

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission I

**Titel der Tagung:**

Erd-Reich und Boden-Landschaften

**Veranstalter:** DBG/BGS**Termin und Ort der Tagung:**

24.-29.08.2019, Bern

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation); <http://www.dbges.de>**Möglichkeiten der bodenphysikalischen Verbesserung und pflanzenbaulichen Aufwertung von Böden durch den Einsatz des Humusersatzstoffes NOVIHUM®**Lukas, S. <sup>1)</sup>, Rademacher, A. <sup>1)</sup>, Haubold-Rosar M. <sup>1)</sup>, Ninnemann, H. <sup>2)</sup>**Zusammenfassung**

Auf einer landwirtschaftlichen Rekultivierungsfläche des Braunkohletagebaus Welzow-Süd wurde ein Feldversuch zur Wirkung des Humusersatzstoffes (HES) NOVIHUM® auf die Bodenfruchtbarkeit, den Luft- und Wasserhaushalt sowie die Entwicklung der Ertragsfähigkeit eines Kipprohobodens durchgeführt. Dabei wurden Aufwandmengen von 7,5 bis 30 t NOVIHUM® ha<sup>-1</sup> untersucht. Der mit dem HES behandelte Oberboden weist 16 Jahre nach Versuchsbeginn deutlich höhere Humusgehalte auf, als rein mineralisch gedüngter Boden. Zudem hat die Zugabe des HES zu einer signifikanten Verbesserung der nutzbaren Feldkapazität und damit zu einer besseren Wasserversorgung der Pflanzen geführt. Insgesamt betrachtet hat sich die NOVIHUM®-Anwendung nachhaltig positiv auf die Ertragsfähigkeit des Kipprohobodens ausgewirkt.

**Schlüsselwörter:** Rekultivierung, Bodenfruchtbarkeit, Humusersatzstoff, Bodengewasserspeicher, Braunkohle

**Einleitung**

Die Rückgabeflächen des Braunkohlenbergbaus stellen eine besondere Herausforderung für die Landnutzung dar (HAUBOLD-ROSAR & GUNSCHERA 2009).

<sup>1)</sup> Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB); Kontakt: haubold-rosar@fib-ev.de

<sup>2)</sup> Novihum Technologies GmbH

Im Zentrum der Maßnahmen zur Gestaltung und Entwicklung ökologisch stabiler, vielfach nutzbarer Bergbaufolgelandschaften der Braunkohlentagebaue steht die Wiederherstellung der ökologischen Bodenfunktionen und damit des Gebrauchswertes der Kippenböden für verschiedene Nutzungszwecke. Die Humusanreicherung ist dabei ein wichtiges Ziel bei der Rekultivierung humusfreier bzw. humusarmer Kipprohoböden. Dabei verlaufen Humusakkumulation und Huminstoffbildung jedoch sehr langsam, so dass für das Erreichen der an den Standort angepassten Humusvorräte mehrere Jahrzehnte erforderlich sind. Deshalb ist die zusätzliche Zufuhr von organischen Düngestoffen bzw. pflanzlichem Material zum Boden Bestandteil vieler Rekultivierungsverfahren. Vorteilhaft sind jene organischen Düngestoffe, aus denen die größte Menge an Dauerhumus (Huminsäuren, Humine) hervorgeht oder die diesen bereits in großen Mengenanteilen enthalten. Weichbraunkohlen besitzen mit bis zu 98 % der asche- und wasserfreien Substanz sehr hohe Gehalte an Huminstoffen und können damit Humusersatzfunktionen übernehmen (KATZUR et al. 2002a). Durch das Verfahren der oxidativen Ammonolyse (FISCHER et al. 1999) wird die Braunkohle zusätzlich mit Stickstoff angereichert, der chemisch unterschiedlich gebunden ist und zeitlich gestaffelt pflanzenverfügbar wird (KATZUR et al. 2002b). Neben fest gebundenen N-Formen besitzt NOVIHUM® auch leicht pflanzenverfügbaren Mineralstickstoff und vereint damit die vorteilhaften Eigenschaften von Dauerhumus und Düngemitteln mit gesteuerter N-Freisetzung (KATZUR et al. 2003).

Im Rahmen eines im Braunkohletagebau Welzow-Süd langjährig angelegten landwirtschaftlichen Rekultivierungsversuches wurden die Einflüsse mengenmäßig differenzierter NOVIHUM®-Gaben auf wichtige Merkmale der Bodenfruchtbarkeit und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen untersucht.

**Material und Methoden**

Die Versuchsanlage erfolgte im Jahr 2001 auf einer Teilfläche der Absetzerkippe im Tagebau Welzow-Süd in Südbrandenburg, welche dem Endmoränenzug Lausitzer Grenzwall zuzuordnen ist. Das flachwellige

Hügelland weist eine mittlere Höhenlage 130 m üNNH (105-164 m üNNH) auf. Die Jahresniederschläge in der Region betragen rund 582 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 9,6 °C (DWD Station Cottbus 1981-2010).

Tab. 1 zeigt einige Kennwerte des Bodens zu Versuchsbeginn (BÖCKER und KATZUR 2002). Als Ausgangssubstrat der Bodenbildung lag ein Kipp-Kalklehmsand vor (oj-clc nach AD-HOC-AG BODEN 2005). Die Bodenart wurde als schwach kiesiger, schwach schluffiger bis schwach lehmiger Sand angesprochen. Die aus den Analyseergebnissen berechneten  $C_{org}$ -Gehalte belegen die Humusfreiheit des Kippsubstrates zu Beginn des Versuches. In Tab. 2 sind ausgewählte Standardparameter und -eigenschaften der N-modifizierten Braunkohle dargestellt.

**Tab. 1:** Eigenschaften des Kipprohbodens zu Versuchsbeginn im Mai 2001

Tiefenstufe	0-30 cm	30-60 cm
Bodenart	Su2	Su2/Si2
Skelett [%]	6,2	9,2
pH (KCl)	7,9	7,9
CaCO <sub>3</sub> [%]	5,4	3,9
C <sub>t</sub> [%]	0,53	0,47
C <sub>org</sub> [%]	0,00	0,00
N <sub>t</sub> [%]	0,009	0,009
P <sub>DL</sub> [mg kg <sup>-1</sup> ]	23	23
K <sub>DL</sub> [mg kg <sup>-1</sup> ]	32	21
Mg <sub>PV</sub> [mg kg <sup>-1</sup> ]	27	20

**Tab. 2:** Kennwerte des N-modifizierten Humusersatzstoffes NOVIHUM®

TS [%]	72,1
Glühverlust [%]	94,8
Körnung [mm]	d <sub>90</sub> < 4
pH (KCl)	7,1
C <sub>t</sub> [%]	65,8
N <sub>t</sub> [%]	5,78
C/N	11,4
NH <sub>4</sub> -N [% N <sub>t</sub> ]	31,2
Amid-N [% N <sub>t</sub> ]	11,6
N <sub>fog</sub> <sup>1)</sup> [% N <sub>t</sub> ]	57,1
P <sub>DL</sub> [mg kg <sup>-1</sup> ]	3,7
K <sub>DL</sub> [mg kg <sup>-1</sup> ]	52
KAK <sub>pot</sub> [mval kg <sup>-1</sup> ]	547

<sup>1)</sup> fest organisch gebunden

Der Feldversuch wurde ohne echte Wiederholung in Versuchspartellen von 10 x 8 m Größe in drei unterschiedlichen Fruchtfolgevarianten (FF) angelegt. Im Mai 2001 erfolgte neben der Grundmelioration, d.h. der mineralischen N/P/K-Düngung, auch die Einarbeitung des HES NOVIHUM® bis 30 cm Tiefe in Aufwandmengen von 7,5, 15 und 30 t ha<sup>-1</sup>. Als Referenz diente eine rein mineralisch gedüngte Parzelle je FF-Variante (Tab. 3).

**Tab. 3:** Düngung der Versuchsvarianten (Mineraldünger in kg ha<sup>-1</sup> Reinnährstoff)

FF	Grundmelioration				
	HES-Gabe		Mineraldüngung [kg ha <sup>-1</sup> ]		
	[t TM ha <sup>-1</sup> ]	[kg N <sub>MDÄ</sub> ha <sup>-1</sup> ]	N	P	K
A, C	-	-	80	160	160
B	-	-	160	160	160
A, C	7,5	118	-	160	160
B	15,0	236	-	160	160
A, C	15,0	236	-	160	160
B	30,0	473	-	160	160

N<sub>MDÄ</sub>: Stickstoff-Mineraldüngeäquivalent

Während FF A durch Getreide, Energiepflanzen, Öl- sowie Hackfrüchte dominiert wurde, um eine intensive landwirtschaftliche Nutzung zu simulieren, wurde in den FF B und C in 10 der 16 Versuchsjahre Luzerne angebaut (Tab. 4). Im Jahr 2013 wurde FF B der Bewirtschaftung in FF A angepasst. In FF C wurde extensiv und bodenschonend bewirtschaftet. Nachfolgend werden die Ergebnisse der FF B genauer betrachtet.

**Tab. 4:** Fruchtfolgen des Feldversuches

Jahr	FF A	FF B	FF C
2001	Senf	Kartoffel	Luzerne
2002	WiRo	WiWe	Luzerne
2003	WiWe	Luzerne	Luzerne
2004	WiGe	Luzerne	Luzerne
2005	Kartoffel	Luzerne	Hanf
2006	Weizen	Luzerne	SoGe
2007-2013	Luzerne	Luzerne	Luzerne
2013/2014	WiWe	WiWe	WiRo
2014/2015	WiRa	WiRa	WiRo
2015/2016	GrüRo	GrüRo	Phacelia
2016	Mais	Mais	Sorghum
2017	WiWe	WiWe	WiRo

WiRo: Winterroggen, WiWe: Winterweizen, WiGe: Wintergerste, SoGe: Sommergerste, GrüRo: Grünroggen

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In den Oberböden der FF B-Varianten ist gegenüber den Bedingungen zu Versuchsbeginn eine leichte Abnahme der Bodenreaktion erkennbar, freies Carbonat ist weiterhin vorhanden (Tab. 5). Die Gehalte an organischem Kohlenstoff variieren 16 Jahre nach Versuchsbeginn zwischen 0,61 und 0,85 %. Die Ergebnisse zeigen, dass die zu Beginn des Feldversuches mit NOVIHUM®-Gaben behandelten Böden grundsätzlich höhere  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte aufweisen, als die mineralisch gedüngte Referenzvariante.

**Tab. 5:** Kennwerte des Oberbodens (0-30 cm) der Fruchtfolgevariante B 16 Jahre nach Versuchsbeginn (n=3)

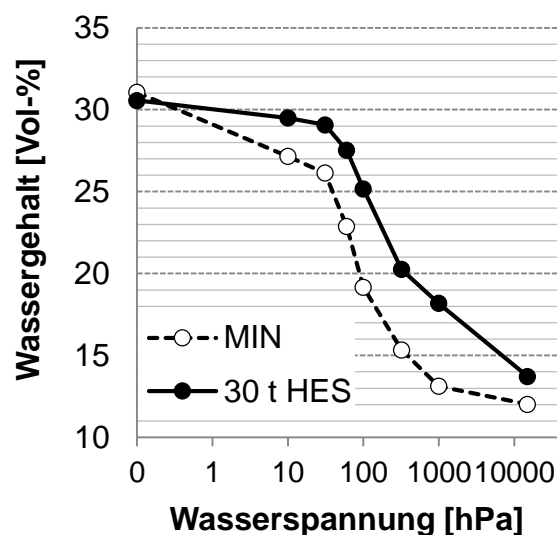
FF	HES [t ha <sup>-1</sup> ]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub>	$C_{org}$ [%]	$N_t$
B	0	7,58	3,2	0,61	0,043
	15	7,57	3,1	0,75	0,053
	30	7,58	3,7	0,85	0,056

Im 16. Rekultivierungsjahr bewegen sich die  $C_{org}$ -Gehalte der FF B-Varianten damit im von GUNSCHERA (1998) für die landwirtschaftliche Rekultivierung von Kipp-Kalklehmsanden angegebenen Richtwertbereich von 0,5 bis 0,9 %. In Brandenburg liegen die Gehalte an organischem Kohlenstoff in gewachsenen Ackerböden aus vergleichbaren Ausgangssubstraten in der Krume zwischen 0,6 und 1,1 % (VON WULFEN et al. 2008). Diese Werte vor allem in den NOVIHUM®-Varianten erreicht.

Aus den  $C_{org}$ -Gehalten der FF B ergeben sich rein rechnerisch Akkumulationsraten zwischen 0,038 und 0,053 % pro Jahr. Diese liegen über einer von GUNSCHERA (1978) berichteten jährlichen C-Akkumulation von 0,028 bis 0,032 % in der Krume von Kipp-Kalklehmsanden und -Kalksandlehmen und sind deutlich höher, als Anreicherungsrate, die im Zuge einer 41 bis 45-jährigen landwirtschaftlichen Rekultivierung bzw. auf unter Praxisbedingungen genutzten Kippböden vergleichbarer Substrate durch das Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. ermittelt wurden (0,010 – 0,014 %  $C_{org}$  pro Jahr). Anhand der empirisch abgeleiteten Anreicherungsrate wären ohne organische Düngung für die Akkumulation eines  $C_{org}$ -Gehaltes von 0,50 bis

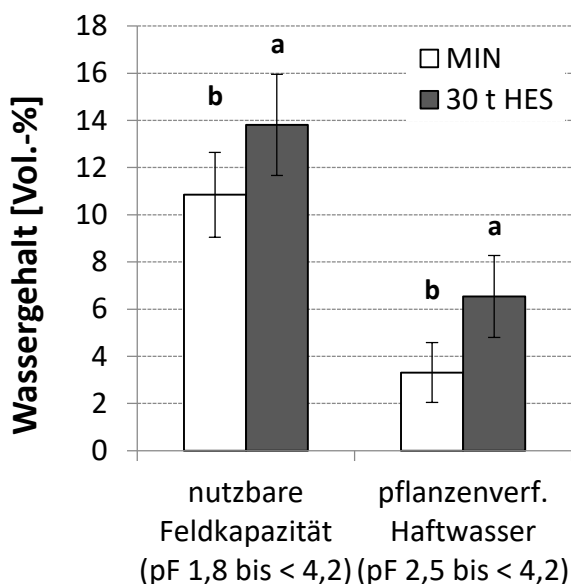
0,55 % auf ähnlichen Kippenstandorten 30 bis 40 Jahre erforderlich, Gehalte > 0,7 %  $C_{org}$  erscheinen erst nach deutlich längeren Zeiträumen realistisch. Durch den Einsatz des HES NOVIHUM® wurde dies sehr viel früher erreicht.

Im Anschluss an die Getreideernte wurden die Oberböden der FF B im Jahr 2017 hinsichtlich ausgewählter bodenphysikalischer Parameter untersucht. Es wurden ohne erkennbare Variantenunterschiede im Mittel sehr hohe Trockenraumgewichte (1,81 - 1,84 g cm<sup>-3</sup>) bei sehr geringen bis geringen Gesamtporenvolumina (29,5 - 31,1 Vol.-%) festgestellt. Bei der Ermittlung der Wassergehalts-Wasserspannungsbeziehungen zeigte sich, dass bereits mit einsetzender Entwässerung des Bodens bis 10 hPa der Wassergehalt in der rein mineralisch gedüngten Kontrollvariante (27,2 Vol.-%) merklich unter das Niveau des mit 30 t NOVIHUM® ha<sup>-1</sup> behandelten Bodens (29,5 Vol.-%) absinkt. Im Saugspannungsbereich zwischen 60 und 15.000 hPa, welcher den Volumenanteil der engen Grobporen sowie der Mittelporen und damit die Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser abbildet, ist im Boden mit der höchsten NOVIHUM®-Gabe ebenfalls eine deutliche Anhebung der Wassergehalte zu verzeichnen (Abb. 1).



**Abb. 1:** Wassergehalts-Wasserspannungskurven im Oberboden der FF B 16 Jahre nach Versuchsbeginn (Mittelwert, n = 24)

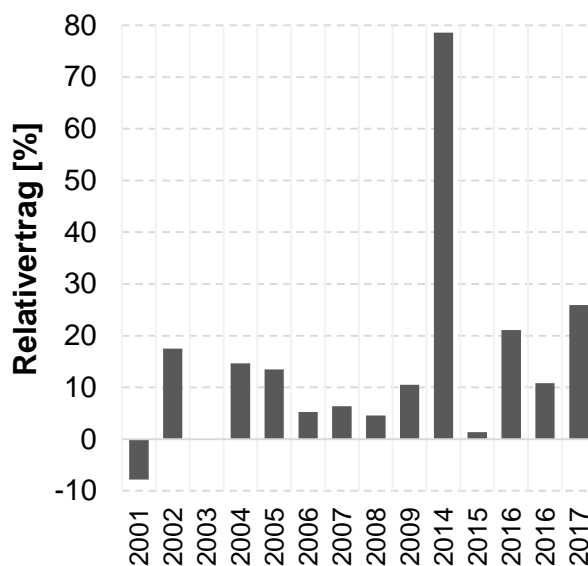
Im Oberboden der FF B-Varianten liegt 16 Jahre nach Versuchsbeginn nach AD-HOC-AG BODEN (2005) weiterhin eine geringe nutzbare Feldkapazität zwischen 10 und 14 Vol.-% vor (Abb. 2). In der mit NOVIHUM® behandelten Variante ist allerdings die Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser, welche für die Produktivität landwirtschaftlich genutzter Böden von besonderer Bedeutung ist, gegenüber dem rein mineralisch gedüngten Referenzboden signifikant um 3 Vol.-% erhöht. Damit wurde die Wasserversorgung der Pflanzen um etwa 8 l m<sup>-2</sup> angehoben, wodurch Trockenphasen zwischen Niederschlägen oder Bewässerungen etwas länger überbrückt werden können.



**Abb. 2:** Kennwerte des Wasserhaushaltes im Oberboden ausgewählter FF B-Varianten (Mittelwert, Standardabweichung, n = 24, t-Test SPSS)

Bereits im ersten Jahr nach Versuchsbeginn wurde in FF B in der Variante mit einer HES-Gabe von 30 t ha<sup>-1</sup> ein Mehrertrag von fast 20 % gegenüber dem rein mineralisch gedüngten Boden beim Anbau von Winterweizen ermittelt (Abb. 3). Auch beim Anbau von Luzerne (Ansaat in 2003) wurden in den Jahren 2004 bis 2009 Ertragssteigerungen zwischen 5 und 15 % gegenüber der Kontrollvariante festgestellt. Die N-Düngerwirkung des in den Oberboden eingearbeiteten, N-angereicherten HES hatte hier vermutlich jedoch nur einen geringen Einfluss,

da die mehrjährige Luzerne einerseits Luftstickstoff bindet und andererseits als tiefwurzelnde Pflanze einen relativ großen Anteil ihres Nährstoff- und Wasserbedarfs aus tieferen Bodenschichten abdeckt. Nach dem Umbruch der Luzerne hatte der HES NOVIHUM® weiterhin eine deutlich positive Wirkung auf die Ertragsbildung beim Anbau von Getreide und Energiepflanzen mit Mehrerträgen zwischen 10 und 80 % gegenüber dem rein mineralisch gedüngten Boden.



**Abb. 3:** Relativerträge nach Gabe von 30 t HES ha<sup>-1</sup> gegenüber rein mineralisch gedüngtem Boden der FF B (siehe Tab. 4)

Die positive Wirkung des Humusersatzstoffes NOVIHUM® auf den Bodenwasserspeicher steht somit in ursächlichem Zusammenhang mit der Akkumulation von organischen Kohlenstoffverbindungen, welche zum einen zu Beginn des Versuches mit dem HES selbst zugeführt wurden, und zum anderen mit zunehmender Versuchsdauer auch durch die Humusentwicklung am Versuchsstandort entstanden sind. Diese langfristige Humusbildung aus Pflanzenresten und abgestorbener Bodenflora und -fauna ist durch die wachstumsfördernde Wirkung der NOVIHUM®-Gaben verstärkt worden.

## 4 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5 verb. u. erw. Aufl. Hannover
- BÖCKER, L., KATZUR, J., 2002: Landwirtschaftlicher Testversuch zum Einsatz von NOVILHUM® im Tagebaubereich Welzow-Süd (Fläche WW 034). unveröff. Bericht, LAUBAG, Senftenberg
- FISCHER, K., KATZUR, J., SCHIENE, R., 1999: Organische Düngemittel sowie Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung. Az. 19859068.7-41, Anmeldungs-Nr. 2661 977
- GUNSCHERA, G., 1978: Landwirtschaftliche Rekultivierungsmaßnahmen auf quartären bindigen Kippsubstraten in der Niederlausitz. Diss. Halle
- GUNSCHERA, G., 1998: Erarbeitung eines Bewertungsrahmens für die landwirtschaftlichen Kippenflächen anhand des Ertragsniveaus und Herstellung eines Vergleichsschemas zu den Ackerzahlen von gewachsenen Böden auf der Grundlage der LN-Flächen des Tagebaues Schlabendorf Süd. Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Finsterwalde, unveröff.
- HAUBOLD-ROSAR, M., GUNSCHERA, G., 2009: Düngeempfehlungen für die landwirtschaftliche Rekultivierung von Kippenflächen. (Schriftenreihe des FIB e.V., Bd. 1) Selbstverlag, Finsterwalde
- KATZUR, J., FISCHER, K., BÖCKER, L., LIEBNER, F., SCHIENE, R., 2002a: Gefäß- und Freilandversuche zur Eignung von Braunkohle als Bodenverbesserungsmittel. Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 48, 241-255
- KATZUR, J., FISCHER, K., BÖCKER, L., LIEBNER, F., SCHIENE, R., 2002b: Kennwerte und Eigenschaften der auf Braunkohlenbasis durch oxidative Ammonolyse hergestellten Humusdüngestoffe. Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 48, 637-646
- KATZUR, J., FISCHER, K., BÖCKER, L., LIEBNER, F., SCHIENE, R., 2003: Düngewirkung der N-modifizierten Braunkohle und ihre Auswirkungen auf Pflanze, Boden und N-Auswaschungsverluste. Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 49, 61-75
- VON WULFFEN, U., ROSCHKE, M., KAPE, H.-E., 2008: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV). Land Brandenburg
- WÜNSCHE, M., THUM, J., 1990: Bodensubstrate und Bodenentwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flurkippe Espenhain (Sachsen). Arch. Naturschutz u. Landschaftsforschung 30, 217-229