

Flächendeckende Hilfsvariablen für Bodenkartierungen: Terrain und Landnutzung

Faktenblatt

Dr. Felix Stumpf und Dr. Armin Keller
Juni 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Bodenkartierung	3
2	Relief: Skalenübergreifende Terrainanalyse	4
3	Landnutzung: Spektrale Zeitreihen	7
4	Referenzen	10

Copyright: Gemäss untenstehendem [Creative Commons-Lizenzsymbol](#) ist die Vervielfältigung erwünscht, jedoch müssen Sie angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die Weitergabe erfolgt nur unter gleichen Lizenzbedingungen.



1 Bodenkartierung

Eine Bodenkartierung basiert auf einer qualitativen Beschreibung der Boden-Landschaftsbeziehungen. Dieses konzeptionelle Modell wird herangezogen, um repräsentative Beprobungsstandorte zu wählen und die jeweilige Bodeneigenschaft einer homogenen Landschaftseinheit zuzuweisen. Terrainanalysen (auch Reliefanalysen genannt) sind mathematisch-statistische Ableitungen aus dem Höhenmodell, die wichtige Kennwerte eines Geländes abbilden. Diese liefern wertvolle Hinweise in der Konzeptphase der Bodenkartierung als auch für die Feldkartierung. Zudem werden Terrainanalysen für die digitale Kartierung von Bodeneigenschaften anhand mathematisch-statistischer Modelle genutzt. Dabei werden Bodeninformation am Punkt mit flächendeckend verfügbaren Hilfsvariablen kombiniert. Anschliessend werden die Bodeninformationen anhand des kalibrierten Modells und der Hilfsvariablen in die Fläche prognostiziert. Der quantitative Charakter einer digitalen Bodenkartierung ergänzt und erweitert die klassische Bodenkartierung um die Möglichkeit der Reproduktion, einer kontinuierlichen Kartenrepräsentation und einer Evaluierung mittels quantifizierter (räumlicher) Unsicherheiten (Behrens and Scholten, 2006; Stumpf et al., 2017; Viscarra Rossel et al., 2015).

Das grundlegende Konzept der Bodenkartierung kann mit einem Zustands-Faktoren-Modell beschrieben werden, wonach die Bodeneigenschaft S eine Funktion aus Boden (S), Klima (C), Landnutzung (O), Relief (R), Ausgangsmaterial (P), Zeit (A) und räumliche Lage (N) ist (Abb. 1; Jenny, 1941; McBratney et al., 2003).

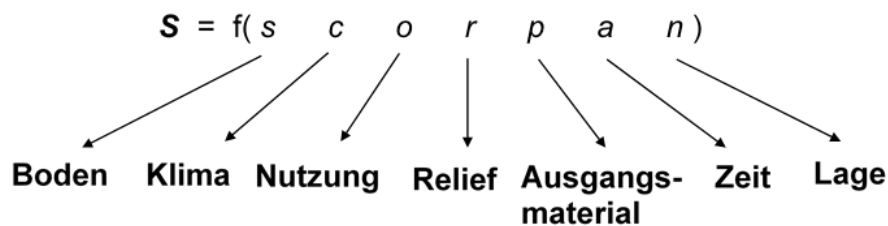


Abb. 1: Das Zustands-Faktoren-Modell der digitalen Bodenkartierung; der Boden S als eine Funktion aus verschiedenen flächendeckend verfügbaren Hilfsvariablen.

2 Relief: Skalenübergreifende Terrainanalyse

Hintergrund

Das Relief ist ein wesentlicher bodenbildender Faktor und kann mittels Terrainattributen, abgeleitet von Höhenmodellen, beschrieben werden (Behrens et al., 2010a). Terrainattribute sind die am häufigsten genutzten Hilfsvariablen für digitale Bodenkartierungen (Behrens et al., 2010b).

Weiterhin bestehen Wechselbeziehungen zwischen bodenbeschreibenden Terrainattributen über verschiedene räumliche Skalen hinweg. Diese skalenübergreifenden Wechselbeziehungen beeinflussen Bodengenese und räumliche Bodenvariabilität (Behrens et al., 2018a). Beispielhaft können regionale Terraineigenschaften lokale Niederschlagverhältnisse beeinflussen, und somit feuchteempfindliche Bodeneigenschaften bestimmen. Es ist daher von besonderer Bedeutung für digitale Bodenkartierungen, das Relief anhand von skalenübergreifenden Terrainattributen zu beschreiben (Behrens et al., 2018b).

Methode und Beispiele

Grundlage für die skalenübergreifende Terrainanalyse ist das Höhenmodell swissALTI^{3D} in einer räumlichen Auflösung von 2m. Das swissALTI^{3D}-Höhenmodell basiert auf luftgestützten Messkampagnen zu Generierung von Laserscandaten und Orthophotos (SwissTopo, 2020). Zudem wurde das swissALTI^{3D} räumlich um 30km über die Schweizer Landesgrenze hinweg mittels Höhendaten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) erweitert. Das SRTM-Höhenmodell liegt in einer räumlichen Auflösung von 30m vor (Farr et al., 2007). Die räumliche Erweiterung ist notwendig, um Artefakte in den Terrainattributen im Bereich der Schweizer Landesgrenze zu minimieren (Abb. 2).

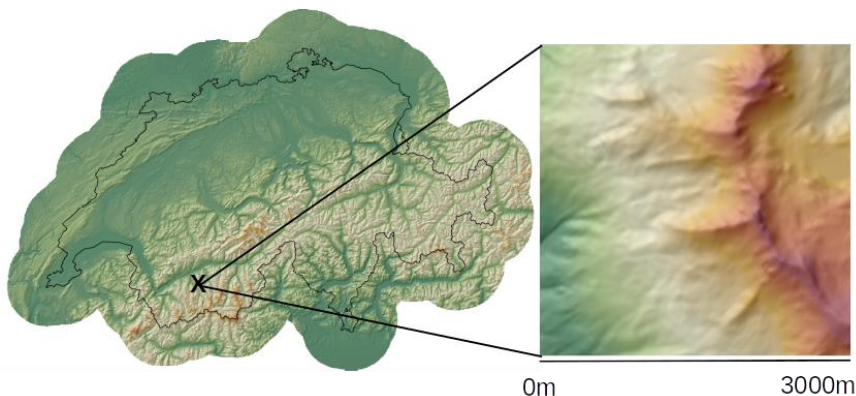


Abb. 2: Höhenmodell swissALTI^{3D} mit 30km-SRTM-Erweiterung über die Schweizer Landesgrenze hinweg (links) und beispielhaftem Zoom-In-Geländeausschnitt (rechts).

In Übereinstimmung mit Behrens et al. (2018b) wurde das Höhenmodell stufenweise zu mehreren Versionen mit zunehmend größerer räumlicher Auflösung skaliert. Die verschiedenen Skalenstufen basieren auf Rasterzellengrößen von 5m, 10m, 20m, 40m, 80m, 160m, 320m, 640m, 1280m, 2560m und 5120m. Bodenrelevante Terrainattribute (Tabelle 1) wurden für jede Skalenstufe abgeleitet und anschliessend wieder auf die originale Rasterzellengröße skaliert.

Tabelle 1: Liste an Terrainattributen für digitale Bodenkartierungen (nicht abschliessend).

Attribut	Beschreibung	Referenz
DEM	Elevation (a.s.l): Höhe über Meeresspiegel	SwissTopo, 2020
CUgen	General curvature: Kombinierte Krümmung	Zevenbergen & Thorne, 1987
CUplan	Plan curvature: Krümmung entlang Höhenlinie	Zevenbergen & Thorne, 1987
CUprof	Profile curvature: Krümmung entlang steilster Hangneigung	Zevenbergen & Thorne, 1987
NO	Northness: $\cos(\text{aspect in radians})$	Behrens et al., 2018a
EA	Eastness: $\sin(\text{aspect in radians})$	Behrens et al., 2018a
SL	Slope: Hangneigung	Zevenbergen & Thorne, 1987
FLA	Flow accumulation, log10: Abflussakkumulation	Qin et al., 2011
TPI	Topographic position index: Höhe im Vergleich zur Umgebung	Guisan et al., 1999
TRI	Terrain ruggedness index: Mittlere Höhendifferenz zur Umgebung	Riley et al., 1999
LHAC	Local height above channel: Höhe über Tiefenlinie	Olaya, 2004

Eine Auswahl an Terrainattributen in den beispielhaften Skalenstufen 5m, 40m und 160m ist in Abbildung 3 und 4 ersichtlich.

Abb. 3: Terrainattribute Local Height Above Channel (LHAC), Plan Curvature (CUplan) und Profile Curvature (CUprof), exemplarisch in den Skalenstufen 5m, 40m und 160m.

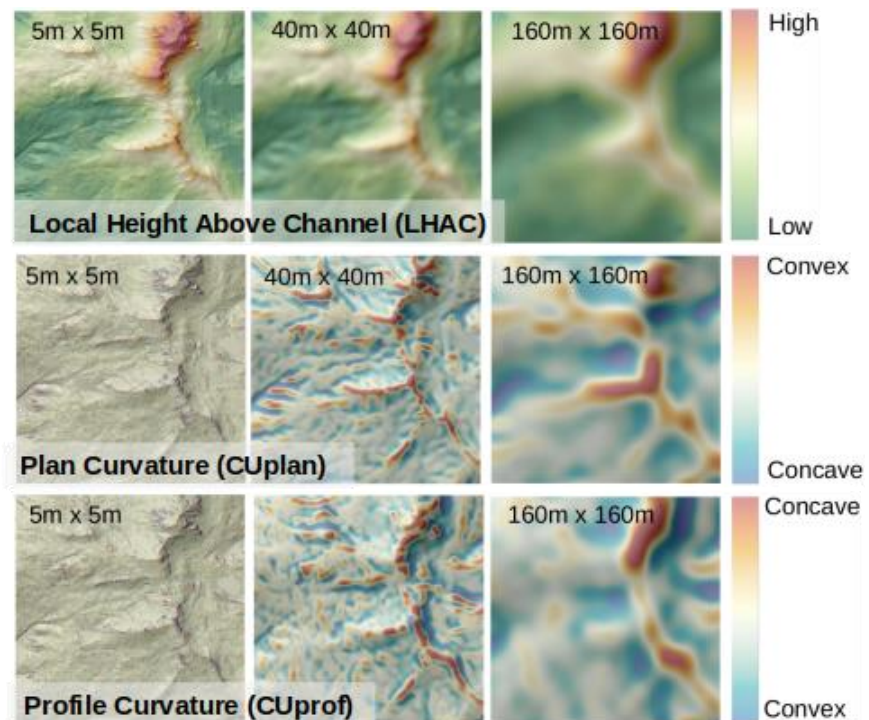
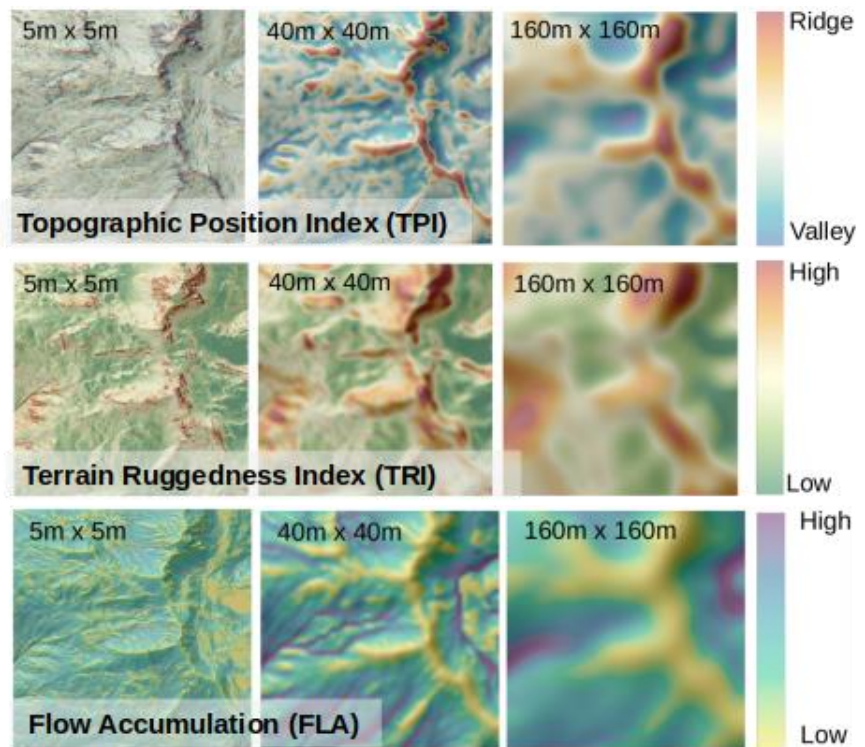


Abb. 4: Terrainattribute
Terrainattribute
Topographic Position
Index (TPI), Terrain
Ruggedness Index (TRI)
und Flow Accumulation
(FLA), exemplarisch in
den Skalenstufen 5m,
40m und 160m.



3 Landnutzung: Spektrale Zeitreihen

Hintergrund

Landnutzung und Landnutzungswandel sind entscheidende Bestimmungsfaktoren für Bodenprozesse und -eigenschaften. Demnach beeinflusst die Landnutzung wesentliche Ausprägungen der Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe und verändert dabei Bodenbiologie und Bodenphysik (De Vries et al., 2013). Landnutzungswandel steht in engem Zusammenhang mit Veränderungen von Bodeneigenschaften, wie z.B. Anteil der organischen Substanz, Raumgewicht und Wasserspeicherkapazität (Haghighi et al., 2010; Stumpf et al., 2018). Folglich ist die räumliche Beschreibung von Landnutzung und Landnutzungswandel im Rahmen einer digitalen Bodenkartierung eine bedeutende Komponente. Dabei sind Methoden der satellitenbasierten Fernerkundung, in Kombination mit zunehmender Datenverfügbarkeit und Rechenkapazitäten, eine effiziente Möglichkeit für Landnutzungskartierungen in Zeit und Raum (Hansen and Loveland, 2012).

Methode und Beispiele

Datengrundlage für die zeitlich-räumliche Landnutzungsanalyse sind spektrale Zeitreihen basierend auf Sentinel- und Landsat-Satellitenbildern verschiedener Sensoren (Sentinel 2 MSI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI; Tabelle 2). Die Kombination der Sensoren ermöglicht durchgehende Zeitreihen seit 1985 (USGS, 2020).

Tabelle 2: Spektrale und räumliche Auflösung, sowie Betriebsperiode der Sentinel- und Landsat-Spektralsensoren.

	Sentinel 2	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
Betrieb [a]	seit 2017	1984 - 2013	seit 1999	seit 2013
Auflösung [m]	10-20	30	30	30
BLUE [μm]	0.46 - 0.52	0.45 - 0.52	0.45 - 0.52	0.45 - 0.51
Green [μm]	0.54 - 0.58	0.52- 0.60	0.52- 0.60	0.53- 0.59
RED [μm]	0.65 - 0.68	0.63 - 0.69	0.63 - 0.69	0.64- 0.67
RED Edge 1 [μm]	0.69 - 0.71	-	-	-
RED Edge 2 [μm]	0.73 - 0.75	-	-	-
RED Edge 3 [μm]	0.77 - 0.79	-	-	-
NIR [μm]	0.79 - 0.90	0.77 - 0.90	0.77 - 0.90	0.85 - 0.88
NIR Narrow [μm]	0.86 - 0.88	-	-	-
SWIR1 [μm]	1.57 - 1.66	1.55- 1.75	1.55- 1.75	1.57 - 1.65
SWIR2 [μm]	2.10 - 2.28	2.08 - 2.35	2.08 - 2.35	2.11 - 2.29

Sentinel erfasst im Intervall von 5 Tagen 10 Spektralbänder, die relevant für räumliche Landnutzungsanalysen sind; die räumliche Auflösung beträgt 10m bis 20m. Jeder der Landsatsensoren zeichnet im Intervall von 16 Tagen sechs Spektralbänder in einer räumlichen Auflösung von 30m auf. Aufgrund eines zeitlichen Versatzes im Überflug der Landsatsatelliten sind theoretisch Landsat-Spektraldaten im Intervall von 8-10 Tagen an jedem Punkt der Erdoberfläche verfügbar. Die tatsächliche zeitliche Auflösung der Sentinel- und Landsatdaten ist abhängig von atmosphärischen Bedingungen wie z.B. Wolkenbedeckung, Nebel und Aerosole. Um nahezu landesweit flächendeckende Zeitreihen an Spektralbildern zu generieren, wurden die Landsatdaten im ein-Jahres-Intervall aggregiert und über die Fläche mosaikiert. Eine Reduzierung des Aggregationszeitraums und eine damit verbundene erhöhte zeitliche

Auflösung der Zeitreihe, ist einhergehend mit einer Verringerung der räumlichen Abdeckung. Die generierte Zeitreihe an jährlichen Spektralbildern deckt die Fläche der Schweiz zu durchschnittlich 98% ab (Abb. 5).

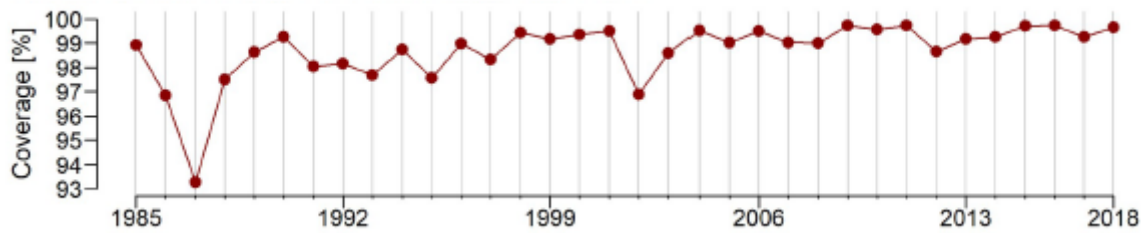


Abb. 5: Räumliche Abdeckung der Schweiz von jährlich aggregierten Landsat-Spektraldaten basierend auf Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ und Landsat 8 OLI für den Zeitraum 1985-2018.

Die spektralen Landsat-Rohdaten wurden mittels LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System; Schmidt et al., 2013), einem standardisierten Verfahren zur Korrektur atmosphärischer Störungen, zu spektraler Oberflächenreflektion konvertiert. Weiterhin wurden fehlerhafte Sensordaten auf Basis unsicherer Wertebereiche in den Bändern identifiziert und entfernt. Zudem zeigt die spektrale Auflösung der Landsat-8-Daten geringfügige Abweichungen zu den Landsat-5- und Landsat-7-Daten (Tabelle 2). Diese Abweichungen wurden mittels einer Regressionsanalyse bereinigt (Stumpf et al., 2018; Stumpf et al., 2020)

Durch Kombination einzelner Spektralbänder lassen sich ökologisch interpretierbare Indizes berechnen und somit Landnutzung und Landnutzungswandel im Rahmen ökologischer Fragestellungen behandeln (Tabelle 3; Abb. 6).

Tabelle 3: Liste an spektralen Indizes für digitale Bodenkartierungen (nicht abschliessend).

	Beschreibung	Berechnung	Referenz
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index: z.B. Biomasse	$NIR-RED/NIR+RED$	Rouse et al., 1974
NDMI	Normalized Difference Moisture Index: Feuchte	$NIR-SWIR1/NIR+SWIR1$	Jin & Sader, 2005
NCI	Normalized Canopy Index: Vegetationsfläche	$SWIR1-GREEN/SWIR1+GREEN$	Vescovo & Gianelle, 2008
NBR	Normalized Burn Ratio: z.B. unbedeckter Boden	$NIR-SWIR2/NIR+SWIR2$	Key & Benson, 1995

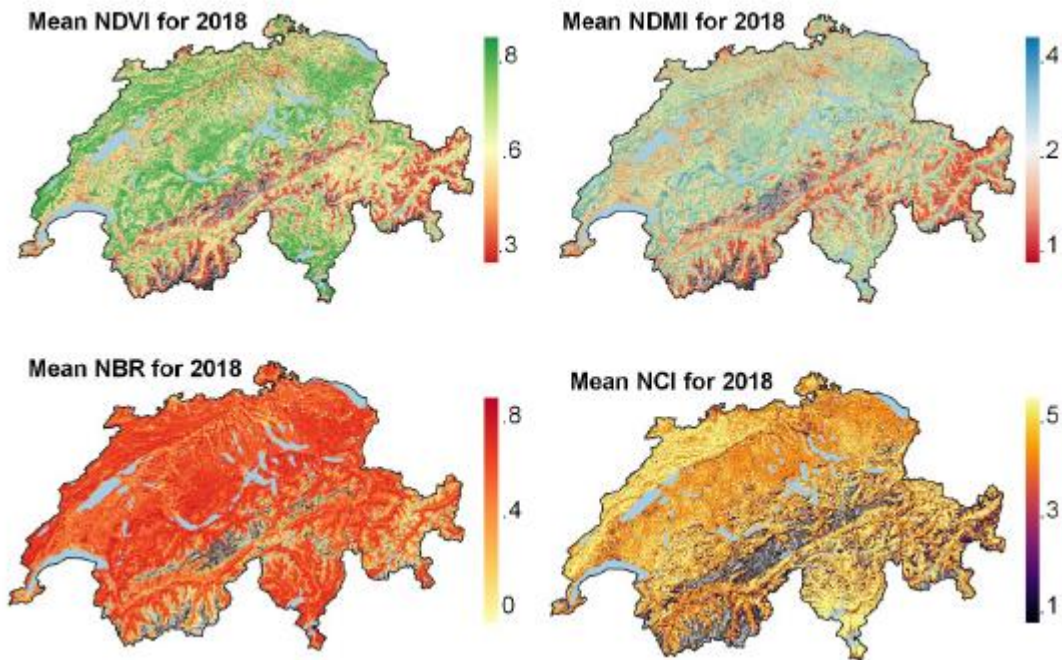


Abb. 6: Auswahl spektraler Indizes als Mittelwert für das Jahr 2018 zur Beschreibung des Vegetationszustandes und der Oberflächenfeuchte (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; NDMI: Normalized Difference Moisture Index; NBR: Normalized Burn Ratio; NCI: Normalized Canopy Index).

Abhängig von der Fragestellung bestehen verschiedene Möglichkeiten spektrale Zeitreihen zu aggregieren (Stumpf et al., 2020). Abbildung 7 verdeutlicht am Beispiel des mittleren Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) aus 34 Jahren und den zugrundeliegenden mittleren jährlichen NDVI-Zeitreihen an ausgewählten Standorten die Variabilität der Datenaufbereitung.

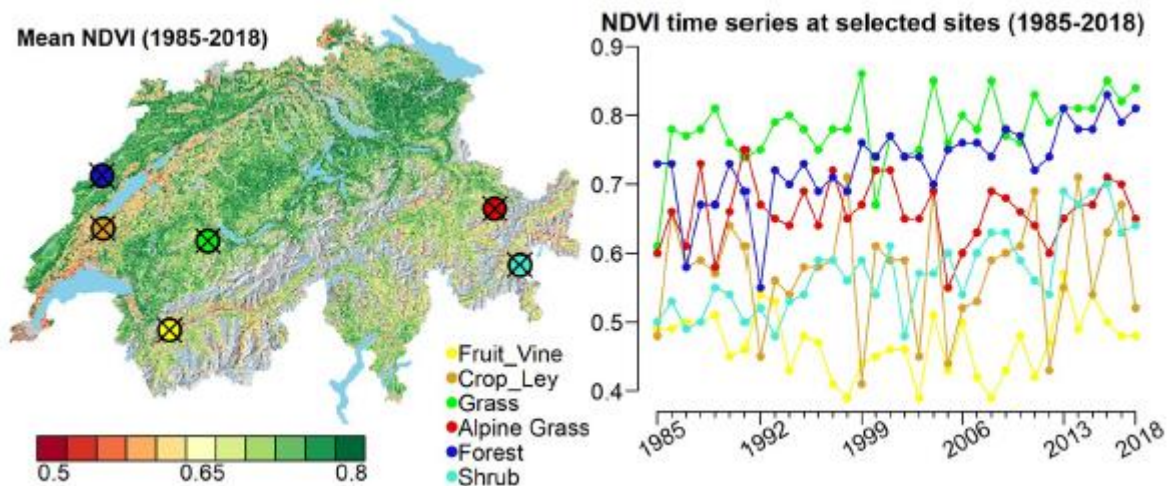


Abb. 7: Mittlerer Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) für die Schweiz (links) und mittlerer jährliche NDVI-Zeitreihen an ausgewählten Standorten für den Zeitraum 1985 bis 2018.

4 Referenzen

- Behrens T., Scholten T., 2006. Digital soil mapping in Germany – a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 434–443.
- Behrens T., Zhu AX., Schmidt K., Scholten T., 2010a: Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. *Geoderma* 155, 175-185.
- Behrens T., Schmidt K., Zhu AX, Scholten T., 2010b: The ConMap approach for terrain-based digital soil mapping. *European Journal of Soil Science* 61, 133-143.
- Behrens T., Schmidt K., MacMillan RA., Viscarra Rossel RA., 2018a: Multiscale contextual spatial modelling with the Gaussian scale space. *Geoderma* 310, 128-137.
- Behrens T., Schmidt K., MacMillan RA., Viscarra Rossel RA., 2018b: Multiscale digital soil mapping with deep learning. *Scientific Reports* 8, 15244.
- De Vries FT., Thebault E., Liiri M., Birkhofer K., et al., 2013: Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *PNAS* 35, 14296-14301.
- Farr TG., Rosen PA., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., et al., 2007: The Shuttle Radar Topographic Mission. *Review of Geophysics* 45, RG2004.
- Guisan A., Weiss SB., Weiss AD., 1999: GLM versus CCA spatial modeling of plant distribution. *Plant Ecology* 143, 107-122.
- Haghighi F., Gorji M., Shorafa M., 2010: A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land degradation and development* 21, 496-502.
- Hansen MC., Loveland TR., 2012: A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 122, 66-74.
- Jenny H., 1941: *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. McGraw-Hill, New York.
- Jin S., Sader SA., 2005: Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of the Environment* 94, 364-372.
- Kempen B., Brus DJ., Stoorvogel JJ., Heuvelink GBM., De Vries F., 2012. Efficiency comparison of conventional and digital soil mapping for updating soil maps. *Soil Science Society of America Journal* 76, 2097–2115.
- Key CH., Benson NC., 1999: Measuring and remote sensing of burn severity. *Proceedings Joint Fire Science Conference, Vol. II (p. 284), Moscow*.
- McBratney AB., Mendonça-Santos ML., Minasny B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3–52.
- Olaya V., 2004: A gentle introduction to SAGA GIS – Edition 1.1. <https://www.saga-gis.org>.
- Qin CZ., Zhu AX., Pei T., Li B., Scholten T., Behrens T., Zhou CH., 2011: An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture* 12, 32-43.
- Riley SJ., De Gloria SD, Elliot R., 1999 : A terrain ruggedness that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Science* 5, 23-27.

- Rouse JW., Haas RH., Schell JA., Deering DW., 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-Symposium, Washington D.C. 1973.
- Schmidt G., Jenkerson C., Masek J., Vermote E., Gao F., 2013: Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description. US Geological Survey. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20131057>.
- Stumpf F., Schmidt K., Goebes P., Behrens T., Schönbrodt-Stitt S., Wadoux A., Xiang W., Scholten, T., 2017. Uncertainty-guided sampling to improve digital soil maps. *Catena* 153, 30–38.
- Stumpf F., Keller A., Schmidt K., Mayr A., Gubler A., Schaepman M., 2018: Spatio-temporal land use dynamics and soil organic carbon in Swiss agroecosystems. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 258, 129-142.
- Stumpf F., Keller A., Schneider M., Mayr A., Rentschler T., Meuli RG., Schaepman M., Liebisch F., 2020: Spatial monitoring of grassland management using multi-temporal satellite imagery. *Ecological Indicators* 113, 106201.
- Swisstopo, 2020: Bundesamt für Landestopographie, Schweiz: https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/height_models/alti3D.
- USGS, 2019: U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>.
- Vescovo L., Gianelle D., 2008: Using the MIR bands in vegetation indices for the estimation of grassland biophysical parameters from satellite remote sensing in the Alps region of Trentino (Italy). *Advances in Space Research* 41, 1764-1772.
- Viscarra Rossel R., Chen C., Grundy M., Searle R., Clifford D., Campbell P., 2015. The Australian three-dimensional soil grid: Australia`s contribution to the GlobalSoilMap project. *Soil Research* 53, 845–864.
- Zevenbergen LW., Thorne CR., 1987: Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes Landforms* 12, 47-56.