

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG, Kommission IV  
Titel der Tagung: Böden verstehen,  
Böden nutzen – Böden fit machen  
Veranstalter: DBG, 03.–09.09.2011, Berlin  
und Potsdam

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

## Überprüfung der Heißwasserextraktion zur präzisierten Bewertung der Humusversorgung humusarmer Sandböden

Kathlin Schweitzer und Jörg Zimmer

### Zusammenfassung

Untersuchungen an zwei Dauerdüngungsversuchen in Groß Kreutz (Brandenburg) bestätigen, dass es bei der Bewertung des Humuszustandes nach DirektZahlVerpfIV im Rahmen von Cross Compliance zu erheblichen Fehleinschätzungen kommen kann. Unter den Standortbedingungen in Groß Kreutz (trockene Sandböden mit < 6% Ton) haben sich langfristig selbst bei optimaler Bewirtschaftung  $C_{org}$ -Gehalte von nur  $0,59 \pm 0,15\%$  eingestellt. Diese liegen weder eindeutig über dem nach DirektZahlVerpfIV geforderten Mindestgehalt von  $0,58\% C_{org}$ , noch ist eine klare Abgrenzung zu suboptimaler Bewirtschaftung möglich. Durch die Bestimmung der heißwasserextrahierbaren C-Gehalte ( $C_{hwe}$ ) war eine präzisere Bewertung nicht möglich.

**Keywords:** soil organic C, hot water extractable C, fertilisation, long term field experiment

Schweitzer, Kathlin | Humboldt-Universität zu Berlin | Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät | Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin | [kathlin.schweitzer@agrar.hu-berlin.de](mailto:kathlin.schweitzer@agrar.hu-berlin.de)

Zimmer, Jörg | Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg | Abt. Landwirtschaft und Gartenbau | Dorfstraße 1, 14513 Teltow/Ruhlsdorf | [Joerg.Zimmer@LELF.Brandenburg.de](mailto:Joerg.Zimmer@LELF.Brandenburg.de)

### 1. Einführung

Im Rahmen von Cross Compliance schreibt die DirektZahlVerpfIV (Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung) die Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand vor. Dazu wird neben der Humusbilanzierung die regelmäßige Kontrolle des Humusgehaltes einmal in 6 Jahren gefordert. Auf Böden mit einem Tongehalt unter 13% darf ein Humusgehalt von 1%, das entspricht lt. Verordnung einem  $C_{org}$ -Gehalt von 0,58 % nicht unterschritten werden. Dieser Grenzwert kann bei besonderen Standortgegebenheiten durch die zuständige Behörde regional angepasst werden.

Im Land Brandenburg sind aufgrund der geologischen und klimatischen Bedingungen grundwasserferne trockene Sandstandorte mit Tongehalten < 8% im Ap-Horizont und Ackerzahlen oft < 30 auf über 60 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche weit verbreitet (Hierold, 2009). Diese Standorte werden unter anderem durch die Dauerdüngungsversuche in Groß Kreutz des LELF Brandenburg und Thyrow der Humboldt-Universität zu Berlin repräsentiert. Ergebnisse langjähriger  $C_{org}$ -Untersuchungen sind zusammengefasst in Zimmer & Roschke (2009) sowie Baumecker et al. (2009) dargestellt. Daraus geht hervor, dass sich über ein breites Spektrum von ungedüngt über mehrere Stufen organisch - mineralischer Düngung  $C_{org}$ -Gehalte überwiegend im Bereich von 0,4 - 0,7% eingestellt haben. Da erst Unterschiede ab  $\approx 0,1\%$  signifikant nachzuweisen sind, besteht bei einem Grenzwert von  $0,58\% C_{org}$  ein erhebliches Risiko, Bewirtschaftung und Humuszustand falsch zu einzuschätzen.

Anhand der Dauerversuche in Groß Kreutz sollte zunächst geklärt werden, in welchem Bereich die  $C_{org}$ -Gehalte bei langjährig

optimaler Bewirtschaftung liegen und ob eine klare Abgrenzung zu suboptimaler Bewirtschaftung möglich ist.

Der Einfluss der Bewirtschaftung äußert sich vor allem durch Änderung des umsetzbaren C-Pools ( $C_{ums}$ ). Da dieser eng mit dem heißwasserextrahierbaren Kohlenstoff ( $C_{hwe}$ ) korreliert (Körschens & Schulz, 1999), wurde zweitens überprüft, ob die  $C_{hwe}$ -Gehalte Unterschiede im Humuszustand mit höherer Präzision wiedergeben als die  $C_{org}$ -Gehalte. Sie könnten damit alternativ für die Bewertung der Humusversorgung von Böden angewendet werden.

## 2. Methodik

Untersuchungsgrundlage sind die Dauerdüngungsversuche des LELF Brandenburg M4 (Stickstoffkombinationsversuch) und P60 (Kombinationsversuch organisch-mineralische Düngung) am Versuchsstandort Groß Kreuz.

Die Versuche M4 und P60 umfassen ein breites Spektrum organisch-mineralischer Düngung. Versuchsdesign und -ablauf sind in Zimmer & Roschke (2009) ausführlich beschrieben.

Der Versuchsstandort Groß Kreuz repräsentiert typische Ackerstandorte Brandenburgs. Er befindet sich auf einer Grundmoränenplatte, die sich durch den Wechsel von reinen Sandböden und sandbedeckten Lehm/Lehmsand-Böden auszeichnet (Kühn & Baureigel, 2009). Im Bereich der Versuchsflächen beträgt der Tongehalt im Ap zwischen 3% (P60) und 6% (M4). Mit Jahresniederschlägen von 513 mm bei einer Jahresmitteltemperatur von 9,4°C gehört Groß Kreuz zu den trockenen Ackerstandorten. Die geringe bis mittlere Ackerzahl von 31 im P60 und 47 im M4 ist typisch für diese Standorte.

Für die Untersuchungen erfolgte eine zweimalige Bodenprobenentnahme jeweils

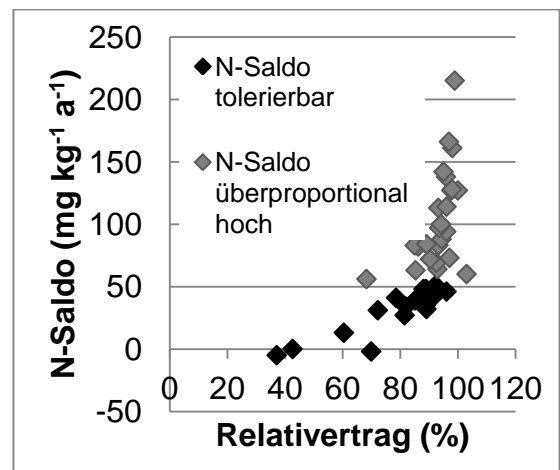
im Herbst 2008 und 2010 aus einer Tiefe von 0 - 20 cm. Die  $C_{org}$ -Gehalte wurden durch trockene Oxidation bei 900°C bestimmt. Aus den ermittelten  $C_{org}$ -Gehalten wurde nach Gl. 1 (Körschens & Schulz, 1999) der umsetzbare C-Gehalt berechnet.

$$(Gl. 1) C_{ums} = C_{org} - C_{inert}$$

$C_{inert}$  = minimaler  $C_{org}$ -Gehalt, erreicht nach langjährig humuszehrender Bewirtschaftung, entspricht Prügliedern ohne Düngung oder ohne N- und organische Düngung

Die Ermittlung der  $C_{hwe}$ -Gehalte erfolgte nach VDLUFA (2004) durch 1 h Extraktion in kochendem Wasser (Boden : Wasser = 1 : 5) und Bestimmung der C-Konzentration im Extrakt mittels NDIR nach thermokatalytischer Oxidation.

Zur Auswertung wurden zunächst die optimal bewirtschafteten Prüglier ermittelt. Kriterium war ein maximaler Ertrag bei tolerierbarem N-Saldo. Zugrunde gelegt wurde die Beziehung zwischen Ertrag und N-Saldo (Abb.1).



**Abb. 1:** Beziehung zwischen N-Saldo und Relativertrag (% des mittleren Maximalertrages) in den Versuchen P60 und M4. ( $N_{Saldo} = N_{Düngung} + N_{sonstige\ Quellen} - N_{Entzug}$ )

Ertragsunterschiede oberhalb 85 % des absoluten Maximalertrages sind in den Versuchen nicht mehr signifikant nachzuweisen. N-Salden  $> 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

erwiesen sich als überproportional hoch (Abb.1) und sind damit nicht mehr tolerierbar. Demnach wurden alle Prüfglieder als optimal betrachtet, bei denen im langjährigen Mittel > 85% des Maximalertrages erreicht werden und die N-Salden  $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nicht überschreiten.

Die Auswertung der C- Gehalte erfolgte mit Methoden der deskriptiven Statistik und Varianzanalyse (ANOVA).

### 3. Ergebnisse

In den Versuchen wurden nach mehr als 45 jähriger stark differenzierter Düngung  $C_{\text{org}}$ - Gehalte zwischen minimal 0,41% (P60: „ungedüngt“) und maximal 1,04% (M4: „200  $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  N aus Stalldung + 150  $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  N aus Mineraldüngung“) erreicht (Tab. 1).

**Tab. 1.**  $C_{\text{org}}$ - und  $C_{\text{hwe}}$ - Gehalte, ermittelt über alle Prüfglieder (P60: n = 18 / M4: n = 25)

Merkmal	Exp.	Min	Max	Spannweite
$C_{\text{org}}$ (%)	P60	0,41	0,71	0,30
	M4	0,42	1,04	0,62
$C_{\text{hwe}}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P60	219	421	209
	M4	218	537	319

Die Spannweite der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte (Tab.1) entspricht der maximalen Akkumulation an umsetzbarem C. Sie liegt mit 0,3 – 0,6% in dem durch Körschens et al. (1998) angegebenen Wertebereich, ermittelt aus 12 europäischen Dauerfeldversuchen.

Die  $C_{\text{hwe}}$ - Gehalte von 219 - 537  $\text{mg kg}^{-1}$  betragen im Mittel 11 % des umsetzbaren C-Gehaltes. Sie sind nach Körschens & Schulz (1999) als „sehr gering“ (Klasse A) bis „sehr hoch“ (Klasse E) zu bewerten. Die Ergebnisse bestätigen die Richtwerte des MLUV Brandenburg (2008), nach denen  $C_{\text{hwe}}$ -Gehalte < 200  $\text{mg kg}^{-1}$  auf Diluvialstandorten Nordostdeutschlands

auf eine deutliche Humusverarmung hinweisen. Die Beziehung zwischen  $C_{\text{hwe}}$  und  $C_{\text{ums}}$  ist wie erwartet hoch signifikant ( $\alpha < 0,001$ ;  $r^2 = 0,615$ ).

Für die optimal gedüngten Prüfglieder wurden  $C_{\text{org}}$ - Gehalte von 0,44 – 0,75% ermittelt (Tab. 2). Sie liegen teilweise unter dem geforderten Mindestgehalt von 0,58%. Auch die  $C_{\text{hwe}}$ - Gehalte von 231 – 413  $\text{mg kg}^{-1}$  zeigen nicht ausschließlich eine optimale, mittlere Versorgung an, sondern decken die Gehaltklassen B bis D (gering bis hoch) ab. Bemerkenswert ist, dass sich bereits die relativ geringen Standortunterschiede auf den beiden Versuchsfeldern in signifikant unterschiedlichen  $C_{\text{org}}$ - bzw.  $C_{\text{hwe}}$ -Gehalten der optimal gedüngten Prüfglieder äußern. Für den P60 (Ackerzahl 31) sind sie im Mittel um 0,28%  $C_{\text{org}}$  bzw. 132  $\text{mg kg}^{-1}$   $C_{\text{hwe}}$  geringer als für den M4 (Ackerzahl 47).

**Tab. 2.**  $C_{\text{org}}$ - und  $C_{\text{hwe}}$ - Gehalte, ermittelt für optimal gedüngte Prüfglieder (P60: n = 3 / M4: n = 4)

Merkmal	Exp.	Min	Max	Mittel
$C_{\text{org}}$ (%)	P60	0,44	0,51	0,48
	M4	0,65	0,75	0,69
$C_{\text{hwe}}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P60	231	345	276
	M4	403	413	408

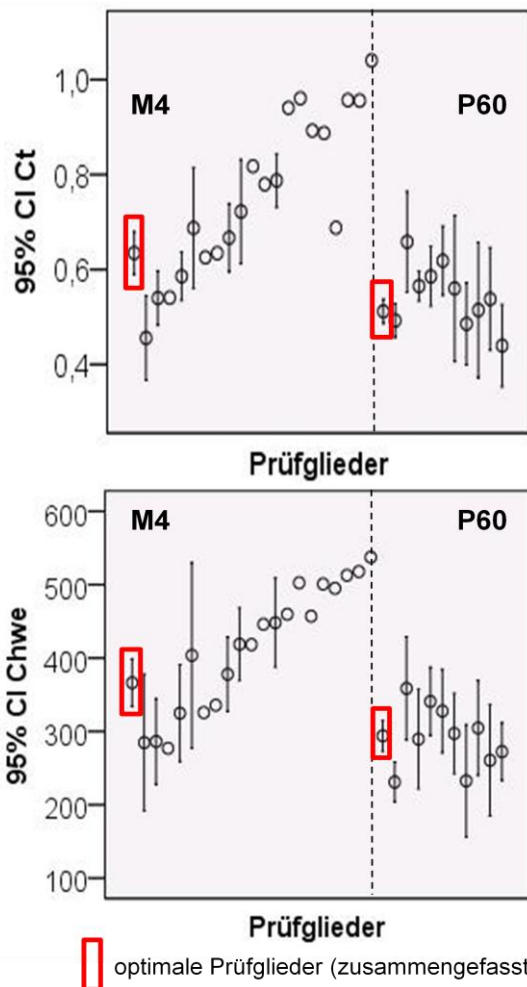
Die Varianzanalyse (Tab. 3) erbrachte im Vergleich der beiden Jahre jeweils für die gleiche Auswahl an Prüfgliedern (P60: 6; M4: 7) im P60 keinen stabilen Einfluss der Düngung auf die C-Werte. Insgesamt ist die relative Reststreuung der  $C_{\text{hwe}}$ -Gehalte höher als die der  $C_{\text{t}}$ -Gehalte.

Obwohl der Einfluss der Düngung auf den  $C_{\text{org}}$ - bzw.  $C_{\text{hwl}}$ - Gehalt zum Teil hoch signifikant ist, geht aus Abb. 2 hervor, dass sowohl auf Grundlage der  $C_{\text{org}}$ - Gehalte wie auch der  $C_{\text{hwe}}$ - Gehalte eine eindeutige Abgrenzung zwischen optimal und suboptimal bewirtschafteten Prüfgliedern nur bei deutlicher,

pflanzenbaulich und ökologisch nicht vertretbaren Überversorgung oder extremer Unterversorgung möglich ist.

**Tab. 3.** Ergebnisse der ANOVA: Einfluss der Düngung auf die C-Werte, Reststreuung ( $S_R$ ) und relative Reststreuung ( $S_{R\%}$ ) im P60 und M4

Merkmal	Exp.	Jahr	Sign.	$S_R$	$S_{R\%}$
$C_{org}$	P60	2008	0,005	0,08	15
		2010	0,064	0,08	15
	M4	2008	0,000	0,07	12
		2010	0,000	0,09	15
$C_{hwe}$	P60	2008	0,001	60	19
		2010	0,058	54	19
	M4	2008	0,006	61	15
		2010	0,000	57	18



**Abb. 2:** 95% CI der Mittelwerte der  $C_{org}$ - und  $C_{hwe}$ -Gehalte der optimalen und suboptimalen Prüfglieder im M4 und P60

#### 4. Schlussfolgerungen:

Die Bestimmung  $C_{hwe}$ -Gehalte erbrachte gegenüber den  $C_{org}$ -Gehalten keinen Vorteil. Bei Anwendung der  $C_{org}$ -Gehalte zur Bewertung des Humuszustandes sollten die  $C_{org}$ -Mindestgehalte entsprechend den regionalen Bedingungen Brandenburgs mit dem mit Schwerpunkt auf ertragsschwache Sandböden und Vermeidung einer Humus-Überversorgung präzisiert werden.

#### Literatur:

Baumecker, M.; Ellmer, F; Köhn, W. (2009) in MLUV Brandenburg (2009): Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin. Beiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbenutzung. S.122-147.

Hierold, W. (2009) in MLUV Brandenburg (2009): Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin. Beiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbenutzung. S. 77-11.

Körschens, M.; Schulz, E: (1999): Die organische Bodensubstanz. Dynamik - Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Bericht Nr. 13/1999

Körschens, M; Weigel, A.; Schulz, E. (1998): Turnover of soil organic matter and long term balances – Tools for evaluating sustainable productivity of soils. Z. Pflanzenern. Bodenk. 161: 409-424

Kühn, D.; Bauriegel, A. (2009) in MLUV Brandenburg (2009): Exkursionsbroschüre zur Tagung der Bodenspezialisten der Bundesländer vom 08.-10.06.2009 in Brandenburg. S. 11-15

MLUV (2008): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung. S. 6

VDLUFA (2004): Methodenbuch. Band 1: Bodenuntersuchung. 1-4. Teillieferung: A 4.3.2

Zimmer, J.; Roschke, M. (2009) in MLUV Brandenburg (2009): Exkursionsbroschüre zur Tagung der Bodenspezialisten der Bundesländer vom 08.-10.06.2009 in Brandenburg. S. 25-41