

CARBON
FARMINGTeil 4 von 4
► Boden als CO₂-Speicher

Kohlenstoff mit dem Pflug anreichern?

Die partielle Krumenvertiefung, eine fast vergessene Meliorationstechnik aus der DDR, steht aktuell wieder im Fokus von Wissenschaftlern. Heute mit dem Ziel: Kohlenstoff in Böden speichern.

Dass landwirtschaftliche Böden riesige Kohlenstoffspeicher darstellen, ist unumstritten. Wie jedoch das CO₂ der Atmosphäre zu entziehen ist, und mit welchen humusmehrenden Maßnahmen der Kohlenstoff im Boden am besten gespeichert werden kann, darüber gehen die Meinungen weit auseinander.

Ein neuer Ansatz ist die partielle Krumenvertiefung – kurz pKV. Zentrales Element dieses Verfahrens ist ein Pflug, dessen Schare unterschiedlich tief arbeiten. Sie mischen Unterboden zu einem gewissen Grad in den Oberboden ein

und verlagern gleichzeitig Oberboden in neu angelegte Schächte im Unterboden.

Ob sich dieses Verfahren für die langfristige Steigerung der Kohlenstoffspeicherung (C-Sequestrierung) im Boden eignet, untersuchen Prof. Dr. Michael Sommer und Prof. Dr. Jürgen Augustin vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) gemeinsam mit ihrem Team im Projekt „Krumensenke“. Dieses wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert. Projektpartner für die technische Umset-

zung der Idee und für die anschließende Entwicklung eines entsprechenden Pfluges ist das Unternehmen Lemken.

Im vergangenen Herbst konnte sich top agrar auf der Versuchsstation des ZALF in Dedelow (Brandenburg) einen ersten Eindruck von dem speziellen Pflug und dem Stand der Forschungen verschaffen.

SO KOMMT EIN BODENWISSENSCHAFTLER ZUM PFLUG

Das Prinzip der Kohlenstoffmehrung im Boden mittels partieller Krumenvertiefung basiert laut Prof. Sommer



1



2



3

Foto: Baur

Fotos: Höner

△ 1) Lemken setzt beim pKV-Pflug auf das System Drehpflug. 2) Der Krumenbasispflug B205A stammt aus DDR-Zeiten. 3) Das Team vom ZALF: v.l.n.r.: Prof. Dr. Michael Sommer, Marisa Gerriets (Doktorandin), Dr. Andreas Baur, Dr. Gernot Verch (Leiter der Forschungsstation in Dedelow).

auf zwei bodenwissenschaftlichen Erkenntnissen. „Wir machen uns zunutze, dass der C-Sättigungsgrad und die mikrobielle Aktivität mit zunehmender Bodentiefe abnimmt und dass C-ungesättigter Boden einen bodenspezifischen Sättigungsgrad anstrebt, d.h. Kohlenstoff anreichert“, so der Bodenwissenschaftler.

Gelangt also C-ärmerer Unterboden durch pKV in den Bearbeitungshorizont (Ap), so nimmt dort der C-Gehalt zunächst ab. Der gleiche Effekt trete auch nach Erosion ein, wenn z.B. die Bodenbearbeitung, der Wind oder das Wasser einen Teil des Oberbodens zunächst abträgt und die nachfolgende Bodenbearbeitung den lokalen Unterboden in den Ap einmischt.

Aufgrund der Reaktivität des ungesättigten Unterbodenmaterials wird jedoch in der Folgezeit verstärkt pflanzlicher und mikrobieller Kohlenstoff dauerhaft stabilisiert, vorzugsweise an Eisenoxiden, Ton und in Aggregaten. Damit steigt der C-Gehalt im Ap wieder auf den ursprünglichen Wert an – wenn nicht nachfolgende Ereignisse (Erosion, pKV etc.) zu einem erneuten Ungleichgewicht führen. Eine CO₂-Senke durch pKV entstehe allerdings nur dann, wenn der kohlenstoffreichere Oberboden in den Schächten im Laufe der Zeit nicht vollständig abgebaut wird.

**„Böden streben einen
spezifischen
C-Sättigungsgrad an.“**

Prof. Michael Sommer

Doch wie bekommt man den Ober- und Unterboden miteinander vermischt? Dazu entwickelt Lemken derzeit einen Carbon-Farming-Pflug (CF-Pflug), welcher Serienpflugkörper im Wechsel mit speziellen CF-Körpern kombiniert. Letztere arbeiten 25 cm tiefer als die Serienpflugkörper, dafür aber auch 25 cm schmaler.

Dank dieser Kombination tauscht der Spezialpflug einen Teil des humosen Oberbodens durch humusarmen Unterboden aus. Die CF-Körper legen dazu bis zu 55 cm tiefe, schachtartige Furchen an, die mit Oberboden verfüllt werden. „Etwa 20 % des Oberbodens wird so ausgetauscht“, sagt Andre Hahn, Produktmanager Pflüge bei Lemken. Mit dem CF-Pflug lassen sich Ar-



Foto: Werkbild

◁ Beim pKV-Pflug sind die Carbon-Farming-Körper und die Standardkörper im Wechsel angeordnet.

beitstiefe und Arbeitsbreite stufenlos an die jeweiligen Bodenverhältnisse anpassen.

KEIN NEUES VERFAHREN

Interessant und für die heutige Wissenschaft bedeutsam ist, dass das meliorative Verfahren der partiellen Krumenvertiefung nicht neu ist. Bereits in den späten 1950er-Jahren wurden mit dem Segmentpflug von C.R. Gätke (Greifswald) die erste pKV-Technik zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit konstruiert und in der Praxis getestet.

Dessen Grundidee findet sich bis heute in allen pKV-Verfahren wieder: Die mittels tieferreichenden Werkzeugen angelegten Schächte durchbrechen Verdichtungszonen unterhalb der Pflugtiefe. So werden die Wasser- und Nährstoffvorräte des Unterbodens für die Kulturpflanzen besser erreichbar und die Erträge erhöht. Der Krumenboden in den Schächten vermindert zudem aufgrund des höheren Humusgehaltes eine Wiederverdichtung wie sie bei flächigem Tiefpflügen auftritt. Die zwischen den Lockerungsschächten verbleibenden Festzonen dienen der Aufrechterhaltung der Tragfähigkeit des Bodens. Eine partielle Krumenvertiefung begrenzt die Verdünnung der Krume, sodass negative bodenphysikalische und -chemische Effekte, wie sie bei ganzflächiger Krumenvertiefung in den ersten Jahren häufig beobachtet worden sind, vermieden werden.

Bis hin zur Wende 1989 haben Ingenieure in der ehemaligen DDR die pKV als Weiterentwicklung des klassischen

Meliorationsverfahrens vorangetrieben. Einer von ihnen ist Dr. Andreas Baur, der heute im Team von Prof. Sommer arbeitet. „Die in den 1980er-Jahren entwickelten neuen Lösungen zur partiellen Krumenvertiefung hatten neben der Optimierung dieses Meliorationsverfahrens vorrangig das Ziel, die Erträge auf den besonders verdichtungsempfindlichen, sandigen Böden zu steigern und diese auf höherem Niveau zu stabilisieren – trotz damals schon extremer werdender Wetterereignisse. Klimaschutzaspekte durch zusätzliche Kohlenstoffsequestrierung in Ackerbö-

SCHNELL GELESEN

Das Verfahren der meliorativen, partiellen Krumenvertiefung (pKV) ist nicht neu. Entwickelt und erprobt wurde es in der ehemaligen DDR.

Heute untersuchen Wissenschaftler, ob sich mit der pKV auch die Kohlenstoffspeicherung in Böden steigern lässt.

Historische Versuche belegen, dass ein mit Unterboden verdünnter Oberboden zusätzlichen Kohlenstoff binden kann. Der in Schächte eingebrachte Oberboden gibt den Kohlenstoff nur zum Teil wieder frei.

Um den Ober- und Unterboden miteinander zu vermischen, entwickelt Lemken zurzeit einen Pflug mit speziellen Körpern.

Die pKV ermöglicht Mehrerträge von 2,5 bis 5,5 dt Getreideeinheiten/ha.



Foto: Sommer

▷ Dieser Grabenanschnitt lässt die Schächte, die mit Oberboden verfüllt wurden, gut erkennen.

den waren damals allerdings noch kein Thema“, erinnert sich Baur.

HISTORISCHE VERSUCHE STELLEN WERTVOLLEN SCHATZ DAR

Dank der damaligen Bemühungen liegen den Forschern vom ZALF heute Datensätze von 231 pKV-Versuchen aus der Zeit von 1961 bis 1987 vor. Diese lassen einen mittleren Ertragsanstieg von 2,5 bis 5,0 dt GE/ha in den ersten drei Jahren nach der Maßnahme erkennen (GE = Getreideeinheit; eine GE entspricht dem Energiegehalt von 100 kg Gerste). Prof. Sommer und seinem Team geht es – neben dem Aspekt der Ertragssteigerung durch pKV – insbesondere um die Entwicklung der Kohlenstoffgehalte und -mengen.

Einen wirklichen Schatz stellen in diesem Zusammenhang historische Versuche dar, welche die Wissenschaftler auf den Feldern wiedergefunden haben und die heute Grundlage weiterer Messungen sind. „Die Veränderungen im Boden sind über einen langen Zeitraum von mehreren Dekaden abbildbar. Für unser Forschungsvorhaben sind die historischen Versuche und die Ergebnisse daraus ein absoluter Glücksfall“, so Sommer.

Einer dieser „wiederentdeckten“ Versuche ist der V210 in Müncheberg (Brandenburg) aus dem Jahr 1964. Dieser wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes „Soil³“ detailliert untersucht. Im V210 kam zwar kein

pKV-Pflug zum Einsatz, man hat aber den Profilaufbau des untersuchten Bodens analog zur pKV verändert, sodass drei verschiedene Versuchsvarianten entstanden:

1. Doppelter Oberboden: Der Ober- und Unterboden wurde bis 52 cm ausgegraben, gesiebt und anschließend die entsprechende Parzelle vollständig mit Oberboden gefüllt.
2. Doppelter Unterboden: Der Ober- und Unterboden wurde bis 52 cm ausgegraben, gesiebt und anschließend die entsprechende Parzelle vollständig mit Unterboden aufgefüllt.
3. Kontrolle: Der Profilaufbau der Böden wurde nicht geändert.

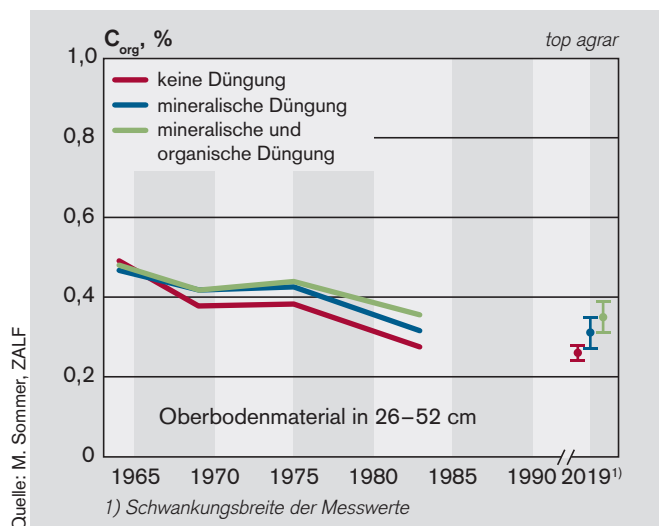
Über diese Varianten hat man damals drei Düngestufen gelegt, die hier aber keine weitere Berücksichtigung finden.

Datenerhebungen aus den Jahren 1969, 1975, 1983 und 1990 (nur im Oberboden) liefern dem Team um Prof. Sommer Kohlenstoffgehalte in den genannten Varianten, die sie durch eigene Messungen in 2019 erweiterten.

Die Ergebnisse: In der Variante 1 stand die Frage im Vordergrund, wie sich die C_{org} -Gehalte in der Tiefe 26 bis 52 cm verändern. Von einem Anfangsniveau von ca. 0,5 % C_{org} sank der Wert auf 0,27 bis 0,35 % im Jahr 1983. Die Untersuchungen aus dem Jahr 2019 belegen seitdem keine nennenswerte Veränderung des Kohlenstoffgehalts im Unterboden (siehe Übersicht 1).

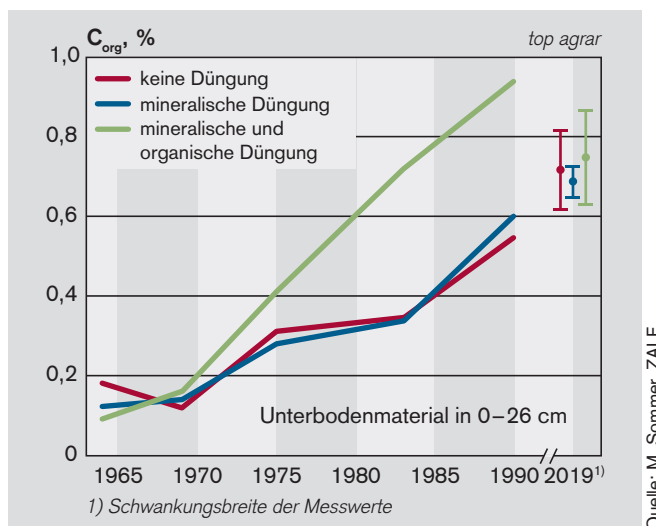
In der Variante 2 wurde untersucht, wie sich die C-Gehalte in den obersten 26 cm verändert. Die Anfangswerte lagen bei etwa 0,1 bis 0,2 % C_{org} . 1990

ÜBERSICHT 1: DOPPELTER OBERBODEN



△ Der Kohlenstoffabbau verläuft nicht linear, sondern pendelt sich ein.

ÜBERSICHT 2: DOPPELTER UNTERBODEN



△ Kohlenstoffarmer Unterboden hat ein großes C-Speicherpotenzial.

konnten 0,5 bis 0,6 % (0,9 % in der organisch gedüngten Variante) gemessen werden. Die Untersuchungen aus 2019 zeigen, dass sich die Werte unabhängig von der Düngung im Bereich von 0,7 bis 0,75 % C_{org} eingependelt haben (siehe Übersicht 2 auf Seite 72).

Anhand dieser Messreihen lassen sich zwei zentrale Punkte ableiten:

- Der Kohlenstoff des Ap-Horizontes, der in den Unterboden verlagert wurde, nimmt nicht permanent ab, sondern pendelt sich bereits nach zwei Dekaden auf einem gewissen Niveau ein, d.h. er verändert sich danach nicht mehr. Mindestens die Hälfte des eingebrachten Kohlenstoffs ist in der Tiefe 26 bis 52 cm stabilisiert.
- Gelangt kohlenstoffarmer Unterboden in den Ap-Horizont, nimmt dieser reichlich Kohlenstoff auf. Er entwickelt sich zum neuen Oberboden mit vergleichbaren C-Gehalten wie in der Kontrollvariante. Hier hat also eine starke C-Sequestrierung stattgefunden.

EIN DAUERHAFTER C-SPEICHER IN DER TIEFE

Dass selbst nach Jahrzehnten ca. 50 % des in die Tiefe beförderten Kohlenstoffs noch vorhanden sind, zeigen nicht nur die Ergebnisse der Variante 1 des Langzeitversuchs V210. In drei weiteren historischen Versuchen, die die Forscher lokalisieren konnten, führten bodenwissenschaftliche Untersuchungen zu ähnlichen Erkenntnissen. Die in

der Nähe zu Müncheberg gelegenen Versuche sind aus den Jahren 1977, 1979 und 1984.

Die in diesen Versuchen quer zur damaligen Bearbeitungsrichtung ausgehobenen Gräben zeigen noch heute den durch die partielle Krumenvertiefung verursachten, geänderten Profilaufbau. Dies ermöglichte die Analyse der Schächte (die Bereiche, die damals aus-

**„Die historischen
Versuche sind ein absoluter
Glücksfall für uns.“**

Prof. Michael Sommer

gehoben und dann mit Oberboden verfüllt wurden) und der angrenzenden Festzonen. Folgendes fanden die Wissenschaftler heraus:

- Die vor ca. 40 Jahren angelegten Schächte waren in allen Versuchen noch deutlich zu erkennen.
- Die Lagerungsdichten in den Schachtzonen sind immer noch signifikant geringer als in den unmittelbar angrenzenden Festzonen.
- Die Gehalte an organischem Kohlenstoff liegen in den Schächten vier- bis fünfmal höher als in den benachbarten Festzonen. Sie betragen nach ca. 40 Jahren immer noch ca. 50 % des ursprünglichen C_{org} -Gehaltes des verla-

gerten Oberbodens. Als Ausgangswert gelten 0,7 % C_{org} , die an Rückstellproben aus den 1980er-Jahren ermittelt werden konnten.

SPICHERPOTENZIAL VON 1,2 t CO₂ JE HEKTAR

Die historischen Versuche bestätigen, dass sich mit der pKV zusätzlicher Kohlenstoff langfristig (mehrere Dekaden) im Boden speichern lässt. Vorausgesetzt, es besteht eine Differenz im C-Gehalt des Ap-Horizontes und dem darunter liegenden Bodenhorizont. Mit diesem Wissen und mit den Daten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts hat Prof. Sommer für über 2000 Ackerböden in Deutschland ein mittleres C-Sequestrierungspotenzial bei (einmaliger) pKV von 660 g C/m² ermittelt. Die Streuung sei jedoch groß und hinge in erster Linie vom Bodentyp, der Mächtigkeit des Ap-Horizontes und dem C-Gehalt des nächst tieferen Horizontes ab.

„Bei dieser Rechnung unterstelle ich, dass 20 % des Oberbodens durch C-ärmeren Unterboden ausgetauscht werden und dass der Oberboden nach zehn Jahren seinen ursprünglichen C-Gehalt wieder erreicht hat“, so Sommer. Da der in die Schächte verlagerte Oberboden im Lauf der Zeit einen gewissen Anteil des Kohlenstoffs wieder verliert, rechnen die Wissenschaftler des ZALF lediglich mit 50 % des theoretischen Speicherpotenzials im Oberboden. ▶

biottrinsic N-Collect

Natürliche Stickstoffquelle

N

+ 30 - 40KG
pro Saison

PK

+ je 30 - 40KG
pro Saison

biottrinsic PK-Release

Natürliche Phosphor & Kalium Quelle

Mit den **BIOSTIMULANZIEN** von **indigo** sichern Sie sich in dieser Saison einen entscheidenden Vorteil.

▶ Für alle Kulturen ▶ Für Ökolandbau gelistet ▶ Bis zu 122 EUR / ha sparen

biottrinsic
by indigo

Mehr erfahren =>





Foto: Höner

△ Modernste Technik zur Messung von Gasflüssen: Der Portalkran des ZALF.

Teilt man also 50 % des Potenzials auf 10 Jahre auf, kommt man auf 33 g C/m² und Jahr. Multipliziert man diesen Wert mit dem Umrechnungsfaktor von C zu CO₂ von 3,67, kommt man auf ein Speicherpotenzial von 121 g CO₂ je m² bzw. 1,2 t CO₂/ha.

Hiervon abzuziehen ist der zusätzliche CO₂-Ausstoß aufgrund des höheren Dieserverbrauchs bei einem (einmaligen) Einsatz des pKV-Pfluges. Der Mehrverbrauch im Vergleich zum konventionellen Pflügen beläuft sich laut Produktmanager Andre Hahn auf 10 l/ha, was umgerechnet 0,026 t CO₂ ergeben. Das sind lediglich 0,2 % der innerhalb von 10 Jahren gespeicherten CO₂-Menge.

INTERESSANT FÜR LANDWIRTE?

Neben den unmittelbar erzielbaren Ertragssteigerungen stellt die partielle Krumenvertiefung für Landwirte, die sich mit CO₂-Zertifikaten eine weitere Einnahmequelle erschließen möchten, einen interessanten Ansatz dar. „Bei einer Vergütung von z.B. 60 € je t CO₂ ergäben sich nach unserer Rechnung 73 € je ha für die CO₂-Speicherung – und das jährlich über 10 Jahre“, so Sommer. Geht man davon aus, dass 50 % der 11,7 Mio. ha Ackerfläche Deutschlands pKV-fähig sind, könnten diese Flächen jährlich 7 Mio. t CO₂ speichern – etwa 12 % der jährlichen CO₂-Äquivalente der gesamten Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft.

Nach Meinung der Wissenschaftler vom ZALF lässt sich ein meliorativer Einsatz des pKV-Pfluges bereits nach fünf Jahren wiederholen, um die C-Sequestrierung und damit die CO₂-Senkenwirkung eines Schlages weiter zu er-

höhen und die positiven Ertragseffekte zu verstärken. Mittels hochgenauer GPS-Technik lassen sich die neuen Schächte versetzt zu den bestehenden anlegen. Gegebenenfalls lässt sich die zweite pKV-Maßnahme auch diagonal zur ersten ausführen.

Laut Prof. Sommer sei es jetzt wichtig, das System breit zu testen. An den technischen Voraussetzungen dafür arbeitet Lemken auf Hochtouren. Der Markteintritt mit vier-, sechs- und acht-furchigen Modellen des Carbon-Farming-Pfluges ist für 2024 geplant. Zugute kommt den Beteiligten, dass die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung ab Frühjahr 2022 das Projekt „CarbonTillage“ fördert. Dies haben das ZALF und Lemken gemeinsam im Rahmen der Deutschen Innovationspartnerschaft Agrar (DIP) eingereicht. Ziel des Projektes ist, das pKV-Verfahren zu optimieren und die Pflüge zur Serienreife zu entwickeln.

BEGLEITENDE FORSCHUNG

Versuche im Feld und im Freilandlabor

Im Herbst 2020 legten Mitarbeiter vom ZALF und von Lemken gemeinsam einen **Praxisversuch** an. Auf einem 12 ha großen Praxisschlag in Brandenburg mit typischer Bodenheterogenität einer kuppigen Grundmoränenlandschaft kam dazu vor der Roggenaussaat ein pKV-Pflug zum Einsatz. In vier Blöcken mit

je vier Streifen (zwei mit und zwei ohne pKV, jeweils mit und ohne Gärreste) werden u.a. aktuelle Ertragsunterschiede ermittelt. Ertragsmessungen mit drohnengestützter, hochauflösender Fernerkundung kurz vor der Ernte des Grünschnittroggens 2021 ließen im Mittel um 5,5 dt/ha höhere Trockenmasseerträge in den pKV-Parzellen erkennen. Diese positive Ertragswirkung der pKV soll in den beiden Folgejahren mit Raps und Triticale geprüft werden.

Parallel zu dem Praxisversuch haben die Wissenschaftler ein **Manipulationsexperiment** auf der CarboZALF-Experimentalfeldfläche nahe Dedelow angelegt. Mit diesem möchten sie prüfen, wie sich die Gasflüsse verändern, wenn C-armer Unterboden in den Bearbeitungshorizont eingemischt wird. „Um dies herauszufinden, nutzen wir einen speziell entwickelten Portalkran mit mobilen Gashauben, der die Emissionen von drei klimarelevanten Spurengasen – Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄) – in Boden-Pflanzen-Systemen gleichzeitig messen kann“, erklärt Sommer.

Bei den angebauten Kulturen handelt es sich, genau wie auf der Praxisfläche, um Roggen, Raps und Triticale. Die Versuchsanlage deckt mit drei Bodentypen (typische Parabraunerde, erodierte Parabraunerde und Pararendzina) relevante Böden der umgebenden Landschaft ab. Aus technischen Gründen wurde im Modellversuch die Einmischung des Unterbodens in den Ap simuliert. Nach dem Abschieben von ca. 5 cm Ap-Horizont wurde die fehlende Bodenmasse mit Bodenmaterial aus den jeweils unterlagernden Al-, Bt- oder C-Horizonten ersetzt.

Bisherige Ergebnisse: Nach dem ersten Anbaujahr (Grünroggen) liegen die aus Fotosynthese und Atmungsvorgängen resultierenden Netto-CO₂-Flüsse der pKV-Parzellen durchweg unter den Werten der Kontrollparzellen. Das bedeutet, dass netto in den pKV-Parzellen mehr CO₂ im System Boden-Pflanze verblieb und es damit der Atmosphäre entzogen wurde. Die Messungen ließen Unterschiede zwischen den Bodentypen erkennen. So war die Differenz zwischen den Parzellen mit und ohne pKV auf der erodierten Parabraunerde am höchsten. Wie und welche Bodeneigenschaften das CO₂-Speicherpotenzial beeinflussen, ist Bestandteil laufender Forschungsarbeiten.

Ihr Kontakt zur Redaktion:
daniel.dabbelt@topagrar.com