

PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

A) Projektdaten

Kurztitel:	ACC
Langtitel:	Austrian Carbon Calculator
Programm inkl. Jahr:	ACRP, 4. Call, 2011
Dauer:	27.03.2012 bis 27.08.2015
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Katrin Sedy
Kontaktperson Name:	Katrin Sedy
Kontaktperson Adresse:	Spittelauer Lände 5, 1090 Wien
Kontaktperson Telefon:	01 313 04/3515
Kontaktperson E-Mail:	katrin.sedy@yahoo.de
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES); Wien Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ); Deutschland, Leipzig Bodenschutzberatung der Landwirtschaftskammer Oberösterreich (BSB LK OÖ); Oberösterreich Universität für Bodenkultur (BOKU); Wien
Schlagwörter:	Kohlenstoffsequestrierung in landwirtschaftlichen Böden Organischer Boden-Kohlenstoff Humusreproduktion Landwirtschaftliche Bewirtschaftung Klimawandelanpassung Produktionssicherung im Ackerbau
Projektgesamtkosten:	343.792,-
Fördersumme:	278.360,-
Klimafonds-Nr:	B175073
Erstellt am:	18.11.2015

Projektübersicht

1 Kurzfassung

Fokus der Arbeiten

Das Projekt Austrian Carbon Calculator beschäftigt sich in erster Linie mit den Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Humusdynamik. Der Aufbau bzw. die Aufrechterhaltung der Humus-Gehalte von Acker-Böden ist für die Produktivität landwirtschaftlicher Böden äußerst wichtig.

Besonders durch extreme Witterungsverhältnisse, die durch Klimaänderungen verstärkt zu erwarten sind, werden Ertragsrückgänge prognostiziert. Aufbau von Bodenhumus kann die Bodenfunktionen stabilisieren bzw. verbessern und Ertragseinbußen durch Wetterextreme verringern.

Der Humusumsatz und damit die Kohlenstoffdynamik eines Standortes ist vom Klima, vom Boden und der Bewirtschaftung abhängig. Das Ausmaß des Humusaufbaus oder -abbaus durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung wird durch die Standorteigenschaften geprägt.

Bewirtschaftungsformen haben Einfluss auf den organischen Boden-C-Gehalt. Ziel des Projektes ist es, den Einfluss der Bewirtschaftungsformen und der Klimaänderungen auf die organischen Boden-C-Gehalte unterschiedlicher Standorte sichtbar zu machen.

Methode

Das verwendete Modell CCB (CANDY Carbon Balance) beschreibt die Dynamik des umsetzbaren Kohlenstoffs im Boden in Jahresschritten für mittlere Standortbedingungen in Abhängigkeit von Ertrag und zugeführtem organischen Dünger.

Ein Kernelement des Modells ist der Indikator BAT (biologic active time), welcher die biologische Aktivität widerspiegelt und aus den Standortbedingungen abgeleitet wird. Sie ist ein Maß für die Umsatzleistung von organischem Bodenkohlenstoff eines Standortes.

Zur Kalibrierung des Modells CCB (Carbon Candy Balance) wurden die Langzeitversuche der AGES herangezogen. Diese bilden unterschiedliche Bewirtschaftungsparameter ab (Bodenbearbeitung, Abfuhr/Belassen der Ernterückstände, Düngerarten, Kompost) und zeigen mehrheitlich eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Werten und den Simulationen.

Weiters wurden 50 ackerbaulich genutzte Standorte wiederholt beprobt und die Bewirtschaftungshistorie erhoben. Aufgrund dieser Realdaten wurde das Modell getestet und an die regionalen klimatischen Bedingungen und ackerbaulichen Spezifika angepasst.

Es wurden 2 Benutzungsformen des Modells erarbeitet:

- Für die regionale Anwendung wurden Karten der Testregionen Mühlviertel und Marchfeld entwickelt. Diese Karten liefern Informationen zu aktuellen und zukünftigen Boden-C-Änderungen bei aktueller regionsspezifischer Nutzung und bei der Änderung von Managementfaktoren (wie Fruchtfolge, Düngung, Begrünung, Abfuhr Erntereste und/oder Begrünung) und des Klimas. Für die Modellierung wurde ein Zeithorizont bis 2050 ausgewählt. Bewirtschaftungsänderungen werden im Vergleich der Zeitbereiche 1980 – 2010 mit 2011 – 2050 dargestellt.
- Für die lokale/schlagspezifische Anwendung werden entsprechende Fruchtfolgen zusammengestellt und weitere Bewirtschaftungscharakteristika eingegeben. Die Variablen sind hier Fruchtart, Ertrag, Abfuhr der Ernterückstände (ja/nein), diverse organische Dünger, Begrünung mit und ohne Abfuhr, sowie dauerhaft wendende oder nicht wendende Bodenbearbeitung. Unter Berücksichtigung der Bodenart und der Klimaparameter (Niederschlag und Temperatur) wird ein Indikator zur Bewertung der Humusreproduktion im Zeitraum der eingegebenen Fruchtfolge und darüber hinaus berechnet.

Bei beiden Ansätzen wird der Kohlenstoff-Reproduktionsindex (Crep) berechnet. Er gibt den C-Input in das System an. Eine weitere Berechnungsgröße ist der RepIX: ein Maß für die Humusdynamik, welches sich aus der BAT und dem Crep errechnet.

Ergebnisse

Ziel des Austrian Carbon Calculators ist es, die Wirkung von Boden-C-auf- oder abbauenden Maßnahmen sichtbar zu machen. So kann der Einfluss auf die Boden-C-Dynamik der vergangenen und der kommenden Bewirtschaftung auch im Hinblick auf die Klimaänderung bewertet werden. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung, Begrünung der jeweiligen Ackerflächen und die lokale Bodenart sowie der herrschenden Klimaverhältnisse wird die Entwicklung der organischen Bodensubstanz erkennbar. Zu- oder Abnahmen werden sichtbar und gezielte Anpassungsmaßnahmen können im Rahmen des Modells theoretisch getestet werden. Damit kann aus Erfahrungen gelernt und die Bewirtschaftungshistorie fortgeschrieben werden, oder aber Änderungen im Bewirtschaftungsmanagement durchgeführt werden. Die Methodik und Ergebnisse wurden mit ExpertInnen und PraktikerInnen im Rahmen von 4 Workshops diskutiert und aufgrund dessen weitere Anpassungen vorgenommen.

Eine Kernaussage des Modells und damit des Projekts ist: vor allem durch höhere Temperaturen und gleichbleibende Niederschlagverhältnisse erhöht sich im Allgemeinen der Boden-C-Umsatz, wodurch ein höherer Anteil des Humusvorrats umgesetzt bzw. mineralisiert wird. Um das aktuelle Boden-C-Gehaltsniveau aufrecht zu erhalten bzw. zu verbessern, muss daher mehr organische Substanz zugeführt werden (Ernterückstände, Begrünungen, Feldfutter), bzw. die Mineralisierung fördernde Prozesse (Bodenbearbeitung) verringert werden. Diese humusaufbauenden Prozesse müssen für eine Stabilisierung der Boden-C-Verhältnisse langfristig beibehalten werden.

In den Ergebnissen hat sich gezeigt, dass insbesondere das Erhöhen des organischen Inputs (Ernterückstände, Begrünungen), sowie die Reduktion der Bodenbearbeitung zu einer deutlich verbesserten Humusversorgung führen. Auch die Fruchtfolge spielt eine Rolle, so wirkt sich z. B. der Anbau von Ackerfutter (Klee gras) positiv auf die Humusversorgung aus. Die Projektergebnisse belegen, dass die gängigen Anpassungsmaßnahmen wirksam sind. Durch die beiden Module (das lokale und das regionale Modell) können die Auswirkungen anschaulich dargestellt werden und in der landwirtschaftlichen Bodenschutzberatung regional eingesetzt werden. Auch der Landwirt kann individuell die Auswirkung seiner Bewirtschaftung abschätzen und zielführende Änderungen für die Zukunft abwägen.

2 Executive Summary

Carbon sequestration in agricultural soils is strongly influenced by management practices. The humus balance model CCB was calibrated and tested by results from Austrian long term field experiments and field data of selected farms to predict SOC turnover. The main aim of the project was to adapt a suitable existing model to regional and local conditions and to generate an easily applicable tool for carbon balancing. The regional and the local model together can be applied in two different agricultural production regions to assess humus reproduction due to agricultural management practices. Thus, the project aims at building the knowledge base for the potential of soil carbon sequestration in agricultural soils for Austria with regard to different soil management practices including crop rotations better adapted to climate change. The results have been applied, demonstrated and assessed in selected test regions in Upper and Lower Austria and discussed with key stakeholders and scientific experts.

For the regional application, maps of the test regions Mühlviertel and Marchfeld were developed. These maps show information on recent and future changes in humus reproduction for recent region specific management and for changed management. Management changes focus on crop rotation, fertilization, catch crops, management of crop residues and intensity of soil tillage. Climate change scenarios are included and allow modelling up to the year 2100. For the regional modelling a timescale until 2050 was chosen. Changes in management were shown for two different time slices, therefore a comparison for management from 1980 – 2010 and 2011 – 2050 is possible.

The local model is designed for individual agricultural sites with free selection of crops and other management factors (yield, management of crop residues, use of organic fertilizers, catch crops with/without aboveground biomass left on field, constant conventional or reduced soil tillage, and irrigation). Considering soil type and climate parameters (temperature and precipitation) an indicator for the assessment of humus reproduction is calculated.

Maps of the regional model and the downloadable local model are available under:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/landnutzung/acc/>

A key message of this project is the increase of soil-C-turnover at higher temperatures but constant precipitation. This leads to higher soil-C turnover and mineralisation. To maintain or to increase the recent soil-C-level, the supply of organic matter must be increased too.

Both models of the Austrian Carbon Calculator show the effect of agricultural management on humus reproduction and therewith on soil carbon dynamics on regional and local scale. The influence of management techniques of past and future land management becomes visible and can be compared. Different management techniques serve as common adaptation measures, like catch crops, crop residues, different organic amendments, high share in field forage in crop rotation und reduced soil tillage. The effect of single or the complete set of these adaptation measures can be tested and visualized by the models. The local and the regional approach are valuable tools for the assessment of the present management. The level of humus reproduction gives information on the supply with organic material for humus built up and on the intensity of microbial turnover. It is possible to predict soil-carbon dynamics for future decades in case of unchanged management or for changed/better adapted management for single sites and regions. Due to the inclusion of soil and climate data hotspots can be identified. These areas are characterized by high microbial turnover rates and, therefore, higher needs of organic input material to avoid a reduced humus reproduction level.

Generally it can be said that the tested adaptation measures are effective, this can be visualised and verified by the regional and the local model. Both models can be used in agricultural extension services, while farmers will prefer the local model where they can read off the effects of their management and of other or additional management options.

The project results are a very good basis to adapt the two models also to other regions. An application for a follow up project has already been handed in under the 8th ACRP call (ASCC). It wants to further examine the promising modelling of humus reproduction on the entire agricultural crop land in Austria for regional and local use.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Aufgrund des Klimawandels spielen zukünftige Entwicklungen des Bodenkohlenstoffs eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Konstante bzw. steigende Humusgehalte können die Auswirkungen von Klimaänderungen reduzieren und die Ertragslage stabilisieren bzw. sogar zu verbessern.

Das Ziel des Projektes war es, ein Werkzeug zur Berechnung der Humusversorgung zu entwickeln. Dieses Werkzeug soll sowohl auf Feld-Ebene (lokales Modell) als auch auf regionaler Ebene anwendbar sein. Der Fokus der Entwicklung lag einerseits bei der einfach handhabbaren Anwendung, andererseits sollte die Entwicklung der Humusversorgung durch unterschiedliche Bewirtschaftung klar erkennbar sein.

Um die Aussagen zu präzisieren und an regionale Maßstäbe anzupassen, wurden Langzeit-Feldversuche, Bodenzustandsinventur-Daten und Betriebserhebungen herangezogen. Mit diesen Datensätzen wurde das Modell CCB getestet und für geeignet befunden.

Um die Humusversorgung und deren Hauptfaktoren in größerem Maßstab zu erfassen, wurden Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen durchgeführt.

Aufgrund dieser Daten wurden weitere Entwicklungen durchgeführt, mit dem Ziel, die aktuellen landwirtschaftlichen Bedingungen in den beiden Testregionen Marchfeld und Mühlviertel abzubilden.

Um zukünftige Entwicklungen sichtbar zu machen wurden verschiedene Klimaszenarien erstellt. Diese Szenarien geben, gemeinsam mit der aktuellen oder geänderten Bewirtschaftung, Auskunft über zukünftige erhöhte, konstante oder verringerte Humusversorgung.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

Die Projektinhalte, Aktivitäten und angewandte Methoden werden anhand der Arbeiten und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete beschrieben:

Das Hauptziel des **Arbeitspakets 1 („Datenbereitstellung“)** war die Beschaffung und Sammlung von Informationen für die Kalibrierung und Validierung des Humusbilanz-Modells. Einerseits wurden dafür ausgewählte Daten von AGES Langzeitversuchen verwendet und so aufbereitet, dass sie den Anforderungen des Modells entsprachen. Andererseits wurden neue Daten generiert, indem Bodenproben erneut auf Standorten gewonnen wurden, die bereits in den 1990er Jahren im Zuge der Bodenzustandsinventur (BZI) beprobt worden waren. Innerhalb der beiden Untersuchungsgebiete wurden im Mühlviertel 30 sowie im Marchfeld 20 dieser BZI-Standorte aufgesucht und jeweils aus drei unterschiedlichen Tiefenstufen Bodenproben entnommen. Für eine einheitliche Vorgehensweise, wurde ein Beprobungsprotokoll entwickelt.

Um eine valide Vergleichbarkeit der neuen Analyseergebnisse (2012) mit jenen der BZI-Untersuchung zu gewährleisten, erfolgte zuerst eine Neuanalyse der archivierten BZI-Rückstellproben, die uns als Referenz für Veränderungen bestimmter Bodenparameter innerhalb der letzten 20 Jahre dienen sollten.

Im Zuge der Neubeprobung wurden alle Bewirtschafter der 50 Standorte kontaktiert und ersucht, sämtliche Bewirtschaftungsmaßnahmen, die seit 1992 auf dem ausgewählten Feldstück umgesetzt worden waren, möglichst lückenlos aufzulisten. Die Abfrage wurde, unter Zuhilfenahme eines eigens dafür entwickelten Fragebogens, von einer qualifizierten Person durchgeführt. Für die Validierung dienten sowohl die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen als auch die analysierten Bodenparameter aller Standorte.

Boden- und Kulturartendaten von verschiedenen AGES Langzeit-Feldversuchen wurden gesammelt und entsprechend den Modellanforderungen zusammengeführt:

- Bodenbearbeitungsversuch in Fuchsenbigl/Marchfeld
- Versuch zur Einarbeitung bzw. Abfuhr von Ernterückständen (Rutzendorf/Marchfeld und Rottenhaus/Alpenvorland)
- Kompostversuch (Ritzlhof, Oberösterreichischer Zentralraum)
- IOSDV Versuch (Marchfeld, die letzten Bodenproben wurden im Juli 2012 gezogen (Tiefenstufe 0-25), danach musste er leider beendet werden)

Folgende Bodenparameter wurden analysiert:

- „Total organic carbon“ (TOC, gesamter organischer Kohlenstoff - Humus = $TOC \times 1,72$) gemäß ÖNORM L 1080, Elementanalyse (LECO RC-612 TruMac CN (LECO Corp., St. Joseph, MI, USA) bei einer Temperatur von 650°C.
- Gesamtstickstoff (N_t) gemäß ÖNORM L 1095, Elementanalyse (CNS 2000 SGA-410-06) bei einer Temperatur von 1.250°C.
- Pflanzenverfügbarer Phosphor (P_{CAL}) und Kalium (K_{CAL}) unter Verwendung der „Calcium-Azetat-Laktat“ (CAL)-Extraktion (ÖNORM L 1087)
- pH in 0,01 M $CaCl_2$ bei einem Boden:Lösung-Verhältnis von 1:2,5 (ÖNORM L 1083)

Die Verläufe der Humus/TOC-Gehalte sind unterschiedlich (Tabelle 3 und 4). Von 50 Bodenproben zeigen 21 eine Abnahme, 18 eine Zunahme und 11 weisen keine Veränderung auf. Eindeutige Trends von Zusammenhängen zwischen Humusgehalt und Bewirtschaftungssystem können nicht gemacht werden.

Zwischen den wenigen untersuchten biologisch bewirtschafteten Böden und jenen unter konventioneller Bewirtschaftung konnten keine signifikanten Unterschiede im Humusgehalt

beobachtet werden. Hingegen scheint ein Zusammenhang durch die Daten erkennbar zu sein: Die ÖPUL Maßnahme UBAG („Umweltgerechte Bearbeitung von Acker und Grünland“) hat offenbar einen Einfluss auf den Humusgehalt, da bei Betrieben, die nicht an diesem Programm teilnahmen, Verluste an organischer Substanz festzustellen waren.

Tabelle 1: Mittelwerte des Humusgehaltes (%) (n=50)

	Tiefe	Mittelwerte des Humusgehaltes [%]	
		1992	2012
Mühlviertel	0-20 cm	4,12	4,08
	20-40 cm	2,21	2,35
	40-60 cm	1,27	1,22
Marchfeld	0-20 cm	2,73	2,92
	20-40 cm	2,55	2,60
	40-50 cm	2,18	2,01

Tabelle 2: Mittelwerte des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) (%) (n=50)

	Tiefe	Mittelwerte des TOC [%]	
		1992	2012
Mühlviertel	0-20 cm	2,40	2,37
	20-40 cm	1,32	1,37
	40-60 cm	0,73	0,71
Marchfeld	0-20 cm	1,58	1,70
	20-40 cm	1,49	1,50
	40-50 cm	1,28	1,18

Die Tabelle 1 zeigt, dass im Mühlviertel in 0-20 cm Tiefe höhere und in 20-40 cm Tiefe geringere Humusgehalte vorliegen als im Marchfeld. Dies ist ein Indiz dafür, dass – unabhängig von spezifischen Standortverhältnissen (Boden, Klima) – im Marchfeld eine tiefere Bodenbearbeitung (> 20 cm) durchgeführt wird.

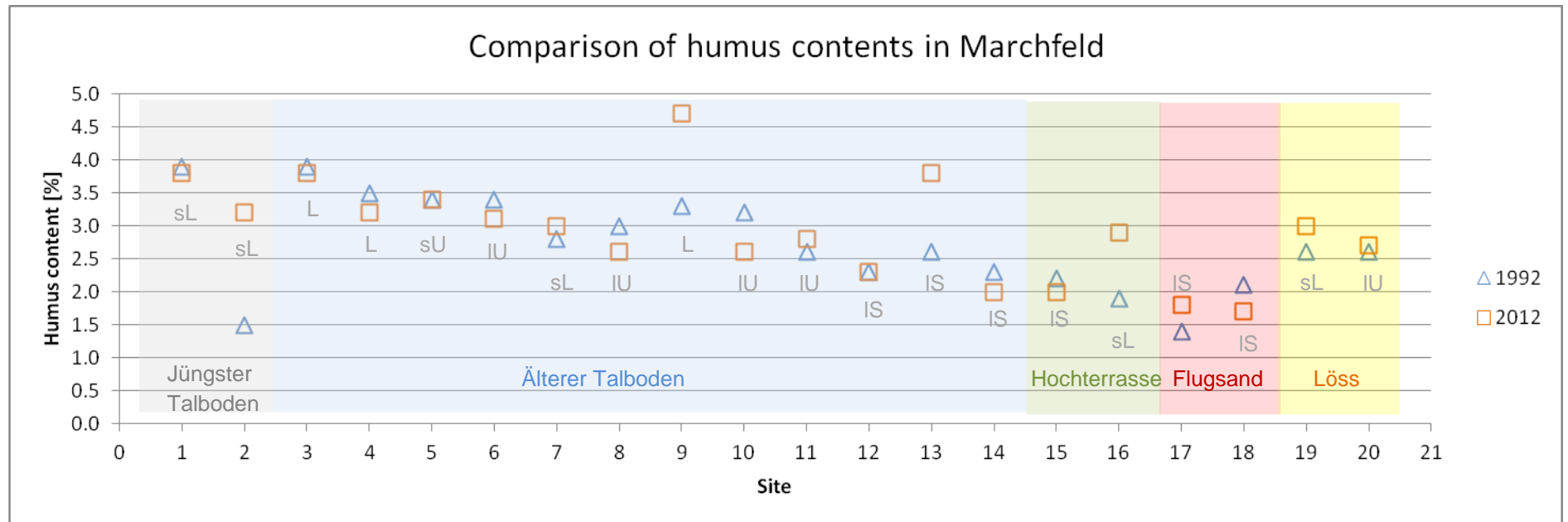


Abb.1: Vergleich von Humusgehalten im Marchfeld regionalisiert nach geologischen Einheiten (Jüngster Talboden, Älterer Talboden, Hochterrasse, Flugsand, Löss) (Textur: IS...lehmiger Sand; sU...sandiger Schluff; IU...lehmiger Schluff; sL...sandiger Lehm; L...Lehm)

Der Vergleich der Humusgehalten von 1992 und 2012 zeigt, dass kein klarer Entwicklungstrend der organischen Substanz in den Böden des Marchfeldes zu erkennen ist (siehe Abb.1). Es ist grundsätzlich darauf hinzuweisen, dass die Validität von Humusgehaltsverläufen, die aus zwei Messwerten abgeleitet sind, zu schwach ist, um auf eindeutige Trends in der Humusdynamik schließen zu können. Ergebnisse von Langzeitversuchen haben gezeigt, dass der Gehalt an organischer Substanz ein Parameter ist, der starken Fluktuationen unterliegt und maßgeblich von den Standortbedingungen (Boden und Klima) abhängt. Zwei Humusgehaltsmessungen innerhalb von 20 Jahren sind nicht genug, um die gesamte Komplexität des Wechselspiels zwischen Humusabbau/bzw. -aufbau wiederzugeben. Dies unterstreicht die Abb.1, die verdeutlicht, dass weder die lithologischen Voraussetzungen, noch die Textur des Bodenmaterials alleine die Humusdynamik erklären können. In der Abbildung fallen vier Standorte ins Auge, die im Marchfeld einen deutlichen Zuwachs an organischer Substanz aufweisen (Standort 2, 9, 13 und 16). Bei drei dieser vier Ackerflächen (Standort 9, 13 und 16) werden seit Jahren regelmäßig organische Düngergaben (Pferdemist) verabreicht.

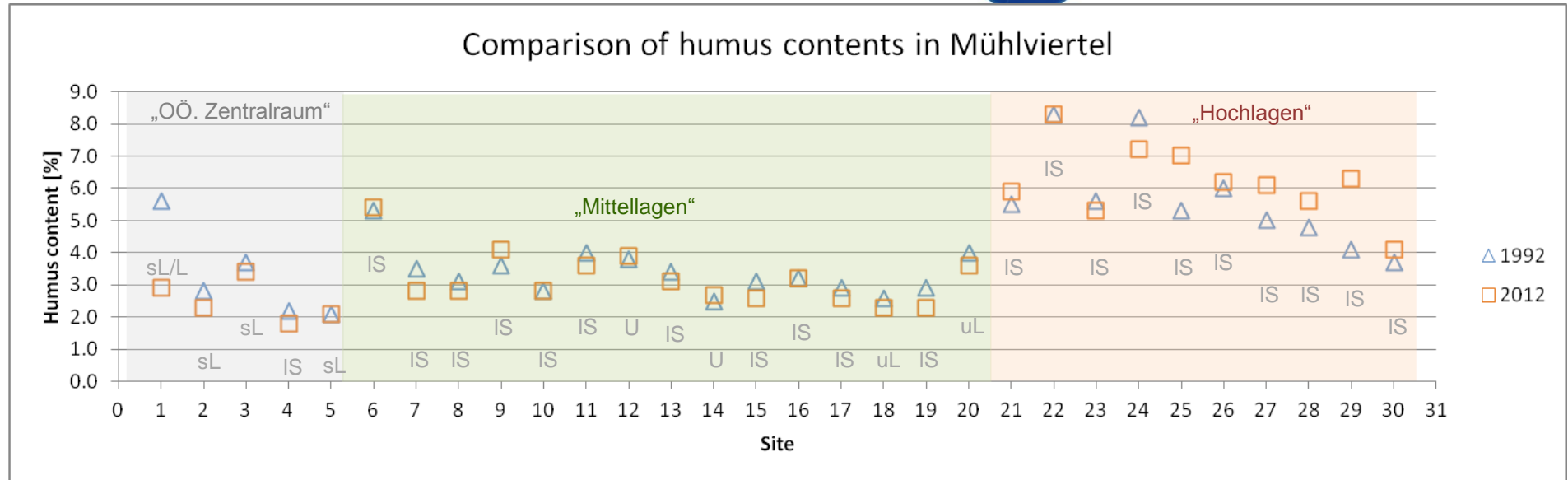


Abb.2: Vergleich von Humusgehalten im Mühlviertel regionalisiert nach Kleinproduktionsgebieten (Oö. Zentralraum, Mittellagen, Hochlagen) (Textur: IS...lehmiger Sand; sL...sandiger Lehm; L...Lehm; uL...schluffiger Lehm)

Die Gruppierung der Humusgehalte von 1992 und 2012 zeigt, dass innerhalb des Kleinproduktionsgebietes „Oö. Zentralraum“ die Gehalte vorwiegend abgenommen haben, während in den Hochlagen des Mühlviertels die Gehalte 2012 höher waren als 20 Jahre zuvor (siehe Abb.2). Ein Grund für diesen Anstieg könnte der Anteil von Wechselwiesen in der Fruchtfolge sein, die in jedem Wiesenintervall einen erhöhten Input an organischer Masse bringen und über die Zeit zu höheren Humusgehalten führen. Im Kleinproduktionsgebiet „Oö. Zentralraum“ könnte die Dominanz von Mais in der Fruchtfolge der Grund für verringerte Humusgehalte sein. Darüber hinaus haben im Vergleich zu den Tieflagen, klimatische Faktoren (z.B. geringere mittlere Lufttemperatur) zu erhöhten Humusgehalten in den höheren, kühleren Teilen des Mühlviertels geführt.

Die Daten der besuchten ACC-Betriebe wurden von **Arbeitspaket 2 („Modellvergleich und Regionalisierung“)** aufbereitet und modelliert:

Das **CCB-Modell** (**CANDY Carbon Balance**, Franko et al., 2011) stellt eine Vereinfachung des Modells CANDY, ebenfalls entwickelt von Franko, dar. CCB wurde ursprünglich für Modellierungen auf Einzelflächen entwickelt. Es berechnet den Umsatz von Kohlenstoff und Stickstoff im Oberboden abhängig von Klima, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Abfuhr bzw. Düngung mit organischem Material und Bewässerung). Ziel des Modells ist die Beurteilung der Kohlenstoffbindung als grundsätzliche Information für die Bewertung der weiteren Bodenfunktionen. Bei der Berechnung der Humusdynamik werden Mineralisierung, Humifizierung und der Einsatz von organischem Material (Ernterückstände) berücksichtigt.

Das Modell CCB beschreibt die Dynamik des umsetzbaren Kohlenstoffs im Boden in Jahresschritten für mittlere Standortbedingungen in Abhängigkeit von Ertrag und zugeführtem organischen Dünger.

Ein Kernelement des Modells ist der Indikator BAT (biologic active time), welcher die biologische Aktivität widerspiegelt und aus den Standortbedingungen abgeleitet wird. Sie ist ein Maß für die Umsatzleistung von organischem Bodenkohlenstoff eines Standortes. Je höher der BAT Wert, umso höher sind die Umsatzraten und desto geringer ist die Speicherrate von Bodenkohlenstoff. In der Regel haben sandige Standorte eine hohe BAT, also eine hohe Umsatzleistung bei geringen Humusgehalten. Tonige (schwere) Böden haben dagegen eine geringe BAT und damit höhere Humusgehalte.

Die **Validierung** des CCB Modells wurde mittels Daten von Langzeitversuchen (391 Varianten von 40 Langzeitversuchen) und ein Vergleich der Simulations-Ergebnisse mit Realdaten (4794 Corg-Messungen) durchgeführt. Das CCB-Modell wird auf Einzelflächen angewendet und kann leicht auf einer höhere Ebene aggregiert werden (Brock 2013). Gute Validierungsergebnisse für eine Vielzahl an Standortsverhältnissen in Europa und gute Übereinstimmungen mit den Österreichischen Langzeitversuchen (Spiegel et al 2010, 2005) wurden als stabile Basis gesehen um das CCB-Modell für Österreichische Bedingungen zu übernehmen.

Folgende Projektergebnisse konnten aufgrund der wenig aussagekräftigen Boden-C-Daten der 50 besuchten Ackerflächen (BZI-Standorte) nicht erreicht werden:

- Die Validierung sollte ursprünglich anhand der BZI-Standorte und den AGES Langzeitversuchen durchgeführt werden. Da 2 Messungen pro Standort (wie bei den BZI-Standorten) den Einfluss der Bewirtschaftung nicht ausreichend abbilden, wurden die AGES-Versuchsdaten zur Validierung herangezogen.
- Durch den kleineren Datenpool an belastbaren Daten wurde im Konsortium die Entscheidung getroffen, die CO₂-Quantifizierungs-Funktion des Modells derzeit nicht zu nutzen, da die Unsicherheiten bei derzeitiger Datenlage zu hoch sind.
- Mit 2 Messpunkten den Corg- Gehalt, als lokal sehr variablen Faktor, festlegen zu wollen, ist im Allgemeinen methodisch schwierig und mit großen Unsicherheiten behaftet. Wünschenswert und für jegliche Arbeit im Rahmen von Boden-C Erfassung und Modellierung notwendig sind mehr Messpunkte pro Standort. Diese Daten sind in Österreich jedoch rar und werden weitgehend von den AGES-Langzeitversuchen (die im Projekt verwendet wurden) abgedeckt.

Zitierte Literatur:

Brock C (2009): Humusdynamik und Humusreproduktion in Ackerbausystemen und deren Bewertung mit Hilfe von Humusindikatoren und Humusbilanzmethoden. Dissertationsschrift Justus-Liebig-Universität Gießen. In: Leithold G (Hrsg.): Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau, Band 2. Verlag Dr. Köster, Berlin, ISBN 978-3-89574-729-8.

Franko U. & H. Spiegel (2015): Modelling soil organic carbon dynamics in an Austrian long-term tillage field experiment. Soil & Tillage Research 156, 83 – 90

Franko,U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E.: (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. GEODERMA (in press: DOI: 10.1016/j.geoderma. 2011.07.019)

Spiegel, H., Dersch G., Baumgarten A., J. Hösch (2010): The International Organic Nitrogen Long-term Fertilisation Experiment (IOSDV) at Vienna after 21 years. Archives of Agronomy and Soil Science. Vol. 56, No. 4, August 2010, 405–420.

Spiegel H., Dersch G., Dachler M. and A. Baumgarten (2005): Effects of different agricultural management strategies on soil organic matter. In: K. Aichberger and A. Badora (Eds.): Soil Organic Matter and Element Interactions. Austrian-Polish Workshop. ALVA-Mitteilungen Heft 3/2005, 61-68.

Die Datenbasis für die 50 ACC Betriebe umfasst die Ergebnisse der ACC Bodenprobennahme im Jahr 2012 zusätzlich zu den früheren Ergebnissen von 1993, sowie Interviewergebnisse, in denen die Landwirte so detailliert wie möglich die Landbewirtschaftung von 1993 bis 2012 darstellen. Die Bodendaten der BZI Analysen umfassen die Bodentextur (Ton, Schluff und Sand) sowie den Steingehalt. Die Klimadaten umfassen die Jahresdurchschnittswerte der Temperatur sowie die Jahressumme der Niederschläge aus dem HISTALP Datensatz von 1973 bis 2003. Die Daten wurden von der BOKU zur Verfügung gestellt und direkt auf die geografische Lage der Felder bezogen. Für die Modellsimulationen wurden Jahresdaten von 1993 bis 2003 und die Durchschnittswerte über ein 30-Jahres-Intervall (1973-2003) für die Zeit von 2004 bis 2012 verwendet.

Die Interviewdaten benötigten eine spezielle Aufbereitung, um als Modelleingabe verwendbar zu sein:

- Schließen von Datenlücken für einige landwirtschaftliche Parameter z.B. Erträge für Zwischenkulturen
- Zuweisen von nicht parametrisierten Pflanzen und organischen Materialien zu Items, die innerhalb des CCB Modell parametrisiert sind
- Transformation der Anwendungs-Einheiten für organische Düngung von Volumen in Masse

In der finalen Datenmenge, die für die Modellvalidierung verwendet wurde, sind insgesamt 37 verschiedene Kulturen vertreten, wobei Winterweizen und Klee gras-Mix am häufigsten vorkommen. Die aufgebrachten organischen Stoffe (Düngungen und Nebenprodukte) sind vor allem Grünmaterial inkl. Rübenblätter, Stroh aus unterschiedlichen Kulturen (Raps, Erbsen und Getreide) sowie Stallmist und Gülle.

Die Simulation des Farm-Managements erfordert eine Initialisierung des Humuspools im Boden. Der Anfangswert in jeder Parzelle wurde berechnet unter der Annahme, dass die organische Bodensubstanz nahe dem Fließgleichgewichts war (keine relevanten Änderungen der Landnutzung vor dem Simulationsstart), wobei die Modellabweichung von den beiden Beobachtungswerten minimiert wurde. Die aggregierten Ergebnisse dieser Modellbewertung sind in Abbildung 3 dargestellt. Für 60% der Betriebe (30 Fälle) war das Modell in der Lage, die Wirkung von Management und Standortbedingungen zufriedenstellend zu reproduzieren. Es wurde keine signifikante Korrelation zwischen Modellfehler und ortsspezifischen Daten (Textur, Steingehalt und Klima) beobachtet. In einem Fall umfasste das Management jedoch einen großen Anteil an Brache. Eine Änderung der Modellparametrisierung könnte helfen, das Problem zu lösen, aber die Datenbasis wurde als unzureichend angesehen, um dies sinnvoll umzusetzen. Die anderen Fälle hängen mit Problemen bei Eingabedaten und / oder Beobachtungen zusammen. In neun Fällen war die Corg-Änderung größer als 0,5 M% Corg und übersteigt damit sogar den Maximalwert der Corg Änderungen in den Extremvarianten des Dauerversuchs in Ritzlhof. Diese Fälle sind wahrscheinlich Beobachtungsfehler oder es lag kein Steady State-Zustand zu Beginn der Rechnung vor d.h. die Böden waren nicht im Gleichgewicht. Wiederholte Bodenuntersuchungen und Gespräche mit den Landwirten könnten helfen, hier eine Antwort zu finden. In neun weiteren Fällen zeigten die

Beobachtungsergebnisse einen Verlust der organischen Substanz im Boden trotz eines humusmehrenden Managements. Eine Überprüfung der Interviewergebnisse und eine wiederholte Ziehung der Bodenproben könnten auch hier sinnvoll sein, um die Hintergründe für diese Fehler zu bestimmen.

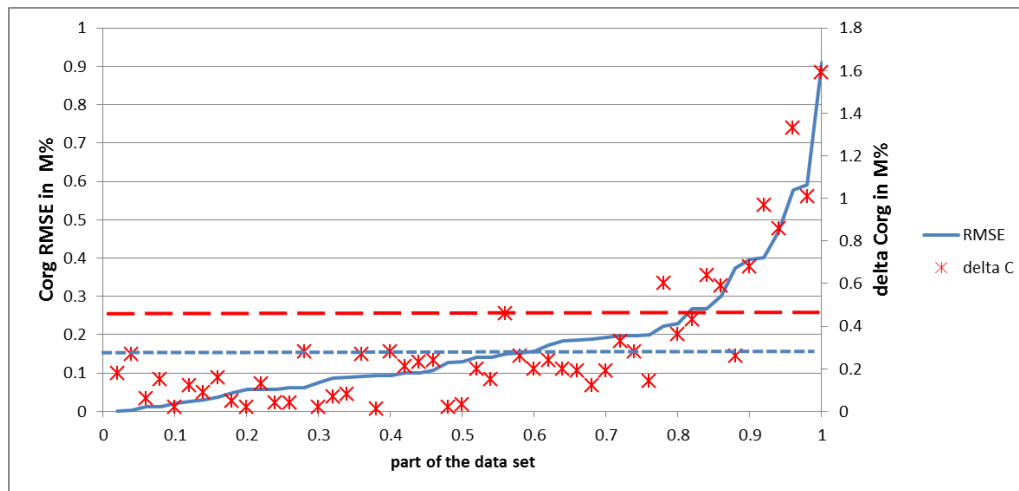


Abb. 3: Fehlerbewertung. Blaue Linie: kumulative Verteilung der Abweichung zwischen Modell und Beobachtungsergebnis (C_{org} RMSE); Blaue Strichlinie: tolerierbarer Modellfehler: $RMSE < 0.16$; Rote Strichlinie: plausible C_{org} Änderung (0.5 M%); Symbole: C_{org} Änderung (delta C_{org}) bezogen auf den RMSE im Datensatz.

Ein weiterer Arbeitsschritt des Arbeitspakets 2 lag in der Vorbereitung und Modellierung von Daten der Langzeitfeldversuche (LTFE): Dieser Abschnitt beschreibt die Verwendung von Daten aus LTFE Rottenhaus, Rutzendorf, IOSDV Fuchsenbigl und Ritzlhof. Ähnlich wie für die ACC Betriebsdaten wird auch bei den LTFE-Daten das Fruchtartenspektrum durch Getreide dominiert. Es sind jedoch keine Daten zu Feldfutter (Gras, Klee und Luzerne) enthalten. Die hauptsächlich angewendete frische organische Substanz in den ACC Betrieben (Grünmaterial, Stroh und Stallmist) sind auch innerhalb der LTFE Daten gut vertreten.

Die beiden Langzeitexperimente zur Einarbeitung bzw. Abfuhr von Ernterückständen in Rottenhaus/Alpenvorland und Rutzendorf/Marchfeld wurden mit CCB simuliert. Bei dieser Modellvalidierung lag der Fokus auf der Verwendung der Nebenprodukte und deren Einfluss auf den Humushaushalt unter den Standortbedingungen von Österreich. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Werten. Da der statistische Fehler kleiner war als in einer früheren Modellvalidierung ($RMSE \text{ M\% } C_{org} < 0,119$, Franko et al. 2011) wurde gefolgert, dass die Parametrisierung der Feldfrüchte und deren Nebenprodukten auch für österreichische Verhältnisse zutreffen.

Alle Varianten im Experiment IOSDV von Fuchsenbigl zeigen eine sehr hohe Variation der SOC-Messungen. Auch die C_{org} Beobachtungen im LTFE Ritzlhof zeigen eine hohe Variabilität sowohl in der Zeit als auch zwischen den Wiederholungen. Für die Kompostbehandlungen ergab die Modellierung einen vergleichsweise hohen RMSE (13-19 %). Zusätzliche Arbeit an der Parametrisierung mit mehr Daten aus Kompost-Experimenten wäre erforderlich, um die Modellierung weiter zu verbessern. Die lineare Regressionsanalyse des beobachteten Trends für den organischen Kohlenstoffs zeigte, dass die höchste Steigerungsrate des C_{org} $0,0284 \pm 0,0075$ M% pro Jahr betrug ($R^2 = 0,33$) und an der KSK Ø Behandlung in Ritzlhof beobachtet wurde. Deshalb setzen wir das Limit für die Plausibilität von C_{org} Änderungen innerhalb von 20 Jahren auf 0,5 M% C_{org} .

Für jede der 56 LTFE Behandlungen wurde der Trend der beobachteten C_{org} Werte zusammen mit der resultierenden Abweichung von der Regressionsgeraden berechnet. Diese Fehlerwerte

entsprechen den RMSE-Werte der CCB Simulation. Das heißt, das Modell ist in der Lage, den Trend in C_{org} Entwicklungen bei unterschiedlichem Bodenmanagement vorherzusagen, wobei der resultierende Fehler hauptsächlich durch die Variabilität der Beobachtungen verursacht wird. Zusammenfassend schließen wir daraus, dass das Modell keine weiteren Anpassungen in der ACC-Toolbox erfordert, um sowohl im lokalen Modus als auch im Regionalmodus (R2.2) angewendet zu werden.

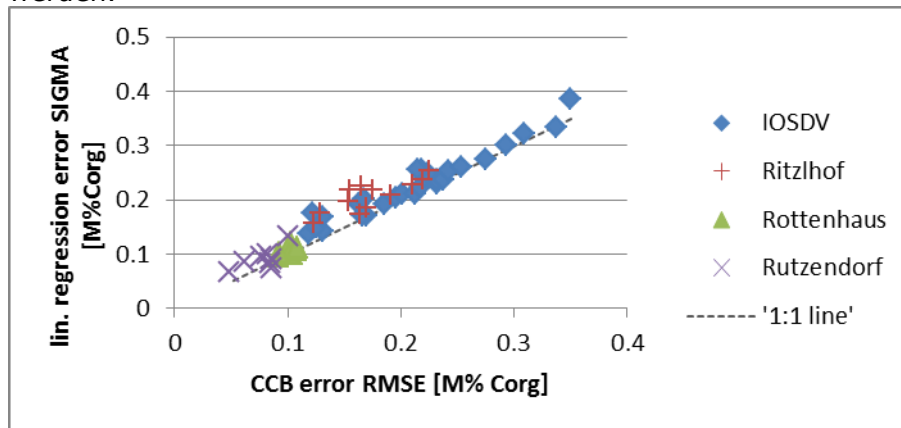


Abb.4: Fehlerbewertung der Modellergebnisse für den gesamten LTFE Datensatz (56 Varianten)

Die regionale ACC Toolbox wurde im Rahmen des Arbeitspaketes 2 als Instrument zur Visualisierung von Klima- und Landnutzungsauswirkungen auf das Humus-Gleichgewicht entwickelt.

Die Elemente der regionalen Toolbox sind:

- die MS-ACCESS Datenbasis und
- je ein GIS shape für die einzelnen Testregionen
- Die Benutzeroberfläche ACC_regio.exe, welche alle Schritte von der Vorbereitung bis zum Druck der Karte unterstützt
- die CCB-Benutzerschnittstelle, die verwendet wird, um die Management-Daten für die Anbausysteme bearbeiten
- ein R-Skript mit Algorithmen, um Modellergebnisse in die GIS-Daten einfügen und dadurch als Karte darzustellen

Die Arbeiten mit der regionalen ACC Toolbox folgen im Allgemeinen den in Abb. 5 gezeigten Schritten. Die Geodaten umfassen die Elemente eines GIS shapes sowie Bodeninformationen und Klimadaten. Alle Daten werden auf einem Raster mit Zellengröße 1x1 km dargestellt. Die Klimadaten decken ein Zeitintervall von 1800 bis 2100 mit verschiedenen Datensätzen ab (HISTALP, ALADIN, REMO und CH3). Es ist möglich, Klimadaten für verschiedene Zeitabschnitte zu aggregieren. Bodendaten wurden aus der eBod-Bodenkarte importiert und auf dem gleichen Raster wie die Klimadaten abgebildet. Die Anwendung der Toolbox erfordert die Definition von Anbauszenarien entsprechend den regionalen Gegebenheiten und unter Berücksichtigung der bearbeiteten Fragestellung. Dieser Schritt beinhaltet auch die Zusammenstellung der Ernteertragsdaten für verschiedene Zeitpunkte. Der letzte Schritt bei der Datenvorbereitung ist die Zuordnung der Anbausysteme zum jeweiligen Teilgebiet für ein gegebenes Zeitintervall. Schließlich können die gewünschten Informationen als thematische Karte dargestellt werden. Die Ernteerträge wurden auf Grundlage von Ertragsstatistiken von "Kleinproduktionsgebieten" berechnet. Die regionalen Szenarien enthalten den Anteil der angebauten Kulturen, den Anteil organischer Düngung, den Anteil von bewässerten Kulturen und das Bodenbearbeitungssystem (gepflügt oder nicht gepflügt). Diese Methodik hilft, das Agrarmanagement an zukünftige Bedingungen anzupassen, um die aktuellen Humusvorräte aufrechtzuerhalten, ohne eine absolute Bewertung der aktuellen SOM Zustände durchzuführen.

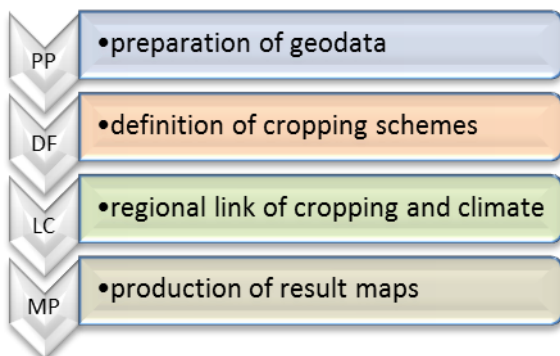


Abb. 5: Workflow der regionalen Toolbox

Die wichtigsten grundlegenden Ergebnisse sind:

- Hot Spot Regionen mit hohen BAT-Werten, die einen hohe SOM Umsatz anzeigen, sind vor allem Regionen im Nordwesten und im zentralen Norden des Mühlviertels sowie im zentralen Teil des Marchfeld zu finden.
- Die gesamte Region Marchfeld zeigt derzeit eine hohe Humus-Umsatzrate und ist daher als eine problematische Region zu verstehen.
- Die Region Mühlviertel ist deutlich heterogener mit niedrigen BAT-Werten in den meisten Teilen. In den Zukunftsszenarien (2021-2050) zeigt sich die Erhöhung der BAT im Mühlviertel stärker als im Marchfeld. Daher wird die Gefahr von Humus- Verlusten im Mühlviertel höher eingeschätzt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde die Entwicklung der thematischen Karten zur Humusversorgung in den beiden Testgebieten vorgenommen. Die regionalen Ergebnisse des ACC stehen als thematische Karten auf der Projekt-Website zur Verfügung und werden unter Arbeitspaket 3 beschrieben.

Unsicherheitsanalyse

Die Beurteilung der Kohlenstoff Reproduktion hängt stark von den Daten ab, die den verschiedenen Teilgebieten zugeordnet sind. Für das Zeitintervall 2009 - 2012 waren Informationen über den Mittelwert und die Standardabweichung dieser Eingangsdaten verfügbar und wurden verwendet, um die Sensitivität der Modellergebnisse gegen diese Eingangsinformationen zu berechnen.

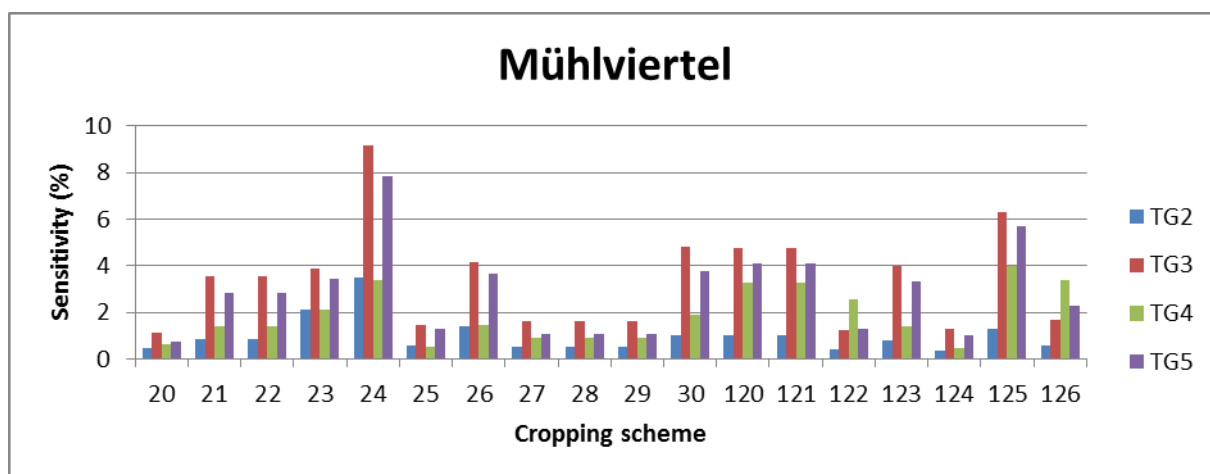


Abb. 6: Sensitivität der REP_IX Berechnung gegen Unsicherheit der Ertragsdaten.

Die in Abb.6 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass bei den meisten Bewirtschaftungs-Systemen die Unsicherheit deutlich niedriger ist als 10% des Mittelwerts. Diese Informationen sollten verwendet werden, um verschiedene Management-Muster zu vergleichen. Ergebnisse sind nur wirklich verschieden, wenn die Unterschiede größer als 10% sind.

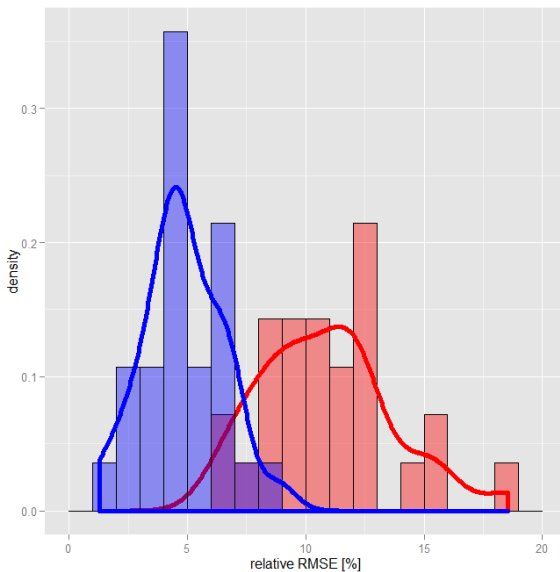


Abb. 7: Fehlerverteilung für die Mittelwerte der C_{org} Beobachtungen (blau) und Einzelwerte (rot)

Für das Beispiel des IOSDV Experiments wurde gezeigt, wie die Aggregation von C_{org} Beobachtungen über die Wiederholungen im Experiment zu einem deutlich geringeren Fehler führt. Die CCB Modellierung ergab einen mittleren relativen Fehler von 4,8% für den aggregierten Datensatz, während die Berechnung mit den Einzelwerten den mittleren Fehler bis auf 10% erhöhte.

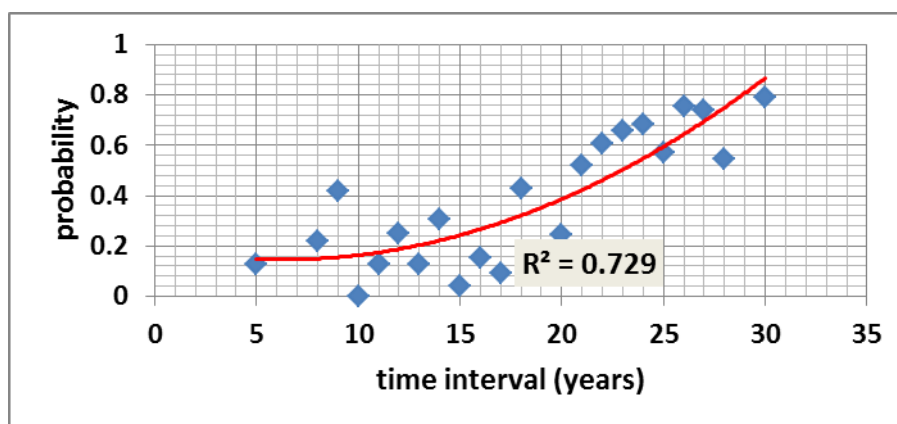


Abb. 8: Wahrscheinlichkeit, die reale Entwicklung der C_{org} Änderungen mit vier zufällig über verschiedene Zeitintervalle verteilten Beobachtungen zu reproduzieren (Versuch Rutzendorf)

Die Möglichkeit zur Bestimmung der wirklichen Entwicklung des C_{org} Wertes mittels eingeschränkter Probenahmen wurde für das LTFE Rutzendorf analysiert. Der verwendete Datensatz enthält alle experimentellen Ergebnisse aus 8 Parzellen von mehr als 30 Jahren. Das erste Ziel war es, die Wirkung des Stichprobenumfangs zu analysieren. Dazu wurden die Probenahmen nach dem Zufallsprinzip über die gesamten Daten zu verschiedenen Zeitintervallen verteilt. Von allen Zweier-Kombinationen stimmten nur 44% mit der realen Entwicklung überein. Steigt der Umfang auf sechs Proben, erhöht sich die Möglichkeit, die reale Entwicklung zu finden, auf 74%. Die Länge des Beobachtungsintervalls hat auch Auswirkungen. Nach der Bestimmung aller möglichen Vierer-Kombinationen für verschiedene Zeitintervalle wurden die Trendwerte dieser Teilproben mit dem Konfidenzintervall des Trends aus dem gesamten Datenbestand verglichen (Abb.8). Die Ergebnisse zeigen, dass nur wiederholte Beobachtungen über lange Zeit eine ausreichende Datenbasis für eine zuverlässige Bewertung der C_{org} Änderungen bieten.

Im Rahmen von **Arbeitspaket 3 (Carbon balance/ Humusversorgung - Toolbox)** wurden 2 Module weiterentwickelt:

- das regionale Modell und
- das lokale Modell (Landwirte-Version)

Beide Modelle stellen zusammen die Toolbox und damit auch den Austrian Carbon Calculator dar.

Ein zentraler Punkt des Arbeitspakets war die Datenauswahl und –bereitstellung:

Das regionale und lokale Modell enthält Ertragsdaten der Statistik Austria der Jahre 2009-2012, wobei für die Testregion Mühlviertel 3 unterschiedliche Ertragslagen (entsprechend den Höhenstufen) verwendet wurden. Für das relativ einheitliche Marchfeld wurde eine Ertragslage gewählt.

Informationen zur Bodenart wurden in einer Auflösung von 1x1km von der eBOD herangezogen. Klimadaten (Niederschlag und Temperatur, ebenfalls im 1x1km-Raster) für aktuelle und zukünftige Entwicklungen wurden durch die Modelle Histalp, ALADIN, REMO, CH3 von der BOKU (Herbert Formayer) zur Verfügung gestellt.

Für das regionale Modell wurden die prozentuelle Kulturartenverteilung und die regionstypische Bewirtschaftung von den regionalen Betriebserhebungen (30 Betriebe im Mühlviertel, 20 Betriebe im Marchfeld; siehe Arbeitspaket 1) abgeleitet. Wobei neben der Kulturartenverteilung auch die Art der Düngung, Verbleib der Ernterückstände, sowie die Bewässerung (relevant für das Marchfeld) abgeleitet wurden.

Die Eingangsgrößen und die regionsspezifische Zusammenstellung der Bewirtschaftung in Tabellenform ist auf der Projektwebseite unter

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/landnutzung/acc> zu finden.

Das regionale Modell basiert auf unterschiedlichen Kulturartenverteilungen, jeweils typisch für die Region. Für jede dieser Verteilungen (A-E) wurde ein homogener Anbau in der Region angenommen. So werden zu den kulturspezifischen Auswirkungen auf die Humusversorgung (Humuszehrer, Humusmehrer, Menge der unterirdischen Biomasse die jedenfalls am Feld verbleibt) auch Standortfaktoren (Bodenart und Klima) mit eingerechnet. Diese Einflussfaktoren bilden die Basisinformation für die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. Als Grundinformation wird zuerst die Kulturartenverteilung berechnet, dann werden schrittweise die Anpassungsmaßnahmen verrechnet: Begrünung, Belassen der Ernterückstände am Feld und reduzierte Bodenbearbeitung. Weitere Einflussfaktoren sind Düngung und unterschiedliche Fruchtfolgen.

Für die Ausgestaltung der Anpassungsmaßnahmen wurden Praxisdaten herangezogen:

- Belassen der Ernterückstände am Feld: alle Ernterückstände, außer Maissilage und Luzerne, werden am Feld belassen.
- Ernterückstände abgeführt: bedeutet die Abfuhr von Stroh nach Getreideanbau, alle anderen Ernterückstände (s.o.) verbleiben am Feld.
- Begrünung: wird nach Getreide auf den gleichen Flächen angebaut, die oberirdische Biomasse bleibt auf der Fläche
- Konventionelle Bodenbearbeitung geht von einer wendenden Bearbeitung (Pflügen) aus. Reduzierte Bodenbearbeitung steht für pfluglose (=nicht wendende) Bewirtschaftung und kann im Modell abgebildet werden.

Um die Ergebnisse zu veranschaulichen und zu erklären werden 2 Karten des regionalen Modells vorgestellt und beschrieben, Erklärungen befinden sich unterhalb der Karten.

Weitere Karten und Ansätze sind verfügbar unter der ACC-Website:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/landnutzung/acc>

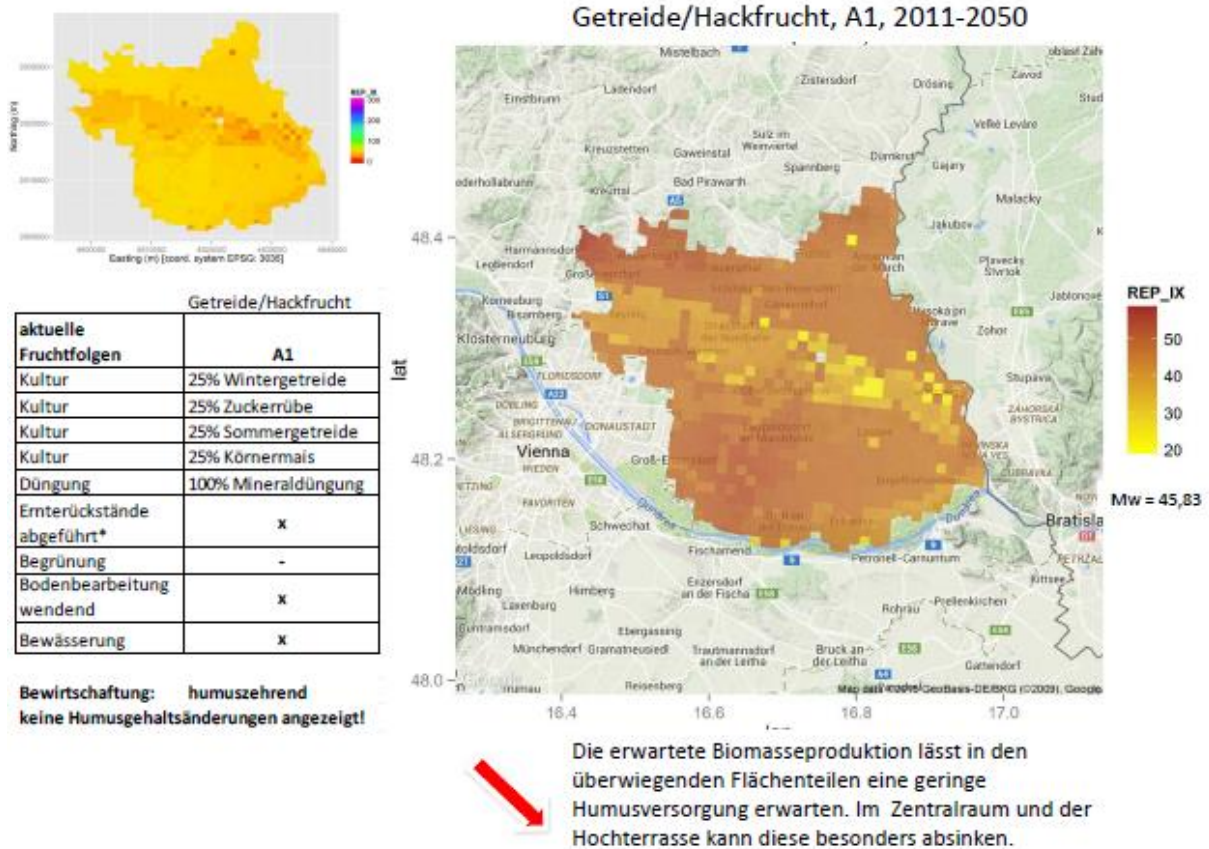


Abb. 9: Modellierung der Region Marchfeld mit einer Getreide/Hackfrucht-basierter Kulturartenverteilung, Zeitraum: 2011 – 2050, keine Anpassungsmaßnahmen umgesetzt.

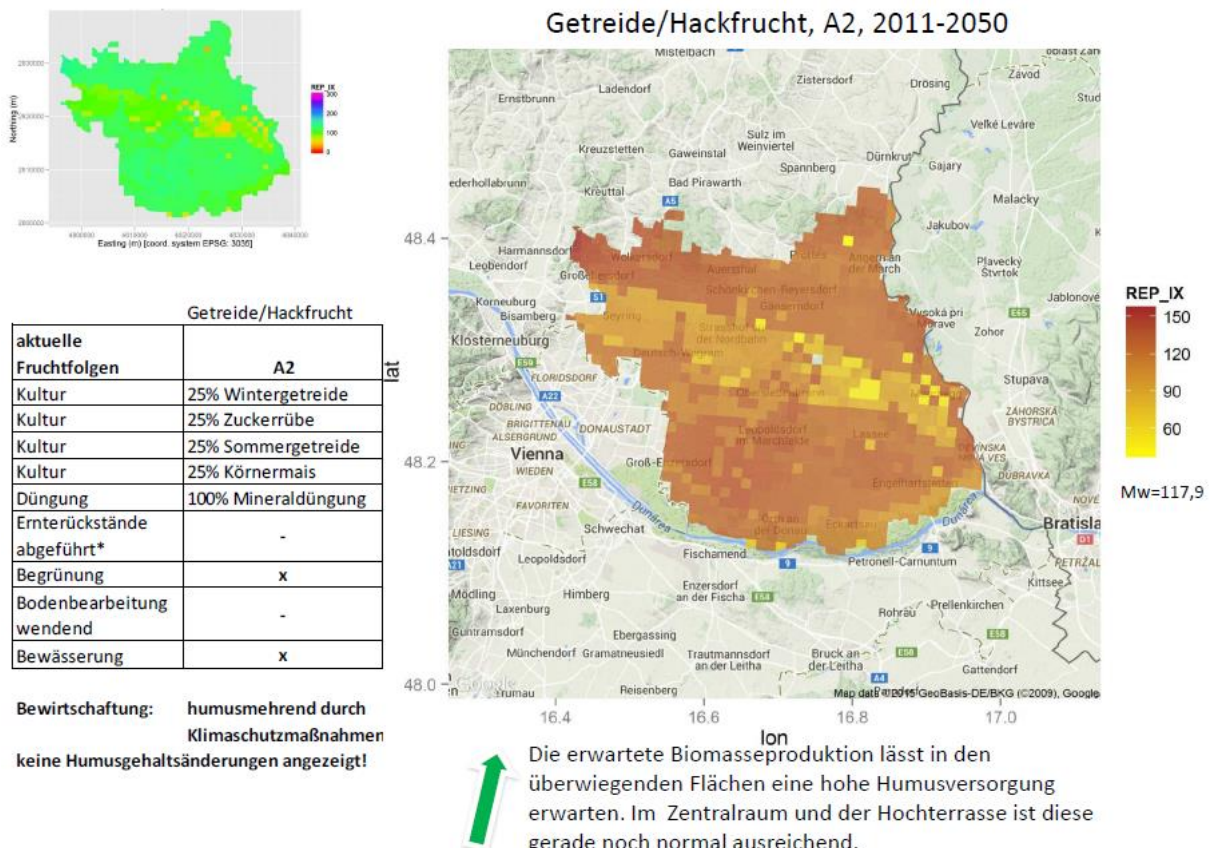


Abb. 10: Modellierung der Region Marchfeld mit einer Getreide/Hackfrucht-basierten Kulturartenverteilung, Zeitraum: 2011 – 2050, gängige Anpassungsmaßnahmen umgesetzt.

Beide Karten (Abb.9 und 10) zeigen die Region Marchfeld mit einer regionstypischen Kulturartenverteilung. Die Modellierung basiert auf „Zeitscheiben“, wobei für diesen Ansatz der Zeitraum 2011- 2050 gewählt wurde. Die kleine Karte links oben dient zur Orientierung und zeigt die Humusreproduktion (Rep_IX) bei fixer Skalierung (0-300). Der Rep_IX in Abb.9 ist eher gering (Werte unter 50% zeigen eine hohe Wahrscheinlichkeit für Humusverlust bis 2050). Der niedrige Wert (Mittelwert: 45,8%) für das Marchfeld erklärt sich durch das Fehlen von Anpassungsmaßnahmen: Getreidestroh wird abgeführt, keine Begrünung wird angebaut und die Bodenbearbeitung ist konventionell (wendend). Abb. 10 zeigt die gleiche Kulturartenverteilung, die gleiche Düngerart und -Menge, jedoch werden hier Anpassungsmaßnahmen durchgeführt: Getreidestroh bleibt am Feld, Begrünung wird angebaut und die Bodenbearbeitung wird reduziert. Diese Maßnahmen zeigen gemeinsam einen großen Einfluss auf die Humusversorgung. Rep_IX steigt von 45,8 auf 117,9%: dies zeigt eine ausreichende Humusversorgung auf den überwiegenden Flächen der Region Marchfeld.

Die Berechnung des Index Rep_IX beruht auf dem organischen Kohlenstoff-Input und auf Klima- und Bodenparametern. Sandige und/oder schotterreiche Böden haben hohe mikrobielle Umsatzraten und damit eine geringere Humusreproduktion. Dies ist der Fall am "Wagram", erkennbar am hellen braun-gelben Bereich, der sich von Nordwest nach Südost erstreckt. Dieses Gebiet stellt einen „Hot Spot“ mit geringer Humusreproduktion und hohen Umsatzraten dar. In diesem Gebiet sollte die Bodenbewirtschaftung besonders vorausschauend erfolgen, da durch die lokalen Bedingungen die Umsatzraten und damit der Abbau erhöht sind. Auch wenn geeignete Maßnahmen getroffen werden, läuft der Humusaufbau standortbedingt langsamer ab.

Auf der ACC Webseite sind verschiedene Karten, Varianten und Kombinationen verfügbar. Die Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich der Kulturartenverteilung (auch im Bezug auf zukünftig wirtschaftlich interessante Kulturen – diese werden als Zukunftsszenarien bezeichnet), der Anzahl der umgesetzten Anpassungsmaßnahmen, Änderungen im Düngermanagement und der

unterschiedlichen Zeitscheiben. Für alle Varianten wurden Ertragsänderungen durch den Klimawandel mitberechnet. Diese Ertragsdaten stammen vom proVisions-Project "Werkzeuge für Modelle einer nachhaltigen Wirtschaft". Weitere Informationen dazu befinden sich unter: <http://www.landnutzung.at/Ertraege.html>

Für die Testregionen Marchfeld und Mühlviertel wurden folgende Auswertungen durchgeführt und die Karten entsprechend gruppiert:

- Aktuelle Bewirtschaftung von 2011 – 2050: zeigt 5 verschiedene Kulturartenverteilungen und 10 (12) Kartenversionen pro Region (dazu gehören Abb. 9 und 10).
- Auswirkungen der Anpassungsmaßnahmen von 1980 – 2050: Es wird von einer Bewirtschaftung ohne Anpassungsmaßnahmen von 1980 -2010 und von einer Umsetzung der Maßnahmen von 2011- 2050 ausgegangen. Es werden wieder 5 Kulturartenverteilungen und 6 (7) unterschiedliche Kartenversionen pro Region gezeigt.
- Die Auswirkung gleichbleibender Bewirtschaftung von 1980 - 2050 zeigt exemplarisch den Einfluss der Bodenumsatzraten (in Bezug auf die BAT (Biologic active time) - Berechnung, basierend auf Boden- und Klimacharakteristika).
- Auswirkungen eines Fruchtfolgewechsels von 1980 – 2050: wobei die ursprüngliche Bewirtschaftung für 1980 – 2010 berechnet wurde und die Umstellung für 2011 angenommen wurde. Die Karten auf der Webseite dienen als Beispiele für diesen Ansatz. Generell leidet die Interpretierbarkeit der Karten, wenn zu viele Parameter auf einmal verändert werden. Daher ist den Varianten, in denen sich nur ein einzelner Parameter verändert bzw. mehrere Parameter sich in ihrer Wirksamkeit summieren, der Vorzug zu geben.

Flächenspezifische Anwendung durch das lokale Modell:

Hier können die individuellen Standortbedingungen gemeinsam mit den Auswirkungen der aktuellen Bewirtschaftung sichtbar gemacht werden und die Auswirkungen geplanter Bewirtschaftungsänderungen, sowie Anpassungsmaßnahmen abgeschätzt werden. Das Risiko des Humusverlustes durch die Auswirkungen des Klimawandels kann bewertet und „negative“ Bewirtschaftungsfaktoren identifiziert werden.

Die Zusammenstellung der Inputparameter und Anwendungstests für das lokale Modell (Landwirteversion) wurden ebenfalls in Arbeitspaket 3 durchgeführt:

Die Klimadaten innerhalb der ACC-Toolbox zeigen einen Durchschnitt der Klimaszenarien ALADIN, REMO und CH3. Die Bodenparameter stammen aus der eBod-Datenbank und sind, wie die Klimadaten, als 1x1 km-Raster auch für das lokale Modell verfügbar.

Die eBod-Karte, zu der der Nutzer innerhalb der Modellanwendung geführt wird, verfügt über eine Schnittstelle, womit der Nutzer die Koordinaten des gewünschten Feldstücks auswählen kann. Mittels dieser Koordinaten werden Boden- und Klimadaten der jeweiligen Fläche zugeordnet und für die weiteren Berechnungen genutzt.

Das lokale Modell berechnet ebenfalls die Humusversorgung (Rep_IX), die sich aus der Bewirtschaftung und den lokalen Boden- und Klimadaten zusammensetzt.

Wie auch beim regionalen Modell ist hier die vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Bewirtschaftung mit oder ohne Anpassungsmaßnahmen auf dem gleichen Standort möglich, es können aber auch unterschiedliche Standorte miteinander verglichen werden.

Um das Modell für einen spezifischen Standort zu nutzen, gibt der Nutzer Daten zur Fruchtfolge, Verbleib/Abfuhr der Ernterückstände, Art der Düngung, Begrünung mit oder ohne Abfuhr der oberirdischen Biomasse und konventionelle oder pfluglose Bodenbearbeitung ein.

Eine Berechnung der Auswirkung der eingegebenen zukünftigen Bewirtschaftungsszenarios ist bis 2100 möglich. Die Landwirte können geplante oder hypothetische Bewirtschaftungsänderungen und ihre Auswirkungen auf die Humusversorgung sichtbar machen, dies ist auch für unterschiedliche Zeitbereiche möglich.

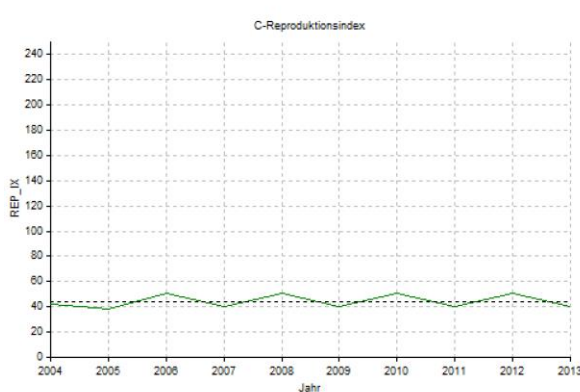
Das lokale Modell kann für 2 Testgebiete, Marchfeld und Mühlviertel, angewendet werden und steht unter http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/landnutzung/acc/acc_lokal/ gemeinsam mit einer Benutzungsanleitung zum Herunterladen bereit.

Um die Modellergebnisse zu veranschaulichen werden 2 Ergebnisgrafiken dargestellt: Die Abbildungen 11 a/b zeigen eine vergleichende Bewertung von zwei Bewirtschaftungsformen auf dem gleichen Standort.

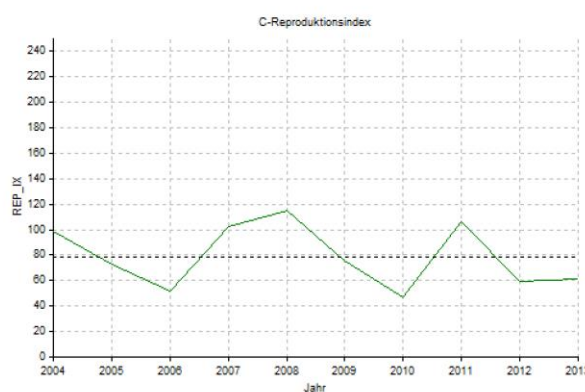
Die linke Abbildung beschreibt eine Fruchtfolge mit niedriger Humusversorgung. Die Fruchtfolge besteht aus Getreide und Silomais (jeweils 50%), gedüngt wird mit Mineraldünger. Wird diese Fruchtfolge für mehrere Jahre durchgerechnet, zeigt sie eine geringe Zufuhr an organischer Substanz (Crep) und dadurch eine geringe Humusversorgung. Bei Abb. 11 b wurde die Fruchtfolge geändert: Getreide und Silomais werden nun durch Kleeergänzt (40/30/30%) und Gülle liefert die Nährstoffe. Diese Fruchtfolge zeigt eine Bewirtschaftung mit hoher Humuszufuhr. Dies führt zu einer Humusversorgung nahe dem Wert 80, wobei Werte unter 50 langfristig zu einem ernststen Humusmangel führen können, wie beispielsweise bei 11a. Anhand dieser Daten ist ersichtlich, dass Bewirtschaftungsänderungen einen positiven Einfluss auf die lokale Humussituation haben.

Fruchtfolge mit geringer Humuszufuhr
Getreide-Silomais (50/50)

Fruchtfolge mit hoher Humuszufuhr
Getreide-Silomais-Kleeergänzt (40/30/30) + Gülle



Mittlerer Rep_IX (Humusversorgung): 44
Mittlerer Crep (Humuszufuhr): 639 kg/ha



Mittlerer Rep_IX (Humusversorgung): 79
Mittlerer Crep (Humuszufuhr): 1135 kg/ha

Abb. 11 a (links) und b (rechts) zeigen die Humusversorgung (Rep_IX) zweier Fruchtfolgen für einen 10-jährigen Zeitintervall (2004 – 2013). Die Menge an zugeführter organischer Substanz wird durch Crep ausgedrückt (639 vs. 1135 kg/ha). Aufgrund dessen und der lokalen BAT errechnet sich REP_IX. Die erhöhte Versorgung mit organischer Substanz bei Abb. 11b führt zu einer Verbesserung der Humusversorgung.

Die Webseite mit den Ergebnissen des regionalen Modells und das herunterladbare lokale Modell ist auch nach Abschluss des Projekts verfügbar.

Im Rahmen des **Arbeitspaketes 4 („Dissemination“)** fanden zahlreiche Aktivitäten statt, die unter Punkt 8 „Publikations- und Disseminierungstätigkeiten“ näher beschrieben sind

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Modellierungen im regionalen Modul des CCB-Modells (für die Testgebiete Marchfeld und Mühlviertel) haben gezeigt, dass die gängigen Klimawandel-Anpassungsmaßnahmen, wie Begrünungen, Belassen der Ernterückstände am Feld und nicht wendende Bodenbearbeitung,

organische Düngung und auch die Fruchtfolge (besonders Feldfutter und Klee gras) sich positiv auf die Humusdynamik auswirken können.

Die Stärken des Modells liegen in der Fähigkeit, die Wirkung der einzelnen Maßnahmen abzubilden (jede für sich genommen gegenüber der Nullvariante), jedoch auch von Kombinationen bis hin zum Einsatz des kompletten Sets an gängigen Anpassungsmaßnahmen.

Abgebildet wird die Humusversorgung (Rep-IX), die sich aus der BAT (biologic active time, Auswirkungen des Standorts) und dem Crep (Input des organischen Materials) zusammensetzt. Daraus kann die aktuelle und zukünftige Humusversorgung abgeleitet werden, Zu- und Abnahmen abgeschätzt werden.

Die Auswirkung des prognostizierten Klimawandels auf die Humusversorgung wird einbezogen, diese ist bereits Bestandteil der Projektergebnisse.

Folgende Schwäche liegt vor: Da das CCB-Modell sehr sensibel auf den aktuellen C-Gehalt im Boden reagiert, ist für eine Quantifizierung der Kohlenstoffverhältnisse im Boden die Datenlage der Hintergrunddaten derzeit nicht ausreichend. Es werden deshalb durch den ACC keine C-Gehalts-Änderungen angezeigt. Eine belastbare Berechnung der emittierten und gebundenen Kohlenstoffmengen ist aufgrund der vorhandenen Daten auf der regionalen Ebene nicht möglich. Ebenso werden im lokalen Ansatz Humusversorgungsniveaus angegeben und nicht konkret gebundene C-Mengen. Im lokalen Modul ist die Möglichkeit einer Aussage über C-Gehalts-Änderungen potenziell vorhanden: anhand von konkreten Ausgangsgehalten könnte eine Entwicklung des Bodenkohlenstoffs berechnet werden. Diese Berechnungsart wird derzeit bewusst nicht durchgeführt, da die Datenlage der C-Ausgangsgehalte unzureichend ist. Aufgrund der vorhandenen Unsicherheiten wurden die Modellierungsergebnisse bewusst eingeschränkt.

Der Vergleich der Humusanalysen der Bodenzustandsinventur-Standorte im Mühlviertel und im Marchfeld zeigte, dass lediglich zwei Messwerte innerhalb von 20 Jahren nur eine eingeschränkte Aussagekraft haben und für eine Identifizierung der Humusdynamik nicht ausreichen. Dazu ist die zeitliche und räumliche Variabilität dieses Parameters zu groß. Deshalb wäre zumindest ein dritter Wert hilfreich, um klarere Aussagen machen zu können. Das Ausmaß der Humusveränderungen hängt hauptsächlich vom ursprünglichen, standortspezifischen Gehalt ab. Dennoch konnten Trends mit hoher Wahrscheinlichkeit identifiziert werden. So etwa die Humuszuwächse in den Mühlviertler Hochlagen, die, über die Standortbedingungen hinaus, durch einen Anteil von Wechselwiesen in der Fruchtfolge zu erklären sind. Im Marchfeld führte die regelmäßige Anwendung von Pferdemist zu erhöhten Humuswerten.

Wie aus Ergebnissen von Langzeitversuchen abgeleitet werden kann, ist eine größere Stichprobenzahl an Bodenproben für eine Trendprognose der Humusentwicklung wichtig. Daher sind Standort- und Messdaten von Langzeitversuchen eine wichtige Grundlage für die Überprüfung von Modellergebnissen. Die Beprobungshäufigkeit in entsprechendem Zeitrahmen ist hier ausschlaggebend: wie projektintern errechnet wurde, ergibt sich erst bei 6 Proben (gezogen über mehrere Jahre) pro Standort eine Vorhersagewahrscheinlichkeit von 75%.

Eine Kernaussage und Empfehlung des Projekts: vor allem durch höhere Temperaturen und gleichbleibende Niederschlagverhältnisse erhöht sich der Boden-C-Umsatz, wodurch ein höherer Anteil des Humusvorrats umgesetzt bzw. mineralisiert wird. Um das aktuelle Boden-C-Gehaltsniveau aufrecht zu erhalten bzw. zu verbessern muss daher mehr organische Substanz zugeführt werden (Ernterückstände, Begrünungen, Feldfutter), bzw. mineralisierende Prozesse (Bodenbearbeitung) verringert werden. Diese humusaufbauenden Prozesse müssen für eine Stabilisierung der Boden-C-Verhältnisse langfristig beibehalten werden.

In den Ergebnissen hat sich gezeigt, dass insbesondere das Erhöhen des organischen Inputs (Ernterückstände, Begrünungen), sowie die Reduktion der Bodenbearbeitung zu einer deutlich verbesserten Humusversorgung führt. Auch die Fruchtfolge spielt eine Rolle, so wirkt sich z. B. der Anbau von Ackerfutter (Klee gras) positiv auf die Humusversorgung aus. Die Projektergebnisse belegen, dass die gängigen Anpassungsmaßnahmen wirksam sind. Durch die beiden Modelle (lokal

und regional) können die Auswirkungen anschaulich dargestellt werden und in der landwirtschaftlichen Bodenschutzberatung regional eingesetzt werden. Auch der Landwirt kann individuell die Auswirkung seiner Bewirtschaftung abschätzen und zielführende Änderungen für die Zukunft abwägen.

B) Projektdetails

6 Methodik

Der Arbeitsplan unter 7 (Arbeits- und Zeitplan) zeigt den Ablauf und die Abfolge der Arbeitsschritte. Die Methodik wird unter 4 (Projekthalte und Ergebnisse) eingehend beschrieben.

7 Arbeits- und Zeitplan

Der Arbeits- und Zeitplan zeigt die ACC-Arbeitspakete und den Ablauf der einzelnen Projektschritte:

	Austrian Carbon Calculator																																				Verlängerung	
	Monat																																					
Arbeitspakete (WP)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
WP1: Datenakquise und Bereitstellung																																						+ 5 Monate (37 - 41)
Auswahl der BZI-Punkte und Betriebe																																						
Bodenproben und Datenerhebung																																						
Bodenanalysen																																						
Zusammenstellung der Boden und Bewirtschaftungsdaten																																						
WP2: Modellierung und Regionalisierung																																						
Initialisierung (Literatur, Methodik, Hauptparameter für Testregionen)																																						
Aufbau der lokalen und regionalen Datenbank																																						
Modellierung der BZI-Standorte und Landzeitfeldversuche																																						
Up-scaling Methodik für C-Verlagerungen von Langzeitversuchen und Felddaten																																						
Entwicklung des regionalen Ansatzes inkl. Klimaszenarien																																						
Unsicherheitsanalyse																																						
Berichtslegung und Publikation																																						
WP3: Humusversorgung - Toolbox																																						
Datenbereitstellung																																						
Auswahl der Module, lokale Parameter																																						
Testen der Toolbox																																						
Abgleich der Inputdaten																																						
Entwicklung der Online-Version																																						
WP 4: Dissemination																																						
Vorbereitung des Disseminationsmaterials																																						
Workshops (5) - mit Stakeholder-Beteiligung																																						
Präsentation der Ergebnisse (Konferenzen,...)																																						
WP5: Projekt Management																																						
Organisation Projekttreffen & Protokolle																																						
Projektkoordination und Administration																																						
Regelmäßige Kommunikation mit allen Partnern																																						
Qualitäts und Fortschrittskontrolle																																						
Finanzmanagement und Controlling																																						
Projektendbericht																																						

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Die Implementierung und Ergebnisse der Modelle wurden im Rahmen zahlreicher Disseminierungsaktivitäten präsentiert und diskutiert.

Es wurden 4 Workshops in den Testregionen Marchfeld und Mühlviertel abgehalten und die Entwicklungen mit Experten, Stakeholdern und Landwirten diskutiert. Die Expertenworkshops fanden am 5. und 6. November 2014 in der Landwirtschaftskammer Oberösterreich in Linz und in der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES, Wien) statt. Weitere 2 Workshops mit dem Schwerpunkt „Modellanwendung“ wurden am 28. und 29. Jänner 2015 in Neumarkt im Mühlkreis (Oberösterreich) und in der Bezirksbauernkammer in Hollabrunn (Niederösterreich) abgehalten.

Die Abschlusspräsentation des Projekts fand am 12.3.2015 am Umweltbundesamt statt. Die Ausrichtung der Workshops war einerseits die Präsentation der Projektergebnisse zum Thema Klimawandelmodellierung, aktuelle Datensituation und Nutzung der beiden ACC-Modelle. Andererseits war es das Ziel des Projektteams, die Aufmerksamkeit auf die Themen Klimawandel und Ertragssicherheit zu lenken und damit das Bewusstsein für diese Themen zu stärken, sowohl bei Landwirten, als auch bei Stakeholdern auf lokaler und nationaler Ebene.

Die Projektentwicklungen und Ergebnisse wurden bei zahlreichen Treffen und Konferenzen präsentiert:

- Bodenforum Austria 17.10.2012, Wien
- Fachbeirat für Bodenschutz ,16. 10. 2012, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz
- Humussympodium, 08.02.2013, Kaindorf (Steiermark)
- Humusworkshop 13.3.2013, Bioforschung Austria (Wien)
- European Geoscience Union conferences 2014 und 2015, Wien
- 15. Klimatag, 2. – 4. April 2014, Innsbruck
- 16. Klimatag, 28. - 30.4. 2015, Wien
- Klartext Boden.Leben, 8.April, 2015, Tulln
- 70. ALVA – Konferenz, 1.- 2. 6. 2015, Graz
- 127. VDLUFA-KONGRESS, 15. - 18. September 2015, Göttingen

Eine Presseaussendung wurde zusammengestellt und auf dieser Basis folgende Artikel in Printmedien und Rundfunk veröffentlicht:

- Landwirtschaftliches Wochenblatt, „Kohlenstoff“, 29.03.2015
- Standard, <http://derstandard.at/2000013243121/Die-Menschen-gehen-der-Erde-unter-die-Haut>, 21.03.2015
- <http://enviro-plus.eu/archive/2312>
- <http://science.orf.at/stories/1754586/>
- Ö1, Wissen aktuell, „Wie Felder nachhaltig bestellt werden“, 03.04.2015

Eine Projektwebseite wurde entwickelt. Informationen zum Projekt, das herunterladbare lokale Modell (mit Arbeitsanleitung), sowie die Ergebnisse der Karten des regionalen Modells sind verfügbar. Die Präsentationen der Abschlussveranstaltung sind ebenfalls auf der Homepage zu finden. Damit sind die wesentlichen Projektergebnisse öffentlich zugänglich und nutzbar.

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/landnutzung/acc/acc_lokal/

Publikationen:

Franko U. & H. Spiegel (2015): Modelling soil organic carbon dynamics in an Austrian long-term tillage field experiment. Soil & Tillage Research 156, pp. 83 – 90.

„Wieviel Humus braucht der Ackerboden“ 2015, Fortschrittlicher Landwirt (Beilage) 13, pp. 44-47, Auflage: 54.000 Stück.

„Kohlenstoff-Rechner für produktive Böden“. Der Pflanzenarzt, erscheint im August 2015, Auflage: 3000 Stück.

„Austrian Carbon Calculator: Auswirkung der Bewirtschaftung auf die Humusdynamik“.
Bauernzeitung, Oktober 2015, Auflage: 137.000 Stück, <http://www.bauernzeitung.at/?id=2500,1077465>
„Austrian Carbon Calculator“ Geschäftsbericht der Boden.Wasser.Schutz.Beratung, 2014 (Auflage:
150 Stück)

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.