

Endbericht

Qualitative Evaluierung von  
Zwischenbegründungen für  
den Gewässerschutz

**wpa Beratende Ingenieure**







wpa Beratende Ingenieure



### Auftraggeber

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abteilung II/6  
GZ: BMLFUW-LE.1.1.1/0071-II/6/2012

## Qualitative Evaluierung von Zwischenbegrünungen für den Gewässerschutz

### Berichtsdatum

06.11.2013 // GZ-wpa: 412.012

### Version

2.0

### Inhalt

Endbericht  
Anlagen: A bis C

### Ausführung

pdf

**MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LÄNDERN UND EUROPÄISCHER UNION**



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



lebensministerium.at

### wpa Beratende Ingenieure GmbH

A-1090 Wien | Lackierergasse 1/4  
T +43 1 403 62 80 | F +43 1 405 57 16  
wpa@wpa.at | www.wpa.at

UID: ATU 16138800 | Gesellschaft mbH | Handelsgericht Wien | FN 51597d  
Bankverbindung: BKS Bank AG | BLZ: 17000 | Konto: 141 000 225  
IBAN: AT081700000141000225 | BIC: BFKKAT2K



INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung und Abgrenzung der Fragestellung .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Literaturüberblick.....</b>	<b>6</b>
3.1	Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf die organische Substanz im Boden .....	6
3.2	Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf die Bildung von Treibhausgasen .....	8
3.3	Aggregatstabilität und Wasserspeichervermögen .....	9
<b>4</b>	<b>Material und Methode.....</b>	<b>10</b>
4.1	Versuchsaufbau.....	10
4.1.1	Feldversuch .....	10
4.1.2	Transekte .....	11
4.2	Erhebungen zum Anbau und Erfassung des Aufwuchses der Begrünungen.....	12
4.3	Erfassung der Biomassebildung der Begrünungen am Ende der Vegetationsperiode.....	13
4.4	Bestimmung des Grades der Bodenbedeckung nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung der Begrünungen .....	13
4.5	Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte vor einer Nitratauswaschung .....	14
4.6	Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte für eine Befruchtung der Oberflächengewässer .....	16
4.7	Humusbilanzierung .....	17
4.7.1	Modellauswahl.....	17
4.7.2	Modellbeschreibung.....	17
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>19</b>
5.1	Allgemeine Bodeneigenschaften der Standorte .....	19
5.2	Aufwuchs der Begrünungen.....	19
5.3	Biomasseerfassung der Begrünungsvarianten .....	21
5.4	Bodenbedeckung nach Bearbeitung .....	23
5.5	Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten für eine Befruchtung der Grundwässer .....	27
5.6	Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten für eine Befruchtung der Oberflächengewässer...	29
5.7	Humusbilanzierung .....	30
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>Anlagenverzeichnis.....</b>	<b>37</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 3-1: Gemessene Abnahme des 14C-Vorrats nach einer Wirtschaftsdüngergabe (Fruchtfolge: Zuckerrübe/Winterweizen/Sommerweizen) (Rampazzo Todorovic et al., 2010) .....	6
Abb. 3-2: Vertikale Verteilung von C <sub>org</sub> (Soil Organic Carbon) nach einer Versuchsdauer von 13 Jahren bei minimaler (MT), reduzierter (RT) und konventioneller (CT) Bodenbearbeitung (Spiegel et al., 2007) .....	7
Abb. 4-1: Lage der Versuchsstandorte.....	10
Abb. 4-2: Ablauf der Untersuchungen und Einteilung der Versuchsglieder .....	11
Abb. 4-3: Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen in den Transekten .....	12
Abb. 4-4: Feldstücke der Transekte im Frühjahr 2012 und Frühjahr 2013 .....	13
Abb. 4-5: Beispiel für die Auswertung von Oberflächenbedeckung mit objektbasierter Bildanalyse (links: Original, rechts: ausgewertete Oberfläche) .....	14
Abb. 5-1: Enns – frühe Aussaat am 08.09.2012 (Gelbsenf 20 kg/ha).....	19
Abb. 5-2: Bad Wimsbach Z11 am 08.08.2012 (Kresse 2 kg/ha, Mungo 1,5 kg/ha, Ölrettich 4 kg/ha) .....	20
Abb. 5-3: Aufwuchs von Senf + Phacelia am Standort Hötzelsdorf Gänsegraben am 02.09.2012 .....	20
Abb. 5-4: Aufwuchs von Senf + Phacelia am Standort Hötzelsdorf Gänsegraben am 23.09.2012 .....	20
Abb. 5-5: Mulchbedeckung nach dem Winter von Senf + Phacelia am Standort Hötzelsdorf Gänsegraben am 25.04.2013 .....	21
Abb. 5-6: Relative Änderung der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung .....	23
Abb. 5-7: Einfluss der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung auf die Bedeckung nach der Bodenbearbeitung .....	24
Abb. 5-8: Bedeckung durch Mulchmaterial in Abhängigkeit vom verwendeten Arbeitsgerät .....	24
Abb. 5-9: 5% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Enns später Anbau“ mit Senf, Grubber, Tief, 2 Überfahrten .	26
Abb. 5-10: 10% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Heidenreichstein HE1“, mit Wassergüte Rau, Kreiselegge Tief, 1 Überfahrt .....	26
Abb. 5-11: 15% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E4“, mit Phacelia/Ölrettich/Buchweizen/Senf, Grubber, Tief, 2 Überfahrten .....	26
Abb. 5-12: 20% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E6“, mit Ölrettich/Senf/Alexandrinerklee, Grubber, Tief, 1 Überfahrt .....	26
Abb. 5-13: 25% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E3“ mit Alexandrinerklee/Perserklee, Kreiselegge, seicht, 1 Überfahrt .....	26
Abb. 5-14: 30% Bodenbedeckung in „Bad Wimsbach E5“ mit Phacelia/Alexandrinerklee/Ölrettich, Grubber, Seicht, 1 Überfahrt .....	26
Abb. 5-15: Mittlere relative Veränderung der Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für drei Anbauzeitpunkte am Standort Obersiebenbrunn.....	27
Abb. 5-16: Mittlere relative Veränderung der Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für drei Anbauzeitpunkte am Standort Pettenbach .....	27
Abb. 5-17: Mittlere relative Veränderung der akkumulierten Grundwasserneubildung und Stickstoffauswaschung im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für die Periode 18.August bis 10.April in den Jahren mit Zwischenbegrünung in Obersiebenbrunn.....	28

Abb. 5-18: Mittlere relative Veränderung der akkumulierten Grundwasserneubildung und Stickstoffauswaschung im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für die Periode 18.August bis 10.April in den Jahren mit Zwischenbegrünung in Pettenbach ..... 28

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 4-1: Für die Berechnung angenommenen Anbau- und Erntetermine ..... 15

Tab. 4-2: Standortgruppen zur Humusbilanzierung (Kolbe, 2008) ..... 18

Tab. 5-1: Gemessene Biomassen an ausgewählten Begrünungsversuchsgliedern sortiert nach dem Ertrag ..... 22

Tab. 5-2: Bodenbedeckung durch Mulchmaterial im Frühjahr 2012 und 2013 (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)25

Tab. 5-3: Mittlere jährliche Bodenerosion in t/ha und Jahr in Abhängigkeit der Biomassebildung der Zwischenfrucht (ZWF) und der Hangneigung in Pettenbach ..... 29

Tab. 5-4: Mittlere jährliche Bodenerosion in t/ha und Jahr in Abhängigkeit der Biomassebildung der Zwischenfrucht (ZWF) und der Hangneigung in Obersiebenbrunn..... 29

Tab. 5-5: Ergebnisse der Humusbilanzierung bei Einarbeitung von 1 bzw. 3 t TS/ha je Standortgruppe ..... 30

## 1 Zusammenfassung

Die ÖPUL Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter“ und „Mulch- und Direktsaat“ wurden bezüglich ihrer Wirkung auf Boden-, Gewässer- und Klimaschutz bewertet und Verbesserungspotenziale der Maßnahmen ausgearbeitet. Mithilfe eigens angelegter Versuche, Dokumentation ausgewählter Transekte in unterschiedlichen Landschaften Ostösterreichs, Modellierung der Bodenerosion und der Nitratbefruchtung des Grundwassers und einer ausführlichen Literaturstudie wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

Erstmals wurden **Messungen** bezüglich der **Bodenbedeckung mit Mulchmaterial nach der Bodenbearbeitung** durchgeführt. Bisher galt die Annahme, dass durch Mulch ein Bodenbedeckungsgrad von 30% erreicht wird. Die Untersuchungen auf den Feldversuchen ergaben allerdings, dass im Durchschnitt eine Bedeckung von **13,7%** erreicht wird. In den analysierten Transekten wurden ähnliche Ergebnisse erzielt (12%). Die höchsten Bedeckungsgrade erreichen Direktsaat-Verfahren oder bodenschonende Bearbeitungen mit dem Feingrubber. Bedeckungen mit 30% werden nur sehr vereinzelt erreicht.

Der Anbau von **Begrünungen** mit nachfolgendem Einarbeiten bewirkt unter bestimmten Bedingungen eine **Erhöhung des Humusgehalts**, wobei der Einfluss der Standortbedingungen stärker ist als die Menge der eingebrachten Biomasse. Der Humusgehalt kann allerdings nur durch regelmäßige und lang andauernde Maßnahmen aufgebaut und gehalten werden. Die erhöhte Menge an organischer Substanz bewirkt eine **Verbesserung der Aggregatstabilität**, wodurch eine Verminderung der Bodenerosion und eine Erhöhung des Wasserspeichervermögens erreicht werden.

Weiters bewirkt der Anbau von Begrünungen zum Teil eine **Reduktion der Treibhausgasemissionen**, be-

sonders von Kohlendioxid und Methan. Das sehr treibhausrelevante Lachgas hingegen bleibt in Summe des Begrünungszeitraums im Gegensatz zu Schwarbrachen weitestgehend unverändert.

Die Bodenerosion wird durch den Anbau einer Zwischenfrucht mit einer mittleren Biomasseentwicklung von 2,4 t/ha um mehr als 15% des mittleren jährlichen Durchschnitts einer 5-jährigen Fruchtfolge gesenkt. Ein guter Aufwuchs der Begrünung mit einer Biomasse von 4,2 t/ha bewirkt sogar eine **Verringerung der Bodenerosion** um über 23%.

Die Schutzwirkung von Begrünungen auf die Auswaschung von Nährstoffen ins Grundwasser konnte bestätigt werden. Im Winterhalbjahr wird die akkumulierte **Stickstoffauswaschung um 50-70%** je nach Bodenart und Anbauzeitpunkt der Begrünung **reduziert**.

Die Begrünungsversuche zeigten, dass ein **früher Anbau** generell eine schneller sich schließende Bodenbedeckung bewirkt und folglich eine bessere Biomasseentwicklung. Klimatisch rauere Bedingungen (z.B. im Waldviertel) vermindern die Biomassebildung erheblich.

Eine reduzierte Bodenbearbeitung durch **Mulch- oder Direktsaat** bewirkt nur in der oberen Bodenschicht eine Steigerung des gespeicherten Kohlenstoffs. In Summe über das Bodenprofil kann dadurch **keine Erhöhung des Humusgehalts** erreicht werden.

Die **Treibhausgasemissionen** können im direkten Vergleich mit konventionell bearbeiteten Böden durch eine reduzierte Bodenbearbeitung **nicht verringert** werden. Wird allerdings der gesamte Aufwand (z.B.: Dieselverbrauch) der beiden Bearbeitungsvarianten miteinander verglichen, werden durch die Mulchsaat im Durchschnitt 13% weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt.



## 2 Einleitung und Abgrenzung der Fragestellung

Begrünungsmaßnahmen werden im Rahmen des ÖPUL aus Gründen des Boden- und Gewässerschutzes gefördert und erfreuen sich seit vielen Jahren hoher Teilnahmeraten. Die Schutzwirkung für den Boden, das Grundwasser und für Oberflächengewässer wurde im Rahmen der ÖPUL Evaluierung wiederholt festgestellt.

Wirkungen im Hinblick auf den Grundwasserschutz werden dadurch erzielt, dass die Zwischenbegrünungen bei der Biomassebildung Stickstoff aus dem Boden aufnehmen und damit das Risiko einer Nitratauswaschung vermindern. Die Wirkungsweise in Richtung Oberflächengewässer hängt mit dem Bodenschutz zusammen und besteht darin, dass durch eine Bodenbedeckung der Bodenabtrag und damit der partikuläre Nährstofftransport verringert werden. Durch anschließende Mulch- und Direktsaatmaßnahmen, die ebenfalls im ÖPUL gefördert werden, kann diese Wirkung erhöht werden. Die Schutzwirkung nimmt durch eine rasche Bestandsentwicklung der Zwischenbegrünung sowie einer starken Biomassebildung zu. Gleichzeitig kann es auch zu einer Anreicherung der organischen Substanz im Boden, verbunden mit einer Verbesserung des Wasserspeichermögens und einer Verbesserung der CO<sub>2</sub> Bilanz kommen.

Die Bewertung der ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter“ bezüglich Bestandsentwicklung und Biomassebildung erfolgte bisher nur anhand des Anbau- und Umbruchzeitpunkts der Begrünung. Andere Faktoren wie Bodenbearbeitung, Ansaattechnik und Kulturart fanden bisher wenig Berücksichtigung.

Ziel dieses Projekts ist daher Verbesserungspotenziale der Begrünungsmaßnahmen im ÖPUL aufzuzeigen, wobei besonders die Wirkung auf Boden-, Gewässer- und Klimaschutz Beachtung findet. Im Hinblick auf

eine mögliche Weiterentwicklung der Maßnahme wird die Bestandesentwicklung und die daraus sich ableitende Zufuhr von organischer Substanz zum Boden durch den Anbau und dem darauffolgenden Einarbeiten der Begrünung bewertet. Dies erfolgt mithilfe mehrerer eigens angelegter Feldversuche und einer Humusbilanzierung. Zusätzlich erfolgt die Ermittlung der Bodenbedeckung während der Bestandesentwicklung, wodurch die Schutzwirkung von Zwischenbegrünungen vor Erosion und die Befruchtung der Oberflächengewässer abgeschätzt wird.

Die ÖPUL Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ zielt auf einen Schutz vor Bodenerosion durch Wasser und Wind ab. Eine wesentliche dabei einzuhaltende Zielvorgabe ist eine nicht wendende Bodenbearbeitung, durch die nach dem Anbau der Feldfrucht im Frühjahr, eine ausreichende Bodenbedeckung durch das von der Winterbegrünung verbleibende Pflanzenmaterial sichergestellt werden soll.

Mithilfe von zufällig ausgewählten Feldstücken in Ober- und Niederösterreich wird die tatsächlich erreichte Bodenbedeckung nach der Anwendung der Maßnahme ermittelt und daraus auf den Erosionsschutz geschlossen.

### 3 Literaturüberblick

#### 3.1 Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf die organische Substanz im Boden

Das Einarbeiten von Pflanzenmaterial in den Boden bewirkt eine Steigerung des organischen Kohlenstoffgehalts im Boden ( $C_{org}$ ). In Dersch & Böhm (2001) wurde nach einer Versuchsdauer von 17 Jahren ein um 5,5 t/ha im Marchfeld und um 3 t/ha im Waldviertel höherer  $C_{org}$ -Gehalt erreicht als auf Versuchsfeldern ohne Einarbeitung der Pflanzenrückstände. Nach langjähriger Anwendung einer Maßnahme zur Kohlenstoffsteigerung allerdings wird ein nahezu konstanter Gehalt erreicht, welcher fast nicht mehr verbessert werden kann. Somit ist die Menge des bereits vorhandenen organischen Kohlenstoffs im Boden der ausschlaggebende Faktor dafür, ob eine Verbesserung durch das Einarbeiten von organischem Material erreicht werden kann (Hooker et al., 2005).

Weiters ist eine langjährige Anwendung einer Maßnahme Voraussetzung dafür, dass der Kohlenstoffgehalt im Boden auf einem hohen Niveau gehalten werden kann, da die organische Substanz mit der Zeit wieder abgebaut wird. Wie in Scheffer (2003) geschildert, wird oft zwischen 3 Fraktionen der organischen Substanz unterschieden (labil – intermediär – passiv). Die aktive Fraktion ist für die kurzfristige Nährstoffversorgung verantwortlich, macht allerdings nur 1-5% der organischen Substanz aus und wird innerhalb weniger Monate bis Jahre wieder abgebaut. Die passive Fraktion weist eine Verweilzeit im Boden von 100-1000de Jahre auf und wird durch äußere Einflüsse nur wenig beeinflusst. Etwa die Hälfte der organischen Substanz gehört der intermediären Fraktion an, welche für die Fruchtbarkeit von Böden verantwortlich ist und besonders stark von den angewandten Bewirtschaftungs- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen abhängt. Da die mittlere Verweildauer 10 bis 50 Jahren oder weniger entspricht, kann nur eine langfristige

bzw. andauernde Bewirtschaftungsmaßnahme einen nachhaltigen Aufbau des Kohlenstoffs bewirken. Sobald die landwirtschaftliche Praxis geändert wird, vermindert sich der Kohlenstoffgehalt, da sich der Kohlenstoffpool schneller verringert als er aufgebaut wird (Freibauer et al., 2004).

So zeigen Rampazzo Todorovic et al. (2010) in Versuchen mit  $^{14}C$  markiertem Kohlenstoff, dass von einem einmalig eingebrachten Kohlenstoff in Form von Stroh oder Wirtschaftsdünger nach 20 Jahren nur noch 8,6-14,5% vorhanden sind. Wie auch in Abb. 3-1 zu sehen ist, erfolgt der Großteil der Umsetzung bereits in den ersten 5 Jahren. Die Kohlenstoffspeicherung im Oberboden erfolgt somit bestenfalls mittelfristig. Sobald eine Änderung der Bewirtschaftungspraxis stattfindet, verwandeln sich die bisher gespeicherten C-Mengen in Quellen für  $CO_2$ -Emissionen.

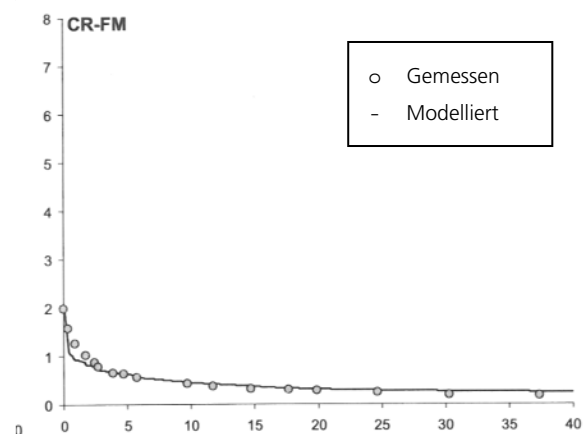


Abb. 3-1: Gemessene Abnahme des  $^{14}C$ -Vorrats nach einer Wirtschaftsdüngergabe (Fruchtfolge: Zuckerrübe/Winterweizen/Sommerweizen) (Rampazzo Todorovic et al., 2010)

Die Anwendung von pflugloser Bodenbearbeitung („no-till“) wird häufig in Verbindung gebracht mit einer daraus resultierenden Anreicherung von Kohlenstoff im Boden im Gegensatz zu einer konventionellen Bodenbearbeitung mit Pflug. In der Literatur sind diesbezüglich sehr unterschiedliche Ergebnisse zu finden. So wurden sowohl Kohlenstoffanreicherungen als

auch Verminderungen des Bodenkohlenstoffs in den unterschiedlichen Untersuchungen gemessen (Lou et al. 2010). Eine Erklärung für die gegensätzlichen Ergebnisse liefern der starke Einfluss des Anbausystems (Lou et al. 2010) und des Bodentyps (Chatterjee & Lal 2009) auf die Kohlenstoffspeicherung.

Einige Studien belegen, dass in der oberen Bodenschicht (bis zu 10-15 cm) der Bodenkohlenstoffgehalt durch pfluglose Bodenbearbeitung im Gegensatz zu gepflügten Böden erhöht wird (Angers et al., 1997; Blanco-Canqui & Lal, 2008; Deen & Kataki, 2003; Spiegel et al., 2007). Auf gepflügten Böden allerdings steigt durch das Einarbeiten des oberirdischen Materials der Kohlenstoffgehalt in tieferen Schichten (30-40 cm) stark an und übertrifft in diesem Bereich die Gehalte in pfluglosen Böden (Abb. 3-2). Wird daher der Gesamtgehalt an Kohlenstoff bis zu einer Bodentiefe von 60 cm betrachtet, sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren feststellbar.

Generell betrachten viele Vergleichsstudien zwischen pflugloser und konventioneller Bodenbearbeitung lediglich den obersten Bereich des Bodens, wodurch besonders in älteren Literaturquellen der Kohlenstoffgehalt bei pfluglos bearbeiteten Böden überschätzt wird. Aussagekräftig sind aber tatsächlich nur Messungen welche bis in eine Tiefe von mindestens 1 Meter reichen und dadurch die gesamte durchwurzelte Bodenschicht beschreiben (Luo et al. 2010).

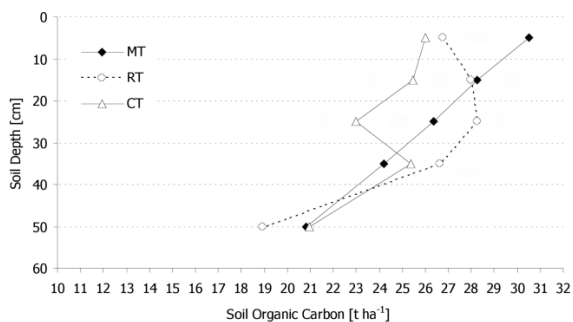


Abb. 3-2: Vertikale Verteilung von  $C_{org}$  (Soil Organic Carbon) nach einer Versuchsdauer von 13 Jahren bei minimaler (MT), reduzierter (RT) und konventioneller (CT) Bodenbearbeitung (Spiegel et al., 2007)

### 3.2 Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf die Bildung von Treibhausgasen

Da durch den Anbau von Zwischenfrüchten und dem darauffolgenden Einarbeiten der Vegetation Kohlenstoff unter bestimmten Bedingungen im Boden gebunden wird, wird der  $\text{CO}_2$ -Gehalt in der Atmosphäre vermindert (Scheffer, 2002). Allerdings müssen für die Einschätzung der klimarelevanten Auswirkungen auch die Emissionen anderer treibhausrelevanter Gase mitberücksichtigt werden (Smith et al., 2001). Diese betreffen besonders Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

$\text{CH}_4$  weist eine etwa 25-fach höhere Wirkung auf den Treibhauseffekt auf als  $\text{CO}_2$ . Sanz-Cobena et al. (2013) stellten mithilfe von Versuchen fest, dass die  $\text{CH}_4$ -Emissionen durch den Anbau von Zwischenfrüchten geringfügig verringert werden können und dadurch ein positiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden kann.

Lachgas besitzt ein um etwa 300-fach höheres Treibhauspotenzials als  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2001) und darf daher bei der Betrachtung der Klimarelevanz von Zwischenbegrünungen nicht vernachlässigt werden.  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen resultieren aus Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen. Die Höhe der Emission hängt stark vom Bodenwassergehalt, der Bodentextur, vom pH-Wert des Bodens, der Temperatur und der Stickstoffzufuhr durch Düngung oder durch am Feld verbleibende Pflanzenreste ab. Desweiteren kann die Art der Bodenbearbeitung die Bildung von Lachgas beeinflussen.

Grundsätzlich wirkt sich der Anbau von Winterzwischenfrüchten im Gegensatz zu vegetationslosen Flächen im Winter positiv auf die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen aus, da die Vegetation den mineralisierten Stickstoff im Boden aufnehmen und verwerten kann und der Stickstoff daher nicht zur Umwandlung in  $\text{N}_2\text{O}$  zur Verfügung steht. Schwarzbrachen hingegen weisen daher

besonders in Frost-Tau-Perioden höhere  $\text{N}_2\text{O}$  Emissionen auf (Wagner-Riddle & Thurthell, 1998). Sobald allerdings die verbleibende Vegetation im Frühjahr eingearbeitet wird, erhöht sich zu diesem Zeitpunkt die Lachgasemission auf diesen Flächen erheblich (Leick, 2003). Im Durchschnitt eines Anbaujahres besteht in der Summe der emittierten Lachgasmenge kein Unterschied zwischen Begrünung und Schwarzbrache (Bavin et al. 2009).

Die Art der Bodenbearbeitung kann ebenfalls die Bildung von Treibhausgasemissionen beeinflussen. Allerdings gilt hier analog zum Aufbau der organischen Substanz, dass eine Reduktion der Treibhausgasemissionen durch eine reduzierte Bodenbearbeitung wenn, dann nur durch langfristige Anwendungen erreicht werden kann. So werden in humiden Klimagebieten durch pfluglose Bodenbearbeitungssysteme erst bei einem längeren Bestand von etwa 10 Jahren die Treibhausgase reduziert. In Trockengebieten tritt der Effekt sogar erst nach etwa 20 Jahren auf (Six et al, 2004).

Laut Regina & Alakukku (2010) sind die  $\text{CH}_4$ -Emissionen im Unterschied zwischen pflugloser und konventioneller Bodenbearbeitung vernachlässigbar. Auch bezüglich der  $\text{CO}_2$  Emissionen kann keine nennenswerte Reduktion erzielt werden, da es durch die Anwendung pflugloser Bodenbearbeitung zu keiner signifikanten Steigerung des Bodenkohlenstoffgehalts kommt (siehe Kapitel 3.1) und dies folglich nicht zu einer Minderung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts in der Atmosphäre führt.

Bezüglich der Lachgasemissionen sind teilweise sehr differierende Ergebnisse in der Literatur zu finden. Aulakh et al. (1991) und Malhi et al. (2000) messen niedrigere  $\text{N}_2\text{O}$  Emissionen, wenn die Pflanzenreste auf der Oberfläche liegengelassen werden im Gegensatz zur Einarbeitung der Pflanzenmasse. Besonders wenn über Jahre brachliegende Flächen wieder landwirtschaftlich genutzt werden bewirkt eine pfluglose Be-

arbeitung geringere N<sub>2</sub>O Emissionen als der Einsatz des Pflugs (IFA & FAO, 2001). Allerdings stellten IFA & FAO (2001) und Baggs et al. (2003) auch fest, dass die pfluglose Bodenbearbeitung in manchen Fällen höhere N<sub>2</sub>O Emissionen als eine konventionelle Bodenbearbeitung bewirkt. Dies resultiert vermutlich daraus, dass die Denitrifikationsaktivität bei pfluglos bearbeiteten Böden höher ist (IFA & FAO, 2001). Aus diesen sehr unterschiedlichen Ergebnissen ist zu sehen, dass die Lachgasemissionen nur teilweise von der Art der Bodenbearbeitung abhängen. Bodeneigenschaften wie Ton- und Sandgehalt und die Eigenschaften der einzuarbeitenden Vegetation beeinflussen die Lachgasemissionen stärker.

Dementsprechend bestimmt das C/N-Verhältnis des Pflanzenmaterials eindeutig die Höhe der Lachgasemissionen, da diese bei niedrigem C/N-Verhältnis ansteigen (Aulakh et al., 1991). Auch die Größe der Pflanzenpartikel spielt eine Rolle. Je größer die einzuarbeitenden Pflanzenreste sind, desto mehr Lachgas entsteht (Shelp et al., 2000). Bezüglich der Bodeneigenschaften bewirkt ein höherer Feinanteil einen Anstieg der N<sub>2</sub>O-Emissionen, da kleine Bodenpartikel zu einer größeren Wasserspeicherung führen und folglich häufiger zur Entstehung eines anaeroben Milieus beitragen. Durch die Überlagerung mehrerer Einflussfaktoren auf die Bildung von Lachgas ist daher eine eindeutige Bewertung der Bodenbearbeitung bisher nicht möglich.

### **3.3 Aggregatstabilität und Wasserspeichervermögen**

Durch das Vorhandensein von organischer Substanz wird die biologische Aktivität im Boden erhöht und dadurch die Bildung eines stabilen Aggregatgefüges begünstigt. Je mehr organische Masse im Boden vorhanden ist, desto höher ist somit die Aggregatstabilität. Die Abhängigkeit zwischen den beiden Faktoren wird von Kemper & Koch (1966) näherungsweise durch eine logarithmische Funktion beschrieben, da-

durch wirken sich Änderungen im Gehalt der organischen Substanz im unteren Bereich der Skala sehr viel stärker auf die Aggregatstabilität aus als bei Gehalten über 2%. Bei Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz ist dadurch der Zuwachs durch das Einbringen von organischer Substanz gering.

Generell weisen Böden mit höherem Humusgehalt somit eine höhere Aggregatstabilität auf, wodurch die Verschlammungsneigung verringert wird und in weiterer Folge die Erosionsgefährdung der Böden reduziert wird (Schwertmann, 1990). Durch die aggregatbildende Wirkung der organischen Substanz wird die Porengrößenverteilung und in weiterer Folge auch der Wasserhaushalt des Bodens beeinflusst. Somit steigt das Wasserspeichervermögen mit dem Gehalt an organischer Substanz im Boden, da insbesondere der Grobporenanteil erhöht wird (Kirchmann & Gerzabek, 1999) und Humus außerdem in etwa das 3 bis 5-fache seines Eigengewichtes an Wasser speichern kann (Scheffer, 2002). Das Wasserspeichervermögen wird mithilfe der nutzbaren Feldkapazität beschrieben. Diese gilt als Maß für jene Wassermenge, welche ein Boden gegen die Schwerkraft halten kann und den Pflanzen zur Verfügung stellt. Wie stark die organische Substanz die nutzbare Feldkapazität beeinflusst ist abhängig von der Bodenart. So wird die nutzbare Feldkapazität beispielsweise in sandigem Lehm oder sandigem Ton bei einer Änderung des Humusgehalts von schwach humos auf mittel humos stärker angehoben als in tonigem Schluff (Arbeitsgruppe Boden, 2005).

## 4 Material und Methode

### 4.1 Versuchsaufbau

#### 4.1.1 Feldversuch

An insgesamt 14 Standorten in Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland und Steiermark wurden Begrünungs-Feldversuche durchgeführt. In Abb. 4-1 ist die Lage dieser Standorte ersichtlich. Die Auswahl erfolgte aus naturräumlicher und landwirtschaftlicher Sicht. Die Standorte befinden sich in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Ebenso wurde darauf

geachtet, dass die Versuche auf unterschiedlichen Bodentypen und Bodenarten erfolgen.

Die Versuchsstandorte Güssing, Hasendorf, Schönabrunn, und Rohrau sind bereits bestehende Langzeitversuche, andere (Katsdorf, Naarn, Edt/Lambach, Bad Wimsbach, Bad Hall) sind Zwischenbegrünungsversuche der ÖO Wasserbauern und einige wurden eigens für dieses Projekt angelegt (Enns, Heidenreichstein, Hötzelsdorf, Waidhofen/Thaya). Ein Versuchsstandort wurde aufgrund seiner Lage in einem Grundwassergebiet mit hohen Nitratbelastungen hinzugefügt (Neidling).



Abb. 4-1: Lage der Versuchsstandorte

In Absprache mit den Landwirten wurden teils sehr unterschiedliche Begrünungen und Begrünungsmischungen auf den Feldstücken angebaut. An manchen Standorten wurde nur eine Begrünungsart (=Begrünungsversuchsvariable) angebaut, an anderen erfolgte eine weitere Unterteilung des Feldstückes, um mehrere Begrünungen am selben Standort zu testen. Wiederholungen der unterschiedlichen Begrünungsversuchsvariablen waren nicht vorhanden.

Nach dem Anbau der Begrünungen erfolgten eine regelmäßige fotografische Dokumentation des Aufwuchses und an ausgewählten Standorten eine einmalige Bodenprobenahme für die Bestimmung der Bodentextur (teilweise pro Standort oder pro Begrünungsversuchsvariable). Im Frühjahr wurde sowohl kurz vor als auch direkt nach der Bodenbearbeitung die Bodenoberfläche fotografiert (Bodenbearbeitungsversuchsglieder).

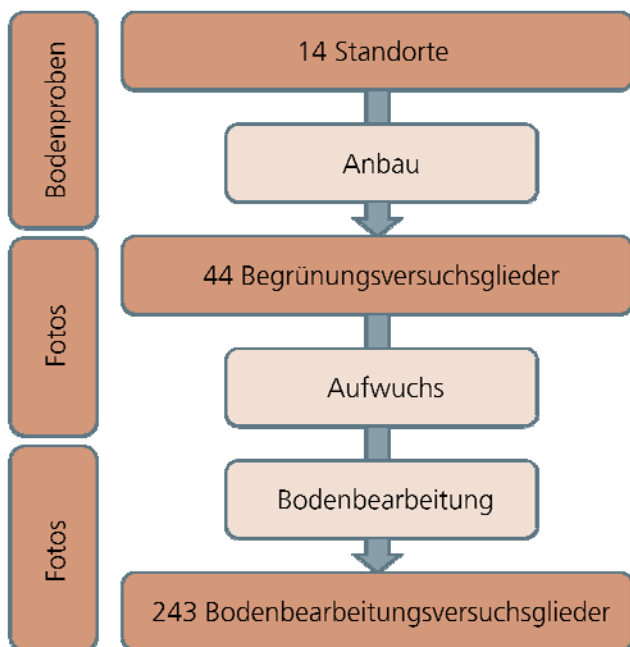


Abb. 4-2: Ablauf der Untersuchungen und Einteilung der Versuchsglieder

In Abb. 4-2 ist der generelle Versuchsaufbau mit den unterschiedlichen Versuchsgliedern und der zeitliche Ablauf der Untersuchungen dargestellt.

Folgende Arbeitspakete wurden anhand der Feldversuche bearbeitet und werden nachfolgend detaillierter beschrieben:

- Erhebungen zum Anbau und Erfassung des Aufwuchses der Begrünungen
- Erfassung der Biomassebildung der Begrünungen am Ende der Vegetationsperiode
- Bestimmung des Grades der Bodenbedeckung nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung der Begrünungen
- Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte für eine Befruchtung der Grundwässer
- Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte für eine Befruchtung der Oberflächengewässer
- Bewertung der Zufuhr von organischem Kohlenstoff im Boden durch Begrünungen

#### 4.1.2 Transekte

Zusätzlich zu den Feldversuchen erfolgten in den Jahren 2012 und 2013 Untersuchungen auf insgesamt etwa 200 Feldstücken hinsichtlich ihrer Bodenbedeckung nach der Aussaat im Frühjahr. Um eine zufällige Stichprobe zu garantieren, wurden Transekte entlang von Straßen vorgegeben. Die Feldstücke mit Winterbegrünung entlang der Transekte wurden willkürlich ausgewählt und mittels GPS-Koordinaten verortet. Auf 146 von den 200 Feldstücken wurde laut INVEKOS-Datensatz die ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter“ durchgeführt. Die restlichen Flächen wurden weiter nicht betrachtet, da diese keiner Begrünung nach ÖPUL entsprachen. Nach der Bodenbearbeitung und Aussaat im Zeitraum Ende April bis Anfang Mai wurden dieselben 146 Flächen nochmals besucht um die Bodenbedeckung

durch Mulchmaterial nach der Bearbeitung mithilfe von Fotos zu ermitteln (Abb. 4-3). An allen 146 Feldstücken wurde eine Mulch- bzw. Direktsaat angewandt.

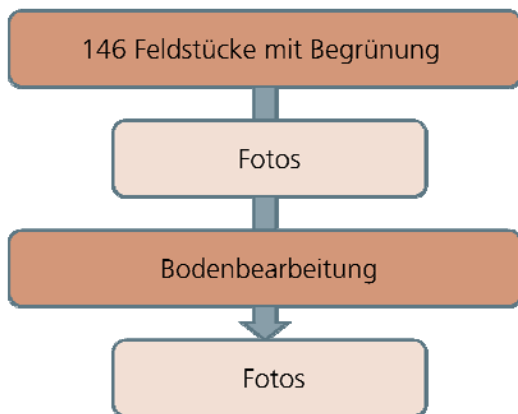


Abb. 4-3: Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen in den Transekten

Die folgende Karte in Abb. 4-4 zeigt die räumliche Verteilung der betrachteten Feldstücke. Im Frühjahr 2012 wurden ein Transekt entlang der B1 in Niederösterreich gewählt und zusätzlich ein Gebiet in Ort am Innkreis. Im Frühjahr 2013 erfolgte eine großräumigere Betrachtung entlang dreier unterschiedlicher Transekte: eine Schlaufe im Weinviertel, eine Überfahrt entlang der B1 in Niederösterreich und eine Schlaufe im Oberösterreichischen Zentralraum inklusive Machland. Die Lage der Routen zeigt, dass die betrachteten Felder weit über Niederösterreich und Teile von Oberösterreich gestreut waren und somit einen guten Überblick über die Gesamtsituation in diesen beiden Bundesländern liefern. Etwaige klimatische Besonderheiten im jeweils vorangegangenen Herbst können durch die Analyse von zwei unterschiedlichen Jahren berücksichtigt werden.

## 4.2 Erhebungen zum Anbau und Erfassung des Aufwuchses der Begrünungen

Die Versuchsanlage und Auswahl an Zwischenfrüchten erfolgte auf den Standorten aufgrund von ortsüblicher landwirtschaftlicher Praxis jeweils unterschiedlich. Es wurden fast ausschließlich Begrünungsmischungen angebaut. Zur Anwendung kamen unter anderem Saatgutmischungen mit Senf, Perser- oder Alexandrinerklee, Phacelia, Mungo, Erbse oder Ölrettich. Als Reinkultur wurde der winterharte Grünschnittroggen und Senf gesät. Genauere Angaben zu den jeweiligen Saatgutmischungen und Mischungsverhältnissen wie auch Aussaatstärke und Anbauzeitpunkt sind in Anlage A zu finden.

Insgesamt wurden 44 unterschiedliche Begrünungsversuchsglieder betrachtet. An ausgewählten Standorten wurden anhand von Erhebungen die Saattechnik, Daten zur Düngung, die Anbauzeit und die Mischung der Begrünungsvariante erfasst. Ab Aussaat bis zum Frühjahr erfolgte in 2 bis 4-wöchigen Abständen eine fotografische Erfassung des Zwischenfruchtaufwuchses.

Wetterdaten von Klimastationen die sich in räumlicher Nähe zu den Standorten befinden wurden vom hydrographischen Dienst zur Verfügung gestellt und herangezogen um daraus klimarelevante Wachstumsbedingungen für jeden Standort zu ermitteln.



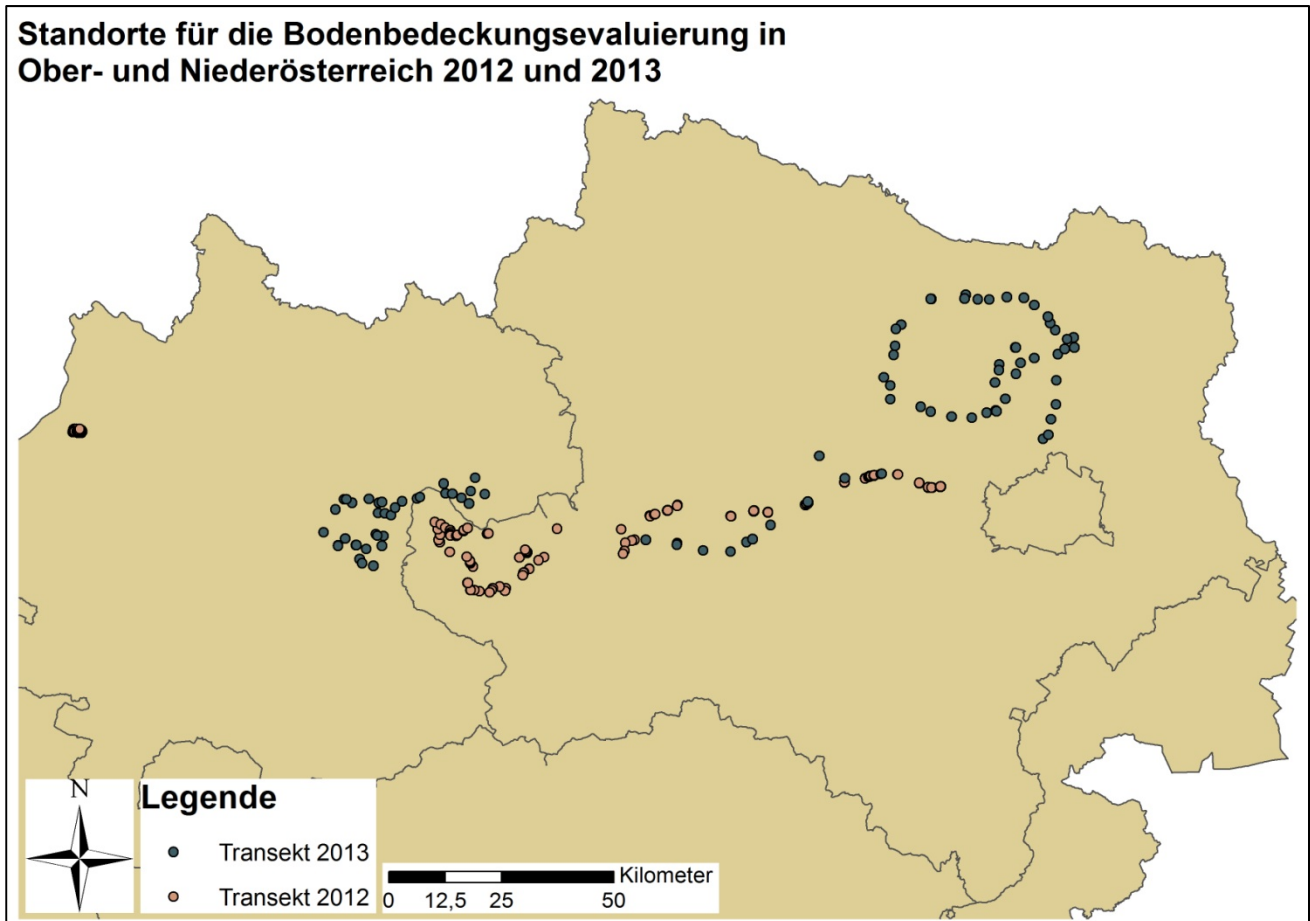


Abb. 4-4: Feldstücke der Transekte im Frühjahr 2012 und Frühjahr 2013

#### 4.3 Erfassung der Biomassebildung der Begrünungen am Ende der Vegetationsperiode

Am Ende der Vegetationsperiode (Ende November – Anfang Dezember 2012) wurde die Biomasse bei 38 von 44 Begrünungsversuchsgliedern ermittelt. Für jedes Versuchsglied wurde sämtliche an der Oberfläche befindliche Biomasse auf einem Quadratmeter in 3 Wiederholungen erfasst, getrocknet sowie die Masse bestimmt.

#### 4.4 Bestimmung des Grades der Bodenbedeckung nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung der Begrünungen

Für die Feldstücke in den Transekten und für jeden Standort des Feldversuches wurden Bestimmungen der Bodenbedeckung der Begrünungsreste nach der Bodenbearbeitung erfasst. Zu diesem Zweck wurde eine photographische Methode (Bauer & Strauss, 2013) verwendet. Es handelt sich um eine objektbasierte Bildanalyse welche nicht auf Basis einzelner Pixel sondern über Objekte mit ähnlichen Eigenschaften eine Klassifizierung durchführt. Hierzu ist es notwendig jeweils einen Quadratmeter an Bodenoberfläche unter

definierten Bedingungen zu fotografieren (vorgegebene Kameraeinstellungen und möglichst diffuse Beleuchtung). Dieser wird in der Software eCogniton 8.7 analysiert und als Ergebnis wird der Grad der Bedeckungen durch Vegetation und abgestorbenen Materials in Prozent zur Gesamtfläche geliefert.

In Abb. 4-5 ist ein 1x1m großer Ausschnitt als Beispiel für die Auswertung einer Oberflächenbedeckung mittels objektbasierter Bildanalyse angeführt. In der rechten Abbildung ist die ausgewertete Oberfläche zu erkennen. Die Bodenbedeckung beträgt in diesem Beispiel durch Vegetation (grün) 12,6% und durch Mulchmaterial (violett) 0,8%. Bodenbestandteile sind braun dargestellt.

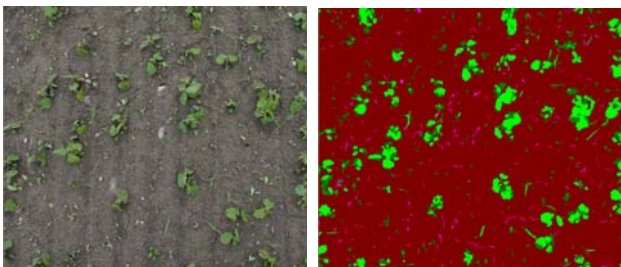


Abb. 4-5: Beispiel für die Auswertung von Oberflächenbedeckung mit objektbasierter Bildanalyse (links: Original, rechts: ausgewertete Oberfläche)

Die Bestimmung der Oberflächenbedeckung wurde für jede Bodenbearbeitung fünfmal an unterschiedlichen Bodenoberflächen für jede Variante wiederholt. Bei abfrostenden Begrünungen wurde im Frühjahr nur die Bedeckung durch Mulchmaterial ausgewertet, um die Ergebnisse nicht durch den zusätzlichen Aufwuchs diverser Unkräuter nach dem Winter zu verfälschen. Für Bedeckungen oberhalb von 50% wurde zusätzlich auf die Methode mittels Schätzung durch Bodenbedeckungsfächer von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2007) zurückgegriffen.

Für jedes Begrünungsversuchsglied des Feldversuches wurden unterschiedliche Bodenbearbeitungsgeräte sowie Überfahrten und Bearbeitungstiefen auf ihrer Wirkung auf die resultierende Bodenbedeckung getes-

tet, woraus insgesamt 243 Bodenbearbeitungsversuchsglieder resultierten. Anlage B zeigt eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungen an denen Bodenbedeckung gemessen wurde. Am häufigsten erfolgte der Einsatz von Grubber und Kreiseleggen. Die Bezeichnung „seicht“ bedeutet seichtgründige Bearbeitungen bis max. 8 cm. Tiefergehende Bearbeitungen wurden mit „tief“ bezeichnet. Es wurden aber auch diverse zusätzliche Kombinationen der Bearbeitungsgeräte auf die resultierende Bodenbedeckung getestet, ebenso wurden einmalige und mehrmalige Überfahrten mit gleichem Gerät untersucht. Auch für Mulch-Sämaschinen in der Direktsaat erfolgte eine Bestimmung der Bodenbedeckung nach dem Anbau.

#### 4.5 Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte vor einer Nitratauswaschung

Eine Berechnung über die Schutzwirkung der Zwischenbegrünungen vor einer Nitratauswaschung in den Untergrund erfolgte mit der Software STOTRASIM. STOTRASIM dient zur Berechnung der Stickstoffdynamik von landwirtschaftlich genutztem Boden auf Tagesbasis. Es werden Stickstoffeinträge (Atmosphäre, Düngemittel, Bindung von Luftstickstoff durch Leguminosen), Pflanzenentzug, Ammoniumausgasung, Mineralisation, Nitrifikation, Immobilisation und Denitrifikation berücksichtigt. Vor allem wird in STOTRASIM die Nitratauswaschung beachtet.

Für die Modellierung wurden folgende 2 Standorte gewählt. An diesen liegen die exakten Boden- und Klimakennwerte am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt vor:

- Standort 1: Pettenbach; liegt im oberösterreichischen Zentralraum, Bodenart: sandiger Schluff (sU)
- Standort 2: Obersiebenbrunn; liegt im Marchfeld, Bodenart: sandiger Lehm (sL)

Beide Standorte befinden sich in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Pettenbach kennzeichnet eine klimatische Region, mit hohen mittleren jährlichen Niederschlägen (810 mm). Obersiebenbrunn hingegen liegt in einem kontinentalen und trockenen Gebiet von Österreich (595 mm).

Die für die STOTRASIM Modellierung benötigte Fruchtfolge wird in Tab. 4-1 dargestellt. Um sowohl die Wirkung der Zwischenfrucht auf die Nährstoffbefruchtung des Grundwassers im Gegensatz zur Schwarzbrache (keine Zwischenfrucht) zu berechnen, als auch den Einfluss des Anbautermins (16. August, 10. September, 20. September) zu quantifizieren, wurden 4 unterschiedliche Varianten durchgerechnet.

Das Berechnungswerkzeug STOTRASIM lässt bei der Auswahl der Zwischenfrucht nur Reinsaaten zu, deshalb wurde die weit verbreitete Zwischenfrucht „Senf“ verwendet. Desweiteren werden Klimadaten für lange Zeiträume benötigt, da das Modell eine Vorlaufzeit benötigt um Systemstabilität zu erzeugen. Der Modellierungszeitraum reicht von 1989 bis 2011 wobei sich die Fruchtfolge solange wiederholt bis das Ende der Zeitspanne erreicht ist. Die Software liefert Tageswerte sowie mittlere jährliche Werte über den gesamten Betrachtungszeitraum sämtlicher relevanten Stickstoff- und Grundwasserparameter.

Tab. 4-1: Für die Berechnung angenommenen Anbau- und Erntetermine

Fruchtfolgeglied	Anbautermin	Erntetermin
Sommergerste	21. März	11. Juni
Zwischenfrucht	Keine	-
	16. August	-
	10. September	-
	20. September	-
Körnermais	11. April	05. September
Winterweizen	18. Okt.	25. Juli
Winterraps	22. August	04. Juli
Winterweizen	17. Oktober	25. Juli

#### **4.6 Berechnung der Schutzwirkung der Zwischenfrüchte für eine Befruchtung der Oberflächengewässer**

Die Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten auf eine Befruchtung der Oberflächengewässer erfolgte mit der Software BoBB (Devaty & Strauss, 2012) und wurde wie die Berechnung mit STOTRASIM auf den beiden Standorten Pettenbach und Obersiebenbrunn (vgl. Kapitel 4.5) angewandt. Diese Software wurde am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt entwickelt und erlaubt eine Berechnung des mittleren jährlichen Bodenabtrages. Als Grundlage für diese Software wird die Revised Universal Soil Loss Equation und die dort vorkommenden Modellparameter herangezogen.

Errechnet wird ein langjähriger Mittelwert des Bodenabtrags. Die für die Berechnung notwendigen Klimaparameter, Bodenkennwerte und Fruchtfolgen wurden analog zu Kapitel 4.5 verwendet. Der Anbauzeitpunkt der Zwischenfrucht wurde mit 16. August festgelegt. Der nach der Zwischenfrucht folgende Maisanbau durch Mulchsaat erfolgte in ein Saatbeet mit 16% Bedeckung durch Mulchreste aus der Zwischenbegrünung. Dies entspricht dem mittleren Wert der Feldversuche (siehe Kapitel 1.1) für einmaliges seichtgründiges Grubbern.

Weiters wurden folgende Annahmen für die Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten auf den Bodenabtrag getroffen:

- Hanglänge: 100 m
- Hangneigung:
  - 5%
  - 10%
  - 15%
- Zwischenbegrünungen:
  - Keine Begrünung
  - Begrünung mit Biomasseentwicklung entsprechend dem Mittel aus den Felduntersuchungen (2,4 t/ha)
  - Begrünung mit Biomasseentwicklung die dem Maximum der untersuchten Zwischenbegrünungen entspricht (4,2 t/ha)

## 4.7 Humusbilanzierung

Die durch das Einarbeiten von Begrünungen zugeführte Biomasse beeinflusst den Humusgehalt des Bodens. Unter dem Begriff „Humus“ wird die Gesamtheit der lebenden und toten organischen Substanz des Bodens verstanden. Quantifiziert wird dieser mithilfe des Kohlenstoffgehalts im Boden, welcher im Durchschnitt ca. 50% des Humus ausmacht.

Bei einer Humusbilanzierung (oder auch Kohlenstoffbilanzierung) wird die Humuszufuhr dem Humusabbau gegenübergestellt. Das Ergebnis stellt die Veränderung der Humusvorräte des Bodens dar und wird als Humussaldo bezeichnet (Körschens, 2004; Kolbe, 2008). Ist der Humussaldo negativ senkt sich auf Dauer der Humusgehalt, bei stark positiven Zahlen wird der organische Gehalt steigen. Ist die Bilanz einigermaßen ausgeglichen wird der Humusgehalt konstant gehalten.

### 4.7.1 Modellauswahl

Für die Berechnung der Humusbilanz wurden in der Vergangenheit mehrere Modelle entwickelt. Modelle wie RothC (Coleman & Jenkinson, 1999) oder Candy (Franko et al., 1997) erfordern die genaue Kenntnis mehrerer Parameter, wie zB.: Evapotranspiration, monatlicher Niederschlag und Tongehalt des Bodens.

Die VDLUFA-Methode (Körschens et al., 2004) bietet hingegen die Möglichkeit auch mit einem kleineren Parameterumfang eine nachvollziehbare Aussage über die Humusbilanz zu tätigen. Allerdings wurden durch weitere Untersuchungen und Vergleiche mit Ergebnissen aus Langzeitversuchen erhebliche Mängel bei dieser Bilanzierungsmethode festgestellt (StartClim, 2010; Kolbe & Prutzer, 2004). Kolbe (2008) entwickelte daher aufbauend auf der VDLUFA-Methode eine verbesserte standortangepasste Methode, welche für die hier durchgeführte Humusbilanzierung herangezogen wurde und nachfolgend kurz beschrieben wird.

### 4.7.2 Modellbeschreibung

Die standortangepasste Methode nach Kolbe (2008) berücksichtigt bei den anbauspezifischen Veränderungen der Humusvorräte (Zufuhr oder Abzug von C je nach Kulturart) Standortfaktoren der Fläche. Diese werden in insgesamt 6 Standortgruppen eingeteilt (Tab. 4-2) und sind von Bodenart/Bodentyp, Feinanteil, C/N-Verhältnis, Temperatur und Niederschlag abhängig.

Zusätzlich zu den Standortfaktoren kommen Reproduktionskoeffizienten von organischen Materialien zur Anwendung, welche je nach Zufuhrmenge (t/ha und Jahr bzw. m<sup>3</sup>/ha und Jahr) in 3 unterschiedliche Stufen eingeteilt werden (niedrig, mittel, hoch). Der Reproduktionskoeffizient oder die Reproduktionsleistung beschreibt, wieviel Kohlenstoff durch die Zufuhr des organischen Materials mittels Humifizierung in den Boden eingebracht werden kann. Da die Umsetzungsaktivität mit der Menge an zugeführtem organischem Material steigt, sinkt der Humus-Reproduktionskoeffizient, je mehr organisches Material eingearbeitet wird (Kolbe, 2007).

Basis für die Berechnung der Humusbilanzierung bilden sogenannte „Humusäquivalente“, welche in kg C/ha angegeben werden. Darunter verstehen sich Richtwerte für diejenigen Humusmengen, welche nutzungsbedingt durch den Abbau im Boden verloren gehen bzw. durch organischen Dünger zugeführt werden. Das Ergebnis der Bilanzierung (Saldo) wird von Kolbe (2013) mithilfe eines aus Dauerversuchen abgeleiteten Faktors (0,0005672) in die Veränderungen der organischen Kohlenstoffgehalte im Boden bei unterschiedlichen Fruchtfolgen umgerechnet (Differenz C<sub>org</sub>). Diese errechnete Änderung im C<sub>org</sub>-Gehalt kann erreicht werden, wenn die angenommene Bewirtschaftung über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird, bis ein Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Abbau erreicht ist (Kolbe, 2013).

Die für die Bilanzierung verwendeten Tabellen sind in Kolbe (2008) zu finden. Um den Einfluss der unterschiedlichen Bodenparameter auf das Ergebnis der

Humusbilanz ersichtlich zu machen, wurde die Bilanzierung mit allen 6 Standortgruppen durchgeführt.

Tab. 4-2: Standortgruppen zur Humusbilanzierung (Kolbe, 2008)

Standortgruppe	Bodenart, Bodentyp	Feinanteil des Bodens (%)*	C/N-Verhältnis des Bodens	Durchschnittstemperatur °C	Niederschläge (mm/Jahr)
1	- Sand	≤ 8	≥ ca. 38	-	-
	- Schwarzerde	ca. 17 – 30	-	-	-
	- Ton	≥ 38	-	-	- Bergregion ≤700 Flachland ≥ 800
	- stark überversorgte Böden	-	-	-	-
	- stark grundwasserbeeinflusste anmoorige und Moor-Böden	-	-	-	-
2	- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand	≤ 13	-	≤ 8,5	-
	- lehmiger Ton, Ton	≥ 28	-	-	-
3	- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand	≤ 13	-	≥ 8,5	-
4	- stark lehmiger Sand, sandiger Lehm	14-21	-	≤ 8,5	-
5	- stark lehmiger Sand, sandiger Lehm	14-21	-	≥ 8,5	-
	- Lehm	22-27	≥ 9	-	-
6	- Lehm (umsetzungaktiv)	22-27	≤ 9	-	-
	- stark unterversorgte Böden, Meliorationsböden	-	-	-	-
	- grundwasserferne anmoorige und Moor-Böden	-	-	-	-

\* Feinanteil = Ton + Feinschluff

## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Allgemeine Bodeneigenschaften der Standorte

An den Standorten bzw. Begrünungsversuchsglieder wurden für die oberen 20 cm des Bodens Humusgehalt und Textur/Bodenart bestimmt. Durch die Auswahl der Standorte in Ober-, Niederösterreich und Burgenland und der unterschiedlichen Bewirtschaftung ergibt sich bei den Humusgehalten ein Bereich von 1,8% bis 6%. Ebenso zeigt sich aufgrund der Standortwahl bei Textur/Bodenart, dass die jeweiligen Versuchsfelder sehr divergent in ihrer Korngrößenverteilung sind (Anlage C). Beim Tongehalt reicht die Spanne von 5-28%, bei Schluff von 20-72% und beim Sandanteil von 9-73%.

### 5.2 Aufwuchs der Begrünungen

Bei all jenen Begrünungsvarianten, wo die Aussaat bis Ende August erfolgt ist konnte im ersten Monat nach dem Anbau ein Bedeckungsgrad von rund 50% erreicht werden. Bis Anfang Dezember betrug der ermittelte Bodenbedeckungsgrad an all diesen Standorten nahezu 100%. Während des Aufwuchses unterscheiden sich die Bedeckungsgrade zwischen den Begrünungsversuchsgliedern aufgrund der unterschiedlichen Pflanzenphysiologie, der Anbauzeitpunkte, der bodenbedingten und der klimatischen Unterschieden deutlich.

Die Begrünungsvariante Grünschnittroggen – wie sie in Rohrau, Schönabrunn und Hasendorf untersucht wurde – zeigt aufgrund ihres späten Aussaattermines (19.09./ 21.09./ 1.10.), einen wesentlich geringeren Aufwuchs und Bedeckungsgrad im Herbst. Jedoch ist Grünschnittroggen winterhart und bietet auch die Möglichkeit noch nach der Maisernte eine Winterbegrünung anzubauen.

Bei der Verwendung von Begrünungsmischungen zeigt sich im Vergleich zur Verwendung von Reinkulturen, dass sich die Bodenbedeckung sehr schnell und deckend ausbilden kann. Etwaige unbedeckte Bodenflächen welche bei Reinkulturen häufig vorkommen werden von den Mischungspartnern der Begrünung überwiegend gut bedeckt. Die unterschiedlichen Wuchsgeschwindigkeiten und Wuchsstärken von Mischungen wirken sich dadurch positiv auf die rasche Entwicklung des Bedeckungsgrads aus. Anhand der Beispiele in Abb. 5-1 und Abb. 5-2 lässt sich erkennen, dass bei Reinkulturen ein deutlich homogeneres Bild entsteht als bei Mischungen. Der Vorteil von Mischungen allerdings liegt in der geringeren Empfindlichkeit gegenüber Klima- und Standortcharakteristika, da bei Mischungen Ausfälle eines Mischungspartners von einem anderen ausgeglichen werden können.



Abb. 5-1: Enns – frühe Aussaat am 08.09.2012 (Gelbsenf 20 kg/ha)



Abb. 5-2: Bad Wimsbach Z11 am 08.08.2012 (Kresse 2 kg/ha, Mungo 1,5 kg/ha, Ölrettich 4 kg/ha)



Abb. 5-3: Aufwuchs von Senf + Phacelia am Standort Hötzelsdorf Gänsegraben am 02.09.2012

In Abb. 5-3 bis Abb. 5-5 wird beispielhaft die Entwicklung der Begrünung und die dadurch erreichte Bodenbedeckung am Standort „Hötzelsdorf Gänsegraben“ mit der Begrünungsmischung Senf + Phacelia dargestellt. Der Anbau erfolgte am 15.08.2012. Etwa drei Wochen danach wird am 02.09.2012 eine Bodenbedeckung von 5,4% erreicht. Weitere 3 Wochen danach am 23.09.2012 besteht eine 81,9%ige Bodenbedeckung. Die Vegetation frostete während des darauffolgenden Winters ab und durch die abgestorbenen Pflanzenreste der Begrünung werden im Frühjahr nur 15,5% des Bodens bedeckt. Zusätzlich dazu ist in diesem Beispiel eine Bedeckung von 36,6% durch Vegetation im Frühjahr zu sehen. Diese wird allerdings nicht als Teil der Bodenbedeckung durch Zwischenbegrünung betrachtet.



Abb. 5-4: Aufwuchs von Senf + Phacelia am Standort Hötzelsdorf Gänsegraben am 23.09.2012





Abb. 5-5: Mulchbedeckung nach dem Winter von Senf + Phacelia am Standort Hötzelzdorf Gänsegraben am 25.04.2013

### 5.3 Biomasseerfassung der Begrünungsvarianten

Die zu Vegetationsende ermittelte Biomasse bewegte sich im Bereich von 1-3 t/ha und betrug im Mittel aller Begrünungsversuchsglieder 2,4 t/ha. Die Werte variierten, so wie der Aufwuchs, je nach Standort und Begrünungsversuchsglied deutlich (vgl. Tab. 5-1).

Die Begrünung mit der höchsten Biomasseentwicklung befand sich in Bad Hall (E4 früh) mit 4,2 t/ha. In Naarn EX bzw. Heidenreichstein 1 (Senf) hatte sich mit 0,8 t/ha die geringste Biomasse entwickelt.

Die Entwicklung der Biomasse bis zum Ende der Vegetationsperiode hängt von der Zwischenfruchtart, Niederschlag- und Temperaturverlauf, den Bodenkennwerten und besonders vom Aussaatzeitpunkt ab. So lässt sich bei den Begrünungsversuchsgliedern in Enns und Bad Hall E4 erkennen, dass ein früher Anbauzeitpunkt mit ähnlicher Zwischenbegrünungsmischung mehr als die doppelte Biomasse einbrachte. In Enns variierte der Anbauzeitpunkt um 7 Tage (09. August - Gelbsenf 20 kg/ha; bzw. 15. August. Gelbsenf 10 kg/ha und Ölrettich 10 kg/ha) wodurch beim frü-

hen Anbauzeitpunkt ein um 1,4 t/ha Mehrertrag erreicht wurde. In Bad Hall E4 erfolgte der Anbau einer Begrünungsmischung mit Phacelia (6 kg/ha), Ölrettich (8,3 kg/ha), Buchweizen (15 kg/ha), Senf (0,8 kg/ha) bereits am 6. Juni. Durch den generell sehr frühen Termin Anfang Juni entwickelte sich die mit Abstand meiste Biomasse (4,2 t/ha), da die Begrünung noch von der warmen Jahreszeit profitieren konnte.

Desweiteren wurde ein beträchtlicher Einfluss der Bodenkennwerte und der klimatischen Bedingungen auf die Ausbildung der Biomasse festgestellt. Ein Vergleich der beiden Begrünungsvarianten Enns früh und Heidenreichstein 1 Senf zeigt, dass ein zeitgleicher Anbau (22.08. bzw. 20.08) mit ähnlicher Anbaumenge (20 kg/ha bzw. 16 kg/ha) unterschiedliche Höhen an Biomasse erzeugt. So konnte in Heidenreichstein aufgrund der klimatisch rauerer Bedingungen ein um 1/3 geringerer Ertrag gemessen werden als in Enns.

Die Biomasseentwicklung hängt außerdem auch von der zur Verfügung stehenden Nährstoffmenge ab. In Heidenreichstein 2 wurde durch den Vergleich von gedüngten Versuchsflächen (Rindergülle) mit ungedüngten Flächen ersichtlich, dass die Höhe der Biomasse um 1,4 t/ha (Erbse, Senf) durch die Wirtschaftsdüngeranwendung gesteigert wird. Bei der Begrünungsmischung „Wassergüte Rau“ allerdings konnte diese Zunahme nicht beobachtet werden. Hier wurden um 0,3 t/ha niedrigere Massen auf den gedüngten Flächen gemessen.

Zusammenfassend bewirkt ein früherer Anbauzeitpunkt generell höhere Biomassen, da dadurch die Vegetationszeit der Begrünung vor dem Wintereinbruch verlängert wird. Desweiteren beeinflussen besonders die klimatischen Bedingungen die Biomasseentwicklung. Daraus folgt, dass in rauerer Gebieten generell mit niedrigeren Biomassen zu rechnen ist.

Bezüglich einer Düngung der Begrünung mit Wirtschaftsdünger ist zu sehen, dass fallweise höhere Bio-

massen auf gedüngten Flächen auftreten. Da allerdings zum Teil sogar geringere Massen zu beobachten waren und deshalb die aufgebrachte N-Menge von

der Vegetation nicht aufgenommen wurde, ist eine Düngung der Begrünung eher kritisch zu betrachten.

Tab. 5-1: Gemessene Biomassen an ausgewählten Begrünungsversuchsgliedern sortiert nach dem Ertrag

Begrünungsversuchsglied	Begrünung	t/ha
Bad Hall E4, früher Anbau	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	4,2
Neidling	Phacelia, Mungo	3,9
Bad Wimsbach E5	Phacelia, Alexandrinerklee, Ölettich	3,5
Katsdorf Z8	Alexandrinerklee, Mungo, Sonnenblume	3,5
Katsdorf Z6	Mungo, Phacelia, Sommerwicke, Alexandrinerklee	3,4
Bad Wimsbach E3	Alexandrinerklee, Perserklee	3,4
Waidhofen/Thaya Ackergr., Direktsaat	Senf, Phacelia	3,3
Heidenreichstein 2, Gülle	Erbse, Senf	3,2
Waidhofen/Thaya Boni, Direktsaat	Platterbse, Melorationsrettich	3,2
Edt/Lambach E6	Ölettich, Alexandrinerklee, Senf	3,1
Edt/Lambach E4	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	3,1
Bad Wimsbach E4	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	3,0
Bad Wimsbach E6	Ölettich, Alexandrinerklee, Senf	3,0
Katsdorf Z9	Sandhafer, Buchweizen, Alexandrinerklee	2,8
Bad Hall E4, später Anbau	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	2,7
Bad Wimsbach Z11	Kresse, Mungo, Ölettich	2,6
Bad Wimsbach EX	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	2,6
Katsdorf Z7	Alexandrinerklee, Mungo, Sonnenblume	2,6
Edt/Lambach E3	Alexandrinerklee, Perserklee	2,5
Enns, früher Anbau	Gelbsenf	2,5
Waidhofen/Thaya, Ackergr.	Senf, Phacelia	2,4
Hötzelsdorf Meiseldorf	Phacelia, Senf	2,4
Hötzelsdorf Hintaus	Phacelia, Senf	2,3
Hötzelsdorf Gänsegraben	Phacelia, Senf	2,0
Waidhofen/Thaya, Boni	Platterbse, Melorationsrettich	2,0
Bad Wimsbach Z10	Alexandrinerklee, Phacelia, Mungo	2,0
Heidenreichstein 2	Erbse, Senf	1,8
Heidenreichstein 3	Erbse, Senf	1,8

Begrünungsversuchsglied	Begrünung	t/ha
Naarn E2	Weißklee, Gelbklee	1,7
Heidenreichstein 2, Wassergüte Rau	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	1,6
Naarn E1	Weißklee, Gelbklee	1,5
Heidenreichstein 2 Wassergüte Rau, Gülle	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	1,3
Enns später Anbau	Selbsenf, Örettich	1,1
Heidenreichstein 3 Wassergüte Rau	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	1,1
Heidenreichstein 1 Wassergüte Rau	Phacelia, Örettich, Buchweizen, Senf	0,9
Naarn EX	Alexandrinerklee, Perserklee, engl. Raygras	0,8
Heidenreichstein 1	Senf	0,8

#### 5.4 Bodenbedeckung nach Bearbeitung

Im Durchschnitt aller Bearbeitungsversuchsvariablen wurde im Feldversuch nach der Bodenbearbeitung eine Bodenbedeckung durch Mulchmaterial von 13,7% mit einer Standardabweichung von  $\pm 6\%$  erreicht, und ist daher als sehr gering einzustufen. Die geringste Bedeckung mit nur 7% wurde durch Einsatz der Scheibenegge und der Maximalwert von 24% durch Direktsaat erreicht. Ein Bedeckungsgrad von über 30% konnte nur sehr vereinzelt durch seichte und bodenschonende Bearbeitungsverfahren erzielt werden. In den Transekten wurde eine vergleichbare durchschnittliche Bodenbedeckung von ca. 12% erreicht.

Abb. 5-6 zeigt die relative Änderung der Bodenbedeckung in Bezug auf die Bedeckung durch Mulchmaterial vor der Bearbeitung im Frühjahr aufgeteilt auf die unterschiedlichen untersuchten Bearbeitungsvarianten. Wie zu erwarten war, minimieren tiefgründige und mehrmalige Bearbeitungen die Bodenbedeckung stärker als schonende seichtgründige Bearbeitungen. Bei tiefgründigen Bearbeitungsmethoden wie bei der Verwendung von Grubbern und Kreiseleggen sinkt die Bodenbedeckung in Bezug zur Ausgangsbedeckung

durchschnittlich um 50%. Bei der Verwendung von Feingrubber sinkt diese nur um ein Viertel.

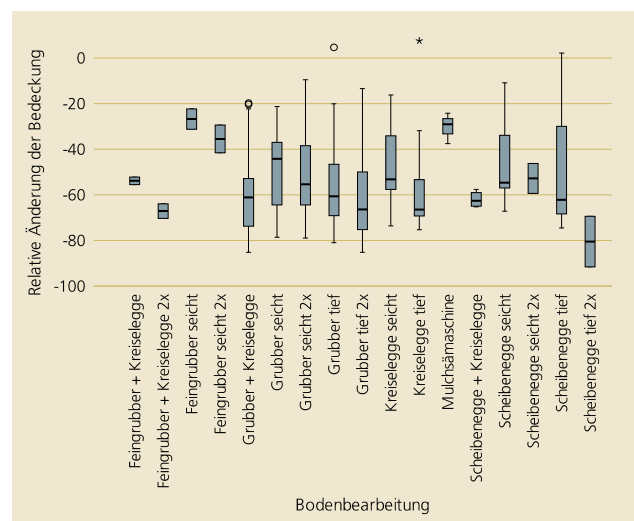


Abb. 5-6: Relative Änderung der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Kombinationen von mehreren Überfahrten zeigen, dass der Bedeckungsgrad im Vergleich zu einmaligen Überfahrten nochmals beträchtlich abnimmt.

Die Ermittlung der relativen Änderung der Bedeckung vor und nach der Bearbeitung war bei den Bearbeitungsverfahren Direktsaat, Frässaat und Stripp-Till

Verfahren nicht möglich, da keine Dokumentation der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung existiert.

Die Versuche zeigen weiters, dass sich der Ausgangsbedeckungsgrad auf die Bedeckung nach der Bearbeitung auswirkt. Je höher die Ausgangsbedeckung vor der Bearbeitung durch Mulchmaterial ist, desto höher ist auch die Bedeckung nach der Bearbeitung (Abb. 5-7).

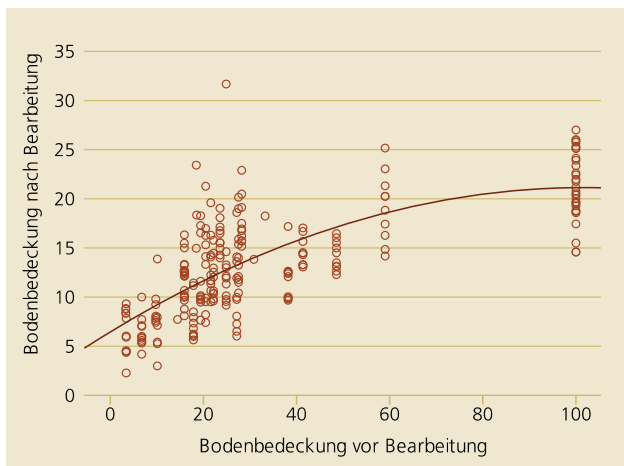


Abb. 5-7: Einfluss der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung auf die Bedeckung nach der Bodenbearbeitung

Verfahren, welche den Boden nur gering bearbeiten wie Stripp-Till Verfahren, Frässaat, Feingrubber oder Direktsaat, weisen generell eine höhere Bedeckung durch Mulchmaterial nach der Bearbeitung auf als konventionelle Verfahren. Besonders tiefgründige Bearbeitungen zeigen auch hier wieder extrem niedrige Bedeckungsgrade, wobei die Streuung der Werte von der Ausgangsbedeckung abhängt. Im Mittel erreichen viele Bearbeitungsgeräte und Kombinationen nur mittlere Bedeckungen von 10-15% (Abb. 5-8).

Als Sonderfälle werden die Grünschnittroggenvarianten wie sie in Güssing, Hasendorf, Schönabrunn und Rohrau beprobt wurden behandelt. Diese zeigen nach der Bearbeitung im Mittel über alle Versuche einen

sehr hohen Bedeckungsgrad (40%) wobei bei diesen konkreten Fällen auch Bedeckung durch grünes Pflanzenmaterial als Mulchmaterial hinzugezählt wurde. Hier lässt sich auch der oben angeführte Trend erkennen, dass einmalige Bearbeitung zu höherer Bodenbedeckung führt als mehrmalige Überfahrten.

In Abb. 5-9 bis Abb. 5-14 werden beispielhaft Bedeckungsgrade durch Mulchmaterial nach der Bodenbearbeitung zwischen 5 und 30% (in 5%-Schritten) dargestellt und deren jeweilige Art der Bodenbearbeitung beschrieben. Tiefe und mehrmalige Überfahrten mit dem Grubber erzielen niedrige Bedeckungsgrade, wie auch eine tiefe Bearbeitung mit der Kreiselegge (Abb. 5-9 bis Abb. 5-11). Ein Bedeckungsgrad von 20% (Abb. 5-12) wurde in diesem Beispiel mithilfe einer einmaligen tiefen Überfahrt mit dem Grubber erreicht. Höhere Bedeckungen sind nur durch seichte Bearbeitungen möglich (Abb. 5-13 und Abb. 5-14).

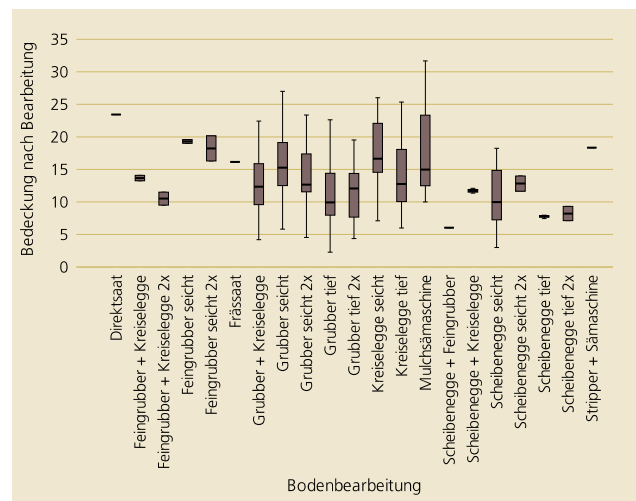


Abb. 5-8: Bedeckung durch Mulchmaterial in Abhängigkeit vom verwendeten Arbeitsgerät

Die Parameter Ausgangsbedeckung durch die Zwischenbegrünung und die Bearbeitungsintensität (Bearbeitungsgerät, Anzahl der Überfahrten, Tiefe der

Bearbeitung) spiegeln sich somit in der resultierenden Bodenbedeckung deutlich wider.

Um die tatsächlichen Bodenbedeckungen nach der Bodenbearbeitung in der derzeit angewandten landwirtschaftlichen Praxis beurteilen zu können erfolgte eine Auswertung der Bodenbedeckungen der Transekte. Hier wurde über die Jahre 2012 und 2013 eine mittlere Bodenbedeckung nach dem Anbau von 12% durch Mulchmaterial ermittelt. In Tab. 5-2 sind die geringste, mittlere und höchste Bodenbedeckung durch Mulchmaterial für die beiden Untersuchungsjahre getrennt sowie zusammengefasst ersichtlich. Im Jahr 2012 ist die Bedeckung des Bodens im Mittel um fast das Doppelte höher als im Jahr 2013. Auch kann festgestellt werden, dass 2012 die höchste sowie die geringste Bodenbedeckung deutlich höher ist als dies 2013 der Fall war. Insgesamt muss allerdings festgestellt werden, dass die ermittelten Bedeckungsgrade in beiden Jahren weit unter jenen lagen, die zur Beurteilung der Maßnahmenwirksamkeit in früheren Evaluierungsstudien angenommen wurden.

zugen, da diese die Bodenbedeckung am geringsten reduzieren. Festzuhalten ist allerdings, dass selbst durch die Anwendung bodenschonender Verfahren eine Bodenbedeckung von 30% nur sehr selten erreicht wird.

Tab. 5-2: Bodenbedeckung durch Mulchmaterial im Frühjahr 2012 und 2013 (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)

Jahr	Anzahl	Minimum	Mittelwert	Maximum
2012	83	6%	15 $\pm$ 5,4%	31%
2013	63	1%	8 $\pm$ 3,8%	27%
gesamt	146	1%	12 $\pm$ 5,7%	31%

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch eine geringe Anzahl von Überfahrten und eine seichte Bearbeitungstiefe mehr Mulchmaterial an der Bodenoberfläche zurückbleibt als durch häufige oder tiefgründige Bearbeitungen. Die Bodenbedeckung vor der Bearbeitung spielt eine ausschlaggebende Rolle und ist Standort- und Pflanzenabhängig. Bearbeitungen die die Bodenoberfläche nur gering zerstören wie Stripp-Till Verfahren, Direktsaat oder Frässaat sind zu bevor-



Abb. 5-9: 5% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Enns später Anbau“ mit Senf, Grubber, Tief, 2 Überfahrten



Abb. 5-12: 20% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E6“, mit Ölrettich/Senf/Alexandrinerklee, Grubber, Tief, 1 Überfahrt



Abb. 5-10: 10% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Heidenreichstein HE1“, mit Wassergüte Rau, Kreiselegge Tief, 1 Überfahrt



Abb. 5-13: 25% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E3“ mit Alexandrinerklee/Perserklee, Kreiselegge, seicht, 1 Überfahrt



Abb. 5-11: 15% Bedeckung durch Mulchmaterial in „Bad Wimsbach E4“, mit Phacelia/Ölrettich/Buchweizen/Senf, Grubber, Tief, 2 Überfahrten



Abb. 5-14: 30% Bodenbedeckung in „Bad Wimsbach E5“ mit Phacelia/Alexandrinerklee/Ölrettich, Grubber, Seicht, 1 Überfahrt

### 5.5 Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten für eine Befruchtung der Grundwässer

Die Modellierung zeigte, dass Begrünungen eine merkliche Reduktion der Grundwasserneubildung, Stickstoffauswaschung und Nitratkonzentration im Sickerwasser während der Winterperiode bewirken. In Summe über die gesamte Fruchtfolge (5 Jahre mit einer Begrünung) ist der Einfluss nur sehr gering. Grund für den geringen Einfluss ist, dass in der Modellierung die Begrünung nur alle 5 Jahre angelegt wird. Demnach betrifft der Begrünungszeitraum insgesamt nur etwa 1/8 des gesamten Fruchtfolgezyklus und hat somit nur wenig Einfluss auf die gesamte Zeitspanne. Zudem war infolge der gewählten Zwischenfrucht (Senf, abfrostdend) die Trockenmassebildung meist sehr gering. Trotzdem ist an beiden Standorten Obersiebenbrunn und Pettenbach für alle drei Anbauzeitpunkte (16. Aug., 10. Sept., 20. Sept.) zu sehen, dass die Grundwasserneubildung, die Stickstoffversickerung und die Nitratkonzentration im Sickerwasser durch Zwischenbegrünungen niedriger sind als bei Schwarzbrache.

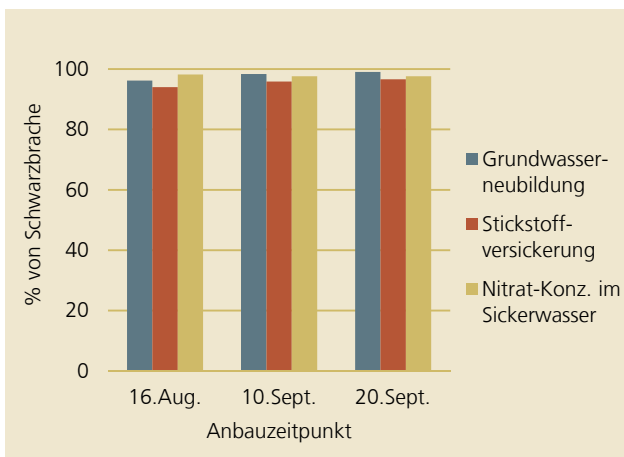


Abb. 5-15: Mittlere relative Veränderung der Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für drei Anbauzeitpunkte am Standort Obersiebenbrunn

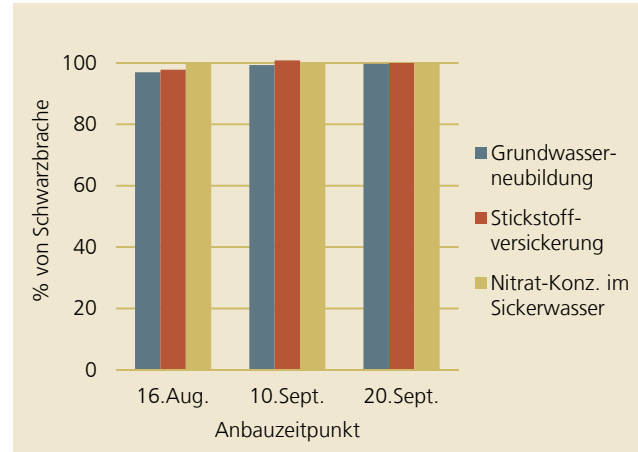


Abb. 5-16: Mittlere relative Veränderung der Grundwasserneubildung, Stickstoffversickerung und Nitratkonzentration im Sickerwasser im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für drei Anbauzeitpunkte am Standort Pettenbach

Betrachtet man ausschließlich jene Periode, in der eine Zwischenbegrünung vorliegt (16. Aug. bis 10. April), so zeigt sich, dass in diesem Zeitraum die Zwischenbegrünung erhebliche Veränderungen im Bodenwasserhaushalt verursacht (Abb. 5-17 und Abb. 5-18). Bei frühem Anbau (16. Aug.) wird durch den Aufwuchs der Vegetation im Vergleich zu Schwarzbrache weniger Grundwasser neugebildet. Verschiebt sich der Anbauzeitpunkt nach hinten (10. Sept. oder 20. Sept.) wird wieder mehr Grundwasser gebildet, da die Zwischenfrucht aufgrund der verkürzten Vegetationsperiode weniger Wasser aufnimmt.

Bei der Stickstoffauswaschung des Bodens zeigt sich, dass die Zwischenbegrünungen den Stickstoffaustrag in der Periode von 16. Aug. bis 10. April in Obersiebenbrunn deutlich reduziert (Anbauzeitpunkt 16. Aug.). Ein möglichst früher Aussaatzeitpunkt der Zwischenbegrünung senkt den Stickstoffaustrag im Vergleich zur Schwarzbrache erheblich.

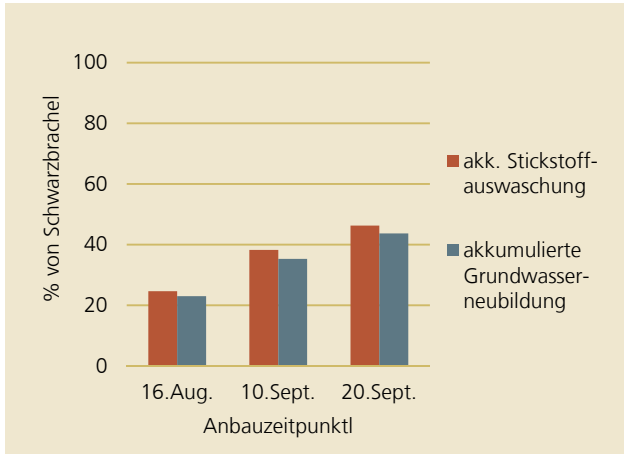


Abb. 5-17: Mittlere relative Veränderung der akkumulierten Grundwasserneubildung und Stickstoffauswaschung im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für die Periode 18. August bis 10. April in den Jahren mit Zwischenbegrünung in Obersiebenbrunn

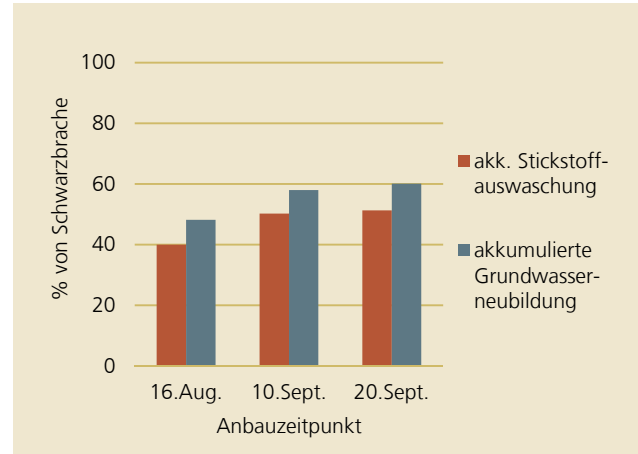


Abb. 5-18: Mittlere relative Veränderung der akkumulierten Grundwasserneubildung und Stickstoffauswaschung im Vergleich zu Schwarzbrache (100%) für die Periode 18. August bis 10. April in den Jahren mit Zwischenbegrünung in Pettenbach

Die Auswirkungen von Zwischenbegrünungen auf Grundwasserneubildung und Nitratkonzentration im Grundwasser sind stark an den Aufwuchs und somit an die Trockenmassebildung einer Zwischenbegrünung gebunden. Somit sind Grundwasserneubildung und Nitratkonzentration im Sickerwasser stark vom Anbauermin der Zwischenbegrünung abhängig. Allgemein lässt sich feststellen, dass ein Anbau einer Zwischenbegrünung die Grundwasserneubildung sowie die Stickstoffauswaschung senkt.

Der einmalige Einsatz einer Zwischenbegrünung in einer 5-jährigen Fruchtfolge wirkt sich im betreffenden Jahr merklich auf den Bodenwasserhaushalt und den Stickstoffhaushalt aus, in Summe aller Jahre allerdings ist der Einfluss nur sehr gering. Dies konnten auch Feichtinger et al. (2005) in ihren Modellierungen feststellen.

Um die positiven Auswirkungen auf das Grundwasser zu optimieren, ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht ein möglichst unmittelbarer Anbau der Zwischenbegrünung nach der Ernte der Hauptfrucht und ein möglichst später Umbruch vor dem Anbau der Folgefrucht anzustreben.



## 5.6 Berechnung der Schutzwirkung von Zwischenfrüchten für eine Befruchtung der Oberflächengewässer

Die Modellierung zeigt, dass der Anbau einer Begrünung mit nachfolgender Mulchsaat in einer 5-jährigen Fruchtfolge (d.h. eine Winterbegrünung alle 5 Jahre) im Durchschnitt der gesamten Jahre eine erhebliche Verringerung der Bodenerosion bewirkt. Während eine durchschnittlich entwickelte Zwischenfrucht die mittlere jährliche Bodenerosion (standorts- und hangneigungsabhängig) um 15-19% senkt, wird durch eine starke Zwischenfruchtausbildung die Erosion sogar um 23-28% reduziert.

Ein Vergleich der Modellierungsergebnisse, welche auf Basis der Boden- und Witterungsbedingungen in Pettenbach und Obersiebenbrunn ermittelt wurden zeigt, dass in Pettenbach (Tab. 5-3) der generelle Bodenabtrag durch Wassererosion erheblich höher ist als in Obersiebenbrunn (Tab. 5-4). Dies kann im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Bodeneigenschaften und klimatischen Bedingungen der beiden Standorte zurückgeführt werden. In Pettenbach ist der mittlere jährliche Niederschlag mehr als doppelt so hoch als in Obersiebenbrunn. Außerdem liegt in Pettenbach sandiger Schluff vor, während in Obersiebenbrunn sandiger Lehm anzutreffen ist. Aufgrund der Standorteigenschaften von Pettenbach ist in diesem Gebiet daher mit einem erheblich höherem Bodenabtrag zu rechnen als in Obersiebenbrunn.

Der Anbau von Zwischenfrüchten mit einer mittleren Biomasseentwicklung von 2,4 t/ha (vgl. Kapitel 5.3) bedeutet bei nachfolgender Mulchsaat (einmaliges Grubbern) in der gewählten Fruchtfolge eine Reduktion des mittleren jährlichen Bodenabtrages um 1 t/ha und Jahr bei einer Hangneigung von 5% in Pettenbach (Tab. 5-3). Dies entspricht einer Reduktion um 18%. Eine stark entwickelte Zwischenfrucht mit 4,2 t/ha (vgl. Kapitel 5.3) erreicht eine Verringerung um 1,6 t/ha (28%). Bei stärker ansteigenden Hangneigungen

nimmt die Höhe der Erosion generell zu, der Prozentsatz der Verminderung der Erosion durch den Anbau von Zwischenfrüchten bleibt allerdings relativ konstant.

Tab. 5-3: Mittlere jährliche Bodenerosion in t/ha und Jahr in Abhängigkeit der Biomassebildung der Zwischenfrucht (ZWF) und der Hangneigung in Pettenbach

Hangneigung	Keine ZWF (0 t/ha)	Mittlere ZWF (2,4 t/ha)	Max. ZWF (4,2 t/ha)
5%	5,7	4,7	4,1
10%	14,0	11,6	10,1
15%	26,1	21,6	18,8

Am Standort Obersiebenbrunn werden ähnliche Reduktionen erzielt. Die absolute Menge der verminderten Erosion fällt aufgrund der Standorteigenschaften zwar niedriger aus, der Anteil der Reduktion ist allerdings mit dem Standort in Pettenbach vergleichbar. Die standortspezifischen Eigenschaften haben somit einen geringen Einfluss auf die prozentuale Wirkung der Zwischenfrucht auf die Bodenerosion.

Tab. 5-4: Mittlere jährliche Bodenerosion in t/ha und Jahr in Abhängigkeit der Biomassebildung der Zwischenfrucht (ZWF) und der Hangneigung in Obersiebenbrunn

Hangneigung	Keine ZWF (0 t/ha)	Mittlere ZWF (2,4 t/ha)	Max. ZWF (4,2 t/ha)
5%	1,3	1,1	1,0
10%	3,2	2,6	2,4
15%	5,9	4,9	4,4

In UBA & wpa (2005) wurden mithilfe eines Modells von Morgan, Morgan & Finney (Morgan, 2001) bereits Erosionsberechnungen zur Evaluierung der Begrünungsvarianten im ÖPUL 2000 durchgeführt. Im Win-

terhalbjahr (20.08. bis 01.03.) wurde mit dieser Methode auf Flächen mit Winterbegrünung (Variante B, C oder D) eine 90%-ige Reduktion der Bodenerosion berechnet. Unter Betrachtung eines gesamten durchschnittlichen Jahres (Hauptfrucht + Zwischenbegrünung) verringert sich die Erosion insgesamt um etwa 70%.

Da BoBB allerdings den mittleren Bodenabtrag einer gesamten Fruchtfolge berechnet und nicht nur eines einzelnen Jahres bzw. eines Winterhalbjahres ist ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen von UBA & wpa (2005) nicht möglich. Trotzdem ist jedenfalls zu erkennen, dass durch den Anbau von Winterzwischenfrüchten, welche erst im Frühjahr umgebrochen werden, ein beträchtlicher Beitrag zur Verringerung des Eintrages von Bodenmaterial in Gewässer geleistet wird. Desweiteren ist an den Ergebnissen von BoBB zu erkennen, dass die Erosionsminderung von der Höhe der Biomasse abhängt. Doch bereits eine mittlere Entwicklung der Begrünung vermindert den mittleren Bodenabtrag deutlich.

## 5.7 Humusbilanzierung

Wie in Kapitel 5.3 erläutert, konnten bei den durchgeführten Feldversuchen in den meisten Fällen Zwischenfruchterträge im Bereich von 1-3 t TS/ha erreicht werden. Inwiefern sich der Humusgehalt durch die Zufuhr von Biomasse in Abhängigkeit der Menge ändert, wird mithilfe einer Humusbilanz errechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Menge der Biomasse, welche in den Boden eingebracht wird, für den Bereich 1 bis 3 t/ha keinen nennenswerten Einfluss auf die Zunahme des Humusgehalts hat. Dies resultiert daraus, dass die Reproduktionsleistung organischer Substanzen von der durchschnittlich zugeführten Substanzmenge abhängig ist und somit der Reproduktionskoeffizient bei niedrigeren Massen höher ist als bei größeren zugeführten Massen. Dieses Phänomen konnte Kolbe (2006; zitiert in Seibt, 2007) anhand der statistischen Auswertung zahlreicher Dauerversuche belegen. In Tab. 5-5 werden die Ergebnisse der Humusbilanzierung je Standortgruppe dargestellt. Geringe Unterschiede zwischen der Berechnung mit 1 t TS/ha und 3 t TS/ha sind nur im Bereich der zweiten Kommastelle zu erkennen, diese kann allerdings nicht mit Sicherheit angegeben werden (Kolbe, 2013), wodurch die Ergebnisse pro Standortgruppe gleichzusetzen sind.

Tab. 5-5: Ergebnisse der Humusbilanzierung bei Einarbeitung von 1 bzw. 3 t TS/ha je Standortgruppe

Zunahme C <sub>org</sub> in % TM						
Standortgr.	STG1	STG2	STG3	STG4	STG5	STG6
1 t TS	0,24	0,18	0,13	0,16	0,10	0,02
3 t TS	0,23	0,17	0,11	0,14	0,09	0,01

Der errechnete Wert in Tab. 5-5 zeigt jenen Humusgehalt an, der bei Beibehaltung der Bewirtschaftungsmaßnahme für den Zeitpunkt zu veranschlagen ist, wenn das Gleichgewicht zwischen Zufuhr und

Abbau erreicht wird. Dies ist in etwa nach 20-30 Jahren der Fall. Wird somit in einer beliebigen bestehenden Fruchtfolge statt bisher ohne Begrünung einmal in der Fruchtfolge eine Winterbegrünung angelegt, welche im Frühjahr auch eingearbeitet wird, kann der  $C_{org}$ -Gehalt in der Standortgruppe 1 absolut um ca. 0,24% angehoben werden. Dies entspricht einer Humusgehalt-Steigerung von etwa 0,4%. Bei den Standortgruppen 5 und 6 kann der Gehalt durch den Zwischenfruchtanbau kaum verbessert werden, da die Umsetzungsaktivität in diesen Böden sehr hoch ist.

Der Einfluss des Standortes durch Bodenart, Feinanteil und Durchschnittstemperatur wirkt sich dadurch stärker auf die Humusgehalt-Änderung durch Zwischenfruchtanbau aus als die eingearbeitete Menge an Biomasse.

## 6 Schlussfolgerungen

Aus den hier vorliegenden Untersuchungen können bezüglich der betrachteten ÖPUL Maßnahmen folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden.

### Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter

Der Anbau von Begrünungen und das anschließende Einarbeiten von Pflanzenmaterial bewirkt eine Erhöhung des **Humusgehalts** im Boden. Die Höhe der Humussteigerung **ist sehr bodenspezifisch**, weshalb durch den Anbau von Begrünungen nicht an allen Standorten in Österreich mit einer merklichen Verbesserung zu rechnen ist. Die größten Erwartungen mit einer absoluten Steigerung von ca. 0,24% des  $C_{org}$ -Gehalts (bei einer 3-jährigen Fruchtfolge mit einer Winterbegrünung) können an Böden der Bodenart Sand und Ton gestellt werden. Nur sehr geringe Steigerungen von 0,02% bis 0,10% sind auf Lehm zu erwarten.

Anzumerken ist, dass die Menge der Biomasse für die Humussteigerung nicht entscheidend ist. Von eindeutig größerer Bedeutung ist der **regelmäßige Anbau von Begrünungen**, welcher auch über Jahrzehnte beibehalten werden muss.

Begrünungen leisten außerdem einen wichtigen Beitrag zur **Verminderung der Bodenerosion**. Bisher wurde lediglich der **Begrünungszeitraum** als entscheidender Faktor für die Erosionsschutzleistung einer Begrünung herangezogen. Hier wurden im Jahr mit angelegter Begrünung Reduktionen von 50% bei Begrünungsvariante B, C oder D und 21% bei Variante A (Umbruch noch vor dem Winter) angenommen (wpa & BAW, 2009). Allerdings **hängt der Erosionsschutz auch stark von der Biomasse ab**. Bei einer 5-jährigen Fruchtfolge mit einer Winterbegrünung entsprechend Begrünungsvariante B wurde durch eine durchschnittlich entwickelte Biomasse (2,4 t/ha) die

mittlere jährliche Erosion um mehr als 15% gesenkt. Höhere Biomassen (4,2 t/ha) erreichen Reduktionen von mehr als 23%. Aus diesem Grund sollte nicht nur der Begrünungszeitraum, sondern auch die gebildete Biomasse bewertet werden.

Ein **früher Anbauermin** der Begrünung ist einerseits wichtig für eine ausreichende Entwicklung der Biomasse und andererseits notwendig um die Zeit des brachliegenden Ackers zu minimieren. **Begrünungsmischungen** sind generell empfehlenswerter als Reinsaaten, da der eventuelle Ausfall einer Sorte durch ungünstige klimatische Bedingungen von einer Anderen ersetzt werden kann.

Die positive Auswirkung von Begrünungen auf die Nitratbefruchtung des Grundwassers konnte bestätigt werden. In Abhängigkeit der Bodenart und besonders des Anbauzeitpunkts der Begrünung wird in der Winterperiode die **akkumulierte Stickstoffauswaschung um 50-70% im Vergleich zu Schwarzbrache reduziert**. In Summe aller Jahre einer 5-jährigen Fruchtfolge ist der Einfluss einer Winterbegrünung aufgrund des insgesamt relativ kurzen begrünten Zeitraums nur sehr gering. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht sollte ein möglichst zeitnaher Anbau der Begrünung nach der Ernte der Hauptfrucht und ein möglichst später Umbruch im Frühjahr angestrebt werden.

Weiters werden durch den Anbau von Begrünungen die Emissionen von Treibhausgasen vermindert (besonders Methan und Kohlendioxid), die Aggregatstabilität des Bodens und das Wasserspeichervermögen erhöht, weshalb eine Beibehaltung der Maßnahme jedenfalls empfohlen wird.

### Mulch- und Direktsaat

Eine Erhöhung des Humusgehalts durch die Anwendung von Mulch- und Direktsaat konnte nicht belegt werden. Zwar sind höhere Kohlenstoffanreicherungen in der oberen Bodenschicht messbar, allerdings sinkt

diese in tieferen Schichten unter den Wert von konventionell bewirtschafteten Böden. In Summe wird daher **dieselbe Menge an Kohlenstoff gespeichert**.

In weiterer Folge ist **auch keine Reduktion der Treibhausgase** durch eine zusätzliche Speicherung von Kohlenstoff im Boden zu erwarten. Unterschiede in der Methan-, Kohlendioxid- und Lachgasemissionen zwischen konventionell und reduziert bearbeiteten Böden sind vernachlässigbar. Wird allerdings das gesamte Anbauverfahren inklusive **Dieserverbrauch** verglichen, werden durch eine reduzierte Bodenbearbeitung im Durchschnitt **13% weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt** (Dierauer et al. 2012), weshalb der Mulch- und Direktsaat ein positiver Beitrag zum Klimaschutz zuzurechnen ist.

Kurz nach dem Anbau und während des Aufwuchses der folgenden Hauptfrucht schützt eine Bodenbedeckung mit Mulchmaterial vor Erosion. Je mehr Material den Boden bedeckt, desto höher ist die Schutzwirkung, weshalb ein Mindestbedeckungsgrad bei der Maßnahme erforderlich wäre. Eine Bedeckung von 30% würde eine 50%-ige Schutzwirkung vor Erosion bedeuten (Schwertmann et al., 1990). Dieser Wert wird aber tatsächlich nur in Ausnahmefällen erreicht. Die Untersuchung der Transekte zeigt, dass derzeit eine durchschnittliche Bedeckung von 12% erzielt wird, in den Feldversuchen 13,7%. Bodenschonende Verfahren wie Frässaat, Stripp-Till, Direktsaat und die Bearbeitung mit einem Feingrubber bewirken generell einen höheren Bedeckungsgrad als tiefere Bearbeitungen. Der Bedeckungsgrad von 30% wird allerdings auch dadurch nur in Ausnahmefällen erreicht. Realistisch wäre daher eine **Mindestbedeckung von 15%** zu fordern, welcher den **Bodenabtrag um ca. 30% reduziert**.

Weiterer Einflussfaktor auf die Bedeckung nach der Bodenbearbeitung ist die **Ausgangsbedeckung** vor der Bearbeitung und damit die gebildete Biomasse. Je höher der Bedeckungsgrad vor der Bearbeitung ist,

desto höher ist er danach. Durch die meisten Bearbeitungsgeräte kommt es zu einer Reduktion von etwa 50%, teilweise bis zu 80%.

## 7 Literatur

- Arbeitsgruppe Boden. (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. Auflage, Hannover.
- Angers D.A., Bolinder M.A., Carter M.R., Gregorich E.G., Drury C.F., Liang B.C., Voroney R.P., Simard R.R., Donald R.G., Beyaert R.P., Martel J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil & Tillage Research* 41: 191-201
- Aulakh M.S., Doran J.W., Walters D.T., Mosier A.R., Francis D.D. (1991). Crop residue type and placement Effects on Denitrification and Mineralization. *Soil Science Society of America Journal* 55: 1020-1025
- Baggs E. M., Stevenson M., Pihlatie M., Regar A., Cook H., Cadisch G. (2003). Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Plant and Soil* 254: 361-370
- Bauer T., Strauss P. (2013). A rule-based image analysis approach for calculation residues and vegetation cover under field conditions. *Catena* (in press)
- Bavin T.K., Griffis T.J., Baker J.M., Venterea R.T (2009). Impact of reduced tillage and cover crop ping on the greenhouse gas budget of a maize/soybean rotation ecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 134: 234-242
- Blanco-Canqui H., Lal R. (2008). No-Tillage and Soil Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment. *Soil Science Society of America Journal* 72: 693-701
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), I.f.B.u.B. (2007). *Fächer zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades durch organische Rückstände*, Braunschweig
- Chatterjee A., Lal, R. (2009). On farm assessment of tillage impact on soil carbon and associated soil quality. *Soil & Tillage research* 104: 270-277
- Coleman K., Jenkinson, D. S. (1999). ROTHC-26.3. A model for the turnover of carbon in soils. Herts, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire, UK.
- Deen W., Kataki P.K. (2003). Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. *Soil & Tillage Research* 74: 143-150
- Dersch G., Böhm K. (2001). Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in arable farming in Austria. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 49-55
- Devaty J., Strauss P. (2012). BoBB – Software for water erosion risk assessment by RUSLE, *Sbornik odborne conference, Voda A Krajina*, pp. 51-58
- Dierauer H., Clerc M., Meier M. (2012). Praxisversuche: Landwirte testen die reduzierte Bodenbearbeitung, *Zeitschrift bioaktuell* 5/12: 14-16.
- Feichtinger F., (1998). STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. *BAW Schriftenreihe*, 1, 14-41
- Feichtinger F., Scheidl A., Dorner J. (2005). Bericht ÖPUL 2000 – Begrünungsvarianten (Pkt. 2.22), Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter; Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- Franko U., Crocker G. J., Grace P. R., Klir J., Körschens M., Poulton P. R., Richter D. D. (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CANDY model. *Geoderma*, 81(1), 109-120.

- Freibauer A., Rounsevell M.D.A., Smith P., Verhagen J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122: 1-23
- Hooker B.A., Morris, T.F., Peters R., Cardon Z.G. (2005). Long-term Effects of Tillage and Corn Stalk Return on soil Carbon Dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 69: 188-196
- IFA & FAO. 2001. Global estimates of gaseous emissions NH<sub>3</sub>, NO and N<sub>2</sub>O from agricultural land. International Fertilizer Industry Association, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom
- IPCC. 2001. Climate Change (2001). The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge
- Kemper W.D., Koch E.J. (1966). Aggregate Stability of Soils from Western United States and Canada. Measurement Procedure, Correlations with Soil Constituents (No. 1355). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture
- Kirchmann Gerzabek (1999): Relationship between soil organic matter and micropores in a long term experiment at Ultuna, Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162: 493-498
- Kolbe H. (2006). Humusbilanzierung. Manuskript. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig
- In: Seibt P. (2007). Anwendung einer neuen standortabhängigen Methode zur Humusbilanzierung an sächsischen Dauertestflächen und Vergleich mit anderen üblichen Methoden zur Feststellung des Versorgungsgrades mit organischer Substanz im Hinblick auf Sicherung der Nachhaltigkeit der Betriebe im konventionellen und ökologischen Landbau. Diplomarbeit, TU Dresden.
- Kolbe H. (2007). BEFU – Teil Ökologischer Landbau. Methoden der Bilanzierung und Düngungsbemessung. Verfahrensbeschreibung und PC-Anleitung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Kolbe H. (2008). Einfache Verfahren zur Berechnung der Humusbilanz für konventionelle und ökologische Anbaubedingungen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- Kolbe H. (2013). Anwendungsbeispiele zur standortangepassten Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen
- Körschens M., Rogasik J., Schulz E., Bönig H., Eich D., Ellerbrock R., Franko U., Hülsbergen K.J., 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.
- Leick B.C.E. 2003. Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation. Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim
- Lou Z., Wang e., Sun O.J. (2010). Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 224-231
- Mahli S.S., Lemke R., Wang Z.H., Chabra B.S. (2006). Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research* 90: 171-183
- MORGAN, R. P. C. (2001): A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. *Catena* 44: 305 – 322.

Rampazzo Todorovic G., Stemmer M., Tatzber M., Katzlberger C., Spiegel H., Zehetner F., Gerzabek M.H. (2010). Soil-Carbon turnover under different management: Evaluation of RothC-model predictions under Pannonian climate conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173: 662-670

Regina K., Alakukku L. (2010). Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no tillage practices. *Soil & Tillage Research* 109: 144-152

Sachsen, L., <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/12436.htm>.

Sanz-Cobena A., Garcia-Marco S., Quemada M., Gabirel J.L., Almendros P., Vallejo A. (2013). Do cover crops enhance N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> emissions from soil in Mediterranean arable systems? *Science of the Total Environment Volumes 466-467*: 164-174. Erscheint 2014.

Scheffer F. (2002). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Scheffer/Schachtschabel. 15. Aufl. Spektrum Akad. Verl., Heidelberg

Schwertmann U., Vogl W., Kainz M. (1990). *Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung der Gegenmaßnahmen*. 2. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Shelp M.L., Beauchamp E.G., Thurtell G.W. (2000). Nitrous Oxide Emissions from Soil Amended with Glucose, Alfalfa or Corn Residues. *Soil Science Plant Analyses* 31(7&8): 877-892

Six J., Ogle S.M., Breidt F.J., Conan R.T., Mosier A.R., Paustian K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global change Biology* 10: 155-160

Smith P., Goulding K.W., Smith K.A., Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P., Coleman K. (2001). Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 237-252

Spiegel H., Dersch G., Hösch J., Baumgarten A. (2007). Tillage effects on soil organic carbon and nutrient availability in a long-term field experiment in Austria. *Die Bodenkultur* 58 (1-4): 47-58

StartClim2009 (2010). *Anpassung an den Klimawandel: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich*. Endbericht. <http://www.austroclim.at/index.php?id=startclim2009>

Strauss P. (2006). *ÖPUL-Maßnahmen in ihren erosionsverringenden Auswirkungen, Umweltprogramme für die Landwirtschaft, Irdning*, pp. 65-68

UBA, wpa (2005): *Wirksamkeit der Maßnahme Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter und der Maßnahme Erosionsschutz im Weinbau des ÖPUL 2000 auf das Erosionsrisiko (GZ BMLFUW-LE.1.3.7/0017-II/5/2004)*, Endbericht, Wien.

Wagner-Riddle C., Thurtell G.W. (1998). Nitrous oxide emissions from agricultural fields during winter and spring thaw as affected by management practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52: 151-163

Wpa, BAW (Bundesamt für Wasserwirtschaft -IKT) 2009. *Abschätzung des Bodenabtrags in Österreich und Integration der Daten in die INVEKOS Datenbank (GZ: BMLFUW-LE.1.3.7/0016-II/5/2009)*, Wien.



## **8 Anlagenverzeichnis**

Anlage A: Begrünungsversuchvariablen der  
Feldversuche

Anlage B Bodenbearbeitungen je  
Begrünungsversuchsvariable

Anlage C Standorteigenschaften der  
Feldversuchsflächen



**Anlage A: Begrünungsversuchsvariablen der Feldversuche**



Begrünungsversuchsvariablen der Feldversuche		Anlage A / Blatt 1 von 2
Standort	Anbauzeitpunkt	Saatgut/Mischung
Bad Hall E3	27.06.2012	Alexandrinerklee (18kg/ha),Perserklee (9kg/ha)
Bad Hall E4	06.06.2012	Phacelia (6kg/ha), Ölrettich (8,3kg/ha), Buchweizen (15kg/ha), Senf (0,8kg/ha)
Bad Hall E5	27.06.2012	Ölrettich (1,5kg/ha), Phacelia (6kg/ha), Alexandrinerklee (15kg/ha)
Bad Hall E6	27.06.2012	Ölrettich (8kg/ha), Senf (8kg/ha), Alexandrinerklee (14kg/ha)
Bad Wimsbach E3	20.06.2012	Alexandrinerklee (18kg/ha), Perserklee (9kg/ha)
Bad Wimsbach E4	20.06.2012	Phacelia (6kg/ha), Ölrettich (8,3kg/ha), Buchweizen (15kg/ha), Senf (0,8kg/ha)
Bad Wimsbach E5	20.06.2012	Phacelia (6kg/ha), Alexandrinerklee (15kg/ha), Ölrettich (1,5kg/ha)
Bad Wimsbach E6	20.06.2012	Ölrettich 8(kg/ha), Senf (8kg/ha), Alexandrinerklee (14kg/ha)
Bad Wimsbach EX	01.08.2012	Phacelia (6kg/ha), Ölrettich (8,3 kg/ha), Buchweizen (15kg7ha), Senf (0,8kg/ha)
Bad Wimsbach Z10	08.08.2012	Alexandrinerklee (8kg/ha), Phacelia (2,5 kg/ha), Mungo (1,5kg/ha)
Bad Wimsbach Z11	08.08.2012	Kresse (2kg/ha), Mungo (1,5kg/ha), Ölrettich (4kg/ha)
Edt/Lambach E3	12.06.2012	Alexandrinerklee (18kg/ha), Perserklee (9kg/ha)
Edt/Lambach E4	12.06.2012	Phacelia (6kg/ha), Ölrettich (8,3 kg/ha), Buchweizen (15kg7ha), Senf (0,8kg/ha)
Edt/Lambach E5	12.06.2012	Phacelia (6kg/ha), Alexandrinerklee (15kg/ha), Ölrettich (1,5kg/ha)
Edt/Lambach E6	12.06.2012	Ölrettich (8kg/ha), Alexandrinerklee (14 kg/ha), Senf (8kg/ha)
Enns früher Anbau	09.08.2012	Gelbsenf (20 kg/ha)
Enns später Anbau	15.08.2012	Gelbsenf (10 kg/ha), Ölrettich (10kg/ha)
Güssing Begrünungsmischung	19.09.2012	W-Erbse (30kg/ha), W.-Triticale (55 kg/ha), Wi.-wicke (4 kg/ha), Perko (3 kg/ha), Grün-Roggen (50 kg/ha), Inkarnatklee (2 kg/ha), Rotklee (9 kg/ha)
Güssing GS-Roggen	19.09.2012	Grünschnittroggen (160kg/ha)
Hasendorf	21.09.2012	Grünschnittroggen (140 kg/ha)
Heidenreichstein 1 Senf	20.08.2012	Senf (16kg/ha)
Heidenreichstein 1 Wassergüte Rau	20.08.2012	Phacelia (4kg/ha), Ölrettich (5,5kg/ha), Buchweizen (10kg/ha), Senf (0,5kg/ha)
Heidenreichstein 2 Erbes Senf	20.08.2012	Erbse (135kg/ha), Senf (5kg/ha)
Heidenreichstein 2 Erbse Senf + Gülle	20.08.2012	Erbse (135kg/ha), Senf (5kg/ha)
Heidenreichstein 2 Wassergüte Rau	20.08.2012	Phacelia (4kg/ha), Ölrettich (5,5kg/ha), Buchweizen (10kg/ha), Senf (0,5kg/ha)
Heidenreichstein 2 Wassergüte Rau + Gülle	20.08.2012	Phacelia (4kg/ha), Ölrettich (5,5kg/ha), Buchweizen (10kg/ha), Senf (0,5kg/ha)
Heidenreichstein 3 Erbse Senf	20.08.2012	Erbse (135kg/ha), Senf (5kg/ha)
Heidenreichstein 3 WAGR	20.08.2012	Phacelia (4kg/ha), Ölrettich (5,5kg/ha), Buchweizen (10kg/ha), Senf (0,5kg/ha)
Hötzelsdorf Gä	15.08.2012	Phacelia (5kg/ha), Senf (5kg/ha)

Anlage A / Blatt 2 von 2		Begrünungsversuchsvariablen der Feldversuche
Standort	Anbauzeitpunkt	Saatgut/Mischung
Hötzelsdorf Hi	15.08.2012	Phacelia (35kg/ha) ,Senf (35kg/ha)
Hötzelsdorf Me	06.08.2012	Phacelia (5kg/ha), Senf (5kg/ha)
Katsdorf Z6	02.08.2012	Mungo (1kg/ha), Phacelia (4kg/ha), Sommerwicke (10kg/ha), Alexandrin- erklee (9kg/ha)
Katsdorf Z7	02.08.2012	Alexandrinerklee (10kg/ha), Mungo (2kg/ha), Sonnenblume (2kg/ha)
Katsdorf Z8	02.08.2012	Alexandrinerklee (6kg/ha), Pigmentblatterbse (20kg/ha), Melorationsrettich (2kg/ha)
Katsdorf Z9	02.08.2012	Sandhafer (30kg/ha), Buchweizen (10kg/ha), Alexandrinerklee (12kg/ha)
Naarn E1	12.04.2012	Weißklee (12kg/ha), Gelbklee (4kg/ha)
Naarn E2	12.04.2012	Weißklee (18kg/ha), Gelbklee (4kg/ha)
Naarn EX	04.08.2012	Alexandrinerklee (15kg/ha), Perserklee (5kg/ha), eng. Raygras (7kg/ha)
Neidling	15.08.2012	Phacelia (6kg/ha), Mungo (2kg/ha)
Rohrau	01.10.2012	Grünschnittroggen (100kg/ha), Winterwicke (20 kg/ha), Inkarnatklee (4 kg/ha)
Schönabrunn	01.10.2012	Grünschnittroggen (100kg/ha), Winterwicke (20 kg/ha), Inkarnatklee (4 kg/ha)
Waidhofen/Thaya – Ackerg Direktsaat	09.08.2012	Senf (3kg/ha), Phacelia (7kg/ha)
Waidhofen/Thaya – Ackerg	09.08.2012	Senf (3kg/ha), Phacelia (7kg/ha)
Waidhofen/Thaya – Boni Direktsaat	09.08.2012	Platterbse, Melorationsrettich (50kg/ha)
Waidhofen/Thaya –Boni	09.08.2012	Platterbse, Melorationsrettich (50kg/ha)

**Anlage B: Bodenbearbeitungen je Begrünungsversuchsvariable**





Bearbeitungsgerät:	Grubber				Kreiselegge		Scheibenegge		Zusätzliche Varianten
	seicht		tief		seicht	tief	seicht		
Überfahrten:	1x	2x	1x	2x	1x	1x	1x	2x	
Bad Hall_E4_spät					X	X	X	X	Scheibenegge 1x & 2x + Kreiselegge; Feingrubber 1x & 2x; Feingrubber 1x & 2x+ Kreiselegge
Bad Hall_E4_früh					X	X	X	X	Scheibenegge 1x & 2x + Kreiselegge; Feingrubber 1x & 2x; Feingrubber 1x & 2x+ Kreiselegge
Bad Wimsbach_E4			X						Grubber tief + Kreiselegge;
Bad Wimsbach_E5			X						Grubber tief + Kreiselegge;
Bad Wimsbach_E6			X						Grubber tief + Kreiselegge;
Bad Wimsbach_EX			X						Grubber tief + Kreiselegge;
Bad Wimsbach_V1	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+Kreiselegge;
Bad Wimsbach_V2	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+Kreiselegge;
Bad Wimsbach NS									Stripper + Sämaschine; Pflug+Kreiselegge+Sämaschine; Mulchsämaschine; Frässaar; Direktsaat
Edt bei Lambach_E4	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+ Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+ Kreiselegge
Edt bei Lambach_E3	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+ Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+ Kreiselegge
Edt bei Lambach_E5	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+ Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+ Kreiselegge
Edt bei Lambach_E6	X	X	X	X	X	X			Grubber tief 1x & 2x+ Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x+ Kreiselegge
Enns früh	X	X	X	X	X	X			Mulchsämaschine; Grubber tief 1x & 2x + Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x + Kreiselegge
Enns spät	X	X	X	X	X	X			Mulchsämaschine; Grubber tief 1x & 2x + Kreiselegge; Grubber seicht 1x & 2x + Kreiselegge
Güssing Begr.Mischung			X	X			X		Scheibenegge tief 1x & 2x
Güssing Grünschnittroggen			X	X					Scheibenegge tief 1x & 2x
Hasendorf	X	X	X	X					-
Heidenreichstein 1 Senf	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;
Heidenreichstein 1 Wassergüte Rau.	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;

Bearbeitungsgerät:	Grubber				Kreiselegge		Scheibenegge		Zusätzliche Varianten
	seicht		tief		seicht	tief	seicht		
Überfahrten:	1x	2x	1x	2x	1x	1x	1x	2x	
Heidenreichstein 2 Erbes Senf	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;
Heidenreichstein 2 Wasser- güte Rau	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;
Heidenreichstein 3 Erbse Senf	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;
Heidenreichstein 3 Wasser- güte Rau.	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief 1x & 2x +Kreiselegge;
Hötzelsdorf Gänsegraben							X		-
Hötzelsdorf Hintaus							X		Mulch gehäckselt + Scheibenegge
Hötzelsdorf Meiseldorf							X		Scheibenegge + Feingrubber
Katsdorf_Z9									Grubber+Kreiselegge+Sämaschine
Katsdorf_Z8									Grubber+Kreiselegge+Sämaschine
Katsdorf_Z7									Grubber+Kreiselegge+Sämaschine
Katsdorf_Z6									Grubber+Kreiselegge+Sämaschine
Neidling					X	X			
Rohrau	X	X	X	X			X		Scheibenegge tief 1x
Schönabrunn	X	X	X	X					
Waidhofen/Thaya Ackergrün Direktsaat	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief + Kreiselegge 1x & 2x
Waidhofen/Thaya Ackergrün	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief + Kreiselegge 1x & 2x
Waidhofen/Thaya Boni Direkt- saat	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief + Kreiselegge 1x & 2x
Waidhofen/Thaya Boni	X	X	X	X	X	X			Grubber seicht & tief + Kreiselegge 1x & 2x

**Anlage C: Standorteigenschaften der Feldversuchsflächen**



Standorteigenschaften der Feldversuchsflächen						Anlage C / Blatt 1 von 1
	% Humus	%Ton	% Schluff	% Sand	% Grobstoff	Bodenart [<2mm]
Bad Hall_E4_spät	2,2	23,3	64,6	12,1	0,8	IU
Bad Hall_E4_früh	2,2	21,7	66,7	11,5		IU
Bad Wimsbach_E4	4,5	15,0	60,1	25,0	9,4	sU/IU
Bad Wimsbach_E5	6,0	13,1	56,7	30,2	9,9	sU
Bad Wimsbach_E6	5,8	14,6	57,6	27,8	14,5	sU/IU
Bad Wimsbach_EX	5,2	15,0	60,4	24,5	9,2	sU/IU
Bad Wimsbach_V1	2,5	18,5	72,2	9,4	1,2	IU
Bad Wimsbach_V2	2,5	18,7	72,2	9,2	0,8	IU
Edt bei Lambach_E4	2,4	13,9	27,5	58,6	6,0	IS
Edt bei Lambach_E3	3,3	13,2	32,6	54,2	11,7	IS
Edt bei Lambach_E5	2,9	14,3	32,0	53,8	6,7	IS
Edt bei Lambach_E6	2,7	15,2	36,4	48,4	3,6	IS/sL
Enns	1,7	14,9	77,8	7,2		U
Güssing	2,0	16,9	68,3	14,9		IU
Hasendorf	3,0	11,1	38,4	50,5	31,5	IS
Heidenreichstein 1	3,1	5,1	21,8	73,2	14,4	S/IS
Heidenreichstein 2	4,1	5,1	20,9	74,0	14,2	S/IS
Heidenreichstein 3	3,1	7,0	21,3	71,8	14,5	IS
Hötzelsdorf Gä	2,2	22,5	58,4	19,1	1,3	IU
Hötzelsdorf Hi	3,7	20,3	49,7	30,0	4,8	sL
Hötzelsdorf ME	2,0	11,3	23,5	65,3	4,9	IS
Katsdorf_Z4	2,3	27,0	58,0	15,0		uL
Katsdorf_Z5	2,3	25,4	57,5	17,0		IU/uL
Katsdorf_Z6	2,3	23,6	59,5	16,9		IU
Katsdorf_Z8	2,5	28,8	57,5	13,8		uL
Naarn_E1	1,9	14,1	53,0	32,9	5,2	IS
Naarn_E2	1,8	14,3	52,5	33,2	2,6	IS
Naarn_EX	1,9	13,4	53,1	33,5	2,6	IS
Neidling	2,0	28,2	50,5	21,3	1,9	L
Rohrau	3,3	21,1	56,9	22,0		IU
Schönau	2,0	16,1	41,2	42,8		sL
Waidhofen/Thaya	2,5	13,9	32,8	53,4	6,7	IS