

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission II:
Bodenchemie

Titel der Tagung:

Erd-reich und Boden-Landschaften

Veranstalter:

DBG/BGS

Termin und Ort der Tagung:

24.-29. August 2019, Bern

Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation), <http://www.dbges.de>

Ergebnisse aus 10 Jahren Humusmonitoring auf Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen

Chris Bamminger^a, Andrea Hädicke^a,
Gerhard Welp^b, Wulf Amelung^{b,c}, Michael
Herbst^c, Carsten Schilli^d, Birgit Apel^e,
Tobias Heggemann^e

Zusammenfassung:

Seit 2009 wird vom Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-
Westfalen (LANUV NRW) in Zusammen-
arbeit mit dem Geologischen Dienst NRW,
der Landwirtschaftskammer NRW sowie
der Universität Bonn ein Humusmonitoring-
programm in Nordrhein-Westfalen durch-
geführt. Ziele sind die Bestimmung der
Gehalte und Vorräte an organischem
Kohlenstoff (C_{org}) von Ackerböden in Nord-

^a Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz,
Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), 45659
Recklinghausen

^b Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und
Ressourcenschutz (INRES), Allgemeine Bodenkunde und
Bodenökologie, Universität Bonn, 53115 Bonn

^c Institut für Bio- und Geowissenschaften, Agrosphäre
(IBG-3), Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich

^d Geologischer Dienst, Nordrhein-Westfalen (GD NRW),
47803 Krefeld

^e Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 50765
Köln-Auweiler

rhein-Westfalen sowie die Abschätzung von
Veränderungen der C_{org}-Gehalte und
Vorräte. Zusätzlich sollen die Einfluss-
faktoren, wie z.B. Klimawandel und die
landwirtschaftliche Nutzung, auf Gehalte
und Vorräte ermittelt werden. Die
Ergebnisse sollen auch eine wissen-
schaftlich fundierte Basis schaffen, um die
Landwirte bei allen Fragen der Humus-
pflege optimal zu beraten.

Die C_{org}-Gehalte der Beprobung von 197
Flächen in 2009 liegen in einer Spanne von
0,7 bis 3,4 % mit deutlichen Unterschieden
zwischen den untersuchten natur-
räumlichen Regionen. Rund 75 % der
Flächen weisen Gehalte zwischen 1 und
2 % C_{org} auf.

Die bisherigen Ergebnisse im
Intensivmonitoring (2009 – 2018) von 45
ausgewählten Ackerflächen zeigen bisher
keine NRW-weit gerichtete Entwicklung bei
den C_{org}-Gehalten. Es sind jedoch regionale
Trends zu beobachten.

Multivariate Auswertungen haben gezeigt,
dass insgesamt die organische Düngung,
der C_{org}-Gehalt zu Beginn der Messreihe
sowie die Temperaturzunahme den größten
Einfluss auf die Veränderung der C_{org}-
Gehalte aller 45 Flächen haben.
Hervorzuheben sind dabei das Nieder-
rheinische Tiefland und die Rheinische
Bucht, in denen in den letzten zehn Jahren
im Oberboden eine signifikante Zunahme
der C_{org}-Gehalte zu beobachten ist und dies
vermutlich vor allem auf die Zufuhr
organischer Dünger zurückzuführen ist.

Schlüsselworte:

Boden, Humus, organischer Kohlenstoff,
Acker, Humusbilanz, Support Vector
Machine Regression

Hintergrund und Ziele:

Anlass für die Einrichtung des Humusmonitoringprogramms in Nordrhein-Westfalen war eine Studie der Universität Bonn (Preger et al. 2006), in der die zeitliche Entwicklung von Humusgehalten aus Datenbeständen von Dauerfeldversuchen und dem Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung¹ (FIS-StoBo) für den Zeitraum 1979-2002 ausgewertet und in einer weiteren Studie von Steinmann et al. (2016) bis 2015 erweitert wurde. Als ein Ergebnis zeigte sich, dass die mittleren C_{org}-Gehalte von Ackerflächen in NRW, die in den 1980er Jahren beprobt wurden, anzusteigen scheinen. Der Grund liegt jedoch vermutlich an der zu dieser Zeit vielfach praktizierten Umwandlung von Grünland- in Ackerflächen. Für solche Ackerstandorte sind höhere C_{org}-Gehalte typisch. Die im Zeitraum zwischen 1988 und 2015 beprobten Böden wiesen wiederum niedrigere C_{org}-Gehalte auf und deuteten eine zeitliche Abnahme an. Eine Erklärung sind mögliche Folgen einer Intensivierung der Landwirtschaft mit geringen C-Einträgen in die Böden, langfristigen Folgen von Landnutzungsänderungen (z.B. Abbau der org. Substanz nach Grünlandumbruch) und der Klimawandel.

Vor diesem Hintergrund wird seit 2009 vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV NRW) in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst (GD NRW), der Landwirtschaftskammer (LWK NRW) sowie der Universität Bonn unter Beteiligung des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) ein Humusmonitoringprogramm auf Ackerflächen in NRW durchgeführt.

Die wesentlichen Fragestellungen sind folgende:

Extensivprogramm: Wie hoch sind C_{org}-Gehalte und Vorräte von Ackerböden bei bestimmter Bewirtschaftung, Bodenart und Klimazone?

Intensivprogramm: Welche Einflussfaktoren führen zu Veränderungen der C_{org}-Gehalte und -Vorräte?

Material und Methoden

In 2009 wurden einmalig die Oberböden (Ap-Horizont) von 200 Ackerflächen in den fünf Naturräumen Bergisches Land/Sauerland (BS, n=15), Niederrheinisches Tiefland (NT, n=45), Ostwestfalen (OW, n=30), Rheinische Bucht (RB, n=20) und Westfälische Bucht (WB, n=90) in NRW auf C_{org}-Gehalte sowie weitere physikochemische Basisparameter (z.B. Textur, Schwermetallgehalte, C_t, N_t, P, pH, KAK) untersucht. Es wurden davon schließlich 45 Ackerflächen, d.h. jeweils 15 Flächen in den Lössgebieten NT und RB sowie in der sanddominierten WB, für das sog. Intensivprogramm ausgewählt. NT und RB sind durch humuszehrenden Kulturanbau (Gemüseanbau bzw. Marktfrucht-Ackerbetriebe) sowie in der Vergangenheit eher geringen Eintrag org. Substanz über Stallmist und Dünger gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu ist die WB durch einen humusmehrenden Futterbau mit seit vielen Jahrzehnten praktizierter Düngung mit Stallmist oder Gülle geprägt. Laut Humusbilanzierung sind die C-Einträge durch organische Dünger in NT und RB in den letzten Jahren jedoch gestiegen und aktuell teilweise sogar höher als in der WB.

Im Intensivprogramm werden seit 2009 jährlich Mischproben aus dem Ober- (bis Ap-Untergrenze) und Unterboden (Ap-Untergrenze bis 60 cm) entnommen und auf deren C_{org}-Gehalte sowie C_t, N_t, pH und CO₃ analysiert. Zusätzlich werden alle drei Jahre ungestörte Bodenproben aus dem

¹ <https://www.stobo.nrw.de/>

Ober- und Unterboden zur Bestimmung der Grobbodenanteile und der Trockenroh-dichte entnommen. Dies ermöglicht die Berechnung von Humusvorräten in den Ober- und Unterböden.

Für die Auswertung der Analyseergebnisse und zur Berechnung von Humusbilanzen nach VDLUFA werden jährlich die Bewirtschaftungsdaten (Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung und organische sowie mineralische Düngung) jedes Acker-schlages bei den teilnehmenden Landwirten abgefragt. Darüber hinaus stehen die Raster-Klimadaten (Luft-temperatur, Niederschlag und pot. Evapotranspiration) des Deutschen Wetter-dienstes für den Zeitraum 1961 bis 2018 für Auswertungen zur Verfügung.

Die Humusvorräte wurden für die Jahre 2009, 2012, 2015 und 2018 jeweils für die Gesamttiefe von 60 cm (Ober- und Unterböden) nach der ESM-Methode (*equivalent soil mass*) von Wendt und Hauser (2013) berechnet.

Multivariate Auswertungen zur Identifikation bestimmender Faktoren (Bodeneigen-schaften, Klima und Bewirtschaftung) für die C_{org} -Gehalte bzw. deren zeitliche Veränderung wurden mittels Support Vector Machine Regression (SVR) durchgeführt. Trendanalysen der C_{org} -Zeitreihen wurden mittels linearer Regressionsmodelle berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die für das **Extensivprogramm** ausgewählten Böden unterscheiden sich zwischen den Regionen hinsichtlich ihrer Textur und den vorkommenden Boden-typen (vgl. Tab. 1).

Es zeigte sich, dass der C_{org} -Gehalt im Mittel aller betrachteten 197 Oberboden-proben bei 1,5 % mit einer Spanne von 0,7 bis 3,4 % liegt. Die höchsten Gehalte finden sich mit 1,7 % (Mittelwert) in der sandigen

WB wieder, allerdings ist die Variabilität hoch (Abb. 1). Flächen mit hohen C_{org} -Gehalten von > 3 % liegen allesamt in der WB.

Tab. 1: Dominierende Bodentypen und Textur in den untersuchten Oberböden des Extensivprogramms

Region	Bodentypen	Ton %	Schluff %	Sand %
BS	(Pseudogley)-Braunerde, Parabraunerde	19	73	8
NT	(Pseudogley)-Braunerde, Parabraunerde	8	51	41
OW	Braunerde, (Pseudogley)-Parabraunerde	17	61	22
RB	Parabraunerde, Kolluvium	14	72	14
WB	Pseudogley, Plaggenesch, Gley-Podsol, Braunerde	13	33	54

Etwa die Hälfte der untersuchten Flächen in NRW weist nach dem Bewertungsschema von Kasten (2002) ausreichende bis optimale C_{org} -Gehalte (1-1,5 %) auf, während bei 13 % aller Flächen mit < 1 % geringe Gehalte vorhanden sind. Letztere kommen überwiegend in den Lössregionen NT und RB vor, die sich im Mittel mit 1,2 bzw. 1,05 % C_{org} auf einem vergleichsweise geringen Niveau bewegen.

Multivariate Auswertungen mittels SVR ergaben, dass der Tongehalt, die langjährige mittlere Jahresniederschlags-summe sowie die Grundwasserstufe (GWS) die bestimmenden Faktoren bei den aktuellen C_{org} -Gehalten sind. Wechsel-wirkungen zwischen diesen Faktoren sind sehr wahrscheinlich und regional unter-schiedlich ausgeprägt. Allerdings zeigt das Regressionsmodell mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,57$ einige Unsicherheiten. Dies deckt sich im Wesentlichen mit

der bundesweiten Auswertung von Humusgehalten auf Ackerböden (Marx et al., 2016). Es ist zu erwarten, dass zusätzlich die langjährige Nutzungshistorie und Bewirtschaftung der Flächen wichtige Rollen spielen. Dies konnte in dieser Studie aufgrund fehlender Datenbasis bislang jedoch nicht berücksichtigt werden.

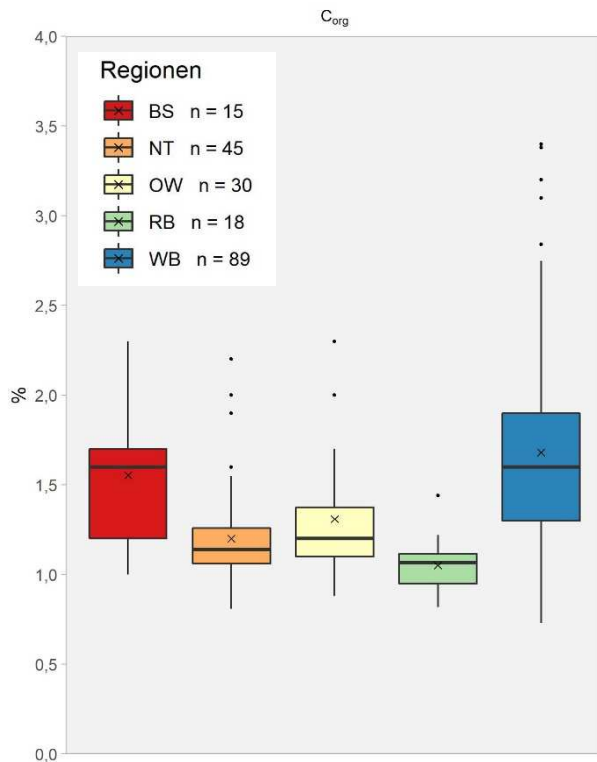


Abb. 1: C_{org} -Gehalte der Acker-Oberböden in den fünf Regionen in NRW im Extensivprogramm. X = Mittelwert.

Im Vergleich zum Extensivprogramm (Tab. 1) sind die Böden der ausgewählten Flächen im **Intensivprogramm** im Mittel in NT deutlich schluffiger (9 % Ton, 70 % Schluff, 21 % Sand) und in der WB sandiger (4 % Ton, 13 % Schluff, 83 % Sand).

Mittels linearer Trendanalysen der jährlich gemessenen C_{org} -Gehalte auf 45 Ackerflächen lässt sich die Entwicklung im Zeitraum von zehn Jahren feststellen. Es gibt keine NRW-weit gerichtete Veränderung der C_{org} -Gehalte. An rund einem Drittel der Standorte hat es einen signifikanten Anstieg bzw. eine Abnahme

des C_{org} -Gehalts gegeben. Dies ist vergleichbar mit der bundesweiten Studie (Marx et al., 2016).

Es lassen sich dennoch regionale Unterschiede in NRW feststellen. Im Oberboden steigt der C_{org} -Gehalt im Mittel in den Lössgebieten NT und RB um jährlich 3 bzw. 4 ‰ ($P \leq 0,05$) an (Abb. 2). Im Unterboden sind allerdings keine Trends in den einzelnen Regionen aufgrund hoher Variabilität der Daten zu beobachten. Für die Westfälische Bucht sind nur geringe Schwankungen bei C_{org} im Ober- und Unterboden zu verzeichnen.

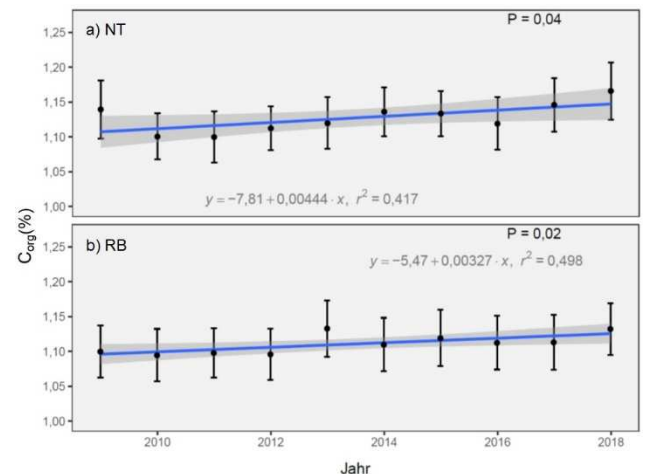


Abb. 2: Zeitreihenverlauf der C_{org} -Gehalte im Oberboden in den Regionen a) NT und b) RB. Lineare Regressionsgerade mit 95 %-Konfidenzintervall.

Mit Hilfe von multivariater Statistik (SVR) wurden analog zum Extensivprogramm für das Intensivprogramm die steuernden Größen für die Gehaltsveränderungen von C_{org} von Oberböden bestimmt. Die Varianzerklärung für das gewählte Regressionsmodell liegt bei $R^2 = 0,81$. Den größten Einfluss auf die C_{org} -Gehaltsentwicklung haben die organische Düngung, das C_{org} -Anfangsniveau sowie die Lufttemperaturveränderung (Abb. 3).

Die beiden Regionen NT und RB zusammen betrachtet, gibt es zudem eine

lineare Korrelation zwischen der C_{org} -Gehaltsentwicklung und der Menge an organischem Dünger ($R^2 = 0,31$, $P \leq 0,05$). Die Auswirkungen der organischen Düngung auf C_{org} lassen sich daher vor allem in diesen beiden Regionen vermuten. Laut Humusbilanzierung ist dort der Einsatz organischer Dünger in den letzten zehn Jahren auf fast allen Flächen deutlich positiv und es ist anzunehmen, dass dieser C-Eintrag in den Jahren vor Beginn des Programms deutlich geringer war. Zudem ist in den beiden Lössregionen mit eher geringem C_{org} -Anfangsniveau das Potenzial für eine Zunahme bei den C_{org} -Gehalten im Laufe der Zeit höher als bei Böden mit höheren Anfangsgehalten. Im Gegensatz zu NT und RB sind die C_{org} -Gehalte in der WB, in der die Flächen traditionell humusmehrend bewirtschaftet werden, generell höher und die Entwicklung ist relativ konstant.

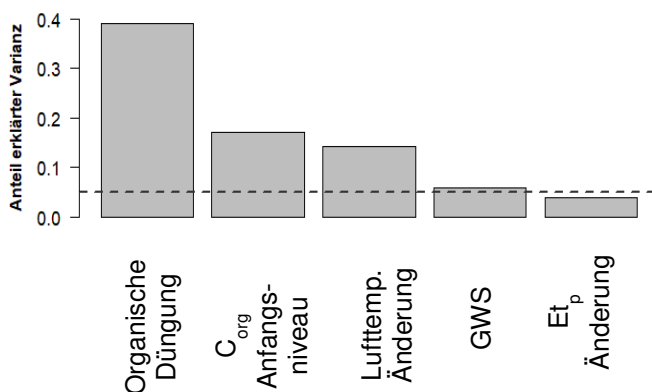


Abb. 3: Varianzerklärung der Prädiktoren für C_{org} -Gehaltsveränderungen im Intensivprogramm (Support Vector Machine Regression)

In den Regionen NT und RB nehmen die Humusvorräte von 2009 bis 2012 signifikant ab und nehmen danach bis 2018 jeweils stetig zu (Abb. 4). In der WB sind die Humusvorräte in einem Bereich von rund 110 t/ha deutlich höher und analog zu den C_{org} -Gehalten relativ stabil.

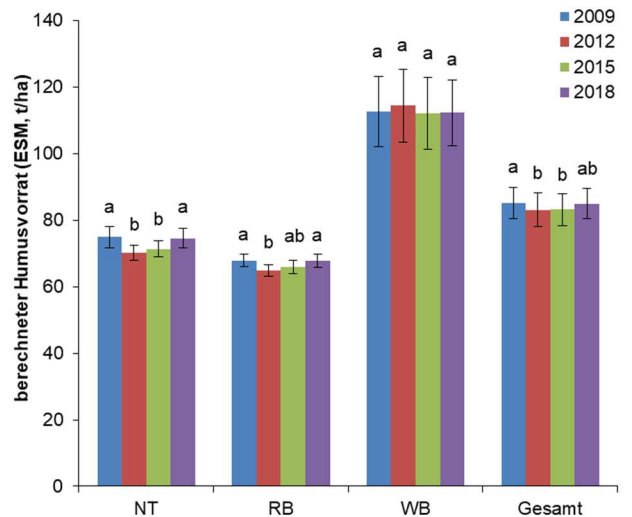


Abb. 4: Humusvorräte (t/ha) in den im Intensivprogramm untersuchten Böden (60 cm Tiefe) in den Jahren 2009, 2012, 2015 und 2018 (berechnet nach ESM-Methode v. Wendt und Hauser, 2013)

Schlussfolgerung

Eine NRW-weit einheitliche Veränderung der C_{org} -Gehalte und Vorräte in den untersuchten Ackerböden ist über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren nicht nachzuweisen. Die Entwicklung der C_{org} -Gehalte ist differenziert für die einzelnen Flächen und Regionen zu betrachten. Die allgemeine Annahme, dass die C_{org} -Gehalte in den Böden aufgrund der Klimaveränderungen (Zunahme der Lufttemperatur und Verschiebung von Niederschlagsmustern) abnehmen, hat sich insgesamt bisher weder für Ober- noch für Unterböden bestätigt. Der große Einfluss der organischen Düngung bewirkt in den lössdominierten Regionen NT und RB im Oberboden sogar einen Anstieg der C_{org} -Gehalte. Bei den Humusvorräten ist diese Entwicklung ähnlich, jedoch nicht ganz so deutlich.

Literatur

Kasten, P. (2002): Spezifischer Bedarf an Humusdüngern bei hackfruchtintensivem Ackerbau nach guter, fachlicher Praxis. In: Fricke, Burth & Wallmann (Eds.): Biomasse und Abfallwirtschaft, Schriftenreihe des ANS. Berlin, 249 - 262.

Marx, M., Schilli, C., Rinklebe, J., Kastler, M., Molt, C., Kaufmann-Boll, C., Lazar, S., Lischeid, G., Körschens, M. (2016): Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes: Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands. UBA Texte 26/2016.

Preger, A. C., Welp, G., Marquardt, U., Koleczek, B., Amelung, W. (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: Aktueller Status und zeitliche Entwicklung. Projektbericht, INRES, Universität Bonn.

Steinmann, T.; Welp, G.; Holbeck, B.; Amelung, W. (2016): Long-term development of organic carbon contents in arable soil of North Rhine-Westphalia, Germany, 1979-2015. In: Eur J Soil Sci 67 (5), S. 616–623. DOI: 10.1111/ejss.12376.

Wendt, J. W.; Hauser, S. (2013): An equivalent soil mass procedure for monitoring soil organic carbon in multiple soil layers. In: Eur J Soil Sci 64 (1), S. 58–65. DOI: 10.1111/ejss.120