

Maßnahme

„Pflugloser Ackerbau“

Evaluierung hinsichtlich der Klimarelevanz





**EVALUIERUNG DER MASSNAHME  
„PFLUGLOSER ACKERBAU“  
HINSICHTLICH DER KLIMARELEVANZ**

Gerhard Zethner  
Katrin Sedy  
Bettina Schwarzl

REPORT  
REP-0526

Wien 2015

**Projektleitung**

Gerhard Zethner

**AutorInnen**

Gerhard Zethner

Katrin Sedy

Bettina Schwarzl

**Lektorat**

Maria Deweis

**Satz/Layout**

Elisabeth Riss

**Umschlagfoto**

© Maria Deweis

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung I/4 erstellt.

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

**Impressum**

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

*Das Umweltbundesamt druckt seine Publikationen auf umweltfreundliches Papier.*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2015

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-337-0

## INHALT

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>EINLEITUNG</b> .....   | 9  |
| 1.1      | Definition von pfluglosem Ackerbau .....  | 9  |
| 1.2      | Systemgrenzen für die Anwendung der Maßnahme<br>„Pflugloser Ackerbau“ .....   | 9  |
| 1.3      | Arbeitstechnische und ökonomische Aspekte des<br>pfluglosen Ackerbaus .....   | 9  |
| 1.4      | Verbreitung des pfluglosen Ackerbaus .....  | 13 |
| 1.5      | Eignung von Kulturarten für pfluglosen Ackerbau .....   | 13 |
| 1.6      | Die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ im<br>Agrarumweltprogramm ÖPUL .....   | 14 |
| 1.7      | Ziel der Studie .....   | 16 |
| <b>2</b> | <b>ÖKOLOGISCHE ASPEKTE DES PFLUGLOSEN<br/>ACKERBAUS</b> .....   | 17 |
| 2.1      | <b>Klimaschutz und Klimawandelanpassung</b> .....   | 17 |
| 2.1.1    | Klimaschutz .....   | 17 |
| 2.1.1    | Klimawandelanpassung .....  | 19 |
| 2.1.2    | Kulturartenspezifische Auswirkungen .....   | 19 |
| 2.2      | <b>Partikel-Emissionen aus der Landwirtschaft</b> .....   | 20 |
| 2.2.1    | Primäre Partikel .....  | 20 |
| 2.2.2    | Sekundäre Partikel .....  | 20 |
| 2.2.3    | Ammoniak-Reduktionspotenziale einer pfluglosen<br>Bodenbewirtschaftung .....  | 21 |
| 2.3      | <b>Aggregatstabilität: Boden- und Erosionsschutz</b> .....  | 27 |
| 2.4      | <b>Wasserspeicherung: Hochwasserschutz und<br/>Gewässerschutz</b> .....   | 28 |
| 2.5      | <b>Biomassezunahme und Biologische Vielfalt</b> .....   | 28 |
| 2.6      | <b>Nährstoffspeicherung</b> .....   | 29 |
| 2.7      | <b>Pflanzenschutzmitteleinsatz</b> .....  | 29 |
| 2.7.1    | Einsatz von Herbiziden in Österreich .....  | 29 |
| 2.7.2    | Der Wirkmechanismus von Glyphosat .....   | 30 |
| 2.7.3    | Alternativen zum Herbizideinsatz .....  | 33 |
| <b>3</b> | <b>POTENZIALABSCHÄTZUNG FÜR ÖSTERREICH</b> .....  | 34 |
| 3.1      | <b>Überblick</b> .....  | 34 |
| 3.2      | <b>Datengrundlagen</b> .....  | 34 |
| 3.2.1    | Auswertungen aus der INVEKOS-Datenbank: Maßnahmen- und<br>Flächenabfragen .....   | 34 |
| 3.2.2    | Kulturspezifische Ausnahmen hinsichtlich einer pfluglosen<br>Bodenbearbeitung und der Verbleib von Ernterückständen ..... | 34 |
| 3.2.3    | Relevante Maßnahmen .....   | 35 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| <b>3.3</b> | <b>Ergebnisse</b> .....                                      | 35 |
| 3.3.1      | Flächenpotenzial .....                                       | 35 |
| 3.3.2      | Managementfaktoren im internationalen Vergleich.....         | 36 |
| 3.3.1      | Ergebnisse der Potenzialabschätzung für Österreich.....      | 36 |
| <b>4</b>   | <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND<br/>MASSNAHMENEINORDNUNG</b> ..... | 40 |
| <b>5</b>   | <b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....                            | 44 |

## ZUSAMMENFASSUNG

Aufgabe der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung ist es, die bestmöglichen Wachstumsbedingungen für Kulturpflanzen herzustellen. Darüber hinausgehend sollte die Bodenbearbeitung auch auf die nachhaltige Verbesserung des Bodens als Kohlenstoff- und Wasserspeicher und auf die Erhaltung seiner Fruchtbarkeit abzielen.

In der Literatur wird die Wirkung der ganzjährig/dauerhaft pfluglosen Bodenbewirtschaftung auf die Änderung des Humusgehalts durchwegs kontrovers diskutiert. Während einige AutorInnen lediglich von einer oberflächlichen Anreicherung der Bodenkohlenstoffgehalte und der organischen Materialien sprechen, sehen andere einen wichtigen Beitrag zum Aufbau einer ausgeglichenen Humusbilanz und in Summe zu einer verbesserten Treibhausgasbilanz der Standorte.

Insbesondere das Zusammenwirken von

- organischen Düngergaben,
- (hohen) Bodenkohlenstoffgehalten,
- Lachgasemissionen und der
- Methanoxidation des Bodens

ist in der Umstellung auf eine ganzjährig/dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung (Festbodenwirtschaft) zu beachten. Neue Technologien, wie die Anwendung der Injektionstechnik zum Ausbringen von Wirtschaftsdüngern und der Einsatz von Nitrifikationshemmern und Depotdüngern, werden als innovative Weiterentwicklungen der Bodenwirtschaft angeführt und können auch die N-Verluste in der Festbodenwirtschaft reduzieren.

Im ÖPUL 2007 ist die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ als eigene Maßnahme bereits verankert. Auch in der Agrarumwelt- und Klimamaßnahme des Programms für ländliche Entwicklung 2014–2020 ist die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ (inkl. Strip Till) vorgesehen. Bei dieser Maßnahme ist die wendende Bodenbearbeitung und Tiefenlockerung unzulässig. Die wendende Bodenbearbeitung sollte nur in dem Zeitfenster zwischen Ernte der Vorfrucht und Anbau Zwischenfrucht erfolgen. In dem Zeitfenster Begrünungsumbruch (etwa durch häckseln, abfrostern, grubbern, eggen, totspritzen, niederwalzen) bis Aussaat der neuen Kultur ist die Tiefenlockerung unzulässig. In dieser Arbeit wird untersucht, wie sich eine inhaltlich anspruchsvollere Maßnahme hinsichtlich ganzjähriger/dauerhafter pflugloser Bodenbewirtschaftung auf die Treibhausgasemissionen, Pestizidanwendung und Luftschadstoffemissionen auswirken würde.

Als Grundlage für die Bewertung der Bewirtschaftungsmaßnahmen von Ackerflächen wurde u. a. eine nationale Studie zur Bewertung der ÖPUL 2007–2014-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit herangezogen (UMWELT-BUNDESAMT 2010).

Die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ wird als klimarelevant eingestuft, da sie den Bodenkohlenstoffgehalt stabilisieren und gegebenenfalls erhöhen kann (Kohlenstoff-Sequestrierung). Damit zählt sie, so wie die ÖPUL 2007–2014-Maßnahmen „Biologische Wirtschaftsweise (BIO)“, „Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen (Verzicht Acker)“ und „Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen (UBAG)“ zu den humusaufbauenden und düngerreduzierenden Maßnahmen. Um die potenziell mögliche Kli-

### ***pfluglose Bodenbewirtschaftung***

### ***Mulch- und Direktsaat***

maschutzwirksamkeit der vorgeschlagenen neuen Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“ – zu quantifizieren, werden unter der Annahme von mehr oder weniger konstant bleibenden ÖPUL-Teilnahmeflächen nationale, emissionsrelevante und aus AGES-Dauerversuchen abgeleitete Managementfaktoren (UMWELTBUNDESAMT 2010) mit internationalen bzw. adaptierten IPCC-Boden-Managementfaktoren („default values“, IPCC 2003) verglichen und es wird eine potenziell mögliche C-Speicherung in den Ackerböden Österreichs errechnet.

#### **N-Effizienzsteigerung**

Entsprechend der vorliegenden Studie könnte mit dem pfluglosen Ackerbau insgesamt eine N-Effizienzsteigerung erreicht werden. Insbesondere durch die höhere Anforderung an die Ausbringungstechnik für die Wirtschafts- und die Mineraldünger auf pfluglos bewirtschaftetem Ackerland kann die Effektivität des Wirtschaftsdüngers, wenn dies in der Düngerplanung berücksichtigt wird, deutlich erhöht werden. Damit kann eine indirekte Reduktion von Mineraldünger abgeleitet werden.

#### **THG-Reduktionspotenzial**

Einige Furchtfolgeglieder – z. B. der Kartoffelbau – sind mit der Umstellung auf eine pfluglose Bodenwirtschaft schwer vereinbar. Werden diese Kulturen von einer Umstellung ausgenommen, verbleibt eine Ackerfläche von rund 1,192 Mio. ha als potenzielle Festbodenwirtschaftsfläche zur Umstellung auf die vorgeschlagene neue Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“. Wird davon eine mögliche Klimaschutzwirkung errechnet, zeigt sich eine Treibhausgasreduktion von 296 Gg CO<sub>2</sub> (entspricht 3,9 % der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft). Dabei werden die bisherigen Wirkungen aufgrund des Flächenumfangs der ÖPUL-Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ bereits berücksichtigt.

Die positiven Auswirkungen auf die Luftqualität werden insbesondere durch die Anwendung der bodennahen Gülleausbringung bzw. Einbringung von Düngemitteln in den Boden bewirkt. Geschätzte 55 % des NH<sub>3</sub>-Verlustes bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern könnten durch die Anwendung von innovativer Technik im Kontext der pfluglosen Bewirtschaftung zum großen Teil vermieden werden - zumindest aber könnten diese jedenfalls reduziert werden.

Es wird daher vorgeschlagen, die bisherige ÖPUL-Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ auf eine ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung zu erweitern. Weiters wird der programmatische Versuch einer Trennung von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung unternommen. Am konsequentesten erscheinen jedoch den Autoren eine Loslösung vom ÖPUL-Programm und die Etablierung eines eigenen GAP-Instruments - auf gleicher Ebene wie etwa die Biologische Wirtschaftsweise in der Gemeinsamen Agrarpolitik eingeordnet ist. Damit könnten die bereits in Ansätzen vorhandenen EU-Zielabsichten in der zurückgezogenen Bodenschutz-Richtlinie und die Verpflichtungen im Rahmen der Cross Compliance zu Bodenkohlenstoff verwirklicht werden.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass Bodenschutz, wie er hier im Rahmen der pfluglosen Bewirtschaftung praktiziert wird, ein großes Potenzial an Klimaschutzwirkung und Klimaanpassung bietet. Darüber hinaus sind daraus Antworten für die dringenden Fragen zur Luftreinhaltung bei Ammoniak zu erwarten. Die Einsparungseffekte bezüglich Mineraldünger, die durch eine höhere Wirksamkeit von Wirtschaftsdünger erzielt werden können, werden als beachtlich eingeschätzt. Nicht unerwähnt bleiben sollen die offenen Fragen bezüglich vermehrtem bzw. vermindertem Herbizideinsatz durch den pfluglosen Ackerbau,



zu denen ein umweltverträgliches Gesamtsystem aufgebaut werden muss. Neben der praktischen Durchführung mit Hilfe neuer Bodenbearbeitungsgeräte ist die bodennahe Ausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern nach unserer Einschätzung einerseits eine innovative Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Andererseits sind damit Investitionen verbunden, die ökonomisch nur von großen Einheiten geleistet werden können bzw. bevorzugt in Gemeinschaft mit anderen Bauern getätigt und die Geräte rentabel eingesetzt werden können.



# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Definition von pfluglosem Ackerbau

Der pfluglose Ackerbau ist eine konservierende Bodenbearbeitung, die auf den Pflugeinsatz, also eine wendende Bodenbearbeitung, verzichtet (pfluglose Bodenbearbeitung). Die Begriffe „pflugloser Ackerbau“ und „konservierende Bodenbearbeitung“ werden daher synonym verwendet.

Der Begriff „konservierende Bodenbearbeitung“ leitet sich vom amerikanischen „conservation tillage“ ab. Damit werden in den USA diejenigen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren bezeichnet, bei denen nach der Aussaat mehr als ein Drittel der Bodenoberfläche mit Pflanzenresten bedeckt bleibt. Dazu zählen

- „mulch tillage“ oder „minimum tillage“ (die Mulchsaat),
- „ridge tillage“ (die Dammsaat) und
- „no-tillage“ (die Direktsaat).

Es kommen nicht-wendende Bodenbearbeitungsgeräte zum Einsatz (z. B. Grubber, Scheibeneggen, zapfwellengetriebene Geräte), die den Boden weitgehend in seinem Aufbau belassen. Gleichzeitig verbleiben Ernterückstände, wie z. B. Stroh (Mulchmaterial), nahe oder an der Bodenoberfläche. Die konservierende Bodenbearbeitung hat ein stabiles, wenig verschlammungsanfälliges, gleichzeitig tragfähiges Bodengefüge zum Ziel.

***Bodenbedeckung  
mit Pflanzenresten***

## 1.2 Systemgrenzen für die Anwendung der Maßnahme „Pflugloser Ackerbau“

Da im Grünland in Österreich nur selten der Pflug zur Bodenbearbeitung eingesetzt wird, wird in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die Ackerfläche Österreichs für die Analysen herangezogen. Ausnahmefälle, bei denen die pfluglose Bodenbearbeitung auch für Wiesenflächen eine Rolle spielt, sind beispielsweise der Grünlandumbruch bzw. die Grünlanderneuerung. Einen Sonderfall stellt zudem auch die Einsaat dar, in der Grünlandschäden gezielt ausgebessert werden, jedoch kein Pflug angewendet wird.

Der Einsatz von Energie- und Arbeitskraft wird in der vorliegenden Studie – durch die Fokussierung auf die rein mechanische Bodenbearbeitungsmethoden bzw. Luftschadstoffemissionen – nicht berücksichtigt. Auf sonstige Folgewirkungen (z. B. erhöhter Pestizideinsatz bzw. Ausbringtechnik für Düngemittel) wird überblicksmäßig eingegangen.

## 1.3 Arbeitstechnische und ökonomische Aspekte des pfluglosen Ackerbaus

Mittlerweile gibt es vielfältige Bodenbearbeitungsgeräte, die der reduzierten Bodenbearbeitung gerecht werden. Einen kurzen Überblick über die Gerätetypen und deren Vor- und Nachteile liefert die folgende Tabelle. Abschließend sind

auch zwei Pflugtypen angeführt (Onland-Pflug und Schälplug), die bei notwendigem Pflugeinsatz geringere Eingriffe in den Boden ermöglichen als herkömmliche Pflugsysteme.

*Tabelle 1:  
Vor- und Nachteile  
verschiedener  
Gerätetypen der  
reduzierten  
Bodenbearbeitung  
(FIBL 2014).*

| <b>Maschinentyp</b>            | <b>Charakteristik</b>  | <b>Vorteile</b>   | <b>Nachteile</b>  |
|--------------------------------|--|---|---|
| Stoppelhobel                   | Boden wird ganzflächig unterschritten, durchmischt, aber nicht gewendet  | flaches, ganzflächiges Unterschneiden, Arbeitstiefe > 8 cm möglich  | mehrere Durchgänge für Grünlandumbruch; unregelmäßige Tiefenführung bei sehr schweren Böden und trockenen Bedingungen |
| Flachgrubber                   | flache, breite, sich überschneidende Gänsefußscharen   | ganzflächiges Unterschneiden auf ebener Fläche, Arbeitstiefe > 5 cm möglich   | mehrere Durchgänge für Grünlandumbruch, geringe Bodendurchmischung und Einarbeitung der Ernterückstände               |
| Flügelschargrubber             | steile Flügelscharen, Scharspitze und Scharflügel arbeiten in unterschiedlichen Tiefen   | gute oberflächliche Durchmischung und Einarbeitung von Ernterückständen, Arbeitstiefe 8–25 cm   | ganzflächiges Unterschneiden nur bei erhöhter Arbeitstiefe möglich, unebene Bearbeitungssohle                         |
| Scheibenegge                   | einfache oder gezahnte Hohlscheiben, Angriffswinkel kann hydraulisch eingestellt werden  | gute Oberflächendurchmischung und Einarbeitung von Ernterückständen, Arbeitstiefe > 5 cm möglich  | kein ganzflächiges Unterschneiden, kann Wurzelunkräuter durch Zerschneiden der Rhizome vermehren                      |
| Federzinken-, Kultur-, Garegge | Zinken oder kleine Gänsefußscharen; für Unkrautkuren und Saatbettbereitung   | leichte Bauweise, Arbeitstiefe > 5 cm möglich   | kein ganzflächiges Unterschneiden, nicht im unbearbeiteten Boden einsetzbar   |
| Zapfwellengetriebene Eggen     | horizontal oder vertikal rotierende Zinken. Kreiselegge und Rototiller für Saatbettbereitung auf bearbeitetem Boden. Kreiselgrubber für unbearbeitete Böden                | auch auf schweren Böden, feines und ebenes Saatbett durch Zerkleinerung von groben Schollen, oberflächliche Durchmischung und Einarbeitung von Ernterückständen möglich. Einbau in Säkombination, Arbeitstiefe ca. 5–10 cm. | starke Beanspruchung der Bodenstruktur; Störung der Bodenfauna (Regenwürmer), erhöhter Treibstoffverbrauch            |
| Glyph-o-Mulch                  | zwei 1,2 m breite Klingen unterschneiden den Boden in geringer Tiefe ganzflächig; nachlaufender Rotor verzettelt abgeschältes Material und trennt Erde von Wurzelresten ab | Grünland-/Ackerflächenumbbruch mit einem Durchgang möglich  | Umbruch nur bei trockenen Bedingungen, erhöhter Treibstoffverbrauch   |

| <b>Maschinentyp</b>  | <b>Charakteristik</b>   | <b>Vorteile</b>  | <b>Nachteile</b>   |
|--|---|--|--|
| Mulchsaat-Kombination  | kombiniert Scheibenegge oder Grubber mit Walze und Sämaschine; Einbau von Kreislegge/Rototillers möglich  | Befahren des gewachsenen Bodens, Bodenbearbeitung und Saat in einem Durchgang  | keine Vegetationsabtrocknung; durch Rückverfestigung trocknen Pflanzenrückstände an der Bodenoberfläche bei Feuchtigkeit schlechter ab |
| Streifenfrässaatmaschine (einsetzbar bei Strip-Till-Verfahren) | streifenweise Bearbeitung mit Fräse mit tlw. vorgelagerten Lockerungsscharen; Saatgutablage in gelockerte Streifen  | Befahren des gewachsenen Bodens, Teil-Bodenbearbeitung und Saat in einem Durchgang   | höheres Unkrautrisiko bei Durchwuchs   |
| Direktsämaschine   | Zinken- Scheiben- oder Kreuzschlitzscharen; durch hohen Schardruck kann die Saatgutablage direkt in den unbearbeiteten Boden und durch dichte Mulchschichten erfolgen | Befahren des gewachsenen Bodens, Bodenbearbeitung auf Schlitze im Boden reduziert, geringer Kraftstoffbedarf                                     | schwierige Unkrautkontrolle, verlangsamte Bodenwärmung und Nährstoffmineralisierung  |
| Messerwalze  | stumpfe Messer in 15 cm Abstand, Regulierung von Gründüngung, Pflanzenstiele eingeknickt  | Mulchschicht verrottet langsamer als Mähen oder Mulchen; Frontanbau für Kombination mit Direktsämaschine   | Art und Wachstumsstadium der Gründüngung beeinflussen den Regulierungserfolg   |
| optionaler Pflugeinsatz  | Charakteristik  | Vorteile   | Nachteile  |
| Onland-Pflug   | herkömmlicher Pflug mit Vorschäler, Befahren wird gewachsener Boden statt Furche, flache Tiefenführung durch Stützrad   | Unkraut und Ernterückstände eingearbeitet (reiner Tisch); Grünland/Ackerfutterflächenumbruch in einem Durchgang, Befahren des gewachsenen Bodens | Arbeitstiefe ab 15 cm, geringe Flächenleistung, hoher Treibstoffbedarf   |
| <b>optionaler Pflugeinsatz</b>                                 | <b>Charakteristik</b>   | <b>Vorteile</b>  | <b>Nachteile</b>   |
| Schälplflug  | Onland-/Offland-Modelle, leichter als herkömmlicher Pflug, kein Vorschäler, kürzere, steilere Riester; durch Stützrad sehr flache Tiefenführung möglich               | Unkraut und Ernterückstände eingearbeitet (reiner Tisch); Grünland/Ackerfutterflächenumbruch in einem Durchgang möglich, Arbeitstiefe 8–25 cm    | wendende Bodenbearbeitung; unvollständiges Wenden und unregelmäßige Tiefenführung bei sehr schweren Böden und trockenen Bedingungen    |

Ein herkömmlicher Pflug (Streichblechpflug) dreht einen bis zu 30 cm dicken Balken des Bodens beinahe vollständig um und begräbt auf diese Weise die meisten Ernterückstände. Durch das sogenannte „Grubbern“ wird die Erde je nach Einstellung unterschiedlich tief aufgelockert, sodass auch Pflanzenreste

an der Oberfläche verbleiben. Bei der Mulchsaat wird in dieses so vorbereitete Saatbeet (alternativ zum Grubber werden auch Kreiseleggen, Saatbettkombinationen u. v. m. verwendet) eingesät.

***schonende  
Bearbeitung durch  
Direktsaat***

Durch die Direktsaat wird der Boden noch weniger manipuliert – hier wird ohne vorausgegangener oberflächlicher Bodenlockerung pro Pflanzreihe lediglich eine wenige Zentimeter breite Rille gezogen, in die die Samen eingesät werden (HUGGINS & REGANOLD 2009).

***Anpassungsbedarf  
bei pflugloser  
Bodenbearbeitung***

Die Wirkung einer pfluglosen Bewirtschaftung läuft in mehreren Phasen ab und bringt einen merklichen Anpassungsbedarf für die Betriebsführung mit sich. Abhängig von der Bodenart sind, insbesondere bei Böden mit hohem Tongehalt, veränderte Aussaatbedingungen, geänderte Befahrbarkeit und neue Herausforderungen hinsichtlich des Pflanzenschutzes zu bewältigen. Änderungen betreffen auch die Abfuhr von Ernterückständen und die erforderliche Maschinen- und Geräteausstattung. Die Aussaaten sind beispielsweise ohne eine gelockerte Durchwurzelungsschicht durchzuführen. Die pfluglose Bodenbearbeitung bewirkt im Allgemeinen eine bessere Befahrbarkeit der Flächen bei feuchten oder nassen Bedingungen – hier kann es aber in Ausnahmefällen zu Bodenverdichtungserscheinungen kommen. Bei der pfluglosen Bodenbearbeitung sind zu meist bessere Startbedingungen für die eingesäten Kulturen als bei konventionellen Methoden zu erwarten. Fallweise kann jedoch z. B. erhöhter Schneckenfraß bei einer konservierenden Bearbeitungsmethode und feuchten Bedingungen auftreten.

Aufgrund der Herausforderungen, die eine pfluglose Bewirtschaftung für Betriebe mit sich bringt, werden die Nachteile des Pflügens durch die Vorteile einer pfluglosen Bodenbearbeitung nicht unmittelbar aufgewogen. Eine Änderung hin zur konservierenden Bearbeitung erfordert ein Umdenken auf mehreren Ebenen und bedarf aller Wahrscheinlichkeit nach zusätzlicher Anreize.

***Vor- und Nachteile***

HUGGINS & REGANOLD (2009) zufolge wirkt sich die pfluglose Bodenbearbeitung positiv auf zeitliche und finanzielle Ressourcen der Landwirtinnen und Landwirte aus. Im Vergleich zur Pflugvariante ist die pfluglose Methode um 30–50 % weniger arbeitsintensiv und spart durch die geringere Befahrungsintensität 50–80 % an Treibhausgasen ein. Demgegenüber stehen aber auch oft höhere Kosten für Spezialmaschinen. Von LEHRKE et al. (2010) wird darauf hingewiesen, dass die Mulchsaat bei engen, getreidebetonten Fruchtfolgen durch die dadurch bedingte potenzielle Zunahme an Verunkrautung, Pflanzenkrankheiten und Schädlingen unter Umständen sogar mehr Kosten verursacht als bei der pfluglosen Bodenbearbeitung (Mulchsaat) eingespart werden kann. Laut GREBE et al. (2010) beträgt die Einsparung an Kraftstoffen bei der pfluglosen, nicht wendenden Bodenbearbeitung bis zu 10 Liter pro Jahr und Hektar.

Nach LEHRKE et al. (2010) sollte die Bodenbearbeitung jedenfalls immer an den Standort und die Situation angepasst erfolgen und keinesfalls gänzlich auf nur einem Bearbeitungssystem (Pflug, Mulch, Direktsaat) aufbauen. Beispielsweise sollte der Pflug bei getreidereichen Fruchtfolgen zumindest periodisch zum Einsatz kommen, um Ertragseinbußen durch Pflanzenkrankheitsdruck bzw. Problemunkräuter vorzubeugen. Bei Fruchtfolgen mit einem höheren Blattfruchtanteil kann dagegen auf eine Bearbeitung mit dem Pflug verzichtet werden. Demnach ist gemäß diesen Autoren der periodische Pflugeinsatz – in Abhängigkeit von der Fruchtfolge – durchaus sinnvoll.

## 1.4 Verbreitung des pfluglosen Ackerbaus

Bis dato ist die pfluglose Bodenbearbeitung innerhalb der EU-Mitgliedstaaten erst vereinzelt anzutreffen. HUGGINS & REGANOLD (2009) zufolge setzt sich die Direktsaat beispielsweise in Deutschland weit weniger durch als in den USA oder in Teilen Südamerikas, wo sie lokal schon einen höheren Anteil ausmacht. Die Ursache ist voraussichtlich in der praktizierten Low-Input-Technik in den US-amerikanischen Ackerbaugebieten zu sehen, bei der große einheitliche Flächen mit geringem Input an Mineraldünger und Landtechnik und vergleichsweise unterdurchschnittlichen – gemessen an zentraleuropäischen – Erträgen bewirtschaftet werden. Zumeist handelt es sich bei den Ackerböden um rezente Prärieböden (Graslandböden), die eine relativ kurze Entwicklungsgeschichte als Ackerböden haben und nach wie vor einem deutlichen Humusabbau unterliegen.

***unterschiedliche  
Bodenbedingungen***

Im Vergleich dazu sind europäische Ackerböden u. U. seit Jahrhunderten „unter Pflug genommen“, sodass ein anderes Fließgleichgewicht bezüglich Humus eingestellt ist und in einer Umstellungsphase – wie es die Pfluglosigkeit mit sich bringt – auch Ernteschwankungen nicht ausgeschlossen sind.

Zumeist werden in Europa abgewandelte Formen, wie etwa die reduzierte Bodenbearbeitung, angewendet. Abhängig von der Fruchtfolge wird dabei der Pflug häufig einmal pro Jahr eingesetzt. Darüber hinaus wird bei dieser Variante der Boden auch mehrmals pro Jahr mit Grubber und Kreiselegge oberflächlich durchmischt.

Der Pflug ist in der Regel aufgrund seiner tiefen Lockerung, seiner phytosanitären Wirkung (Unkrautbeseitigung) und seiner Durchlüftungswirkung geschätzt. Demgegenüber stehen die nachteiligen Auswirkungen, die mit dem Pflügen einhergehen. Dazu zählen beispielsweise eine verstärkte Bodenatmung durch Mineralisierungsschübe und damit der Verlust an organischer Substanz, verbunden mit hoher Stickstoffmineralisierung. Durch die Entstehung einer offenen, ungeschützten Bodenschicht erhöht sich auch die Erosionsgefahr.

## 1.5 Eignung von Kulturarten für pfluglosen Ackerbau

Eine konservierende Bodenbearbeitung eignet sich für die meisten Klimabedingungen und Böden. Die Direktsaat kann bei den meisten Kulturpflanzen eingesetzt werden – Ausnahmefälle sind Wurzel- und Knollengemüse (z. B. Kartoffel). Als sensibel gegenüber einer pfluglosen Bodenbearbeitung (Festbodenwirtschaft) erweisen sich außerdem die Fruchtfolgeglieder Raps, Mais und der Getreidebau generell. Körnermais hinterlässt beispielsweise eine hohe Stammbiomasse und benötigt phytosanitäre Maßnahmen. Getreide hingegen hinterlässt eine beachtliche Menge an Stroh, welches durch die fehlende Einarbeitung in den Boden Probleme bei der Keimung für die Folgekultur verursachen kann. Um beispielsweise Aufgangsverluste bei Rapssaat weitgehend zu vermeiden, bedarf es u. a. eines feinen Saatbetts. Darauf wäre die Bodenbearbeitung jedenfalls abzustimmen (SCHMIDT 2009a). Die besonderen Bedingungen können mit einer abgestimmten Fruchtfolge und eingeschränktem Pflugeinsatz berücksichtigt werden.

Ackerbaukulturen reagieren generell unterschiedlich auf geänderte Bodenbearbeitungsformen. Getreidearten wie Weizen und Gerste sind relativ unempfindlich gegenüber Festbodenbedingungen und weisen bei pflugloser Bodenbearbeitung auch unter ungünstigen Bedingungen nur eine geringe Ertragsdepression auf. Bei Hackfrüchten – wie etwa der Zuckerrübe – können die Fruchtkörper durch die pfluglose Bodenbewirtschaftung nicht gleichmäßig, sondern in unterschiedlicher Bodentiefe verankert sein. Je nach Kulturart sind durch den Bewirchafter/die Bewirchafterin bei einer Umstellung auf pfluglose Bearbeitung entsprechende Änderungen im Routinebetrieb einzuplanen: So wirken beispielsweise Kulturarten, bei denen große Mengen an Ernterückständen am Feld verbleiben (z. B. Roggen: hoher Strohanteil), im Fall von ungünstigen Witterungsverhältnissen für nachfolgende Kulturen eher aufgangshemmend.

## 1.6 Die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ im Agrarumweltprogramm ÖPUL

Aufgrund ihrer positiven Umweltwirkungen hinsichtlich Erosionsminderung ist die Bodenbearbeitungsmaßnahme „Mulch- und Direktsaat“ im heimischen Agrarumweltprogramm ÖPUL seit 1995 etabliert<sup>1</sup> und wird gefördert – von 1995 bis 2006 als Maßnahme „Erosionsschutz im Ackerbau“, seit dem Programm LE 07-2013 mit dem ÖPUL 2007 (BMLFUW 2007) als Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“. Auch in der Agrarumwelt- und Klimamaßnahme des Programms für ländliche Entwicklung 2015–2020 (LE 2020, BMLFUW 2014) ist die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ (inkl. Strip Till) vorgesehen.

**Direktsaat** Bei der Maßnahme „Direktsaat“ wird die Saat direkt in die Rückstände der Vorfrucht bzw. der Begrünungspflanzenreste eingesät. Das bedeutet den Wegfall von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung – lediglich eine Direktsaatmaschine wirkt auf den Boden ein (vgl. SCHMIDT et al. 2001).

**Mulchsaat** Unter Mulchsaat wird eine konservierende bzw. reduzierende Bodenbearbeitung ohne Pflug verstanden. Es erfolgt eine Grund- und Saatbettvorbereitung mit nicht-wendenden Geräten und Maschinen (Grubber, Scheibenegge, zapfwellengetriebene Geräte). Dadurch wird organisches Material der Vorkultur an oder nahe an der Oberflächennähe eingearbeitet (SCHMIDT et.al 2001).

---

<sup>1</sup> In Österreich wird die umweltschonende Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen, die umweltfreundliche Extensivierung der pflanzlichen und tierischen Erzeugung sowie die langfristige Stilllegung von landwirtschaftlichen Flächen aus Gründen des Umweltschutzes seit dem EU-Beitritt 1995 mit dem Agrar-Umweltprogramm ÖPUL gefördert. Das ÖPUL 1995 wurde nach dem EU-Beitritt wirksam, das zweite Umweltprogramm ÖPUL 1998 wurde im Herbst 1997 von der EU-Kommission genehmigt und das Umweltprogramm ÖPUL 2000 wurde auf Basis der Verordnung (EG) 1257/1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes erstellt. Das ÖPUL 2007 wurde im Rahmen des Österreichischen Programms für die Entwicklung des Ländlichen Raums 2007–2013 auf Basis der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 wirksam und das neue Programm LE 2020 inkl. der Agrarumwelt- und Klimamaßnahme (ÖPUL) soll ab 2015 auf Basis der Verordnung (EG) Nr. 1305/2013 gelten.



Bei der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ ist eine wendende Bodenbearbeitung unzulässig, seit 2014 auch die Tiefenlockerung. Die Festlegung „ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ bzw. „ganzjährig/dauerhaft nichtwendend“ fehlt jedoch in der aktuell geplanten ÖPUL-Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ (inkl. Strip-Till), sodass durchaus ein bis zwei Pfluggänge pro Jahr (im Sommer/Herbst) stattfinden können. Nur in dem Zeitfenster zwischen Begrünungsumbruch (z. B. durch häckseln, abgefrostet, grubbern, eggen, totspritzen, niederwalzen) und Aussaat der neuen Kultur ist die wendende Bodenbearbeitung und Tiefenlockerung unzulässig. Durch häufiges Grubbern wird bei dieser Maßnahme zudem auch eine gewisse Bodendurchmischung erreicht, welche ebenfalls u. a. zum Abbau organischer Substanz im Boden führt.

**Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung**

Die Klimaschutzwirkung dieser Maßnahme wird damit eingeschränkt, da die Kohlenstoffanreicherung durch die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug vermeintlich stark reduziert wird. Im Sinne einer Maßnahmenverbesserung sollte daher die Maßnahme mit dem Hinweis „ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ aufgewertet werden. Die ÖPUL-Maßnahme sollte – auf dem Weg der programmbegleitenden Optimierung der Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahme im Programm LE 2020 – nur als Vorstufe oder Vorbereitung für eine Maßnahme mit generellem Verzicht auf wendende und durchmischende Bodenbearbeitungsmaßnahmen gesehen werden (dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung siehe SCHMIDT 2009b).

**Klimaschutzwirkung**

Die bisherige Fläche der Mulch- und Direktsaat-Maßnahme umfasst rund 155.000 ha (2007) bis 141.856 ha (2013) bewirtschaftete Ackerfläche.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie sich eine inhaltlich aufwertete Maßnahme hinsichtlich ganzjähriger/dauerhafter pflugloser Bodenbewirtschaftung (dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung) auf die Treibhausgasemissionen auswirken würde. Es wird simuliert, welche Klimaschutzbeiträge aus dieser qualitativen Aufwertung der pfluglosen Bodenbearbeitungsmethode zu erwarten wären.

Die Maßnahme wird ab 2015 um die Bodenbearbeitungsform „Strip Till“ ergänzt. Die Streifenbearbeitung (Strip-Till) ist ein relativ neues konservierendes Bodenbearbeitungsverfahren, das die Vorteile der konventionellen Bodenbearbeitung (Ertragssicherheit) und der Direktsaat (Erosionsschutz) verbinden soll. Beim Strip-Till-Verfahren wird der Boden nicht ganzflächig gelockert, sondern es werden nur die späteren Saat- bzw. Pflanzstreifen mit Lockerungswerkzeugen bearbeitet. Somit bleiben 50–70 % der Fläche unbearbeitet, vorherige Begrünungen bleiben auf diesen Flächen bestehen. Als Schutz vor Bodenerosion und Austrocknung dient ebenso das an der Bodenoberfläche verbleibende abgestorbene Pflanzenmaterial (Mulch) der Vorfrucht.

**Streifenbearbeitung Strip Till**

Da Strip Till die Kombination von zwei Bewirtschaftungsmethoden (intensive und minimale Bodenbearbeitung) vereint, gilt es die Vorteile und Nachteile in der Praxis zu identifizieren sowie Klima- und Bodenschutzwirkung zu quantifizieren.

Die Vorteile dieser Bearbeitungsmethode liegen im sicheren Saataufgang, da sie im Bereich mit wenigen Pflanzenresten erfolgt. Die bearbeiteten Streifen erwärmen sich schnell und trocknen schnell ab. Damit ist auch ein früher Saataufgang möglich und die Krankheitsanfälligkeit wird nicht erhöht. Wird Strip Till mit Reihendüngung kombiniert, können die Effizienz erhöht, die Ausbringmengen und die Luftemissionen reduziert werden.

**Vorteile von Strip Till**

**Nachteile von Strip Till** Als nachteilig anzuführen sind Investitionen für benötigte Geräte. Unumgänglich scheint die Verwendung eines genauen Lenksystems (GPS-global position system) zu sein, das das Aufzeichnen und Abrufen der angelegten Strip Till-Spuren ermöglicht.

## 1.7 Ziel der Studie

In der vorliegenden Arbeit wird der hypothetische Fall einer ausschließlich pfluglosen Bearbeitung des Ackerbodens für alle geeigneten Kulturen angenommen und es werden die Folgen für die CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die sich daraus ergebenden systemischen Einschränkungen für landwirtschaftliche Betriebe analysiert.

Eine Reihe von Bewirtschaftungs-Maßnahmen werden im österreichischen Agrarumweltprogramm ÖPUL als klimaschutzrelevant eingestuft. Dazu zählen insbesondere humusaufbauende und düngerreduzierende Maßnahmen. Dazu zählt auch die Maßnahme Mulch- und Direktsaat. Im Rahmen dieser Studie wird die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“ hinsichtlich ihres Klimaschutzpotenzials und ihrer Wirkung auf agrarische Bewirtschaftungsformen diskutiert.

Als wichtige Grundlage für die Bewertung dieser Bewirtschaftungsmaßnahme wird die nationale Studie zur Bewertung der ÖPUL 2007-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit (UMWELTBUNDESAMT 2010) herangezogen.

**Ziele hinsichtlich der Klimarelevanz** Im Hinblick auf die Klimarelevanz der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“ sind die Ziele des Projekts:

- Ausweisung der auf die THG-Inventur (UNFCCC) bezogenen Treibhausgas-Wirkungen,
- Querwirkung der Maßnahmen in anderen Bereiche,
- eigenständiges Maßnahmenkonzept bzw. Integration in bestehende Maßnahmen.

## 2 ÖKOLOGISCHE ASPEKTE DES PFLUGLOSEN ACKERBAUS

Mit der pfluglosen Bodenbearbeitung geht ein beachtlicher Umstellungsbedarf einher. Der vermehrt notwendige Pflanzenschutz einerseits – insbesondere die Herbizidanwendung – und die andererseits damit erzielte Treibstoffeinsparung sollten dabei nicht außer Acht gelassen werden. Jedenfalls ist eine ganzjährig/dauerhaft pfluglose Mulchsaat bzw. Direktsaat eine Option für eine Maßnahme im Sinne des Klimaschutzes.

### 2.1 Klimaschutz und Klimawandelanpassung

#### 2.1.1 Klimaschutz

**Kohlenstoffspeicherung und CO<sub>2</sub>-Emissionen** In der Literatur wird die Wirkung der pfluglosen Bodenbewirtschaftung auf die Änderung des Humusgehalts und damit die Kohlenstoffspeicherung und die Reduktion von Treibhausgasemissionen durchaus kontrovers diskutiert.

Während einige AutorInnen lediglich von einer oberflächlichen Anreicherung der Bodenkohlenstoffgehalte und der organischen Materialien und einer deutlichen Abnahme in den tieferen Bodenschichten sprechen, sehen andere AutorInnen einen wichtigen Beitrag zum Aufbau einer ausgeglichenen Humusbilanz und in Summe zu einer verbesserten Treibhausgasbilanz der Standorte.

Prinzipiell wird bei einer pfluglosen Bodenbearbeitung durch die Anreicherung organischer Substanz im Boden und die Beibehaltung der Bodenstruktur das Bodenleben aktiviert (KRÜCK et al. 2001). Der Ackerboden wird weitgehend in seiner natürlichen Schichtung belassen und es kommt zu einer Humusanreicherung (Kohlenstoffspeicher) innerhalb der obersten Bodenschichten (vgl. KLIK et al. 2010). Viele AutorInnen können von signifikanten Änderungen des Bodenkohlenstoffes in den Oberböden bis 30 cm berichten. Beispielsweise erhöhen gemäß LIEBHARD (1992, 1993) nicht-wendende Verfahren signifikant den Humusgehalt. Je flacher die Bearbeitung und je geringer die Eingriffsintensität, umso stärker ist die Humusgehaltserhöhung. Die erhöhte Kohlenstoffspeicherung bei der Umstellung der Ackerbewirtschaftung auf konservierende Bodenbearbeitung wird auch in der Arbeit von KUKA (2005) unterstrichen. Von SMITH et al. (1997) wird außerdem postuliert, dass europäische Böden durch ein verbessertes Management und die Anwendung alternativer Landnutzungssysteme als Nettosenke von 0,8 % des global aus fossiler Verbrennung stammenden CO<sub>2</sub> dienen könnten. Wie dauerhaft und konstant die Anreicherung des Bodenkohlenstoffes durch konservierende Bodenbearbeitung ist, ist allerdings umstritten. STOCKFISCH et al. (1999) analysierten die Auswirkungen der Wiederbearbeitung eines Minimalbodenbearbeitungsfeldes (no-tillage-Feld) und stellten fest, dass die Anreicherung der obersten Bodenschicht mit organischem Kohlenstoff durch eine einzige Bodenbearbeitung wieder verloren geht.

#### *Humusanreicherung*

HÜLSBERGEN & SCHMID (2010) zeigen in einer Zusammenschau von 39 Bio- und 63 konventionellen Betrieben, dass Betriebe mit deutlichem C-Aufbau auch günstigere Gesamttreibhausgasemissionen aufweisen.

Im IPCC-Handbuch (IPCC 2006) wird hinsichtlich des Einflusses einer pfluglosen Bodenbewirtschaftung auf den Bodenkohlenstoffgehalt davon ausgegangen, dass bei der Umstellung von der wendenden zur pfluglosen Bodenbearbeitung eine CO<sub>2</sub>-Senkenwirkung von 10 % im Vergleich zur „umfassenden Bodenbearbeitung“ (orientiert an den Managementfaktoren in Tabelle 6) erreicht wird.

Zudem werden beim pfluglosen Ackerbau durch die geringere Befahrungsdichte 50–80 % an Treibhausgasen eingespart (HUGGINS & REGANOLD 2009).

Auf der anderen Seite wird argumentiert (z. B. LEIFELD 2010), dass es sich dabei um verfrühte Schlussfolgerungen handelt. Vielen Untersuchungsergebnissen mangelt es daran, dass Bodendichten und Grobanteile, die für die Berechnung der C-Vorräte erforderlich sind, nicht gemessen wurden. Jedenfalls kommen auch viele AutorInnen zum Schluss, dass keine signifikante Bodenkohlenstoffänderung durch Direktsaatbedingungen (no-tillage) herbeigeführt werden kann. Lediglich eine Veränderung der Verteilung der Kohlenstoffgehalte mit einer Anreicherung in den oberen Horizonten und einer deutlichen Abnahme in den tieferen Bodenschichten ist deutlich feststellbar.

Insgesamt schätzt LEIFELD (2010) die Datenlage noch zu gering ein und signifikante Experimentergebnisse sind aus seiner Sicht noch ausständig, um von einer echten Kohlenstoffsequestrierung sprechen zu können.

### **Verteilung des Kohlenstoffgehalts im Boden**

#### **Andere Treibhausgas-, Ammoniak- und PM<sub>10</sub>-Emissionen**

Beim pfluglosen Ackerbau kann es insbesondere durch das Zusammenwirken von organischen Düngergaben (Gülle) und (hohen) Bodenkohlenstoffgehalten – vor allem bei Bodenverdichtungen – zu Lachgas- und Ammoniakemissionen sowie zur Methanoxidation des Bodens kommen. Hier können neue Technologien, wie die Anwendung der Injektionstechnik zum Ausbringen von Gülle und der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen und Depotdüngern als innovative Weiterentwicklungen der Bodenwirtschaft angeführt werden, welche die Treibhausgasemissionen auch in der Festbodenwirtschaft reduzieren.

#### **Stickstoffverluste**

Beispielweise kommt es, FRICK & MENZI (1997) zufolge, nach dem Ausbringen von Gülle auf mechanisch gelockerten Böden gegenüber nicht gelockerten Böden zu deutlichen Ammoniakverlusten. Durch eine Lockerung des Bodens können etwa 15–25 % höhere NH<sub>3</sub>-Verluste auftreten. Zur Reduktion von Stickstoffverlusten wird bei der Applikation von Düngern in Direktsaatsystemen generell vermehrt die sogenannte Düngerinjektionstechnik angewendet.

#### **Lachgasemissionen**

Diese Applikationstechnik geht allerdings wiederum mit vermehrter Lachgasemission einher. Nach RUSER (2010) kommt es linear mit dem Stickstoffsaldo zu einer Zunahme der Lachgasemissionen. NH<sub>3</sub>-haltige und injizierte Düngemittel weisen höhere Lachgasemissionen auf als breitgestreuter Harnstoff oder AHL (Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung). Durch den Zusatz von Nitrifikationshemmern lassen sich bis zu 53 % der Lachgasemissionen verringern. Für den Einsatz von Ureasehemmern trifft diese Beobachtung allerdings nicht zu; sie wirken bei ausgebrachtem Harnstoff nur zur Verringerung der Ammoniakemissionen.

Auf die Höhe der Lachgasemissionen haben – neben der Höhe der N-Düngergaben – Standort und Anbau mit hoher Wahrscheinlichkeit einen bedeutenden Einfluss, als bisher angenommen. JUNGKUNST (2010) stellt in seiner für

Deutschland entwickelten, regional differenzierten Lachgasemissionsabschätzung Emissionsfaktoren von 0,18 % bis 15,54 % der N-Gaben fest (Emissionsfaktor EF in % der applizierten N als N<sub>2</sub>O-N). Wobei in diesem Zusammenhang gut belüftete und frosthäufige Standorte besonders hohe Lachgasemissionen aufweisen (MW 4,8 %, MN 3,9 %). Wintermilde und trockene Bereiche liegen in dieser Verteilung günstiger – sie zeigen relativ geringe Emissionswerte. Damit wird die Notwendigkeit nach regional differenzierten Emissionsfaktoren deutlich.

Das Gesamtsystem betrachtend, könnte jedenfalls eine hohe Effektivität durch die Düngerinjektion erzielt werden, wenn die verminderten NH<sub>3</sub>-Verluste im Gesamtdüngerregime berücksichtigt und damit eine reduzierte N-Gesamtdüngermenge aufgebracht werden würde.

### ***Vorteile der Düngerinjektion***

Weitere Ausführungen zu den Ammoniakemissionen aus der österreichischen Landwirtschaft und ihre Relevanz und Änderung bei einer pfluglosen Bodenbewirtschaftung sind Kap. 2.2.3 zu entnehmen.

## **2.1.2 Klimawandelanpassung**

Positive Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung ergeben sich bei Trockenperioden durch die verstärkte Bodenbedeckung und das höhere Wasserrückhaltevermögen. Sie kann demnach als wichtige Maßnahme im Bereich der Klimawandelanpassung gezählt werden. So kann eine Umstellung auf Direktsaat in Gebieten mit Wasserknappheit zu Ertragssteigerungen führen und den Anbau alternativer Kulturen ermöglichen.

## **2.1.3 Kulturartenspezifische Auswirkungen**

Aus Sicht des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung liegt der Hauptfokus der Wirkung einer pfluglosen Bodenbearbeitung auf der Anreicherung bzw. Stabilisierung von organischem Kohlenstoff in den Böden, sodass insgesamt ein konservierender bis anreichernder Effekt des Bodenkohlstoffgehalts erzielt wird. In Tabelle 2 sind die Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung für unterschiedliche Kulturarten und Fruchtfolgen hinsichtlich Klimaschutz und Klimawandelanpassung dargestellt.

Die Bewertung erfolgt qualitativ. Die Plus- bzw. Minuspunktesumme gibt Aufschluss über die geschätzten Wirkungen.

Tabelle 2: Bewertung der Leistung der pfluglosen Bodenbearbeitung zu Klimaschutz und Klimawandelanpassung in Abhängigkeit von den Kulturarten. (Quelle: basierend auf SCHMIDT (2009a), eigene Betrachtung)

| Kulturen – Fruchtfolgeglieder  | Bewertung der pfluglosen Bodenbearbeitung auf ihre Klimaschutzwirkung                                 | Bewertung der pfluglosen Bodenbearbeitung hinsichtlich Klimawandelanpassung |
|--------------------------------|---|---|
| Getreide, ausgenommen Roggen   | + hohe Biomasse­mengen verbleiben am Feld<br>– Achtung bei Saatbedingungen für nachfolgenden Kulturen | ++ hohe Wasserrückhaltung durch Bodenbeschattung                            |
| Roggen                         | (++) sehr hoher Strohrückstand evtl. Abfuhr notwendig   | ++ hohe Wasserrückhaltung durch die hohe Strohmenge                         |
| Hackfrüchte (z. B. Zuckerrübe) | – + Festboden erschwert das Eindringen des Rübenkörpers, bessere Befahrbarkeit im Herbst              | ++ Erosionsreduktion, Wasserrückhaltung erhöht                              |
| Futterbau am Acker             | + – optimale Bedingungen, evtl. Umbruchproblem  | ++ Wasserversorgung und Wurzelbiomasse verbessert                           |
| Eiweiß-Hülsenfrüchte           | – – sensible Saatbettbereitung – evtl. zusätzliche Menge an Saatgut nötig                             | ++ Wasserversorgung verbessert  |
| Ölfrüchte                      | – sensibles Saatbett  | ++ Wasserversorgung verbessert  |

## 2.2 Partikel-Emissionen aus der Landwirtschaft

Die Aerosole/Partikel-Belastung (PM = Particulate Matter) der Luft setzt sich aus primären Partikeln (freigesetzte organische und mineralische Partikel) und sekundären Partikeln (gebildet aus gasförmig freigesetzten Vorläufersubstanzen) zusammen.

Im Jahr 2003 stammten 16 % der österreichischen PM<sub>10</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft (UMWELTBUNDESAMT 2006). Diese lassen sich unterteilen in Emissionen aus der Bodennutzung (94 %) und Emissionen aus der Viehhaltung (6 %). Die Staubemissionen bei der Bodenbearbeitung werden durch Feinstaub-Winderosionen, durch mechanische Eingriffe in den Boden sowie durch Verbrennungsmotoren verursacht.

### 2.2.1 Primäre Partikel

Primäre Partikel sind in der Regel sichtbare Staubaufwirbelungen bei den agrarischen Aktivitäten wie bei der Ernte, der Bodenbearbeitung, beim Mähen, Laden und Transportieren. Diese fallen saisonal an und sind zum Großteil Staub, der sichtbar verfrachtet und deponiert wird. Davon unabhängig ist die Winderosion auf offenen Ackerböden, bei der Feinpartikel des Bodens vom Wind aufgenommen und verfrachtet werden.

### 2.2.2 Sekundäre Partikel

#### **Ammoniak als Vorläufersubstanz**

Als sekundäre Partikel bezeichnet man solche, die durch komplexe chemische Reaktionen in der Atmosphäre aus gasförmigen Substanzen wie Schwefel- und Stickstoffoxiden (SO<sub>2</sub> bzw. NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) oder Kohlenwasserstoffen

entstehen. Ammoniak in der Umgebungsluft ist eine wesentliche Vorläufersubstanz zur Bildung von sekundären anorganischen Partikeln. Die sekundären anorganischen Partikel bestehen in Österreich im Wesentlichen aus Ammoniumsulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und Ammoniumnitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Ammoniak stammt zu etwa 93 % (s. Abb.1) aus der Landwirtschaft (UMWELTBUNDESAMT 2014c), dabei zum überwiegenden Teil aus der Tierhaltung. Ursachen und Rahmenbedingungen zur Emissionsbildung sowie Methoden zur Minderung von Ammoniakemissionen in der Praxis sind wissenschaftlich eingehend untersucht und bewährt.

Details zur Bildung von sekundären anorganischen Partikeln, zur räumlichen Verteilung und zu unterschiedlichen Sensitivitäten hinsichtlich Emissionsänderungen sind in einer in Ausarbeitung befindlichen Studie des Umweltbundesamtes zu finden (UMWELTBUNDESAMT 2015).

Bei PM<sub>10</sub> (Feinstaub mit Partikelgröße ≤ 10 µm) ist es in der Vergangenheit in Österreich zu zahlreichen Grenzwertüberschreitungen gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) und EU-Luftqualitätsrichtlinie gekommen<sup>2</sup>; diese können auch für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden. Besonders betroffen sind der Osten Österreichs sowie alpine Becken und Täler mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen (UMWELTBUNDESAMT 2015). Vor allem hinsichtlich der großflächig erhöhten regionalen Hintergrundbelastung im Osten Österreichs können die sekundären anorganischen Aerosole Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat mit mehr als einem Drittel zur PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>- (Feinstaub mit Partikelgröße ≤ 2,5 µm) Belastung beitragen, wobei das dafür notwendige Ammoniak zum überwiegenden Teil aus der Landwirtschaft stammt. Wie Studien aus Deutschland gezeigt haben (PAREST<sup>3</sup>), kann die regionale PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2,5</sub>-Hintergrundbelastung durch kosteneffiziente Maßnahmen zur Reduktion von Ammoniakemissionen vermindert werden. Dies ist ein entscheidender Beitrag zur Erreichung der PM<sub>2,5</sub>-Ziele zur nationalen Expositionsreduktion.

**Grenzwertüberschreitungen bei PM<sub>10</sub>**

### **2.2.3 Ammoniak-Reduktionspotenziale einer pfluglosen Bodenbewirtschaftung**

Gemäß Österreichischer Luftschadstoff-Inventur wurden in Österreich im Jahr 2011 etwa 62.000 Tonnen NH<sub>3</sub> emittiert, wovon der überwiegende Teil aus der Landwirtschaft stammt (siehe Abbildung 1).

---

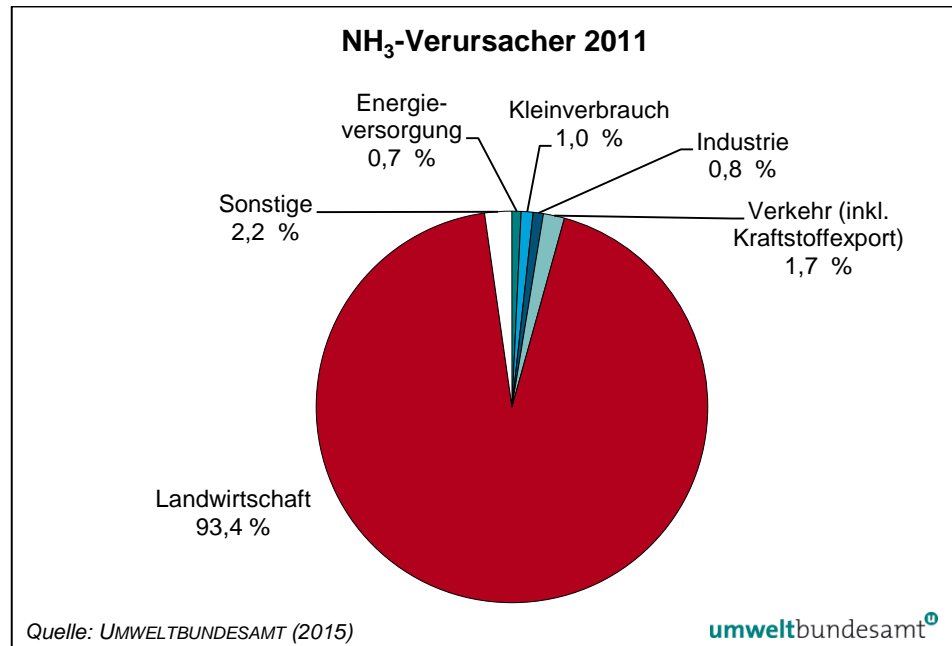
<sup>2</sup> siehe Jahresberichte der Luftgütemessung in Österreich:

<http://www.umweltbundesamt.at/jahresberichte/>

<sup>3</sup> siehe Ergebnisse des PAREST-Projekts (Particle Reduction Strategies): <http://www.parest.de/>



Abbildung 1:  
Anteile der  
Verursachersektoren an  
den NH<sub>3</sub>-Emissionen in  
Österreich.



Eine detaillierte Beschreibung der österreichischen NH<sub>3</sub>-Emissionen nach Verursachern ist Inhalt der Emissionstrendberichte, welche jährlich vom Umweltbundesamt publiziert werden (UMWELTBUNDESAMT 2013c, 2014c).

**landwirtschaftliche Emissionsquellen**

Im Sektor Landwirtschaft sind insbesondere die Stallsituation, die Wirtschaftsdüngerlagerung und die Ausbringung organischer Düngemittel (Gülle, Jauche und Festmist) mit hohen Stickstoffverlusten in Form von Ammoniak verbunden. Hauptquelle ist die Rinderhaltung, welche für 56 % der nationalen Gesamtemissionsmenge verantwortlich ist. Die Haltung von Schweinen und Geflügel trägt mit weiteren 17 % und 9 % zu den Gesamtemissionen bei (UMWELTBUNDESAMT 2013a).

Eine allgemeine Emissionsabnahme im Vergleich zu 1990 wurde durch den reduzierten Viehbestand verursacht, insbesondere bei den Rindern. Die Viehzahlen haben sich in den letzten Jahren aber stabilisiert. Die vermehrte Rinderhaltung in Laufställen, der Trend zu leistungsstärkeren Milchkühen sowie der vermehrte Einsatz von Harnstoff als Stickstoffdünger wirken sich emissionserhöhend aus, sodass seit dem Jahr 2000 insgesamt keine Reduktion mehr zu verzeichnen ist.



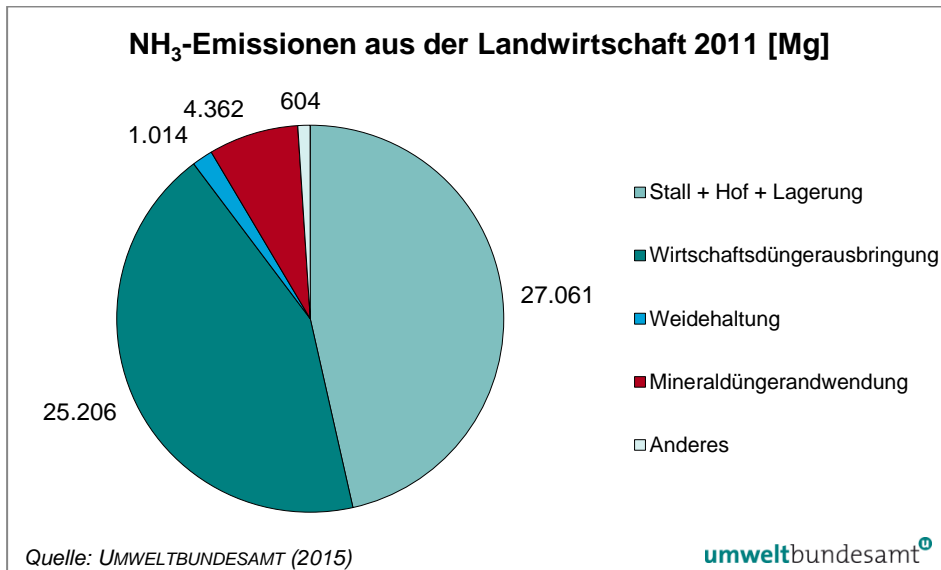


Abbildung 2:  
Anteil der NH<sub>3</sub>-  
Emissionen nach  
landwirtschaftlichen  
Quellen 2011.

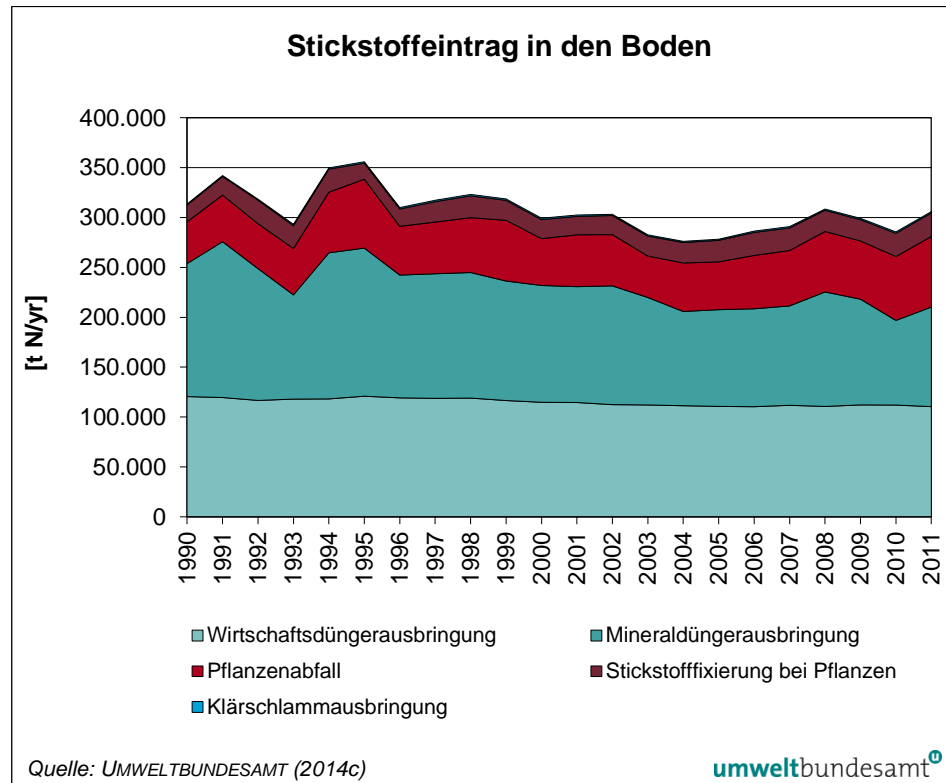
Der Rest auf die 62.000 Tonnen ist sonstigen Emittenten wie dem Verkehr und Kraftwerkspark zuzuschreiben. Je nach Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt (bei Rindergülle ca. 50 % und bei Schweinegülle ca. 60 %) sowie Lagerungs- und Ausbringungsbedingungen gibt es unterschiedlich hohe Stickstoffverluste. Insgesamt geht rund ein Drittel der von den Tieren in der Nutztierhaltung ausgeschiedenen Brutto-Stickstoffmenge als Luftemission, hauptsächlich in Form von Ammoniak, verloren.

Die Daten der Luftschadstoffinventur 2011 zeigen, dass innerhalb des Sektors Landwirtschaft der größte Anteil an NH<sub>3</sub>-Emissionen (43 %) der Wirtschaftsdüngerausbringung zuzuordnen ist. Im Stall gehen 33 %, bei der Lagerung 11 %, in Auslauf und Weide jeweils rund 2 % des Ammoniak-Stickstoffs verloren. Der Rest, rund 9 %, stammt überwiegend von der Mineraldüngeranwendung und zu einem geringen Teil aus anderen Quellen in der Landwirtschaft.

In Abbildung 3 ist der Stickstoffeintrag in die landwirtschaftlichen Böden dargestellt. Alle Stickstoffverluste von Stall und Wirtschaftsdüngerlagerung sind hier bereits abgezogen.

### **Anteil der NH<sub>3</sub>- Emissionen**

Abbildung 3:  
Stickstoffeintrag in den Boden (in Tonnen Stickstoff pro Jahr) für 1990 bis 2011.



Schwankungen – besonders in der ersten Hälfte der 90er-Jahre ersichtlich – resultieren aus den Verkaufszahlen des N-Mineraldüngers, die stark abhängig von der Preisentwicklung der Dünger und der landwirtschaftlichen Produkte ist.

### 2.2.3.1 Wirtschaftsdüngerausbringung

#### **NH<sub>3</sub>-Emissionen beeinflussende Faktoren**

Eine pfluglose Bewirtschaftung des Ackerlandes könnte einen maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftsdüngerausbringung ausüben. Während und nach der Ausbringung der Gülle auf das Feld werden die Ammoniakemissionen durch folgende Faktoren beeinflusst (EEA 2009):

- Eigenschaften des Düngers (Flüssigkeitsgrad, N-Gehalt, C-Gehalt und pH-Wert),
- Bodenbeschaffenheit (pH-Wert, Kalziumgehalt, Wassergehalt, Porenanteil),
- Witterungsbedingungen wie Regen, Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Bodenfeuchte und Windverhältnisse,
- Maschinenausstattung, Fest- oder Flüssigmist,
- Höhe und Dichte der Kulturpflanzen am Feld.

Bei der Düngerausbringung ist zu beachten, dass zu große Kontaktflächen zwischen Gülle und Umgebungsluft sowie eine lange Zeitspanne auf dem Boden zu hohen Ammoniakemissionen führen. In Österreich ist auf unbestelltem Ackerland die Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers verpflichtend. Die Ammoniakemissionen nach der Ausbringung ergeben sich hauptsächlich im Grünland oder bei der Ausbringung auf dem Ackerland mit verzögerter Einarbeitung (> 4 h) und in stehenden Feldkulturen, in denen keine Einarbeitung möglich ist.

Bodennahe Ausbringungssysteme gewährleisten eine Ammoniak-reduzierte und verlustarme Ausbringung und haben zudem folgende Vorteile (ARBEITSGRUPPE LANDWIRTSCHAFT/UMWELTSCHUTZ DER KOMMISSION UMWELT 2008):

- Reduzierte Geruchsbelastung,
- verbesserte Düngerwirkung,
- sehr gute Verteilgenauigkeit,
- Verminderung der Gefahr von Abschwemmungen,
- Erhöhung der Flexibilität im Grünland bei der Wahl des Ausbringzeitpunktes.

Nachteile der bodennahen Ausbringung sind die höheren Anschaffungskosten, sodass die überbetriebliche Nutzung anzustreben ist. Die Ausbringungskosten steigen im Vergleich zum Breitverteiler um 0,5–1,5 €/m<sup>3</sup> Gülle an. Die geringere Hangtauglichkeit sowie ungünstige Flächenformen sind ebenso hinderlich.

Neben der Technik der Düngerausbringung spielt der Zeitpunkt der Ausbringung eine Rolle. Je höher die Temperatur, die Sonneneinstrahlung und die Windverfrachtung sind, umso größer sind die Ammoniakemissionen in die Luft. Es wird daher empfohlen, die Ausbringung ab den späten Nachmittagsstunden oder/und bei möglichst windstillen, kühl-feuchter Witterung bzw. bedecktem Himmel durchzuführen (ARBEITSGRUPPE LANDWIRTSCHAFT/UMWELTSCHUTZ DER KOMMISSION UMWELT 2008).

Eine optimale Wirtschaftsdüngeranwendung ist daher bei der pfluglosen Bewirtschaftung besonders mit der bodennahen Ausbringung und Einarbeitung verknüpft. Andernfalls entstehen erhöhte Ammoniakemissionen durch die Benetzung des Pflanzenbestandes mit Flüssigmist bzw. lose Festmiststreuung in den Pflanzenbestand. Kann Flüssigmist allerdings direkt in den Boden eingebracht werden – durch Schlitztechnik oder die Ablage im Boden mit Hilfe der Strip-Till-Technik erfolgen –, ist eine hohe Emissionsreduktion erreichbar. Bei Festmist ist eine emissionschonende Technik nur in geringem Ausmaß möglich. Dieser wird voraussichtlich nur oberflächlich ausgestreut werden können (evtl. in Bändern), gleich dem Vorgang im Grünland. Anschließend ist eine flache Einarbeitung des Festmistes innerhalb von 4 Stunden nötig.

Wird die Düngung darüber hinaus nicht zum Zeitpunkt der Aussaat durchgeführt, ist der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen empfehlenswert, da sonst die Nitrifikation von Ammonium zu Nitrat frühzeitig oder zu Unzeit (im Winter oder in der Zwischenbegrünung) stattfindet.

### 2.2.3.2 Weidegang

Auch der Weidegang auf pfluglos bewirtschafteten Feldern wäre möglich. Damit könnte eine wesentliche Reduktion von Ammoniakemissionen ermöglicht werden. Durch vermehrte oder verlängerte Weidedauer können Ammoniakemissionen reduziert werden, da weniger Stickstoff gelagert wird und dadurch weniger NH<sub>3</sub> während der Lagerung und Ausbringung des Düngers emittiert wird.

### 2.2.3.3 Mineraldüngeranwendung

Der Anteil des freigesetzten Ammoniaks aus mineralischen Stickstoffdüngern ist von der Art des Düngers, vom Bodentyp (vor allem vom pH-Wert), von den Wetterbedingungen und vom Zeitpunkt der Ausbringung im Wachstumszyklus

### ***bodennahe Ausbringungssysteme***

### ***Zeitpunkt der Ausbringung***

### ***Direkteinbringung des Düngers optimal***

abhängig. Der Stickstoffgehalt von mineralischen Harnstoffdüngern liegt bei 46 % N und besitzt damit die höchste Nährstoffkonzentration von Handelsdüngern. Durch Adsorptions- und Umwandlungsprozesse im Boden kann es bei Harnstoff zu teilweise deutlichen Ausgasungen von Ammoniak kommen.

Im Vergleich zu den mineralischen Harnstoffdüngern sind die Emissionen von Ammoniumnitrat-Düngern viel geringer und überschreiten 4 % des verwendeten Stickstoffs nicht. Weniger Studien gibt es zu Mineraldüngern wie Ammoniumsulfat und Di-Ammoniumphosphat (EEA 2009).

Die Anwendung im pfluglosen Ackerbau unterscheidet sich von einer Ausbringung im konventionellen Ackerbau. Die Breitstreuung von Mineraldünger sollte vermieden werden. Der Dünger sollte in die Bahnen der künftigen Kultur abgelegt bzw. in den Boden eingebracht werden. In diesem Zusammenhang wirkt auch der Zusatz von Hemmstoffen zur Nitrifikation und zur Denitrifikation günstig.

#### 2.2.3.4 Emissionsfaktoren

**Harnstoff** Harnstoff geht derzeit in die NH<sub>3</sub>-Emissionsberechnungen der OLI (Österreichische Luftschadstoff-Inventur) mit einem 7,5-fach höheren Emissionsfaktor (0,15), als alle übrigen N-Dünger (0,02) ein.

Obwohl der Anteil von Harnstoff an der Gesamtmenge an N-Düngern in Österreich derzeit bei nur etwa 5–15 % liegt, beträgt in der OLI dessen Emissionsanteil bis zu 50 % der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus Mineraldüngeranwendung.

Gemäß der neuen Berechnungsmethode, basierend auf dem EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013 (EEA 2013), ist der Emissionsfaktor für Harnstoff 8-fach höher (0,24) als der für alle übrigen N-Dünger (0,03). Die Revision des nationalen Inventurmodells für die Landwirtschaft wird derzeit am Umweltbundesamt umgesetzt.

**stabilisierte Mineraldünger** Die Verwendung von stabilisierten Mineraldüngern ist bisher im Guidebook 2013 nicht enthalten. Eine Untersuchung der Wirkungen dieser Düngemittel könnte jedoch zu der zulässigen Verwendung von eigenen nationalen Emissionsfaktoren führen.

Tabelle 3: Ammoniak Emissionen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern abgeleitet aus NEC Report 2013 und der Richtlinie zur sachgerechten Düngung (UMWELTBUNDESAMT 2013a). Geschätzter Anteil an Wirtschaftsdünger, der auf den pfluglosen Ackerflächen angewendet wird. FM = Frischmasse

| 2012  | Rinder        |           | Schweine |           | Geflügel | Pferde   | sonstige Tiere + Weidehaltung |
|---|---------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-------------------------------|
|   | Festmist      | Gülle     | Festmist | Gülle     | Festmist | Festmist |                               |
| in t Frischmasse FM                                       | 11.958.000    | 7.547.000 | 302.000  | 3.956.500 | 222.700  | 244.900  | 7.818.800                     |
| kg N/t FM   | 4,4           | 5,2       | 4,2      | 6,9       | 9,2      | 2,3      | 3,2                           |
| Stickstoffgehalt in t N                                   | 52.615        | 39.244    | 1.268    | 27.300    | 2.049    | 563      | 25.020                        |
| geschätzte Anwendung im Ackerland in %                    | 50            | 50        | 80       | 70        | 70       | 80       | 20                            |
| Ammoniakverluste bei der Ausbringung in t NH <sub>3</sub> | 4.066         | 5.026     | 362      | 2.618     | 1.654    | 144      | 115*                          |
| <b>Summe NH<sub>3</sub> in t</b>                          | <b>13.985</b> |           |          |           |          |          |                               |

<sup>1</sup> vermindert um jenen Anteil, der bereits auf der Weide angefallen ist

In Tabelle 3 wird der Standardfall angezeigt, der durch konventionelle Ausbringungstechnik verursacht wird. Der Anteil an Wirtschaftsdünger, der auf den Ackerflächen angewendet wird, ist leider unbekannt sodass auf Schätzungen zurückgegriffen wird. Nach dieser Schätzung wird etwa die Hälfte von 25.000 t NH<sub>3</sub>, der durch die Ausbringung verursacht wird, dem Ackerland zugeschrieben. Je nach Ausbringtechnik werden die in Tabelle 3 angeführten Ammoniakverluste zwischen 30 bis 80% vermieden (Umweltbundesamt 2014). Diese Ammoniakverluste zu vermeiden hieße nahezu dieselbe Menge an N-Mineraldünger einsparen zu können.

Bei einer überwiegend pfluglosen Bearbeitung von Ackerland sollte die Ausbringtechnik angepasst werden und Dünger vermehrt bodennah ausgebracht bzw. in den Boden eingebracht werden. Die ÖPUL-Maßnahme „bodennahe Ausbringung von Gülle- und Biogasgülle“ ist bereits in einigen Gebieten etabliert. Eine Weiterentwicklung im Rahmen der pfluglosen Ackerwirtschaft wäre anzustreben.

**Ausbringtechnik anpassen**

Andernfalls wird die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auf pfluglosen Flächen und ohne entsprechende Einarbeitung mit hohen NH<sub>3</sub>-Verlusten einhergehen, vergleichbar der Ist-Situation ohne entsprechende Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden.

### 2.3 Aggregatstabilität: Boden- und Erosionsschutz

Für HUGGINS & REGANOLD (2009) ist das Pflügen eine der Hauptursachen von Erosionserscheinungen landwirtschaftlicher Böden. Eine solche Degradation führt zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und in weiterer Folge zu einer Beeinträchtigung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Dagegen wird bei der pfluglosen Bodenbearbeitung die Bodenstruktur kaum gestört. Vielmehr bildet sich durch den Verbleib von Pflanzenresten auf dem Feld eine schützende Mulchschicht, durch die die Bodenerosion verringert und die Bodenfruchtbarkeit gefördert wird.

Laut KLIK et al. (2010) wird durch konservierende Bodenbearbeitungsformen die Stabilität der Bodenaggregate erhöht, was eine verringerte Bodenerosion durch Wasser und Wind zur Folge hat. Durch konventionelle Bearbeitungsmethoden werden hingegen mittlere bis große Bodenaggregate eher zerstört. Darüber hinaus wird durch die pfluglose Bodenbearbeitung (wenn auch nur im begrenzten Umfang) eine Mulchschicht mit organischem Material, also eine Abdeckung des Ackerbodens, angestrebt.

**Stabilität der Bodenaggregate**

Bei der Direktsaat, bei der die Böden i.d.R. zu mindestens 50 % mit Pflanzenresten bedeckt bleiben (oft wesentlich mehr), kommt es kaum zu Erosionsverlusten (HUGGINS & REGANOLD 2009).

**Bodenerosion**

Von LEHRKE et al. (2010) wird dargestellt, dass die Mulchsaat die Tragfähigkeit schwerer, trockener Böden verbessert und die Erosionsgefahr reduzieren hilft. Um die Bodenerosionen auf landwirtschaftlichen Böden zu verringern, ist der Pflugverzicht auf bestimmten Standorten sogar notwendig.

Nachstehend werden die Ergebnisse eines 8-jährigen Dauerversuchs hinsichtlich der Auswirkungen der Bearbeitungsvarianten „konventionell“ und „Mulchsaat pfluglos“ auf die einzelnen Bodenparameter dargestellt (SCHMIDT et al. 2001). Dabei sind die positiven Auswirkungen auf Humusgehalt, Aggregatstabilität, Infiltrationsrate sowie Abfluss und Bodenabtrag durch einen Bodenbedeckungsgrad von 30 % ersichtlich.

*Tabelle 4:  
Zusammenfassende  
Daten zu einem 8-  
jährigen Dauerversuch  
für verschiedene Boden-  
parameter bei konventio-  
neller (inkl. Pflug) und  
konservativer Bodenbe-  
arbeitung – pfluglos.  
(Quelle: SCHMIDT et.al. (2001))*

|  | <b>konventionell</b> | <b>konservierend mit<br/>Mulchsaat – pfluglos</b> |
|--|----------------------|---|
| Bodenbedeckungsgrad<br>in %            | 1                    | 30  |
| Humusgehalt in %                       | 2,0                  | 2,6   |
| Aggregatstabilität<br>(0–10 cm) in %   | 30,1                 | 43,1  |
| Infiltrationsrate in %                 | 49,4                 | 70,9  |
| Oberflächenabfluss in l/m <sup>2</sup> | 21,2                 | 12,2  |
| Bodenabtrag in g/m <sup>2</sup>        | 317,6                | 137,5   |

WPA & BAW (2013) zeigten in ihrer Untersuchung über den Bodenbedeckungsgrad nach Begrünungsvarianten die Wichtigkeit einer schonenden und seichten, aber nicht zu häufigen Bodenbearbeitung auf. Werden diese Grundsätze nicht eingehalten, sind gegenteilige bis schädigende Auswirkungen auf die Bodenstruktur und den Erosionsschutz zu erwarten.

## **2.4 Wasserspeicherung: Hochwasserschutz und Gewässerschutz**

Wasserhaushalt und Wasserspeicherkapazität des Bodens werden bei der pfluglosen Bodenbearbeitung durch die permanente Bodenbedeckung verbessert (KLIK et al. 2010).

Nach HUGGINS & REGANOLD (2009) erhöht die Mulchschicht die Wasserspeicherkapazität landwirtschaftlicher Böden, wodurch weniger Dünge- und Pflanzenschutzmittel in Gewässer bzw. ins Grundwasser gelangen. Dagegen kann das Pflügen den Eintrag von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln in Gewässer begünstigen.

## **2.5 Biomassezunahme und Biologische Vielfalt**

Laut HUGGINS & REGANOLD (2009) hat eine pfluglose Bodenbearbeitung auch einen positiven Einfluss auf die biologische Vielfalt von Ackerflächen. In den USA wurde beispielsweise ein positiver Zusammenhang zwischen dem Auftreten von nistenden Vogelarten und der pfluglosen Bodenbearbeitung festgestellt. Nach KREITMAYR (2004) führt eine intensive Bodenbearbeitung außerdem zu einer deutlichen Abnahme von fruchtbarkeitsfördernden Bodenlebewesen, wie beispielsweise Regenwürmern.

## 2.6 Nährstoffspeicherung

Ein Vorteil des periodischen Pflugeinsatzes gegenüber einer reinen pfluglosen Bodenbearbeitung ist gemäß LEHRKE et al. (2010) die krumentiefe Nährstoffverteilung, was insbesondere hinsichtlich der Verfügbarkeit des wenig mobilen Phosphors von zentraler Bedeutung ist. Die Phosphorverfügbarkeit ist im Getreide ein entscheidender Faktor und so sollte zumindest einmal in der Fruchtfolge periodisches Pflügen durchgeführt werden.

**Phosphor-  
verfügbarkeit**

In den DLG-Mitteilungen (DLG 2011) werden Versuchsergebnisse zu langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung vorgestellt, die zeigen, dass diese Bewirtschaftungsform in Kombination mit einer niedrigen Grundnährstoffversorgung Ursache für unterversorgte Ackerbestände sein kann. Dies trifft insbesondere im Hinblick auf die Phosphor- und Kali-Versorgung zu, die auf pfluglos bewirtschafteten Ackerstandorten mit zunehmender Bodentiefe stetig abnimmt. Möglichkeiten für eine bedarfsgerechte Versorgung von pfluglosen Ackersystemen bietet beispielsweise die Unterfußdüngung, welche die erforderliche Düngermenge potenziell reduzieren kann.

## 2.7 Pflanzenschutzmitteleinsatz

Wie in Kap. 1.3 dargestellt, wird von einigen AutorInnen darauf hingewiesen, dass die Mulchsaat bei engen, getreidebetonten Fruchtfolgen zu einer potenziellen Zunahme an Verunkrautung, Pflanzenkrankheiten und Schädlingen führen kann, die mit nicht unerheblichen Kosten verbunden ist (LEHRKE et al. 2010).

Laut KREITMAYR (2004) sollte die praktische Umsetzung eines konsequent pfluglosen Ackerbaus jedenfalls eng mit darauf abgestimmten Pflanzenschutzstrategien verbunden sein. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Bekämpfung von Ungräsern, wie beispielsweise Quecken und Trespens, der Hintanhaltung des Durchwuchses der Vorfrucht sowie auf die Bekämpfung von Schädlingen (z. B. Ackerschnecken, Maiszünsler u. a.) zu legen.

Zu den häufigsten Problemen, die bei einer zu häufig angewendeten Mulchsaat entstehen können, zählen laut LEHRKE et al. (2010) beispielsweise die zunehmende Verunkrautung der Ackerflächen, insbesondere was getreidereiche Fruchtfolgen anbelangt. Durch den fehlenden Pflugeinsatz können sich nämlich Samen von Ackerunkräutern in der oberen Bodenschicht anreichern. Um die Unkrautproblematik ohne verstärkten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in den Griff zu bekommen, sollten Betriebe, die rein auf Mulchsaat setzen, jedenfalls erweiterte Fruchtfolgen einhalten.

**Verunkrautung der  
Ackerflächen**

Der Pflugeinsatz erleichtert vor allem in getreidebetonten Fruchtfolgen die Bekämpfung von Pilzkrankheiten (z. B. Fusarium, DTR) und Pflanzenschädlingen (z. B. Maiszünsler, Schnecken, Mäuse).

### 2.7.1 Einsatz von Herbiziden in Österreich

Reduzierte Bodenbearbeitung bringt meist, besonders bei der Direktsaat, einen verstärkten Einsatz von Herbiziden mit sich.



Herbizide haben mit ca. 50 % den größten Anteil an Pflanzenschutzmitteln im deutschsprachigen Raum (LFU 2008). Im Jahr 2014 sind laut Pflanzenschutzmittelregister der AGES 384 unterschiedliche Präparate mit herbizider Wirkung in Österreich zugelassen.

### **Wirkmechanismen von Herbiziden**

Der Wirkmechanismus greift in unterschiedliche Stoffwechselprozesse der Zielpflanzen ein. Hier einige Beispiele zu den Wirkmechanismen:

Die Stoffgruppe der **Triazine** (Atrazin, Simazin, Terbutylazin – Letzteres ist aktuell zugelassen) wirkt auf die **Photosynthese**. Eine Hemmung der Energiegewinnung führt zum Absterben der Pflanze.

Derivate der **cyclischen Carbonsäure** (MCPP, MCPA) wirken als **Wuchsstoffe**. Der erschöpfende Wuchs führt zum Absterben der Pflanzen.

**Aminosäurederivate** greifen in den **Aminosäurestoffwechsel** ein: eine Störung führt zu einer unspezifischen Sekundärreaktion, z. B. Hemmung des Wurzel- und Sproßwachstums, Rotfärbung oder Absterben von Gewebe. Das unspezifische Totalherbizid Glyphosat gehört zu dieser Wirkstoffgruppe und zählt zu den am häufigsten angewendeten Wirkstoffen. Durch seine großflächige Anwendung werden Direktsaatverfahren unter ökonomischen Gesichtspunkten wettbewerbsfähig, allerdings wirken sich auch die Umwelteffekte großflächig aus.

Aufgrund der breiten Anwendung von Glyphosat wird im Folgenden auf den Wirkmechanismus, die Auswirkungen auf die Umwelt und die Relevanz für den Klimaschutz eingegangen. Abschließend werden Alternativen aufgezeigt, die eine reduzierte Bodenbearbeitung ohne Herbizidanwendung ermöglichen.

### **2.7.2 Der Wirkmechanismus von Glyphosat**

#### **Schlüsselenzym EPSPS**

Die herbizide Wirkung von Glyphosat kommt durch die Bindung und Inaktivierung des Enzyms EPSPS (5-Enolpyruvylshikimate-3-Phosphat Synthase) zustande. Das Schlüsselenzym für den biochemischen Shikimate-Stoffwechsel wird für die Biosynthese der aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan und pflanzliche Sekundärstoffe benötigt. Tryptophan ist essenziell für die Synthese von Indol-3-Essigsäure (IES), einem Pflanzenhormon, das schon in kleinsten Mengen das Wachstum von Pflanzen und deren Wurzeln anregt. Mit dem Fehlen von IES wird die weit verbreitete Beobachtung des verminderten Wurzeltiefenwachstums von Pflanzen bei der Anwesenheit von Glyphosat in Verbindung gebracht (KREMER 2009). EPSPS, das Zielenzym von Glyphosat, ist auch bei Mikroorganismen essenziell für die Biosynthese (MERTENS 2010).



In Untersuchungen von COUPLAND & CASELY (1979) zeigte sich bereits die Verlagerung und Anreicherung von Glyphosat in der Wurzel, gefolgt von einer eventuellen Freisetzung in die Rhizosphäre. Weitere Untersuchungen zu Interaktionen mit der Bodenfauna zeigten zwar einen Abbau eines Teils des Glyphosats durch Mikroorganismen, der verbleibende Teil wirkte sich jedoch toxisch auf eine Reihe von Bakterien und Pilzen aus. Die Wirkung von Glyphosat stört das Zusammenwirken der Wurzel- und Bodenmikroorganismen-Gemeinschaft, wobei einige Gruppen gefördert, andere jedoch unterdrückt werden (BUSSE et al. 2001). Bereits 1988 untersuchten JOHAL & RAHE schwerwiegende Wurzelinfektionen bei Glyphosateinsatz, da die Abwehrmechanismen der Pflanze, nämlich die Produktion von Phytoalexinen im Shikimate-Stoffwechsel, durch den Einsatz von Glyphosat gestört waren. Unter diesen Umständen zeigen Pflanzen eine erhöhte Anfälligkeit für bodenbürtige, pilzliche Krankheitserreger. Dieser unbeabsichtigte Effekt wurde später der „zweite Wirkungsmechanismus“ genannt.

**„zweiter Wirkungsmechanismus“**

### 2.7.2.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Untersuchungen zur Mobilität von Glyphosat im Boden wurden von NEUMANN et al. (2006) und TESFAMARIAM (2009) durchgeführt. Glyphosat wurde nach Blattapplikationen schnell vom Spross in die Wurzeln der Zielpflanze verlagert und anschließend an die Rhizosphäre abgegeben.

**Mobilität im Boden  
Schädigung von  
Nicht-Zielpflanzen**

In der Rhizosphäre kann Glyphosat offenbar lang genug stabilisiert werden, um Nicht-Zielpflanzen negativ zu beeinflussen. Als Beispiel wird eine verringerte Aufnahme von Mikronährstoffen (Mn, Zn, Fe, B) genannt, die ihrerseits wieder an pflanzeigenen Krankheitsresistenzmechanismen beteiligt ist. Werden die Beikräuter/Unterwuchs einer Obstplantage mit Glyphosat gespritzt, so geben die sterbenden Wurzeln der Beikräuter Glyphosat ab, das von den Baumwurzeln aufgenommen wird, worauf diese mit erhöhter Krankheitsanfälligkeit reagieren.

Studien zu Änderungen der Mikroflora ergeben unterschiedliche Ergebnisse: wird allein die mikrobielle Biomasse und die Aktivität allgemein untersucht, finden sich keine signifikanten Änderungen bzw. sogar erhöhte Werte. Werden jedoch bestimmte Arten oder Gattungen der Mikroflora näher untersucht, ergeben sich starke Verschiebungen in Zusammensetzung und Aktivität der Mikroorganismen (LOCKE et al. 2008).

Glyphosat kann hemmend auf nützliche Pilze wirken, so beeinträchtigt der Wirkstoff das Hyphenwachstum bei Mykorrhiza-Pilzen (MOTAVALLI 2004). Diese Symbionten, die eine enge Verbindung mit den Pflanzenwurzeln eingehen und die Nährstoff- und Wasseraufnahme verbessern, erhöhen die Stressresistenz von Pflanzen, die vermehrt unter prognostiziertem Klimawandel nötig sein wird.

**Beeinträchtigung  
von Mykorrhiza-  
Pilzen ...**

Auch die symbiontischen, N-fixierenden Rhizobien reagieren empfindlich auf Glyphosat (LABES et al. 1999), einerseits durch einen Mangel an resistentem EPSPS-Enzym, andererseits bindet der Chelatbildner Glyphosat Nickel (Ni). Der Mikronährstoff ist essenziell für die Symbionten, jedoch nicht mehr ausreichend verfügbar (ZOBIOLE et al. 2010). Wird die N-Fixierung beeinträchtigt, kann diese den N-Gehalt der Pflanzen reduzieren und das Wachstum und den Ertrag verringern; dies gilt besonders für Jungpflanzen unter Stressbedingungen (MERTENS 2010).

**... und N-fixierenden  
Rhizobien**

**weitere  
Auswirkungen von  
Glyphosat**

Nicht nur Mikroorganismen sondern auch andere Bodenorganismen können vom Glyphosateinsatz betroffen sein. Indirekte Effekte zeigen Regenwürmer in Laborversuchen: diese vermieden Glyphosat-kontaminierten Boden (VERELL & VAN BUSKIRK 2004). Der Shikimat-Stoffwechsel mit seinen Produkten betrifft direkt nur Pflanzen und Mikroorganismen. Allerdings sind sämtliche Symbionten, z. B. auch in den Verdauungstrakten der Wirbeltiere, von der Hemmung des Enzyms EPSPS betroffen. Es kommt also durch den agrarischen Einsatz des Herbizids Glyphosat zur Anreicherung des Wirkstoffs in Boden, Wasser, Futtermitteln und Nahrungsmitteln und damit zu einer weit gestreuten Auswirkung auf eine Vielzahl von Lebewesen.

### 2.7.2.2 Relevanz für den Klimaschutz

Die Bedeutung des Herbizideinsatzes für den Klimaschutz ist eher auf indirektem Weg gegeben, aber trotzdem relevant.

Durch eine schlechtere Knöllchenentwicklung der Rhizobien bei Leguminosen und damit geringer N-Fixierungsleistung geht der Landwirtschaft ein Teil des natürlichen N-Gewinnungspotenzials verloren. Dieser Stickstoff muss durch Wirtschafts- oder Mineraldünger ersetzt werden.

**Verringerung der  
N-Fixierung**

Gerade die Wurzeln der Leguminosen spielen eine wichtige Rolle bei der unterirdischen Biomasseanreicherung und Lockerung. Ackerfutter und Acker- sowie Dauerkulturbegrünungen bestehen häufig zumindest teilweise aus Leguminosen. Deren Anbau bewirkt eine gute Vorfruchtwirkung und eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit für angrenzende Kulturen (z. B. Wein, Obst). Wird die N-Fixierung durch die Anwendung von Glyphosat verringert, werden positive Maßnahmen in ihrer Wirkung deutlich geschmälert.

Ein Beispiel dafür ist die Unterstockspritzung bei Dauerkulturen: Wird Glyphosat im Unterstockbereich zur Unkrautbekämpfung eingesetzt, so kann der Wirkstoff, entsprechend NEUMANN et al. (2006) und TESFAMARIAM (2009), von den bekämpften Beikräutern unterirdisch abgegeben und in die Dauerkulturen aufgenommen werden. Glyphosat bewirkt in den Dauerkulturen eine höhere Krankheitsanfälligkeit.

**Schwächung der  
Nutzpflanzen**

Eine weitere Auswirkung ist gehemmtetes Wurzelwachstum, womit ein schlechterer Zugang zu Wasser und Nährstoffen verbunden ist. Der gleiche Effekt entsteht durch die Hemmung der Mykorrhiza. Die symbiontischen Mykorrhiza-Pilze versorgen die Pflanzen mit Nährstoffen, erschließen weitere Teile des Bodens und verringern Trockenstress bei ihren Wirtspflanzen, die sie im Gegenzug mit Kohlenhydraten versorgen.

**Verringerung der  
Resilienz**

Gerade im Zuge des prognostizierten Klimawandels ist die Erhöhung der Resilienz/Belastbarkeit von Kulturpflanzen sehr wichtig. Biodiversität erhöht die Resilienz eines Systems, daher sind eine vielfältige Bodenfauna und damit auch ungestörte Symbiosen für die Pflanzengesundheit gerade im Rahmen des Klimawandels wichtig. Zu den prognostizierten Stressfaktoren gehören Wetterextreme sowie erhöhter Krankheitsdruck und Schädlingsbefall – denen mit einem gesunden Bodenzustand wesentlich besser begegnet werden kann. Dazu gehören eine intakte Bodenfauna, die Krankheitserreger minimiert, und Symbiosen, die eine bessere Versorgung der Kulturpflanzen sicherstellen.

Bewirtschaftungsfaktoren, die das Gegenteil bewirken, verringern jedenfalls mittelfristig die Resilienz von Kulturpflanzen und Böden und damit deren Ertragsfähigkeit. Glyphosat schwächt Pflanze und Boden und erhöht die Krankheitsanfälligkeit – bei gleichzeitiger Zunahme der Krankheitserreger.

### 2.7.3 Alternativen zum Herbizideinsatz

In Anbetracht dieser Wirkungen sollten Maßnahmen, die eine Herbizidanwendung voraussetzen, neu bewertet werden.

Bearbeitungsmethoden, die eine relativ geringe Mineralisierung und damit eine Aufrechterhaltung des Boden-C bewirken, aber von einer Herbizidanwendung absehen, sind aus gesamtheitlicher Umweltsicht vorzuziehen.

#### ***Bearbeitungs- methoden***

(Total-)Herbizide werden v. a. zur Kontrolle von Ausfallsaatgut und Begrünungen sowie kurz vor dem Auflaufen der Kulturpflanzen ausgebracht. Bestimmte Bodenbearbeitungsmethoden, die auch bei der reduzierten Bodenbearbeitung gängig sind, erlauben eine Bewirtschaftung ohne Herbizide. So können Ausfallsaatgut, (winterharte) Begrünungen und verunkrautete Ackerflächen mit Grubber und Scheibenegge unter Kontrolle gebracht werden. Unkräuter in der jungen Hauptkultur können durch Striegeln eingedämmt werden, wie bei der biologischen Landwirtschaft üblich.

Die Vorteile einer Bodenbedeckung können auch durch gehäckseltes Mulchmaterial erreicht werden und abfrostende Begrünungen bedürfen keiner Herbizidspritzung vor der Anlage der Hauptkultur.

#### ***Bodenbedeckung***

Eine weitere Alternative stellt die relativ neue Bewirtschaftungsform „Strip Till“ dar, die aus ökonomischen und umweltschutzrelevanten Gesichtspunkten einen sinnvollen Kompromiss darstellt: Hier kann durch die Bewirtschaftung in Streifen eine reduzierte Bodenbearbeitung stattfinden, auf Herbizideinsatz kann damit verzichtet werden. Da in den ungestörten Streifen organisches Material angereichert wird und Beschattung sowie Erosionsschutz gegeben sind, werden „kleine Pufferzonen“ geschaffen, die die Resilienz des Systems erhöhen.

#### ***Strip Till***

## 3 POTENZIALABSCHÄTZUNG FÜR ÖSTERREICH

### 3.1 Überblick

#### **Beurteilung der Klimarelevanz**

Die Beurteilung der Klimarelevanz der Maßnahme „ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“ erfolgte im Rahmen dieses Projekts durch die Anwendung von IPCC-Managementfaktoren, wie sie für die Berechnung von Kohlenstoffänderungen im Boden für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wald LULUCF im Rahmen der Treibhausgasinventur verwendet werden. Damit können die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Bodenkohlenstoffgehalte abgeschätzt werden.

### 3.2 Datengrundlagen

#### 3.2.1 Auswertungen aus der INVEKOS-Datenbank: Maßnahmen- und Flächenabfragen

Aus der INVEKOS-Datenbank des BMLFUW wurden die Kultur- und Flächen-daten der Bodennutzung, insbesondere der Ackernutzung, differenziert nach biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise abgefragt. Die Abfrage wurde für das Jahr 2007 durchgeführt.

#### 3.2.2 Kulturspezifische Ausnahmen hinsichtlich einer pfluglosen Bodenbearbeitung und der Verbleib von Ernterückständen

##### **spezielle Ackerkulturen**

Der Umbruch von Ackerfutterflächen stellt eine pfluglose Bodenbearbeitung vor größere Herausforderungen, da die Kulturpflanzen (z. B. Luzerne) nur durch Abtrennen der Wurzel am Durchwachsen gehindert werden. Ebenso ist die vollflächige Grünlanderneuerung schwer ohne Pflug durchführbar. Es werden daher für ausgewählte Ackerkulturen Ausnahmen formuliert, die die potenzielle ganzjährig/dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungsfläche (= Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“) einschränken.

##### **phytosanitäre Ausnahmebedingungen**

Phytosanitäre Ausnahmebedingungen könnten es ebenfalls nötig machen, den Pflugeinsatz regional differenziert zu erlauben – analog der Strohverbrennung am Feld bei Trockenheit. Dazu ist allerdings eigens ein Monitoring vorzusehen, um den durchgeführten Pflugeinsatz dokumentieren und berechnen zu können. Diese Ausnahmesituationen werden in die Berechnungen nicht gesondert aufgenommen – es muss daher an dieser Stelle angemerkt werden, dass diese die Ergebnisunsicherheit erhöhen können.

##### **Abfuhr von Ernterückständen**

Die Abfuhr von Ernterückständen von Ackerflächen findet durch den Einstreubedarf in der Tierhaltung, den Transfer in andere Acker- und Grünlandgebiete oder aufgrund der energetischen Nutzung – mit oder ohne organischen 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 für den Kohlenstoffkreislauf dar, was eine Verminderung der Bodenqualität auf den betroffenen

Standorten zur Folge haben kann. Der Anteil an Bodenkohlenstoff von Ackerböden könnte sich durch die Einführung einer Förderung für die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ erhöhen. Dieser Umstand sollte zu einem Monitoring der Strohabfuhr für die energetische Nutzung Anlass geben, um die Entwicklung steuern und in der THG-Inventur berücksichtigen zu können. Bei den bisherigen Schätzungen wurde von einem vernachlässigbaren Anteil ausgegangen. Die künftig vermehrte Nutzung von Biomasse zu Energiezwecken sollte jedenfalls auf diese Bodenqualitätsfragen Rücksicht nehmen.

### 3.2.3 Relevante Maßnahmen

Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendete Maßnahmen-Quantifizierungstool geht – als Prognoseszenario – von einer Maßnahmenwirkung ab 2013 aus. Bis zu diesem Zeitpunkt wird von einer leicht steigenden Mulch- und Direktsaatfläche – 2007 ca. 155.000 ha – ausgegangen. Bis 2014 wird die vollständige Umsetzung der Maßnahme auf den bisherigen ÖPUL-Flächen – Maßnahmen „Biologische Wirtschaftsweise (BIO)“, „Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen (Verzicht Acker)“, „Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen (UBAG)“ und o. b. Maßnahmen (= ohne betrachtete Maßnahmen = Summe der restlichen Maßnahmenflächen) – unterstellt. Ausnahmen bilden die in Tabelle 5 angeführten Kulturen. Ebenfalls wird bei der Berechnung die Annahme getroffen, dass die ÖPUL-Maßnahmen „BIO“, „Verzicht Acker“ und „UBAG“ im selben Umfang aufrecht sind, wie sie 2007 stattgefunden haben.

## 3.3 Ergebnisse

### 3.3.1 Flächenpotenzial

Die im INVEKOS abgebildete österreichische Ackerfläche wird um die Kulturen in Tabelle 5 reduziert, sodass sich eine Restackerfläche für die neue, adaptierte Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ für das Jahr 2007 ergibt. Auf nationaler Ebene wurden die Managementfaktoren bereits bei der Klimaschutzbewertung der Maßnahmen „BIO“, „Verzicht Acker“ und „UBAG“ sowie der bisherigen Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ in der Vorgängerstudie (UMWELTBUNDESAMT 2010) angewendet. Die im Handbuch der IPCC (2003) vorgesehenen Managementfaktoren ermöglichen es, die Wirkungen von Maßnahmen in einer Periode von 20 Jahren darzustellen. Damit kann bei einer unterstellten Kontinuität einer Maßnahme die Klimaschutzwirkung ermittelt werden. Für den NIR (National Inventory Report, siehe UMWELTBUNDESAMT 2014d) wurden diese Managementfaktoren in der Vorläuferstudie an die österreichischen Verhältnisse angepasst (UMWELTBUNDESAMT 2010). Diese Resultate werden in der vorliegenden Arbeit als Vergleichswerte herangezogen.

Tabelle 5: Potenzielle Flächenanteile der neuen Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ 2007. (Quelle: eigene Berechnungen)

| Flächenkategorien  | Ackerflächen (INVEKOS)<br>ha | in (%) | Kulturen   |
|--|------------------------------|--------|--|
| pfluglose Bodenbearbeitung voraussichtlich uneingeschränkt möglich | 1.191.880                    | 78,1   | alle anderen Kulturen  |
| pfluglose Bodenbearbeitung ausgeschlossen                          | 333.780                      | 21,9   | Kartoffel, Luzerne, Klee gras, Raps, Brache, GLÖZA*, Ackerwiesen |

\* GLÖZ A... Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand Acker

### 3.3.2 Managementfaktoren im internationalen Vergleich

Entsprechend der Vorgängerstudie (UMWELTBUNDESAMT 2010) wird auch in dieser ergänzenden Arbeit eine Abschätzung der C-Änderungen in Ackerböden mittels der in Tabelle 6 angeführten Managementfaktoren durchgeführt. Basierend auf dem Handbuch zur Erstellung der Treibhausgas-Inventur werden drei Aspekte der Bewirtschaftung von Ackerland berücksichtigt: Landnutzung, Bodenbearbeitung und die jeweilige Intensitätsstufe (Input, vgl. IPCC 2003).

Tabelle 6:  
Managementfaktoren  
nach IPCC und der  
Bewirtschaftungs-  
situation für 2007.  
(Quelle:  
UMWELTBUNDESAMT 2014d)

| Typ des Managementfaktors                                      | Level  | IPCC | national gewählte Managementfaktoren |
|--|--|------|--------------------------------------|
| Landnutzung  | Langzeitbewirtschaftung  | 0,82 | 0,93                                 |
| umfassende Bodenbearbeitung                                    | beträchtliche Bodenstörung/<br>häufige Bodenbearbeitung                                  | 1,00 | 1,00                                 |
| reduzierte Bodenbearbeitung                                    | herabgesetzte Bodenstörung/<br>seichte Bodenbearbeitung<br>ohne volle Wendung des Bodens | 1,03 | 1,03                                 |
| Minimalbodenbearbeitung entspricht pflugloser Bodenbearbeitung | nur minimale Bodenstörung im<br>Saatbett-Bereich   | 1,10 | 1,10                                 |
| Input  | geringe Rückführung von Ernteresten durch Abfuhr der Ernterückstände                     | 0,92 | 0,92                                 |
|  | mittlere Rückführung von Ernteresten   | 1,00 | 1,00                                 |
|  | hoch – ohne Wirtschaftsdünger  | 1,07 | 1,07                                 |
|  | hoch – mit Wirtschaftsdünger   | 1,34 | 1,11                                 |

### 3.3.3 Ergebnisse der Potenzialabschätzung für Österreich

#### Änderung der Boden-C-Vorräte

Um eine Änderung der Boden-C-Vorräte seit 1990 abschätzen zu können, mussten die Bewirtschaftungsweisen sowie Flächenangaben der Bodenbearbeitung und des Düngerregimes für 1990, basierend auf ExpertInnen-Einschätzungen, festgelegt werden. Diese Annahmen sind künftig jedenfalls durch ein Monitoring von Dauerbeobachtungsflächen abzusichern.

Folgendes Szenario wurde für 1990 angenommen:

### **Szenario 1990**

- 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.

Es wird eine zwanzigjährige Dauerwirkung unterstellt, um die Auf- und Abbauprozesse abbilden zu können. Für die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ wird – wie bei der bisherigen Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ – bei den Tillage-Faktoren die Kategorie „Bodenbearbeitung nur im Saatbettbereich“ und damit 1,1 als nationaler Management-Faktor (siehe Tabelle 6) verwendet, da die gezeigten Ergebnisse aus den Dauerversuchen einen eindeutigen Nachweis dafür geliefert haben (UMWELTBUNDESAMT 2010).

In Tabelle 7 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 wird unterstellt, dass bereits auf allen Ackerflächen die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ durchgeführt wurde. Damit kommt es zu einer hypothetischen Anreicherung von  $100 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Diese Hochrechnung ist zwar mit einer hohen Unsicherheit (Streuungsbreite) versehen, sie bietet aber jedenfalls eine Abschätzung für die  $C_{\text{org}}$ -Änderungen in Ackerböden bei einer hohen Teilnahme an den bisherigen Maßnahmen und der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“.

### **Abschätzung für $C_{\text{org}}$ -Änderungen**



Tabelle 7: Berechnung der Bodenkohlenstoffwirkung anhand der Managementfaktoren Landnutzung, Bodenbearbeitung und Input ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  und  $F_i$ , siehe Tabelle 6) nach IPCC und der Bewirtschaftungssituation 1990 bzw. 2007. (Quelle: UMWELTBUNDESAMT 2010)

|   | Bezeichnung (siehe Kap. 3.2.3)  | Fläche 1990 (ha) | Man. faktor* 1990 | Summe            | Fläche 2007 (ha)            | Man. faktor* 2007 | Summe            |
|---|---|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|
| Landnutzung<br>( $F_{LU}$ : Factor land use)  | BIO   | 3.000            | 0,93              | 2.790            | 141.954                     | 0,93              | 132.017          |
|   | UBAG + Verzicht Acker   | –                |                   |                  | 18.236                      | 0,93              | 16.959           |
|   | Verzicht Acker  | –                |                   |                  | 6.039                       | 0,93              | 5.616            |
|   | UBAG  | –                |                   |                  | 808.666                     | 0,93              | 752.059          |
|   | o. b. Maßnahmen***  | 1.410.276        | 0,93              | 1.311.556        | 323.037                     | 0,93              | 300.424          |
|   | Nicht INVEKOS   | –                |                   |                  | 115.343                     | 0,93              | 107.269          |
|   | <b>Summe</b>  | <b>1.413.276</b> |                   | <b>1.314.347</b> | <b>1.413.276</b>            |                   | <b>1.314.346</b> |
| Bodenbearbeitung<br>( $F_{MG}$ : Factor Management)   | BIO + Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos                   | 3.000            | 1,03              | 3.090            | 94.906                      | 1,10              | 104.397          |
|   | UBAG + Verzicht Acker + Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos | –                |                   |                  | 8.307                       | 1,10              | 9.138            |
|   | Verzicht Acker+ Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos         | –                |                   |                  | 1.512                       | 1,10              | 1.663            |
|   | UBAG + Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos                  | –                |                   |                  | 579.378                     | 1,10              | 637.316          |
|   | o. b. Maßnahmen*** + Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos    | 1.410.276        | 1,00              | 1.410.276        | 315.321                     | 1,10              | 346.853          |
|   | Nicht INVEKOS + Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos         | –                |                   |                  | 97.553                      | 1,10              | 107.308          |
|   | keine Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos möglich           | –                |                   |                  | 316.299                     | 1,00              | 316.299          |
|   | <b>Summe</b>  | <b>1.413.276</b> |                   | <b>1.413.366</b> | <b>1.413.276</b>            |                   | <b>1.522.974</b> |
| Input<br>( $F_i$ : Factor Input)  | BIO   | 3.000            | 1,11              | 3.330            | 141.954                     | 1,11              | 157.569          |
|   | UBAG + Verzicht Acker   | –                |                   |                  | 18.236                      | 1,07              | 19.513           |
|   | Verzicht Acker  | 5.000            | 1,07              | 5.350            | 6.039                       | 1,11              | 6.703            |
|   | UBAG  | –                |                   |                  | 808.666                     | 1,09              | 881.446          |
|   | o. b. Maßnahmen***  | 1.405.276        | 1,035             | 1.454.461        | 323.037                     | 1,035**           | 334.343          |
|   | Nicht INVEKOS   | –                |                   |                  | 115.344                     | 1,07              | 123.417          |
|   | <b>Summe</b>  | <b>1.413.276</b> |                   | <b>1.463.141</b> | <b>1.413.276</b>            |                   | <b>1.522.991</b> |
| <b>Ergebnisse</b>   |   |                  |                   |                  |                             |                   |                  |
| flächengewichteter, nationaler Managementfaktor   |   |                  |                   |                  | 1990: 0,99845 2007: 1,02842 |                   |                  |
| C-Änderung in Ackerböden (1990–2010) in t (Mg) C ha <sup>-1</sup>   |   |                  |                   |                  | 2,00                        |                   |                  |
| C-Änderung in Ackerböden 2007 in t (Mg) C (Mg) ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>   |   |                  |                   |                  | 0,10                        |                   |                  |
| C-Änderung in Ackerböden 2007 in t (Mg) C   |   |                  |                   |                  | 141.214                     |                   |                  |
| C-Speicherung in Ackerböden 2007 in t (Mg) CO <sub>2</sub> inkl. Mulchsaat/Direktsaat – pfluglos                                  |   |                  |                   |                  | 517.786                     |                   |                  |
| C-Speicherung in Ackerböden 2007 in t (Mg) CO <sub>2</sub> reduziert auf bisherige Mulch/Direktsaatflächen (UMWELTBUNDESAMT 2010) |   |                  |                   |                  | 221.233                     |                   |                  |

\* Man. faktor .... Managementfaktor, siehe Tabelle 6

\*\* durch die neuen Düngerapplikationen erhöhte Inputwirkung

\*\*\* o. b. Maßnahmen = ohne betrachtete Maßnahmen = Summe der restlichen INVEKOS-Maßnahmenfläche



Die ÖPUL-Maßnahmen inklusive der potenziellen Pfluglosigkeit bewirken eine Kohlenstoffspeicherung von 141.214 Mg C bzw. 517.786 Mg CO<sub>2</sub> im Boden. Das würde die Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft um 6,9% reduzieren. Wird das Ergebnis in Tabelle 7 mit den bisherigen Erkenntnissen verglichen (UMWELTBUNDESAMT 2010), so kann die hypothetisch beinahe flächendeckende Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ ein jährliches CO<sub>2</sub>-Senkenpotenzial im Boden von zusätzlich 296,5 Gg CO<sub>2</sub> realisieren (ergibt sich aus 517,8 minus 221,2 Gg CO<sub>2</sub> (= mit Mulchsaatwirkung)). Das entspricht 3,9 % der THG-Emissionen der Landwirtschaft (7.516 Gg CO<sub>2</sub> <sub>equi</sub>). Der pfluglose Ackerbau bewirkt alleine diesen Teil der Kohlenstoffsenske im Boden. Diese Zahl beruht auf den sonst unveränderten Annahmen – etwa betreffend die Wirtschaftsdüngergaben und ohne den bisherigen Mulch- und Direktsaatflächen. Der Vorteil dieser Berechnung liegt in ihrer langfristigen Betrachtung von 20 Jahren. Dennoch kann ein langfristiges Monitoring der Kohlenstoffgehalte im Boden durch die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen durch diese Erkenntnisse nicht ersetzt werden sondern muss supplementär als Erfolgskontrolle erfolgen.

**errechnetes CO<sub>2</sub>-  
Senkenpotenzial**

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND MASSNAHMENEINORDNUNG

- Erosionsminderung** Die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ ab 2007 ist eine Weiterführung der bisherigen Erosionsmaßnahmen im Ackerbau (bis 2006). In der vergangenen Programmperiode wurde diese jedoch nur selten in Anspruch genommen, zudem wurde ihre inhaltliche Ausgestaltung im Zeitablauf geändert. Die Form der Mulch- und Direktsaat im ÖPUL-Programm 2007–2013 (2007 ca. 155.000 ha) wirkt durch eine ausreichend hohe Akzeptanz der Bodenerosion jedenfalls entgegen. Die Klimaschutzwirkung der Maßnahme ist durch ihre erosionsmindernde Funktion bisher stets in den Hintergrund getreten. Die vorliegenden Überlegungen stellen die Luftreinhaltungs- und Klimaschutzwirkung in den Vordergrund, die Erosionswirkung bleibt in jedem Fall bestehen. Allerdings war auch bisher die Erosionsneigung der Flächen kein besonderes Lenkungskriterium für die Wahl der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“. Bei einer Schwerpunktsetzung in Richtung Klimaschutz sollte die Erosionswirkung jedenfalls weiter berücksichtigt werden. Durch den doppelten Nutzen dieser Maßnahme kann diese für Betriebe eine Aufwertung und damit eine stärkere Akzeptanz und Verbreitung erfahren.
- Verringerung von THG** Nach den obigen Überlegungen (siehe Kap. 3.3) sind für den Bereich Klimaschutz durch eine ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bewirtschaftung beachtliche Senke bzw. Vermeidungen von Klimagasen möglich. Durch die Umstellung auf ganzjährige/dauerhafte pfluglose Bewirtschaftung der Ackerflächen sind mit den angeführten Einschränkungen (entsprechend Tabelle 5 und Kapitel 3.2.2.) sind 296 Gg CO<sub>2</sub> (3,9 % der THG in der Landwirtschaft) an Bodenkohlenstoffsенke möglich.
- Reduktion der Bodenverdichtung** MURER et al. (2010) konnten im Evaluierungsbericht zur Bodenverdichtung zeigen, dass bei sensiblen Bodenformen im Untergrund hohe Verdichtungen vermutet werden. Die bessere Befahrbarkeit der künftigen Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos-Flächen könnte einen Beitrag zur Verringerung von Verdichtung darstellen. Jedenfalls sollte im Rahmen einer Begleitforschung die Entwicklung der ganzjährig/dauerhaft pfluglosen Mulch- und Direktsaat auch im Hinblick auf verminderte bzw. verstärkte Bodenverdichtungseffekte erweitert werden.
- geringere NH<sub>3</sub>-Emissionen** Wie in Kap. 2.2.3.1 beschrieben, ist für eine effektive Klimaschutzwirkung neben der Umstellung der Bodenbearbeitung auch die geänderte Ausbringung von Düngemitteln wichtig. Eine optimale Umstellung der Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldünger erfolgt als bodennahe Ausbringung bzw. als Ablage in den Boden. Damit würde ein beachtliches Reduktionspotenzial an Ammoniakemissionen abhängig von der Ausbringtechnik realisiert werden (geschätzte 13.985 t NH<sub>3</sub> entspricht 55 % der Ausbringverluste beeinflusst, siehe Tabelle 3). Weitere positive Effekte in diesem Zusammenhang sind die damit verbundenen Einsparungen an Mineraldünger und die verringerten indirekten Lachgasemissionen.
- 3 Umsetzungsschienen** Die Einordnung der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat – ganzjährig/dauerhaft pfluglos“ in die bestehende Förderlandschaft wird anhand von drei verschiedenen Umsetzungsschienen diskutiert und bewertet:
1. Inhaltliche Aufwertung der bisherigen Mulch- und Direktsaat ÖPUL-Maßnahme um einen Pflugvermeidungsbonus.

2. Entkoppelung der Saatbedingungen von der Grundbodenbearbeitung ohne Pflug vs. mit Pflug.
3. Klimaschutz und Klimawandelanpassungsmaßnahme außerhalb ÖPUL, etwa als Gemeinsame Agrarpolitik GAP-Instrument.

### **Variante 1: Inhaltliche Aufwertung der bisherigen Mulch- und Direktsaat ÖPUL-Maßnahme um einen Pflugvermeidungsbonus**

Zunächst ist die Frage zu klären, ob die Konzepte für Mulchsaat und Direktsaat inhaltlich miteinander vergleichbar sind, um gemeinsam im Rahmen des Umweltprogramms aufgewertet werden zu können. Während bei der Mulchsaat eine nicht-wendende Grundbodenbearbeitung vorgesehen ist, kommt die Direktsaat lediglich mit Direktsaatmaschinen zustande – die Grundbodenbearbeitung unterbleibt. Damit ist die Kulturführung bei den Direktsaat-Bedingungen anspruchsvoller und die Anreicherung des Boden-Kohlenstoffs höher einzuschätzen. Eine gemeinsame Aufwertung um den Pfluglosbonus würde die Anforderung an die Direktsaatbedingungen u. U. weiter erhöhen. Die Umstellung der Ausbringungstechnik von Wirtschaftsdüngern und Mineraldüngern auf die neuen Technologien ist in die Anforderungen und in die Investitionsförderung einzuplanen.

Dagegen könnten die Aktivitäten bei der Mulchsaatmaßnahme zur Kompensation der Grundbodenbearbeitung (ohne Pflug) weiter erhöht werden – z. B. durch häufigeres Grubbern. Die beabsichtigte Wirkung auf den Bodenkohlenstoffgehalt läuft jedoch Gefahr, dabei verloren zu gehen. Eine Aufwertung der gemeinsamen Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ um einen Pfluglosbonus würde voraussichtlich einen Vorzug für die Mulchvariante, wegen der leichteren Bedingungen bzw. der geringeren Einschränkungen, mit sich bringen.

### **Variante 2: Entkoppelung der Saatbedingungen von der Grundbodenbearbeitung ohne Pflug vs. mit Pflug**

Das Konzept der Mulch- und Direktsaat-Maßnahme knüpft im Rahmen des Umweltprogramms ÖPUL unmittelbar an die Saatbedingungen an und beeinflusst damit die zugrundeliegende Grund- und Saatbettbodenbearbeitung. Damit könnte sich eine flexible Bodenbearbeitung rund um die Aussaatbedingungen herausbilden. Vorteil dieser Möglichkeit ist fraglos die gute Anpassung an die Betriebsverhältnisse (Maschinen, Bodenverhältnisse, Problemunkräuter). Nachteil dieser Flexibilität ist, dass nicht die Bodenkohlenstoffwirkung sondern die Saatbettbedingungen im Zentrum der Maßnahme stehen. Eine Entkoppelung der Grundbodenbearbeitung – mit bzw. ohne Pflug – erscheint in diesem Zusammenhang zielführend. Allerdings würde damit ein weiteres Agrar-Umweltziel – Klimaschutz – mit eigenen Begründungen und Datenerfordernissen entstehen. Zudem wäre eine weitere Kombinationsmöglichkeit (z. B. Grundbodenbearbeitung ohne Pflug mit konventioneller Saatbettbereitung usw.) geschaffen und zu bewerten. Die zusätzlichen Administrationskosten für die getrennten Maßnahmenansätze Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung könnten voraussichtlich den Zusatznutzen nicht wirklich aufwiegen. Die Umstellung der Ausbringungstechnik von Wirtschaftsdüngern und Mineraldüngern auf die neuen Technologien ist in die Anforderungen und in die Investitionsförderung einzuplanen.

### **Variante 3: Klimaschutz und Klimawandelanpassungsmaßnahme außerhalb ÖPUL, etwa als GAP-Instrument**

Entsprechend den bisher bekannten Inhalten der Gemeinsamen Agrarpolitik ab 2015 gelten Klimaschutz und Klimawandelanpassung in der Landwirtschaft als Schwerpunkte. Daraus ist es zulässig, zu schließen, dass auch ein eigenständiges thematisches Portfolio bei der Umsetzung der GAP zu entwickeln wäre.

In der Grundverordnung der EU über die Förderung der ländlichen Entwicklung (EU VO Nr. 1305/2013) wurde die Agrarumwelt- und Klimamaßnahme (Art. 28) von dem ökologischen/biologischen Landbau (Art. 29) getrennt. Analog könnten die Belange des Bodenschutzes sich als eigenständiges Instrument der GAP etablieren. Ansätze dazu sind auch in den Cross Compliance-Verpflichtungen zur Stabilisierung des Bodenkohlenstoffgehalts landwirtschaftlicher Böden zu sehen. Wird der Bodenkohlenstoffgehalt als klimaschutz- und klimawandelanpassungsrelevante Materie erkannt – was das hier gezeigte Potenzial bestätigt, könnte daraus eine eigenständige Zielsetzung der GAP abgeleitet werden. Vorteil eines solchen Schwerpunktes wäre beispielsweise eine zielgerichtete Maßnahmengestaltung. Nachteile sind der administrative Aufwand eines eigenständigen Ländlichen Entwicklungs-Programmteils mit entsprechenden Validierungen sowie die erforderliche Datenbasis. So könnten jährlich leicht wechselnde Flächenanteile, die im Agrarumweltprogramm Datenprobleme verursachen, innerhalb eines eigenständigen Programmteils gelöst werden. Ebenso wäre diesbezüglich die Schnittstelle mit dem Agrarumweltprogramm zu definieren, da Überschneidungen generell zu vermeiden sind. Aus Programmgestaltungssicht ist es jedenfalls erstrebenswert, singuläre Ziele in den Maßnahmen zu verankern. Synergien und Überschneidungen sind anschließend zu prüfen. Die Umstellung der Ausbringungstechnik von Wirtschaftsdüngern und Mineraldüngern im Zuge der ganzjährig/dauerhaft pfluglosen Ackerwirtschaft ist in den Maßnahmen-Anforderungen und in der Investitionsförderung einzuplanen.

### **Beurteilung und Präferenz**

**Fazit** Angesichts der neuen Programmperiode der GAP 2015–2020 sollten neue Wege mit der Variante 3 eingeschlagen werden. Als zweitbeste Lösung wäre aus Sicht der AutorInnen die Variante 1 zu wählen.

Bekanntnisse zur massiven Einsparung von Treibhausgasen mit den Zielvorgaben 2020 bzw. 2030 werden über die Agrarpolitik hinaus in allen Sektoren ausgesprochen. Hier werden neue Wege gesucht werden müssen, um diesen Zielen näher zu kommen.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass Bodenschutz wie er im Rahmen der ganzjährig/dauerhaft pfluglosen Bewirtschaftung praktiziert wird, ein großes Potenzial an Klimaschutzwirkung und Klimawandelanpassung bietet. Darüber hinaus sind Antworten für die dringenden Fragen zur Luftreinhaltung hinsichtlich Ammoniak zu erwarten.

Die Einsparungseffekte bezüglich Mineraldünger, die durch eine höhere Wirksamkeit von Wirtschaftsdünger erzielt werden können, werden als beachtlich eingeschätzt. Nicht unerwähnt bleiben sollen die offenen Fragen bezüglich vermehrtem bzw. vermindertem Herbizideinsatz durch den pfluglosen Ackerbau, zu denen ein umweltverträgliches Gesamtsystem aufgebaut werden muss. Neben der praktischen Durchführung mit Hilfe neuer Bodenbearbeitungsgeräte

ist die bodennahe Ausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern nach unserer Einschätzung einerseits eine innovative Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Andererseits sind damit Investitionen verbunden, die betrieblich nur von Großeinheiten geleistet werden können bzw. bevorzugt in Gemeinschaft mit anderen Bauern getätigt und die Geräte rentabel eingesetzt werden können.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- ARBEITSGRUPPE LANDWIRTSCHAFT/UMWELTSCHUTZ DER KOMMISSION UMWELT (2008): Emissionsmindernde Gülleausbringung. IBK Positionspapier – Antrag an die Regierungen. Lindau (Bodensee).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2007): LE 07–13 Österreichisches Programm für die Entwicklung des Ländlichen Raums 2007–2013. Stand 14.09.2007.  
[http://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl\\_entwicklung/le-07-13/programmtext.html](http://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl_entwicklung/le-07-13/programmtext.html)
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008): Grüner Bericht 2008.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014): LE 2020: Entwurf für das Programm für ländliche Entwicklung in Österreich 2014–2020. Final draft 08.04.2014.  
[http://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl\\_entwicklung/laendliche-Entwicklung-2014-2020/LE2020.html](http://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl_entwicklung/laendliche-Entwicklung-2014-2020/LE2020.html)
- BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT & AGENTUR FÜR LEBENSMITTELSICHERHEIT AGES, MURER, E.; FEICHTINGER, F. & DERSCH, G. (2010): BMLFUW, Wirksamkeit von ÖPUL-Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtung. ÖPUL-Evaluierungsbericht 43.
- BUSSE, M. D.; RATCLIFFE, A. W.; SHESTAK, C. J. & R. F. POWERS (2001): Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil. Biol. Biochem.* (33): 1777–1789.
- CAPRIEL, P. & RIPPEL, R. (2007): Humusbilanz für Beratung in Bayern.  
<http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/12458/index.php>
- COUPLAND, D. & J. C. CASELY (1979): Presence of <sup>14</sup>C activity in root exudates and gutation fluid from *Agropyron repens* treated with <sup>14</sup>C-labelled glyphosate. *New Phytol.* (83): 17–22.
- DLG – Deutsche Landwirtschaft Gesellschaft (2011): Nährstoffversorgung auf konservierend bearbeiteten Ackerstandorten 2011/2, Sonderbeilage.
- EEA – European Environment Agency (2009): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009. Technical report No 6/2009. Copenhagen.
- EEA – European Environment Agency (2013): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013. Technical report No 12/2013. Copenhagen.
- FIBL – Forschungsinstitut für biologischen Landbau (2014): Reduzierte Bodenbearbeitung. Umsetzung im biologischen Landbau.  
<https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1652-bodenbearbeitung.pdf>  
(download am 20.11.14) Merkblatt.
- FRICK, R. & MENZI, H. (1997): Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? FAT-Bericht 496.

- GERZABEK, M. H.; STREBL, F.; TULIPAN, M. & SCHWARZ, S. (2003): Quantification of carbon pools in agriculturally used soils of Austria by use of a soil information system as basis for the Austrian carbon balance model. OECD Expert Meeting: Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses C. A. S. Smith (ed. 14–18 October 2002 Ottawa Canada) Agriculture and Agri-Food Canada Ottawa CA & Organisation of Economic Co-operation and Development Paris FR.
- GREBE, S.; WULF, S. & DÖHLER, V., N. (2010): Kohlenstoffdioxideinsparungspotenzial in der Landwirtschaft. DLG.
- HBLFA RAUMBERG-GUMPENSTEIN (2011a): Pöllinger, A.; Kropsch, M.; Leithold, A.; Huber, G.; Amon, B.; Breininger, W. & Längauer, M.: Emissionen – Gülleausbringung – Lager. Evaluierung der ÖPUL-Maßnahme „Verlustarme Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern und Biogaskülle“. Endbericht, Wien.
- HBLFA RAUMBERG-GUMPENSTEIN (2011b): Pöllinger, A., Kropsch, M., Huber, G.; Amon, B., Breininger, W., Längauer, M.: Bewertung von Güllelagerabdeckungen. Abschlussbericht Emissionen. HBLFA Raumberg-Gumpenstein.
- HBLFA RAUMBERG-GUMPENSTEIN (2011c): Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2011: Neue Herausforderungen und Strategien in der Rinder- und Schweinehaltung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein.
- HUGGINS, D. & REGANOLD, J. (2009): Bodenschutz durch Verzicht auf Pflügen. In: Spektrum der Wissenschaft – Landwirtschaft. Mai 2009.  
<http://www.spektrum.de/artikel/987518&z=798888> (Download Dezember 2011)
- 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.
- HÜLSBERGEN, K.J. & SCHMID, H. (2010): Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Betriebssysteme KDL.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1997): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1: Reporting Instructions, Vol. 2: Workbook, Vol. 3: Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Lim, B.; Tréanton, K.; Mamaty, I.; Bonduki, Y.; Griggs, D.J. & Callander, B.A. Genf.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Report on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC Good Practice Report). Japan.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (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.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T. & Anabe, K. (eds). Published: IGES, Japan.  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>



- JOHAL, G.S. & RAHE, J.E. (1988): Glyphosate, hypersensitivity and phytoalexins accumulation in the incompatible bean anthracnose host-parasite interaction. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* (32): 267–281.
- 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.
- JUNGKUNST, H. F., (2010): Regionalisierung und Differenzierung von Emissionsfaktoren. *KTBL Schrift* 483.
- KLIK, A.; TRÜMPER, G.; BAATAR U.; STROHMEIER, S.; LIEBHARD, P.; DEIM, F.; MOITZI, G.; SCHÜLLER, M.; RAMPAZZO, N.; MENTLER, A.; RAMPAZZO-TODOROVIC, G.; BRAUNER, E.; BLUM, W.; KÖLLENSPERGER, G.; HANN, S.; BREUER, G.; STÜRMER, B.; FRANK, S.; BLATT, J.; ROSNER, J.; ZWATZ-WALTER, E.; BRUCKNER, R.; GRUBER, J.; SPIEB, R.; SANITZER, H.; HAILE, T.M.; SELIM, S.; GRILLITSCH, B.; ALTMANN, D.; GUSECK, C.; BURSCH, W. & FÜRHACKER, M. (2010): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kohlenstoffdynamik, CO<sub>2</sub>-Emissionen und das Verhalten von Glyphosat und AMPA im Boden. *BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) Amt der Niederösterreichischen Landesregierung Amt der Steiermärkischen Landesregierung*.
- KOLBE, H. (2007): Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- 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.
- KREITMAYR, J. (2004): Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat als Erosionsschutz. *LfL Tagungsband*.
- KREITMAYR, J. (2005): Bedeutung standortangepasster Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren für den Bodenschutz. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz. Freising.
- KREMER, R. J. (2009): Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: Threat to agricultural sustainability? *Europ. J. Agronomy* (31): 111–113.
- KRÜCK, S.; NITZSCHE, O. & SCHMIDT, W. (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 1/2001: 18–21.
- KUKA, K. (2005): Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse. *Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen-Technischen Fakultät (mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*. Halle 2005.
- LABES, G.; DANNEBERG, G. & SIMON, R. (1999): Abschätzung der Einwirkung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen auf den Boden, vor allem auf die organische Bodensubstanz als Träger der Lebensraumfunktion. *Umweltbundesamt Berlin, Texte* 34/99.



- LEHRKE, U.; SCHÖNBERGER, H. & LÜTKE ENTRUP, N. (2010): Wellnesskur für Ihren Boden. Bodenbearbeitung: Kein starres System. In: Top Agrar (4/2010).
- LEIFELD, J. (2010): Kohlenstoffsequestrierung in landwirtschaftlichen Böden – eine kritische Betrachtung. In: Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift. 483, 2010: 182–191.
- LEITHOLD, G. (1996): Wie hoch ist der Bedarf des Bodens an organischer Substanz? Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim 24, H. 98: 42–44.
- LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2008): Pflanzenschutzmittel – Stoffgruppen und Anwendung. Download am 19.11.14.  
[http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_51\\_pflanzenschutzmittel\\_stoffgruppen\\_anwendung.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_51_pflanzenschutzmittel_stoffgruppen_anwendung.pdf)
- LIEBHARD, P. (1992): Effekte unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Bodenmerkmale. Wintertagung 1992. Ökosoziales Forum – Österreichische Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien. S. 80-89. In: KLIK, A. et al. (2010).
- LIEBHARD P. (1993): Einfluss der Primärbodenbearbeitung auf Textur und organische Substanz von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum. Die Bodenkultur. 44: 199–210. In: KLIK, A. et al. (2010).
- LK-OE – Österreichische Landwirtschaftskammer (2014): Strohrechner der Landwirtschaftskammer nach J. Recheis. [www.lk-oe.at](http://www.lk-oe.at)
- LOCKE, M.A.; ZABLOTOWICZ, R.M. & REDDY, K.N. (2008): Integration soil conservation practices and glyphosate-resistant crops: impacts on soil. Pest Manag. Sci. (64): 441–456.
- MERTENS, M. (2010): Kollateralschäden im Boden. Aus: Der kritische Agrarbericht 2010. Schwerpunkt Boden. Herausgeber: Agarbündnis. AbK-Verlag, Hamm. ISBN 978-3-930413-40-9.
- MOTAVALLI, P. P. (2004): Impact of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations. J. Environ. Qual. (33): 816–824.
- NEUMANN, G.; KOHLS, S.; LANDSBERG, E.; STOCK-OLIVEIRA SOUZA, Y.T. & RÖMHELD, V. (2006): Relevance of Glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. Journal of plant diseases and protection, special edition, pp. 963 – 969. ISSN 1861 – 4051.
- RAMPAZZO TODOROVIC, G (2013): Behaviour of Glyphosate and AMPA in soils under the influence of different tillage systems and erosion. 68. ALVA-Tagung, LFZ für Wein- u. Obstbau.
- RAMPAZZO, N.; RAMPAZZO TODOROVIC, G.; MENTLER, A. & BLUM, W.E.H. (2012): Adsorption of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in soils. Int. Agrophys. 27: 203–209.
- RUSER, R. (2010): Möglichkeiten zur Minderung der Lachgasfreisetzung aus landwirtschaftlichen genutzten Böden bei mineralischer Stickstoffdüngung.
- SCHMIDT, W. (2009a): Bedeutung der optimalen Strohverteilung für konservierende Bewirtschaftungsverfahren, Vortragunterlage.  
[http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MD\\_Koellitsch\\_2005.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MD_Koellitsch_2005.pdf)

- SCHMIDT, W. (2009b): Stand der konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat in Sachsen. Vortrag im Rahmen des Fachgespräch »Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat« am 03.11.2009 in Leipzig.  
<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/12674.htm>
- SCHMIDT, W.; ZIMMERLING, B.; NITSCHKE, O. & KRÜCK, ST. (2001): Conservation tillage – A new strategy stormwater and agricultural runoff source controls. NATO science series 74. Kluwer Academic Publishers.
- SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. (1998): Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, New York.
- SMITH, P.; POWLSON, D. S.; GLENDINING, M. J. & SMITH, J. U. (1997): Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biol. 3: 67–79.
- 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.
- STATISTIK AUSTRIA (2008): Statistik der Landwirtschaft 2007.
- STATISTIK AUSTRIA (2011): Allgemeine Viehzählung am 1. Dezember 2011; Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien.
- STOCKFISCH, N.; FORSTREUTER, T. & EHLERS, W. (1999): Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. Soil & Tillage Research 52: 91–101. In: KLIK, A. et al. (2010).
- TESFAMARIAM, T. M. (2009): Glyphosate use in Agro-Ecosystems: Identification of key factors for a better risk assessment. Dissertation.  
[https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2010/501/pdf/Dissertation\\_Tesfamariam.pdf](https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2010/501/pdf/Dissertation_Tesfamariam.pdf)  
(Download am 20.11.14)
- UMWELTBUNDESAMT (2006): ANagl. C., Schneider, J., Spangl, W., Fröhlich, M., Baumann, R., Lorbeer, G., Trimbacher, C., Placer, K., Ortner, R., Kurzweil, A., Lichtblau, G., Szednyj, I., Böhmer, S., Pölz, W., Wiesenberger, H., Winter, B., Zethner, G., Fohringer, J.: Feinstaub in Österreich, Berichte, Bd. BE-277. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Anderl, M.; Freudenschuß, A. & Köther, T.: Austria's National Inventory. Reports, Bd. REP-0188. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2010): Freudenschuß, A.; Sedy, K.; Spiegel, H., Zethner, G.: Arbeiten zur Evaluierung von ÖPUL-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit. Reports, Bd. REP-0290. Umweltbundeamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2013a): Köther, T.; Anderl, M.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schindlbacher, S.; Stranner, G.; Wieser, M. & Zechmeister, A.: Austria's Informative Inventory Report 2013. Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Reports, Bd. REP-0414. Umweltbundesamt, Wien.

- UMWELTBUNDESAMT (2013b): Anderl, M.; Gangl, G.; Haider, S.; Ibesich, N.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schieder, W. & Zechmeister, A. Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990–2011. Regionalisierung der nationalen Emissionsdaten auf Grundlage von EU-Berichtspflichten. Datenstand 2013. Ein Kooperationsprojekt der Bundesländer mit dem Umweltbundesamt. Reports, Bd. REP-0445 Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2013c): Pazdernik, K.; Anderl, M.; Gangl, M.; Jobstmann, H.; Köther, T.; Mandl, N.; Nagl, C.; Poupa, S.; Schieder, W.; Stranner, G.; Tista, M. & Zechmeister, A.: Emissionstrends 1990–2011. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen. Datenstand 2013. Reports, Bd. REP-0436. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2014a): Anderl, M.; Buxbaum, I.; Nagl, C. & Spangl, W.: Sekundäres anorganisches Aerosol. Beiträge zur PM-Belastung in Österreich. Umweltbundesamt, Wien. (In Druck).
- UMWELTBUNDESAMT (2014b): Nagl, C.; Pazdernik, K. & Spangl, W.: Vorarbeiten für ein Programm nach § 19 IG-L. Fachgrundlagen für ein Programm der Bundesregierung zur Reduktion der PM<sub>2,5</sub>-Belastung. Umweltbundesamt, Wien. (Unveröffentlicht)
- UMWELTBUNDESAMT (2014c): Anderl, M.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Kappel, E.; Köther, T.; Lampert, C.; Moosmann, L.; Pazdernik, K.; Pinterits, M.; Poupa, S.; Stranner, G. & Zechmeister, A.: Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2014. Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Reports, Bd. REP-0474. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2014d): Anderl, M.; Freudenschuß, A.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Kohlbach, M.; Köther, T.; Kriech, M.; Lampert, Ch.; Moosmann, L.; Pazdernik, K.; Pinterits, M.; Poupa, S.; Schmid, C.; Stranner, G.; Schwaiger, E.; Schwarzl, B.; Weiss, P. & Zechmeister, A.: Austria's National Inventory Report 2014 – Submission under the United Nations Framework Convention of Climate Change and the Kyoto Protocol. Reports, Bd. REP-0475. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2015): Anderl, M.; Haider, S.; Zethner, G.; Kropsch, M.; Pöllinger, A. & Zentner, E.: Maßnahmen zu sekundären Partikeln aus der Landwirtschaft. (in Vorbereitung).
- VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (1999): Humusbilanz Handbuch.
- VERELL, P & E. VAN BUSKIRK (2004): As the worm turns: Eisenia fetida avoids soil contaminated by a glyphosate-based herbicied. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (72): 219–224.
- VUA – Verlagsunion Agrar (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Herausgeber Hydro Agri Dülmen GmbH, Dülmen.
- WPA & BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2013): BMLFUW, Qualitative Evaluierung von Zwischenbegrünungen für den Gewässerschutz. ÖPUL Evaluierungsbericht 34.
- ZOBIOLE, L.H. S; OLIVEIRA JR., R.S; KREMER, R.J; CONSTANTIN, J; YAMADA, T; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. & OLIVEIRA JR., A. (2010): Effects of glyphosate on symbiotic N<sub>2</sub> fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. Applied soil ecology(44): 176–180.

### **Rechtsnormen und Leitlinien**

Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden.

Luftqualitätsrichtlinie (RL 2008/50/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. L 152.

VO Nr. 1257/1999/EG: Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen

VO Nr. 1698/2005/EG (ELER): Verordnung des Rates vom 20. September 2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums. ABl. Nr. L 277.

VO Nr. 1305/2013/EG: Verordnung über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005



Im Report werden ökologische Aspekte einer ganzjährig/dauerhaft pfluglosen Bodenbewirtschaftung im Ackerbau (u. a. Auswirkungen auf die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen sowie den Pestizid- und Düngereinsatz) untersucht.

Es zeigt sich, dass die Anwendung dieser Bodenbewirtschaftung gemeinsam mit neuen Technologien (z. B. der Injektionstechnik zum Ausbringen von Wirtschaftsdüngern) ein großes Potenzial an Klimaschutzwirkung aufweist. So wurden eine mögliche Treibhausgasreduktion von 296 Gg CO<sub>2</sub> (entspricht 3,9 % der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft) und eine Verringerung von 55 % des Ammoniak-Verlustes errechnet.

Entsprechend der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) gelten ab 2015 Klimaschutz und Klimawandelanpassung in der Landwirtschaft als Schwerpunkte. Aufgrund der Studienergebnisse wird daher die Etablierung einer Maßnahme „ganzjährig/dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung“ als eigenes GAP-Instrument vorgeschlagen.