**
- Produkt: **Landwirtschaftliche Bodenkarte** (Österreichs), LWBK
- Internet-Applikation: **eBOD** (frei zugänglich unter <https://bodenkarte.at>), ausgewählte Informationen der LWBK, abgeleitete Fachkarten von BFW und Partnern (dzt. 13+3+1)

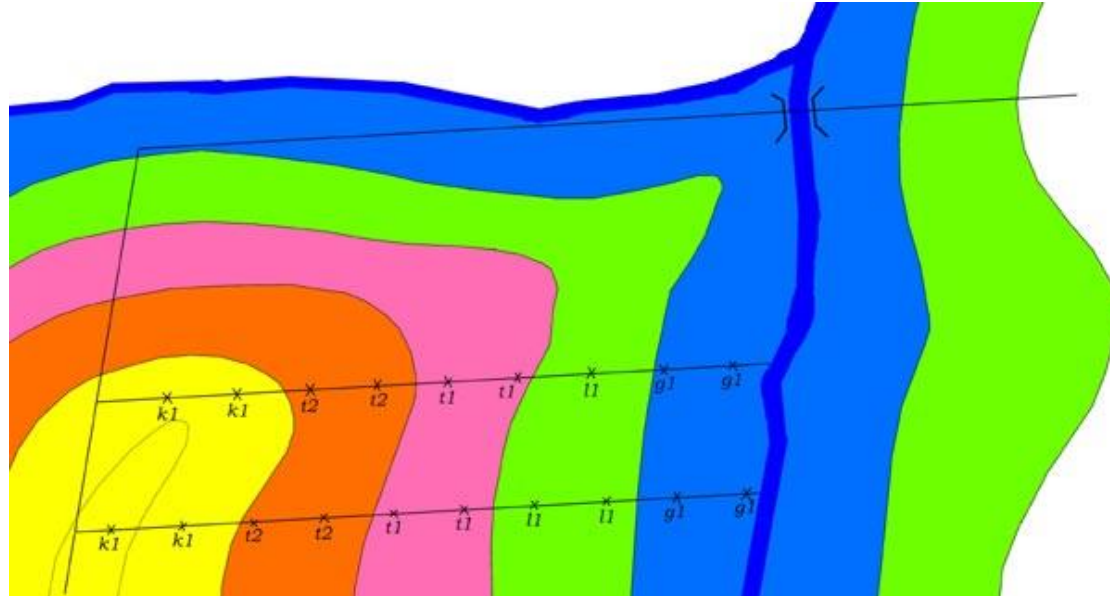
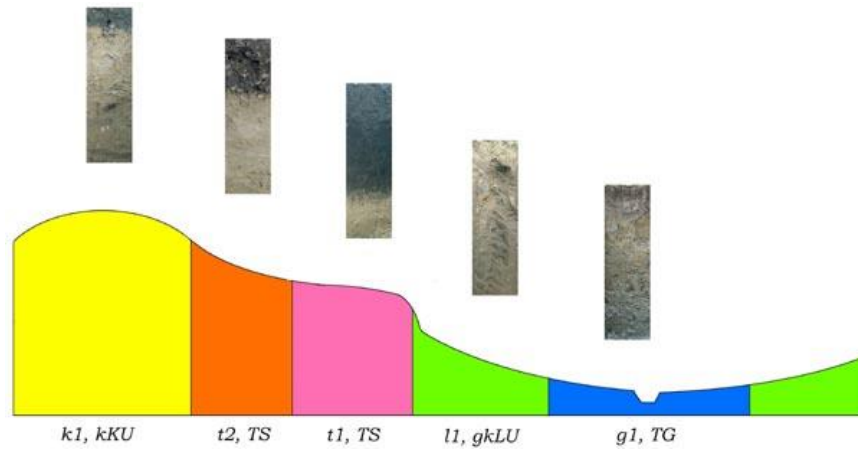
# Grenzen der Bodenkartierung

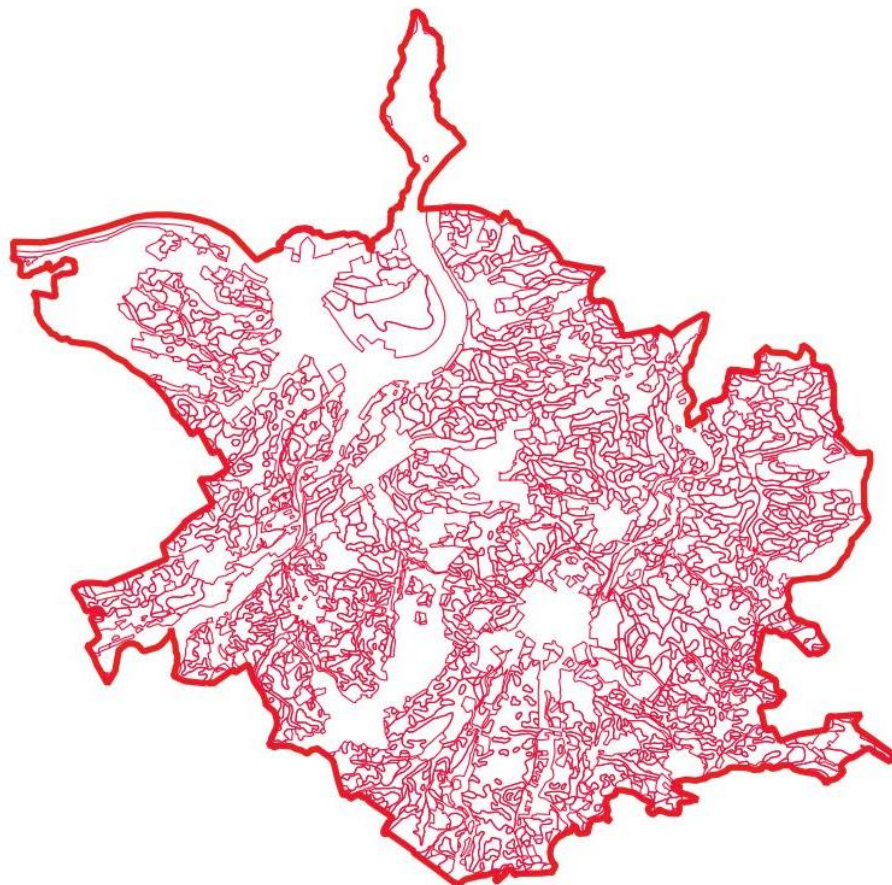
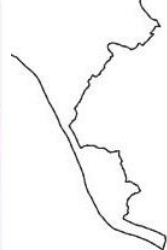
„Die unumgängliche Berücksichtigung einer langen Reihe von Faktoren (**Begrenzung des möglichen Aufwandes in Bezug auf Geld und Personal**, möglichst kurze Bearbeitungszeit, wissenschaftliche Fundierung des Systems, Leichtverständlichkeit der Ergebnisse, **möglichst genaue Detailaussagen, Dauerwert der Bodenkarten, Rücksicht auf Föderalismus, Kartengrundlagen**) wirkte sich auf die Wahl des Systems und auf die Ausarbeitung des Verfahrens ebenso stark aus wie die sehr differenzierten geologischen, landwirtschaftlichen und klimatischen Verhältnisse Österreichs.“ S.6

„Die rote Bibel“



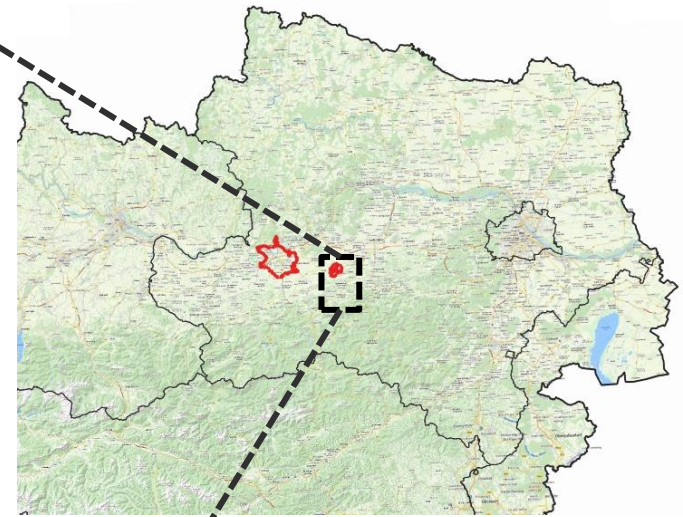
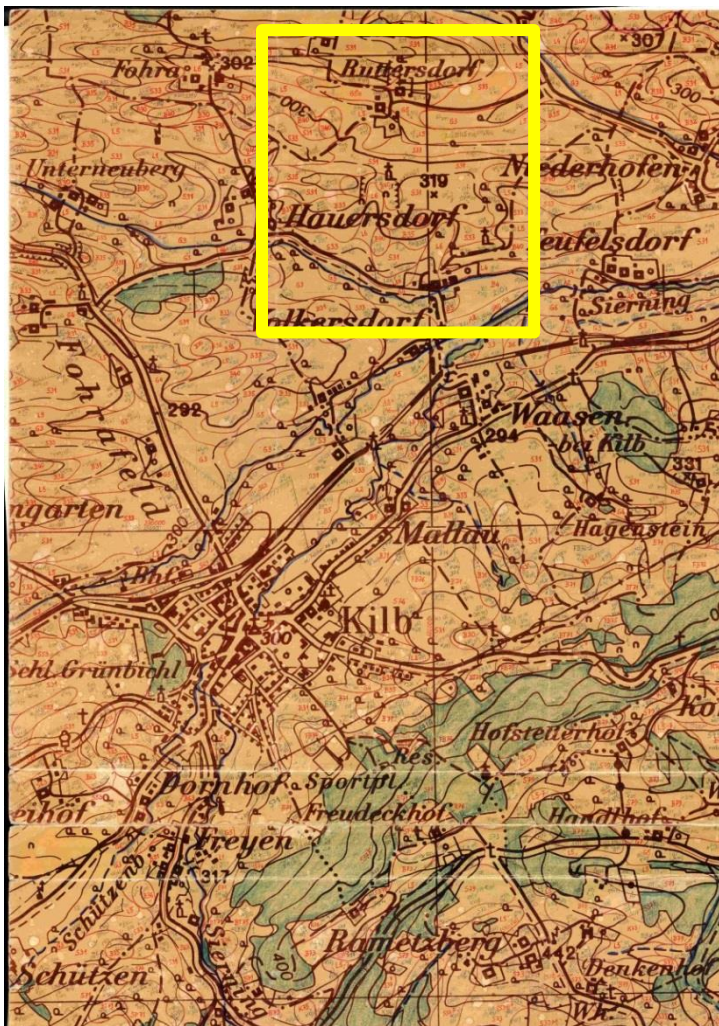
# Begang entlang der Catena





## Landwirtschaftliche Bodenkarte

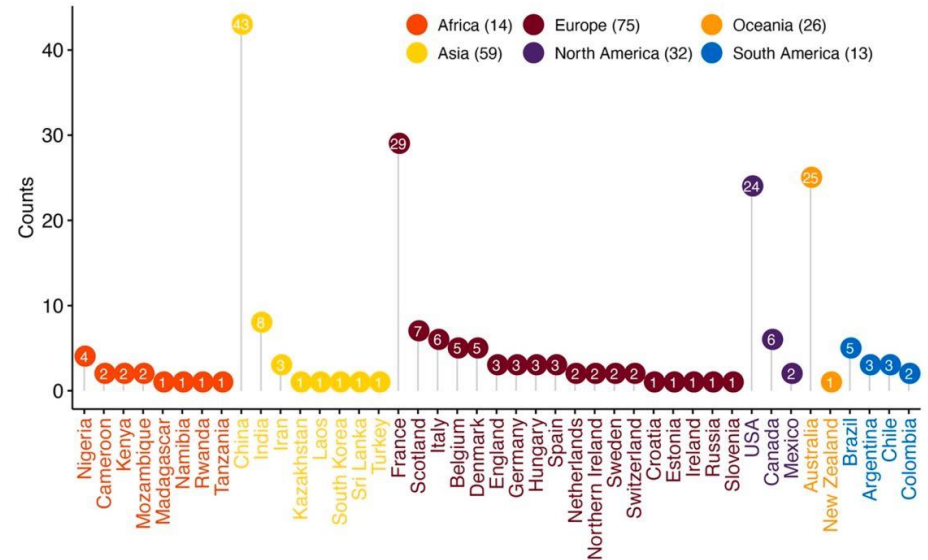
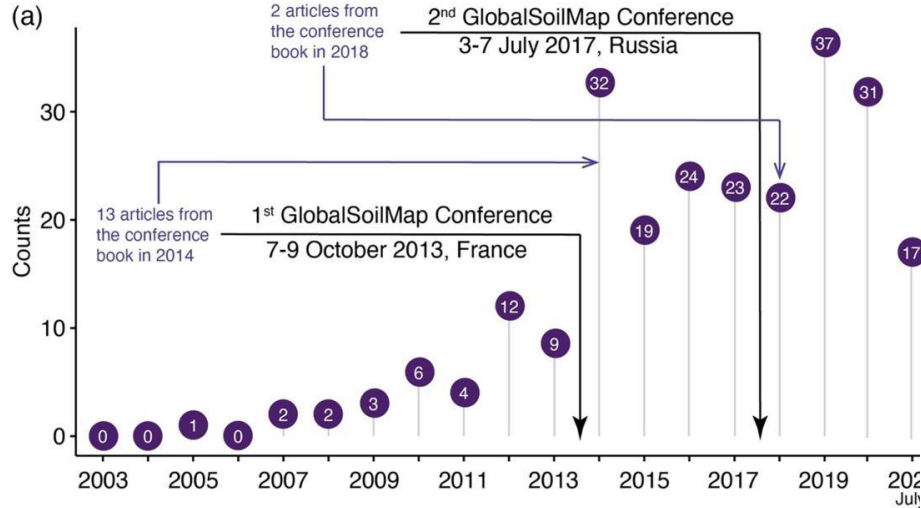
Wieselburg, Ybbs/Donau, Persenbeug-Gottsdorf, Neumark/Ybbs, Bergland, Petzenkirchen



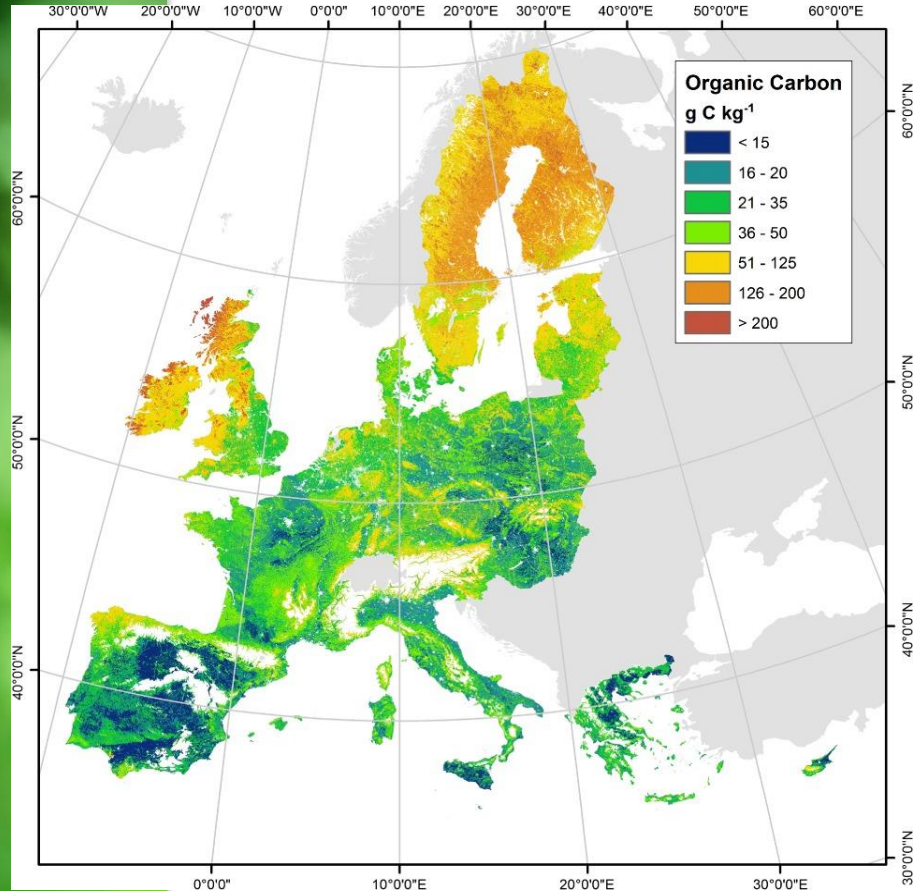
## Feldreinkarte - Digitalisierungsgrundlage

Hadersdorf, Gemeinde Kilb bei Mank

# DSM: Eine rasch wachsende Methode



# DSM: Beispiele (III) - Algorithmen



de Brogniez et al. 2015 (Methode: GAM)

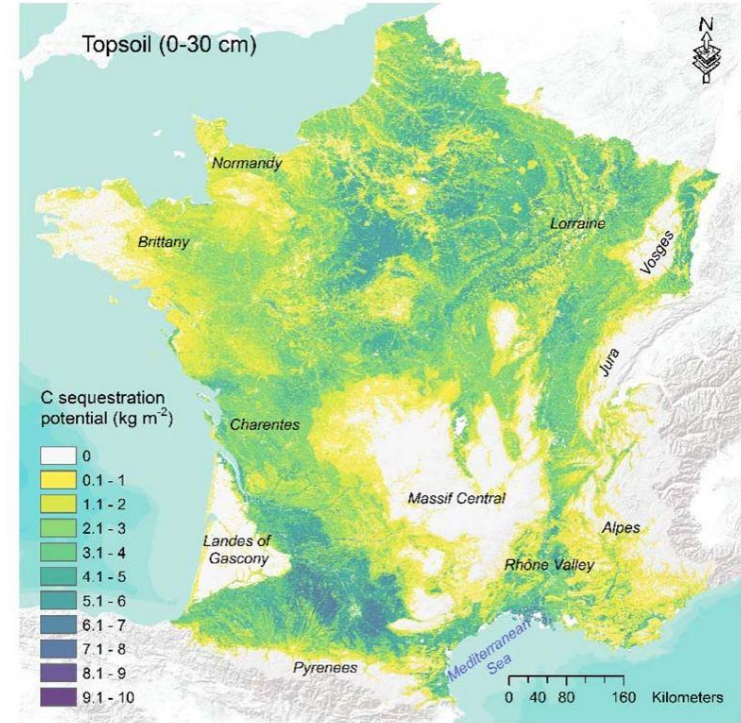
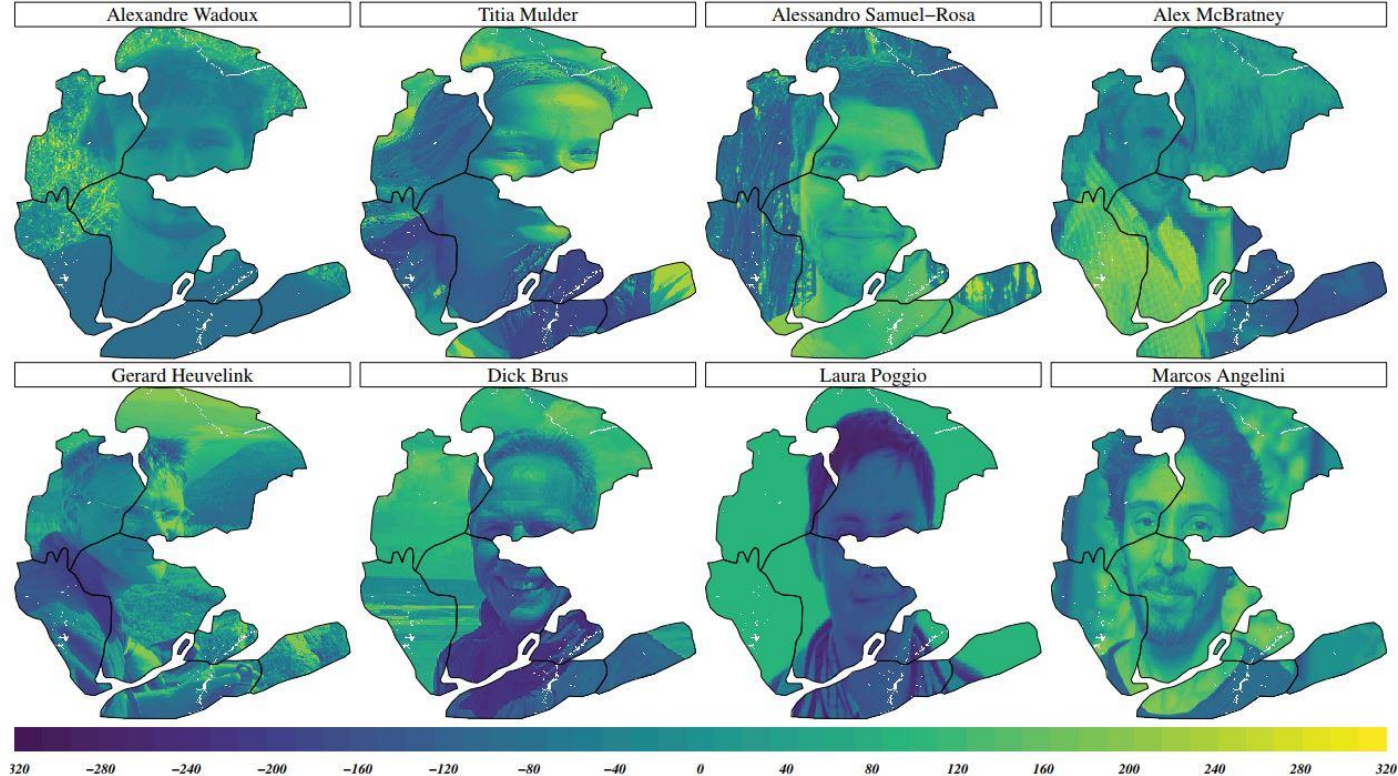


Fig. 6. Map of C sequestration potential for topsoil (0-30 cm) in mainland France.

Chen et al. 2018 (Methode: RF + ordinary kriging of residuals)

# DSM: Grenzen – Humus in Pangaea



**FIGURE 1** Example set of eight (out of 41) first principal components (PCs) of pedometricians' head, shoulders and upper chest images used as pseudo-covariates in the RF model