

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500308053/23

Organische Kohlenstoffvorräte der Böden
Baden-Württembergs in Abhängigkeit von
Bodentyp, Bodenart, Klima und Landnutzung

von

F. Waldmann und W. Weinzierl

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

November 2014

KLIMOPASS

– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT KLIMOPASS	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de
FINANZIERUNG	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT	Dr. Frank Waldmann und Dr. Werner Weinzierl, Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Albertstr. 5, 79104 Freiburg i. Br.
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U72-W03-N11
STAND	November 2014, Internetausgabe Februar 2015

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

	ZUSAMMENFASSUNG	4
1	EINLEITUNG	5
2	DATENGRUNDLAGEN	5
3	BEARBEITUNG	8
4	BERECHNUNGSVERFAHREN	9
4.1	C_{ORG}-GEHALTE UND -VORRÄTE FÜE DEN BEREICH 0-30 cm u. FI.	9
4.2	C_{ORG}-GEHALTE UND -VORRÄTE FÜE DEN BEREICH 30-100 cm u. FI.	13
4.3	SONDERFÄLLE	16
4.4	HUMUSVORRÄTE DER OBERBÖDEN AUF GRUNDLAGE VON GEMEINDEMITTELWERTEN	16
4.5	BEWERTUNG UND VERGLEICH DER EINZELNEN EINFLUSSFAKTOREN	18
5	CORG-VORRÄTE DER BÖDEN BADEN-WÜRTTEMBERGS	21
5.1	STATUS QUO	21
5.2	C/N-VERHÄLTNIS	34
5.3	VERÄNDERUNGEN DER C_{ORG}-VORRÄTE BEI ZUNEHMENDER TEMPERATURERHÖHUNG	36
6	KOHLENSTOFFSEQUESTRIERUNGSPOTENZAIL	39
7	LITERATUR	40
	ANHANG	42

Zusammenfassung

Für die Ermittlung der organischen Kohlenstoffvorräte der Böden Baden-Württembergs wurden umfangreiche, jedoch sehr heterogene Bodendaten unterschiedlichster Quellen von 7489 Standorten ausgewertet.

Die C_{org} -Gehalte und -Vorräte werden bis in eine Tiefe von 30 cm u. Fl. mittels multiplen linearen Regressionen unter Berücksichtigung von Klima-, Boden- und Reliefparameter getrennt nach Nutzungen und Bodentypengruppen berechnet. Für den Bereich unterhalb von 30 cm u. Fl. wurden nur noch einfache Tiefenfunktionen verwendet.

Die Größenordnung der relativen C_{org} -Veränderungen ist abhängig von den ursprünglichen C_{org} -Gehalten. Insgesamt wirkt sich die Zunahme der Jahresniederschläge um 100 mm, die Abnahme der Jahrestemperatur um 1°C und die Erhöhung des Tongehalts um 10% in etwa gleichermaßen auf die Zunahme der C_{org} -Gehalte aus.

Die mittleren C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs für den Bereich 0-30 cm u. Fl. betragen unter Acker 66 t/ha, unter Wald 75 t/ha und unter Grünland 81 t/ha (bzw. 92 t/ha bei Berücksichtigung der Moor- und Anmoorstandorte). Dies entspricht insgesamt einem C_{org} -Vorrät für Baden-Württemberg von 240 Mill. t.

Die mittleren C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs für den Bereich 0-100 cm u. Fl. betragen unter Acker 98 t/ha, unter Wald 101 t/ha und unter Grünland 115 t/ha (bzw. 137 t/ha bei Berücksichtigung der Moor- und Anmoorstandorte). Dies entspricht insgesamt einem C_{org} -Vorrät für Baden-Württemberg von 342 Mio. t (incl. der Moor- und Anmoorstandorte).

Die Regionalisierung der C_{org} -Gehalte der Oberböden und der C_{org} -Vorräte für die Tiefen 0-30 cm, 0-70 cm und 0-100 cm u. Fl. erfolgte landesweit in einem 50 m Raster.

Einfache Abschätzungen zu C_{org} -Vorrätsänderungen bei veränderten Jahresdurchschnittstemperaturen von +1 bis +4 °C ergeben einen Rückgang bis zu 20 t/ha.

Alle Ergebnisse (relative C_{org} -Gehaltsänderungen in Abhängigkeit von Niederschlag, Temperatur und Tongehalt, mittlere C_{org} -Vorräte je Landnutzung und C_{org} -Vorrätsänderungen bei zukünftig erhöhten Jahresdurchschnittstemperaturen von bis zu +4 °C) liegen im Bereich bereits publizierter Ergebnisse. V. a. der Vergleich zu Bayern mit ähnlichen Boden- und Klimaverhältnissen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Unterschiedliche Datenkollektive, verschiedene Berechnungs- und Regionalisierungsmethoden führen zu vergleichbaren Ergebnissen.

1 Einleitung

Die Bildung von Humusvorräten ist ein langsamer, Jahrzehnte umfassender Prozess. Bei gleichbleibender, langjähriger Bodennutzung besteht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ein Gleichgewicht. Es stellt sich ein dem Standort und der Nutzung entsprechender, relativ konstant bleibender Humusgehalt im Boden ein. Humifizierung und Mineralisation spiegeln die jeweiligen Einflüsse von Klima und Landnutzung auf die Boden- und Humusbildung wider.

Böden können für Kohlendioxid eine Senke oder eine Quelle darstellen. Weltweit ist im Humus der Böden rund viermal soviel Kohlenstoff wie in der gesamten Biomasse und ca. doppelt soviel wie in der Atmosphäre gespeichert. Landnutzungsänderungen, wie z. B. Rodung von Wäldern und Umbruch von Grün- in Ackerland, führen zu einem Humusverlust und damit zur CO₂-Emission. Dieser Nutzungswandel fand in Europa bereits vor Jahrhunderten und in Nordamerika zwischen 1860 und 1930 statt, während er sich in den Entwicklungs- und Schwellenländern seit 1930 vollzieht. Der Anteil des durch Landnutzungsänderungen freigesetzten CO₂ an den weltweit anthropogenen CO₂-Emissionen beträgt z. Z. ca. 20% (IPCC 1992, 2000). Neben Landnutzungsänderungen können auch Klimaänderungen Humusaufbau und -abbau beeinflussen.

Für Deutschland liegen, mit Ausnahme von Bayern (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014), keine präzisen, landnutzungsspezifischen Berechnungen der C_{org}-Bodenvorräte vor. Mit der hier durchgeführten Zusammenstellung und Auswertung der Daten werden C_{org}-Gehalte und -Vorräte der Böden Baden-Württemberg mit starker inhaltlicher und räumlicher Differenzierung dokumentiert. Somit besteht - neben Laborversuchen und Modellierungen - die Möglichkeit mit Vergleichsbetrachtungen in einigen Jahrzehnten den Einfluss der allgemein prognostizierten globalen Klimaerwärmung auf die C_{org}-Vorräte der Böden nachzuvollziehen.

2 Datengrundlagen

Für die Bearbeitung wurden von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) und vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) Bodendaten zur Verfügung gestellt. Die Bodenprofildaten sind i. d. R. mit Rechts- und Hochwerten räumlich exakt zuzuordnen. Die von der LTZ zur Verfügung gestellten Daten sind bereits auf Gemeindeebene aggregiert (Mittelwerte) zur Verfügung gestellt. Die verwendeten Datengrundlagen bestehen im Einzelnen aus:

- Bodendatenbank der LUBW (Nr. 316/2, 317/3, /7, /10, /11, /17, /35, /81; 80/4, /6, /9, /11, /32, /35)
- Bodenmessnetz, Ökologisches Wirkungskataster und Bodenexponate (LUBW)
- Bodenzustandserhebung im Wald 1 & 2 (FVA)
- Bodendatenbank der LTZ
- Musterprofile, Archiv- und Projektunterlagen (LGRB)
- SchALVO-Rückstellproben aus 2004 (C_{org}-Bestimmung LGRB 2014)
- Literaturdaten (i. W. aus Promotionen der Bodenkundlichen Institute der Universitäten Freiburg und Hohenheim)

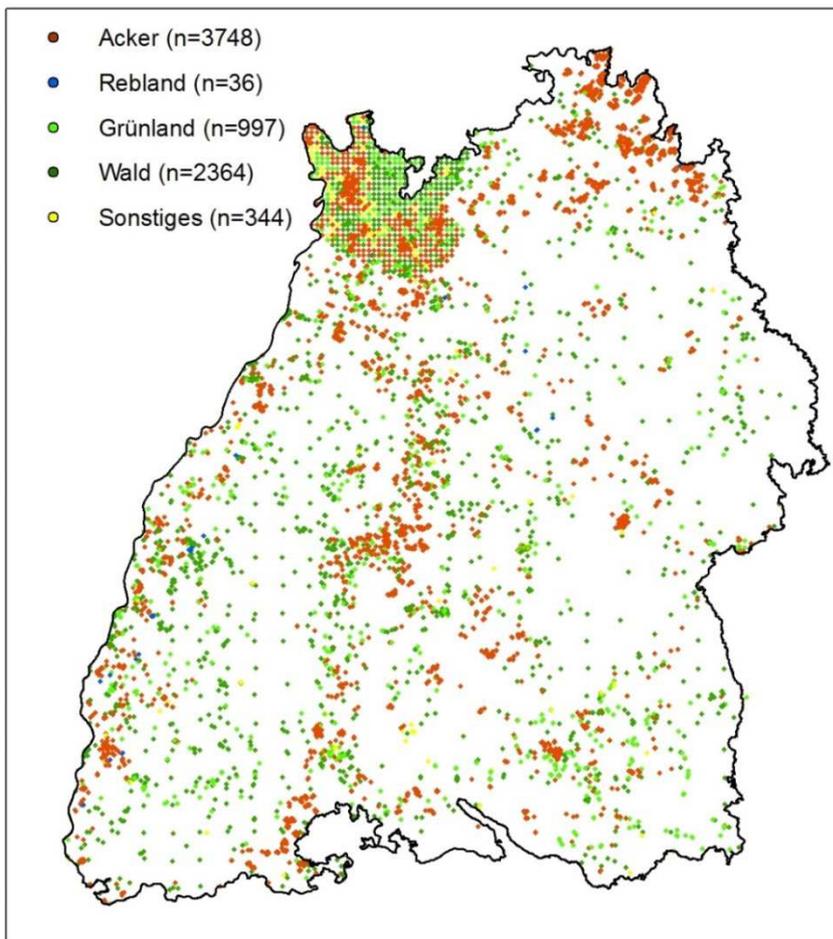
Damit stehen für Baden-Württemberg insgesamt Einzeldaten von 7489 Standorten zur Verfügung. Diese Standorte wurden bzw. werden wie folgt genutzt:

- Acker 3748
- Grünland 997
- Wald 2364
- Rebland 36
- Sonstige 344

Die Anzahl der Analysedaten für organischen Kohlestoff (C_{org}) und für die Trockenrohdichte (TRD) verteilen sich auf:

- Acker C_{org} : 5964 TRD: 1204
- Grünland C_{org} : 2206 TRD: 1072
- Wald C_{org} : 8337 TRD: 5791

Abb. 1: Verteilung der untersuchten Bodenstandorte



Für 247 Gemeinden liegen jeweils mittlere Humusgehalte unter Ackernutzung und für 70 Gemeinden unter Grünlandnutzung, vor. Den Gemeindemittelwerten liegen insgesamt 10491 Einzeldaten für Acker und 728 Einzeldaten für Grünland zugrunde.

Weitere Datengrundlagen, die für die Ermittlung der Regressionen und für die Regionalisierung der Ergebnisse notwendig sind:

- Mittlerer Jahresniederschlag, mittlere Jahrestemperatur und Landnutzung (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012)
- Geländehöhe (DGM1)
- Hangneigung und Exposition (abgeleitet aus DGM5)
- Reliefklassifikationsindex TCI_{low} (abgeleitet aus DGM10)
- Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000 (BK50)
- Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1 : 200 000 (BÜK200)

3 Bearbeitung

Die beprobten Standorte unterscheiden sich in den Messdaten, in der Art der Beprobung (Horizont- oder Tiefenstufen), im Beprobungsumfang (vollständige Profile, ausgewählte Horizonte, nur Oberboden) und in der bodenkundlichen Dokumentation.

Für eine Berechnung der C_{org} -Vorräte einzelner Standorte sind vollständige Profilangaben für C_{org} , TRD und Bodenskelett notwendig. Dies ist bei zahlreichen der o. a. Standorte nicht der Fall. Um die Auswertungen auf einen möglichst großen Datensatz aufsetzen und alle Messdaten verwenden zu können, wurden in einem erstem Arbeitsschritt die C_{org} -Gehalte und die C_{org} -Vorräte (ohne Berücksichtigung des Bodenskeletts) in Abhängigkeit von der Tiefenlage der Probennahme unter Flur ausgewertet. Dafür wurde die Horizont-, Schicht- oder Tiefenstufenmitte verwendet.

Zur Berücksichtigung bodengenetischer Einflüsse werden die Daten folgender Bodentypen bzw. Bodentyp-Gruppen jeweils separat betrachtet:

- Rendzina
- Pararendzina
- Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca
- Podsol
- Auenboden und Kolluvium
- Gley, Auengley und Pseudogley
- Stagnogley
- Nass-, Humus- und Anmoorgley
- Moor

Bei Standorten ohne nähere bodenkundliche Beschreibung wurden die Bodentypen und die Bodenarten aus der BK50 entnommen.

In den Abbildungen 2 und 3 sind die Höhenangaben der einzelnen Standorte den mittleren Jahresniederschlägen und Jahrestemperaturen gegenübergestellt. Die Höhendaten sind dem DGM1 und die Klimadaten einem 1 km Raster entnommen. Diese unterschiedliche räumliche Auflösung bedingt bereits eine gewisse Streuung. Trotzdem weisen die Jahresmitteltemperatur und die Geländehöhe eine sehr enge Korrelation auf. Bei allen folgenden Auswertungen werden, um eine Autokorrelation zu vermeiden, nur die Niederschlag- und Temperaturdaten verwendet. Allerdings könnten in den folgenden Regressionen grundsätzlich der Prädiktor „Temperatur“ durch die Geländehöhe ersetzt oder nachträglich entsprechend der Gleichung in Abbil-

ung 3 umgerechnet werden. Damit könnten bei einer Regionalisierung über das hoch aufgelöste DGM grundsätzlich eine feingliedrige Differenzierung erzielt werden.

Abb. 2: Beziehung zwischen der Geländehöhe und dem langjährigen Jahresniederschlag

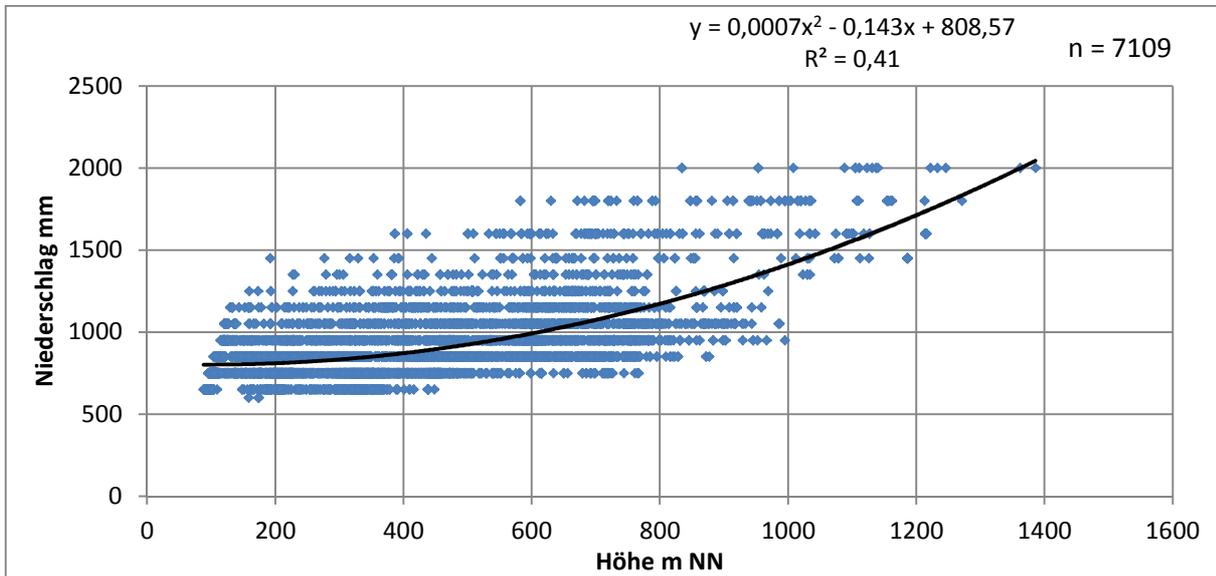
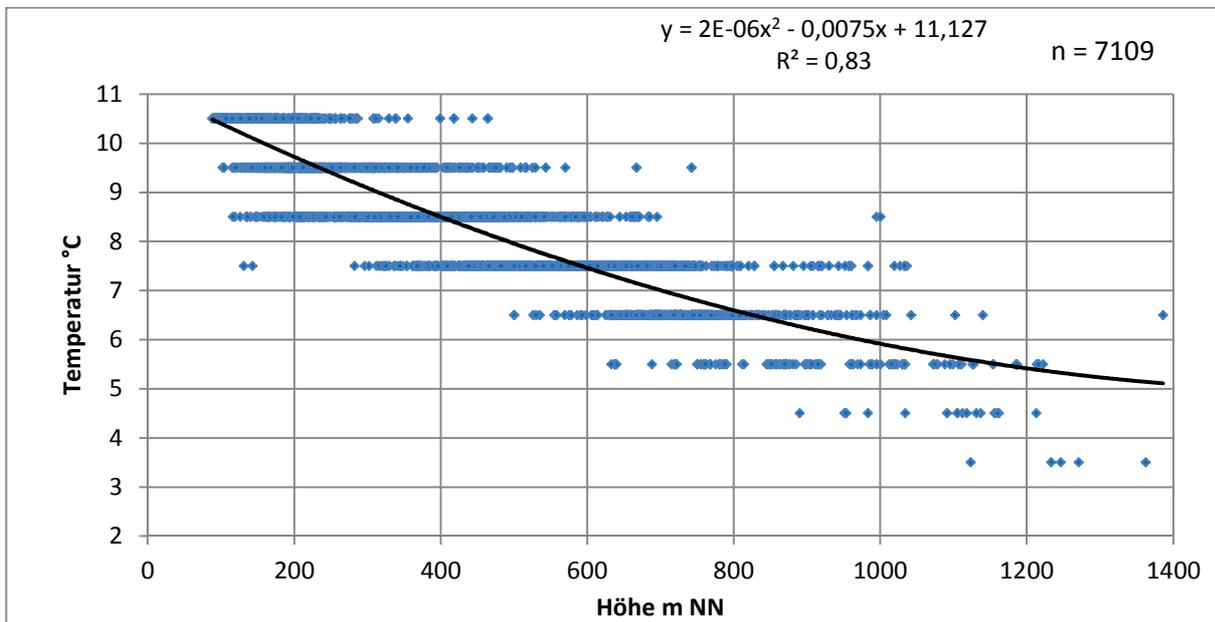


Abb. 3: Beziehung zwischen der Geländehöhe und der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur



4 Berechnungsverfahren

4.1 C_{org} -Gehalte und -Vorräte für den Bereich 0-30 cm u. Fl.

Für die Auswertungen wurden bei Ackerstandorten die Daten der Ap-Horizonte bzw. bei einer Tiefenstufenbeprobung die erste Tiefenstufe verwendet. Bei Grünland- und Waldstandorten wurde die Horizont-, Schicht- oder Tiefenstufendaten mit einer mittleren Tiefenangabe ≤ 25 cm u. Fl. berücksichtigt.

Die C_{org} -Gehalte und -Vorräte (ohne Berücksichtigung des Bodenskeletts) können mit den in Tab. 1 & 2 aufgeführten multiplen linearen Regressionen grundsätzlich berechnet werden. Die meist nur geringen bis mittleren Bestimmtheitsmaße verdeutlichen, dass die Regressionen nur als Abhängigkeitstrend der einzelnen Prädiktoren zu interpretieren sind. Die Boxplots der Abbildungen 4 - 6 mit den Darstellungen von nur jeweils einer Variablen (Temperatur oder Niederschlag) verdeutlichen die starke Streuung der C_{org} -Messwerte. Sie dokumentieren aber auch anschaulich die mit den Mittelwerten und Medianen erkennbaren Trends.

Abb. 4: C_{org} -Gehalte unter Acker in Abhängigkeit von der Jahresdurchschnittstemperatur, zusammengefasst für Braunerden, Parabraunerden, Pelosole und Terra fusca;
Bodenarten: Schluff & Lehm; $n = 3617$.

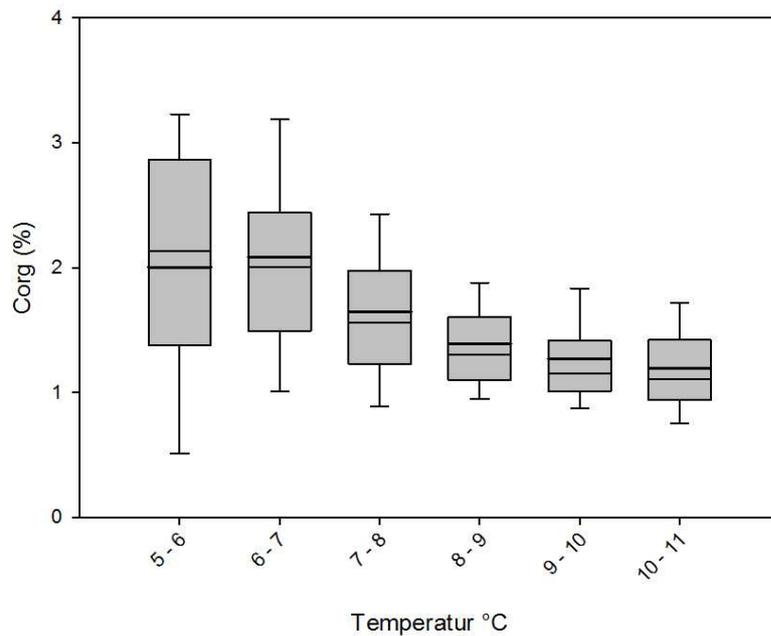


Abb. 5: C_{org} -Gehalte unter Wald in Abhängigkeit von der Jahresdurchschnittstemperatur für Rendzinen (alle Bodenarten); n = 287.

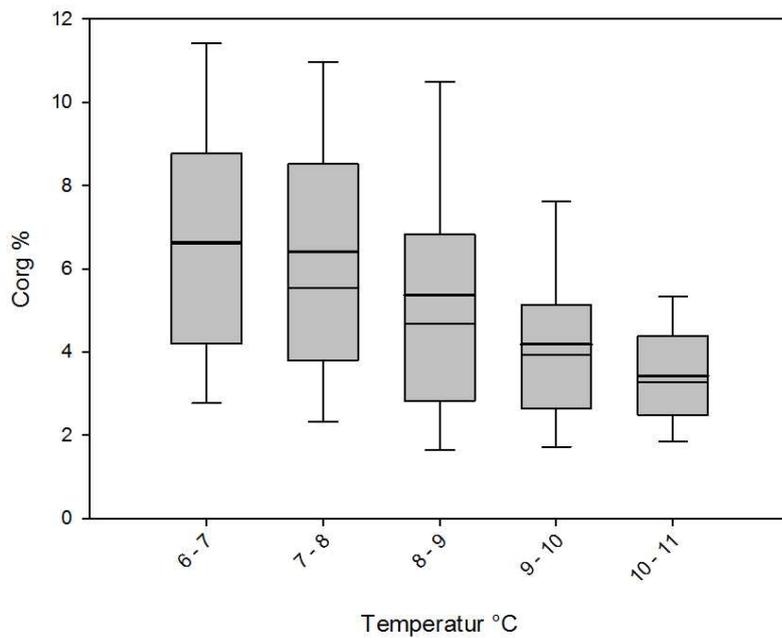
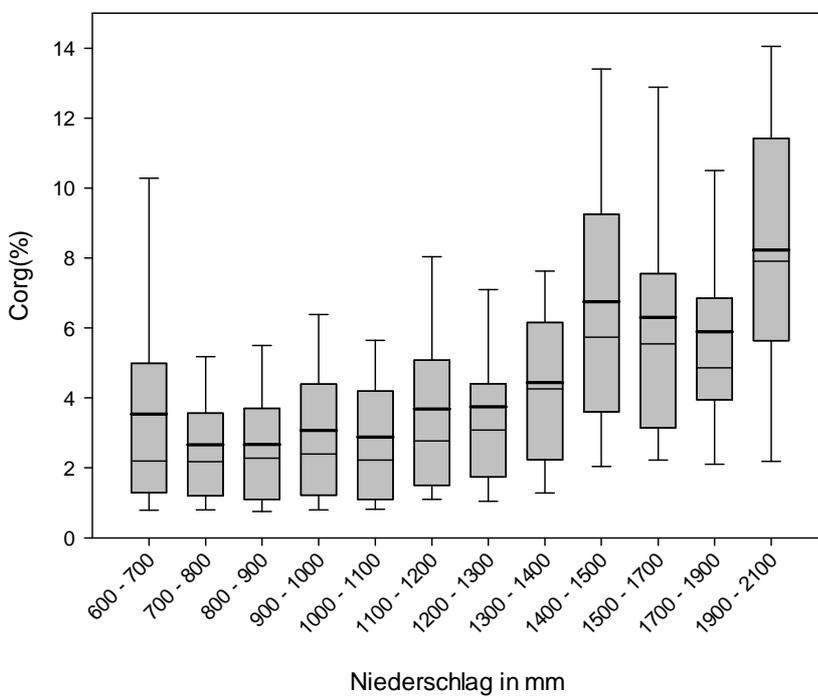


Abb. 6: C_{org} -Gehalte unter Wald in Abhängigkeit vom Jahresniederschlag, zusammengefasst für Braunerden, Parabraunerden, Pelosole und Terra fusca; Bodenarten: Schluff & Lehm; n = 1649.



Tab. 1: Ableitung der C_{org}-Gehalte (%), multiple lineare Regressionanalyse für Acker-Oberböden sowie bei Grünland und Wald für den Bereich zwischen 0 und 30 cm u. Fl. *

Bodentypen	Multiple lineare Regression	R	R ²	n
Acker				
Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 2,267 + (0,000998 * B) - (0,179 * C) + (0,0158 * D) - (0,00490 * E) - (0,266 * H)$	0,45	0,21	3802
Gley, Auengley, Pseudogley	$C_{org} = 5,215 - (0,302 * C) + (0,0368 * D) - (1,330 * H)$	0,51	0,26	107
Grünland				
Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 3,291 - (0,128 * A) + (0,00269 * B) - (0,304 * C) + (0,0351 * D)$	0,50	0,25	383
Pararendzina	$C_{org} = 13,893 - (0,153 * A) - (1,088 * C)$	0,71	0,50	45
Rendzina	$C_{org} = -2,750 - (0,188 * A) + (0,00993 * B)$	0,66	0,44	57
Auenboden, Kolluvium	$C_{org} = 2,610 - (0,0883 * A) + (0,00283 * B) - (0,298 * C) + (0,0568 * D)$	0,62	0,39	142
Gley, Auengley, Pseudogley	$C_{org} = 16,345 - (0,117 * A) - (0,951 * C) - (3,451 * H)$	0,62	0,38	24
Wald				
Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 3,920 - (0,189 * A) + (0,00270 * B) - (0,263 * C) + (0,0304 * D) - (0,0229 * H)$	0,66	0,43	2746
Pararendzina	$C_{org} = 9,263 - (0,177 * A) - (0,674 * C) + (0,0374 * D) + (0,0370 * F)$	0,81	0,65	58
Rendzina	$C_{org} = 12,734 - (0,255 * A) - (0,626 * C) + (0,0274 * F)$	0,60	0,36	287
Podsol	$C_{org} = 5,047 - (0,145 * A) + (0,00319 * B) - (0,0692 * E)$	0,52	0,27	162
Gley, Auengley, Pseudogley	$C_{org} = 6,890 - (0,244 * A) - (0,0292 * E)$	0,55	0,30	215

* Wald: ohne Auflagehumus

Prädiktoren:

A Tiefe unter Flur (cm) [nur bei Grünland und Wald]

B Mittlerer Jahresniederschlag (mm)

C Mittlere Jahrestemperatur (°C)

D Ton (%)

E Sand (%)

F Hangneigung (%)

G Exposition (Grad) [Werte >180: 180-(Wert-180)]

H Reliefposition [TCI_{low}] (dimensionslos)

Tab. 2: Ableitung der C_{org}-Vorräte (kg/m² x cm), multiple lineare Regressionsanalyse für den Bereich zwischen 0 und 30 cm u. Fl. [ohne Berücksichtigung des Bodenskeletts]

Bodentypen	Multiple lineare Regression	R	R ²	n
Acker¹⁾				
Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 0,306 - (0,0176 * C) + (0,00250 * D)$	0,40	0,16	132
Gley, Auengley, Pseudogley	„Regression aus Tab. 1“ x $((0,0095C_{org}Gehalt\%^2 - 0,1738C_{org}Gehalt\% + 1,6038) / 10)$			
Grünland				
Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 0,483 - (0,0128 * A) + (0,000213 * B) - (0,0268 * C) + (0,000962 * D)$	0,50	0,25	91
Pararendzina	$C_{org} = 1,283 - (0,00939 * A) - (0,0961 * C)$	0,69	0,47	16
Rendzina	$C_{org} = 0,417 - (0,0190 * A) + (0,000166 * B)$	0,64	0,41	20
Auenboden, Kolluvium	$C_{org} = -0,200 - (0,00879 * A) + (0,000532 * B) + (0,0116 * C) + (0,00297 * D)$	0,68	0,46	48
Wald²⁾				
Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$C_{org} = 0,355 - (0,0124 * A) + (0,0000606 * B) - (0,0137 * C) + (0,00244 * D) + (0,0315 * H)$	0,61	0,37	1613
Pararendzina	$C_{org} = 0,127 - (0,00750 * A) + (0,00505 * C) + (0,00606 * D) + (0,00366 * F)$	0,79	0,62	21
Rendzina	$C_{org} = 0,855 - (0,0132 * A) - (0,0407 * C) + (0,00289 * F)$	0,61	0,37	201
Podsol	$C_{org} = 0,652 - (0,00797 * A) + (0,000120 * B) - (0,00697 * E)$	0,49	0,24	143
Gley, Auengley, Pseudogley	$C_{org} = 0,562 - (0,0173 * A) - (0,00132 * E)$	0,44	0,19	150

¹⁾ Aufgrund zu geringer Datengrundlage werden folgende Bodentypen entsprechend den Angaben in Tab. 3 berechnet:

Pararendzina: C_{org} = 6,1 kg/m² bei 9,5°C; je Temperaturänderung um 1 °C Zu- bzw. Abnahme um 0,02 kg/m²

Rendzina: C_{org} = 10,5 kg/m² bei 7,5°C; je Temperaturänderung um 1 °C Zu- bzw. Abnahme um 0,034 kg/m²

Auenboden und Kolluvium: C_{org} = 7,4 kg/m² bei 10,5°C; je Temperaturänderung um 1 °C Zu- bzw. Abnahme um 0,027 kg/m²

²⁾ Tiefenangabe ohne Auflagehumus

Prädiktoren:

A Tiefe unter Flur (cm) [nur bei Grünland und Wald]

B Mittlerer Jahresniederschlag (mm)

C Mittlere Jahrestemperatur (°C)

D Ton (%)

E Sand (%)

F Hangneigung (%)

G Exposition (Grad) [Werte >180: 180-(Wert-180)]

H Reliefposition [TCI_{low}] (dimensionslos)

Die Gehalte und Vorräte an organischem Bodenkohlenstoff weisen eine große räumliche Variabilität auf. Bereits innerhalb kurzer Entfernungen können erhebliche Unterschiede auftreten (Schönig et al. 2006, Spielvogel et al. 2009). Mit Regressionen können oft nur 1/5 bis 1/3 der Varianz erklärt werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014, Fuchs et al. 2010). Deshalb wird i. d. R. auf eine beschreibende Statistik mit Angaben von Perzentilen, Mittelwerten, Standardabweichungen etc. zurückgegriffen (Tab. 3). Die Vorratsberechnungen für größere Gebiete erfolgen dann mittels Hochrechnung der Mittelwerte oder mit geostatistischen Verfahren (Kriging, IDW). Beide Vorgehensweisen setzen eine +/- regelmäßige Standortverteilung und auf vollständige Daten mit Angaben zu C_{org} , TRD und Bodenskelett für das gesamte Bodenprofil voraus. Diese Bedingungen sind in den hier aus verschiedenen Quellen zusammengesetzten Daten nur stellenweise gegeben. Verbreitet liegen nur einzelne Informationen und/oder nur für bestimmte Bodenbereiche vor. Damit können an den meisten Standorten keine C_{org} -Vorräte für das gesamte Bodenprofil direkt aus den Analysedaten berechnet werden. Als Alternative werden die C_{org} -Vorräte landesweit in einem 50 m Raster unter Verwendung der in Kapitel 5.1 und 5.2 dokumentierten Regressionen sowie den entsprechenden Klima-, Relief- und Bodendaten berechnet. Die hier ermittelten Regressionen können zwischen 1/5 und 2/3 der Varianz erklären (Tab. 1 und 2).

Tab. 3: C_{org} und TRD der Acker-Oberböden in Baden-Württemberg

		Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	Pararend- zina	Rend- zina	Auen- boden, Kolluvium	Auengley, Gley, Pseudo- gley
C_{org} -Gehalt (%)	Mittelwert	1,47	1,50	3,03	1,84	2,09
	Standard- abweichung	0,70	1,25	1,71	1,37	1,21
	Anzahl	3813	111	39	266	109
TRD (kg/cm^3)	Mittelwert	1,37	1,36		1,34	1,31
	Standard- abweichung	0,18	0,16		0,19	0,14
	Anzahl	140	23		74	27
C_{org} -Vorrat (kg/m^2) [ohne Bo- denskelett]	Mittelwert	6,2	5,6		6,6	7,2
	Standard- abweichung	3,6	2,6		2,3	3,2
	Anzahl	136	22		72	26

4.2 C_{org} -Gehalte und -Vorräte für den Bereich 30-100 cm u. Fl.

Für die Ableitung der C_{org} -Gehalte und -Vorräte der Böden im Bereich zwischen 30 und 100 cm unter Flur wurde auf eine klimatische Standortdifferenzierung verzichtet. Die C_{org} -Verteilung wird je Nutzung und Bodentypgruppe nur durch eine Tiefenfunktion beschreiben (Abb. 7 und 8, Tab. 4).

Die C_{org} -Gehalte der Bodentypgruppe „Braunerde-Parabraunerde-Pelosol-Terra fusca“ liegen im Tiefenbereich 30-60 cm u. Fl. für Acker überwiegend zwischen 0,25-0,75 % und bei Grünland und Wald zwischen 0,25-1,0 %. Die C_{org} -Vorräte liegen hier sowohl unter Acker, als auch unter Grünland und Wald, verbreitet zwischen 0,05-0,1 $kg/m^2 \times cm$.

Im Übergangsbereich zu den Ackeroberböden und zu dem Tiefenbereich bei Wald und Grünland von 30 cm u. Fl. können je nach Horizontdifferenzierung und Beprobungsart größere Unterschiede, die evtl. auch noch einen Klimaeinfluss aufweisen können, auftreten.

Abb. 7: C_{org}-Gehalte der Unterböden unter Ackernutzung für die Bodentypen Auengley, Auenboden und Kolluvium

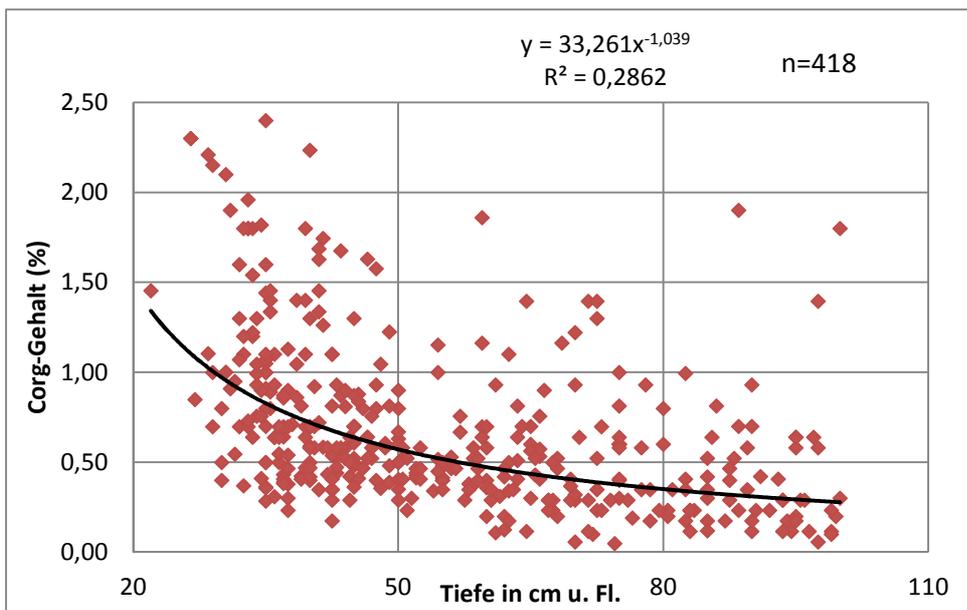
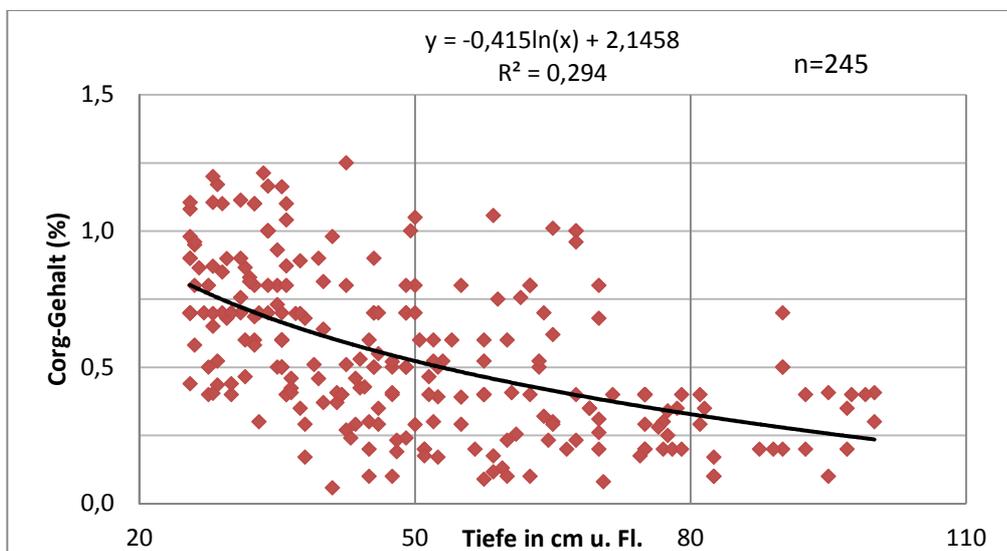


Abb. 8: C_{org}-Gehalte der Unterböden unter Grünland für die Bodentypen Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca



Tab. 4: Berechnung der C_{org}-Gehalte und -Vorräte im Bereich zwischen 30 - 100 cm u. Fl.

Nutzung	Bodentypen	C _{org}					
		Gehalte			Mengen		
		%	R ²	n	kg/m ² x cm	R ²	n
Acker	Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$y = -0,298\ln(x) + 1,6011$	0,23	409	$y = -0,041\ln(x) + 0,2219$	0,22	244
	Pararendzina	$y = 11,651x^{-0,913}$	0,29	56	*		
	Auengley, Auenboden, Kolluvium	$y = 33,261x^{-1,039}$	0,29	418	$y = 3,9248x^{-0,972}$	0,28	199
	Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$y = -0,415\ln(x) + 2,1458$	0,29	245	$y = -0,051\ln(x) + 0,2769$	0,30	113
Grünland	Pararendzina	$y = -0,61\ln(x) + 2,9444$	0,21	26	*		
	Auengley, Auenboden, Kolluvium	$y = 27,72x^{-0,921}$	0,27	181	$y = 2,0048x^{-0,752}$	0,24	87
	Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	$y = 19,687x^{-0,959}$	0,18	1700	$y = 2,0666x^{-0,9}$	0,18	1211
Wald	Pararendzina	$y = 13,775x^{-0,832}$	0,22	23	*		
	Podsol **	$y = 146,84x^{-1,29}$	0,22	148	$y = 24,111x^{-1,375}$	0,26	116
	Auengley, Auenboden, Kolluvium	$y = 1,2588x^{-0,102}$	0,01	224	$y = 8,6095x^{-1,185}$	0,30	145

* Vorräte = Gehalte x TRD mit TRD für 40 / 60 / 80 / 100 cm u. Fl von 1,4 / 1,4 / 1,45 / 1,5

** In den Ausgangsdaten sind auch Profile mit einer Tiefenstufenbeprobung enthalten. Damit können Humusanreicherungen im Unterboden (Bh-Horizonte) i.d.R. nicht abgebildet werden. Mit den Gleichungen können somit nur mittlere Gehalte und Vorräte für größere Profilabschnitte bzw. bis 1 m Tiefe berechnet werden.

4.3 Sonderfälle

Die C_{org} -Gehalte und -Vorräte sehr stark Grund- oder Stauwasser beeinflusster Böden werden über das gesamte Bodenprofil ausschließlich mit tiefenbezogenen Gleichungen ermittelt (Tab. 5). Abhängigkeiten bzgl. Klima-, Relief- oder Bodenartenparameter sind nicht feststellbar.

Tab. 5: C_{org} -Gehalte und -Vorräte sehr stark Grund- oder Stauwasser beeinflusster Böden in Abhängigkeit von der Tiefe unter Flur

Ermittelt mit der mittleren Horizont-, Schicht- oder Tiefenstufe in cm u. Fl. (bis max. 1 m u. Fl.)

Bodentyp	Land- nutzung	Corg-Gehalt			Corg-Vorräte		
		%	R^2	n	($\text{kg/m}^2 \times \text{cm}$)	R^2	n
Nass- und Anmoorgley	Acker	$y = 11,282 e^{-0,039x}$	0,66	35	$y = 0,9808 e^{-0,032x}$	0,72	28
	Grünland	$y = 6,9937 e^{-0,029x}$	0,49	71	$y = 0,3396 e^{-0,016x}$	0,31	42
	Wald	$y = 6,3564 e^{-0,035x}$	0,52	45	$y = 0,3377 e^{-0,021x}$	0,46	24
Stagnogley	Grünland, Wald	$y = 3,1771 e^{-0,043x}$	0,71	132	$y = 0,299 e^{-0,037x}$	0,69	123

x = Tiefe in cm u. Fl.

4.4 Humusgehalte der Oberböden auf Grundlage von Gemeindemittelwerten

Die LTZ-Daten sind aus Datenschutzgründen nicht mit einer exakten räumlichen Verortung verfügbar und weisen als räumliche Bezugsgröße generell nur eine Gemeindeangabe auf. Die Humusgehalte wurden deshalb als Gemeindemittelwert, differenziert nach Landnutzung (Acker, Grünland) und nach Bodenartengruppen (Tab. 6) übermittelt.

Hinweis: Die folgenden Angaben beziehen sich auf Humusgehalte und nicht wie in den anderen Kapiteln auf C_{org} -Gehalte.

Tab. 6: Bodenartengruppen der LTZ-Daten, ergänzt mit mittleren Tongehalten

Bodenartengruppe (LTZ)		Ton (%)	Klassifizierung
Sand	S	5	leicht
schwach lehmiger Sand	l'S	10	
stark lehmiger Sand	lS	15	mittel
sandiger Lehm	sL	20	
schluffiger Lehm	uL	20	
schwach toniger Lehm	t'L	30	schwer
toniger Lehm	tL	40	
lehmiger Ton	lT	50	

Für die weiteren Auswertungen wurden für die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Gemeinden jeweils deren mittlere Jahresniederschläge und Jahrestemperaturen sowie die vorherrschenden Bodentypen der BÜK200 ermittelt.

Die Ergebnisse der multiplen linearen Regressionen sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Gemeindedaten mit weniger als 10 Einzelmessungen wurden nicht verwendet.

Tab. 7: Ableitung der Humus-Gehalte (%) für Acker- und Grünland-Oberböden (Grundlage: Gemeindedaten der LTZ)

Bodentypen	Multiple lineare Regression	R	R ²	n
Acker				
„alle“	Mittlerer Humusgehalt = $6,663 - (0,551 * \text{Jahresmitteltemperatur}) + (0,0581 * \text{Ton})$	0,65	0,43	*
vorherrschend:				
Braunerde, Parabraunerde, Pelosol, Terra fusca	Mittlerer Humusgehalt = $3,909 - (0,376 * \text{Jahresmitteltemperatur}) + (0,0963 * \text{Ton})$	0,73	0,53	**
Grünland				
„alle“	Mittlerer Humusgehalt = $-11,904 + (0,0107 * \text{Jahresniederschlag}) + (0,820 * \text{Jahresmitteltemperatur}) + (0,0558 * \text{Ton})$	0,76	0,58	***

* 111 Datensätze, verteilt auf 66 Gemeinden mit zusammen 9898 Einzelproben

** 52 Datensätze, verteilt auf 15 Gemeinden mit zusammen 2285 Einzelproben

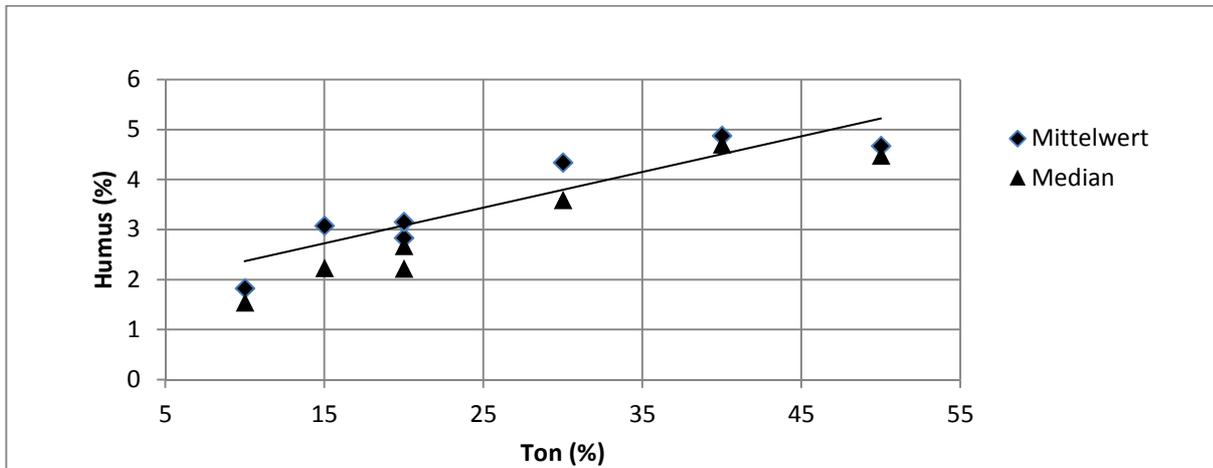
*** 19 Datensätze, verteilt auf 8 Gemeinden mit zusammen 477 Einzelproben

Bei Ackernutzung ist keine Niederschlagsabhängigkeit erkennbar. Die Aussagequalität erhöht sich, wenn die Gemeinden mit höheren Flächenanteilen an Rendzinen, Pseudogleyen und Gleyen nicht berücksichtigt werden. Rendzinen, Pseudogleye und Gleye haben i. d. R. höhere Humusgehalte. Damit weist die Grundgesamtheit aller Ackerdaten ohne Bodentypendifferenzierung insgesamt eine stärkere Streuung auf.

Bei Grünland ist eine weitere Differenzierung nicht sinnvoll (geringere Datenmengen, Zuordnung zu einzelnen Bodentypen nicht möglich).

In Abbildung 9 ist beispielhaft der Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt und dem Tongehalt der Böden dargestellt. Die Verwendung von Humusmittelwerten (je Bodenartengruppe) unterdrückt die Streuung der einzelnen Messwerte, die in den Tabellen 1, 2 und 4 für die geringen Bestimmtheitsmaße verantwortlich ist. Im Endeffekt wird in Abb. 9 auch nur ein Trend, vergleichbar mit den Regressionsdaten (Tab. 1, 2 und 4) abgebildet.

Abb. 9: Mittlere Humusgehalte unter Acker in Abhängigkeit der Tongehalte
 Grundlage LTZ: landesweite Humusmittelwerte je Bodenartengruppe
 $y=0,0713x + 1,6513$ $R^2 = 0,84$;
 Den Mittelwerten liegen insgesamt 10477 Einzeldaten zugrunde.



4.5 Bewertung und Vergleich der einzelnen Einflussfaktoren

Aus den Gleichungen der Tabellen 1 und 7 können die Einflüsse der einzelnen Faktoren auf die berechneten C_{org} -Gehalte direkt abgeleitet werden. Sie sind in Tabelle 8 zusammengestellt. V. a. bei den Grund- und Stauwasserböden treten die Niederschläge bei der C_{org} -Berechnung nicht als differenzierende Größe auf. Hier ist nur eine Temperaturabhängigkeit festzustellen. Bei den Rendzinen und Pararendzinen, mit i. d. R. nur geringen Bodenartenunterschieden, ist der Tongehalt bei den Regressionen keine bestimmende Einflussgröße.

Die Größenordnung der relativen C_{org} -Veränderungen ist abhängig von den ursprünglichen C_{org} -Gehalten. Die Regressionsgleichungen ergeben, dass unter Grünland und Wald oder bei Gleyen und Rendzinen mit insgesamt höheren C_{org} -Gehalten auch stärkere C_{org} -Veränderungen auftreten.

Insgesamt wirkt sich die Zunahme der Jahresniederschläge um 100 mm, die Abnahme der Jahrestemperatur um 1°C und die Erhöhung des Tongehalts um 10% in etwa gleichermaßen auf die Zunahme der C_{org} -Gehalte aus.

Die Angaben in Tabelle 9 wurden aus den dort angegebenen Quellen abgeleitet. Eine bodentypologisch differenzierte Auswertung fand dort nicht statt. Damit ist ein direkter Vergleich mit den Angaben aus Tabelle 5 nur eingeschränkt möglich. Insgesamt liegen aber alle Daten, mit Einschränkungen für die VDLUFA-Angaben, eng beieinander.

Tab. 8: Veränderung der C_{org}-Gehalte (%) der Böden Baden-Württembergs in Abhängigkeit von Tiefen-, Niederschlags-, Temperatur-, Tongehalts- und Sandgehaltsänderungen

Gültigkeitsbereich:

Tiefe 0 bis 30 cm u. Fl.

Acker N: 650-1300 mm, T: 5,5-10,5 °C

Grünland N: 750-1600 mm, T: 6,5-10,5 °C

Wald N: 750-2000 mm, T: 4,5-10,5 °C

Land- nutzung	Bodentyp	Jahres- niederschlag	Jahres- temperatur	Ton	Sand	Tiefe u. Fl.
		Veränderung				
		+100 mm	-1 °C	+10 %	-10%	+1 cm
<i>I BW - Grundlage: multiple lineare Regression (siehe Tab. 1)</i>						
Acker	Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	0,10	0,18	0,16	0,05	
	Gley, Auengley, Pseudogley		0,30	0,37		
Grünland	Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	0,27	0,30	0,35		0,13
	Pararendzina		1,09			0,15
	Rendzina	1,00				0,19
	Auenboden, Kolluvium	0,28	0,30	0,57		0,09
	Gley, Auengley, Pseudogley		0,95			0,12
Wald	Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca	0,27	0,26	0,30		0,19
	Pararendzina		0,67	0,37		0,18
	Rendzina		0,63			0,26
	Podsol	0,32			0,69	0,15
	Gley, Auengley, Pseudogley				0,29	0,24
<i>II BW – Grundlage: Gemeindemittelwerte – multiple lineare Regression (siehe Tab. 7)</i>						
Acker	vorherrschend Braunerde, Para- braunerde, Pelosol, Terra fusca		0,22	0,56		
	Grünland	0,62	0,48	0,32		
<i>III BW - Grundlage: Gemeindemittelwerte (siehe Abb. 9)</i>						
Acker				0,41		

Beispiel - Braunerde unter Grünland: Ein Temperaturrückgang um 1°C führt zu einer Zunahme des C_{org}-Gehalts um 0,3 % (d.h. Veränderung von z. B. 3,4 auf 3,7 %).

Tab. 9: Veränderung der C_{org} -Gehalte (%) der Böden-Baden-Württembergs in Abhängigkeit von Niederschlags-, Temperatur- und Tongehaltsänderungen [abgeleitet aus Literaturangaben]

Gültigkeitsbereich:

Tiefe 0 bis 30 cm u. Fl.

Acker N: 650-1300 mm, T: 5,5-10,5 °C

Grünland N: 750-1600 mm, T: 6,5-10,5 °C

Wald N: 750-2000 mm, T: 4,5-10,5 °C

Landnutzung	Gebiet	Jahresniederschlag	Jahrestemperatur	Ton
		+100 mm	-1 °C	+10 %
<i>VDLUF A 2010 (S. 269, 273)</i>				
Acker	Süd- und Mitteldeutschland	0,04	0,01	0,15
<i>Billen & Stahr 2013</i>				
Acker	Baden-Württemberg	0,16	0,13	0,31
Grünland		0,01	0,34	0,39
Wald		0,13	0,50	0,43
<i>Körschens & Schulz 1999</i>				
Acker				0,50
<i>Kolbe 2009 *</i>				
Acker	Sachsen	0,30	0,25	
<i>Capriel 2010</i>				
Acker	Bayern	0,20	0,33	0,30
<i>Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014 (S. 50) **</i>				
Wald	Bayern	0,05	0,22	

* Die Tabellenwerte wurden für den o. a. Gültigkeitsbereich aus den Originalangaben abgeleitet. Diese Angaben können für Schwarzerdegebiete nicht übernommen werden. Geringere (abnehmende) Niederschläge und höhere (zunehmende) Temperaturen führen hier zu steigenden C_{org} -Gehalten (Kolbe 2009).

** Die Vorratsänderungen der Gesamtprofile in kg/m^2 wurden auf den Bereich 0-30 cm bei einer TRD von 1,2 umgerechnet.

Beispiel - Wald: Ein Temperaturrückgang um 1°C führt zu einer Zunahme des C_{org} -Gehalts um 0,5 % (d.h. Veränderung von z. B. 3,4 auf 3,9 %).

5 C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs

5.1 Status Quo

Alle für die Regressionsgleichungen notwendigen Prädiktoren incl. der Landnutzung wurden in einem 50 m Raster erhoben. Die Bodendaten (Bodentyp, Ton-, Sand- und Skelettgehalt bis 1 m Tiefe) wurden der BK50 entnommen. Diese liegt aktuell für ca. 85% der Landesfläche vor. Die Datenlücken befinden sich südlich und nördlich von Ulm. Für jedes Raster wurden die C_{org} -Vorräte berechnet und als nutzungsbezogener Mittelwert je ha ausgegeben (Tab. 11).

Die geringeren C_{org} -Gehalte der Ackeroberböden treten bei den C_{org} -Vorräten nicht so deutlich hervor. Die höheren Trockenrohdichten in Kombination mit den verbreitet geringeren Skelettgehalten und den insgesamt eher größeren Lockergesteinsmächtigkeiten führen zu einer Nivellierung der nutzungsbezogenen Mittelwerte. Die Grünlandwerte heben sich auch ohne Berücksichtigung der Moor- und Anmoorstandorte etwas ab. Die Moor- und Anmoorstandorte werden vorherrschend als Grünland genutzt oder sind nichtgenutzte Naturschutzflächen. In der hier verwendeten einfachen Landnutzungsklassifizierung wird Ödland dem Grünland zugerechnet.

Eine Auswertung der 302 BZE-Waldstandorte für Baden-Württemberg ergab je nach Bodentiefe 65, 87 oder 94 t C_{org} /ha (Von Wilpert 2014). Die geringere Datenbasis mit jedoch vollständigen Analysedaten (v.a. auch TRD, Skelettgehalt und Lockergesteinsmächtigkeit) liefern 6 - 13 % geringere C_{org} -Vorräte als unsere Auswertungen, die auf einer größeren Anzahl an C- und TRD-Messungen beruhen. Bei der Regionalisierung in einem 50 m Raster musste jedoch auf geschätzte Skelettanteile und Lockergesteinsmächtigkeiten zurückgegriffen werden (Tab. 11).

Mit den ermittelten landesweiten Regressionen können lokale und regionale Besonderheiten nicht abgebildet werden. So kommen z. B. in den Hochlagen des Südschwarzwalds unter Wald verbreitet höhere Humusgehalte in den Unterböden vor (Humusbraunerden). Deren Entstehung wird auf das Vorkommen einer bestimmten Regenwurmart (*Lumbricus badensis*) zurückgeführt. In den Hochlagen der westlichen Schwäbischen Alb kommen unter Grünland humose Bodenhorizonte bis in 40 cm Tiefe vor (Rendzinen). Diese beiden mächtigeren Humusanreicherungen sind in den Vorratsberechnungen und -darstellungen (Tab. 11 und 12, Abb. 10 - 23) nicht berücksichtigt.

Die Umrechnung der Hektarmittelwerte (Tab. 11) erfolgte mit den Landnutzungsflächenangaben des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg (Tab. 12). Für die Siedlungsflächen wurde ein durchschnittlicher Versiegelungsgrad von 50% angesetzt.

Tab. 10: C_{org} im Auflagehumus der Waldböden (Mittelwerte)

Bodentyp	Mächtigkeit	C _{org} -Gehalte	C _{org} -Vorräte		Anzahl
	cm	%	kg/m ² x cm	kg/m ²	(„Mächtigkeit“ / „Gehalte“ / „Vorräte“)
Braunerde, Parabraunerde ¹⁾	3,4	33	0,74	2,5	331 / 214 / 18
Pelosol, Terra fusca ¹⁾	1,5				18 / /
Podsol ¹⁾	5,4	40	0,86	4,6	25 / 13 / 6
Gley, Auengley, Pseudogley ¹⁾	4,3	32	0,91	3,9	65/ 36 / 11
<i>Übertragung auf Humusformen</i>					
Mull				0	
Mull – Moder				1,3	
Moder				2,5	
Moder – Rohhumus				4,0	
Rohhumus				5,5	

¹⁾ Alle Angaben beziehen sich nur auf Standorte mit O-Horizonten.

66 bis 75 % der gesamten C_{org}-Vorräte befinden sich in den obersten 30 cm. Die Werte nehmen in den obersten 30 cm und im Gesamtprofil in der Reihenfolge Acker < Wald < Grünland zu. Die Unterschiede sind nicht nur auf die verschiedenen Landnutzungen zurückzuführen. Zusätzlich haben die Klima- und Bodenverhältnisse einen Einfluss. Ackerbau wird vorherrschend in den wärmeren und niederschlagsärmeren Landesteilen betrieben (Tab. 14). Grünlandstandorte weisen häufiger Grundwasser beeinflusste Böden und Auenböden auf. Die Vergleiche zwischen unterschiedlichen Landnutzungen, oder überregionale Vergleiche einzelner Landnutzungen (Tab. 11 und 12), sind stets in diesem Gesamtkontext zu betrachten.

Die Boden- und Klimaverhältnisse in Bayern sind, mit Ausnahme des Alpenraums, gut mit den baden-württembergischen Verhältnissen vergleichbar. Die bayerischen Literaturangaben wurden deshalb zum Vergleich direkt in Tabelle 11 aufgenommen.

Die mittleren landesweiten Vorräte bis 100 cm u. Fl. liegen für Acker bei 98 t/ha, für Grünland bei 115 t/ha und unter Wald bei 101 t/ha. Sie unterscheiden sich von den baden-württembergischen BZE Wald-Daten und den bayerischen Acker-, Grünland- und Walddaten um nur 3 bis 8 % (Tab. 11). Deren Werte liegen bei 94 t/ha [BW Wald], 90 t/ha [Bayern Acker], 118 t/ha [Bayern Grünland] und 98 t/ha bzw. 117 t/ha [Bayern Wald] (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014, Von Wilpert 2014). Trotz unterschiedlicher Ausgangsdaten (vollständige, einheitliche, regelmäßig verteilte Bodendaten – unterschiedliche, unvollständige, zahlreiche Bodendaten) und verschiedener Regionalisierung (Mittelwerte bzw. Kriging – Regressionen und Umsetzung im 50 m Raster) führen in Süddeutschland zu nahezu identischen landesweiten nutzungsbezogenen Mittelwerten.

Die C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs betragen 240 Mio. t für den Bereich 0-30 cm u. Fl. und 342 Mio. t bis 1 m Tiefe (Tab. 13).

Tab. 11: Mittlere C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs in t/ha [Regionalisierung mit BK50 für ca. 85% der Landesfläche]

Nutzung	Hinweis	Tiefe (cm u. Fl)		
		0 - 30	0 - 70	0 - 100
Acker		66	89	98
Grünland (incl. Ödland)	ohne Moor- und Anmoor- standorte	81	106	115
	incl. Moor- und Anmoor- standorte	92	125	137
Wald ¹⁾		75	94	101
<i>Weitere Daten aus Süddeutschland</i>				
Acker	Bayern ⁵⁾			90
Grünland	Bayern ⁵⁾			118
	Bayern ⁵⁾			98
Wald	Bayern ⁴⁾			117
	Baden-Württemberg ²⁾	65	87 ³⁾	94 ³⁾

1) Incl. Auflagehumus

2) Von Wilpert (2014)

3) Umrechnung der Originaldaten 0-60 und 60-90 cm

4) Schubert (2010)

5) Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014, S. 28) [Hinweis: mittlere Bodentiefe 93 cm]

Tab. 12: Mittlere C_{org}-Vorräte der Böden in Mitteleuropa in t/ha [*Literaturangaben*]

Region	Acker	Grünland	Wald	Quelle
<i>Tiefe 0-30 cm u. Fl.</i>				
Belgien	41 - 50	79 - 89	88 - 96	Goidts und van Wesemael 2007, Geoidts et al. 2009, Lettens et al. 2005, Meersmans et al. 2011, Stevens und van Wesemael 2008 *
Frankreich	49	76	70	Martin et al. 2011 *
Belgien			63	
Frankreich			53	
Dänemark			93	
Niederlande			57	Liski et al. 2002 *
Österreich			107	
Deutschland			102	
Schweiz			150	
<i>Tiefe 0 – 100 cm</i>				
Sachsen-Anhalt	102	90 / 150 **	68 ***	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt 2014
Deutschland			121	Baritz und Strich 2000 *
Österreich	67	135 - 162	114	Gingrich et al. 2007 *
Schweiz	90	93 - 117	119	Bollinger et al. 2008, Leifeld et al. 2005 *
Belgien	84	111 - 160	148 - 155	Mestdagh et al. 2009, Lettens et al. 2005 *

* Angaben übernommen aus Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014, S. 26)

** ohne Moorstandorte 90 t/ha, mit Moorstandorte 150 t/ha

*** ohne Auflagehumus

Tab. 13: C_{org}-Vorräte in Baden-Württemberg in Mio. t

Umrechnung der ha-Werte aus Tab. 11 mit den Nutzungsflächen des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg

Nutzung	Fläche (ha)	Tiefe (cm u. Fl.)		
		0 - 30	0 - 70	0 - 100
Acker	970.000	64	87	95
Grünland (incl. Ödland)	650.000	60	81	89
Wald ¹⁾	1.370.000	103	129	138
Rebland ²⁾	29.000	2	3	3
Siedlungen ³⁾	320.000	11	14	16
Verkehr	197.000	0	0	0
Gewässer	39.000	0	0	0
<i>Baden-Württemberg</i>	<i>3.575.000</i>	<i>240</i>	<i>313</i>	<i>342</i>

1) Incl. Auflagehumus

2) Geringe Datengrundlagen, berechnet mit mittleren Acker-Werten

3) Berechnet mit mittleren Acker-Werten bei einem Versiegelungsgrad von 50%

Abb. 8: C_{org} -Gehalte der Oberböden Baden-Württembergs [50 m Raster]

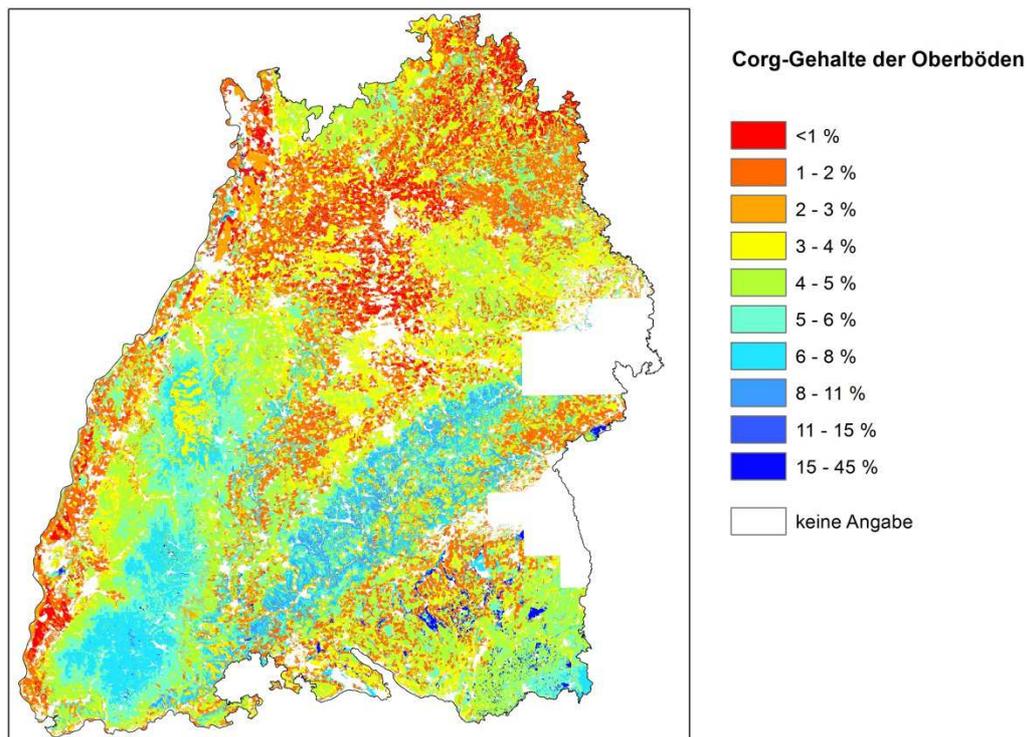


Abb. 9: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs bis 30 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]

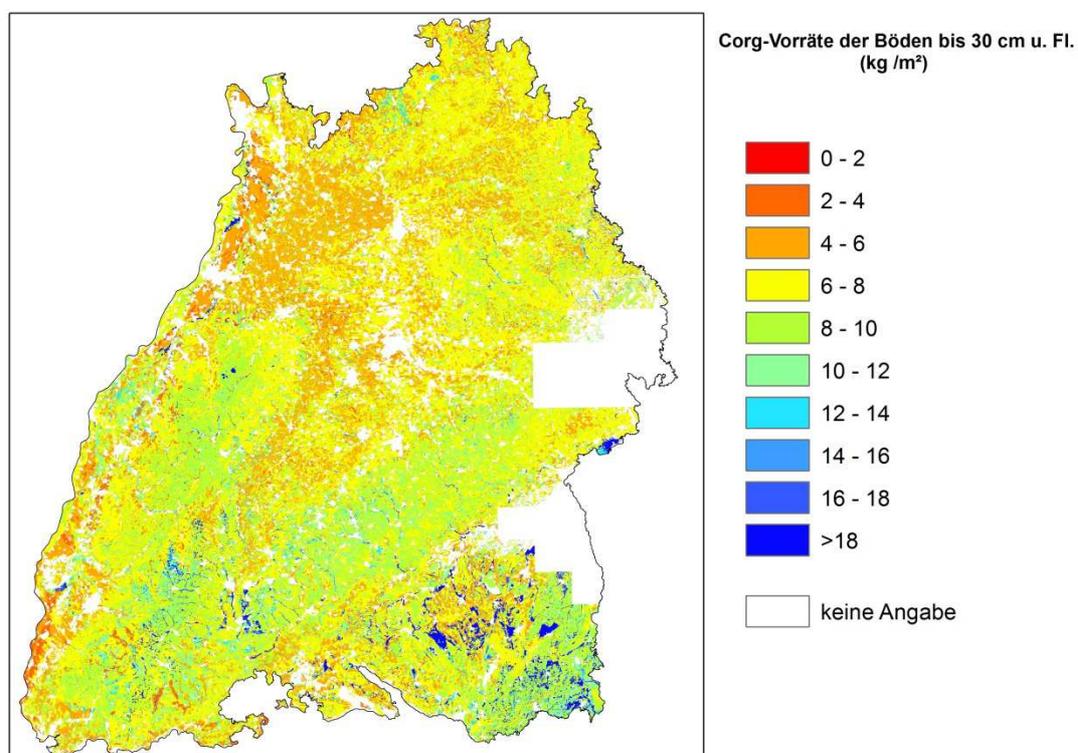


Abb. 10: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs bis 70 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]

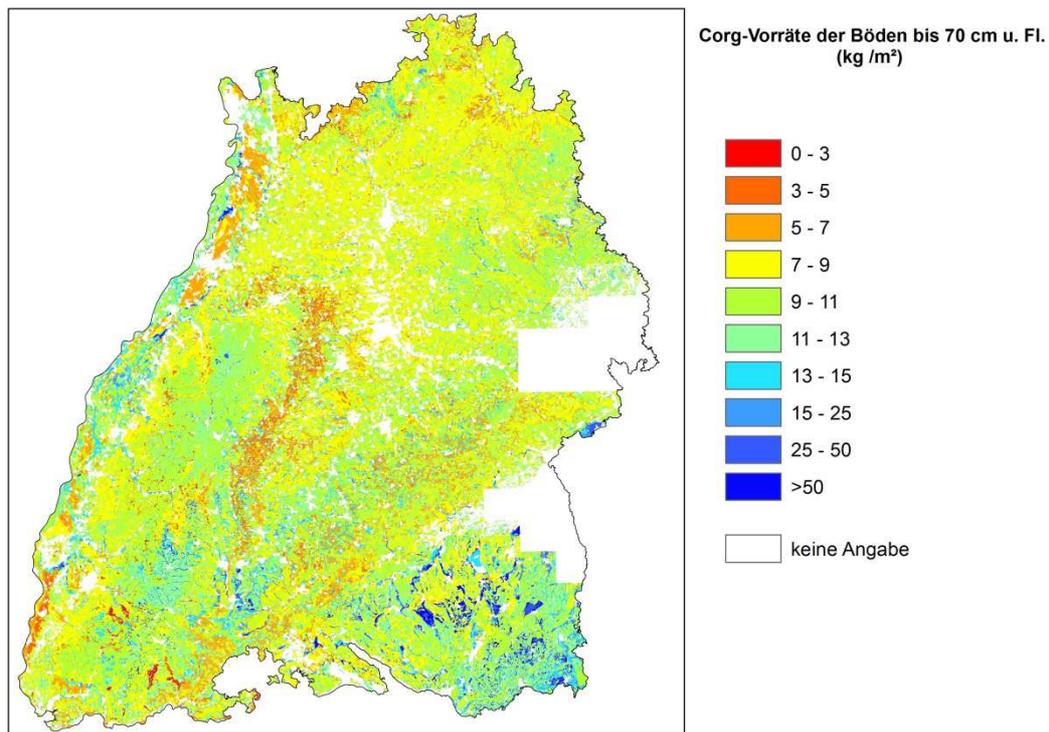


Abb. 11: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs bis 100 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]

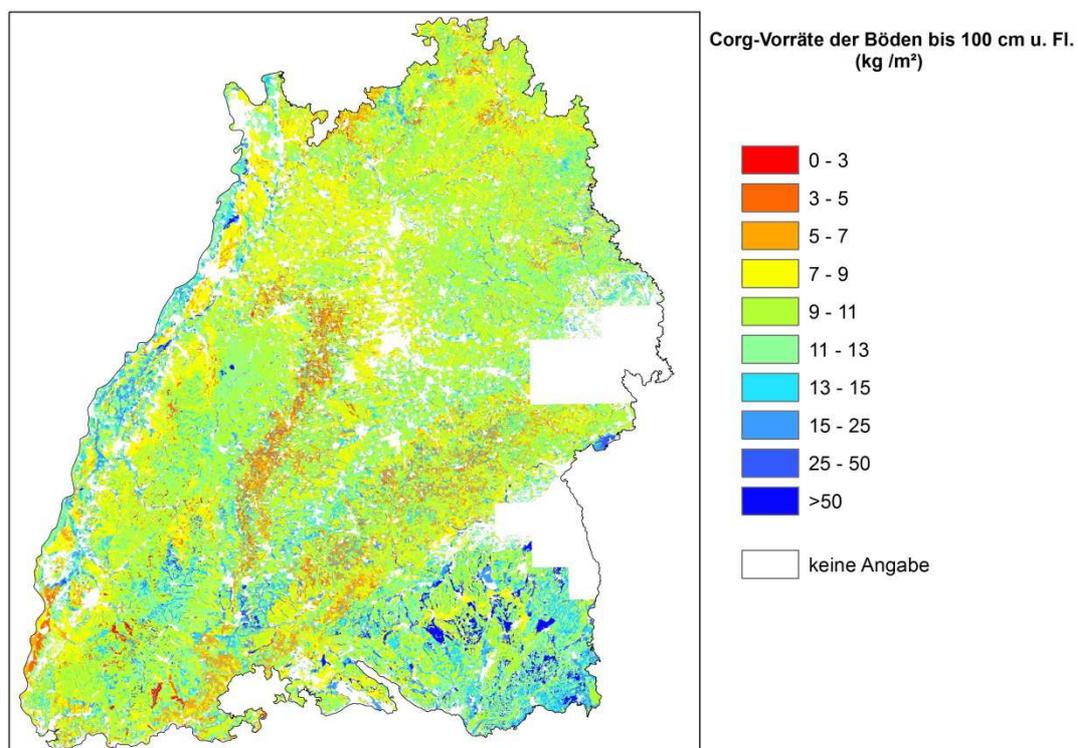


Abb. 12: C_{org} -Gehalte der Oberböden Baden-Württembergs unter Ackernutzung [50 m Raster]

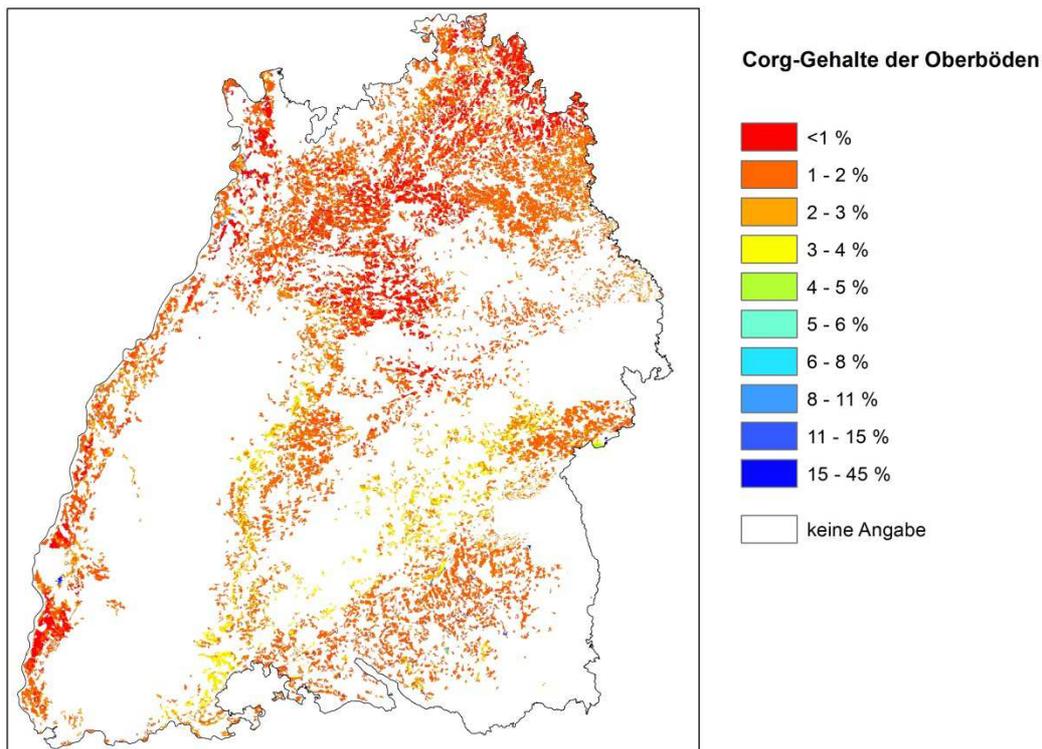


Abb. 13: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Ackernutzung bis 30 cm u. Fl. [50 m Raster]

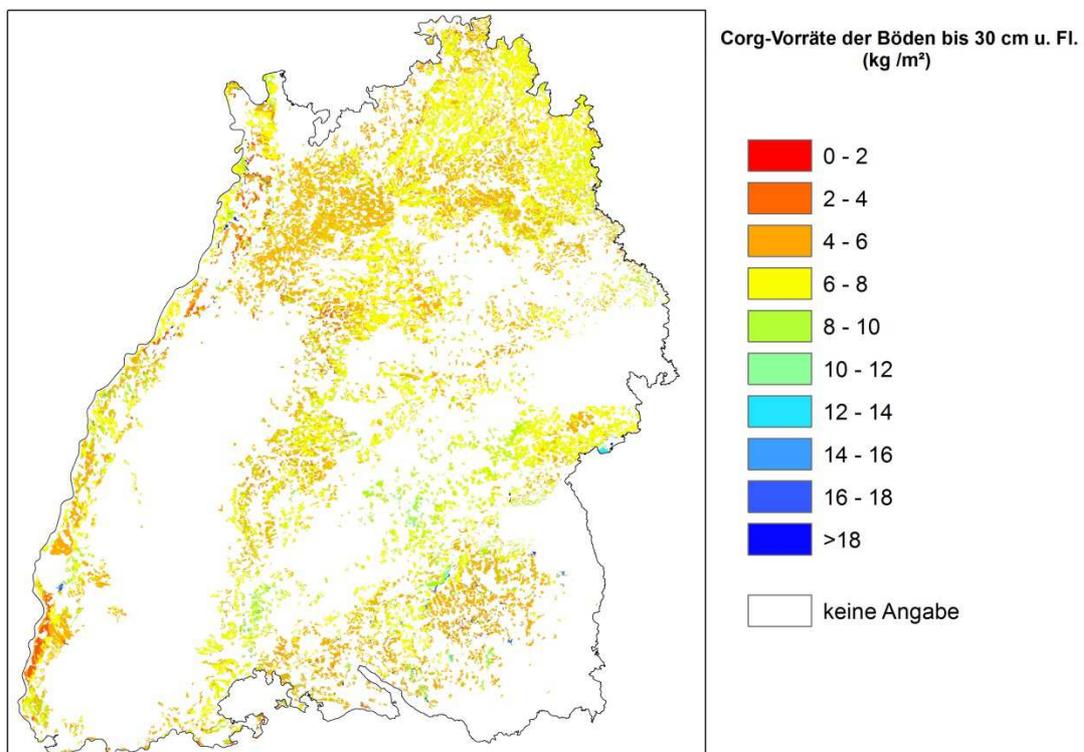


Abb. 14: C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Ackernutzung bis 70 cm u. Fl. [50 m Raster]

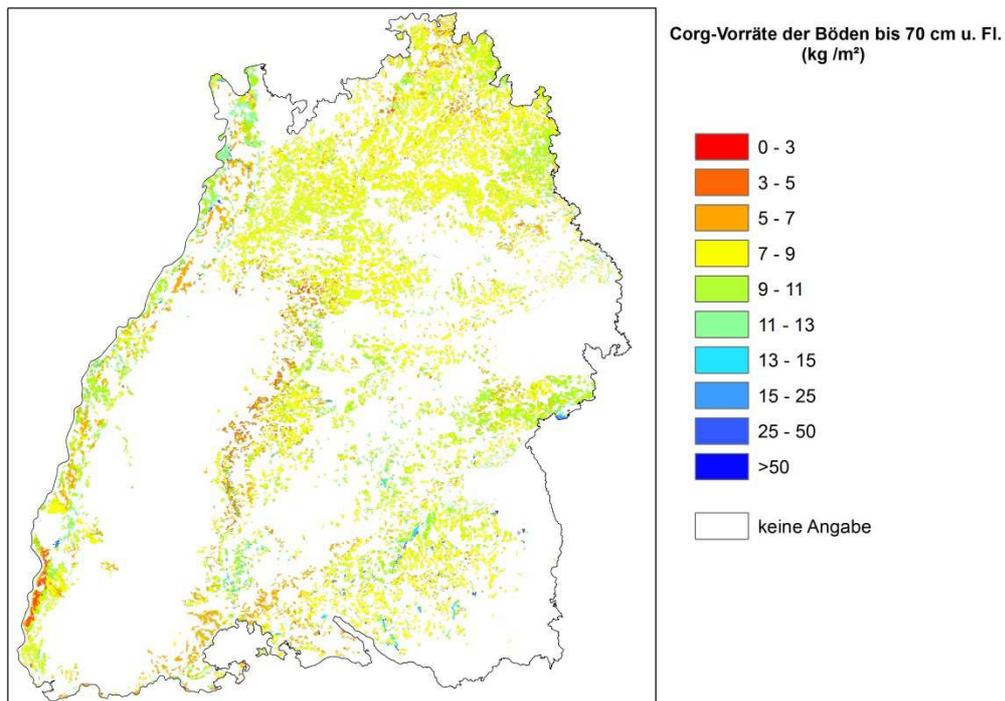


Abb. 15: C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Ackernutzung bis 100 cm u. Fl. [50 m Raster]

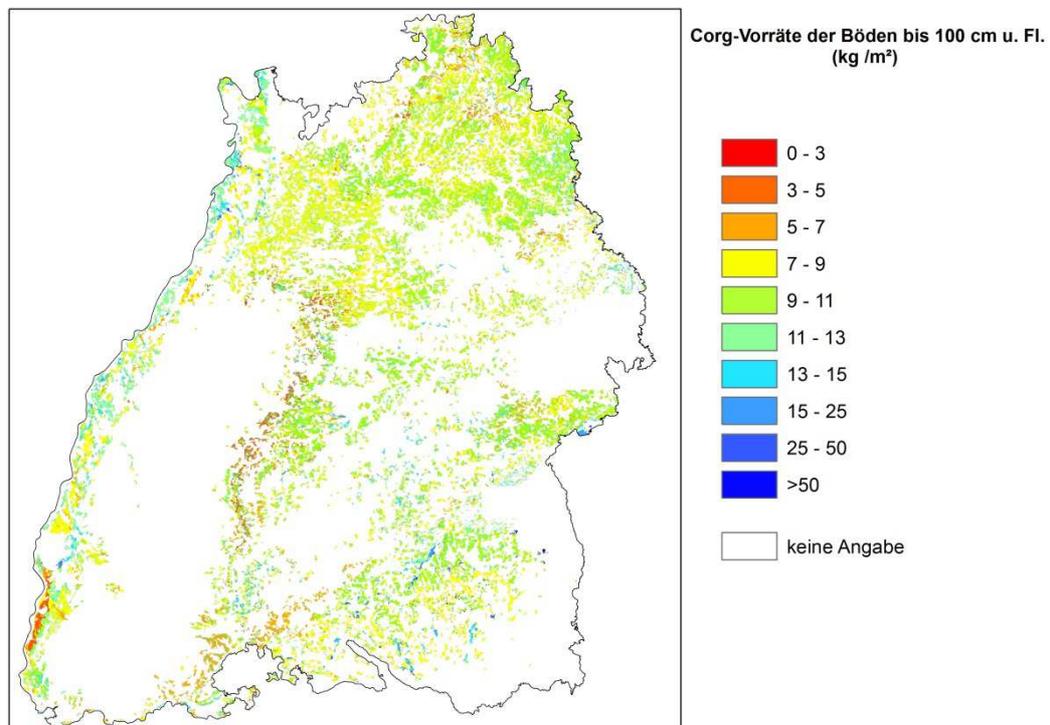


Abb. 16: C_{org} -Gehalte der Oberböden Baden-Württembergs unter Grünlandnutzung [50 m Raster]

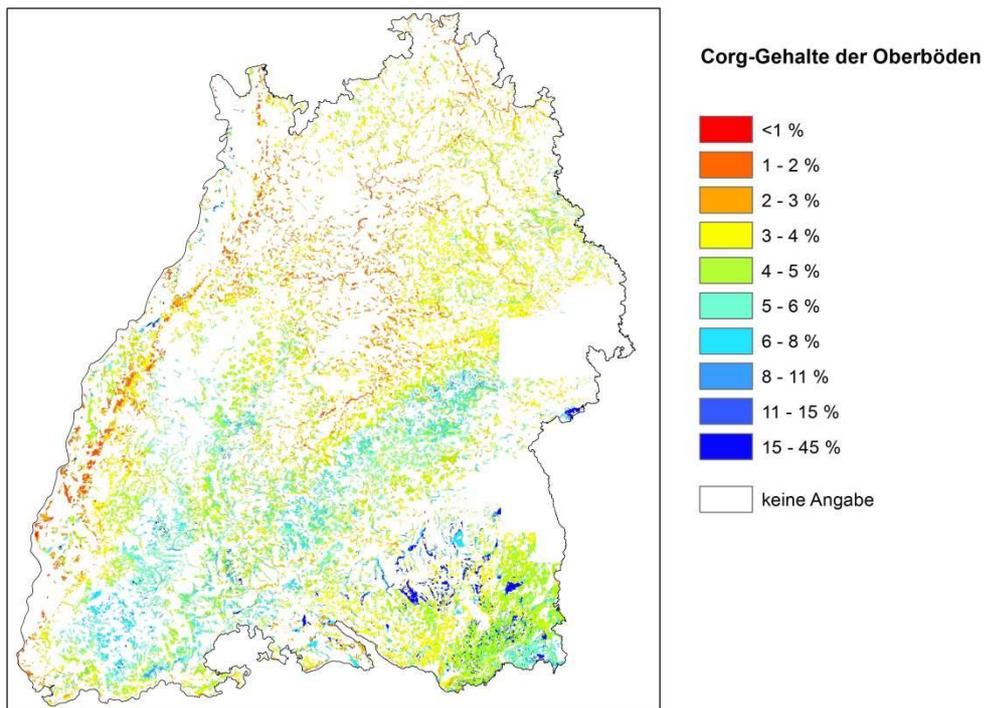


Abb. 17: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Grünlandnutzung bis 30 cm u. Fl. [50 m Raster]

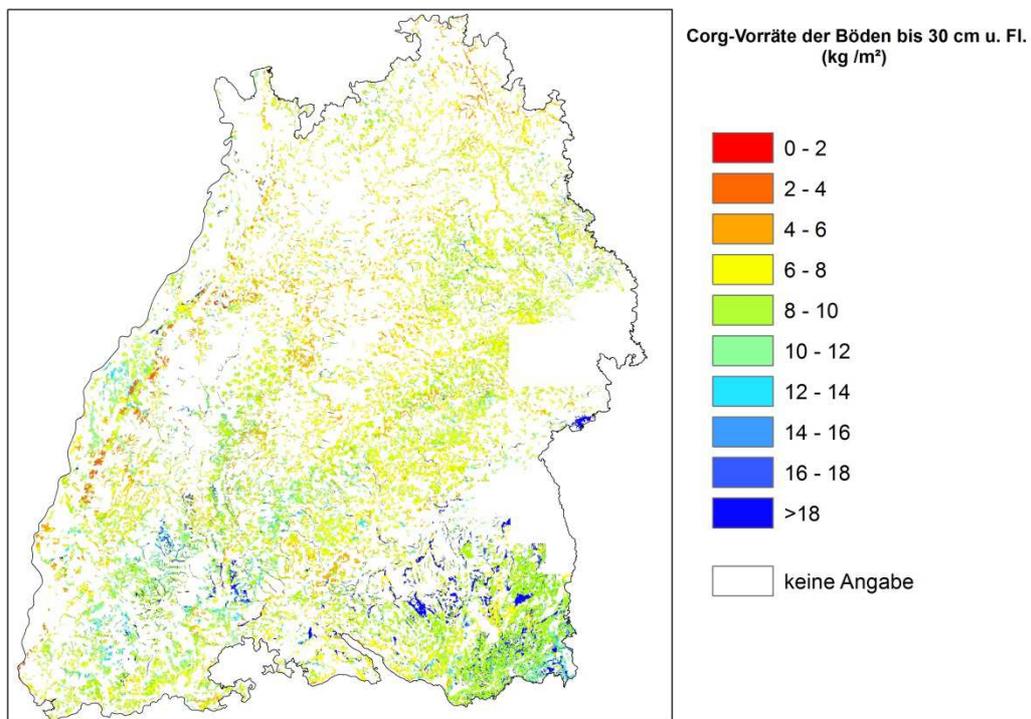


Abb. 18: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Grünlandnutzung bis 70 cm u. Fl. [50 m Raster]

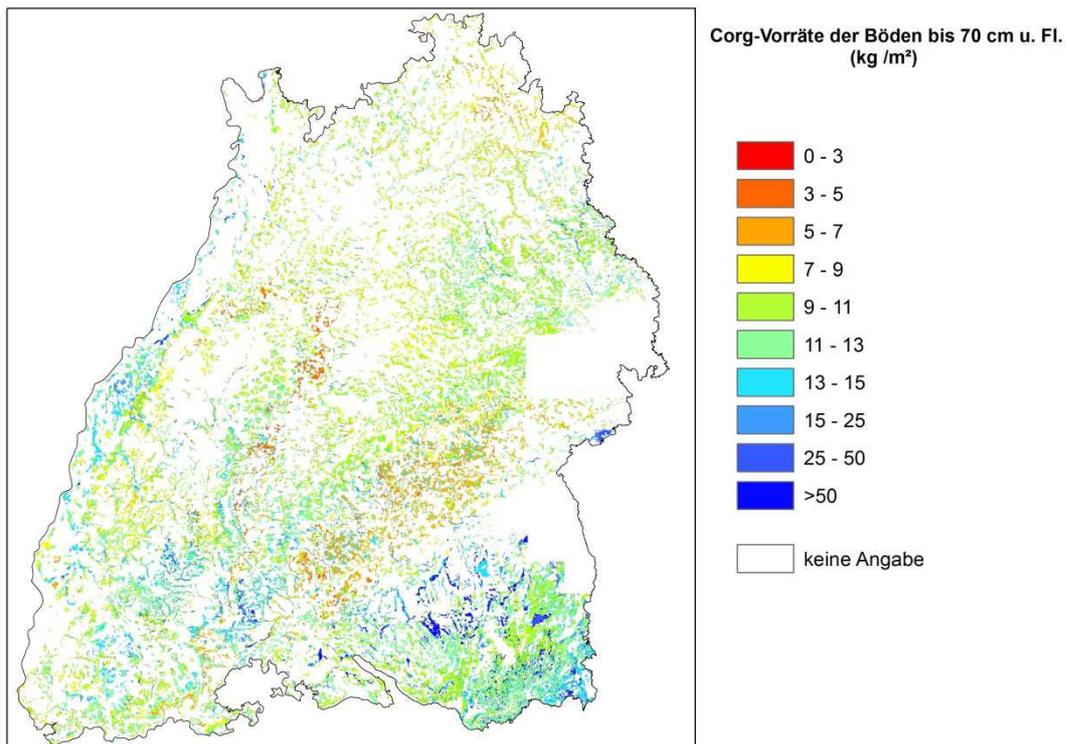


Abb. 19: C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Grünlandnutzung bis 100 cm u. Fl. [50 m Raster]

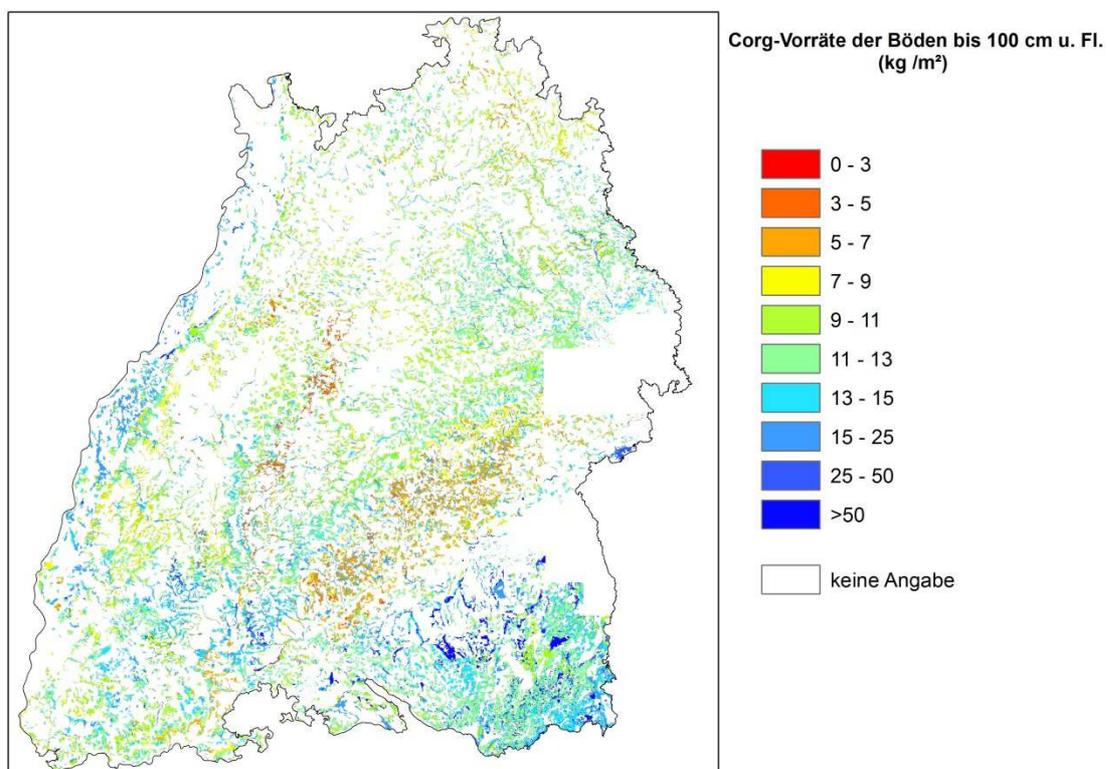


Abb. 20: C_{org}-Gehalte der Oberböden Baden-Württembergs unter Wald [50 m Raster]

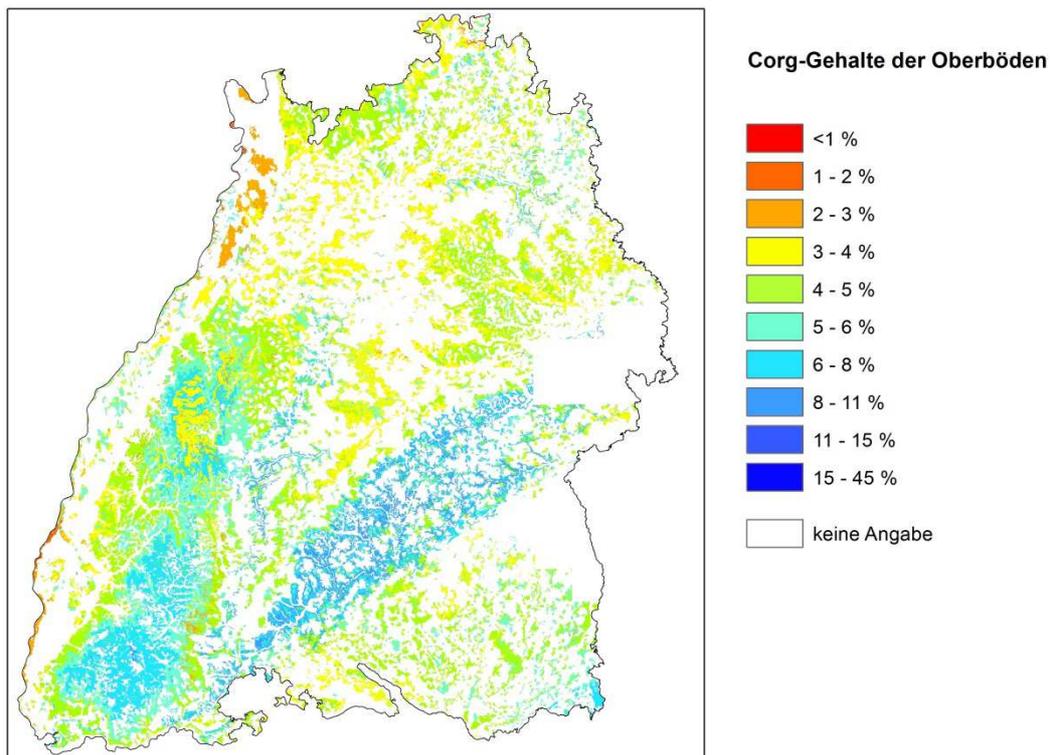


Abb. 21: C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Wald bis 30 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]

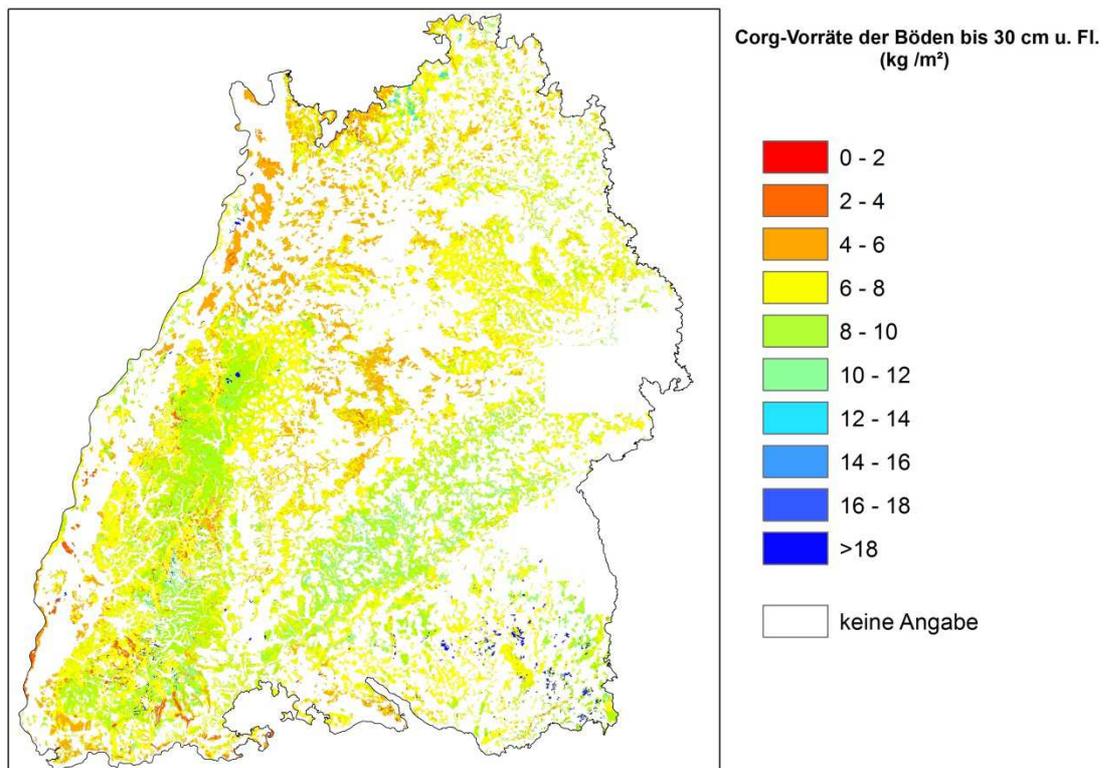


Abb. 22: C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Wald bis 70 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]

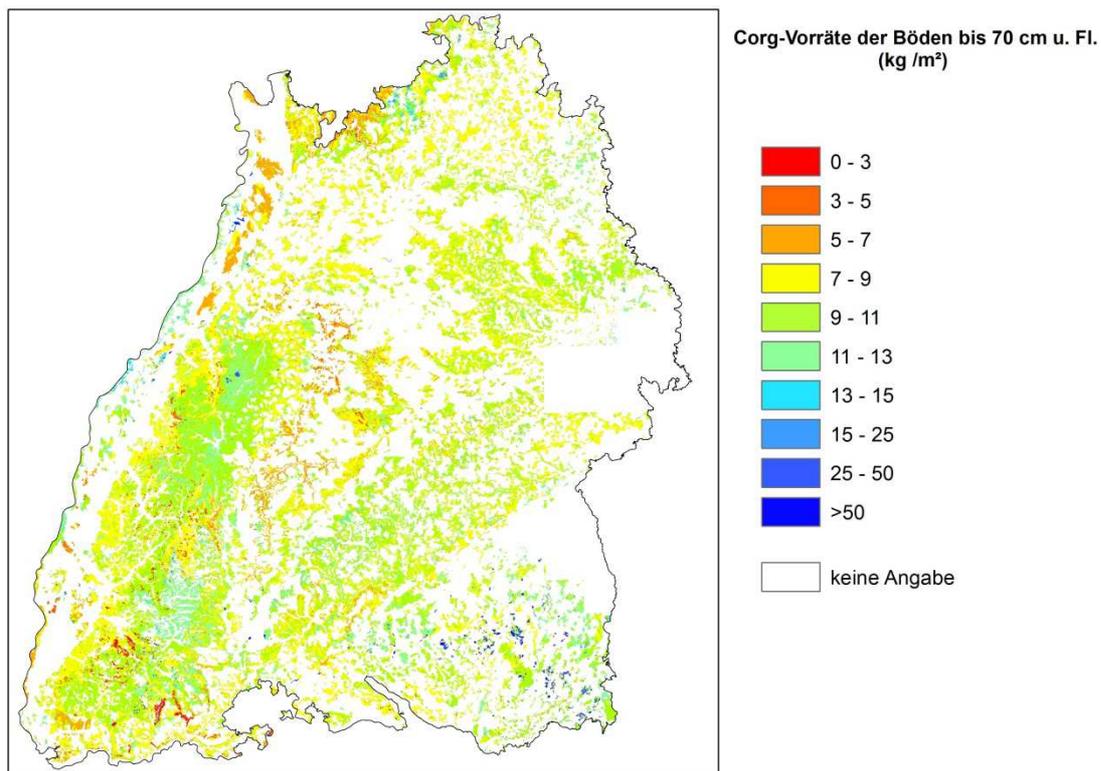
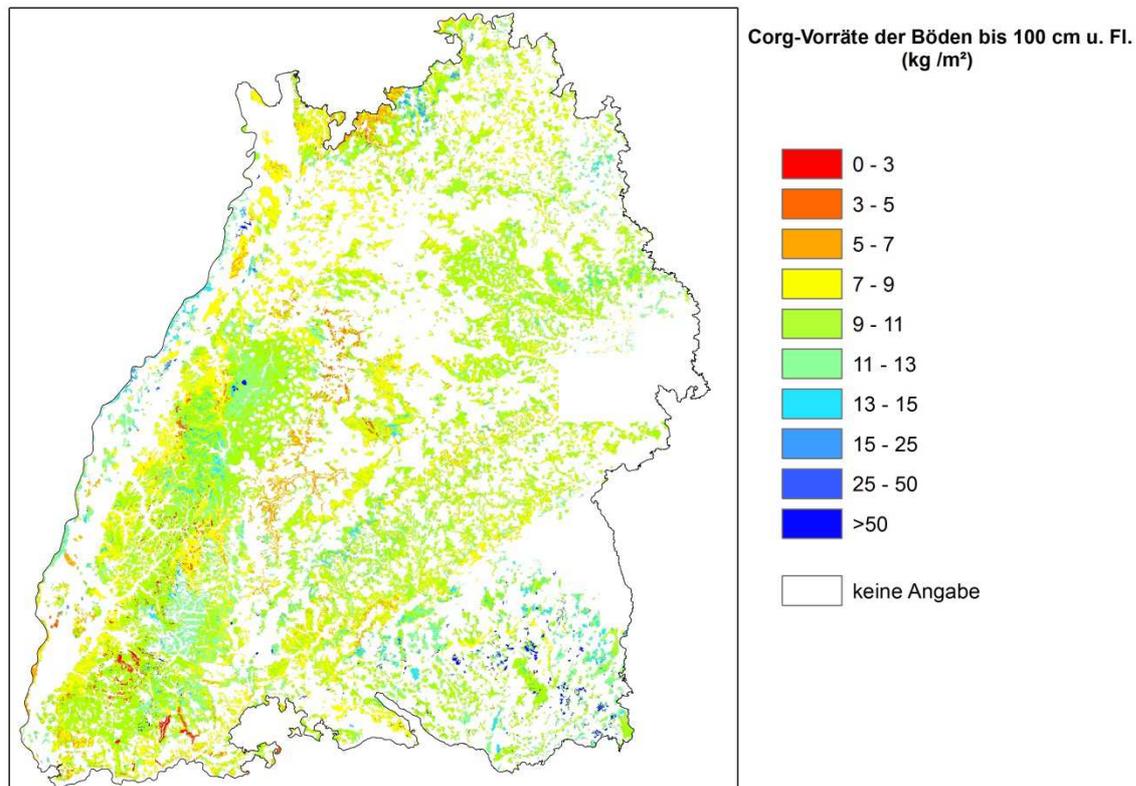


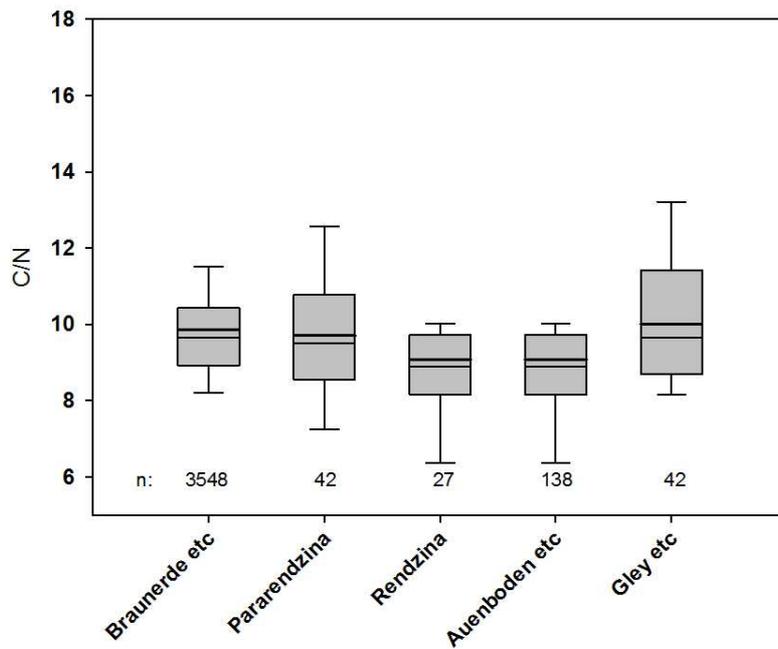
Abb. 23: C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs unter Wald bis 100 cm u. Fl. (incl. Auflagehumus) [50 m Raster]



5.2 C/N-Verhältnis

Die mittleren CN-Verhältnisse der Ackerstandorte liegen zwischen 9 und 10 und der Grünlandflächen zwischen 10 und 11. Die Grundwasserböden unter Grünland weisen etwas höhere Werte auf. Die Waldstandorte haben mit CN-Verhältnissen von 12 bis 22 deutlich höhere Werte mit einer stärkeren bodentypologischen Differenzierung (Abb. 24 - 26).

Abb. 24: C/N-Verhältnis der Oberböden unter Ackernutzung

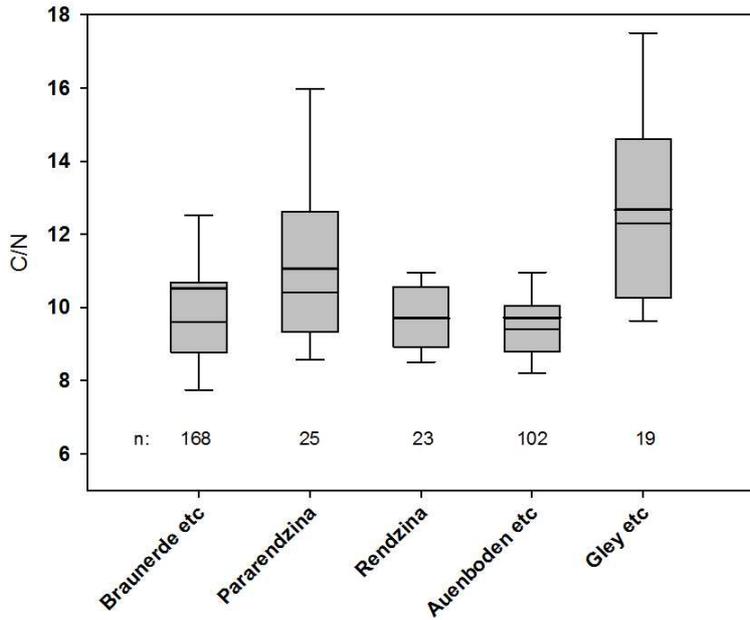


Braunerde etc: Braunerden, Parabraunerde, Pelosole und Terra fuscae

Auenboden etc.: Auenböden, Kolluvien

Gley etc.: Auengleye, Gleye und Pseudogleye

Abb. 25: C/N-Verhältnis der Böden unter Grünlandnutzung bis 30 cm u. Fl.

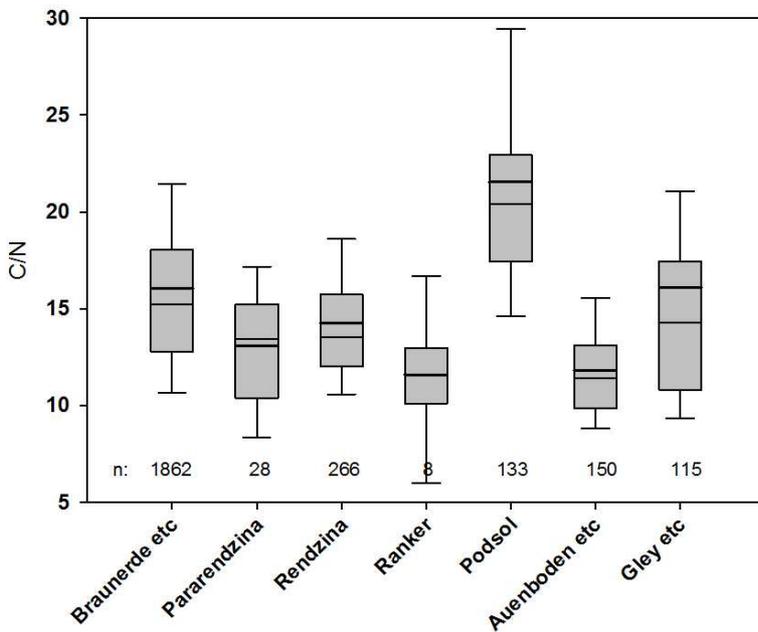


Braunerde etc.: Braunerden, Parabraunerde, Pelosole und Terra fuscae

Auenboden etc.: Auenböden, Kolluvien

Gley etc.: Auengleye, Gleye und Pseudogleye

Abb. 26: C/N-Verhältnis der Böden unter Wald bis 30 cm u. Fl.



Braunerde etc.: Braunerden, Parabraunerde, Pelosole und Terra fuscae

Auenboden etc.: Auenböden, Kolluvien

Gley etc.: Auengleye, Gleye und Pseudogleye

5.3 Veränderungen der C_{org}-Vorräte bei zunehmender Temperaturerhöhung

Zur Berücksichtigung von Temperaturveränderungen wurden die ursprünglich verwendeten mittleren Jahrestemperaturen in mehreren Schritten um jeweils 1°C erhöht. Die entsprechenden C_{org}-Vorräte der Böden bis 30 cm u. Fl. wurden entsprechend den Regressionsgleichungen neu berechnet und mittels 50 m Raster auf Baden-Württemberg hochgerechnet.

In den Regressionen werden nur Temperaturwerte bis max. 10,5°C eingesetzt. Bis hierher erstreckt sich der Gültigkeitsbereich der erstellten Regressionen. Berechnungen mit höheren Temperaturen führen zu einer Überinterpretation und zu unrealistischen bzw. falschen C_{org}-Gehalten und -Vorräten. So nehmen z. B. in Sachsen die C_{org}-Gehalte der Böden auch mit zunehmender Temperatur ab. In den trockenen und warmen Gebieten flacht dieser Trend ab und kehrt sich um (Kolbe 2009). Mit der durchgeführten zunehmenden Temperaturerhöhung verringern sich damit kontinuierlich die Gebiete, bei denen noch C_{org}-Vorratsveränderungen berechnet wurden. Bei einer Erhöhung um 1°C werden z. B. ca. 12% und bei 3°C bereits ca. 60% der Ackerfläche mit unverändertem C-Status weitergeführt (Tab. 14). Dementsprechend verringern sich die C_{org}-Unterschiede mit zunehmender Temperaturangabe (Tab. 15 und 16).

Tab. 14: Landnutzungs- und Temperaturverteilung in Baden-Württemberg (Umweltministerium Baden-Württemberg 2012).

Temperatur Mittelwerte 1961-90 (°C)	Flächen (ha)		
	Acker	Grünland (incl. Ödland)	Wald
3-4		600	2.092
4-5		4.831	13.082
5-6	3.548	33.532	80.123
6-7	64.176	150.728	240.583
7-8	275.796	351.761	410.653
8-9	259.079	249.964	342.646
9-10	178.517	98.849	164.672
10-11	104.171	57.687	68.238
<i>Summe</i>	<i>827.664</i>	<i>907.037</i>	<i>1.305.637</i>

Bei starken Temperaturveränderungen überschreitet man, sowohl bei der hier vorgelegten einfachen Abschätzung als auch bei umfangreichen Modellierungen die Gültigkeitsbereiche der jeweiligen zugrundeliegenden Methoden. Je weiter man sich davon entfernt desto unsicherer werden die Aussagen. Nicht nur die Höhe der C_{org} -Vorratsänderungen, sondern sogar die Richtung der Veränderung (Verringerung oder Anreicherung) wird zunehmend spekulativ.

Tab. 15: Abschätzung der C_{org} -Vorräte der Böden Baden-Württembergs zwischen 0-30 cm u. Fl. in t/ha bei zunehmender Temperaturerhöhung

Nutzung	Temperaturveränderung ^{1), 2)}				
	status quo	+1°C	+2°C	+3°C	+4°C
Acker	66	61	58	56	56
Grünland	92	85	78	74	72
Wald	75	71	68	66	66

- 1) Die Temperaturen wurden nur bis maximal 10,5 °C (Klasse 10-11°C) erhöht. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Regressionen sind nur bis hierher gültig. Eine weitere lineare C_{org} -Abnahme bei höheren Temperaturen ist nicht wahrscheinlich. So nehmen z. B. in den trocken-warmen Schwarzerdegebieten in Sachsen C_{org} -Gehalte und -Vorräte wieder zu. (Kolbe 2009). Die Flächenanteile der einzelnen Temperaturklassen (status quo) sind Tab. 14 zu entnehmen.
- 2) Bei Mooren, Anmoor-, Nass- und Stagnogleyen werden keine C_{org} -Vorratsänderungen bei veränderten Temperaturen berechnet.

Die C_{org} -Vorratsänderungen der Böden Baden-Württembergs betragen unter den in Tabelle 15 angegebenen Rahmenbedingungen je nach Landnutzung maximal 10 – 20 t/ha. Diese einfachen Abschätzungen liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die rel. aufwendig modellierten Ergebnisse für Bayern. In Bayern ergeben die modellierten C_{org} -Vorratsänderungen bis zum Jahr 2100 bei konstantem C-Input für das Klimaszenario A1B (REMO_UBA) unter Acker und Grünland einen Rückgang von 12 – 16 t/ha und für Wald von 20 – 22 t/ha (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014, S. 81f).

Tab. 16: Abschätzung der C_{org}-Vorräte der Böden Baden-Württembergs zwischen 0-30 cm u. Fl. in Mio. t bei zunehmender Temperaturerhöhung

Umrechnung der ha-Werte aus Tab. 15 mit den Nutzungsflächen aus STALA

Nutzung	Fläche (ha)	status quo	Temperaturveränderung ^{1), 2)}			
			+1°C	+2°C	+3°C	+4°C
Acker	970.000	64	59	56	54	54
Grünland (incl. Ödland)	650.000	60	55	51	48	47
Wald ³⁾	1.370.000	103	97	93	90	90
<i>Summe</i>	<i>2.990.000</i>	<i>227</i>	<i>211</i>	<i>200</i>	<i>192</i>	<i>191</i>
<i>Veränderung gegenüber status quo</i>						
<i>C_{org}-Vorrat (Mio. t)</i>			-16	-27	-35	-36
<i>CO₂-Emission (Mio. t)</i>			59	99	128	132
<i>CO₂-Emission pro Jahr (Mio. t/a) – bezogen auf einen Zeitraum von 50 Jahren</i>			1,17	1,98	2,57	2,64
<i>Zusätzliche CO₂-Emission pro Jahr aus Moor- und Anmoorstandorten (Mio. t/a)⁴⁾</i>		0,63				

- 1) Die Temperaturen werden nur bis maximal 10,5 °C (Mittelwert der Klasse 10-11 °C) erhöht. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Regressionen sind nur bis hierher gültig. Eine weitere lineare C_{org}-Abnahme bei höheren Temperaturen ist nicht wahrscheinlich. So nehmen z.B. in den trockenwarmen Schwarzerdegebieten in Sachsen C_{org}-Gehalte und –Mengen wieder zu. (Kolbe 2009). Die Flächenanteile der einzelnen Temperaturklassen (status quo) sind Tab. 14 zu entnehmen.
- 2) Bei Mooren, Anmoor-, Nass- und Stagnogleyen werden keine C_{org}-Vorratsänderungen bei veränderter Temperatur berechnet.
- 3) Incl. Auflagehumus
- 4) Weinzierl und Waldmann 2014

6 Kohlenstoffsequestrierungspotenzial

Böden können eine bedeutende terrestrische Senke für atmosphärisches C darstellen. Veränderte Bewirtschaftungsweisen und ein verbessertes Management innerhalb der bestehenden Landnutzungen oder aber auch eine Nutzungsänderung können zur einer C-Sequestrierung beitragen. Im Einzelnen kommen hierfür in Betracht (Zusammenstellung der einzelnen Quellen siehe: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014, S. 6f):

- Verstärkte Einarbeitung von Stallmist und Ernterückstände
- Pfluglose bzw. minimale Bodenbearbeitung
- Flächenstilllegungen
- Ökologischer Landbau
- Anbau mehrjähriger Ackerfrüchte und Energiepflanzen
- Verbessertes Weidemanagement
- Umwandlung Acker zu Grünland
- Aufforstung
- Wechsel der Baumartenzusammensetzung
- Verlängerung Umtriebszeit
- Standortsverbesserung (Kalkung, Düngung, Drainierung)

In einer aktuellen umfangreichen Studie in Bayern mit Messungen und Modellierungen wurde das C-Sequestrierungspotenzial der Böden untersucht (Tab. 17). Ausgehend von dem Modell eines standortspezifischen maximalen C_{org} -Vorrats wurde das C_{org} -Sättigungs-defizit bestimmt und die Qualität der C-Pools beurteilt. Acker- und Grünlandböden sind besser für eine langfristige Speicherung von Bodenkohlenstoff geeignet als Waldböden. Das C-Sequestrierungspotenzial und die Menge an intermediären und stabilen C-Pools sind größer (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014).

Tab. 17: C-Sequestrierungspotenzial der Böden Bayerns (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)

Landnutzung	C-Sättigung	C-Sequestrierungspotenzial		Anteil intermediärer und stabiler C-Pools	
	%	t/ha	Mt	%	
Acker	50	13,9	96	90	
Grünland	70	6,7	12	90	
Wald	>90	3,1	4	40	
Sonstiges		7,9	22		
<i>Summe</i>			<i>134</i>		

Die bayerischen Boden- und Klimaverhältnisse sind, mit Ausnahme des Alpenraums, mit Baden-Württemberg vergleichbar und die nutzungsbezogenen mittleren C_{org} -Vorräte weichen kaum voneinander ab (Tab. 11). Somit stellt das für Bayern ermittelte C-Sequestrierungspotenzial (Tab. 17) auch ein für Baden-Württemberg übertragbares Modellergebnis dar.

7 Literatur

Baritz, R., und Strich, S. (2000): Forests and the National Greenhouse Gas Inventory of Germany. *Bio-technology, Agronomy, Society and Environment*, 4(4), 267-271.

Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2014): Der Humuskörper bayerischer Böden im Klimawandel – Auswirkungen und Potentiale Abschlussbericht zum Projekt, 101 S., Augsburg.

Bolliger, J., Hagedorn, F., Leifeld, J., Bohl, J., Zimmermann, S., Soliva, R., und Kienast, F. (2008): Effects of land-use change on carbon stocks in Switzerland. *Ecosystems*, 11(6), 895-907.

Capriel, P. (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising- Weihenstephan, 41 S. Internet (2.8.2012): http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_38740.pdf

Don, A., Tiemeyer, B., Freibauer, A., Röder, N & Osterburg, B. (2013): Die Umsetzung des GLÖZ-Standards 6 „Erhalt der organischen Substanz im Boden“ in Deutschland: Bewertung von Maßnahmen zum Erhalt der Humusvorräte auf landwirtschaftlichen Flächen - Stellungnahme.

Fuchs, Utermann und Hoffman (2010): Regionalisierung von organischem Kohlenstoff in Böden Deutschland, 9 S., FOSSGIS.

Gingrich, S., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., und Haberl, H. (2007): Long-term dynamics of terrestrial carbon stocks in Austria: a comprehensive assessment of the time period from 1830 to 2000. *Regional Environmental Change*, 7(1), 37-47.

Goidts, E., und van Wesemael, B. (2007): Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955-2005). *Geoderma*, 141(3-4), 341-354.

Goidts, E., van Wesemael, B., und Van Oost, K. (2009): Driving forces of soil organic carbon evolution at the landscape and regional scale using data from a stratified soil monitoring. *Global Change Biology*, 15(12), 2981-3000.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1992): Supplement. Working Group I: Scientific Assessment of Climate Change; Working Group II: Potential Impacts of Climate Change; Working Group III: Formulation of Response Strategies. WMO/UNEP, Genf.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Land Use, Land-Use Change and Forestry, 377 S., WMO/UNEP, Cambridge University Press.

Kolbe, H. (2009): Einflussfaktoren auf den Humusgehalt. - Internet (21.9.2012): http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Kolbe_Humus-Einflussfaktoren09.pdf

Kolbe, H. (2011): Einflussfaktoren des Klimawandels auf Humus- und Stickstoffvorräte im Boden, Schriftenreihe des LfULG 6/2011.

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt [Hrsg.] (2014): Bodenbericht Sachsen-Anhalt 2014, 72 S., Halle (Saale).

Leifeld, J., Bassin, S., und Fuhrer, J. (2005): Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 105(1-2), 255-266.

- Lettens, S., Van Orshoven, J., van Wesemael, B., De Vos, B., und Muys, B. (2005): Stocks and fluxes of soil organic carbon for landscape units in Belgium derived from heterogeneous data sets for 1990 and 2000. *Geoderma*, 127(1-2), 11-23.
- Liski, J., Perruchoud, D., und Karjalainen, T. (2002): Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169(1-2), 159-175.
- Martin, M.P., Wattenbach, M., Smith, P., Meersmans, J., Jolivet, C., Bouillon, L., und Arrouays, D. (2011): Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences*, 8(5), 1053-1065.
- Meersmans, J., van Wesemael, B., Goidts, E., van Molle, M., De Baets, S., und De Ridder, F. (2011): Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grasslands, 1960-2006. *Global Change Biology*, 17(1), 466-479.
- Mestdagh, I., Sleutel, S., Lootens, P., Van Cleemput, O., Beheydt, D., Boeckx, P., De Neve, S., Hofman, G., Van Camp, N., Vande Walle, I., Samson, R., Verheyen, K., Lemeur, R., und Carlier, L. (2009): Soil organic carbon-stock changes in Flemish grassland soils from 1990 to 2000. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 24-31.
- Schöning, I., Totsche, K.U., und Kögel-Knabner, I. (2006): Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma*, 136(3-4), 631-642.
- Schubert, A. (2010): Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden. *LWF Waldforschung aktuell*, 78, 11-14.
- Spielvogel, S., Prietzel, J., Auerswald, K., und Kögel-Knabner, I. (2009): Site-specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest die-back. *Geoderma*, 152(3-4), 218-230.
- Stevens, A., und van Wesemael, B. (2008): Soil organic carbon dynamics at the regional scale as influenced by land use history: a case study in forest soils from southern Belgium. *Soil Use and Management*, 24(1), 69-79.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2012): *Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg*. – 4. erweiterte Auflage.
- VDLUFA (2010): *Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden - Einflussfaktoren und deren Auswirkungen*, 356 S. [Schlussbericht BLE-Forschungsprojekt].
- Von Wilpert (2014): *Kohlenstoffvorräte der Waldböden in Baden-Württemberg*. - Unveröffentlichter Bericht zur BZE II, S. 6, Freiburg.
- Weinzierl, W. und Waldmann, F. (2014): *Ermittlung langjähriger CO₂-Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhennivellements*. - Abschlussbericht BWPLUS Förderkennzeichen BWM 10004. – Freiburg.

ANHANG – Dokumentation der Regressionen

Multiple Linear Regression

Acker, Oberboden, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

$$\text{Corg_Proz} = 2,267 + (0,000998 * \text{Niederschlag}) - (0,179 * \text{Temperatur}) + (0,0158 * \text{Ton}) - (0,00490 * \text{Sand}) - (0,266 * \text{TCIlow})$$

N = 3802

R = 0,453 Rsqr = 0,205 Adj Rsqr = 0,204

Standard Error of Estimate = 0,628

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	2,267	0,165	13,741	<0,001	
Niederschlag	0,000998	0,0000828	12,047	<0,001	1,177
Temperatur	-0,179	0,0102	-17,543	<0,001	1,373
Ton	0,0158	0,00157	10,066	<0,001	1,410
Sand	-0,00490	0,00114	-4,282	<0,001	1,208
TCIlow	-0,266	0,0292	-9,109	<0,001	1,183

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	386,349	77,270	195,877	<0,001
Residual	3796	1497,447	0,394		
Total	3801	1883,796	0,496		

Column	SSIincr	SSMarg
Niederschlag	116,730	57,253
Temperatur	184,633	121,404
Ton	47,888	39,970
Sand	4,367	7,234
TCIlow	32,731	32,731

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Niederschlag	<0,001
Temperatur	<0,001
Ton	<0,001
Sand	<0,001
TCIlow	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Acker, Oberboden, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

$$\text{Corg_Menge je cm ohne Skelett} = 0,306 - (0,0176 * \text{Temperatur}) + (0,00250 * \text{Ton})$$

N = 132

R = 0,404 Rsqr = 0,163 Adj Rsqr = 0,150

Standard Error of Estimate = 0,111

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,306	0,0912	3,359	0,001	
Temperatur	-0,0176	0,00866	-2,032	0,044	1,427
Ton	0,00250	0,000916	2,726	0,007	1,427

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,311	0,156	12,578	<0,001
Residual	129	1,597	0,0124		
Total	131	1,909	0,0146		

Column	SSIincr	SSMarg
Temperatur	0,219	0,0511
Ton	0,0920	0,0920

The dependent variable Corg_Menge je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Temperatur	0,044
Ton	0,007

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Menge je cm ohne Skelett (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,159)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,998

Multiple Linear Regression

Acker, Oberboden, Bodentyp: Gley, Auengley und Pseudogley

$$\text{Corg_Proz} = 5,215 - (0,302 * \text{Temperatur}) + (0,0368 * \text{Ton}) - (1,330 * \text{TCIIow})$$

N = 107

R = 0,510 Rsqr = 0,260 Adj Rsqr = 0,238

Standard Error of Estimate = 1,045

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	5,215	1,214	4,295	<0,001	
Temperatur	-0,302	0,105	-2,885	0,005	1,561
Ton	0,0368	0,0116	3,176	0,002	1,044
TCIIow	-1,330	0,289	-4,607	<0,001	1,518

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	39,496	13,165	12,065	<0,001
Residual	103	112,393	1,091		
Total	106	151,889	1,433		

Column	SSIincr	SSMarg
Temperatur	0,827	9,082
Ton	15,513	11,009
TCIIow	23,155	23,155

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Temperatur	0,005
Ton	0,002
TCIIow	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

$$\text{Corg_Proz} = 3,291 - (0,128 * \text{Horizontmitte}) + (0,00269 * \text{Niederschlag}) - (0,304 * \text{Temperatur}) + (0,0351 * \text{Ton})$$

N = 383

R = 0,501 Rsqr = 0,251 Adj Rsqr = 0,243

Standard Error of Estimate = 2,181

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	3,291	1,357	2,425	0,016	
Horizontmitte	-0,128	0,0181	-7,056	<0,001	1,011
Niederschlag	0,00269	0,000527	5,110	<0,001	1,498
Temperatur	-0,304	0,106	-2,872	0,004	1,495
Ton	0,0351	0,00869	4,040	<0,001	1,129

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	603,339	150,835	31,722	<0,001
Residual	378	1797,339	4,755		
Total	382	2400,678	6,284		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	190,093	236,721
Niederschlag	251,705	124,175
Temperatur	83,915	39,228
Ton	77,626	77,626

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001
Temperatur	0,004
Ton	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

Corg_Menge je cm ohne Skelett = 0,483 - (0,0128 * Horizontmitte) + (0,000213 * Niederschlag) - (0,0268 * Temperatur) + (0,000962 * Ton)

N = 91

R = 0,500 Rsqr = 0,250 Adj Rsqr = 0,215

Standard Error of Estimate = 0,204

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,483	0,251	1,920	0,058	
Horizontmitte	-0,0128	0,00336	-3,807	<0,001	1,027
Niederschlag	0,000213	0,0000905	2,350	0,021	1,692
Temperatur	-0,0268	0,0204	-1,311	0,193	1,562
Ton	0,000962	0,00147	0,653	0,516	1,245

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	1,194	0,299	7,151	<0,001
Residual	86	3,591	0,0418		
Total	90	4,785	0,0532		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	0,497	0,605
Niederschlag	0,569	0,231
Temperatur	0,111	0,0717
Ton	0,0178	0,0178

The dependent variable **Corg_Menge** je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	0,021
Temperatur	0,193
Ton	0,516

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict **Corg_Menge** je cm ohne Skelett ($P < 0.05$): Horizontmitte , Niederschlag

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P = <0,001$)

Constant Variance Test: Passed ($P = 0,373$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,999

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Pararendzina

$$\text{Corg_Proz} = 13,893 - (0,153 * \text{Horizontmitte}) - (1,088 * \text{Temperatur})$$

N = 45

R = 0,707 Rsqr = 0,499 Adj Rsqr = 0,476

Standard Error of Estimate = 1,366

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	13,893	1,842	7,543	<0,001	
Horizontmitte	-0,153	0,0365	-4,184	<0,001	1,009
Temperatur	-1,088	0,205	-5,308	<0,001	1,009

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	78,200	39,100	20,949	<0,001
Residual	42	78,389	1,866		
Total	44	156,589	3,559		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	25,614	32,677
Temperatur	52,586	52,586

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Temperatur	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = 0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Pararendzina

Corg_Menge je cm ohne Skelett = $1,283 - (0,00939 * \text{Horizontmitte}) - (0,0961 * \text{Temperatur})$

N = 16

R = 0,685 Rsqr = 0,470 Adj Rsqr = 0,388

Standard Error of Estimate = 0,133

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	1,283	0,281	4,567	<0,001	
Horizontmitte	-0,00939	0,00518	-1,814	0,093	1,038
Temperatur	-0,0961	0,0304	-3,159	0,008	1,038

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,203	0,101	5,753	0,016
Residual	13	0,229	0,0176		
Total	15	0,432	0,0288		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	0,0268	0,0580
Temperatur	0,176	0,176

The dependent variable **Corg_Menge je cm ohne Skelett** can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,093
Temperatur	0,008

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict **Corg_Menge je cm ohne Skelett** ($P < 0.05$): Temperatur

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P = 0,007$)

Constant Variance Test: Passed ($P = 0,115$)

Power of performed test with $\alpha = 0,050$: 0,856

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Rendzina

$$\text{Corg_Proz} = -2,750 - (0,188 * \text{Horizontmitte}) + (0,00993 * \text{Niederschlag})$$

N = 57

R = 0,664 Rsqr = 0,441 Adj Rsqr = 0,420

Standard Error of Estimate = 2,190

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	-2,750	2,526	-1,089	0,281	
Horizontmitte	-0,188	0,0433	-4,336	<0,001	1,045
Niederschlag	0,00993	0,00257	3,867	<0,001	1,045

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	203,887	101,943	21,264	<0,001
Residual	54	258,887	4,794		
Total	56	462,774	8,264		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	132,190	90,137
Niederschlag	71,696	71,696

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,141)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,471)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Rendzina

Corg_Menge je cm ohne Skelett = 0,417 - (0,0190 * Horizontmitte) + (0,000166 * Niederschlag)

N = 20

R = 0,641 Rsqr = 0,412 Adj Rsqr = 0,342

Standard Error of Estimate = 0,160

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,417	0,380	1,099	0,287	
Horizontmitte	-0,0190	0,00633	-2,996	0,008	1,171
Niederschlag	0,000166	0,000386	0,432	0,671	1,171

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,305	0,152	5,944	0,011
Residual	17	0,436	0,0256		
Total	19	0,741	0,0390		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	0,300	0,230
Niederschlag	0,00478	0,00478

The dependent variable **Corg_Menge je cm ohne Skelett** can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,008
Niederschlag	0,671

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict **Corg_Menge je cm ohne Skelett** ($P < 0.05$): Horizontmitte

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed ($P = 0,206$)

Constant Variance Test: Passed ($P = 0,748$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,880

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Auenboden und Kolluvium

$$\text{Corg_Proz} = 2,610 - (0,0883 * \text{Horizontmitte}) + (0,00283 * \text{Niederschlag}) - (0,298 * \text{Temperatur}) + (0,0568 * \text{Ton})$$

N = 142

R = 0,623 Rsqr = 0,389 Adj Rsqr = 0,371

Standard Error of Estimate = 1,408

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	2,610	1,425	1,831	0,069	
Horizontmitte	-0,0883	0,0196	-4,508	<0,001	1,025
Niederschlag	0,00283	0,000708	3,999	<0,001	1,326
Temperatur	-0,298	0,103	-2,888	0,005	1,313
Ton	0,0568	0,0109	5,214	<0,001	1,103

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	172,755	43,189	21,781	<0,001
Residual	137	271,650	1,983		
Total	141	444,405	3,152		

Column	SSI	SSMarg
Horizontmitte	28,552	40,298
Niederschlag	52,120	31,716
Temperatur	38,181	16,543
Ton	53,902	53,902

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001
Temperatur	0,005
Ton	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = 0,002)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Auenboden und Kolluvium

Corg_Menge je cm ohne Skelett = $-0,200 - (0,00879 * \text{Horizontmitte}) + (0,000532 * \text{Niederschlag}) + (0,0116 * \text{Temperatur}) + (0,00297 * \text{Ton})$

N = 48

R = 0,676 Rsqr = 0,457 Adj Rsqr = 0,406

Standard Error of Estimate = 0,123

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	-0,200	0,205	-0,973	0,336	
Horizontmitte	-0,00879	0,00289	-3,038	0,004	1,054
Niederschlag	0,000532	0,000114	4,666	<0,001	1,409
Temperatur	0,0116	0,0147	0,785	0,437	1,428
Ton	0,00297	0,00154	1,930	0,060	1,050

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,551	0,138	9,033	<0,001
Residual	43	0,656	0,0152		
Total	47	1,207	0,0257		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	0,143	0,141
Niederschlag	0,338	0,332
Temperatur	0,0130	0,00940
Ton	0,0568	0,0568

The dependent variable **Corg_Menge** je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,004
Niederschlag	<0,001
Temperatur	0,437
Ton	0,060

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict **Corg_Menge** je cm ohne Skelett ($P < 0.05$): Horizontmitte , Niederschlag

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed ($P = 0,310$)

Constant Variance Test: Passed ($P = 0,114$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Grünland, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Gley, Auengley und Pseudogley

$$\text{Corg_Proz} = 16,345 - (0,117 * \text{Horizontmitte}) - (0,951 * \text{Temperatur}) - (3,451 * \text{TCIlow})$$

N = 24

R = 0,618 Rsqr = 0,382 Adj Rsqr = 0,289

Standard Error of Estimate = 2,149

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	16,345	3,916	4,174	<0,001	
Horizontmitte	-0,117	0,0805	-1,449	0,163	1,045
Temperatur	-0,951	0,411	-2,312	0,032	1,044
TCIlow	-3,451	1,391	-2,481	0,022	1,003

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	57,094	19,031	4,122	0,020
Residual	20	92,349	4,617		
Total	23	149,443	6,498		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	5,694	9,698
Temperatur	22,973	24,672
TCIlow	28,428	28,428

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,163
Temperatur	0,032
TCIlow	0,022

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified).
The following appear to account for the ability to predict Corg_Proz (P < 0.05): Temperatur , TCIlow

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,543)

Constant Variance Test: Failed (P = 0,013)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,911

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

$$\text{Corg_Proz} = 3,920 - (0,189 * \text{Horizontmitte}) + (0,00270 * \text{Niederschlag}) - (0,263 * \text{Temperatur}) + (0,0304 * \text{Ton}) - (0,0229 * \text{TCIlow})$$

N = 2746

R = 0,658 Rsqr = 0,433 Adj Rsqr = 0,432

Standard Error of Estimate = 1,958

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	3,920	0,472	8,300	<0,001	
Horizontmitte	-0,189	0,00513	-36,794	<0,001	1,002
Niederschlag	0,00270	0,000174	15,538	<0,001	1,576
Temperatur	-0,263	0,0361	-7,274	<0,001	1,508
Ton	0,0304	0,00321	9,465	<0,001	1,200
TCIlow	-0,0229	0,133	-0,172	0,864	1,226

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	8012,899	1602,580	417,885	<0,001
Residual	2740	10507,841	3,835		
Total	2745	18520,740	6,747		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	5311,057	5191,860
Niederschlag	1851,218	925,861
Temperatur	502,201	202,886
Ton	348,309	343,581
TCIlow	0,113	0,113

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001
Temperatur	<0,001
Ton	<0,001
TCIlow	0,864

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict Corg_Proz (P < 0.05): Horizontmitte , Niederschlag , Temperatur , Ton

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und Terra fusca

$$\text{Corg_Menge je cm ohne Skelett} = 0,355 - (0,0124 * \text{Horizontmitte}) + (0,0000606 * \text{Niederschlag}) - (0,0137 * \text{Temperatur}) + (0,00244 * \text{Ton}) + (0,0315 * \text{TCIlow})$$

N = 1613

R = 0,610 Rsqr = 0,372 Adj Rsqr = 0,370

Standard Error of Estimate = 0,137

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,355	0,0420	8,462	<0,001	
Horizontmitte	-0,0124	0,000456	-27,147	<0,001	1,004
Niederschlag	0,0000606	0,0000145	4,171	<0,001	1,655
Temperatur	-0,0137	0,00324	-4,226	<0,001	1,445
Ton	0,00244	0,000277	8,799	<0,001	1,179
TCIlow	0,0315	0,0143	2,204	0,028	1,095

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	17,744	3,549	190,199	<0,001
Residual	1607	29,983	0,0187		
Total	1612	47,727	0,0296		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	14,552	13,750
Niederschlag	0,670	0,325
Temperatur	0,879	0,333
Ton	1,553	1,445
TCIlow	0,0906	0,0906

The dependent variable Corg_Menge je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001
Temperatur	<0,001
Ton	<0,001
TCIlow	0,028

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Menge je cm ohne Skelett (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Pararendzina

$$\text{Corg_Proz} = 9,263 - (0,177 * \text{Horizontmitte}) - (0,674 * \text{Temperatur}) + (0,0374 * \text{Ton}) + (0,0370 * \text{Neigung})$$

N = 58

R = 0,805 Rsqr = 0,647 Adj Rsqr = 0,621

Standard Error of Estimate = 1,421

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	9,263	2,429	3,813	<0,001	
Horizontmitte	-0,177	0,0294	-6,023	<0,001	1,029
Temperatur	-0,674	0,231	-2,924	0,005	1,698
Ton	0,0374	0,0169	2,215	0,031	1,720
Neigung	0,0370	0,0105	3,540	<0,001	1,039

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	196,433	49,108	24,332	<0,001
Residual	53	106,966	2,018		
Total	57	303,399	5,323		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	93,651	73,219
Temperatur	71,877	17,256
Ton	5,615	9,904
Neigung	25,290	25,290

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Temperatur	0,005
Ton	0,031
Neigung	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,099)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Pararendzina

Corg_Menge je cm ohne Skelett = 0,127 - (0,00750 * Horizontmitte) + (0,00505 * Temperatur) + (0,00606 * Ton) + (0,00366 * Neigung)

N = 21

R = 0,789 Rsqr = 0,623 Adj Rsqr = 0,529

Standard Error of Estimate = 0,114

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,127	0,309	0,411	0,687	
Horizontmitte	-0,00750	0,00391	-1,917	0,073	1,102
Temperatur	0,00505	0,0295	0,171	0,866	1,872
Ton	0,00606	0,00220	2,761	0,014	2,119
Neigung	0,00366	0,00117	3,138	0,006	1,108

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,342	0,0856	6,617	0,002
Residual	16	0,207	0,0129		
Total	20	0,549	0,0275		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	0,123	0,0476
Temperatur	0,0380	0,000379
Ton	0,0541	0,0986
Neigung	0,127	0,127

The dependent variable Corg_Menge je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,073
Temperatur	0,866
Ton	0,014
Neigung	0,006

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict Corg_Menge je cm ohne Skelett (P < 0.05): Ton , Neigung

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,911)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,505)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,995

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Rendzina

$$\text{Corg_Proz} = 12,734 - (0,255 * \text{Horizontmitte}) - (0,626 * \text{Temperatur}) + (0,0274 * \text{Neigung})$$

N = 287

R = 0,602 Rsqr = 0,363 Adj Rsqr = 0,356

Standard Error of Estimate = 2,709

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	12,734	1,106	11,513	<0,001	
Horizontmitte	-0,255	0,0223	-11,431	<0,001	1,001
Temperatur	-0,626	0,134	-4,690	<0,001	1,008
Neigung	0,0274	0,00876	3,133	0,002	1,008

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1181,701	393,900	53,671	<0,001
Residual	283	2076,974	7,339		
Total	286	3258,675	11,394		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	927,707	959,068
Temperatur	181,950	161,450
Neigung	72,044	72,044

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Temperatur	<0,001
Neigung	0,002

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Rendzina

Corg_Menge je cm ohne Skelett = 0,855 - (0,0132 * Horizontmitte) - (0,0407 * Temperatur) + (0,00289 * Neigung)

N = 201 Missing Observations = 99

R = 0,606 Rsqr = 0,367 Adj Rsqr = 0,357

Standard Error of Estimate = 0,159

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,855	0,0789	10,833	<0,001	
Horizontmitte	-0,0132	0,00155	-8,549	<0,001	1,000
Temperatur	-0,0407	0,00938	-4,335	<0,001	1,019
Neigung	0,00289	0,000670	4,307	<0,001	1,020

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2,885	0,962	38,051	<0,001
Residual	197	4,979	0,0253		
Total	200	7,864	0,0393		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	1,791	1,847
Temperatur	0,625	0,475
Neigung	0,469	0,469

The dependent variable **Corg_Menge** je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Temperatur	<0,001
Neigung	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting **Corg_Menge** je cm ohne Skelett ($P < 0.05$).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P = <0,001$)

Constant Variance Test: Passed ($P = 0,323$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Podsol

$$\text{Corg_Proz} = 5,047 - (0,145 * \text{Horizontmitte}) + (0,00319 * \text{Niederschlag}) - (0,0692 * \text{Sand})$$

N = 162 Missing Observations = 17

R = 0,521 Rsqr = 0,272 Adj Rsqr = 0,258

Standard Error of Estimate = 3,063

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	5,047	1,589	3,175	0,002	
Horizontmitte	-0,145	0,0337	-4,309	<0,001	1,083
Niederschlag	0,00319	0,000747	4,280	<0,001	1,010
Sand	-0,0692	0,0199	-3,477	<0,001	1,090

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	553,840	184,613	19,673	<0,001
Residual	158	1482,654	9,384		
Total	161	2036,494	12,649		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	292,771	174,260
Niederschlag	147,594	171,882
Sand	113,475	113,475

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Niederschlag	<0,001
Sand	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Podsol

Corg_Menge je cm ohne Skelett = $0,652 - (0,00797 * \text{Horizontmitte}) + (0,000120 * \text{Niederschlag}) - (0,00697 * \text{Sand})$

N = 143 Missing Observations = 36

R = 0,491 Rsqr = 0,241 Adj Rsqr = 0,224

Standard Error of Estimate = 0,223

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,652	0,130	5,011	<0,001	
Horizontmitte	-0,00797	0,00260	-3,070	0,003	1,100
Niederschlag	0,000120	0,0000573	2,096	0,038	1,003
Sand	-0,00697	0,00161	-4,328	<0,001	1,099

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2,186	0,729	14,683	<0,001
Residual	139	6,898	0,0496		
Total	142	9,084	0,0640		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	1,071	0,468
Niederschlag	0,186	0,218
Sand	0,929	0,929

The dependent variable **Corg_Menge** je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	0,003
Niederschlag	0,038
Sand	<0,001

All independent variables appear to contribute to predicting **Corg_Menge** je cm ohne Skelett ($P < 0.05$).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P = <0,001$)

Constant Variance Test: Failed ($P = <0,001$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Gley, Auengley und Pseudogley

$$\text{Corg_Proz} = 6,890 - (0,244 * \text{Horizontmitte}) - (0,0292 * \text{Sand})$$

N = 215 Missing Observations = 14

R = 0,551 Rsqr = 0,303 Adj Rsqr = 0,297

Standard Error of Estimate = 2,993

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	6,890	0,453	15,198	<0,001	
Horizontmitte	-0,244	0,0264	-9,258	<0,001	1,001
Sand	-0,0292	0,0106	-2,768	0,006	1,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	826,270	413,135	46,133	<0,001
Residual	212	1898,518	8,955		
Total	214	2724,788	12,733		

Column	SSIncr	SSMarg
Horizontmitte	757,658	767,546
Sand	68,613	68,613

The dependent variable Corg_Proz can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Sand	0,006

All independent variables appear to contribute to predicting Corg_Proz (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = <0,001)

Constant Variance Test: Failed (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Linear Regression

Wald, 0-30 cm u.Fl, Bodentyp: Gley, Auengley und Pseudogley

Corg_Menge je cm ohne Skelett = 0,562 - (0,0173 * Horizontmitte) - (0,00132 * Sand)

N = 150 Missing Observations = 79

R = 0,438 Rsqr = 0,192 Adj Rsqr = 0,181

Standard Error of Estimate = 0,280

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0,562	0,0533	10,557	<0,001	
Horizontmitte	-0,0173	0,00296	-5,853	<0,001	1,004
Sand	-0,00132	0,00118	-1,118	0,265	1,004

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	2,731	1,366	17,411	<0,001
Residual	147	11,530	0,0784		
Total	149	14,262	0,0957		

Column	SSIincr	SSMarg
Horizontmitte	2,633	2,687
Sand	0,0981	0,0981

The dependent variable Corg_Menge je cm ohne Skelett can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
Horizontmitte	<0,001
Sand	0,265

Not all of the independent variables appear necessary (or the multiple linear model may be underspecified). The following appear to account for the ability to predict Corg_Menge je cm ohne Skelett ($P < 0.05$): Horizontmitte

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P = <0,001$)

Constant Variance Test: Failed ($P = <0,001$)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

