Ermittlung des organischen Kohlenstoffgehalts im Oberboden mittels Sentinel-2 Zeitreihen

Simone Zepp¹, Uta Heiden¹, Pablo d'Angelo¹, Peter Schwind¹, Martin Wiesmeier², Martin Bachmann¹, Michael Steininger³, Markus Möller⁴, Rupert Müller¹

1 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

- 2 Technische Universität München (TUM)
- 3 Mitteldeutsches Institut für Standort- und Bodenkunde (MISB)
- 4 Julius Kühn-Institut (JKI)







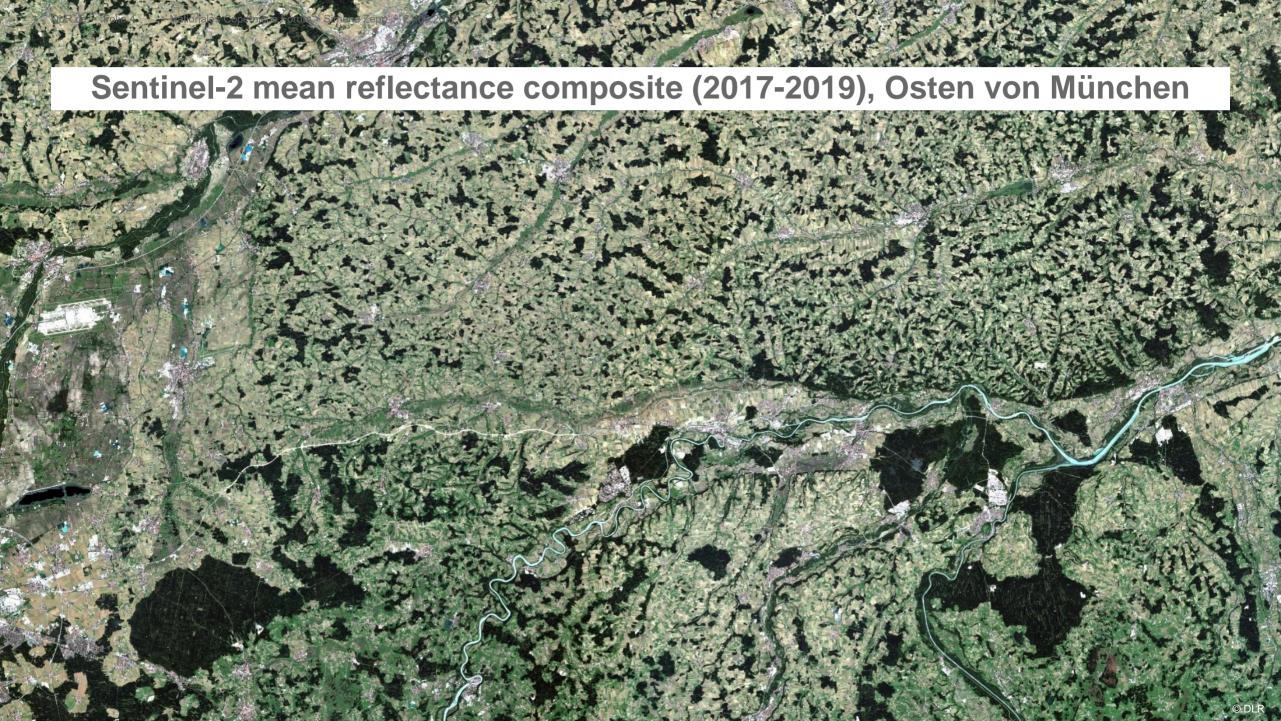






Motivation

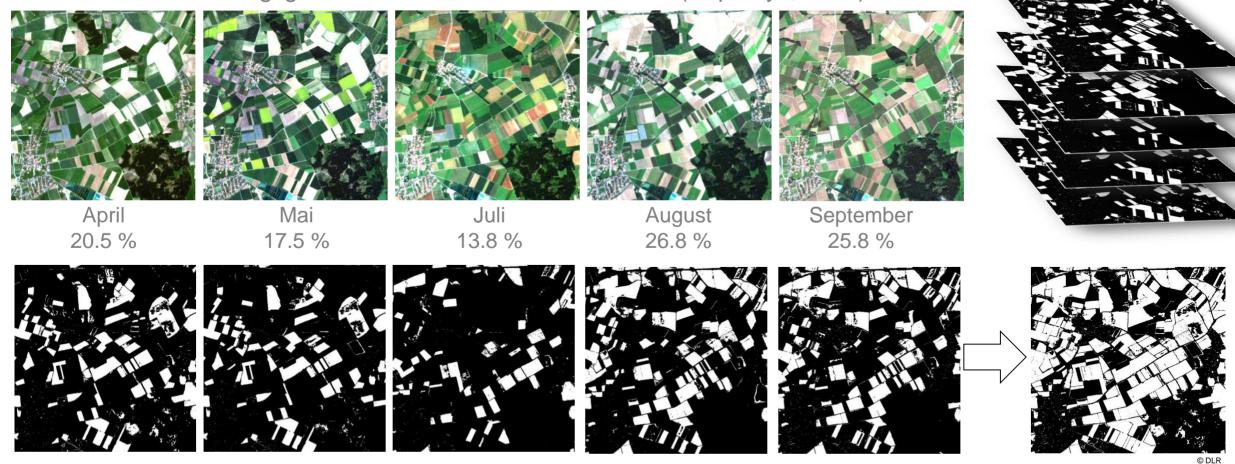
- Böden ermöglichen über verschiedene Bodenfunktionen und ökosystemare Dienstleistungen eine Lebensgrundlage für den Menschen.
- Bodenfunktionen werden durch die Verfügbarkeit und die Qualität von Bodeneigenschaften gesteuert (u.a. organischer Kohlenstoff, Bodenbiota, pH-Wert, Bodentextur, Tonminerale, verfügbare Wasserkapazität, etc.).
- Karten und Datenbanken bieten Informationen über die diversen Bodenfunktionen und -eigenschaften.
- Allerdings existiert eine r\u00e4umliche & zeitliche Limitierung einer Vielzahl an Karten und Datenbanken.
- → Die Fernerkundung bietet neue Möglichkeiten räumlich und zeitlich hochaufgelöste Informationen über die Ressource Boden abzuleiten.



Sentinel-2 soil reflectance composite SRC (2017-2019), Osten von München

Datenbasis – EO-basierte Komposite von unbedeckten Ackerflächen

Der Bedeckungsgrad von Böden variiert über die Zeit (RapidEye, 2012)





unbedeckter Boden

bedeckte Oberfläche



Datenbasis – EO-basierte Komposite von unbedeckten Ackerflächen

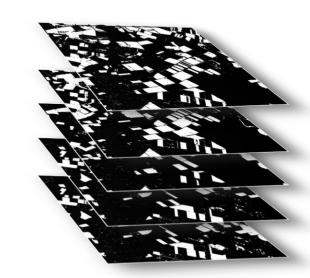
Vorteile der Bodenkomposite

- Hohe räumliche Auflösung → Schlagebene
- Hohe zeitliche Auflösung → 2017-2022 (Sentinel-2) / 1984-2022 (Landsat)
- Analyse von großflächigen Gebieten möglich
- Unterschiedliche, sich kurzfristig ändernde Bedingungen (z.B. Bodenfeuchte) weniger relevant als bei Verwendung von Einzelszenen

Anforderungen:

- Mehrjährige Zeitreihe von EO Daten
- Ableitung eines spektralen Index (z.B. NDVI, BSI, NBR I / II, etc.)
- Definition eines spektralen Index Grenzwerts (HISET Algorithmus) zur Identifizierung unbedeckter Böden
- → Soil Composite Mapping Processor (SCMaP*)





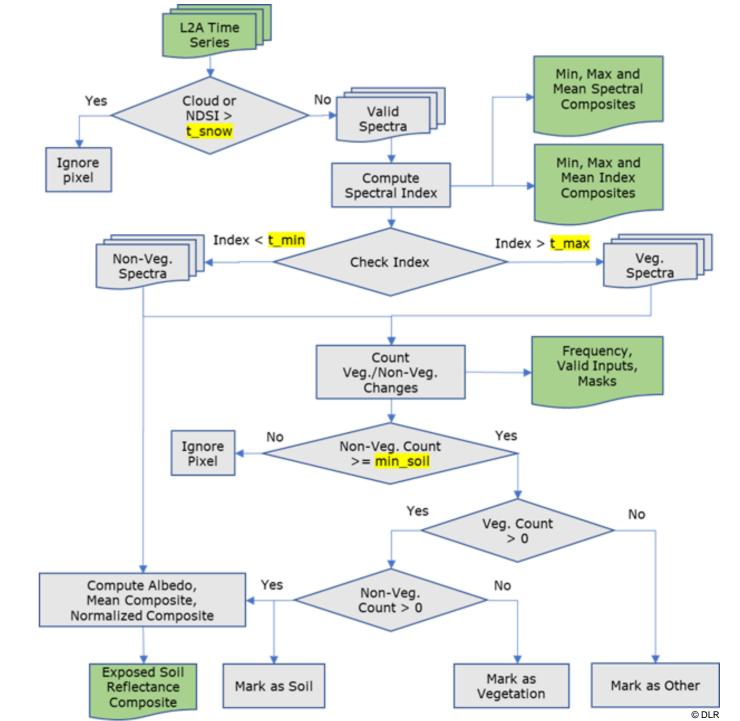


Komposit enthält 47.9 % unbedeckte Böden

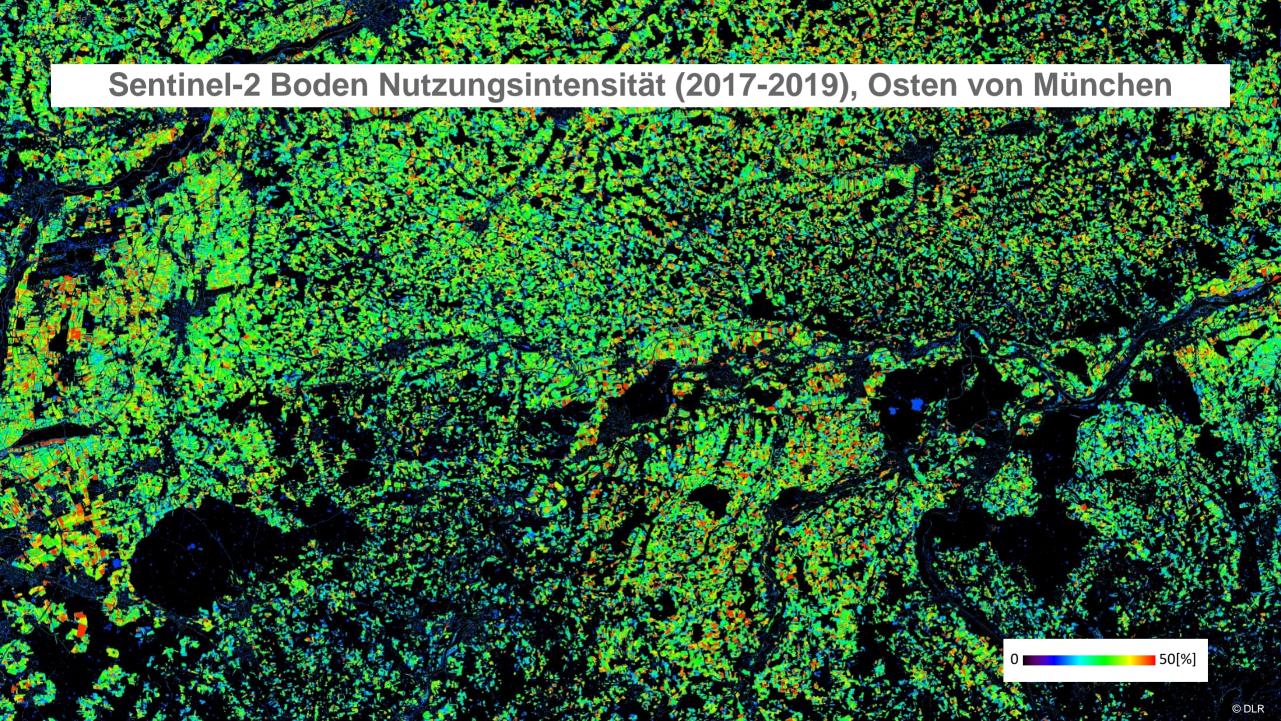
Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) - Methodik

SCMaP Flowchart:

- Input: Landsat 4, 5, 7, 8, Sentinel-2A+B
- Aktuell 13 Indices zur Auswahl (z.B. NBR) I/II, BSI, NDVI, CMI, ...)
- Grenzwerte zur Trennung von unbedeckten Böden und allen anderen Landnutzungsklassen
- Output: Produktpalette f
 ür digitale und spektrale Bodenmodellierungskonzepte

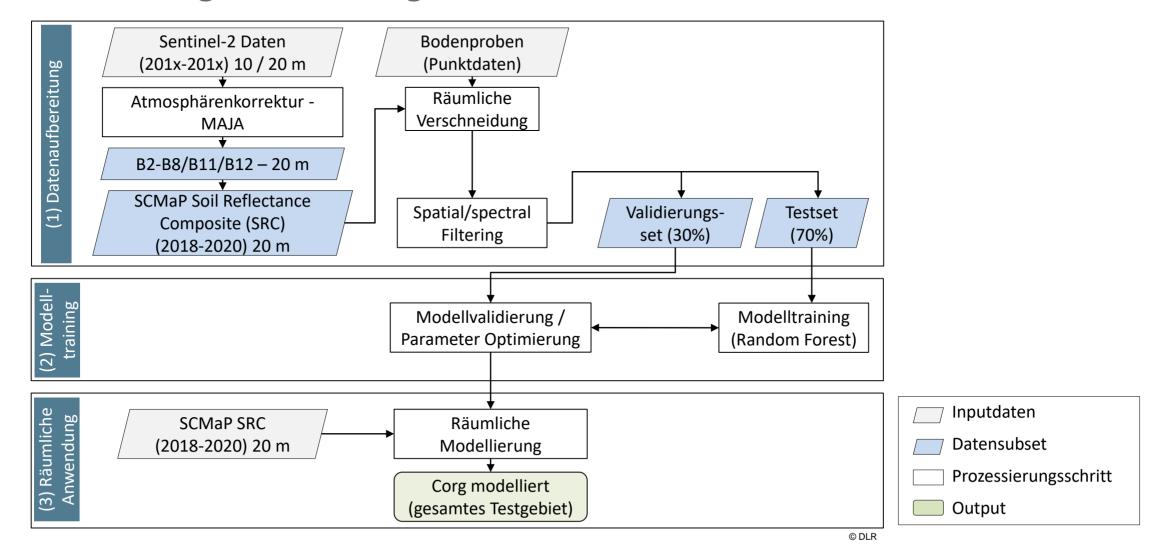






Modellierung organischer Kohlenstoffgehalte (Corg) von Ackeroberböden in Bayern

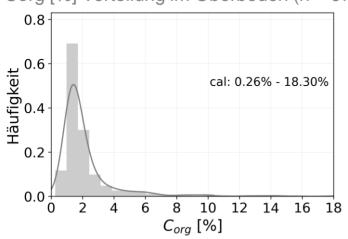




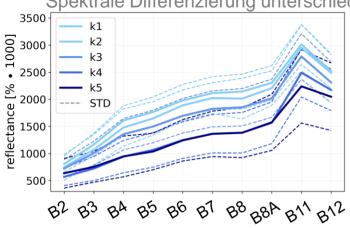


Untersuchungsgebiet

Corg [%] Verteilung im Oberboden (n = 978)

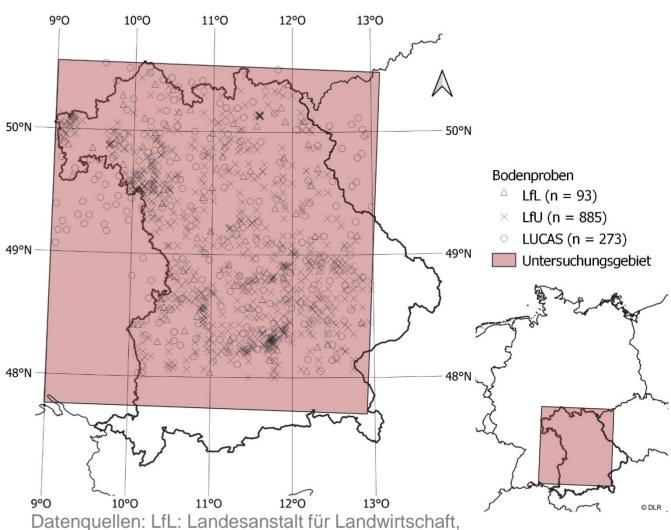


Spektrale Differenzierung unterschiedlicher Corg-Gehalte [%]



Klasse	Corg-Gehalt [%]
k1	< 0,5
k2	0,5 – 2,0
k3	2,0 – 5,0
k4	5,0 – 15,0
k5	15,0 – 30,0

Klassifikation auf Basis der KA5

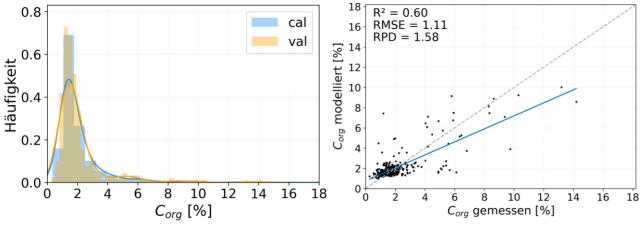


LfU: Landesamt für Umwelt, LUCAS: Land Use/Cover Area frame statistical Survey) 2009/2015 Topsoil Survey

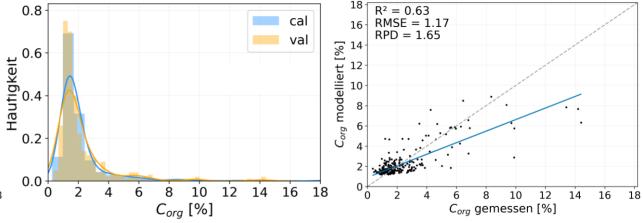


Modelltraining - Ergebnisse

PV+IR2 ((NIR-Red) / (NIR+Red)) + ((NIR-SWIR2) / (NIR+SWIR2))



NBR2 (SWIR1-SWIR2) / (SWIR1+SWIR2)

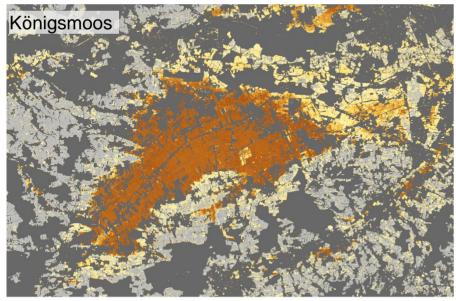


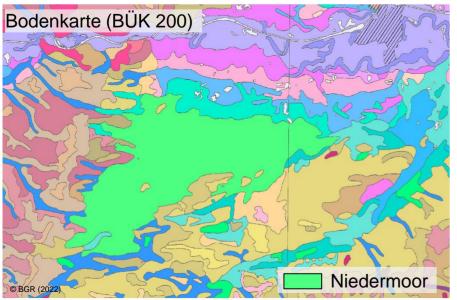
	Modell- kalibrierung (70%)	CV (70%)	Modell- validierung (30%)
R ²	0.82	0.48	0.60
RMSE [%]	0.79	1.36	1.11
RPD	2.37	1.39	1.58

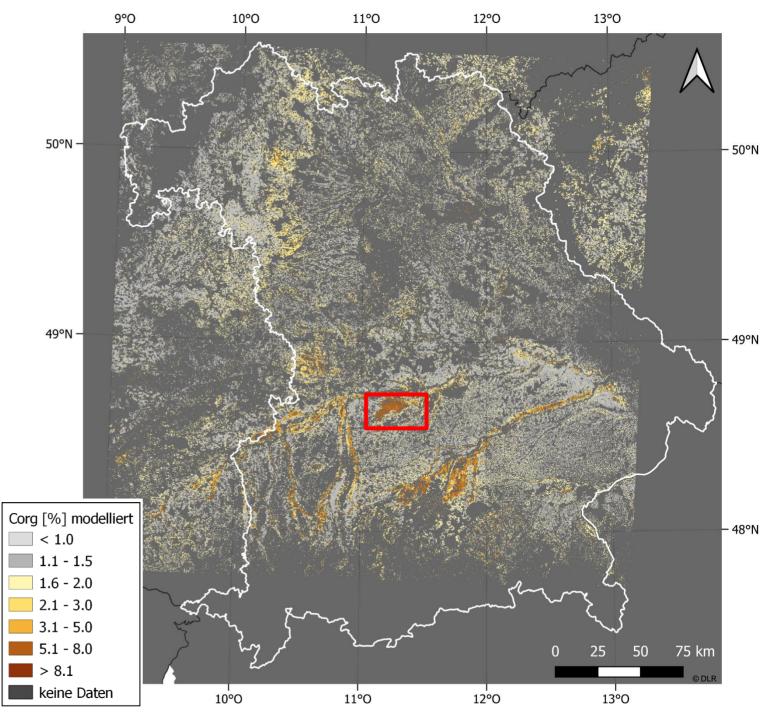
	Modell- kalibrierung (70%)	CV (70%)	Modell- validierung (30%)
R ²	0.69	0.49	0.63
RMSE [%]	1.07	1.37	1.17
RPD	1.80	1.40	1.65

Modellgenauigkeiten: RMSE - Root Mean Square Error [%], RPD - Ratio of Performance to Deviation



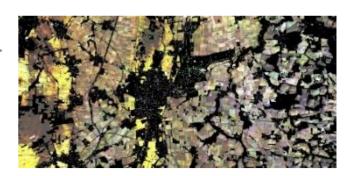






Zusammenfassung

• EO basierte Zeitreihenanalyse ermöglicht Erfassung von Böden unbedeckter Ackerflächen über einen betrachteten Zeitraum mit hoher räumlicher Auflösung (Schlagebene) – SCMaP Compositing Approach

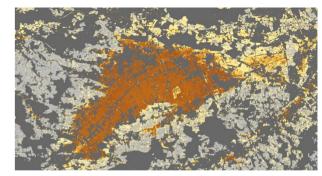


 Reflektanzkomposite unbedeckter Böden in Kombination mit Felddaten erlauben Modellierung von organischem Kohlenstoff von Ackeroberböden in Bayern (R² = 0.63 / RMSE = 1.17 / RPD = 1.65) 18 R² = 0.63 RMSE = 1.17 RPD = 1.65

14 12 12 14 16 18

Corg gemessen [%]

 Hohe räumliche Detailinformationen der modellierten organischen Kohlenstoffgehalte von Ackeroberböden in Bayern / Korrelation von Modellierungsergebnissen mit BÜK 200 möglich











Article

Estimation of Soil Organic Carbon Contents in Croplands of Bavaria from SCMaP Soil Reflectance Composites

Simone Zepp ^{1,*0}, Uta Heiden ²0, Martin Bachmann ¹0, Martin Wiesmeier ³0, Michael Steininger ⁴

- German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Muenchener Str. 20, 82234 Wessling, Germany: martin.bachmann@dlr.de
- German Aerospace Center (DLR), Remote Sensing Technology Institute (IMF), Muenchener Str. 20, 82234 Wessling, Germany; Uta.Heiden@dlr.de
- Bavarian State Research Center for Agriculture, Institute for Organic Farming, Soil and Resource Management, Lange Point 6, 83354 Freising, Germany; Martin, Wiesmeier@lfl.bavern.de
- 4 Mitteldeutsches Institut für Angewandte Standortkunde und Bodenschutz (MISB), 06114 Halle, Germany, m steininger@hodensachverstagndige de.
- 5 Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, Earth and Life Institute,
- Université Catholique de Louvain, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium; bas.vanwesemael@uclouvain.be
- * Correspondence: simone.zepp@dlr.de

Abstract: For food security issues or global climate change, there is a growing need for large-scale knowledge of soil organic carbon (SOC) contents in agricultural soils. To capture and quantify SOC contents at a field scale. Earth Observation (EO) can be a valuable data source for area-wide mapping The extraction of exposed soils from EO data is challenging due to temporal or permanent vegetation cover, the influence of soil moisture or the condition of the soil surface. Compositing techniques of multitemporal satellite images provide an alternative to retrieve exposed soils and to produce a data source. The repeatable soil composites, containing averaged exposed soil areas over several years, are relatively independent from seasonal soil moisture and surface conditions and provide a new EO-based data source that can be used to estimate SOC contents over large geographical areas with a high spatial resolution. Here, we applied the Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) to the Landsat archive between 1984 and 2014 of images covering Bayaria, Germany, Compared to existing SOC modeling approaches based on single scenes, the 30-year SCMaP soil reflectance composite (SRC) with a spatial resolution of 30 m is used. The SRC spectral information is correlated with point soil data using different machine learning algorithms to estimate the SOC contents in cropland topsoils of Bayaria. We developed a pre-processing technique to address the issue of combining point information with EO pixels for the purpose of modeling. We applied different modeling methods often used in EO soil studies to choose the best SOC prediction model. Based on the model accuracies and performances, the Random Forest (RF) showed the best capabilities to predict the SOC contents in Bayaria (R² = 0.67, RMSE = 1.24%, RPD = 1.77, CCC = 0.78). We further validated the model results with an independent dataset. The comparison between the measured and predicted SOC contents showed a mean difference of 0.11% SOC using the best RF model. The SCMaP SRC is a promising approach to predict the spatial SOC distribution over large geographical extents with a high spatial

Keywords: soil reflectance composites; soil modeling; soil organic carbon; Landsat; multispectral



Citation: Zepp, S.; Heiden, U.; Bachmann, M.; Wiesmeier, M.; Steininger, M.; van Wesemael, B. Estimation of Soil Organic Carbon Contents in Croplands of Bavaria from SCMB 9501 Reflectance Composites. Remote Sens. 2021, 13, 3141. https://doi.org/10.3390/rs13163141.

Academic Editors: Dominique Arrouays and Bruno Basso

Received: 25 June 2021 Accepted: 5 August 2021 Published: 8 August 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https:// creative.commons.org/licenses/by/ 4.0/).

1. Introducti

Precise knowledge about the distribution of soil organic carbon (SOC) contents in agricultural soils is a valuable information for, e.g., food security issues [1] or global climate change [2]. The organic carbon stocks in soils represent one of the largest reservoirs in the global carbon cycle [3,4] and are affected by various drivers [5]. Soils with sufficiently

Remote Sens. 2021, 13, 3141. https://doi.org/10.3390/rs13163141

https://www.mdpi.com/journal/remotesensing

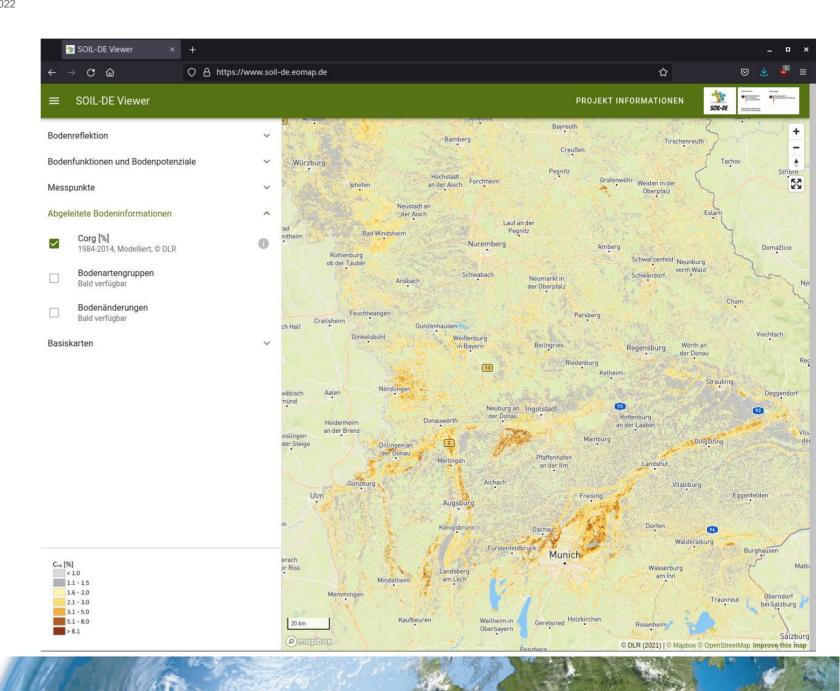
https://doi.org/10.3390/rs13163141

Soil-DE Viewer

https://www.soil-de.eomap.de

- Modellierte Corg-Gehalte Ackeroberböden in Bayern auf Basis von Landsat (30 m) Daten.
- An Ableitung von Corg-Gehalten auf Basis von Sentinel-2 Daten wird derzeit gearbeitet.
- Weitere Informationen zu verschiedenen Bodenfunktionen und Bodenpotenzialen in Deutschland.







Acknowledgements

- Verwendete Daten: Im Rahmen der Modellierung wurden Daten des Landesamts für Umwelt (LfU – v.a. Proben des Projektes GRABEN) und der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL – Daten aus dem Bodendauerbeobachtungsprogramm, BDF) verwendet.
- Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung (FKZ: 281B301816).



 Alle Sentinel-2 SCMaP Ergebnisse sind im Rahmen des von der ESA geförderten WORLDSOILS Projekt entstanden (https://www.world-soils.com/).

