

Neue Methoden in der Bodenkartierung – Pilotprojekt Lommis

Anhang B

Schweizweit engagiert
für eine wertvolle Ressource

Inhalt Anhang B

1. Auswertungen und Produkte	1
1.1 Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010)	2
1.2 Bindungsvermögen für Schwermetalle nach DVWK (1988)	7
1.3 Nährstoffrückhalt gegenüber Sicker- und Abschwemmverlusten nach Jäggli et al. (1998)	11
1.4 Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt nach Danner et al. (2003)	23
1.5 Kohlenstoffanreicherungspotenzial nach Johannes et al. (2017)	34
1.6 Kühlpotenzial nach Feldwisch (2016)	38
1.7 Kalkdüngungsbedarf nach VDLUFA (2000)	44
1.8 Kalkungsbedarf nach Flisch et al. (2017)	51
1.9 Korrekturfaktor Boden bei der Stickstoff-Normdüngung nach Sinaj et al. (2017)	54
1.10 Regulierungsfunktion Nährstoffverfügbarkeit nach Lehmann et al. (2013)	58
1.11 Stickstoffnachlieferungspotenzial nach Flisch et al. (2017)	62
1.12 Feuchtstandortpotenzial nach Vögeli et al. (2022)	65
1.13 Lebensraumfunktion für Mikroorganismen nach Oberholzer und Scheid (2007)	73
1.14 Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften nach Siemer et al. (2014)	77
1.15 Trockenstandortpotenzial nach Lienhard und Merkel (2002)	83
1.16 Bodenqualitätsindex nach Angelini et al. (2023)	90
1.17 Bodenqualitätsindex nach Engel und Stadtmann (2020)	97
1.18 Bodenqualitätsindex nach Hilbert et al. (2021)	104
1.19 Bodenqualitätsindex nach Knoll et al. (2010)	111
1.20 Bodenqualitätsindex nach Miller et al. (2022)	119
1.21 Landwirtschaftliche Nutzungseignung NEK-2023 nach Greiner et al. (2023)	126
1.22 Bewässerungseignung nach Presler und Bagnoud (2013)	132
1.23 Potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit nach Müller et al. (2012)	140
1.24 Säurestatus nach Zimmermann et al. (2011)	157

1. Auswertungen und Produkte

Im Folgenden ist eine Methodendokumentation inklusive Darstellung der entsprechenden Themenkarte für alle im Rahmen des Pilotprojekts entworfenen Karten verfügbar. Tabelle 1 enthält eine Übersicht über alle Themenkarten.

Tabelle 1: Themenkarten im Pilotprojekt Lommis. Geordnet nach Themengebiet.

Themenkarte	Quelle	Themengebiet	Seite
Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe	Bechler und Toth 2010	Gewässer- und Grundwasserschutz	Seite 2
Bindungsvermögen für Schwermetalle	DVWK 1988	Gewässer- und Grundwasserschutz	Seite 7
Nährstoffrückhalt gegenüber Sicker- und Abschwemmverlusten	Jäggli et al. 1998	Gewässer- und Grundwasserschutz	Seite 11
Regulierungsfunktion Wasserhaushalt	Danner et al. 2003	Hochwasserschutz	Seite 23
Kohlenstoffanreicherungsspotenzial	Johannes et al. 2017	Klimaschutz	Seite 34
Kohlenstoffvorrat	Keller et al. 2023	Klimaschutz	Seite 34
Kühlpotenzial	Feldwisch 2016	Klimaschutz	Seite 38
Kalkdüngungsbedarf	VDLUFA 2000	Landwirtschaft	Seite 44
Kalkungsbedarf	Flisch et al. 2017	Landwirtschaft	Seite 51
Korrekturfaktor Boden bei der Stickstoff-Normdüngung	Sinaj et al. 2018	Landwirtschaft	Seite 54
Regulierungsfunktion Nährstoffverfügbarkeit	Lehmann et al. 2013	Landwirtschaft	Seite 58
Stickstoffnachlieferungspotenzial	Flisch et al. 2017	Landwirtschaft	Seite 62
Feuchtstandortpotenzial	Vögeli et al. 2022	Naturschutz	Seite 65
Lebensraumfunktion für Mikroorganismen	Oberholzer und Scheid 2007	Naturschutz	Seite 73
Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften	Siemer et al. 2014	Naturschutz	Seite 77
Trockenstandortpotenzial	Lienhard und Merkel 2002	Naturschutz	Seite 83
Bodenqualitätsindex	Angelini et al. 2023	Raumplanung	Seite 90
Bodenqualitätsindex	Engel und Stadtmann 2020	Raumplanung	Seite 97
Bodenqualitätsindex	Hilbert et al. 2021	Raumplanung	Seite 104
Bodenqualitätsindex	Knoll et al. 2010	Raumplanung	Seite 111
Bodenqualitätsindex	Miller et al. 2022	Raumplanung	Seite 119
Landwirtschaftliche Nutzungseignung NEK-2023	Greiner et al. 2023	Raumplanung	Seite 126
Bewässerungseignung	Pressler und Bagnoud 2013	Trockenheit	Seite 132
Potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit	Müller et al. 2012	Trockenheit	Seite 140
Säurestatus	Zimmermann et al. 2011	Wald und Forst	Seite 157

1.1 Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010)

Produktname	Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010)
Quelle	Bechler KH, Thot O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
Beschrieb	Die Methode bewertet, wie gut ein Boden Schadstoffe und Säuren binden und abbauen kann. Dabei werden in der Bewertung ausschliesslich verschiedene Bodeneigenschaften und ihr Einfluss auf die Bindung, Pufferung und den Abbau von Schadstoffen und Säuren berücksichtigt.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Ton (%) _ Humus (%) _ Skelett (Vol.-%) _ pH (-) _ Lagerungsdichte Feinerde (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> _ Obergrenze Untergrund (cm) _ Obergrenze gg- oder r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsrößen	-
Ergebnis	Das Ergebnis wird in fünf Klassen angegeben: 1 - sehr tiefes Bindungs- und Abbauvermögen 2 - tiefes Bindungs- und Abbauvermögen 3 - mittleres Bindungs- und Abbauvermögen 4 - hohes Bindungs- und Abbauvermögen 5 - sehr hohes Bindungs- und Abbauvermögen
Anwendungs- bereich	Landwirtschaftsflächen, Wald und Siedlungsflächen. Bewertung für organische Böden nicht geeignet.

Grafischer Überblick

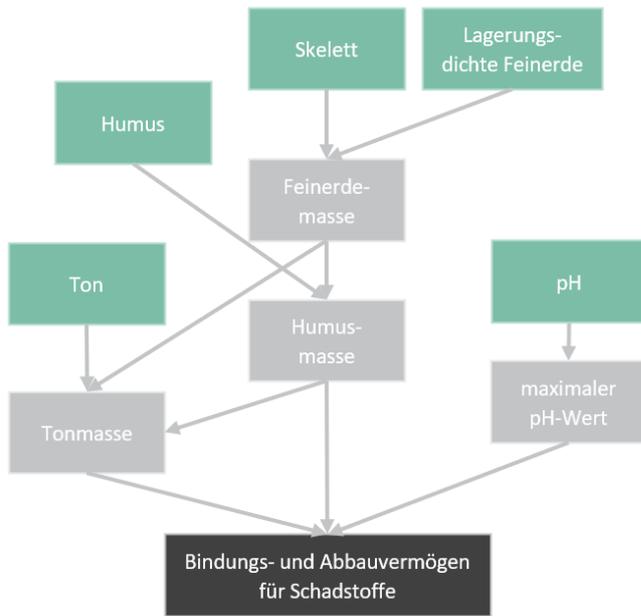


Abbildung 1: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Bindungs- und Abbauvermögens für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

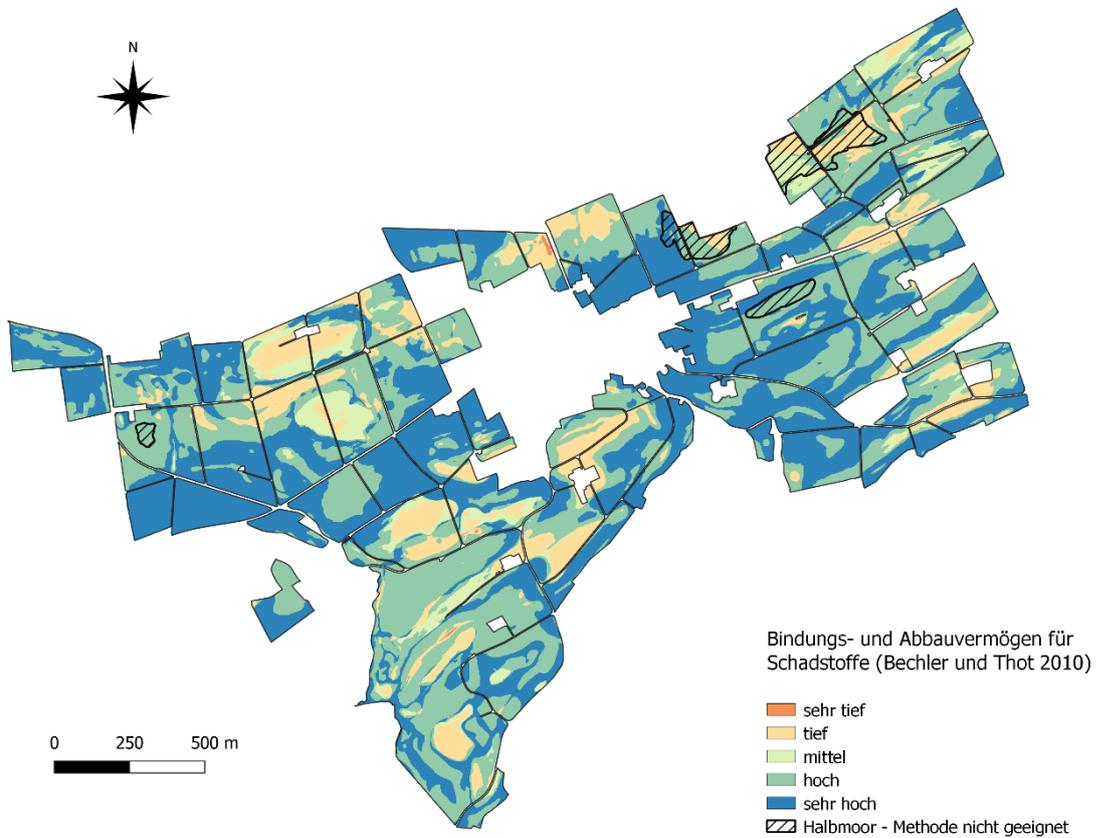


Abbildung 2: Anwendung der Methode zur Berechnung des Bindungs- und Abbauvermögens für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Bechler und Toth (2010) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in einer Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Feinerdemasse bestimmen

Bis zur Obergrenze des ersten Untergrundhorizonts oder bis zum ersten gg- oder r-Horizont, falls dieser näher an der Bodenoberfläche liegt, wird die Ton- und Humusmasse in kg/m² pro Rasterpunkt berechnet. Dazu wird als erstes die Feinerdemasse je Bodenschicht (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) bestimmt:

*Feinerdemasse (kg/m²) = Tiefe der Bodenschicht (cm) * Lagerungsdichte Feinerde der Bodenschicht (g/cm³) * (1- (Skelettgehalt der Bodenschicht (Vol.-%) /100) *10*

2. Ton- und Humusmasse je Bodenschicht bestimmen

Anschliessend wird die Humus- und Tonmasse je Bodenschicht berechnet:

*Humusmasse (kg/m²) = Feinerdemasse (kg/m²) * Humusgehalt (%) /100*

Mineralische Feinerdemasse (kg/m²) = Feinerdemasse (kg/m²) - Humusmasse (kg/m²)

*Tonmasse (kg/m²) = Mineralische Feinerdemasse (kg/m²) * Tongehalt (%) /100*

3. Ton- und Humusmasse für die Bewertungstiefe bestimmen

Die Ton- und Humusmassen werden bis zu einer Tiefe von 90 cm addiert, außer es gibt einen Untergrund- oder hydromorphen Horizont (gg oder r) in dieser Tiefe. In diesem Fall wird bis zum obersten Punkt dieser Horizonte addiert. Vollständige Bodenschichten werden komplett, teilweise enthaltene anteilig summiert.

4. Maximalen pH bestimmen

Über alle Bodenschichten wird der maximale pH bestimmt.

5. Bewertungstabelle anwenden

Anhand vom maximalem pH und der Ton- und der Humusmasse in der folgenden Bewertungstiefe wird der Boden bewertet, siehe Tabelle 2. Je höher der pH und die Ton- und Humusmasse, desto grösser das Bindungspotenzial für Schadstoffe und Säuren.

Tabelle 2: Bewertungstabelle zum Bindungspotenzial.

Humusmasse (kg/m ²) (grösser als)	Humusmasse (kg/m ²) (kleiner gleich)	Tonmasse (kg/m ²) (grösser als)	Tonmasse (kg/m ²) (kleiner gleich)	pH _{max} (grösser als)	pH _{max} (kleiner gleich)	Bewertungs- klasse
0	14	0	65	0	5.3	1
14	18	0	65	0	5.3	1
18	∞	0	65	0	5.3	1
0	14	65	134	0	5.3	1
14	18	65	134	0	5.3	1
18	∞	65	134	0	5.3	1
0	14	134	∞	0	5.3	1
14	18	134	∞	0	5.3	1
18	∞	134	∞	0	5.3	3
0	14	0	65	5.3	6.1	1
14	18	0	65	5.3	6.1	1
18	∞	0	65	5.3	6.1	1
0	14	65	134	5.3	6.1	1
14	18	65	134	5.3	6.1	1
18	∞	65	134	5.3	6.1	2
0	14	134	∞	5.3	6.1	3
14	18	134	∞	5.3	6.1	3
18	∞	134	∞	5.3	6.1	3
0	14	0	65	6.1	7.2	1
14	18	0	65	6.1	7.2	1
18	∞	0	65	6.1	7.2	2
0	14	65	134	6.1	7.2	2
14	18	65	134	6.1	7.2	3
18	∞	65	134	6.1	7.2	3
0	14	134	∞	6.1	7.2	3
14	18	134	∞	6.1	7.2	4
18	∞	134	∞	6.1	7.2	4
0	14	0	65	7.2	14	2
14	18	0	65	7.2	14	3
18	∞	0	65	7.2	14	3
0	14	65	134	7.2	14	3
14	18	65	134	7.2	14	4
18	∞	65	134	7.2	14	4
0	14	134	∞	7.2	14	4
14	18	134	∞	7.2	14	5
18	∞	134	∞	7.2	14	5

Unterschiede zur Originalmethode

In der Originalmethode von Bechler und Toth (2010) wird das Ergebnis in einer Skala von 0 (keine Funktionserfüllung, weil versiegelte Fläche), über 1 (geringe Funktionserfüllung) bis zu 4 (sehr hohe Funktionserfüllung) angegeben. Dies wurde hier auf eine Klassierung von 1 bis 5 angepasst.

Literatur

- Bechler K, Toth O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.

1.2 Bindungsvermögen für Schwermetalle nach DVWK (1988)

Produktname	Bindungsvermögen für Schwermetalle nach DVWK (1988)
Quelle	DVWK, 1988. Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft.
Beschrieb	Düngemittel und Pestizide können Spuren von Cadmium, Kupfer und Zink enthalten. Die Methode nach DVWK (1988) bewertet die Fähigkeit des Oberbodens (0-30 cm), diese Schwermetallionen (Cd, Cu, Zn) festzulegen, auszufällen oder umzuformen, so dass sie nicht von Pflanzen <i>«in für Mensch und Tier schädlicher Konzentration aufgenommen [werden], nicht nennenswert auf Bodenorganismen wirken oder in Grund- und Oberflächenwasser»</i> (DVWK 1988) ausgewaschen werden können.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Humus (%) - pH (-)
Weitere Eingangsrößen	-
Ergebnis	Das Ergebnis wird in fünf Klassen angegeben: 1 - sehr tiefes Bindungsvermögen 2 - tiefes Bindungsvermögen 3 - mittleres Bindungsvermögen 4 - hohes Bindungsvermögen 5 - sehr hohes Bindungsvermögen
Anwendungs- bereich	Böden mit geringer Vorbelastung. Nicht geeignet für organischen Böden.

Grafischer Überblick

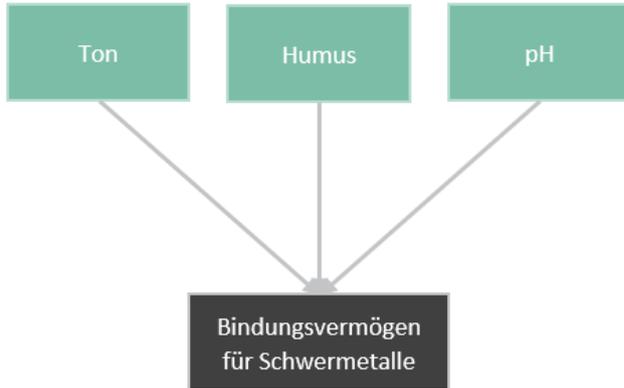


Abbildung 3: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Bindungsvermögens für Schwermetalle nach DVWK (1988). Grün: Eingangsgrößen Boden, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

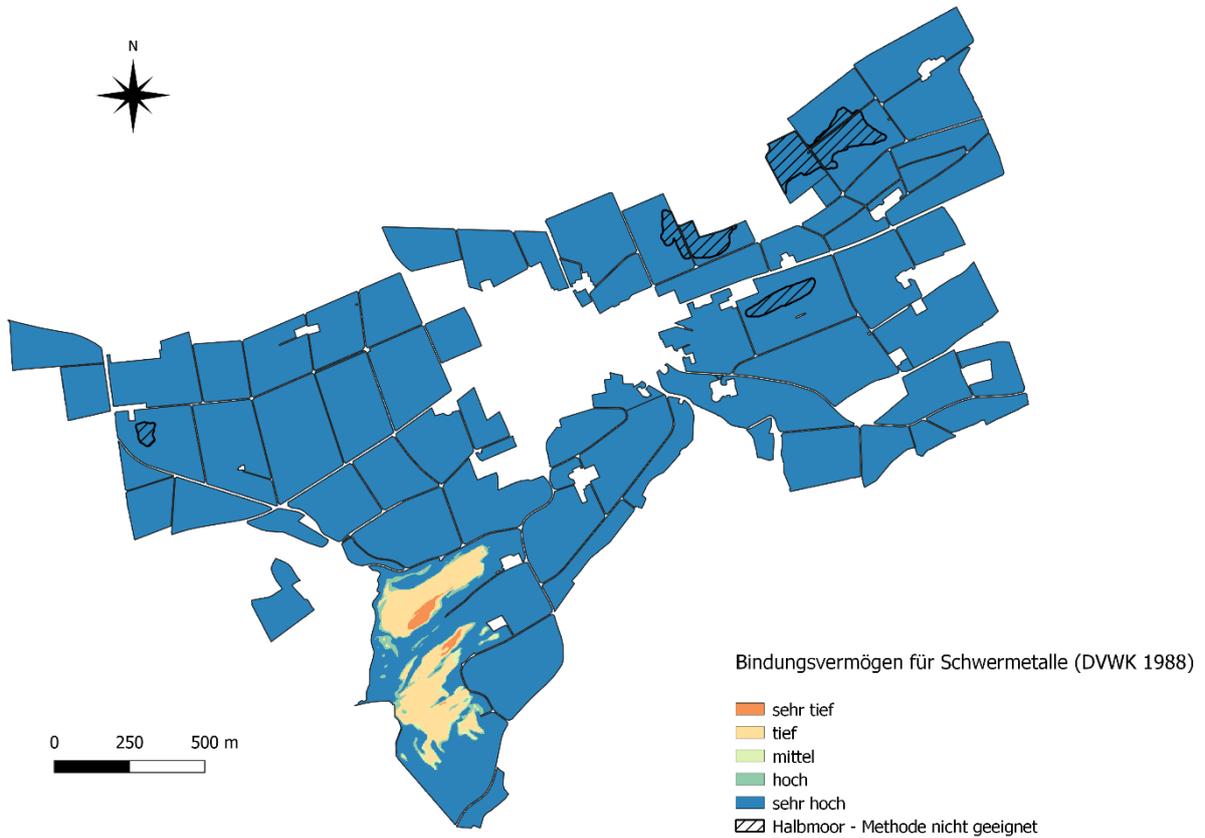


Abbildung 4: Anwendung der Methode zur Berechnung des Bindungsvermögens für Schwermetalle nach DVWK (1988) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von DVWK (1988) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten sind in der Auflösung von 2x2 m vorhanden und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Der Bindungsstärke werden je Schwermetall und mittlerem pH in 0-30 cm aus Tabelle 3 Punkte zugeordnet.

Tabelle 3: Bewertungstabelle zur Bindungsstärke für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) je nach pH im Oberboden (0-30 cm)

pH von	pH bis	Punkte pH für Bindungsstärke Cd	Punkte pH für Bindungsstärke Cu	Punkte pH für Bindungsstärke Zn
1	4.1	0	1	0
4.1	4.6	0.5	1.5	1
4.6	5.1	1	2	1.5
5.1	5.3	1.5	3	2
5.3	5.5	2	4	3
5.5	5.7	3	4.5	3.5
5.7	6.1	3.5	5	4
6.1	6.6	4	5	4.5
6.6	7.2	4.5	5	5
7.2	14	5	5	5

2. Für den mittleren Humusgehalt in 0-30 cm werden Punkte je Schwermetall aus Tabelle 4 bestimmt.

Tabelle 4: Bewertungstabelle zur Bindungsstärke für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) je nach Humusgehalt im Oberboden (0-30 cm)

Humus (%) von	Humus (%) bis	Punkte Humus für Bindungsstärke Cd	Punkte Humus für Bindungsstärke Cu	Punkte Humus für Bindungsstärke Zn
0	3	0	0	0
3	5	0.5	1	0
5	7	1	1.5	0.5
7	100	1.5	2	0.5

3. Für den mittleren Tongehalt in 0-30 cm werden Punkte je Schwermetall aus Tabelle 5 bestimmt.

Tabelle 5: Bewertungstabelle zur Bindungsstärke für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) je nach Tongehalt im Oberboden (0-30 cm)

Ton (%) von	Ton (%) bis	Punkte Ton für Bindungsstärke Cd	Punkte Ton für Bindungsstärke Cu	Punkte Ton für Bindungsstärke Zn
0	14	0	0	0
14	17	0.5	0.5	0
17	22	0.5	1	0
22	28	1	1.5	0
28	100	1.5	2	0

4. Punkte zusammenzählen und in Bewertung übersetzen

Die Punkte aus Schritten 1 bis 3 werden zusammengezählt und mit Tabelle 6 in eine Bewertung übersetzt

Zusammengezählte Punkte = Punkte pH für Bindungsstärke Cd + Punkte pH für Bindungsstärke Cu + Punkte pH für Bindungsstärke Zn + Punkte Humus für Bindungsstärke Cd + Punkte Humus für Bindungsstärke Cu + Punkte Humus für Bindungsstärke Zn + Punkte Ton für Bindungsstärke Cd + Punkte Ton für Bindungsstärke Cu + Punkte Ton für Bindungsstärke Zn

Tabelle 6: Übersetzungstabelle zu den Bewertungspunkten

<i>Punkte</i>	<i>Bewertung</i>
>15	5 – sehr hohes Bindungsvermögen
12-14	4 – hohes Bindungsvermögen hoch
9-11	3 – mittleres Bindungsvermögen
6-10	2 – tiefes Bindungsvermögen
0-5	1 – sehr tiefes Bindungsvermögen

Unterschiede zur Originalmethode

- In der Originalmethode werden zusätzlich höhere Eisengehalte berücksichtigt, welche die Adsorption von Metallionen begünstigen.
- Im Unterschied zur Originalmethode werden hier die Bindungsstärken für verschiedene Schwermetalle zusammengefasst.

Literatur

- DVWK, 1988. Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch

1.3 Nährstoffrückhalt gegenüber Sicker- und Abschwemmverlusten nach Jäggli et al. (1998)

Produktname	Nährstoffrückhalt gegenüber Sicker- und Abschwemmverlusten nach Jäggli et al. (1998)
Quelle	Jäggli F, Peyer K, Pazeller A, Schwab P, 1998. Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich.
Beschrieb	Nährstoffe können vom Boden zurückgehalten werden, so dass sie nicht mit dem Oberflächenabfluss oder durch Versickerung ins Grundwasser oder in nahe Gewässer gelangen. Der Boden reguliert den Nährstoffrückhalt über zwei Aspekte: 1) Je nach Bodeneigenschaften ist Oberflächenabfluss bei Niederschlagsereignissen wahrscheinlicher. 2) Je nach Bodeneigenschaften können Nährstoffe vor der Auswaschung ins Grundwasser zurückgehalten werden. Die Methode berücksichtigt neben Bodeneigenschaften auch das Terrain, den geologischen Untergrund und die klimatischen Gegebenheiten.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Ton (%) _ Schluff (%) _ Raumgewicht Feinerde (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> _ Pflanzennutzbare Gründigkeit (cm) _ Nässegrad aus Untertypen I, G, R (19 Kategorien) _ Bodentyp (M, N)
Weitere Eingangsrößen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> _ Hangneigung (%) Klima <ul style="list-style-type: none"> _ Klimaeignungsklasse (20 Kategorien) Geologie <ul style="list-style-type: none"> _ Lockergestein (ja/nein)
Ergebnis	Das Ergebnis wird in fünf Klassen angegeben: 1 - sehr tiefes Nährstoffrückhaltevermögen 2 - tiefes Nährstoffrückhaltevermögen 3 - mittleres Nährstoffrückhaltevermögen 4 - hohes Nährstoffrückhaltevermögen 5 - sehr hohes Nährstoffrückhaltevermögen
Anwendungsbereich	Landwirtschaftsgebiet. Die Methode ist für Gebiete mit sehr kurzer Vegetationsdauer, sehr trockenen oder sehr unausgeglichenen Niederschlagsverhältnissen nicht geeignet.

Grafischer Überblick

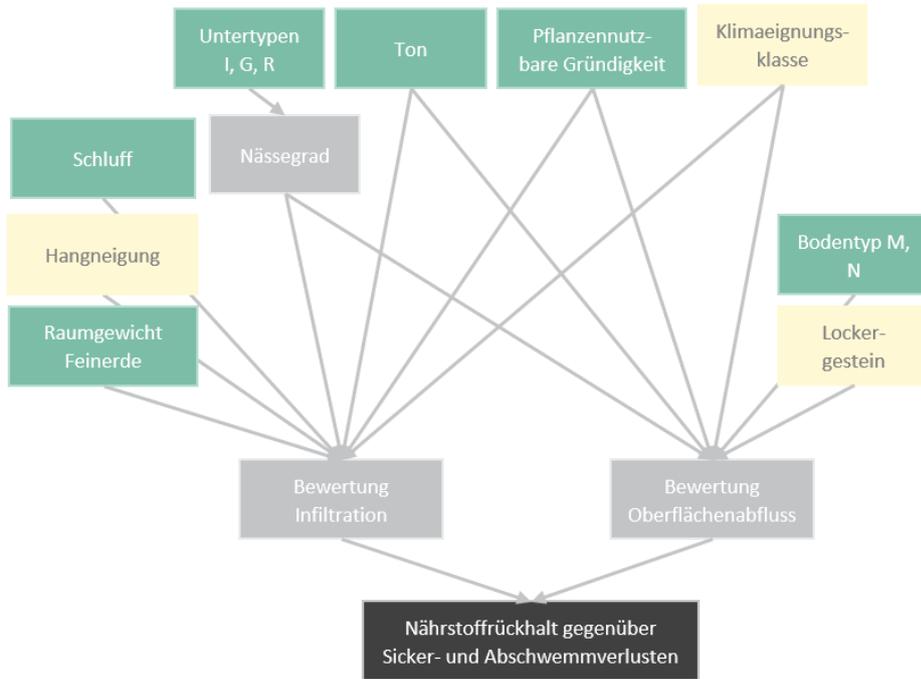


Abbildung 5: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Nährstoffrückhalts nach Jäggli et al. (1998). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

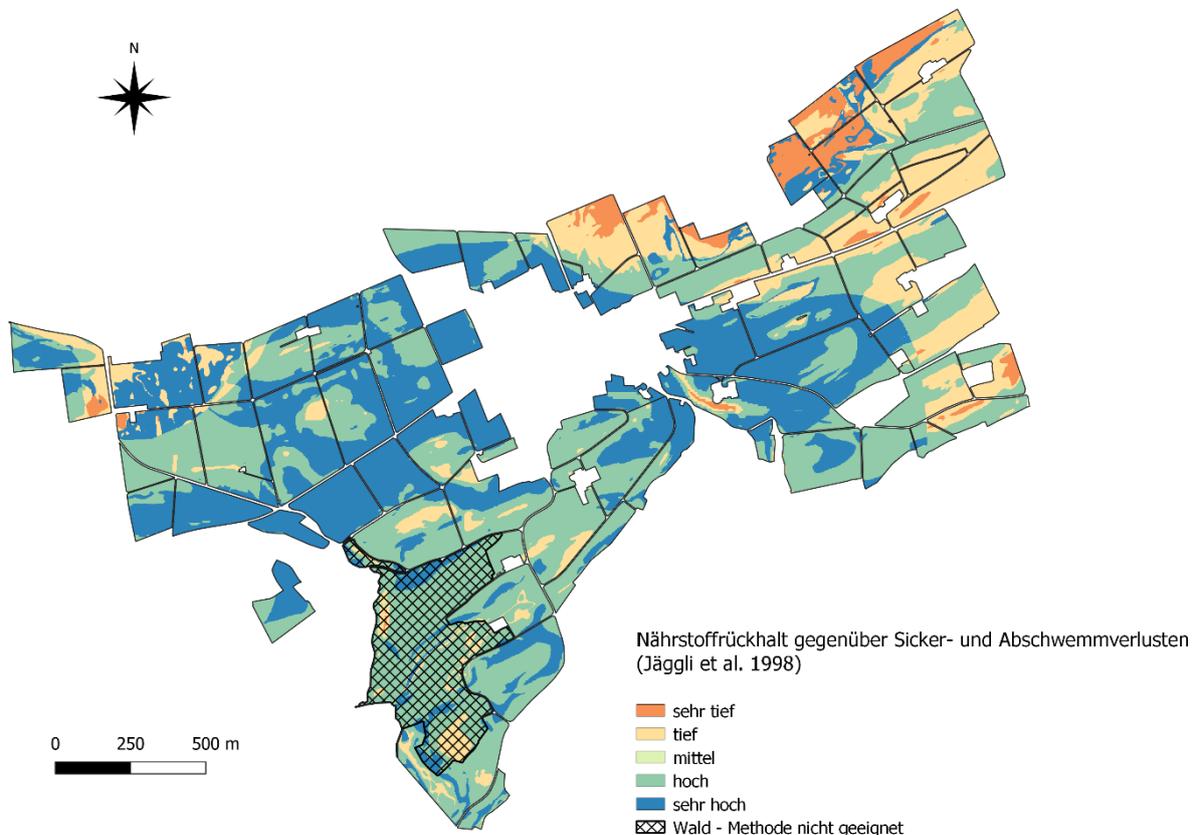


Abbildung 6: Anwendung der Methode zur Berechnung des Nährstoffrückhalts nach Jäggli et al. (1998) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Jäggli et al. (1998) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten sind in der Auflösung von 2x2 m vorhanden und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karte zur Hangneigung wurde aus dem digitalen Höhenmodell SwissAlti3d abgeleitet (Behrens et al. 2023). Die Karte lag im 8x8 m Raster vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (%)

Klima: Die Klimaeignungskarte (Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis skaliert.

Geologie: Die Lockergesteinskarte basiert auf der Geologischen Karte der Schweiz im Massstab 1:500'000 (Swisstopo 2005). Die Lockergesteinspolygone wurden auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis skaliert.

1. Zuordnen der Klimaeignungsklassen zu den Nutzungsgebieten

Klimaeignungsklassen A2, A3, B2, B3 → Nutzungsgebiet 1

Klimaeignungsklassen A4, B4, C1-4 → Nutzungsgebiet 2

Klimaeignungsklassen A5, B5, C5-6, D1-4 → Nutzungsgebiet 3

Klimaeignungsklassen D5-6, E1-3, E4-6, F → Nutzungsgebiet 4

Für die anderen Klimaeignungsklassen (G, H, A6) ist die Methode nicht ausgelegt.

2. Zuordnen der Untertypen zu den Nässegraden nach Tabelle 7

Tabelle 7: Untertypen I, G und R zu Nässegraden zuordnen

Untertypen I, G, R	Nässegrad
Kein Untertyp I, G oder R, oder I1, I2, G1, G2, G3, R1	1 – normal durchlässig
I3, I4, G4	2 – leicht vernässt
G5, G6, R2, R3, R4, R5	3 – stark vernässt

3. Bewerten der Infiltration

Je nach Nutzungsgebiet wird die entsprechende Bewertungstabelle (Tabelle 8-11) ausgewählt. Ton- und Schluffgehalte gehen als Mittelwert der beiden Schichten 0-30 cm und 30-60 cm ein.

Tabelle 8: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 1**, Infiltration. (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit, RG = Raumgewicht Feinerde).

Neigung von (grösser als)	Neigung bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schluff von (grösser als)	Schluff bis (kleiner gleich)	Nässegrad (0 = alle Nässegrade)	RG von (grösser als)	RG bis (kleiner gleich)	Bewertung
0	15	0	100	0	100	0	0	∞	5
15	25	0	30	0	50	1	0	1.4	5
15	25	0	30	0	50	3	0	1.4	5
15	25	30	100	0	100	0	0	∞	4
15	25	0	100	50	100	0	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	2	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	0	1.4	∞	4
25	35	0	30	0	50	1	0	1.4	4
25	35	0	30	0	50	3	0	1.4	4
25	35	30	100	0	100	0	0	∞	3
25	35	0	100	50	100	0	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	2	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	0	1.4	∞	3
35	50	0	30	0	50	1	0	1.4	3
35	50	0	30	0	50	3	0	1.4	3
35	50	30	100	0	100	0	0	∞	1
35	50	0	100	50	100	0	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	2	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	0	1.4	∞	1
50	100	0	100	0	100	0	0	∞	1

Tabelle 9: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 2**, Infiltration. (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit, RG = Raumgewicht Feinerde)

Neigung von (grösser als)	Neigung bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schluff von (grösser als)	Schluff bis (kleiner gleich)	Nässegrad (0 = alle Nässegrade)	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	RG von (grösser als)	RG bis (kleiner gleich)	Bewertung
0	15	0	100	0	100	0	0	∞	0	∞	5
15	25	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	5
15	25	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	5
15	25	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	4
15	25	0	100	0	100	0	30	50	0	∞	3
25	35	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	4
25	35	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	4
25	35	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	3
35	50	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	3
35	50	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	3
35	50	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	1
50	100	0	100	0	100	0	0	∞	0	∞	1

Tabelle 10: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 3**, Infiltration (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit, RG = Raumgewicht Feinerde).

Neigung von (grösser als)	Neigung bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schluff von (grösser als)	Schluff bis (kleiner gleich)	Nässegrad (0 = alle Nässegrade)	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	RG von (grösser als)	RG bis (kleiner gleich)	Bewertung
0	15	0	100	0	100	0	0	∞	0	∞	5
15	25	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	5
15	25	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	5
15	25	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	4
15	25	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	4
15	25	0	100	0	100	0	30	50	0	∞	3
25	35	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	4
25	35	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	4
25	35	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	3
35	50	0	30	0	50	1	0	∞	0	1.4	3
35	50	0	30	0	50	3	0	∞	0	1.4	3
35	50	30	100	0	100	0	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	50	100	0	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	2	0	∞	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	0	0	∞	1.4	∞	1
50	100	0	100	0	100	0	0	∞	0	∞	1

Tabelle 11: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 4**, Infiltration (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit, RG = Raumgewicht Feinerde).

Neigung von (grösser als)	Neigung bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schluff von (grösser als)	Schluff bis (kleiner gleich)	Nässegrad (0 = alle Nässegrade)	RG von (grösser als)	RG bis (kleiner gleich)	Bewertung
0	11	0	100	0	100	0	0	∞	4
11	25	0	30	0	50	1	0	1.4	4
11	25	0	30	0	50	3	0	1.4	4
11	25	30	100	0	100	0	0	∞	3
11	25	0	100	50	100	0	0	∞	3
11	25	0	100	0	100	2	0	∞	3
11	25	0	100	0	100	0	1.4	∞	3
25	35	0	30	0	50	1	0	1.4	4
25	35	0	30	0	50	3	0	1.4	4
25	35	30	100	0	100	0	0	∞	3
25	35	0	100	50	100	0	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	2	0	∞	3
25	35	0	100	0	100	0	1.4	∞	3
35	50	0	30	0	50	1	0	1.4	3
35	50	0	30	0	50	3	0	1.4	3
35	50	30	100	0	100	0	0	∞	1
35	50	0	100	50	100	0	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	2	0	∞	1
35	50	0	100	0	100	0	1.4	∞	1
50	100	0	100	0	100	0	0	∞	1

4. Bewerten des Oberflächenabflusses

Je nach Nutzungsgebiet wird die entsprechende Bewertungstabelle (Tabelle 12-15) ausgewählt. Tongehalte sind nur für die Schicht von 30-60 cm zu berücksichtigen.

Tabelle 12: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 1**, Oberflächenabfluss (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit).

Nässe- grad	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schotterunterlage? (1 = ja, 0 = nein, 0.5 = egal)	organischer Boden (1 = ja, 0 = nein)	Bewertung
1	50	∞	10	100	0	0	5
1	70	∞	0	10	0.5	0	4
1	70	∞	10	100	1	0	4
1	50	70	0	10	0.5	0	4
1	50	70	10	100	1	0	4
1	30	50	10	100	0	0	4
1	30	50	0	100	1	0	3
1	30	50	0	10	0.5	0	3
1	10	30	10	100	0	0	3
1	10	30	0	100	1	0	1
1	10	30	0	10	0.5	0	1
1	0	10	0	100	0.5	0	1
2	0	∞	0	100	0.5	0	4
2	0	∞	0	100	0.5	0	3
1	30	100	10	100	0.5	0	4
1	30	50	0	10	0.5	0	3
3	10	70	0	100	0.5	0	3
3	0	50	10	100	0.5	0	3
3	0	50	0	10	0.5	0	1
3	0	30	0	100	0.5	0	1
2	50	70	0	100	0.5	1	4
2	10	70	0	100	0.5	1	3
3	0	50	0	100	0.5	1	1

Tabelle 13: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 2**, Oberflächenabfluss (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit).

Nässe-grad	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schotterunterlage? (1 = ja, 0 = nein, 0.5 = egal)	organischer Boden (1 = ja, 0 = nein)	Bewertung
1	70	∞	10	100	0	0	5
1	70	∞	0	10	0.5	0	4
1	70	∞	10	100	1	0	4
1	30	70	10	100	0	0	4
1	50	70	0	10	0.5	0	4
1	30	50	0	10	0.5	0	3
1	30	50	0	100	1	0	3
1	10	30	10	100	0	0	3
1	10	30	0	100	1	0	1
1	10	30	0	10	0.5	0	1
1	0	10	0	100	0.5	0	1
2	50	∞	0	100	0.5	0	4
2	0	∞	0	100	0.5	0	3
1	30	100	10	100	0.5	0	4
1	50	100	0	10	0.5	0	4
1	30	50	0	10	0.5	0	3
3	10	70	0	100	0.5	0	3
3	0	50	10	100	0.5	0	3
3	0	50	0	10	0.5	0	1
3	0	30	0	100	0.5	0	1
2	50	70	0	100	0.5	1	4
2	10	70	0	100	0.5	1	3
3	0	50	0	100	0.5	1	1

Tabelle 14: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 3**, Oberflächenabfluss (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit).

Nässe-grad	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schotterunterlage? (1 = ja, 0 = nein, 0.5 = egal)	organischer Boden (1 = ja, 0 = nein)	Bewertung
1	70	∞	10	100	0	0	5
1	70	∞	0	10	0.5	0	4
1	70	∞	0	100	1	0	4
1	50	70	0	100	0.5	0	4
1	10	50	0	10	0	0	3
1	30	50	10	100	0.5	0	3
1	30	50	0	100	1	0	3
1	10	30	0	100	1	0	1
1	10	30	0	10	0.5	0	1
1	10	30	10	100	0	0	3
1	0	10	0	100	0.5	0	1
2	50	∞	0	100	0.5	0	4
2	0	∞	0	100	0.5	0	3
1	30	100	0	100	0.5	0	4
3	10	70	0	100	0.5	0	3
3	0	50	10	100	0.5	0	3
3	0	50	0	10	0.5	0	1
3	0	30	0	100	0.5	0	1
2	50	70	0	100	0.5	1	4
2	10	70	0	100	0.5	1	3
3	0	50	0	100	0.5	1	1

Tabelle 15: Regulierung Nährstoffrückhalt: Bewertungstabelle **Nutzungsgebiet 4**, Oberflächenabfluss (pnG = pflanzennutzbare Gründigkeit).

Nässe-grad	pnG von (grösser als)	pnG bis (kleiner gleich)	Ton von (grösser als)	Ton bis (kleiner gleich)	Schotterunterlage? (1 = ja, 0 = nein, 0.5 = egal)	organischer Boden (1 = ja, 0 = nein)	Bewertung
1	70	∞	0	100	0.5	0	4
1	50	70	0	10	0	0	4
1	50	70	10	100	0.5	0	3
1	50	70	0	100	1	0	3
1	10	50	0	100	0.5	0	3
1	0	10	0	100	0.5	0	1
2	50	∞	0	100	0.5	0	4
2	0	∞	0	100	0.5	0	3
1	50	100	10	100	0.5	0	4
2	10	50	10	100	0.5	0	3
1	10	100	0	10	0.5	0	3
3	10	70	10	100	0.5	0	3
3	10	70	0	10	0.5	0	1
3	0	50	10	100	0.5	0	3
3	0	50	0	10	0.5	0	1
3	0	30	0	100	0.5	0	1
2	50	70	0	100	0.5	1	4
2	10	70	0	100	0.5	1	3
3	0	50	0	100	0.5	1	1

5. Abschliessende Bewertung

Die Methode zieht in Betracht, ob Infiltration oder Oberflächenabfluss limitierend sind für das Nährstoffrückhaltevermögen. Deswegen wird das jeweils schlechtere Resultat aus Bewertung A und B ausgewählt (1 = sehr schlechte Funktionserfüllung, 5 = sehr gute Funktionserfüllung).

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Bewertungsskala der Originalmethode wurde angepasst. Die Originalmethode bewertet das Risiko für Sicker- und Abschwemmverluste, die Originalbewertungsskalen wurden umgedreht zur Potenzial- statt zur Risikobeurteilung. Zudem wurde sie von 4 auf 5 Klassen erweitert.
- In der Originalmethode erfolgt die Bewertung über die Untertypen I, G, R und nicht wie hier umgesetzt über die Nässegrade. Weiter erlaubt die Originalmethode Abwägungen zwischen zwei Bewertungsoptionen für verschiedene Untertypen I, G, R. Hier wurde jeweils die Haupteinschätzung verwendet.
- Auffüllungen wurden im Unterschied zur Originalmethode nicht berücksichtigt.
- Potenzielle Verdichtung wurde über das Raumgewicht der Feinerde beurteilt und nicht über eine direkte Angabe zur Verdichtung oder zur Körnung im Ober- und Unterboden.
- Die Originalmethode gibt zusätzlich zur Beurteilung in Klassen noch den Faktor an, welcher die Infiltration oder den Oberflächenabfluss limitiert. Diese Zusatzinformation wird hier weggelassen.

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Jäggli F, Peyer K, Pazeller A, Schwab P, 1998. Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.
- Swisstopo, 2005. Geologische Karte der Schweiz 1:500000.
<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/geology/geomaps/gm500.html>

1.4 Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt nach Danner et al. (2003)

Produktname	Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt nach Danner et al. (2003)
Quelle	Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraft M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Bayrisches Geologisches Landesamt, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.).
Beschrieb	Diese Methode bewertet, wie gut ein Boden Wasser pflanzenverfügbar speichern und in den Untergrund ableiten kann. Für die Beurteilung werden Boden- und Hangneigungsdaten verwendet.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Ton (%) _ Schluff (%) _ Humus (%) _ Skelett (Vol-%) _ Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> _ Obergrenze Untergrund (cm) _ Obergrenze gg- oder r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsrößen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> _ Hangneigung (%)
Ergebnis	Das Ergebnis wird in fünf Klassen angegeben: 1 - sehr tiefes Wasserregulierungsvermögen 2 - tiefes Wasserregulierungsvermögen 3 - mittleres Wasserregulierungsvermögen 4 - hohes Wasserregulierungsvermögen 5 - sehr hohes Wasserregulierungsvermögen
Anwendungs- bereich	Landwirtschaftsgebiete, unproduktive Flächen, Wald

Grafischer Überblick

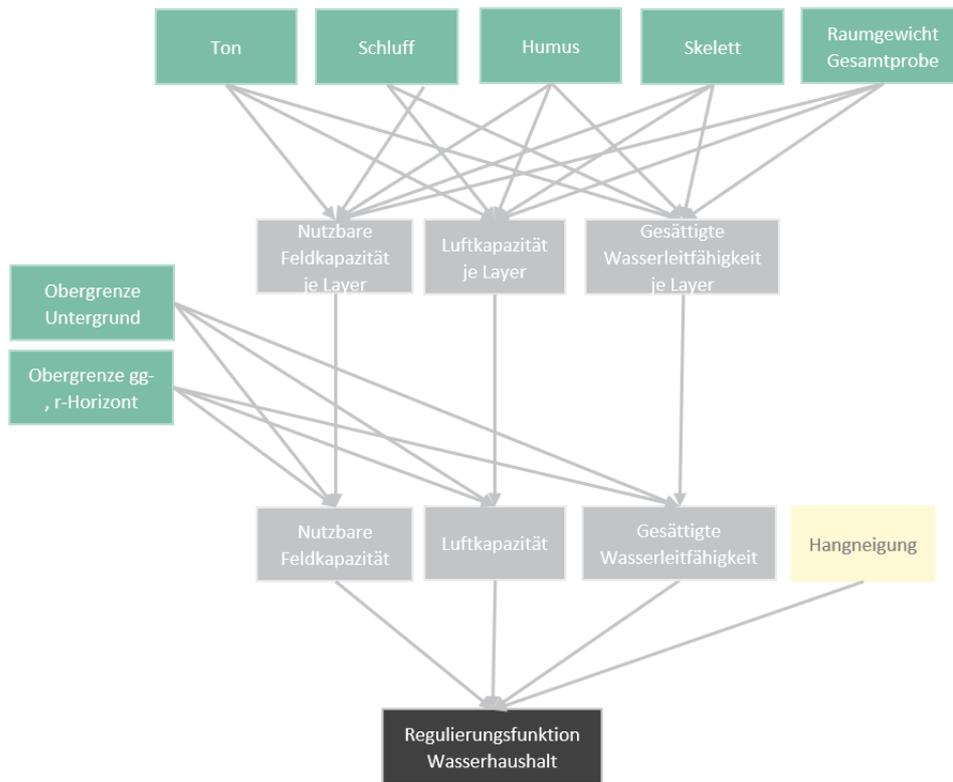


Abbildung 7: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt Danner et al. (2003). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

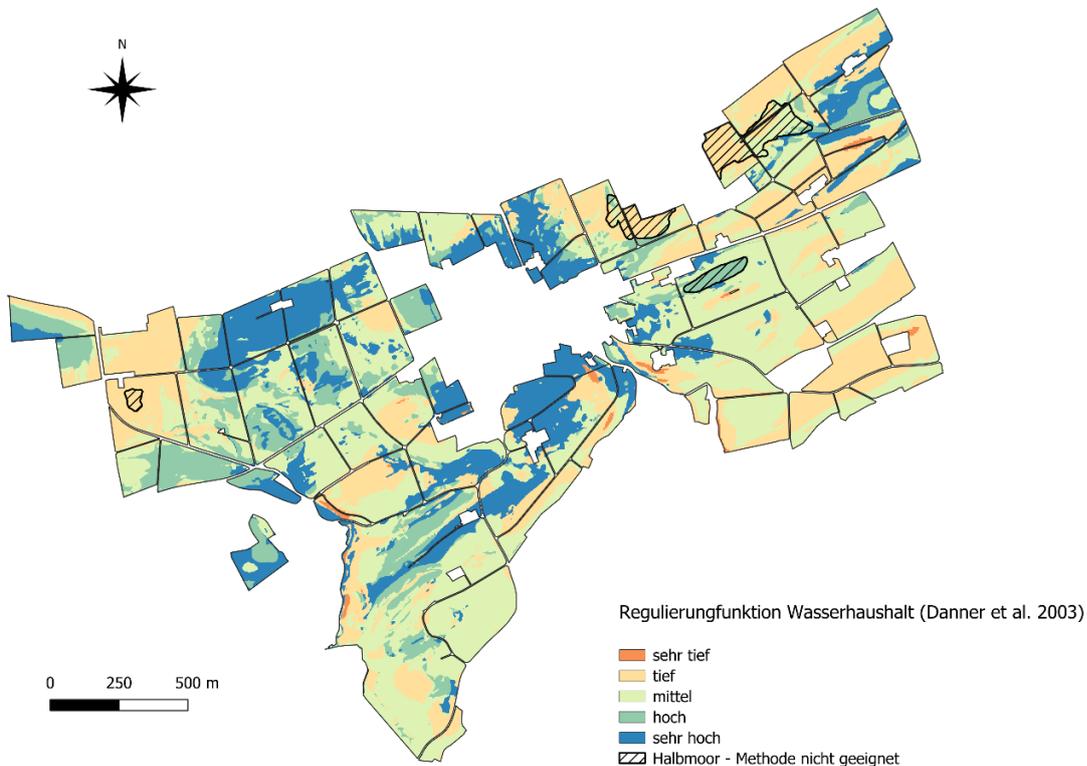


Abbildung 8: Anwendung der Methode zur Berechnung der Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt nach Danner et al. (2003) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Danner et al. (2003) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karte zur Hangneigung stammt aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodells SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karte lag im 8x8 m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

1. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität je Bodenschicht (in mm)

Zur Beurteilung des potenziellen pflanzenverfügbaren Wassers wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) aus dem Ton- und Schluffgehalt und dem Raumgewicht hergeleitet (Tabelle 16) und entsprechend dem Humusgehalt ergänzt (Tabelle 17). Die nutzbare Feldkapazität ist die Menge des Wassers, dass bei einer Saugspannung von pF 1.8 - 4.2 im Boden gehalten wird und leicht von Pflanzen aufgenommen werden kann.

Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete nFK (mm/dm) zusammengezählt und auf den Feinerdemengenanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln a und b):

- a. $nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} = (nFK\text{-Wert Tabelle 1} + nFK\text{-Wert Tabelle 2}) * 1 - (\text{Skelett}/100)$
- b. $nFK \text{ je Bodenschicht (mm)} = nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} * \text{Horizontmächtigkeit (in cm)} * 0.1 \text{ (mm = mm/dm} * (\text{cm} * 0.1))$

2. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

$$nFK_{0 \text{ bis max. } 90\text{cm}} = \sum_{i=1}^n nFK_{Layer}$$

(n = Anzahl der Schichten bis zur Profilgrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts)

Falls der letzte Horizont über die Bewertungstiefe (90 cm) hinaus geht, wird die nFK entsprechend dem Anteil der Bodenschicht innerhalb der 90 cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg- oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

Tabelle 16: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der nutzbaren Feldkapazität aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewicht Gesamtprobe (RG, g/cm³).

Nutzbare Feldkapazität nach KA5 in mm/dm							
Ton von (größer gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (größer gleich)	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤ 1.2	1.2 < RG ≤ 1.4	1.4 < RG ≤ 1.6	RG > 1.6
0	5	0	10	9	9	7	7
5	8	10	25	20	20	18	17
8	12	10	40	22	22	18	17
12	17	10	40	22	22	18	15
8	17	40	50	23	23	21	19
5	17	0	10	18	18	16	13
17	25	0	15	18	18	15	12
0	5	10	25	20	20	18	17
0	8	25	40	25	25	21	20
0	8	40	50	27	27	23	21
17	25	40	50	21	21	16	14
17	25	30	40	21	21	16	14
17	25	15	30	20	20	16	13
25	35	30	50	18	18	14	11
35	45	30	50	20	14	12	10
25	45	15	30	21	17	14	11
17	30	50	65	21	21	17	15
0	8	80	101	30	30	26	23
8	17	50	65	24	24	22	21
0	8	50	80	28	28	25	22
8	12	65	92	28	28	26	23
12	17	65	88	26	26	25	23
17	25	65	83	23	23	21	19
65	101	0	35	20	15	13	12
45	65	15	30	19	14	13	11
45	65	30	55	20	15	12	10
30	45	50	65	22	16	13	10
25	35	65	75	19	19	17	16
45	65	0	15	18	15	13	12
35	45	0	15	17	16	13	11
25	35	0	15	17	17	14	11

Tabelle 17: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung des Zuschlags zur nutzbaren Feldkapazität abhängig von Ton- und Schluffgehalt (%) und vom Humusgehalt.

Zuschlag zur nFK nach Humusgehalt nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	1-2% Humus	2-4% Humus	4-8% Humus	8-100% Humus
0	5	0	10	1	3	4	5
5	8	10	25	2	3	4	6
8	12	10	40	1	3	4	6
12	17	10	40	2	4	5	6
8	17	40	50	1	2	4	6
5	17	0	10	3	4	5	7
17	25	0	15	2	4	6	9
0	5	10	25	2	3	4	6
0	8	25	40	1	3	3	4
0	8	40	50	1	2	3	4
17	25	40	50	1	3	5	8
17	25	30	40	1	3	5	8
17	25	15	30	2	4	6	8
25	35	30	50	3	5	8	10
35	45	30	50	2	4	8	11
25	45	15	30	3	5	7	9
17	30	50	65	3	5	7	8
0	8	80	101	1	2	3	4
8	17	50	65	3	4	4	7
0	8	50	80	1	2	3	4
8	12	65	92	1	1	2	4
12	17	65	88	1	1	2	4
17	25	65	83	2	3	4	6
65	100	0	35	2	4	5	7
45	65	15	30	2	4	6	8
45	65	30	55	1	3	5	8
30	45	50	65	2	4	7	9
25	35	65	75	3	5	6	8
45	65	0	15	2	4	6	8
35	45	0	15	2	5	7	9
25	35	0	15	2	4	7	9

3. Herleiten der Luftkapazität je Layer (in mm)

Zur Beurteilung des potenziellen pflanzenverfügbaren Wassers bei abflussträgen Standorten wird die Luftkapazität (LK) je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) aus dem Ton- und Schluffgehalt und dem Raumgewicht hergeleitet (Tabelle 18) und entsprechend dem Humusgehalt ergänzt (Tabelle 19). Die Luftkapazität entspricht dem Porenraum der bei $pF < 1.8$ mit Luft gefüllt ist.

Tabelle 18: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der Luftkapazität aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewicht Gesamtprobe (RG, g/cm³).

Luftkapazität nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤ 1.2	1.2 < RG ≤ 1.4	1.4 < RG ≤ 1.6	RG > 1.6
0	5	0	10	36	36	32	27
5	8	10	25	23	23	18	13
8	12	10	40	18	18	15	10
12	17	10	40	18	18	12	8
8	17	40	50	14	14	10	7
5	17	0	10	24	24	20	15
17	25	0	15	18	18	14	9
0	5	10	25	24	24	21	15
0	8	25	40	17	17	14	10
0	8	40	50	14	14	11	8
17	25	40	50	13	13	9	6
17	25	30	40	15	15	9	6
17	25	15	30	15	15	11	7
25	35	30	50	11	11	7	15
35	45	30	50	10	6	5	3
25	45	15	30	11	9	6	5
17	30	50	65	12	12	7	4
0	8	80	101	10	10	7	3
8	17	50	65	13	13	8	5
0	8	50	80	11	11	9	4
8	12	65	92	10	10	6	3
12	17	65	88	11	11	6	3
17	25	65	83	12	12	7	3
65	100	0	35	8	4	3	2
45	65	15	30	9	5	4	3
45	65	30	55	7	5	4	3
30	45	50	65	10	8	6	3
25	35	65	75	10	10	6	3
45	65	0	15	10	5	4	3
35	45	0	15	15	7	6	5
25	35	0	15	13	13	10	6

Tabelle 19: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung des Zuschlags zur Luftkapazität abhängig vom Humusgehalt.

Zuschlag zur LK nach Humusgehalt nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	1-2% Humus	2-4% Humus	4-8% Humus	8-100% Humus
0	5	0	10	0	-1	-2	-3
5	8	10	25	0	1	2	3
8	12	10	40	1	2	3	4
12	17	10	40	2	2	3	4
8	17	40	50	2	3	4	6
5	17	0	10	0	0	1	1
17	25	0	15	1	2	3	4
0	5	10	25	0	0	-1	-2
0	8	25	40	1	1	2	2
0	8	40	50	2	3	4	6
17	25	40	50	2	3	4	5
17	25	30	40	1	2	3	4
17	25	15	30	1	2	3	3
25	35	30	50	2	3	5	6
35	45	30	50	1	2	4	7
25	45	15	30	1	2	5	6
17	30	50	65	2	3	6	7
0	8	80	101	2	3	5	9
8	17	50	65	2	3	4	8
0	8	50	80	2	3	5	8
8	12	65	92	2	4	6	8
12	17	65	88	2	4	6	8
17	25	65	83	2	4	6	7
65	100	0	35	1	2	4	8
45	65	15	30	1	2	3	7
45	65	30	55	1	2	3	7
30	45	50	65	2	2	3	6
25	35	65	75	1	3	4	6
45	65	0	15	1	2	3	7
35	45	0	15	2	3	4	5
25	35	0	15	2	3	4	5

Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete Luftkapazität (mm/dm) summiert und auf den Feinerdemengeanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln c und d).

c. $LK_{KA5} \text{ (mm/dm)} = (\text{LK-Wert Tabelle 3} + \text{LK-Wert Tabelle 4}) \cdot 1 - (\text{Skelett}/100)$

d. $LK \text{ je Bodenschicht (mm)} = LK_{KA5} \text{ (mm/dm)} \cdot \text{Horizontmächtigkeit (in cm)} \cdot 0.1$

$(\text{mm} = \text{mm/dm} \cdot (\text{cm} \cdot 0.1))$

4. Herleiten der Luftkapazität von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

$$LK_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}} = \sum_{i=1}^n LK_{\text{Layer}}$$

n = Anzahl der Schichten die bis zur Profilgrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts sind.

Falls der letzte Horizont über die Bewertungstiefe (90 cm) hinaus geht, wird die LK entsprechend dem Anteil der Bodenschicht innerhalb der 90 cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg- oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

5. Herleiten des Wasserspeichervermögens (WSV) von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

An Standorten mit wenig Hangneigung gibt es weniger Oberflächenabfluss, deswegen wird hier die Wassermenge, die in den Grobporen ($pF < 1.8$, Luftkapazität) gespeichert werden kann zur nutzbaren Feldkapazität hinzugezählt:

Für Standorte mit Hangneigung $< 9\%$: Wasserspeichervermögen = $nFK_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}} + LK_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}}$

Für Standorte mit Hangneigung $> 9\%$: Wasserspeichervermögen = $nFK_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}}$

6. Herleiten der gesättigten Wasserleitfähigkeit je Layer (in cm/Tag)

Zur Beurteilung des potenziellen Oberflächenabflusses wird die gesättigte Wasserleitfähigkeit je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) aus dem Ton- und Schluffgehalt und dem Raumgewicht hergeleitet (Tabelle 20).

Tabelle 20: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der gesättigten Wasserleitfähigkeit aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewicht Gesamtprobe (RG, g/cm³).

Gesättigte Wasserleitfähigkeit nach KA5 (in cm/d)						
Ton von (grösser	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤ 1.4	1.4 < RG ≤ 1.6	RG > 1.6
0	5	0	10	350	340	230
5	8	10	25	161	98	52
8	12	10	40	98	65	29
12	17	10	40	106	42	21
8	17	40	50	60	28	13
5	17	0	10	179	118	68
17	25	0	15	114	42	24
0	5	10	25	174	127	66
0	8	25	40	88	59	31
0	8	40	50	58	38	17
17	25	40	50	53	23	10
17	25	30	40	74	23	11
17	25	15	30	68	36	11
25	35	30	50	33	13	6
35	45	30	50	20	7	3
25	45	15	30	31	10	7
17	30	50	65	45	16	6
0	8	80	101	32	13	2
8	17	50	65	49	20	7
0	8	50	80	37	22	5
8	12	65	92	32	12	2
12	17	65	88	41	12	3
17	25	65	83	45	13	3
65	100	0	35	4	3	2
45	65	15	30	8	6	2
45	65	30	55	8	3	2
30	45	50	65	18	9	3
25	35	65	75	33	12	3
45	65	0	15	8	5	3
35	45	0	15	15	11	8
25	35	0	15	51	38	8

Anschliessend wird die aus der Tabelle abgeleitete gesättigte Wasserleitfähigkeit (cm/d) auf den Feinerdmengeanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln e).

$$e. \text{ kf}_{KA5} = \text{kf-Wert Tabelle 5} * 1 - (h1_{\text{skelett}}/100)$$

7. Herleiten der gesättigten Wasserleitfähigkeit von 0 bis maximal 90 cm (in cm/Tag)

$$\text{kf}_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}} = \min(\text{kf aller Bodenschichten})$$

8. Bewertungstabelle und Zusatzbedingungen anwenden

Das Wasserregulierungsvermögen wird anhand von Wasserspeichervermögen und gesättigter Wasserleitfähigkeit von 0 bis 90 cm mit Tabelle 21 bewertet. Je höher das Wasserspeichervermögen (WSV, mm) und die gesättigte Wasserleitfähigkeit von 0 bis 90 (kf, cm/d) ist, desto besser ist die Bewertung. Weiter gibt es noch einige modifizierende Bedingungen, die angewendet werden.

Tabelle 21: Tabelle zur Bewertung des Wasserregulierungsvermögens (WRV) anhand der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf, cm/d) und des Wasserspeichervermögens (WSV, mm)

	WSV<110	150>WSV>110	180>WSV>150	270>WSV>180	WSV>270
kf <30	tiefes WRV	tiefes WRV	tiefes WRV	mittleres WRV	mittleres WRV
40> kf >30	tiefes WRV	mittleres WRV	mittleres WRV	mittleres WRV	sehr hohes WRV
70> kf >40	tiefes WRV	mittleres WRV	hohes WRV	sehr hohes WRV	sehr hohes WRV
kf >70	tiefes WRV	mittleres WRV	hohes WRV	sehr hohes WRV	sehr hohes WRV

Für den Fall, dass $WSV < 140$ und $k_{f0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}} > 30$ ist, kommen folgende Zusatzbedingungen zum Zug:

- Wenn die Hangneigung grösser als 18 % ist, dann wird eine Wertklasse abgezogen (z.B. mittel statt gut).
- Wenn kein grundwasser-beeinflusster Boden vorliegt, die gesättigte Wasserleitfähigkeit in allen Horizonten bis für die Bewertungstiefe grösser als 40 cm/d ist, nach geologischen Informationen und Experteneinschätzung ein ungehinderter Abfluss in grössere Tiefen zu erwarten ist, dann wird der Boden mit der Klasse «sehr hohes Wasserregulierungsvermögen» bewertet.

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Bewertungsskala wurde auf Schweizer Verhältnisse angepasst.
- Für die Zuschläge für Humusgehalte in nFK und LK: hier wird eine Originalkategorie abgeändert von 8-15% zu 8-100%. In der Originalmethode fehlen die Zuschläge für humushaltigere Böden, bzw. dann auch die Abzüge für die Textur.
- In der Originalmethode sind Expertenbewertungen für Böden mit über 25 Vol-% Skelett vorgesehen. Hier wurden Böden aller Skelettgehalte bewertet. Böden mit hohen Skelettgehalten sind also möglicherweise nicht angemessen beurteilt.
- Als gesättigte Wasserleitfähigkeit im Profil wurde die limitierende Bodenschicht gewählt. Es wurde nicht wie in der Originalmethode die Leitfähigkeit mit dem Anteil der Mächtigkeit der Bodenschicht an der gesamten Tiefe gewichtet.

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraft M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- KA5, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 438 S.

1.5 Kohlenstoffanreicherungspotenzial nach Johannes et al. (2017)

Produktname	Kohlenstoffanreicherungspotenzial nach Johannes et al. (2017)
Quelle	Johannes A, Matter A, Schulin R, Weisskopf P, Baveye PC, Boivin P, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? <i>Geoderma</i> , 302, 14–21.
Beschrieb	Das Kohlenstoffanreicherungspotenzial zeigt das Potenzial für eine <i>langfristige</i> Speicherung von Kohlenstoff in Form von stabilen Ton-Humus-Komplexen zusätzlich zum bereits im Boden vorhandenen Kohlenstoffvorrat. Die Bewertung des Kohlenstoffanreicherungspotenzials beruht ausschliesslich auf Bodeneigenschaften (Kohlenstoffgehalt, Tongehalt, Skelettgehalt, Lagerungsdichte).
Eingangsgrossen Boden	Daten für den Oberboden (hier: Tiefenstufe 0-30 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Tongehalt (%) _ Skelettgehalt (%) _ Kohlenstoffgehalt (%) _ Lagerungsdichte der Feinerde (g/cm³)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Das Kohlenstoffanreicherungspotenzial wird in den folgenden 4 Klassen bewertet: <ul style="list-style-type: none"> _ Kein Potenzial (Kohlenstoffanreicherungspotenzial ≤ 0 t/ha) _ Geringes Potenzial (Kohlenstoffanreicherungspotenzial 0-20 t/ha) _ Mittleres Potenzial (Kohlenstoffanreicherungspotenzial 20-50 t/ha) _ Hohes Potenzial (Kohlenstoffanreicherungspotenzial > 50 t/ha)
Anwendungsbereich	Die Methode ist für die Anwendung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen mit mineralischen Böden geeignet. In organischen Böden (Humusgehalt von mehr als 15 %) spielt die Kohlenstoffbindung in Form von stabilen Ton-Humus-Komplexen eine untergeordnete Rolle - für diese Böden ist die Methode nicht geeignet.

Grafischer Überblick

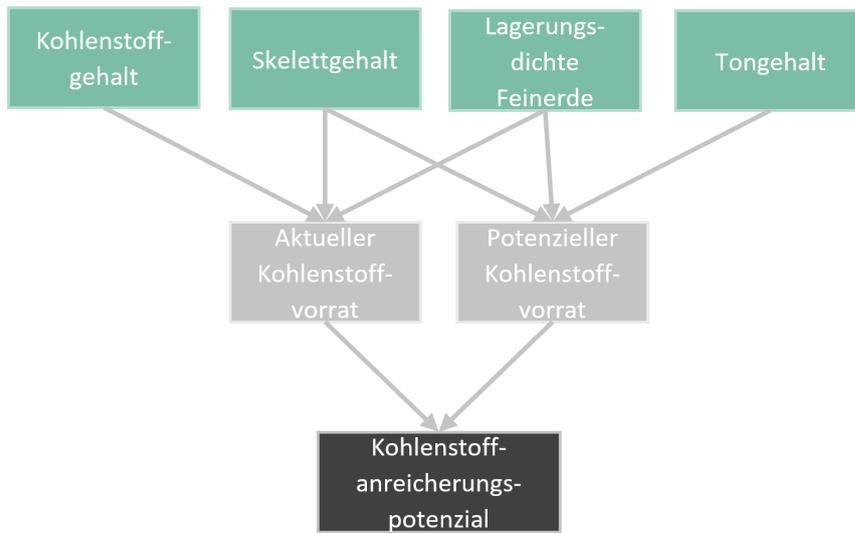


Abbildung 9: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Kohlenstoffanreicherungspotenzials nach Johannes et al. (2017). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

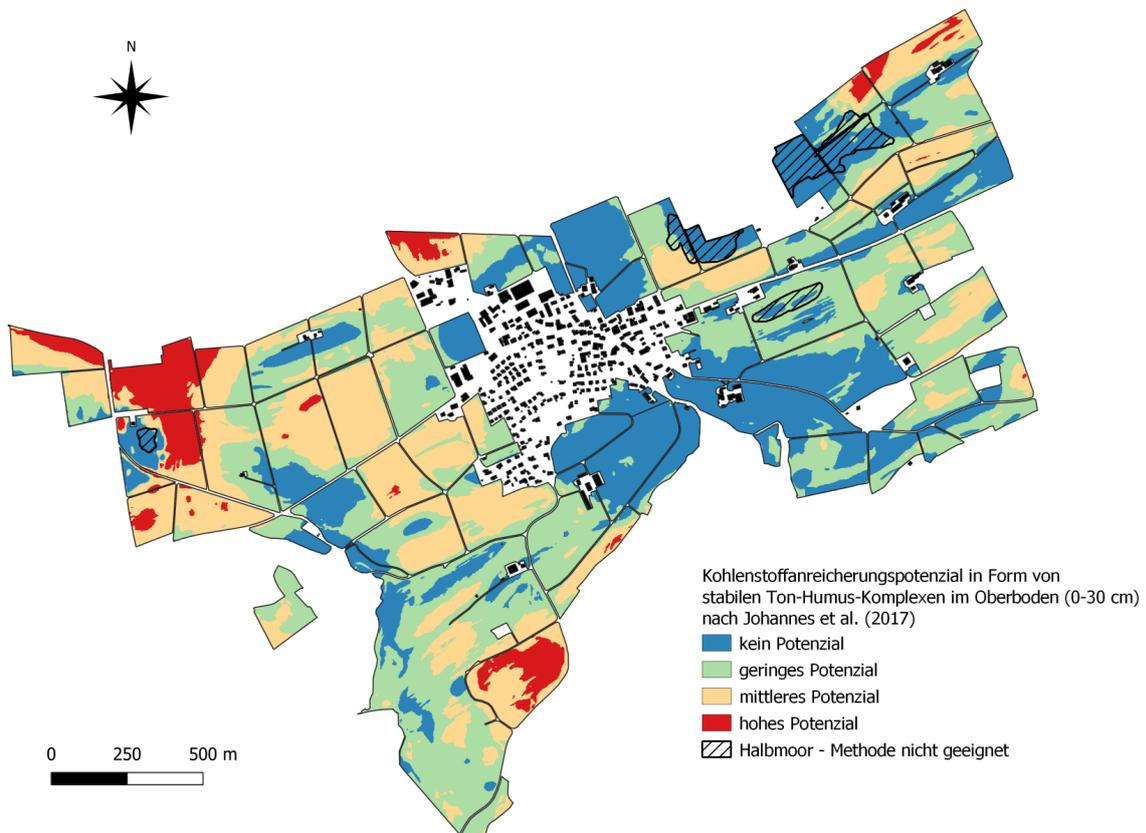


Abbildung 10: Anwendung der Methode zur Berechnung des Kohlenstoffanreicherungspotenzials nach Johannes et al. (2017) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Der im Boden in Form von Humus gespeicherte Kohlenstoff spielt in zweierlei Hinsicht eine wichtige Rolle. Zum einen beeinflusst er aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften viele Bodenfunktionen positiv und erhöht die Bodenqualität (Wiesmeier et al. 2019). Zum anderen ist der im Boden gespeicherte Kohlenstoff im Kontext des Klimawandels relevant, in der Schweiz ist wesentlich mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert als in der Atmosphäre und Biosphäre zusammen (Hagedorn et al. 2018). Eine Erhöhung des Kohlenstoffgehalts kann dementsprechend die Bodenqualität verbessern und gleichzeitig einen Beitrag zur Abmilderung des Klimawandels leisten (Minasny et al. 2017).

Das Kohlenstoffanreicherungspotenzial zeigt das Potenzial für eine *langfristige* Speicherung von Kohlenstoff in Form von Ton-Humus-Komplexen zusätzlich zum bereits im Boden vorhandenen Kohlenstoff. Ein grosser Teil des in den Böden in Form von organischem Material eingetragenen Kohlenstoffs wird innerhalb weniger Jahre mineralisiert und gelangt als CO₂ in die Atmosphäre. Ein kleiner Teil kann allerdings mit den kleinsten Bodenpartikeln, vor allem mit Tonmineralen, stabile Verbindungen (sogenannte Ton-Humus-Komplexe) eingehen. In dieser Form ist Kohlenstoff schwer abbaubar und kann über Jahrhunderte im Boden verbleiben (Amelung et al. 2018). Es existieren verschiedene Ansätze, um das Kohlenstoffanreicherungspotenzial auf Basis der Anteile der kleinsten Bodenpartikel zu bestimmen (siehe Übersicht in Wiesmeier et al. 2019). Die hier vorgestellte Methode basiert auf dem Verhältnis von Kohlenstoff zu Ton. In Schweizer Böden mit einer guten Bodenstruktur wurde ein Verhältnis von etwa 1:8 gefunden, dies kann als unter realistischen Bedingungen erreichbare Grenze angesehen werden (Johannes et al. 2017; Keel et al. 2021). Dieses Verhältnis bildet die Grundlage zur Berechnung des Kohlenstoffanreicherungspotenzials in der hier dokumentierten Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrossen

Boden: Die verwendeten Bodendaten (Tongehalt TG (%), Skelettgehalt SG (%), Kohlenstoffgehalt KG (%), Lagerungsdichte der Feinerde LD (g/cm³)) liegen in der Auflösung von 2x2 m vor (Grob et al. 2024). Es werden Oberbodendaten für die Tiefenstufe von 0-30 cm verwendet.

1. Berechnung des aktuellen Kohlenstoffvorrats im Oberboden

Der aktuelle Kohlenstoffvorrat (KV_{Akt}, g/cm²) im Oberboden (Tiefe Oberboden T_{OB} = 30 cm) wird mit der folgenden Gleichung anhand des Kohlenstoffgehalts (KG, %), der Lagerungsdichte der Feinerde (LD, g/cm³) und des Skelettgehalts (SG, %) berechnet.

$$KV_{Akt} = (KG * 10^{-2}) * LD * (1 - (SG * 10^{-2})) * T_{OB}$$

2. Berechnung des potenziellen Kohlenstoffvorrats im Oberboden bei einem KG:TG-Verhältnis von 1:8

Der potenzielle Kohlenstoffvorrat (KV_{Pot}, g/cm²) im Oberboden (Tiefe Oberboden T_{OB} = 30 cm) wird mit der folgenden Gleichung anhand des Tongehalts (TG, %), der Lagerungsdichte der Feinerde (LD, g/cm³) und des Skelettgehalts (SG, %) berechnet.

$$KV_{Pot} = (TG * 10^{-2} * 0.13) * LD * (1 - (SG * 10^{-2})) * T_{OB}$$

Innerhalb der ersten Klammer der Gleichung wird dabei anhand des Tongehalts und des von Johannes et al. (2017) vorgeschlagenen optimalen Verhältnisses von Kohlenstoff zu Ton von 1:8 (~ 0.13) der Anteil des in Form von stabilen Ton-Humus-Komplexen potenziell speicherbaren Kohlenstoffs abgeschätzt.

3. Berechnung des Kohlenstoffanreicherungspotenzials im Oberboden

Das Kohlenstoffanreicherungspotenzial (KAP; t/ha) im Oberboden wird durch Subtraktion des aktuellen Kohlenstoffvorrats (KV_{Akt} , g/cm²) vom potenziellen Kohlenstoffvorrat (KV_{Pot} , g/cm²) und Umrechnung auf t/ha berechnet.

$$KAP = (KV_{Pot} - KV_{Akt}) * 100$$

Literatur

- Amelung W, Blume H-P, Fleige H, Horn R, Kandeler E, Kögel-Knabner I, Kretzschmar R, Stahr K, Wilke B-M, 2018. Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 767 S.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- Hagedorn F, Krause H-M, Studer M, Schellenberger A, Gattinger A, 2018. Boden und Umwelt. Organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden. Thematische Synthese TS2 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68). Bern, 92 S.
- Johannes A, Matter A, Schulin R, Weiskopf P, Baveye PC, Boivin P, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302, 14–21.
- Keel SG, Johannes A, Boivin P, Burgos S, Charles R, Hagedorn F, Kulli B, Leifeld J, Saluz A, Zimmermann S, et al., 2021. Soil carbon sequestration in Switzerland: analysis of potentials and measures (Postulate Bourgeois 19.3639): Report by Agroscope.
- Minasny B, Malone BP, McBratney AB, Angers DA, Arrouays D, Chambers A, Chaplot V, ZuengSang C, Kun C, Das BS, et al., 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, (292), 59–86.
- Wiesmeier M, Urbanski L, Hobbey E, Lang B, Lutzow M von, Marin-Spiotta E, van Wesemael B, Rabot E, Liess M, Garcia-Franco N, et al., 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils - a review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, (333), 149–162.

1.6 Kühlpotenzial nach Feldwisch (2016)

Produktname	Kühlpotenzial nach Feldwisch (2016)
Quelle	Feldwisch N, 2016. Planung mit Tiefgang. Vorsorgender Bodenschutz: Wissen für die Praxis. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
Beschrieb	Diese sehr einfache Methode bewertet das Kühlpotenzial von Böden anhand des pflanzenverfügbaren Wasserspeicherungspotenzials – der nutzbaren Feldkapazität - im Wurzelraum.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> – Ton (%) – Schluff (%) – Humus (%) – Skelett (Vol.-%) – Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> – Obergrenze Untergrund (cm) – Obergrenze gg-, r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsrößen	-
Ergebnis	Das Kühlpotenzial wird in 4 Klassen bewertet: <ul style="list-style-type: none"> – Kühlpotenzial gering – Kühlpotenzial mittel – Kühlpotenzial hoch – Kühlpotenzial sehr hoch
Anwendungs- bereich	Siedlungs(-nahes) Gebiet

Grafischer Überblick

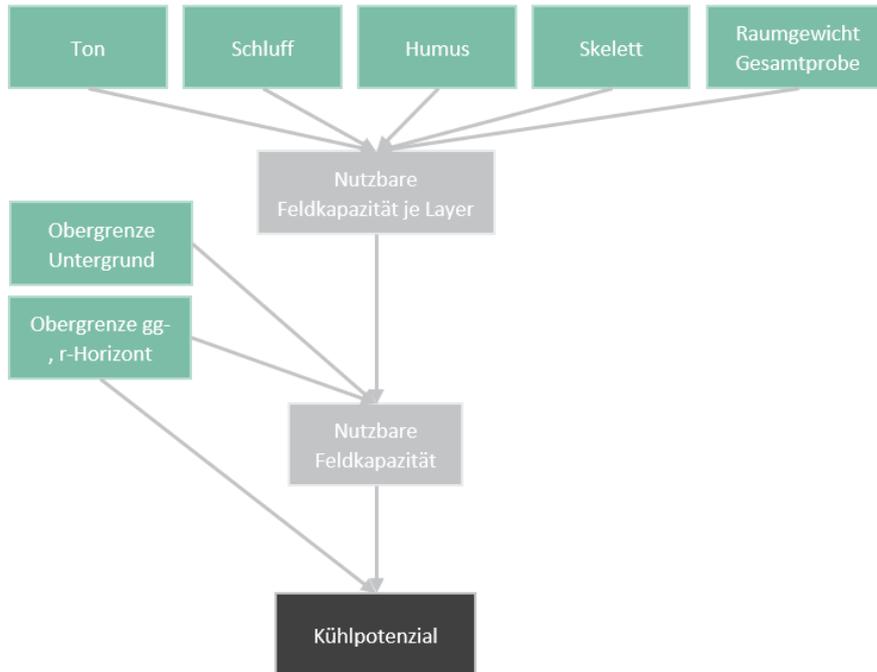


Abbildung 11: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Kühlpotenzials nach Feldwisch (2016). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

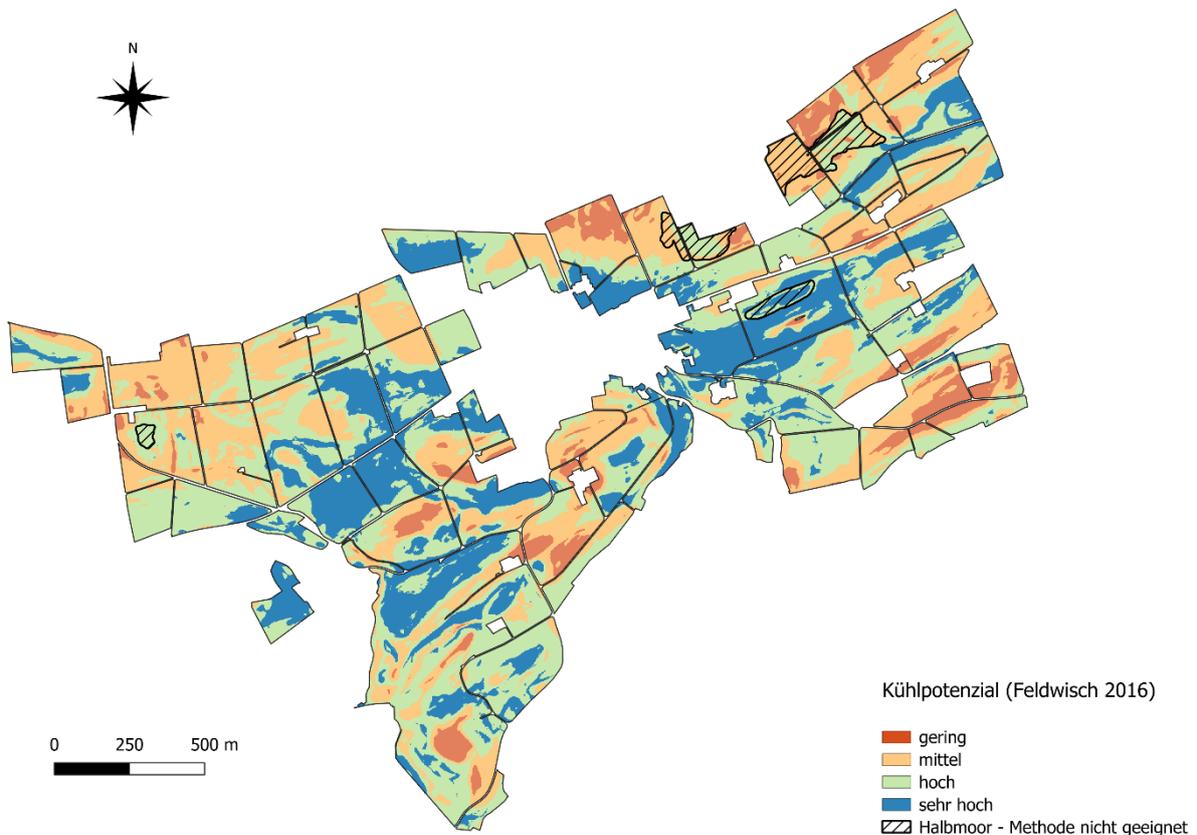


Abbildung 12: Anwendung der Methode zur Berechnung des Kühlpotenzials nach Feldwisch (2016) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Feldwisch (2016) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in angepasster Variante angewendet. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität je Bodenschicht (in mm)

Zur Beurteilung des potenziellen pflanzenverfügbaren Wassers wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) hergeleitet (Tabelle 22) und entsprechend dem Humusgehalt ergänzt (Tabelle 23). Die nutzbare Feldkapazität ist die Menge des Wassers, dass bei einer Saugspannung von pF 1.8 -4.2 im Boden gehalten wird. Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete nFK (mm/dm) summiert und auf den Feinerdemengeanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln a und b).

Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete nFK (mm/dm) zusammengezählt und auf den Feinerdemengenanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln a und b):

- a. $nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} = (nFK\text{-Wert Tabelle 1} + nFK\text{-Wert Tabelle 2}) * 1 - (\text{Skelett}/100)$
- b. $nFK \text{ je Bodenschicht (mm)} = nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} * \text{Horizontmächtigkeit (in cm)} * 0.1$
($mm = mm/dm * (cm*0.1)$)

2. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

$$nFK_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}} = \sum_{i=1}^n nFK_{Layer}$$

(n = Anzahl der Schichten bis zur Profilgrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts)

Falls der letzte Horizont über die Bewertungstiefe (90 cm) hinaus geht, wird die nFK entsprechend dem Anteil der Bodenschicht innerhalb der 90 cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg- oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

Tabelle 22: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der nutzbaren Feldkapazität aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewichtesamtprobe (RG, g/cm³).

Nutzbare Feldkapazität nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (größer gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (größer gleich)	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤ 1.2	1.2 < RG ≤ 1.4	1.4 < RG ≤ 1.6	RG > 1.6
0	5	0	10	9	9	7	7
5	8	10	25	20	20	18	17
8	12	10	40	22	22	18	17
12	17	10	40	22	22	18	15
8	17	40	50	23	23	21	19
5	17	0	10	18	18	16	13
17	25	0	15	18	18	15	12
0	5	10	25	20	20	18	17
0	8	25	40	25	25	21	20
0	8	40	50	27	27	23	21
17	25	40	50	21	21	16	14
17	25	30	40	21	21	16	14
17	25	15	30	20	20	16	13
25	35	30	50	18	18	14	11
35	45	30	50	20	14	12	10
25	45	15	30	21	17	14	11
17	30	50	65	21	21	17	15
0	8	80	101	30	30	26	23
8	17	50	65	24	24	22	21
0	8	50	80	28	28	25	22
8	12	65	92	28	28	26	23
12	17	65	88	26	26	25	23
17	25	65	83	23	23	21	19
65	101	0	35	20	15	13	12
45	65	15	30	19	14	13	11
45	65	30	55	20	15	12	10
30	45	50	65	22	16	13	10
25	35	65	75	19	19	17	16
45	65	0	15	18	15	13	12
35	45	0	15	17	16	13	11
25	35	0	15	17	17	14	11

Tabelle 23: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung des Zuschlags zur nutzbaren Feldkapazität abhängig von Ton- und Schluffgehalt (%) und vom Humusgehalt.

Zuschlag zur nFK nach Humusgehalt nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	1-2% Humus	2-4% Humus	4-8% Humus	8-100% Humus
0	5	0	10	1	3	4	5
5	8	10	25	2	3	4	6
8	12	10	40	1	3	4	6
12	17	10	40	2	4	5	6
8	17	40	50	1	2	4	6
5	17	0	10	3	4	5	7
17	25	0	15	2	4	6	9
0	5	10	25	2	3	4	6
0	8	25	40	1	3	3	4
0	8	40	50	1	2	3	4
17	25	40	50	1	3	5	8
17	25	30	40	1	3	5	8
17	25	15	30	2	4	6	8
25	35	30	50	3	5	8	10
35	45	30	50	2	4	8	11
25	45	15	30	3	5	7	9
17	30	50	65	3	5	7	8
0	8	80	101	1	2	3	4
8	17	50	65	3	4	4	7
0	8	50	80	1	2	3	4
8	12	65	92	1	1	2	4
12	17	65	88	1	1	2	4
17	25	65	83	2	3	4	6
65	100	0	35	2	4	5	7
45	65	15	30	2	4	6	8
45	65	30	55	1	3	5	8
30	45	50	65	2	4	7	9
25	35	65	75	3	5	6	8
45	65	0	15	2	4	6	8
35	45	0	15	2	5	7	9
25	35	0	15	2	4	7	9

3. Bewerten des Kühlpotenzials anhand der nutzbaren Feldkapazität mit Tabelle 24

Tabelle 24: Bewertung des Kühlpotenzials anhand der nutzbaren Feldkapazität

nutzbare Feldkapazität (mm) von	nutzbare Feldkapazität (mm) bis	Kühlpotenzial
0	100	1 -gering
100	200	2 - mittel
200	300	3 - hoch
300	∞	4 - sehr hoch

4. Zuschläge für grundnasse Böden

Böden mit Grundwassereinfluss (der r-Horizont liegt bei oder über 70 cm) erhalten eine Klasse Zuschlag in der Bewertung wegen der potenziellen Wassernachlieferung für Verdunstung und Pflanzenwachstum.

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Originalmethode nennt die Grundnassen Böden als Spezialfälle, beschreibt aber nicht, wie diese bei der Bewertung berücksichtigt werden sollten. Hier wurde dieser Faktor über die Tiefe der r-Horizonte aufgenommen.
- Die Originalmethode spezifiziert den Herleitungsweg zur nFK nicht. Hier wird deswegen die KA5-Variante verwendet.

Literatur

- Feldwisch N, 2016. Planung mit Tiefgang. Vorsorgender Bodenschutz: Wissen für die Praxis. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- KA5, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 438 S.

1.7 Kalkdüngungsbedarf nach VDLUFA (2000)

Produktname	Kalkdüngungsbedarf nach VDLUFA (2000)
Quelle(n)	<p>VDLUFA, 2000a. Standpunkt des VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten). Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.</p> <p>VDLUFA, 2000b. Standpunkt des VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten). Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Anlage. Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland.</p>
Beschrieb	Die Methode berechnet den Kalkdüngungsbedarf zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereichs anhand des pH-Werts sowie des Ton-, Schluff- und Humusgehalts für Ackerböden.
Eingangsgrossen Boden	<p>Daten für den Oberboden (hier: Tiefenstufe 0-30 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> _ pH-Wert (pH-CaCl₂) _ Tongehalt (%) _ Schluffgehalt (%) _ Humusgehalt (%)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	<p>Der Kalkdüngungsbedarf wird in dt CaO/ha bestimmt. Der Bedarf wird anschliessend in den folgenden 6 Klassen bewertet:</p> <ul style="list-style-type: none"> _ Kein Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf ≤ 0 dt CaO/ha) _ Geringer Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf 0-20 dt CaO/ha) _ Mässiger Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf 20-40 dt CaO/ha) _ Mittlerer Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf 40-60 dt CaO/ha) _ Hoher Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf 60-80 dt CaO/ha) _ Sehr hoher Kalkdüngungsbedarf (Kalkdüngungsbedarf >80 dt CaO/ha)
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich zur Bewertung landwirtschaftlich genutzter Ackerböden.

Grafischer Überblick

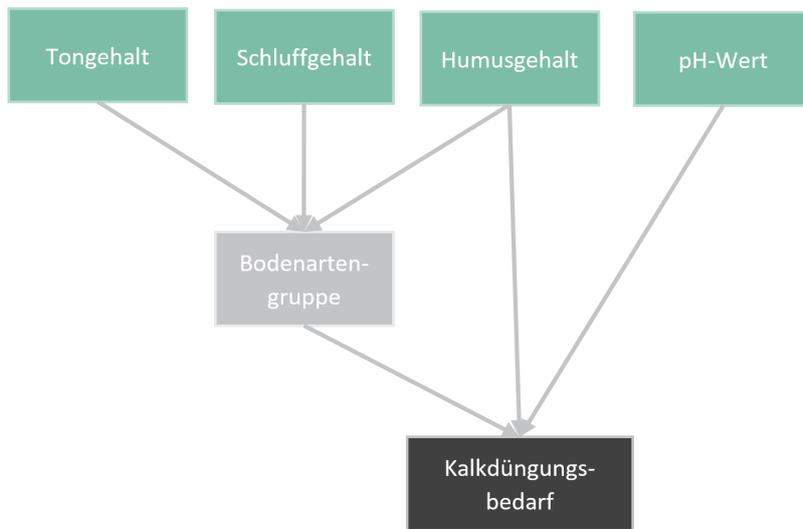


Abbildung 13: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Kalkdüngungsbedarfs nach VDLUFA (2000a, b). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

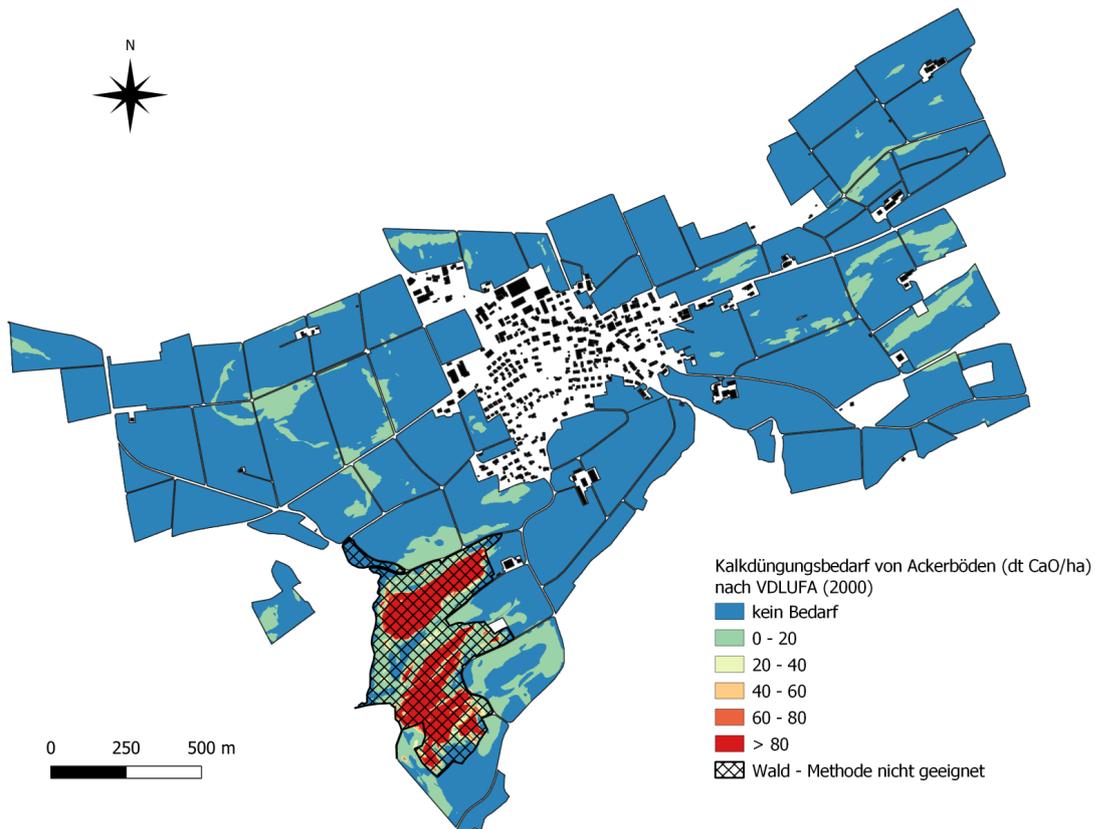


Abbildung 14: Anwendung der Methode zur Berechnung des Kalkdüngungsbedarfs nach VDLUFA (2000a, b) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die hier dokumentierte Methode entspricht der Methode der VDLUFA (2000a, b).

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Die verwendeten Bodendaten (Tongehalt (%), Schluffgehalt (%), pH-Wert (pH-CaCl₂), Humusgehalt (%)) liegen in der Auflösung von 2x2 m vor (Grob et al. 2024). Es werden Oberbodendaten für die Tiefenstufe von 0-30 cm verwendet.

1. Bestimmung der Bodenartengruppe

Im ersten Schritt wird die Bodenartengruppe nach VDLUFA (2000b) anhand der Bodeneigenschaften Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Humusgehalt (%) gemäss Tabelle 25 bestimmt.

Tabelle 25: Bodenartengruppen (1-6) nach VDLUFA (2000b). Die Bodenartengruppen 1-5 werden anhand der Bodenartenuntergruppen gemäss der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA4 (AG Boden 1996) ermittelt. Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen (analog zur KA4; Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «≤100 %» definiert). Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 30 % werden in die Bodenartengruppe 6 klassifiziert.

Bodenartengruppe (VDLUFA)	Bodenartenuntergruppe (KA4)	Bodenart (KA4)	Tongehalt (%)	Schluffgehalt (%)	Humusgehalt (%)
1	reiner Sand	Ss	0-5	0-10	≤30
1	schwach schluffiger Sand	Su2	0-5	10-25	≤30
2	mittel schluffiger Sand	Su3	0-8	25-40	≤30
2	stark schluffiger Sand	Su4	0-8	40-50	≤30
2	schwach lehmiger Sand	Sl2	5-8	10-25	≤30
2	mittel lehmiger Sand	Sl3	8-12	10-40	≤30
2	schwach toniger Sand	St2	5-17	0-10	≤30
3	schluffig-lehmiger Sand	Slu	8-17	40-50	≤30
3	stark lehmiger Sand	Sl4	12-17	10-40	≤30
3	mittel toniger Sand	St3	17-25	0-15	≤30
4	schwach sandiger Lehm	Ls2	17-25	40-50	≤30
4	mittel sandiger Lehm	Ls3	17-25	30-40	≤30
4	stark sandiger Lehm	Ls4	17-25	15-30	≤30
4	stark sandiger Lehm	Ts4	25-35	0-15	≤30
4	reiner Schluff	Uu	0-8	80-100	≤30
4	sandiger Schluff	Us	0-8	50-80	≤30
4	sandig-lehmiger Schluff	Uls	8-17	50-65	≤30
4	schwach toniger Schluff	Ut2	8-12	65-92	≤30
4	mittel toniger Schluff	Ut3	12-17	65-88	≤30
4	stark toniger Schluff	Ut4	17-25	65-83	≤30
4	schluffiger Lehm	Lu	17-30	50-65	≤30
5	schwach toniger Lehm	Lt2	25-35	30-50	≤30
5	mittel toniger Lehm	Lt3	35-45	30-50	≤30
5	sandig-toniger Lehm	Lts	25-45	15-30	≤30
5	mittel sandiger Lehm	Ts3	35-45	0-15	≤30
5	schwach sandiger Ton	Ts2	45-65	0-15	≤30
5	lehmiger Ton	Tl	45-65	15-30	≤30
5	schwach schluffiger Ton	Tu2	45-65	30-50	≤30
5	mittel schluffiger Ton	Tu3	30-45	50-65	≤30
5	stark schluffiger Ton	Tu4	25-35	65-75	≤30
5	reiner Ton	Tt	65-100	0-35	≤30
6	Hochmoore oder saure Niedermoore	-	0-100	0-100	>30

2. Bestimmung des Kalkdüngungsbedarfs

Der Kalkdüngungsbedarf wird auf Basis der Bodeneigenschaften pH-Wert (pH-CaCl₂) und Humusgehalt (%) anhand der Tabelle 26 bis Tabelle 31 bestimmt. Hierbei werden Humusgehalt und pH-Wert auf eine Nachkommastelle gerundet. Für jede Bodenartengruppe existiert eine separate Tabelle. Der Kalkdüngungsbedarf beschreibt die Kalkmengen in dt CaO/ha zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereichs (VDLUFA 2000b).

Tabelle 26: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 1.

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤4.0 %		4.1-8.0 %		8.1-15.0 %		15.1-30.0 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤4.0	45	≤3.7	50	≤3.4	50	≤3.1	21
	4.1	42	3.8	46	3.5	47	3.2	19
	4.2	39	3.9	43	3.6	43	3.3	18
	4.3	36	4.0	39	3.7	39	3.4	16
	4.4	33	4.1	35	3.8	35	3.5	15
	4.5	30	4.2	32	3.9	31	3.6	13
B	4.6	27	4.3	28	4.0	28	3.7	12
	4.7	24	4.4	24	4.1	24	3.8	10
	4.8	22	4.5	21	4.2	20	3.9	9
	4.9	19	4.6	17	4.3	16	4.0	7
	5.0	16	4.7	13	4.4	13	4.1	6
	5.1	13	4.8	10	4.5	9	4.2	4
	5.2	10	4.9	6	4.6	5		
	5.3	7						
C	5.4-5.8	6	5.0-5.4	5	4.7-5.1	4	4.3-4.7	3
D	5.9-6.2	0	5.5-5.8	0	5.2-5.4	0	4.8-5.1	0
E	≥6.3	0	≥5.9	0	≥5.5	0	≥5.2	0

Tabelle 27: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 2.

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤4.0 %		4.1-8.0 %		8.1-15.0 %		15.1-30.0 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤4.0	77	≤3.7	82	≤3.3	83	≤3.0	31
	4.1	73	3.8	78	3.4	78	3.1	29
	4.2	69	3.9	73	3.5	74	3.2	27
	4.3	65	4.0	69	3.6	69	3.3	26
	4.4	61	4.1	64	3.7	64	3.4	24
	4.5	57	4.2	60	3.8	60	3.5	22
	4.6	53	4.3	55	3.9	55	3.6	20
	4.7	49	4.4	51	4.0	51	3.7	19
B	4.8	46	4.5	46	4.1	46		
	4.9	42	4.6	42	4.2	41	3.8	17
	5.0	38	4.7	37	4.3	37	3.9	15
	5.1	34	4.8	33	4.4	32	4.0	14
	5.2	30	4.9	28	4.5	27	4.1	12
	5.3	26	5.0	24	4.6	23	4.2	10
	5.4	22	5.1	19	4.7	18	4.3	8
	5.5	19	5.2	15	4.8	13	4.4	7
C	5.6	15	5.3	10	4.9	9	4.5	5
	5.7	11						
D	5.8-6.3	10	5.4-5.9	9	5.0-5.5	8	4.6-5.1	4
D	6.4-6.7	0	6.0-6.3	0	5.6-5.9	0	5.2-5.5	0
E	≥6.8	0	≥6.4	0	≥6.0	0	≥5.6	0

Tabelle 28: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 3.

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤4.0 %		4.1-8.0 %		8.1-15.0 %		15.1-30.0 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤4.5	87	≤4.2	89	≤3.8	90	≤3.3	33
	4.6	82	4.3	83	3.9	84	3.4	31
	4.7	77	4.4	77	4.0	78	3.5	29
	4.8	73	4.5	71	4.1	72	3.6	27
	4.9	68	4.6	66	4.2	66	3.7	25
	5.0	63	4.7	60	4.3	60	3.8	23
B	5.1	58	4.8	54	4.4	54	3.9	21
	5.2	53	4.9	48	4.5	48	4.0	19
	5.3	49	5.0	42	4.6	42	4.1	17
	5.4	44	5.1	36	4.7	35	4.2	15
	5.5	39	5.2	31	4.8	29	4.3	14
	5.6	34	5.3	25	4.9	23	4.4	12
	5.7	29	5.4	19	5.0	17	4.5	10
	5.8	25	5.5	13	5.1	11	4.6	8
	5.9	20					4.7	6
	6.0	15						
C	6.1-6.7	14	5.6-6.2	12	5.2-5.8	10	4.8-5.4	5
D	6.8-7.1	0	6.3-6.7	0	5.9-6.2	0	5.5-5.8	0
E	≥7.2	0	≥6.8	0	≥6.3	0	≥5.9	0

Tabelle 29: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 4.

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤4.0 %		4.1-8.0 %		8.1-15.0 %		15.1-30.0 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤4.5	117	≤4.2	115	≤3.8	109	≤3.3	39
	4.6	111	4.3	108	3.9	103	3.4	37
	4.7	105	4.4	102	4.0	97	3.5	35
	4.8	100	4.5	95	4.1	90	3.6	33
	4.9	94	4.6	89	4.2	84	3.7	31
	5.0	88	4.7	82	4.3	78	3.8	29
	5.1	82	4.8	75	4.4	71	3.9	27
	5.2	76	4.9	69	4.5	65	4.0	25
B	5.3	70	5.0	62	4.6	59	4.1	23
	5.4	65	5.1	55	4.7	52	4.2	21
	5.5	59	5.2	49	4.8	46	4.3	19
	5.6	53	5.3	42	4.9	40	4.4	17
	5.7	47	5.4	36	5.0	33	4.5	15
	5.8	41	5.5	29	5.1	27	4.6	13
	5.9	36	5.6	22	5.2	21	4.7	11
	6.0	30	5.7	16	5.3	14	4.8	9
	6.1	24					4.9	7
	6.2	18						
C	6.3-7.0	17	5.8-6.5	15	5.4-6.1	13	5.0-5.7	6
D	7.1-7.4	0	6.6-7.0	0	6.2-6.5	0	5.8-6.1	0
E	≥7.5	0	≥7.1	0	≥6.6	0	≥6.2	0

Tabelle 30: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 5.

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤4.0 %		4.1-8.0 %		8.1-15.0 %		15.1-30.0 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤4.5	160	≤4.2	137	≤3.8	121	≤3.3	44
	4.6	152	4.3	130	3.9	115	3.4	41
	4.7	144	4.4	123	4.0	108	3.5	39
	4.8	136	4.5	115	4.1	102	3.6	37
	4.9	128	4.6	108	4.2	95	3.7	35
	5.0	121	4.7	100	4.3	89	3.8	33
	5.1	113	4.8	93	4.4	82	3.9	31
	5.2	105	4.9	86	4.5	76	4.0	29
B	5.3	98						
	5.4	90	5.0	78	4.6	69	4.1	27
	5.5	82	5.1	71	4.7	63	4.2	25
	5.6	75	5.2	69	4.8	56	4.3	23
	5.7	67	5.3	56	4.9	50	4.4	21
	5.8	59	5.4	49	5.0	43	4.5	19
	5.9	52	5.5	41	5.1	37	4.6	17
	6.0	44	5.6	34	5.2	30	4.7	14
	6.1	36	5.7	27	5.3	24	4.8	12
	6.2	29	5.8	19	5.4	17	4.9	10
C	6.3	21					5.0	8
	6.4-7.2	20	5.9-6.7	18	5.5-6.3	16	5.1-5.9	7
D	7.3-7.7	0	6.8-7.2	0	6.4-6.7	0	6.0-6.3	0
E	≥7.8	0	≥7.3	0	≥6.8	0	≥6.4	0

Tabelle 31: Kalkdüngungsbedarf (in dt CaO/ha) für Bodenartengruppe 6.

pH-Klasse	Humusgehalt	
	>30 %	
	pH	CaO
A, B	≤4.2	10
C	4.3	0
D, E	≥4.4	0

3. Bestimmung der pH-Klasse (optional)

Die Kalkversorgung des Bodens wird gemäss VDLUFA (2000a) in fünf pH-Klassen eingeteilt:

- _ Klasse A: Gesundungskalkung
- _ Klasse B: Aufkalkung
- _ Klasse C: Erhaltungskalkung
- _ Klasse D: keine Kalkung
- _ Klasse E: keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch alkalisch wirkender Düngemittel

Die pH-Klassen werden auf Basis der Bodenartengruppe, des Humusgehalts und des pH-Werts bestimmt (Humusgehalt und pH-Wert werden auf eine Nachkommstelle gerundet) und sind in der Tabelle 26 bis Tabelle 31 bereits abgebildet. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die pH-Klassen in Tabelle 32 separat ausgewiesen.

Tabelle 32: pH-Klasse gemäss VDLUFA (2000a). Klasse A: Gesundungskalkung, Klasse B: Aufkalkung, Klasse C: Erhaltungskalkung, Klasse D: keine Kalkung, Klasse E: keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch alkalisch wirkender Düngemittel. Kursiv dargestellt sind die Bereiche des pH-Werts (CaCl₂), die sich je nach Humusgehalt leicht unterscheiden.

Bodenartengruppe VDLUFA	Humusgehalt					pH- Klasse
	≤4.0 %	4.1-8.0 %	8.1-15.0 %	15.1-30 %	>30 %	
1	0-4.5	0-4.2	0-3.9	0-3.6	-	A
1	4.6-5.3	4.3-4.9	4-4.6	3.7-4.2	-	B
1	5.4-5.8	5-5.4	4.7-5.1	4.3-4.7	-	C
1	5.9-6.2	5.5-5.8	5.2-5.4	4.8-5.1	-	D
1	6.3-14	5.9-14	5.5-14	5.2-14	-	E
2	0-4.8	0-4.5	0-4.1	0-3.7	-	A
2	4.9-5.7	4.6-5.3	4.2-4.9	3.8-4.5	-	B
2	5.8-6.3	5.4-5.9	5-5.5	4.6-5.1	-	C
2	6.4-6.7	6-6.3	5.6-5.9	5.2-5.5	-	D
2	6.8-14	6.4-14	6-14	5.6-14	-	E
3	0-5	0-4.7	0-4.3	0-3.8	-	A
3	5.1-6	4.8-5.5	4.4-5.1	3.9-4.7	-	B
3	6.1-6.7	5.6-6.2	5.2-5.8	4.8-5.4	-	C
3	6.8-7.1	6.3-6.7	5.9-6.2	5.5-5.8	-	D
3	7.2-14	6.8-14	6.3-14	5.9-14	-	E
4	0-5.2	0-4.9	0-4.5	0-4	-	A
4	5.3-6.2	5-5.7	4.6-5.3	4.1-4.9	-	B
4	6.3-7	5.8-6.5	5.4-6.1	5-5.7	-	C
4	7.1-7.4	6.6-7	6.2-6.5	5.8-6.1	-	D
4	7.5-14	7.1-14	6.6-14	6.2-14	-	E
5	0-5.3	0-4.9	0-4.5	0-4	-	A
5	5.4-6.3	5-5.8	4.6-5.4	4.1-5	-	B
5	6.4-7.2	5.9-6.7	5.5-6.3	5.1-5.9	-	C
5	7.3-7.7	6.8-7.2	6.4-6.7	6-6.3	-	D
5	7.8-14	7.3-14	6.8-14	6.4-14	-	E
6	-	-	-	-	0-4.2	A, B
6	-	-	-	-	4.3-4.3	C
6	-	-	-	-	4.4-14	D, E

Literatur

- AG Boden, 1996. Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, KA4. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 392 S.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- VDLUFA, 2000a. Standpunkt des VDLUFA. Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.
- VDLUFA, 2000b. Standpunkt des VDLUFA. Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Anlage. Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland.

1.8 Kalkungsbedarf nach Flisch et al. (2017)

Produktname	Kalkungsbedarf nach Flisch et al. (2017)
Quelle	Flisch R, Neuweiler R, Kuster T, Oberholzer H, Huguenin-Elie O, Richner W, 2017. Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. Grundlagen der Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg W Richner & S Sinaj) Agrarforschung Schweiz, 8 (6), 34.
Beschrieb	Diese Methode klassiert die pH-Gehalte im Oberboden im Hinblick auf den Kalkbedarf.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30 cm) _ pH-Wert (pH-CaCl ₂)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Der Kalkungsbedarf wird in 4 Klassen angegeben: _ kein Kalkungsbedarf _ Erhaltungskalken bei pH-Abnahme _ Erhaltungskalken _ Aufkalken
Anwendungs- bereich	Die Methode eignet zur Beurteilung von Böden in Landwirtschaftsgebieten.

Grafischer Überblick

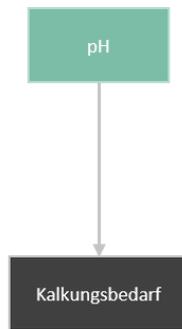


Abbildung 15: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Kalkungsbedarfs nach Flisch et al. (2017). Grün: Eingangsgrößen Boden, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

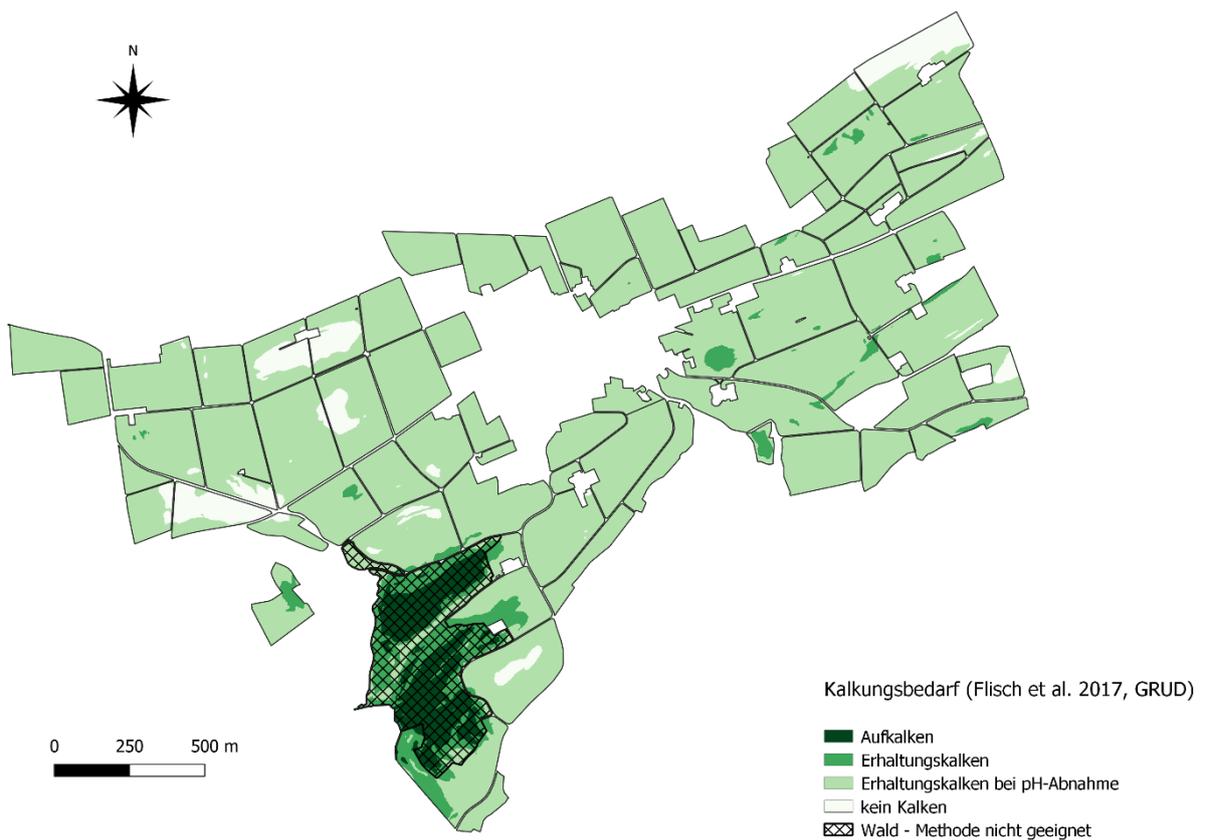


Abbildung 16: Anwendung der Methode zur Berechnung des Kalkungsbedarf nach Flisch et al. (2017) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Flisch et al. (2017) wurde eins-zu-eins auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Die pH-Karte liegt in der Auflösung von 2x2 m vor und stammt aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Kalkungsbedarf bestimmen nach Tabelle 33

Tabelle 33: Bewerten des Kalkungsbedarfs anhand des pH im Oberboden (0-30 cm)

<i>pH von (grösser gleich)</i>	<i>pH bis (kleiner als)</i>	<i>Kalkungsbedarf</i>
7.3	∞	kein Kalkungsbedarf
6.8	7.3	Erhaltungskalken bei pH-Abnahme
5.9	6.8	Erhaltungskalken
0	5.9	Aufkalken

Literatur

- Flisch R, Neuweiler R, Kuster T, Oberholzer H, Huguenin-Elie O, Richner W, 2017. Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. Grundlagen der Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg W Richner & S Sinaj) Agrarforschung Schweiz, 8 (6), 34.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.

1.9 Korrekturfaktor Boden bei der Stickstoff-Normdüngung nach Sinaj et al. (2017)

Produktname	Korrekturfaktor Boden Stickstoffdüngenorm nach Sinaj et al. (2017)
Quelle	Sinaj S, Charles R, Baux A, Dupuis B, Hiltbrunner J, Levy L, Pellet D, Blanchet G, Jeangros B, 2018. Grundlagen der Düngung, Kapitel 8: Düngung von Ackerkulturen.
Beschrieb	Die Methode beurteilt das Stickstoffnachlieferungspotenzial in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen. Sie gibt an, um wie viele Tonnen pro Hektar die Stickstoffdüngenorm für die bestehenden Bodenbedingungen korrigiert werden muss.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> — Ton (%) — Humus (%)
Weitere Eingangsrößen	-
Ergebnis	Das Resultat dieser Methode quantifiziert die Korrektur der Stickstoffdüngenorm in Tonnen Stickstoff pro Hektare.
Anwendungsbereich	Die Methode eignet zur Beurteilung von Böden in Landwirtschaftsgebieten.

Grafischer Überblick

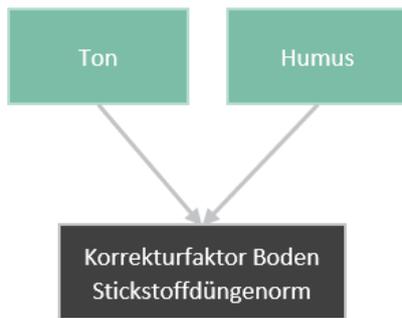


Abbildung 17: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Korrekturfaktor Boden der Stickstoffdüngennorm nach Sinaj et al. (2017). Grün: Eingangsgrößen Boden, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

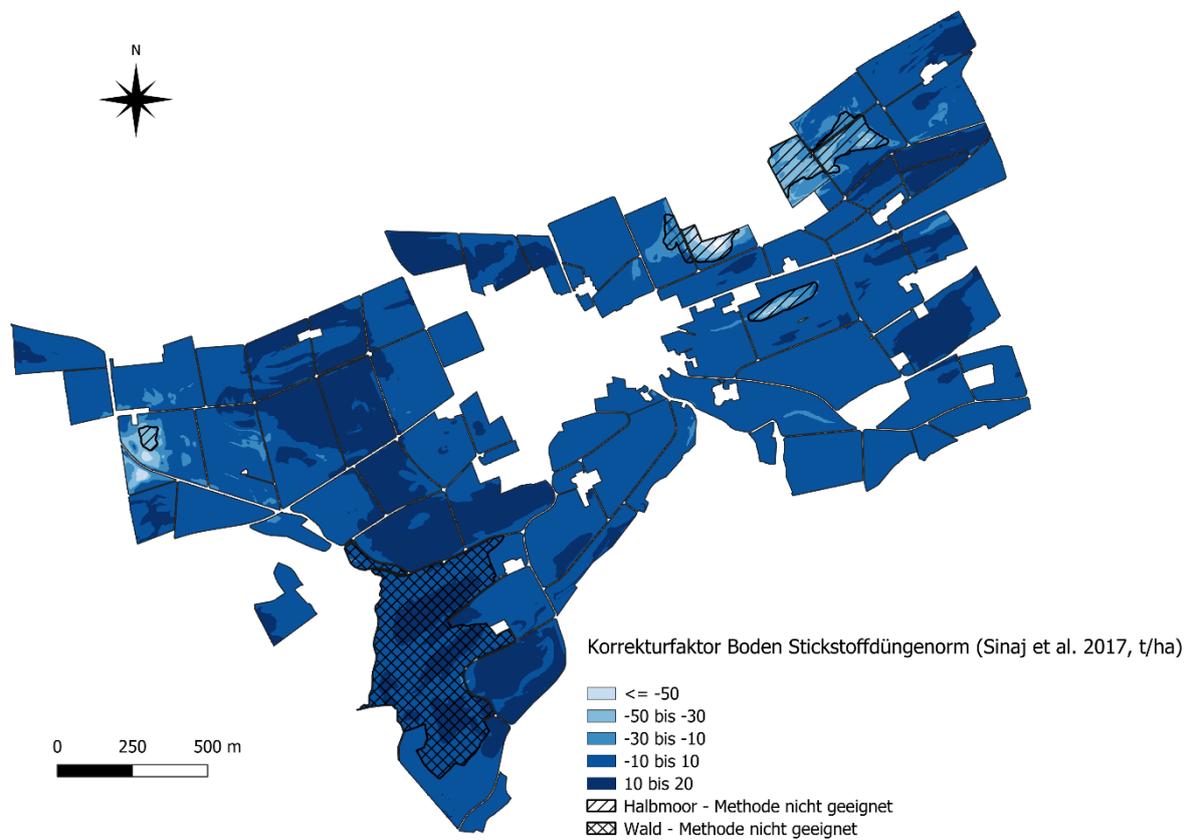


Abbildung 18: Anwendung der Methode zur Berechnung der Korrektur der Stickstoffdüngennorm nach Sinaj et al. (2017) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG) .

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Sinaj et al. (2018) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in angepasster Variante angewendet. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Bestimmung des Korrekturfaktors N für die 3 Bodenschichten (0-30,30-60,60-90 cm)

Der Korrekturfaktor N wird auf Basis des Ton- und Humusgehalts für alle 3 Bodenschichten separat anhand der Tabelle 34 bestimmt.

Tabelle 34: Tabelle zur Herleitung des Korrekturfaktors der Stickstoffdüngernorm (t/ha) aus Tongehalt (%) und Humusgehalt (%).

Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Humus von (grösser gleich)	Humus bis (kleiner als)	Korrekturfaktor N
0	15	0	1.2	20
0	15	1.2	2.9	0
0	15	2.9	6.9	-20
0	15	6.9	19.9	-60
0	15	19.9	100	-100
15	30	0	1.8	20
15	30	1.8	3.9	0
15	30	3.9	7.9	-20
15	30	7.9	19.9	-60
15	30	19.9	100	-100
30	100	0	2.5	20
30	100	2.5	5.9	0
30	100	5.9	9.9	-20
30	100	9.9	19.9	-60
30	100	19.9	100	-100

2. Mitteln der ermittelten Korrekturfaktoren

Korrekturfaktor Boden Stickstoffdüngernorm = $1/3 \cdot (\text{Korrekturfaktor Boden Stickstoffdüngernorm 0-30 cm} + \text{Korrekturfaktor Boden Stickstoffdüngernorm 30-60 cm} + \text{Korrekturfaktor Boden Stickstoffdüngernorm 60-90 cm})$

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Originalmethode beurteilt weitere Faktoren (wie Klima, Vorkultur, Kultur, angepeilter Ertrag, vorheriger Hofdüngereinsatz etc.) für die Korrektur der Stickstoffdüngernorm.
- Die Originalmethode spezifiziert nicht, wie Ton- und Humusgehalte über verschiedene Bodenschichten hinweg in die Methode eingehen. Hier wurde ein Mittelungsweg gewählt. Entsprechend werden die Stickstoffmengenklassen der Originalmethode (0 bis +40, 0, 0 bis -40, -40 bis -80, -80 bis -120 t/ha) nicht beibehalten. Es wurde - ausser für die Null-Klasse - jeweils die Mitte dieser Klassen verwendet für die Zuordnung pro Bodenschicht und anschliessend über die drei Schichten gemittelt.

Literatur

- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Sinaj S, Charles R, Baux A, Dupuis B, Hiltbrunner J, Levy L, Pellet D, Blanchet G, Jeangros B, 2018. Grundlagen der Düngung, Kapitel 8 : Düngung von Ackerkulturen.

1.10 Regulierungsfunktion Nährstoffverfügbarkeit nach Lehmann et al. (2013)

Produktname	Regulierungsfunktion Nährstoffverfügbarkeit nach Lehmann et al. (2013)
Quelle	Lehmann A, David S, Stahr K, 2013. TUSEC - Bilingual-Edition: Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden (Deutsche Fassung). Stuttgart.
Beschrieb	Diese Methode beurteilt, wie gut ein Boden Nährstoffe pflanzenverfügbar speichern kann. Dabei werden sieben verschiedene Bodeneigenschaften berücksichtigt, um die effektive Kationenaustauschkapazität im Profil abzuschätzen.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Skelett (%) - Humus (%) - Lagerungsdichte Feinerde (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> - Obergrenze Untergrund (cm) - Obergrenze gg- oder r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Die Nährstoffverfügbarkeit wird in 5 Klassen beurteilt: 1 – Nährstoffverfügbarkeit sehr schlecht 2 – Nährstoffverfügbarkeit schlecht 3 – Nährstoffverfügbarkeit mittel 4 – Nährstoffverfügbarkeit gut 5 – Nährstoffverfügbarkeit sehr gut
Anwendungs- bereich	Die Methode eignet sich für Landwirtschafts- und Waldgebiete.

Grafischer Überblick

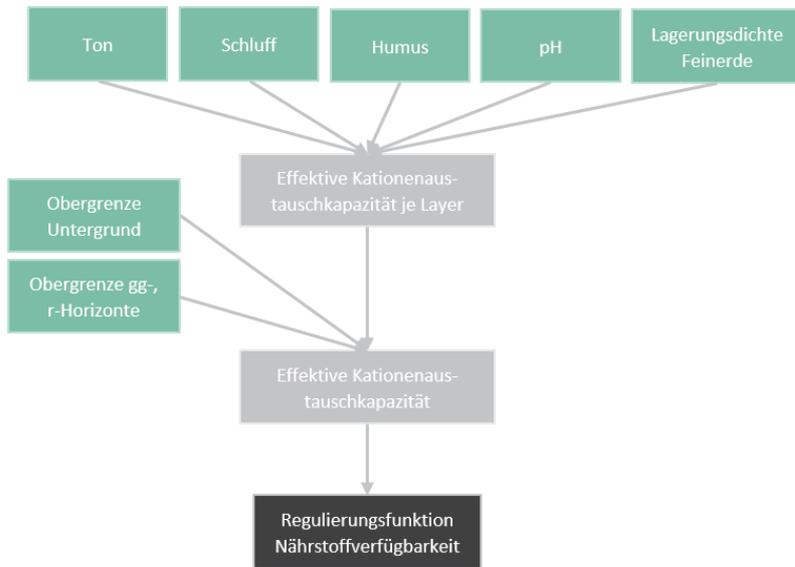


Abbildung 19: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der Regulierungsfunktion für Nährstoffverfügbarkeit nach Lehmann et al. (2013). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

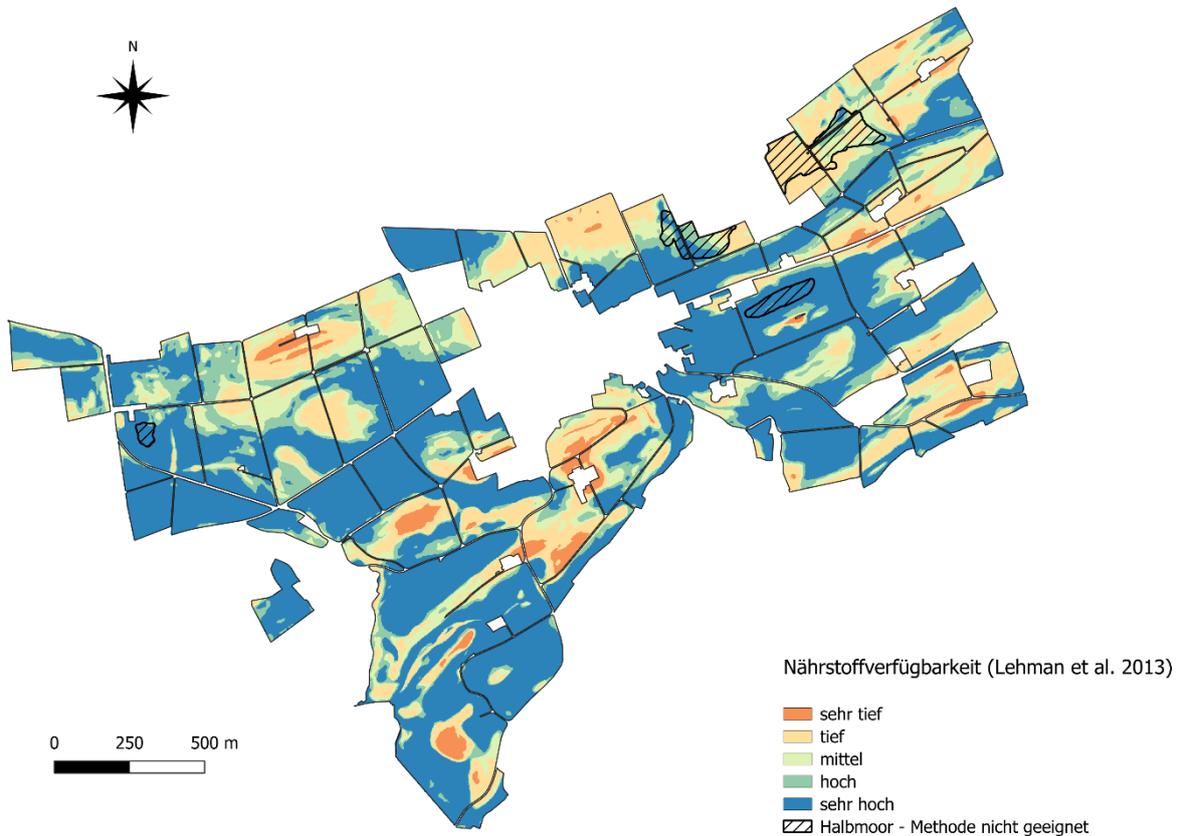


Abbildung 20: Anwendung der Methode zur Berechnung der Regulierungsfunktion für Nährstoffverfügbarkeit nach Lehmann et al. (2013) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Lehmann et al. (2013) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Mineralische Feinerdemasse und Humusmasse je Bodenschicht herleiten (kg/m²)

Feinerdemasse (kg/m²) = Tiefe der Bodenschicht (cm) * Lagerungsdichte Feinerde der Bodenschicht (g/cm³) * (1- (Skelettgehalt der Bodenschicht (Vol- %) /100) *10

Humusmasse (kg/m²) = Feinerdemasse (kg/m²) * Humus (%) /100

Mineralische Feinerdemasse (kg/m²) = Feinerdemasse (kg/m²) - Humusmasse (kg/m²)

2. Effektive Kationenaustauschkapazität für den mineralischen Anteil im Bodenschicht bestimmen (mol_c/m²)

$KAK_{eff_{min}} \text{ (cmol}_c\text{/kg)} = 0.5 * \text{Ton} + 0.05 * \text{Schluff}$

$KAK_{eff_{min}} \text{ (mol}_c\text{/m}^2\text{)} = KAK_{eff_{min}} \text{ (cmol}_c\text{/kg)} * \text{Mineralische Feinerdemasse (kg/m}^2\text{)} * 0.01$

3. Effektive Kationenaustauschkapazität des organischen Anteils im Bodenschicht bestimmen (mol_c/m²)

Für die Herleitung der effektiven Kationenaustauschkapazität der organischen Feinerde ($KAK_{eff_{org}}$) wird zuerst für alle Tiefenstufen der pH-Faktor bestimmt (Tabelle 35), anschliessend der Anteil der $KAK_{eff_{org}}$ an der Feinerde bestimmt (Formel a) und diesen Anteil dann auf die Humusmasse bezogen (Formel b).

Tabelle 35: Bestimmen des pH-Faktor für die pH-Werte aller drei Tiefenstufen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm)

pH von (grösser als)	pH bis (kleiner als)	pH-Faktor
7.5	∞	1
6.5	7.5	0.8
5.5	6.5	0.6
4.5	5.5	0.4
3.5	4.5	0.25
0	3.5	0.15

a. Anteil $KAK_{eff_{org}}$ (cmol_c/kg) = 2 * Humus (%) * pH-Faktor

b. $KAK_{eff_{org}}$ (mol_c/m²) = Anteil $KAK_{eff_{org}}$ (cmol_c/kg) * Humusmasse (kg/m²) * 0.01

4. Effektive Kationenaustauschkapazität für 0 bis maximal 90 cm Tiefe bestimmen (mol_c/m²)

$$KAK_{eff_{0 \text{ bis max. } 90 \text{ cm}}} = \sum_{i=1}^n KAK_{eff_{Min}} + KAK_{eff_{org}}$$

(n = Anzahl der Schichten die bis zur Profilgrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts gehen)

Falls der letzte Horizont in der Bewertungstiefe über die Bewertungstiefe hinaus geht, wird die KAKeff entsprechend dem Anteil Bodenschichtmächtigkeit innerhalb der 90cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

5. Bewertungstabelle anwenden

Anhand der effektiven Kationenaustauschkapazität für 0 bis maximal 90 cm (KAKeff, mol_c/m²) aus Schritt 4 wird die Nährstoffverfügbarkeit mit Tabelle 36 beurteilt:

Tabelle 36: Bewertung der Nährstoffverfügbarkeit (NSV) anhand der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAKeff, mol_c/m²) von 0-90 cm oder – falls vorhanden – bis zur Obergrenze eines gg- oder r-Horizonts

KAKeff	0-30 mol _c /m ²	30-60 mol _c /m ²	60-80 mol _c /m ²	80-100 mol _c /m ²	>100 mol _c /m ²
Bewertung	sehr schlechte NSV	schlechte NSV	mittlere NSV	gute NSV	sehr gute NSV

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Bewertungsskala wurde auf Schweizer Verhältnisse angepasst.

Literatur

- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Lehmann A, David S, Stahr K, 2013. TUSEC -- Bilingual-Edition: Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden (Deutsche Fassung). Stuttgart.

1.11 Stickstoffnachlieferungspotenzial nach Flisch et al. (2017)

Produktname	Stickstoffnachlieferungspotenzial nach Flisch et al. (2017)
Quelle	Flisch R, Neuweiler R, Kuster T, Oberholzer H, Huguenin-Elie O, Richner W, 2017. Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. Grundlagen der Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg W Richner & S Sinaj) Agrarforschung Schweiz, 8 (6), 34.
Beschrieb	Humus- und Tongehalt beeinflussen die Bodenstruktur und damit den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens, welche wiederum die Stickstoffmineralisierung beeinflussen. Die «Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen» (Flisch et al. 2017a) klassieren Humus- und Tongehalte und deren Auswirkungen auf die Stickstoffdynamik in fünf Klassen, von geringem bis zu sehr hohem Stickstoffnachlieferungspotenzial.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30 cm) – Ton (%) – Humus (%)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Das Stickstoffnachlieferungspotenzial wird in 5 Klassen angegeben: 1 - potenzielle Stickstoffnachlieferung gering 2 - potenzielle Stickstoffnachlieferung ausreichend 3 - potenzielle Stickstoffnachlieferung gut 4 - potenzielle Stickstoffnachlieferung erhöht 5 - potenzielle Stickstoffnachlieferung sehr hoch
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich für Landwirtschaftsflächen.

Grafischer Überblick

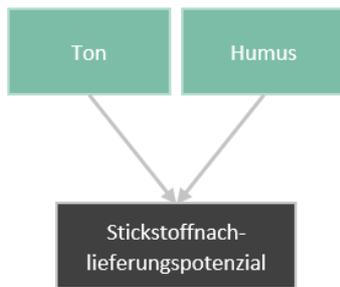


Abbildung 21: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der potenziellen Stickstoffnachlieferung nach Flisch et al. (2017). Grün: Eingangsgrößen Boden, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

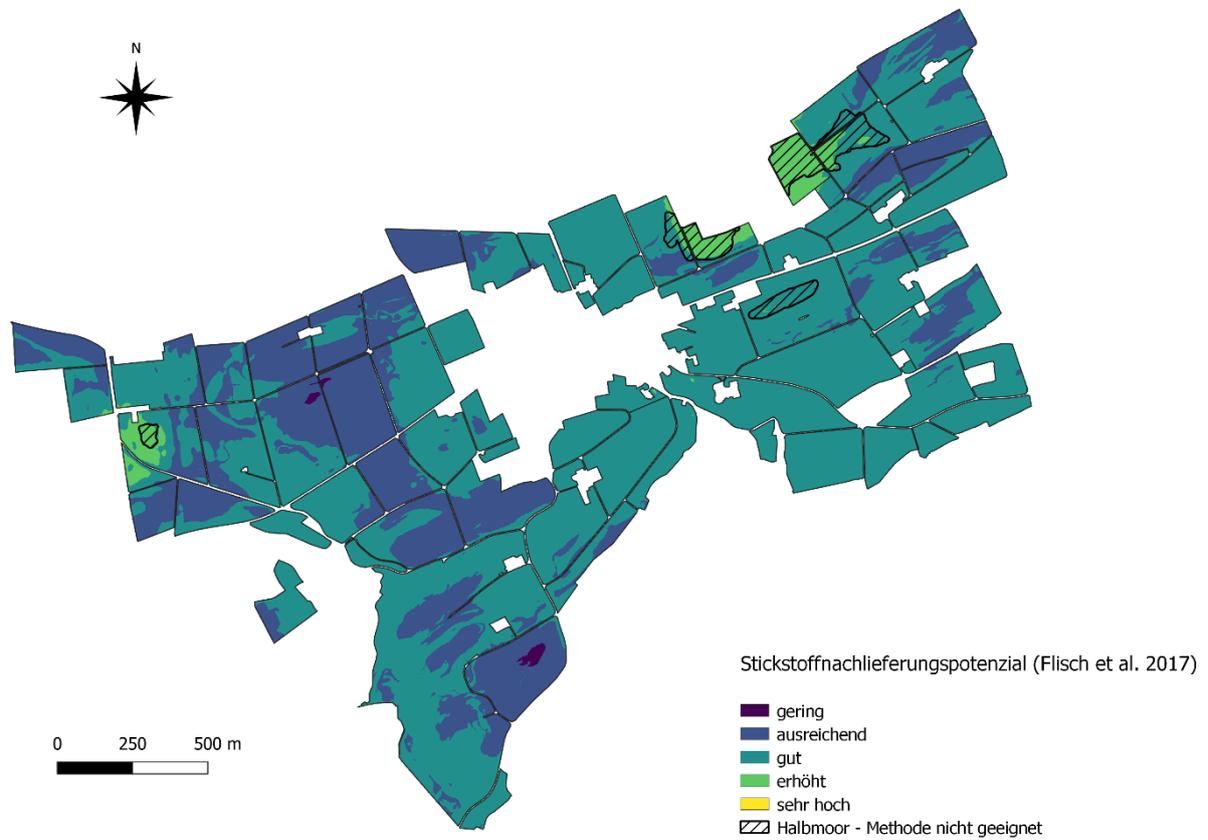


Abbildung 22: Anwendung der Methode zur Berechnung des Stickstoffnachlieferungspotenzials nach Flisch et al. (2017) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Methode wurde eins-zu-eins nach Tabelle 3 in Flisch et al. (2017) auf das Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau umgesetzt.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten sind in der Auflösung 2x2 m und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Stickstoffnachlieferungspotenzial bestimmen

Anhand von Ton und Humus wird das Stickstoffnachlieferungspotenzial abgeschätzt mit Tabelle 37.

Tabelle 37: Tabelle zur Herleitung des Stickstoffnachlieferungspotenzials aus Tongehalt (%) und Humusgehalt (%).

Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Humus von (grösser gleich)	Humus bis (kleiner als)	Stickstoffnachlieferungspotenzial
0	10	0	1.2	gering
0	10	1.2	3	ausreichend
0	10	9	5	gut
0	10	5	20	erhöht
0	10	20	101	sehr hoch
10	20	0	1.6	gering
10	20	1.6	3.5	ausreichend
10	20	3.5	7	gut
10	20	7	20	erhöht
10	20	20	101	sehr hoch
20	30	0	2	gering
20	30	2	4	ausreichend
20	30	4	8	gut
20	30	8	20	erhöht
20	30	20	101	sehr hoch
30	101	0	2.5	gering
30	101	2.5	6	ausreichend
30	101	6	10	gut
30	101	10	20	erhöht
30	101	20	101	sehr hoch

Literatur

- Flisch R, Neuweiler R, Kuster T, Oberholzer H, Huguenin-Elie O, Richner W, 2017. Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. Grundlagen der Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg W Richner & S Sinaj) Agrarforschung Schweiz, 8 (6), 34.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch

1.12 Feuchtstandortpotenzial nach Vögeli et al. (2022)

Produktname	Feuchtstandortpotenzial nach Vögeli et al. (2022)
Quelle	Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
Beschrieb	Die Methode bewertet das Potenzial für Feuchtgebiete. Muldenlagen, Flächen mit viel Niederschlag, wenig Hangneigung und Vernässungsmerkmalen werden als Flächen mit hohem Potenzial bezeichnet.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (30-60 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Skelett (%) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> - Bodentyp - Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien)
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> - Hangneigung (%) - Convergence Index (-) Klima <ul style="list-style-type: none"> - Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) Historische Informationen <ul style="list-style-type: none"> - Drainagepotenzial (3 Klassen) - Historische Feuchtgebiete (1870-1926) Biologie <ul style="list-style-type: none"> - Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien)
Ergebnis	Das Ergebnis wird in einer Skala von 0 Punkten (kein Potenzialfläche für Feuchtgebiete) bis zu 100 Punkten (höchstes Potenzialfläche für Feuchtgebiete) angegeben.
Anwendungs- bereich	Die Methode eignet sich für Flächen ausserhalb von Siedlungen.

Grafischer Überblick

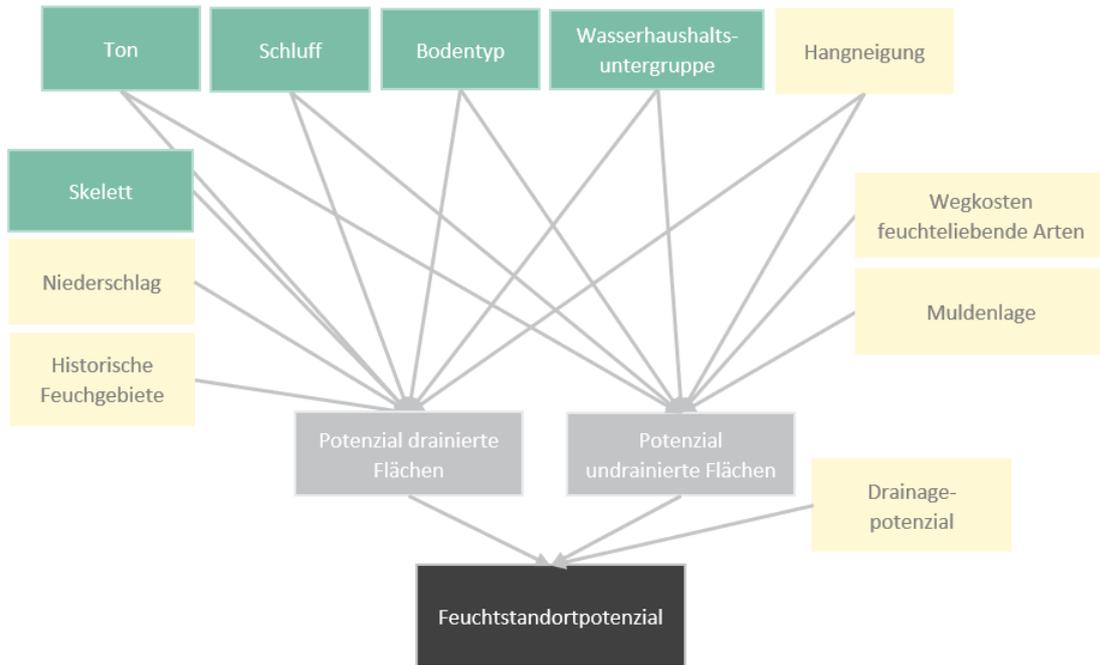


Abbildung 23: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Feuchtstandortpotenzials nach Vögeli et al. (2022). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

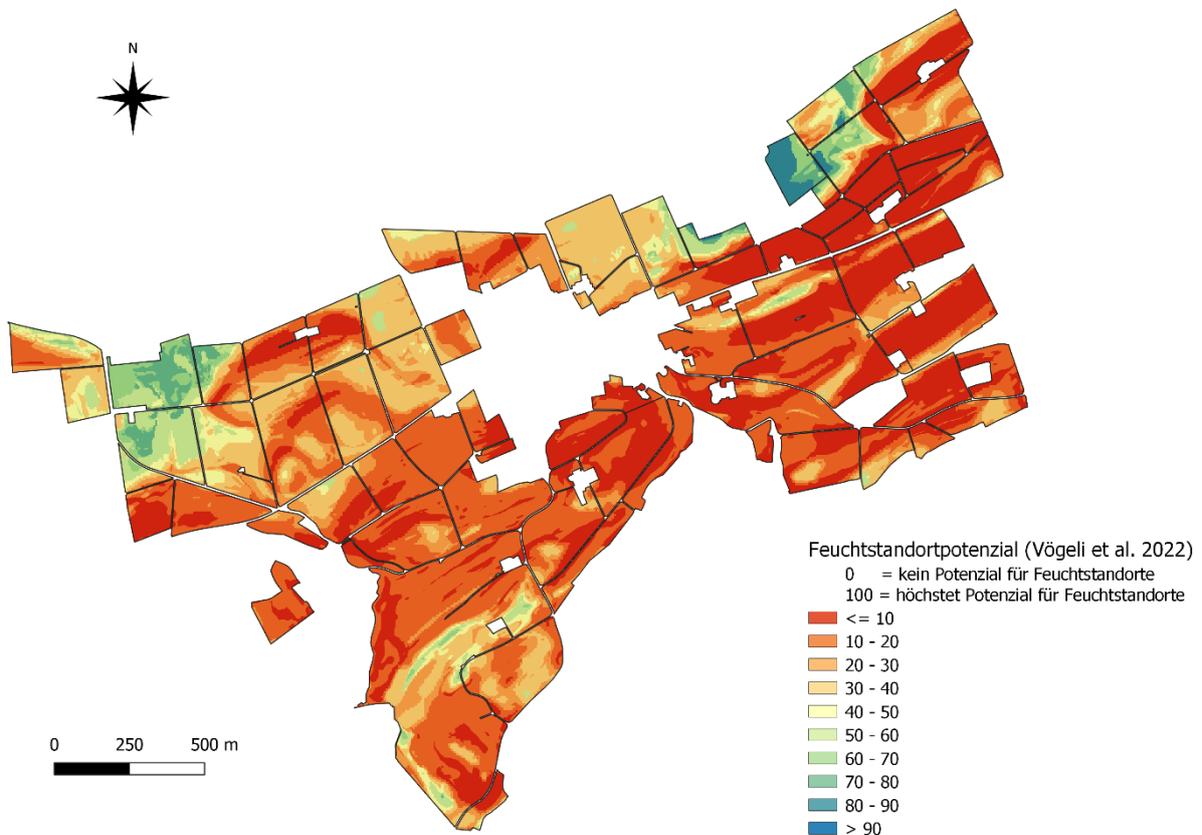


Abbildung 24: Anwendung der Methode zur Berechnung des Feuchtstandortpotenzials nach Vögeli et al. (2022) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Vögeli et al. (2022) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodells SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8x8 m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- _ Hangneigung (°)
- _ Convergence Index (-)

Klima: die Klimadaten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- _ Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) in der Periode 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)

Historische Informationen: Die Karten lagen im Polygonformat vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten angepasst.

- _ Drainagepotenzial (3 Klassen), (Koch und Prasuhn 2020)
- _ Historische Feuchtgebiete (1870-1926), (Wüst-Galley et al. 2015)

Biologie: Die Polygonkarte wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- _ Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien), (Churko et al. 2020)

1. Unterscheidung drainiert von nicht-drainierten Flächen

Anhand der Drainagepotenzialkarte (Koch und Prashun 2020) wird für jede Rasterzelle unterschieden, ob sie eher drainiert ist oder nicht-drainiert. Standorte mit Klasse 2 (mittlere Wahrscheinlichkeit für Drainagen) und Klasse 3 (hohe Wahrscheinlichkeit für Drainagen) werden als «drainiert» angenommen. Standorte mit tiefer Wahrscheinlichkeit für Drainagen und solche ohne Wahrscheinlichkeit werden als «nicht-drainiert» angenommen.

2. Feuchtflächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung der Bodentypen

Für alle potenziell drainierten Böden wird Tabelle 38 angewendet:

Tabelle 38: Bewerten der Bodentypen.

Bodentyp	Bewertungspunkte
Moor, Fahlgley	20
Halbmoor, Buntgley	16
Braunerde-Gley	8
Pseudogley, Braunerde-Pseudogley	4
Alle anderen Bodentypen	0

3. Feuchtfächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung der Wasserhaushaltsuntergruppe

Für alle potenziell drainierten Böden wird Tabelle 39 angewendet:

Tabelle 39: Bewerten der Wasserhaushaltsuntergruppen.

Wasserhaushaltsuntergruppe	Bewertungspunkte
z	10
v, w, x, y	8
s, t, u	6
q, r	4
o, p	2
Alle anderen Wasserhaushaltsuntergruppen	0

4. Feuchtfächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung des Skelettgehalts im Unterboden (Bodenschicht 30-60 cm)

Für alle potenziell drainierten Böden wird Tabelle 40 angewendet:

Tabelle 40: Bewerten des Skelettgehalts im Unterboden (30-60 cm).

Skelettgehalt (Vol-%)	Bewertungspunkte
<5	5
5-10	4
10-20	3
20-100	0

5. Feuchtfächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung der Textur im Unterboden (Bodenschicht 30-60 cm)

Für alle potenziell drainierten Böden wird Tabelle 41 angewendet:

Tabelle 41: Bewerten der Textur im Unterboden (30-60 cm).

Ton (%)	Schluff (%)	Bewertungspunkte
50-100	0-50	5
20-30	0-50	3
0-10	0-70	2
0-5	0-15	1
Organisch		5
Alle anderen		0

6. Feuchtfächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung der Hangneigung

Für alle potenziell drainierten Böden wird

Tabelle 42 angewendet:

Tabelle 42: Bewerten der Hangneigung.

Hangneigung (%)	Bewertungspunkte
0-1	40
1-2	28
2-3	20
3-4	12
4-5	6
5-100	0

7. Feuchfflächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung des Niederschlags

Für alle potenziell drainierten Böden wird Tabelle 43 angewendet:

Tabelle 43: Bewerten des Niederschlags.

Mittlerer Jahresniederschlag (mm)	Bewertungspunkte
>1600	10
1500-1600	9
1400-1500	8
1300-1400	7
1200-1300	6
1100-1200	5
1000-1100	4
900-1000	3
800-900	2
<800	0

8. Feuchfflächenpotenzial drainierter Flächen: Bewertung zu historischen Feuchtgebieten

Alle potenziell drainierten Böden erhalten in historischen Feuchtgebieten nach Wüest-Galley et al. (2015) 10 Bewertungspunkte.

9. Gesamtbewertung des Feuchfflächenpotenzials drainierter Flächen

Für alle (potenziell) drainierten Flächen werden die Bewertungspunkte aus Punkt 2 bis 8 zusammengezählt. Die Summe dieser Punkte entspricht dem Potenzial für Feuchtgebiete:

Feuchfflächenpotenzial drainierte Flächen = Bewertungspunkte Bodentyp + Bewertungspunkte Wasserhaushaltsuntergruppe + Bewertungspunkte Skelettgehalt im Unterboden + Bewertungspunkte Textur im Unterboden + Bewertungspunkte Hangneigung + Bewertungspunkte Niederschlag + Bewertungspunkte historische Feuchtgebiete

10. Feuchfflächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung Bodentyp

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 44 angewendet:

Tabelle 44: Bewerten des Bodentyps 2.

Bodentyp	Bewertungspunkte
Moor, Fahlgley, Halbmoor, Buntgley, Braunerde-Gley, Pseudogley, Braunerde-Pseudogley	28
Alle anderen Bodentypen	0

11. Feuchthflächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung Wegkosten für feuchteliebende Arten (Vernetzung)

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 45 angewendet:

Tabelle 45: Bewerten der Wegkosten für feuchteliebende Arten (nach Churko et al. 2020).

Wegkosten feuchteliebende Arten	Bewertungspunkte
1	20
2	15
3	10
4	5
>4	0

12. Feuchthflächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung der Hangneigung

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 46 angewendet:

Tabelle 46: Bewerten der Hangneigung 2.

Hangneigung (%)	Bewertungspunkte
0-1	10
1-2	8
2-3	6
3-4	4
4-5	2
5-100	0

13. Feuchthflächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung der Muldenlage

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 47 angewendet:

Tabelle 47: Bewerten des Convergence Index.

Convergence Index	Bewertungspunkte
<-30	10
-25 bis -30	8
-20 bis -25	6
-15 bis -20	4
-10 bis -15	2
> -15	0

14. Feuchthflächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung der Textur im Unterboden

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 48 angewendet:

Tabelle 48: Bewerten der Textur 2.

Ton (%)	Schluff (%)	Bewertungspunkte
50-100	0-50	6
20-30	0-50	3
0-10	0-70	2
0-5	0-15	1
Organisch		6
Alle anderen		0

15. Feuchtfächenpotenzial nicht-drainierter Flächen: Bewertung der Wasserhaushaltsuntergruppe

Für alle potenziell nicht-drainierten Böden wird Tabelle 49 angewendet:

Tabelle 49: Bewerten der Wasserhaushaltsuntergruppe 2.

Wasserhaushaltsuntergruppe	Bewertungspunkte
z, v, w, x, y, s, t, u	6
q, r	4
o, p	2
Alle anderen Wasserhaushaltsuntergruppen	0

16. Gesamtbewertung des Feuchtfächenpotenzials nicht-drainierter Flächen

Für alle (potenziell) nicht-drainierten Flächen werden die Bewertungspunkte aus Punkten 10 bis 15 zusammengezählt. Die Summe dieser punkte entspricht dem Potenzial für Feuchtgebiete:

Potenzial drainierte Flächen = Bewertungspunkte Bodentyp + Bewertungspunkte Wasserhaushaltsuntergruppe + Bewertungspunkte Wegkosten feuchteliebende Arten + Bewertungspunkte Textur im Unterboden + Bewertungspunkte Hangneigung + Bewertungspunkte Muldenlage

Unterschiede zur Originalmethode

- Skelettklassen aus der Originalmethode wurden zu Skelettgehalten umgewandelt.
- Die Bewertung der nicht-drainierten Flächen ist nur ansatzweise dokumentiert. Hier wurden zu allen Bewertungen Annahmen gemacht, die sich an der Bewertung für drainierte Flächen und der dokumentierten Punktevergabe in der Originalmethode orientieren.

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Churko G, Walter T, Szerencsits E, Gramlich A, 2020. Improving wetland connectivity through the promotion of wet arable land. Wetlands Ecol Manage.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Koch U, Prasuhn V, 2020. Drainagekarte Schweiz: Erstellung einer Karte potenziell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning». Agroscope Science, 104. <https://doi.org/10.34776/as104g>
- MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>
- Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- Wüst-Galley C, Grünig A, Leifeld J, 2015. Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. Zurich. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/klima/klima-climatereporting-referenzen-cp2/wuest-galley_c_gruenigaleifeldj2015.pdf.download.pdf

1.13 Lebensraumfunktion für Mikroorganismen nach Oberholzer und Scheid (2007)

Produktname	Lebensraumfunktion für Mikroorganismen nach Oberholzer und Scheid (2007)
Quellen	<p>Oberholzer H-R, Scheid S, 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Bern.</p> <p>Greiner L, Nussbaum M, Papritz A, Fraefel M, Zimmermann S, Schwab P, Grêt-Regamey A, Keller A, 2018. Assessment of soil multi-functionality to support the sustainable use of soil resources on the Swiss Plateau. Geoderma Regional, 14, 00181.</p>
Beschrieb	Diese Methode bewertet den Gehalt an mikrobieller Biomasse im Vergleich zu den Gehalten anderer Böden.
Eingangsrößen Boden	<p>Schichtbezug (0-30 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> _ C_{Org} (%) _ pH _ Ton (%) _ Sand (%)
Weitere Eingangsrößen	<p>Landnutzung</p> <ul style="list-style-type: none"> _ Unterscheidung Acker-, Grasland und Wald
Ergebnis	<p>Das Ergebnis dieser Methode wird in fünf Klassen angegeben:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefer Gehalt mikrobieller Biomasse 2 – tiefer Gehalt mikrobieller Biomasse 3 – mittlerer Gehalt mikrobieller Biomasse 4 – hoher Gehalt mikrobieller Biomasse 5 – sehr hoher Gehalt mikrobieller Biomasse
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich aufgrund der Passung der verwendeten Pedotranferfunktionen für Acker- und Graslandstandorte mit einem C _{Org} -Gehalt von 1-4 %, einem Tongehalt von 10-40 % und einem pH-Wert von 4.3-7.5. Waldstandorte können nicht beurteilt werden.

Grafischer Überblick

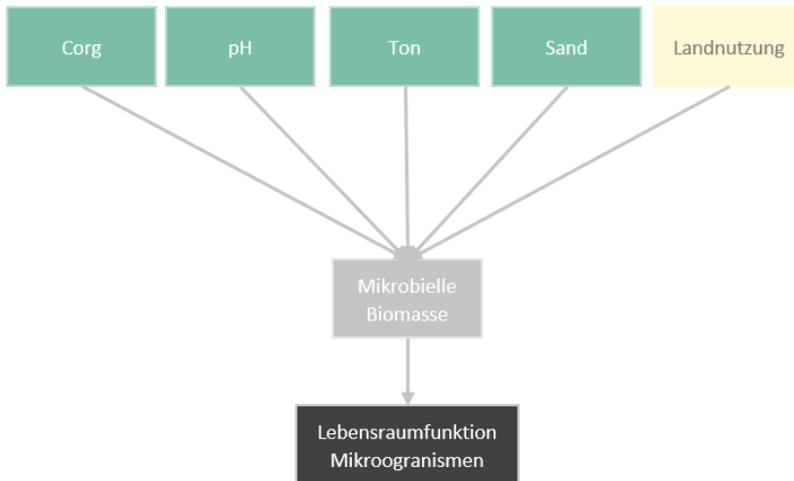


Abbildung 25: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der Lebensraumfunktion für Mikroorganismen nach Oberholzer und Scheid (2007). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

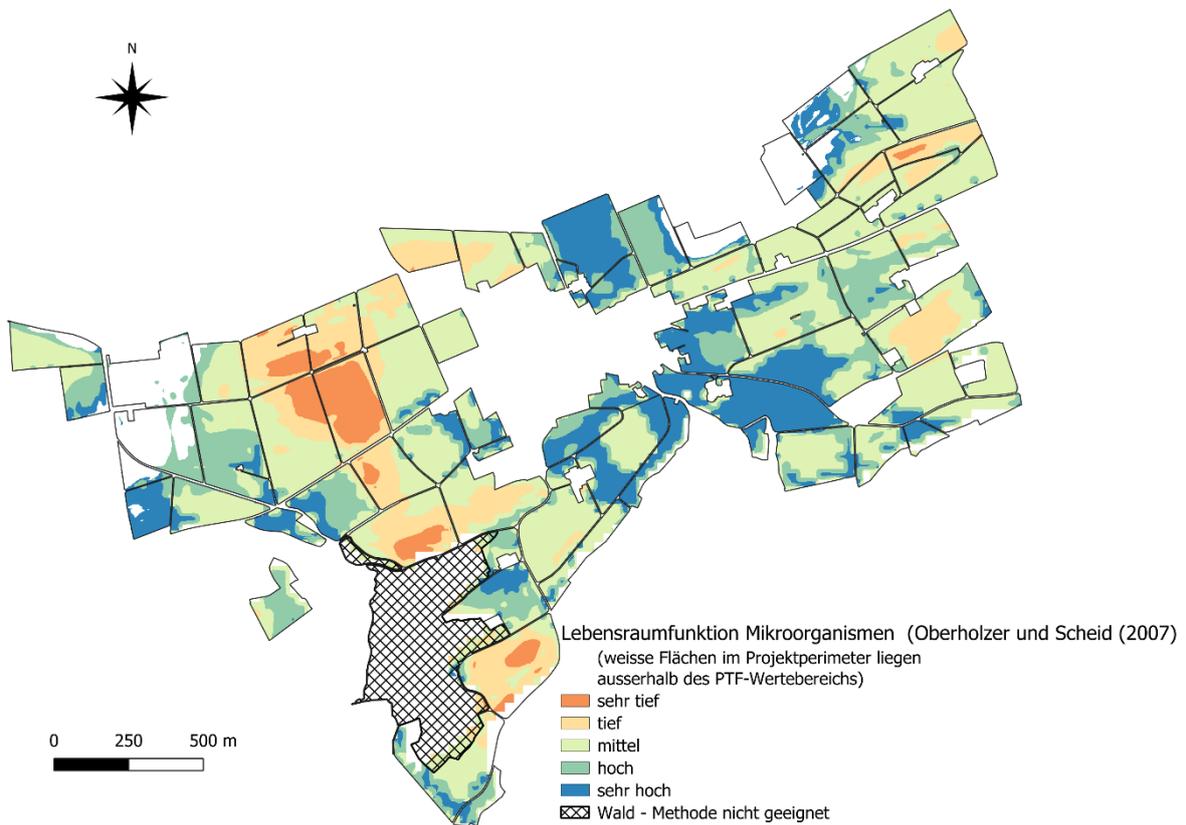


Abbildung 26: Anwendung der Methode zur Berechnung der Lebensraumfunktion für Mikroorganismen nach Oberholzer und Scheid (2007) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die hier vorgestellte Methode wurde aus zwei Quellen zusammengestellt (Oberholzer und Scheid 2007; Greiner et al. 2018) und auf ein Pilotgebiet der KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Landnutzung: Die Unterscheidung von Acker, Grasland und Wald wurde über ein (bisher) unpubliziertes Ableitungsprodukt des KOBO zur Arealstatistik (Bundesamt für Statistik 2023) für die Jahre 2016-2020 vorgenommen. Das Ableitungsprodukt aggregiert die Landnutzungen für 5 Jahre, zu 8 Kategorien und macht ein 10m-Grid remap. Das Ableitungsprodukt wurde auf die Auflösung von Lommis heruntergebrochen.

1. Mikrobielle Biomasse über die PTF von Oberholzer und Scheid (2007) herleiten für den Oberboden (Bodenschicht 0-30 cm; mg/kg Trockenmasse)

Je nachdem, ob eine Acker- oder Graslandnutzung vorliegt nach der Arealstatistik (Bundesamt für Statistik 2023), wird die mikrobielle Biomasse für Acker- oder für Grasland mit nachfolgenden Pedotransferfunktionen von Oberholzer und Scheid (2007) berechnet.

Wenn Ackerland:

$$\ln(\text{mikrobielle Biomasse}) = 3.58 + 0.82 * \ln(\text{Corg}) + 0.15 \text{ pH} + 0.31 * \ln(\text{Tongehalt}) + 0.005 \text{ Sandgehalt}$$

Wenn Grasland oder Wald:

$$\ln(\text{mikrobielle Biomasse}) = 3.61 + 0.92 * \ln(\text{Corg}) + 0.28 \text{ pH} + 0.17 * \ln(\text{Tongehalt})$$

2. Bewerten der Menge an mikrobieller Biomasse nach Tabelle 50

Tabelle 50: Bewerten der mikrobiellen Biomasse (mg/kg Trockenmasse für 0-30 cm Bodentiefe)

<i>mikrobielle Biomasse von (grösser gleich)</i>	<i>mikrobielle Biomasse bis (kleiner als)</i>	<i>Bewertung</i>
0	460	sehr tiefe mikrobielle Biomasse
460	620	tiefe mikrobielle Biomasse
620	890	mittlere mikrobielle Biomasse
890	1160	hohe mikrobielle Biomasse
1160	∞	sehr hohe mikrobielle Biomasse

3. NA-Werte einfügen für Standorte mit Bodeneigenschaften ausserhalb der PTF-Wertebereiche

Hug et al. (2018) haben gezeigt, dass eine Vorhersage der mikrobiellen Biomasse an Standorten mit hohen Tongehalten mit hoher Unsicherheit behaftet ist. Standorte mit Tongehalten über 40% werden daher nicht bewertet und mit «NA» versehen. Aus demselben Grund werden Standorte mit Corg-Gehalten über 4 % oder pH-Werten unter 4.3 oder über 7.5 nicht beurteilt.

Unterschiede zur Originalmethode

- Für Graslandstandorte ist der Wertebereich für die PTF nicht angegeben. Es wird angenommen, dass die PTF auch für Böden mit Corg-Gehalt von 1-4 %, einem Tongehalt von 10-40 % und einem pH-Wert von 4.3-7.5 geeignet ist.

Literatur

- Bundesamt für Statistik, 2023. Arealstatistik: Geodaten für 1979-1985, 1992-1997, 2004-2009, 2013-2018, 2020-2025. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/boden-nutzung-bedeckung-eignung/arealstatistik-schweiz.assetdetail.25885691.html>
- Greiner L, Nussbaum M, Papritz A, Fraefel M, Zimmermann S, Schwab P, Grêt-Regamey A, Keller A, 2018. Assessment of soil multi-functionality to support the sustainable use of soil resources on the Swiss Plateau. *Geoderma Regional*, 14, 00181. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00181>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Oberholzer H-R, Scheid S, 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnet Anhang biologischer Parameter (NABObio). 0723.

1.14 Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften nach Siemer et al. (2014)

Produktname	Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften nach Siemer et al. (2014)
Quelle	Siemer B, Hinrichs U, Penndorf O, Pohl M, Schürer S, Schulze P, Seiffert S, 2014. Bodenbewertungsinstrument Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.).
Beschrieb	Diese Methode beurteilt anhand von Bodeneigenschaften, wo Böden besonders trocken, nass oder nährstoffarm sind, so dass sich Nischen für standortangepasste Pflanzen bieten. Diese Böden werden als «Böden mit besonderen Standorteigenschaften» bezeichnet.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> – Ton (%) – Schluff (%) – Humus (%) – Skelett (Vol-%) – Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) – Potenzielle Kationenaustauschkapazität (cmol_c/kg) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> – Obergrenze Untergrund (cm) – Obergrenze gg- oder r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Die Methode beurteilt das Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften in 2 Klassen: <ul style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften 2 – sehr hohes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich für Böden ohne «Vorbelastung» (wie z.B. Erosion, Verdichtung, Schadstoffe, Versiegelung etc.).

Grafischer Überblick

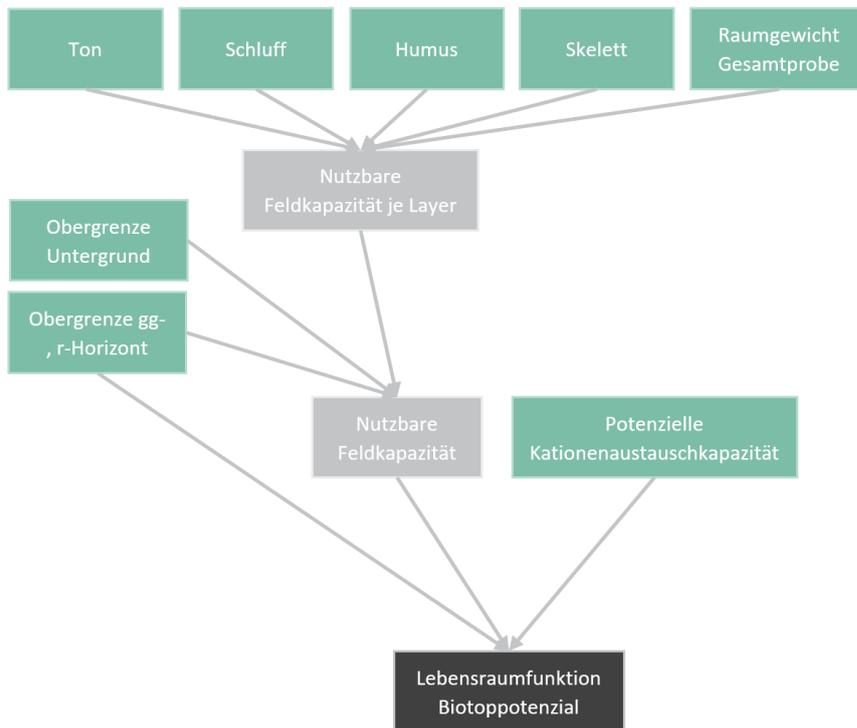


Abbildung 27: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Standortpotenzials für Extrempflanzengesellschaften nach Siemer et al. (2014). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

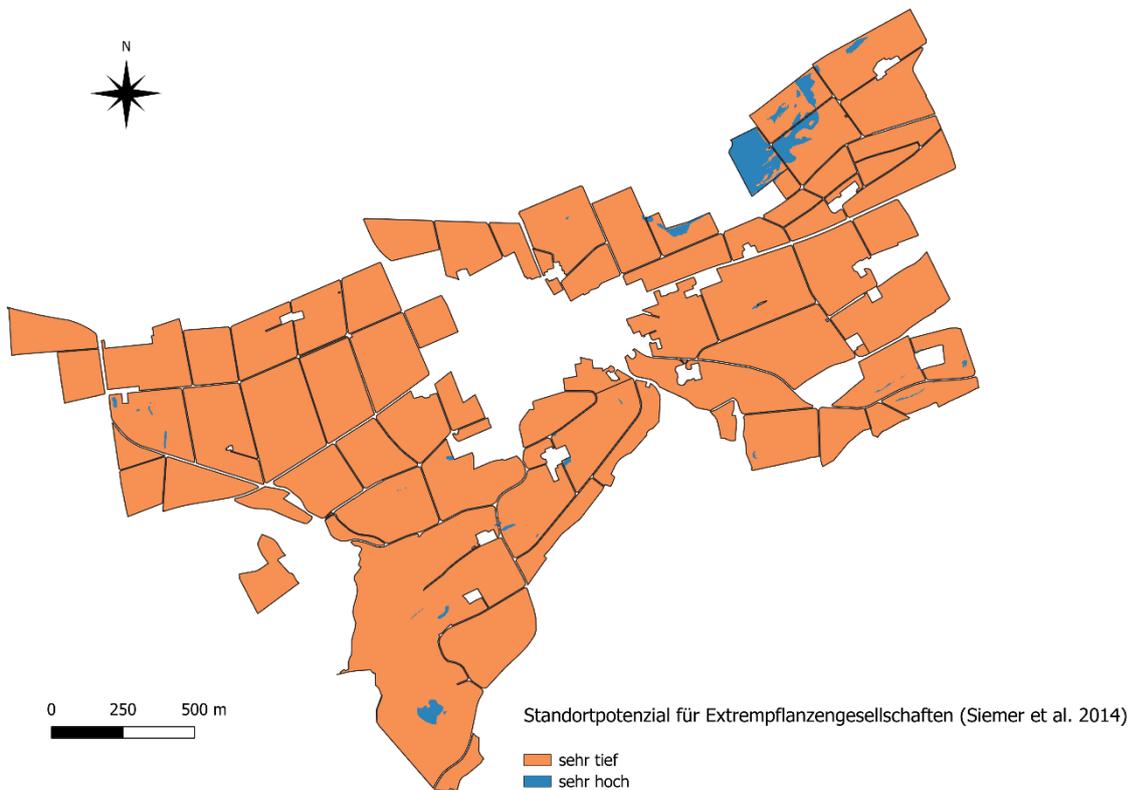


Abbildung 28: Anwendung der Methode zur Berechnung des Standortpotenzials für Extrempflanzengesellschaften nach Siemer et al. (2014) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von (Siemer et al. 2014) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

1. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität je Bodenschicht (in mm)

Zur Beurteilung des potenziellen pflanzenverfügbaren Wassers wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) aus dem Ton- und Schluffgehalt und dem Raumgewicht hergeleitet (Tabelle 51) und entsprechend dem Humusgehalt ergänzt (Tabelle 52). Die nutzbare Feldkapazität ist die Menge des Wassers, dass bei einer Saugspannung von pF 1.8 - 4.2 im Boden gehalten wird und leicht von Pflanzen aufgenommen werden kann.

Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete nFK (mm/dm) zusammengezählt und auf den Feinerdemengeanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln a und b):

- a. $nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} = (nFK\text{-Wert Tabelle 1} + nFK\text{-Wert Tabelle 2}) * 1 - (\text{Skelett}/100)$
- b. $nFK \text{ je Bodenschicht (mm)} = nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} * \text{Horizontmächtigkeit (in cm)} * 0.1 \text{ (mm = mm/dm} * \text{cm} * 0.1)$

2. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

$$nFK_{0 \text{ bis max. } 90\text{cm}} = \sum_{i=1}^n nFK_{Layer}$$

n = Anzahl der Schichten die bis zur Profilogrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts sind

Falls der letzte Horizont in der Bewertungstiefe über die Bewertungstiefe hinaus geht, wird die nFK entsprechend dem Anteil Bodenschichtmächtigkeit innerhalb der 90cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg- oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

3. Herleiten der potenziellen Kationenaustauschkapazität (KAKpot) von 0 bis maximal 90 cm (in cmolc/kg)

Die KAKpot für die drei verfügbaren Bodenschichten wird gemittelt.

4. Beurteilen der nFK, KAKpot und Vernässungsobergrenze

- a. Wenn $nFK_B < 70\text{mm}$, dann «sehr hohes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften»
- b. Wenn $KAKpot_B < 10 \text{ cmolc/kg}$, dann «sehr hohes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften»
- c. Wenn gg oder r höher als 20cm, dann «sehr hohes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften»
- d. Sonst: «sehr tiefes Standortpotenzial für Extrempflanzengesellschaften»

Tabelle 51: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der nutzbaren Feldkapazität aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewichtesamtprobe (RG, g/cm³).

Nutzbare Feldkapazität nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤1.2	1.2 < RG ≤1.4	1.4 < RG ≤1.6	RG >1.6
0	5	0	10	9	9	7	7
5	8	10	25	20	20	18	17
8	12	10	40	22	22	18	17
12	17	10	40	22	22	18	15
8	17	40	50	23	23	21	19
5	17	0	10	18	18	16	13
17	25	0	15	18	18	15	12
0	5	10	25	20	20	18	17
0	8	25	40	25	25	21	20
0	8	40	50	27	27	23	21
17	25	40	50	21	21	16	14
17	25	30	40	21	21	16	14
17	25	15	30	20	20	16	13
25	35	30	50	18	18	14	11
35	45	30	50	20	14	12	10
25	45	15	30	21	17	14	11
17	30	50	65	21	21	17	15
0	8	80	101	30	30	26	23
8	17	50	65	24	24	22	21
0	8	50	80	28	28	25	22
8	12	65	92	28	28	26	23
12	17	65	88	26	26	25	23
17	25	65	83	23	23	21	19
65	101	0	35	20	15	13	12
45	65	15	30	19	14	13	11
45	65	30	55	20	15	12	10
30	45	50	65	22	16	13	10
25	35	65	75	19	19	17	16
45	65	0	15	18	15	13	12
35	45	0	15	17	16	13	11
25	35	0	15	17	17	14	11

Tabelle 52: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung des Zuschlags zur nutzbaren Feldkapazität abhängig von Ton- und Schluffgehalt (%) und vom Humusgehalt.

Zuschlag zur nFK nach Humusgehalt nach KA 5 in mm/dm

Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	1-2% Humus	2-4% Humus	4-8% Humus	8-100% Humus
0	5	0	10	1	3	4	5
5	8	10	25	2	3	4	6
8	12	10	40	1	3	4	6
12	17	10	40	2	4	5	6
8	17	40	50	1	2	4	6
5	17	0	10	3	4	5	7
17	25	0	15	2	4	6	9
0	5	10	25	2	3	4	6
0	8	25	40	1	3	3	4
0	8	40	50	1	2	3	4
17	25	40	50	1	3	5	8
17	25	30	40	1	3	5	8
17	25	15	30	2	4	6	8
25	35	30	50	3	5	8	10
35	45	30	50	2	4	8	11
25	45	15	30	3	5	7	9
17	30	50	65	3	5	7	8
0	8	80	101	1	2	3	4
8	17	50	65	3	4	4	7
0	8	50	80	1	2	3	4
8	12	65	92	1	1	2	4
12	17	65	88	1	1	2	4
17	25	65	83	2	3	4	6
65	100	0	35	2	4	5	7
45	65	15	30	2	4	6	8
45	65	30	55	1	3	5	8
30	45	50	65	2	4	7	9
25	35	65	75	3	5	6	8
45	65	0	15	2	4	6	8
35	45	0	15	2	5	7	9
25	35	0	15	2	4	7	9

Unterschiede zur Originalmethode

- _ Nach der Originalmethode würden extrem nasse Bodenverhältnisse über den Bodentypen berücksichtigt. Um die Übersetzung aus der deutschen Bodenklassifikation zu umgehen, wurde dieser Aspekt hier über die Obergrenze der gg- und r-Horizonte angenähert (Obergrenze gg- oder r-Horizont <= 20cm).
- _ Die Grenzwerte für die Beurteilung wurden an den Böden der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) getestet und nach oben angepasst, weil die Extreme bei diesen Böden nicht ganz so akzentuiert waren wie in den sächsischen Böden der Originalmethode (nFK 50 mm → nFK 70mm, KAKpot 4 cmolc/kg → KAKpot 10 cmolc/kg)

Literatur

- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- KA5, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 438 S.
- Siemer B, Hinrichs U, Penndorf O, Pohl M, Schürer S, Schulze P, Seiffert S, 2014. Bodenbewertungsinstrument Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.).

1.15 Trockenstandortpotenzial nach Lienhard und Merkel (2002)

Produktname	Trockenstandortpotenzial nach Lienhard und Merkel (2002)
Quelle	Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich.
Beschrieb	Die Methode bewertet, wie hoch das Standortpotenzial für eine trockene Magerwiese ist. Dabei werden in der Bewertung neben Bodenfaktoren auch Klima, Terrain und die Nähe zu anderen Naturschutzgebieten berücksichtigt.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Ton (%) _ Schluff (%) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> _ Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien) _ Bodentyp (Moor oder Halbmoor)
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> _ Hangneigung (%) _ Convergence Index (-) Klima <ul style="list-style-type: none"> _ Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) _ Mittlere jährliche Temperatur (°C) _ Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²) Inventare <ul style="list-style-type: none"> _ Magerwiesen (0,1) Forst <ul style="list-style-type: none"> _ Trockene Waldgesellschaften (0,1)
Ergebnis	Das Ergebnis wird in einer diskreten Skala von 0 Punkten (kein Trockenstandortpotenzial) bis zu 100 Punkten (höchstes Trockenstandortpotenzial) angegeben.
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich für Landwirtschaftsflächen und unproduktive Flächen.

Grafischer Überblick

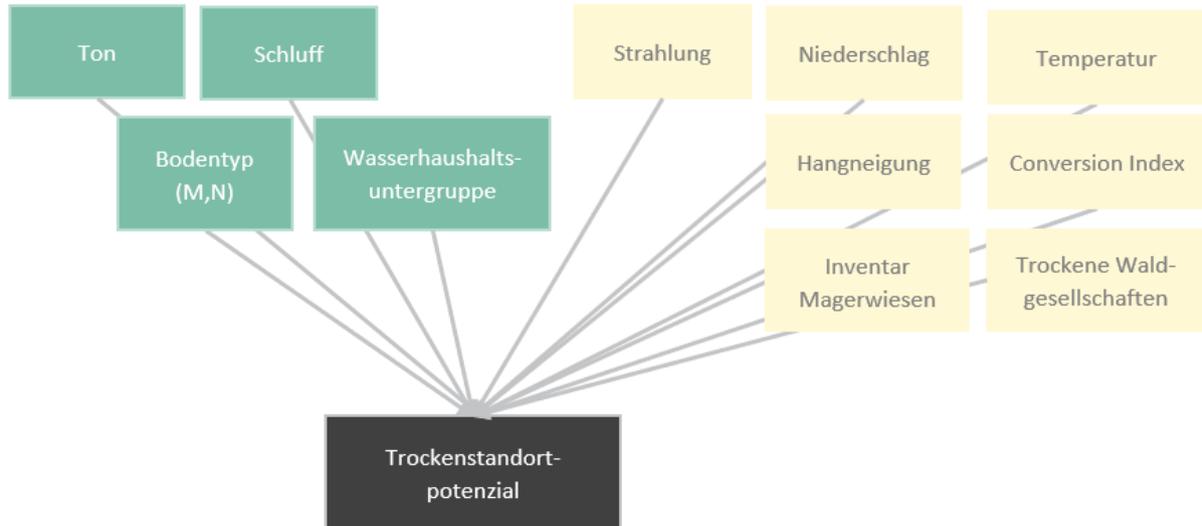


Abbildung 29: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Potenzials für Trockenstandorte nach Lienhard und Merkel (2002). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

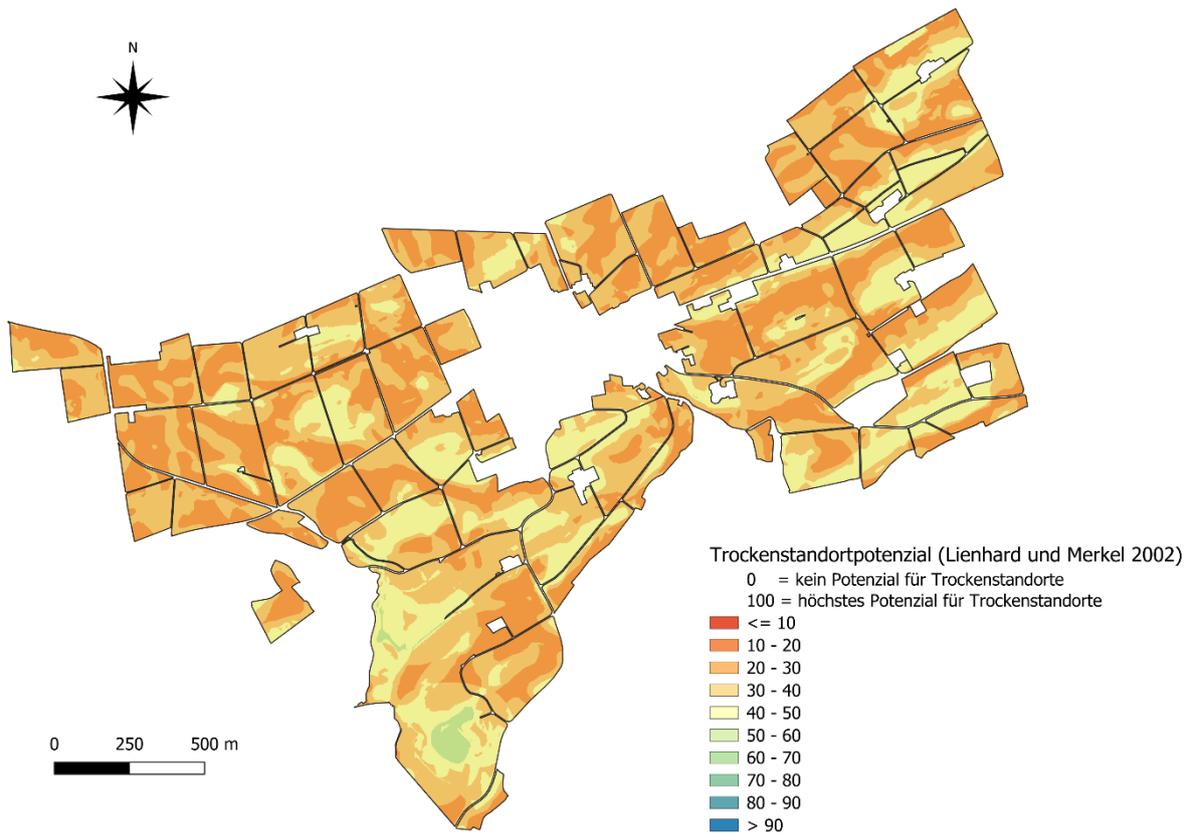


Abbildung 30: Anwendung der Methode zur Berechnung des Potenzials für Trockenstandorte nach Lienhard und Merkel (2002) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Lienhard und Merkel (2002) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodell SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8 x 8m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (°)
- Convergence Index (-)

Klima: die Klimadaten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere jährliche Temperatur (°C), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²), für März bis September 1981-2010 (Karger et al. 2017a; Karger et al. 2021a)

Inventare: Die Karte des Bundesamts für Umwelt lag im Original als Polygonkarten vor. Sie wurde hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW) (Bundesamt für Umwelt 2023)

Wald: Die forstliche Standortkarte musste beim Kanton Thurgau angefragt werden (Kanton Thurgau 1993). Sie lag als Polygonkarten vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert. Die Standorteinheiten 1, 15 und 15w wurden als trocken betrachtet (Frehner et al. 2005).

1. Bewerten der Bodeneigenschaften

Trockene und flachgründige Böden eignen sich besser für Trockenstandorte.

Organische Böden (Bodentyp M und N) erhalten 0 Punkte.

Tabelle 53 wird auf mineralische Böden angewendet:

Tabelle 53: Bewerten von Bodeneigenschaften

Wasserhaushalts- untergruppe	Ton von (%, grösser gleich)	Ton bis (%, kleiner als)	Schluff von (%, grösser gleich)	Schluff bis (%, kleiner als)	Bewertungspunkte
c	0	10	0	50	40
c, h, i	10	30	0	50	20
c, d, e, h, i	30	100	0	100	0
d	0	10	0	50	80
d	10	30	0	50	40
e	0	10	0	50	100
e	10	30	0	50	60
g	0	10	0	50	20
g	10	100	0	100	0
h	0	10	0	50	40
i	0	10	0	50	60
a-b, f, k-z	0	100	0	100	0

2. Bewerten der Strahlung

Standorte mit einer hohen Globalstrahlung eignen sich gut für Trockenstandorte. Die Globalstrahlungen der Monate März bis September werden gemittelt und anschliessend mit Tabelle 54 beurteilt:

Tabelle 54: Bewerten der Strahlung

Strahlungsmittel von (W/m^2)	Strahlungsmittel bis (W/m^2)	Bewertungspunkte
0	110	0
110	180	50
180	∞	100

3. Bewerten Wärme

Wärmere Standorte eignen sich besser als Trockenstandorte (Tabelle 55).

Tabelle 55: Bewerten der Temperatur

Temperatur von	Temperatur bis	Bewertungspunkte
-50	10	0
10	12	75
12	∞	100

4. Bewerten Niederschlag

Niederschlagsarme Standorte eignen sich für Trockenstandorte. Entsprechend erfolgt die Punktevergabe (Tabelle 56):

Tabelle 56: Bewerten des Niederschlags

Niederschlag von (mm, grösser gleich)	Niederschlag bis (mm, kleiner als)	Bewertungspunkte
0	950	100
950	1050	50
1050	∞	0

5. Bewerten Hangneigung

Punkte erhalten geneigte Standorte (Tabelle 57).

Tabelle 57: Bewerten der Hangneigung

Hangneigung von (%)	Hangneigung bis (%)	Bewertungspunkte
0	9	10
9	18	25
18	27	50
27	36	75
36	100	100

6. Bewerten Relief

Die Methode vergibt Punkte für flache und konvexe Standorte. Konkave Standorte erhalten keine Punkte (Tabelle 58).

Tabelle 58: Bewerten des Convergence Index

Convergence Index von (grösser gleich)	Convergence Index bis (kleiner als)	Bewertungspunkte
-90	0	0
0	45	75
45	90	100

7. Bewerten Nachbarschaft Trockenwiesen

Je höher der Anteil an Trockenwiesen in einem Umkreis von 3 km ist, desto mehr Punkt erhält der Standort (Tabelle 59).

Tabelle 59: Bewerten des Anteils an Trockenwiesen im Umkreis von 3 km

Anteil Trockenwiesen und -weiden (%)	Bewertungspunkte
80-100	100
60-80	80
40-60	60
20-40	40
10-20	20
<10	0

8. Bewerten Nachbarschaft trockene Wälder

Je näher ein Standort an einer trockenen Waldgesellschaft liegt, desto besser fürs Trockenstandortpotenzial (Tabelle 60).

Tabelle 60: Bewerten der Nähe zu trockenen Waldgesellschaften

Nähe zu trockener Waldgesellschaft von (m, grösser gleich)	Nähe zu trockener Waldgesellschaft bis (m, kleiner als)	Bewertungspunkte
0	25	100
25	50	80
50	75	60
75	100	40
100	125	20
125	∞	0

9. Bewertungspunkte gewichten und zusammenführen

Lebensraumpotenzial für Trockenstandorte = $0.25 * \text{Boden} + 0.1 * \text{Strahlung} + 0.1 * \text{Wärme} + 0.2 * \text{Niederschlag} + 0.05 * \text{Hangneigung} + 0.05 * \text{Relief} + 0.15 * \text{Nachbarschaft Trockenwiese} + 0.1 * \text{Nachbarschaft trockener Wald}$

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Methode von Lienhard und Merkel (2002) bewertet weiter auch das Lebensraumpotenzial für Flachmoore und mittlere Magerwiesen, diese Teilaspekte der Methode werden hier ausgeklammert.
- Ton und Schluff des Oberbodens sollen nach der Originalmethode beurteilt werden → berücksichtigt werden Ton für 0-30 cm und Schluff für 0-30 cm
- Die Originalmethode verwendet für die Beurteilung der Strahlung die Summe der Mittel der Monate März und Juli. Weil die Methode angibt, dass mehr Strahlung besser für Trockenstandorte ist und keine Begründung für die Auswahl dieser Monate in der Methode angegeben wird, werden hier die Strahlungen der Monate März bis September gemittelt und entsprechend der Skala der Meteoschweiz eingeteilt (40-260 W/m²), wobei mehr Strahlung mit mehr Punkten bewertet wird. Die Unterteilung der Skala in drei Bereiche mit 0, 50 und 100 Punkten ist entsprechend der Originalmethode.
- In der Originalmethode erhalten Standorte mit milden bis warmen Bedingungen Punkte. Die Wärme wird hier anhand des Temperaturmittels von 1990-2020 beurteilt, weil die Datengrundlage der Originalmethode nicht gefunden wurde. Die Durchschnittstemperatur der Schweiz liegt von 1991-2020 bei 5.8 °C, im Mittelland zwischen 8 und 12 °C. (<https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimader-schweiz.html>). Entsprechend wurde eine Skala der Bewertungspunkte erstellt.
- Die Hangneigung wird in der Originalmethode in einer 25m-Auflösung beurteilt → hier wird die Hangneigung aus der Terrainausswertung des KOBO auf einer 16m Skala verwendet
- Die Originalmethode hat das Relief über das DHM25 abgeleitet, um zu beurteilen, ob einen Hang- oder Kuppenlage vorliegt → hier wird der Convergence Index aus der Terrainausswertung des KOBO auf einer 24 m Skala verwendet und eine Skala der Bewertungspunkte erstellt, so dass wie in der Originalmethode Kuppen und flache Standorte Punkte erhalten.
- In der Originalmethode war die Tabelle zur Beurteilung der Nähe zu trockenen Waldgesellschaften abgeschnitten. Hier wurde die Punktevergabe geraten.
- In der Originalmethode wurde die Nähe zu inventarisierten Hoch- und Flachmooren positiv für das Trockenstandortpotenzial bewertet. Dieser Aspekt wurde hier ausgeklammert und die Nachbarschaft zu Trockenwiesen entsprechend höher gewichtet.

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Bundesamt für Umwelt, 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-flachmoore-von-nationaler-bedeutung>
- Bundesamt für Umwelt, 2023. Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW). <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-trockenwiesen-und-weiden-von-nationaler-bedeutung-tww>
- Frehner M, Wasser B, Schwitter R, 2005. NaiS - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Anhang 2 A Bestimmen des Standortstyp. <https://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Kanton Thurgau, 1993. Forstliche Standortkarte. <https://opendata.swiss/de/dataset/forstliche-standortkarte>
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data, 4 (1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areasCHELSA V2.1 (current). 2.1 KB. Abgerufen am 02.02.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich. <https://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/383/downloadPDF>
- MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>

1.16 Bodenqualitätsindex nach Angelini et al. (2023)

Produktname	Bodenqualitätsindex nach Angelini et al. (2023)
Quelle	Angelini ME, Heuvelink GBM, Lagacherie P, 2023. A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France. European Journal of Soil Science, 74 (2), e13345.
Beschrieb	Die Bodenqualitätsindex-Methode von Angelini et al. (2023) basiert auf der Publikation von Rabot et al. (2022) und beurteilt 3 Bodenfunktionen anhand von Boden- und Terraindaten. Das Ziel des Bodenqualitätsindex ist es, Boden multifunktional mit Fokus auf die landwirtschaftliche Nutzung zu bewerten und Raumplaner: innen so die Möglichkeit zu geben, die Böden mit der höchsten Qualität zu erhalten (Angelini et al. 2023).
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60,60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Kohlenstoffgehalt (%) - Humus (%) - Skelett (%) - pH - Lagerungsdichte Feinerde (g/cm³) - Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) - Potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}, cmoc/kg) Gesamtbodenbezug <ul style="list-style-type: none"> - Obergrenze Untergrund (cm) - Obergrenze gg-, r-Horizont (cm)
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> - Hangneigung (%)
Ergebnis	Das Ergebnis dieser Methode wird mit 5 Klassen angegeben: <ol style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex 2 – tiefer Bodenqualitätsindex 3 – mittlerer Bodenqualitätsindex 4 – hoher Bodenqualitätsindex 5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich für Ackerflächen, Flächen mit mehrjährigen Kulturen, für Grasland, Wald oder Buschland.

Grafischer Überblick

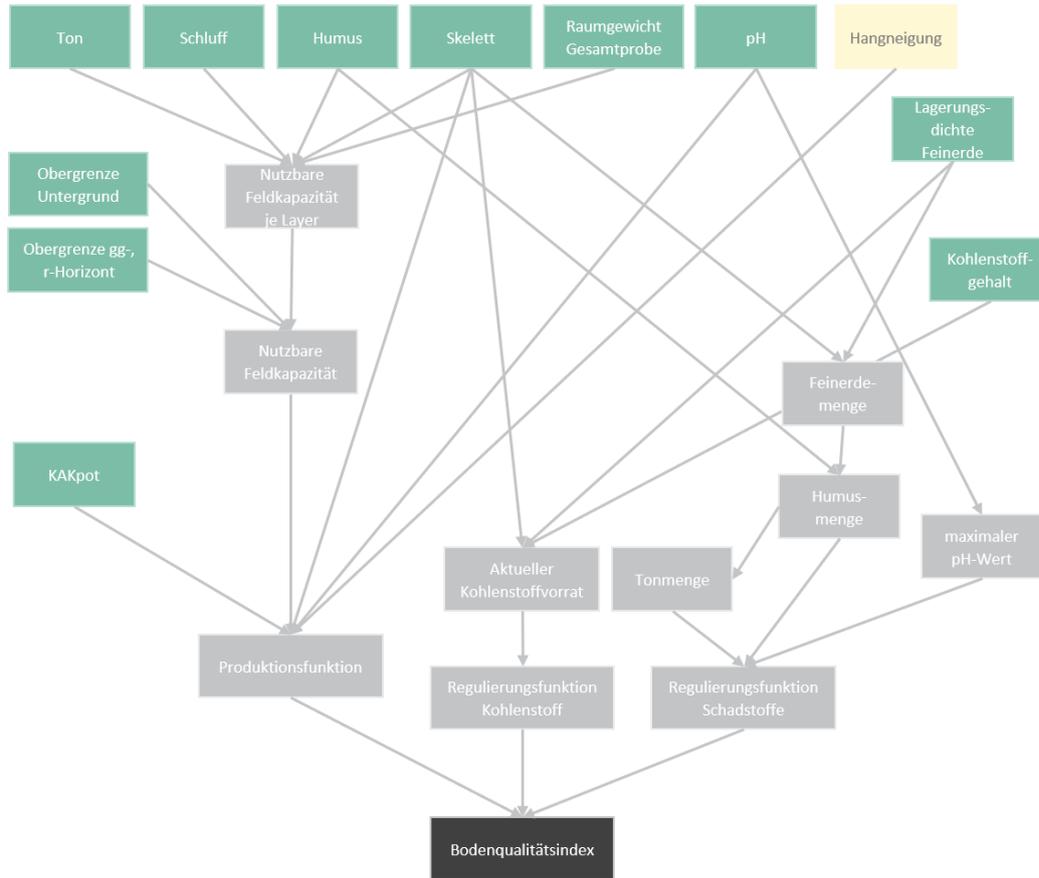


Abbildung 31: Grafischer Überblick zum Bodenqualitätsindex nach Angelini et al. (2023). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

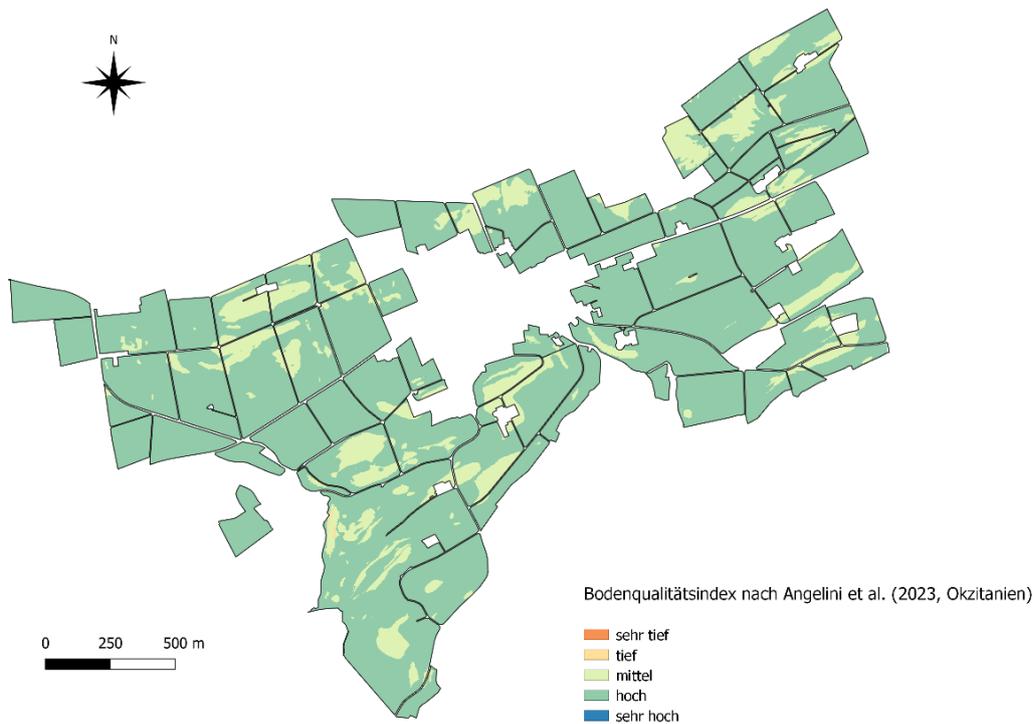


Abbildung 32: Anwendung der Bodenqualitätsindex-Methode nach Angelini et al. (2023) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Angelini et al. (2023) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zur Hangneigung stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodells SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karte lag im 8 x 8m Raster vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (%)

1. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität je Layer (in mm)

Zur Beurteilung des potenziellen pflanzenverfügbaren Wassers wird die nutzbare Feldkapazität (nFK) je Bodenschicht nach der deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) aus dem Ton- und Schluffgehalt und dem Raumgewicht hergeleitet (Tabelle 61) und entsprechend dem Humusgehalt ergänzt (Tabelle 62). Die nutzbare Feldkapazität ist die Menge des Wassers, dass bei einer Saugspannung von pF 1.8 - 4.2 im Boden gehalten wird und leicht von Pflanzen aufgenommen werden kann.

Anschliessend wird die aus den beiden Tabellen abgeleitete nFK (mm/dm) zusammengezählt und auf den Feinerdemengenanteil und die Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht bezogen (Formeln a und b):

- $nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} = (nFK\text{-Wert Tabelle 1} + nFK\text{-Wert Tabelle 2}) * 1 - (\text{Skelett}/100)$
- $nFK \text{ je Bodenschicht (mm)} = nFK_{KA5} \text{ (mm/dm)} * \text{Horizontmächtigkeit (in cm)} * 0.1 \text{ (mm = mm/dm} * (\text{cm} * 0.1))$

2. Herleiten der nutzbaren Feldkapazität von 0 bis maximal 90 cm (in mm)

$$nFK_{0 \text{ bis max. } 90\text{cm}} = \sum_{i=1}^n nFK_{Layer}$$

(n = Anzahl der Schichten bis zur Profilgrenze des Untergrunds oder bis zur Obergrenze eines hydromorphen Horizonts)

Falls der letzte Horizont über die Bewertungstiefe (90 cm) hinaus geht, wird die nFK entsprechend dem Anteil der Bodenschicht innerhalb der 90 cm gewichtet und addiert. Liegt innerhalb von 90 cm der erste Untergrundhorizont, ein gg- oder ein r-Horizont, wird nur bis zur Obergrenze dieses Horizonts summiert.

3. Potenzielle Kationenaustauschkapazität, Skelettgehalt und pH für die drei Layer mitteln

KAKpot, Skelettgehalt und pH werden für die drei Layer gemittelt für einen mittleren Wert für 0-90 cm.

Tabelle 61: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung der nutzbaren Feldkapazität aus Tongehalt (%), Schluffgehalt (%) und Raumgewichtesamtprobe (RG, g/cm³).

Nutzbare Feldkapazität nach KA 5 in mm/dm							
Ton von (größer gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (größer gleich)	Schluff bis (kleiner als)	RG ≤ 1.2	1.2 < RG ≤ 1.4	1.4 < RG ≤ 1.6	RG > 1.6
0	5	0	10	9	9	7	7
5	8	10	25	20	20	18	17
8	12	10	40	22	22	18	17
12	17	10	40	22	22	18	15
8	17	40	50	23	23	21	19
5	17	0	10	18	18	16	13
17	25	0	15	18	18	15	12
0	5	10	25	20	20	18	17
0	8	25	40	25	25	21	20
0	8	40	50	27	27	23	21
17	25	40	50	21	21	16	14
17	25	30	40	21	21	16	14
17	25	15	30	20	20	16	13
25	35	30	50	18	18	14	11
35	45	30	50	20	14	12	10
25	45	15	30	21	17	14	11
17	30	50	65	21	21	17	15
0	8	80	101	30	30	26	23
8	17	50	65	24	24	22	21
0	8	50	80	28	28	25	22
8	12	65	92	28	28	26	23
12	17	65	88	26	26	25	23
17	25	65	83	23	23	21	19
65	101	0	35	20	15	13	12
45	65	15	30	19	14	13	11
45	65	30	55	20	15	12	10
30	45	50	65	22	16	13	10
25	35	65	75	19	19	17	16
45	65	0	15	18	15	13	12
35	45	0	15	17	16	13	11
25	35	0	15	17	17	14	11

Tabelle 62: Tabelle aus der Deutschen Kartieranleitung (KA5 2005) zur Herleitung des Zuschlags zur nutzbaren Feldkapazität abhängig von Ton- und Schluffgehalt (%) und vom Humusgehalt.

Zuschlag zur nFK nach Humusgehalt nach KA 5 in mm/dm

Ton von (grösser gleich)	Ton bis (kleiner als)	Schluff von (grösser gleich)	Schluff bis (kleiner als)	1-2% Humus	2-4% Humus	4-8% Humus	8- 100% Humus
0	5	0	10	1	3	4	5
5	8	10	25	2	3	4	6
8	12	10	40	1	3	4	6
12	17	10	40	2	4	5	6
8	17	40	50	1	2	4	6
5	17	0	10	3	4	5	7
17	25	0	15	2	4	6	9
0	5	10	25	2	3	4	6
0	8	25	40	1	3	3	4
0	8	40	50	1	2	3	4
17	25	40	50	1	3	5	8
17	25	30	40	1	3	5	8
17	25	15	30	2	4	6	8
25	35	30	50	3	5	8	10
35	45	30	50	2	4	8	11
25	45	15	30	3	5	7	9
17	30	50	65	3	5	7	8
0	8	80	101	1	2	3	4
8	17	50	65	3	4	4	7
0	8	50	80	1	2	3	4
8	12	65	92	1	1	2	4
12	17	65	88	1	1	2	4
17	25	65	83	2	3	4	6
65	100	0	35	2	4	5	7
45	65	15	30	2	4	6	8
45	65	30	55	1	3	5	8
30	45	50	65	2	4	7	9
25	35	65	75	3	5	6	8
45	65	0	15	2	4	6	8
35	45	0	15	2	5	7	9
25	35	0	15	2	4	7	9

4. Produktionsfunktion beurteilen

Anhand der nutzbaren Feldkapazität von 0 bis maximal 90 cm (mm, nFK), des Skelettgehalts in 0 – 30 cm (%) Bodentiefe und der Hangneigung werden in Tabelle 63 die «physischen Eigenschaften» hinsichtlich der Produktionsfunktion beurteilt. In Tabelle 64 werden die chemischen Aspekte der Produktionsfunktion beurteilt anhand der mittleren potenziellen Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}, cmol_c/kg) in 0 bis 90 cm, dem mittleren pH (pH, pH-CaCl₂) in 0 bis 90 cm und dem mittleren Skelettgehalt (%) in 0 bis 90 cm.

Tabelle 63: Beurteilung der physischen Aspekte der Produktionsfunktion (nFK = nutzbare Feldkapazität). Siebprinzip: die oberste passende Zeile ergibt die Bewertung.

nFK von (grösser gleich)	nFK bis (kleiner als)	Skelett von (grösser gleich)	Skelett bis (kleiner als)	Hangneigung von (grösser gleich)	Hangneigung bis (kleiner als)	Punkte physische Eigenschaften
60	900	0	30	0	15	5
60	900	30	45	15	30	4
40	60	0	60	15	30	3
20	40	0	100	15	30	2
0	20	0	100	30	75	1
0	900	0	100	75	100	0

Tabelle 64: Beurteilung der chemischen Aspekte der Produktionsfunktion (alle Grössen für 0-90 cm, KAKpot = potenzielle Kationenaustauschkapazität). Siebprinzip: die oberste passende Zeile ergibt die Bewertung.

KAKpot von (grösser gleich)	KAKpot bis (kleiner als)	pH von (grösser gleich)	pH bis (kleiner als)	Skelett von (grösser gleich)	Skelett bis (kleiner als)	Punkte chemische Eigenschaften
4	10'000	5.5	7.5	0	30	5
4	1000	5.5	8.5	30	45	4
2	4	5.5	8.5	45	60	3
2	4	4.5	9.5	60	100	2
0	2	0	100	75	100	0

Punkte Produktionsfunktion = Punkte physikalische Eigenschaften + Punkte chemische Eigenschaften

9. Regulierungsfunktion Schadstoffe angepasst nach Bechler und Toth (2010) anwenden

Die Regulierungsfunktion für Schadstoffe wird nach der Methode zur Beurteilung von Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Toth (2010) auf Lommis angepasst und angewendet, siehe Kapitel 6.1.

10. Regulierungsfunktion Kohlenstoff beurteilen

Anhand des Kohlenstoffvorrats wird die Regulierungsfunktion Kohlenstoff beurteilt. Dazu wird zuerst der Kohlenstoffvorrat hergeleitet:

Je Layer:

$\text{Feinerdmasse (kg/m}^2\text{)} = \text{Tiefe der Bodenschicht (cm)} * \text{Lagerungsdichte Feinerde der Bodenschicht (g/cm}^3\text{)} * (1 - (\text{Skelettgehalt der Bodenschicht (Vol.\%)} / 100)) * 10$

$\text{Kohlenstoffmasse (kg/m}^2\text{)} = \text{Feinerdmasse (kg/m}^2\text{)} * \text{Kohlenstoffgehalt (\%)} / 100$

Die Kohlenstoffmasse wird anschliessend über die drei Layer summiert (auf 0-90 cm). Die totale Menge wird mit Tabelle 65 beurteilt.

Tabelle 65: Bewertung der Kohlenstoffmasse (in kg/m²) von 0-90 cm.

Kohlenstoffmasse von (grösser gleich)	Kohlenstoffmasse bis (kleiner als)	Punkte Regulierungsfunktion Kohlenstoff
14	∞	5
0	14	3

11. Punkte zu Bodenqualitätsindex zusammenfassen

Bodenqualitätsindex = runden (Punkte Produktionsfunktion + Punkte Regulierungsfunktion Schadstoffe + Punkte Regulierungsfunktion Kohlenstoff) /20 *5)

Unterschiede zur Originalmethode

- Wo die Originalmethode von 0-100 cm beurteilt, wurden Bodendaten von 0-90cm verwendet
- Die Originalmethode beurteilt den pH-H₂O, hier wurde der pH-CaCl₂ verwendet
- Die Beurteilung der Regulierungsfunktion Schadstoffe wurde hier anders umgesetzt als in der Originalmethode (diese hätte die Infiltration, die nFK und die Verkrustung an der Oberfläche beurteilt)
- Die Methode beurteilt den Boden in 1-20 Klassen, hier wurde eine Anpassung an die anderen Methoden auf 5 Klassen vorgenommen.
- Die Unterteilung der Bewertungen je nach Landnutzung wurde zur Vereinfachung der Methode aufgehoben. In der Originalmethode werden auch alle Bewertungen addiert und die Beurteilung der verschiedenen Bodenfunktionen ist nicht mehr je Landnutzung ersichtlich.

Literatur

- Angelini ME, Heuvelink GBM, Lagacherie P, 2023. A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France. *European Journal of Soil Science*, 74 (2), e13345. <https://doi.org/10.1111/ejss.13345>
- Bechler K, Toth O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- KA5, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 438 S.
- Rabot E, Guiresse M, Pittatore Y, Angelini M, Keller C, Lagacherie P, 2022. Development and spatialization of a soil potential multifunctionality index for agriculture (Agri-SPMI) at the regional scale. Case study in the Occitanie region (France). *Soil Security*, 6, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100034>

1.17 Bodenqualitätsindex nach Engel und Stadtmann (2020)

Produktname	Bodenqualitätsindex Engel und Stadtmann (2020)
Quelle	Engel N, Stadtmann R, 2020. Bodenfunktionsbewertung auf regionaler und kommunaler Ebene: Ein niedersächsischer Leitfaden für die Berücksichtigung der Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung.
Beschrieb	Engel und Stadtmann (2020) fassen für ihren Bodenindex vorrangig die Lebensraum- und Archivfunktion zusammen. Diese beiden Funktionen seien für den vorsorgenden Bodenschutz in Planungsverfahren zentral, der Bodenqualitätsindex könne aber je nach Einzelfall mit weiteren Bodenfunktionen oder -gefahren ergänzt werden. Nebst Bodendaten werden Klima-, Terrain-, Inventar- und Biologiegrößen für die Herleitung berücksichtigt. Sie beurteilen und kombinieren hierfür vier Bodenfunktionen.
Eingangsgrossen Boden	<p>Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Humus (%) - pH - Skelett (Vol-%) <p>Gesamtbodenbezug:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien) - Bodentyp
Weitere Eingangsgrossen	<p>Terrain</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hangneigung (%) - Convergence Index (-) - Neigungsart (3 Kategorien) - Muldenlage (0,1) <p>Klima</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) - Mittlere jährliche Temperatur (°C) - Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²) - Klimaeignungsklasse (20 Kategorien) <p>Inventare</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magerwiesen (0,1) - Moore (0,1) - Archäologische Zone (0,1) - Historische Feuchtgebiete (0,1) - Drainagepotenzialkarte (3 Kategorien) - Trockene Waldgesellschaften (0,1) <p>Biologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien)
Ergebnis	<p>Das Ergebnis dieser Methode wird mit 5 Klassen angegeben:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex 2 – tiefer Bodenqualitätsindex 3 – mittlerer Bodenqualitätsindex 4 – hoher Bodenqualitätsindex 5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Anwendungsbereich	Ausserhalb Siedlungsräumen

Grafischer Überblick

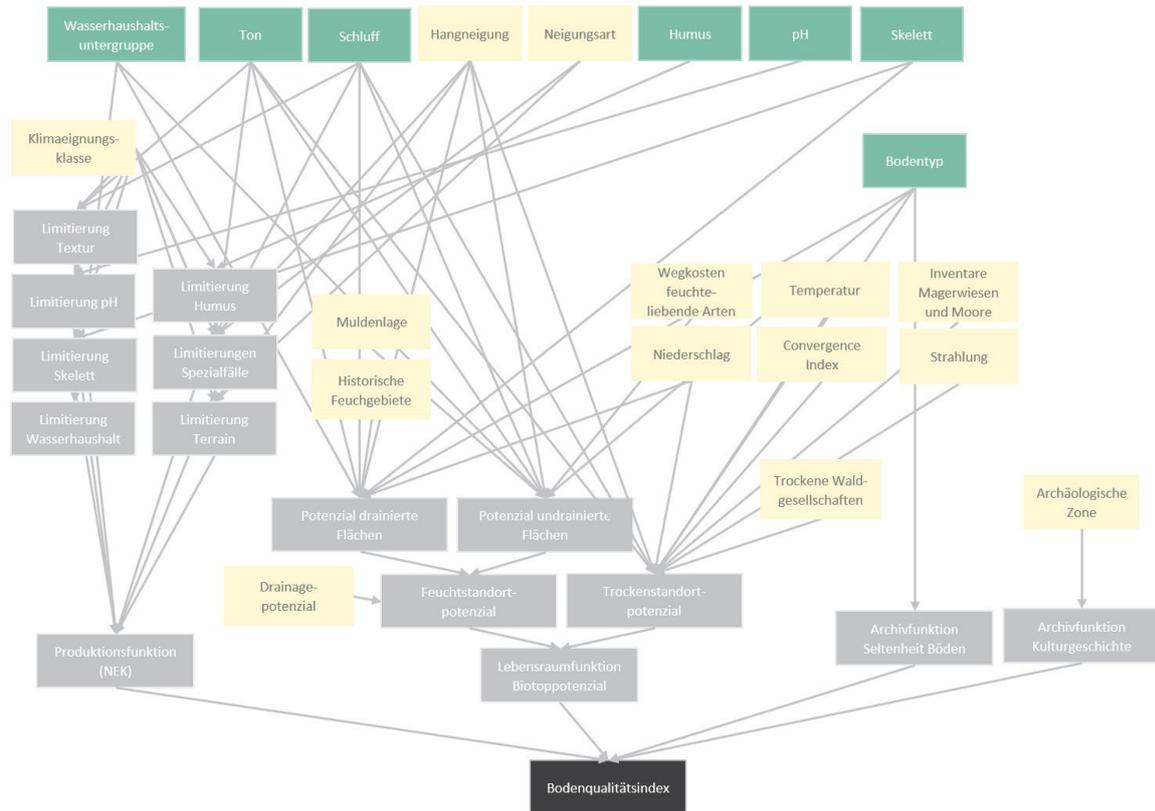


Abbildung 33: Grafischer Überblick zum Bodenqualitätsindex nach Engel und Stadtmann (2020). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

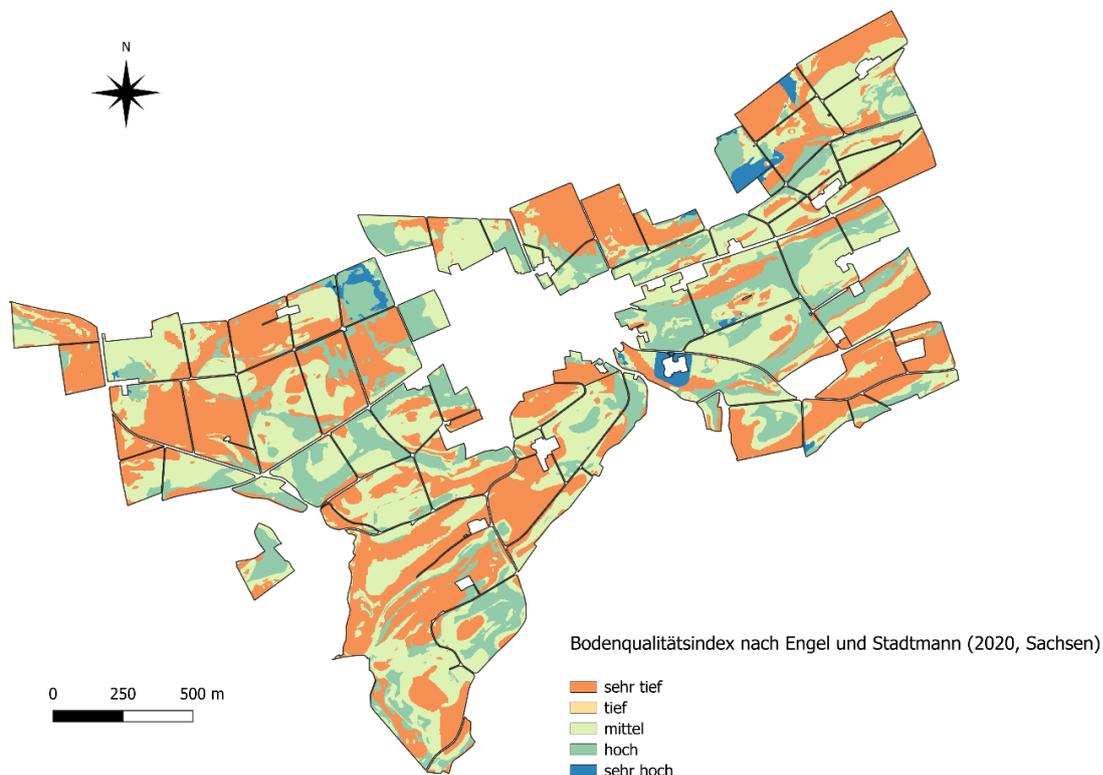


Abbildung 34: Anwendung der Bodenqualitätsindex-Methode nach Engel und Stadtmann (2020) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Engel und Stadtmann (2020) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodell SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8 x 8m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (°)
- Convergence Index (-)
- Neigungsart unregelmässig (ja, nein), Ableitung aus Geländeformberechnung aus der Pilotkartierung in Lommis (Grob et al. 2024)

Klima: Drei der Klimakarten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere jährliche Temperatur (°C), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²), für März bis September 1981-2010 (Karger et al. 2017a; Karger et al. 2021a)
- Die Klimaeignungskarte (20 Kategorien, Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis gerastert.

Inventare: Die lagen im Original als Polygonkarten vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW) (Bundesamt für Umwelt 2023)
- Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Bundesamt für Umwelt 2021)
- Wald: Die forstliche Standortkarte musste beim Kanton Thurgau angefragt werden (Kanton Thurgau 1993). Sie lag als Polygonkarten vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert. Die Standorteinheiten 1, 15 und 15w wurden als trocken betrachtet (Frehner et al. 2005).
- Drainagepotenzial (3 Klassen, Koch und Prasuhn 2020)
- Historische Feuchtgebiete (1870-1926, Wüst-Galley et al. 2015)
- Archäologische Zone (0/1, Kanton Thurgau 2014)

Biologie: Die Polygonkarte wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien; Churko et al. 2020)

1. Produktionsfunktion nach der Nutzungseignungsklassen-Methode (NEK) bewerten (Greiner et al. 2023) und klassieren

Die NEK wird nach der Methode von Greiner et al. (2023) hergeleitet und in 5 Klassen eingeteilt (Tabelle 66).

Tabelle 66: Zuteilung von Punkten zu den Nutzungseignungsklassen (NEK)

NEK	Punkte Produktionsfunktion
	Landwirtschaft
1, 2	5
3, 4	4
5, 6	3
7, 8	2
9, 10	1

2. Lebensraumfunktion Biotoppotenzial bewerten nach (Lienhard und Merkel 2002; Vögeli et al. 2022) und klassieren

Die Lebensraumfunktion wird über Trockenstandortpotenzial (Lienhard und Merkel 2002) und das Feuchtstandortpotenzial (Vögeli et al. 2022) hergeleitet. Die beiden Methoden wurden für das Pilotgebiet angepasst und sind hier dokumentiert in Kapitel 6.15 und 6.12. Hier werden sie zusätzlich für die Beurteilung des Bodenqualitätsindex' zusammengeführt und in 5 Klassen übersetzt (Tabelle 67).

Tabelle 67: Kombination von Trockenstandortpotenzial und Feuchtstandortpotenzial zu Punkten für die Lebensraumfunktion

Punkte Trockenstandortpotenzial	Punkte Feuchtstandortpotenzial	Punkte Lebensraumfunktion Biotoppotenzial
80-100	80-100	5
70-80	70-80	4
60-70	60-70	3
50-60	50-60	2
0-50	0-50	1

3. Archivfunktion Seltenheit der Böden

Alle Böden mit Bodentypen die weniger als 1% der Bodentypen in Lommis ausmachen gelten als selten und erhalten 5 Punkte. Alle anderen Böden erhalten 1 Punkt.

4. Archivfunktion Kulturgeschichte

Böden in der Archäologischen Zone (Kanton Thurgau 2014) erhalten 5 Punkte, alle anderen Böden erhalten 1 Punkt.

5. Bodenqualitätsindex nach Engel und Stadtmann (2020) herleiten

Die Originalmethode definiert Fälle, für welcher ein bestimmter Bodenqualitätsindex erreicht wird. Es wird die bestmögliche Bewertung abgegeben. Trifft keiner dieser Fälle zu, wird ein sehr tiefer Bodenqualitätsindex (1) vergeben (Tabelle 68).

Tabelle 68: Bestimmung des Bodenqualitätsindex¹.

Fall 1 <i>ODER</i>	Fall 2 <i>ODER</i>	Fall 3	Bodenqualitätsindex
eine Archivfunktion mit 5 Punkten	zwei Bodenfunktionen mit 5 Punkten	eine Bodenfunktion mit 5 Punkten und mindestens eine Bodenfunktion mit mehr als 3 Punkten	5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
eine Bodenfunktion mit 5 Punkten und keine mit 4 Punkten	zwei Bodenfunktionen mit 4 Punkten	eine Bodenfunktion mit 4 Punkten und mindestens eine Bodenfunktion mit mehr als 2 Punkten	4 – hoher Bodenqualitätsindex
eine Bodenfunktion mit 4 Punkten und keine Bodenfunktion mit 3 Punkten	zwei Bodenfunktionen mit 3 Punkten	eine Bodenfunktion mit 3 Punkten und mindestens eine Bodenfunktion mit mehr als 1 Punkt	3 – mittlerer Bodenqualitätsindex
eine Bodenfunktion mit 3 Punkten und eine Bodenfunktion mit 1 Punkt	-	-	2- tiefer Bodenqualitätsindex
alle nicht obengenannten Fälle			1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex

Unterschiede zur Originalmethode

- _ Die Archivfunktion der Naturgeschichte wurde weggelassen
- _ Für die Beurteilung der Bodenfunktionen wurden andere Bewertungsmethoden verwendet: Lebensraumfunktion: Biotopentwicklungspotenzial → Lebensraumpotenziale Trockenstandorte (Lienhard und Merkel 2002b) und Feuchtstandorte (Vögeli et al. 2022a); Lebensraumfunktion: Natürliche Bodenfruchtbarkeit → landwirtschaftliche Nutzungseignungsklassen (Greiner et al. 2023b); Archivfunktion Kulturgeschichte → Archäologische Zone nach Gemeindeplanung, Lommis, Thurgau (Kanton Thurgau 2014) ; Archivfunktion: Seltenheit → Bodentypen mit <1% Flächenanteil im Gebiet (Option aus Engel und Stadtmann 2020)

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Bundesamt für Umwelt, 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-flachmoore-von-nationaler-bedeutung>
- Bundesamt für Umwelt, 2023. Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW). <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-trockenwiesen-und-weiden-von-nationaler-bedeutung-tww>
- Churko G, Walter T, Szerencsits E, Gramlich A, 2020. Improving wetland connectivity through the promotion of wet arable land. Wetlands Ecol Manage.
- Engel N, Stadtmann R, 2020. Bodenfunktionsbewertung auf regionaler und kommunaler Ebene: Ein niedersächsischer Leitfaden für die Berücksichtigung der Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung. 5,51 MB. https://doi.org/10.48476/GEOBER_26_2020
- Frehner M, Wasser B, Schwitler R, 2005. NaiS - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Anhang 2 A Bestimmen des Standortstyp. <https://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html>
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. <https://ccsols.ch/>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.
- Kanton Thurgau, 1993. Forstliche Standortkarte. <https://opendata.swiss/de/dataset/forstliche-standortkarte>
- Kanton Thurgau, 2014. Zone archäologische Funde gemäss Zonenplan Gemeinde. Nutzungsplanung kommunal. https://map.geo.tg.ch/apps/mf-geoadmin3/?lang=de&topic=ech&layers=bodenueberwachung-nabodat,hkavb_potenzial,archaeologie-richtplan,archaeologie-zonen&layers_opacity=1,0.9,1,0.9&layers_visibility=false,true,true,true&E=2722480.39&N=1263473.83&zoom=3
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data, 4 (1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas CHELSA V2.1 (current). 2.1 KB. Abgerufen am 02.02.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Koch U, Prasuhn V, 2020. Drainagekarte Schweiz: Erstellung einer Karte potenziell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning». Agroscope Science, 104. <https://doi.org/10.34776/as104g>
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich. <https://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/383/downloadPDF>

- _ MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>
- _ Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- _ Wüst-Galley C, Grünig A, Leifeld J, 2015. Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. Zurich. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/klima/klima-climatereporting-referenzen-cp2/wuest-galley_c_gruenigaleifeldj2015.pdf.download.pdf

1.18 Bodenqualitätsindex nach Hilbert et al. (2021)

Produktname	Bodenqualitätsindex nach Hilbert et al. (2021)
Quelle	Hilbert S, Thelemann M, Brandt M, Siewert W, Gerstenberg JH, 2021. Planungshinweise zum Bodenschutz. Leitbild und Massnahmenkatalog für den vorsorgenden Bodenschutz in Berlin.
Beschrieb	Das Bundesland Berlin will die « <i>bauliche Neubeanspruchung von Böden mit einer hohen Schutzwürdigkeit</i> » minimieren, und hat hierzu einen Bodenqualitätsindex erarbeitet, welcher die Schutzwürdigkeit von Böden beurteilt (Hilbert et al. 2021). Dazu werden Bodeneigenschaften mit weiteren Umweltgrössen verknüpft. Sie beurteilen und kombinieren für ihren Bodenqualitätsindex fünf Bodenfunktionen.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> – Ton (%) – Schluff (%) – Humus (%) – pH – Skelett (Vol-%) – Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) – Lagerungsdichte Feinerde (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> – Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien) – Obergrenze Untergrund (cm) – Obergrenze gg-, r-Horizonte (cm) – Bodentyp
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> – Hangneigung (%) – Convergence Index (-) – Neigungsart (3 Kategorien) – Muldenlage (0,1) Klima <ul style="list-style-type: none"> – Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) – Mittlere jährliche Temperatur (°C) – Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²) – Klimaeignungsklasse (20 Kategorien) Inventare <ul style="list-style-type: none"> – Magerwiesen (0,1) – Moore (0,1) – Archäologische Zone (0,1) – Historische Feuchtgebiete (0,1) – Drainagepotenzialkarte (3 Kategorien) – Trockene Waldgesellschaften (0,1) Biologie <ul style="list-style-type: none"> – Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien)
Ergebnis	Das Ergebnis dieser Methode wird mit 5 Klassen angegeben: 1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex 2 – tiefer Bodenqualitätsindex 3 – mittlerer Bodenqualitätsindex 4 – hoher Bodenqualitätsindex 5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex

Anwendungsbereich

Die Methode eignet sich für Wald-, Stadt- und Landwirtschaftsböden (alle Landnutzungen)

Grafischer Überblick

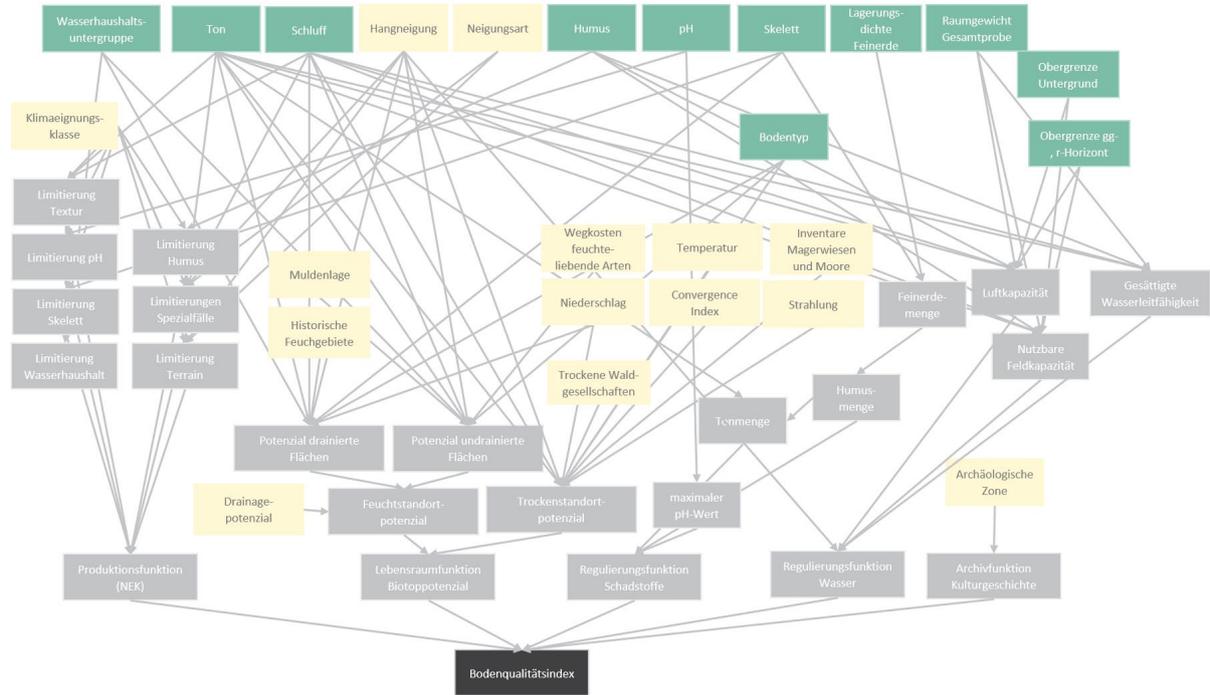


Abbildung 35: Grafischer Überblick zum Bodenqualitätsindex nach Hilbert et al. (2021). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

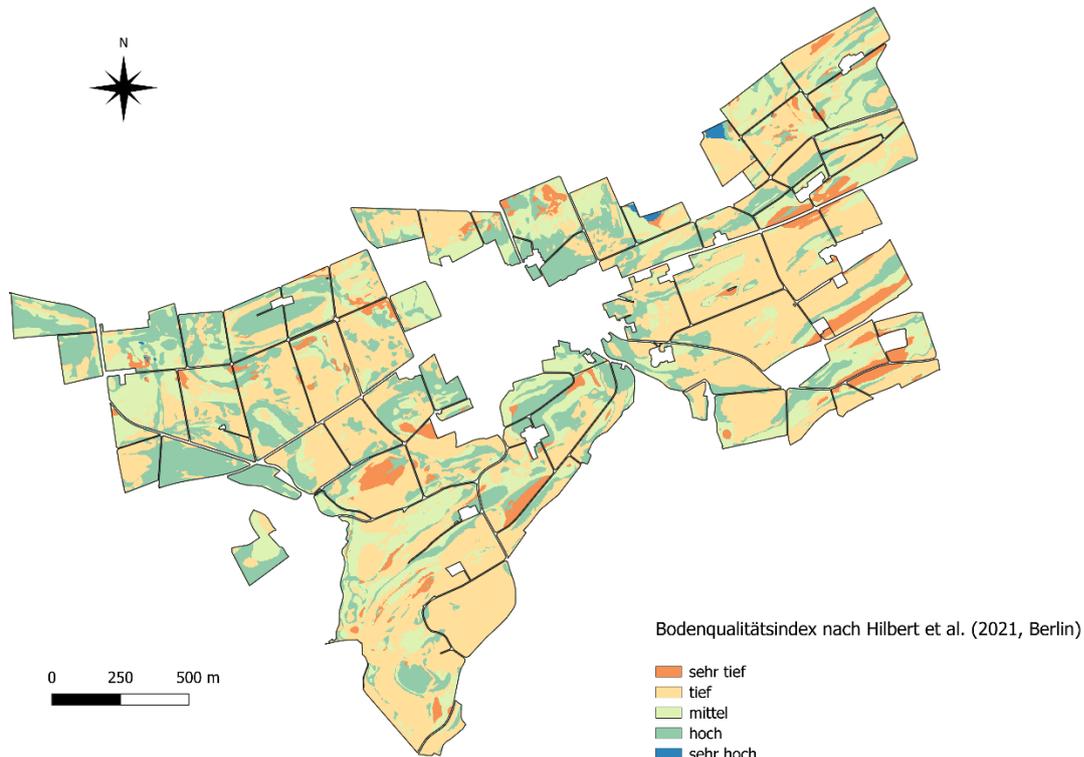


Abbildung 36: Anwendung der Bodenqualitätsindex-Methode nach Hilbert et al. (2021) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Hilbert et al. (2021) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodell SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8x8 m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (°)
- Convergence Index (-)
- Neigungsart unregelmässig (ja, nein), Ableitung aus Geländeformberechnung aus der Pilotkartierung in Lommis (Grob et al. 2024)

Klima: Drei der Klimakarten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere jährliche Temperatur (°C), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²), für März bis September 1981-2010 (Karger et al. 2017; Karger et al. 2021)
- Die Klimaeignungskarte (20, Kategorien, Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis gerastert.

Inventare: Die Karten lagen im Original als Polygonkarten vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW) (Bundesamt für Umwelt 2023)
- Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Bundesamt für Umwelt 2021)
- Wald: Die forstliche Standortkarte musste beim Kanton Thurgau angefragt werden (Kanton Thurgau 1993). Sie lag als Polygonkarten vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert. Die Standorteinheiten 1, 15 und 15w wurden als trocken betrachtet (Frehner et al. 2005).
- Drainagepotenzial (3 Klassen), (Koch und Prasuhn 2020)
- Historische Feuchtgebiete (1870-1926), (Wüst-Galley et al. 2015)
- Archäologische Zone (0,1) (Kanton Thurgau 2014)

Biologie: Die Polygonkarte wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien), (Churko et al. 2020)

1. Produktionsfunktion nach der Nutzungseignungsklassen-Methode (NEK) bewerten (Greiner et al. 2023) und klassieren

Die NEK wird nach der Methode von Greiner et al. (2023) hergeleitet und in 5 Klassen eingeteilt (Tabelle 69).

Tabelle 69: Zuteilung von Punkten zu den Nutzungseignungsklassen (NEK)

NEK	Punkte Produktionsfunktion
	Landwirtschaft
1, 2	5
3, 4	4
5, 6	3
7, 8	2
9, 10	1

2. Lebensraumfunktion Biotoppotenzial bewerten nach (Lienhard und Merkel 2002; Vögeli et al. 2022) und klassieren

Die Lebensraumfunktion wird über das Trockenstandortpotenzial (Lienhard und Merkel 2002) und das Feuchtstandortpotenzial (Vögeli et al. 2022a) hergeleitet. Die beiden Methoden wurden für das Pilotgebiet angepasst und sind hier dokumentiert in Kapitel 6.15 und 6.12. Hier werden sie zusätzlich für die Beurteilung des Bodenqualitätsindex' zusammengeführt und in 5 Klassen übersetzt (Tabelle 70).

Tabelle 70: Kombination von Trockenstandortpotenzial und Feuchtstandortpotenzial zu Punkten für die Lebensraumfunktion

Punkte Trockenstandortpotenzial	Punkte Feuchtstandortpotenzial	Punkte Lebensraumfunktion Biotoppotenzial
80-100	80-100	5
70-80	70-80	4
60-70	60-70	3
50-60	50-60	2
0-50	0-50	1

3. Regulierungsfunktion Schadstoffe angepasst nach Bechler und Toth (2010) anwenden

Die Regulierungsfunktion für Schadstoffe wird nach der Methode zur Beurteilung von Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010) auf Lommis angepasst und angewendet, siehe Kapitel 6.1.

4. Regulierungsfunktion Wasser angepasst nach Danner et al. (2003) anwenden

Die Regulierungsfunktion für Wasser wird nach der Methode von Danner et al. (2003) auf Lommis angepasst und angewendet, siehe Kapitel 6.4.

5. Archivfunktion Kulturgeschichte bewerten

Böden in der Archäologischen Zone (Kanton Thurgau 2014) erhalten 5 Punkte, alle anderen Böden erhalten 1 Punkt.

6. Bodenqualitätsindex herleiten

Die Originalmethode definiert Fälle, für welcher ein bestimmter Bodenqualitätsindex erreicht wird. Es wird die bestmögliche Bewertung abgegeben. Trifft keiner dieser Fälle zu, wird ein sehr tiefer Bodenqualitätsindex vergeben (Tabelle 71).

Tabelle 71: Bestimmung des Bodenqualitätsindex.

Fall 1	ODER	Fall 2	Bodenqualitätsindex
Lebensraumfunktion 4 oder mehr Punkte		Archivfunktion 5 Punkte	5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Produktionsfunktion, Regulierungsfunktion Wasser oder Regulierungsfunktion Schadstoffe haben 5 Punkte		Die Lebensraumfunktion hat 3 Punkte	4 – hoher Bodenqualitätsindex
Regulierungsfunktion Wasser hat 4 Punkte		Regulierungsfunktion Schadstoffe hat 4 Punkte	3 – mittlerer Bodenqualitätsindex
Regulierungsfunktion Wasser hat 3 Punkte		Regulierungsfunktion Schadstoffe hat 3 Punkte	2- tiefer Bodenqualitätsindex
alle nicht obengenannten Fälle			1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Originalmethode verwendet die Bodenfunktionsbewertungsmethoden nach (Gerstenberg et al. 2017).
- Die Bewertung der Bodenfunktionen erfolgt im Original in drei Stufen (hoch, mittel gering). Hier wird die vorhandenen fünfstufige Bewertung verwendet.
- Die Originalmethode beurteilt die Archivfunktion für die Naturgeschichte und nicht die Archivfunktion für die Kulturgeschichte.
- Die Originalmethode vergibt nur für Landwirtschaftsböden mit 5 Punkten in der Produktionsfunktion einen Bodenqualitätsindex von 4.

Literatur

- Bechler K, Toth O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Bundesamt für Umwelt, 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-flachmoore-von-nationaler-bedeutung>
- Bundesamt für Umwelt, 2023. Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW). <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-trockenwiesen-und-weiden-von-nationaler-bedeutung-tww>
- Churko G, Walter T, Szerencsits E, Gramlich A, 2020. Improving wetland connectivity through the promotion of wet arable land. Wetlands Ecol Manage.
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraff M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- Frehner M, Wasser B, Schwitler R, 2005. Nais - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Anhang 2 A Bestimmen des Standortstyp. <https://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html>
- Gerstenberg J, Faensen-Thiebes A, Goedecke M, Thelemann M, 2017. Erstellung von Karten zur Bewertung der Bodenfunktionen.
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. <https://ccsols.ch/>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Hilbert S, Thelemann M, Brandt M, Siewert W, Gerstenberg JH, 2021. Planungshinweise zum Bodenschutz. Leitbild und Massnahmenkatalog für den vorsorgenden Bodenschutz in Berlin.
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimateignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.
- Kanton Thurgau, 1993. Forstliche Standortkarte. <https://opendata.swiss/de/dataset/forstliche-standortkarte>
- Kanton Thurgau, 2014. Zone archäologische Funde gemäss Zonenplan Gemeinde. Nutzungsplanung kommunal. https://map.geo.tg.ch/apps/mf-geoadmin3/?lang=de&topic=ech&layers=bodenueberwachung-nabodat,hkavb_potenzial,archaeologie-richtplan,archaeologie-zonen&layers_opacity=1,0.9,1,0.9&layers_visibility=false,true,true,true&E=2722480.39&N=1263473.83&zoom=3
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreff H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data, 4 (1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>

- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areasCHELSA V2.1 (current). 2.1 KB. Abgerufen am 02.02.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Koch U, Prasuhn V, 2020. Drainagekarte Schweiz: Erstellung einer Karte potenziell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning». Agroscope Science, 104. <https://doi.org/10.34776/as104g>
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich. <https://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/383/downloadPDF>
- MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>
- Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- Wüst-Galley C, Grünig A, Leifeld J, 2015. Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. Zurich. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/klima/klima-climatereporting-referenzen-cp2/wuest-galley_c_gruenigaleifeldj2015.pdf.download.pdf

1.19 Bodenqualitätsindex nach Knoll et al. (2010)

Produktname	Bodenqualitätsindex nach Knoll et al. (2010)
Quelle	Knoll A, Sutor G, Huber G, Kübler B, 2010. „Pilotprojekt Boden“. Bewertung von Bodenfunktionen in Planungsverfahren.
Beschrieb	Knoll et al. (2010) beurteilen und kombinieren für ihren Bodenqualitätsindex sechs Bodenfunktionen. Dieser Bodenqualitätsindex wurde der methodischen Umsetzung der österreichischen Norm L1076 aufgegriffen und dokumentiert (ÖNORM 2013).
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Sand (%) - Humus (%) - pH - Skelett (Vol-%) - Organischer Kohlenstoff (%) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> - Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien) - Bodentyp
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> - Hangneigung (%) - Convergence Index (-) - Neigungsart (3 Kategorien) - Muldenlage (0,1) Klima <ul style="list-style-type: none"> - Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) - Mittlere jährliche Temperatur (°C) - Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²) - Klimaeignungsklasse (20 Kategorien) Inventare <ul style="list-style-type: none"> - Magerwiesen (0,1) - Moore (0,1) - Archäologische Zone (0,1) - Historische Feuchtgebiete (0,1) - Drainagepotenzialkarte (3 Kategorien) - Trockene Waldgesellschaften (0,1) - Landnutzung (3 Kategorien) Biologie <ul style="list-style-type: none"> - Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien)
Ergebnis	Das Ergebnis dieser Methode wird mit 5 Klassen angegeben: <ul style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex 2 – tiefer Bodenqualitätsindex 3 – mittlerer Bodenqualitätsindex 4 – hoher Bodenqualitätsindex 5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Anwendungsbereich	Landwirtschaftlich genutzte Flächen

Grafischer Überblick

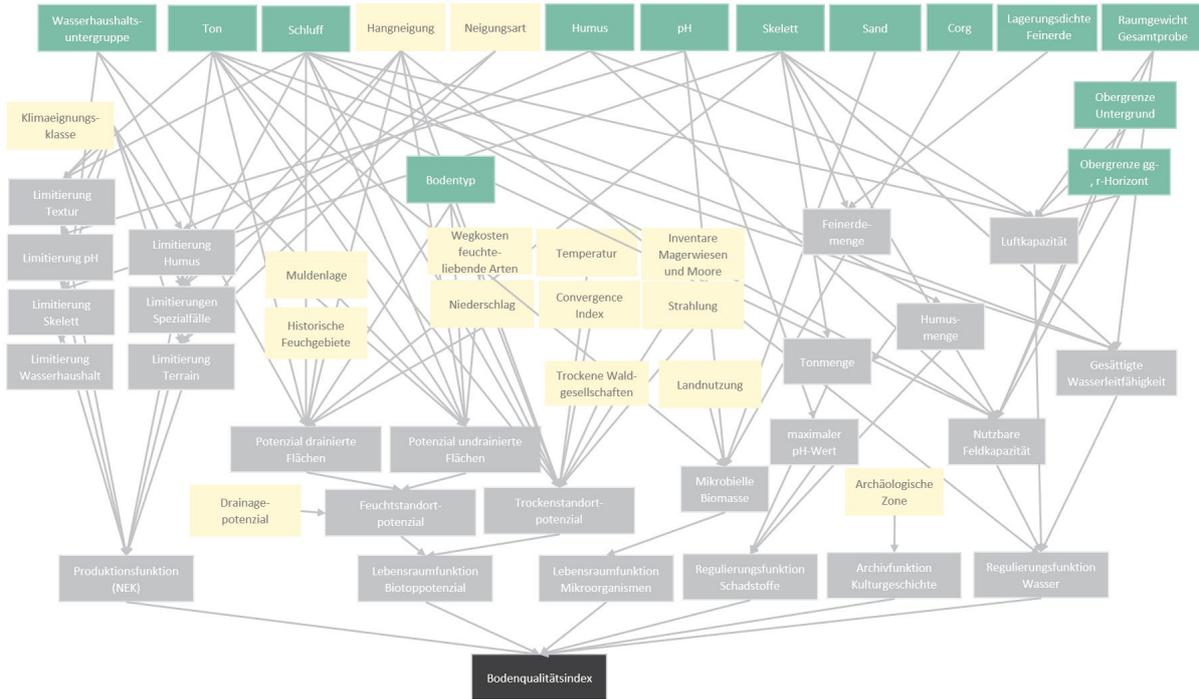


Abbildung 37: Grafischer Überblick zum Bodenqualitätsindex nach Knoll et al. (2010). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

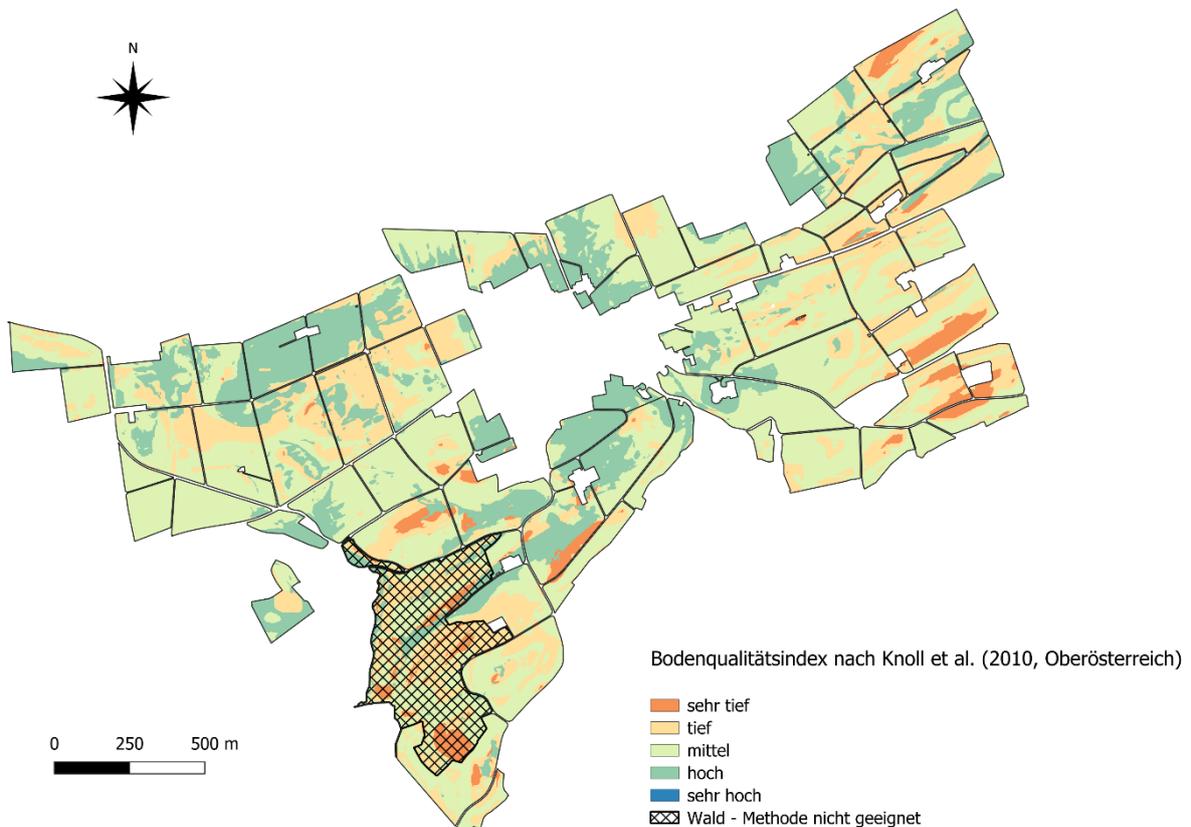


Abbildung 38: Anwendung der Bodenqualitätsindex-Methode nach Knoll et al. (2010) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Knoll et al. (2010) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodell SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8x8 m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- _ Hangneigung (%)
- _ Convergence Index (-)
- _ Neigungsart unregelmässig (ja, nein), Ableitung aus Geländeformberechnung aus der Pilotkartierung in Lommis (Grob et al. 2024)

Klima: Drei der Klimakarten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1 km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- _ Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- _ Mittlere jährliche Temperatur (°C), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- _ Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m^2), für März bis September 1981-2010 (Karger et al. 2017a; Karger et al. 2021a)
- _ Die Klimaeignungskarte (20, Kategorien, Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis gerastert.

Inventare: Die Karten lagen im Original als Polygonkarten vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- _ Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW) (Bundesamt für Umwelt 2023)
- _ Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Bundesamt für Umwelt 2021)
- _ Wald: Die forstliche Standortkarte musste beim Kanton Thurgau angefragt werden (Kanton Thurgau 1993). Sie lag als Polygonkarten vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert. Die Standorteinheiten 1, 15 und 15w wurden als trocken betrachtet (Frehner et al. 2005).
- _ Drainagepotenzial (3 Klassen), (Koch und Prasuhn 2020)
- _ Historische Feuchtgebiete (1870-1926), (Wüst-Galley et al. 2015)
- _ Archäologische Zone (0,1) (Kanton Thurgau 2014)
- _ Die Unterscheidung von Acker, Grasland und Wald wurde über ein (bisher) unpubliziertes Ableitungsprodukt des KOBO zur Arealstatistik (Bundesamt für Statistik 2023) für die Jahre 2016-2020 vorgenommen. Das Ableitungsprodukt aggregiert die Landnutzungen für 5 Jahre, zu 8 Kategorien und macht ein 10m-Grid remap. Hier wurden die Kategorien Acker, Grasland und Wald verwendet.

Biologie: Die Polygonkarte wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- _ Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien), (Churko et al. 2020)

1. Produktionsfunktion nach der Nutzungseignungsklassen-Methode (NEK) bewerten (Greiner et al. 2023) und klassieren

Die NEK wird nach der Methode von Greiner et al. (2023) hergeleitet und in 4 Klassen eingeteilt, welche den Raumwiderstand, also die Beurteilung der Produktionsfunktion für den Bodenqualitätsindex abbilden (Tabelle 72).

Tabelle 72: Zuteilung von Punkten zu den Nutzungseignungsklassen (NEK).

NEK	Punkte Raumwiderstand Produktionsfunktion
1, 2	4
3, 4	3
5, 6	2
7-10	1

2. Lebensraumfunktion Biotoppotenzial bewerten nach Lienhard und Merkel (2002) und Vögeli et al. (2022) und klassieren

Die Lebensraumfunktion wird über das Trockenstandortpotenzial (Lienhard und Merkel 2002) und das Feuchtstandortpotenzial (Vögeli et al. 2022) hergeleitet. Die beiden Methoden wurden für das Pilotgebiet angepasst und sind hier dokumentiert in Kapitel 6.15 und 6.12. Hier werden sie zusätzlich für die Beurteilung des Bodenqualitätsindex' zusammengeführt und in 5 Klassen übersetzt (Tabelle 73).

Tabelle 73: Kombination von Trockenstandortpotenzial und Feuchtstandortpotenzial zu Punkten für den Raumwiderstand zur Lebensraumfunktion.

Punkte Trockenstandortpotenzial	Punkte Feuchtstandortpotenzial	Punkte Raumwiderstand Lebensraumfunktion
>70	>70	4
<70	<70	1

3. Lebensraumfunktion Mikroorganismen bewerten nach Oberholzer und Scheid (2007) und Greiner et al. (2018) anwenden

Die Lebensraumfunktion für Mikroorganismen wird nach der Methode von Oberholzer und Scheid (2007) und Greiner et al. (2018) auf Lommis angepasst und angewendet. Die Methode ist in Kapitel 6.13 dokumentiert. Anschliessend werden für die Bewertungen Punkte für den Raumwiderstand abgegeben, siehe Tabelle 74.

Tabelle 74: Zuteilung von Punkten zur Bewertung der Lebensraumfunktion für Mikroorganismen

Lebensraumfunktion	Punkte Raumwiderstand Lebensraumfunktion
1 – sehr tiefer Gehalt mikrobieller Biomasse	1
2 – tiefer Gehalt mikrobieller Biomasse	1
3 – mittlerer Gehalt mikrobieller Biomasse	1
4 – hoher Gehalt mikrobieller Biomasse	2
5 – sehr hoher Gehalt mikrobieller Biomasse	3

4. Regulierungsfunktion Schadstoffe bewerten nach Bechler und Toth (2010)

Die Regulierungsfunktion für Schadstoffe wird nach der Methode zur Beurteilung von Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe nach Bechler und Thot (2010) auf Lommis angepasst und angewendet, siehe Kapitel 6.1. Anschliessend werden für die Bewertungen Punkte für den Raumwiderstand abgegeben, siehe Tabelle 75.

Tabelle 75: Zuteilung von Punkten zur Bewertung des Bindungs- und Abbauvermögens für Schadstoffe

<i>Bewertung Bindungs- und Abbauvermögen von Schadstoffen</i>	<i>Punkte Raumwiderstand Regulierungsfunktion Schadstoffe</i>
1 - sehr tiefes Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe	1
2 - tiefes Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe	1
3 - mittleres Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe	1
4 - hohes Bindungs- und Abbauvermögen für Schadstoffe	2
5 - sehr hohes Bindungs- und Abbauvermögen für	3

5. Regulierungsfunktion Wasser bewerten nach Danner et al. (2003)

Die Regulierungsfunktion für Wasser wird mit der Methode von Danner et al. (2003) bewertet. Die Methode ist in Kapitel 6.4 dokumentiert. Anschliessend werden für die Bewertungen Punkte für den Raumwiderstand abgegeben, siehe Tabelle 76.

Tabelle 76: Zuteilung von Punkten zur Bewertung der Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt.

<i>Bewertung Regulierungsfunktion für den Wasserhaushalt</i>	<i>Punkte Raumwiderstand Regulierungsfunktion Wasser</i>
1 - sehr tiefes Wasserregulierungsvermögen	1
2 - tiefes Wasserregulierungsvermögen	1
3 - mittleres Wasserregulierungsvermögen	2
4 - hohes Wasserregulierungsvermögen	3
5 - sehr hohes Wasserregulierungsvermögen	4

6. Archivfunktion Kulturgeschichte bewerten

Böden in der Archäologischen Zone (Kanton Thurgau 2014) erhalten 4 Punkte, alle anderen Böden erhalten 1 Punkt.

7. Bodenqualitätsindex herleiten

Diese Methode schreibt allen Bodoenfunktionsbewertungsergebnissen Raumwiderstände zu und der höchste aller Raumwiderstände entspricht anschliessend dem Bodenqualitätsindex in 4 Klassen, hier wurde er auf fünf Klassen umgerechnet.

Bodenqualitätsindex in 4 Klassen = maximaler Wert aus den Punkten zu den Raumwiderständen (Produktionsfunktion, Lebensraumfunktion Biotoppotenzial, Lebensraumfunktion Mikroorganismen, Regulierungsfunktion Schadstoffe, Regulierungsfunktion Wasser, Archivfunktion Kulturgeschichte)

Bodenqualitätsindex in 5 Klassen = runden (Bodenqualitätsindex in 4 Klassen/4 *5)

Unterschiede zur Originalmethode

- _ Es wurden andere Bodenfunktionsbewertungsmethoden verwendet
- _ Das Kriterium der «Standorte mit geschützten Pflanzengesellschaften» wurden für den Bodenqualitätsindex nicht berücksichtigt
- _ Die 4 Klassen wurden auf 5 Klassen umgerechnet.

Literatur

- Bechler K, Toth O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Bundesamt für Statistik, 2023. Arealstatistik: Geodaten für 1979-1985, 1992-1997, 2004-2009, 2013-2018, 2020-2025. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/boden-nutzung-bedeckung-eignung/arealstatistik-schweiz.assetdetail.25885691.html>
- Bundesamt für Umwelt, 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-flachmoore-von-nationaler-bedeutung>
- Bundesamt für Umwelt, 2023. Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW). <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-trockenwiesen-und-weiden-von-nationaler-bedeutung-tww>
- Churko G, Walter T, Szerencsits E, Gramlich A, 2020. Improving wetland connectivity through the promotion of wet arable land. Wetlands Ecol Manage.
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraft M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- Frehner M, Wasser B, Schwitter R, 2005. Nais - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Anhang 2 A Bestimmen des Standortstyp. <https://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html>
- Greiner L, Nussbaum M, Papritz A, Fraefel M, Zimmermann S, Schwab P, Grêt-Regamey A, Keller A, 2018. Assessment of soil multi-functionality to support the sustainable use of soil resources on the Swiss Plateau. Geoderma Regional, 14, 00181. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00181>
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. <https://ccsols.ch/>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.
- Kanton Thurgau, 1993. Forstliche Standortkarte. <https://opendata.swiss/de/dataset/forstliche-standortkarte>
- Kanton Thurgau, 2014. Zone archäologische Funde gemäss Zonenplan Gemeinde. Nutzungsplanung kommunal. https://map.geo.tg.ch/apps/mf-geoadmin3/?lang=de&topic=ech&layers=bodenueberwachung-nabodat,hkavb_potenzial,archaeologie-richtplan,archaeologie-zonen&layers_opacity=1,0.9,1,0.9&layers_visibility=false,true,true,true&E=2722480.39&N=1263473.83&zoom=3
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data, 4 (1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>

- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areasCHELSA V2.1 (current). 2.1 KB. Abgerufen am 02.02.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Knoll A, Sutor G, Huber G, Kübler B, 2010. „Pilotprojekt Boden“. Bewertung von Bodenfunktionen in Planungsverfahren.
- Koch U, Prasuhn V, 2020. Drainagekarte Schweiz: Erstellung einer Karte potenziell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning». Agroscope Science, 104. <https://doi.org/10.34776/as104g>
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich. <https://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/383/downloadPDF>
- MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>
- Oberholzer H-R, Scheid S, 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnet Anhang biologischer Parameter (NABObio). 0723.
- ÖNORM, 2013. Bodenfunktionsbewertung: Grundlage und Erläuterungen zur ÖNORM L 1076. <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:aed1b6f8-aa98-418b-8529-34534439c975/Bodenfunktionsbewertung.pdf>
- Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- Wüst-Galley C, Grünig A, Leifeld J, 2015. Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. Zurich. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/klima/klima-climatereporting-referenzen-cp2/wuest-galley_c_gruenigaleifeldj2015.pdf.download.pdf

1.20 Bodenqualitätsindex nach Miller et al. (2022)

Produktname	Bodenqualitätsindex nach Miller et al. (2022)
Quelle	Miller R, Busch J, Friedrich K, Fritzscht D, Goldschmitt M, Handke K, Pflanz D, Sauer S, Vorderbrügge T, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2022. Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 5: Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren.
Beschrieb	Vor allem für die Standortalternativenprüfungen haben Miller et al. (2022) aus Boden- und Umweltgrößen einen Bodenqualitätsindex erstellt. Sie beurteilen und kombinieren hierfür vier Bodenfunktionen.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> - Ton (%) - Schluff (%) - Humus (%) - pH - Skelett (Vol-%) - Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm³) - Lagerungsdichte Feinerde (g/cm³) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> - Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Kategorien) - Obergrenze Untergrund (cm) - Obergrenze gg-, r-Horizonte (cm) - Pflanzennutzbare Gründigkeit (cm) - Bodentyp
Weitere Eingangsgrossen	Terrain <ul style="list-style-type: none"> - Hangneigung (%) - Convergence Index (-) - Neigungsart (3 Kategorien) - Muldenlage (0,1) Klima <ul style="list-style-type: none"> - Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm) - Mittlere jährliche Temperatur (°C) - Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m²) - Klimateignungsklasse (20 Kategorien) Inventare <ul style="list-style-type: none"> - Magerwiesen (0,1) - Moore (0,1) - Historische Feuchtgebiete (0,1) - Drainagepotenzialkarte (3 Kategorien) - Trockene Waldgesellschaften (0,1) Biologie und Geologie <ul style="list-style-type: none"> - Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien) - Lockergestein (0,1)
Ergebnis	Das Ergebnis dieser Methode wird mit 5 Klassen angegeben: <ol style="list-style-type: none"> 1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex 2 – tiefer Bodenqualitätsindex 3 – mittlerer Bodenqualitätsindex 4 – hoher Bodenqualitätsindex 5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Anwendungsbereich	Wald-, Stadt-, Landwirtschaftsböden (alle Landnutzungen)

Grafischer Überblick

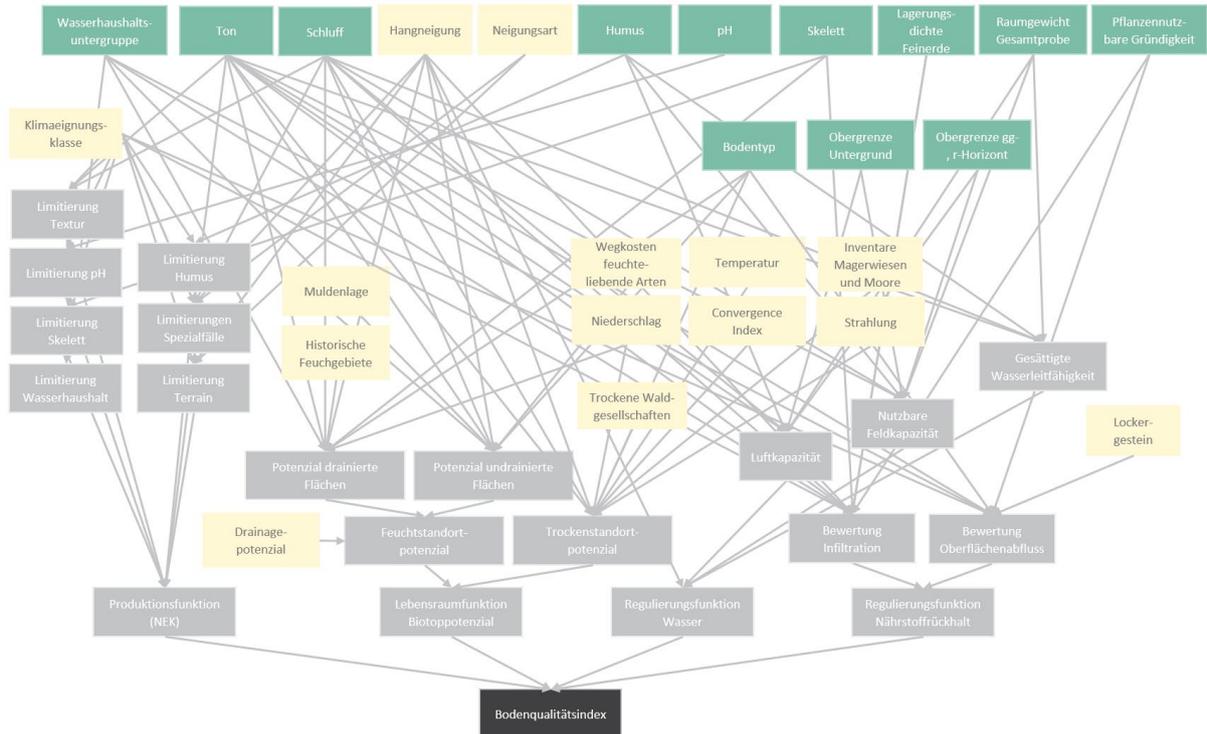


Abbildung 39: Grafischer Überblick zum Bodenqualitätsindex nach Miller et al. (2022). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

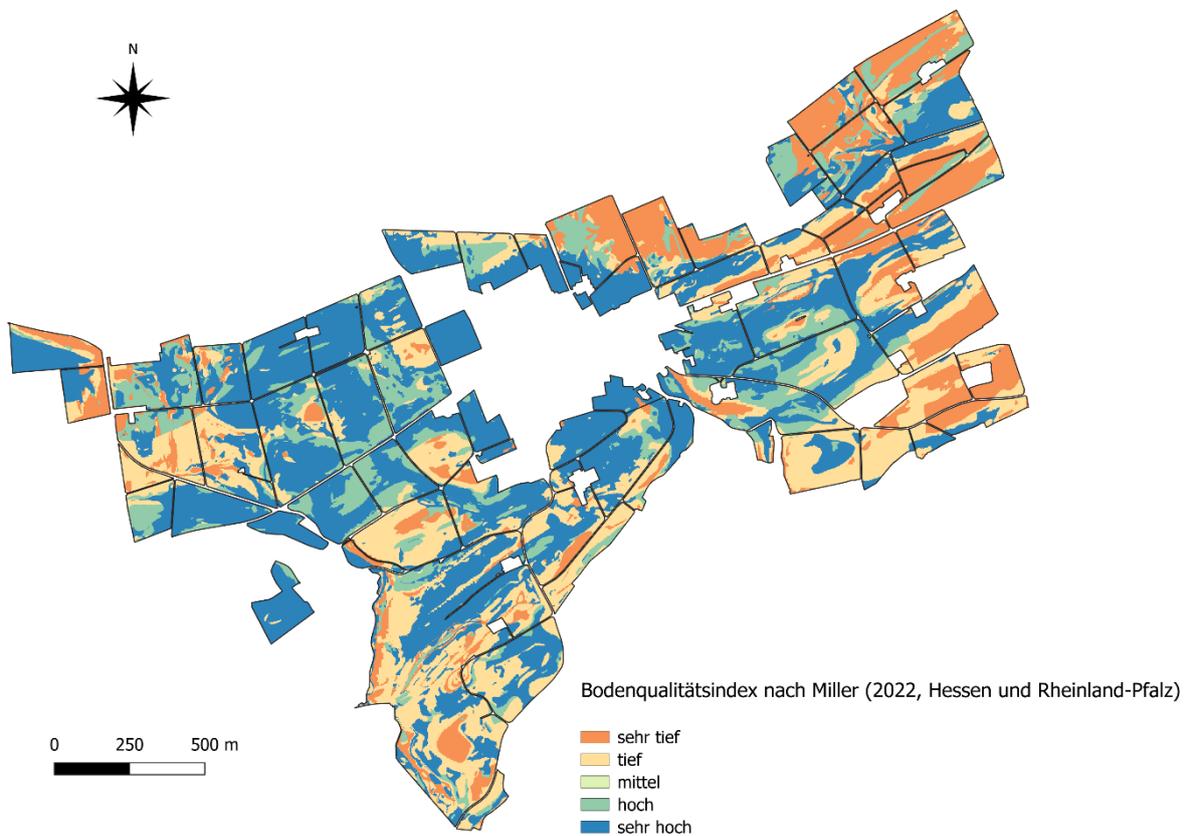


Abbildung 40: Anwendung der Bodenqualitätsindex-Methode nach Miller et al. (2022) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Miller et al. (2022) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in einigen Details angepasst. Im Folgenden beschreiben wir die angepasste Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karten zu Hangneigung und Convergence Index stammen aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodell SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karten lagen im 8x8m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Hangneigung (°)
- Convergence Index (-)
- Neigungsart unregelmässig (ja, nein), Ableitung aus Geländeformberechnung aus der Pilotkartierung in Lommis (Grob et al. 2024)

Klima: Drei der Klimakarten lagen im Originalraster in der Auflösung von 1x1km vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- Mittlerer jährlicher Niederschlag (mm), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere jährliche Temperatur (°C), für 1991-2020 (MeteoSchweiz 2024)
- Mittlere monatliche Globalstrahlung (W/m^2), für März bis September 1981-2010 (Karger et al. 2017a; Karger et al. 2021a)
- Die Klimaeignungskarte (20, Kategorien, Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis gerastert.

Inventare: Die lagen im Original als Polygonkarten vor. Sie wurden hier auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW) (Bundesamt für Umwelt 2023)
- Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Bundesamt für Umwelt 2021)
- Wald: Die forstliche Standortkarte musste beim Kanton Thurgau angefragt werden (Kanton Thurgau 1993). Sie lag als Polygonkarten vor und wurde auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert. Die Standorteinheiten 1, 15 und 15w wurden als trocken betrachtet (Frehner et al. 2005).
- Drainagepotenzial (3 Klassen), (Koch und Prasuhn 2020)
- Historische Feuchtgebiete (1870-1926), (Wüst-Galley et al. 2015)

Biologie und Geologie: Die Polygonkarten wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten gerastert.

- Wegkosten für feuchteliebende Arten (10 Kategorien), (Churko et al. 2020)
- Die Lockergesteinskarte basiert auf einer Aggregation des KOBO auf 6 Gesteinsklassen der Geologischen Karte der Schweiz, 1:500'000 (Swisstopo 2005). Die eine der sechs Kategorien «Lockergestein» wurde als an- oder abwesend in einer Karte berücksichtigt: Lockergestein (0,1) (Swisstopo 2005)

1. Produktionsfunktion nach der Nutzungseignungsklassen-Methode (NEK) bewerten (Greiner et al. 2023) und klassieren

Die NEK wird nach der Methode von Greiner et al. (2023) hergeleitet und in 5 Klassen eingeteilt (Tabelle 77).

Tabelle 77: Zuteilung von Punkten zu den Nutzungseignungsklassen.

NEK	Punkte Produktionsfunktion
	Landwirtschaft
1, 2	5
3, 4	4
5, 6	3
7, 8	2
9, 10	1

2. Lebensraumfunktion Biotoppotenzial bewerten nach Lienhard und Merkel (2002) und Vögeli et al. (2022) und klassieren

Die Lebensraumfunktion wird über das Trockenstandortpotenzial (Lienhard und Merkel 2002) und das Feuchtstandortpotenzial (Vögeli et al. 2022) hergeleitet. Die beiden Methoden wurden für das Pilotgebiet angepasst und sind hier dokumentiert in Kapitel 1.15 und 1.12. Hier werden sie zusätzlich für die Beurteilung des Bodenqualitätsindex' zusammengeführt und in 5 Klassen übersetzt (Tabelle 78).

Tabelle 78: Kombination von Trockenstandortpotenzial und Feuchtstandortpotenzial zu Punkten für die Lebensraumfunktion.

Punkte Trockenstandortpotenzial	Punkte Feuchtstandortpotenzial	Punkte Lebensraumfunktion Biotoppotenzial
80-100	80-100	5
70-80	70-80	4
60-70	60-70	3
50-60	50-60	2
0-50	0-50	1

3. Regulierungsfunktion Wasser bewerten nach Danner et al. (2003)

Die Regulierungsfunktion für Wasser wird mit der Methode von Danner et al. (2003) bewertet. Die Methode ist in Kapitel 6.4 dokumentiert.

4. Regulierungsfunktion Nährstoffrückhalt bewerten nach (Jäggli et al. 1998)

Die Regulierungsfunktion für Nährstoffrückhalt wird nach der Methode von Jäggli et al. (1998) bewertet. Die Methode ist in Kapitel 6.3 dokumentiert.

5. Bodenqualitätsindex herleiten

Zuerst wird für jeden Rasterpunkt der Mittelwert aus allen Bodenfunktionsbewertungen hergeleitet. Anschliessend definiert die Methode Fälle, für welcher ein bestimmter Bodenqualitätsindex erreicht wird. Es wird die bestmögliche Bewertung abgegeben (Tabelle 79).

Tabelle 79: Bestimmung des Bodenqualitätsindex'.

<i>Fall</i>	<i>Bodenqualitätsindex</i>
Zwei oder mehr Bodenfunktionsbewertungen mit 5 Punkten	5 – sehr hoher Bodenqualitätsindex
Eine Bodenfunktionsbewertung mit 5 Punkten	4 – hoher Bodenqualitätsindex
Eine Bodenfunktionsbewertung mit 4 Punkten	3 – mittlerer Bodenqualitätsindex
Mittelwert ≥ 2.5	2- tiefer Bodenqualitätsindex
Mittelwert < 2.5	1 – sehr tiefer Bodenqualitätsindex

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Originalmethode verwendet andere Methoden zur Beurteilung der Bodenfunktionen. Beispielsweise beurteilt sie die Feldkapazität statt der Regulierungsfunktion Wasser mit weiteren Eingangsgrößen und das Ertragspotenzial aus der Bodenschätzung heraus.
- Die Produktionsfunktion wird in der Originalmethode bezeichnet als «Lebensraum für Pflanzen, Kriterium Ertragspotenzial».

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Bundesamt für Umwelt, 2021. Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-flachmoore-von-nationaler-bedeutung>
- Bundesamt für Umwelt, 2023. Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW). <https://opendata.swiss/de/dataset/bundesinventar-der-trockenwiesen-und-weiden-von-nationaler-bedeutung-tww>
- Churko G, Walter T, Szerencsits E, Gramlich A, 2020. Improving wetland connectivity through the promotion of wet arable land. *Wetlands Ecol Manage.*
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraff M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- Frehner M, Wasser B, Schwitler R, 2005. NaiS - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Anhang 2 A Bestimmen des Standortstyp. <https://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html>
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. <https://ccsols.ch/>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Jäggli F, Peyer K, Pazeller A, Schwab P, 1998. Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich.
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimateignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. *Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.*
- Kanton Thurgau, 1993. Forstliche Standortkarte. <https://opendata.swiss/de/dataset/forstliche-standortkarte>
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreff H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4 (1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreff H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas CHELSA V2.1 (current). 2.1 KB. Abgerufen am 02.02.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Koch U, Prasuhn V, 2020. Drainagekarte Schweiz: Erstellung einer Karte potenziell drainierter Flächen in der Schweiz mittels «Machine Learning». *Agroscope Science*, 104. <https://doi.org/10.34776/as104g>
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich. <https://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/383/downloadPDF>
- MeteoSchweiz, 2024. Klima-Normwerte. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/klima-normwerte.html>

- Miller R, Busch J, Friedrich K, Fritzsch D, Goldschmitt M, Handke K, Pflanz D, Sauer S, Vorderbrügge T, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2022. Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 5: Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren.
- Swisstopo, 2005. Geologische Karte der Schweiz 1:500000.
<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/geology/geomaps/gm500.html>
- Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- Wüst-Galley C, Grünig A, Leifeld J, 2015. Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. Zurich. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/klima/klima-climatereporting-referenzen-cp2/wuest-galley_c_gruenigaleifeldj2015.pdf.download.pdf

1.21 Landwirtschaftliche Nutzungseignung NEK-2023 nach Greiner et al. (2023)

Produktname	Landwirtschaftliche Nutzungseignung TESTVERSION NEK-2023 nach Greiner et al. (2023)
Quelle	Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. Kompetenzzentrum Boden, KOBO-Bericht Nr. 7, https://ccsols.ch/ .
Beschrieb	Die Methode bewertet anhand von Boden-, Klima- und Terraindaten ob und welche Limitierungen für die langfristige nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung vorliegen. Sie ordnet verschiedene Böden 10 Nutzungseignungsklassen (NEK) zu, wobei bei der NEK 1 keinerlei Limitierungen für die landwirtschaftliche Nutzung vorliegen, bei NEK 10 nur Streulandnutzung möglich ist. Die Methode liegt momentan als Testversion vor und wird voraussichtlich noch angepasst.
Eingangsrößen Boden	Schichtbezug (0-30 cm, 30-60 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Ton (%) _ Schluff (%) _ Humus (%) _ Skelett (Vol-%) _ pH Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> _ Wasserhaushaltsuntergruppe (25 Klassen)
Weitere Eingangsrößen	Klima <ul style="list-style-type: none"> _ Klimaeignungsklasse Terrain: <ul style="list-style-type: none"> _ Hangneigung (%) _ Neigungsart unregelmässig (ja/nein)
Ergebnis	Das Ergebnis wird in einer Skala von 1 bis 10 in Nutzungseignungsklassen (NEK) angegeben, wobei NEK 1 der bestmöglichen Bewertung und NEK 10 der schlechtesten möglichen Bewertung entspricht: NEK 1 – uneingeschränkte Fruchtfolge NEK 2 – leicht eingeschränkte Fruchtfolge NEK 3 – getreidebetonte Fruchtfolge NEK 4 – getreidebetonte Fruchtfolge mit geringer Ertragssicherheit NEK 5 – futterbaubetonte Fruchtfolge NEK 6 – eingeschränkte, futterbaubetonte Fruchtfolge NEK 7 – vielseitiges Grünland NEK 8 – feuchte Mähwiesen NEK 9 – extensives Grünland NEK 10 – sehr feuchtes Streuland
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich für Landwirtschaftsflächen.

Grafischer Überblick

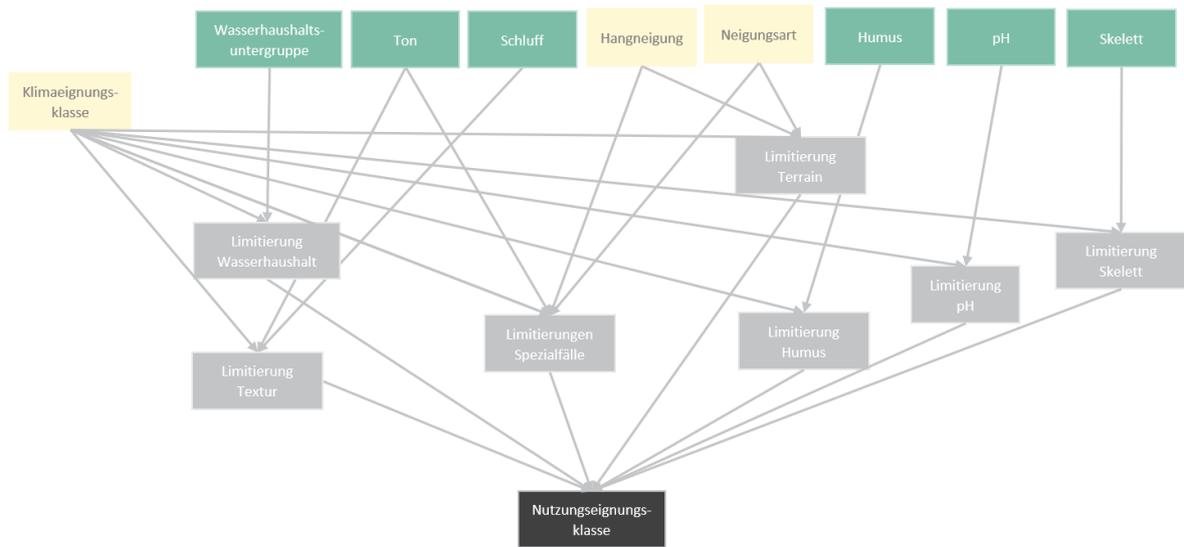


Abbildung 41: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der landwirtschaftlichen Nutzungsseignung nach Greiner et al. (2023). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

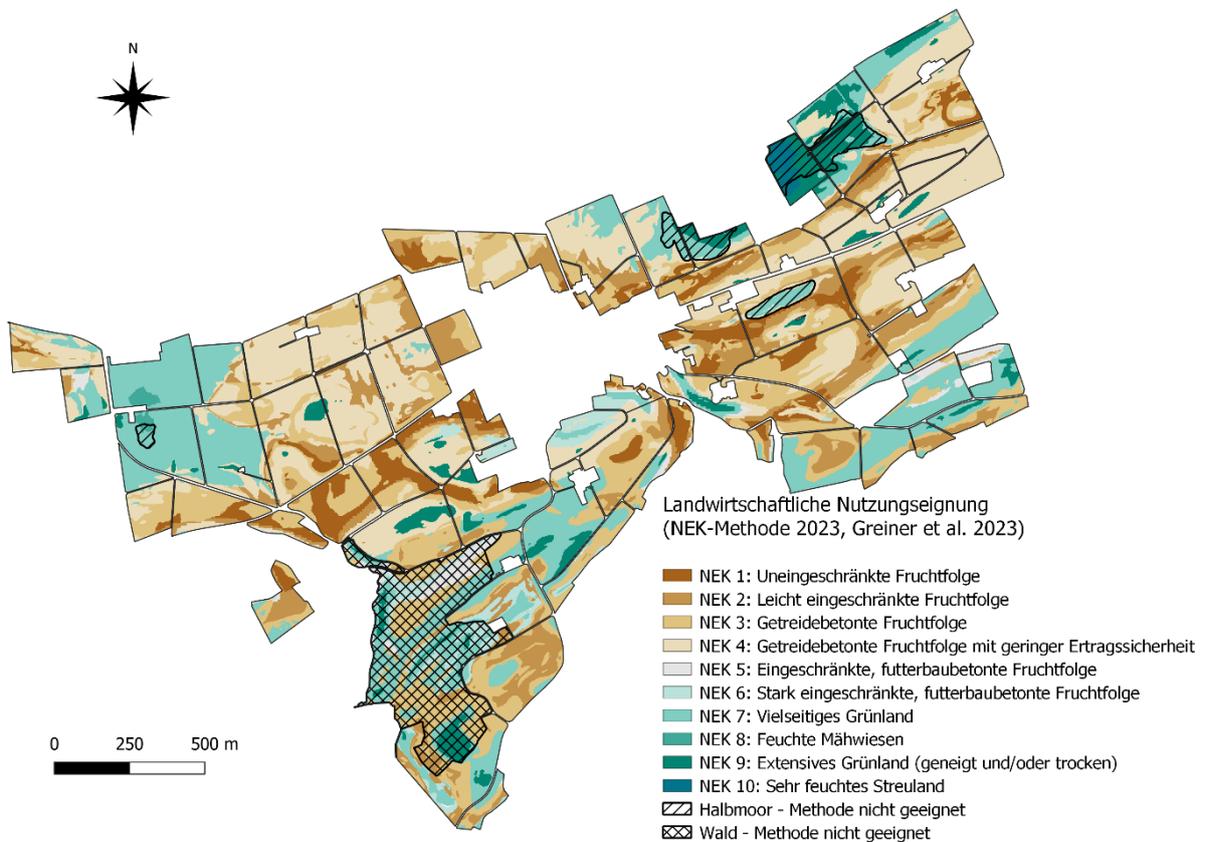


Abbildung 42: Anwendung der Methode zur Berechnung der landwirtschaftlichen Nutzungsseignung nach Greiner et al. (2023) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Methode wurde eins-zu-eins nach Greiner et al. (2023) auf das Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau umgesetzt.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m vor und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024).

Terrain: Die Karte zur Hangneigung stammt aus Ableitungen des KOBO zum digitalen Höhenmodells SwissAlti3d (Behrens et al. 2023). Die Karte lag im 8x8 m Raster vor und wurden auf das 2x2 m Raster der Bodeneigenschaftskarten heruntergebrochen.

- _ Hangneigung (%)
- _ Neigungsart unregelmässig (ja, nein), Ableitung aus Geländeformberechnung aus der Pilotkartierung in Lommis (Grob et al. 2024)

Klima: die Klimaeignungskarte (Jeanneret und Vautier 1977) liegt als Polygondatensatz vor. Sie wurde auf das Raster der Bodeneigenschaftskarten in Lommis gerastert.

1. Anhand der Klimaeignungsklasse die klimatische Limitierung bestimmen

Klimaeignungsklassen A2, A3, B2, B3 → keine klimatische Limitierung

Klimaeignungsklassen A4, B4, C1-4 → leichte klimatische Limitierung

Klimaeignungsklassen A5, B5, C5-6, D1-4 → mittlere klimatische Limitierung

Klimaeignungsklassen D5-6, E1-3, E4-6, F → starke klimatische Limitierung

Über die klimatische Limitierung erfolgt die Spaltenauswahl in den Bewertungstabellen ab Schritt 3.

2. Ton-, Schluff-, Skelettgehalt und pH für die Bewertungstiefen zusammenstellen

Als Oberboden gilt die Bodenschicht 0-30 cm, als Unterboden die Bodenschicht 30-60 cm.

3. Bewertungstabelle zur Wasserhaushaltsuntergruppe anwenden (Tabelle 80)

Tabelle 80: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand der Wasserhaushaltsuntergruppe (WHUG) bestimmen.

WHUG	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
a, b, k	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
c	NEK 3	NEK 3	NEK 5	NEK 6
d	NEK 4	NEK 7	NEK 7	NEK 7
e	NEK 9	NEK 9	NEK 9	NEK 9
f	NEK 3	NEK 3	NEK 5	NEK 6
g	NEK 4	NEK 3	NEK 5	NEK 6
h	NEK 4	NEK 7	NEK 7	NEK 7
i	NEK 9	NEK 9	NEK 9	NEK 9
l	NEK 2	NEK 2	NEK 5	NEK 6
m	NEK 4	NEK 6	NEK 6	NEK 7
n	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7
o	NEK 4	NEK 6	NEK 6	NEK 7
p, q	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7
r	NEK 9	NEK 9	NEK 9	NEK 9
s, t	NEK 5	NEK 5	NEK 5	NEK 7
u	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7
v, w	NEK 8	NEK 8	NEK 8	NEK 8
x, y, z	NEK 10	NEK 10	NEK 10	NEK 10

4. Bewertungstabelle zum Skelettgehalt anwenden (Tabelle 81)

Tabelle 81: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand des Skelettgehalts im Oberboden (0-30 cm) bestimmen.

Skelett (Vol.-%) OB ≥	Skelett (Vol.-%) OB <	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
0	10	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
10	20	NEK 3	NEK 3	NEK 5	NEK 6
20	30	NEK 4	NEK 6	NEK 6	NEK 6
30	50	NEK 6	NEK 6	NEK 6	NEK 6
50	100	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7

5. Bewertungstabelle zur Textur anwenden (Tabelle 82)

Tabelle 82: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand der Körnung im Oberboden (0-30 cm) bestimmen.

Körnungs- klassen	Ton (%) OB ≥	Ton (%) OB <	Schluff (%) OB ≥	Schluff (%) OB <	Sand (%) OB ≥	Sand (%) OB <	Klima keine Lim.	Klima leichte Lim.	Klima mittlere Lim.	Klima starke Lim.
Sandiger Lehm	15	20	0	50	30	85	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
Lehm	20	30	0	50	20	80	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
lehmiger Schluff	10	30	50	100	0	40	NEK 2	NEK 3	NEK 6	NEK 6
Lehm-reicher Sand	10	15	0	50	35	90	NEK 2	NEK 4	NEK 5	NEK 6
toniger Lehm	30	40	0	50	10	70	NEK 3	NEK 3	NEK 6	NEK 6
lehmiger Sand	5	10	0	50	40	95	NEK 4	NEK 4	NEK 5	NEK 6
sandiger Schluff	0	10	50	70	20	50	NEK 4	NEK 5	NEK 6	NEK 6
Schluff	0	10	70	100	0	30	NEK 4	NEK 5	NEK 6	NEK 6
schluffiger Sand	0	5	15	50	35	85	NEK 4	NEK 6	NEK 6	NEK 7
toniger Schluff	30	50	50	100	0	20	NEK 4	NEK 6	NEK 7	NEK 7
lehmiger Ton	40	50	0	50	0	60	NEK 4	NEK 6	NEK 7	NEK 7
Ton	50	100	0	50	0	50	NEK 4	NEK 7	NEK 7	NEK 7
Sand	0	5	0	15	20	100	NEK 9	NEK 6	NEK 6	NEK 7

(OB = Oberboden, Lim. = Limitierung)

6. Bewertungstabelle zum Humusgehalt anwenden (Tabelle 83)

Tabelle 83: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand des Humusgehalts im Oberboden (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm) bestimmen.

Humus- gehalt (%) OB ≥	Humus- gehalt (%) OB <	Humus- gehalt (%) UB ≥	Humus- gehalt (%) UB <	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
0	10	0	30	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
0	10	30	100	NEK 6	NEK 6	NEK 6	NEK 6
10	30	0	30	NEK 6	NEK 6	NEK 6	NEK 6
10	30	30	100	NEK 6	NEK 6	NEK 7	NEK 7
30	100	30	100	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7

(OB = Oberboden, UB = Unterboden)

7. Bewertungstabelle zum pH anwenden (Tabelle 84)

Tabelle 84: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand des pHs im Unterboden (30-60 cm) bestimmen

pH UB ≥	pH UB <	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
5.1	14	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
0	5.1	NEK 2	NEK 2	NEK 5	NEK 6

(UB = Unterboden)

8. Bewertungstabelle zum Terrain anwenden (Tabelle 85)

Tabelle 85: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand der Hangneigung und der Neigungsart «ungleichmässig» bestimmen

Hang- neigung (%) ≥	Hang- neigung (%) <	Neigungsart «ungleich- mässig»	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
0	10	ja/nein	NEK 1	NEK 2	NEK 5	NEK 6
10	15	ja/nein	NEK 2	NEK 2	NEK 5	NEK 6
15	20	nein	NEK 3	NEK 3	NEK 5	NEK 6
20	25	nein	NEK 5	NEK 5	NEK 5	NEK 6
15	25	ja	NEK 6	NEK 6	NEK 6	NEK 7
25	35	ja/nein	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7
35	100	ja/nein	NEK 9	NEK 9	NEK 9	NEK 9

9. Bewertungstabelle 1 für Spezialfälle anwenden (Tabelle 86)

Tabelle 86: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand der Wasserhaushaltsuntergruppe (WHUG), der Hangneigung und der Neigungsart «ungleichmässig» bestimmen

WHUG	Hang- neigung (%) ≥	Hang- neigung (%) <	Neigungs- art «ungleich- mässig»	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
f, g, k, l	15	20	nein	-	-	NEK 7	NEK 7
o	15	20	nein	-	NEK 6	NEK 7	NEK 7
s, t	15	20	nein	NEK 5	-	NEK 7	NEK 7
m	15	25	nein	-	NEK 6	NEK 7	NEK 7
f	20	25	nein	NEK 5	-	NEK 7	NEK 7
g	20	25	nein	-	NEK 6	NEK 7	NEK 7
k, l	20	25	nein	NEK 5	NEK 6	NEK 7	NEK 7
d, h	20	25	ja/nein	NEK 7	NEK 7	NEK 7	NEK 7
o, s, t	20	25	ja/nein	NEK 6	NEK 6	NEK 7	NEK 7
f, g, k, l, m	15	25	ja	-	-	NEK 7	-

10. Bewertungstabelle 2 für Spezialfälle anwenden (Tabelle 87)

Tabelle 87: Die Nutzungseignungsklasse (NEK) anhand der Wasserhaushaltsuntergruppe (WHUG), der Hangneigung und der Neigungsart «ungleichmässig» und der Textur im Unterboden (30-60 cm) bestimmen

WHUG	Hangneigung (%) N	Hangneigung (%) V	Neigungsart «un- gleichmässig»	Ton (%) UB \approx	Ton (%) UB <	Schluff (%) UB \approx	Schluff (%) UB <	Sand (%) UB \approx	Sand (%) UB <	Klima keine Limitierung	Klima leichte Limitierung	Klima mittlere Limitierung	Klima starke Limitierung
c	0	20	ja /nein	0	10	0	50	40	100	NEK 4	-	-	-
c	20	25	nein	0	10	0	50	40	100	-	NEK 7	NEK 7	NEK 7
c	20	25	ja	0	10	0	50	40	100	NEK 7	NEK 7	NEK 7	-
d	20	35	ja /nein	0	10	0	50	40	100	NEK 9	-	-	-

11. Maximale Limitierung und damit finale NEK bestimmen

Aus den Tabelle 80 bis Tabelle 87 wird die grösste NEK bestimmt. Dies ist das finale Resultat der NEK-Bewertung

Literatur

- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly - Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2023. Anleitung zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Methode der Nutzungseignungsklassen (NEK-Methode). Aktualisierte Version 2023. Testversion. KOBO-Bericht Nr. 7. <https://ccsols.ch/>
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch
- Jeanneret F, Vautier Ph, 1977. Kartierung der Klimateignung für die Landwirtschaft in der Schweiz: Beilage zum Jahrbuch Geografischen Gesellschaft Bern. Jahrbuch der Geografischen Gesellschaft Bern.

1.22 Bewässerungseignung nach Presler und Bagnoud (2013)

Produktname	Bewässerungseignung nach Presler und Bagnoud (2013)
Quelle	Presler und Bagnoud, 2013. Generelles Projekt der 3. Rhonekorrektion. Grundlagenstudie Bodenkunde. Technischer Bericht.
Beschrieb	Diese Methode bewertet die grundlegende Bewässerungseignung von Böden anhand von Bodeneigenschaften, die das Wasserspeichervermögen und den Vernässungsgrad charakterisieren. Als für die Bewässerung geeignet werden Böden angesehen, die ein ausreichendes Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser aufweisen. Böden, die nur ein geringes Wasserspeichervermögen aufweisen oder häufig bis zur Oberfläche vernässt sind, werden als für die Bewässerung ungeeignet angesehen.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezogenen Bodendaten (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Tongehalt (%) _ Schluffgehalt (%) _ Humusgehalt (%) _ Raumgewicht Gesamtprobe (g cm⁻³) Gesamtbodenbezogenen Bodendaten <ul style="list-style-type: none"> _ Pflanzennutzbare Gründigkeit pnG (cm) _ Wasserhaushaltsgruppe (-)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Die Bewässerungseignung wird anhand der folgenden Klassen beschrieben: Eignungsklasse 1 - Für Bewässerung sehr gut geeignet Eignungsklasse 2 - Für Bewässerung gut geeignet Eignungsklasse 3 - Für Bewässerung ziemlich gut geeignet Eignungsklasse 4 - Für Bewässerung mässig geeignet Eignungsklasse 5a - Für Bewässerung nicht geeignet (geringes Wasserspeichervermögen) Eignungsklasse 5b - Für Bewässerung nicht geeignet (Wasserüberangebot)
Anwendungsbereich	Die Methode eignet sich zur Bewertung landwirtschaftlich genutzter Böden.

Grafischer Überblick

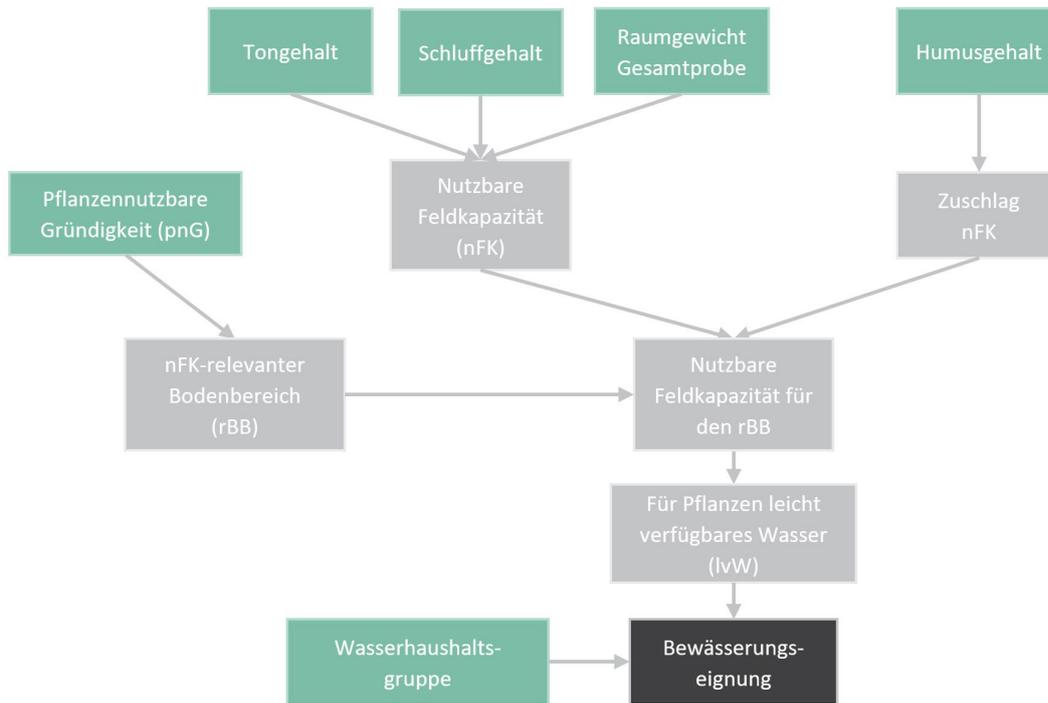


Abbildung 43: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der Bewässerungseignung nach Presler und Bagnoud (2013). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

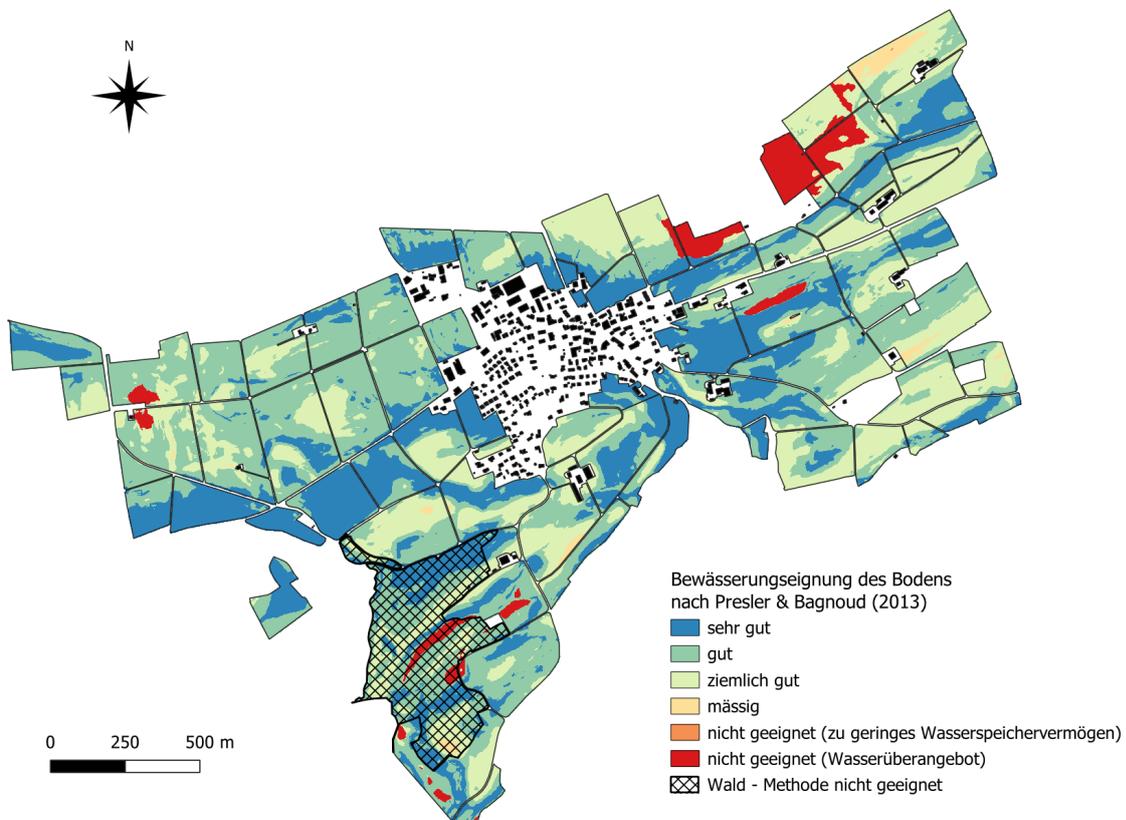


Abbildung 44: Anwendung der Methode zur Berechnung der Bewässerungseignung nach Presler und Bagnoud (2013) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die hier dokumentierte Methode basiert auf der Methode von Presler und Bagnoud (2013). In einigen Aspekten wurde die Methode leicht angepasst, im Folgenden ist die angepasste Methode dokumentiert. Am Ende der Methodenbeschreibung werden Abweichungen von der Originalmethode dargestellt.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Die verwendeten Bodendaten (Tongehalt TG (%), Schluffgehalt SG (%), Humusgehalt HG (%), Raumgewicht RG (g/cm³)) liegen in der Auflösung von 2x2 m für jeweils 3 Tiefenstufen (T1: 0-30 cm, T2: 30-60 cm, T3: 60-90 cm) vor (Grob et al. 2024). Zusätzlich liegen die pflanzennutzbare Gründigkeit pnG (cm) und die Wasserhaushaltsgruppe (-) als gesamtbodenbezogenen Daten in der Auflösung von 2x2 m vor.

1. Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) anhand der Bodenart

Im ersten Schritt wird die Bodenart gemäss der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden 2005) anhand des Ton- und Schluffgehalts bestimmt (Tabelle 88). Zusätzlich wird die Stufe des Raumgewichts anhand des Raumgewichts Gesamtprobe bestimmt (Tabelle 89). Mit diesen Informationen lässt sich die nutzbare Feldkapazität nFK (Vol.-%) gemäss KA5 bestimmen (Tabelle 88). Diese Schritte werden für alle drei Tiefenstufen (Schichten) durchgeführt (nFK_{S1}, nFK_{S2}, nFK_{S3}).

2. Bestimmung des nFK-Zuschlags

Die organische Bodensubstanz besitzt ein hohes Wasserspeichervermögen. Der nFK-Zuschlag wird gemäss der KA5 anhand der Bodenart und des Humusgehalts bestimmt (Tabelle 90). Die Einordnung des Humusgehalts in die *Stufe der organischen Substanz* wird anhand Tabelle 91 vorgenommen. Diese Schritte werden für alle drei Tiefenstufen durchgeführt (nFK-Zuschlag_{S1}, nFK-Zuschlag_{S2}, nFK-Zuschlag_{S3}).

3. Bestimmung des nFK-relevanten Bodenbereichs (rBB)

In diesem Schritt wird der für die nFK relevante Bodenbereich (rBB) bestimmt und auf die 3 Tiefenstufen verteilt. Hierzu wird zunächst der gesamte nFK-relevante Bodenbereich rBB anhand der pnG bestimmt (rBB=pnG).

Anschliessend wird der Anteil jeder Schicht an der rBB (rBB_{ASchicht1}, rBB_{ASchicht2}, rBB_{ASchicht3}) bestimmt. Dieser Anteil bestimmt, wie viel Prozent (angegeben als Dezimalzahl) an der rBB jede Schicht aufweist. Bei einer rBB=pnG von 75 cm würde sich entsprechend folgende Verteilung ergeben:

rBB_{ASchicht1}=1 (Die erste Schicht von 30 cm wird vollständig durch den rBB abgedeckt)

rBB_{ASchicht2}=1 (Die zweite Schicht von 30 cm wird vollständig durch den rBB abgedeckt)

rBB_{ASchicht3}=0.5 (Die dritte Schicht von 30 cm wird nur zur Hälfte durch den rBB abgedeckt)

Bei einem rBB von >90 cm nehmen wir an, dass die Bodeneigenschaften der dritten Schicht sich nach unten fortsetzen, rBB_{ASchicht3} kann daher Werte >1 annehmen. Bei einer rBB=pnG von 110 cm würde sich entsprechend folgende Verteilung ergeben:

rBB_{ASchicht1}=1 (Die erste Schicht von 30 cm wird vollständig durch den rBB abgedeckt)

rBB_{ASchicht2}=1 (Die zweite Schicht von 30 cm wird vollständig durch den rBB abgedeckt)

rBB_{ASchicht3}=1.666 (Die dritte Schicht von 30 cm wird vollständig durch den rBB abgedeckt, die zusätzlichen 20 cm (110-90 cm) werden ebenfalls der dritten Schicht zugeordnet)

4. Bestimmung der nFK für den rBB

Zur Bestimmung der nFK für den gesamten relevanten Bodenbereich wird zunächst die nFK (Vol.-%) für jede Schicht (nFK_{GS1} , nFK_{GS2} , nFK_{GS3}) aus der bodenartbedingte nFK (Schritt 1) und dem nFK-Zuschlag (Schritt 2) bestimmt.

$$nFK_{GS1} = nFK_{S1} + nFK\text{-Zuschlag}_{S1}$$

$$nFK_{GS2} = nFK_{S2} + nFK\text{-Zuschlag}_{S2}$$

$$nFK_{GS3} = nFK_{S3} + nFK\text{-Zuschlag}_{S3}$$

Anhand der Schichtmächtigkeit $T_S=300$ mm wird die nFK (mm) für jede Schicht berechnet:

$$nFK_{\text{Schicht1}} = (nFK_{GS1} / 100) * T_S * rBB_{\text{ASchicht1}}$$

$$nFK_{\text{Schicht2}} = (nFK_{GS2} / 100) * T_S * rBB_{\text{ASchicht2}}$$

$$nFK_{\text{Schicht3}} = (nFK_{GS3} / 100) * T_S * rBB_{\text{ASchicht3}}$$

Die nFK für den gesamten relevanten Bodenbereich nFK_{rBB} (mm) wird anschliessend durch Addition der nFK für alle Schichten berechnet.

$$nFK_{rBB} = nFK_{\text{Schicht1}} + nFK_{\text{Schicht2}} + nFK_{\text{Schicht3}}$$

5. Bestimmung des leicht verfügbaren Bodenwassers

In dieser Methode wird angenommen, dass nur die Hälfte der nFK für Pflanzen *leicht* verfügbar ist, die Menge an leicht verfügbarem Wasser (lvW) wird dementsprechend berechnet:

$$lvW = nFK_{rBB} / 2$$

6. Bestimmung der Bewässerungseignung

Mit den berechneten Informationen wird die Bewässerungseignung anhand der Regeln in Abbildung 45 hergeleitet.

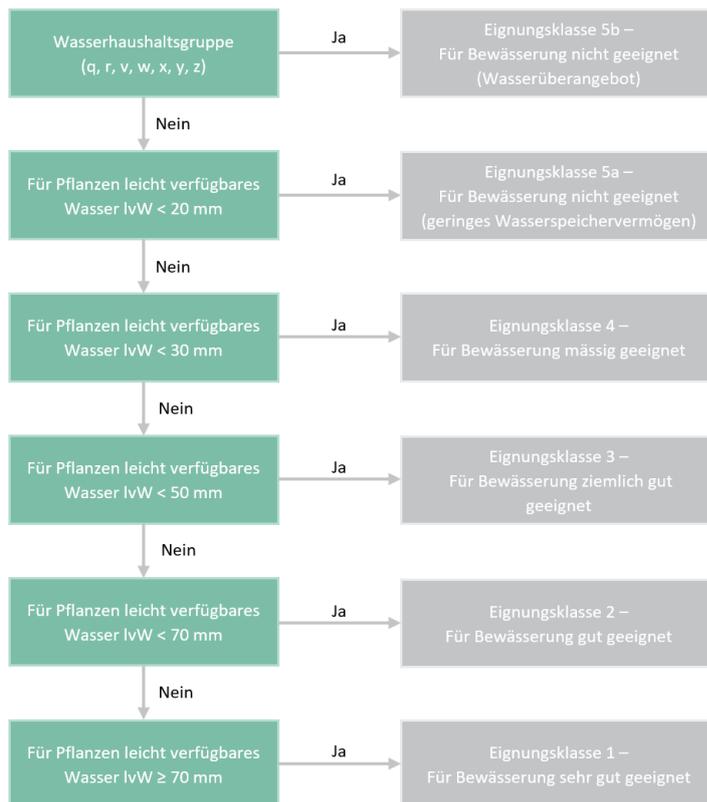


Abbildung 45: Herleitung der Bewässerungseignungsklasse anhand der Wasserhaushaltsgruppe und des für Pflanzen leicht verfügbaren Wassers (lvW).

Tabelle 88: Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität nFK (Vol.-%) anhand der Stufe des Raumgewichts (siehe Tabelle 89) und der Bodenart (entspricht Tabelle 70 in der KA5). Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen. Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «≤100 %» definiert.

Bodenart	Tongehalt (%)	Schluffgehalt	nFK ($\rho t1$)	nFK ($\rho t2$)	nFK ($\rho t3$)	nFK
Ss	0-5	0-10	9	9	7	7
Sl2	5-8	10-25	20	20	18	17
Sl3	8-12	10-40	22	22	18	17
Sl4	12-17	10-40	22	22	18	15
Slu	8-17	40-50	23	23	21	19
St2	5-17	0-10	18	18	16	13
St3	17-25	0-15	18	18	15	12
Su2	0-5	10-25	20	20	18	17
Su3	0-8	25-40	25	25	21	20
Su4	0-8	40-50	27	27	23	21
Ls2	17-25	40-50	21	21	16	14
Ls3	17-25	30-40	21	21	16	14
Ls4	17-25	15-30	20	20	16	13
Lt2	25-35	30-50	18	18	14	11
Lt3	35-45	30-50	20	14	12	10
Lts	25-45	15-30	21	17	14	11
Lu	17-30	50-65	21	21	17	15
Uu	0-8	80-100	30	30	26	23
Uls	8-17	50-65	24	24	22	21
Us	0-8	50-80	28	28	25	22
Ut2	8-12	65-92	28	28	26	23
Ut3	12-17	65-88	26	26	25	23
Ut4	17-25	65-83	23	23	21	19
Tt	65-100	0-35	20	15	13	12
Tl	45-65	15-30	19	14	13	11
Tu2	45-65	30-55	20	15	12	10
Tu3	30-45	50-65	22	16	13	10
Tu4	25-35	65-75	19	19	17	16
Ts2	45-65	0-15	18	15	13	12
Ts3	35-45	0-15	17	16	13	11
Ts4	25-35	0-15	17	17	14	11

Tabelle 89: Bestimmung der Stufe des Raumgewichts anhand des Raumgewichts Gesamtprobe (entspricht Tabelle 68 in der KA5; Raumgewicht Gesamtprobe = Trockenrohdichte).

Stufe des Raumgewichts	Symbol	Raumgewicht Gesamtprobe (g/cm ³)
sehr gering	$\rho t1$	<1.2
gering	$\rho t2$	1.2 bis <1.4
mittel	$\rho t3$	1.4 bis <1.6
hoch	$\rho t4$	1.6 bis <1.8
sehr hoch	$\rho t5$	≥1.8

Tabelle 90: Bestimmung des nFK-Zuschlags (Vol.-%) anhand der Stufe der organischen Substanz (siehe Tabelle 91) und der Bodenart (entspricht Tabelle 72 in der KA5). Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen. Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «=100 %» definiert.

Bodenart (KA5)	Tongehalt (%)	Schluffgehalt (%)	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag
Ss	0-5	0-10	1	3	4	5
Sl2	5-8	10-25	2	3	4	6
Sl3	8-12	10-40	1	3	4	6
Sl4	12-17	10-40	2	4	5	6
Slu	8-17	40-50	1	2	4	6
St2	5-17	0-10	3	4	5	7
St3	17-25	0-15	2	4	6	9
Su2	0-5	10-25	2	3	4	6
Su3	0-8	25-40	1	3	3	4
Su4	0-8	40-50	1	2	3	4
Ls2	17-25	40-50	1	3	5	8
Ls3	17-25	30-40	1	3	5	8
Ls4	17-25	15-30	2	4	6	8
Lt2	25-35	30-50	3	5	8	10
Lt3	35-45	30-50	2	4	8	11
Lts	25-45	15-30	3	5	7	9
Lu	17-30	50-65	3	5	7	8
Uu	0-8	80-100	1	2	3	4
Uls	8-17	50-65	3	4	4	7
Us	0-8	50-80	1	2	3	4
Ut2	8-12	65-92	1	1	2	4
Ut3	12-17	65-88	1	1	2	4
Ut4	17-25	65-83	2	3	4	6
Tt	65-100	0-35	2	4	5	7
Tl	45-65	15-30	2	4	6	8
Tu2	45-65	30-55	1	3	5	8
Tu3	30-45	50-65	2	4	7	9
Tu4	25-35	65-75	3	5	6	8
Ts2	45-65	0-15	2	4	6	8
Ts3	35-45	0-15	2	5	7	9
Ts4	25-35	0-15	2	4	7	9

Tabelle 91: Bestimmung der Stufe der organischen Substanz anhand des Humusgehalts (entspricht Tabelle 15 in der KA5). Böden mit einem Humusgehalt ≥ 15 % werden gemäss KA5 den Stufen h6 bzw. h7 zugeordnet. Diese Fälle sind in Tabelle 90 nicht explizit aufgeführt, weshalb sie im vorliegenden Fall der Stufe h5 mit den maximalen Zuschlägen zugeordnet werden. Böden mit einem Humusgehalt < 1 % werden gemäss KA5 der Stufe h1 zugeordnet und erhalten gemäss Tabelle 90 keinen nFK-Zuschlag.

Stufe der organischen Substanz (Symbol)	Humusgehalt (%)
h1	<1
h2	1 bis <2
h3	2 bis <4
h4	4 bis <8
h5	≥ 8

Unterschiede zur Originalmethode

- In der Originalmethode werden Ober- und Unterbodendaten (Oberboden: 0-25 cm) verwendet. Hier werden drei Bodenschichten (0-30, 30-60, 60-90 cm) berücksichtigt.
- In der Originalmethode wird für alle Böden ein Raumgewicht (Trockenrohichte) von 1.2-1.4 g/cm³ angenommen und die entsprechende Stufe des Raumgewichts (Tabelle 89) bei der Berechnung der nFK verwendet. Hier lag das Raumgewicht mit einer Auflösung von 2x2 m für alle 3 Tiefenstufen vor und wurde dementsprechend verwendet.

Literatur

- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, KA5. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschleger F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- Presler J, Bagnoud N, 2013. Generelles Projekt der 3. Rhonekorrektion. Grundlagenstudie Bodenkunde. Technischer Bericht.

1.23 Potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit nach Müller et al. (2012)

Produktname	Potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit nach Müller et al. (2012)
Quelle	Müller U, Engel N, Heidt L, Schäfer W, Kunkel R, Wendland F, Roehm H, Elbracht J, 2012. Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). GeoBerichte 20.
Beschrieb	Diese Methode bewertet die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit von Böden anhand der Bodeneigenschaften und dem Klima für verschiedene Ackerkulturen. Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die im Durchschnitt unter den gegebenen Klimabedingungen benötigt wird, um eine optimale Wasserversorgung für die Ackerkulturen sicherzustellen. Die Berechnung berücksichtigt die klimatische Wasserbilanz, den Einfluss des Bodens auf das pflanzenverfügbare Wasser und die Durchwurzelungstiefe der Ackerkulturen, sowie den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezogenen Bodendaten (Tiefenstufen 0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> _ Tongehalt (%) _ Schluffgehalt (%) _ Humusgehalt (%) _ Raumgewicht Gesamtprobe (g cm^{-3}) Gesamtbodenbezogenen Bodendaten <ul style="list-style-type: none"> _ Vernässungsgrenze (cm)
Weitere Eingangsgrossen	Klima <ul style="list-style-type: none"> _ Durchschnittliche potenzielle Evapotranspiration in der Vegetationsperiode (mm) der betrachteten Klimaperiode (hier 1989-2018) _ Durchschnittliche Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode (mm) der betrachteten Klimaperiode (hier 1989-2018) Ackerkultur <ul style="list-style-type: none"> _ Die Bewässerungsbedürftigkeit kann für folgende Ackerkulturen berechnet werden: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel (Reifegruppen I-IV), Grünland. Die Ackerkultur wird vom Anwendenden vor jeder Anwendung der Methode definiert.
Ergebnis	Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit B_{Pot} (mm) wird als Gesamtmenge für die Vegetationsperiode berechnet und anschliessend in die folgenden Klassen eingeteilt: Bewässerungsklasse 1 (B_{Pot} : 0-20 mm) - keine Bewässerungsbedürftigkeit Bewässerungsklasse 2 (B_{Pot} : 20-60 mm) - geringe Bewässerungsbedürftigkeit Bewässerungsklasse 3 (B_{Pot} : 60-100 mm) - mittlere Bewässerungsbedürftigkeit Bewässerungsklasse 4 (B_{Pot} : 100-140mm) - hohe Bewässerungsbedürftigkeit Bewässerungsklasse 5 (B_{Pot} : 140 mm) - sehr hohe Bewässerungsbedürftigkeit

Anwendungs- bereich	Die Methode eignet sich zur Bewertung landwirtschaftlich genutzter Böden, auf denen eine der folgenden Ackerkulturen angebaut wird: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel, Grünland.
------------------------	--

Grafischer Überblick

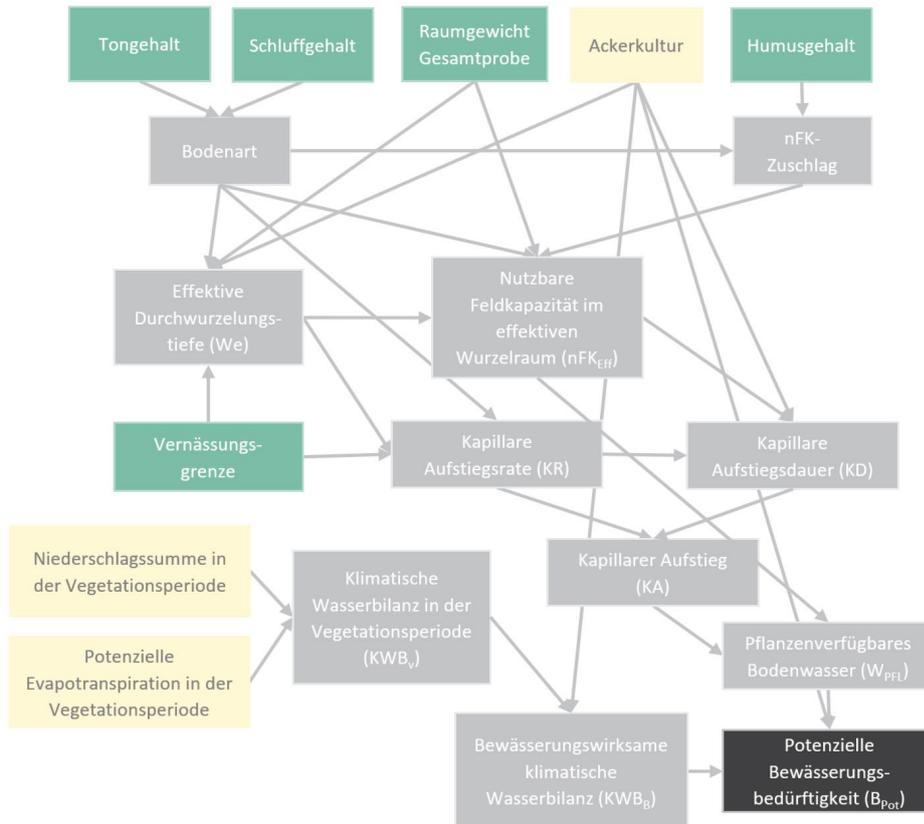


Abbildung 46: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit nach Müller et al. (2012). Grün: Eingangsgrößen Boden, gelb: weitere Eingangsgrößen, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

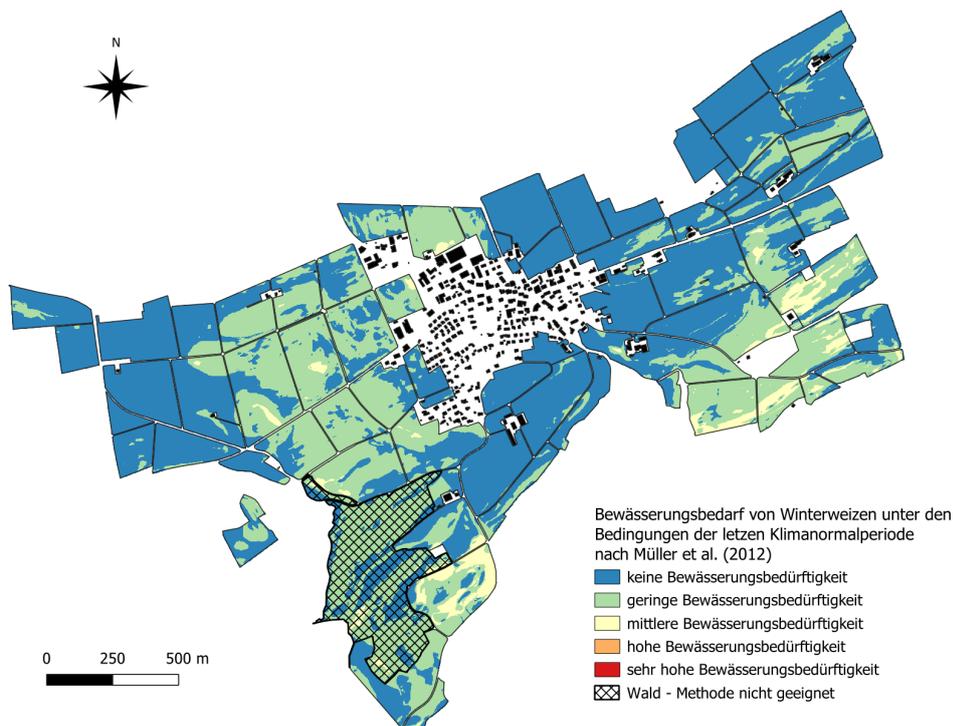


Abbildung 47: Anwendung der Methode zur Berechnung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit nach Müller et al. (2012) auf das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die hier dokumentierte Methode basiert auf der Methode von Müller et al. (2012). Diese Methode wurde in Deutschland entwickelt und ermöglicht unterschiedliche Berechnungsvarianten je nach Art der vorliegenden Bodendaten. Für die hier dokumentierte Methode wurde die Berechnungsvarianten verwendet, die schichtbezogene Eingangsdaten und verschiedene Tabellen gemäss der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 berücksichtigt (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden 2005b). Das Modell ist für folgende Ackerkulturen geeignet: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel (Reifegruppe I: sehr frühe Reifegruppe, Reifegruppe II: frühe Reifegruppe, Reifegruppe III: mittelfrühe Reifegruppe, Reifegruppe IV: mittelspäte bis sehr späte Reifegruppe), Grünland. In einigen Aspekten wurde die Methode angepasst, im Folgenden ist die angepasste Methode dokumentiert. Am Ende der Methodenbeschreibung werden Abweichungen von der Originalmethode dargestellt.

Details zu den verwendeten Eingangsgrössen

Boden: Die verwendeten Bodendaten (Tongehalt TG (%), Schluffgehalt SG (%), Humusgehalt HG (%), Raumgewicht RG (g cm^{-3}) liegen in der Auflösung von 2x2 m für jeweils 3 Tiefenstufen (T1: 0-30 cm, T2: 30-60 cm, T3: 60-90 cm) vor (Grob et al. 2024). Zusätzlich liegt die Vernässungsgrenze (cm) in der Auflösung von 2x2 m vor.

Klima: Zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode wurden die monatlichen Werte der potenziellen Evapotranspiration PET (mm, nach Penman-Monteith) und die monatlichen Niederschlagssummen PR (mm) für die Periode 1989-2018 aus der CHELSA-Datenbank Version 2.1 (Karger et al. 2017b; Karger et al. 2021b) verwendet (<https://chelsa-climate.org/downloads/>). Die Daten liegen im Originalraster in der Auflösung von 1x1 km vor.

Ackerkultur: Das Modell ist für folgende Ackerkulturen geeignet: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel, Grünland. Falls die Kartoffel als Ackerkultur gewählt wird, ist zwingend die Reifegruppe der verwendeten Sorte anzugeben (Reifegruppe I: sehr frühe Reifegruppe, Reifegruppe II: frühe Reifegruppe, Reifegruppe III: mittelfrühe Reifegruppe, Reifegruppe IV: mittelspäte bis sehr späte Reifegruppe). Die Ackerkultur wird vom Anwendenden vor jeder Anwendung definiert und geht als Parameter in die Methode eine.

1. Berechnung der effektiven Durchwurzelungstiefe

Zur Berechnung der effektiven Durchwurzelungstiefe W_e (dm) wird im ersten Schritt die Bodenart gemäss der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden 2005b) anhand von Tongehalt TG und Schluffgehalt SG bestimmt (Tabelle 92).

Anschliessend wird die effektive Lagerungsdichte L_d (g cm^{-3}) aus dem Raumgewicht Gesamtprobe RG (entspricht der Trockenrohddichte ρ_t in de KA5) und dem Tongehalt TG mit folgender Formel gemäss KA5 ermittelt:

$$L_d = RG + 0.009 * TG$$

Anhand der L_d werden anschliessend zwei Klassen gebildet:

- _ Effektive Lagerungsdichte gering bis mittel: $L_d < 1.8 \text{ g cm}^{-3}$
- _ Effektive Lagerungsdichte hoch: $L_d \geq 1.8 \text{ g cm}^{-3}$

Mit diesen Informationen wird für jede der drei Bodenschichten (T1-T3) die effektive Durchwurzelungstiefe W_e gemäss Tabelle 93 für die entsprechende Ackerkultur berechnet.

Tabelle 92: Bestimmung der Bodenart anhand des Ton- und Schluffgehalts (entspricht Tabelle 30 der KA5). Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen. Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «≤100 %» definiert.

Bodenart (KA5)	Bodenart - Symbol (KA5)	Tongehalt (%)	Schluffgehalt (%)
reiner Sand	Ss	0-5	0-10
schwach schluffiger Sand	Su2	0-5	10-25
mittel schluffiger Sand	Su3	0-8	25-40
stark schluffiger Sand	Su4	0-8	40-50
schwach lehmiger Sand	Sl2	5-8	10-25
mittel lehmiger Sand	Sl3	8-12	10-40
schwach toniger Sand	St2	5-17	0-10
schluffig-lehmiger Sand	Slu	8-17	40-50
stark lehmiger Sand	Sl4	12-17	10-40
mittel toniger Sand	St3	17-25	0-15
schwach sandiger Lehm	Ls2	17-25	40-50
mittel sandiger Lehm	Ls3	17-25	30-40
stark sandiger Lehm	Ls4	17-25	15-30
stark sandiger Lehm	Ts4	25-35	0-15
reiner Schluff	Uu	0-8	80-100
sandiger Schluff	Us	0-8	50-80
sandig-lehmiger Schluff	Uls	8-17	50-65
schwach toniger Schluff	Ut2	8-12	65-92
mittel toniger Schluff	Ut3	12-17	65-88
stark toniger Schluff	Ut4	17-25	65-83
schluffiger Lehm	Lu	17-30	50-65
schwach toniger Lehm	Lt2	25-35	30-50
mittel toniger Lehm	Lt3	35-45	30-50
sandig-toniger Lehm	Lts	25-45	15-30
mittel sandiger Lehm	Ts3	35-45	0-15
schwach sandiger Ton	Ts2	45-65	0-15
lehmiger Ton	Tl	45-65	15-30
schwach schluffiger Ton	Tu2	45-65	30-55
mittel schluffiger Ton	Tu3	30-45	50-65
stark schluffiger Ton	Tu4	25-35	65-75
reiner Ton	Tt	65-100	0-35

In der Realität sind Böden oft nicht gleichmässig geschichtet, sie können unterschiedliche Bodenarten oder effektive Lagerungsdichten in verschiedenen Schichten aufweisen, woraus sich unterschiedliche Durchwurzelungstiefen We ergeben könnten. In der Methoden-Wiki der AGBoden (https://www.methodenwiki-bodenkunde.de/MethodenWiki/AGBoden:Verkn%C3%BCpfungsregel_1.1) ist dokumentiert, wie die Durchwurzelungstiefe in diesen Fällen berechnet werden kann (Sg = Schichtgrenze):

Fall a => Bei Schichten mit geringer We (a) über Schichten höherer We (b) gilt:

$$Sg \leq We(a) \rightarrow We = We(b)$$

$$Sg \geq We(a) \rightarrow We = We(a)$$

Fall b => Bei Schichten mit geringer We (a) unter Schichten höherer We (b) gilt:

$$Sg \leq We(a) \rightarrow We = We(a)$$

$$We(a) < Sg < We(b) \rightarrow We = Sg + 1$$

$$Sg \geq We(b) \rightarrow We = We(b)$$

Bei den hier verwendeten Bodendaten kann es potenziell 3 Schichten (T1-T3, jeweils 3 dm mächtig) mit unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen geben, wobei die Schichtgrenzen bei 3 bzw. 6 dm liegen. Die oben dargestellten Regeln werden iterativ auf beide Schichtgrenzen angewendet, d.h. es wird zuerst die effektive Durchwurzelungstiefe bei $S_g = 3$ dm bestimmt, und anschliessend werden unter Berücksichtigung dieser effektive Durchwurzelungstiefe die Regeln für $S_g = 6$ dm angewendet.

Tabelle 93: Bestimmung der effektiven Durchwurzelungstiefe W_e (dm) anhand der Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte L_d für verschiedene Ackerkulturen (verändert nach Müller et al. 2012).

Bodenart - Symbol (KA5)	effektive Lagerungsdichte $L_d < 1.8$				effektive Lagerungsdichte $L_d \geq 1.8$			
	Zuckerrübe	Weizen, Gerste, Mais	Kartoffel	Grünland	Zuckerrübe	Weizen, Gerste, Mais	Kartoffel	Grünland
Ss	6	5.5	4	5	5	5	3.5	4.5
Sl2	7	6.5	4	6	6	5.5	3.5	5
Sl3	8.5	8	4	7	7	6	3.5	5
Sl4	9	8.5	4	8	8.5	7	3.5	8
Slu	9	8.5	4	8	8.5	7	3.5	8
St2	8.5	8	4	7	7	6	3.5	5
St3	9	8.5	4	8	8.5	7	3.5	8
Su2	7	6.5	4	6	6	5.5	3.5	5
Su3	7	6.5	4	6	6	5.5	3.5	5
Su4	7	6.5	4	6	6	5.5	3.5	5
Ls2	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Ls3	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Ls4	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Lt2	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Lt3	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Lts	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Lu	11	10.5	4	10	9.5	9	3.5	8
Uu	10	9	4	8	8	7	3.5	6
Uls	11	10.5	4	10	9.5	9	3.5	8
Us	10	9	4	8	8	7	3.5	6
Ut2	11	10.5	4	10	9.5	9	3.5	8
Ut3	11	10.5	4	10	9.5	9	3.5	8
Ut4	11	10.5	4	10	9.5	9	3.5	8
Tt	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Tl	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Tu2	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Tu3	11	10	4	10	10	9	3.5	8
Tu4	11	10	4	10	10	9	3.5	8
Ts2	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Ts3	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8
Ts4	10	9.5	4	9	9	8	3.5	8

Die folgenden Beispiele für Winterweizen als Ackerkultur verdeutlichen die Anwendung der obigen Regeln.

Beispiel 1

Schicht 1 (0-30 cm): Bodenart Ls3, $L_d = 1.5 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

Schicht 2 (30-60 cm): Bodenart Tt, $L_d = 1.6 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

Schicht 3 (60-90 cm): Bodenart Lt3, $L_d = 1.4 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

In diesem Beispiel unterscheiden sich zwar die Bodenarten und Lagerungsdichten für alle Schichten, die Durchwurzelungstiefen sind gemäss Tabelle 93 aber identisch. In diesem Fall liegt die resultierende effektive Durchwurzelungstiefe bei $We = 9.5 \text{ dm}$.

Beispiel 2

Schicht 1 (0-30 cm): Bodenart Ls3, $L_d = 1.5 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

Schicht 2 (30-60 cm): Bodenart Sl4, $L_d = 1.6 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 8.5 \text{ dm}$

Schicht 3 (60-90 cm): Bodenart St3, $L_d = 1.4 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 8.5 \text{ dm}$

In diesem Beispiel unterscheiden sich die Bodenarten und Lagerungsdichten, und ebenfalls die Durchwurzelungstiefen We . Hier existiert eine Schichtgrenze bei $S_g = 3 \text{ dm}$ an der sich We unterscheidet. Es liegen Schichten mit geringer We (a) unter Schichten mit höherer We (b), deshalb kommt der Fall b der obigen Regel zur Anwendung. Da die Schichtgrenze S_g kleiner als We (a) ist, ergibt sich eine Durchwurzelungstiefe von $We = 8.5 \text{ dm}$. Diese We wiederum unterscheidet sich nicht von der We der dritten Schicht, daher ist auch die finale effektive $We = 8.5 \text{ dm}$.

Beispiel 3

Schicht 1 (0-30 cm): Bodenart Sl4, $L_d = 1.3 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 8.5 \text{ dm}$

Schicht 2 (30-60 cm): Bodenart Sl4, $L_d = 1.6 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 8.5 \text{ dm}$

Schicht 3 (60-90 cm): Bodenart Lts, $L_d = 1.5 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

In diesem Beispiel unterscheiden sich die Bodenarten und Lagerungsdichten, und ebenfalls die Durchwurzelungstiefen bei der Schichtgrenze $S_g = 6 \text{ dm}$. Hier liegen Schichten mit geringer We (a) über Schichten mit höherer We (b), deshalb kommt der Fall a der obigen Regel zur Anwendung. Da die Schichtgrenze $S_g < We$ (a), ergibt sich eine effektive Durchwurzelungstiefe von $We = 9.5 \text{ dm}$.

Beispiel 4

Schicht 1 (0-30 cm): Bodenart Sl4, $L_d = 1.3 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 8.5 \text{ dm}$

Schicht 2 (30-60 cm): Bodenart Lts, $L_d = 1.5 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9.5 \text{ dm}$

Schicht 3 (60-90 cm): Bodenart Uu, $L_d = 1.5 \text{ g cm}^{-3} \rightarrow We = 9 \text{ dm}$

In diesem Beispiel unterscheiden sich die Bodenarten und Lagerungsdichten, und ebenfalls die Durchwurzelungstiefen für alle Schichten. Beim ersten Schichtwechsel bei $S_g = 3 \text{ dm}$ kommt Fall a der obigen Regel zur Anwendung, und es ergibt sich eine effektive Durchwurzelungstiefe $We = 9.5 \text{ dm}$. Beim zweiten Schichtwechsel bei $S_g = 6 \text{ dm}$ wird nun diese Durchwurzelungstiefe mit der Durchwurzelungstiefe der dritten Schicht ($We = 9 \text{ dm}$) verglichen. Hier kommt Fall b der obigen Regel zur Anwendung, und es ergibt sich somit ein effektive Durchwurzelungstiefe von $We = 9 \text{ dm}$ für diesen Boden.

Zusätzlich zur Begrenzung der Durchwurzelungstiefe durch die Bodenart wird eine Begrenzung durch das Grundwasser herangezogen. Es wird angenommen, dass die Pflanzen maximal bis zur Grundwasseroberfläche wurzeln. Wenn die Grundwasseroberfläche oberhalb der effektiven Durchwurzelungstiefe We liegt, wird We entsprechend angepasst. Zur Approximation der

Grundwasseroberfläche wird die Vernässungsgrenze verwendet, die anhand der Obergrenze der r-Horizonte (Horizonte mit Merkmalen, die auf eine dauerhafte Vernässung hindeuten) bestimmt wird.

2. Berechnung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

In diesem Schritt wird die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum nFK_{Eff} (mm), d.h. bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe W_e , berechnet.

Dazu wird zunächst für jede Schicht (T1-T3) die nutzbare Feldkapazität nFK (Vol.-%) anhand von Bodenart und Raumgewicht Gesamtprobe RG gemäss Tabelle 94 bestimmt, wobei RG anhand der Tabelle 95 in fünf Stufen eingeteilt wird. Für die organische Substanz wird ein Zuschlag bei der nFK berechnet. Die Herleitung erfolgt analog gemäss der Tabelle 96 und Tabelle 97.

Die nFK für jede Schicht (nFK_{S1} , nFK_{S2} , nFK_{S3}) wird anschliessend wie folgt bestimmt:

$$nFK_{S(1-3)} = nFK + nFK\text{-Zuschlag}$$

Die $nFK_{S(1-3)}$ hat die Einheit Vol.-%. Zur Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK_{Eff} , mm) wird anschliessend der Bezug zur Tiefe der Schichten berücksichtigt, d.h. es wird der Anteil $A_{nFKS(1-3)}$ der $nFK_{S(1-3)}$ für jede Schicht bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe W_e berechnet. Die folgenden Beispiele verdeutlichen dies.

Beispiel 1

In diesem Beispiel beträgt die effektive Durchwurzelungstiefe $W_e = 7.5$ dm. Es ergeben sich folgende Anteile der einzelnen Schichten.

$A_{nFKS1} = 1$ (Die erste Schicht von 30 cm liegt vollständig innerhalb der W_e)

$A_{nFKS2} = 1$ (Die zweite Schicht von 30 cm liegt vollständig innerhalb der W_e)

$A_{nFKS3} = 0.5$ (Die dritte Schicht von 30 cm liegt nur bis zur Hälfte innerhalb der W_e)

Beispiel 2

In diesem Beispiel beträgt die effektive Durchwurzelungstiefe $W_e = 11$ dm. Die Durchwurzelungstiefe liegt unterhalb der dritten Schicht (90 cm), es wird daher die Annahme getroffen, dass die Bodeneigenschaften der dritten Schicht sich nach unten fortsetzen. In diesem Fall kann der Anteil der dritten Schicht Werte >1 annehmen. Es ergeben sich folgende Anteile der einzelnen Schichten.

$A_{nFKS1} = 1$ (Die erste Schicht von 30 cm liegt vollständig innerhalb der W_e)

$A_{nFKS2} = 1$ (Die zweite Schicht von 30 cm liegt vollständig innerhalb der W_e)

$A_{nFKS3} = 1.666$ (Die dritte Schicht von 30 cm liegt vollständig innerhalb der W_e , die zusätzlichen 20 cm (90-110 cm) werden ebenfalls der dritten Schicht zugeordnet)

Anhand dieser einzelnen Schichtanteile kann die nFK für jede Schicht ($nFK_{\text{Schicht}(1-3)}$) in mm berechnet werden (Schichtmächtigkeit $T_S = 300$ mm).

$$nFK_{\text{Schicht}(1-3)} = (nFK_{S(1-3)} / 100) * T_S * A_{nFKS(1-3)}$$

Die nFK im effektiven Wurzelraum (nFK_{Eff}) wird anschliessend durch Addition der nFK für alle Schichten berechnet.

$$nFK_{\text{Eff}} = nFK_{\text{Schicht1}} + nFK_{\text{Schicht2}} + nFK_{\text{Schicht3}}$$

Tabelle 94: Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität nFK (Vol.-%) anhand der Stufe des Raumgewichts (siehe Tabelle 95) und der Bodenart (entspricht Tabelle 70 in der KA5). Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen. Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «≤100 %» definiert.

Bodenart (KA5)	Tongehalt (%)	Schluffgehalt (%)	nFK			
			($\rho t1$)	($\rho t2$)	($\rho t3$)	($\rho t4+5$)
Ss	0-5	0-10	9	9	7	7
Sl2	5-8	10-25	20	20	18	17
Sl3	8-12	10-40	22	22	18	17
Sl4	12-17	10-40	22	22	18	15
Slu	8-17	40-50	23	23	21	19
St2	5-17	0-10	18	18	16	13
St3	17-25	0-15	18	18	15	12
Su2	0-5	10-25	20	20	18	17
Su3	0-8	25-40	25	25	21	20
Su4	0-8	40-50	27	27	23	21
Ls2	17-25	40-50	21	21	16	14
Ls3	17-25	30-40	21	21	16	14
Ls4	17-25	15-30	20	20	16	13
Lt2	25-35	30-50	18	18	14	11
Lt3	35-45	30-50	20	14	12	10
Lts	25-45	15-30	21	17	14	11
Lu	17-30	50-65	21	21	17	15
Uu	0-8	80-100	30	30	26	23
Uls	8-17	50-65	24	24	22	21
Us	0-8	50-80	28	28	25	22
Ut2	8-12	65-92	28	28	26	23
Ut3	12-17	65-88	26	26	25	23
Ut4	17-25	65-83	23	23	21	19
Tt	65-100	0-35	20	15	13	12
Tl	45-65	15-30	19	14	13	11
Tu2	45-65	30-55	20	15	12	10
Tu3	30-45	50-65	22	16	13	10
Tu4	25-35	65-75	19	19	17	16
Ts2	45-65	0-15	18	15	13	12
Ts3	35-45	0-15	17	16	13	11
Ts4	25-35	0-15	17	17	14	11

Tabelle 95: Bestimmung der Stufe des Raumgewichts anhand des Raumgewichts Gesamtprobe (entspricht Tabelle 68 in der KA5; Raumgewicht Gesamtprobe = Trockenrohdichte).

Stufe des Raumgewichts	Symbol	Raumgewicht RG (g/cm ³)
sehr gering	$\rho t1$	<1.2
gering	$\rho t2$	1.2 bis <1.4
mittel	$\rho t3$	1.4 bis <1.6
hoch	$\rho t4$	1.6 bis <1.8
sehr hoch	$\rho t5$	≥1.8

Tabelle 96: Bestimmung des nFK-Zuschlags (Vol.-%) anhand der Stufe der organischen Substanz (siehe Tabelle 97) und der Bodenart (entspricht Tabelle 72 in der KA5). Hierbei ist ein Ton- und Schluffgehalt von beispielsweise 0-5 % als «0 % bis <5 %» zu lesen. Ausnahme: bei oberen Werten von 100 %, diese werden als «=100 %» definiert.

Bodenart (KA5)	Tongehalt (%)	Schluffgehalt (%)	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag	nFK-Zuschlag
Ss	0-5	0-10	1	3	4	5
Sl2	5-8	10-25	2	3	4	6
Sl3	8-12	10-40	1	3	4	6
Sl4	12-17	10-40	2	4	5	6
Slu	8-17	40-50	1	2	4	6
St2	5-17	0-10	3	4	5	7
St3	17-25	0-15	2	4	6	9
Su2	0-5	10-25	2	3	4	6
Su3	0-8	25-40	1	3	3	4
Su4	0-8	40-50	1	2	3	4
Ls2	17-25	40-50	1	3	5	8
Ls3	17-25	30-40	1	3	5	8
Ls4	17-25	15-30	2	4	6	8
Lt2	25-35	30-50	3	5	8	10
Lt3	35-45	30-50	2	4	8	11
Lts	25-45	15-30	3	5	7	9
Lu	17-30	50-65	3	5	7	8
Uu	0-8	80-100	1	2	3	4
Uls	8-17	50-65	3	4	4	7
Us	0-8	50-80	1	2	3	4
Ut2	8-12	65-92	1	1	2	4
Ut3	12-17	65-88	1	1	2	4
Ut4	17-25	65-83	2	3	4	6
Tt	65-100	0-35	2	4	5	7
Tl	45-65	15-30	2	4	6	8
Tu2	45-65	30-55	1	3	5	8
Tu3	30-45	50-65	2	4	7	9
Tu4	25-35	65-75	3	5	6	8
Ts2	45-65	0-15	2	4	6	8
Ts3	35-45	0-15	2	5	7	9
Ts4	25-35	0-15	2	4	7	9

Tabelle 97: Bestimmung der Stufe der organischen Substanz anhand des Humusgehalts (entspricht Tabelle 15 in der KA5). Böden mit einem Humusgehalt ≥ 15 % werden gemäss KA5 den Stufen h6 bzw. h7 zugeordnet. Diese Fälle sind in Tabelle 96 nicht explizit aufgeführt, weshalb sie im vorliegenden Fall der Stufe h5 mit den maximalen Zuschlägen zugeordnet werden. Böden mit einem Humusgehalt < 1 % werden gemäss KA5 der Stufe h1 zugeordnet und erhalten gemäss Tabelle 96 keinen nFK-Zuschlag.

Stufe der organischen Substanz (Symbol)	Humusgehalt (%)
h1	< 1
h2	1 bis < 2
h3	2 bis < 4
h4	4 bis < 8
h5	≥ 8

3. Herleitung des kapillaren Aufstiegs

Der kapillare Aufstieg berechnet sich aus der kapillaren Aufstiegsrate und der kapillaren Aufstiegsdauer. Die kapillare Aufstiegsrate KR (mm d⁻¹) wird anhand des Abstands der Untergrenze des effektiven Wurzelraums We und der Grundwasseroberfläche (hier durch die Vernässungsgrenze approximiert) in Abhängigkeit von der Bodenart berechnet. Die Bodenart kann allerdings über die Tiefenstufen variieren, daher wird die dominante Bodenart, d.h. die Bodenart mit dem grössten Anteil an der Bodenschicht zwischen der effektiven Durchwurzelungstiefe We und der Grundwasseroberfläche, bestimmt. Hier wird wiederum die Annahme getroffen, dass die Bodenart der dritten Schicht (60-90 cm) sich nach unten fortsetzt. In dem Fall, dass verschiedene Bodenarten den gleichen Anteil haben, wird die Bodenart der grundwassernächsten Schicht als dominante Bodenart festgelegt. Anhand der dominanten Bodenart wird KR auf Basis von Tabelle 98 bestimmt.

Die kapillare Aufstiegsdauer KD (d) wird in Abhängigkeit von der kapillaren Aufstiegsrate KR, der Ackerkultur und der nFK_{Eff} anhand von Tabelle 99 hergeleitet.

Der kapillare Aufstieg KA (mm) ergibt sich durch Multiplikation von KD und KR.

$$KA = KD * KR$$

Tabelle 98: Bestimmung der kapillaren Aufstiegsrate KR (mm d⁻¹) anhand der dominanten Bodenart und des Abstands (in dm) zwischen Grundwasseroberfläche und der Untergrenze des effektiven Wurzelraums (leicht modifiziert nach Tab. 2.26 aus Müller et al. 2012). Hierbei ist ein Abstand von beispielsweise ≤5 dm als «>4 dm bis ≤5 dm» zu lesen.

Bodenart (KA5)	Abstand zwischen Grundwasseroberfläche und der Untergrenze des effektiven Wurzelraums																	
	≤1	≤2	≤3	≤4	≤5	≤6	≤7	≤8	≤9	≤10	≤11	≤12	≤13	≤14	≤15	≤17	≤20	>20
Ss	5	5	5	3	1	0.5	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sl2	5	5	5	3.1	1.7	1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Sl3	5	5	5	2.7	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Sl4	5	5	4.5	3.1	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Slu	5	5	4.3	2.4	1.4	1	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Sf2	5	5	4.8	2.2	1.1	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Sf3	5	5	5	1.7	0.6	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Su2	5	5	5	4	2.2	1.3	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Su3	5	5	5	2.6	1.5	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Su4	5	5	5	4.2	2.6	1.6	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0
Ls2	5	5	5	2.6	1.6	1.3	1	0.7	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Ls3	5	5	5	2.1	1.3	1.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Ls4	5	5	5	2	1.3	0.9	0.8	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lf2	5	5	2.3	1.2	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lf3	5	5	2.9	1.6	1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Lfs	5	5	2.4	1.3	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lu	5	5	5	5	4.8	3.1	2.1	1.5	1.1	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0
Uu	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.1	3.4	2.8	2.4	2	1.5	0.9	0.4
Uls	5	5	5	5	4.6	3.2	2.3	1.7	1.3	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
Us	5	5	5	5	5	5	5	4.4	3.4	2.7	2.1	1.7	1.4	1.1	0.9	0.6	0.3	0.1
Uf2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.4	3.6	3	2.5	2.1	1.8	1.3	0.8	0.3
Uf3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.2	3.4	2.9	2.4	2	1.7	1.2	0.8	0.3
Uf4	5	5	5	5	5	5	4.2	3.3	2.6	2.1	1.7	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.4	0.1
Tf	4.9	2	1.2	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Tl	5	3.4	1.3	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tu2	5	3.2	1.3	0.7	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Tu3	5	5	3.1	2.4	1.8	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Tu4	5	5	5	5	3.1	2.7	1.6	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0
Ts2	5	3	1.5	1	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ts3	5	4	2.5	1.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ts4	5	5	3.5	2	0.6	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 99: Bestimmung der kapillaren Aufstiegsdauer KD (d) anhand der kapillaren Aufstiegsrate KR, der Ackerkultur und der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum nFK_{Eff} (nach Müller et al. 2012).

Ackerkultur	Kapillare Aufstiegsrate KR (mm d ⁻¹)	Kapillare Aufstiegsdauer KD (d)
Getreide	≤1	0.14 * nFK_{Eff} + 14.3
Getreide	>1 bis <2.5	0.13 * nFK_{Eff} + 23.4
Getreide	≥2.5 bis <3.5	0.10 * nFK_{Eff} + 35.0
Getreide	≥3.5 bis <5	0.07 * nFK_{Eff} + 44.4
Getreide	≥5	60
Zuckerrübe, Mais, Kartoffel	≤1	0.20 * nFK_{Eff} + 16.6
Zuckerrübe, Mais, Kartoffel	>1 bis <2.5	0.18 * nFK_{Eff} + 32.8
Zuckerrübe, Mais, Kartoffel	≥2.5 bis <3.5	0.16 * nFK_{Eff} + 45.3
Zuckerrübe, Mais, Kartoffel	≥3.5 bis <5	0.11 * nFK_{Eff} + 62.5
Zuckerrübe, Mais, Kartoffel	≥5	90
Grünland	≤1	0.25 * nFK_{Eff} + 19.5
Grünland	>1 bis <2.5	0.23 * nFK_{Eff} + 38.7
Grünland	≥2.5 bis <3.5	0.21 * nFK_{Eff} + 59.4
Grünland	≥3.5 bis <5	0.18 * nFK_{Eff} + 81.0
Grünland	≥5	120

4. Berechnung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers

Die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser W_{PFL} (mm), die den Pflanzen während der Vegetationsperiode zur Verfügung steht, wird durch Addition des kapillaren Aufstiegs (KA, mm) und der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK_{Eff} , mm) berechnet.

$$W_{\text{PFL}} = \text{KA} * nFK_{\text{Eff}}$$

5. Herleitung der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz wird generell als Differenz der Niederschlagssumme und der Höhe der potenziellen Evapotranspiration für einen bestimmten Zeitraum an einem Standort berechnet.

Im vorliegenden Fall wurden die monatlichen Werte der potenziellen Evapotranspiration nach Penman-Monteith (PET, mm) und die monatlichen Niederschlagssummen (PR, mm) für die Periode 1989-2018 als Datengrundlage verwendet. Zum Zeitpunkt der Methodenentwicklung lagen die Daten bis zum Jahr 2018 vor, daher wurde dieser Zeitraum als ein repräsentativer Zeitraum der letzten Klimanormalperiode (1991-2020) ausgewählt. Die Daten wurden zunächst auf das Schweizer Koordinatensystem (CH1903+) projiziert und für PET und PR wurden die Mittelwerte für die Periode 1989-2018 berechnet, d.h. die durchschnittlichen Niederschlagssummen und Summen der Evapotranspiration für jeden Kalendermonat innerhalb der Periode 1989-2018. Anschliessend wurden die Daten, die in einer Auflösung von 1 km vorlagen, auf das Projektgebiet in Lommis projiziert (bilineare Interpolation), so dass sie in einer Auflösung von 2x2 m vorlagen. Dann wurden die Summen der PET und PR für die Hauptvegetationsperiode (Mai-Okttober) berechnet (PR_v und PET_v). Diese Daten bilden die Grundlage zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode KWB_v :

$$KWB_v = PR_v - PET_v$$

Ackerkulturen können sich hinsichtlich ihres Vegetationszeitraums und ihrer Wassereffizienz unterscheiden. Dieser Umstand wurde berücksichtigt, indem zwei lineare Regression zur Berechnung der bewässerungs-wirksamen klimatischen Wasserbilanz KWB_B für die unterschiedlichen Ackerkulturen verwendet wurden.

$$KWB_B = 0,7 * KWB_v - 60 \text{ (für Getreide und Kartoffeln der Reifegruppe I und II)}$$

$$KWB_B = 1,0 * KWB_v - 70 \text{ (für Zuckerrüben, Kartoffeln der Reifegruppe III und IV, Mais und Grünland)}$$

6. Berechnung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit

Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) wird anhand von Herleitungstabellen für die verschiedenen Ackerkulturen aus der bewässerungswirksamen klimatische Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) berechnet (siehe Tabelle 100 bis Tabelle 106). Dabei wird die KWB_B und das W_{PFL} auf die Werte gerundet, die in der entsprechenden Tabelle für die ausgewählte Ackerkultur angegeben sind.

Für eine allgemeine Bewertung wird die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit B_{Pot} in folgende Klassen eingeteilt:

Bewässerungsklasse 1 (B_{Pot} : 0-20 mm) - keine Bewässerungsbedürftigkeit

Bewässerungsklasse 2 (B_{Pot} : >20-60 mm) - geringe Bewässerungsbedürftigkeit

Bewässerungsklasse 3 (B_{Pot} : >60-100 mm) - mittlere Bewässerungsbedürftigkeit

Bewässerungsklasse 4 (B_{Pot} : >100-140mm) - hohe Bewässerungsbedürftigkeit

Bewässerungsklasse 5 (B_{Pot} : >140 mm) - sehr hohe Bewässerungsbedürftigkeit

Tabelle 100: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Grünland** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	75	100	135	160	185	210	250	300
50	85	71	58	37	20	6	0	0	0
25	105	90	75	55	39	23	8	0	0
0	124	109	94	72	56	39	22	0	0
-25	141	126	111	88	72	54	37	7	0
-50	158	144	127	104	87	69	50	19	0
-75	173	158	141	118	99	82	62	30	0
-100	189	172	155	132	113	94	74	40	0
-125	201	185	168	145	124	105	84	49	3
-150	213	197	180	155	135	115	94	57	9
-175	222	206	190	165	145	123	102	64	13
-200	234	218	200	176	155	133	111	73	19
-225	243	227	209	185	164	140	118	80	23
-250	250	235	217	193	172	146	124	86	27
-275	257	242	223	201	179	151	129	91	31
-300	262	249	229	207	185	156	134	96	35

Tabelle 101: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Kartoffeln** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	65	85	100	125	150	175	200	240
50	60	49	33	22	6	0	0	0	0
25	68	59	42	32	16	1	0	0	0
0	78	68	53	42	26	10	0	0	0
-25	87	77	62	52	35	20	5	0	0
-50	95	86	72	61	45	30	15	0	0
-75	105	95	81	71	56	40	25	9	0
-100	115	105	90	80	65	50	34	19	0
-125	123	114	99	90	74	59	44	29	8
-150	133	123	109	99	83	68	55	38	17
-175	141	132	118	109	93	77	64	49	27
-200	151	141	128	119	103	87	74	59	36
-225	160	150	137	128	113	97	84	68	46
-250	169	160	147	138	122	107	94	78	55
-275	178	169	156	148	132	116	104	88	65
-300	187	178	166	157	142	126	113	98	74

Tabelle 102: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Mais** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)							
	50	65	85	100	125	150	175	200
50	30	22	13	5	0	0	0	0
25	41	32	23	14	0	0	0	0
0	50	42	31	22	9	0	0	0
-25	60	51	40	31	17	4	0	0
-50	70	62	50	40	26	12	0	0
-75	80	71	59	49	34	19	4	0
-100	90	81	69	59	43	27	12	0
-125	100	90	77	68	51	35	19	3
-150	111	100	87	77	59	44	27	10
-175	120	110	96	86	69	52	35	17
-200	130	120	105	95	77	60	43	24
-225	140	129	114	104	85	68	50	31
-250	150	139	124	113	94	76	58	38
-275	160	149	133	122	102	84	66	45
-300	170	159	142	131	111	92	73	52

Tabelle 103: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Sommergerste** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	65	85	100	125	150	175	200	240
50	47	40	31	20	8	0	0	0	0
25	59	51	42	32	19	9	0	0	0
0	69	62	52	43	29	17	3	0	0
-25	80	72	62	53	40	27	13	0	0
-50	93	83	73	64	50	37	23	9	0
-75	103	95	83	75	61	47	33	19	0
-100	114	105	94	86	72	57	42	28	4
-125	125	117	105	98	82	68	52	37	11
-150	135	127	116	108	93	78	63	45	19
-175	147	138	126	119	103	87	72	55	26
-200	158	149	137	130	114	97	82	64	34
-225	169	160	147	141	125	107	92	73	41
-250	180	171	158	152	135	117	102	82	49
-275	191	182	168	163	146	127	112	91	56
-300	202	193	179	174	156	137	122	100	64

Tabelle 104: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Wintergerste** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	65	85	100	125	150	175	200	240
50	35	27	16	9	0	0	0	0	0
25	50	41	30	22	10	0	0	0	0
0	64	55	43	35	21	9	0	0	0
-25	76	67	55	46	34	20	7	0	0
-50	87	78	67	58	44	30	18	7	0
-75	98	89	76	69	54	40	28	16	0
-100	107	99	87	78	65	51	39	26	7
-125	115	107	96	88	74	61	49	35	15
-150	122	115	105	97	85	72	59	45	24
-175	133	125	115	106	94	80	68	54	32
-200	140	133	124	115	103	89	77	64	41
-225	147	140	132	122	112	98	86	73	49
-250	153	146	139	130	120	106	95	82	57
-275	159	152	146	136	127	115	104	91	66
-300	164	157	152	143	135	123	112	100	74

Tabelle 105: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Zuckerrübe** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	65	85	100	125	150	175	200	240
50	68	56	44	35	20	8	0	0	0
25	77	66	53	45	30	16	2	0	0
0	89	78	64	55	39	26	11	0	0
-25	100	89	75	66	49	35	21	5	0
-50	111	100	85	76	59	43	29	14	0
-75	122	110	95	85	68	52	37	22	0
-100	133	122	106	95	78	62	45	30	8
-125	144	132	117	105	87	71	54	39	16
-150	155	143	128	116	98	80	64	47	24
-175	165	154	139	127	107	90	72	55	31
-200	177	165	149	136	117	98	81	64	39
-225	187	176	159	146	126	107	89	72	47
-250	198	187	170	156	136	117	98	80	55
-275	209	198	181	167	146	126	107	89	63
-300	220	209	191	177	155	135	115	97	70

Tabelle 106: Bestimmung der potenziellen Bewässerungsbedürftigkeit (B_{Pot} , mm) anhand der bewässerungswirksamen klimatischen Wasserbilanz (KWB_B , mm) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{PFL} , mm) für **Winterweizen** (nach Müller et al. 2012). Die potenzielle Bewässerungsbedürftigkeit quantifiziert die Menge an Wasser, die dem Boden während der Vegetationsperiode zugeführt werden sollte, um eine optimale Wasserversorgung für die Pflanzen sicherzustellen und Trockenstress zu vermeiden.

Bewässerungswirksame klimatische Wasserbilanz KWB_B (mm)	Pflanzenverfügbares Wasser in der Vegetationsperiode W_{PFL} (mm)								
	50	65	85	100	125	150	175	200	240
50	29	26	20	15	5	0	0	0	0
25	53	48	40	34	21	10	0	0	0
0	75	68	59	51	38	25	7	0	0
-25	95	86	75	67	53	38	20	5	0
-50	112	103	92	82	67	51	35	20	0
-75	128	118	105	95	80	63	47	31	6
-100	140	131	117	108	91	74	59	43	18
-125	153	143	128	119	101	85	69	52	28
-150	162	151	137	128	111	95	78	61	36
-175	171	160	145	137	119	103	87	70	44
-200	178	168	152	145	127	112	96	78	52
-225	185	174	158	151	134	119	104	86	59
-250	190	179	163	156	139	126	111	93	66
-275	194	183	167	159	144	132	117	99	72
-300	196	185	170	162	148	137	120	105	77

Unterschiede zur Originalmethode

- Bei der Bestimmung der Durchwurzelungstiefe (Schritt 1) wird in der Originalmethode ebenfalls die Torfart berücksichtigt. Da diese Information in dem Pilotgebiet nicht vorlag, wurde diese Unterscheidung nicht gemacht.
- In der Originalmethode ist in der Tabelle zur Bestimmung der effektiven Durchwurzelungstiefe die Ackerkultur «Gerste» nicht vorhanden. Hier wurde Gerste zusammen mit Weizen in die gleiche Spalte eingeordnet (Tabelle 93). Ebenso wurde die Durchwurzelungstiefe in der Originalmethode teilweise nicht als exakter Wert, sondern als Spannbreite angegeben (beispielsweise: «10-11» oder «3-4»). Hier wurden diese Spannbreiten auf den Mittelwert gesetzt (beispielsweise: «10-11» => 10.5, «3-4» => 3.5).
- In der Originalmethode ist ein Berechnungsbeispiel für einen zweischichtigen Boden aufgeführt. Hier wurde die Methode angepasst, um eindeutige Resultate auch für das vorliegende 3-Schicht-System zu erhalten (betrifft vor allem die Schritte 1 und 2).
- Im Gegensatz zur Originalmethode wurde hier zusätzlich die Vernässungsgrenze bei der Bestimmung der effektiven Durchwurzelungstiefe berücksichtigt.
- In der Originalmethode wurden die nutzbare Feldkapazität (nFK) und die nFK-Zuschläge anhand von Tabellen nach Müller & Waldeck (2011) bestimmt. Aus Gründen der Allgemeingültigkeit wurden hier stattdessen die entsprechenden Tabellen aus der KA5 verwendet.

Literatur

- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, KA5. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data, 4 (1), 170122.
- Karger DN, Conrad O, Böhner J, Kawohl T, Kreft H, Soria-Auza RW, Zimmermann NE, Linder HP, Kessler M, 2021. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. 2.1 KB. Abgerufen am 12.03.2024, <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.228.V2.1>
- Müller U, Engel N, Heidt L, Schäfer W, Kunkel R, Wendland F, Roehm H, Elbracht J, 2012. Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. GeoBerichte (20).
- Müller, U., Waldeck, A. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). GeoBerichte (19).

1.24 Säurestatus nach Zimmermann et al. (2011)

Produktname	Säurestatus nach Zimmermann et al. (2011)
Quelle	Zimmermann S, Widmer D, Mathis B, 2011. Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO ZCH): Säurestatus und Versauerungszustand von Waldböden.
Beschrieb	Die Methode bewertet den Anteil der Feinerdemengen in bestimmten, effektiven Säurepufferungsbereichen, welche auf theoretischem Wissen zur Säurepufferung und auf praktisch hergeleiteten pH-Bereichen aus Bodendaten der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) mit Böden auf unterschiedlicher geologischer Ausgangslage beruhen.
Eingangsgrossen Boden	Schichtbezug (0-30, 30-60, 60-90 cm) <ul style="list-style-type: none"> - pH (-) - Raumgewicht Feinerde (g/cm³) - Skelettgehalt (Vol-%) Gesamtbodenbezug: <ul style="list-style-type: none"> - Obergrenze Untergrund (cm) - Obergrenze gg-, r-Horizonte (cm)
Weitere Eingangsgrossen	-
Ergebnis	Das Resultate der Methode wird in 5 Klassen angegeben: 1 - sehr stark sauer 2 - stark sauer 3 - mässig sauer 4 - schwach sauer 5 - alkalisch
Anwendungs- bereich	Die Methode eignet sich für Waldflächen.

Grafischer Überblick

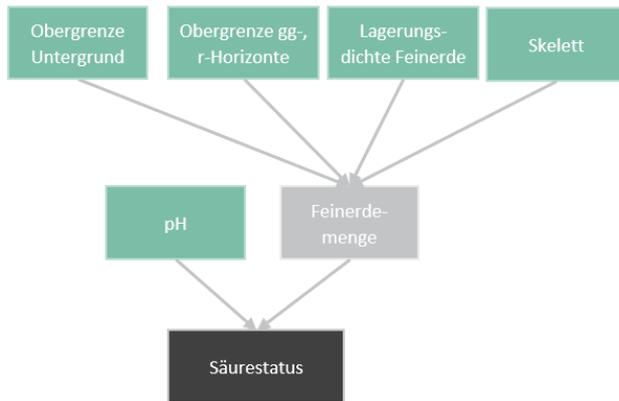


Abbildung 48: Grafischer Überblick der Methode zur Berechnung des Säurestatus nach Zimmermann et al. (2011). Grün: Eingangsgrößen Boden, hellgrau: Zwischenschritte der Berechnung, dunkelgrau: Ergebnis.

Anwendungsbeispiel

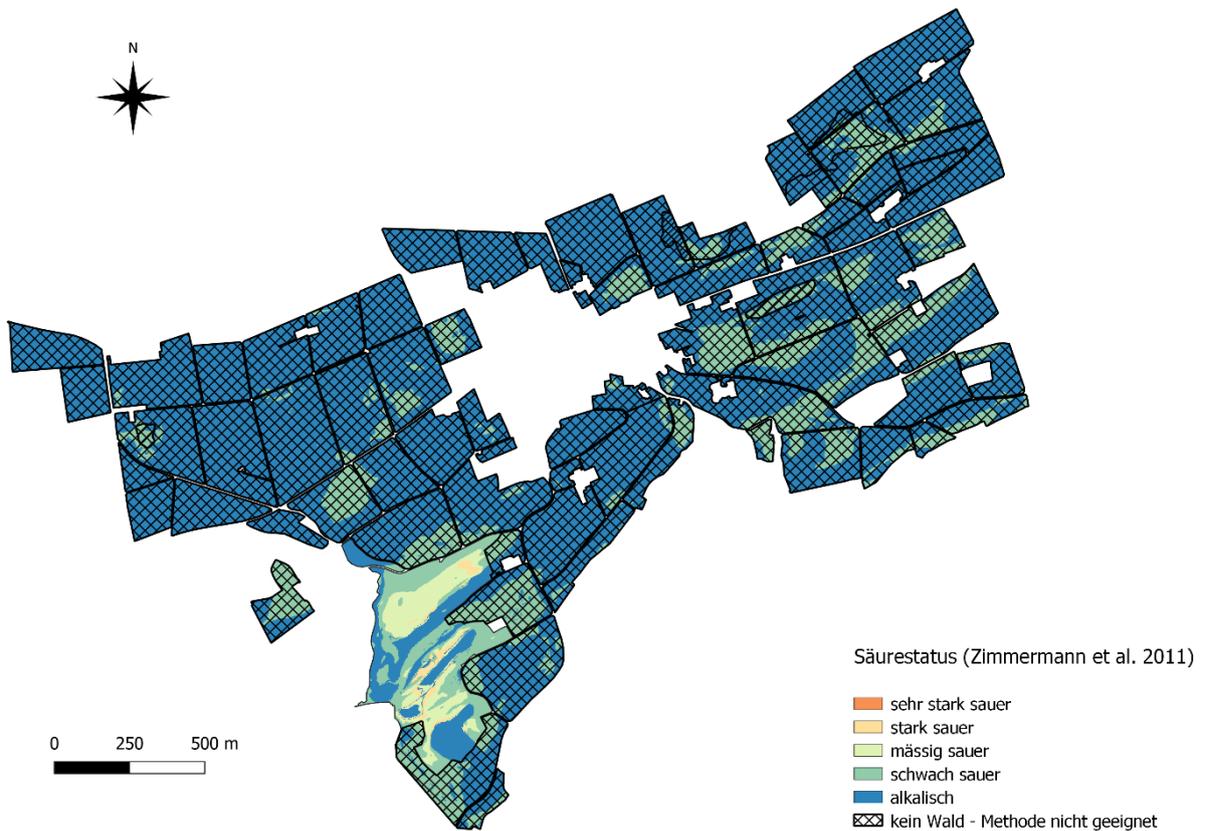


Abbildung 49: Anwendung der Methode zur Berechnung des Säurestatus nach Zimmermann et al. (2011) das Pilotgebiet in Lommis (TG).

Methodenbeschreibung

Die Originalmethode von Zimmermann et al. (2011) wurde auf ein Pilotgebiet des KOBO in Lommis, Kanton Thurgau, angewendet. Die Methode wurde in gekürzter Variante angewendet. Im Folgenden beschreiben wir die gekürzte Methode.

Details zu den verwendeten Eingangsgrößen

Boden: Alle Bodenkarten liegen in der Auflösung von 2x2 m für drei Tiefenstufen vor (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) und stammen aus der Pilotkartierung des KOBO in Lommis (Grob et al. 2024). Wie in der Originalmethode werden keine Bodendaten zu organischen Auflagehorizonten für die Bewertung des Säurestatus verwendet.

1. Feinerdemasse je Layer herleiten (kg/m^2)

Feinerdemasse (kg/m^2) = Tiefe der Bodenschicht (cm) * Lagerungsdichte Feinerde der Bodenschicht (g/cm^3) * (1- (Skelettgehalt der Bodenschicht (Vol- %) /100) *10

Layer die Unterhalb des Untergrunds oder der Obergrenze eines gg-, r-Horizonts liegen erhalten «NA». Die Masse für teilweise in der Bewertungstiefe liegende Layer wird anteilmässig ausgerechnet.

2. Feinerdemasse im Profil herleiten (kg/m^2) bis zur Obergrenze des Untergrunds oder des gg-, r-Horizonts

$$\text{Feinerdemasse}_p = \sum_{i=1}^{\text{Anz.Horizonte}} \text{Feinerdemasse}_{Hi}$$

3. Anteil der Feinerdemasse je Layer in % des Gesamtprofils

$$\text{ProzentFE}_H = \frac{100}{\text{Feinerdemasse}_p} * \text{Feinerdemasse}_H$$

4. Säureklassen je Bodenschicht herleiten (Tabelle 107)

Tabelle 107: Klassierung der pH-Werte in den drei Tiefenstufen zu Säureklassen.

pH >=	pH <	Säureklasse
7	14	1
5.6	7	2
4.6	5.6	3
3.8	4.6	4
1	3.8	5

5. Maximale Säureklasse je Standort finden

Je Standort wird aus den Säureklassen der drei Bodenschichten die maximale Säureklasse gesucht.

6. Feinerdemassen für die Säureklassen 1,4, und 5 je Standort bestimmen

Die Feinerdemasse je Standort in den Säureklassen 1, 4, und 5 wird bestimmt.

7. Der Säurestatus wird nach Tabelle 108 bewertet

Tabelle 108: Säurestatus herleiten

Bedingung(en)	Punkte
Wenn 100% der Feinerdemasse in Säureklasse 1	5 - alkalisch
Tiefster pH in Säureklasse 2 oder 3	4 – schwach sauer
Tiefster pH in Säureklasse 4, aber weniger als 50% der Feinerdemasse in Säureklasse 4	3 – mässig sauer
Tiefster pH in Säureklasse 4 und mehr als 50% der Feinerdemasse in Säureklasse 4 ODER pH in Säureklasse 5 und weniger als 50% der Feinerdemasse in Säureklasse 5	2 – stark sauer
Wenn mehr als 50% der Feinerdemasse in Säureklasse 5	1- sehr stark sauer

Unterschiede zur Originalmethode

- Die Originalmethode bewertet weitere wichtige Faktoren zur Waldversauerung, wie das Risiko für die Aluminium-Toxizität, den Status der KAK, die Sensitivität zur pH-Abnahme und zur Abnahme der Basensättigung, die hier nicht umgesetzt wurden.

Literatur

- Grob U, Herzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Wullschlegler F, Carrera E, Siegenthaler M, Behrens T (2024). Neue Methoden in der Bodenkartierung - Pilotprojekt Lommis. KOBO-Bericht Nr. 10, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter www.ccsols.ch.
- Zimmermann S, Widmer D, Mathis B, 2011. Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO ZCH): Säurestatus und Versauerungszustand von Waldböden.

Kompetenzzentrum Boden
BFH-HAFL

Länggasse 85_3052 Zollikofen
info@ccsols.ch_ccsols.ch