

# Verluste der oberirdischen Biomasse von abfrostenden Begrünungspflanzen durch Ausgasung vor der Einarbeitung in den Boden



## Endbericht

Evaluierungsprojekt BMLFUW-LE.1.3.7/0013-II/5/2009

Wien, im Jänner 2010

**Projektleitung:** Wilfried Hartl<sup>1</sup>

**ProjektbearbeiterInnen:** Alya Badawi<sup>1</sup>, Eva Erhart<sup>1</sup>, Marion Bonell<sup>1</sup>, Katharina Wechselberger<sup>1</sup>, Birgit Putz<sup>1</sup>, Christophorus Ableidinger<sup>1</sup>, Roland Albert<sup>2</sup>, Margarete Watzka<sup>2</sup>, Wolfgang Wanek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bio Forschung Austria

<sup>2</sup> Universität Wien, Institut für Chemische Ökologie

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| 1. Zusammenfassung.....   | 5  |
| 2. Summary.....   | 6  |
| 3. Einleitung .....   | 7  |
| 3.1. Begrünungen (Zwischenfrüchte).....   | 7  |
| 3.2. Emissionen von Kohlenstoff und Stickstoff aus Pflanzenbeständen .....        | 8  |
| 3.2.1. Stickstoff .....   | 9  |
| 3.2.2. Kohlenstoff .....  | 9  |
| 3.3. Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose .....                               | 10 |
| 3.4. Humusbilanzierung.....   | 11 |
| 3.5. Fragestellung .....  | 12 |
| 3.5.1. Projektziele .....   | 12 |
| 4. Material und Methodik .....  | 13 |
| 4.1. Hauptversuch .....   | 13 |
| 4.1.1. Versuchsanlage .....   | 14 |
| 4.1.2. Chemische Analysen.....  | 16 |
| 4.1.2.1. Auswaschungsflüssigkeit (Filtrat) .....                                  | 16 |
| 4.1.2.2. Continuous Flow Analysis (CFA).....                                      | 17 |
| 4.1.2.3. Filterproben-Rückstand und Pflanzenproben .....                          | 20 |
| 4.1.2.4. Elementaranalyse .....   | 20 |
| 4.1.2.5. Lignin und Cellulose Bestimmung .....                                    | 21 |
| 4.1.3. Humusbilanzierung .....  | 23 |
| 4.2. Zusatzversuche:.....   | 24 |
| 4.2.1. Stehende Pflanzen.....   | 24 |
| 4.2.2. Regentropfenaufprall /Herbst 2009.....                                     | 24 |
| 4.2.3. Niederschlags Interzeption und Aufnahme durch Pflanzen / Herbst 2009 ..... | 25 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 4.2.4.   | Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen/Herbst 2009 .....                  | 25 |
| 4.3.     | Statistische Auswertung .....   | 26 |
| 5.       | Ergebnisse .....  | 27 |
| 5.1.     | Auswaschung.....  | 27 |
| 5.1.1.   | Auswaschungsflüssigkeit .....   | 27 |
| 5.1.2.   | Rückstand/Schwebstoffe.....   | 30 |
| 5.1.3.   | Summe der Auswaschung von C und N.....                                  | 32 |
| 5.1.3.1. | bezogen auf die Fläche .....  | 32 |
| 5.1.3.2. | bezogen auf die Biomasse .....  | 34 |
| 5.2.     | Begrünungsbiomasse.....   | 37 |
| 5.2.1.   | Biomasse .....  | 37 |
| 5.2.2.   | Gesamt -Kohlenstoff.....  | 38 |
| 5.2.3.   | Gesamt -Stickstoff .....  | 40 |
| 5.2.4.   | Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose .....                          | 42 |
| 5.3.     | Mikroklimamessungen:.....   | 43 |
| 5.4.     | Aufgliederung der Verluste .....  | 46 |
| 5.5.     | Humusbilanzierung.....  | 50 |
| 5.6.     | Zusatzversuche.....   | 52 |
| 5.6.1.   | Stehende Pflanzen.....  | 52 |
| 5.6.1.1. | Summe der Auswaschungswerte C und N bezogen auf die Fläche.....         | 52 |
| 5.6.1.2. | Begrünung Biomasse .....  | 54 |
| 5.6.1.3. | Pflanzliche Fasern Lignin und Cellulose .....                           | 56 |
| 5.6.1.4. | Stehende Pflanzen – Aufgliederung der Verluste .....                    | 57 |
| 5.6.2.   | Regentropfen aufprallversuch .....                                      | 58 |
| 5.6.3.   | Niederschlags Interzeption und Aufnahme durch die Pflanzenbiomasse..... | 58 |
| 5.6.4.   | Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen .....                              | 59 |
| 5.6.4.1. | Summe der Auswaschung:.....   | 59 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 5.6.4.2. | Begrünungsbiomasse.....                                    | 61 |
| 5.6.4.3. | Aufgliederung der Verluste.....                            | 63 |
| 6.       | Diskussion.....  | 65 |
| 7.       | Empfehlungen für die Umsetzung in Praxis und Beratung..... | 71 |
| 8.       | Literaturverzeichnis .....                                 | 73 |

## 1. Zusammenfassung

Der Einsatz von Begrünungen unterstützt nachhaltig eine umweltfreundliche und erfolgreiche biologische Bewirtschaftungsform. Die ÖPUL Förderungsvarianten von Begrünungen B und D erlauben eine Einarbeitung der Begrünungsbiomasse erst ab 2. März. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die dadurch bedingten Verluste an der oberirdischen Biomasse und deren Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt bei den der Witterung ausgesetzten Pflanzen zu quantifizieren.

In dem vorliegenden Versuch wurde Pflanzenbiomasse von drei Begrünungsvarianten (Mischung mit Leguminosenanteil, Mischung ohne Leguminosenanteil und Senf (alle abfrostend)), die unter praxismgerechten und den ÖPUL-Anforderungen entsprechenden Bedingungen in einem Feldversuch gewachsen waren, in offenen (Gitter-)Stapelboxen gleichmäßig verteilt aufgelegt und den ganzen Winter über bis zum 4. März der Witterung ausgesetzt. Hier wurde darauf geachtet, die realen Bedingungen auf den Feldern nachzuahmen, um eine optimale Verwertbarkeit der Versuchsergebnisse in der landwirtschaftlichen Praxis zu gewährleisten.

Während der Versuchsdauer wurde jeweils nach Regenfällen die Auswaschungsflüssigkeit in den Boxen entnommen und deren Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt bestimmt. Sodann wurden die gasförmigen Verluste an Stickstoff und Kohlenstoff mit Hilfe der Bilanzierungsmethode errechnet, und zwar als Differenz der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Biomasse zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende, abzüglich der Auswaschungsverluste. Die Frostperioden beeinflussten die nach einem Niederschlag erfolgten Auswaschungsmengen. Die Auswaschungsmengen an Kohlenstoff waren anteilmäßig gering im Bereich 6 bis 9 %, während die Stickstoff Auswaschungsmengen zwischen 24 und 33 % lagen.

Die Ergebnisse der Humusbilanzen zeigten, dass der Beitrag der Begrünungsvarianten zur Humusmehrung zwischen 7 % und 32 % des jährlichen Humussaldos liegt, den eine für den Biolandbau typische Fruchtfolge allein durch ihre anderen Fruchtfolgeglieder erzielt.

Die gasförmigen Verluste an Kohlenstoff lagen bei der Versuchsvariante Senf bei 42 % und bei den Varianten Leguminosenmischung und Nichtleguminosenmischung bei 48 % des im Herbst in den Begrünungspflanzen vorhandenen Gesamtkohlenstoffs. Beim Stickstoff betragen die gasförmigen Verluste bei der Leguminosenmischung und der Nichtleguminosenmischung ca. 18 % des zu Versuchsbeginn in den Pflanzen vorliegenden Stickstoffs, während der Senf einen gasförmigen Verlust von 37 % des Pflanzenstickstoffs aufwies. Die durch Ausgasung verursachte Kohlenstoff- und Stickstoffverluste haben eine negative Wirkung Richtung Klima und Boden. Bio Forschung Austria empfiehlt den Landwirten abfrostende Begrünungen nach dem ersten Frost bodennah zu bringen. Damit sollten die Verluste an Ausgasung verringert werden. Weiterführende Versuche mit vergleichbaren Begrünungsvarianten aber auch einzelnen Pflanzenarten wären sinnvoll.

## 2. Summary

Cover crops sustainably support environmentally friendly and successful organic management. In the variants B and D of the ÖPUL aid programme, the cover crops biomass may be incorporated into soil not earlier than on 2<sup>nd</sup> March. The objective of the present research was to quantify the losses of aboveground biomass, carbon and nitrogen that occur in cover crops that are exposed to winter weather conditions.

In the present experiment, plant biomass of three cover crop treatments (cover crop mixture including legumes, mixture without legumes, and white mustard-mixture, all freezing-off) obtained from a practical field experiment meeting ÖPUL-requirements, were arranged evenly on grids in open boxes and exposed to winter weather conditions until 4<sup>th</sup> March. It was taken care that real-field-conditions were mimicked, so that the results of the experiment are really useful for practical farming.

During the experiment, the leachate in the boxes was sampled after every rainfall and analyzed for carbon (C) and nitrogen (N) content. Then, gaseous losses of carbon and nitrogen were calculated using a balancing method: the difference between carbon and nitrogen contents, respectively, at the beginning and the end of the experiment, minus the C and N leached, was supposed to have been lost in gaseous form. Periods of frost influenced the amounts leached after precipitation. The percentage of carbon leached was low (6-9 %), while the percentage of nitrogen leached ranged between 24 % and 33 %.

The results of a humus balance calculated showed that the contribution of the cover crops used to humus increase is between 7 % and 32 % of the annual humus saldo, which a typical organic crop rotation effectuates merely through its rotation crops.

The gaseous carbon losses amounted to 42 % in the white mustard-mixture and to 48 % of the total carbon present in the cover crop biomass in autumn in the mixtures with and without legumes. The gaseous nitrogen losses of the mixtures with and without legumes were around 18 % of the total nitrogen present in the cover crop biomass in autumn, while the white mustard-mixture had gaseous N losses of 37 %.

The losses of carbon and nitrogen through volatilization have negative effects on the climate and the soil. Bio Forschung Austria recommends farmers to bring freezing-off cover crops to ground level after the first frost in order to reduce gaseous losses. It would make sense to continue these experiments with comparable cover crop mixtures and also with single plant species.

## 3. Einleitung

### 3.1. Begrünungen (Zwischenfrüchte)

Begrünungen mit ihren ökologischen und agronomischen Leistungen sind ein wichtiger Beitrag für eine nachhaltige Bewirtschaftung im Ackerbau.

Mit dem Anbau der Zwischenfrüchte werden unterschiedliche Ziele verfolgt.

- Nährstoffkonservierung

Die Nährstoffaufnahme durch die Zwischenfrüchte ist abhängig von deren Trockenmassebildung und vom Nährstoffgehalt des Bodens. Begrünungen erhalten und verbessern die Bodenfruchtbarkeit (Renius, Lütke Entrup, 1992) aufgrund ihrer Fähigkeit zur Aktivierung der Nährstoffdynamik sowie zur Mobilisierung und Speicherung der Nährstoffe aus den Bodenpools. Dies führt zu einer Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und verhindert die Verluste leicht löslicher Nährstoffe.

Stickstoff kann durch luftstickstoff-fixierende symbiontische Bakterien der in einer Begrünung vorhandenen Leguminosen dem Boden zugeführt werden, was zu einer Vergrößerung der Bodenreserven an Stickstoff führen kann. Dies ist wiederum ein Vorteil für die Fruchtfolge indem sie diesen Stickstoff aufnehmen kann (Baggs et al, 2000).

- Bodenschutz

Das Erosionspotential eines Standortes durch Wind und Wasser sowie Menge an  $\text{NO}_3$  Auswaschung (McCracken et al, 1994, Möller & Reents 2009, Smith et al, 1987), wird durch die Pflanzendecke und die Durchwurzelung verringert. Ebenfalls werden die Ausgasungsverluste von Böden verringert (Baggs et al, 2000). Zwischenfruchtanbau hilft bei aufkommendem Unkraut und hemmt dessen Wachstum.

- Erhöhung der Biologischen Aktivität im Boden

Die Begrünungen führen zu einer Nährstoffanreicherung (Broughton, 1977) und infolge dessen zu einer Erhöhung der biologischen Aktivität (Dinesh et al, 1999) im Boden. Die Bodenmikroorganismen sind wichtig für den Abbau frischer organischer Biomasse und für die Nährstofffreisetzung. Die Lebendmasse aller im Boden vorkommenden Organismen kann mehr als 50 t pro Hektar betragen. Davon machen Pilze und Bakterien, mehr als 90 % aus (Höper, 2001).

- Humusaufbau

Kohlenstoff, als klimarelevantes Gas  $\text{CO}_2$  von den Pflanzen aufgenommen, wird in deren Biomasse gespeichert und bewirkt einen verbesserten Humusaufbau. Der Humus spielt eine zentrale Rolle als Kohlenstofflieferant für die Mikroorganismen, er akkumuliert als Nährstoffspeicher und beeinflusst die bodenbiologische Aktivität, das Wasserspeichervermögen sowie die Pufferfunktion des Bodens.

In dieser Arbeit wurden die ÖPUL Förderungsvarianten B und D behandelt, die als besondere Bedingungen erfordern, dass der Umbruch erst nach dem 2. März (des Folgejahres) erfolgen darf sowie, dass abfrostende Begrünungskulturen zwischen zwei Hauptkulturen anzulegen sind.

## **Versuchsvarianten**

### ***Leguminosenmischung***

Neben der N<sub>2</sub>-Fixierleistung wirken Leguminosen aufgrund ihrer Masse und stickstoffreichen Ernte- und Wurzelrückstände positiv auf die Folgekulturen. Mit den Ernterückständen wird dem Boden mehr organische Masse zugeführt als durch eine Düngung mit Stallmist. Sie tragen somit zu einer Erhöhung des Humusgehaltes und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bei (Pietsch & Friedel, 2007). Die Leguminosen eignen sich als Vorfrüchte besonders für die Wintergetreidearten (Freyer, 2003). Häufig wird für den biologischen Landbau ein Leguminosenanteil in Fruchtfolgen von über 20% empfohlen.

### ***Leguminosenfreie Mischung***

Bei einem hohen Leguminosenanteil in der Fruchtfolge sind leguminosenfreie Mischungen erforderlich, um die Übertragung von Leguminosenkrankheiten und die Förderung von Leguminosenschädlingen zu vermeiden (Hartl et al, 2007). Bei hoher Verfügbarkeit von Stickstoff oder bei geplanter Gülledüngung müssen ebenfalls Mischungen ohne Leguminosen angebaut werden (Hartl & Petrasek, 2009).

### ***Senfmischung***

Senf besitzt als Begrünungspflanze mehrere Vorteile, wie zum Beispiel eine gute Durchwurzelung des Bodens, weil seine Pfahlwurzel mit zahlreichen Nebenwurzeln besetzt ist. Auch die Fähigkeit zur Bindung von Nährstoffen zählt zu seinen positiven nachhaltigen Wirkungen. Er zählt zu den schnellwachsenden Fruchtarten die nur eine kurze Vegetationsperiode benötigen.

Die Langtagsreaktion ist stark ausgeprägt, sodass bei frühen Aussaaten ein schneller Blühbeginn und Schotenbildung einsetzen. Über Winter friert Senf sicher ab. Damit ist eine gute Mulchsaateignung gegeben.

## ***3.2. Emissionen von Kohlenstoff und Stickstoff aus Pflanzenbeständen***

Die Pflanze besitzt nicht nur die Funktion als Nährstoffspeicher, sondern sie gibt auch bestimmte Stoffe aus der Wurzel und der oberirdischen Biomasse ab. Diese Vorgänge hängen stark von den Boden- und den Temperaturverhältnissen ab.



In einem nachhaltigen Landwirtschaftssystem sollen die Nährstoffverluste, sei es durch Emmissionen oder durch Auswaschung möglichst gering sein. Für die Pflanze sind Nährstoffe verloren, sobald sie unterhalb des Wurzelbereichs oder in die Atmosphäre gelangen.

Während Wurzelexudate von Begrünpflanzen positive Effekte auf die Entwicklung des Edaphons zeigen, sind gasförmige Verluste aus der Sicht des Pflanzenbaues, aber auch des Klimaschutzes unerwünscht.

### **3.2.1. Stickstoff**

Der Stickstoff spielt eine zentrale Rolle für das pflanzliche Überleben. Stickstoffverbindungen werden von Seiten der Pflanzen aber auch von Mikroorganismen abwechselnd im Lauf von Auf- und Abbauprozessen ausgetauscht. Dadurch kommt es zur Bildung unterschiedlicher stickstoffhaltiger Verbindungen, welche von der Bodenoberfläche aber auch aus dem Pflanzenbestand in die Atmosphäre abgegeben werden können.

In einem ersten Schritt (Mineralisierung) wird  $\text{NH}_4$  produziert, indem das organische Material im Boden durch Mikroorganismen zersetzt wird. Darauf aufbauend wird in einem nächsten Schritt (Nitrifikation)  $\text{NH}_4$  in einem zweistufigen Oxidierungsprozess mit Hilfe der Bakterien *Nitrosomonas* und *Nitrobacter* zu  $\text{NO}_3$  oxidiert. Durch bakterielle Umwandlung (Denitrifikation) kann  $\text{NO}_3$  reduziert werden. Bei diesen Vorgängen können Stickstoffmonoxid (NO), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und molekularer Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) in Gasform entstehen.

Pflanzen nehmen Stickstoff vorwiegend in der Form von leicht auswaschbarem Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) und nur in kleiner Menge als austauschbares und gelöstes Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) durch die Wurzel aus dem Boden auf. Sie synthetisieren aus anorganischen chemischen Bausteinen komplexere organische Moleküle, wie Eiweiße, Fette, Stärke und anderes mehr. Sie produzieren auf diese Weise sogenannte pflanzliche Biomasse. Dabei stellen die Eiweiße als N-haltige Verbindungen, zu denen auch die Nucleinsäuren zählen, eine besonders wichtige Fraktion dar. Der Anteil des Stickstoffs in der pflanzlichen Biomasse, der überwiegend in organischen Molekülen gebunden vorliegt, beträgt etwa 1-3 Gewichtsprozent (Mengel, 1991).

Trotz der essentiellen Rolle des Stickstoffs für den pflanzlichen Stoffwechsel werden von lebenden Pflanzen gasförmige N-Verbindungen abgegeben. Dabei emittieren Pflanzen Stickstoff überwiegend in reduzierter Form, als Ammoniak (Kastori, 2004). Es werden aber auch oxidierte N-Verbindungen, wie Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) und Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), von Pflanzen emittiert (Rockel, 1993; Chang et al, 1997) beide zitiert nach (Kulozik-Erben, 2007).

### **3.2.2. Kohlenstoff**

Ein großer Teil der Kohlenstoffvorräte in den Terrestrischen Ökosystemen verteilen sich auf der Boden Oberfläche, sowie in den tiefen Schichten des Bodens in der Pflanzlichen

Biomasse. Zu den Hauptbestandteilen der pflanzlichen Biomasse gehört der Kohlenstoff. Nahezu der gesamte C-Anteil im Boden ist pflanzlichen Ursprungs (Kuzyakov & Domanski, 2000).

Die organische Bodensubstanz nimmt eine zentrale Stellung im globalen Kohlenstoff-Kreislauf ein: Etwa 80 % der terrestrischen organischen Kohlenstoffvorräte, die im aktiven C-Kreislauf eingebunden sind, sind in den Böden gebunden und nur etwa 20 % in der Vegetation (Kögel-Knabner, 2002).

Der Kohlenstoff wird durch die grünen Teile der Pflanze mit Hilfe der photosynthetischen Aktivität in Form von CO<sub>2</sub> assimiliert und gelangt anschließend durch die Wurzelexudate oder als abgestorbene Biomasse in den Boden. Dort mineralisiert die Bodenmikrofauna die C-Quellen als leicht abbaubaren Nährhumus zu CO<sub>2</sub> (Kutze et al, 1994). In weiterer Folge kann es im Zuge einer anaeroben Phase dieses Abbauprozesses zur Entwicklung von Methan (CH<sub>4</sub>) kommen. Diese Prozesse sind von den Umweltbedingungen sehr abhängig, wie beispielsweise der Temperatur, gleichzeitig wirken diese auf die äußeren Bedingungen (Treibhausgaseffekt) massiv zurück.

Böden können also als C-Senke (Zunahme des gespeicherten C-Vorrats) fungieren, indem sie ihre Funktion der Sequestrierung von Kohlenstoff durch Humus durchführen. Der Humusgehalt bestimmt die Eigenschaften von Prozessen, die für die Aufrechterhaltung der natürlichen Bodenfunktionen relevant sind.

Dem Boden werden über Ernte- und Wurzelrückstände verschiedene Arten von organischen Substanzen zugeführt. Diese bestehen aus leicht- und schwerer abbaubaren Stoffen. Zu den schwer abbaubaren Stoffen gehören die pflanzlichen Gerüstfasern, welche im nächsten Kapitel besprochen werden.

### ***3.3. Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose***

Die pflanzlichen Fasern sind aus hochpolymeren Substanzen aufgebaut, die hauptsächlich aus Cellulose, Hemicellulose, Lignin und Pektinen bestehen.

Zellulose ist als makromolekulare Gerüstsubstanz aller Pflanzenzellen mengenmäßig das wichtigste Naturprodukt. Cellulose entsteht durch die photosynthetische Aktivität der Pflanze. Die Hemicellulosen sind Polysaccharide, die neben Cellulose in der Zellwand vorliegen. Sie sind aus verschiedenen Zuckern aufgebaut, vorwiegend Pentosen.

Das Lignin stellt als dritter Hauptbestandteil der pflanzlichen Fasern eine heterogene makromolekulare polyphenolische Substanz dar (Yasar, 1999).

Aufgrund seines komplexen Strukturaufbaus, ist nur wenigen Organismen der Abbau von Lignin möglich, darunter vor allem holzerstörenden Pilzen (Weißfäulepilzen) (Fuchs & Schlegel, 2007). Bei diesem Abbau bleibt ein Teil des Lignins übrig, welcher im Laufe der Zeit sehr langsam zersetzt wird. Dabei entstehen Huminsäuren - die Ausgangsstoffe des

Dauerhumus. Dieser wird gespeichert und ist wichtig für physikochemische Funktionen wie Kationenaustausch, aber auch für Wasserspeicherung, Bodenstruktur und die Lebensraumfunktion des Bodens. Humusstoffe spielen eine entscheidende Rolle für die Bodenfruchtbarkeit im Boden (Kuntze et al, 1994).

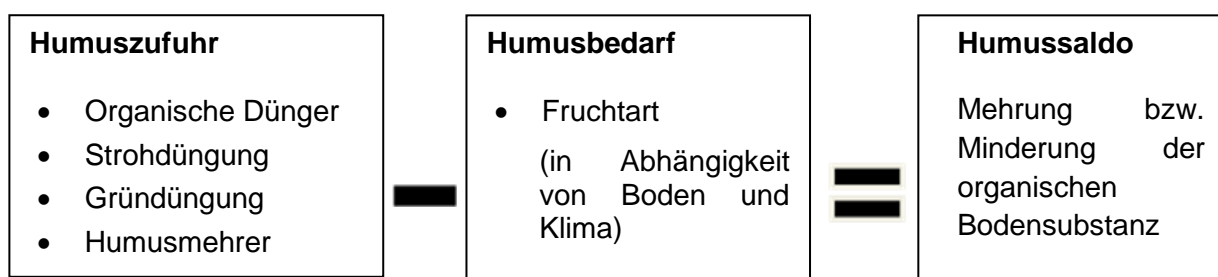
Neben dem C/N-Verhältnis sind die Gehalte an Lignin, aber auch an den beiden anderen Gerüstsubstanzen Cellulose und Hemicellulose bestimmend für die Geschwindigkeit des Abbaus von pflanzlichem Material (Müller et al., 1988; Handayanto et al., 1997).

### 3.4. Humusbilanzierung

Neben ihrer Bedeutung für die Verminderung des Bodenabtrags und der Nitratauswaschung über den Winter stellen Begrünungen auch eine Zufuhr von organischer Substanz für den Boden dar. Die Pflanzenbiomasse von Begrünungen enthält nicht so große Mengen stabiler Humussubstanzen wie z.B. Stallmist oder Kompost, und wird zum großen Teil rasch abgebaut (Kasten, 2002), ein Teil trägt aber dennoch zum Humusaufbau im Boden bei.

Je nach Art und Intensität der Bodennutzung wird jährlich rund 1 bis 5 % der organischen Substanz des Bodens mineralisiert. Um den Humusspiegel zu halten, müssen mindestens gleichhohe Mengen organischer Substanz jährlich zugeführt werden (Kuntze et al, 1994).

Mit Hilfe von Humusbilanzen kann die Gleichgewichtslage zwischen Humusabbau durch humuszehrende Fruchtfolgeglieder und Humusaufbau durch Zufuhr organischer Substanz dargestellt werden. Humusbilanzen bauen auf der Tatsache auf, dass bestimmte Feldfrüchte, die sogenannten Humuszehrer, wie z.B. Kartoffeln oder Gemüse, Humus abbauen, während andere Feldfrüchte, die sogenannten Humusmehrer, wie z.B. Feldfutter oder Luzerne, den Humusgehalt des Bodens anheben. Der Einfluss der verschiedenen Feldfrüchte auf den Humusgehalt ist bedingt durch den unterschiedlichen Anfall an Ernterückständen und Wurzelmasse, den unterschiedlichen Bodenbedeckungsgrad und die verschieden intensive Bodenbearbeitung.



Eine einfache Humusbilanzmethode wurde von Autorenkollektiv (1977) in der ehemaligen DDR entwickelt. Auf der Grundlage langjähriger Feldversuche wurden Maßzahlen für die

durchschnittliche humuszehrende oder humusmehrende Wirkung der Feldfrüchte und die humusmehrende Wirkung von Stroh, Grünmasse und verschiedenen organischen Düngern erstellt. Durch die Ähnlichkeit der Klimabedingungen der Versuchsstandorte, auf deren Ergebnissen diese Berechnungsmethode aufbaut, zu den Klimaverhältnissen in Ostösterreich ist grundsätzlich eine gute Übertragbarkeit dieser Methode gegeben.

### **3.5. Fragestellung**

Vor der Einarbeitung der Begrünungspflanzen im Frühjahr kommt es zu Verlusten an der oberirdischen Biomasse bei den der Witterung ausgesetzten Pflanzen. Einerseits kommt es zu Ausgasungen durch mikrobiologische Aktivität an den Pflanzen und andererseits zu Auswaschungen in den Boden. Die ÖPUL Förderungsvarianten von Begrünungen B und D erlauben eine Einarbeitung der Begrünungsbiomasse erst ab dem 2. März.

Die Begrünungen von Ackerflächen im Zeitraum zwischen den Hauptkulturen werden vom ÖPUL mit dem Ziel einer Reduktion der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser und des Nährstoffaustrages in Oberflächengewässer sowie des Schutzes des Bodens vor Wind- und Wassererosion und eines Beitrages zur Verbesserung der Biodiversität gefördert. Hierbei wird jedoch der tatsächlich dem Boden zugeführten Nährstoffmenge keine Beachtung geschenkt. Nur in den Boden zurückgeführte Elemente, wie Stickstoff und Kohlenstoff erhöhen den Nährstoffgehalt für die Folgekulturen bzw. verbessern die Kohlenstoffbilanz eines Bodens.

Im Rahmen dieses Projektes wurde die oberirdische Biomasse der Begrünungspflanzen, deren Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Lignin und Zellulose sowie deren Verluste durch Ausgasungsvorgänge bis zum erlaubten Einarbeitungstermin 02.03.09 untersucht.

#### **3.5.1. Projektziele**

- Bestimmung der in Richtung Boden abgegebenen Mengen von Stickstoff und Kohlenstoff in der Auswaschungsflüssigkeit.
- Die Quantifizierung der Mengenverluste in der oberirdischen Biomasse von nicht eingearbeiteten Begrünungspflanzen durch Ausgasungsvorgänge an den Pflanzen.
- Berechnung der Verluste an Stickstoff und Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse, sowie Messung des Lignin- und Cellulosegehaltes.
- Evaluierung der Mehrleistung von Begrünungen als Nährstoffspeicher und Senke von klimarelevanten Gasen und zum Aufbau des Humusgehaltes des Bodens.

## 4. Material und Methodik

### 4.1. Hauptversuch

Ein Freilandversuch mit verschiedenen Begrünungsmischungen wurde 2008 mit der gleichen Bodenbearbeitung (Grubber) und am selben Aussattermin (12. August) angelegt. Der Standort war Altenmarkt im Thale / NÖ (48°34'N, 16°11'E).

Von drei Begrünungsvarianten, einer Mischung mit Nichtleguminosen, einer Mischung mit Leguminosen und einer Begrünung mit Senf wurde am 27.10.2008 jeweils die oberirdische Pflanzenfrischmasse auf einer Fläche von 1,5 m<sup>2</sup> geerntet. Jede dieser Varianten bestand zu ca. 3% aus Unkraut und Durchwuchs.

Die verwendeten Saatgut-Mischungsverhältnisse der Begrünungsvarianten 2008 auf dem Versuchsfeld:

#### 1. Mischung mit Leguminosen:

Angestrebte Aussaatmenge 140kg/ ha,

- **Grobkörnige<sup>1</sup> Anteile:**

60kg Platterbse (*Lathyrus sativum*) (42,9%), 30kg Ackerbohne (*Vicia faba*) (21,4%), 30kg Sommerwicke (*Vicia sativa*) (21,4%)

Grobkörnige Anteile in Summe: 120kg/ha (85,7%)

- **Feinkörnige<sup>1</sup> Anteile:**

8kg Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) (5,7%), 3kg Leindotter (*Camelina sativa*) (2,1%), 3kg Ölrettich (*Raphanus sativus*) (2,1%), 3kg Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) (2,1%), 3kg Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*) (2,1%)

Feinkörnige Anteile in Summe: 20kg/ha(14,3%)

#### 2. Leguminosenfreie Mischung:

Angestrebte Aussaatmenge: 50kg/ ha

---

<sup>1</sup> **Grob- und feinkörnige Anteile werden von bestimmten Sämaschinen in unterschiedlicher Tiefe ausgesät. Damit kann ein besonders hoher Feldaufgang erreicht werden.**

20kg Hafer (*Avena sativa*) (39,2%), 15kg Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) (29,4%), 4kg Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) (7,8%), 4kg Sonnenblume (*Helianthus annuus*) (7,8%), 4kg Ölrettich (*Raphanus sativus*) (7,8%), 4kg Leindotter (*Camelina sativa*) (7,8%)

### 3. Senf (*Sinapis alba*)

Aussaatzmenge: 8kg/ ha

Die untersuchten Begrünungspflanzen wurden am 27.10.2008, zum Zeitpunkt der höchsten oberirdischen Pflanzenbiomasse vor dem ersten Auftreten von Frost geerntet.

#### 4.1.1. Versuchsanlage

Die geernteten Begrünungspflanzen wurden in offenen (Gitter-)Stapelboxen (60 x 40 x 20 cm) gleichmäßig verteilt aufgelegt und den ganzen Winter über der Witterung ausgesetzt. Fiberglasgitter unter- (2 mm Maschenweite) und oberhalb (7 mm Maschenweite) dieser Boxen verhinderten einen Eintrag von außen (z.B. Herbstlaub) bzw. ein Hinunterfallen von Teilen der Begrünungspflanzen. Diese "offenen" Boxen wurden auf geschlossene Stapelboxen gestellt, die zum Auffangen der Auswaschungsflüssigkeit dienen.

Den ganzen Winter über wurde jeweils nach Regenfällen die Menge der Auswaschungsflüssigkeit in den Boxen bestimmt, mit einem Mixstab homogenisiert und eine Probe für die Analyse entnommen (Insgesamt 10 Termine). Zusätzlich wurde noch eine Nullvariante (ohne Pflanzen) in 4-facher Wiederholung mit dem gleichen Aufbau in den Versuch integriert (s. Abb.1). Die Anordnung der Boxen wurde regelmäßig neu randomisiert, um Einflüsse von außen (z.B. Sonneneinstrahlung oder Schatten) auszugleichen.

Die Menge an Pflanzenmaterial pro Boxenfläche (0,24m<sup>2</sup>) entspricht der auf 0,24m<sup>2</sup> Fläche geernteten Biomasse, wobei genau darauf geachtet wurde, dass die in den Begrünungen vorhandenen Pflanzenarten mengenanteilmäßig in den Boxen repräsentiert sind. Pro Begrünungsvariante wurden 4 solcher Boxen aufgestellt. Zum methodischen Vergleich wurde von jeder Begrünungsvariante zusätzlich je eine Box aufgestellt, in der die Pflanzen stehend der Witterung ausgesetzt wurden.

An einer weiteren Probe pro Variante mit gleicher Artenzusammensetzung wurden zu Versuchsbeginn für die Feststellung der Anfangswerte die Trockenmasse, die Gehalte an C und N (im Elementaranalysator) sowie an Lignin und Cellulose gemessen. Dieselben Parameter wurden an den am 2. März in den Boxen verbliebenen Pflanzenresten analysiert, um so die gesamten Verluste über den Winter zu quantifizieren.

Zum Vergleich der Biomasse des Hauptversuchs mit der Biomasse der am Feld verbliebenen Begrünungen, wurden in denselben Varianten am 10.03.09 erneut 1,5 m<sup>2</sup> der am Feld verbliebenen Pflanzen geerntet. Diese Proben wurden getrocknet und wie die anderen Pflanzenproben auf ihre Gehalte an Gesamtstickstoff, Kohlenstoff, Cellulose, Hemicellulose und Lignin analysiert.

### Luftfeuchtigkeit und Temperatur:

Unmittelbar neben den Boxen mit den Versuchspflanzen wurden zwei Data Logger aufgestellt, um die bodennahe Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit in 2 Metern Höhe aufzunehmen.

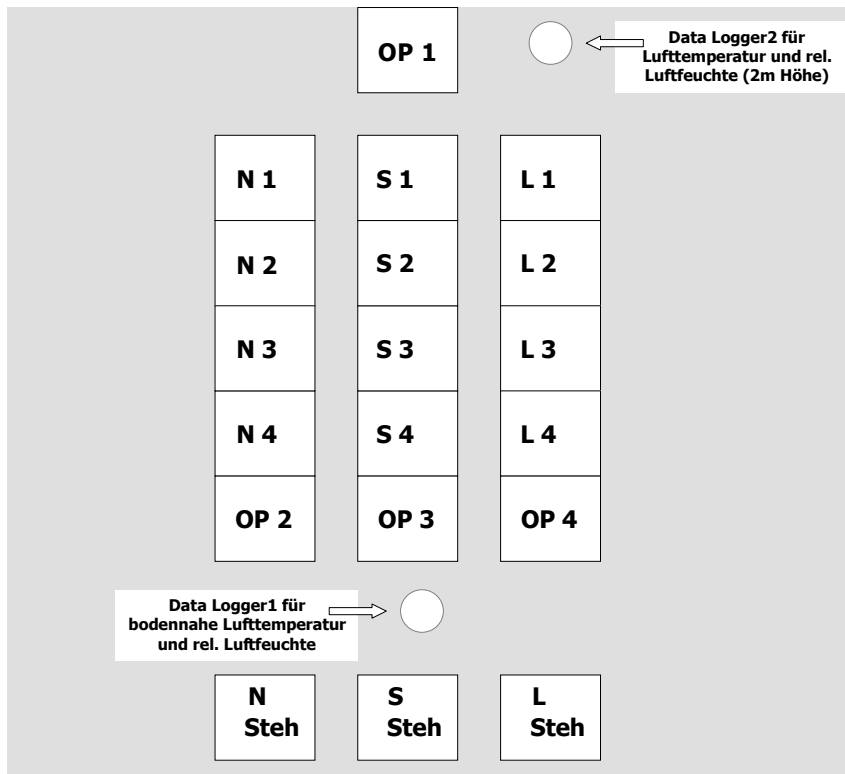


Abb. 1: Versuchsaufbau Ausgasung. N = Nichtleguminosenmischung, S = Senfmischung, L: Leguminosenmischung, OP: ohne Pflanzen, 1-4 = Wiederholungen, Steh = Stehende Pflanzen

## 4.1.2. Chemische Analysen

### 4.1.2.1. Auswaschungsflüssigkeit (Filtrat)

Insgesamt wurden an 10 Terminen Proben entnommen. Bei den ersten drei Terminen wurde jeweils eine Mischprobe genommen, die anschließend mit einem Papierfilter gefiltert wurde. Ab dem vierten Probenahmetermin wurde ein Rückstand beobachtet, welcher speziell beim 4. Termin separat mit 200 ml destilliertem Wasser entnommen wurde.

Für die ersten drei Probenahme- Termine wurde ein Zusatzversuch durchgeführt, um eine Kontamination mit Kohlenstoff durch die Papierfilter auszuschließen. Dies wurde mit der CFA-Methode durchgeführt.

Vier Proben wurden mithilfe eines Papierfilters und eines Glasfilters filtriert. Die jeweiligen Filtrate wurden gesammelt und mit der CFA-Methode analysiert. Eine Kontamination wurde ausgeschlossen. Bei den weiteren Probenahmeterminen wurde die Auswaschungsflüssigkeit (Flüssigkeit und Rückstand) als homogenisierte Mischprobe entnommen.

Die Proben der Auswaschungsflüssigkeit der Pflanzen wurden nach jeder Niederschlagsperiode mit Hilfe eines Stabmixers homogenisiert, gesammelt, abgemessen und mit einer Wasserstrahlpumpe abfiltriert.

Die Filtrierapparatur bestand aus einer Fritte mit eingearbeitetem, porösem Glas, welche auf einer Saugflasche mit einer Klammer fixiert wurde. An der Saugflasche wurde eine Wasserstrahlpumpe befestigt.



Abb. 2: Filtrierapparatur

In die Fritte wurde ein Glasfilter mit einem Porendurchmesser von  $0,7\mu\text{m}$  und einem Filterdurchmesser von  $47\text{mm}$  eingesetzt, welcher das unlösliche Material zurückhielt. Der so erhaltene Rückstand wurde in weiteren Schritten analysiert.



Dafür wurde ein Filter Eignungstest durchgeführt. Es wurden drei verschiedene Glasfilter mit verschiedenen Porendurchmessern, nämlich GFF (0,7  $\mu\text{m}$ ), GFC (1,2  $\mu\text{m}$ ) und A/D-Glasfilter (3  $\mu\text{m}$ ) herangezogen.

Jeweils 50 ml einer Auswaschungsflüssigkeit wurden mit den genannten Glasfiltern filtriert. Gemessen wurde dabei, welcher der getesteten Filter im Hinblick auf die benötigte Zeit und den erhaltenen Rückstand am effizientesten war.

Der gleiche Versuch wurde auch als Eignungstest für die Elementaranalyse durchgeführt. Dabei hat sich der Glasfilter GFF mit dem Durchmesser 0,7  $\mu\text{m}$  als am besten geeignet herausgestellt und wurde daher zukünftig verwendet.

Das gewonnene Filtrat wurde mit dem CFA (Continuous-Flow Analysis) Verfahren analysiert.

#### 4.1.2.2. *Continuous Flow Analysis (CFA)*

##### 4.1.2.2.1. *Messprinzip*

Die Continuous Flow Analysis („CFA“), welche mit dem CFA-Analysator Flow Sys (Fa. Alliance Instruments) durchgeführt wurde, ist ein nass-chemisches Analyseverfahren, in dem photometrisch-analytische Methoden in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden.

Der CFA-Analysator besteht aus folgenden Komponenten:

##### 1. Automatischer Probennehmer

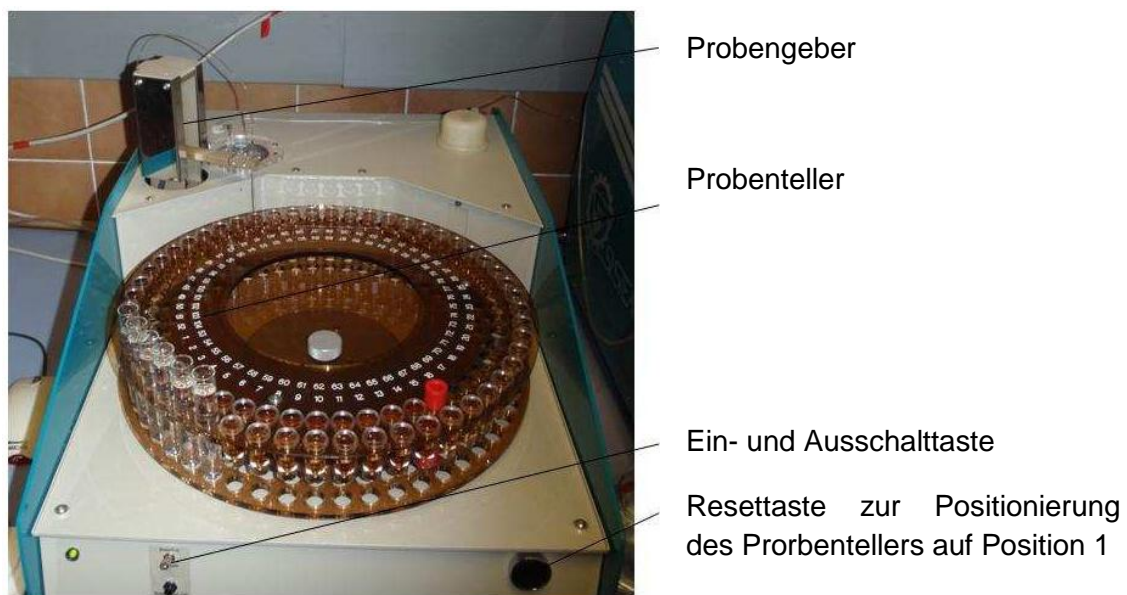


Abb. 3: CFA-Probennehmer

2. Vier Analytikkonsolen wie in Abb.4, bestehend aus
  - Ventile je Reagenz zur Umschaltung Reagenz  $\leftrightarrow$  Spülungswasser
  - Peristaltikpumpe mit 12 Positionen für Dosierschläuche
  - Methoden-Manifold zur Aufnahme der Injektoren, Mischspiralen, Heizbad, Dialysator.
  - Je Analytikkonsole ein eigenes Photometer mit Kaltlicht-Technik
  - LCD Kontrolldisplay für Photometersignal
  - Raum für die Unterbringung der Reagenzbehälter in der Konsole
3. Elektronik- und Versorgungseinheit
  - Flow-Data Elektronik zur Verarbeitung der kontinuierlichen Photometersignals von den Photometern, Datentransfer zur PC Software.
4. Systemsteuerungs- und Auswertungseinheit mit PC und Software



Abb. 4: Analytikkonsole

#### **4.1.2.2.2. Methodenablauf**

Flüssige Proben werden automatisiert angesaugt und anteilmäßig auf die 4 Analytikkonsolen, die für die Messung von DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), TN (Gesamter Gelöster Stickstoff),  $\text{NO}_3$  und  $\text{NH}_4$  zuständig sind, aufgeteilt. Dadurch wird ermöglicht, dass alle Bestimmungsmethoden gleichzeitig bei jeder Probe durchgeführt werden.

Zwischen die einzelnen Proben werden Stickstoffblasen eingefügt, um die Vermischung bzw. den Einfluss einer Probe auf eine andere Probe zu verhindern (Segmentierungs-Methode).

Probe, Stickstoff, Luft und Reagenzien werden durch 4 Peristaltikpumpen angetrieben. Die Aufschlusslösung wird dialysiert um störende Matrix abzutrennen. Die Photometer (Leuchtdioden) messen die Extinktion. Die Extinktionssignale werden von einem photoelektrischen Wandler in mVolt umgewandelt.

##### DOC (Disolved Organic Matter) Bestimmung:

Die Probe wird mit verdünnter Schwefelsäure angesäuert und der anorganische Kohlenstoff durch Ausblasen (sparging) mit Stickstoff-Gas entfernt.

Die organischen Verbindungen werden unter UV-Bestrahlung (Digester) mit dem Reagenz Peroxodisulfat oxidiert. Die Detektion der Farbabnahme des gepufferten Indikatorreagenz Phenolphthalein durch Kohlendioxid erfolgt bei 550 nm.

##### TN (Total Nitrogen)-Bestimmung:

Oxidation der  $\text{NH}_4^+$ -Ionen in leicht alkalischer Lösung (NaOH) unter UV-Bestrahlung (Digester) mit dem Reagenz Peroxidsulfat zu Nitrat. Reduktion von Nitrat mit HYDRAZIN (Hydraziniumsulfat, Kupfersulfat) zu Nitrit in alkalischer Lösung (NaOH).

Nitrit und Sulfanilamid in saurer Lösung (CITRAT) ergibt einen roten Diazofarbstoff. Die Messung der Extinktion (Zunahme) erfolgt zwischen 520 und 540 nm.

##### $\text{NH}_4$ -N-Bestimmung

$\text{NH}_4^+$  - Ionen bilden mit den Reagenzien Salicylat und DCI (freies Chlor) in alkalischer Lösung einen blauen Indophenolfarbstoff. Die Messung der Extinktionszunahme erfolgt bei 660 nm.

##### NOx-N-Bestimmung

Die Messung von Nitrat erfolgt wie bei der Messung bei T-N

Der Messbereich der 4 Analytikkonsolen bei den Auswaschungsproben wurde wie folgt eingestellt:

DOC-Messbereich: 1-10 mg/L

TN-Messbereich: 0,7-7 mg/L

NH<sub>4</sub>-Messbereich: 0,2-2 mg/L

NO<sub>3</sub>-Messbereich: 0,5-5 mg/L

#### **4.1.2.2.3. *Analysengenauigkeit***

Von jeder Probe wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. Ergebnisse der Doppelbestimmung, die eine maximale Streuung von 5% überschritten, wurden wiederholt

#### **4.1.2.3. *Filterproben-Rückstand und Pflanzenproben***

##### **Filterproben/ Rückstand :**

Der zurückgebliebene Rückstand wurde zusammen mit dem Filter über Nacht im Trockenschrank bei 90°C getrocknet.

Aus diesem Filter wurden in weiterer Folge 2 Scheibchen mit jeweils einem Radius  $r=10\text{mm}$  ausgestanzt.

##### **Pflanzenproben:**

Die Pflanzenproben (Versuchspflanzen und Vergleichsproben) wurden bei 80°C getrocknet, gemahlen und eine Masse von ca. 1,5 – 2 mg auf 0,001 g genau, mit Hilfe einer Mikrowaage abgewogen.

Diese Proben wurden in je eine Zinnkapsel hinein gefaltet und mit einem Elementar Analysator (EA, 1110, Carlo Erba Instruments, Mailand, Italien) analysiert.

#### **4.1.2.4. *Elementaranalyse***

##### **4.1.2.4.1. *Messprinzip***

Die Elementaranalyse ist die Bestimmung des Gehaltes verschiedener Elemente durch Verbrennung der Analysensubstanz. Dabei wird der prozentuale Anteil eines Elementes am Gesamtgewicht der Substanz bestimmt.

#### **4.1.2.4.2. Methodenablauf**

Die Zinnkapsel mit der Probe fällt in einen Ofen, in dem ein Überschuss an Sauerstoff vorliegt. Bei ca. 990 °C wird das Material "mineralisiert".

Mit Hilfe eines Wolfdramtrioxid-Katalysators wird eine vollständige Oxidation erreicht. Als Produkte entstehen hier CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und NO<sub>3</sub>.

Das Produktgas strömt anschließend über eine Kolonne mit Kupfergranulat. Hier wird der Restsauerstoff gebunden und Stickoxide werden zu Stickstoff reduziert. Die Gasmischung enthält dann die Analytgase CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und N<sub>2</sub>.

Als Trägergas für den Substanzstrom dient hochreines Helium. Nachdem die Gasmischung in einen definierten Druck/Volums-Zustand gebracht ist, wird der Gasstrom auf eine Chromatographiesäule geführt. Es werden Stufenkurven erhalten. Die Höhe der Stufen ist jeweils proportional der Substanzmenge im Gemisch. Nachweis und Quantifizierung der Produktgase erfolgen mit Hilfe eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors.

Zur Blindwertbestimmung werden leere Zinnkapseln eingesetzt.

#### **4.1.2.5. Lignin und Cellulose Bestimmung**

Die Ligninbestimmung nach van Soest (1963a, 1963b) erfolgte mit Hilfe eines Fibertec Systems der Firma Foss. Die Methodik der Bestimmung wurde nach dem VDLUFA-Methodenbuch (Naumann & Bassler, 2007), durchgeführt. Das Prinzip dieser Analyse beruht auf einer kombinierten Anwendung von Vakuum und Druck.

Proben, von denen nur eine geringe Menge vorhanden war, wurden zur Analyse an das Futtermittellabor Rosenau vergeben.



Abb. 5: Fibertec System

Die Analyse besteht aus drei Kochvorgängen:

#### **NDF (Neutral Detergentien Faser):**

1g der Probe wurde mit einer Neutralen Detergentien Lösung 1 Stunde lang gekocht, in diesem Kochvorgang wurden die Zellinhaltsstoffe (Kohlenhydrate, Rohproteine, Rohfette) gelöst.

Der zurück gebliebene Rückstand aus den Zellwänden, der in der Neutralen Detergentien Lösung nicht löslich ist, wurde gewaschen, bei 105°C getrocknet, ausgekühlt und abgewogen (=m1).

Anschließend wurde die Probe im Muffelofen bei 500°C etwa drei Stunden verascht. In weiterer Folge wurde die Asche ausgekühlt und abgewogen (=m2).

$$W_{NDF} = \frac{(m2 - m1) \cdot 100}{E} \%$$

m1 = Masse des Filtertiegels mit dem getrockneten Rückstand, m2 = Masse des Filtertiegels mit der veraschten Probe, E = Einwaage in g

#### **ADF (Säure Detergentien Faser):**

1g der Probe wurde mit einer Sauren Detergentien Lösung 1 Stunde gekocht, hier werden die Hemicellulosen gelöst.

Der unlösliche Rückstand wurde im Filtertiegel gewaschen, bei 105°C getrocknet, ausgekühlt und abgewogen (=m1).

Anschließend wurde die Probe im Muffelofen bei 500°C etwa drei Stunden verascht, danach die Asche ausgekühlt und abgewogen (=m2).

$$W_{ADF} = \frac{(m2 - m1) \cdot 100}{E} \%$$

m1 = Masse des Filtertiegels mit dem getrockneten Rückstand

m2 = Masse des Filtertiegels mit der veraschten Probe

E = Einwaage in g

**ADL (Säure Detergentien Lignin) = Ligningehalt**

Hier wird der ADF Kochvorgang wiederholt - abgesehen von der Veraschung.

Anschließend wird die Probe mit einer 72%iger Schwefelsäure 3Stunden behandelt, danach wird abgesaugt, gewaschen, bei 105°C getrocknet, ausgekühlt und abgewogen (=m3)

Anschließend wird die Probe im Muffelofen bei 500°C ca. 3 Stunden verascht, danach ausgekühlt und abgewogen (=m4)

$$W_{ADL} = \frac{(m3 - m4) \cdot 100}{E} \%$$

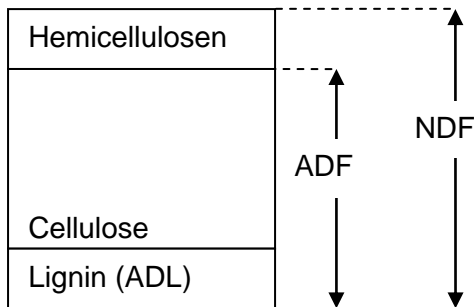
M3 = Masse des Filtertiegels mit dem getrockneten Rückstand, M4 = Masse des Filtertiegels mit der veraschten Probe, E = Einwaage in g

Die Gehalte an Hemicellulose und Rohcellulose werden wie folgt berechnet:

NDF – ADF =Hemicellulose

ADF – Rohlignin = Rohcellulose

Zur Veranschaulichung:



**4.1.3. Humusbilanzierung**

Für die Humusbilanzierung wurde die ROS- (Reproduktionswirksame Organische Substanz) Humusbilanzmethode nach AUTORENKOLLEKTIV (1977) angewendet. Die Methode ergibt Bilanzsaldi in der Einheit ‚Tonnen Stallung-Trockenmasse-Äquivalent‘. Diese wurden nach folgender Formel umgerechnet (VDLUFA, 2004):

$$t \text{ Stallung-Trockenmasse-Äquivalent} \times 200 = \text{kg Humus-C}$$

Mit Hilfe dieser Methode wurde der Beitrag jeder der Versuchs-Begrünungsvarianten ‚Leguminosenmischung‘, ‚Leguminosenfreie Mischung‘ und ‚Senfmischung‘ für den Humusaufbau errechnet.

Für jede der drei Begrünungsvarianten wurden zwei Terminvarianten berechnet:

- Einarbeitung im Herbst gerechnet mit der am 27. 10. am Feld vorhandenen Biomasse
- Einarbeitung im Frühjahr a) gerechnet mit der am 10. 3. am Feld vorhandenen Biomasse  
b) gerechnet mit der am 4. 3. im Hauptversuch vorhandenen Biomasse

Weiters wurde auch die Humusbilanz der vorhergehenden Fruchtfolge auf dem Versuchsfeld (Hirse – Winterweizen - Kartoffel – Winterweizen) errechnet.

Um die Wirkung von Begrünungen auf die Humusbilanz zu zeigen, wurde die Humusbilanz für zwei Biolandbau-typische Fruchtfolgen (nach Freyer, 2003) errechnet. Die 4-jährige Fruchtfolge umfaßte Klee gras – Weizen – Weizen – Frühkartoffel+Klee grasaussaat, die 7-jährige Fruchtfolge umfaßte Klee gras – Silomais – Dinkel oder Roggen – Hafer – Ölkürbis – Körnerleguminosen - Sommergerste+Klee grasuntersaat. Zum Vergleich wurde in einer zweiten Berechnung diesen Fruchtfolgen zweimal, jeweils nach Getreide, eine Begrünung (mit der höchsten im vorliegenden Versuch erzielten Biomasse) hinzugefügt.

## **4.2. Zusatzversuche:**

### **4.2.1. Stehende Pflanzen**

Wie im Kapitel Versuchsanlage erwähnt, wurde von jeder Begrünungsvariante zusätzlich je eine Box aufgestellt, in der die Pflanzen aufrecht den Witterungen ausgesetzt wurden.

Dieser Versuch wurde als methodischer Vergleich zum Hauptversuch angesetzt, in dem die Pflanzen liegend der Witterung ausgesetzt wurden.

### **4.2.2. Regentropfen aufprall /Herbst 2009**

dieser Zusatzversuch wurde angesetzt, da in den Versuchsboxen unterschiedliche Niederschlagsmengen festgestellt wurden.

Es wurden gleich der im Kapitel 3.1.1 vorgestellten Versuchsaufstellung zwei Boxen aufgestellt, eine ohne pflanzliche Biomasse und eine mit der Versuchsvariante Leguminosenmischung.



Diese wurden vor einem erwarteten Niederschlagsereignis aufgestellt und anschließend wurden die Niederschlagsmengen in den Boxen gemessen.

#### **4.2.3. *Niederschlags Interzeption und Aufnahme durch Pflanzen / Herbst 2009***

Drei Proben der Versuchsvariante Leguminosenmischung wurden zunächst eingefroren und anschließend luftgetrocknet. Diese wurden gleich der Versuchsaufstellung des Hauptversuches (s. Kapitel 3.1.1) in Kunststoffboxen gelegt.

Nach 5-fach wiederholtem Simulieren eines Niederschlages (je 1,05l/Gefäß) wurden jedesmal die Pflanzen abgewogen und das durchgeflossene Wasser aufgefangen und abgemessen. Die Zeit zwischen den simulierten Niederschlagsereignissen betrug jeweils eine Stunde.

#### **4.2.4. *Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen/Herbst 2009***

Im Herbst 2009 wurden Gefäße mit und ohne Begrünungspflanzenbiomasse (Leguminosenmischung) jeweils mit und ohne permanente Desinfektion (Kupferdraht) aufgestellt.

Ziele dieses Versuchs waren:

- Der Einfluss des Biofilms auf die durch die CFA Methode, gemessenen Parameter (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, TN, DOC).
- Den Einfluss des Biofilms auf die im Filtrerrückstand mit Hilfe des Elementar Analysator gemessenen Parameter (C, N).
- Übereinstimmung der Ergebnisse dieses Versuchs (der Leguminosen Mischung) mit den Ergebnissen des Hauptversuchs dieser Variante bezüglich: Abbau der Begrünungsbiomasse, Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff, errechnete gasförmige Verluste an Kohlenstoff und Stickstoff.

Folgende Varianten wurden verwendet:

Variante A: mit Pflanze und mit Kupferdraht

Variante B: mit Pflanze ohne Kupferdraht

Variante C: ohne Pflanze ohne Kupferdraht

Die Versuchsaufstellung war gleich wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, jedoch mit drei Wiederholungen. Nach jeder Niederschlagsperiode wurden die Gefäße mit der Auswaschungsflüssigkeit gleich der Versuchsdurchführung im Kapitel 3.1.1. behandelt.

### ***4.3. Statistische Auswertung***

Die Daten wurden einer statistischen Auswertung mittels einfacher Varianzanalyse unterzogen. Als Testverfahren für die anschließenden multiplen Mittelwertvergleiche wurde der Tukey-Test angewendet (Weber 1980). Die Varianzhomogenität wurde mittels Levene`s-Test geprüft. Ausreißer nach Sachs (1992) wurden vor der Berechnung eliminiert. Im Fall von fehlender Varianzhomogenität wurden die Mittelwertvergleiche mit Dunnett`s C-Test, der keine Varianzhomogenität voraussetzt, durchgeführt.

Die statistische Verrechnung des Zusatzversuchs „Biofilmeinfluss“ wurde mit Hilfe des *t*-Tests durchgeführt.

Alle statistischen Berechnungen wurden mit dem Programmpaket SPSS 17.01 vorgenommen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für als signifikant bezeichnete Unterschiede ist  $p \leq 0,05$ .

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Auswaschung

Die Gesamt-Auswaschungsmengen setzen sich einerseits aus den Kohlenstoff- und Stickstoffmengen des Filtrats und andererseits aus den Kohlenstoff- und Stickstoffmengen des Rückstandes zusammen.

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse des Filtrats (DOC, TN, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>), dann jene des Rückstandes (C und N) und schließlich die Summe der Auswaschungsmengen (Gesamt Kohlenstoff und Gesamt Stickstoff) angeführt.

Die Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff im Niederschlag der Nullvariante (Gefäße ohne pflanzliche Biomasse, vier Wiederholungen) wurden von den Auswaschungsmengen an C und N (Filtrat, Rückstand, Summe der Auswaschung) der Versuchsvarianten mit Pflanzenmaterial abgezogen. Der Stickstoff-Gehalt ergab vergleichbare Werte wie die Nasse- Stickstoff -Depositionsmessungen von Leder & Puxbaum (2003).

#### 5.1.1. Auswaschungsflüssigkeit

In den folgenden Abbildungen (*Abb. 6, 7, 8, 9*) werden zunächst die in der Auswaschungsflüssigkeit mittels CFA- Analyse gemessenen N- und C- Mengen dargestellt. Diese sind bezogen auf die Biomasseerträge, die auf dem Versuchsfeld in Altenmarkt gemessen wurden, angegeben in kg/ha.

Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Auswaschung von gelöstem Kohlenstoff in kg/ha. Alle drei Versuchsvarianten haben einen relativ hohen Auswaschungswert zum ersten Probenahmetermin (10.11.08).

Die Versuchsvariante Senf besitzt im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten überwiegend die niedrigsten Kohlenstoff-Auswaschungswerte. Der Grund für die geringen Auswaschungsmengen liegt an der niedrigeren Biomassemenge (kg/ha) der Senfparzelle am Feld.

Besonders hohe Auswaschungswerte von den Versuchsvarianten Leguminosen und Leguminosenfreie Mischung bei den Terminen 10.11.08 und 05.12.08 sind zu beobachten, die übrigen Termine haben einen ähnlichen Verlauf.

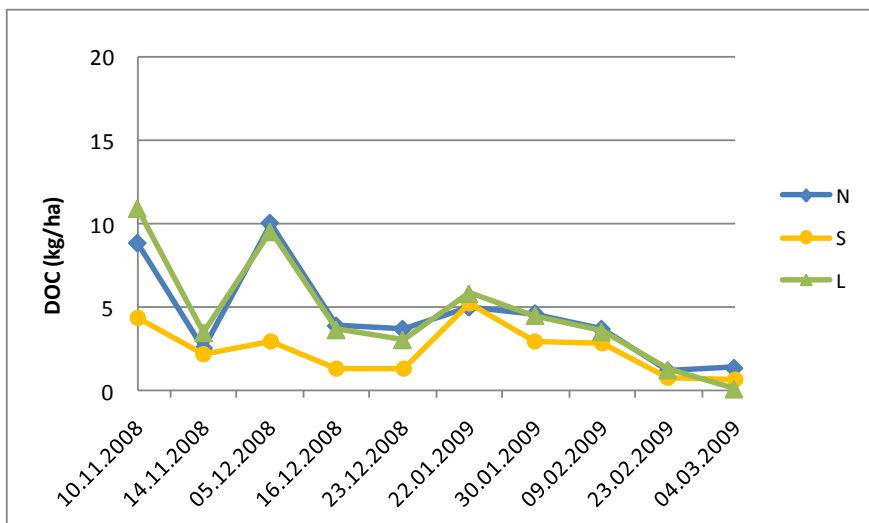


Abb. 6: Gesamtmenge an löslichem Kohlenstoff (DOC: Dissolved Organic Carbon)(kg/ha) in der Auswaschungsflüssigkeit während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

Den gesamten gelösten Stickstoff in der Auswaschungsflüssigkeit während der zehn Probenahmeterminen zeigt Abb. 7. Die Versuchsvarianten haben einen relativ ähnlichen Auswaschungsverlauf während der zehn Probenahmeterminen. Mit Ausnahme von den Terminen 22.01.09 und 23.02.09 weist die Versuchsvariante Leguminosenfreie Mischung höhere Kohlenstoff-Auswaschungswerte auf, als die Varianten Senf- und Leguminosenmischung. Die Versuchsvariante Senf zeigt im Laufe des Versuchs überwiegend die niedrigsten Kohlenstoff-Auswaschungswerte.

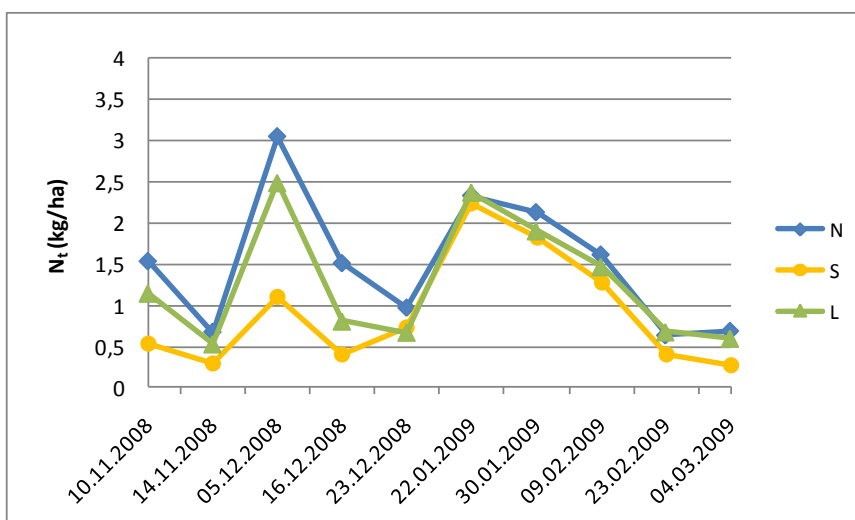


Abb. 7: Gesamtmenge an löslichem Stickstoff in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

Die Abb. 8 stellt den Verlauf von  $\text{NH}_4$  in kg/ha während der zehn Probenahmeterminen dar. Während die Versuchsvarianten Leguminosenmischung und leguminosenfreie Mischung einen sehr ähnlichen Verlauf zeigen, weicht jener des Senfs deutlich davon ab. Dieser weist überwiegend geringe  $\text{NH}_4$ -Auswaschungswerte auf.

Die Probenahmeterminen (5.12.08, 22.01.09, 30.01.09, 09.02.09) weisen eine erhöhte Stickstoffauswaschung auf, mögliche Zusammenhänge mit der Witterungslage werden im Kapitel 4.1.4 besprochen.

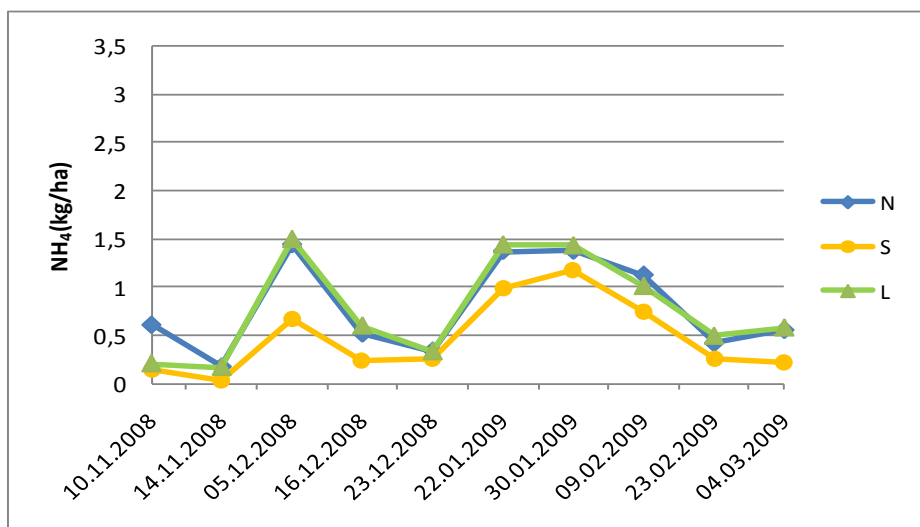


Abb. 8: Ammonium-Gehalt in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senf-Mischung, L: Leguminosen-Mischung.

Der Verlauf der Auswaschung in Form von  $\text{NO}_3$  (kg/ha) ist in Abb. 9 ersichtlich. Die Versuchsvariante leguminosenfreie Mischung zeigt am Probenahmetermin 05.12.08 verglichen mit den anderen Versuchsvarianten einen höheren  $\text{NO}_3$ -Auswaschungswert.

Im Gegensatz dazu weist die Versuchsvariante Senf beim Probenahmetermin 22.01.09 einen höheren  $\text{NO}_3$ -Auswaschungswert als die anderen Versuchsvarianten auf.

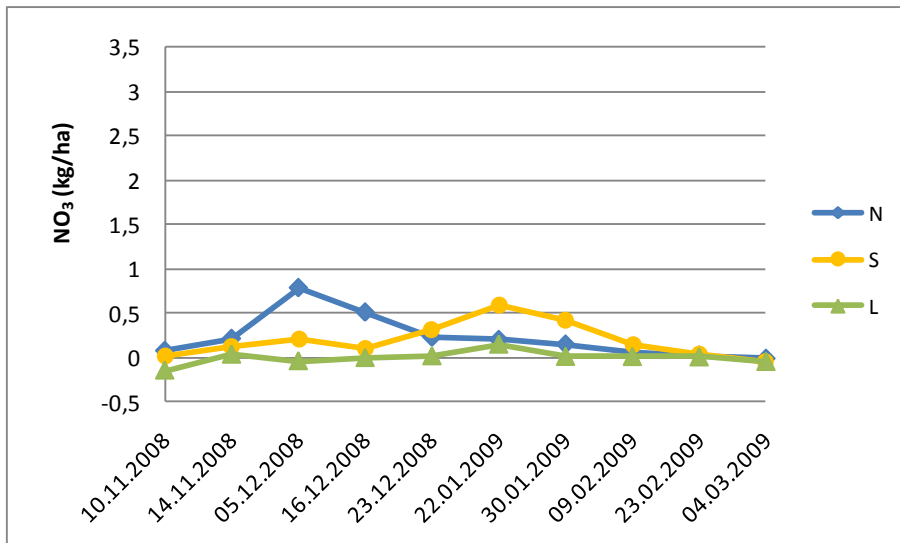


Abb. 9: Nitrat-Gehalt in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

### 5.1.2. Rückstand/Schwebstoffe

Die gewonnenen Proben mit dem Rückstand wurden auf Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Kohlenstoff analysiert. Folgende Abbildungen zeigen deren Stickstoff-, Kohlenstoffgehalte (kg/ha).

In der Abb. 10 zeigen die drei Versuchsvarianten einen relativ ähnlichen Verlauf. Die Versuchsvariante Senf zeigt geringere N-Gehalte im Rückstand, als die anderen Versuchsvarianten. Im Zeitfenster zwischen 30.01.09 und 09.02.09, haben alle Versuchsvariante höhere Gesamtstickstoff-Auswaschungswerte als bei den anderen Probenahmeterminen. Der Kohlenstoff (Abb. 11) weist bei den drei Versuchsvarianten einen dem Stickstoff sehr ähnlichen Verlauf auf.

Beim Vergleich der Abbildungen (10, 11) mit jenen der CFA-Analysenergebnisse im vorherigen Kapitel (Abb. 6, 7), zeigt die Senfmischung die niedrigsten Kohlenstoff- und Stickstoff-Auswaschungswerte. In den Rückstand/Schwebstoffproben zeigen die Versuchsvarianten höhere Auswaschungswerte an Kohlenstoff als die Auswaschungsflüssigkeitsproben.

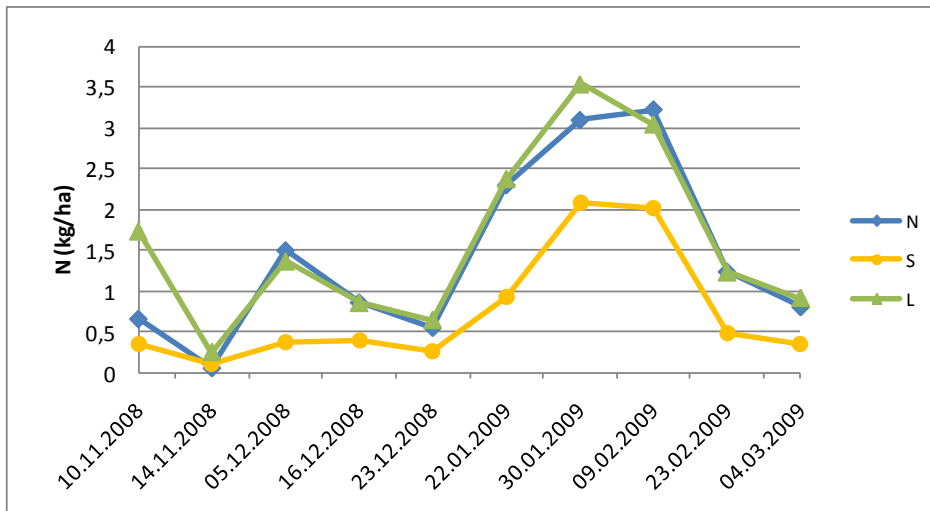


Abb. 10: Gesamt-Stickstoff (kg/ha) im Rückstand (Schwebstoff-Anteil) der Auswaschungsflüssigkeit, während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosen freie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

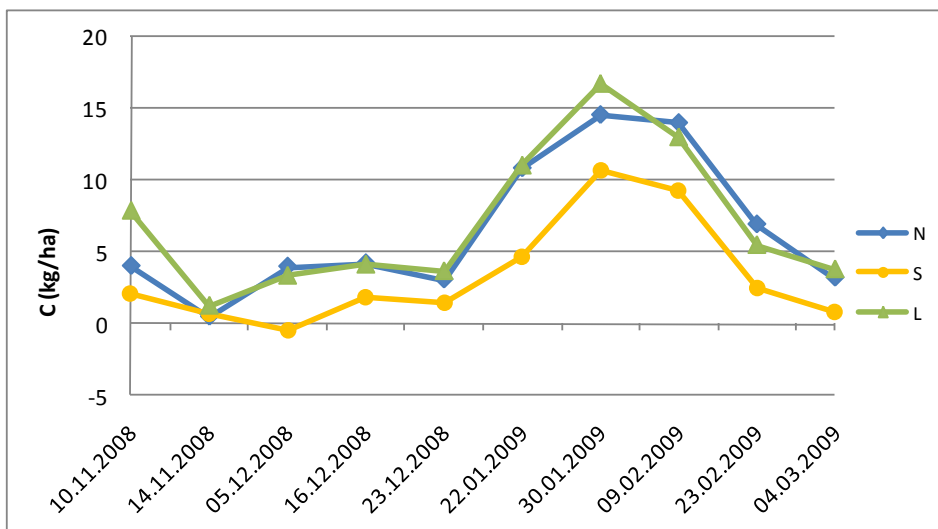


Abb. 11: Gesamt-Kohlenstoff (kg/ha) im Rückstand (Schwebstoff-Anteil) der Auswaschungsflüssigkeit, während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

### 5.1.3. Summe der Auswaschung von C und N

#### 5.1.3.1. bezogen auf die Fläche

Die Summe der Auswaschung setzt sich aus dem Auswaschungsergebnissen der Auswaschungsflüssigkeit und dem gefilterten Rückstand (Schwebstoffe) der Auswaschungsproben zusammen. In den folgenden Abbildungen (Abb. 12 und Abb. 13) wird der Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Kohlenstoff bezogen auf die Fläche (kg/ha) dargestellt. Die unterschiedlichen Biomasseerträge der einzelnen Versuchsvarianten auf dem Versuchsfeld in Altenmarkt beeinflussen daher die in kg/ha angegebenen Auswaschungsmengen. In den einzelnen Beprobungsintervallen (Abb.12) werden im Versuchsverlauf zwischen 0 und 5 kg/ha Stickstoff aus den Pflanzen Richtung Boden ausgewaschen.

Die Senfmischung zeigt verglichen zu den anderen Versuchsvarianten die geringste Stickstoffauswaschung, was auf deren geringere Biomasse zurückzuführen ist.

Wie in *Tab.1* ersichtlich, wies die Variante Senfmischung an den Terminen 10.11.2008, 14. 11. 2008, 05.12.2008, 16. 12. 2008, 22.01.2009 und 4. 3. 2009 signifikant geringere Stickstoff-Auswaschung auf, als die beiden anderen Begrünungsvarianten.

In der *Abb. 13* ist der Kohlenstoff-Auswaschungsverlauf der drei Versuchsvarianten ersichtlich, dieser Verlauf ist ähnlich dem Stickstoff-Auswaschungsverlauf (s. *Abb.12*). Die Versuchsvariante Senfmischung wies bei den Terminen 10.11.2008, 05.12.2008, 16.12.2008 und 22.01.2009 eine signifikant geringere Auswaschung von Kohlenstoff auf, als die Versuchsvarianten Leguminosen und leguminosenfreie Mischung. Bei den Terminen 30.01.2009 und 09.02.2009 unterschieden sich die Versuchsvarianten untereinander nicht signifikant, dies ist in *Tab. 2* ersichtlich.

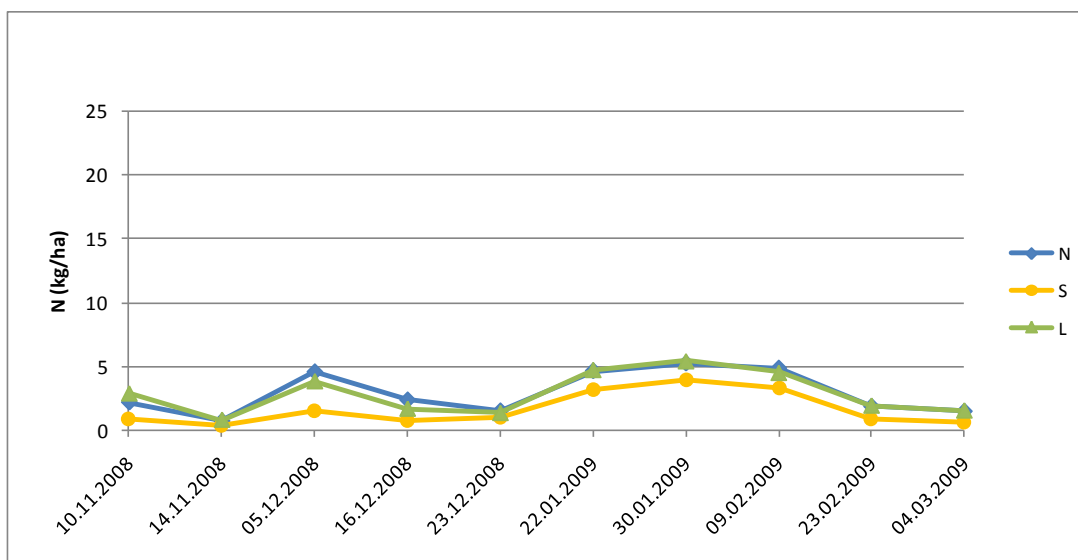




Abb. 12: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Stickstoff (kg/ha), während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

| Termin     | Nicht Leguminosen | Senf   | Leguminosen |
|------------|-------------------|--------|-------------|
| 10.11.2008 | 2,2 b             | 0,89 a | 2,88 b      |
| 14.11.2008 | 0,74 b            | 0,39 a | 0,79 b      |
| 05.12.2008 | 4,55 b            | 1,46 a | 3,86 b      |
| 16.12.2008 | 2,37 b            | 0,8 a  | 1,67 a      |
| 23.12.2008 | 1,52 a            | 1,01 a | 1,32 a      |
| 22.01.2009 | 4,63 b            | 3,16 a | 4,75 b      |
| 30.01.2009 | 5,23 a            | 3,9 a  | 5,45 a      |
| 09.02.2009 | 4,84 a            | 3,28 a | 4,52 a      |
| 23.02.2009 | 1,88 a            | 0,9 a  | 1,91 a      |
| 04.03.2009 | 1,5 b             | 0,63 a | 1,52 b      |

Tab. 1: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Stickstoff (kg/ha.) während des Versuchverlaufs. Werte desselben Termins, die mit dem gleichen Buchstaben bezeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

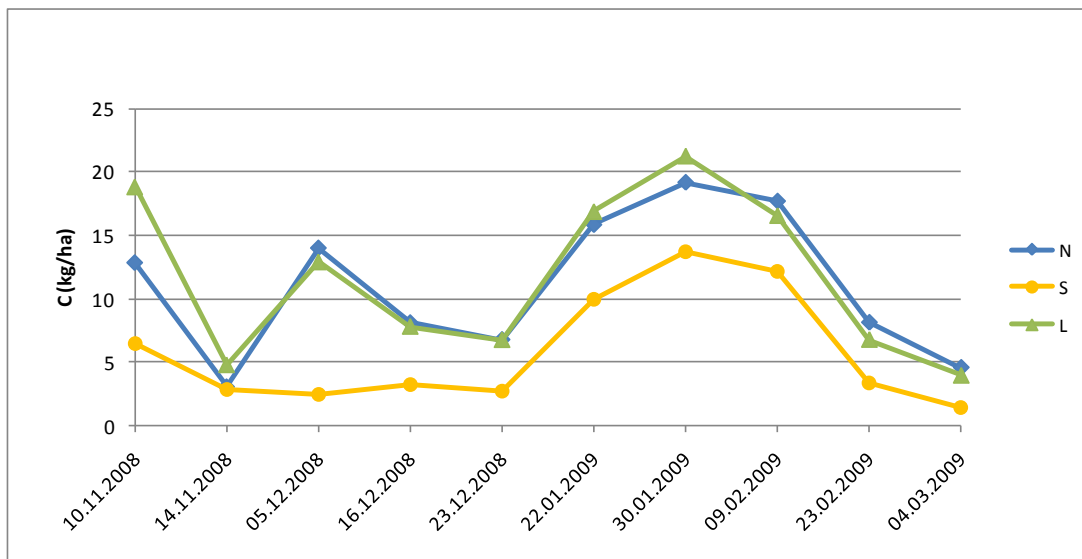


Abb. 13: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Kohlenstoff (kg/ha), während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.

| Termin     | Nicht Leguminosen | Senf   | Leguminosen |
|------------|-------------------|--------|-------------|
| 10.11.2008 | 12,9 b            | 6,51 a | 18,8 c      |
| 14.11.2008 | 3,07 a            | 2,86 a | 4,8 b       |
| 05.12.2008 | 14 b              | 2,43 a | 12,9 b      |
| 16.12.2008 | 8,13 b            | 3,23 a | 7,83 b      |
| 23.12.2008 | 6,8 b             | 2,77 a | 6,78 ab     |
| 22.01.2009 | 15,9 b            | 9,96 a | 16,9 b      |
| 30.01.2009 | 19,2 a            | 13,7 a | 21,3 a      |
| 09.02.2009 | 17,7 a            | 12,2 a | 16,6 a      |
| 23.02.2009 | 8,16 b            | 3,38 a | 6,8 ab      |
| 04.03.2009 | 4,6 b             | 1,47 a | 3,97 ab     |

Tab. 2: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Kohlenstoff (kg/ha,) während des Versuchsverlaufs. Werte desselben Termins, die mit dem gleichen Buchstaben bezeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

### 5.1.3.2. bezogen auf die Biomasse

Im Gegensatz zu den Abbildungen im vorherigen Kapitel wurden für die folgenden Abbildungen die Auswaschungsdaten auf Gramm ausgewaschene Substanz pro Tonne Anfangsbiomasse standardisiert, sodass die drei Begrünungsvarianten von der Ertragshöhe unabhängig verglichen werden können.

Die Summe der Auswaschung von Stickstoff wie in *Abb. 14* ersichtlich, zeigt bei den einzelnen Beprobungsintervallen Auswaschungsmengen von 0 bis 400 g/t. Im Vergleich zur *Abb. 12* erbrachte die Senfmischung bei den ersten fünf Terminen Stickstoff-Auswaschungswerte zwischen 0 und 100 g/t, während bei den Terminen 22.01.2009, 30.01.2009, 09.02.2009 die Ergebnisse bei Senf ähnlich den der anderen Versuchsvarianten im Bereich von 300 bis 400 g/t liegen.

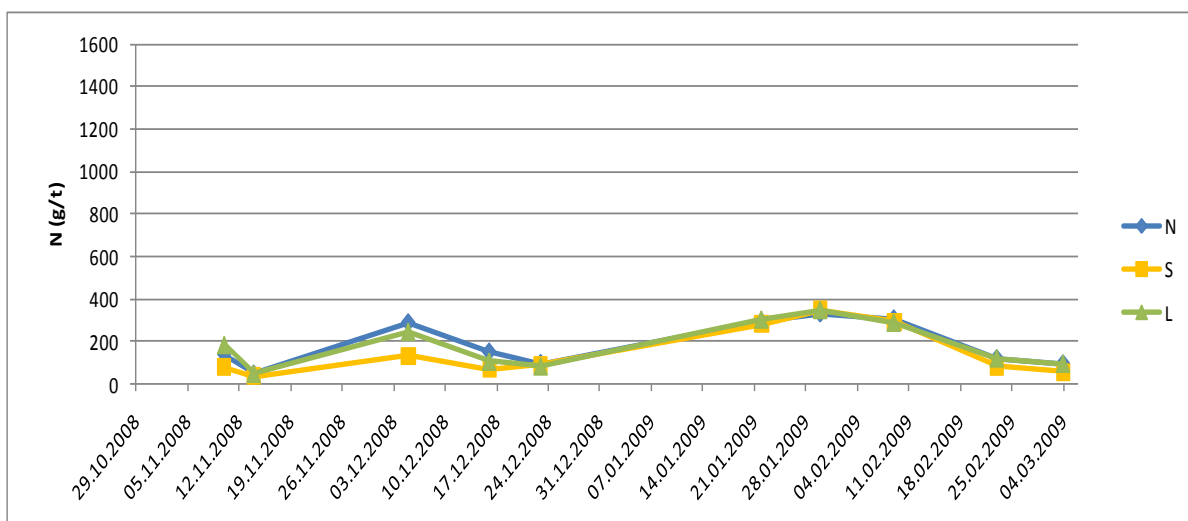
Die *Abb. 15* weist bei den Terminen 10.11.2008, 05.12.2008, 22.01.2009, 30.01.2009, 09.02.2009 hohe Kohlenstoff-Auswaschungswerte auf. Im Vergleich zur *Abb. 13* verlaufen in beiden Abbildungen die Ergebnisse der Versuchsvarianten Leguminosen und Nichtleguminosen sehr ähnlich. Im Dezember zeigt die Senfmischung niedrigere Werte, die sich ab dem 21.01.2009 in *Abb. 15* den Ergebnissen der anderen Versuchsmischungen annähern.

Zwischen den Zeiträumen 14.11.2008 bis 16.12.2008 und 22.01.2008 bis 23.02.1009 zeigen die Abbildungen 14 und 15 hohe Stickstoff- und Kohlenstoff-Auswaschungen. Dies hängt mit der in Bodennähe gemessenen Temperatur (*Abb. 16*) und den Niederschlagsmengen (*Abb. 17*) zusammen. Im Zeitraum zwischen dem 14.11.2008 und dem 3.12.2008 führen regelmäßiger Frost und stark schwankende Temperaturen zu hohen Kohlenstoff- und

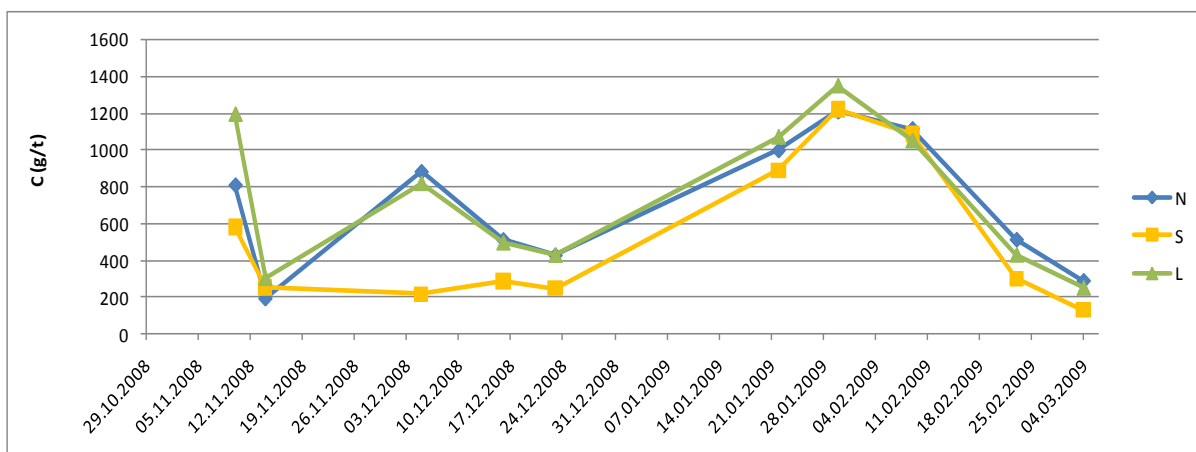
Stickstoff-Auswaschungswerten. Die höchsten Stickstoff- und Kohlenstoff-Auswaschungen können ab dem 22.01.2008, kurz nach der Erwärmung nach dem Ende einer längeren Frostperiode beobachtet werden.

Die hohen Niederschlagsmengen spielen ebenfalls eine große Rolle, Diese sind in *Abb. 17* ersichtlich, am 05.12.2008 und am 23.02.2009 gab es die höchsten Niederschlagsmengen diese betragen 33 und 25 mm Niederschlag.

Die aus diesen Daten errechneten monatlichen Niederschlagssummen betragen 18 mm für November 2008, 60 mm für Dezember 2008, 31 mm für Jänner 2009, und 45 mm für Februar 2009. Da die Entleerung der Versuchsboxen jeweils nach Bedarf nach Regenfällen erfolgte, lassen sich die Monate nicht ganz exakt voneinander abgrenzen.



*Abb. 14: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Stickstoff (g/t), während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.*



*Abb. 15: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Kohlenstoff (g/t), während des Versuchverlaufs, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung, L: Leguminosenmischung.*

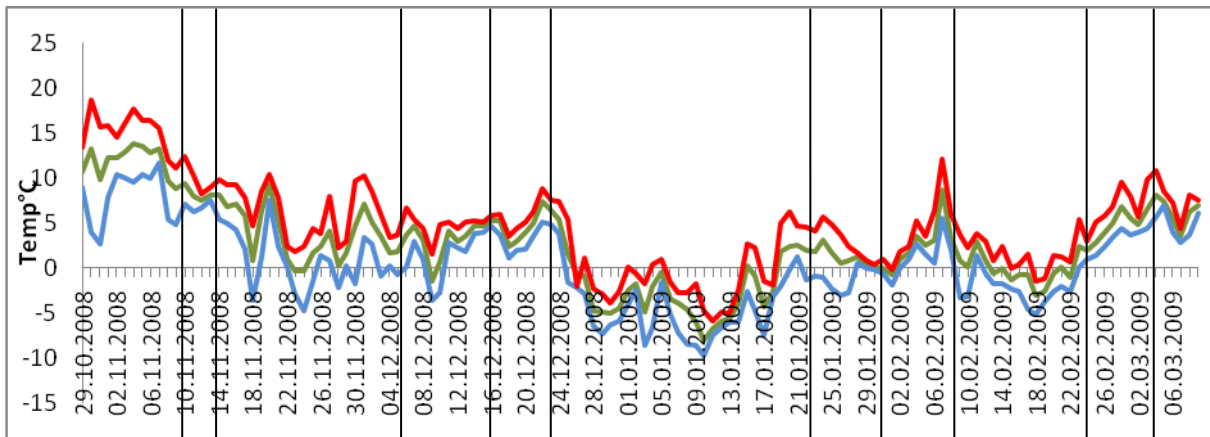


Abb. 16: Temperaturkurve für bodennahe Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) während des Versuchsverlaufs, schwarze Striche quer durch die Abbildung stellen die zehn Probenahmeterminale dar. Der roten Kurve entspricht die maximale Temperatur, der blauen Kurve entspricht die minimale Temperatur und der grünen Kurve entspricht die absolute Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

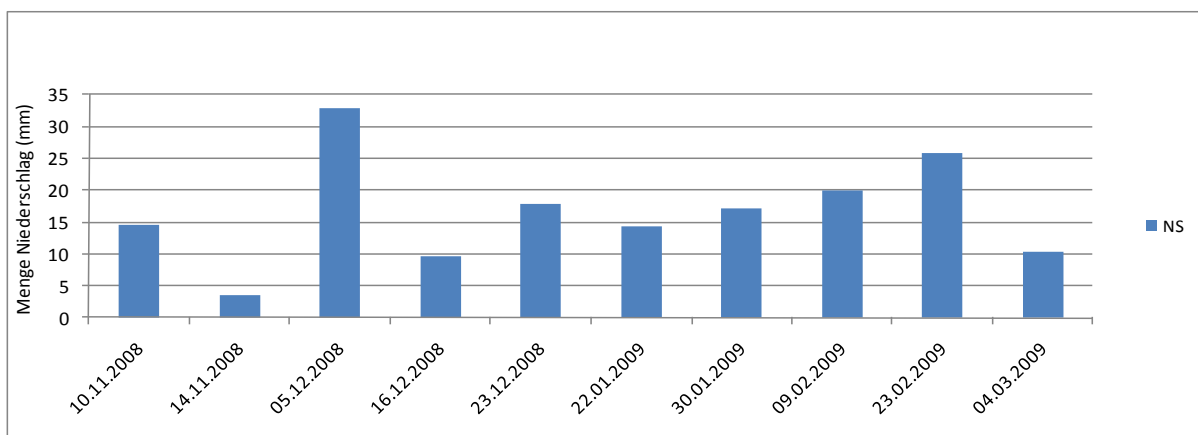


Abbildung 17: Niederschlagsmengen im Verlauf des Versuchs (mm)

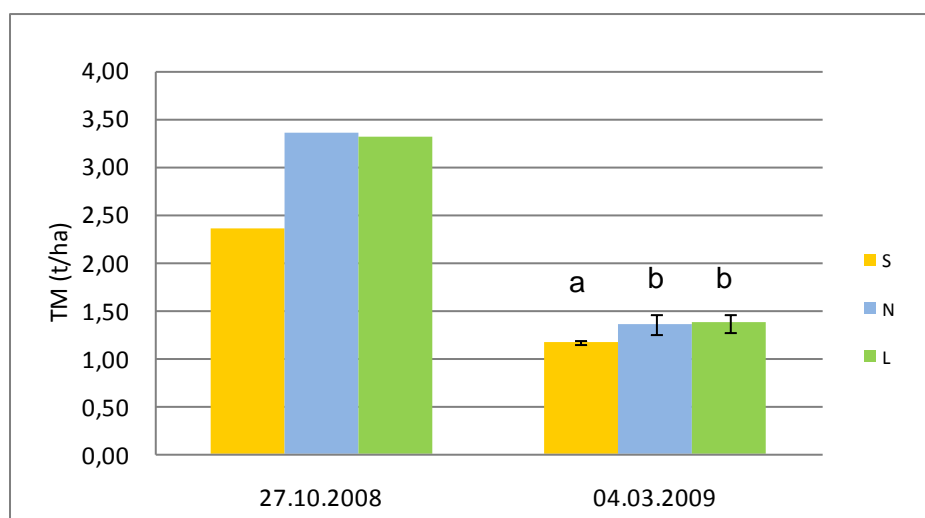
## 5.2. Begrünungsbiomasse

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Begrünungsproben (Versuchsproben 27.10.2008, 04.03.2009 und die Vergleichsprobe welche am 10.03.2009 auf dem Versuchsfeld in Altenmarkt geerntet worden ist) hinsichtlich der Biomasse (TM, t/ha), Kohlenstoff (kg/ha) und Stickstoff (kg/ha) verglichen.

### 5.2.1. Biomasse

In der *Abb. 18* sind die im Versuch aufgebrauchten Biomassemengen sowie die Biomasse zu Versuchsende angeführt. Die *Abb. 18* zeigt die Trockenmasse (t/ha) der Versuchsproben der zwei Termine. Bei den Versuchsvarianten Leguminosen- und Leguminosenfreie Mischung werden um 59% der Anfangsbiomasse abgebaut, während bei der Variante Senfmischung 51% der Anfangsbiomasse abgebaut wurde.

Aus der statistischen Auswertung der Trockenmasse am Versuchsende ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Senfmischung und den weiteren Versuchsvarianten (Leguminosen und Leguminosenfreie Mischung).

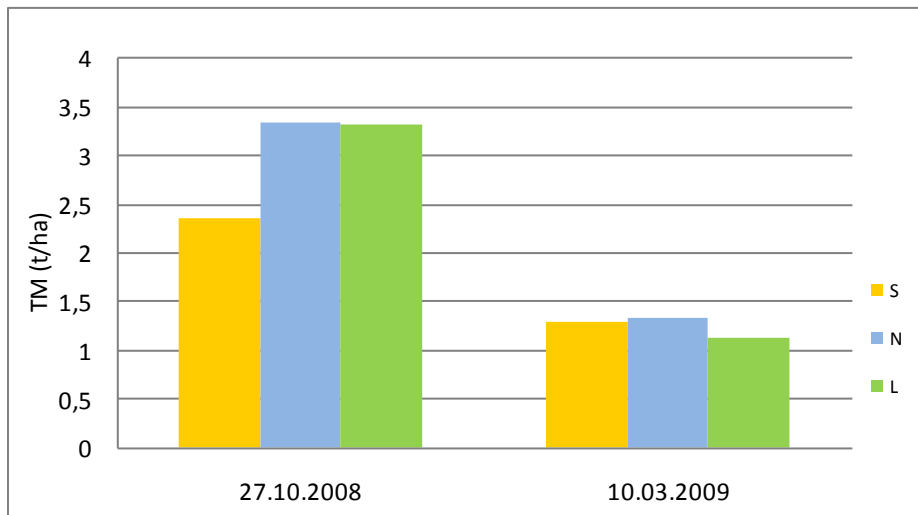


*Abb. 18: Biomasse (TM: Trockenmasse) ( t/ha) der Versuchsproben am 27.10.08 (n=1) im Vergleich mit den Versuchsproben am Ende des Hauptversuches am 04.03.09 (n=4) , S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung*

In der *Abb. 19* ist die Trockenmasse der Versuchsprobe zu Beginn des Hauptversuches, im Vergleich zur Trockenmasse der Vergleichsprobe die am 10.03.2009 am Feld geerntet wurde, ersichtlich. Am Feld verlor die Versuchsvariante Senfmischung mit 46% am geringsten Biomasse, während die Versuchsvariante Leguminosenfreie Mischung mit 60%

und am stärksten die Leguminosenmischung mit 66% der Anfangsbiomasse abgenommen haben.

Die Vergleichsproben vom Feld weisen eine geringere Biomasse auf, als die Proben vom Ende des Hauptversuchs, obwohl sie zum annähernd gleichen Zeitpunkt genommen worden waren, diese sind in *Abb. 18* und *Abb. 19* ersichtlich.



*Abb. 19: Biomasse (TM: Trockenmasse) (t/ha) der Versuchsprobe am 27.10.08 (n=1) im Vergleich mit der Vergleichsprobe am 10.03.09 (n=1) vom Feld in (t/ha), S: Senfmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung.*

### 5.2.2. Gesamt-Kohlenstoff

Die *Abb. 20* zeigt den Gehalt an Kohlenstoff (kg/ha) der Versuchspflanzen von 27.10.08 und 04.03.09. Die Abnahme des Kohlenstoffgehalts verläuft ähnlich mit dem Verlauf der Trockenmasse der Begrünungsbiomasse, bei der Senfmischung nimmt der Kohlenstoff-Gehalt um 48% ab, während er bei der Leguminosen und der leguminosenfreien Mischung um 56% der Anfangsprobe abnimmt.

Am Ende des Hauptversuches war der Gesamt Kohlenstoff-Gehalt der Senfmischung signifikant geringer als der der Leguminosenmischung, jener der Nichtleguminosenmischung lag in der Mitte.

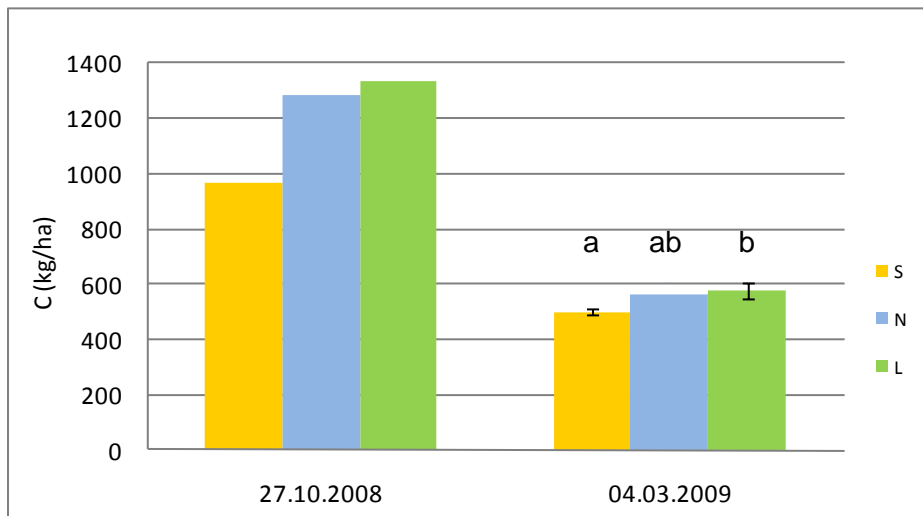


Abb. 20: Vergleich des Kohlenstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchsproben zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 ( $n=1$ ) und zu Versuchsende am 04.03.2009 ( $n=4$ ), S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

In weiterer Folge wird der Kohlenstoffgehalt (kg/ha), in Abb. 21 der Versuchsprobe am 27.10.08 mit der Vergleichsprobe vom Feld am 10.03.09 verglichen. Die Abnahme des Kohlenstoffgehaltes dieser Proben ist der Abnahme der Trockenmasse der Begrünungsbiomasse ähnlich.

Der Kohlenstoffgehalt der Versuchsvariante Senfmischung, nimmt um 40%, die Leguminosenfreie Mischung um 56% und die Leguminosenmischung um 67% von der Anfangsprobe ab.

Die Vergleichsproben vom Feld weisen bei den Varianten Senfmischung und leguminosenfreie Mischung einen höheren Gehalt an Kohlenstoff auf, als die Proben vom Ende des Hauptversuches. Im Gegensatz dazu hatte die Variante Leguminosenmischung einen höheren Gehalt an Kohlenstoff in der Versuchsprobe, als die Vergleichsprobe vom Feld, wie in Abb. 20 und Abb. 21 ersichtlich.

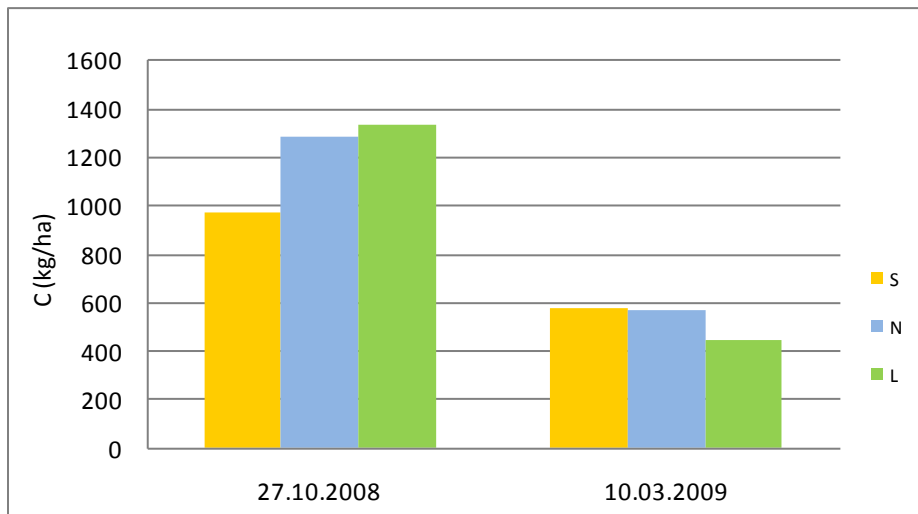


Abb. 21: Vergleich des Kohlenstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchsprobe zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 ( $n=1$ ) zur Vergleichsprobe (vom Feld) am 10.03.2009 ( $n=1$ ), S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.2.3. Gesamt-Stickstoff

Der gemessene Gehalt an Gesamt-Stickstoff (kg/ha) der Versuchsproben und der Vergleichsprobe vom Feld wird in der Abb. 22 und Abb.23 veranschaulicht.

In der Abb. 22, ist die Abnahme des Stickstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchsproben ersichtlich, ähnlich den Abbildungen der Biomasse und des C-Gehalt verhält sich auch der Stickstoff. Bei den Varianten leguminosenfreie Mischung und Leguminosenmischung nimmt der Stickstoffgehalt um ca. 50% der Anfangsprobe ab. Während die Senfmischung mit einer höheren Abnahme (um 62% der Anfangsprobe) gekennzeichnet ist.

In der Versuchsprobe vom 04.03.2009 weist der Senf einen signifikant geringeren Unterschied zu den anderen Versuchsvarianten auf.

In der Abb. 23 wird die Abnahme des Stickstoffs (kg/ha) in der Vergleichsprobe am 10.03.2008 gegenüber der Versuchsprobe vom 27.10.2008 dargestellt.

Anders als Kohlenstoff nimmt der Stickstoff in der Senfmischung mit 82% von der Anfangsprobe am stärksten von allen Varianten ab. Während die Leguminosenfreie Mischung eine Abnahme von 76% zeigt, weist der Leguminosenmischung den geringsten Stickstoffverlust von 67% der Anfangsbiomasse auf.



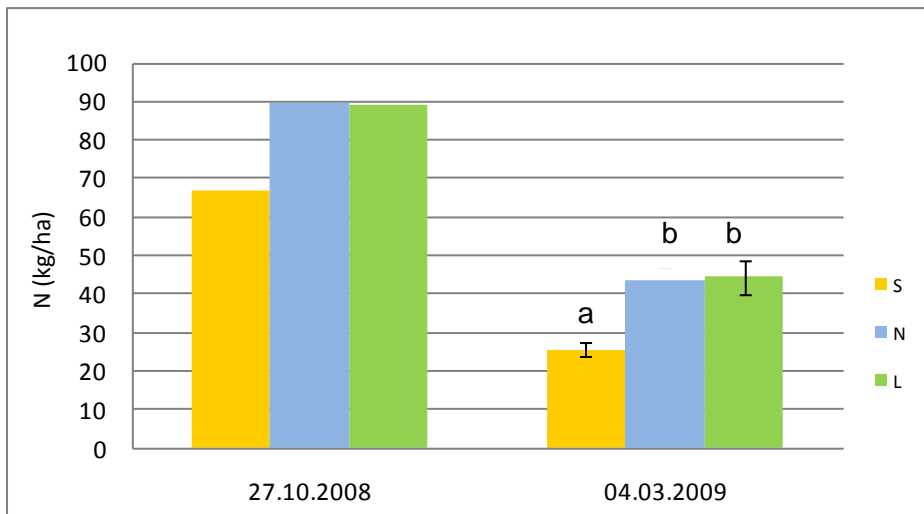


Abb. 22: Vergleich des Stickstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchspflanzen zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 (n=1) und zu Versuchsende am 04.03.2009 (n=4), S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

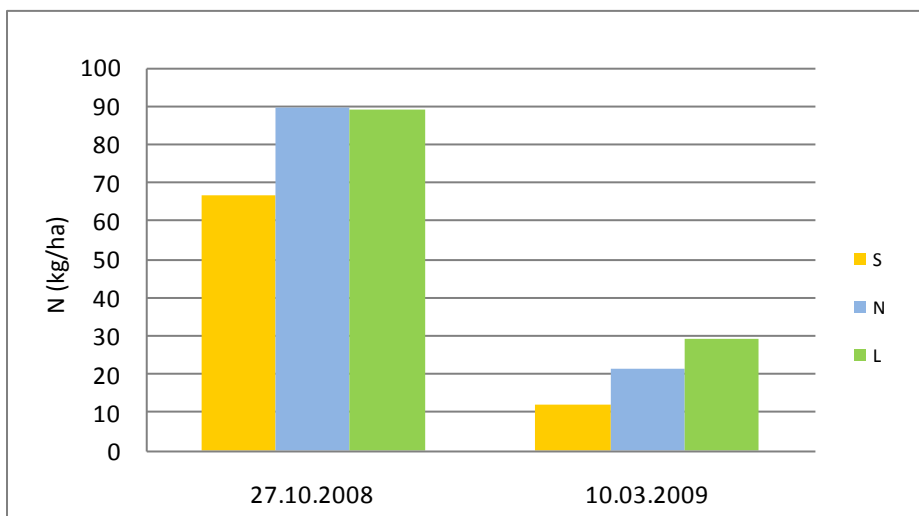


Abb. 23: Vergleich des Stickstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchspflanzen zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 (n=1) zur Vergleichsprobe (vom Feld) am 10.03.2009 (n=1), S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.2.4. Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose

Zu Versuchsbeginn (Versuchsproben vom 27. 10. 2008, Tab. 3) weist die Variante Senfmischung die höchsten Anteile an Hemicellulose und Cellulose (14,4 % bzw. 27,7 %) auf. Die Leguminosenmischung zeigt mit 8,6 % den höchsten Anteil an Lignin.

Im Laufe des Hauptversuches nehmen die in der Biomasse vorliegenden Mengen an Hemicellulose, Cellulose und Lignin bei allen Versuchsvarianten ab (siehe Werte der Proben vom Ende des Hauptversuches, Tab. 4). Die einzige Ausnahme bildet ein zahlenmäßiger Anstieg des Ligningehaltes in der Senfmischung. Dieser liegt jedoch innerhalb der Standardabweichung der vier Versuchswiederholungen.

Durch den während des Versuchs erfolgten Abbau von leicht abbaubaren Substanzen wie löslichen Zuckern, Proteinen, Fructanen und Stärke weisen die Proben vom Versuchsende (Tab. 4 und Vergleichsproben Tab. 5) höhere Prozentanteile von Strukturkohlenhydraten auf, als die Proben vom Versuchsbeginn (Tab. 3).

Tab. 5 zeigt die Ergebnisse der Vergleichsproben vom Feld vom 10.03.2009. Im Vergleich zu den Versuchsproben vom 04.03.2009 weisen sie überwiegend höhere Anteile von Hemicellulose und Cellulose bei geringeren Lignin Anteilen auf.

|            |   | TM<br>(t/ha) | Hemicell.<br>(%) | Hemicell.<br>(kg/ha) | Cellulose<br>(%) | Cellulose<br>(kg/ha) | Lignin<br>(%) | Lignin<br>(kg/ha) |
|------------|---|--------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 27.10.2008 | S | 2,36         | 14,4             | 340                  | 27,7             | 654                  | 6,90          | 163               |
| 27.10.2008 | N | 3,35         | 8,9              | 298                  | 21,5             | 720                  | 6,60          | 221               |
| 27.10.2008 | L | 3,32         | 6,5              | 216                  | 23,1             | 767                  | 8,60          | 286               |

Tab. 3: Versuchsproben vom 27.10.2008 (n=1): Trockenmasse der Begrünungsbiomasse (t/ha), Gehalt an Hemicellulose (% und kg/ha), Cellulose (% und kg/ha), Lignin (% und kg/ha) der drei Versuchsvarianten S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung.

|            |   | TM<br>(t/ha) | Hemicell.<br>(%) | Hemicell.<br>(kg/ha) | Cellulose<br>(%) | Cellulose<br>(kg/ha) | Lignin<br>(%) | Lignin<br>(kg/ha) |
|------------|---|--------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 04.03.2009 | S | 1,16         | 11,6             | 135                  | 37,3             | 432                  | 14,6          | 170               |
| 04.03.2009 | N | 1,355        | 16,6             | 225                  | 28,9             | 391                  | 12,3          | 167               |
| 04.03.2009 | L | 1,369        | 12,9             | 176                  | 28,5             | 389                  | 14,7          | 201               |

Tab. 4 : Versuchsprobe vom 04.03.2009 (n=4): Trockenmasse der Begrünungsbiomasse (t/ha), Gehalt an Hemicellulose (% und kg/ha), Cellulose (% und kg/ha), Lignin (% und kg/ha) der drei Versuchsvarianten S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|            |   | TM<br>(t/ha) | Hemicell.<br>(%) | Hemicell.<br>(kg/ha) | Cellulose<br>(%) | Cellulose<br>(kg/ha) | Lignin<br>(%) | Lignin<br>(kg/ha) |
|------------|---|--------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 10.03.2009 | S | 1,28         | 19,2             | 246                  | 48,4             | 621                  | 10,00         | 128               |
| 10.03.2009 | N | 1,34         | 15,2             | 204                  | 38,9             | 522                  | 8,80          | 118               |
| 10.03.2009 | L | 1,12         | 17,9             | 201                  | 36,1             | 405                  | 12,50         | 140               |

Tab. 5: Vergleichsprobe am 10.03.2009 vom Feld geerntet (n=1): Trockenmasse der Begrünungsbiomasse (t/ha), Gehalt an Hemicellulose (% und kg/ha), Cellulose (% und kg/ha), Lignin (% und kg/ha) der drei Versuchsvarianten S: Senfmischung, N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.3. Mikroklimamessungen:

Die bodennahe und auf 2m gemessene Temperatur sowie rel. Luftfeuchtigkeit sind in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Die bodennahe Temperatur während des Hauptversuchs lag zwischen -8°C und 18°C. Vom 18.11.2008 bis 10.12.2008, 25.12.2008 bis 02.02.2009 und vom 09.02.2009 bis 22.02.2009 trat Frost (bzw. Nachtfrost) auf. Die bodennahe Luftfeuchtigkeit während des Versuchs schwankte zwischen 65% und 93 % (Abb. 24 und Abb. 25).

Die Temperatur auf 2m Höhe (wie in Abb. 26) schwankt in einem Bereich zwischen -9°C und 12°C. Die Frostperioden traten zwischen 25.12.2008 bis 19.01.2009 und 12.02.2009 bis 22.02.2009 auf. Die gemessene Luftfeuchtigkeit im Verlauf des Versuchs (Abb. 27) schwankte zwischen 59% und 92%.

Da die Auswaschungsboxen auf dem Boden aufgestellt waren, spiegeln die bodennah gemessenen Werte die Verhältnisse im Versuch besser wieder und werden daher im Folgenden auch zur Interpretation herangezogen.

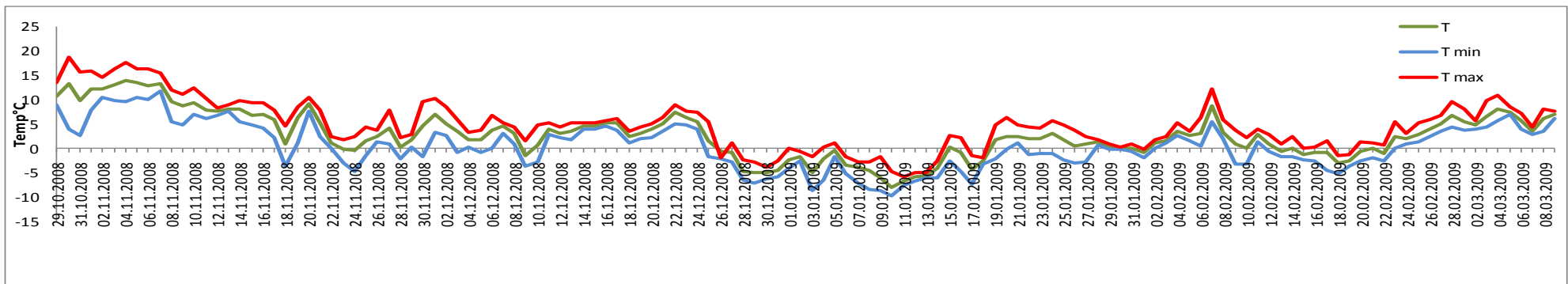


Abb. 24: Temperatur während Versuchsverlauf bodennah (°C)

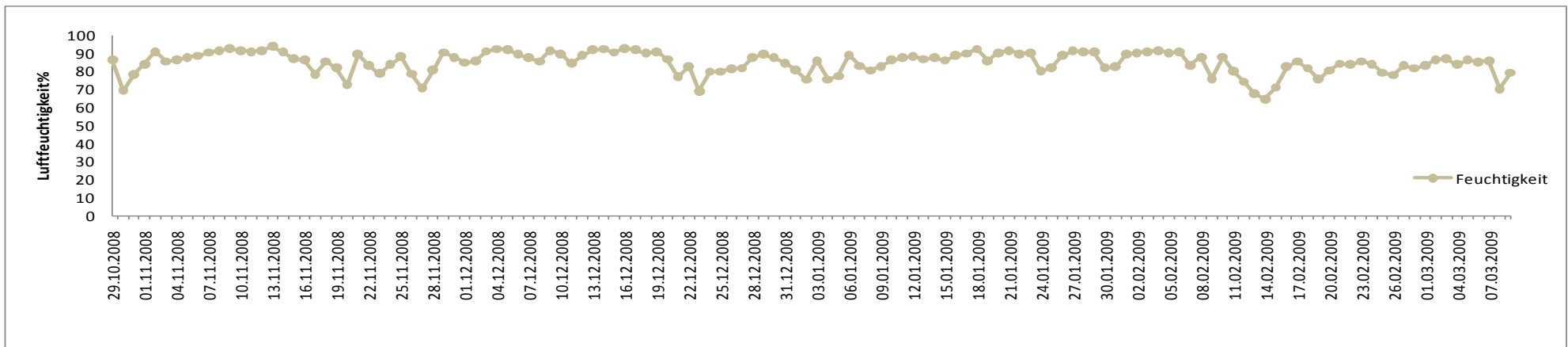


Abb. 25: Luftfeuchtigkeit während Versuchsverlauf bodennah (%)

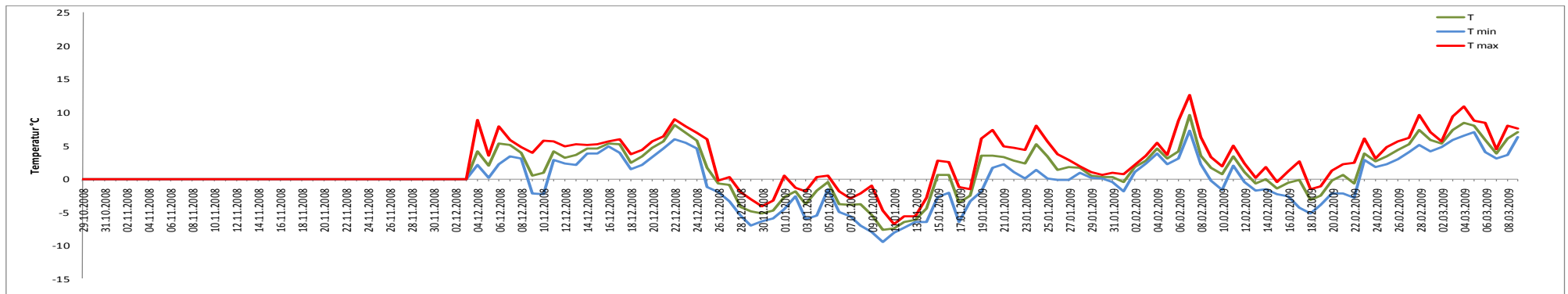


Abb. 26: Temperatur während Versuchsverlauf in zwei Meter Höhe (°C), Messung begann am 03.12.2008

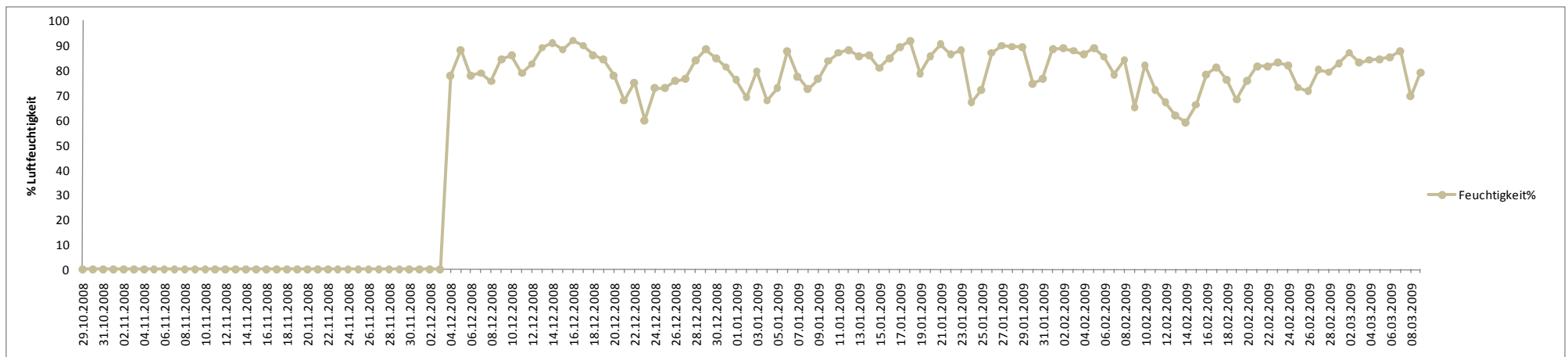


Abb. 27: Luftfeuchtigkeit während Versuchsverlauf in zwei Meter Höhe (%), Messung begann am 03.12.2008

#### 5.4. Aufgliederung der Verluste

Die folgenden Tabellen zeigen die Bilanzierung der Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha, bzw. %). Diese sind aufgegliedert in: Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in der Versuchsprobe zu Versuchsbeginn am 27.10.2008, Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in Form von Auswaschung, Verluste in der Versuchsbiomasse zu Versuchsende am 04.03.2009 und die Gasförmigen Verluste.

Die gasförmigen Verluste ergeben sich aus der Differenz der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Biomasse zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende, abzüglich der Auswaschungsverluste.

Tab. 6 und Tab. 7 zeigen die unterschiedlichen Verluste an Kohlenstoff. Wie aus Tab. 7 ersichtlich, beträgt der Anteil des ausgewaschenen Kohlenstoffs 6 – 8,7% des in der Anfangsbiomasse enthaltenen Kohlenstoffs. Dieser Anteil ist verglichen mit den Ausgasungsverlusten sehr gering.

Ein geringer Unterschied zwischen den Versuchsvarianten ist aus der Tab. 6 und Tab. 7 bemerkbar: Die Variante Senfmischung zeigt mit 42% einen geringeren gasförmigen Verlust als die Varianten Leguminosen- und Leguminosenfreie Mischung, welche ca. 48% des Kohlenstoffes gasförmig verloren. Dies ist durch die höhere Erhaltung des Kohlenstoffs in der Biomasse bei der Variante Senfmischung bedingt.

|   | C (kg/ha) Versuchsprobe<br>27.10.2008 | C (kg/ha) Auswaschung | C (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | <b>C (kg/ha)<br/>Ausgasung</b> |
|---|---------------------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|
| S | 970,4                                 | 58,4                  | 501                                      | 411                            |
| N | 1286,3                                | 110,4                 | 560                                      | 616                            |
| L | 1334,9                                | 116,7                 | 580                                      | 638                            |

Tab. 6: Absolute Kohlenstoffverluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), S: Senfmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|   | C (%) Versuchsprobe<br>27.10.2008 | C (%) Auswaschung | C (%)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | <b>C (%) Ausgasung</b> |
|---|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|
| S | 100                               | 6,0               | 51,6                                 | 42,3                   |
| N | 100                               | 8,6               | 43,5                                 | 47,9                   |
| L | 100                               | 8,7               | 43,4                                 | 47,8                   |

Tab. 7: Relative Kohlenstoffverluste in den Versuchsvarianten (%), S: Senfmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

Tab. 8 und Tab. 9 zeigen die entsprechenden Stickstoffverluste.

Die Versuchsvariante Senfmischung weist einen geringeren Stickstoff-Auswaschungsverlust auf als die Varianten Leguminosen- und leguminosenfreie Mischung, jedoch einen fast doppelt so hohen gasförmigen Verlust (37%) als die anderen Versuchsvarianten (18 – 19 %, Tab. 9).

Die Varianten Leguminosen und leguminosenfreie Mischung verhalten sich hinsichtlich der Auswaschungs- und Ausgasungsverluste sehr ähnlich.

Die Auswaschungsverluste liegen bei Stickstoff im Bereich 24% bis 33%, und damit viel höher als die Kohlenstoff-Auswaschungsverluste, die sich im Bereich zwischen 6% und 9% bewegen.

|   | N (kg/ha) Versuchsprobe<br>27.10.2008 | N (kg/ha)<br>Auswaschung | N (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | <b>N (kg/ha)<br/>Ausgasung</b> |
|---|---------------------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|
| S | 66,9                                  | 16,4                     | 25,6                                     | 24,9                           |
| N | 89,5                                  | 29,5                     | 43,5                                     | 16,6                           |
| L | 89,2                                  | 28,7                     | 44,3                                     | 16,2                           |

Tab. 8: Absolute Stickstoffverluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), S: Senfmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|   | N (%) Versuchsprobe<br>27.10.2008 | N (%) Auswaschung | N (%)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | <b>N (%) Ausgasung</b> |
|---|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|
| S | 100                               | 24,5              | 38,3                                 | 37,2                   |
| N | 100                               | 32,9              | 48,6                                 | 18,5                   |
| L | 100                               | 32,1              | 49,7                                 | 18,2                   |

Tab. 9: Relative Stickstoffverluste in den Versuchsvarianten (%), S: Senfmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

Folgende Abbildungen veranschaulichen noch einmal die prozentuelle Aufteilung der Verluste (Auswaschung, Ausgasung, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt in der Endbiomasse (04.03.2009)) in den einzelnen Begrünungsvarianten.

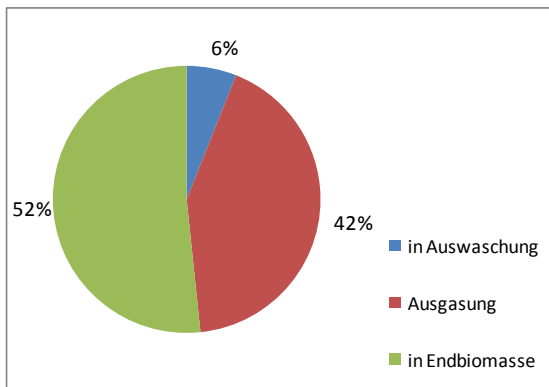


Abb. 28: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Senfmischung

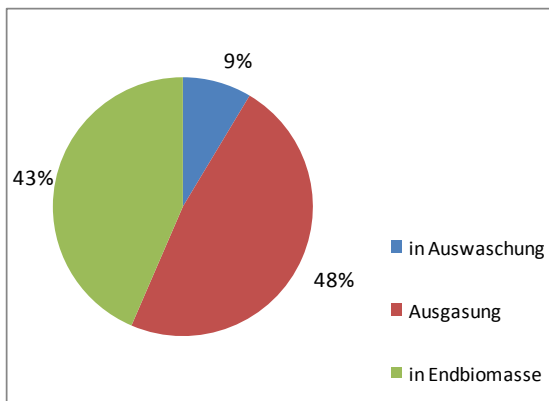


Abb. 29: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Nichtleguminosenmischung (Leguminosenfreie Mischung)

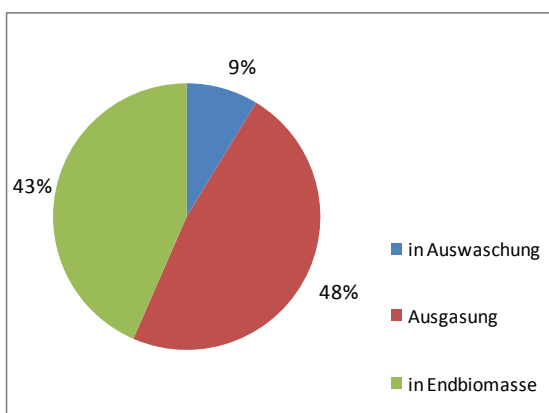


Abb. 30: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung



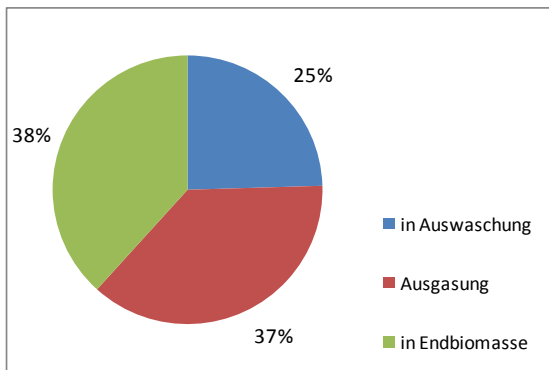


Abb. 31: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Senfmischung

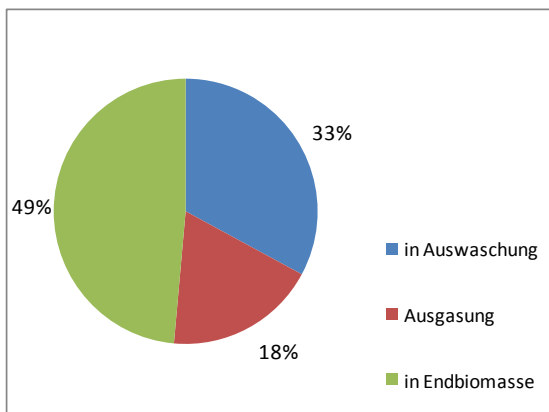


Abb. 32: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Nichtleguminosen (leguminosenfreie Mischung)

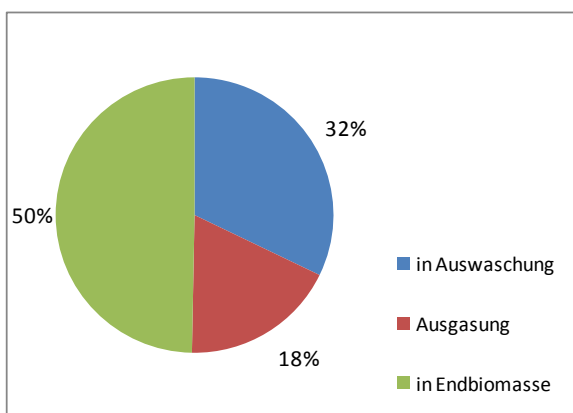


Abb. 33: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung

## 5.5. Humusbilanzierung

Beitrag der Begrünungsvarianten für die Humusbilanz

### 1. Einarbeitung im Herbst

| Begrünungsvariante | Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha) | Humus-C (kg/ha) |
|--------------------|--|-----------------|
| L                  | 0,277                                    | 55,4            |
| N                  | 0,158                                    | 31,6            |
| S                  | 0,233                                    | 46,6            |

Tab. 10: Übersicht Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha), Humus-C (kg/ha) der drei Versuchsvarianten: L: Leguminosenmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung

### 2. Einarbeitung im Frühjahr

a) gerechnet mit der am 10. 3. am Feld vorhandenen Biomasse

| Begrünungsvariante | Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha) | Humus-C (kg/ha) |
|--------------------|--|-----------------|
| L                  | 0,081                                    | 16,2            |
| N                  | 0,146                                    | 29,2            |
| S                  | 0,091                                    | 18,2            |

Tabelle 11: Übersicht Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha), Humus-C (kg/ha) der drei Versuchsvarianten: L: Leguminosenmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung

b) gerechnet mit der am 4. 3. im Hauptversuch vorhandenen Biomasse

| Begrünungsvariante | Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha) | Humus-C (kg/ha) |
|--------------------|--|-----------------|
| L                  | 0,104                                    | 20,8            |
| N                  | 0,149                                    | 29,8            |
| S                  | 0,087                                    | 17,4            |

*Tabelle 12: Übersicht Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent (t/ha), Humus-C (kg/ha) der drei Versuchsvarianten: L: Leguminosenmischung, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), S: Senfmischung*

Entsprechend der im Herbst vorhandenen höheren Biomasse-Menge wird bei der Humusbilanz auch der Wert der Begrünung für den Humusaufbau im Herbst höher bewertet als im Frühling. Im Herbst errechnen sich für die Leguminosenmischung und die Senfbegrünung höhere Stalldung-Äquivalent-Werte als für die Nichtleguminosenmischung, während sich im Frühling durch die bessere Erhaltung der Biomasse in der Nichtleguminosenmischung die Verhältnisse umkehren.

Die dem Versuch vorhergehende Fruchtfolge auf dem Versuchsfeld (Hirse – Winterweizen - Kartoffel – Winterweizen) weist einen Bilanzsaldo von 0,62 t/ha Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr auf, das entspricht 124 kg/ha Humus-C pro Jahr.

Die 4-jährige Biolandbau-typische Fruchtfolge (Kleegras – Weizen – Weizen – Frühkartoffel+Kleegrassaussaat) hat einen positiven Humusbilanzsaldo von 1,22 t/ha Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, entsprechend 244 kg/ha Humus-C pro Jahr. Wird derselben Fruchtfolge zweimal, jeweils nach Weizen, eine Begrünung (mit der höchsten im vorliegenden Versuch erzielten Biomasse) hinzugefügt, so ergibt sich ein positiver Humusbilanzsaldo von 1,36 t/ha Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, das entspricht 271 kg/ha Humus-C pro Jahr.

Die 7-jährige Biolandbau-typische Fruchtfolge (Kleegras – Silomais – Dinkel oder Roggen – Hafer – Ölkürbis – Körnerleguminosen - Sommergerste+Kleegrasuntersaat) hat einen positiven Humusbilanzsaldo von 0,79 t/ha Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, entsprechend 158 kg/ha Humus-C pro Jahr. Mit zwei zusätzlichen Begrünungen in der Fruchtfolge ergibt sich ein Humusbilanzsaldo von 0,87 t/ha Stalldung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, das entspricht 174 kg/ha Humus-C pro Jahr.

## **5.6. Zusatzversuche**

### **5.6.1. Stehende Pflanzen**

Diese Pflanzen wurden aufgerichtet (stehend) der Witterung ausgesetzt. Pro Variante enthielt dieser Zusatzversuch nur eine Versuchsbox. Die Versuchsvariante Senfmischung war aufgrund eines technischen Fehlers der zu einem Probenverlust führte, nicht auswertbar.

#### **5.6.1.1. Summe der Auswaschungswerte C und N bezogen auf die Fläche.**

*Abb. 34* zeigt den Verlauf der Stickstoff Auswaschung im Versuchsverlauf für die Versuchsvarianten Nicht-Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung) und Leguminosenmischung (kg/ha). Beide Varianten haben einen vergleichbaren Auswaschungsverlauf.

Am Probenahmetermin 05.12.2008 besitzen beide Varianten einen hohen Stickstoff Auswaschungswert.

In der *Abb. 35* zeigt sich der Verlauf der Kohlenstoffauswaschung bei beiden Varianten ähnlich. Bei einigen Terminen am Ende des Versuchs besitzt die Variante Leguminosenmischung höhere Auswaschungswerte als die Nicht-Leguminosenmischung. Die Kohlenstoff-Auswaschungswerte sind deutlich höher als im Hauptversuch (*Abb. 13*).

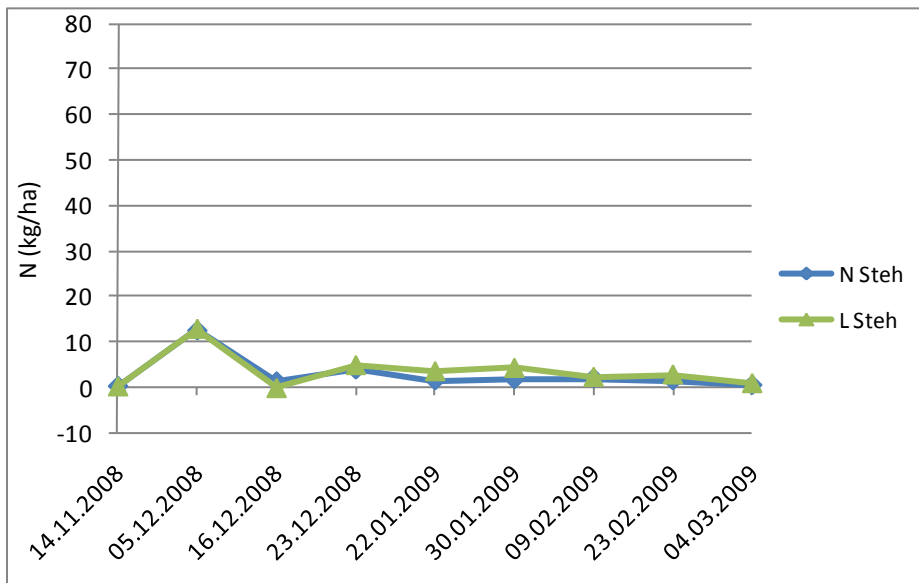


Abb. 34 : Summe der Auswaschung von Stickstoff (kg/ha), während des Versuchverlaufs, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

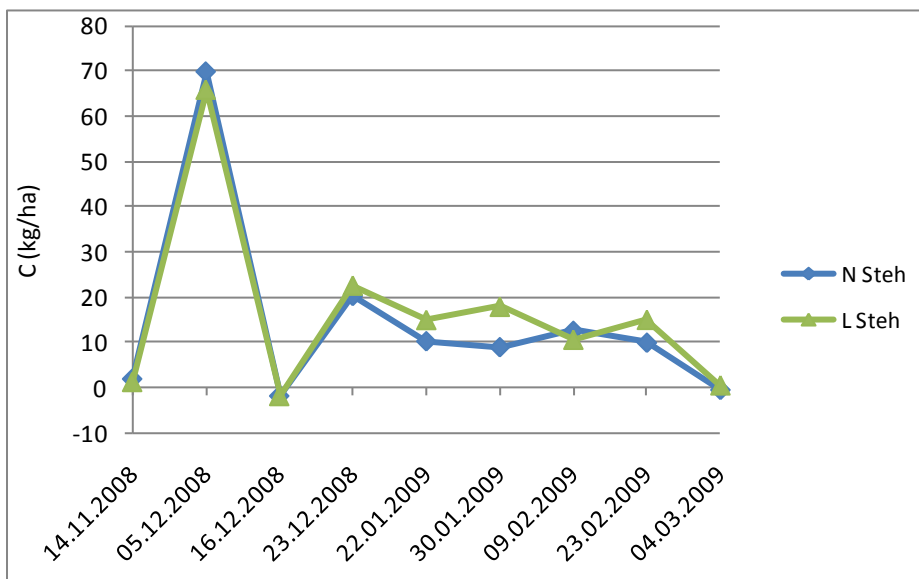


Abb. 35: Summe der Auswaschung von Kohlenstoff (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

## 5.6.1.2. Begrünung Biomasse

### 5.6.1.2.1. Biomasse

In der Abb. 36 ist die Trockenmasse (t/ha) aller Versuchsproben der Versuchsvarianten Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung) und Leguminosenmischung ersichtlich.

Die stehenden Pflanzen haben die niedrigsten Verluste an Biomasse im Vergleich zu der Versuchsprobe vom 04.03.2009 (liegende Pflanzen) und der Vergleichsprobe vom 10.03.2009

Die Versuchsvariante Leguminosenmischung hat im Zusatzversuch „Stehende Pflanzen“ einen niedrigeren Verlust an Biomasse als die Nicht Leguminosenmischung (Leguminosenfreie Mischung).

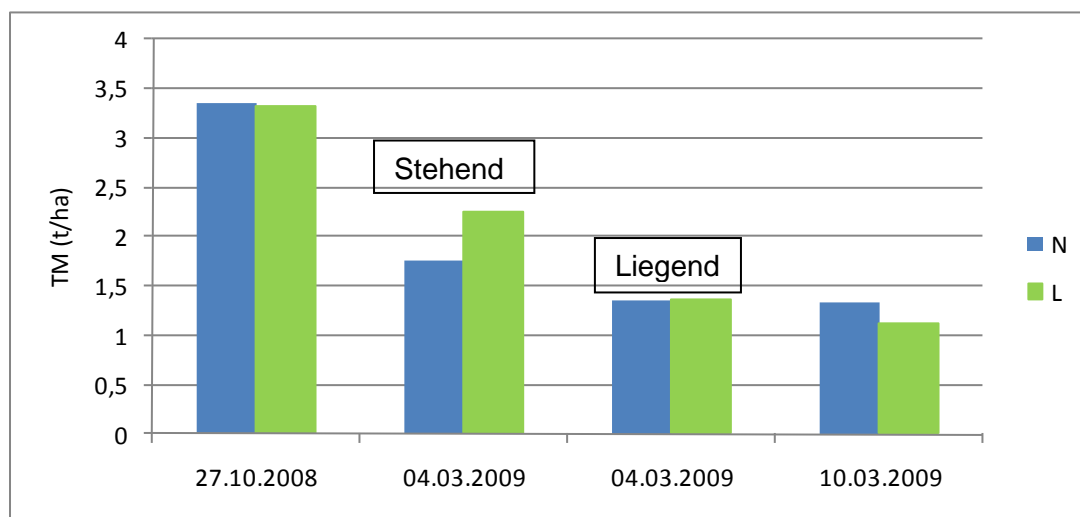


Abb. 36: Vergleich der Trockenmasse (t/ha) aller Versuchsproben (Versuchsprobe 27.10.2008, Versuchsprobe der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsprobe der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Vergleichsprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.6.1.2.2. Gesamt-Kohlenstoff

In Abb. 37 ist der Kohlenstoff-Gesamtgehalt (kg/ha) in den Versuchsproben ersichtlich. Die Versuchsprobe am 04.03.2009 (stehende Pflanzen) besitzt die niedrigsten Kohlenstoffverluste von der Anfangsbiomasse, hier wiederum unterscheidet sich die Leguminosenmischung mit weniger Verlust an Kohlenstoff der Anfangsbiomasse von der Nicht-Leguminosenmischung (Leguminosenfreie Mischung).

Ein weiterer großer Unterschied bei der Leguminosenmischung liegt zwischen den Proben stehende Pflanzen und der Vergleichsprobe (10.03.2009) vom Feld vor. Die stehenden Pflanzen verlieren bedeutend weniger Kohlenstoffmengen als die Vergleichsprobe (vom Feld).

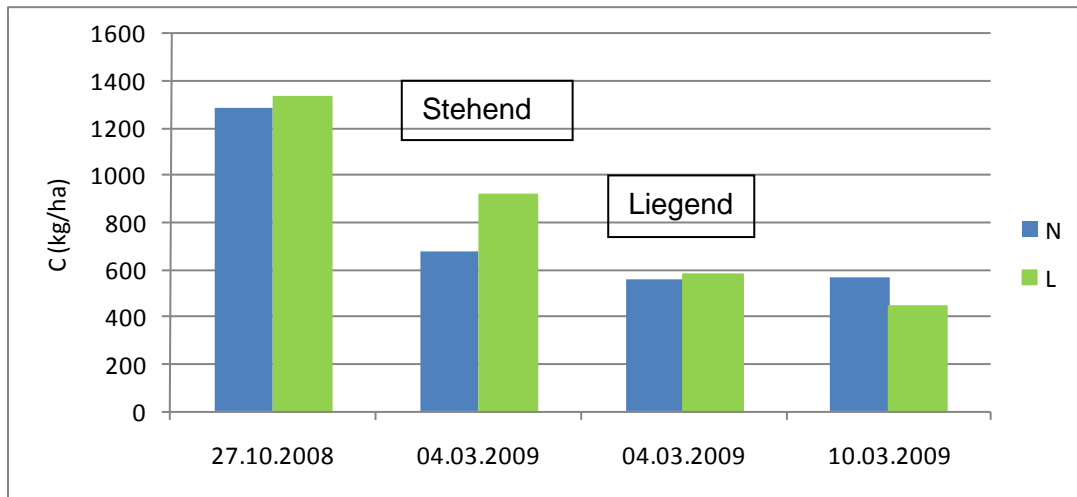


Abbildung 37: Vergleich des Kohlenstoffgehalts (kg/ha) aller Versuchsproben (Versuchsprobe 27.10.2008, Versuchsprobe der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsprobe der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Vergleichsprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.6.1.2.3. Gesamt-Stickstoff

In Abb. 38 wird der Gesamtgehalt an Stickstoff (kg/ha) in allen Versuchsproben gezeigt.

Beide Versuchsvarianten verhalten sich am 04.03.2009 (Stehend) bezüglich der Stickstoff-Abnahme gleich. Allerdings nimmt der Stickstoffgehalt bei der Versuchsprobe (liegende Pflanzen) stärker ab als bei der Versuchsprobe (stehende Pflanzen).

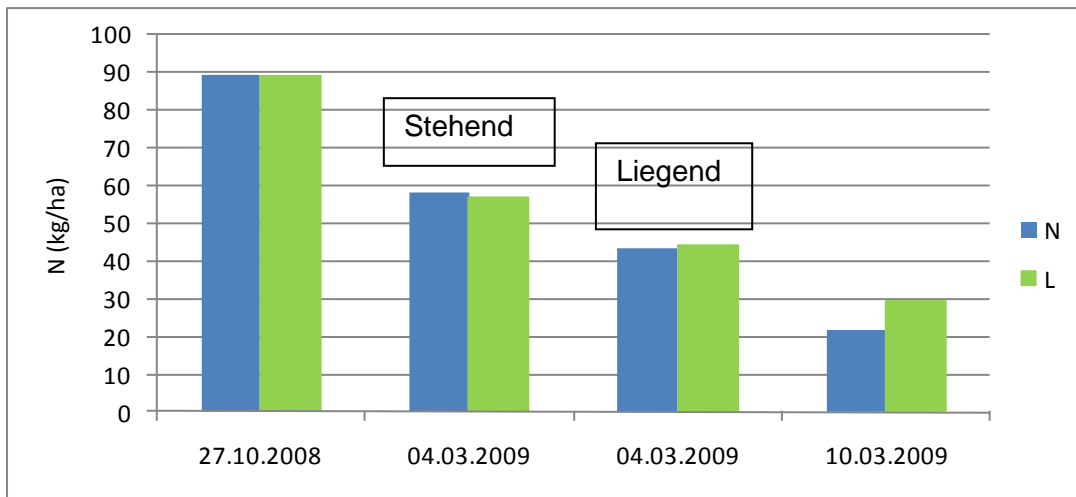


Abb. 38: Vergleich des Stickstoffgehalts (kg/ha) aller Versuchsproben (Versuchsprobe 27.10.2008, Versuchsprobe der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsprobe der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Vergleichsprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nichtleguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.6.1.3. Pflanzliche Fasern Lignin und Cellulose

Die Tab. 10 zeigt die Trockenmasse (t/ha), Hemicellulose, Cellulose und Lignin (% und kg/ha) der Versuchsprobe am 04.03.2009 (Stehende Pflanzen).

Im Vergleich zu den Daten der Tab. 3 im Kapitel 4.2.4, der Versuchsprobe am 27.10.2008 (zu Versuchsbeginn) wird ein großer Teil der Hemicellulose, Cellulose, Lignin in der Versuchsprobe (Stehende Pflanzen) abgebaut.

Im Vergleich zu den Liegenden Pflanzen (Tab. 4 im Kapitel 4.2.4.) besitzen die Stehenden Pflanzen etwas höhere Gehalte an Cellulose.

|            |   | TM<br>(t/ha) | Hemicell.<br>(%) | Hemicell.<br>(kg/ha) | Cellulose<br>(%) | Cellulose<br>(kg/ha) | Lignin<br>(%) | Lignin<br>(kg/ha) |
|------------|---|--------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------|-------------------|
| 04.03.2009 | N | 1,76         | 12,2             | 215                  | 30,6             | 539                  | 11,0          | 194               |
| 04.03.2009 | L | 2,24         | 13,3             | 299                  | 34,7             | 779                  | 7,60          | 171               |

Tab. 13: Trockenmasse der Begrünungsbiomasse (t/ha), Gehalt an Hemicellulose (% und kg/ha), Cellulose (% und kg/ha) und Lignin (% und kg/ha) der Versuchsprobe am 04.03.2009 (stehende Pflanzen) der Versuchsvarianten N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung



#### 5.6.1.4. Stehende Pflanzen – Aufgliederung der Verluste

Folgende Tabellen zeigen die Aufgliederung der Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha und %): in der Biomasse der Versuchsproben am 27.10.2008, 04.03.2009, Auswaschungsverluste und die Verluste durch Ausgasung. Wie in Tab. 12 ersichtlich, verliert die Variante Nicht Leguminosen einen höheren Teil an Kohlenstoff in gasförmiger Form als die Variante Leguminosenmischung. Ähnlich wie beim Kohlenstoff verhalten sich die Varianten beim Stickstoff. Die Verluste durch Auswaschung sind, wie auch beim Hauptversuch, beim Stickstoff höher als beim Kohlenstoff.

|   | C (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>27.10.2008 | C (kg/ha)<br>Auswaschung | C (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | C (kg/ha)<br>Ausgasung |
|---|--|--------------------------|--|------------------------|
| N | 1286,3                                   | 132                      | 678                                      | 477                    |
| L | 1334,9                                   | 148                      | 921                                      | 267                    |

Tab. 14: Absolute Kohlenstoffverluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|   | C (%)<br>Versuchsprobe<br>27.10.2008 | C (%)<br>Auswaschung | C (%)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | C (%)<br>Ausgasung |
|---|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| N | 100                                  | 10,2                 | 52,7                                 | 37,1               |
| L | 100                                  | 11,1                 | 69,0                                 | 20,0               |

Tab. 15: Relative Kohlenstoffverluste in den Versuchsvarianten (%), N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|   | N (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>27.10.2008 | N (kg/ha)<br>Auswaschung | N (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | N (kg/ha)<br>Ausgasung |
|---|--|--------------------------|--|------------------------|
| N | 89,5                                     | 24,6                     | 58,0                                     | 6,98                   |
| L | 89,2                                     | 31,0                     | 57,0                                     | 1,16                   |

Tab. 16: Absolute Stickstoffverluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

|   | N (%)<br>Versuchsprobe<br>27.10.2008 | N (%)<br>Auswaschung | N (%)<br>Versuchsprobe<br>04.03.2009 | N (%)<br>Ausgasung |
|---|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| N | 100                                  | 27,5                 | 64,7                                 | 7,80               |
| L | 100                                  | 34,8                 | 63,9                                 | 1,30               |

Tab. 17: Relative Stickstoffverluste in den Versuchsvarianten (%), N: Nicht Leguminosen (Leguminosenfreie Mischung), L: Leguminosenmischung

### 5.6.2. *Regentropfenaufprallversuch*

In diesem Versuch wurde durch genaue Beobachtung festgestellt, dass ein Abprallen von Regentropfen von der Oberfläche der Biomasse aus dem Gefäß hinaus auszuschließen war. Die Abbildung 39 zeigt den Unterschied zwischen den Versuchsgefäßen mit Pflanzenmaterial und Ohne Pflanzenmaterial, das Versuchsgefäß ohne pflanzliche Biomasse konnte mehr Wasser auffangen (1,3 mm NS) als das Versuchsgefäß mit Pflanzlicher Biomasse.

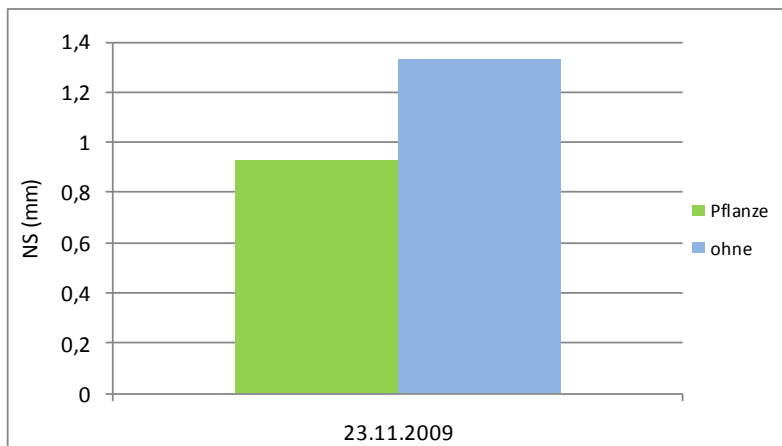


Abb. 39: Vergleich der Wassermenge in den Versuchsgefäßen,

MP: Mit Pflanze, OP: Ohne Pflanze nach einem natürlichen Niederschlag in (mm).

### 5.6.3. *Niederschlags Interzeption und Aufnahme durch die Pflanzenbiomasse*

17 bis 26% des Niederschlagwassers wird von der Pflanzenbiomasse zurückgehalten oder aufgenommen. Der in den Wannen unterhalb der Pflanzen aufgefangene Niederschlag beträgt zwischen 76 und 82% des gesamten Niederschlags.

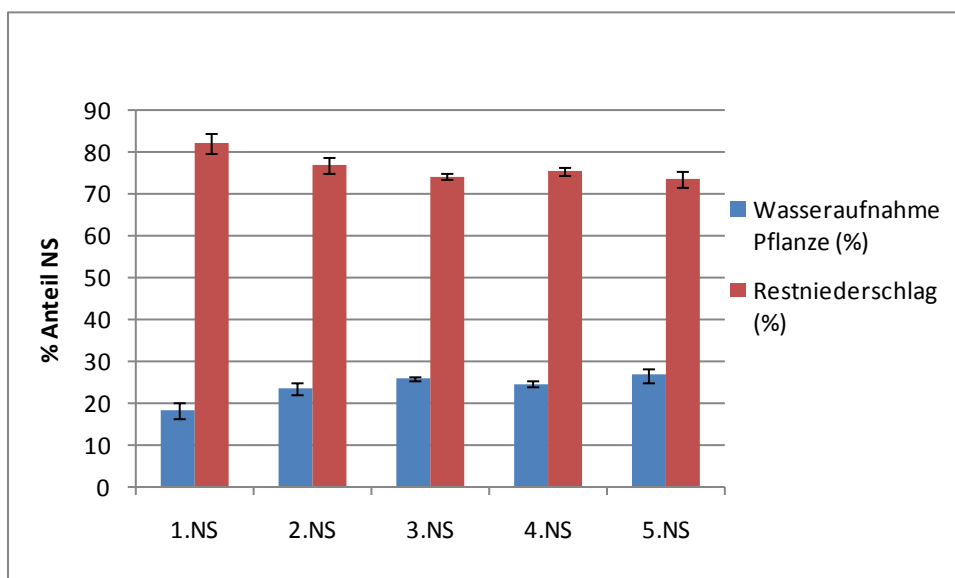


Abb. 40: Vergleich des prozentuellen Anteil an zurückgehaltenem und aufgenommenem Niederschlag von der Pflanzenbiomasse und den prozentuellen Anteil an aufgefangenem Niederschlag (NS).

#### 5.6.4. Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen

Wie in Kapitel 3.2.4. erwähnt, wurde dieser Versuch angelegt, um den Einfluss des Biofilms, der sich im Hauptversuch ab dem 05.12.2008 gebildet hatte, auf die Auswaschungsflüssigkeit hinsichtlich der gemessenen Parameter des Filtrats und des Rückstands der Auswaschungsflüssigkeit zu überprüfen.

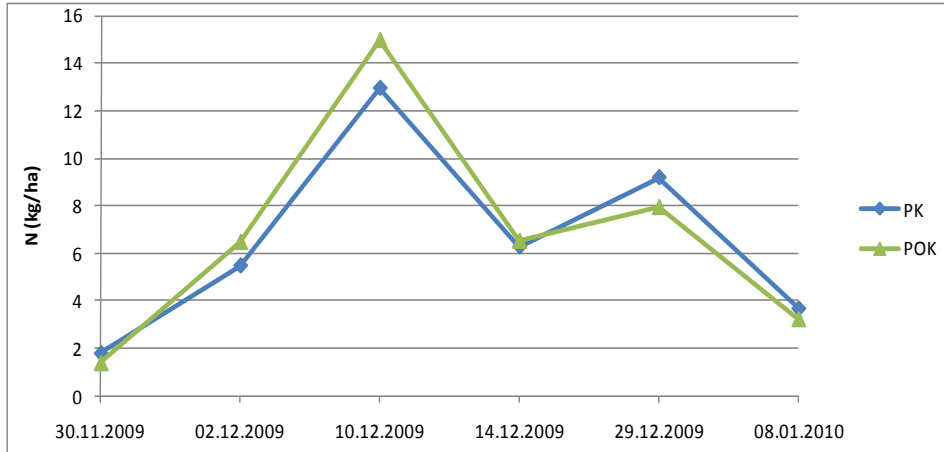
Die Verluste an Biomasse, Kohlenstoff und Stickstoff sowie die gasförmigen Verluste, wurden mit den Ergebnissen der Variante Leguminosenmischung des Hauptversuchs 2008/2009 verglichen.

##### 5.6.4.1. Summe der Auswaschung:

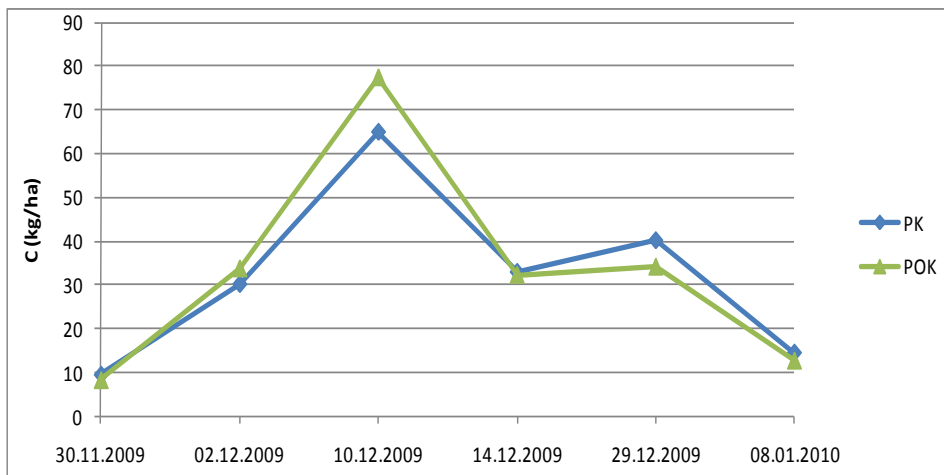
In den folgenden Abbildungen wird die Summe der Auswaschung bestehend aus den Auswaschungsmengen des Filtrats und des Rückstands, jeweils von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha) dargestellt. Diese Auswaschungsmengen wurden nach Abzug der Stickstoff- und Kohlenstoffwerte der 0-Variante errechnet.

Die statistische Auswertung dieses Versuchs ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Versuchsvarianten. Sowohl der Verlauf der Stickstoff-

Auswaschung in *Abb. 41* als auch jener der Kohlenstoff-Auswaschung (*Abb. 42*) zeigen ein ähnliches Auswaschungsverhalten bei beiden Versuchsvarianten.



*Abb.41:* Verlauf des Stickstoff-Gehalts der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchs. PK: mit Pflanzen, mit Kupferdraht, POK: mit Pflanzen, ohne Kupferdraht



*Abb.42:* Verlauf des Stickstoff-Gehaltes der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchs. PK: mit Pflanzen, mit Kupferdraht, POK: mit Pflanzen, ohne Kupferdraht

## 5.6.4.2. Begrünungsbiomasse

### 5.6.4.2.1. Biomasse

Von der Biomasse vom Anfang des Zusatzversuches „Biofilmeinfluss auf den Versuchsboxen“ am 11.11.2009 (n=1) wurde bis zum Ende dieses Versuches am 08.01.2010 (n=6) ca. 50% der Anfangsbiomasse abgebaut, während beim Hauptversuch rund 60% der Anfangsbiomasse abgebaut wurden. Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass der Zusatzversuch über einen kürzeren Zeitraum durchgeführt wurde als der Hauptversuch.

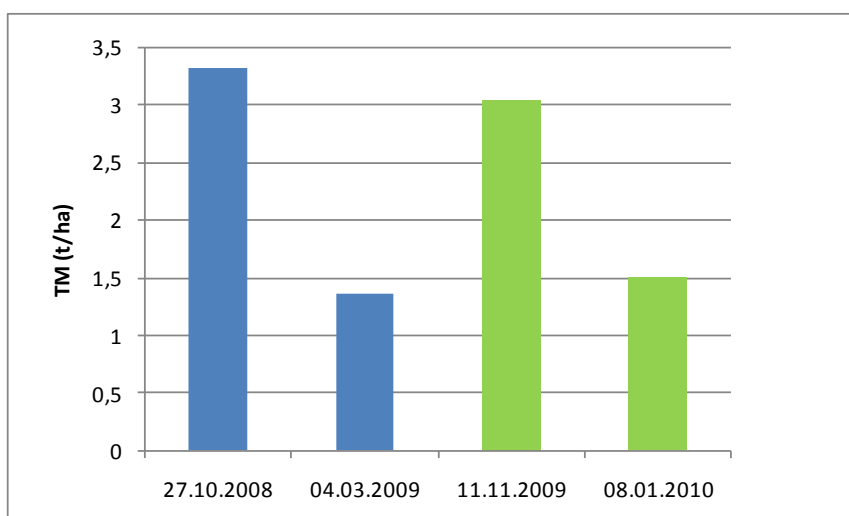


Abb. 43: Vergleich der Biomasse des Hauptversuches mit der Biomasse des Zusatzversuches (Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (TM: Trockenmasse) ( t/ha) jeweils am Anfang und Ende des Versuches.

### 5.6.4.2.2. Kohlenstoff:

In der folgenden Abbildung 44 ist der Verlust des Kohlenstoffs-Gehalts in der Variante Leguminosenmischung von der Anfangsbiomasse des Versuches am 11.11.09 im Vergleich zur Endbiomasse am 08.01.10 dargelegt. Diese Werte sind mit dem Kohlenstoffgehaltsergebnissen der Biomasse des 2008/2009 durchgeführten Hauptversuchs jeweils zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende verglichen worden. Der Kohlenstoffverlust der Biomasse des Hauptversuchs betrug 56% während der Kohlenstoffverlust der Biomasse des Zusatzversuches 49% betrug.

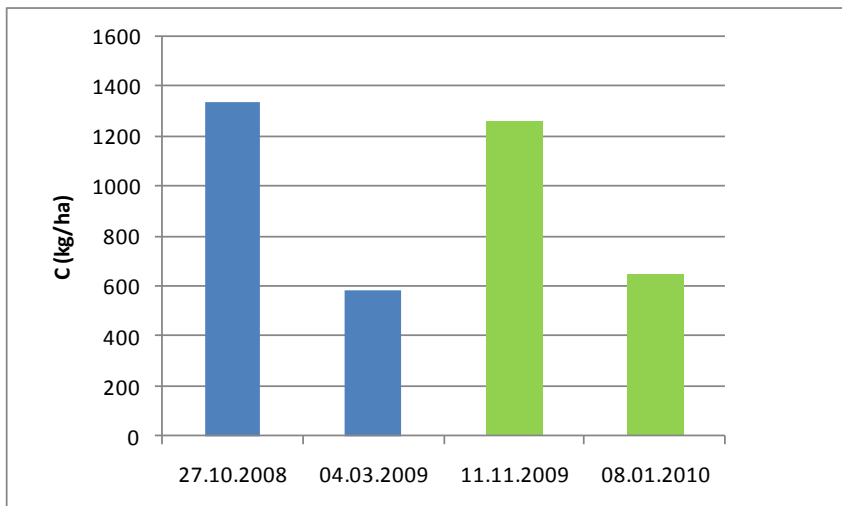


Abb. 44: Vergleich des Kohlenstoff-Gehaltes der Biomasse des Hauptversuches mit der Biomasse des Zusatzversuches (Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (TM: Trockenmasse) (kg/ha) jeweils am Anfang und Ende des Versuches.

#### 5.6.4.2.3. Stickstoff

Die Abb. 45 zeigt den Stickstoffgehalt der Biomasse des Zusatzversuches im Vergleich zum Stickstoffgehalt der Biomasse des Hauptversuches. Der Stickstoffverlust im Hauptversuch betrug 50% und der des Zusatzversuches 49%. Insofern verhalten sich diese beiden Versuche sehr ähnlich.

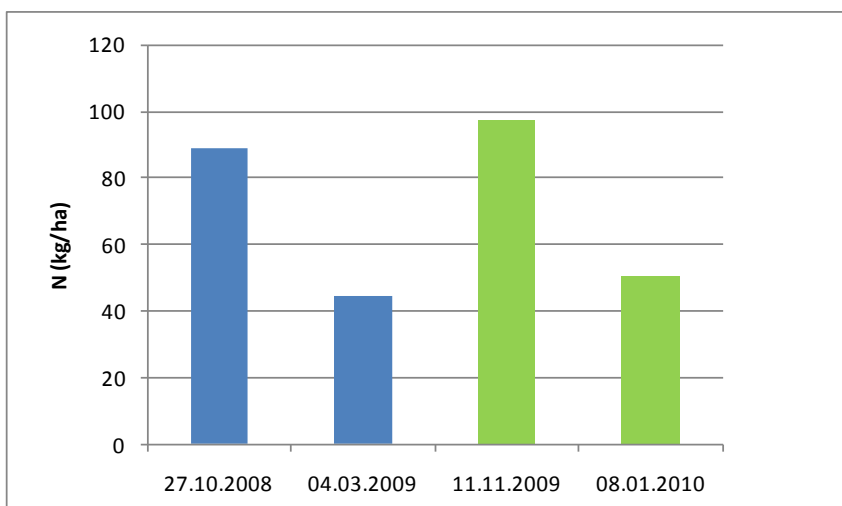


Abb. 45: Vergleich des Stickstoff-Gehaltes der Biomasse des Hauptversuches mit der Biomasse des Zusatzversuches (Biofilmeinfluss in den Versuchsboxen) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (TM: Trockenmasse) ( kg/ha) jeweils am Anfang und Ende des Versuches.

### 5.6.4.3. *Aufgliederung der Verluste*

Die folgenden Tabellen zeigen die Bilanzierung der Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha bzw. %). Diese sind aufgliedert in: Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in der Versuchsprobe zu Versuchsbeginn am 11.11.2009, Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in Form von Auswaschung, Verluste in der Versuchsbiomasse zu Versuchsende am 08.01.10 und die gasförmigen Verluste.

Die gasförmigen Verluste ergeben sich aus der Differenz der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Biomasse zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende, abzüglich der Auswaschungsverluste.

Die Aufgliederung der Kohlenstoffverluste (kg/ha, %) der Versuchsvariante Leguminosenmischung ist in Tab. 15 und Tab. 16 angeführt, die gasförmigen Kohlenstoffverluste betragen 32%, während die Kohlenstoff Auswaschungsverluste 15% betragen.

Zum Vergleich betrug der gasförmige Kohlenstoffverlust der Leguminosenmischung des Hauptversuches (Tab.7) 48% während der Kohlenstoff-Auswaschungsverlust 9% betrug.

In den Tabellen 17 und 18 sind die Stickstoffverluste ersichtlich. Die Auswaschungsanteile betragen 40%, während die gasförmigen Verluste an Stickstoff 8% ausmachten. Im Vergleich zu den Verlusten des Hauptversuches (Tab. 9) zeigt die Variante Leguminosenmischung in diesem Zusatzversuch niedrigere Stickstoff-Ausgasungswerte und höhere Stickstoff-Auswaschungswerte.

|   | C (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>11.11.2009 | C (kg/ha)<br>Auswaschung | C (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>08.01.2010 | C (kg/ha)<br>Ausgasung |
|---|--|--------------------------|--|------------------------|
| L | 1257,4                                   | 195,3                    | 648,7                                    | 413,4                  |

Tab.18: Absolute Kohlenstoffverluste (kg/ha) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (L)

|   | C (%) Versuchsprobe<br>11.11.2009 | C (%)<br>Auswaschung | C (%) Versuchsprobe<br>08.01.2010 | C (%) Ausgasung |
|---|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| L | 100                               | 15,53                | 51,59                             | 32,88           |

Tab. 19: Relative Kohlenstoffverlust (%) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (L)

|   | N(kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>11.11.2009 | N(kg/ha)<br>Auswaschung | N (kg/ha)<br>Versuchsprobe<br>08.01.2010 | N (kg/ha)<br>Ausgasung |
|---|---|-------------------------|--|------------------------|
| L | 97,60                                   | 39,93                   | 50,18                                    | 7,49                   |

Tab.20: Absolute Stickstoffverluste (kg/ha) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (L)

|   | N (%) Versuchsprobe<br>11.11.2009 | N(%)<br>Auswaschung | N (%) Versuchsprobe<br>08.01.2010 | N (%) Ausgasung |
|---|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------|
| L | 100                               | 40,92               | 51,41                             | 7,67            |

Tab.21: Relative Stickstoffverluste (%) der Versuchsvariante Leguminosenmischung (L)

Folgende Abbildungen veranschaulichen noch einmal die prozentuelle Aufteilung der Verluste (Auswaschung, Ausgasung, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt in der Endbiomasse (08.01.2010)) in den einzelnen Begrünungsvarianten.

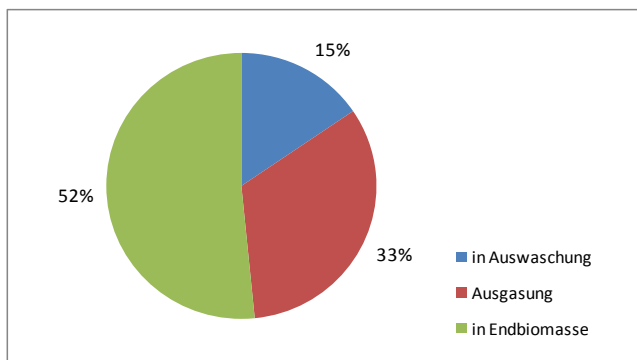


Abb. 46: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung 2009/2010

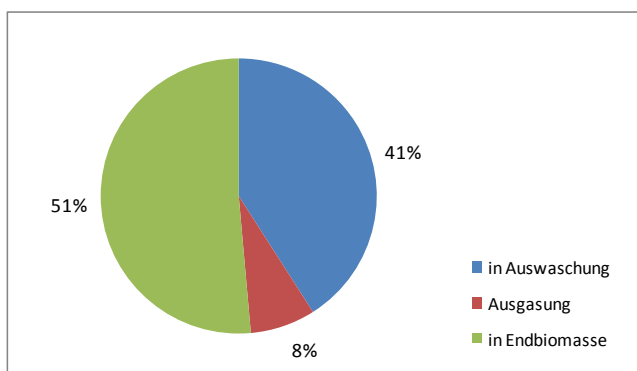


Abb. 47: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffverluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung 2009/2010



## 6. Diskussion

Die ÖPUL-Förderungsvarianten von Begrünungen B und D erlauben eine Einarbeitung der Begrünungsbiomasse erst ab 2. März. Das Hauptziel dieser Arbeit war die Quantifizierung der Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff aus der oberirdischen Biomasse von nicht eingearbeiteten Begrünungspflanzen durch Ausgasungsvorgänge an den Pflanzen während der Wintermonate. Die untersuchten Begrünungsvarianten waren eine Leguminosenmischung, eine leguminosenfreie Mischung und eine Senfbegrünung.

### **Auswaschung von Stickstoff und Kohlenstoff aus der oberirdischen Begrünungsbiomasse**

In einem ersten Schritt wurden die Gehalte von Kohlenstoff und Stickstoff, die bei Regenfällen aus dem Pflanzenmaterial ausgewaschen werden, erfasst. Die Kohlenstoff- und Stickstoffauswaschung erfolgte nicht gleichmäßig über den Versuchszeitraum, sondern zeigte deutliche Auswaschungsspitzen zu bestimmten Probenahmetermi-  
nen wie 10.11.2008, 05.12.2008 und 22.01.2009.

Dies hängt mit der Witterungslage zusammen, wie in Abb. 16 ersichtlich. Der Grund für hohe Auswaschungswerte am 10.11.2008 liegt darin, dass der Versuch am 27.10.2008 angelegt worden ist. Damit waren die Versuchsvarianten zwei Wochen den Außenbedingungen ausgesetzt. Es erfolgten zwischenzeitlich Zersetzungsvorgänge an der pflanzlichen Biomasse, sodass der Niederschlag vor dem 10.11.2008 hohe Auswaschungsmengen verursachte.

Die hohen Auswaschungswerte am 05.12.2008 und am 22.01.2009 sind durch jeweils davor aufgetretene Frostperioden bedingt. Durch den Frost bilden sich Eiskristalle im Zellinneren der pflanzlichen Organe, dies führt zu einer Zerstörung der Struktur (Larcher, 1994) und in weiterer Folge verursacht der Niederschlag eine Auswaschung der nun nicht mehr durch Membranen geschützten Zellinhaltsstoffe. Ein weiterer Grund für die hohen Auswaschungsmengen sind die Schleimstoffe, die von der Pflanze als Maßnahme zur Steigerung der Frostresistenz gebildet werden (Amberger, 1996). Diese Stoffe beinhalten Großteils Zuckerverbindungen (die hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen) und wirken als Gefrierschutz. In einem Versuch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2003), bei dem frische und gefrorene Senfpflanzen für 30 min. in Wasser eingelegt wurden, verloren die frischen Senfpflanzen dadurch rund 4 % ihres Gesamtstickstoffgehaltes, die gefrorenen doppelt so viel. Beim Termin 05.12.2008 kommt hinzu, dass an diesem Termin zum ersten Mal ein Rückstand der Auswaschungsflüssigkeit beobachtet und bei der Messung berücksichtigt wurde.

Die Variante Senfmischung weist in allen Messungen geringere Auswaschungswerte auf als die Varianten Leguminosenmischung und leguminosenfreie Mischung. Dies ist zum Teil durch die geringere Biomasse der Senf-Variante zu Versuchsbeginn bedingt, wodurch sich – bezogen auf kg/ha – geringere Auswaschungsmengen ergeben. Die Standardisierung der

Auswaschungsdaten auf Gramm ausgewaschene Substanz pro Tonne Anfangsbiomasse, die einen Vergleich unabhängig von der Höhe der Anfangsbiomasse erlaubt, relativiert diese geringeren Auswaschungswerte etwas. Dennoch wies die Senfmischung an den Terminen 14.11.2008, 5.12.2008 und 16.12.2008 eine geringere Stickstoffauswaschung und bei den meisten Terminen eine geringere Kohlenstoffauswaschung auf als die beiden anderen Varianten. Die Varianten Leguminosenmischung und Nichtleguminosen Mischung unterschieden sich wenig.

In Summe wurde in der Senfmischung 25 % des in der Biomasse zu Versuchsbeginn enthaltenen Stickstoffs ausgewaschen, während in den beiden anderen Varianten 32 bzw. 33 % ausgewaschen wurden. Die Kohlenstoff-Auswaschungsverluste waren prozentuell deutlich geringer, sie bewegten sich zwischen 6 % des in der Biomasse zu Versuchsbeginn enthaltenen Kohlenstoffs in der Senf-Variante und 9 % in den beiden anderen Varianten.

In einer Studie der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2003) betrug der Anteil von löslichem Stickstoff am Gesamtstickstoff in der Biomasse der Begrünpflanzen Senf 29 %, Sommerroggen 28 %, Ölrettich 44 % und Phacelia 46 %, wobei dieser auch stark von der Stickstoffernährung der Pflanzen abhängig war. Der lösliche Stickstoff war fast vollständig aus den abgefrorenen Pflanzen über Winter verschwunden und vermutlich mit den Niederschlägen ausgewaschen worden.

### **Risiko einer Stickstoff- und Kohlenstoffverlagerung ins Grundwasser**

Die aus der oberirdischen Biomasse ausgewaschenen Substanzen gelangen am Feld zunächst in den Boden und sind dort, sofern nicht ein Boden mit sehr geringer Speicherkapazität vorliegt und hohe Niederschläge auftreten, für die Folgekultur bzw. für den Humusaufbau noch nicht verloren.

Stickstoff wird von den Pflanzenwurzeln auch in den tiefen Schichten des Bodens entzogen. Die Flüssigkeit und der durch den Vorgang der Auswaschung entstandene Rückstand (Schwebstoffe), die in unseren Versuchsgefäßen aufgesammelt wurden, gelangten im Winter am Feld an die Bodenoberfläche.

Der Entzug des Stickstoffs durch die Pflanze wurde in mehreren Versuchen von der Bio Forschung Austria festgestellt. Beispielsweise wurde das bei einem Versuch mit Begrünpflanzen am Standort Absdorf mit Bodenanalysen festgestellt.

Die Auswaschung des von der Begrünpflanzenbiomasse gebundenen Stickstoffs erfolgte 1. nur zum Teil, 2. an die Bodenoberfläche und 3. mit Verzögerung erst im Laufe des Winters, womit das Risiko einer Versickerung von Stickstoffverbindungen in tiefere Bodenschichten wesentlich verringert wird. Nur maximal 33 % des in der oberirdischen Biomasse gespeicherten Stickstoffs wurde in unserem Versuch ausgewaschen.

Für das Element Kohlenstoff besteht kein Auswaschungsrisiko, da die Mikrofauna die kohlenstoffhaltigen Substanzen rasch verarbeitet bzw. bindet.

Eine generelle Erhöhung des Risikos der Eutrophierung des Grundwassers ist ausgeschlossen.

## Begrünungsbiomasse

Als bestimmend für die Abbaubarkeit pflanzlicher Rückstände wird einerseits deren C/N-Verhältnis, andererseits auch deren Gehalt an schwer abbaubaren Verbindungen wie Lignin angesehen (Müller et al., 1988; Handayanto et al., 1997). Im C/N-Verhältnis unterschieden sich die drei Varianten zu Versuchsbeginn kaum: es lag bei allen zwischen 14 und 15. Die Unterschiede im Ligningehalt waren geringer als hinsichtlich des Gehaltes an Cellulose und Hemicellulosen. Allgemein waren die gemessenen Gehalte an diesen Strukturkohlehydraten in guter Übereinstimmung mit Werten aus der Literatur (Schachtschabel et al., 1998; Müller et al., 1988; Gidenne, 2003). Die Senf-Variante wies zu Beginn des Versuchs gegenüber den anderen beiden Varianten einen etwas höheren Prozentanteil von Cellulose und Hemicellulosen in der Trockenmasse auf.

Die Versuchsvarianten Leguminosen und Leguminosenfreie Mischung hatten im hier vorliegenden Versuch höhere Verluste an Biomasse und Kohlenstoff als die Senf-Variante, sowohl bei der Versuchsprobe am 04.03.2009 als auch bei der am Feld geernteten Vergleichsprobe (10.03.2009). Diese höheren Biomasseverluste sind auf die hohe Blatt-Biomasse in den beiden Varianten, die auch die geringeren Gehalte an Cellulose und Hemicellulosen verursachte, zurückzuführen.

Dass die Ligningehalte keinen merkbaren Einfluss auf den Biomasseabbau zeigten, dürfte an der relativ kurzen Versuchsdauer (18 Wochen) und der fehlenden Einarbeitung in den Boden liegen. Frankenberger & Abdelmagid (1985) fanden in einem 20-wöchigen Abbauersuch (mit Einarbeitung) keine sehr starke Auswirkung des Ligningehaltes, während sich dieser in einem 56-wöchigen Abbauersuch mit u.a. Material von *Vicia faba* und *Phleum pratense* in Meshbags im Boden (Müller et al., 1988) deutlich auf die Abbaubarkeit auswirkte.

Der Vergleich der Pflanzenproben vom Ende des Ausgasungsversuches mit den zum gleichen Zeitpunkt (10.03.2009) am Feld genommenen Proben zeigte, dass am Feld bei allen Begrünungsvarianten höhere Biomasseverluste auftraten als in den Versuchsboxen. Dies ist auf die Außenbedingungen am Feld zurückzuführen wie beispielsweise den Faktor Wildfraß und die Tatsache, dass die Pflanzen am Feld dem Wind stärker ausgesetzt waren als in den Versuchsboxen.

Die höchsten Stickstoffverluste der Biomasse der Versuchsvarianten hatte mit 62 % die Senfmischung, dies wurde beim Vergleich der Versuchsprobe am 27.10.2008 mit der Versuchsprobe von 04.03.2009, und der Vergleichsprobe von 10.03.2009 festgestellt. Das könnte auf den hohen Gehalt dieser Pflanze an Senfölglycosiden zurückzuführen sein, die beim Welken freiwerden. Die Leguminosenmischung und die Nichtleguminosen Mischung wiesen Stickstoffverluste in der Biomasse von 50 bzw. 51 % auf.

In einem Zwischenfruchtversuch in Sachsen (D) verloren die über Winter auf dem Feld verbliebenen Zwischenfrüchte Senf 61 %, Ölrettich 60 %, Sommerroggen 53 % und Phacelia sogar 78 % ihres ursprünglichen Stickstoffgehaltes (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2003). In unserem Versuch lagen die Stickstoffverluste der über Winter am Feld verbliebenen Vergleichsproben zwischen 67 % (Leguminosenmischung) und 82 % (Senfmischung).

## Gasförmige Verluste

In der vorliegenden Arbeit wurden die gasförmigen Verluste errechnet, und zwar als Differenz der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte der Biomasse zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende, abzüglich der Auswaschungsverluste.

Hohe gasförmige Verluste von Kohlenstoff wurden bei den Versuchsvarianten Leguminosenmischung und Leguminosenfreie Mischung (48%) festgestellt. Diese sind zurückzuführen auf die weiche Zusammensetzung der Blattbiomasse, die zum Teil von den Frostereignissen und der Mikrofauna stark zersetzt worden war. Mikroorganismen sind vor allem an den Umsatzprozessen der leicht abbaubaren C-, N-Fractionen beteiligt (Friedel et al., 1997). Anderswiederum zeigte die Senfmischung geringere Verluste (42 %) an gasförmigem Kohlenstoff. Dies ist auf den robusten Aufbau dieser Pflanzen zurückzuführen, der Kohlenstoff der Zellwände wird langsamer abgebaut als bei den anderen Versuchsmischungen.

Bei den gasförmigen Stickstoffverlusten hat der Senf mit 37 % die höchsten Verlustmengen. Der Grund dafür sind, wie auch in einem anderen Zusammenhang vorher erwähnt, die leicht flüchtigen Senfölglycoside, diese bestehen aus stickstoffhaltigen Stoffen, die bei einer Verletzung der Pflanze (z.B. durch Frost, Umknicken durch Wind, mikrobiellen Abbau) freigesetzt werden (Strasburger et al., 2008). Die gasförmigen Stickstoffverluste bei der Variante Leguminosenmischung und Leguminosenfreie Mischung lagen im Bereich von 18 %.

Das Thema Erfassung von gasförmigen Verlusten von Pflanzen wird in der Literatur wenig behandelt. Mannheim et al. (1996) untersuchten Ammoniakemissionen mit einem Windtunnelsystem; hier sind bei Ernterückständen zwischen 0,9 und 3,7% Ammoniak-Verluste festgestellt worden. In unserem Versuch umfassen die gasförmigen Verluste jedoch alle Stickstoffverbindungen, die klarerweise höhere Werte aufweisen. Auch Kulozik-Erben (2007) stellte anhand eines Gefäßversuchs fest, dass die Bilanzierungsmethode weit höhere gasförmige Verluste ergab als eine parallel durchgeführte Ammoniak-Emissionsmessung.

## Humusbilanzierung

Die Ergebnisse der Humusbilanzen zeigen, dass der Beitrag der Begrünungsvarianten zur Humusmehrung zwischen 7 % und 32 % des jährlichen Humussaldos liegt, den eine Biolandbau-typische Fruchtfolge allein durch ihre anderen Fruchtfolgeglieder erzielt.

Begrünungsbiomasse weist ein engeres C/N-Verhältnis auf als z.B. Stroh. Daher liefern Begrünungen eher Nährhumus, der durch die Aktivierung des Bodenlebens die Nährstoffdynamik fördert. Die lebenden Wurzeln der Begrünungspflanzen bringen beachtliche Mengen an abgestorbenen Zellen, Exsudaten und Sekreten in den Boden ein, die als Nahrungsgrundlage für die Bodenmikroorganismen dienen. Die Mikroorganismen, die die organischen Substanzen abbauen, produzieren verklebend wirkende Stoffwechselprodukte, wie Polysaccharide, während Klee- und Graswurzeln die Aggregate umhüllen und dadurch die Bodenstruktur verbessern (Watson et al., 2002; Beste, 2005).

Wie Husz (1999) veranschaulichte, sind für den Aufbau von 1 % Bodenumus nicht nur rund 16 t/ha Kohlenstoff nötig, sondern auch rund 1600 kg/ha Stickstoff. Damit können Begrünungen mit ihrem engeren C/N-Verhältnis die Umwandlung von Stroh mit seinem sehr weiten C/N-Verhältnis zu Bodenumus unterstützen und liefern damit einen Beitrag zur Humusbildung, der über die reine C-Zufuhr durch ihre eigene Biomasse hinausgeht.

### **Zusatzversuch: Stehende Pflanzen**

Beim methodischen Versuch (Stehende Pflanzen) wurden die Varianten Leguminosen und Leguminosenfreie Mischung verglichen, die Variante Senfmischung war aufgrund eines technischen Fehlers nicht auswertbar.

Die Kohlenstoff- und Stickstoffauswaschungsmengen dieser Varianten zeigten im Hauptversuch einen starken Anstieg am 05.12.2008. Dies hängt einerseits mit der ab diesem Termin mitberücksichtigten Rückstandsmessung und andererseits mit der davor aufgetretenen Frostperiode zusammen. Dies ist mit der Aufstellung „Liegende Pflanzen“ vergleichbar.

Die Stickstoffauswaschungsverluste der Leguminosenmischung betragen 35 %, die der Leguminosenfreien Mischung 27 %. Im Vergleich zu den Liegenden Pflanzen im Hauptversuch liegen die Stickstoffauswaschungsmengen höher.

Die Biomasse-, Kohlenstoff- und Stickstoffverluste der Stehenden Pflanzen sind am niedrigsten im Vergleich zu den Proben des Hauptversuchs. Der Grund dafür ist, dass diese Pflanzen im Laufe des Versuchs vermutlich trockenkonserviert worden sind, da sie dem Wind stärker ausgesetzt waren als die liegenden Pflanzen im Hauptversuch. Somit konnten sehr wenige Mikroorganismen an diesen Pflanzen überleben, woraus eine geringe Abbaurate erfolgte. Hinsichtlich der pflanzlichen Fasern bleiben höhere Mengen an Hemicellulose, Cellulose und Lignin in der Probe Stehende Pflanzen im Vergleich zu anderen Versuchsproben übrig.

Die gasförmigen Kohlenstoffverluste der Versuchsvariante Leguminosenfreie Mischung betrug 37 %, während die Versuchsvariante Leguminosenmischung einen geringeren prozentuellen Anteil um 20 % hatte. Die gasförmigen Stickstoffverluste lagen im Bereich 1 bis 8 %.

### **Zusatzversuche: Regentropfenaufprall, Niederschlagsinterzeption und -aufnahme durch Pflanzen**

Der Zusatzversuch „Regentropfenaufprall“ (4.6.2.) bestätigte, dass unsere Versuchsgefäße den darauf fallenden Niederschlag ohne Verluste durch Wegspritzen o.ä. aufgefangen haben. Einerseits wurde der Niederschlag von der darunter liegenden geschlossenen Box aufgefangen, andererseits wurde er von der pflanzlichen Biomasse zurückgehalten bzw. aufgenommen (wie im Zusatzversuch „Niederschlagsinterzeption und -aufnahme durch Pflanzen“ 4.6.3 ersichtlich). Dieser Zusatzversuch (4.6.3.) zeigte, dass ein gewisser

prozentueller Anteil des Niederschlags (im Bereich 17 bis 26 %) durch Aufnahme der Pflanzen oder den Mechanismus der Interzeption von der Pflanze aufgefangen wurde.

### **Zusatzversuch: Biofilmeinfluss in den Auswaschungsgefäßen**

Durch diesen Versuch konnte ein möglicher Einfluss des Biofilms in den Auffanggefäßen auf die Konzentration des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes der Auswaschungsflüssigkeit untersucht werden. Die Ergebnisse der Variante mit pflanzlicher Biomasse mit Kupferdraht unterschieden sich nicht signifikant von der Versuchsvariante mit pflanzlicher Biomasse ohne Kupferdraht. Ein Einfluss des Biofilms auf die Untersuchungsergebnisse kann daher ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der Versuchsvariante Leguminosen Mischung im Jahr 2009/2010 des Zusatzversuches wurden mit derselben Versuchsvariante des Hauptversuchs (2008/2009) hinsichtlich der Biomasse-, der Kohlenstoff- und der Stickstoffverluste in der Begrünungsmasse verglichen. Dieser Vergleich zeigt einen tendenziell ähnlichen Verlauf der Ergebnisse.

Die Leguminosenmischung des Zusatzversuchs erbrachte 2009/2010 beim Stickstoff höhere Auswaschungsverluste (9 %) und niedrigere Ausgasungsverluste (9 %) im Vergleich zu den Verlusten des Hauptversuchs 2008/2009, während die Kohlenstoffverluste in Form von Auswaschung um 6 % höher und die Verluste in Form von Ausgasung im Vergleich zu den Verlusten des Hauptversuchs 2008/2010 um 15 % niedriger waren. Grundsätzlich bestätigen sich die Ergebnisse der beiden Jahre.

## 7. Empfehlungen für die Umsetzung in Praxis und Beratung

### Bewertung der Versuchsbegrünungen

Die Ergebnisse betreffend den Senf müssen differenziert betrachtet werden. Auf Standorten mit kürzerer Vegetationszeit ist Senf unübertroffen, auf Standorten mit einem Gefährdungspotential für das Grundwasser (sandige oder leicht seichtgründige Standorte) kann er zur Vorbeugung einer Grundwasserbelastung angebaut werden, jedoch ist bei Senfreinsaat bzw. senfbetonten Begrünungen mit hohen Stickstoffverlusten durch Ausgasung zu rechnen.

Werden die Stickstoffverluste durch höhere Mengen mineralischer Stickstoffdünger kompensiert, ist der hohe Energieverbrauch bei der Herstellung des mineralischen Stickstoffdüngers zu berücksichtigen, sodass sich die Energiebilanz dieser Bewirtschaftungsform verschlechtert.

Es wird daher empfohlen, den Senf in Mischungen mit anderen Arten anzubauen. Ausnahmen wären, wenn der Senf als Schädlings-Regulierungs-Maßnahme gegen Nematodenbefall bzw. zur Biofumigation eingesetzt wird. Trotz der höheren gasförmigen Verluste an Kohlenstoff bei den Leguminosen- und Nichtleguminosenmischungen verbleibt in der Biomasse ein hoher Anteil an Kohlenstoff.

### Sorgfältige Planung als Basis des Erfolgs

Eine zweckmäßige Zusammenstellung der Zwischenfruchtmischung mit mindestens fünf Kulturarten hilft, die gewünschten Ziele wie das Aufbrechen von Bodenverdichtungen, Erosionsschutz, Speicherung von gelösten Nährstoffen, Fütterung des Bodenlebens, Unkrautunterdrückung, Humusaufbau, Fixierung von Luftstickstoff oder auch einfach „nur“ den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit zu erreichen.

So dienen schnellwachsende Arten wie Buchweizen, Leindotter, Ölrettich, Senf oder Sommerraps zur frühen Unkrautunterdrückung und zum Erosionsschutz und werden kombiniert mit Arten, die zwar langsamer anwachsen, aber zu einem kräftigen Biomasseaufbau fähig sind wie Körnerleguminosen, Sonnenblume oder Hafer.

Auch die Mischung von Tief- und Flachwurzlern zur besseren Ausnützung der Bodenvorräte ist sinnvoll. Bei einem hohen Leguminosenanteil in der Fruchtfolge sind leguminosenfreie Mischungen erforderlich, um die Übertragung von Leguminosenkrankheiten und die Förderung von Leguminosenschädlingen zu vermeiden.

Bei hoher Verfügbarkeit von Stickstoff oder bei geplanter Gülledüngung müssen ebenfalls Mischungen ohne Leguminosen angebaut werden. Zwischenfrüchte mit leguminosenfreien Pflanzenmischungen erreichen die meisten gewünschten Ziele des Zwischenfruchtbaues mit Ausnahme der Fixierung von Stickstoff aus der Luft. Nur geprüftes Saatgut von geeigneten Arten ermöglicht eine starke und rasche Jugendentwicklung und einen gesunden leistungsfähigen Pflanzenbestand.

Die optimalen Begrünungen sind in der Weise definiert, dass sie jene Funktion erfüllen, die am Standort am dringendsten benötigt wird.

Im Fall hängiger und trockener Standorte werden schnellkeimende Begrünungspflanzen empfohlen wie beispielsweise Buchweizen, Leindotter, Sommerraps und Senf.

Bezüglich der Stickstoff-Fixierung wird in trockenen Gegenden die Platterbse empfohlen, anderswiederum ist die Sommerwicke in kalt-feuchten Gegenden vorteilhafter.

Hochwachsende Pflanzen wie Beispielsweise Ackerbohne, Gartenkresse, Lein, Hanf, Sonnenblume oder Ölrettich, Senf und Hafer erfüllen die Funktion der Unkrautunterdrückung insbesondere der Distelunterdrückung.

Begrünungen bodennah zu bringen vermeidet Verluste, die durch Windverfrachtung der Blätter entstehen, aber auch jene Verluste die durch Exposition von Pflanzenteilen oberhalb einer Schneedecke (tägliches Erwärmen der Blätter) hervorgerufen werden.

Es können verschiedene Verfahren angewendet werden.

- Der Einsatz einer Häckselmaschine oder eines Mulchgerätes hat eine feine Zerkleinerung der Begrünungspflanzen zur Folge. Dies hat den Nachteil einer raschen Zersetzung der Biomasse im Winter. Andererseits wird dadurch der Einsatz von einfachen Sämaschinen im Frühjahr erleichtert.
- Die Zerkleinerung der Begrünungspflanzen mit Hilfe eines Sicheljäähers führt zu größeren Teilstücken der Pflanzen, welche langsamer verrotten und daher die gebundenen Nährstoffe besser konservieren. Gleichzeitig erfordert Mähen einen geringeren Energieaufwand als Häckseln.
- Mit einem Walzenaufbereiter werden die Begrünungspflanzen nur zum Teil geknickt und an den Boden angedrückt.
- Der Begrünungspflanzenbestand kann aber auch durch einen Kreiselwender geknickt, abgerissen und so an den Boden herangeführt werden.
- In manchen Jahren ist einfaches Abschleppen des erstmals tiefgefrorenen Pflanzenbestands (<-5°C) vor dem ersten Erwärmen möglich. Hierbei erfolgt ein rasches Zerbrechen des Bestands in grobe Stücke.
- Bei den letztgenannten Verfahren ist eventuell mit Problemen bei der Saatbeetbereitung zu rechnen oder der Einsatz von guten Mulchsämaschinen erforderlich.

Die vorher genannten Maßnahmen sollten möglichst nach dem ersten Frost stattfinden, da dies eine Verdichtung des Bodens verhindert und die Befahrbarkeit erleichtert.

In diesem Zusammenhang wird ein weiterführender Versuch von der Bio Forschung Austria angestrebt, um diese Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf den Boden vergleichen zu können.



## 8. Literaturverzeichnis

- Amberger A. 1996. Pflanzenernährung. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 319pp.
- Autorenkollektiv (1977): Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Hrsg.: Akademie der Landwirtschafts-Wissenschaften der DDR, agrabuch, Leipzig 6.
- Baggs E. M., Watson C.A. & Rees R.M. 2000: The Fate from incorporated cover crop and green manure residues. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*: 56, 153-163
- Beste A. (2005) Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Broughton, W. J. 1977: Effect of various cover crops on the performance of *Elaeis guinensis* (Jacq.) on different soils. In: D. A. Earp, and W. Newall (eds), *International Developments in Oil Palm*, Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia, 501- 525
- Dinesh, R., M. A. Suryanarayana, G. Shyam Prasad, A. K. Bandyopadhyay, A. K. Nair, and T. V. R. S. Sharma, 1999: Influence of leguminous cover crops on microbial and selected enzyme activities in soils of a plantation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 57- 60.
- Frankenberger W., Abdelmagid H. (1985): Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant Soil* 87, 257-271.
- Freyer B. 2003. Fruchtfolgen, Konventionell – Integriert - Biologisch. Stuttgart, Eugen Ulmer, 230pp.
- Friedel J. K., Dierenbach E., Gabel D., 1997. Die Rolle der mikrobiellen Biomasse im C- und N-Kreislauf ökologisch bewirtschafteter Ackerböden. 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Bonn. 77-83pp.
- Fuchs G., Schlegel H. 2007. Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 678pp.
- Gidenne T. (2003): Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livestock Prod. Sci.* 81, 105-117
- Handayanto E., Cadisch G., Giller K. (1997): Regulating N mineralization from plant residues by manipulation of quality. In: Cadisch G., Giller E. (eds.): *Driven by nature. Plant litter quality and decomposition*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 175-185
- Hartl W., Petrasek R., (9. 7.2009), Zwischenfrüchte mit und ohne Leguminosen – eine gute Mischung, *Bauern Zeitung*. Nr.28. seite5
- Hartl W., Hofer M., Vogt-Kaute W.. 2007. Weniger ist mehr. *BIO AUSTRIA Fachzeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie*, Nr.4. 22-23

- Höper H., 2001: 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Fachtagung. Hannover. 94pp.
- Husz G. (1999): Stickstoffdynamik in Abhängigkeit von ökologischen Rahmenbedingungen insbesondere Huminhaushalt. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost – Bewertung von Bindungsdynamik und Düngewert. Runder Tisch Kompost, Wien, 29. – 30. September 1998. Eigenverlag Umweltbundesamt. pp. 39-57.
- Kasten P. (2002): Humus stärkt den Boden. *HuMuss* 6/2002, 10-11
- Kastori R. 2004. Nitrogen Volatilization From Plants. *Proc. Nat. Sci.*: 107, 111-118
- Kögel-Knabner, I. 2002: Organische Substanz. *IN*: Scheffer, F., Schachtschabel, P. (Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. Neu bearbeitet und erweitert von Blume, H.-P. et al., Spektrum, Heidelberg, 570pp.
- Kulozik-Erben A. 2007: Emissionen gasförmiger Stickstoff-Verbindungen (NH<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O) aus Pflanzen in Abhängigkeit von der N-Versorgung und pflanzenartspezifischen Stoffwechseleigenschaften. Dissertation. Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Giessen. 164pp
- Kuntze H., Roeschmann G., Schwerdtfeger G..1994. Bodenkunde. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.424pp.
- Kuzyakov Y., Domanski G. 2000. Carbon input by Plants into the Soil. Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*: 163 (4), 421-431
- Larcher W. 1994. Ökophysiologie der Pflanze. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 394pp
- Leder K., Puxbaum H. 2003. Nasse Deposition im Land wien. Bericht für MA22 – Umweltschutz. Wien.
- McCracken, D. V., M. S. Smith, J. H. Grove, C. T. MacKown, and R. L. Blevins, 1994: Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1476 -1483.
- Mengel, K. 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, Gustav Fischer Verlag Jena. 466pp.
- Möller K., Reents H. 2009: Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*:172, 277-287
- Müller M., Sundman V., Soininvaara O., Meriläinen A. (1988): Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials decomposing in soil under field conditions. *Biol. Fertil. Soils* 6, 78-83
- Naumann C., Bassler R., 2007, Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch, Band III, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

- Pietsch G., Friedel J., 2007, Was Leguminosen bringen, BIO AUSTRIA Fachzeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie, 20-21
- Renius, W.; Lütke Entrup, E.; Lütke Entrup, N., 1992: Zwischenfruchtanbau – Zur Futtergewinnung und Gründüngung. 3. Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 244pp.
- Sachs L., 1992, Angewandte Statistik, 7.Auflage, Springer Verlag, Berlin, 364pp.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg., 2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8. Jahrgang, Heft 9, Eigenverlag, Dresden.
- Schachtschabel P., Blume H.-P., Brümmer G., Hartge K., Schwertmann U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Smith, M. S., W. W. Frye, and J. J. Varco, 1987: Legume winter cover crops. Adv. Soil Sci. 7, 95 -139.
- Strasburger E., Noll F., Schenck H., Schimper A.F.W. 2008. Lehrbuch der Botanik. Spektrum Verlag, Heidelberg, 1175pp.
- VDLUFA (Hrsg.; 2004): Standpunkt Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA Selbstverlag, Bonn.
- Van Soest P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 1963a; 46:825-829
- Van Soest P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 1963b; 46:829-835
- Watson C., Atkinson D., Gosling P., Jackson L., Rayns F. (2002) Managing soil fertility in organic farming systems. Soil Use Managem. 18, 239-247.
- Weber E., 1980, Grundriss der biologischen Statistik, 8.Auflage, Fischer Verlag, Stuttgart, New York. 652pp.
- Yasar S. 1999. Beurteilung der technologischen Qualität von Cellulose, Hemicellulosen und Lignin bei Miscanthus "Giganteus" und Cannabis sativa L. Dissertation. Institut für Agrarbiotechnologie in Tulln, Universität für Bodenkultur. 152pp.