

MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LÄNDERN UND EUROPÄISCHER UNION



Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen
Raums: Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.

LE 07-13
Entwicklung für den Ländlichen Raum



lebensministerium.at

Arbeiten zur Evaluierung von ÖPUL-

Maßnahmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit

Schwerpunkt agrarische Bewirtschaftung

ARBEITEN ZUR EVALUIERUNG VON ÖPUL-MASSNAHMEN HINSICHTLICH IHRER KLIMAWIRKSAMKEIT

Schwerpunkt agrarische Bewirtschaftung

Alexandra Freudenschuß
Katrín Sedy
Gerhard Zethner
Heide Spiegel



MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LÄNDERN UND EUROPÄISCHER UNION



Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen
Raums: Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.

LE 07-13
Entwicklung für den Ländlichen Raum



lebensministerium.at

REPORT
REP-0290

Wien, 2010

Projektleitung

Alexandra Freudenschuß

AutorInnen

Alexandra Freudenschuß

Katrin Sedy

Heide Spiegel (AGES)

Gerhard Zethner

Datenaufbereitung (INVEKOS)

Andreas Bartel

Übersetzung

Brigitte Read

Lektorat

Alexander Seidl

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagfoto

© Umweltbundesamt/Kutschera

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abt. II/5 erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-091-1

INHALT

| | |
|---|----|
| ZUSAMMENFASSUNG | 5 |
| SUMMARY | 6 |
| KURZFASSUNG | 7 |
| ABSTRACT | 9 |
| 1 EINLEITUNG | 11 |
| 2 METHODIK | 12 |
| 2.1 Überblick | 12 |
| 2.2 Beschreibung der AGES-Versuchsflächen | 13 |
| 2.2.1 Bodenbearbeitungsversuch im Marchfeld (Versuch 1) | 14 |
| 2.2.2 Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen im Marchfeld und im Waldviertel (Versuch 2) | 14 |
| 2.2.3 N-P-K-Stufenversuche mit und ohne Stallmist im Alpenvorland und Waldviertel (Versuch 3) | 14 |
| 2.2.4 Fruchtfolgeversuch im Marchfeld und Alpenvorland (Versuch 4) | 15 |
| 2.2.5 Internationaler Organischer Stickstoff-Dauerdüngungs-versuch (IOSDV) im Marchfeld (Versuch 5) | 15 |
| 2.3 Auswahl des C-Bilanzierungsmodells | 16 |
| 2.4 Bewertung der Humusbilanzierungsergebnisse | 19 |
| 2.5 N-Bilanz | 20 |
| 2.6 Datengrundlagen | 22 |
| 2.6.1 Auswertungen aus der INVEKOS-Datenbank | 22 |
| 2.6.2 Weitere Datenerfordernisse | 24 |
| 3 ERGEBNISSE | 29 |
| 3.1 Auswertung der AGES-Versuchsdaten | 29 |
| 3.1.1 Entwicklung der C _{org} -Gehalte und Ableitung von Managementfaktoren und deren Unsicherheiten | 29 |
| 3.1.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung | 34 |
| 3.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung auf regionaler und nationaler Ebene | 40 |
| 3.2.1 Humusbilanzierung auf regionaler Ebene für 2007 | 41 |
| 3.2.2 Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2007 | 62 |
| 3.3 Ergebnisse der N-Bilanzen für 2007 | 65 |
| 3.4 Ergebnisse des ExpertInnenworkshops | 72 |
| 4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 74 |
| 4.1 Managementfaktoren im internationalen Vergleich | 74 |
| 4.2 Anwendbarkeit der Humusbilanzierung auf den Dauerversuchsflächen der AGES | 74 |

| | | |
|------------|---|----|
| 4.3 | Anwendbarkeit der Humusbilanzierung auf regionaler bzw. nationaler Ebene | 76 |
| 4.3.1 | Ergebnisse auf regionaler und nationaler Ebene 2007 | 76 |
| 4.3.2 | Vergleich der Ergebnisse auf nationaler Ebene für die Jahre 2005–2007 | 78 |
| 4.4 | Einfluss der N-Bilanz und deren Auswirkung auf Humusmehrung bzw. -zehrung | 79 |
| 4.5 | Humusbilanzierung im Vergleich zur Anwendung von Managementfaktoren auf nationaler Ebene | 80 |
| 5 | SCHLUSSFOLGERUNGEN | 84 |
| 5.1 | Aussagen zur Klimawirkung der ausgewählten ÖPUL-Maßnahmen | 84 |
| 5.2 | Grundlage für den Indikator Bewirtschaftete Flächen mit Klimaschutzwirkung | 85 |
| 5.3 | Listung erforderlicher, verbesserungswürdiger Erhebungsdaten | 86 |
| 5.4 | Vorschläge zur Gestaltung von ÖPUL-Maßnahmen für kommende Programmperioden | 86 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS | 89 |
| 7 | ANHANG | 95 |
| 7.1 | Humusbilanzierung für die Jahre 2005 und 2006 | 95 |
| 7.1.1 | Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2005 | 95 |
| 7.1.2 | Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2006 | 97 |

ZUSAMMENFASSUNG

Das Agrarumweltprogramm ÖPUL 2007 ist Teil des Programms Ländliche Entwicklung 2007–2013 und sieht Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelt und der Landschaft vor. Die Umweltauswirkungen dieser Maßnahmen sind in einem Halbzeitevaluierungsbericht 2010 an die Europäische Kommission zu übermitteln und umfassen erstmals deren Klimarelevanz.

Landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmethoden beeinflussen die Speicherung von organischem Kohlenstoff (C_{org}) in Ackerböden, die Humusbildung und die Lachgasemissionen. Sie können daher die Freisetzung klimarelevanter Gase aus den Böden vermindern und damit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Auswirkungen ausgewählter ÖPUL-Maßnahmen in Hinblick auf ihre Klimawirksamkeit untersucht.

Es wurden folgende – insbesondere Humus schonende und Dünger reduzierende – ÖPUL-Maßnahmen berücksichtigt: Biologische Wirtschaftsweise (BIO), Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel, umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen (UBAG), Begrünung, Untersaat bei Mais sowie Mulch- und Direktsaat.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden wurden zunächst in Langzeitversuchen der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) analysiert. Die Ergebnisse wurden einerseits für die Ableitung von Managementfaktoren und andererseits zur Überprüfung einer Modellanwendung für die Humusbilanzierung herangezogen.

Diese abgeleiteten Managementfaktoren (Änderung des C_{org} -Gehaltes durch Bodenbewirtschaftung) wurden mit jenen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verglichen. Eine gute Übereinstimmung zeigte sich für die Faktoren der C_{org} -Änderungen aufgrund von Bodenbearbeitung, Abfuhr der Ernterückstände und Gründüngung. Schlechter war die Übereinstimmung bei jenen für die Anwendung von organischen Düngern (z. B. Stallmist) und bei der Landnutzung.

Eine wesentliche Grundlage für die Berechnung der Humus- und Stickstoffbilanzierung auf regionaler und nationaler Ebene stellen die Daten aus INVEKOS, dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem zur Abwicklung von flächenbezogenen Beihilfen in der Landwirtschaft, dar.

Aus den Ergebnissen dieser Bilanzierungen zeigt sich, dass die ÖPUL-Maßnahmen BIO, Begrünung von Ackerflächen und Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel in Bezug auf die Bewirtschaftung von Ackerböden eine bessere Treibhausgasbilanz bewirken.

Zudem wurden Anregungen für die Diskussion zur Weiterentwicklung der ÖPUL-Maßnahmen erarbeitet.

Beitrag zum Klimaschutz

berücksichtigte Maßnahmen

AGES-Feldversuche

IPCC-Faktoren

INVEKOS-Daten

Ergebnisse

SUMMARY

The agri-environmental programme ÖPUL 2007 is part of the Austrian Programme for Rural Development 2007–2013 and provides measures to improve the environment and the countryside. For the first time, the contribution of these measures to mitigate climate change has been evaluated as part of the 2010 mid-term report to the European Commission.

- Contribution to climate change mitigation** Agricultural soil management methods affect the storage of organic carbon in arable soils (SOC), humus formation and N₂O emissions. The release of greenhouse gases from soils can be reduced, which contributes to climate change mitigation. The study presented here investigates the climate effects of selected ÖPUL (agri-environment) measures in Austria.
- Selected ÖPUL measures** The following ÖPUL measures (aimed in particular at humus conservation and reduction of fertilisers), were considered: *Organic farming (BIO)*, *renunciation of yield-increasing inputs on arable areas (Verzicht)*, *environmentally friendly management of arable areas and grassland (UBAG)*, *greening of arable areas, underseed under maize and direct seeding and seeding on mulch*.
- AGES long-term field experiments** First the change in soil organic carbon brought about by different management methods was analysed based on long-term field experiments of the Austrian Agency for Health and Food Safety (AGES). The results were used to derive management factors and to verify a humus balance model.
- IPCC factors** The derived management factors (SOC changes due to soil management) were compared with those of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Consistency was found for the factors of management-induced SOC changes, removal of crop residues and green manuring. A weaker correlation was found for the application of organic fertilisers (e.g. manure) and land use.
- IACS data** The data from the Integrated Administrative Control System (IACS) provided an important basis for the calculation of the humus and nitrogen balance at regional and national scales.
- Results** The results of the humus and nitrogen balance showed that in terms of management of arable soils, the ÖPUL measures *BIO*, *Verzicht* and greening of arable areas achieved a better greenhouse gas balance. A major impact on humus increases in soils is made by the greening of soils and the input of organic fertilisers.
- This report proposes the further development of existing Austrian agri-environment measures (ÖPUL), within the framework of the EU Rural Development Programme for further discussion.

KURZFASSUNG

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Klimawirksamkeit ausgewählter ÖPUL-Maßnahmen in Hinblick auf die Erhaltung bzw. Anreicherung von organischem Kohlenstoff in Ackerböden sowie die Verringerung von N₂O-Emissionen durch Änderungen von Düngermengen untersucht.

Die Einflüsse unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf die Änderungen der Bodenkohlenstoffgehalte wurden zunächst auf Feldversuchsebene analysiert, und die Anwendbarkeit der Humusbilanzierung nach VDLUFA überprüft. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden für die Ableitung der C_{org}-Änderungen auf regionaler (Bundesländer) und nationaler Ebene drei Varianten der Humusbilanzierung berechnet.

Die Auswertungen der Daten von Langzeitversuchen der AGES haben ergeben, dass die im Versuch ermittelten C_{org}-Änderungen aufgrund von Bodenbearbeitung (*tillage*), Abfuhr der Ernterückstände (*low input*) und Gründüngung (*high input without manure*) vergleichbar sind mit den vorgeschlagenen IPCC-Managementfaktoren (*default values* nach IPCC-GPG 2003). Eine schlechtere Übereinstimmung konnte bei der Anwendung von organischen Düngern (z. B. Stallmist – *high input with manure*) und bei der Landnutzung (*land use*) festgestellt werden. Ebenso kann aus den Humusbilanzierungen und Messungen der C_{org}-Gehalte von Langzeitversuchen der AGES abgeleitet werden, dass ausgewählte Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Minimalbodenbearbeitung, Einarbeitung der Ernterückstände, Begrünungen, organische Düngung mit Stallmist), die auch in ÖPUL-Maßnahmen ihren Niederschlag finden, langfristig zu einer geringeren Abnahme bzw. Stabilisierung, zum Teil auch zu einer Zunahme der C_{org}-Gehalte des Bodens führen. Für eine Verbesserung der Datenlage wäre es dringend notwendig, Ergebnisse weiterer Dauerfeldversuche (z. B. Kompostversuche) einzubeziehen, bestehende Dauerfeldversuche fortzuführen sowie Wiederholungsbeprobungen ausgewählter Flächen der Bodenzustandsinventuren, mit detaillierter Information zur Bewirtschaftung in unterschiedlichen klimatischen Regionen, durchzuführen.

Die Ergebnisse der Humusbilanzen auf regionaler (Bundesländer) bzw. nationaler Ebene belegen für 2007 eine im Durchschnitt positive Bilanzierung für die Maßnahmen BIO, Verzicht und die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht. Diese ist vor allem durch den Einfluss der Begrünung bzw. durch die C-Frachten von Wirtschaftsdünger gegeben. Somit kann diesen Maßnahmen eine organische, humuskonservierende, zum Teil auch humusaufbauende Bewirtschaftungsweise unterstellt werden, die einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz darstellt. Bei der Maßnahme UBAG ist der C-Input der Begrünung allein nicht ausreichend, auch Wirtschaftsdünger allein kann den stärkeren zehrenden Einfluss der Kulturen nicht ausgleichen. Die Kombination von Begrünung und Wirtschaftsdünger liefert jedoch eine positive bzw. nahezu ausgeglichene Bilanz.

Der Vergleich der Humusbilanzierung zwischen den Jahren 2005, 2006 und 2007 kann aufgrund der Neugestaltung des ÖPUL-Programms ab 2007 nur mit Einschränkung gezogen werden. Über den gesamten Zeitraum weist BIO die geringste Humuszehrung durch die Kulturen auf. Der C-Input durch Begrünung steigt von 2006 auf 2007 bei allen Maßnahmen deutlich. Die Wirtschaftsdüngerfrachten liegen bei der Maßnahme Verzicht 2005 und 2006, im Jahr 2007 bei Verzicht sowie der Kombination Verzicht + UBAG am höchsten.

Für eine weitere Abschätzung der Änderungen der Kohlenstoffgehalte in Ackerböden wurden die von den AGES-Dauerversuchen abgeleiteten Managementfaktoren auf nationale Ebene hochgerechnet. Die Managementfaktoren wurden den ÖPUL-Maßnahmen zugewiesen und flächengewichtet ausgewertet. Daraus lässt sich eine durchschnittliche C-Änderung von $43 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für 2007 ableiten, das entspricht einer Bindung von ca. 221 Gg CO_2 über alle Ackerböden Österreichs. Obwohl die Hochrechnung mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist, stellt sie eine erste Abschätzung für die C-Änderungen durch die Bewirtschaftungsmaßnahmen dar und liegt in ähnlichen Bereichen wie die Ergebnisse der Humusbilanzierungen.

Bei der N-Bilanzierung wurden die N-Einträge in Beziehung zum Düngerbedarf der Kulturpflanzen gesetzt. Bei den Maßnahmen BIO und Verzicht zeigt sich eine hohe Bilanzdeckung durch die organische Düngung. Bei UBAG liegt die Bilanzdeckung trotz Berücksichtigung der Mineraldüngermengen deutlich darunter. Um die Emissionsreduktion von N_2O -Emissionen durch die ÖPUL-Maßnahmen abschätzen zu können, wurden drei Referenzszenarien angenommen, die eine Situation ohne ÖPUL-Maßnahmen unterstellen. Die damit ermittelte Reduktion der Lachgasmenge entspricht 0,5–2,4 % der Gesamtemissionen (CO_2 äquiv.) aus der Landwirtschaft.

Ein weiteres Ergebnis aus der N-Bilanz sind die durchschnittlichen C/N-Verhältnisse aus den organischen Stoffrückflüssen auf die Böden. In Bezug auf die Humusmehrung bzw. -zehrung stellt dieses Verhältnis einen Indikator dar, da zu geringe oder zu hohe C/N-Werte zu einem Humusabbau bzw. zu einer Stickstofffestlegung führen können. Aus den Ergebnissen zeigt sich, dass die Maßnahmen BIO und Verzicht als organisch orientiertes, UBAG als mineralisch/organisch orientiertes Managementsystem einzustufen sind.

Aus den Ergebnissen der Humus- und Stickstoffbilanz zeigt sich, dass den stark organisch orientierten ÖPUL-Maßnahmen BIO und Verzicht in Bezug auf die Bewirtschaftung von Ackerböden eine höhere Gewichtung für die Klimarelevanz zukommt als jenen Maßnahmen, die eher mineralisch/organisch orientiert sind (z. B. UBAG). Einen wesentlichen Einfluss auf die Humusmehrung in Böden haben dabei die Begrünung, die als ÖPUL-Maßnahme mit anderen kombinierbar ist, und der Einsatz organischer Dünger.

Für die Ableitung des Indikators *Bewirtschaftete Flächen mit Klimaschutzwirkung* (ha) wird basierend auf den Ergebnissen dieses Projekts die Aufsummierung aller BIO- und Verzichtsflächen, der begrüneten Flächen von UBAG und der restlichen begrüneten INVEKOS-Flächen vorgeschlagen.

Für ein künftiges Förderprogramm im Rahmen der ländlichen Entwicklung (LE) wird vorgeschlagen bestehende Maßnahmen um klimawirksame Aktivitäten wie z. B. die Festlegung maximaler Bodenbearbeitungsgänge in einer Zeiteinheit, den Vorzug für lignifizierende Pflanzenarten bei Begrünungen, die Forcierung der Maßnahme *Untersaat Mais* und ihre Öffnung für andere Kulturen sowie die Trennung der Förderung in Mulchsaat und in Direktsaat zu erweitern. Ebenso wird aus Klimaschutzgründen die Einführung neuer Maßnahmen wie z. B. die Erstellung einer Humus- und N-Bilanz auf Betriebsebene, die Abdeckung von Güllebehältern, die vermehrte Behandlung des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen oder Einführung von limitierenden Bedingungen für die Abfuhr von Ernterückständen empfohlen.

ABSTRACT

Under this project the climate effects of selected ÖPUL (agri-environment) measures in Austria were investigated with regard to changes of soil organic carbon (SOC) in arable soils, as well as the reduction of N₂O emissions through changes in fertiliser amounts.

First the effects of different management methods on changes in SOC contents were analysed at field plots and the applicability of the humus balance model according to VDLUFA was assessed. On the basis of the results, three alternatives of the humus balance model were calculated to derive SOC changes at regional (federal provinces) and national level.

The evaluation of data obtained from long-term field experiments conducted by AGES showed that the SOC changes due to tillage, low input and high input without manure, as calculated for the plots, are comparable with the proposed IPCC default values (IPCC-GPG, 2003). A weaker correlation was found under the application of organic fertilisers (e.g. high input with manure) and land use. From humus balances and SOC measurements during long-term field experiments by AGES one can deduce that selected management methods (e.g. minimum tillage, low input, high input without manure, high input with manure), which are also part of the Austrian agri-environment measures (ÖPUL), lead – in the long term – to lower reduction rates or even stabilisation and partial increase of SOC in arable soils. To improve the data there is an urgent need for integration of results from other long-term field experiments (e.g. compost field experiments), continuation of long-term field experiments already in place and repeat sampling at selected sites of environmental soil surveys with detailed information on soil management in different climatic regions.

The results of the humus balances at regional (federal provinces) and national level for 2007 are on average positive for the measures *BIO*¹ and *Verzicht*² as well as for the combination *UBAG*³ and *Verzicht*. This is above all due to the effect from greening of arable areas and to C loads of farmyard manure. These measures can thus be regarded as organic management methods, conducive to the conservation and partial build-up of SOC, therefore providing an important contribution to climate change mitigation. Under the *UBAG* measure, the C input from greening of arable areas alone is not sufficient, and farmyard manure alone is not enough to balance the stronger impact on SOC in soils from crops. Greening of arable areas, combined with farmyard manure, however, provides a positive or almost balanced result.

A comparison of humus balances between the years 2005, 2006 and 2007 is possible only with limitations, due to the new organisation of the ÖPUL programme as of 2007. For the whole period, *BIO* shows the lowest SOC losses through crops. C inputs from greening of arable areas show a distinct increase from 2006 to 2007 for all measures. Farmyard manure loads are highest for 2005 and 2006 with the *Verzicht* measure, and for the year 2007 with the *Verzicht* measure as well as with *Verzicht* and *UBAG* combined.

¹ Organic farming

² Renunciation of yield-increasing inputs on arable areas

³ Environmentally friendly management of arable areas and grassland

For another assessment of changes in SOC contents in arable soils, the default values derived from the long-term AGES experiments were extrapolated for the national level. The default values were allocated to ÖPUL measures and evaluated on an area-weighted basis. Thus an average SOC change of $43 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ was derived for 2007, which corresponds to a sink of ca. 221 Gg CO_2 across all arable soils in Austria. Although the extrapolation comes with a high level of uncertainty, it is a first assessment of C changes through management measures and is within ranges similar to the results of humus balance calculations.

For N balance calculations, N inputs were correlated with the fertiliser requirements of crop plants. The measures *BIO* and *Verzicht* showed mostly balanced results due to the use of organic fertilisers. With *UBAG* the results were considerably less balanced although quantities of mineral fertilisers were taken into account. To assess the emission reductions of N_2O emissions achieved with ÖPUL measures, three reference scenarios were assumed depicting a situation without ÖPUL measures. The thus calculated reduction of nitrous oxide corresponds to 0.5–2.4 % of the total emissions (CO_2 equiv.) from agriculture.

Another result from the N balance is the average C/N ratio from organic material flows in soils. This ratio provides an indicator with respect to SOC accumulation or loss, since C/N values which are too high or too low may lead to SOC depletion or nitrogen fixation. The results show that the measures *BIO* and *Verzicht* should be classed as organically oriented, and *UBAG* as minerally-organically oriented management systems.

The results of the humus and nitrogen balances show that in terms of arable soil management, the strongly organically oriented ÖPUL measures *BIO* and *Verzicht* are of higher relevance for the mitigation of climate change than measures which tend to be more minerally/organically oriented (e. g. *UBAG*). An important effect on the accumulation of SOC in soils is achieved by greening of arable areas, an ÖPUL measure which can be combined with others, and by using organic fertilisers.

On the basis of the results of this project, it is proposed to add together all *BIO* and *Verzicht* sites, as well as all high input sites without manure under *UBAG* and the remaining high input IACS sites without manure, to derive the indicator *Area under successful land management – contributing to climate change mitigation* (ha).

Regarding a future programme of Austrian agri-environment measures (ÖPUL), within the framework of the EU Rural Development Programme, it is suggested that the existing measures should be refined e.g. by specifying a maximum number of soil management activities within a certain timeframe, giving preference to lignifying plants for greening of arable land as well as promoting the measure *Untersaat Mais (underseed under maize)* and the opening up of this measure for other crops, and separating the funds for *Mulchsaat* and *Direktsaat (direct seeding and seeding on mulch)*. With respect to climate change mitigation, the implementation of further agri-environment measures is recommended, like the calculation of a humus balance and nitrogen balance at farm level, coverage of liquid manure tanks, pretreatment of manure in biogas plants or restriction measures for the total removal of organic materials (crop residues) from fields.

1 EINLEITUNG

Von der Europäischen Kommission (GD Landwirtschaft) wurden für die Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen als Teil der Ländlichen Entwicklung 2007–2013 u. a. Vorgaben für die 2010 vorgesehene Midterm-Evaluierung erarbeitet (Common Monitoring and Evaluation Framework Rural Development 2007–2013). Bei der Bewertung werden mittels Ergebnisindikatoren und gegebenenfalls Wirkungsindikatoren die Fortschritte der Programme an deren Zielen gemessen. Diese Evaluierung soll erstmals auch die Bewertung der Auswirkungen der Agrar-Umweltmaßnahmen auf ihre Klimarelevanz enthalten. Allerdings zielt keine der Maßnahmen direkt auf den Klimaschutz ab.

Böden kommt in Bezug auf Klimaschutz eine wesentliche Rolle zu, da sie den größten terrestrischen Pool an organo-mineralischen Komplexen darstellen und damit klimarelevante Gase puffern. Die Stabilität dieser organischen Verbindungen ist allerdings nicht konstant, sondern unterliegt durch Änderungen von Landnutzung, klimatischen Verhältnissen, Fruchtfolgen, Biodiversität und Bearbeitungsintensität stetigen Aufbau- und Abbauprozessen. Humusanreichernde Bewirtschaftungssysteme führen daher zu einem neuen Gleichgewicht der organischen Verbindungen in Böden. Aus Sicht des Klimaschutzes gilt es in erster Linie standort- und nutzungstypische Humusgehalte zu erhalten und durch intensive Bewirtschaftung fortlaufende C-Verluste zu reduzieren. Zu hohe Humusgehalte können in Folge des hohen Mineralisierungspotenzials allerdings Ursache für vermeidbare Stickstoffausträge in Gewässer (Nitrat) und die Atmosphäre (Lachgas) sein.

Eine Reihe von ÖPUL-Maßnahmen wird daher als klimarelevant eingestuft. Dazu zählen insbesondere humusaufbauende und düngerreduzierende Maßnahmen. Im Rahmen dieses Projekts wurden die Maßnahmen biologische Wirtschaftsweise (BIO), Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel (Verzicht), umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen (UBAG) sowie die Maßnahme Begrünung berücksichtigt. Die Maßnahmen „Untersaat bei Mais“ sowie „Mulch- und Direktsaat“ werden ebenso diskutiert.

Im Hinblick auf die Klimarelevanz der Agrar-Umweltmaßnahmen sind die Ziele des Projekts wie folgt:

- Untersuchung der Festlegung organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in Böden durch unterschiedliche Bodenbewirtschaftung im Ackerbau.
- Ableitung von Managementfaktoren und deren Unsicherheiten für die ackerbauliche Bodenbewirtschaftung.
- Überprüfung der Anwendbarkeit der Humusbilanzierung zur Abschätzung von Änderungen der C_{org} -Vorräte bzw. -Gehalte in Böden auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene.
- Ableitung der C/N-Verhältnisse des organischen Inputs in Böden, als qualitative Kenngröße für die Ergebnisse der Humusbilanzierung.
- Darstellung des Einflusses von ÖPUL-Maßnahmen auf Lachgasemissionen (N_2O) aus dem Düngemiteleinsatz.
- Ableitung eines Ergebnisses für den Indikator „Bewirtschaftete Flächen mit Klimaschutzwirkung“ (ha).

Hintergrund

Böden und Klimaschutz

ÖPUL-Maßnahmen

Ziele des Projekts

2 METHODIK

2.1 Überblick

Kriterien zur Beurteilung der Klimarelevanz

Die Beurteilung der Klimarelevanz ausgewählter ÖPUL-Maßnahmen erfolgte im Rahmen dieses Projekts nach folgenden Gesichtspunkten:

- Bilanzierung des Inputs von organischem Material und des Humusverlusts aufgrund der Bewirtschaftungsweise (Humusbilanzierung).
- Anwendung von Managementfaktoren, die Änderungen von Bodenkohlenstoffgehalten bzw. -vorräten durch die ackerbauliche Bewirtschaftung abbilden.
- Reduzierter Einsatz von mineralischen Düngemitteln (Reduktion von N₂O-Emissionen).
- Abgeleitete C/N-Verhältnisse der Stoffflüsse in die Böden, als qualitative Kenngröße für die Humusstabilität.

Arbeitsschritte

Die Durchführung folgender Arbeitsschritte war daher erforderlich:

- Auswertungen der Daten der AGES-Versuchsflächen.
- Literaturrecherche zu möglichen C-Bilanzierungsmodellen.
- Anwendung der Humusbilanzierung auf AGES-Versuchsflächen.
- Aufbereitung regionaler/nationaler Datensätze (INVEKOS-Daten, Ertragsdaten etc.).
- Anwendung der Humusbilanzierung auf regionaler/nationaler Ebene.
- Basierend auf den Ergebnissen der Humusbilanzierung, den jeweiligen N-Erfordernissen der Kulturarten und den abgeleiteten Mengen an ausgebrachtem Wirtschaftsdünger (N-Input) erfolgte zusätzlich eine qualitative Beschreibung der C/N-Verhältnisse des organischen Inputs in Böden.
- Darüber hinaus wurde die Klimawirksamkeit der ÖPUL-Maßnahmen auch hinsichtlich des Düngemiteleinsatzes analysiert.

Bereits im Vorfeld des Projekts wurde die Vergleichbarkeit der Versuchsanordnungen der Feldversuche mit den ausgewählten ÖPUL-Maßnahmen überprüft. Eine eindeutige Zuordnung ist nicht möglich, allerdings lassen sich aufgrund des Düngerregimes, der Bodenbearbeitung und der Einarbeitung von Ernterückständen Beziehungen ableiten, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Die Feldversuche sind in Kapitel 2.2 genauer beschrieben.

Tabelle 1: Vergleich der klimawirksamen ÖPUL-Maßnahmen mit den Langzeitversuchen der AGES.

| Klimawirksame ÖPUL-Maßnahmen | Versuch 1 | Versuch 2 | Versuch 3 | Versuch 4 | Versuch 5 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Biologische Wirtschaftsweise | X | X | | X | X |
| Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel (Ackerflächen) | | X | X | X | X |
| UBAG -umweltgerechte Bewirtschaftung Acker, Grünland | | X | X | X | X |
| Begrünung Ackerflächen | (X) | | | | X |
| Mulch- und Direktsaat | X | | | | X |
| Untersaat bei Mais | | | | | |

2.2 Beschreibung der AGES-Versuchsflächen

Einen Überblick über die AGES-Feldversuche, die für die Evaluierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen bezüglich des C_{org} -Gehalts in Böden bearbeitet wurden, gibt Tabelle 2.

Die Versuchsergebnisse der Versuche 1, 2 und 4 wurden sowohl zur Ableitung von Managementfaktoren (siehe Kapitel 3.1.1) als auch für die Evaluierung von Humusbilanzierungsmethoden (siehe Kapitel 3.1.2) herangezogen. C_{org} -Daten von Versuch 3 wurden zur Berechnung der Managementfaktoren und Daten von Versuch 5 zur Überprüfung der Humusbilanzierung verwendet.

Tabelle 2: Überblick der ausgewählten AGES-Feldversuche.

| Versuch | Feldversuche | Standort (seit bzw. von/bis) |
|---------|---|---|
| 1 | Bodenbearbeitungsversuch | Marchfeld (1988) |
| 2 | Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen | Marchfeld (1982), Waldviertel (1982–2002) |
| 3 | N-P-K-Stufenversuch mit/ohne Stallmist | Alpenvorland, Waldviertel (1959/1973–2004), |
| 4 | Fruchtfolgeversuch: Fruchtfolgen mit/ohne Stallmist | Marchfeld, Alpenvorland (1988–2004/2005) |
| 5 | Internationaler Organischer Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV) | Marchfeld (1986) |

Die Aussagekraft des im Projektantrag angeführten Versuchs 3 („Streuversuche zur standortabhängigen Düngung in NÖ“) für eine Evaluierung von ÖPUL-Maßnahmen auf ihre Klimawirksamkeit hat sich im Laufe der Auswertungen als eingeschränkt erwiesen. Daher wurden Daten aus einem bereits stillgelegten Langzeitfeldversuch für die Evaluierung – insbesondere von Stallmistwirkungen – herangezogen („N-P-K-Stufenversuche mit und ohne Stallmist im Alpenvorland und Waldviertel, Versuchsdauer von 1959/1973–2004“).

Überblick ausgewählter AGES-Feldversuche

2.2.1 Bodenbearbeitungsversuch im Marchfeld (Versuch 1)

Der Versuch wurde 1988 in Fuchsenbigl (Marchfeld) im ungeordneten Block mit drei Prüfobjekten und je drei Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße beträgt 60 x 12 m (= 720 m²).

Folgende Varianten werden untersucht:

- Frässaatvariante (System Horsch, MT): Der Boden wird ohne vorherige Grundbodenbearbeitung im Zuge der Saat (Getreide) bzw. unmittelbar vor der Saat (Zuckerrübe) ganzflächig gefräst, Bearbeitungstiefe: 5–8 cm.
- Grubbervariante (RT): Stoppelbearbeitung und Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber, Saatbeetbereitung mit Saatbeetkombination, Bearbeitungstiefe: ca. 15 cm.
- Pflugvariante (CT): Stoppelbearbeitung mit dem Grubber, Grundbodenbearbeitung mit Pflug, Saatbeetbereitung mit Saatbeetkombination, Bearbeitungstiefe: ca. 25–30 cm.

Die N-, P- und K-Düngung erfolgte kulturartenspezifisch aufgrund der „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (BMLF 1999, BMLFUW 2006a) für alle Varianten einheitlich und orientierte sich an den Gehaltswerten der Pflugvariante. Alle Erntereste wurden auf dem Feld belassen. Genauere Angaben zum Versuch können aus SPIEGEL et al. (2002, 2007a) entnommen werden.

2.2.2 Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen im Marchfeld und im Waldviertel (Versuch 2)

Die Versuche wurden in Rutzendorf (Marchfeld) und in Zwettl (Waldviertel) im Jahr 1982 mit acht Prüfobjekten und je vier Wiederholungen angelegt. In jeweils vier P-Steigerungsstufen (0, 75, 150, 300 kg P₂O₅ ha⁻¹) wurden die Ernterückstände (Stroh, Rübenblatt etc.) jedes Jahr eingearbeitet bzw. zur Gänze abgeführt. Die Parzellengrößen betragen in Rutzendorf 32 x 6 m und in Zwettl 25 x 5 m. Die N- und K-Düngung erfolgte kulturartenspezifisch aufgrund der „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (BMLF 1999, BMLFUW 2006a).

Der Blattfruchtanteil betrug im Marchfeld 48 % (Zuckerrübe, Körnererbse, Körnermais, Raps, Sojabohne, Sonnenblume, Kartoffel). In Zwettl wurden zu 33 % Blattfrüchte (Kartoffel, Silomais, Körnererbse, Raps) angebaut. Der Versuch in Zwettl wurde 2002 stillgelegt. Da die Varianten mit unterschiedlichen P-Aufwandmengen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der organischen C-Gehalte im Boden aufweisen, wurden Mittelwerte für die Auswertungen bezüglich der Auswirkungen der Ernterückständebehandlung herangezogen.

2.2.3 N-P-K-Stufenversuche mit und ohne Stallmist im Alpenvorland und Waldviertel (Versuch 3)

Die Versuche wurden 1959 als N-P-K-Stufenversuche mit je vier N- (kulturartenspezifische Abstufung), P- (0, 50, 100 und 150 bzw. 200 kg P₂O₅) und K-Stufen (0, 75, 150 und 225 kg K₂O) mit drei Wiederholungen in Fuchsenbigl und in Rottenhaus angelegt. 1974 wurden in Rottenhaus und Zwettl die ursprünglich 100 m² großen Parzellen geteilt und eine Hälfte jährlich mit 10 t Stallmist gedüngt, die Mineraldüngeraufwendungen blieben unverändert. Auf beiden Versuchsstandorten betrug die Parzellenanzahl 384. Die Versuche wurden 2004 stillgelegt.

2.2.4 Fruchtfolgeversuch im Marchfeld und Alpenvorland (Versuch 4)

Die Versuche wurden in Fuchsenbigl (Marchfeld) und in Wieselburg (Alpenvorland) 1971 angelegt, seit 1988 wurden 13 sechsgliedrige Fruchtfolgen untersucht. Eine genaue Versuchsbeschreibung ist in DACHLER & KÖCHL (2003) enthalten. Die Versuche wurden im Alpenvorland 2004 und im Marchfeld 2005 stillgelegt. Für die aktuellen Auswertungen wurden C_{org} -Daten von folgenden Fruchtfolgen herangezogen: A1: Fruchtfolgen mit 67 % Getreide und 33 % Zuckerrübe, A2: die gleiche Fruchtfolge, zusätzlich wurden vor dem Anbau von Zuckerrübe 300 dt ha⁻¹ Stallmist verabreicht. C1: reine Getreidefruchtfolge, B3: vergleichbare Fruchtfolge, allerdings wurden im Marchfeld zwei Winterungen durch Luzernegründung, im Alpenvorland eine Sommerung und eine Winterung durch Rotkleebrache ersetzt (Details siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Fruchtfolgeversuche im Marchfeld und Alpenvorland.

| Fruchtfolge | 1. Jahr | 2. Jahr | 3. Jahr | 4. Jahr | 5. Jahr | 6. Jahr |
|--|-------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Fruchtfolgen im Marchfeld (1988–1993, 1994–1999, 2000–2005) | | | | | | |
| A1 | Zuckerrübe | Winterweizen | Sommergerste | Zuckerrübe | Winterweizen | Sommergerste |
| A2 | Zuckerrübe [#] | Winterweizen | Sommergerste | Zuckerrübe [#] | Winterweizen | Sommergerste |
| C1 | Wintergerste | Winterweizen | Sommergerste | Winterroggen | Winterweizen | Sommergerste |
| B3 | Luzerne ⁺ | Winterweizen | Sommergerste ^{&} | Luzerne ⁺ | Winterweizen | Sommergerste |
| Fruchtfolgen im Alpenvorland (1988–1993, 1994–1999, 2000–2004) | | | | | | |
| A1 | Zuckerrübe | Winterweizen | Sommergerste | Zuckerrübe | Winterweizen | Sommergerste |
| A2 | Zuckerrübe [#] | Winterweizen | Sommergerste | Zuckerrübe [#] | Winterweizen | Sommergerste |
| C1 | Hafer | Winterweizen | Sommergerste | Winterroggen | Winterweizen | Sommergerste |
| B3 | Rotklee ⁺ | Winterweizen | Sommergerste ^{xx} | Rotklee ⁺ | Winterweizen | Sommergerste |

300 dt ha⁻¹ Stallmist,

& Luzerneuntersaat,

xx Rotkleeuntersaat,

+ Aufwuchs gemulcht

Die Versuche wurden in Fuchsenbigl mit drei und in Wieselburg mit vier Wiederholungen als randomisierter Block angelegt. Die Parzellengrößen betragen 10 x 5 m (= 50 m²).

2.2.5 Internationaler Organischer Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV) im Marchfeld (Versuch 5)

Der Versuch wurde 1986 in Fuchsenbigl mit einer dreigliedrigen Fruchtfolge Zuckerrübe – Winterweizen – Wintergerste (im Versuch steht pro Jahr eine Kultur), mit 28 Prüfobjekten und vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengrößen betragen 8,5 x 5 m. Im Versuch werden vollfaktoriell vier organische und sieben mineralische Varianten geprüft (siehe Tabelle 4).

Genauere Angaben zum IOSDV-Versuch sind in HÖSCH & DERSCH (1997, 2002) sowie in SPIEGEL et al. (2010) enthalten.

Tabelle 4: Organische und mineralische Düngung (kg ha^{-1}) im IOSDV-Versuch.

| organische Düngung | mineralische Düngung |
|--|----------------------|
| 1. ohne organische Düngung | 1.N0 P K |
| 2. Stallmistgabe | 2.N1 P K |
| 3. Einarbeitung der Erntereste (Stroh bzw. Rübenblatt) + Zwischenfrucht vor Zuckerrübe | 3.N2 P K |
| 4. Gülle | 4.N3 P K |
| | 5.N4 P K |
| | 6.N3 P0 K |
| | 7.N3 P K0 |

2.3 Auswahl des C-Bilanzierungsmodells

Boden-C-Modelle

In der Literatur sind unterschiedliche Modelle zur Abschätzung von Änderungen der C-Gehalte bzw. -Vorräte in Böden angeführt. Für komplexere Modelle (z. B. RothC, Repro, Yasso) werden zahlreiche Eingangsparameter benötigt, eine Ergebnisdarstellung auf regionaler bzw. nationaler Ebene bedarf einer eingehenden Evaluierung und Anpassung der Modelle. Daher wurde im Rahmen dieses Projekts ein einfaches Humusbilanzierungsmodell angewendet.

Humusbilanz (HB)

Humusbilanzen dienen der Bewertung der Humuszufuhr und des Humusbedarfs. Die Bilanz der Berechnung wird Humussaldo genannt. Die Humuszufuhr erfolgt in erster Linie durch Einarbeitung der Erntereste, Begrünung und organischen Dünger. Der Humusbedarf wird durch die Fruchtart, den Boden, das Klima und die Bodenbearbeitung festgelegt. Der Saldo gibt dann Auskunft über die Anreicherung oder die Reduktion organischer Bodensubstanz.

VDLUFA-Methode

Es sind unterschiedliche Humusbilanzierungsmethoden verfügbar, wobei in die VDLUFA-Methode (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) die gängigsten deutschen Modelle eingeflossen sind. Die VDLUFA-Methode (KÖRSCHENS et al. 2004) wird derzeit in Deutschland, in einzelnen Bundesländern teilweise mit Abänderungen, angewendet. Der VDLUFA-Standpunkt (2004) zur Humusbilanzierung liefert die Basis für diese verpflichtende Maßnahme. Nach den Cross-Compliance-Regelungen müssen Landwirtschaftsbetriebe in Deutschland eine Humusbilanz vorlegen können, wenn diese weniger als drei Fruchtarten mit einem Anteil von mindestens 15 % der Ackerfläche anbauen.

Für ausgewählte AGES-Dauerversuche wurden Humussalden nach VDLUFA (2004) gerechnet (siehe Kapitel 3.1.2). In den Tabellen sind sowohl die Humussalden über den angegebenen Versuchszeitraum (in $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$) als auch die Humussalden pro Jahr (in $\text{kg Humus-C ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) angegeben. Erstere Zahlen wurden für den Vergleich mit den gemessenen Werten (C_{org}) herangezogen. Dabei wurde eine Bodendichte von 1,4 unterstellt und auf die jeweils untersuchte Bearbeitungstiefe (0–20 bis 0–30 cm) gerechnet. Die Humussalden pro Jahr können anhand des Bewertungsschemas der VDLUFA (2004) eingeordnet werden.

Für die Berechnungen auf regionaler bzw. nationaler Ebene werden die Ergebnisse der Humusbilanzierung zur besseren Vergleichbarkeit in $\text{kg Humus-C ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ angegeben.

Folgende Berechnungsvarianten der Humusbilanzierung wurden ausgewählt:

**Varianten zur
Berechnung der HB**

- Variante 1: „obere Werte“, Strohreproduktionsfaktor (SRF): 80
Es wird von einem hohem Kohlenstoffverlust (z. B. Zuckerrübe: Entzug – $1.300 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$) und von hohem Kohlenstoffaufbau (z. B. Untersaaten: $+ 300 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$) ausgegangen. Die oberen Richtwerte werden bereits längere Zeit humusunterversorgten Böden zugerechnet.
- Variante 2: „untere Werte“, SRF: 100 (vergleichbar mit Cross Compliance in Deutschland)
Es wird von einem geringeren Kohlenstoffverlust bei zehrenden Kulturpflanzen (z. B. Zuckerrübe: Entzug $-760 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$) und geringerem Kohlenstoffaufbau bei C-mehrenden Kulturen bzw. Maßnahmen (z. B. Untersaaten: $+200 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$) ausgegangen. Die unteren Richtwerte sind bei Böden in gutem Kulturzustand mit optimaler mineralischer N-Düngung anzuwenden.
- Variante 3: „obere Werte“, SRF: 40
Dieser Wert ist einerseits ein Ergebnis der Berechnungen der Feldversuche der AGES und wird auch in der Literatur gewählt (KOLBE 2007). Es wurde ein (gerundeter, durchschnittlicher) SRF von 40 angenommen.

Der SRF gibt die Humus-C-Reproduktionsleistung in $\text{kg C je t Frischmasse (FM)}$ (bei 86 % Trockensubstanz – TS) an. Anhand der Feldversuche 2 (siehe Tabelle 2) wurde der SRF für Variante 3 neu berechnet. Für den Versuch im Marchfeld ergab sich ein SRF von 34, im Waldviertel ein SRF von 42. Die berechnete Strohreproduktion ist deutlich niedriger als bei VDLUFA (2004) angegeben (80–110). Allerdings basieren die VDLUFA-Werte auf Mittelwerten aus mehreren Feldversuchen (siehe Tabelle 5).

Die Kohlenstoffanreicherung durch die Maßnahme Mulch- und Direktsaat wurde indirekt berücksichtigt. Einerseits ist für diese Maßnahme eine Begrünung auf den Flächen Voraussetzung, wodurch bereits ein C-Input bei der Humusbilanzierung berücksichtigt wird. Andererseits wird durch die Berechnung der drei Varianten bei der Humusbilanzierung eine Bandbreite geschaffen, bei der durch unterschiedliche SRF ein höherer C-Aufbau berücksichtigt wird (siehe auch Kapitel 2.6.1.1).

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Methodik

Tabelle 5: Humusreproduktion von Stroh in ausgewählten Dauerversuchen (nach dem Standpunkt des VDLUFA (2004) sowie nach KÖRSCHENS et al. (2005) und ZORN et al. (2009)).

| Standort | Humus-C (kg t ⁻¹) |
|---------------------|-------------------------------|
| Groß Kreuz | 158 |
| Braunschweig | 155 |
| Thyrow Strohdüngung | 130 |
| Thyrow BF | 128 |
| Müncheberg | 125 |
| Bad Salzungen | 122 |
| Halle Feld F | 120 |
| Methau | 45 |
| Groß Kreuz P 60 | 28 |
| Spröda | 10 |
| Puch | 0 |
| VDLUFA (2004) | 80–110 |

In Tabelle 6 sind die Berechnungsschritte und -varianten der Humusbilanzierung zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6: Zusammenfassende Darstellung der Berechnungsschritte und -varianten der Humusbilanzierung.

| Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
|--|--|--|
| Humuszehrung durch Kulturen (HB1) | | |
| hoch | geringer | hoch |
| (-1.300 kg Humus-C ha ⁻¹ bei ZR) | (-760 kg Humus-C ha ⁻¹ bei ZR) | (-1.300 kg Humus-C ha ⁻¹ bei ZR) |
| Humusaufbau/-reproduktion durch Kulturen (HB1) | | |
| hoch | geringer | geringer |
| (+240 kg Humus-C ha ⁻¹ bei Leguminosen) | (+160 kg Humus-C ha ⁻¹ bei Leguminosen) | (+160 kg Humus-C ha ⁻¹ bei Leguminosen) |
| Strohreproduktionsfaktor (HB2) | | |
| 80 | 100 | 40 |
| Zufuhr von organischen Materialien – Begrünung | | |
| hoch | geringer | geringer |
| Zufuhr von organischen Materialien – Stallmist | | |
| gleich | gleich | gleich |

ZR = Zuckerrübe

Als Referenz (INVEKOS ohne betrachtete Maßnahme – o. b. M.) wurde eine Strohabfuhr von 100 % angenommen (SRF: 0). Damit wird beim Berechnungsteil HB 2 deutlich negativ bilanziert.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Humus-Reproduktion sinkt, je näher sich der Versuch dem Gleichgewichtszustand annähert (Friedl, mündliche Mitteilung 2009).

Die Bilanzierungsmethode nach VDLUFA bedarf einer weiteren Absicherung für unterschiedliche Standortbedingungen, Klimaräume und Böden. Eine Präzisierung ist für den Biologischen Landbau und für den Einfluss konservierender, pflugloser Bewirtschaftung erforderlich, da häufige Bearbeitungsgänge die Mineralisierung und damit den Abbau von Bodenkohlenstoff fördern. Der Einfluss des Produktionsniveaus in Abhängigkeit von der mineralischen N-Düngung sowie die Humusreproduktionsleistung von Stroh in Abhängigkeit von Standort, Bodenbearbeitung und N-Status der Böden muss dabei berücksichtigt werden (KÖRSCHENS et al. 2004).

Anpassungs- erfordernisse der HB

Auf regionaler bzw. nationaler Ebene wurde die Humusbilanz entsprechend den oben genannten drei Varianten berechnet. Folgende Berechnungsschritte wurden durchgeführt:

Berechnungs- schritte regional und national

- Schritt 1: Bilanzierung aus der Zuordnung der humuszehrenden bzw. -mehrenden Eigenschaften der angebauten Kulturen in der jeweiligen betrachteten Maßnahme und pro angebaute Fläche (= HB1).
- Schritt 2: Berechnung der Ernterückstände, die am Feld verbleiben. Hier unterscheiden sich die Varianten durch unterschiedliche Strohreproduktionsfaktoren (= HB2).
- Schritt 3: Beitrag der Begrünungen zum Humusaufbau des Bodens.
- Schritt 4: Humuswirkung des Wirtschaftsdüngers.

Die Ergebnisse der vier Berechnungsschritte werden summiert und stellen das Resultat der Humusbilanzierung entsprechend dem VDLUFA-Standpunkt (Varianten 1 und 2) und der adaptierten Variante (Variante 3) dar.

2.4 Bewertung der Humusbilanzierungsergebnisse

Die Bilanzierungsergebnisse können unterschiedlich bewertet werden. Die beiden Bilanzierungsbewertungen werden tabellarisch angeführt: Die erste Bewertung stammt aus dem VDLUFA-Standpunkt und teilt in fünf Versorgungsbereiche ein (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Bewertung der Humussalden nach dem VDLUFA-Standpunkt.

| Humussaldo | | Bewertung |
|---|-----------------|---|
| kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | Gruppe | |
| < -200 | A: sehr niedrig | ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung |
| -200 bis -76 | B: niedrig | mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden |
| -75 bis 100 | C: optimal | optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei eringem Verlustrisiko; langfristig Einstellung standortangepasster Humusgehalte |
| 101 bis 300 | D: hoch | mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden |
| > 300 | E: sehr hoch | erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste, niedrige N-Effizienz |

Die zweite Bewertung ist der Humusbilanz-Methode für Bayern nach den Vorgaben von Cross Compliance (CC) entnommen. Die Einteilung ist im Vergleich zum VDLUFA-Standpunkt stark vereinfacht (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Bewertung der Humussalden nach der CC-Humusbilanz-Methode (Bayern).

| Humussaldo | Bewertung/Handlungsempfehlung |
|---|--|
| < -75 kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | mehr Zwischenfrüchte und humusmehrende Früchte anbauen; mehr organische Dünger (Wirtschaftsdünger, Stroh, Kompost, ...) ausbringen, evtl. zukaufen |

Für die Interpretation der Humusbilanzen auf regionaler bzw. nationaler Ebene bieten die beiden Bewertungsansätze einen groben Rahmen. In welcher Größenordnung die Kohlenstoff-Anreicherung des Bodens verläuft, ist neben den direkten Bewirtschaftungsfaktoren noch von anderen Faktoren abhängig.

Durch eine langjährige, konventionelle ackerbauliche Nutzung der Böden stellt sich ein Gleichgewicht im Boden ein, das weit unter dem natürlichen Kohlenstoffgehalt des Bodens liegen kann. Wird ausgehend von diesem niedrigen Bodenkohlenstoffgehalt humusmehrend gewirtschaftet, kommt es zu einem relativ raschen C-Aufbau im Boden, bis wiederum ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Wie rasch Kohlenstoff im Boden angereichert werden kann, hängt also auch davon ab, wie weit der Kohlenstoffgehalt von seinem ursprünglichen Gleichgewicht entfernt ist (JOHNSON 1995, HÜLSBERGEN 2009).

Bei der biologischen Bewirtschaftung hat der Boden ebenfalls einen höheren Bedarf an organischer Substanz, da ein enger Zusammenhang zwischen der Versorgung der Böden mit organischer Substanz und dem Ertragsniveau besteht. Höhere standortspezifische Humusvorräte sind anzustreben, da durch den Anwendungsverzicht von Mineralstickstoff die Ernährung der Kulturpflanzen wesentlich vom Umsatz der organischen Bodensubstanz, besonders von der Stickstoffmineralisation, abhängig ist. Bei hohem Humusversorgungsgrad erfolgt ein schneller Abbau von Nährhumus, organischem Dünger sowie von Ernte- und Wurzelrückständen. Die mikrobiellen Umsetzungsprozesse sind intensiviert. Die direkte und indirekte Humusersatzwirkung des Mineralstickstoffs muss durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten und/oder durch erhöhte organische Düngung kompensiert werden. Nährstoffgehalte der organischen Dünger sind in der biologischen Landwirtschaft niedriger als in der konventionellen, daher ist die Stickstoff- und Humusersatzleistung geringer anzusetzen. Durch stärkere mechanische Pflegemaßnahmen werden in der biologischen Landwirtschaft Humusabbauprozesse angeregt (LEITHOLD 1996).

2.5 N-Bilanz

OECD-Methode

Die Entwicklung der Stickstoffverhältnisse in Österreich wird zunächst nach der OECD-Methode dargestellt. Diese Bilanz setzt am Ende des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses an, indem sie die durch Kulturpflanzen entzogenen N-Mengen den N-Einträgen und den eingesetzten Düngermengen gegenüberstellt. Dabei wird der errechnete Bilanzüberschuss als Hinweis (Indikator) für die potenziellen N-Verluste verstanden. Die OECD-Methode ist eine Bruttomethode, es werden keine Ammoniakverluste im Stall und Feld abgezogen.

Um jedoch abschätzen zu können, mit welchen durchschnittlichen C/N-Verhältnissen die Böden in den einzelnen Maßnahmen durch die Düngung beaufschlagt werden, wurde die N-Bilanz adaptiert. Der N-Bedarf wurde anhand der Kulturen und der jeweiligen Erträge abgeleitet. Die Ertragsverhältnisse wurden analog zu jenen der Humusbilanzierung für 2007 festgelegt.

adaptierte N-Bilanz

Folgende Komponenten wurden berücksichtigt:

- Anbauverhältnisse: N-Düngung abhängig von der durchschnittlichen Ertragshöhe (= N-Bedarf) wird stellvertretend für den N-Abzug verwendet.
- Erntereste bzw. die Fruchtfolgewirkung werden indirekt abhängig von den Kulturen durch die N-Bedarfskalkulation einbezogen.
- N-Fixierung: N-Bindung aus dem Leguminosenanbau wird als N-Eintrag verrechnet.
- Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung der jeweiligen Maßnahme.
- Mineraldünger als Ausgleich für das N-Defizit in den Flächen (mit Ausnahme der Biolandbau- und Verzichtflächen).
- Kompostanwendung: geschätzte 60 % der Kompostmengen in den Bundesländern werden der Landwirtschaft zugeteilt.
- Klärschlammnutzung in Abhängigkeit von den Bundesländern, der verwertete Anteil an Klärschlamm wird verrechnet.
- Biogasgülle und Gärrückstände aus der getrennten Sammlung, Speiserestvergärung, Mais und Grünlandnutzung werden angeschätzt.
- Zwischenbegrünungen werden auf ihre N-Wirkung angerechnet.

Komponenten ohne Einfluss auf die Ergebnisse und daher nicht berücksichtigt sind

- die Wirksamkeit bzw. die Verluste der N-Quellen im Boden.
- Querverbringung und Handel mit Wirtschaftsdünger zwischen den Maßnahmen und den Bundesländern.

Um die Klimawirksamkeit der ÖPUL-Maßnahmen in Hinblick auf den Einsatz von Mineraldünger abschätzen zu können, wurden basierend auf den Ergebnissen der adaptierten N-Bilanz drei unterschiedliche Szenarien berechnet. Die Szenarien unterstellen keine Beschränkung des Mineraldüngereinsatzes bzw. die Anhebung der durchschnittlichen Ertragslage in Biolandbau-, UBAG- und Verzichtflächen. Es wird unterstellt, dass keine ÖPUL-Förderung stattfindet.

Die Szenarien im Detail:

- **Szenario 1:** Der, neben dem Wirtschaftsdünger, zusätzliche Bedarf an organischem Dünger wird bei den Maßnahmen BIO und Verzicht durch Mineraldünger kompensiert (und nicht wie derzeit durch Komposte, Biogasgülle, Gärrückstände oder andere organische Dünger). Die Ertragsniveaus im Biolandbau und auf Verzichtflächen werden jedoch nicht verändert. Das Ergebnis liefert den Beitrag der Maßnahmen BIO und Verzicht zur Reduktion der N-Emissionen aus der Düngenanwendung.
- **Szenario 2:** Die reduzierten Ertragsniveaus der Maßnahmen BIO, Verzicht (–27 %) und UBAG (–10 %) werden an das Durchschnittsertragsniveau der einzelnen Bundesländer angeglichen. Dies ist nur mit einem Mehrbedarf an Mineraldünger erreichbar. Somit werden alle Restriktionen der ausgewählten ÖPUL-Maßnahmen aufgegeben. Das Ergebnis bildet den Beitrag dieser Maßnahmen zur Reduktion der N-Emissionen aus der Düngenanwendung ab.

- **Szenario 3:** Basiert auf Szenario 2, allerdings wird weiterhin eine Nachfrage nach Bioprodukten unterstellt, d. h. auf 50 % der Biofläche wird weiterhin biologische Landwirtschaft ohne Mineraldüngereinsatz betrieben.

2.6 Datengrundlagen

2.6.1 Auswertungen aus der INVEKOS-Datenbank

2.6.1.1 Maßnahmen- und Flächenabfragen

Aus der INVEKOS-Datenbank des BMLFUW wurden die Kultur- und Flächen-daten der Maßnahmen BIO, Reduktion/UBAG, Verzicht, der Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht (die Kombination existierte nur für 2007) und Untersaat abgefragt. Die detaillierte Zuordnung der Maßnahmen zu diesen Gruppen ist in Tabelle 9 dargestellt. Damit waren pro Maßnahme die angebaute Kultur und deren Fläche (in ha) ersichtlich, Bezugsrahmen sind die Bundesländer. Die Abfrage wurde für die Jahre 2005, 2006 und 2007 durchgeführt.

Tabelle 9: Zuordnung der ÖPUL-Maßnahmen zu den abgefragten Maßnahmengruppen.

| Maßnahmenbezeichnung | Gruppe |
|---|----------------|
| Biologische Wirtschaftsweise | BIO |
| Verzicht Betriebsmittel Ackerflächen | Verzicht |
| Verzicht Betriebsmittel Grünlandflächen | |
| Reduktion Betriebsmittel Acker | UBAG |
| Reduktion Betriebsmittel Grünland | |
| UBAG (ab 2007) | |
| Untersaat bei Mais | Untersaat Mais |

Die Maßnahme Mulch- und Direktsaat (Nr. 20) wurde bei der Abfrage der Daten aus der INVEKOS-Datenbank berücksichtigt. Da bei der Humusbilanzierung dafür keine eigenen Berechnungsfaktoren existieren, konnte diese Maßnahme nicht quantifiziert werden und wurde indirekt durch die Berechnung der 3 Varianten mitberücksichtigt (siehe Kapitel 2.3).

2.6.1.2 Begründungsdaten

Zu Beginn des Projekts wurde die Begründungsmaßnahme als eigene ÖPUL-Maßnahme ausgewertet. Die Ergebnisse wurden beim ExpertInnen-Workshop im November präsentiert. Begründungen können jedoch zusätzlich auf jeder der betrachteten Flächen bzw. bei mehreren Maßnahmen stattfinden, so dass am Ende eine Aufsummierung der Flächen aller klimarelevanten Maßnahmen zu einem Vielfachen der tatsächlichen Fläche führen kann. Für eine Zuordnung der Begründungsflächen auf die einzelnen Maßnahmen war eine eigene Abfrage aus der INVEKOS-Datenbank notwendig.

Die Flächen der Begrünungsvarianten wurden den Flächen der Maßnahmen gegenübergestellt. Im ÖPUL-Programm wird zwischen zehn Begrünungskategorien unterschieden (siehe Tabelle 10). Die Lokalisierung der Begrünung und der Maßnahmen erfolgte auf Ebene der Feldstücksnummern, so dass die Flächen in einer Kreuztabelle, gruppiert nach Bundesländern, darstellbar, und die Flächensummen der Kombination der verschiedenen Begrünungsvarianten mit den Maßnahmen erkennbar sind.

Die Notwendigkeit der Lokalisierung der Maßnahmenflächen mit Begrünung verursacht jedoch eine gewisse Unschärfe. Um die tatsächliche Lage feststellen und diesen Feldstücken zuordnen zu können, wurden die nur auf Betriebsebene verfügbaren ÖPUL-Maßnahmen allen Feldstücken mit passender Nutzungsart dieser Betriebe zugeordnet. Dadurch werden unter Umständen Flächen mitgerechnet, die in Wirklichkeit aus verschiedenen Gründen nicht für diese Maßnahme berechtigt sind. Bei Begrünungsflächen kann daher eine Überschätzung durch die Art der Lageangabe der Begrünungsmaßnahme entstehen. Die abgefragten Begrünungsflächen für 2007 zeigen deshalb keine völlige Übereinstimmung mit den Daten des Grünen Berichts sondern liegen teilweise darüber. Der sich daraus ableitbare Fehler wird als vertretbar eingeschätzt.

Die verschiedenen Begrünungsvarianten wurden hinsichtlich ihrer Humuswirkung aufgrund ihrer Vegetationsdauer in der Bilanzierung unterschiedlich bewertet. Die Zuordnung ist in Tabelle 10 ersichtlich.

Zuordnung der Begrünungen zu Maßnahmenflächen

Tabelle 10: Gewichtung der unterschiedlichen Begrünungsvarianten.

| Variante | BG-VDLUFA kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | BG-CC kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | Ertrag-VDLUFA/CC t ha ⁻¹ |
|----------|---|---|-------------------------------------|
| VAR A | 150 | 100 | 25 |
| VAR A1 * | 150 | 100 | 25 |
| VAR B | 120 | 80 | 25 |
| VAR C | 160 | 120 | 30 |
| VAR C1 * | 160 | 120 | 30 |
| VAR D | 160 | 120 | 30 |
| VAR D1 * | 160 | 120 | 30 |
| VAR E | 160 | 120 | 30 |
| VAR H * | 700 | 700 | 30 |
| VAR L ** | 160 | 120 | 30 |

* Varianten gibt es seit 2007, waren 2005 und 2006 nicht Teil des Programms

** Variante konnte in den Jahren 2006 und 2007 gewählt werden, 2005 nicht Teil des Programms

Die Begrünungsdaten wurden jeweils von dem Jahr abgefragt und errechnet, in dem die Begrünung angebaut wurde. So wurden die Begrünungsdaten des Herbstantrags für die Berechnung 2007 verwendet – damit werden die für die Programmperiode 2007–2013 vorgesehenen Begrünungsvarianten in dem Projekt auch für 2007 berücksichtigt.

Außer bei Variante E und H findet der Umbruch vor der Vegetationsperiode des Folgejahres statt. Ein Großteil der Biomasse wird in dem Jahr, in dem der Herbstantrag gestellt wird, aufgebaut. Für die Varianten E und H ergibt sich durch diese Berechnung eine gewisse Überschätzung der C-Wirkung. Die Biomasse

wird nicht vollständig im Antragsjahr aufgebaut, im Folgejahr geht diese Kultur anfangs als Begrünung, im Lauf der Vegetationsperiode dann als Hauptkultur in die Statistik ein. Daraus ergibt sich ebenfalls eine gewisse Unschärfe der Ausgangsdaten.

Durch diese Faktoren kommt es bei den Varianten E und H zu einer Überschätzung der Kohlenstoffanreicherung durch Begrünung. Dieser Faktor wird bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt. Die Begrünungsvarianten für 2005 und 2006 unterscheiden sich von jenen für 2007. Die Abfrage der Begrünungsfläche erfolgte für 2006 analog zu 2007, für 2005 wurden die Begrünungsflächen von 2006 prozentuell pro Maßnahme umgelegt, da zwischen diesen Jahren kaum Unterschiede bestehen sollten.

2.6.2 Weitere Datenerfordernisse

2.6.2.1 Flächendaten Statistik Austria

Die Flächeninformationen wurden je Maßnahme (BIO, Verzicht, UBAG, Verzicht kombiniert mit UBAG, nicht betrachtete Maßnahmen) aus der INVEKOS-Datenbank für 2005 bis 2007 abgefragt und ausgewertet. Da nicht alle Betriebe ÖPUL-Förderungen erhalten, deckt die in INVEKOS gemeldete Fläche nicht die gesamte landwirtschaftliche Fläche Österreichs ab. Um das Ausmaß der Flächendifferenz zu erfassen, wurden zunächst die von der Statistik Austria erhobenen Flächendaten auf Bundesländerebene (2005 erfolgte eine Vollerhebung, 2007 wurde hochgerechnet; STATISTIK AUSTRIA 2008) mit den INVEKOS-Daten verglichen. Dabei wurden die Gesamtflächen der Bundesländer mit den INVEKOS-Daten und den Nicht-INVEKOS-Flächen aufgerechnet. Bei einem Bundesland (Kärnten) stellte sich heraus, dass die INVEKOS-Ackerflächen größer waren als die Statistikflächen. Daher wurde ein nationaler Flächenschlüssel für die Nicht INVEKOS-Flächen bestimmt und auf die Bundesländer umgelegt, wodurch sich Abweichungen von den Flächen der Statistik Austria-Daten ergeben. Bundesweit stimmt das Verhältnis Ackerland zu Grünland jedoch annähernd überein.

2.6.2.2 Ertragsdaten

Zentrales Element in der Humusbilanzierung bzw. in der Stickstoffberechnung sind die Ertragsverhältnisse in den Bundesländern. Für das vorliegende Projekt wurden Ertragsdaten für die unterschiedlichen Maßnahmen (BIO, Verzicht, UBAG, sonstige ÖPUL- und INVEKOS-Betriebe) bzw. für Nicht INVEKOS-Flächen zueinander in Beziehung gesetzt. Diese Daten wurden aufgrund von Informationen aus dem ÖPUL-Programmkonzept und Befragungen von ExpertInnen wie folgt festgelegt (BMLFUW 2007):

- BIO und Verzicht: –27 % vom Durchschnittsertrag der Kulturen in den einzelnen Bundesländern.
- UBAG: –10 % vom Durchschnittsertrag der Kulturen in den einzelnen Bundesländern.
- Sonstige ÖPUL- und INVEKOS-Betriebe: kein Ab- bzw. Zuschlag, Erträge entsprechen den Durchschnittserträgen der Statistik Austria.
- Nicht INVEKOS-Betriebe: 120 % des Durchschnittsertrags.

Im derzeitigen Modell wird in den Nicht INVEKOS-Flächen ein überdurchschnittlicher Ertrag von 120 % unterlegt. Diese Annahme beruht darauf, dass Betriebe, die nicht am ÖPUL teilnehmen, oft sehr hohe Viehzahlen aufweisen bzw. in ihren Managemententscheidungen generell nicht eingeschränkt sein wollen. Teilweise kommen in dieser Gruppe aber auch kleine Betriebe vor, die evtl. nicht besonders intensiv wirtschaften, so dass die Auswirkungen der Festlegung beim überdurchschnittlichen 120 % Ertragsniveau geprüft wurden. Es stellte sich heraus, dass z. B. die Unterlegung eines durchschnittlichen Ertragsniveaus (100 %) den modellintern errechneten Mineraldüngerbedarf um 1,8 % (= 1.870 t N) reduzieren würde. Im Anbetracht der geringen Auswirkung eines Wechsels auf das durchschnittliche Ertragsniveau in der Gruppe Nicht- Invekos-Flächen und die dadurch bedingte Vernachlässigung der viehstarken Betriebe wird am moderat höheren Ertragsniveau von 120 % im Modell festgehalten.

2.6.2.3 Korn-Stroh-Verhältnisse der Kulturen

Zur Ermittlung der Kohlenstoff- und Stickstoffrückflüsse aus den Ernterückständen wurden ebenfalls die Ertragsverhältnisse herangezogen. Dafür waren sowohl die Korn-Stroh-Relationen (Rübe/Blatt) als auch der am Feld verbleibende Anteil der Biomasse erforderlich. Die Korn-Stroh-Verhältnisse der Kulturen wurden von der bayerischen Humusbilanz (CAPRIEL & RIPPEL 2007) übernommen.

Für die einzelnen Kulturen wurde, basierend auf Meinung von ExpertInnen, der Verbleib folgender Stroh- bzw. Blattanteile am Feld unterstellt:

- Getreide, Raps und Körnerleguminosen: zwei Drittel des Strohs,
- Futter- bzw. Zuckerrüben: 100 % des Rübenblatts.

2.6.2.4 Ernterückstände: Abfuhr und energetische Nutzung

Die Abfuhr von Ernterückständen aus den Ackerflächen findet aufgrund des Einstreubedarfs in der Tierhaltung, des Transfers in andere Acker- und Grünlandgebiete oder aufgrund der energetischen Nutzung mit und ohne organischem Rückfluss (Vergärung versus Verbrennung) statt. Die energetische Verwertung ohne organischen Rückfluss bzw. die Entsorgung der Ernterückstände etwa aus phytosanitären Gründen stellt dabei einen generellen Abzug aus dem Kohlenstoffkreislauf dar, was eine Verminderung der Bodenqualität zur Folge haben könnte. Bei den Berechnungen wurde von einem vernachlässigbaren Anteil dieser energetischen Nutzung ohne Rückführung ausgegangen. Künftig vermehrte Nutzung von Biomasse zu Energiezwecken sollte auf diese Bodenqualitätsfragen Rücksicht nehmen.

2.6.2.5 Informationen über die Tierhaltung

Im INVEKOS-Datensatz werden einerseits Betriebe erfasst, die ÖPUL-Förderungen erhalten, nur Direktförderungen beziehen oder Rinder halten. Betriebe, die weder Förderungen noch anderen Verpflichtungen unterliegen (z. B. der Rinder- oder Schweinedatenbankmeldung), sind im INVEKOS-Datenbestand nicht enthalten.

Die vorliegende Untersuchung betrachtet nationale Ansätze der Stickstoff- und Kohlenstofffragen und deren Implikationen für die Treibhausgasemissionen. Zur vollständigen Darstellung der Situation auf nationaler Ebene ist es daher notwendig, die Verhältnisse der im INVEKOS erfassten Betriebe als Referenz für die nicht erfassten Betriebe zu verwenden. Damit werden so genannte Nicht INVEKOS-Tierbestände generiert, die aufgrund der Gesamtanzahlen abgeschätzt werden. Bezugsbasis für die Gesamtanzahlen sind die Daten der Statistik Austria für 2007 (STATISTIK AUSTRIA 2008, BMLFUW 2008a).

2.6.2.6 Wirtschaftsdünger (Systeme und Verteilung)

Für die Ermittlung der Kohlenstoff- und Stickstoffrückflüsse auf den Boden ist zunächst die Verteilung der Tierbestände auf die Tierhaltungssysteme von Bedeutung. Die Tierhaltungssysteme wurden aus den Ergebnissen der Pilotstudie TIHALO abgeleitet und eingesetzt (AMON et al. 2007). Für die unterschiedlichen Maßnahmen (BIO, Verzicht, UBAG, ÖPUL und INVEKOS, Nicht INVEKOS) wurden die Tierhaltungszahlen ermittelt (siehe Kapitel 2.6.2.5). Zwischen der Grünland- und Ackerlandnutzung wurde innerhalb der Maßnahmengruppe nach dem jeweiligen Flächenschlüssel verteilt. Es werden die Stickstoff- bzw. Kohlenstoffgehalte anhand der „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (BMLF 1999, BMLFUW 2006a) angesetzt, abzüglich der Ammoniakverluste bei der Stallhaltung, Lagerung und Ausbringung.

Die Berechnungen beinhalten folgende Annahmen:

- Die Wirtschaftsdüngermenge wird im Verhältnis 1:1 auf Acker- und Grünland ausgebracht.
- Die anfallende Düngermenge wird in den entsprechenden Betrieben ausgebracht.
- Der komplette Wirtschaftdünger der jeweiligen Betriebe wird auch auf die Maßnahmenflächen ausgebracht.

Durch diese Annahmen können die tatsächlich auf den Maßnahmenflächen ausgebrachten Wirtschaftdüngermengen über- bzw. unterschätzt werden.

2.6.2.7 Mineraldünger

Die Menge des vermarkteten Stickstoffdüngers wird in den jeweiligen Wirtschaftsjahren erfasst (BMLFUW 2008a). Es wurde unterstellt, dass die Frühjahrshälfte entscheidend für die Zurechnung ist. Die Verteilung der Mineraldünger erfolgte nach einem errechneten Schlüssel des gewichteten Bedarfsdefizits, der sich am jeweiligen Ertrag orientiert (siehe Kapitel 2.5). Bei den Maßnahmenflächen BIO und Verzicht sind keine N-Mineraldünger zulässig. Im Grünland wurde aus rechnerischen Gründen unterstellt, dass keine Mineraldünger eingesetzt werden, was nur bedingt der Realität entspricht. Der resultierende Fehler sollte jedoch gering sein.

2.6.2.8 Sonstige Datengrundlagen für die N-Bilanzierung

- Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Ernterückstände

Die Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Ernterückstände werden durch die Ertragssituation bestimmt. Sie wurden den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ und einem Faustzahlenwerk entnommen (BMLFUW 2006a, VUA 1993). Die Trockenmasse wurde anhand der unterlegten Abfuhrprozente der Ernterückstände und der Ertrags- bzw. Korn-Stroh-Verhältnisse berechnet. Von der ermittelten Trockenmasse wurden 50 % als Kohlenstoffgehalt angesetzt. Der Stickstoffrückfluss aus den Ernterückständen wird nicht ausgewiesen, da er bereits in der Stickstoffbedarfsrechnung der Kulturarten berücksichtigt wird.

- Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Zwischenbegrünungen

Die Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Begrünungen wurden in Anlehnung an die VDLUFA-Methode und die „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ ermittelt (VDLUFA 1999, BMLFUW 2006a). Der Trockenmassegehalt der Begrünung wurde mit 10 % angesetzt. Von der ermittelten Trockenmasse wurden 50 % als Kohlenstoffgehalt angenommen. Der Stickstoffrückfluss aus der Begrünung wurde für Biolandbau wegen der leguminösen Betonung mit $30 \text{ kg N t}^{-1} \text{ TM}$ und für die sonstigen Begrünungsflächen mit $20 \text{ kg N t}^{-1} \text{ TM}$ angesetzt.

- Kompost und Klärschlamm

Aus der Abfallstatistik der Bundesländer sind die getrennt gesammelten Abfallmengen bekannt (BMLFUW 2006b), die Menge an Kompost kann davon abgeleitet werden. Die Masse des gesammelten Abfalls aus der getrennten Sammlung wird durch die Kompostierung und Sortierung um 50 % reduziert. Es wurde unterstellt, dass 60 % des erzeugten Komposts – getrennt nach Bundesland – in der Landwirtschaft Verwendung finden und damit in die Kohlenstoff- und Stickstoffbetrachtungen einbezogen werden. Zudem erfolgte eine Zuordnung dieses landwirtschaftlichen Anteils zu zwei Dritteln auf den Biolandbau und zu einem Drittel auf die Verzichtflächen.

Klärschlamm wird teilweise in der Landwirtschaft angewandt, die Anfallsmengen werden von den Bundesländern dokumentiert. Einige ÖPUL-Maßnahmen – etwa Biolandbau und Verzicht – schließen die Anwendung von Klärschlamm aus. Es wurden die Bundesländerdaten den jeweiligen Maßnahmen anhand der Flächenverhältnisse im Ackerland zugewiesen (BMLFUW 2006b).

- Biogasgülle und Gärrückstände

In landwirtschaftsnahen Biogasanlagen werden vor allem Wirtschaftsdünger bzw. Gülle aus der Tierhaltung und energiereiche landwirtschaftliche Produkte wie Mais- und Grassilage, aber auch Biotonnenmaterial und Speisereste zur Biogasgewinnung vergoren. Der Rückstand dieser Vergärung wird in der Regel auf landwirtschaftlichen Flächen zur Düngung angewandt. Die sich daraus ergebenden Nährstoffrückflüsse sind effizient und – wenn die richtige Ausbringtechnik (bodennahe Ausbringung) verwendet wird – verlustarm an den Kulturpflanzen aufzuwenden. Es werden die aus dem Jahresbericht der E-CONTROL (2007) abgeleiteten Mengen an Maissilage und Grasschnitt angesetzt. Teile aus der getrennten Sammlung (z. B. Speisereste) werden ebenfalls vergoren (BMLFUW 2006b). Damit wurden für das Jahr 2007

ca. 4.000 t N zurückgeführt. Diese Mengen wurden bei der Stickstoffbetrachtung berücksichtigt. Der Rückfluss aus der Tierhaltung über die Biogasanlagen wurde bereits durch die Tierhaltungsdaten bzw. Wirtschaftsdüngersysteme berücksichtigt und nicht doppelt gerechnet. Die Verteilung der Biogasrückstände wurde mangels Datengrundlagen willkürlich zu einem Drittel dem Biolandbau und zu zwei Dritteln den restlichen Flächen zugewiesen.

- Simulationsrechnung Stickstoffbedarf

Zentrales Element der Berechnung der Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältnisse ist die Ertragsfunktion ($E = a + by^4$; JANITSCHKEK 2009), wobei abhängig vom Ertrag die notwendige Stickstoffdüngung bzw. bei einer bestimmten Düngung der Ertrag abgeschätzt werden kann. Die verwendeten Funktionen sind den Deckungsbeitragsrechnungen des BMLFUW angelehnt (BMLFUW 2008b). Dabei werden die Wirkungen der einzelnen Fruchtarten bereits mit einem Fruchtfolgeabschlag und -zuschlag verrechnet.

- Leguminosenanbau

Der Anbau von Leguminosen wie Körnererbse oder Sojabohne führt zu einer Sammlung von Luftstickstoff in reaktiver Form im Wurzelsystem durch symbiontisch lebende Mikroorganismen. Daraus ergibt sich einerseits für die Kultur selbst kein oder ein geringer N-Düngerbedarf, andererseits für die nachfolgende Kultur ein nutzbarer N-Vorrat in beachtlicher Höhe. Es werden daher artenspezifische Stickstoffbindungsmengen je Hektar Leguminosen als Stickstoffvorrat angerechnet (UMWELTBUNDESAMT 1996).

⁴ Allgemeine Ertragsfunktion E: Ertrag in dt, a: Konstante, b: Steigung der Ertragskurve, y: Stickstoffmenge in kg N

3 ERGEBNISSE

3.1 Auswertung der AGES-Versuchsdaten

3.1.1 Entwicklung der C_{org} -Gehalte und Ableitung von Managementfaktoren und deren Unsicherheiten

3.1.1.1 Managementfaktoren

Ein Ziel des Projekts war die Bewertung von unterschiedlichen Verfahren der agrarischen Landwirtschaft bezüglich ihrer Klimaschutzwirkung, basierend auf der Veränderung der Bodenkohlenstoffgehalte. Diese Arbeiten sollten unter Verwendung verfügbarer, nationaler Daten durchgeführt werden. Im konkreten Fall wurden daher Daten von Langzeitversuchen der AGES zusammengestellt und ausgewertet. Ein Hintergrund dafür ist, dass im Rahmen der nationalen Treibhausgasinventur unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) bereits derzeit die Verpflichtung besteht, u. a. Änderungen der C_{org} -Vorräte in Böden aufgrund unterschiedlicher Bewirtschaftungsmethoden („Ackerland bleibt Ackerland“) – und Landnutzungsänderungen – zu berichten. Für ein Kyoto-Folgeabkommen nach 2012 steht eine verbindliche Anrechnung von Emissionen und Senken aus der Landwirtschaft zur Diskussion. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat zur Erfüllung der Berichtspflichten ein hierarchisch strukturiertes Methodenhandbuch herausgegeben, wonach vorgegebene Faktoren („default values“) für C-Vorratsänderungen verwendet werden sollen, wenn keine nationalen Koeffizienten vorliegen (IPCC-GPG 2003). Im Rahmen des gegenständlichen ÖPUL-Evaluierungsprojektes sollen diese IPCC-Faktoren, betreffend die relativen Veränderungen der Bodenvorräte an organischem Kohlenstoff (nach > 20 Jahren) für verschiedene Bodenmanagement-Aktivitäten auf Ackerland (Tabelle 3.3.4 aus IPCC-GPG 2003), mit Ergebnissen von Langzeitversuchen der AGES verglichen werden. Folgende Faktortypen wurden evaluiert:

- Landnutzungsfaktor – Langzeitbewirtschaftung
- Managementfaktor – Bodenbearbeitung: full, reduced, (no-till)
- Inputintensitätsfaktor – Eintrag von Ernterückständen (*low, medium, high input without manure, high input with manure*)

Die Tabelle 11 zeigt einen Vergleich zwischen den von IPCC-GPG (2003) vorgegebenen Faktoren und den nach langjähriger Versuchstätigkeit anhand von Feldversuchsdaten berechneten Faktoren für C_{org} -Änderungen.

Tabelle 11: Managementfaktoren – revised default value (IPCC-GPG 2003) und AGES-Ergebnisse.

| Relative C_{org}-Änderungen für unterschiedliche Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Ackerland (nach > 20 Jahren), bezogen auf ein gemäßigtes Temperatur- und ein trockenes Feuchtigkeitsregime | | | |
|---|--|-------------|--|
| Factor value type | Level | IPCC | AGES-Ergebnisse |
| Landnutzung <i>land use</i> | Langzeitbewirtschaftung <i>long term cultivated</i> | 0,82 | 0,91–0,94 |
| Umfassende Bodenbearbeitung <i>full tillage</i> | Beträchtliche Bodenstörung/ Häufige Bodenbearbeitung <i>substantial soil disturbance/frequent tillage</i> | 1,0 | 1,0 |
| Reduzierte Bodenbearbeitung <i>reduced tillage</i> | Herabgesetzte Bodenstörung/seichte Bodenbearbeitung ohne volle Wendung des Bodens <i>reduced soil disturbance (shallow – without full soil inversion)</i> | 1,03 | 0,99–1,01 |
| Minimalbodenbearbeitung <i>no-till</i> | Nur minimale Bodenstörung in der Saatzone <i>only minimal soil disturbance in the seeding zone</i> | 1,10 | 1,09 |
| Input | Geringe Rückführung von Ernteresten durch Abfuhr der Ernterückstände <i>low residue return due to removal of residues</i> | 0,92 | 0,93 Marchfeld 0,95 Waldviertel |
| | Mittlere Rückführung von Ernteresten – Erntereste verbleiben am Feld <i>medium residue return: crop residues returned to the field</i> | 1,0 | 1,0 |
| | <i>high – without manure</i> | 1,07 | 1,05 im Marchfeld und Alpenvorland durch einjährige Rotkleebrache in der Fruchtfolge nach 16 Jahren |
| | <i>high – with manure</i> | 1,34 | 1,03 Marchfeld 1,09–1,11 Alpenvorland 1,19 Waldviertel |

Der Landnutzungsfaktor beschreibt Basis-C_{org}-Vorräte unter anderem für langjährige Nutzung von Ackerland, verglichen mit unbearbeiteten Böden. Der vorgegebene Faktor beträgt 0,82, d. h. es wird unterstellt, dass der organische Kohlenstoff durch langjährige Bodenbewirtschaftung um 18 % abnimmt. Es wird angenommen, dass dieser Faktor im Zusammenhang mit dem Bearbeitungsfaktor für eine umfassende Bodenbearbeitung und eine mittlere Rückführung von Ernteresten (jeweils 1,0) gesehen werden muss. Aufgrund der Versuche 1 und 2 (Varianten mit konventioneller Pflugbearbeitung und Einarbeitung der Ernterückstände) ergeben sich nach 20 Versuchsjahren Abnahmen zwischen 6 und

9 %, was geringer als der vorgeschlagene Wert ist. Allerdings wurde in einem nicht in diesem Projekt einbezogenen Versuch (14C-Versuch in Fuchsenbigl, TATZBER et al. 2009a) ein entsprechender Faktor von 0,87 gefunden.

Abbildung 1 zeigt, dass es auf dem Standort Marchfeld bei Bodenbearbeitung mehrmals im Jahr, wie es in der CT- (aber auch in der RT-) Bearbeitungsvariante der Fall ist, nach 20 Jahren in 0–30 cm Bodentiefe zu Abnahmen der C_{org} -Gehalte um durchschnittlich 8 % kommt. Mit Minimalbodenbearbeitung (MT) bleiben die C_{org} -Gehalte in etwa konstant. Aus den folgenden Abbildungen ist ersichtlich, dass – trotz Einarbeitung der Ernterückstände – nach 20 Versuchsjahren ein Rückgang der C_{org} -Gehalte bis zu 9 % festzustellen ist.

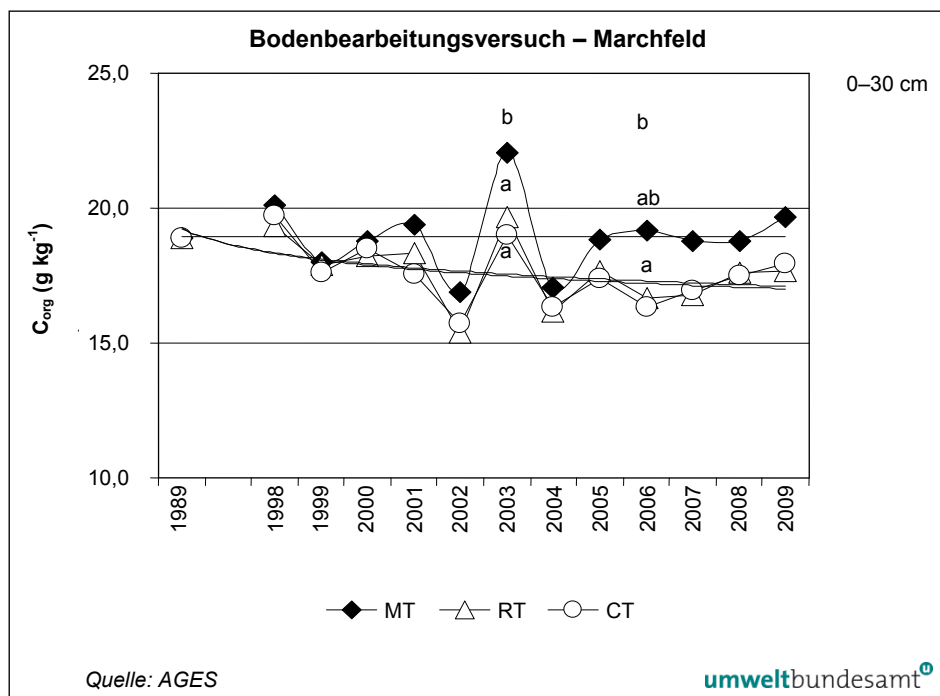


Abbildung 1: Auswirkungen von minimaler (MT), reduzierter (RT) und konventioneller (CT) Bodenbearbeitung auf den Gehalt an C_{org} ($g\ kg^{-1}$) in 0–30 cm Bodentiefe von 1998–2009 im Marchfeld. Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an, Signifikanzniveau $P < 0,05$ (Tukey). Die Werte 1989 zeigen die zu Versuchsbeginn gemessenen Anfangsgehalte in 0–25 cm Bodentiefe.

Bezüglich der Managementfaktoren für die Bodenbearbeitung wurden im Feldversuch bei reduzierter Bodenbearbeitung (Reduzierung der Bearbeitungstiefe und fehlende wendende Bearbeitung mittels Grubber), verglichen mit konventioneller Bodenbearbeitung, (CT-)Faktoren zwischen 0,99 und 1,01 gefunden. Diese sind damit etwas geringer als der vorgegebene Faktor (1,03). Eine gute Übereinstimmung zwischen dem vorgegebenen und den im Versuch ermittelten Faktoren konnte bei Minimalbodenbearbeitung (MT), verglichen mit CT, gefunden werden (siehe Tabelle 11).

Bezüglich Inputintensitätsfaktoren wird nach IPCC-GPG (2003) angenommen, dass keine C_{org} -Abnahme erfolgt, wenn die Ernterückstände langjährig am Feld verbleiben bzw. rückgeführt werden (Faktor 1,0). Abbildung 2 (Marchfeld) gibt ein Beispiel, dass dies dann der Fall ist, wenn neben den Strohresten (Anteil von

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

über 50 % Halmfrucht in der Fruchtfolge) auch die Ernterückstände von Blattfrüchten (v. a. Zuckerrübenblatt) am Feld verbleiben. Beim Anbau von Fruchtfolgen mit einem erheblichen Anteil von Feldfrüchten mit fehlenden (Silomais) oder geringen (Kartoffel) Ernteresten (siehe Abbildung 3, Waldviertel), kann es zur Abnahme des C_{org} kommen. Vergleicht man in beiden Versuchen nach (über) 20 Jahren die Varianten ohne und mit Rückführung der Erntereste, so ergeben sich Faktoren von 0,93 (Marchfeld) und 0,95 (Waldviertel), was einer etwas geringeren Abnahme, verglichen mit dem vorgegebenen IPCC-Faktor (0,92), entspricht.

Aus den Ergebnissen des Versuchs 4 (siehe Tabelle 4) geht hervor, dass nach 16 Jahren durch die Anwendung von 30 t Stallmist alle 3 Jahre (entspricht etwa 1 GVE pro Jahr) eine Anreicherung des organischen Kohlenstoffs im Marchfeld um 3 % und im Alpenvorland um 11 % stattgefunden hat (siehe Tabelle 11). Eine vergleichbare Stallmistapplikation hat nach 30 Jahren bei Versuch 3 im Alpenvorland zu einer Anreicherung des organischen Kohlenstoffs um 9 % geführt (bei niedriger bis hoher mineralischer N-Düngung). Im Waldviertel betrug im gleichen Versuch die Anreicherung 19 %.

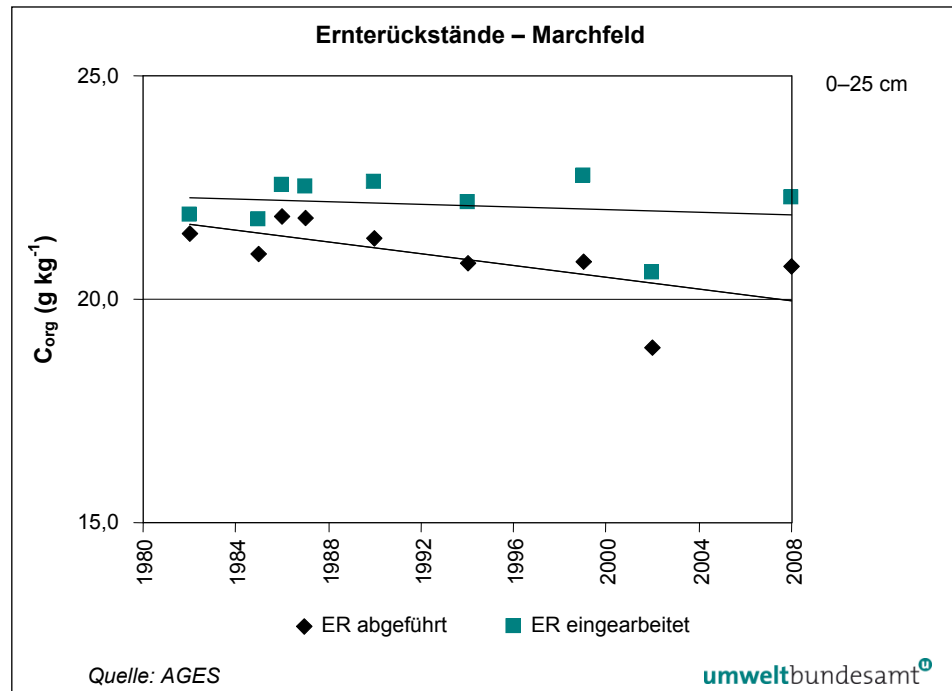


Abbildung 2: Auswirkungen der langjährigen Einarbeitung bzw. Abfuhr von Ernterückständen (ER) im Marchfeld auf den Gehalt an C_{org} ($g\ kg^{-1}$) in 0–25 cm Bodentiefe.

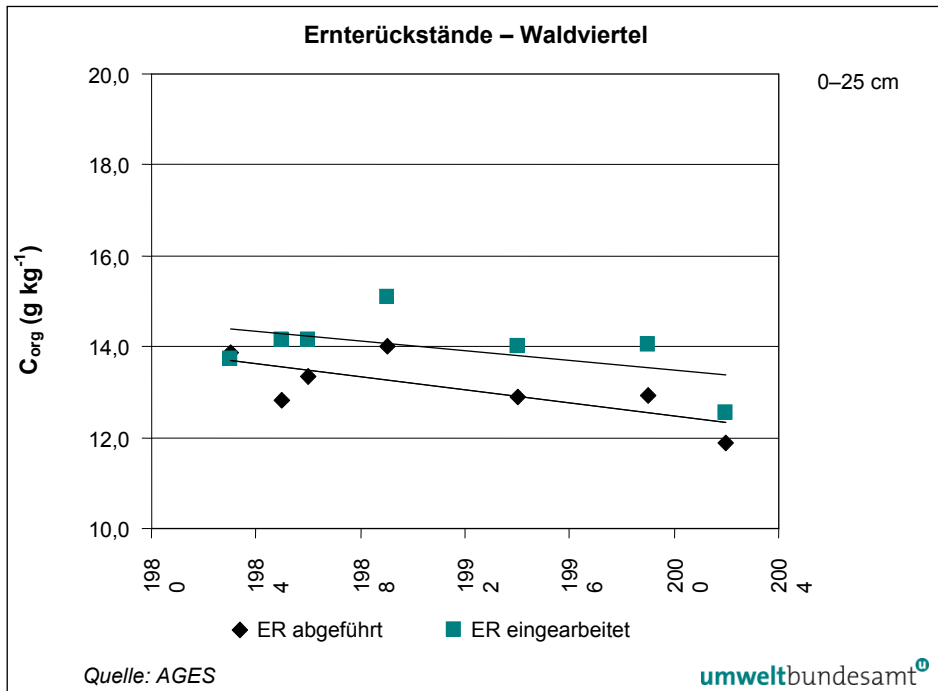


Abbildung 3: Auswirkungen der langjährigen Einarbeitung bzw. Abfuhr von Ernterückständen (ER) im Waldviertel auf den Gehalt an C_{org} ($g\ kg^{-1}$) in 0–25 cm Bodentiefe.

3.1.1.2 Unsicherheiten

In IPCC-GPG (2003) wird wiederholt darauf hingewiesen, dass eine Bewertung der Unsicherheiten, d. h. die Quantifizierung der Fehler, wesentlich ist. In der Tabelle 3.3.4 (IPCC-GPG 2003) sind für jeden Managementfaktor Fehlergrenzen angegeben, die allerdings bei den im Rahmen dieses Projekts bearbeiteten Faktoren relativ gering sind (zwischen $\pm 4\%$ und $\pm 12\%$).

Folgende Unsicherheiten können bei der Ermittlung von Managementfaktoren relevant sein:

- Umrechnung von C_{org} -Gehalten auf C_{org} -Vorräte

In den AGES-Langzeitversuchen – wie auch an vielen Bodenzustandsinventur-Standorten (Ausnahmen z. B. OÖ) – fehlen Rohdichtedaten, die für die Umrechnung von C_{org} -Gehalten auf C_{org} -Vorräte notwendig sind. ORTHOFER et al. (2000) schlagen für die Berechnung der Bodendichte im „Austrian carbon balance model“ (ACBM) die Formel von KÖRSCHENS & WALDSCHMIDT (1995) vor. Diese hat in der OÖ Bodenzustandsinventur eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten ergeben ($\pm 10\%$).

Beispiel: Bodendichte: $1,5\ g\ cm^{-3}$ minus $0,007\ g\ cm^{-3}$ für jede $0,1\ \%$ C_{org} (z. B. würde ein Boden mit $2,2\ \%$ C_{org} eine Bodendichte von $1,5 - 0,007 \cdot 22 = 1,346$ aufweisen).

Analysenmethodik: Im Labor der AGES wurde die Methode „Nassoxidation“ (ÖNORM L 1081 nach Walkley Black, ohne Fremderhitzung) bis Mitte der 1990er-Jahre durchgeführt, danach Elementaranalyse („trockene Verbrennung“, ÖNORM L 1080). Die Umrechnung von C_{org} -nass zu C_{org} -trocken erfolgte anhand des konventionellen Faktors von 1,30 (SPIEGEL et al. 2007b).

- Hohe zeitliche und räumliche Variabilität der C_{org} -Analysenergebnisse (Beispiel Versuch 1: Bodenbearbeitungsversuch, Auswertungen 1998–2007):
 - Ø jährliche Veränderung in der Pflugvariante: $-0,27 \text{ g kg}^{-1}$, in der Minimalbodenbearbeitungsvariante: $-0,14 \text{ g kg}^{-1}$.
 - Ø jährliche Fehler: $1,88 \text{ g kg}^{-1}$

Damit beträgt der jährliche Fehler etwa das Zehnfache der jährlichen Veränderung.

Anhand von Versuch 1 (Bodenbearbeitungsversuch) wurde auch versucht, mögliche im Versuch auftretende Unsicherheiten bei der Ermittlung des Management-(Bodenbearbeitungs)-Faktors zu quantifizieren (*tillage, no-till* = 1,10; Fehler: $\pm 6 \%$ nach IPCC-GPG 2003). Für das Jahr 2009 ergaben sich für diesen Managementfaktor (MF), der beschrieben ist als Direktsaat ohne Primärbodenbearbeitung mit nur minimaler Bodenbearbeitung in der Saatzone, verglichen mit umfassender Bodenbearbeitung "*full tillage*" (IPCC-GPG 2003), folgende Werte:

Tabelle 12: Statistische Kennzahlen der Berechnungen von Managementfaktoren (MF).

| | Mittelwert (MW) | Standard-abweichung (SD) | Fehler im Versuch Un- sicherheit in % ($2 \times \text{SD}/\text{MW} \times 100$) | Fehler in IPCC-GPG (2003) |
|------------|--------------------|-----------------------------|---|---------------------------------|
| MF-Gehalte | 1,10 | 0,21 | 39 | |
| MF-Vorräte | 1,09 | 0,19 | 35 | $\pm 6 \%$ |

Tabelle 12 zeigt, dass sich bei Verwendung der oben genannten Formel von KÖRSCHENS & WALDSCHMIDT (1995) für die Umrechnung von C_{org} -Gehalten auf C_{org} -Vorräte bei den im Ackerland anzutreffenden moderaten C_{org} -Gehalten keine gravierenden Unterschiede ergeben zwischen den Managementfaktoren bezogen auf C_{org} -Gehalte (bzw. Vorräte errechnet unter der Verwendung einer starren Bodendichte, z. B. 1,4), verglichen mit Vorräten (errechnet mittels Formel). Allerdings sind die Unsicherheiten, die in diesem Versuch errechnet wurden, bereits größer als jene in den IPCC-GPG (2003) der Managementfaktoren, die bei Verwendung der „Default Werte“ zu verwenden sind. Es wäre daher zu prüfen, ob eine Verwendung der „Default Werte“ und der zugehörigen Unsicherheiten gemäß IPCC-GPG bei der Schätzung der C-Veränderungen in Ackerböden aufgrund von Bewirtschaftungsänderungen nicht zu einer Unterschätzung der Unsicherheiten der Ergebnisse führt. Es wird angenommen, dass dies auch für die anderen Versuche zutrifft.

3.1.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung

Generell sind die errechneten Humussalden bei der Variante 2 (Reproduktionsfaktor für Stroh (SRF) = 100) am höchsten und bei der Variante 3 (SRF = 40) am niedrigsten, die Variante 1 (SRF = 80) zeigt intermediäre Werte. Beim Vergleich der gemessenen C_{org} -Differenzen mit den errechneten ist die hohe zeitliche und räumliche Variabilität und damit der Fehler der C_{org} -Analysenergebnisse zu berücksichtigen (Ø jährliche Signifikanzschwelle beim Bodenbearbeitungsversuch: $1,91 \text{ g kg}^{-1}$ (= 0,19 %), siehe Kapitel 3.1.1).

3.1.2.1 Bodenbearbeitungsversuch Marchfeld (1998–2007)

Bei dieser Auswertung wurden nur die Varianten Pflug- und Minimalbodenbearbeitung herangezogen (siehe Tabelle 13). Bei Pflugbearbeitung kommt es in den zehn betrachteten Versuchsjahren (1998–2007) in allen Bilanzierungsvarianten zu negativen Humussalden. Diese können nach dem Bewertungsschema der VDLUFA als sehr niedrig ($< 200 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und niedrig (-200 bis $-76 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) bei den mehr „konservativen“ Varianten unter Verwendung der „oberen“ Humusbedarfswerte beurteilt werden. Eine optimale Einstufung (bis $-76 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) wurde bei der Humusbilanzierungsvariante 2 erzielt. Bei Minimalbodenbearbeitung traten nur in Variante 2 positive Bilanzsalden ($+112 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) auf. Diese wären allerdings nur mittelfristig tolerierbar. Die C_{org} -Messungen (siehe

Tabelle 14) zeigen ebenfalls Abnahmen in diesen zehn Versuchsjahren. Bei der Pflugvariante weisen alle Bilanzierungsvarianten weniger starke Abnahmen auf als gemessen wurden. Bei Minimalbodenbearbeitung liegen die gemessenen Differenzen zwischen den Varianten 1 und 2. Mit den gemessenen Werten stimmt am besten bei der Pflugbearbeitung die Humusbilanzierungsvariante 3 und bei Minimalbodenbearbeitung Variante 1 überein.

Die berechneten und gemessenen C_{org} -Abnahmen sind umso bemerkenswerter, als bei beiden Bearbeitungsvarianten die Ernterückstände eingearbeitet wurden. Die einzigen Unterschiede, die in diesem Bilanzierungsmodell berücksichtigt werden konnten, sind, dass bei Minimalbodenbearbeitung nach der Ernte eine Selbstbegrünung auftritt. Das VDLUFA-Modell berücksichtigt die Bodenbearbeitung nicht, die Bedarfsfaktoren sind auf konventionelle Pflugbearbeitung bezogen. Dass diese bei Böden konservierender pflugloser Bewirtschaftung zu überprüfen sind, ist im VDLUFA-Standpunkt (VDLUFA 2004) angeführt.

Tabelle 13: Ergebnisse der Humusbilanzierungen (Humussalden nach VDLUFA in $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$ und $\text{kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Bodenbearbeitungsversuch im Marchfeld.

| Varianten | Humussaldo nach VDLUFA in $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$ im Versuchszeitraum | | | entspricht Humussaldo nach VDLUFA in $\text{kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | | |
|------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 |
| Pflugbearbeitung (CT) | -2.583 | -32 | -3.964 | -258 | -3 | -396 |
| Minimalbodenbearbeitung (MT) | -1.373 | 1.120 | -2.639 | -137 | 112 | -264 |

Tabelle 14: Gegenüberstellung der Humussalden nach VDLUFA (umgerechnet in $C_{\text{org}} \text{ g kg}^{-1}$) und der tatsächlich gemessenen C_{org} -Differenzen (g kg^{-1}) im Versuchszeitraum, Bodenbearbeitungsversuch im Marchfeld.

| Bodenbearbeitungsversuch Marchfeld 1998–2007 | Humussaldo nach VDLUFA in $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$ umgerechnet in $C_{\text{org}} \text{ g kg}^{-1}$ über Bearbeitungstiefe (30 cm) TRD = 1,4 | | | gemessene C_{org} -Differenz im Versuchszeitraum in g kg^{-1} |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|---|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | |
| Pflugbearbeitung (CT) | -0,61 | -0,01 | -0,94 | -2,01 |
| Minimalbodenbearbeitung (MT) | -0,33 | 0,27 | -0,63 | -0,10 |

3.1.2.2 Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen im Marchfeld und im Waldviertel

Die langjährige Abfuhr aller Erntereste vom Feld führt auf beiden untersuchten Standorten in allen Varianten zu stark negativen Humusbilanzen (siehe Tabelle 15). Doch selbst wenn jedes Jahr alle Ernterückstände am Feld verbleiben, ist nur in der „günstigsten“ Variante 2 der Humussaldo optimal (+46 und –13 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹), in den anderen liegt er bei „sehr niedrig“ oder knapp darüber. Allerdings zeigen bei Abfuhr der Erntereste im Marchfeld beide Bilanzierungsvarianten eine stärkere Unterbilanzierung an als gemessen wurde (siehe Tabelle 16). Im Waldviertel stimmen bei Abfuhr der Erntereste die berechneten Werte gut mit der Bilanzierungsvariante 2 überein. Werden die Erntereste eingearbeitet, so entsprechen die gemessenen Werte im Marchfeld eher jenen mit Variante 2 gerechneten, im Waldviertel ist eine bessere Übereinstimmung mit der Variante 1 gegeben.

Das bedeutet, dass allein das Belassen der Erntereste am Feld ohne weitere Maßnahmen organischer Düngung (Begrünung, Zwischenfrüchte etc.) nicht unbedingt eine Aufrechterhaltung der Humusgehalte garantiert. Das gilt insbesondere für Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an Fruchtfolgegliedern, die wenig oder keine Erntereste hinterlassen (siehe auch Kapitel 3.1.1). Das Belassen der Erntereste (Getreidestroh, Zuckerrübenblatt etc.) ist daher eine unabdingbare Voraussetzung für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Werden in Zukunft verstärkt Kulturen angebaut, die als Ganzpflanzen geerntet werden oder werden die Erntereste (Stroh, evtl. Zuckerrübenblatt) für energetische Zwecke genutzt, müssen andere Maßnahmen organischer Düngung ergriffen werden, um ein Absinken des Humusgehaltes zu verhindern.

Tabelle 15: Ergebnisse der Humusbilanzierungen (Humussalden nach VDLUFA in kg Humus-C ha⁻¹ und kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹), Versuch zu Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen im Marchfeld und im Waldviertel.

| Abfuhr bzw. Einarbeitung der Ernterückstände (ER) | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C entspricht Humussaldo nach VDLUFA in kg ha ⁻¹ im Versuchszeitraum | | | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | | |
|---|---|--------------------------|-----------------------|---|--------------------------|-----------------------|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 |
| Marchfeld (1982–2008) | | | | | | |
| ER abgeführt | -1.4280 | -9.480 | | -529 | -351 | |
| ER eingearbeitet | -5.446 | 1.255 | -9.249 | -202 | 46 | -343 |
| Waldviertel (1982–2002) | | | | | | |
| ER abgeführt | -9.320 | -6.720 | | -444 | -320 | |
| ER eingearbeitet | -4.162 | -273 | -6.741 | -198 | -13 | -321 |

Tabelle 16: Gegenüberstellung der Humussalden nach VDLUFA (umgerechnet in C_{org} g kg^{-1}) und der tatsächlich gemessenen C_{org} -Differenzen (g kg^{-1}) im Versuchszeitraum, Versuch zu Einarbeitung/Abfuhr von Ernterückständen im Marchfeld und im Waldviertel.

| Abfuhr bzw. Einarbeitung der Ernterückstände (ER) | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha^{-1} umgerechnet in C_{org} g kg^{-1} über Bearbeit.tiefe (25 cm) TRD = 1,4 | | | gemessene C_{org} -Differenz im Versuchszeitraum in g kg^{-1} |
|---|---|--------------------------|-----------------------|---|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | |
| Marchfeld (1982–2008) | | | | |
| ER abgeführt | -4,1 | -2,7 | | -0,74 |
| ER eingearbeitet | -1,6 | 0,36 | -2,64 | 0,39 |
| Waldviertel (1982–2002) | | | | |
| ER abgeführt | -2,66 | -1,92 | | -1,99 |
| ER eingearbeitet | -1,19 | -0,08 | -1,93 | -1,17 |

3.1.2.3 Fruchtfolgeversuch im Marchfeld und Alpenvorland mit und ohne Stallmist

Ähnlich wie in Versuch 2 zeigt die Humusbilanzierung bei Abfuhr der Ernterückstände – und bei fehlender organischer Düngung (Stallmist) – sehr starke Humusverluste an (-718 bzw. -449 kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$, (siehe Tabelle 17). Die Stallmistanwendung verbessert die Humusbilanz deutlich, bei der Bilanzierungsvariante 2 liegt sie sogar im Optimalbereich. Verbleiben zusätzlich die Ernterückstände am Feld, zeigen die Bilanzierungsvarianten unterschiedliche Ergebnisse: von niedrigem Humussaldo (-101 in Variante 3) über optimal (-5 in Variante 1) bis sehr hoch ($+311$ kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$ in Variante 2), verbunden mit einem erhöhten Risiko für Stickstoffverluste (VDLUFA 2004).

Tabelle 17: Ergebnisse der Humusbilanzierungen (Humussalden nach VDLUFA in kg Humus-C ha^{-1} und kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$), Fruchtfolgeversuch im Alpenvorland mit und ohne Stallmist.

| Versuch (FF) mit und ohne Stallmist Alpenvorland (1989–2004) | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha^{-1} im Versuchszeitraum | | | entspricht Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$ | | |
|--|--|--------------------------|-----------------------|--|--------------------------|-----------------------|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 |
| Ohne Stallmist, ER abgeführt | -12.200 | -7.640 | | -718 | -449 | |
| Mit Stallmist, ER abgeführt | -5.000 | -440 | | -294 | -26 | |
| Mit Stallmist, ER eingearbeitet | -89 | 5.287 | -1.722 | -5 | 311 | -101 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Tabelle 18: Gegenüberstellung der Humussalden nach VDLUFA (umgerechnet in C_{org} g kg^{-1}) und der tatsächlich gemessenen C_{org} -Differenzen (g kg^{-1}) im Versuchszeitraum, Fruchtfolgeversuch im Marchfeld und im Alpenvorland mit und ohne Stallmist.

| Versuch (FF) mit und ohne Stallmist | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha^{-1} umgerechnet in C_{org} g kg^{-1} über Bearbeit.tiefe (20 cm) TRD = 1,4 | | | gemessene C_{org} -Differenz im Versuchszeitraum in g kg^{-1} | |
|-------------------------------------|---|--------------------------|-----------------------|---|-------------------------|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | Alpenvorland (1989–2004) | Fuchsenbigl (1989–2005) |
| Ohne Stallmist, ER abgeführt | -4,36 | -2,73 | | -1,74 | -1,26 |
| Mit Stallmist, ER abgeführt | -1,79 | -0,16 | | -0,64 | -1,10 |
| Mit Stallmist, ER eingearb. | -0,03 | 1,89 | -0,61 | -0,35 | -0,33 |

Die C_{org} -Messungen in Tabelle 18 zeigen bei allen Bewirtschaftungsmaßnahmen und an beiden Standorten eine Abnahme der Humusgehalte im Untersuchungszeitraum. Diese Abnahme ist am stärksten ohne Stallmistdüngung und bei Abfuhr der Erntereste und am geringsten bei Stallmistanwendung und Einarbeitung der Ernterückstände. Beide Humusbilanzierungsvarianten errechnen allerdings ohne organische Düngung (Stallmist) und bei Abfuhr der Erntereste stärkere Unterbilanzierungen als gemessen wurden – am meisten im Marchfeld. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen von Versuch 2. Bei Stallmistanwendung und Abfuhr der Erntereste liegen die gemessenen Differenzen zwischen den Humusbilanzierungsvarianten 1 und 2. Die bei Stallmistanwendung und Einarbeitung der Ernterückstände gemessenen – in der Höhe vergleichbaren – Abnahmen auf beiden Standorten liegen zwischen den Ergebnissen der Bilanzierungsvarianten 1 und 3.

3.1.2.4 IOSDV-Versuch

Gemäß den Humusbilanzierungen (siehe Tabelle 19) sind die Humussalden ohne organische Düngung als stark negativ einzustufen (-700 bzw. -440 kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$, vergleichbar mit Versuch in Kapitel 3.1.2.3). Negative Humusbilanzen (-314 und -421 kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$) treten allerdings auch in den Bilanzierungsvarianten 1 und 3 auf, wenn die Erntereste eingearbeitet werden und vor Zuckerrübe (jedes dritte Jahr) eine Zwischenfrucht angebaut wird sowie in Variante 1, wenn Stallmist vor Zuckerrübe aufgebracht wird (-216 kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$). In diesem Fall – und bei Einarbeitung der Erntereste und Zwischenfruchtanbau – ergeben die Berechnungen nach Variante 2 einen optimalen Humussaldo ($+44$ und -14 kg Humus-C $ha^{-1} a^{-1}$). Aus Tabelle 20 ist allerdings ersichtlich, dass die berechneten und die gemessenen Humussalden nicht übereinstimmen. Wie auch Abbildung 4 zeigt, steigen die gemessenen C_{org} -Gehalte im Versuchsverlauf an.

Tabelle 19: Ergebnisse der Humusbilanzierungen (Humussalden nach VDLUFA in kg Humus-C ha⁻¹ und kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹), IOSDV-Versuch im Marchfeld.

| IOSDV-Versuch Marchfeld 1986–2007 | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha ⁻¹ im Versuchszeitraum | | | entspricht Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha ⁻¹ a ⁻¹ | | |
|--|--|--------------------------------|-----------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 |
| ohne organische Düngung | -14.700 | -9.240 | | -700 | -440 | |
| Stallmist (zu Zucker- rübe) | -4.540 | 920 | | -216 | 44 | |
| Einarbeitung der ER, Zwischenfrucht vor Zuckerrübe | -6.603 | -299 | -8.851 | -314 | -14 | -421 |

Tabelle 20: Gegenüberstellung der Humussalden nach VDLUFA (umgerechnet in C_{org} g kg⁻¹) und der tatsächlich gemessenen C_{org}-Differenzen (g kg⁻¹) im Versuchszeitraum, IOSDV-Versuch im Marchfeld.

| IOSDV-Versuch Marchfeld 1986–2007 | Humussaldo nach VDLUFA in kg Humus-C ha ⁻¹ umge- rechnet in C _{org} g kg ⁻¹ über Bearbeit.tiefe (25 cm) TRD = 1,4 | | | gemessene C _{org} -Differenz im Versuchszeitraum in g kg ⁻¹ |
|--|--|--------------------------------|-----------------------------|--|
| | 1) obere Werte, SRF 80 | 2) untere Werte, SRF 100 | 3) obere Werte SRF 40 | |
| ohne organische Düngung | -4,2 | -2,6 | | 2,57 |
| Stallmist (zu Zucker- rübe) | -1,3 | 0,3 | | 2,45 |
| Einarbeitung der ER, Zwischenfrucht vor Zuckerrübe | -1,9 | -0,1 | -2,5 | 2,35 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

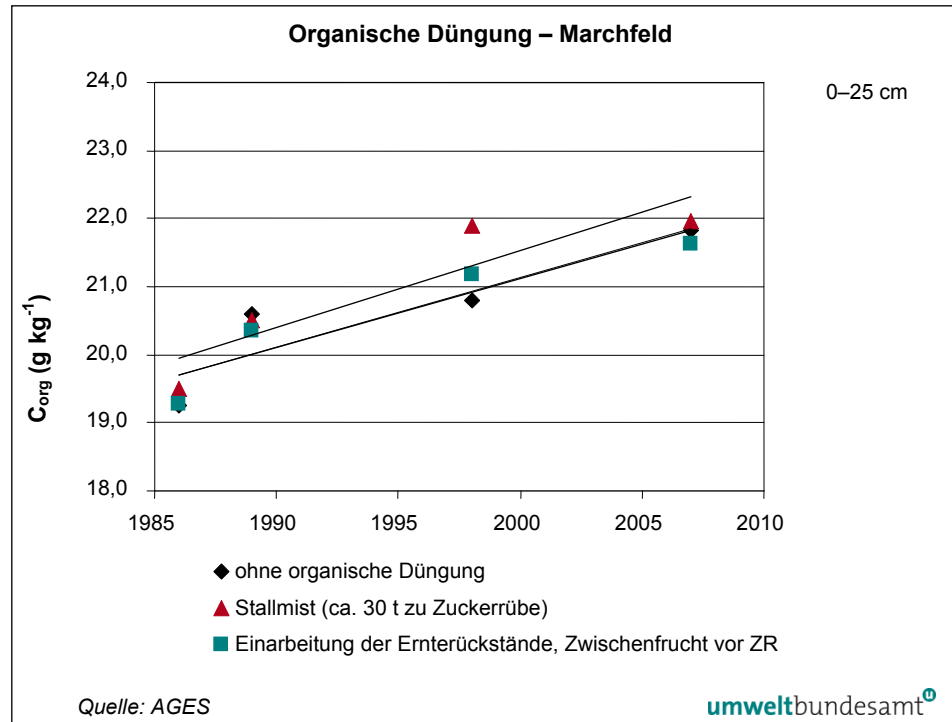


Abbildung 4: Auswirkungen langjähriger unterschiedlicher organischer Düngung im Marchfeld (IOSDV-Versuch) auf den Gehalt an C_{org} ($g\ kg^{-1}$) in 0–25 cm Bodentiefe.

3.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung auf regionaler und nationaler Ebene

Die Humusbilanzen wurden für die Jahre 2005, 2006 und 2007 auf Bundesländer-Ebene je ausgewählter Maßnahme berechnet. Für die Jahre 2005 und 2006 werden die Ergebnisse im Anhang dargestellt. Für 2007 sind die Ergebnisse sowohl auf Bundesländer-Ebene als auch auf nationaler Ebene in den folgenden Kapiteln dargestellt. INVEKOS-Daten, die keiner der ausgewählten Maßnahmen zugeordnet werden können, werden unter der Gruppe INVEKOS o. b. M. (ohne betrachtete Maßnahmen) zusammengefasst. Diese Gruppe weist in einzelnen Bundesländern (z. B. Kärnten, Steiermark) einen hohen Flächenanteil für 2007 aus, welcher darin begründet liegt, dass hier Betriebe geführt werden, die unter ÖPUL 2000 an der Maßnahme Grundförderung oder einer Reduktionsmaßnahme teilnehmen und erst im Laufe der Programmperiode 07–13 eventuell zur Maßnahme UBAG wechseln. In Niederösterreich sind auch alle TeilnehmerInnen an der Maßnahme Ökopunkte unter dieser Gruppe subsumiert. Dies muss bei der Interpretation und insbesondere dem Vergleich der einzelnen Gruppen berücksichtigt werden, z. B. haben Ökopunktebetriebe sicher eine andere – viel Feldfutter dominiertere – Fruchtfolge als die typischen am ÖPUL teilnehmenden Betriebe o. b. M.

Beim Vergleich der Ergebnisse von BIO, UBAG + Verzicht sowie Verzicht ist besonders darauf zu achten, dass hier unterschiedliche Maßnahmen, denen unterschiedliche Betriebstypen zugrunde liegen, verglichen werden. Bei BIO sind

viehlose Marktfruchtbetriebe stark vertreten, bei Verzicht + UBAG sowie Verzicht handelt es sich hauptsächlich um tierhaltende Betriebe (mit Acker- und Grünland) mit einem sehr hohen Anteil an Feldfutter in der Fruchtfolge. Dieser Sachverhalt ist an den Wirtschaftsdüngermengen zu erkennen.

3.2.1 Humusbilanzierung auf regionaler Ebene für 2007

Die Humusbilanzierungen wurden für 2007 auf Bundesländerebene berechnet und die Ergebnisse für die einzelnen Bundesländer aufgelistet. Die Maßnahmen werden als Prozentanteil der gesamten vom INVEKOS erfassten Ackerfläche pro Bundesland angeführt. Die Begrünungen werden den Maßnahmen zugeordnet, die Prozentangabe bezieht sich jeweils auf die gesamte INVEKOS-Ackerfläche des jeweiligen Bundeslandes.

3.2.1.1 Burgenland

Im Jahr 2007 wurden auf 95,2 % der Ackerfläche Burgenlands (INVEKOS) die betrachteten Maßnahmen (BIO, UBAG, Verzicht, UBAG + Verzicht) gemeldet. Begrünungsmaßnahmen wurden auf 41 % der Fläche durchgeführt (siehe Tabelle 21).

Am stärksten war die Maßnahme UBAG, auf über 75 % der Ackerfläche, vertreten. Auch die Begrünungen fanden zum größten Teil im Rahmen dieser Maßnahme statt. Die Begrünungsfläche mit einem Anteil von 32,2 % der gesamten Ackerfläche stellt, auf die UBAG-Fläche allein bezogen, einen Flächenanteil von 42,3 % dar. Die zweithäufigste Maßnahme war BIO mit 18,3 % der INVEKOS-Ackerfläche, Begrünungen werden auf 41,4 % der Maßnahmenfläche durchgeführt. Die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht und die Maßnahme Verzicht traten in sehr geringem Umfang auf. Die Maßnahme Untersaat wurde im Burgenland 2007 nicht gewählt.

Tabelle 21: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen im Burgenland 2007, anteilige Begrünungsflächen bezogen auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Burgenland) in ha in% | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) proges. Ackerfläche |
|---------------------------|------------------------------------|-------|----------------------------|-----------------------------------|
| BIO | 26.718 | 18,3 | 41,4 | 7,6 |
| UBAG + Verzicht | 997 | 0,7 | 35,8 | 0,2 |
| Verzicht | 148 | 0,1 | 42,1 | 0,0 |
| UBAG | 111.134 | 76,1 | 42,3 | 32,2 |
| INVEKOS (o.b.M.) | 7.009 | 4,8 | 19,9 | 1,0 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 146.007 | 100,0 | – | 41,0 |

Die Berechnung der Humusbilanz erfolgt in mehreren Schritten. Die Humusmehrung und -zehrung der Kulturen (HB 1 + HB 2) entsprechend den 3 berechneten Varianten und ist in Tabelle 22 dargestellt.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Die stärkste Zehrung findet bei der Maßnahme UBAG statt, gefolgt von UBAG + Verzicht und Verzicht. Die geringste Zehrung erfolgt bei BIO. Als Vergleichswert dient INVEKOS (o. b. M. = ohne betrachtete Maßnahmen), hier wurden die restlichen INVEKOS-Flächen berechnet. Die Unterschiede in der Humuszehrung lassen sich auf die unterschiedliche Kulturwahl und deren Flächenanteil innerhalb oder Maßnahmen erklären. So bilanziert eine Maßnahme, in der z. B. der Anteil von Zuckerrübe oder Mais hoch ist, stärker negativ, als eine Maßnahme mit hohem Leguminosenanteil.

Tabelle 22: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} Maßnahmen | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--|---------------|----------------|---------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -72 | 27 | -123 | 242 | 230 | 230 | 41 |
| UBAG + Verzicht | -183 | -67 | -230 | 237 | 229 | 229 | 878 |
| Verzicht | -142 | -53 | -157 | 307 | 300 | 300 | 878 |
| UBAG | -233 | -32 | -344 | 234 | 221 | 221 | 49 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -212 | -19 | -324 | 132 | 127 | 127 | 105 |

Der humusmehrende Einfluss der Begrünungen entsprechend den 3 berechneten Varianten ist ebenfalls in Tabelle 22 zu sehen. Die Verzichtmaßnahme zeigt hier die höchsten Werte (300–307,2 $\text{kg Humus-C kg}^{-1}$). Die unterschiedlichen Werte lassen sich durch einen verschiedenen hohen Begrünungsanteil der Maßnahmen und durch unterschiedliche Anteile der einzelnen Begrünungsvarianten (siehe Aufbereitung der INVEKOS-Daten: Begrünung) erklären.

Der Einfluss von Wirtschaftsdünger wird für die Varianten 1, 2 und 3 einheitlich berechnet (siehe Kapitel 2.6.2.6). Die Ergebnisse des Wirtschaftsdüngereinsatzes liegen zwischen 41 und 878 $\text{kg Humus C ha}^{-1}$. Die Verzichtmaßnahme zeigt einen sehr großen Anfall von Wirtschaftsdünger. Die Wirtschaftsdünger-Mengen sind generell mit Vorsicht zu interpretieren, da sie auf einigen Annahmen beruhen (siehe auch Kapitel 2.6.2.6):

- Die Wirtschaftsdüngermenge wird im Verhältnis 1:1 auf Acker- und Grünland ausgebracht.
- Die anfallende Düngermenge wird den entsprechenden Maßnahmenbetrieben zugeordnet und auf Bezirksebene aggregiert.
- Der komplette Wirtschaftdünger der Bezirke wird auch auf die jeweiligen Maßnahmenflächen ausgebracht.

Durch diese Annahmen können die tatsächlich auf den Maßnahmenflächen ausgebrachten Wirtschaftsdüngermengen leicht über- bzw. unterschätzt werden.

Tabelle 23: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|------|------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var1 | Var2 | Var3 | Var1 | Var2 | Var3 |
| BIO | 170 | 256 | 106 | 210 | 297 | 147 |
| UBAG + Verzicht | 54 | 162 | -1 | 932 | 1.040 | 877 |
| Verzicht | 165 | 247 | 143 | 1.043 | 1.125 | 1.021 |
| UBAG | 1 | 189 | -123 | 50 | 238 | -74 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -80 | 109 | -197 | 25 | 213 | -92 |

Die Bilanzierungssummen (HB 1 + HB 2 + Begrünung) sind in Tabelle 23 gelistet. UBAG bzw. UBAG + Verzicht bilanzieren bei den betrachteten Maßnahmen weniger positiv. INVEKOS (o. b. M.) bilanziert hier deutlich negativer. Wird Wirtschaftsdünger dazu addiert steigen die Werte besonders bei UBAG + Verzicht und Verzicht stark an. BIO steigt dadurch nur leicht, während UBAG und INVEKOS (o. b. M.) bei Variante 1 in Summe nur geringfügig positiv bilanzieren und bei Variante 3 sogar negative Werte zeigen.

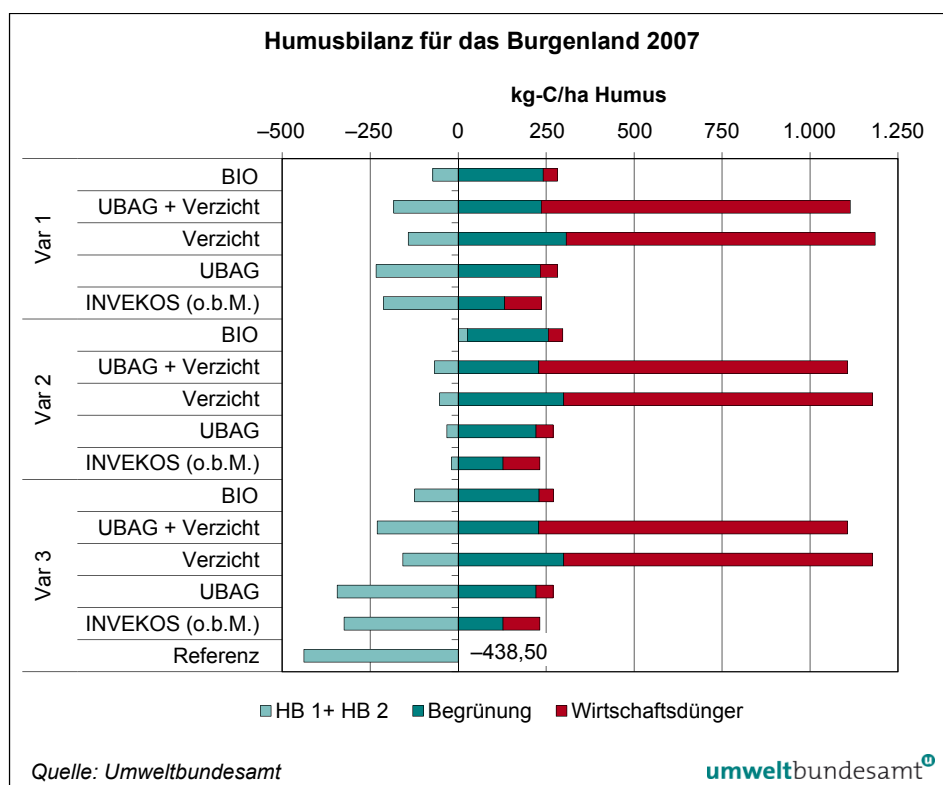


Abbildung 5: Ergebnis der Humusbilanz für das Burgenland 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

In Abbildung 5 ist von der Null-Achse in den Negativbereich gehend die Humuszehrung durch die Kulturen zu sehen. Entsprechend den unterschiedlichen Berechnungsvarianten (1–3) wird bei Variante 2 die geringste Zehrung bilanziert, bei Variante 3 wird die stärkste Zehrung errechnet, Variante 1 liegt zwischen den beiden im mittleren Bereich. Begrünung und Wirtschaftsdünger sind entsprechend ihrer humusmehrenden Wirkung im Positivbereich dargestellt.

Die Maßnahme UBAG zeigt den geringsten Humusaufbau, da hier stark zehrende Kulturen stärker vertreten sind, die Kohlenstoff-Anreicherung durch Begrünung im mittleren Bereich liegt und die Wirtschaftsdüngermenge gering ist. In Vergleich dazu bewirkt die Kulturwahl bei BIO eine geringe Humuszehrung, so dass durch die Begrünung (ebenfalls im mittleren Bereich) und den Wirtschaftsdünger positiver bilanziert werden kann.

Die INVEKOS (o. b. M.)-Daten dienen bei Abbildung 5 als Vergleichswert. Im Vergleich zu den betrachteten Maßnahmen wird hier negativer bzw. weniger positiv bilanziert.

Für die Referenz (Strohreproduktionsfaktor = 0) wurde eine Strohabfuhr von 100 % angenommen, damit wird beim Berechnungsteil HB 2 deutlich negativ bilanziert. Dieser Wert ($-438,5 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$ beim Berechnungsschritt HB 1 + HB 2) soll den Einfluss von am Feld verbleibenden Ernterückständen verdeutlichen.

3.2.1.2 Kärnten

In Kärnten wurden 2007 auf 55,2 % der Ackerfläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht, UBAG + Verzicht und Untersaat gemeldet. Der Anteil von INVEKOS-Flächen ohne betrachtete Maßnahmen (o. b. M.) ist vergleichsweise hoch (44,8 %, siehe Tabelle 24). UBAG wird auf 37,1 % der Fläche durchgeführt. Der Begrünungsanteil ist bei den betrachteten Maßnahmen ähnlich (47,0 bis 54,2 %), während er bei INVEKOS (o. b. M.) deutlich geringer ist (27,1 %). Die Maßnahme Untersaat wurde auf 0,06 % der Ackerfläche gemeldet und findet ausschließlich im Rahmen der UBAG-Maßnahme statt.

Tabelle 24: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Kärnten 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Kärnten) in ha in % | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 7.932 | 12,8 | 50,2 | 6,4 |
| UBAG + Verzicht | 1.555 | 2,5 | 54,2 | 1,4 |
| Verzicht | 1.728 | 2,8 | 49,1 | 1,4 |
| UBAG | 22.903 | 37,1 | 47,0 | 17,4 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 27.640 | 44,8 | 27,1 | 12,1 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 61.758 | 100,0 | – | 38,7 |

Tabelle 25: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar (kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -126 | -15 | -181 | 367 | 358 | 358 | 406 |
| UBAG + Verzicht | -240 | -135 | -262 | 465 | 462 | 462 | 645 |
| Verzicht | -154 | -79 | -167 | 411 | 407 | 407 | 645 |
| UBAG | -248 | -79 | -328 | 315 | 306 | 306 | 259 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -146 | 134 | -359 | 154 | 146 | 146 | 165 |

Die Maßnahme UBAG und die Kombination UBAG + Verzicht zeigen eine stärkere Humuszehrung durch die Kulturwahl als die restlichen Flächen (siehe Tabelle 25, HB 1 + HB 2). Begrünung wird bei allen Maßnahmen stärker angenommen als vergleichsweise im Burgenland, wobei die Maßnahme UBAG + Verzicht die höchsten Humus-C-Zuwächse zu verzeichnen hat. Wirtschaftsdünger trägt bei allen Maßnahmen deutlich zur Humusbilanzierung bei. Für die Bilanzierung des Düngers wurden Annahmen getroffen, die zu einer Über- bzw. Unterschätzung führen können.

Tabelle 26: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 241 | 344 | 178 | 647 | 750 | 584 |
| UBAG + Verzicht | 225 | 327 | 200 | 870 | 972 | 845 |
| Verzicht | 257 | 328 | 240 | 902 | 973 | 885 |
| UBAG | 68 | 226 | -23 | 327 | 486 | 237 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 8 | 280 | -212 | 173 | 445 | -47 |

Der Verzichtmaßnahme und der Kombination UBAG + Verzicht werden hohe Wirtschaftsdüngermengen und damit hohe Bilanzierungssummen (siehe Tabelle 26) zugerechnet. Werden nur HB 1 + HB 2 und Begrünung summiert, liegen BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht in einem vergleichbaren Bereich. Durch hohe Zehrung bei den Kulturen (HB 1 + HB 2), geringere C-Zunahme bei Begrünung und vergleichsweise geringe Wirtschaftsdüngermengen bilanziert UBAG in einem geringeren Bereich, wenn auch bei Weitem ausreichend.

Als Vergleichswert werden die INVEKOS (o. b. M.)-Daten dargestellt (siehe Abbildung 6). Für die Referenz (0) mit einer Strohabfuhr von 100 % wird beim Berechnungsteil HB 2 negativ bilanziert. Dieser Wert (-571,5 kg Humus-C ha⁻¹ beim Berechnungsschritt HB 1 + HB 2) soll die Bedeutung von am Feld verbleibenden Ernterückständen verdeutlichen.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

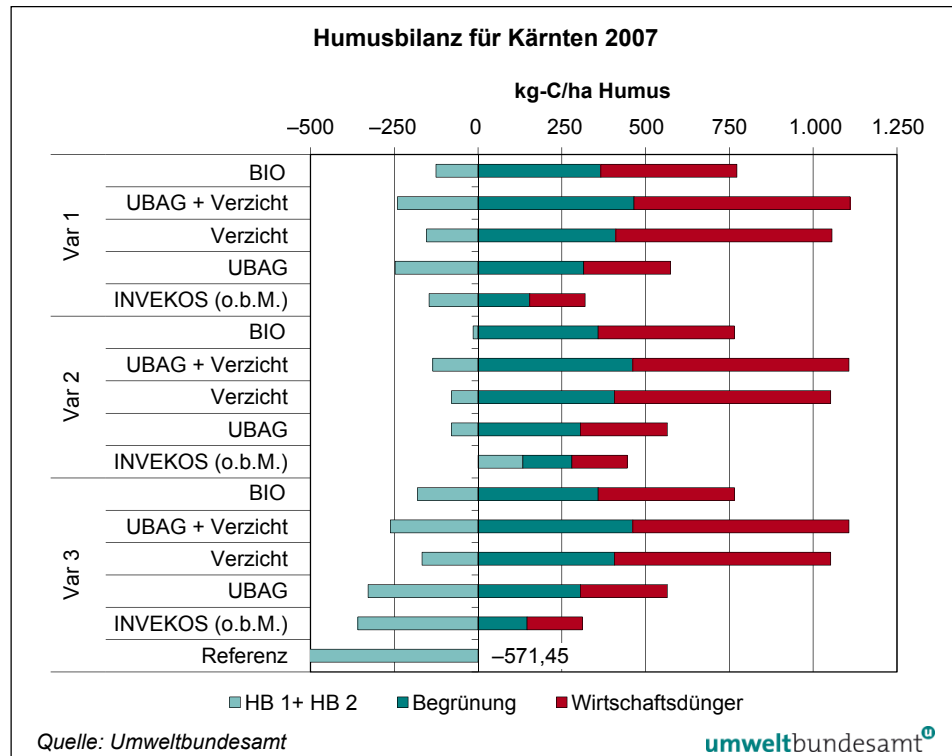


Abbildung 6: Ergebnis der Humusbilanz für Kärnten 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet. Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

3.2.1.3 Niederösterreich

In Niederösterreich wurden 2007 auf 83,8 % der Ackerfläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht und UBAG + Verzicht gemeldet.

Die Maßnahme UBAG wird bei weitem am stärksten, auf 71,6 % der gesamten Ackerfläche, durchgeführt. Der Begrünungsanteil dieser Maßnahme beträgt 41,3 %, bezogen auf die gesamte Ackerfläche liegt er bei 29,5 % (siehe Tabelle 27). Die Maßnahme BIO wird zu 11,2 % angewendet, UBAG + Verzicht und Verzicht treten in den Flächenanteilen kaum in Erscheinung. Untersaat scheint in Niederösterreich nicht auf.

Der Begrünungsanteil, bezogen auf die gesamte Ackerfläche in Niederösterreich, liegt bei 40,4 % und wird bei allen betrachteten Maßnahmen in einem vergleichbaren Bereich angewendet (41,3–48,3 %).

Tabelle 27: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Niederösterreich 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (NÖ) in ha | Ackerfläche in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|---------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------------|
| BIO | 72.642 | 11,2 | 42,3 | 4,7 |
| UBAG + Verzicht | 5.557 | 0,9 | 48,3 | 0,4 |
| Verzicht | 1.061 | 0,2 | 46,8 | 0,1 |
| UBAG | 463.896 | 71,5 | 41,3 | 29,5 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 105.108 | 16,2 | 34,6 | 5,6 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 648.264 | 100,0 | – | 40,4 |

Die Humuszehrung (HB 1 + HB 2) ist bei der Maßnahme UBAG am stärksten (siehe Tabelle 28). Die Ursachen dafür sind in der Kulturwahl und dem großflächigen Anbau von zehrenden Kulturen zu suchen. INVEKOS (o. b. M.) zeigt ebenfalls eine stärkere Humuszehrung durch die Kulturwahl und liegt bei der Kohlenstoffanreicherung durch Begrünung hinter den betrachteten Maßnahmen. Die Kombination UBAG + Verzicht zeigt die höchsten C-Zuwächse bei Begrünung und liegt auch beim Wirtschaftsdünger weit über den Werten der anderen Maßnahmen.

Tabelle 28: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -105 | 4 | -156 | 257 | 246 | 246 | 198 |
| UBAG + Verzicht | -100 | -11 | -141 | 353 | 345 | 345 | 653 |
| Verzicht | -11 | 37 | -29 | 316 | 307 | 307 | 653 |
| UBAG | -269 | -68 | -366 | 208 | 194 | 194 | 90 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -211 | -11 | -326 | 163 | 150 | 150 | 345 |

Die Maßnahmen BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht bilanzieren nach der Addition mit Begrünung positiv, UBAG und INVEKOS (o. b. M.) bei Variante 1 und 3 negativ. Wird der Wirtschaftsdünger dazugerechnet kehrt sich die Bilanz, außer bei UBAG-Variante 3, ins Positive. UBAG zeigt geringe Wirtschaftsdünger-Mengen, UBAG + Verzicht und Verzicht hohe Werte. Die Wirtschaftsdünger-mengen können aufgrund der zur Berechnung notwendigen Annahmen über- aber auch unterschätzt worden sein (siehe Tabelle 29).

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Tabelle 29: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 152 | 250 | 91 | 351 | 449 | 289 |
| UBAG + Verzicht | 253 | 334 | 204 | 906 | 987 | 857 |
| Verzicht | 305 | 344 | 277 | 958 | 997 | 930 |
| UBAG | -61 | 127 | -171 | 29 | 217 | -81 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -49 | 139 | -176 | 297 | 484 | 170 |

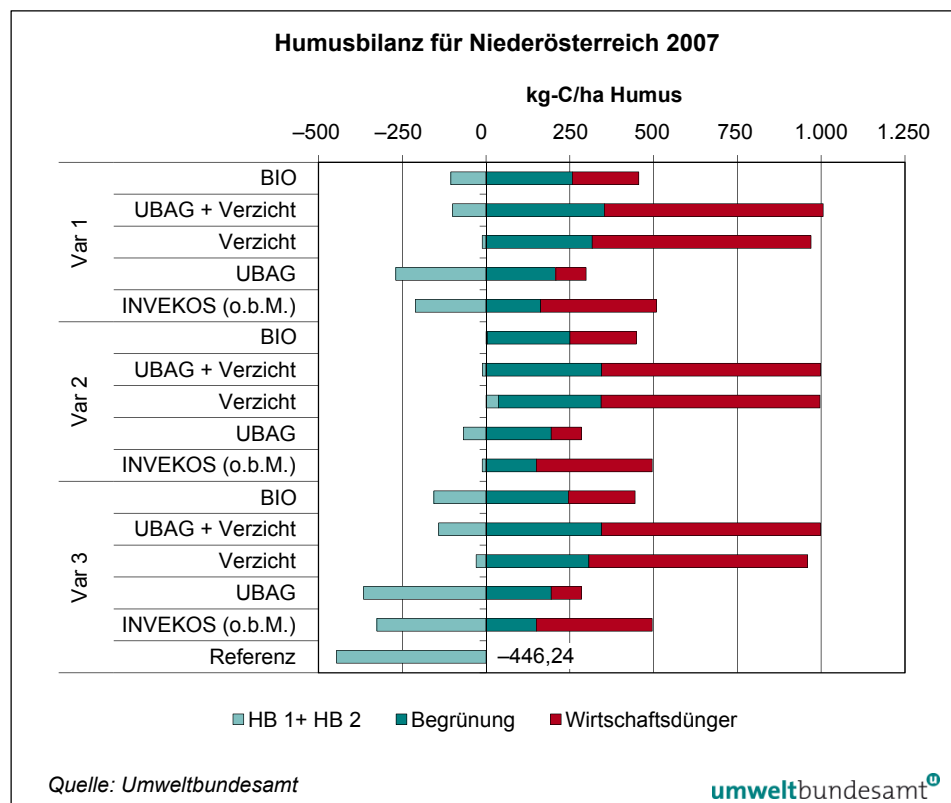


Abbildung 7: Ergebnis der Humusbilanz für Niederösterreich 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die Maßnahmen BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht bilanzieren eindeutig positiv, UBAG liegt je nach Berechnungsvariante im leicht negativen bis positiven Bereich. Die Referenz (0) befindet sich mit der vollständigen Strohabfuhr im stark negativen Bereich (-446,2 kg Humus-C ha⁻¹, siehe Abbildung 7).

3.2.1.4 Oberösterreich

Die betrachteten Maßnahmen (BIO, Verzicht, UBAG und UBAG + Verzicht) fanden in Oberösterreich 2007 auf 64,7 % der Ackerfläche (INVEKOS) statt.

Der Anteil der INVEKOS-Betriebe ohne betrachtete Maßnahmen (o. b. M.) liegt relativ hoch (bei 35,3 %, siehe Tabelle 30). UBAG findet auf 54,5 % der erfassten Ackerfläche statt, BIO auf 8,0% und UBAG + Verzicht auf 1,8 %. Verzicht ist mit nur 0,44 % der Fläche vertreten, die Maßnahme Untersaat zu 0,02 % und findet, wie in Kärnten, ausschließlich auf UBAG-Flächen statt.

Begrünungen wurden auf 41,3 % der im INVEKOS erfassten Ackerfläche angebaut. Der Begrünungsanteil innerhalb der betrachteten Maßnahmen liegt zwischen 43,9 und 49,5 %.

Tabelle 30: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Oberösterreich 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (OÖ) in ha | Ackerfläche in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|---------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------------|
| BIO | 22.627 | 8,0 | 48,3 | 3,9 |
| UBAG + Verzicht | 5.211 | 1,8 | 49,5 | 0,9 |
| Verzicht | 1.254 | 0,4 | 43,9 | 0,2 |
| UBAG | 154.283 | 54,5 | 44,0 | 24,0 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 99.940 | 35,3 | 35,2 | 12,4 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 283.315 | 100,0 | – | 41,3 |

Die Zehrung durch die angebauten Kulturen (HB 1 + HB 2) liegt in Oberösterreich in einem moderaten Bereich, UBAG hat hier die deutlichste Zehrung zu verzeichnen (siehe Tabelle 31). Begrünungen tragen in allen Varianten deutlich zur Humus-C-Anreicherung bei, wobei der Beitrag bei der Kombination UBAG + Verzicht am stärksten ist. Der Kohlenstoff-Input durch Wirtschaftsdünger ist bei UBAG + Verzicht und Verzicht hoch, ebenso bei BIO und INVEKOS (o. b. M.), UBAG weist vergleichsweise geringe Wirtschaftsdüngermengen auf.

Tabelle 31: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -59 | 29 | -106 | 342 | 333 | 333 | 400 |
| UBAG + Verzicht | -92 | -8 | -130 | 410 | 405 | 405 | 718 |
| Verzicht | -109 | -25 | -141 | 337 | 331 | 331 | 718 |
| UBAG | -168 | 21 | -280 | 258 | 247 | 247 | 213 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -145 | 83 | -308 | 190 | 179 | 179 | 460 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Die Humusbilanzen aus HB 1 + HB 2 + Begrünung zeigen Werte im deutlich positiven Bereich, UBAG und INVEKOS (o. b. M.) liegen darunter (siehe Tabelle 32). Wird Wirtschaftsdünger aufgerechnet, ergeben sich für UBAG + Verzicht und Verzicht hohe Werte, die aufgrund der getroffenen Annahmen zur Berechnung der ausgebrachten Düngermenge vorsichtig interpretiert werden müssen. Auffällig sind die hohen Werte bei BIO, die sich aus geringer Zehrung der Kultur, durchschnittlichen Begrünungsmengen, aber relativ hohen Wirtschaftsdüngermengen zusammensetzen.

Tabelle 32: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 283 | 362 | 228 | 683 | 763 | 628 |
| UBAG + Verzicht | 318 | 398 | 275 | 1.035 | 1.116 | 993 |
| Verzicht | 228 | 307 | 191 | 946 | 1.024 | 908 |
| UBAG | 91 | 268 | -33 | 304 | 481 | 180 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 44 | 262 | -129 | 505 | 722 | 331 |

UBAG + Verzicht zeigen die höchsten Werte der Humusbilanzierung für Oberösterreich, Verzicht und BIO bilanzieren ebenfalls ausgesprochen positiv (siehe Abbildung 8). Auch UBAG und INVEKOS (o. b. M.) liegen im humusmehrenden Bereich. Die Referenz (0), also komplette Strohabfuhr ohne Kohlenstoffinput durch Begrünung und Wirtschaftsdünger, liegt bei -473,5 kg Humus-C ha⁻¹.

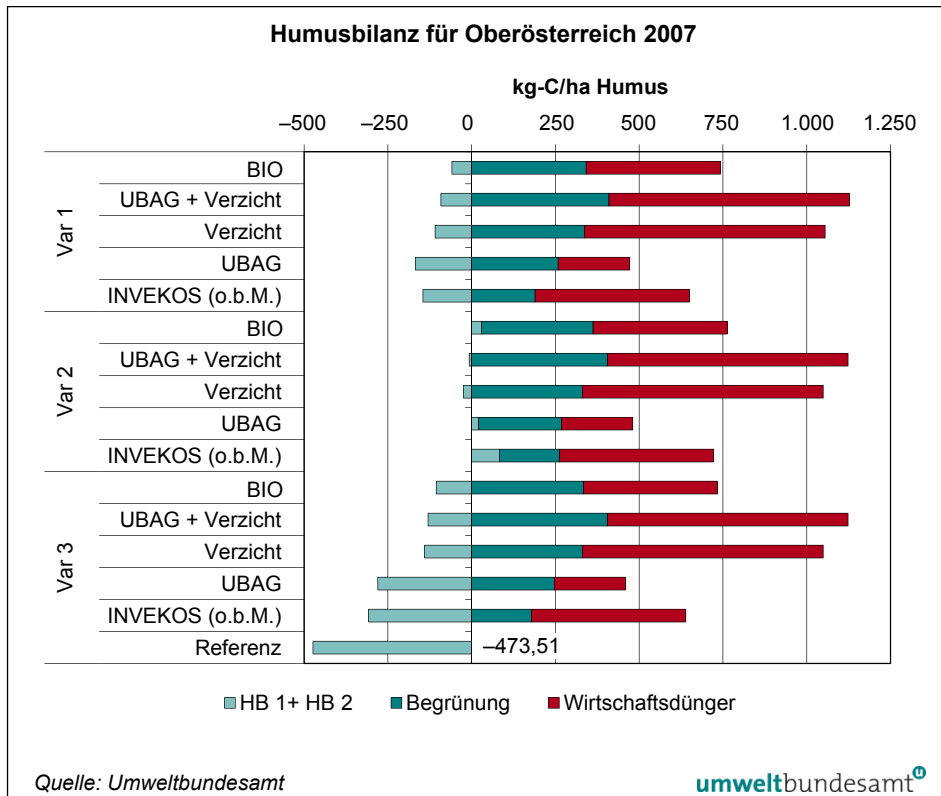


Abbildung 8: Ergebnis der Humusbilanz für Oberösterreich 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

3.2.1.5 Salzburg

In Salzburg wurden 2007 88,6 % der INVEKOS-Ackerfläche mit den Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht und UBAG + Verzicht gemeldet.

Der BIO-Anteil ist mit 38 % sehr hoch (siehe Tabelle 33), fast die Hälfte der Maßnahmenfläche wird begrünt (48,9 %). Zweitstärkste Maßnahme ist UBAG mit 33,6 % der erfassten Ackerfläche, mit einem Begrünungsanteil bei 45,6 %. Die Kombination UBAG + Verzicht und Verzicht haben deutliche Anteile von 9,7 und 7,3 %. Die Maßnahme Untersaat wurde 2007 in Salzburg nicht gemeldet.

46,3 % der erfassten Fläche war begrünt, bei den betrachteten Maßnahmen lag der Begrünungsanteil zwischen 45,6 und 50,1 %.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Tabelle 33: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Salzburg 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Salzburg) in ha in % | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|---------------------------|--|-------|-----------------------------------|---|
| BIO | 2.283 | 38,0 | 48,9 | 18,6 |
| UBAG + Verzicht | 579 | 9,7 | 50,1 | 4,8 |
| Verzicht | 441 | 7,3 | 47,2 | 3,5 |
| UBAG | 2.017 | 33,6 | 45,6 | 15,3 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 683 | 11,4 | 35,8 | 4,1 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 6.003 | 100,0 | – | 46,3 |

Im Jahr 2007 übertraf in Salzburg der Anbau von humuszehrenden Kulturarten (wie z. B. Getreide, Erdäpfel) deutlich jenen von humusmehrenden (z. B. Klee-gras, Rotklee, Sojabohne) als Hauptkulturarten bei allen Maßnahmen.

Ackerwiese und Ackerweide sind in Salzburg flächenanteilmäßig stark vertreten. Diese gehen in die Humusbilanz als zehrend ein. Die Zehrung kommt durch die Abfuhr der oberirdischen Biomasse zustande. Außerdem soll durch die errechneten negativen Werte bei Ackerwiese und Ackerweide die tendenziell überschätzte Begrünungsvariante H abgeschwächt werden (Variante H scheint im INVEKOS von Herbst bis Frühjahr des folgenden Jahres als Begrünung auf und wird dann als Hauptkultur gezählt, dadurch kommt es zu einer Überschätzung des C-Inputs). Deshalb ist das Ergebnis aus HB 1 + HB 2 in Salzburg im Vergleich zu anderen Bundesländern negativer. Die Humuszehrung ist bei allen Maßnahmen ausgeprägt. Allerdings hat die Maßnahme Begrünung auch eine hohe Akzeptanz, so dass dadurch ein deutlicher Ausgleich der C-Bilanz stattfindet (siehe Tabelle 34).

Tabelle 34: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar (kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha⁻¹ | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -317 | -207 | -328 | 437 | 435 | 435 | 523 |
| UBAG + Verzicht | -349 | -230 | -360 | 463 | 463 | 463 | 615 |
| Verzicht | -273 | -175 | -284 | 419 | 417 | 417 | 615 |
| UBAG | -231 | -108 | -271 | 314 | 305 | 305 | 486 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -310 | -164 | -352 | 223 | 214 | 214 | 21 |

Alle betrachteten Maßnahmen bilanzieren deutlich positiv, im Gegensatz zu INVEKOS (o. b. M.), wo der C-Input durch Begrünung und Wirtschaftsdünger geringer ausfällt (siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 120 | 228 | 107 | 643 | 751 | 630 |
| UBAG + Verzicht | 115 | 233 | 102 | 729 | 848 | 717 |
| Verzicht | 145 | 242 | 133 | 760 | 857 | 748 |
| UBAG | 83 | 196 | 34 | 568 | 682 | 519 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -87 | 51 | -138 | -65 | 72 | -117 |

Bereits durch den Einfluss der Begrünungen bilanzieren die betrachteten Maßnahmen positiv. In einem im Vergleich mit anderen Bundesländern hohen Bereich liegen BIO und UBAG. Die Bilanzierungsunterschiede sind zwischen den einzelnen betrachtet Maßnahmen nicht sehr ausgeprägt. Kulturwahl, Begrünungsanteile und deren Varianten sowie Tierhaltung sind bei den betrachteten Maßnahmen ähnlicher als bei anderen Bundesländern verteilt (siehe Abbildung 9).

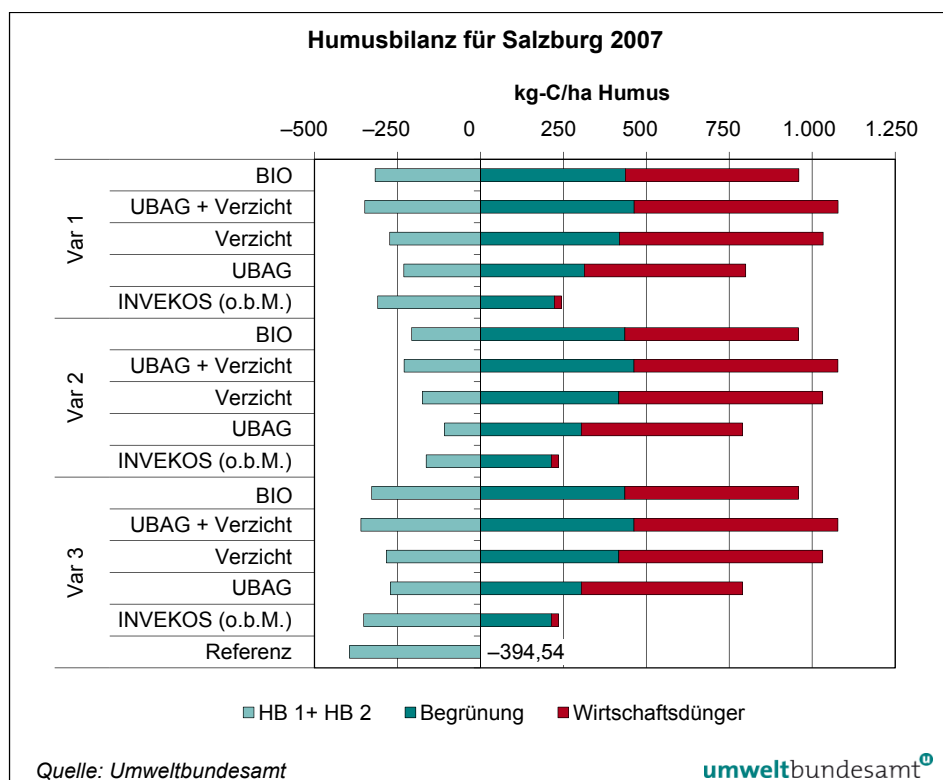


Abbildung 9: Ergebnis der Humusbilanz für Salzburg 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

3.2.1.6 Steiermark

In der Steiermark wurden 2007 auf 41,8 % der INVEKOS-Ackerfläche die Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht und UBAG + Verzicht gemeldet. Untersaat wurde auf 0,001 % der Fläche, ausschließlich auf UBAG-Flächen, angebaut.

Der Flächenanteil INVEKOS (o. b. M.) ist mit 58,2 % der Fläche sehr hoch. UBAG liegt bei 32,1 % und einem Begrünungsanteil von 41,2 % der Maßnahmenfläche. BIO ist zu 6,0 %, UBAG + Verzicht sowie Verzicht zu 2,8 und 0,8 % vertreten (siehe Tabelle 36).

Begrünungen nehmen in der Steiermark einen Flächenanteil von 23,2 % der INVEKOS-Ackerfläche ein, wobei innerhalb der Maßnahme UBAG der größten Anteil (bezogen auf die gesamte Ackerfläche) von 13,2 % zu finden ist. Die Begrünungsanteile innerhalb der betrachteten Maßnahmen liegen zwischen 41,2 und 55,2 %. Die restliche INVEKOS-Fläche ist nur zu 8,6 % begrünt.

Tabelle 36: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in der Steiermark 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Steiermark) in ha in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|-----------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 8.176 | 6,0 | 49,1 |
| UBAG + Verzicht | 3.855 | 2,9 | 55,2 |
| Verzicht | 1.105 | 0,8 | 47,6 |
| UBAG | 43.529 | 32,1 | 41,2 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 78.824 | 58,2 | 8,6 |
| ges Ackerflächen INVEKOS | 135.490 | 100,0 | – |
| | | | 23,2 |

Bei den betrachteten Maßnahmen zeigt UBAG die höchste Zehrung durch angebaute Kulturen, auch den geringsten Input durch Begrünung. Bei Verzicht tritt nur geringe Humuszehrung auf, bei UBAG + Verzicht liegen die Begrünungswerte relativ hoch. Die Wirtschaftsdüngerfrachten liegen bei UBAG + Verzicht und bei Verzicht hoch, gefolgt von BIO (siehe Tabelle 37).

Tabelle 37: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| Maßnahmen | kg Humus-C ha^{-1} | | | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -120 | -37 | -151 | 392 | 386 | 386 | 446 | | | |
| UBAG + Verzicht | -116 | -41 | -140 | 501 | 500 | 500 | 603 | | | |
| Verzicht | -85 | -24 | -103 | 415 | 413 | 413 | 603 | | | |
| UBAG | -308 | -96 | -417 | 245 | 235 | 235 | 235 | | | |
| INVEKOS (o. b. M.) | -263 | 39 | -468 | 52 | 50 | 50 | 302 | | | |

Durch den C-Input durch Begrünung bilanzieren BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht deutlich positiv, UBAG und INVEKOS (o. b. M.) mit Ausnahme der Variante 2 negativ. Durch Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers bilanziert auch UBAG in allen 3 Berechnungsvarianten positiv (siehe Tabelle 38). Die Referenz (100 % Strohabfuhr) ist mit $-673,3 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$ stark negativ (siehe Abbildung 10).

Tabelle 38: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 272 | 350 | 235 | 718 | 796 | 682 |
| UBAG + Verzicht | 385 | 459 | 360 | 988 | 1.062 | 963 |
| Verzicht | 331 | 389 | 310 | 934 | 992 | 913 |
| UBAG | -62 | 139 | -183 | 173 | 374 | 53 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -211 | 90 | -418 | 91 | 392 | -116 |

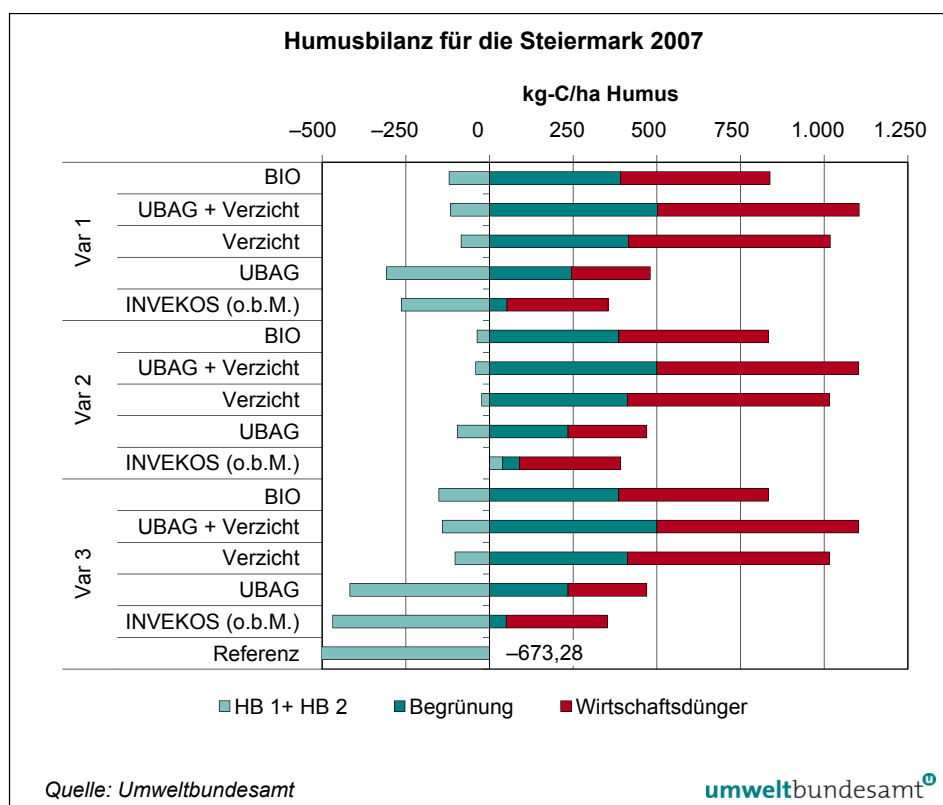


Abbildung 10: Ergebnis der Humusbilanz für die Steiermark 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

3.2.1.7 Tirol

In Tirol wurden im Jahr 2007 auf 82,8 % der Ackerfläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht und UBAG + Verzicht gemeldet. Die Maßnahme Untersaat wurde nicht gewählt.

UBAG ist auf 66 % der Ackerfläche vertreten, BIO auf 9,5 %, UBAG + Verzicht und Verzicht auf 4,5 und 2,8 %. Die Begrünungsanteile pro Maßnahme liegen zwischen 34,4 und 46,7 % (siehe Tabelle 39).

Tabelle 39: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Tirol 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Tirol) in ha in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 1.001 | 9,5 | 44,8 |
| UBAG + Verzicht | 470 | 4,5 | 35,0 |
| Verzicht | 293 | 2,8 | 41,3 |
| UBAG | 6.923 | 66,0 | 46,7 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 1.803 | 17,2 | 34,4 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 10.490 | 100,0 | – |

INVEKOS (o. b. M.) zeigt eine starke Humuszehrung durch die angebauten Kulturen, der Input durch Begrünung ist geringer als bei den betrachteten Maßnahmen und der Input durch Wirtschaftsdünger ist vergleichsweise minimal (siehe Tabelle 40). Die Bilanzierung zeigt sich auch nach Addition mit Begrünungswerten negativ, durch die geringen Wirtschaftsdüngerfrachten wird auch bei deren Aufrechnung negativ bilanziert (siehe Tabelle 41).

Tabelle 40: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| Maßnahmen | kg Humus-C ha^{-1} | | | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -185 | -109 | -192 | 396 | 394 | 394 | 396 | 394 | 394 | 528 |
| UBAG + Verzicht | -260 | -167 | -267 | 311 | 310 | 310 | 311 | 310 | 310 | 773 |
| Verzicht | -178 | -106 | -183 | 357 | 355 | 355 | 357 | 355 | 355 | 773 |
| UBAG | -309 | -198 | -317 | 381 | 377 | 377 | 381 | 377 | 377 | 259 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -475 | -312 | -490 | 263 | 258 | 258 | 263 | 258 | 258 | 25 |

Die Maßnahmen BIO, UBAG + Verzicht, Verzicht und UBAG bilanzieren durch die Begrünungsfrachten bereits positiv. Wirtschaftsdünger zeigt bei UBAG + Verzicht und Verzicht hohe Werte, durch die Aufsummierung von Begrünung und Wirtschaftsdünger bilanzieren diese beiden Maßnahmen in einem hohen Bereich (siehe Tabelle 41).

Tabelle 41: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 211 | 285 | 202 | 740 | 814 | 730 |
| UBAG + Verzicht | 52 | 143 | 43 | 825 | 916 | 816 |
| Verzicht | 179 | 249 | 172 | 952 | 1.022 | 945 |
| UBAG | 71 | 178 | 59 | 331 | 437 | 318 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -212 | -54 | -232 | -187 | -29 | -207 |

Die starke Zehrung der Flächen INVEKOS (o. b. M.) ist auch in Abbildung 11 erkennbar. Die betrachteten Maßnahmen bilanzieren allein durch die Begrünung bereits positiv. Die Referenz (100 % Strohabfuhr) liegt bei -505,8 kg Humus-C ha⁻¹.

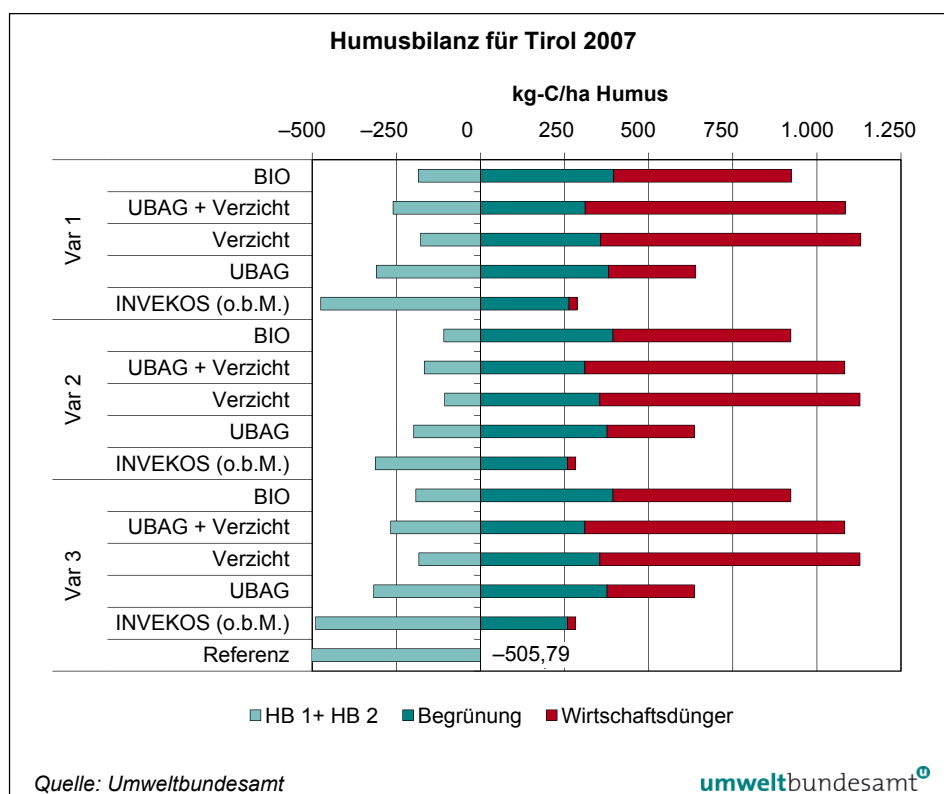


Abbildung 11: Ergebnis der Humusbilanz für Tirol 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

3.2.1.8 Vorarlberg

Im Jahr 2007 wurden in Vorarlberg auf 63,7 % der Ackerfläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, UBAG, Verzicht und UBAG + Verzicht gemeldet. Die Maßnahme Untersaat wurde nicht genutzt.

Auf 57,6 % der Ackerfläche war UBAG vertreten, auf 5,5 % BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht wiesen sehr geringe Flächenanteile auf, während die Fläche ohne betrachtete Maßnahmen relativ hoch – bei 36,3 % – lag (siehe Tabelle 42).

44,4 % der betrachteten Fläche wurde begrünt, die Flächenanteile innerhalb der Maßnahmen lagen zwischen 23,3 und 61,8 %.

Tabelle 42: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Vorarlberg 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Vorarlberg) in ha | Ackerfläche (Vorarlberg) in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) ges. Ackerfläche |
|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| BIO | 158 | 5,5 | 47,6 | 2,6 |
| UBAG + Verzicht | 11 | 0,4 | 23,3 | 0,1 |
| Verzicht | 8 | 0,3 | 61,8 | 0,2 |
| UBAG | 1.668 | 57,6 | 47,9 | 27,6 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 1.050 | 36,2 | 38,5 | 14,0 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 2.895 | 100,0 | – | 44,4 |

Die Zehrung durch die angebauten Kulturen hat in Vorarlberg eine breite Spanne. Während Verzicht kaum negativ bilanziert, sind die Werte bei UBAG und INVEKOS (o. b. M.) stark negativ (siehe Tabelle 43). Hier wirken sich v. a. die geringen Flächenanteile der Maßnahmen Verzicht und UBAG + Verzicht aus. Da auf 42 % der Verzichtfläche humusmehrende Kulturen angebaut wurden, bilanziert diese Maßnahme deutlich weniger negativ als die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht, bei der der Anteil der humusmehrenden Kulturen nur knapp 30 % beträgt. Die Begrünung liegt bei Verzicht hoch, was gemeinsam mit der Wirtschaftsdünger-Fracht zu einer hohen Gesamtbilanz führt. Die Maßnahmen UBAG + Verzicht, UBAG und INVEKOS (o. b. M.) bilanzieren auch nach Aufsummierung der Begrünung negativ. Wird Wirtschaftsdünger einberechnet bilanzieren alle betrachteten Maßnahmen positiv (siehe Tabelle 44).

Tabelle 43: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar (kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ Maßnahmen | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--|---------------|----------------|---------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -258 | -152 | -278 | 381 | 376 | 376 | 471 |
| UBAG + Verzicht | -317 | -213 | -317 | 208 | 207 | 207 | 563 |
| Verzicht | -50 | 16 | -61 | 504 | 498 | 498 | 563 |
| UBAG | -496 | -337 | -502 | 354 | 347 | 347 | 397 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -546 | -358 | -565 | 251 | 242 | 242 | 47 |

Tabelle 44: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ Maßnahmen | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|--|-------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 122 | 224 | 98 | 593 | 695 | 568 |
| UBAG + Verzicht | -108 | -6 | -109 | 455 | 558 | 454 |
| Verzicht | 453 | 514 | 437 | 1.017 | 1.077 | 1.000 |
| UBAG | -142 | 10 | -155 | 255 | 407 | 242 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -295 | -115 | -323 | -248 | -68 | -276 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

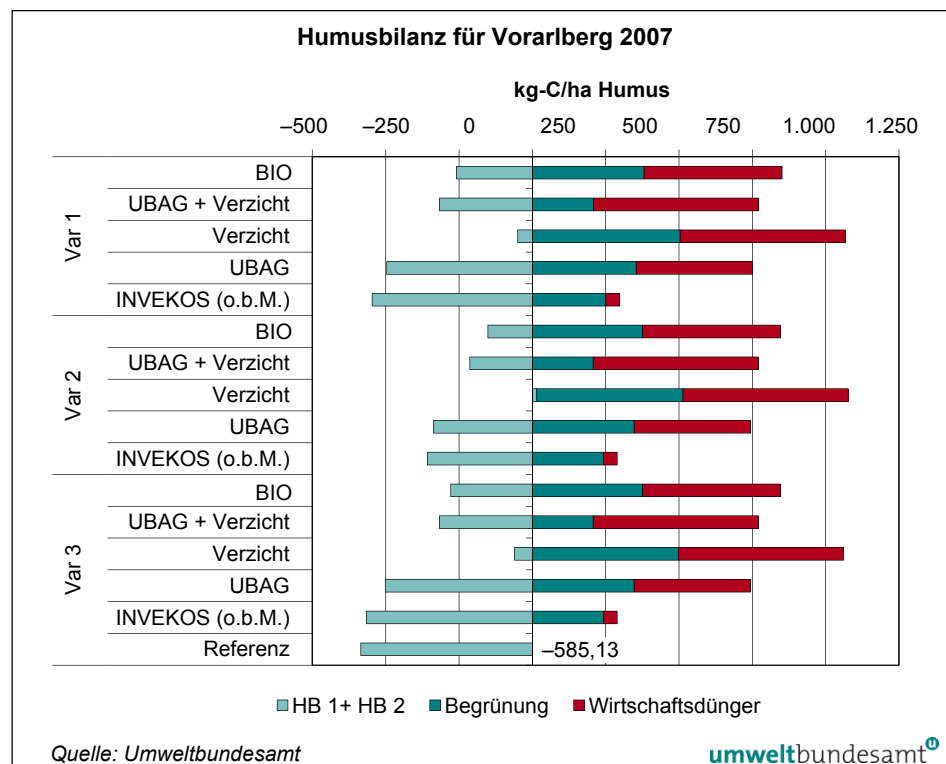


Abbildung 12: Ergebnis der Humusbilanz für Vorarlberg 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die starke Zehrung der Kulturen bei UBAG und INVEKOS (o. b. M.) ist auch in Abbildung 12 erkennbar. Erst durch Wirtschaftsdünger-Gaben bilanziert UBAG positiv, INVEKOS (o. b. M.) bleibt im negativen Bereich. Die Maßnahmen BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht bilanzieren bereits durch die Begrünung positiv. Die Referenz (100 % Strohabfuhr) liegt bei -585,1 kg Humus-C ha⁻¹.

3.2.1.9 Wien

Im Jahr 2007 wurden auf 73,6 % der Ackerfläche Wiens (INVEKOS) die betrachteten Maßnahmen (BIO, UBAG) gemeldet. Die Maßnahmen UBAG + Verzicht, Verzicht Untersaat wurden nicht gewählt.

UBAG war auf 62,4 % der Fläche vertreten, BIO auf 11,2 % und die INVEKOS-Flächen ohne betrachtete Maßnahmen betragen 26,4 %. 28,3 % der betrachteten Fläche waren begrünt, wobei BIO mit 39,5 % den höchsten Anteil aufwies (siehe Tabelle 45).

Tabelle 45: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Wien 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (Wien) in ha in % | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|----------------------------------|-------|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 417 | 11,2 | 39,5 | 4,4 |
| UBAG + Verzicht | – | – | – | – |
| Verzicht | – | – | – | – |
| UBAG | 2.313 | 62,4 | 35,3 | 22,0 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 980 | 26,4 | 7,0 | 1,9 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 3.710 | 100,0 | – | 28,3 |

Die Maßnahme UBAG und INVEKOS (o. b. M.) zeigen eine deutliche Zehrung durch die angebauten Kulturen. Bei BIO ist die Zehrung geringer, gemeinsam mit den vergleichsweise höheren Begrünungswerten und der Wirtschaftsdüngerfracht kann bei dieser Maßnahme positiv bilanziert werden (siehe Tabelle 46, Tabelle 47). UBAG und INVEKOS (o. b. M.) zeigen geringere Begrünungswerte und verschwindend kleine Wirtschaftsdüngerfrachten. Beide Flächen bilanzieren sowohl mit Begrünung als auch mit Wirtschaftsdünger negativ.

Tabelle 46: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} Maßnahmen | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--|---------------|----------------|---------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -116 | -50 | -133 | 262 | 253 | 253 | 51 |
| UBAG + Verzicht | – | – | – | – | – | – | – |
| Verzicht | – | – | – | – | – | – | – |
| UBAG | -392 | -221 | -423 | 188 | 177 | 177 | 2 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -346 | -161 | -403 | 44 | 43 | 43 | 9 |

Tabelle 47: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} Maßnahmen | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|--|-------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 146 | 204 | 121 | 197 | 255 | 172 |
| UBAG + Verzicht | – | – | – | – | – | – |
| Verzicht | – | – | – | – | – | – |
| UBAG | -204 | -44 | -246 | -202 | -42 | -244 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -302 | -119 | -360 | -293 | -109 | -351 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

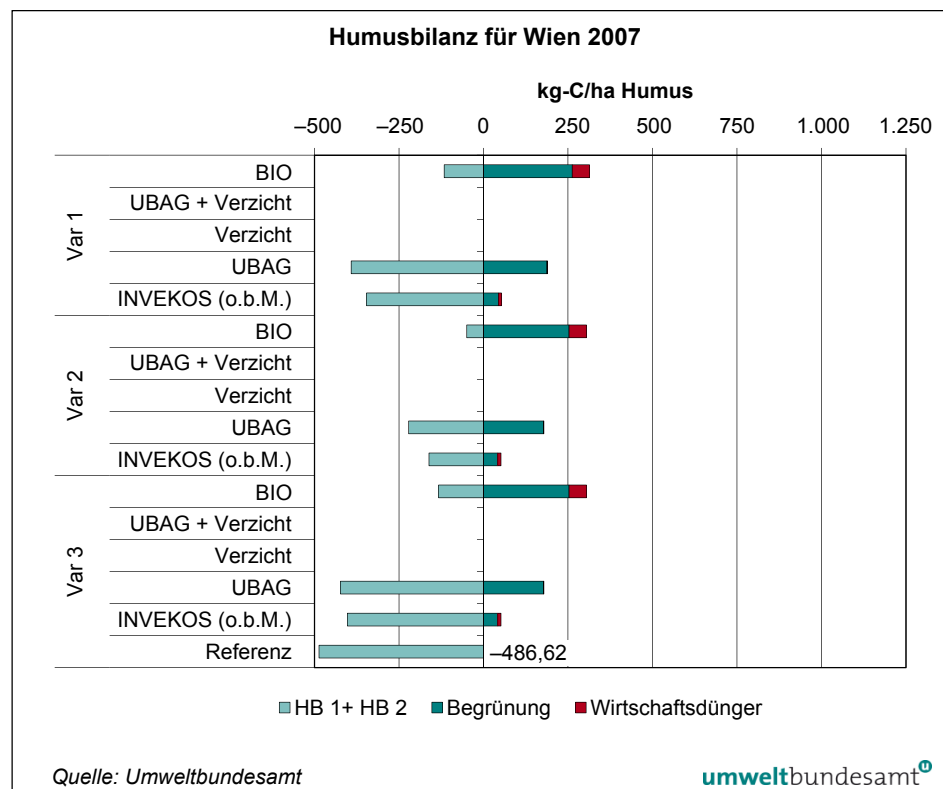


Abbildung 13: Ergebnis der Humusbilanz für Wien 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die Maßnahme BIO bilanziert durch die C-Frachten der Begrünung bereits positiv (siehe Abbildung 13). Die negativen Bilanzen von UBAG und INVEKOS (o. b. M.) werden weder durch Begrünung noch durch Wirtschaftsdünger ausgeglichen. Die Referenz (Strohabfuhr ist 100%) liegt bei -486,6 kg Humus-C ha⁻¹.

3.2.2 Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2007

Im Jahr 2007 wurden auf 75,1 % der Ackerfläche Österreichs (INVEKOS) die betrachteten Maßnahmen (BIO, UBAG, Verzicht, UBAG + Verzicht) gemeldet. Begrünungen wurden auf 38,8 % der Flächen durchgeführt (siehe Tabelle 48).

Die Maßnahme UBAG war am stärksten, auf 62,3 % der Ackerfläche vertreten. BIO lag bei 10,9 %, UBAG + Verzicht bei 1,4 % und Verzicht bei 0,5 %. Die Maßnahme Untersaat wurde zu 0,01 % gewählt und fand ausschließlich auf UBAG-Flächen statt. Die Begrünungen liegen bei den betrachteten Maßnahmen bei 42,2–49,6%, bei den INVEKOS-Flächen (o. b. M.) liegen sie bei vergleichsweise niedrigen 27,4 %.

Bei Begrünungen entfallen 62.470 ha auf die Maßnahme BIO, 9.048 ha auf die Kombination UBAG + Verzicht. Auf Verzichtflächen fand auf 2.819 ha Begrünung statt, auf UBAG-Flächen 340.961 ha. Die INVEKOS-Flächen (o. b. M.) wurden auf 88.543 ha begrünt.

Tabelle 48: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Österreich 2007, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (ges. Öster.) in ha in % | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|---|-------|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 141.954 | 10,9 | 44,0 | 4,8 |
| UBAG + Verzicht | 18.236 | 1,4 | 49,6 | 0,7 |
| Verzicht | 6.039 | 0,5 | 46,7 | 0,2 |
| UBAG | 808.666 | 62,3 | 42,2 | 26,3 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 323.037 | 24,9 | 27,4 | 6,8 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 1.297.933 | 100,0 | – | 38,8 |

Bei der Maßnahme BIO zeigt sich bei allen 3 Berechnungsvarianten eine sehr geringe Zehrung (bzw. bei Variante 2 sogar eine Mehrung) durch die angebauten Kulturen. UBAG zeigt die stärkste Zehrung, gefolgt von den INVEKOS-Flächen o. b. M. (siehe Tabelle 49). Bei den Begrünungsdaten und der Wirtschaftsdünger-Fracht liegt die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht über den anderen Maßnahmen, daher ist bei den Bilanzierungssummen eine sehr positive Bilanz zu erkennen (siehe Tabelle 50). Wird bei der Auswirkung der angebauten Kulturen die Begrünung dazu gerechnet, bilanzieren BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht positiv bei allen Berechnungsvarianten. UBAG und INVEKOS (o. b. M.) bilanzieren bei diesem Schritt bei Variante 1 und 3 noch negativ. Durch die Summierung der Wirtschaftsdünger-Fracht bilanzieren diese Flächen ausgeglichen bis positiv.

Tabelle 49: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| Maßnahmen | kg Humus-C ha^{-1} | | | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -98 | 4 | -146 | 286 | 276 | 276 | 286 | 276 | 276 | 234 |
| UBAG + Verzicht | -130 | -41 | -163 | 406 | 401 | 401 | 406 | 401 | 401 | 674 |
| Verzicht | -116 | -45 | -135 | 375 | 370 | 370 | 375 | 370 | 370 | 663 |
| UBAG | -248 | -50 | -348 | 228 | 215 | 215 | 228 | 215 | 215 | 123 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -201 | 39 | -360 | 143 | 135 | 135 | 143 | 135 | 135 | 345 |

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Tabelle 50: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 188 | 280 | 130 | 422 | 514 | 364 |
| UBAG + Verzicht | 276 | 360 | 238 | 951 | 1.035 | 913 |
| Verzicht | 259 | 326 | 236 | 923 | 989 | 899 |
| UBAG | -19 | 166 | -132 | 104 | 289 | -9 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -58 | 173 | -225 | 287 | 519 | 120 |

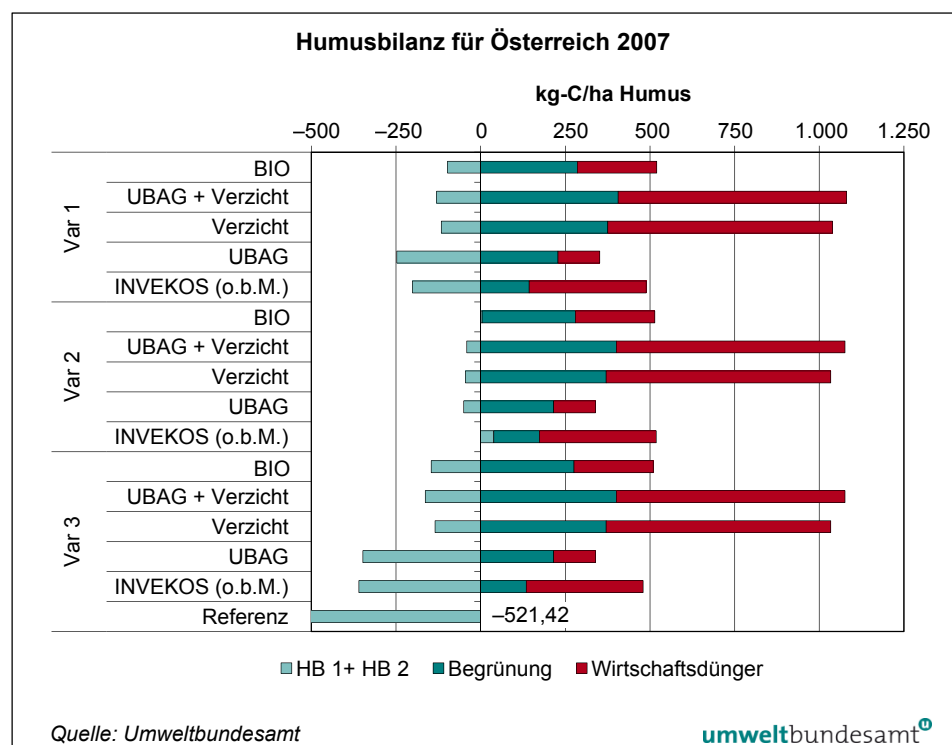


Abbildung 14: Ergebnis der Humusbilanz für Österreich 2007, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die Spannweite zwischen den einzelnen Maßnahmen pro Berechnungsvariante ist relativ weit. Die Maßnahmen BIO, UBAG + Verzicht und Verzicht bilanzieren schon nach dem Aufsummieren der Begrünung eindeutig positiv, bei UBAG und INVEKOS (o. b. M.) ist für eine positive Bilanzierung noch der Input von Wirtschaftsdünger nötig.

Die Referenz, also völlige Strohabfuhr, liegt bei -521,4 kg Humus-C ha⁻¹. Wird von einer Kulturartenverteilung wie unter INVEKOS (o. b. M.) ausgegangen und fehlt jeglicher C-Input, dann liegt die Humusbilanz in einem sehr negativen Bereich, der langfristig die Bodenfruchtbarkeit vermindert (siehe Abbildung 14).

3.3 Ergebnisse der N-Bilanzen für 2007

Die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft tragen mit etwa 70 % zu den Gesamtemissionen von Lachgas bei. Das entspricht 48 % der Gesamtemissionen aus dem Sektor Landwirtschaft (UMWELTBUNDESAMT 2009). Sie sind im Wesentlichen durch die direkte Aufbringungsmenge von organischem und mineralischem Dünger sowie den Stickstoffumsätzen im Boden (Mineralisierung, Nitrifizierung, Denitrifizierung) bedingt. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Bodenbewirtschaftung und der Emissionshöhe. Reaktiver Stickstoff (in Form von Nitrat, Ammoniak, Ammonium und Stickoxiden) ist ein zentrales Element des Pflanzenwachstums und daher auch bei der Steuerung von Erträgen bei Kulturpflanzen von Bedeutung. Effektiver und zielgerichteter Düngereinsatz stellt daher einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz dar.

In die Treibhausgasinventur (THGI) der Landwirtschaft gehen insbesondere die Mineral- und Wirtschaftsdüngermengen direkt bei der Ermittlung der Lachgasemissionen ein. Leguminosenanbau und Erntereste werden ebenso berücksichtigt. Einige ÖPUL-Maßnahmen – wie Biolandbau und Verzicht – sehen ein Verbot von Mineraldünger vor. Damit sind diese Maßnahmen auch als treibhausgasmindernd einzustufen. Die Quantifizierung dieser klimarelevanten Wirkung erfolgt in diesem Projekt über die adaptierte Stickstoffbilanzierung und die Erträge. In Abbildung 15 werden die bekannten (dunkel hinterlegt) und unbekanntes (hell hinterlegt) Teilkompartimente des Stickstoffkreislaufes dargestellt. Auf die bekannten Stellgrößen wird in der Folge Bezug genommen. Direkte Einflussmöglichkeiten durch die Bewirtschaftung sind in der Abbildung mit den Pfeilen symbolisiert. Ein wichtiger Wirkmechanismus ist in diesem Zusammenhang die Bodenbearbeitung, die auf die Stickstoff- aber auch auf die Kohlenstoffvorräte im Boden und damit auf die Mobilisierung und Verlusthöhe Einfluss nimmt.

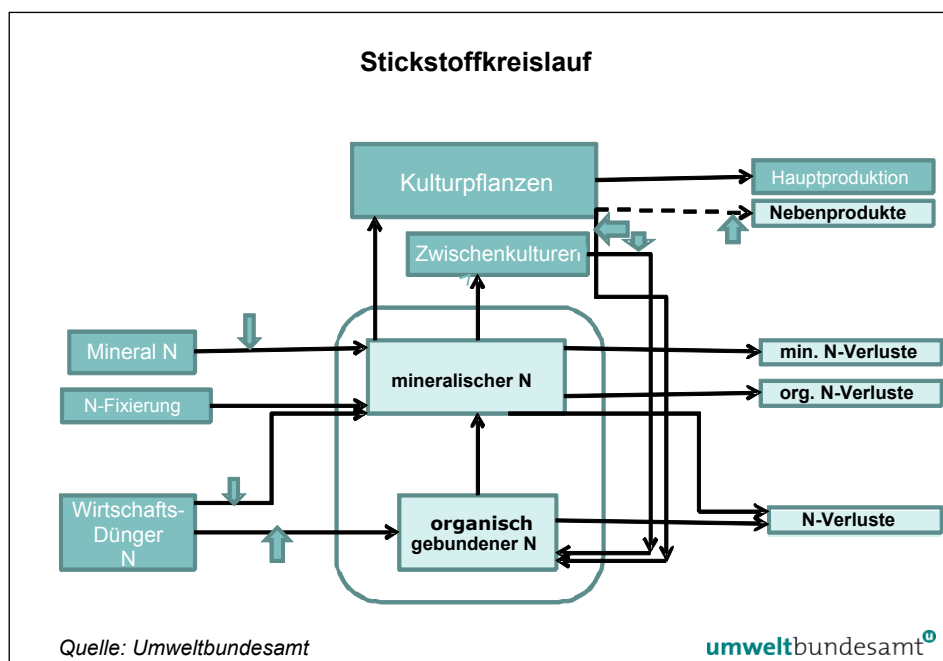


Abbildung 15: Stickstoffkreisläufe anhand der adaptierten Stickstoffbilanz.

N-Bilanz nach der OECD-Methode

Die OECD hat in Gemeinschaft mit Eurostat ein Berechnungsmodell zur Ermittlung der Bruttostickstoffbilanz von agrarischen Systemen vorgelegt. Danach wird der Verlauf der N-Bilanz als internationaler Agrar-Umweltindikator abgebildet (UMWELTBUNDESAMT 2009). Die Ergebnisse sind für Österreich in Abbildung 16 dargestellt. Seit 1995 zeigt sich ein deutlich fallender Trend der N-Bilanz, obgleich für 2007 das Niveau wieder auf jenes von 2003 anstiegen ist (ca. 43 kg N ha⁻¹ LN). Der Maximalwert lag 1992 bei ca. 61 kg N ha⁻¹ landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN), das Minimum bei ca. 24 kg N ha⁻¹ LN (2005).

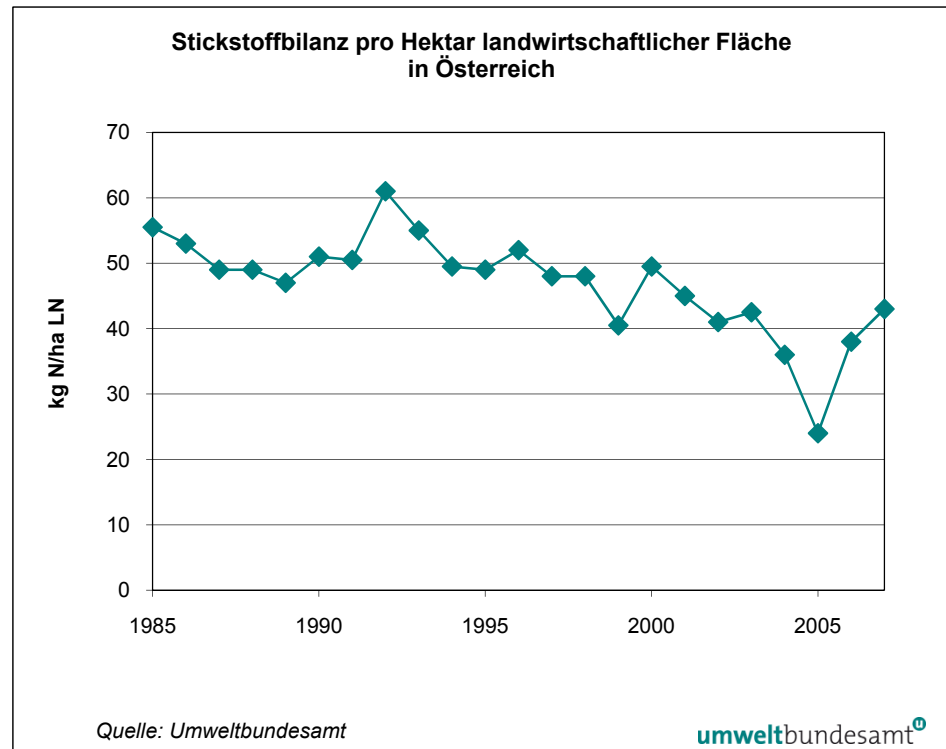


Abbildung 16: N-Bilanz von 1985–2007 in kg N pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche. (Quelle: Umweltbundesamt)

adaptierte Stickstoffbilanz

Im Gegensatz zur OECD-Methode werden bei der adaptierten N-Bilanz die N-Einträge in Beziehung zum Düngerbedarf der Kulturpflanzen gesetzt (siehe Abbildung 15). Mittels der Ertragsfunktion wurde zunächst der Bedarf der Kulturen am Ackerland ermittelt (N-Bedarf siehe Tabelle 51). Die Verteilung der Wirtschaftsdünger erfolgt nach Flächenverhältnissen analog der Humusbilanz. Die Mineraldüngermengen wurden dadurch ermittelt, dass rechnerisch die Stickstoffmengen des Wirtschaftsdüngers dem Grünland anhand der Bedarfswerte zugeordnet wurden. Das sich danach abzeichnende N-Defizit im Ackerland wurde durch Mineraldüngergaben aufgefüllt. Des Weiteren wurde die Wirkung des Leguminosenanbaus im Ackerland mit der Bezeichnung „N-Fixierung“ ermittelt. Die Einträge der sonstigen Düngemittel wie Kompost, Klärschlamm und Biogasgülle wurde entsprechend der Methoden angerechnet. Letztlich wurde auch ein Stickstoffbeitrag aus der Begrünung angesetzt. Damit ergibt sich eine Stickstoffbilanzdeckung, die einen Hinweis für die Humusneubildung, die Intensitätsstufe des Agrarsystems, aber auch für die potenziellen Stickstoffverluste liefert.

In Tabelle 51 sind die Ergebnisse der adaptierten N-Bilanz je Maßnahme dargestellt. Es zeigt sich, dass die Düngung der Kulturpflanzen in der konventionellen Landwirtschaft zum überwiegenden Teil aus Mineraldünger (ca. 23.000–53.300 t N) gedeckt wird, ein beachtlicher Teil aber auch aus organischen Stoffströmen stammt. Bei den organisch orientierten Maßnahmen Biolandbau und Verzicht sind auch die Tierhaltung, N-Fixierung durch Leguminosen und andere organische Dünger (z. B. Kompost) von großer Bedeutung. Einen beachtlichen Beitrag liefern offensichtlich auch die Begrünungsflächen. Die Ertragsbildung beruht letztlich auf der Mineralisierung der Stickstoffvorräte im Boden.

Tabelle 51: Adaptierte Stickstoffbilanz, orientiert an den Bedarfsverhältnissen.

| ÖPUL-Maßnahmen | Biolandbau | Verzicht + UBAG | Verzicht | UBAG | o. b. Maßnahme | Nicht INVEKOS |
|---|---------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| N-Bedarf (t) | -7.577 | -1.176 | -416 | -73.100 | -41.986 | -14.231 |
| N-Fixierung (t) | 9.189 | 1.509 | 655 | 14.723 | 6.669 | 2.974 |
| Tierhaltung BIO (t) | 6.063 | - | - | - | - | - |
| Tierhaltung Nicht BIO (t) | - | 2.345 | 757 | 18.408 | 19.852 | - |
| Tierhaltung Nicht INVEKOS (t) | - | - | - | - | - | 954,6 |
| Mineraldünger (t) | - | - | - | 53.359 | 22.965 | 26.674 |
| Kompost (t) | 772 | 257 | 80 | 48 | - | - |
| Klärschlamm (t) | - | - | - | 912 | 457 | 139 |
| Biogas (t) | 1.262 | 36 | 12 | 1.942 | 630 | 229 |
| N-Begrünung (t) | 5.339 | 532 | 165 | 19.208 | 4.664 | - |
| Gesamtüberschuss(t) | 15.049 | 3.504 | 1.254 | 35.501 | 13.253 | 16.741 |
| Gesamtaufkommen(t) | 22.626 | 4.680 | 1.671 | 108.602 | 55.240 | 30.972 |
| Bilanzabdeckung kg N ha⁻¹ | 106 | 192 | 207 | 43 | 41 | 145 |
| Aufkommensverteilung in % | | | | | | |
| N-Fixierung | 40,6 | 32,3 | 39,2 | 13,6 | 12,1 | 9,6 |
| Tierhaltung BIO | 26,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Tierhaltung Nicht BIO | 0,0 | 50,1 | 45,3 | 17,0 | 35,9 | 0,0 |
| Tierhaltung Nicht INVEKOS | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,1 |
| Mineraldünger | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 49,1 | 41,6 | 86,1 |
| Kompost | 3,4 | 5,5 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Klärschlamm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,8 | 0,5 |
| Biogas | 5,6 | 0,8 | 0,7 | 1,8 | 1,1 | 0,7 |
| N-Begrünung | 23,6 | 11,4 | 9,9 | 17,7 | 8,4 | 0,0 |

Die Bilanzabdeckung in kg N ha⁻¹ zeigt bei den organisch geführten Maßnahmen Biolandbau mit 106 kg N ha⁻¹ und Verzicht mit 207 kg N ha⁻¹ eine hohe organisch bedingte Fruchtbarkeit für die Kulturpflanzen, aber auch für die Humusneubildung. Dagegen sind in den mineralisch dominierten Maßnahmen UBAG und nicht betrachtete Maßnahmen die Abdeckungen trotz hoher Mineraldünger-menge wesentlich geringer.

Die Ergebnisse in Tabelle 51 sind Basis für die Einschätzung der ÖPUL-Maßnahmen hinsichtlich des reduzierten Mineraldüngerbedarfs und damit der reduzierten N-Emissionen. Gleichzeitig werden diese Ergebnisse zur Beschreibung der N- und C-Rückflüsse in die Böden verwendet, um die Ergebnisse der Humusbilanzierung zu verifizieren. Diese Ergebnisse sind nachfolgend beschrieben.

Wirkung der ÖPUL-Maßnahmen auf die N-Bilanz

Basierend auf den Berechnungen der adaptierten N-Bilanz wurden drei Szenarien postuliert und berechnet. Bei den Szenarien wurden keine Änderungen der Kulturarten (Fruchtfolgen) berücksichtigt, obwohl vor allem bei Biolandbauflächen die Anteile von „Cash Crops“ wie Getreide und z. B. Gemüse zulasten der Leguminosenflächen deutlich zunehmen könnten. Damit ist die vorgelegte Abschätzung als konservativ einzustufen. Die Szenarien sind im Kapitel 2.5 beschrieben.

Tabelle 52: Übersicht über die Szenarien 1 bis 3 und der damit verbundene Mineraldüngerbedarf (in t N) sowie Treibhausgasemissionen (in t CO₂äquiv.).

| | 2007 | Szenario 1 | Szenario 2 | Szenario 3 |
|--|-------|------------|------------|------------|
| Biolandbau | | | | |
| Fläche (%) BIO/Nicht BIO | 100/– | –/100 | –/100 | 50/50 |
| Mineraldünger N (t) | | –/3.603 | –/9.957 | 0/4.978 |
| CO ₂ äquiv. (t) | | 35.003 | 96.731 | 48.365 |
| CO ₂ äquiv. in % der Gesamtemission Sektor 4* | | 0,5 | 1,3 | 0,6 |
| Verzicht im Ackerbau | | | | |
| Fläche (%) Verzicht/Nicht Verzicht | 100/– | –/100 | –/100 | –/100 |
| Mineraldünger N (t) | | 15 | 74 | 74 |
| CO ₂ äquiv. (t) | | 146 | 719 | 719 |
| CO ₂ äquiv. in % der Gesamtemission Sektor 4* | | 0,0 | 0,01 | 0,01 |
| UBAG im Ackerbau | | | | |
| Fläche (%) UBAG/Nicht UBAG | 100/– | –/100 | –/100 | –/100 |
| Mineraldünger N (t) | | 0 | 8.519 | 8.519 |
| CO ₂ äquiv. (t) | | 0 | 82.761 | 82.761 |
| CO ₂ äquiv. in % der Gesamtemission Sektor 4* | | 0 | 1,1 | 1,1 |
| Summe THG | 0 | 35.003 | 180.210 | 131.845 |
| CO ₂ äquiv. in % der Gesamtemission Sektor 4* | 0 | 0,5 | 2,4 | 1,7 |

* Gesamtemissionen Sektor 4 = 7.788 Gg CO₂

Die Ergebnisse in Tabelle 52 zeigen, dass ohne ÖPUL-Programm die vermehrte Verwendung von Mineraldünger zu einer Zusatzemission an THG führen würde. Die verhinderten Treibhausgasemissionen der ÖPUL-Maßnahmen Biolandbau, Verzicht im Ackerland und UBAG kann damit quantifiziert werden. Je nach Szenario würden die zusätzlichen Emissionen zwischen 35.003 und 180.210 t CO₂äquiv. liegen. Entlang des Szenarios 3 müssten ca. 131.845 t CO₂äquiv. der Wirkung der Maßnahmen BIO, Verzicht und UBAG zugeschrieben werden. Die THG-reduzierende Wirkung der einzelnen Maßnahmen, bezogen auf die Fläche, folgt der Reihenfolge: BIO > Verzicht > UBAG.

Die Ergebnisse der adaptierten N-Bilanz in Tabelle 52 zeigen des Weiteren, dass beachtliche Mengen, rund 22.000 t N (für BIO) bzw. 55.000 t N (für UBAG-Gesamtaufkommen abzüglich Mineraldüngermengen) an Stickstoff über die organischen Materialien auf den Boden gelangen. Das Ausmaß ist, bezogen auf die einzelne Maßnahmenfläche, allerdings unterschiedlich. Biolandbau wird zum Beispiel bis zu 23 % aus den Begrünungsflächen und etwa 40 % aus dem Leguminosenanbau mit Stickstoff versorgt, dagegen werden in den UBAG, sonstigen Maßnahmenflächen und Nicht INVEKOS-Flächen bis zu 86 % des N aus der mineralischen Düngung geliefert. Die Stickstoffmengen dienen einerseits zur Versorgung der Kulturen, andererseits aber auch zum potenziellen Aufbau von Humus. Zu berücksichtigen sind die potenziellen N-Verluste, die mit der Höhe der Deckung der N-Bilanz und dem geringen Anteil an organisch gebundener Stickstoffform wahrscheinlich ansteigen können. Abzulesen ist dies auch an der unterschiedlichen Bilanzdeckung (kg N ha^{-1}) je ha der Maßnahmenflächen (siehe Tabelle 51). Organisch orientierte Maßnahmen wie Biolandbau und Verzicht haben eine hohe organisch gebunden Bilanzdeckung von bis zu 106 kg N ha^{-1} , mineralisch betonte sonstige Flächen dagegen niedrige Bilanzzahlen von bis zu 41 kg N ha^{-1} , weil die Versorgung mit mineralischem Stickstoff lediglich auf den Bedarf der Kulturen abgestimmt ist und eine Überversorgung rasch zu hohen N-Verlusten führen würde. Humusabbau ist damit wahrscheinlich verbunden, jedenfalls ist keine Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Boden in den mineralisch gedüngten Flächen zu erwarten. Dazwischen liegen die UBAG-Flächen, die sowohl mineralisch gedüngt werden als auch einige N-Anteile in der Begrünung aufweisen. Es kann daher von einem mineralisch/organischen Anbausystem gesprochen werden. In Summe bewirkt dieses Mischsystem jedenfalls eine Effizienzerhöhung der mineralischen Düngung (HÜLSBERGEN 2009). Bezüglich der Humuswirkung kann eher eine neutrale Stellung abgeleitet werden.

**Stickstoffrückflüsse
aus organischen
Materialien auf den
Boden**

Die Wirkung der erhöhten Kohlenstoffflüsse der Böden bei klimaschonenden Maßnahmen wird durch die Stickstoffflüsse mitbestimmt. Geringe Gehalte organisch gebundenen Stickstoffs führen zu einem reduzierten Kohlenstoffabbau der Biomasse in Humus. Organische Materialien mit höherem Anteil an organisch eingebundenem Stickstoff stellen somit eine bessere Voraussetzung für die Erhöhung der Humusgehalte in den Böden dar. Das Ausmaß der Zunahme ist allerdings abhängig davon, wie weit der jeweilige Standort vom standorttypischen Humusgehalt entfernt ist. Je weiter der Abstand zu diesem standorttypischen Gehalt, desto höher ist die potenzielle Zunahme einzuschätzen (HÜLSBERGEN 2009). In Bezug auf die Humusmehrung und -zehrung wird dem Verhältnis Kohlenstoff zu Stickstoff in den Stoffflüssen auf den Boden eine Indikatorfunktion zugesprochen.

**Kohlenstoffflüsse
auf den Boden –
C/N-Verhältnisse**

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Ergebnisse

Tabelle 53: Kohlenstoffflüsse auf den Boden in t bzw. C/N-Verhältnisse der organischen Stoffflüsse.

| | BIO | Verzicht + UBAG | Verzicht | UBAG | ohne Maßnahmen | Nicht INVEKOS |
|----------------------------------|---------|-----------------|----------|-----------|----------------|---------------|
| Erntereste (t) | 90.509 | 7.728 | 1.364 | 1.783.894 | 701.976 | 300.978 |
| C aus N-Fixierung (t) | 60.514 | 12.693 | 5.485 | 129.216 | 56.560 | 24.821 |
| Tierhaltung BIO (t) | 119.058 | – | – | – | – | – |
| Tierhaltung Nicht BIO (t) | – | 23.877 | 7.752 | 133.417 | 121.655 | – |
| Tierhaltung Nicht INVEKOS (t) | – | – | – | – | – | 22.817 |
| Kompost (t) | 42.894 | 14.293 | 4.4628 | 2.691 | – | – |
| Klärschlamm (t) | – | – | – | 17.059 | 8.627 | 3.674 |
| Biogas (t) | 2.230 | 573 | 189 | 25.408 | 10.150 | 3.624 |
| C-Begrünung (t) | 88.992 | 13.301 | 4.133 | 480.209 | 125.437 | – |
| C-Gesamtaufkommen (t) | 404.198 | 72.467 | 23.389 | 2.571.896 | 1.024.407 | 355.915 |
| Bilanz kg C ha ⁻¹ | 2.847 | 3.973 | 3.873 | 3.180 | 3.171 | 3.085 |
| C/N-Verhältnis organ. | 17,9 | 15,5 | 14,0 | 46,6 | 31,7 | 82,8 |
| C/N-Verhältnis N Input insgesamt | 17,9 | 15,5 | 14,0 | 23,7 | 18,5 | 11,5 |
| Aufkommensverteilung in % | | | | | | |
| Erntereste | 22,4 | 10,7 | 5,8 | 69,4 | 68,5 | 84,6 |
| C aus N-Fixierung | 15,0 | 17,5 | 23,5 | 5,0 | 5,5 | 7,0 |
| Tierhaltung BIO | 29,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Tierhaltung Nicht BIO | 0,0 | 32,9 | 33,1 | 5,2 | 11,9 | 0,0 |
| Tierhaltung Nicht INVEKOS | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6,4 |
| Kompost | 10,6 | 19,7 | 19,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Klärschlamm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |
| Biogas | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| C-Begrünung | 22,0 | 18,4 | 17,7 | 18,7 | 12,2 | 0,0 |

Die in Tabelle 53 angeführten C-Rückflüsse zeigen in Summe zwischen den Maßnahmen eine geringere Streuung als erwartet (2.847–3.973 kg C ha⁻¹). Werden allerdings die C/N-Verhältnisse betrachtet, wird der Unterschied deutlich. Als Indikator für eine optimale Voraussetzung von Humusaufbau bzw. dem Schutz bestehender Humusgehalte wird für das C/N-Verhältnis ein Indikatorbereich von 16 ± 4 angegeben (HÜLSBERGEN 2003, adaptiert). Bei der Gesamtbeurteilung der C/N-Verhältnisse (organischer + mineralischer N) nähern sich die Kennzahlen der einzelnen Maßnahmen einander an. Davon kann abgeleitet werden, dass Biolandbau, Verzicht im Ackerbau und zum Teil UBAG als organisch orientierte Managementsysteme im Sinne von IPCC-GPG (2003) gelten können. Für die sonstigen Maßnahmen Flächen und die Nicht INVEKOS-Flächen können zwar eine hohe Bewirtschaftungsintensität, aber eine geringe organische Orientierung unterlegt werden (IPCC-GPG 2003).

Betrachtet man die Streuung der C/N-Verhältnisse in den Stoffflüssen je Maßnahmen zwischen den Bundesländern (siehe Tabelle 54) wird der Unterschied von Ackerbau- und Grünlandregionen deutlich. In Kärnten, Tirol und Vorarlberg

zeigen sich organische C/N-Verhältnisse außerhalb des Indikatorbereiches. In den Grünlandregionen werden offensichtlich auf den wenigen Ackerflächen weniger stickstoffsammelnde Pflanzen als nährstoffbedürftige Kulturen angebaut. Gleichzeitig gelangen aber beachtliche Mengen an Kohlenstoff in den Boden, so dass sich ein hoher C/N-Wert einstellen kann.

Tabelle 54: C/N-Verhältnisse der Rückflüsse für die untersuchten Maßnahmen je Bundesland und national.

| National/ regional | BIO | Verzicht + UBAG | Verzicht | UBAG | ohne Maßnahme | Nicht INVEKOS |
|---------------------------------|-------|--------------------|----------|-------|------------------|------------------|
| C/N-Verhältnis organisch | | | | | | |
| national | 17,9 | 15,5 | 14,0 | 46,6* | 31,7* | 82,8* |
| B | 17,1 | 17,4 | 13,6 | 59,6* | 43,9* | 88,3* |
| K | 22,6* | 13,2 | 12,3 | 21,2* | 48,6* | 41,8* |
| NÖ | 17,4 | 17,5 | 14,9 | 59,8* | 26,4* | 109,1* |
| OÖ | 21,0* | 14,7 | 14,2 | 33,9* | 27,9* | 73,2* |
| S | 14,5 | 15,8 | 15,4 | 39,8* | 52,5* | 45,4* |
| St | 13,4 | 13,8 | 13,1 | 28,4* | 46,7* | 65,1* |
| T | 21,0* | 18,4 | 18,1 | 17,0 | 12,8 | 9,4* |
| V | 22,4* | 38,8* | 37,2* | 10,6* | 16,1 | 13,4 |
| W | 40,6* | 0,0 | 0,0 | 74,9* | 115,1* | 140,0* |
| C/N-Verhältnis total | | | | | | |
| national | 17,9 | 15,5 | 14,0 | 23,7* | 18,5 | 11,5* |
| B | 17,1 | 17,4 | 13,6 | 23,4* | 14,5 | 21,0* |
| K | 22,6* | 13,2 | 12,3 | 13,9 | 19,4 | 5,5* |
| NÖ | 17,4 | 17,5 | 14,9 | 26,6* | 18,0 | 19,5 |
| OÖ | 21,0* | 14,7 | 14,2 | 22,0* | 25,6* | 13,3 |
| S | 14,5 | 15,8 | 15,4 | 39,8* | 1,8* | 1,1* |
| St | 13,4 | 13,8 | 13,1 | 16,6 | 21,1* | 8,5* |
| T | 21,0* | 18,4 | 18,1 | 11,4* | 0,5* | 0,2* |
| V | 22,4* | 38,8* | 37,2* | 8,1* | 2,2* | 0,4* |
| W | 40,6* | 0,0 | 0,0 | 28,4* | 19,5 | 19,0 |

* C/N-Verhältnis außerhalb des Indikatorbereiches von 16 ± 4

Die Wirkungen eines C/N-Verhältnisses oberhalb des Indikatorbereiches führt in der Regel zu erhöhter Bodenbearbeitungsaktivität, um die Kohlenstoffverhältnisse dem üblichen Boden C/N-Verhältnis zwischen 9–12 anzugleichen. Andernfalls kann es zur Stickstofffestlegung kommen. Die höhere Bodenbearbeitung kann allerdings zu einem Humusabbau führen. C/N-Verhältnisse unterhalb des Indikatorbereiches bedeuten eine hohe Stickstoffpräsenz mit geringen Kohlenstoffrückflüssen. Auch dabei kann es zu Humuszehrung kommen. Betrachtet man die C/N-Verhältnisse insgesamt – abgesehen vom Indikatorbereich – wird ersichtlich, dass vor allem die UBAG-Kennzahlen sich dem Indikatorbereich annähern, jedenfalls offensichtlich ein hoher organischer Rückfluss stattfindet. Dies bestätigt die Annahme, dass UBAG als mineralisch/organische Mischmaßnahme eingestuft werden kann.

3.4 Ergebnisse des ExpertInnenworkshops

Im Rahmen des Projekts war die Abhaltung eines ExpertInnenworkshops vorgesehen, um einem fachkundigen Publikum aus Wissenschaft, Praxis und Verwaltung die Methodik und den Stand der Arbeiten des Projekts vorzustellen und diese zu diskutieren. Der Workshop fand am 25.11.2009 im Umweltbundesamt statt und wurde von 13 externen Teilnehmerinnen und Teilnehmern besucht. Zum Themenbereich der N-Bilanzierung gab es am 22.12.2010 einen gesonderten Termin im BMLFUW, bei dem auch der weitere Projektablauf besprochen wurde.

Die wichtigsten fachlichen Diskussionspunkte sind nachfolgend aufgelistet und mit entsprechenden Anmerkungen über die weitere Berücksichtigung im Projekt bzw. darüber hinaus ergänzt.

- Berechnungsvarianten der Humusbilanzierung

Die Berechnungsvarianten, von denen Variante 3 aus Feldversuchen der AGES abgeleitet wurde, wurden von den ExpertInnen als positiv bewertet, da die Humusbilanzierung um einen konservativen Ansatz (geringste Humusanreicherung) erweitert wurde. Für eine erste Validierung der Variante 3 wurde angeregt, diese auch für andere AGES-Feldversuche zu berechnen.

Dies ist im weiteren Projektverlauf geschehen, die Ergebnisse sind im Kapitel 3.1.2 dargestellt.

- Anwendbarkeit weiterer einfacher Modelle auf regionaler/nationaler Ebene

Modelle, die Standortparameter (z. B. Klima, Boden) mit einbeziehen, sind komplexer und für eine großflächige Hochrechnung nur schwer anwendbar. REPRO ist jedenfalls zu komplex. Derzeit gibt es keine besseren einfachen Modelle. Zur Validierung der Ergebnisse der Humusbilanzierung kann das REPRO- oder CANDY-Modell herangezogen werden. Erfahrung bestehen zu diesen Modellen auf der BOKU bzw. in der AGES.

- Berücksichtigung von Standorteigenschaften und der Bodenbearbeitung bei der Humusbilanzierung

Standorteigenschaften und Bodenbearbeitung werden in einfachen Humusbilanzierungsmodellen noch nicht berücksichtigt. Diese finden derzeit nur in komplexen, aufwändigen Modellen Eingang. Ergebnisse der AGES-Auswertungen zeigen, dass die unterschiedlichen Varianten eine Abschätzung der Spannweite von Humusveränderungen durch unterschiedliche Bodenbewirtschaftung ermöglichen.

- Gewichtung der Begrünung

Die Gewichtung der Begrünung wird in diesem Projekt entsprechend den vorhandenen Humusbilanzierungsmodellen durchgeführt (siehe Kapitel 2.6.1.2). Dabei werden bereits unterschiedliche Zeiträume der Begrünung berücksichtigt. Dies führt möglicherweise zu einer Überschätzung der Humusanreicherung, wodurch die Humusbilanz deutlich verändert wird. Die Einstufung der Begrünung sollte anhand von Feldversuchen künftig validiert werden.

- Überprüfung der Strohreproduktionsfaktoren

Die Reproduktionsfaktoren ändern sich stark, wenn Boden vom natürlichen Gleichgewicht weit entfernt ist. Je näher Böden am Gleichgewicht sind, desto stärker werden Reproduktionsfaktoren überschätzt. (stärkere Humusrepro-

duktion von Stroh bei Mangel an C_{org} im Boden, bzw. weniger Humusproduktion von Stroh bei verhältnismäßigem Überschuss an C_{org} im Boden). Die im VDLUFA vorgesehenen Strohereproduktionsfaktoren sollten für unterschiedliche klimatische Regionen und unterschiedliche Bewirtschaftungsmethoden in Österreich genauer überprüft werden.

- Verbindung zwischen Ergebnissen der Humusbilanzierungen und den Mineralisierungsraten durch Bodenbearbeitung

Minimale oder reduzierte Bodenbearbeitung hat nur dann eine Auswirkung, wenn dauerhaft nicht gepflügt/nicht gewendet wird. Einfache Modelle geben darauf keine Antwort. Dies wäre über die Anwendung komplexerer Modelle (evtl. CANDY-Modell) zu überprüfen und anhand von Feldversuchen (AGES-Feldversuche, Versuche zu Minimalbodenbearbeitung-Ansätzen) zu validieren.

- Einbeziehung der INVEKOS-Daten aus 2008

Aufgrund der mangelnden Vergleichbarkeit der ÖPUL-Maßnahmen aus den Jahren 2005 und 2006 zum neuen Programm 2007 sollte der Schwerpunkt der Arbeiten auf die Jahre 2007/2008 gelegt werden.

Dieser Anregung konnte aufgrund des zusätzlichen Aufwandes der Datenaufbereitung und -auswertung, der im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen war, nicht nachgekommen werden.

Folgende Anregungen wurden für den Endbericht gegeben:

- Gewichtung der Maßnahmen bezüglich der Klimarelevanz (siehe Kapitel 3.2, 3.3 und 5)
- Auflistung der erforderlichen verbesserungswürdigen Erhebungsdaten (siehe Kapitel 5)
- Umlegung der Begrünungsmaßnahme auf die Maßnahmen BIO, Verzicht, UBAG, um eine Mehrfachverrechnung der Flächen, auf denen Klimawirksame Maßnahmen stattfinden, zu vermeiden (siehe Kapitel 3.2 und 5.2)

4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

4.1 Managementfaktoren im internationalen Vergleich

Ein Ziel dieser Arbeit war die Schaffung einer Grundlage für die Entscheidung, ob für Österreich nationale Managementfaktoren oder die in den IPCC-GPG (2003) vorgegebenen Werte für die Erfüllung der Berichtspflichten zur Treibhausgasinventur verwendet werden sollen. Die Auswertung des umfangreichen Datenmaterials von Langzeitversuchen der AGES hat ergeben, dass die im Versuch ermittelten C_{org} -Änderungen durch folgende Bewirtschaftungsmaßnahmen mit den vorgeschlagenen IPCC-Managementfaktoren (IPCC-GPG 2003) vergleichbar sind:

- Bodenbearbeitung (*tillage*)
- Abfuhr der Ernterückstände (*low input*)
- Gründüngung (*high input without manure*)

Eine schlechtere Übereinstimmung konnte bei der Anwendung von organischen Düngern (z. B. Stallmist: *high input with manure*) festgestellt werden.

Die in Einzelversuchen ermittelten Unsicherheiten für die angegebenen Managementfaktoren sind allerdings größer als jene, die im Methodenhandbuch angeführt sind. Als Grund dafür kann angenommen werden, dass für die Ermittlung des Fehlers im IPCC-Bericht eine sehr große Anzahl an Versuchsergebnissen herangezogen wurde, die in wissenschaftlichen Journalen publiziert wurden (siehe auch Literaturliste in IPCC-GPG 2003). Da diese Unsicherheiten in die Treibhausgas-Bilanzierungen eingehen, wird empfohlen, für die erstgenannten Managementfaktoren mit guter Übereinstimmung die empfohlenen *default values* aus IPCC-GPG (2003) zu übernehmen – mit den angegebenen Unsicherheiten. Für den letztgenannten Inputfaktor *high input with manure* sollte eine Adaptierung auf österreichische Verhältnisse überlegt werden. Das schließt auch den Umstand mit ein, dass im Durchschnitt relativ moderate Stallmismengen auf Ackerland aufgebracht werden. Allerdings sollten für eine Herabsetzung des Faktors alle in Österreich vorhandenen geeigneten Feldversuche ausgewertet werden.

Zudem sollte ermittelt werden, wie sich andere Input-Maßnahmen ohne Stallmist, etwa die Kompostanwendung, auf die Erhöhung des organischen Kohlenstoffs auswirken. Dabei ist allerdings nicht nur der Gesamtgehalt, sondern auch die Qualität bzw. Stabilität der organischen Substanz zu berücksichtigen. Auch dafür könnten vorhandene Versuchsdaten ausgewertet werden, z. T. in der AGES, aber auch in anderen Institutionen, etwa in der Bioforschung Austria.

4.2 Anwendbarkeit der Humusbilanzierung auf den Dauerversuchsflächen der AGES

In der Untersuchung wurde anhand von Daten aus Langzeitversuchen der AGES überprüft, inwieweit die rechnerischen Ergebnisse unterschiedlicher Varianten der Humusbilanzierungsmethode nach VDLUFA (2004) mit den gemessenen Humusveränderungen übereinstimmen. Dabei wurden folgende Bewirt-

schaftungsmaßnahmen berücksichtigt: Bodenbearbeitung, Einarbeitung der Ernterückstände (und Zwischenfrucht) sowie organische Düngung mit Stallmist. Es konnte festgestellt werden, dass – mit Ausnahme des IOSDV-Versuchs – die mit unterschiedlichen Varianten gerechneten und die gemessenen Humussalden größenordnungsmäßig vergleichbar sind.

Bei intensiver konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug) waren die gemessenen C_{org} -Abnahmen höher als die bilanzierten. Die beste Übereinstimmung brachte die Variante 3 der Humusbilanzierung. Bei der Minimalbodenbearbeitung (Frässaat) lagen die gemessenen Differenzen zwischen den Ergebnissen der Bilanzierungsvariante 1 und 2.

Bei Versuchen, in denen Erntereste langjährig vom Feld abgefahren werden, fielen die gemessenen C_{org} -Abnahmen geringer aus als die bilanzierten (Versuch 2 Marchfeld, Versuch 4 Marchfeld und Alpenvorland) oder stimmten gut mit Bilanzierungsvariante 2 überein (Versuch 2 Waldviertel). Die anderen Analyseergebnisse zeigten wechselnde Übereinstimmungen mit den Bilanzierungsergebnissen der Varianten 1 und 2 oder befanden sich zwischen den Humusbilanzierungsergebnissen der Varianten 1 und 3 (Versuch 4). Keine Übereinstimmung gab es zwischen den berechneten und den gemessenen Humussalden im Versuch 5 (IOSDV-Versuch). Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass die Ausgangs- C_{org} -Gehalte mit einer anderen Methode (nasse Verbrennung) bestimmt wurden (verglichen mit den letzten Analyseergebnissen (trockene Verbrennung)) und der konventionelle Umrechnungsfaktor (1,30) in diesem Fall zu niedrig angesetzt ist. Auch sind die Beprobungsintervalle als zu hoch einzustufen. Um verlässliche Aussagen zu erhalten, müsste zumindest jedes dritte, besser noch jedes zweite oder jedes Jahr beprobt werden.

Aus den vorgestellten Ergebnissen geht hervor, dass die Bilanzierungsvarianten im Großen und Ganzen eine realistische Abschätzung der möglichen Spannweite von Humusveränderungen durch unterschiedliche Bodenbewirtschaftung angeben. Es treten wechselnde Übereinstimmungen bzw. Abweichungen von berechneten Humussalden und gemessenen Werten auf den unterschiedlichen Feldversuchen bzw. Standorten auf. Daher kann nicht unbedingt eine bestimmte Bilanzierungsvariante empfohlen werden, etwa in Abhängigkeit von Bodenart und Klima. Allerdings ist dafür die Anzahl der Versuche im jeweiligen Klimagebiet zu gering. Zudem sind die Veränderungen (bezogen auf C_{org} -Gehalte) relativ klein und die Unsicherheiten in der Messung relativ groß. Dadurch werden die zum Teil großen Humusbilanzunterschiede zwischen den Bilanzierungsvarianten relativiert.

Aus den Ergebnissen der Langzeitversuche der AGES (Humusbilanzierungen und Messungen der C_{org} -Gehalte) kann abgeleitet werden, dass ausgewählte Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Minimalbodenbearbeitung, Einarbeitung der Ernterückstände, Begrünungen, organische Düngung mit Stallmist), die auch in ÖPUL-Maßnahmen ihren Niederschlag finden, langfristig zu einer geringeren Abnahme bzw. Stabilisierung führen, zum Teil auch zu einer Zunahme der C_{org} -Gehalte des Bodens.

4.3 Anwendbarkeit der Humusbilanzierung auf regionaler bzw. nationaler Ebene

Für die Berechnungen der Humusbilanzen auf regionaler bzw. nationaler Ebene wurden die notwendigen Eingangsdaten (Kulturarten, Begrünung, organische Düngung) je nach betrachteten Maßnahmen auf Bundesländerebene aggregiert. Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungsschritte der Humusbilanz stellen jeweils einen Durchschnittswert für das jeweilige Bundesland dar. Eine Aufsummierung der Teilergebnisse zu einer Gesamtbilanz führt daher auf regionaler bzw. nationaler Ebene zwangsläufig zu anderen Kenngrößen als auf Ebene einzelner Feldversuche. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss dieser Umstand mitberücksichtigt werden, das Bewertungsschema nach VDLUFA ist daher nur bedingt anwendbar.

Die Ergebnisse der einzelnen Teilschritte der Humusbilanzierung lassen aber zwischen den Bundesländern bzw. auf nationaler Ebene in den Jahren 2005, 2006 und 2007 relative Aussagen zur Humuszehrung bzw. -mehrerung, je nach ausgewählter Maßnahme und Berechnungsvariante, zu.

4.3.1 Ergebnisse auf regionaler und nationaler Ebene 2007

Humuszehrung bzw. -mehrerung durch Kulturarten und Einarbeitung der Ernterückstände

Im ersten Berechnungsschritt der Humusbilanzierung werden die humuszehrenden bzw. -mehrenden Eigenschaften der angebauten Kulturen sowie die Wirkung der Einarbeitung von Ernterückständen, die am Feld verbleiben, berücksichtigt.

Obwohl für die Berechnungen die Annahme getroffen wurde, dass zwei Drittel des anfallenden Stroh (Getreide) bzw. bei Zuckerrübe die gesamte Blattmasse am Feld verbleiben, bilanzieren die Varianten 1 und 3 mit einem geringen Strohreproduktionsfaktor für alle ausgewählten Maßnahmen (BIO, Verzicht und UBAG) und in allen Bundesländern im negativen Bereich (-11 bis -565 kg Humus C $ha^{-1} a^{-1}$). Bei Variante 2, die in Deutschland zum Teil verpflichtend nach Cross Compliance zu rechnen ist (siehe Kapitel 2.3) und eine geringere Humuszehrung der Kulturen und eine höhere Humuswirkung von Stroh unterstellt, liegt die Bilanz für die Maßnahme BIO in drei Bundesländern (Bgld, NÖ, OÖ), für die Maßnahme Verzicht in 2 Bundesländern (NÖ, Vbg) und für UBAG in OÖ im ausgeglichenen (positiven) Bereich (4 – 37 kg Humus C $ha^{-1} a^{-1}$). Mit dieser Variante bilanzieren auch die restlichen INVEKOS-Flächen (o. b. M.) in Kärnten, der Steiermark und in Oberösterreich positiv (39 bzw. 134 kg Humus C $ha^{-1} a^{-1}$). Auffällig ist die starke Humuszehrung der Kulturen in Salzburg und Vorarlberg. Während in Salzburg kaum Unterschiede zwischen den Maßnahmen beobachtet werden können, errechnet sich für Vorarlberg vor allem bei UBAG und INVEKOS (o. b. M.) eine stark negative Bilanz. Dies kann einerseits damit begründet werden, dass 2007 im Vergleich zu den anderen Bundesländern verhältnismäßig mehr humuszehrende Kulturen (Getreide, Erdäpfel, Silomais, dabei werden große Teile der Biomasse genutzt, dies wird in der Humusbilanz berücksichtigt) und weniger humusmehrende Kulturen (v. a. Klee gras, Luzerne) als Hauptkulturen angebaut wurden. Andererseits haben bei einem geringen Flächenanteil einer Maßnahme (z. B. Verzicht in Vbg.) die angebauten (humuszehrenden) Kulturen einen größeren Einfluss auf das Ergebnis.

Die Unterschiede der humuszehrenden bzw. -mehrenden Wirkung der Kulturen sind zwischen den ausgewählten Maßnahmen in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Die Maßnahme BIO zeigt im Burgenland, in Oberösterreich und Wien eine deutlich geringere humuszehrende Wirkung als die anderen Maßnahmen. In Niederösterreich, der Steiermark und in Vorarlberg wird dies durch die Maßnahme Verzicht erreicht. Berücksichtigt werden muss die unterschiedliche Betriebsstruktur zwischen BIO (viele Marktfruchtbetriebe mit Getreide und Gemüse, aber ohne Tiere) und Verzicht (viele Acker-Grünlandmischbetriebe mit Tierhaltung), die sich deutlich auf die Bilanzierungsergebnisse auswirkt. UBAG hingegen weist in den meisten Bundesländern eine hohe Humuszehrung auf und liegt in der Größenordnung jener Betriebe, die keine der klimawirksamen Maßnahmen gewählt haben.

Wie stark sich die Humuszehrung der Kulturen ohne Einarbeitung von Ernterückständen auswirken würde, verdeutlichen die Angaben der Referenzwerte. Diese liegen im stark zehrenden Bereich von -394 bis -673 kg Humus C $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Die regionalen bzw. nationalen Ergebnisse zur Humuswirkung der Kulturen und zur Einarbeitung der Ernterückstände zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus dem AGES-Feldversuch 2 (siehe Kapitel 3.1.2.2). Generell kann daher abgeleitet werden, dass das Belassen der Ernterückstände am Feld ohne weitere Maßnahmen wie organische Düngung oder Begrünung keine Aufrechterhaltung der Humusgehalte gewährleisten kann. In der Regel wird sogar ein Humusabbau bewirkt.

Im zweiten Berechnungsschritt der Humusbilanzierung wird die humusmehrende Wirkung von Begrünungsmaßnahmen berücksichtigt. Da die Maßnahme Begrünung mit anderen ÖPUL-Maßnahmen kombiniert werden kann, wurde der Begrünungsanteil je ausgewählter Maßnahme (BIO, Verzicht, UBAG, UBAG + Verzicht) aus der INVEKOS-Datenbank ausgewertet. Die verschiedenen Begrünungsvarianten wurden in der Bilanzierung unterschiedlich gewichtet. Der Begrünungsanteil dieser Maßnahmen liegt regional zwischen 35 und 55 % (national 39 %) und unterscheidet sich in den einzelnen Bundesländern oft nur geringfügig. Ackerflächen, die keiner der ausgewählten Maßnahme zugeordnet sind, weisen in allen Bundesländern deutlich geringere Begrünungsanteile auf (8–35 %).

Begrünung

Wird die humusmehrende Wirkung der Begrünungsmaßnahmen in der Humusbilanz der ausgewählten Maßnahmen berücksichtigt, bilanzieren BIO und Verzicht in allen Bundesländern und für alle drei Berechnungsvarianten im positiven (ausgeglichenen bis hohen) Bereich (91 bis 514 kg Humus C $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Die Ergebnisse für UBAG zeigen, dass durch die Begrünung die Humuszehrung der Kulturen nicht zur Gänze ausgeglichen werden kann, zum Teil wird hier negativ bilanziert (-183 bis 268 kg Humus C $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$).

Im dritten Berechnungsschritt der Humusbilanzierung wird die Humuswirkung durch Aufbringung von Wirtschaftsdünger berücksichtigt. Da keine Informationen über die tatsächlichen Aufbringungsmengen von Stallmist bekannt sind, wurde für die Berechnung auf regionaler bzw. nationaler Ebene u. a. angenommen, dass die je nach Maßnahme bei den Betrieben anfallenden Stallmistmengen auch auf den Flächen dieser Betriebe ausgebracht werden. Zudem wurde unterstellt, dass der Stallmist zu gleichen Anteilen auf Grünland und Acker ausgebracht wird. Diese Annahmen führen dazu, dass vor allem bei den Maßnahmen Verzicht sowie UBAG + Verzicht in den Bundesländern mit höheren Tierhal-

Wirtschaftsdünger

tungszahlen die errechnete Humuswirkung durch organische Düngung sehr hoch ist (z. B. in Tirol $773 \text{ kg Humus C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die Werte sind per se nicht unrealistisch, unterstellen im Durchschnitt allerdings doch eine hohe Aufbringungsmenge von ca. $11\text{--}14 \text{ t ha}^{-1}$ an organischem Material. UBAG bilanziert trotz Berücksichtigung von Wirtschaftsdünger bei Variante 3 im Burgenland, in Niederösterreich und Wien im negativen Bereich (-74 bis $-244 \text{ kg Humus C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Eine Verbesserung der Abschätzung lässt sich nur durch eine genauere Datenlage erzielen.

Von den Ergebnissen kann allerdings abgeleitet werden, dass bei der Maßnahme UBAG generell weniger organischer Dünger eingesetzt wird. Vor allem die stark ackerbaulich dominierten Bundesländer im Osten Österreichs zeigen im Durchschnitt einen deutlich geringeren Einfluss der Humuswirkung durch Stallmist. Der Einfluss der organischen Düngung auf die Humusbilanzierung wird auch auf Feldversuchsebene (siehe Kapitel 3.1.2.3) deutlich.

Gesamtergebnis der HB

Bei der zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse der Humusbilanzierung kann festgehalten werden, dass die Maßnahmen BIO und Verzicht im Durchschnitt für alle Bundesländer im positiven (z. T. erhöhten) Bereich bilanzieren. Damit kann eine organische, humuskonservierende bzw. humusaufbauende Bewirtschaftungsweise unterstellt werden, die einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz darstellt. Die Maßnahme UBAG bilanziert hingegen v. a. in den Bundesländern mit geringeren Tierhaltungszahlen (z. B. Burgenland, NÖ) im negativen Bereich. Hier müsste die Bedeutung für den Klimaschutz noch durch zusätzliche Maßnahmen bzw. Kontrollmessungen abgesichert werden.

4.3.2 Vergleich der Ergebnisse auf nationaler Ebene für die Jahre 2005–2007

Der Vergleich zwischen den Jahren 2005, 2006 und 2007 kann nur mit Einschränkungen gezogen werden, da sich die Maßnahmen der Jahre 2005 und 2006 von den Maßnahmen 2007 teilweise unterscheiden. BIO und Verzicht sind bei allen drei Jahren unverändert, die Maßnahme Reduktion (2005 und 2006) kann für 2007 auf die Maßnahme UBAG umgelegt werden. Die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht, wie auch die Maßnahme Untersaat, tritt 2007 erstmals auf. Beim Vergleich und bei der Interpretation der Ergebnisse der drei Jahre werden diese Änderungen berücksichtigt.

Die Humusbilanzen HB 1 und HB 2 der betrachteten Jahre zeigen die gleiche Maßnahmenreihung und vergleichbare Zahlenwerte. Die Maßnahme BIO weist die geringste Humuszehrung auf, gefolgt von Verzicht. Bei Reduktion bzw. UBAG wird eine höhere Humuszehrung bilanziert. Der C-Input durch Begrünung steigt von 2006 auf 2007 bei allen Maßnahmen deutlich an, da der ab 2007 angebotenen Begrünungsvariante H ein hoher C-Input zugeschrieben wurde. Am höchsten bilanziert die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht ($401\text{--}406 \text{ kg Humus C ha}^{-1}$) und Verzicht ($370\text{--}375 \text{ kg Humus C ha}^{-1}$) bei Begrünungen, aber auch bei Wirtschaftsdünger (bis zu $674 \text{ kg Humus C ha}^{-1}$). Für die Jahre 2005 und 2006 weist die Verzichtmaßnahme die höchsten Wirtschaftsdüngerfrachten auf (2005: $603 \text{ kg Humus C ha}^{-1}$, 2006: $481 \text{ kg Humus C ha}^{-1}$).

Wird zur Zehrung der Kulturen die Begrünung aufaddiert, so bilanzieren BIO, UBAG + Verzicht sowie Verzicht für 2007 positiv, UBAG negativ. Das entspricht den Ergebnissen für 2006, hier bilanzieren BIO und Verzicht positiv, Reduktion wie auch UBAG für 2007 negativ. Für 2005 liefern alle Maßnahmen je nach betrachteter Berechnungsvariante auch negative Werte. Das resultiert einerseits aus der Zehrung der Kulturen und andererseits aus dem geringeren C-Input aus den Begrünungen. Der Beitrag aus den Begrünungen ist für die Jahre 2005 und 2006 geringer, da beispielsweise die Begrünungsvariante H noch nicht angeboten wurde. Wird die Wirtschaftsdüngerfracht aufaddiert, so ergeben sich bei allen Varianten (außer Variante 3 bei UBAG/Reduktion) positive Humusbilanzen. Die Humussalden liegen bei Variante 3 in Größenordnungen von -9 bis 913 kg Humus C ha⁻¹ für 2007, zwischen -111 bis 462 kg Humus C ha⁻¹ im Jahr 2006 und im Bereich -85 und 498 kg Humus C ha⁻¹ im Jahr 2005.

4.4 Einfluss der N-Bilanz und deren Auswirkung auf Humusmehrung bzw. -zehrung

Für die Berechnungen der N- und C-Bilanzen auf regionaler bzw. nationaler Ebene wurden die notwendigen Eingangsdaten (Kulturarten, Leguminosen, Begrünung, Wirtschaftsdünger und sonstige organische Düngung) je nach betrachteter Maßnahme auf Bundesländerebene aggregiert. Die Ergebnisse der adaptierten N-Bilanz stellen eine Abschätzung der Kohlenstoff- und Stickstoffströme auf den Boden auf regionaler bzw. nationaler Ebene dar. Diese Stoffströme haben einen wesentlichen Einfluss auf die landwirtschaftliche Ertragsbildung. Die Ergebnisse der N- und C-Bilanzen stellen in Summe einen durchschnittlichen Wert des C/N-Verhältnisses je Bundesland dar.

Die adaptierte Stickstoffbilanz wurde zusätzlich zur Ermittlung der vermiedenen Mineraldüngermengen durch die Maßnahmen Biolandbau, Verzicht und UBAG verwendet. Dabei zeigt sich durch die Anwendung von drei hypothetischen Szenarien, dass die eingesparten Mineraldüngermengen mindestens 1 % der Treibhausgase aus der Landwirtschaft reduzieren. Die Berechnung basierte auf einer konservativen Abschätzung, so dass die tatsächliche Treibhausgas-Reduktion wahrscheinlich etwas höher liegt.

In den Berechnungsschritten der N- und C-Bilanzierung werden die Eigenschaften der angebauten Kulturen sowie die Wirkung der Einarbeitung von Ernterückständen, die am Feld verbleiben, berücksichtigt.

Bei den Berechnungen wurde die Annahme getroffen, dass zwei Drittel des anfallenden Stroh (Getreide) bzw. bei Zuckerrübe die gesamte Blattmasse am Feld verbleiben. Ebenso wurden die Rückflüsse aus Begrünung, Kompost und Biogasproduktion einbezogen. Davon sind Stickstoff- als auch Kohlenstoffrückflüsse abgeleitet. Die Unterschiede der C/N-Verhältnisse sind zwischen den ausgewählten Maßnahmen und in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Die Maßnahme BIO zeigt im Burgenland, in Niederösterreich, Salzburg und in der Steiermark C/N-Verhältnisse, die aufgrund des gewählten C/N-Indikatorbereichs von 16 ± 4 organisch eine humusmehrnde Wirkung erwarten lassen. In Kärnten, Oberösterreich, Tirol und Wien ist dieser Bereich durch hohe Kohlenstoffmengen bzw. geringere organischen Stickstoffmengen überschrit-

Mineraldünger-Einsparung durch ÖPUL-Maßnahmen

C/N-Verhältnisse bei Humuszehrung bzw. -mehrung

ten. Bei der Maßnahme Verzicht wird dieser Bereich in allen Bundesländern außer Vorarlberg erreicht. UBAG hingegen weist in den meisten Bundesländern eine hohe Humuszehrung durch die Kulturen auf und liegt C/N-organisch betrachtet weit über dem Indikatorbereich. Wird die beachtliche Mineraldüngermenge in die C/N-Betrachtung einbezogen, zeigt sich eine Annäherung an den Indikatorbereich und damit eine Mischform aus mineralisch/organisch, die eine stabilisierende Humuswirkung erwarten lässt.

Von den Ergebnissen kann daher abgeleitet werden, dass bei der Maßnahme UBAG generell weniger organischer Dünger eingesetzt wird. Vor allem die stark ackerbaulich dominierten Bundesländer im Osten Österreichs zeigen im Durchschnitt einen deutlich geringeren Einfluss der Humuswirkung durch Stallmist. Der Einfluss der organischen Düngung auf die Humusbilanzierung wird auch auf Feldversuchsebene (siehe Kapitel 3.1.2.3) deutlich.

Gesamtergebnis der C/N-Verhältnisse

Bei der zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse der N- und C-Bilanzierung kann festgehalten werden, dass die Maßnahmen BIO und Verzicht im Durchschnitt aller Bundesländer und in den meisten Bundesländern positive Wirkungen auf den Humusvorrat erwarten lassen. Damit kann eine organische, humuskonservierende bzw. -aufbauende Bewirtschaftungsweise unterstellt werden, die einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz darstellt. Die Maßnahme UBAG zeigt hingegen v. a. in den Bundesländern mit geringen N-Beiträgen aus den Tierhaltungszahlen (z. B. Burgenland, NÖ) Werte weit außerhalb des organischen Indikatorbereichs. Werden die Mineraldüngermengen in die Betrachtung einbezogen, wird der Indikatorbereich mit Ausnahme von Tirol und Vorarlberg jedenfalls nicht unterschritten, so dass zumindest im Durchschnitt von einer humusstabilisierenden Wirkung gesprochen werden kann.

4.5 Humusbilanzierung im Vergleich zur Anwendung von Managementfaktoren auf nationaler Ebene

Im Handbuch zur Erstellung der Treibhausgas-Inventur werden drei Aspekte der Bewirtschaftung von Ackerland berücksichtigt: Landnutzung, Bodenbearbeitung und Intensitätsstufe (IPCC-GPG 2003). Die dafür vorgesehenen Default-Werte wurden aus unterschiedlichen internationalen Quellen abgeleitet. Im Rahmen dieses Projekts wurde anhand der AGES-Feldversuche überprüft, ob diese Faktoren für österreichische Verhältnisse zutreffen. Wie in Kapitel 3.1.1 gezeigt wird, ergibt sich für die Faktoren *tillage*, *low input* und *high input without manure* eine relativ gute Übereinstimmung. Diese ist für *high input with manure* und *land use* jedoch nicht gegeben. Für eine Abschätzung der C-Änderungen in den Ackerböden Österreichs wurden daher die in Tabelle 55 angeführten Managementfaktoren herangezogen.

Tabelle 55 Managementfaktoren nach IPCC und der Bewirtschaftungssituation für 2007.

| Typ des Managementfaktors | Level | IPCC | national gewählte Managementfaktoren |
|-----------------------------|--|------|--------------------------------------|
| Landnutzung | Langzeitbewirtschaftung | 0,82 | 0,93 |
| umfassende Bodenbearbeitung | beträchtliche Bodenstörung/ häufige Bodenbearbeitung | 1,0 | 1,0 |
| reduzierte Bodenbearbeitung | herabgesetzte Bodenstörung/ seichte Bodenbearbeitung ohne volle Wendung des Bodens | 1,03 | 1,03 |
| Minimalbodenbearbeitung | nur minimale Bodenstörung in der Saatzone | 1,10 | 1,10 |
| Input | geringe Rückführung von Ernterückständen durch Abfuhr der Ernterückstände | 0,92 | 0,92 |
| | mittlere Rückführung von Ernterückständen | 1,0 | 1,0 |
| | <i>high – without manure</i> | 1,07 | 1,07 |
| | <i>high – with manure</i> | 1,34 | 1,11 |

Um eine Änderung der Boden-C-Vorräte seit 1990 abschätzen zu können, mussten die Bewirtschaftungsweisen, Flächenangaben der Bodenbearbeitung und des Düngerregimes für 1990 basierend auf ersten ExpertInnen-Einschätzungen festgelegt werden. Diese Annahmen sind künftig jedenfalls durch breiter angelegte ExpertInnenbefragungen und durch die Sichtung historischen Materials abzusichern.

Folgendes Szenario wurde für 1990 unterlegt:

- Alle Ackerflächen werden konventionell bewirtschaftet,
- bis zu zwei Pflugeinsätze pro Jahr,
- Ernterückstände werden abgeführt oder am Feld verbrannt (60 %),
- keine Begrünung und kein Zwischenfruchtanbau,
- generelle Winter-Schwarzbrache,
- Sommerschwarzbrache nach Getreide häufig,
- beginnende Biolandbaubewegung ca. 3.000 ha Ackerland,
- organische Dünger unterbewertet, teilweise entsorgt, hohe Ammoniakverluste im Stall und bei Lagerung bzw. Ausbringung,
- kurze Lagerdauer bzw. geringe Lagerkapazität,
- keine Stilllegungsflächen.

Die Managementsituation für 2007 beruht auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

In Tabelle 56 sind die Ergebnisse aus den Abschätzungen der C-Änderungen in Ackerböden basierend auf den flächengewichteten Managementfaktoren je nach Maßnahme dargestellt. Im Zeitraum 1990 bis 2007 kommt es auf den Ackerflächen im Durchschnitt zu einer Anreicherung von $43 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Dies entspricht einer Bindung von 221 Gg CO_2 . Diese Hochrechnung ist mit einer hohen Unsicherheit (Streuungsbreite) versehen, sie bietet jedenfalls eine erste

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Diskussion der Ergebnisse

Abschätzung für die C_{org} -Änderungen in Ackerböden durch geänderte Bewirtschaftungsmaßnahmen. Eine Validierung dieser Ergebnisse erscheint jedenfalls erforderlich. Wichtig dabei ist die Einbeziehung weiterer Dauerfeldversuche (z. B. Kompostversuch), die Fortführung bestehender Dauerfeldversuche, Wiederholungsbeprobungen ausgewählter Flächen der Bodenzustandsinventuren (mit detaillierter Information zur Bewirtschaftung in unterschiedlichen klimatischen Regionen) und die Anwendung komplexerer Boden-C-Modelle.

Die Maßnahme *Mulch- und Direktsaat* ist bei dieser Berechnung explizit angeführt, in der vorliegenden Arbeit wurde sie unter den Begrünungsmaßnahmen subsumiert. Die Maßnahme entspricht annähernd der IPCC-Systematik *no tillage* und wurde von den Maßnahmenflächen *Biolandbau*, *Verzicht*, *UBAG* und *o. b. Maßnahmen* abgezogen. Damit kommt auch die Wichtigkeit der Bodenbearbeitung bei der Berechnung zum Ausdruck. Für UBAG wurde beim Inputfaktor Intensität ein Mittel zwischen *high input without manure* und *high input with manure* gewählt.

Tabelle 56: Berechnung der Bodenkohlenstoffgehalte anhand der Managementfaktoren nach IPCC und der Bewirtschaftungssituation 1990 bzw. 2007.

| | Bezeichnung | Fläche 1990 (ha) | Managementfaktor 1990 | Summe | Fläche 2007 (ha) | Managementfaktor 2007 | Summe |
|---|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| land use: FLU | BIO | 3.000 | 0,93 | 2.790 | 141.954 | 0,93 | 132.017 |
| | UBAG + Verzicht | – | | | 18.236 | 0,93 | 16.960 |
| | Verzicht | – | | | 6.039 | 0,93 | 5.616 |
| | UBAG | – | | | 808.666 | 0,93 | 752.060 |
| | o. b. Maßnahmen | 1.410.276 | 0,93 | 1.311.556 | 323.037 | 0,93 | 300.425 |
| | Nicht INVEKOS | – | | | 115.343 | 0,93 | 107.269 |
| | <i>Summe</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.314.346</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.314.346</i> |
| tillage FMG | BIO | 3.000 | 1,03 | 3.090 | 111.903 | 1,03 | 115.260 |
| | UBAG + Verzicht | – | | | 14.236 | 1,03 | 14.663 |
| | Verzicht | – | | | 5.039 | 1,03 | 5.190 |
| | UBAG | – | | | 718.666 | 1,03 | 740.226 |
| | o. b. Maßnahmen | 1.410.276 | 1,00 | 1.410.276 | 293.038 | 1,03 | 301.829 |
| | Nicht INVEKOS | – | | | 115.343 | 1,00 | 115.343 |
| | Mulchsaat | – | | | 155.051 | 1,10 | 170.556 |
| <i>Summe</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.413.366</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.463.067</i> | |
| Input FI | BIO | 3.000 | 1,11 | 3.330 | 141.954 | 1,11 | 157.569 |
| | UBAG + Verzicht | – | | | 18.236 | 1,11 | 20.242 |
| | Verzicht | 300.000 | 1,07 | 321.000 | 6.039 | 1,11 | 6.703 |
| | UBAG | – | | | 808.666 | 1,09 | 881.446 |
| | o. b. Maßnahmen | 1.110.276 | 1,07 | 1.187.995 | 323.037 | 1,07 | 345.650 |
| | Nicht INVEKOS | – | | | 115.343 | 1,07 | 123.417 |
| | <i>Summe</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.512.325</i> | <i>1.413.276</i> | | <i>1.535.027</i> |
| Ergebnisse | | | | | | | |
| flächengewichteter, nationaler Managementfaktor | | | | 1990: 1,00005 | 2007:1,02 | | |
| C-Änderung in Ackerböden (1990–2010) in t C ha ⁻¹ | | | | 0,85 | | | |
| C-Änderung in Ackerböden 2007 in t C ha ⁻¹ a ⁻¹ | | | | 0,043 | | | |
| C-Änderung in Ackerböden 2007 in t C | | | | 60.336 | | | |
| C-Speicherung in Ackerböden 2007 in t CO ₂ | | | | 221.233 | | | |

Tabelle 57: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Humusbilanzen und der Ergebnisse nach den Managementfaktoren.

| | 1990 (t C) | 2007 (t C) | 2007 (kg C ha ⁻¹) |
|---|------------|------------|-------------------------------|
| Managementfaktoren (national adaptiert, siehe Tabelle 55) | – | 60.336 | 43 |
| Humusbilanz-Variante 1 | –314.373 | 260.023 | 200 |
| Humusbilanz-Variante 2 (CC) | –130.430 | 498.928 | 384 |
| Humusbilanz-Variante 3 | –314.373 | 105.243 | 81 |

In Tabelle 57 sind die Ergebnisse aus den Varianten der Humusbilanzierung den Kalkulationen nach den Managementfaktoren gegenübergestellt. Für die Berechnung nach den Managementfaktoren wird 1990 als Basisjahr (Ausgangszeitpunkt) angesehen, daher erfolgt hier keine C_{org}-Anreicherung. Die Humusbilanz für 1990 wurde auf Basis der Daten von 2007 abgeschätzt. Dabei wird wie oben angeführt Folgendes unterstellt: keine Begrünungen, Biolandbau, geringere Wirtschaftsdüngerbewertung, keine Ernterückstände blieben am Feld bzw. wurden verbrannt. Zur Ermittlung der Humusmehrung bzw. -zehrung muss die Differenz zwischen 1990 und 2007 verwendet werden. Anhand dieser Aufstellung wird klar, dass sich die unterschiedlichen Berechnungsergebnisse nicht grundsätzlich widersprechen.

Am besten bildet die Variante 3 der Humusbilanz die Ergebnisse nach IPCC ab (adaptierte Variante nach den AGES-Feldversuchen, siehe Kapitel 2.3)

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Aussagen zur Klimawirkung der ausgewählten ÖPUL-Maßnahmen

Die Ableitung der Klimawirksamkeit der ÖPUL-Maßnahmen basiert einerseits auf einer Humusbilanzierung, von der Potenziale zur Kohlenstoffbindung in Böden abgeschätzt wurden. Zudem wurde in der Bewertung die treibhausgasreduzierende Wirkung durch den verminderten Mineraldüngereinsatz berücksichtigt und der Einfluss der N-Düngung auf die humusmehrende bzw. -zehrende Wirkung untersucht.

Tabelle 58 gibt einen zusammenfassenden Überblick zur Gewichtung der Klimawirksamkeit der ausgewählten ÖPUL-Maßnahmen sowie einzelner landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren.

Tabelle 58: Zusammenfassende Darstellung und Gewichtung der Klimawirksamkeit ausgewählter ÖPUL-Maßnahmen und einzelner landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren (angelehnt an HÜLSBERGEN 2009).

| ÖPUL-Maßnahme | Potenzial zur C-Bindung Ohne Begrünung/mit Begrünung | Reduzierte N-Emissionen (bezogen auf Mineraldüngereinsatz) | Erklärung zur C-Bindung |
|---|---|--|--|
| Biolandbau | + / ++ | +++ | abhängig vom Ertrag, der Nutzungsdauer und der Kulturartenzusammensetzung |
| Verzicht | + / ++ | +++ | abhängig von der Menge und der Qualität der organischen Substanz (C/N-Verhältnis) |
| UBAG | - / + | + | stark von der Begrünung bzw. dem Einsatz von organischen Düngern abhängig |
| Verzicht + UBAG | 0 / + + | ++ | abhängig von der Menge und der Qualität der organischen Substanz (C/N-Verhältnis) |
| Begrünung mit mehrj. Leguminosen | ++ | ++ | abhängig vom Ertrag, der Nutzungsdauer und der Kulturartenzusammensetzung |
| Reduz. Bodenbearb. (pfluglos, Mulch-Direktsaat) | 0 / ++ | 0 | abhängig vom Standort (Boden, Klima), dem Gleichgewichtszustand der Böden, der Fruchtfolge und Düngung, derzeit noch hohe Unsicherheiten |
| Düngung mit Stalldung und Komposten | +++ | +++ | abhängig von der Menge und der Qualität der organischen Substanz |

Sowohl die Ergebnisse auf Feldversuchsebene als auch die Berechnungen der Humusbilanz auf regionaler bzw. nationaler Ebene zeigen, dass die Begrünung und der Einsatz organischer Düngern einen wesentlichen Einfluss auf die Humusmehrung in Böden haben. Auch in SPIEGEL et al. (2005) und AICHBERGER & SÖLLINGER (2009) wurde gezeigt, dass die Anwendung von Stallmist und der Einsatz von Komposten signifikant zur Anreicherung von organischem Kohlen-

stoff im Boden beitragen kann. Wesentliche Ursachen der Humusanreicherung sind zudem Fruchtfolgen mit hohen Anteilen an Leguminosen-Futterpflanzen, Untersaaten und Begrünungen bei relativ geringen Hackfruchtanteilen sowie der Einsatz qualitativ hochwertiger organischer Substanzen (HÜLSBERGEN 2009). Stark organisch orientierten ÖPUL-Maßnahmen wie BIO und Verzicht kommt daher in der Gewichtung für die Klimarelevanz eine größere Bedeutung zu als jenen Maßnahmen, die eher organisch/mineralisch (z. B. UBAG) wirtschaften.

Wie schon erwähnt ist bei der Interpretation der Maßnahmenergebnisse auch zu berücksichtigen, dass im Bezug auf die Maßnahmenteilnahme sehr unterschiedliche Flächengrößen und Betriebsstrukturen miteinander verglichen werden bzw. die Betriebsstrukturen und Betriebsgrößen durch die Teilnahme an den Maßnahmen bedingt sind.

5.2 Grundlage für den Indikator Bewirtschaftete Flächen mit Klimaschutzwirkung

Ein Ziel des vorliegenden Projektes war, eine Grundlage für den Indikator *Area under successful land management – contributing to climate change mitigation (Bewirtschaftete Flächen mit Klimaschutzwirkung)* für den Midterm-Evaluierungsbericht der Agrarumweltmaßnahmen (AUM) im Programm LE 0713 zu schaffen.

Von den Ergebnissen der Humus- und Stickstoffbilanz kann abgeleitet werden, dass bei den Maßnahmen BIO, Verzicht sowie bei der Kombination UBAG + Verzicht im Durchschnitt auf regionaler bzw. nationaler Ebene eine organische, humuskonservierende bzw. -aufbauende Bewirtschaftungsweise auf Ackerböden betrieben wird. Damit liefern diese Maßnahmen auf allen Flächen einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Für die Maßnahme UBAG kann diese Schlussfolgerung nicht generell getroffen werden. UBAG bilanziert v. a. in den Bundesländern mit geringeren Tierhaltungszahlen (z. B. Burgenland, NÖ) im negativen Bereich und weist auch eine geringere Treibhausgasreduktion durch die Aufbringung von Mineraldünger auf. Hier müsste die Bedeutung für den Klimaschutz noch durch zusätzliche Maßnahmen bzw. Kontrollmessungen abgesichert werden.

Für den Indikator wird daher vorgeschlagen folgende Flächensumme zu berücksichtigen (siehe Tabelle 59):

BIO + Verzicht + (UBAG + Verzicht) + UBAG_{begr.} + o. b. Maßnahme_{begr.} = 595.733 ha

Tabelle 59: Maßnahmenflächen und vorgeschlagene Indikatorfläche für 2007, getrennt nach Begrünung.

| Fläche in ha | begrünt | nicht begrünt | Summe _{begr./n.begr.} | Indikatorfläche |
|------------------|----------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| BIO | 62.470 | 79.484 | 141.954 | 141.954 |
| UBAG | 340.961 | 467.705 | 808.666 | 340.961 |
| Verzicht | 2.819 | 3.220 | 6.039 | 6.039 |
| UBAG + Verzicht | 9.048 | 9.188 | 18.236 | 18.236 |
| INVEKOS o. b. M. | 88.543 | 234.495 | 323.038 | 88.543 |
| <i>Summe</i> | <i>503.841</i> | <i>794.092</i> | <i>1.297.933</i> | <i>595.733</i> |

5.3 Listung erforderlicher, verbesserungswürdiger Erhebungsdaten

Für die regionale bzw. nationale Aggregation der Ergebnisse mussten, wie in den Kapiteln zuvor beschrieben, unterschiedliche Annahmen getroffen werden. Eine Verbesserung der Ergebnisse auf nationaler/regionaler Ebene kann nur mit detaillierten Eingangsdaten erzielt werden, die hier aufgelistet sind.

- Verbesserung der Datenlage zur Begrünung

Der Anteil an Leguminosen in den Begrünungen ist unbekannt. Voraussichtlich ist er in den biologischen Betrieben hoch. Er sollte aber auch in den anderen organischen Maßnahmen (Verzicht und evtl. UBAG) forciert werden, weil damit die Düngereffizienz erhöht werden kann.
- Verbesserung der Datenlage zur Bodenbearbeitung und zum Düngerregime

Derzeit stehen keine Informationen über die Anzahl von Pflugeinsätzen oder andere Bodenbearbeitungsmethoden zur Verfügung. Ebenso unbekannt sind der Einsatz von Kompost und Biogasgülle sowie die tatsächlichen Aufbringungsmengen von Wirtschaftsdüngern auf landwirtschaftliche Flächen. Das Verhältnis der Ausbringungsmengen von Wirtschaftsdüngern auf Grünland- bzw. Ackerflächen kann derzeit nur abgeschätzt werden. Es wird daher vorgeschlagen, bei der jährlichen Antragstellung die Informationen zur Bodenbearbeitung und zum Düngerregime zusätzlich abzufragen (durchschnittliche Aufbringungsmenge pro ha getrennt nach Acker- und Grünland, Art des Düngers).
- Verbesserung der Datenlage zum Verbleib von Reststoffen auf den Ackerflächen

Derzeit fehlen genaue Angaben über den Verbleib von Ernterückständen auf den Ackerflächen. Im Rahmen dieses Projektes wurden die Angaben auf ExpertInnenauskünfte gestützt. Vor allem im Hinblick auf eine stärkere Biomassenutzung für erneuerbare Energie sollte diese Information bei der jährlichen Antragstellung abgefragt und stichprobenartig überprüft werden.

5.4 Vorschläge zur Gestaltung von ÖPUL-Maßnahmen für kommende Programmperioden

Für die Entwicklung klimawirksamer Maßnahmen für weitere ÖPUL-Programmperioden werden folgende Verbesserungs- bzw. Gestaltungsvorschläge unterbreitet:

- Erweiterung bestehender ÖPUL-Maßnahmen um die Auflage maximaler Bodenbearbeitungsgänge innerhalb einer Zeiteinheit

Minimalbodenbearbeitung bzw. pfluglose Bearbeitung tragen zur Humusanreicherung bzw. -stabilität bei. Auf regionaler Ebene konnte der Einfluss der Bodenbearbeitung nur über die drei verschiedenen Berechnungsvarianten der Humusbilanzierung berücksichtigt werden. Da das zugrunde liegende Humusbilanzierungsmodell seine Basisdaten von konventionell bewirtschafteten Feldversuchen bezogen hat, ist die gängige, kulturspezifische Bodenbearbeitung indirekt in die Bilanzierung integriert. Es sollte daher in den An-

forderungen der Maßnahmen die Auflage der maximalen Bearbeitungsgänge von z. B. zwei Grubbergängen bzw. eine Pflüfung jedes zweite Jahr enthalten sein.

- Erstellung einer Humusbilanz sowie einer N-Bilanz auf Betriebsebene

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schließen, dass die ausgewählten Maßnahmen im Durchschnitt zu einer Humuserhöhung bzw. -stabilisierung beitragen. Um diese Annahme besser absichern zu können sollte einmal in der Verpflichtungsperiode eine C- und N-Bilanz bzw. jährlich eine Humusbilanz auf Betriebsebene durchgeführt werden. Korrespondierend dazu sollte eine standardisierte Bodenuntersuchung auf Kohlenstoffgehalt mit der Angabe der Grundstücke durchgeführt werden. Diese Untersuchungen sollten auch als Referenzwerte für das notwendige Bodenkohlenstoff-Monitoring verwendet werden (evtl. mit Wiederholungsbeprobung).

Besonderes Augenmerk sollte auf BIO- und UBAG-Flächen gelegt werden. BIO-Flächen haben einen erhöhten Humusbedarf durch stärkere mechanische Pflegemaßnahmen und damit einhergehend eine erhöhte Mineralisierung (LEITHOLD 1996). UBAG-Flächen zeigen durch den erlaubten Einsatz von Mineraldüngern einerseits einen höheren Anteil an zehrenden Kulturen und benötigen andererseits für eine befriedigende Ertragsleistung geringere Mengen an Wirtschaftsdüngern. Beide Einflussfaktoren wirken sich längerfristig auf die Boden-Kohlenstoff-Gehalte aus.

- Vorzug für lignifizierende Pflanzenarten bei Begrünungen

Nach dem Abfrostern der Begrünung kann es zu Auswaschungen und Zersetzungs Vorgängen kommen, die je nach Pflanzenart die Humus- und Stickstoffbilanz verringern. Es besteht also eine Tendenz zur Überschätzung der Mengen an Humus-C-Input und Düngerwirkung (ALLISON 1973, VAN DER LINDEN 1987). Für eine dauerhaftere Kohlenstoff-Speicherung im Boden sind stärker lignifizierende Pflanzenarten für Begrünungen vorzuziehen, da dann stabilere C-Verbindungen in der Biomasse vorliegen (mündliche Mitteilung Winkovitsch 2009⁵). Daten von Langzeitversuchen mit Begrünungen gibt es kaum, es kann jedoch nur über langfristige Untersuchungen festgestellt werden, wie dauerhaft Kohlenstoff durch Begrünungen im Boden gebunden werden kann.

- Abfuhr von organischen Reststoffen

Die Abfuhr von organischen Reststoffen (Ernterückständen) sollte an bestimmte Bedingungen geknüpft werden wie z. B. zur Festmisteinstreu oder für den Aufbau einer Mulchdecke in Sonderkulturen. Die Umstände müssten bei der jährlichen Beantragung deklariert werden.

- Trennung der Förderung Mulch- und Direktsaat

Aus dem Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch der AGES zeigt sich deutlich, dass nur die Minimalbodenbearbeitung über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren zu signifikant höheren C_{org} -Gehalten in Böden gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung führt. Die reduzierte Bodenbearbeitung führt zu ähnlich hohen C_{org} -Verlusten wie die konventionelle Pflugvariante. Deshalb wird eine getrennte Förderung Mulch- und Direktsaat als notwendig angesehen.

⁵ anlässlich der Veranstaltung des Netzwerk Land, Agrarumweltmaßnahmen und Klimawandel

Diskussionspunkte für die Weiterentwicklung und Neukonzeption von Maßnahmen im Rahmen der Ländlichen Entwicklung:

- Innerhalb der bestehenden Maßnahmen sollte die Variante *no tillage* eingeführt werden. Die Teilnahme sollte vorsehen, dass ein Teil der Betriebe für ein Evaluierungsprojekt hinsichtlich einer Humusbilanzierung und von Boden-C-Messungen begleitet wird.
- Zur Reduktion der Methan- und Ammoniakemissionen sind Güllebehälter abzudecken. Diese Anforderung ist in den Investitionsmaßnahmen nicht enthalten. Es sollte daher ein zusätzlicher Anreiz gesetzt werden, um dies auch bei bestehenden Anlagen erreichen zu können.
- Hochleistungskühe werden als besonders klimafreundlich propagiert. Bei Betrachtung der kurzen Periode der Remontierung und der Treibhausgas-Emissionen der Nachzucht sind hingegen Kühe mit hoher Lebensleistung die richtige Wahl. Es sollte daher Betrieben mit hoher Lebensleistung der Tiere ein finanzieller Anreiz geboten werden.
- Die Behandlung des Wirtschaftsdüngers in einer Biogasanlage ist eine klimawirksame Maßnahme, da Methan- und Ammoniakemissionen in der Lagerung minimiert bzw. verhindert werden. Betrieben mit einer Biogasanlage, in der Wirtschaftsdünger (nicht jedoch Silagemais) behandelt wird, sollte ein Anreiz geboten werden.
- Die Maßnahme *Untersaat Mais* sollte auch für andere Kulturen wie z. B. Getreide geöffnet werden. Da diese, an sich effiziente Möglichkeit zur Begrünung, nicht genutzt wird, wäre z. B. eine 30 %-Verpflichtung mit Prämienzuschlag bei den Begrünungsflächen vorzusehen.

Bei der weiteren Diskussion all dieser Überlegungen sind jedoch fachliche, verwaltungstechnische, rechtliche und kontrolltechnische Aspekte zu berücksichtigen. Zum Beispiel wird die Maßnahme *Untersaat Mais* schon seit mehreren Programmperioden angeboten, allerdings kann keine nennenswerte Akzeptanz der Maßnahme erzielt werden. Bei der Kalkulation von Flächenprämien bei Agrarumweltprogrammen kann derzeit neben den Kosten auch keine Anreizkomponente berücksichtigt werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- AICHBERGER, K. & SÖLLINGER, J. (2009): Use of biocompost in agriculture – results of a long-term field trial. Proceedings of the second AQUAGRIS workshop. Vienna, 19th June 2009.
- ALLISON, F. (1973): Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Amsterdam. p. 637.
- AMMANN, C.; SPIRIG, C.; LEIFELD, J. & NEFTEL, A. (2009): Assessment of the nitrogen and carbon budget of two managed temperate grassland fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- AMON, B.; FRÖHLICH, M.; WEIßENSTEINER, R.; ZABLATNIK, B. & AMON, T. (2007): Tierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement in Österreich. Im Auftrag des BMLFUW, Universität für Bodenkultur, Department für nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik.
- BILLEN, G.; THIEU, V.; Garnier, J. & SILVESTRE, M. (2009): Modelling the N cascade in regional watersheds: The case study of the Seine, Somme and Scheldt rivers. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- BMLF – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (1999): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. 5. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006a): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006b): Bundesabfallwirtschaftsplan Stand 2006 bzw. 2009.
www.bundesabfallwirtschaftsplan.at
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2007): LE 07–13 Österreichisches Programm für die Entwicklung des Ländlichen Raums 2007–2013. Stand 14.9.2007.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008a): Grüner Bericht 2008.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008b): Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008, Landwirtschaftliche & forstliche Beratung.
- BRAUN, M.; SCHMID, H. & GRUNDLER, T. (2009): Vergleich verschiedener Klee-gras-mischungen im ökologischen Landbau anhand der Wurzel- und Sprossleistung, 3. Humusseminar Kaindorf, September 2009.
- BRITZ, W. & LEIP, A. (2009): Development of marginal emissions factors for N losses from agricultural soils with the DNDC-Capri meta-model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- DE BRUIJN, A. M. G.; BUTTERBACH-Bahl, K.; BLAGODATSKY, S. & GROTE, R. (2009): Model evaluation of different mechanisms driving freeze-thaw N₂O emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Literaturverzeichnis

- CAPRIEL, P. & RIPPEL, R. (2007): Humusbilanz für Beratung in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/12458/index.php>
- COOKE, R. (2010): Reducing greenhouse gas emissions through agri-environment and woodland management measures: Policy recommendations for the CAP. Speech to the EU Parliament 27 January 2010.
- DACHLER, M. & KÖCHL, A. (2003): Der Einfluss von Fruchtfolge, Vorfrucht, Stickstoffdüngung und Einarbeitung der Ernterückstände auf Ertrag und Rohproteingehalt von Winterweizen und nachfolgender Sommergerste. Die Bodenkultur 54 (1): 23–34.
- DEFRA (2009): Safeguarding our soils. A strategie for England, Department for Environment, Food and Rural Affairs. <http://www.defra.gov.uk>
- DERSCH, G. & Böhm, K. (1997): Anteil der Landwirtschaft an der Emission klimarelevanter Spurengase in Österreich. Die Bodenkultur 48.
- DUNST, G. (2009): Versuchsergebnisse: Humusaufbau auf Großparzellen, Entwicklung einer Terra Preta, 3. Humusseminar Kaindorf, September 2009.
- E-CONTROL (2007): Jahresbericht 2006 der E-Control. www.e-control.at
- FEICHTINGER, F.; STRAUSS, P.; LESCOT, J. M.; KALKONEN, M. & HOFMACHER, G. (2008): Integrated assessment of groundwater protection using Agricultural Best Management Practices – a nitrogen case study. Die Bodenkultur 1–4.
- FREYER, B. & DORNINGER, M. (2008): Bio-Landwirtschaft und Klimaschutz in Österreich: Aktuelle Leistungen und zukünftige Potenziale in der Ökologischen Landwirtschaft für den Klimaschutz in Österreich. Auftrag Bio Austria, Universität für Bodenkultur, Institut für ökologischen Landbau, Department für nachhaltige Agrarsysteme.
- GARNIER, J.; BILLEN, G.; VILAIN, G.; MARTINEZ, A. & SILVESTRE, M. (2009): Nitrous oxide (N₂O) in the Seine river basin: Observation and budgets. Agriculture, Ecosystems and Environment 133.
- GAY, S. H.; LOUWAGIE, G.; SAMMETH, F.; RATINGER, T.; MARÉCHAL, B.; PROSPERI, P.; RUSCO, E.; TERRES, J. M.; VAN DER VELDE, M.; BALDOCK, D.; BOWYER, C.; COOPER, T.; FENN, I.; HAGEMANN, N.; PRAGER, K.; HEYN, N. & SCHULER, J. (2009): Final report on the project 'Sustainable agriculture and soil conservation (SoCo). Im Auftrag des EU Parlaments. <http://soco.jrc.ec.europa.eu/>
- HARTL, W. & ERHART, E. (2009): Verbleib des Kohlenstoff aus der Kompostdüngung. 3. Humusseminar Kaindorf, September 2009.
- HÖSCH, J. & DERSCH, G. (1997): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Wien nach neun Versuchsjahren. Archiv, Acker- und Pflanzenbau, Boden Vol. 42.
- HÖSCH, J. & DERSCH, G. (2002): Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Wien – Nährstoffbilanzen und Bodenkennwerte. Archiv, Acker- und Pflanzenbau, Boden Vol. 48.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag.
- HÜLSBERGEN, K.-J., (2009): Möglichkeiten der C-Sequestrierung landwirtschaftlich genutzter Böden. 3. Humusseminar Kaindorf, September 2009.

- IPCC-GPG (2003): Penman, J.; Gytarsky, M.; Hiraishi, T.; Krug, T.; Kruger, D.; Pipatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. & Wagner, F. (Eds.): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.
- JANITSCHKEK, H. (2009): Mineraldüngereinsatz (N-P-K) in Österreich. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, im Auftrag für Statistik Austria.
- JOHNSON, M. (1995): Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; & Stewart, B. (Eds.): The role of soil management in sequestration soil carbon. Soil Management and the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. pp. 351–363.
- KOLBE, H. (2007): Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- KÖRSCHENS, M. (2005): Die Reproduktionswirksamkeit von Stroh im Vergleich zu Stalldung. (unveröffentlicht)
- KÖRSCHENS, M. & WALDSCHMIDT, U. (1995): Ein Beitrag zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Humusgehalt und bodenphysikalischen Eigenschaften. Arch. Acker. Pflanzenb. Bodenkd. 39: 165–173
- KÖRSCHENS, M.; ROGASIK, J.; SCHULZ, E.; BÖNIG, H.; Eich, D.; ELLERBROCK, R.; FRANKO, U.; HÜLSBERGEN K.; KÖPPEN, D.; KOLBE, H.; LEITHOLD, G.; MERBACH, I.; PESCHKE, H.; PRYSTAV, W.; REINHOLD, J. & ZIMMER, J. (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt. VDLUFA, Bonn.
- LEHMANN, J. (2009): Biochar systems science: Climate Change Mitigation with multiple sustainability outcomes? Cornell University, Seminar 7th December 2009, Copenhagen.
- LEHUGER, S.; GABRIELLE, B.; VAN OIJEN, M.; MAKOWSKI, D.; GERMON, J.-C.; MORVAN, T. & HÉNAULT, C. (2009): Bayesian calibration of the nitrous oxide emissions module of an agro-ecosystem model.
- LEIFELD, J.; BASSIN, S. & FUHRER, J. (2003): Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. FAL Schriftenreihe 44.
- LEIFELD, J.; REISNER, R. & OBERHOLZER, H. R. (2009): Consequences of conventional versus organic farming on Soil Carbon: Results from a 27-year field experiment. Agronomy Journal Volume 101.
- LEITHOLD, G. (1996): Wie hoch ist der Bedarf des Bodens an organischer Substanz? Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim 24, H. 98. S. 42–44.
- LK-OE – Österreichische Landwirtschaftskammer (2009): Strohrechner der Landwirtschaftskammer nach J. Recheis. www.lk-oe.at
- MCBARTNEY, A.; MINASNY, B.; MALONE, B.; WHEELER, I. & GULLIVER, S. (2009): Aspects of soil carbon mapping and monitoring via GlobalSoilMap, University of Sydney. UNFCCC Seminar, 12. December 2009 Brüssel.
- OENEMA, O.; WITZKE, H. P.; KLIMONT, Z.; LESSCHEN, J. P. & VELTHOF, G. L. (2009): Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. Agriculture, Ecosystems and Environment 133.
- ÖNORM L 1080 (1989): Chemische Bodenuntersuchungen. Humusbestimmung durch trockene Verbrennung von Kohlenstoff. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg).

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Literaturverzeichnis

- ÖNORM L 1081 (1989): Chemische Bodenuntersuchungen. Humusbestimmung durch Naßoxidation mit Kaliumdichromat –Schwefelsäure. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg).
- ORTHOFFER, R.; GEBETSROITHER, E.; STREBL, F.; SCHWAIGER, H.; SCHLAMADINGER, B.; JUNGMAIER, G.; SPITZER, J.; CANELLA, L.; HINTERMEIER, G.; WINDSPERGER, A. & SCHNEIDER, F. (2000). The Austrian carbon balance model (ACBM). Final Report. ARCS-Report OEFZS-S-0107.
- PARKS, N. (2009): Incorporation of nitrogen cycle leads to predictions of more atmospheric CO₂. *Environmental Science & Technology*.
- PIEPLow, H. (2009): Die Natur kennt keine Abfälle – Herstellung von Terra Preta, 3. Humusseminar Kaindorf, September 2009.
- PORCAL, P.; KOPRIVNJAK, J. F.; MOLOT, L. A. & DILLON, P. J. (2009): Humic substances – part 7: The biochemistry of dissolved organic carbon and its interactions with climate change. *Environment, Science and Pollution Research* 16.
- QLIIF (2009a): Integrated Research Project “QualityLowInputFood“, Advancing organic and low-input food. EU-Forschungsprojekt 2004 bis 2009. Subprojekt 1 Consumer expectations and attitudes. [www.qlif.org](http://www qlif.org)
- QLIIF (2009b): Integrated Research Project “QualityLowInputFood“, Advancing organic and low-input food, EU- Forschungsprojekt 2004 bis 2009 Subprojekt 2 Effects of productions methods. [www.qlif.org](http://www qlif.org)
- QLIIF (2009c): Integrated Research Project “QualityLowInputFood“, Advancing organic and low-input food, EU- Forschungsprojekt 2004 bis 2009 Subprojekt 3 Crop production systems. [www.qlif.org](http://www qlif.org)
- QLIIF (2009d): Integrated Research Project “QualityLowInputFood“, Advancing organic and low-input food, EU- Forschungsprojekt 2004 bis 2009 Subprojekt 4 Livestock production systems. [www.qlif.org](http://www qlif.org)
- QLIIF (2009e): Integrated Research Project “QualityLowInputFood“, Advancing organic and low-input food, EU- Forschungsprojekt 2004 bis 2009 Subprojekt 5 processing strategies. [www.qlif.org](http://www qlif.org)
- REAY, D. S.; EDWARDS, A. C. & SMITH, K. A. (2009): Importance of direct nitrous oxide emissions at the field, farm and catchment scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- REICH, P. B. (2009): Elevated CO₂ reduces losses of plant diversity caused by nitrogen deposition. *Science* Vol. 326: 1399.
- SKIBA, U.; DREWER, J.; TANG, Y. S.; VAN DIJK, N.; HELFTER, C.; NEMITZ, E.; DÄMMGEN, U.; FAMULARI, D.; Cape, J. N.; JONES, S. K.; TWIGGS, M.; PIHLATIE, M.; VESALA, T.; LARSEN, K. S.; CARTER, M. S.; AMBUS, P.; IBROM, A.; BEIER, C.; HENSEN, A.; FRUMU, A.; ERISMAN, J. W.; BRÜGGEMANN, N.; GASCHE, R.; BUTTERBACH-Bahl, K.; Neftel, A.; SPIRIG, C.; HORVATH, L.; FREIMAUER, A.; CELLIER, P.; LAVILLE, P.; LOUBET, B.; MAGLIULO, E.; BERTOLINI, T.; SEUFERT, G.; ANDERSSON, M.; MANACA, G.; LAURILA, T.; AURELA, M.; LOHILA, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; KITZLER, B.; SCHAUFLER, G.; SIEMENS, J.; KINDLER, R.; FLECHARD., C. & SUTTON, M. A. (2009): Biosphere-atmosphere exchange of reactive nitrogen and greenhouse gases at the NitroEurope core flux of measurement sites: Measurements strategy and first data sets. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.

- SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L. & FIXEN, P. E. (2009): Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- SOHI, S. P. & SHACKLEY, S. (2009): Biochar: carbon sequestration potential. UK biochar research centre, Seminar 7th December 2009, Copenhagen.
- SPIEGEL, H.; PFEFFER, M. & HÖSCH, J. (2002): N-dynamics under reduced tillage. *Arch. Agron. Soil Sc.* 48: 503–512.
- SPIEGEL, H.; DERSCH, G.; DACHLER, M. & BAUMGARTEN, A. (2005): Effects of different agricultural management strategies on soil organic matter. *ALVA-Mitteilungen*, 3, 2005. ISSN 1811-7317.
- SPIEGEL, H.; DERSCH, G.; HÖSCH, J. & BAUMGARTEN, A. (2007a): Tillage effects on soil organic carbon and nutrient availability in a long-term field experiment in Austria. *Die Bodenkultur* 58 (1): 47–58.
- SPIEGEL, H.; FILCHEVA, E.; HEGYMEGI, P.; GAL, A. & VERHEIJEN, F. G. A (2007b): Review and Comparison of Methods Used for Soil Organic Carbon Determination. Part 1. Review of the Methods. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*, Vol. XLI, 4, 3–18, Sofia. ISSN 0861-9425.
- SPIEGEL, H.; DERSCH, G.; BAUMGARTEN, A. & HÖSCH, J. (2010): The International Organic Nitrogen Long-Term Fertilisation Experiment (IOSDV) at Vienna after 21 years. *Arch. Agron. Soil Sc.* (in press)
- STATISTIK AUSTRIA (2008): Statistik der Landwirtschaft 2007.
- STEGER, S. (2005): Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten. Welche Globalisierung ist zukunftsfähig? Arbeitsgruppe Land use & Livelihoods, Wuppertal Papers.
- SUTTON, M. A. & BUTTERBACH-BAHL, K. (2009): Reactive nitrogen in agrosystems: Integration with greenhouse gas interactions. Editorial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- TANG, Y. S.; SIMMONS, I.; VAN DIJK, N.; DI MARCO, C.; NEMITZ, E.; DÄMMGEN, U.; GILKE, K.; DJURICIC, V.; VIDIC, S.; GLIHA, Z.; BOROVECKI, D.; MITOSINKOVA, M.; HANSSSEN, J. E.; UGGERUD, T. H.; SANZ, M. J.; SANZ, P.; CHORDA, J. V.; FELCHARD, C. R.; FAUVEL, Y.; FERM, M.; PERRINO, C. & SUTTON, M. A. (2009): European scale application of atmospheric reactive nitrogen measurements in a low-cost approach to infer dry deposition fluxes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133.
- TATZBER, M.; STEMMER, M.; SPIEGEL, A.; KATZLBERGER, C.; HABERHAUER, G. & GERZABEK, M. H. (2008): Impact of different tillage practices on molecular characteristics of humic acids in a long-term field experiment – An application of three different spectroscopic methods. *Science of the Total Environment*.
- TATZBER, M.; STEMMER, M.; SPIEGEL, A.; KATZLBERGER, C.; ZEHETNER, F.; HABERHAUER, G.; ROTH, K.; GARCIA-GARCIA, E. & GERZABEK, M. H. (2009a): Decomposition of carbon-14-labeled organic amendments and humic acids in a long-term field experiment. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 73.
- TATZBER, M.; STEMMER, M.; SPIEGEL, A.; KATZLBERGER, C.; ZEHETNER, F.; HABERHAUER, G.; GARCIA-GARCIA, E. & GERZABEK, M. H. (2009b): Spectroscopic behavior of ¹⁴C-labeled humic acids in a long-term field experiment with three cropping systems. *Australian Journal of Soil Research* 47.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Literaturverzeichnis

- UMWELTBUNDESAMT (1996): Götz, B. & Zethner, G.: Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft. Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Strem. Monographien, Bd. M.078. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Anderl, M., Freudenschuß, A., Köther T.: Austria's National Inventory Report 2009. Band 188.
- VAN DER LINDEN, A. (1987): Modelling soil organic matter levels after long-term applications of crop residues, and farmyard and green manures. *Plant and Soil* 101: 21–28.
- VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (1999): Humusbilanz Handbuch.
- VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2004): Humusbilanz Handbuch.
- VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C. & VAN DER VELDE, M. (2009): JRC, A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Seminar 7th December 2009, Copenhagen.
- VUA – Verlagsunion Agrar (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Herausgeber Hydro Agri Dülmen GmbH, Dülmen.
- ZESSNER, M.; THALER, S.; RUZICKA, K.; NATHO, S. & KROISS, H. (2007): Considerations on the importance of nutrition habits for the national nitrogen balance of Austria. Vienna University of technology Austria, grey paper.
- ZORN, W.; HEß, H.; SCHRÖTER, H.; MICHEL, H.; GULLICH, P.; HORN, A. & ILGEN, S. (2009): Landwirtschaftsamt Bad Salzungen. Feldversuche in Bad Salzungen 1934–2009. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena. 60 S.

7 ANHANG

7.1 Humusbilanzierung für die Jahre 2005 und 2006

Die Humusbilanzierungen für die Jahre 2006 und 2005 wurden nach dem Schema der Bilanzierung von 2007 durchgeführt. Die Berechnungen wurden ebenfalls auf Bundesländerebene durchgeführt und für die nationalen Hochrechnungen zusammengefasst.

Änderungen gab es auf Basis der Maßnahmen bzw. der Maßnahmenbezeichnung und Kombination. In den Jahren 2005 und 2006 wurde die Maßnahme Untersaat nicht angeboten, die Maßnahme UBAG scheint ebenfalls nicht auf, allerdings kann die Maßnahme „Reduktion“ als deren Vorgänger bezeichnet werden. Die Maßnahmenkombination UBAG + Verzicht bzw. Reduktion und Verzicht war nicht zulässig.

Die Aufteilung der Begrünungen auf die einzelnen Maßnahmen wurde für 2006 als Datenbankabfrage durchgeführt, für das Jahr 2005 wurden die Anteile errechnet.

Die Wirtschaftsdüngermengen wurden, wie für das Jahr 2007, auf Basis der jährlichen Ausscheidungsmengen pro Tierart und Individuenzahl errechnet. Die Zuordnung der Wirtschaftsdüngermengen zu den Maßnahmen wurde von 2007 auf die Jahre 2005 und 2006 anteilig umgelegt.

7.1.1 Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2005

Im Jahr 2005 wurden auf 70,9 % der erfassten Fläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, Verzicht und Reduktion durchgeführt. Die Maßnahme Reduktion wurde auf 57,7 % der Ackerfläche durchgeführt, BIO auf 10,1 % und Verzicht auf 3,1 % der Fläche. Der Anteil der begrüneten Fläche lag bei den betrachteten Maßnahmen zwischen 41,8 und 49,3 %, die INVEKOS-Flächen ohne betrachtete Maßnahmen lagen mit einem Begrünungsanteil von 31,0 % deutlich darunter.

Tabelle 60 Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Österreich 2005, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (ges. Österr.) in ha in % | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|
| BIO | 128.930 | 10,1 | 45,6 |
| Verzicht | 39.980 | 3,1 | 49,3 |
| Reduktion | 735.833 | 57,8 | 41,8 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 370.193 | 29,0 | 31,0 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 1.274.936 | 100,0 | – |
| | | | 39,3 |

Die Humuszehrung durch die angebauten Kulturen liegen bei allen Flächen in einem geringeren Bereich, wobei BIO die geringste Zehrung aufweist, bei Berechnungsvariante 2 bilanziert BIO sogar positiv. Eine höhere Zehrung weisen Verzicht und Reduktion auf (siehe Tabelle 61). Den höchsten C-Input durch Be-

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Anhang

grünung hat BIO, gefolgt von – je nach betrachteter Berechnungsvariante – Verzicht bzw. Reduktion. INVEKOS (o. b. M.) weist die geringste Kohlenstoffzufuhr bei Begrünungen auf, hat jedoch eine höhere Wirtschaftsdüngerfracht. Überschritten wird diese Menge nur von Verzicht ($603 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$), wodurch diese Maßnahme auch bei den Bilanzierungssummen die höchsten Werte aufweist ($498 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$, siehe Tabelle 62).

Tabelle 61: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|-----------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------|-------|-------|-----------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | -89 | 14 | -143 | 169 | 139 | 139 | 251 |
| Verzicht | -180 | -88 | -204 | 162 | 99 | 99 | 603 |
| Reduktion | -220 | -12 | -335 | 147 | 119 | 119 | 131 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -181 | 50 | -335 | 118 | 78 | 78 | 298 |

Wird zur der Zehrung der Kulturen, die Ernterückstände und die Begrünung aufsummiert (HB 1 + HB 2 + Begrünung) bilanzieren alle Flächen – je nach betrachteter Berechnungsvariante – auch im negativen Bereich. Obwohl die Zehrung durch die Kulturen nicht sehr stark ist, ist jedoch der C-Input durch die Begrünungen gering (in jedem Fall weit geringer als 2007). Wird Wirtschaftsdünger aufaddiert, bewegt sich die Bilanz deutlich in den positiven Bereich. Die Maßnahme Reduktion zeigt bei Variante 3 einen negativen Wert, diese Maßnahme sollte über einen längeren Zeitraum beobachtet werden, um Aussagen über längerfristigen Humusabbau oder Humusaufbau treffen zu können (siehe Tabelle 62).

Tabelle 62: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: $\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 80 | 154 | -3 | 331 | 404 | 247 |
| Verzicht | -18 | 11 | -105 | 585 | 614 | 498 |
| Reduktion | -73 | 107 | -215 | 58 | 237 | -85 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -63 | 128 | -257 | 235 | 426 | 41 |

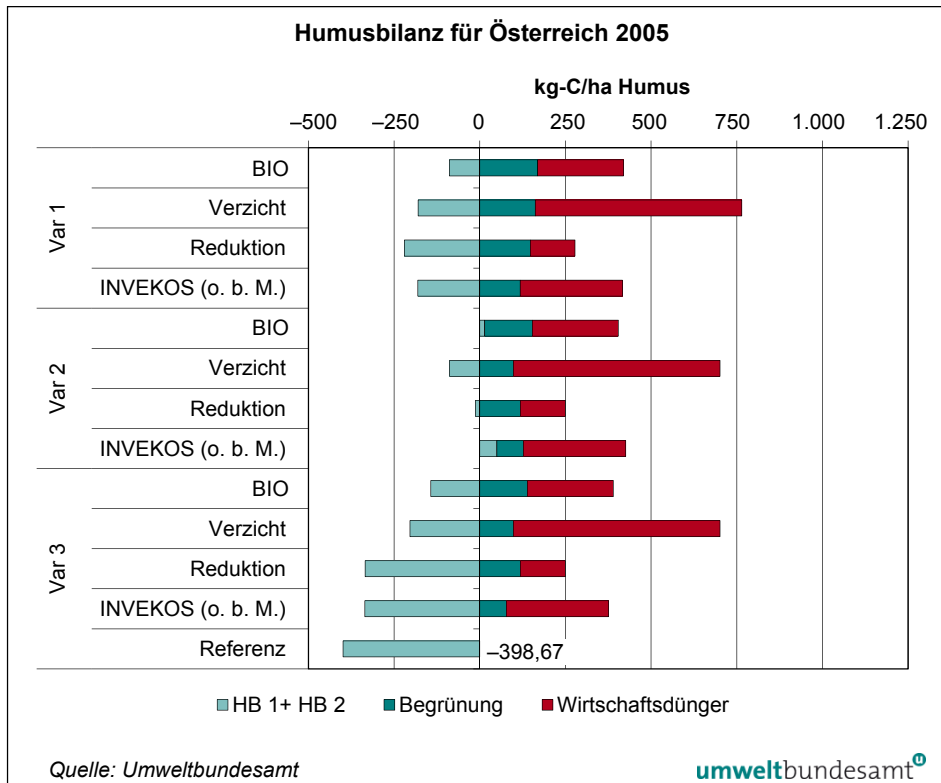


Abbildung 17: Ergebnis der Humusbilanz für Österreich 2005, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die Humuszehrung durch Kulturwahl und Anbaufläche kann durch den C-Input durch Begrünung meist nicht ausgeglichen werden. Der Input an Wirtschaftsdünger ist für eine positive Bilanzierung bei Verzicht und INVEKOS (o. b. M.) nötig. Reduktion bilanziert bei Berechnungsvariante 1 und 2 positiv, bei Variante 3 negativ, auch durch die geringste Wirtschaftsdüngerfracht im Vergleich zu den andere Maßnahmen.

Die Referenz bei Variante 3 steht für eine Strohabfuhr von 100 % und keinen zusätzlichen C-Input. Die Zehrung allein durch die Kulturen, die auf den INVEKOS-Flächen (o. b. M.) auftritt, beträgt -398,7 kg Humus-C ha⁻¹ (siehe Abbildung 17).

7.1.2 Humusbilanzierung auf nationaler Ebene für 2006

Im Jahr 2006 wurden auf 70,1 % der erfassten Ackerfläche (INVEKOS) die Maßnahmen BIO, Verzicht und Reduktion gemeldet.

Die Maßnahme Reduktion war flächenmäßig mit 57 % am stärksten vertreten. BIO hatte einen Anteil von 10,1 % und Verzicht lag bei 3 %. Der Anteil der Begrünungen innerhalb der jeweiligen Maßnahmen lag zwischen 41,8 und 50,8 %. INVEKOS-Flächen (o. b. M.) weisen einen Begrünungsanteil von 29,7 % auf (siehe Tabelle 63)

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Anhang

Tabelle 63: Flächenanteile der ÖPUL-Maßnahmen in Österreich 2006, anteilige Begrünungsflächen beziehen sich auf die Maßnahmen und gesamte INVEKOS-Ackerfläche in Prozent.

| Maßnahmen | Ackerfläche (ges. Öster.) in ha in % | | Begrünung (%) pro Maßnahme | Begrünung (%) pro ges. Ackerfläche |
|------------------------------|---|-------|---------------------------------------|---|
| BIO | 129.340 | 10,1 | 45,0 | 4,6 |
| Verzicht | 38.408 | 3,0 | 50,8 | 1,5 |
| Reduktion | 728.786 | 57,0 | 41,8 | 23,8 |
| INVEKOS (o. b. M.) | 382.355 | 29,9 | 29,7 | 8,9 |
| ges. Ackerflächen INVEKOS | 1.278.888 | 100,0 | – | 38,8 |

Die Humuszehrung durch die angebauten Kulturen sind bei BIO am geringsten, liegen bei Verzicht höher und bei Reduktion deutlich höher. Bei Begrünungen hat Verzicht den höchsten C-Input, über alle Maßnahmen liegt die Kohlenstoff-Fracht durch Begrünungen im unteren Bereich. Die höchsten Wirtschaftsdüngermengen werden laut Bilanzierung auf Verzichtflächen aufgebracht, gefolgt von INVEKOS (o. b. M.), BIO und an letzter Stelle Reduktion (siehe Tabelle 64).

Tabelle 64: Werte der einzelnen Schritte der Humusbilanzierung, bestehend aus HB 1 + HB 2, Begrünung und Wirtschaftsdünger (W-dünger). Die Einzelschritte sind jeweils in den 3 Berechnungsvarianten angegeben und nach den ÖPUL-Maßnahmen gelistet, die Angaben beziehen sich auf kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$).

| kg Humus-C ha^{-1} | HB 1 + HB 2 | | | Begrünung | | | W-dünger |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|
| | Var 1 (80) | Var 2 (100) | Var 3 (40) | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1/2/3 |
| BIO | –94 | –1 | –134 | 158 | 137 | 137 | 230 |
| Verzicht | –151 | –70 | –171 | 175 | 151 | 151 | 481 |
| Reduktion | –257 | –63 | –351 | 149 | 117 | 117 | 123 |
| INVEKOS (o. b. M.) | –223 | –7 | –353 | 106 | 92 | 92 | 323 |

Wird zur Humuszehrung und dem C-Input durch Ernterückstände die Begrünung aufaddiert, bilanzieren BIO und Verzicht bereits positiv (Verzicht bei Var. 3 noch negativ), Reduktion und INVEKOS (o. b. M.) bei Variante 1 und 3 negativ. Durch die Zugabe von Wirtschaftsdünger bilanzieren alle Maßnahmen bzw. Flächen – bis auf Reduktion bei Variante 3 – positiv (siehe Tabelle 65).

Tabelle 65: Bilanzierungssummen von HB 1 + HB 2 + Begrünung und der Aufsummierung des Wirtschaftsdüngers auf diese Werte, angegeben sind die 3 Berechnungsvarianten der jeweiligen ÖPUL-Maßnahmen (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

| kg Humus-C ha ⁻¹ | HB 1 + HB 2 + Begrünung | | | HB 1 + HB 2 + Begrünung + W-dünger | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | Var 1 | Var 2 | Var 3 | Var 1 | Var 2 | Var 3 |
| BIO | 64 | 137 | 4 | 295 | 367 | 234 |
| Verzicht | 24 | 81 | -20 | 505 | 563 | 462 |
| Reduktion | -107 | 55 | -234 | 15 | 177 | -111 |
| INVEKOS (o. b. M.) | -117 | 85 | -261 | 206 | 408 | 62 |

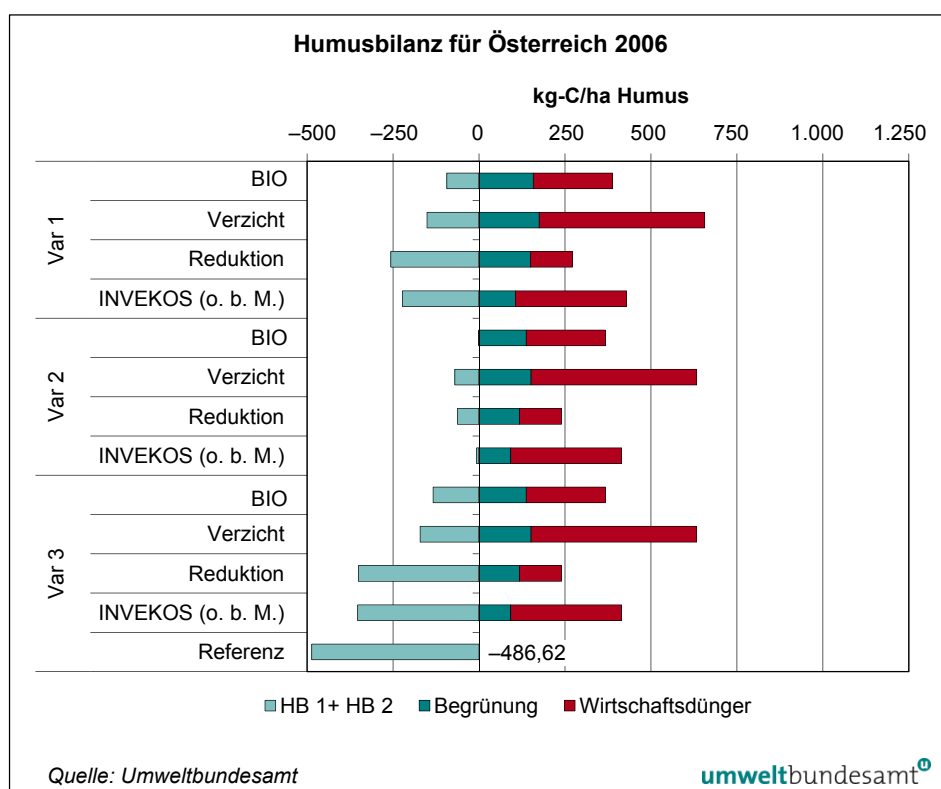


Abbildung 18: Ergebnis der Humusbilanz für Österreich 2006, zu den Auswirkungen der Kulturen (größtenteils im negativen Bereich) und der Begrünung wurde der Wirtschaftsdünger aufgerechnet (im positiven Bereich). Die 3 Varianten mit den entsprechenden ÖPUL-Maßnahmen sind gestaffelt untereinander dargestellt (Einheit: kg Humus-C ha⁻¹).

Die Zehrung durch die angebauten Kulturen ist bei BIO und Verzicht geringer als bei den übrigen Flächen, bereits durch den C-Input durch Begrünung wird positiv bilanziert. Reduktion und INVEKOS (o. b. M.) benötigen Wirtschaftsdünger, um positiv zu bilanzieren. Die Maßnahme Reduktion liegt bei Variante 3 bei -111,2 kg Humus-C ha⁻¹, bei Variante 1 und 2 im positiven Bereich. Die Flächen dieser Maßnahme sollten über einen längeren Zeithorizont beobachtet werden, um die Entwicklungen dieser Flächen zu präzisieren.

Evaluierung der Klimawirksamkeit von ÖPUL Maßnahmen – Anhang

Die Referenz (100 % Strohabfuhr und kein weiterer C-Input) liegt bei $-486,6 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$ im Vergleich zu $-223,5 \text{ kg Humus-C ha}^{-1}$ auf der gleichen Fläche mit Belassen der Ernterückstände am Feld (Strohfaktor 80). Aus diesen Zahlen wird ersichtlich, dass eine Rückführung der Ernterückstände einen wichtigen C-Input liefert.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/4500

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Bewirtschaftungsmethoden im Ackerbau beeinflussen Speicherung von organischem Kohlenstoff im Boden, Humusbildung und Lachgasemissionen. Diese können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

In Zusammenarbeit mit der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) überprüft das Umweltbundesamt ausgewählte ÖPUL-Maßnahmen auf ihre Klimaschutzwirkung und leitet Managementfaktoren zur Abschätzung der Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte ab. Die Ergebnisse der Humus- und Stickstoffbilanz auf regionaler bzw. nationaler Ebene zeigen, dass die ÖPUL-Maßnahmen *biologische Wirtschaftsweise, Begrünung von Ackerflächen* und *Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel* einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz liefern. Neben der Begrünung hat der Einsatz organischer Dünger einen maßgeblichen Einfluss auf die Humusmehrung.