



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

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

angestrebter akademischer Grad

Magister/Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser: Alya Badawi
Matrikel-Nummer: 0207950
Studienrichtung /Studienzweig Diplomstudium Ökologie (A444)
(lt. Studienblatt):
Betreuerin / Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Roland Albert

Wien, im November 2010

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Danksagung..... | 4 |
| 2. Zusammenfassung..... | 5 |
| 3. Summary..... | 6 |
| 4. Einleitung | 7 |
| 4.1. Begrünungen (Zwischenfrüchte)..... | 7 |
| 4.2. Emissionen von Kohlenstoff und Stickstoff aus Pflanzenbeständen | 8 |
| 4.2.1. Stickstoff | 9 |
| 4.2.2. Kohlenstoff | 9 |
| 4.3. Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose | 10 |
| 4.4. Humusbilanzierung..... | 11 |
| 5. Fragestellung | 12 |
| 5.1.1. Projektziele | 12 |
| 6. Material und Methodik | 12 |
| 6.1. Hauptversuch | 12 |
| 6.1.1. Versuchsanlage | 14 |
| 6.1.2. Chemische Analysen..... | 15 |
| 6.1.2.1. Continuous Flow Analysis (CFA)..... | 16 |
| 6.1.2.2. Filter-Rückstand und Pflanzenproben | 20 |
| 6.1.2.3. Elementaranalyse | 20 |
| 6.1.2.4. Lignin und Cellulose Bestimmung | 21 |
| 6.1.3. Humusbilanzierung | 23 |
| 6.2. Zusatzversuche:..... | 24 |
| 6.2.1. Stehende Pflanzen..... | 24 |
| 6.2.2. Regentropfenaufprall /Herbst 2009..... | 24 |
| 6.2.3. Niederschlags- Interzeption und Aufnahme durch Pflanzen / Herbst 2009 | 24 |
| 6.3. Statistische Auswertung | 24 |
| 7. Ergebnisse | 26 |

| | | |
|----------|--|----|
| 7.1. | Auswaschung..... | 26 |
| 7.1.1. | Auswaschungsflüssigkeit | 26 |
| 7.1.2. | Gehalte an organischem Stickstoff, Nitrat (NO ₃) und Ammonium (NH ₄) in der Auswaschungsflüssigkeit..... | 29 |
| 7.1.3. | Rückstand/Schwebstoffe..... | 31 |
| 7.1.4. | Summe der Auswaschung von C und N..... | 33 |
| 7.1.4.1. | Flächenbezogene Auswaschung..... | 33 |
| 7.1.4.2. | Biomassebezogene Auswaschung..... | 35 |
| 7.2. | Begrünungsbiomasse..... | 38 |
| 7.2.1. | Biomasse | 38 |
| 7.2.2. | Gesamt -Kohlenstoff..... | 39 |
| 7.2.3. | Gesamt -Stickstoff | 41 |
| 7.2.4. | Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff | 43 |
| 7.2.5. | Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose | 43 |
| 7.3. | Mikroklimamessungen:..... | 45 |
| 7.4. | Aufgliederung der Verluste | 48 |
| 7.5. | Zusatzversuche | 52 |
| 7.5.1. | Stehende Pflanzen..... | 52 |
| 7.5.1.1. | Summe der Auswaschungswerte C und N bezogen auf die Fläche..... | 52 |
| 7.5.1.2. | Begrünung Biomasse | 53 |
| 7.5.1.3. | Pflanzliche Fasern Lignin und Cellulose | 55 |
| 7.5.1.4. | Stehende Pflanzen – Aufgliederung der Verluste | 56 |
| 7.5.2. | Mögliche Verluste durch Tropfenfehler | 57 |
| 7.5.2.1. | Regentropfenaufprallversuch | 57 |
| 7.5.2.2. | Niederschlags-Interzeption und Aufnahme durch die Pflanzenbiomasse.. | 57 |
| 8. | Diskussion..... | 59 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 66 |
| 10. | Lebenslauf | 69 |

1. Danksagung

Danken möchte ich meinem Betreuer, Ao. Univ.-Prof. Dr. Roland Albert für seine Geduld, besonders bei der Korrektur meiner Arbeit und Dr. Wolfgang Wanek, der für mich bei auftretenden Fragen immer einen guten Rat bereit hatte.

Ein großer Dank gebührt dem Team der Bio Forschung Austria, besonders Dr. Wilfried Hartl, Dr. Eva Erhart und all meinen lieben Kollegen, die mir immer unterstützend beigestanden sind.

Letztendlich möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, meinen Eltern, die für mich dieses Studium ermöglichten und meinen Schwestern, die mich mental unterstützten.

Diese Arbeit erfolgte im Rahmen eines Evaluierungsprojektes, welches von Bund, Ländern und Europäischer Union unterstützt wurde, in Zusammenarbeit mit der Bio Forschung Austria.

2. Zusammenfassung

Der Einsatz von Begrünungen (Zwischenfrüchte, die zwischen zwei Hauptkulturen angebaut werden) 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 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in der Begrünungsbiomasse, sowie die bis zu diesem Zeitpunkt erfolgten witterungsbedingten Auswaschungsverluste zu quantifizieren.

In vorliegenden Arbeit wurde Pflanzenbiomasse von drei Begrünungsvarianten (Mischung mit Leguminosenanteil, Mischung ohne Leguminosenanteil und Senf (abfrostende nicht winterharte Begrünungspflanzen)) untersucht, die unter praxisgerechten und den ÖPUL-Anforderungen entsprechenden Bedingungen in einem Feldversuch angelegt, in offenen (Gitter-)Stapelboxen gleichmäßig verteilt aufgelegt und den ganzen Winter über bis zum 4. März der Witterung ausgesetzt waren. Dabei 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 Nicht-Leguminosenmischung bei 48 % des im Herbst in den Begrünungspflanzen vorhandenen Gesamtkohlenstoffs. Für Stickstoff betragen die gasförmigen Verluste bei Leguminosen- und Nicht-Leguminosenmischung ca. 18 % in Relation zu den Stickstoffgehalten bei Versuchsbeginn, während Senf einen Verlust von 37 % aufwies. Die durch Ausgasung verursachten Kohlenstoff- und Stickstoffverluste wirken sich negativ in Richtung Klima und Boden aus. Es wird empfohlen, abfrostende Begrünungen nach dem ersten Frost bodennah zu bringen. Damit sollten die Verluste an Ausgasung verringert werden.

3. 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 2nd 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 4th 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.

4. Einleitung

4.1. 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 Trockenmasse-Bildung und vom Nährstoffgehalt des Bodens. Begrünungen erhalten und verbessern die Bodenfruchtbarkeit (Renius et al. 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 symbiotische Bakterien in den Wurzeln der in einer Begrünung vorhandenen Leguminosen dem Boden zugeführt werden, Diese zusätzliche Stickstoff-Reserve ist wiederum ein Vorteil für die Fruchtfolge (Baggs et al., 2000).

- Bodenschutz

Das Erosionspotential eines Standortes durch Wind und Wasser sowie der Grad der NO_3^- -Auswaschung (McCracken et al., 1994, Möller & Reents, 2009, Smith et al., 1987) werden durch die Pflanzendecke und die Durchwurzelung verringert. Ebenfalls werden die Ausgasungsverluste von Böden minimiert (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 CO_2 von den Pflanzen aufgenommen, wird in deren Biomasse gespeichert und bewirkt einen verbesserten Humusaufbau. Humus spielt eine zentrale Rolle als Kohlenstofflieferant für die Mikroorganismen. Er fungiert als Nährstoffspeicher und beeinflusst die bodenbiologische Aktivität, das Wasserspeichervermögen sowie die Pufferfunktion des Bodens.

In der vorliegenden Arbeit wurden die ÖPUL Förderungsvarianten B und D einer Überprüfung unterzogen, die als besondere Bedingungen verlangen, dass der Umbruch erst

nach dem 2. März (des Folgejahres) erfolgen darf und dass abfrostende Begrünungskulturen zwischen zwei Hauptkulturen anzulegen sind.

Versuchsvarianten

Leguminosenmischung

Leguminosen wirken 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, was somit zu einer Erhöhung des Humusgehaltes und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit beiträgt (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 allerdings 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).

Senf

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

4.2. 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 (Marschner, 1995).

In einem nachhaltigen Landwirtschaftssystem sollen die Nährstoffverluste, sei es durch Emission oder durch Auswaschung möglichst gering sein. Für die Pflanze sind Nährstoffe verloren, sobald sie unter den Wurzelbereich oder in die Atmosphäre gelangen.

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

4.2.1. Stickstoff

Der Stickstoff spielt eine zentrale Rolle für Wachstum und Entwicklung von Pflanzen. Stickstoffverbindungen werden zwischen Pflanzen und Mikroorganismen wechselseitig im Lauf von Auf- und Abbauprozessen ausgetauscht. Dabei kommt es zur Bildung unterschiedlicher flüchtiger stickstoffhaltiger Verbindungen, welche von der Bodenoberfläche aber auch aus dem Pflanzenbestand in die Atmosphäre abgegeben werden können.

In einem ersten Mineralisierungsschritt (Ammonifikation) wird NH_4 produziert, indem das organische Material im Boden durch Mikroorganismen zersetzt wird. Darauf aufbauend wird in einem nächsten Schritt (Nitrifikation) NH_4 in einem zweistufigen Oxidierungsprozess mit Hilfe von Bakterien (v.a. Gattungen *Nitrosomonas* und *Nitrobacter*) über NO_2 zu NO_3 oxidiert. Durch bakterielle Umwandlung (Denitrifikation) kann NO_3 aber auch wieder reduziert und in gasförmige N-Verbindungen umgewandelt werden. Dabei können Stickstoffmonoxid (NO), Lachgas (N_2O) und molekularer Stickstoff (N_2) entstehen.

Pflanzenwurzeln nehmen Stickstoff vorwiegend in der Form von leicht auswaschbarem Nitrat (NO_3) und nur in geringer Menge als austauschbares und/oder gelöstes Ammonium (NH_4) aus dem Boden auf. Zusammen mit dem CO_2 aus der Luft synthetisieren Pflanzen aus diesen einfachen anorganischen chemischen Bausteinen komplexe organische Moleküle, wie Eiweiße, Nukleinsäuren, viele weitere N-haltige Naturstoffe (z.B. Alkaloide, Senföle, etc. etc.) und Verbindungen. Dabei stellen die Eiweiße eine besonders wichtige Fraktion dar. Der Anteil des Stickstoffs in der pflanzlichen Biomasse, der überwiegend in organischen Molekülen gebunden vorliegt, beträgt etwa 1 - 4 Gewichtsprozent, bezogen auf die Trockenmasse (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 (NO_x) und Distickstoffoxid (N_2O) von Pflanzen emittiert (Rockel, 1993; Chang et al, 1997; beide zitiert nach Kulozik-Erben, 2007).

4.2.2. Kohlenstoff

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). Nahezu der gesamte C-Anteil im Boden ist pflanzlichen Ursprungs (Kuzyakov & Domanski, 2000).

Der Kohlenstoff wird im Zuge der Photosynthese in Form von CO_2 von den grünen Teilen der Pflanze assimiliert. Ein gewisser Teil davon, der von Pflanzenart zu Pflanzenart sehr stark schwanken kann (Marschner, 1995)

fließt in Form von Wurzelexudaten in die Rhizosphäre. Der Bulk an Kohlenstoff gelangt aber als abgestorbene Biomasse von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen zurück in den Boden. Dabei werden dem Boden verschiedene Arten von organischen Substanzen zugeführt, die aus leicht- und schwerer abbaubaren Stoffen bestehen. Die Bodenmikrofauna mineralisiert diese C-Quellen rasch zu CO₂, sofern sie in Form von leicht abbaubarem Nährhumus zur Verfügung stehen (Kutze et al., 1994). Im Zuge anaerober Phasen während der Abbauprozesse kann es auch zur Entwicklung von Methan (CH₄) kommen. Alle diese Umwandlungsprozesse sind stark von den Umweltbedingungen abhängig, v.a. von Temperatur- und Feuchtigkeitsregimen, gleichzeitig wirken diese auf die äußeren Bedingungen (Treibhausgaseneffekt) massiv ein.

Böden können auch als C-Senke (Zunahme des C-Vorrats) fungieren, indem ein Teil des Kohlenstoffs in schwer abbaubare Humuskomplexe eingebaut wird, die eine Langzeit-Kohlenstoffreserve darstellen. Zu den schwer abbaubaren Stoffen gehören die pflanzlichen Gerüstfasern, welche im nächsten Kapitel besprochen werden.

4.3. 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. Die Hemicellulosen sind Polysaccharide, die neben Cellulose in der Zellwand vorliegen. Sie sind aus verschiedenen Zuckern, vorwiegend Pentosen, aufgebaut.

Das Lignin stellt als dritter Hauptbestandteil der pflanzlichen Fasern eine heterogene makromolekulare polyphenolische Substanzgruppe 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 nur 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 Fruchtbarkeit im Boden (Kuntze et al., 1994).

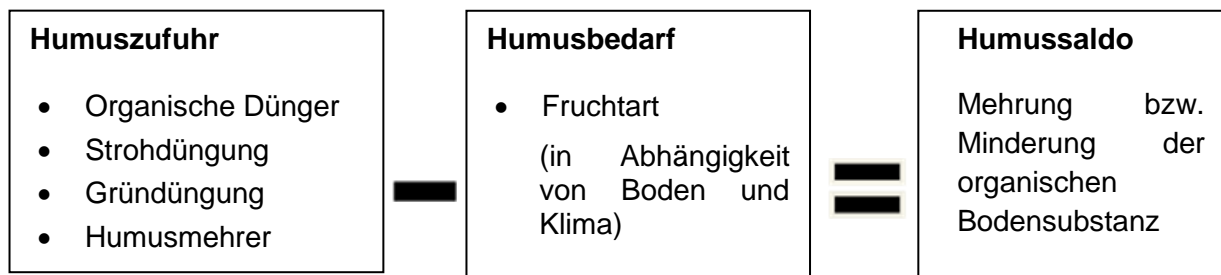
Neben dem C/N-Verhältnis sind die Gehalte an Lignin, aber auch an den beiden anderen Gerüstsubstanzen Cellulose und Hemicellulose bestimmend für die Geschwindigkeit des Abbaus von pflanzlichem Material (Müller et al., 1988; Handayanto et al., 1997).

4.4. Humusbilanzierung

Neben ihrer Bedeutung für die Verminderung des Bodenabtrags und der Nitratauswaschung während der Wintermonate 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, sondern 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 demnach mindestens ebenso hohe 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, zum Humusabbau beitragen, während andere Feldfrüchte, die sogenannten Humusmehrer, wie z.B. Feldfutter (Klee, Luzerne), den Humusgehalt des Bodens anheben. Der Einfluss der verschiedenen Feldfrüchte auf den Humusgehalt ist bedingt durch den Anfall quantitativ und qualitativ unterschiedlicher Ernterückstände und Wurzelmassen, den unterschiedlichen Bodenbedeckungsgrad und die jeweilige verschieden intensive Bodenbearbeitung.



Eine einfache Humusbilanzmethode wurde von einem Autorenkollektiv (1977) in der ehemaligen DDR entwickelt. Auf der Grundlage langjähriger Feldversuche wurden Maßzahlen für die durchschnittliche humuszehrende oder humusmehrnde Wirkung der Feldfrüchte und die humusmehrnde Wirkung von Stroh, Grünmasse und verschiedenen organischen Düngern erstellt. Die Ähnlichkeit der Klimabedingungen dieser Versuchsstandorte mit den Klimaverhältnissen in Ostösterreich erlaubt grundsätzlich die Anwendung der Ergebnisse dieser Berechnungsmethode auf die Fragestellungen in vorliegender Arbeit.

5. Fragestellung

Vor der Einarbeitung der Begrünungspflanzen in den Boden im Frühjahr kommt es zu Verlusten an Kohlenstoff und Stickstoff in der oberirdischen Biomasse bei den der Witterung ausgesetzten Pflanzen. Einerseits kommt es zu Ausgasungen durch mikrobielle Aktivität in der pflanzlichen Biomasse 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 des Folgejahres.

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.

Im Rahmen dieses Projektes wurde der Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Lignin und Zellulose in der oberirdischen Biomasse der Begrünungspflanzen sowie deren Verluste durch Auswaschungen bis zum erlaubten Einarbeitungstermin 02.03.09 untersucht. Aus der Differenz dieser Messgrößen kann auf Verluste durch Ausgasung geschlossen werden.

5.1.1. 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 als Folge mikrobiell bedingter Ausgasungsvorgänge in der pflanzlichen Biomasse.
- 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.

6. Material und Methodik

6.1. 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).

Es wurden drei Begrünungsvarianten getestet: eine Mischung mit Nicht-Leguminosen, eine Mischung mit Leguminosen und eine Begrünung mit Senf. Am 27.10.2008 wurde jeweils die oberirdische Pflanzenfrischmasse auf einer Fläche von 1,5 m² geerntet. Jede dieser Varianten bestand zu ca. 3% aus Beikräutern und Durchwuchs.

Folgende Saatgut-Mischungsverhältnisse kamen bei den einzelnen Begrünungsvarianten 2008 auf dem Versuchsfeld zur Anwendung:

1. Mischung mit Leguminosen:

Angestrebte Gesamt-Aussaatmenge 140kg/ ha, davon

- **Grobkörnige¹ Anteile:**

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

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

- **Feinkörnige¹ Anteile:**

8kg Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) (5,7%), 3kg Leindotter (*Camelina sativa*) (2,1%), 3kg Öljrettich (*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

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 Öljrettich (*Raphanus sativus*) (7,8%), 4kg Leindotter (*Camelina sativa*) (7,8%)

3. Senf (*Sinapis alba*)

Aussaatmenge: 8kg/ ha

Die untersuchten Begrünungspflanzen wurden am 27.10.2008, zum Zeitpunkt der höchsten oberirdischen Pflanzenbiomasse, aber noch vor dem ersten Frostereignis geerntet.

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

6.1.1. Versuchsanlage

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

Nach jedem Regenereignis wurde die Menge der Auswaschungsflüssigkeit in den Boxen bestimmt. Der Biofilm der sich nach einer gewissen Zeit in den Versuchsboxen bildete, wurde abgekratzt und der Auswaschungsflüssigkeit hinzugefügt, die mit einem Mixstab homogenisiert; ein aliquoter Teil wurde für die Analyse entnommen (Insgesamt 10 Termine).

Zusätzlich wurde noch eine Nullvariante (ohne Pflanzen) mit gleichem Aufbau in 4-facher Wiederholung 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 (0,24m²) entsprach der auf 0,24m² Fläche geernteten Biomasse, wobei darauf geachtet wurde, dass die in den Begrünungen vorhandenen Pflanzenarten mengenanteilmäßig auch in den Boxen repräsentiert waren. 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.

Zur Erhebung der Anfangswerte wurden an einer weiteren Probe pro Variante mit gleicher Artenzusammensetzung zu Versuchsbeginn die Trockenmasse, die Gehalte an C und N (im Elementaranalysator) sowie an Lignin und Cellulose bestimmt. Dieselben Parameter wurden am 2. März an den 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 allen Varianten am 10.03.09 erneut 1,5 m² der am Feld verbliebenen Pflanzen geerntet. Diese Proben wurden getrocknet und ebenfalls 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 sowie die Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit in 2 Metern Höhe aufzunehmen.

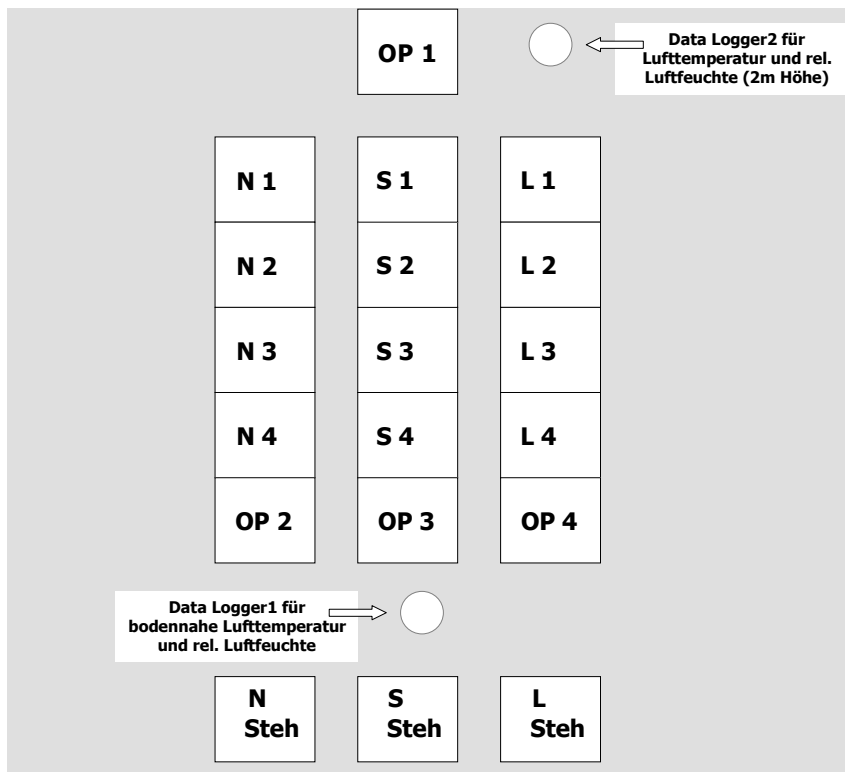


Abb. 1: Versuchsaufbau Ausgasung. N = Nicht-Leguminosenmischung, S = Senf, L: Leguminosenmischung, OP: ohne Pflanzen, 1-4 = Wiederholungen, Steh = Stehende Pflanzen

6.1.2. Chemische Analysen

Insgesamt wurden an 10 Terminen Proben entnommen. Die Auswaschungsflüssigkeit wurde nach jeder Niederschlagsperiode mit Hilfe eines Stabmixers homogenisiert, gesammelt und abgemessen. Aliquote Mengen wurden homogenisiert und über ein Glasfilter gereinigt. Rückstand und Filtrat wurden getrennt analysiert.

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

Als Vorversuch 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 ($3 \mu\text{m}$) getestet. 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.

Dabei stellte sich der Glasfilter GFF mit dem Durchmesser $0,7 \mu\text{m}$ als der best geeignete heraus und wurde daher in der Folge verwendet.

Das gewonnene Filtrat wurde mit dem CFA (Continuous-Flow Analysis) Verfahren analysiert, aliquote Teile des Glasfilters mit dem Rückstand wurden mit einem Elementaranalysator vermessen.

6.1.2.1. Continuous Flow Analysis (CFA)

6.1.2.1.1. 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

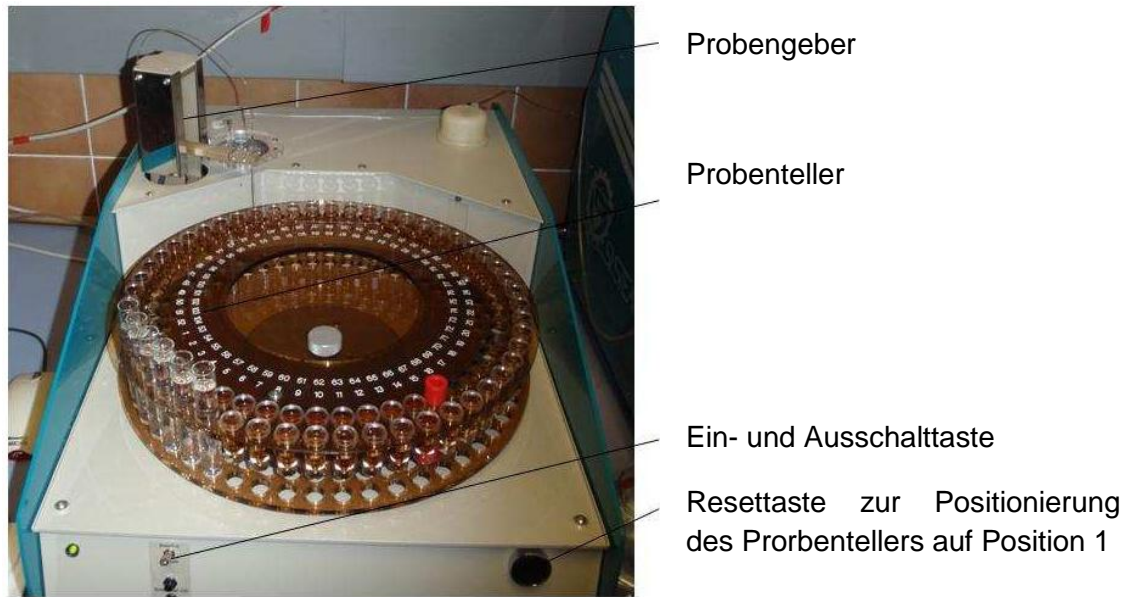


Abb. 3: CFA-Probennehmer

2. Vier Analytikonsolen 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 Analytikonsole 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

6.1.2.1.2. Messablauf

Flüssige Proben werden automatisiert angesaugt und anteilmäßig auf die 4 Analytikkonsolen aufgeteilt, die für die Messung von DOC (dissolved organic matter - gelöster organischer Kohlenstoff), TN (total Nitrogen - gesamter löslicher Stickstoff), NO_3 und NH_4 zuständig sind. Dadurch wird ermöglicht, dass in jeder Probe alle Bestimmungsmethoden gleichzeitig durchgeführt werden.

Zwischen die einzelnen Proben werden Stickstoffblasen eingefügt, um eine Probenvermischung zu verhindern (Segmentierungs-Methode).

Probe, Stickstoff, Luft und Reagenzien werden durch 4 Peristaltikpumpen eingesaugt. Die Probenflüssigkeit 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 (lösl. CO_2 , HCO_3^- und CO_3^{2-} - Ionen) wird als CO_2 durch Ausblasen (sparging) mit Stickstoff-Gas entfernt.

Die C-haltigen organischen Verbindungen werden unter UV-Bestrahlung (Digester) mit dem Reagenz Peroxodisulfat versetzt und zu CO_2 oxidiert. Die Farbabnahme des gepufferten Indikatorreagenz Phenolphthalein bei Ansäuerung durch CO_2 erfolgt bei 550 nm.

TN (Total Nitrogen)-Bestimmung:

Organische N-Verbindungen (Aminosäuren, Peptide, Nukleotide, etc.) sowie die freien NH_4^+ -Ionen werden in leicht alkalischer Lösung (NaOH) unter UV-Bestrahlung (Digester) mit dem Reagenz Peroxidsulfat zu Nitrat oxidiert. Anschließend wird Nitrat mit Hydrazin (Hydraziniumsulfat + Kupfersulfat) ebenfalls in alkalischer Lösung (NaOH) zu Nitrit reduziert. Nitrit und Sulfanilamid ergeben in saurer Lösung (Citronensäure) einen roten Diazofarbstoff. Die Messung der Extinktion erfolgt zwischen 520 und 540 nm.

NO_2 -N-Bestimmung:

Die Messung von Nitrat erfolgt wie bei der Messung des gesamten löslichen Stickstoffs, nur unterbleibt die Vorbehandlung mit Peroxidsulfat und UV.

NH_4 -N-Bestimmung

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.

Durch Differenzbildung der entsprechenden Messsignale kann auf die Gehalte an org. N-Verbindungen, Nitrat und Ammonium rückgerechnet werden.

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_4 -Messbereich: 0,2-2 mg/L

NO_3 -Messbereich: 0,5-5 mg/L

6.1.2.1.3. Analysengenauigkeit

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

6.1.2.2. Filter-Rückstand und Pflanzenproben

Filterproben/ Rückstand :

Der Rückstand nach Filtrierung der Eluate 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 wurden bei 80°C getrocknet und anschließend fein vermahlen. Mit Hilfe einer Mikrowaage wurden ca. 1,5 – 2 mg Pulver in Zinnschiffchen eingewogen. Die gefalteten Zinnschiffchen wurden mit einem Elementar Analysator (EA, 1110, Carlo Erba Instruments, Mailand, Italien) analysiert.

6.1.2.3. Elementaranalyse

6.1.2.3.1. Messprinzip

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

6.1.2.3.2. Methodenablauf

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

Mit Hilfe von Wolfdramtrioxid als Katalysator wird eine vollständige Oxidation erreicht. Als Produkte entstehen u.a. CO_2 , H_2O und NO_3 .

Das entstandene Gasgemisch Produktgas strömt anschließend über eine Kolonne mit Kupfergranulat. Hier wird der Restsauerstoff als kupferoxid gebunden und Stickoxide werden zu Stickstoff reduziert. Die Gasmischung enthält dann die Analytgase CO_2 , H_2O und N_2 , die mittels hochreinen Heliums als Trägergas über eine Chromatographiesäule geführt und aufgetrennt werden.

Nachweis und Quantifizierung der Produktgase erfolgen mit Hilfe eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors. Die Flächen der Peaks sind jeweils proportional der Substanzmenge im Gemisch.

Zur Blindwertbestimmung werden leere Zinnkapseln eingesetzt.

6.1.2.4. *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 umfasst drei Kochvorgänge:

NDF („Neutral Detergent Fiber“ – „Neutral-Detergentien-Faser“):

1g der Probe wurde mit einer neutralen Detergentien-Lösung 1 Stunde lang gekocht, wodurch die Zellinhaltsstoffe (Kohlenhydrate, Rohproteine, Rohfette) bzw. ihre Abbauprodukte in Lösung gingen.

Anschließend wurden die Proben in Filtertiegel überführt und filtriert. Der in der neutralen Detergentien-Lösung nicht lösliche Rückstand aus Zellwandsubstanzen wurde gewaschen. Der Filtertiegel wurden bei 105°C getrocknet, ausgekühlt und abgewogen (= Wert m1, siehe unten).

Anschließend wurden die Probe im Muffelofen bei 500°C etwa drei Stunden verascht. In weiterer Folge wurden die Tiegel mit dem Asche-Rückstand ausgekühlt und erneut abgewogen (= Wert m2). Der prozentuelle Anteil an „Neutral Detergentien Faser“ errechnete sich schließlich aus

$$W_{NDF} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{E} \%$$

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

ADF („Acid Detergent Fiber“- „Säure Detergentien Faser):

1g der Probe wurde mit einer sauren Detergentien Lösung 1 Stunde lang gekocht, wobei die Hemicellulosen gelöst wurden.

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

Anschließend wurden die Proben im Muffelofen bei 500°C etwa drei Stunden verascht und nach dem Abkühlen gewogen (=m2).

Der Gehalt an „Säure-Detergentien-Faser“ errechnete sich nach

$$W_{ADF} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{E} \%$$

m1 = Masse des Filtertiegels mit dem getrockneten Rückstand

m2 = Masse des Filtertiegels mit der veraschten Probe

E = Einwaage in g

ADL (Säure Detergentien Lignin) = Rohligningehalt

Hier wurde zunächst der ADF Kochvorgang angewandt. Anschließend wurde der Rückstand mit 72%iger Schwefelsäure 3 Stunden lang behandelt, danach wurde abgesaugt, gewaschen, bei 105°C getrocknet, ausgekühlt und abgewogen (=m3)

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

Die Gehalte an Rohlignin ergaben sich aus

$$W_{ADL} = \frac{(m_3 - m_4) \cdot 100}{E} \%$$

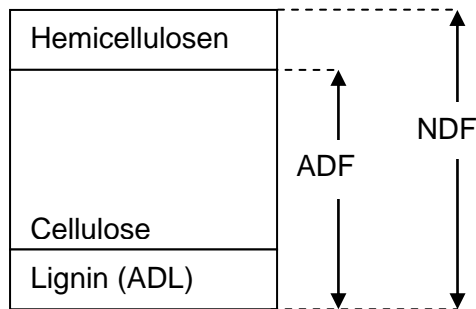
M3 = Masse des Filtertiegels mit dem getrockneten Rückstand, M4 = Masse des Filtertiegels mit der veraschten Probe, E = Einwaage in g

Die Gehalte an Hemicellulose und Rohcellulose wurden wie folgt berechnet:

NDF – ADF =Hemicellulose

ADF – Rohlignin = Rohcellulose

Zur Veranschaulichung diene folgendes Schema:



6.1.3. *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, Nicht-Leguminosenmischung und Senf 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 Klee²gras – Weizen – Weizen – Frühkartoffel+Klee²grasausaat, die 7-jährige Fruchtfolge umfasste Klee²gras – Silomais – Dinkel oder Roggen – Hafer – Ölkürbis – Körnerleguminosen - Sommergerste+Klee²grasuntersaat. Zum Vergleich wurde in einer zweiten Berechnung diesen Fruchtfolgen zweimal, jeweils nach Getreide, eine Begrünung (mit der höchsten im vorliegenden Versuch erzielten Biomasse) hinzugefügt.

² Eine Mischung aus verschiedenen Gras- und Kleesorten

6.2. Zusatzversuche:

6.2.1. Stehende Pflanzen

Wie im Kapitel zur Versuchsanlage (3.1.1.) erwähnt, wurde von jeder Begrünungsvariante zusätzlich je eine Box aufgestellt, in der die Pflanzen aufrecht der Witterung ausgesetzt wurden.

Dieser Versuch wurde als methodischer Vergleich zum Hauptversuch angesetzt, um zu zeigen, ob es Unterschiede in der Auswaschung zwischen stehenden und liegenden Pflanzen gibt.

6.2.2. Regentropfenaufprall /Herbst 2009

Es wurden – wie in Kapitel 3.1.1 geschildert - zwei Boxen aufgestellt, eine Box mit der Versuchsvariante Leguminosenmischung und eine zweite Kontrollbox ohne pflanzliche Biomasse. Die Aufstellung der beiden Boxen erfolgte unmittelbar vor einem erwarteten Niederschlagsereignis. Nach dem Ereignis wurden die Niederschlagsmengen in den Boxen gemessen.

Dieser Zusatzversuch wurde angesetzt, um zu prüfen, ob sich in den einzelnen Versuchsboxen vergleichbare Niederschlagsmengen sammeln.

6.2.3. Niederschlags- Interzeption und Aufnahme durch Pflanzen / Herbst 2009

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

Niederschlagsereignisse von 1,5 l/Gefäß wurden 5 Mal simuliert. Nach jedem Ereignis wurden die Pflanzen abgewogen, und das durchgeflossene Wasser wurde aufgefangen und abgemessen. Die Zeit zwischen den simulierten Niederschlagsereignissen betrug jeweils eine Stunde.

6.3. 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.

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

7. Ergebnisse

7.1. Auswaschung

Die Gesamt-Auswaschungsmengen setzen sich einerseits aus den Kohlenstoff- und Stickstoffmengen im Filtrat und andererseits aus den Kohlenstoff- und Stickstoffmengen im Rückstand zusammen.

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse des Filtrats (DOC, TN, NH₄, NO₃), 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 Stickstoffgehalt war durchaus mit den von Leder & Puxbaum (2003) in der nassen atmosphärischen Deposition im Großraum von Wien gefundenen Stickstoffgehalten vergleichbar.

7.1.1. Auswaschungsflüssigkeit

In den folgenden Abbildungen (Abb. 6, 7, 8, 9) werden zunächst die in der Auswaschungsflüssigkeit erhobenen N- und C- Mengen dargestellt. Auf der Grundlage der Biomasseerträge auf dem Versuchsfeld in Altenmarkt sind die Werte entsprechend in kg/ha angegeben.

In Abb. 6 ist der Verlauf der Auswaschung von gelöstem Kohlenstoff dargestellt. Alle drei Versuchsvarianten zeigen einen relativ hohen Auswaschungswert zum ersten Probenahmetermin (10.11.08).

Die Versuchsvariante Senf ergab im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten überwiegend die niedrigsten Kohlenstoff-Auswaschungswerte. Der Grund dafür liegt an der niedrigeren Biomassemenge (kg/ha) der Senfparzelle im Feldversuch.

Zu den Terminen 10.11.08 und 05.12.08 sind besonders hohe Auswaschungswerte bei den Versuchsvarianten Leguminosen und Nicht-Leguminosenmischung zu beobachten. Die Auswaschungsmengen zu den übrigen Terminen sind hingegen für alle drei Versuchsansätze ähnlich. Mit Ausnahme der Termine 22.01.09 und 23.02.09 weist die Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung tendenziell etwas höhere Kohlenstoff-Auswaschungswerte auf als die Varianten Senf- und Leguminosenmischung. Die Versuchsvariante Senf zeigt im Laufe des Versuchs überwiegend die niedrigsten Kohlenstoff-Auswaschungswerte.

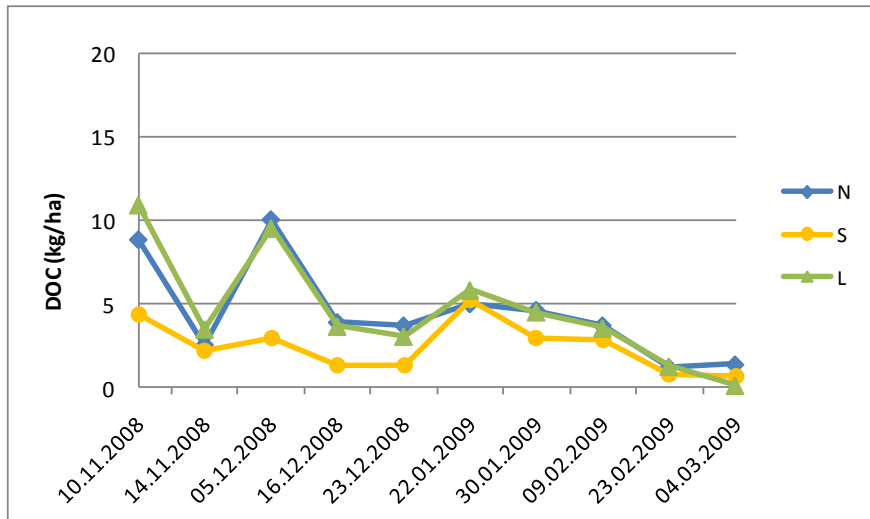


Abb. 6: Gesamtmenge an löslichem Kohlenstoff (DOC: Dissolved Organic Carbon)(kg/ha) in der Auswaschungsflüssigkeit während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosenmischung , S: Senf, L: Leguminosenmischung.

Den gesamten gelösten Stickstoff in der Auswaschungsflüssigkeit während des Versuchverlaufs zeigt Abb. 7. Die 3 Versuchsvarianten sind einander bezüglich des Auswaschungsverlaufs über alle zehn Probenahmeterminale relativ ähnlich.

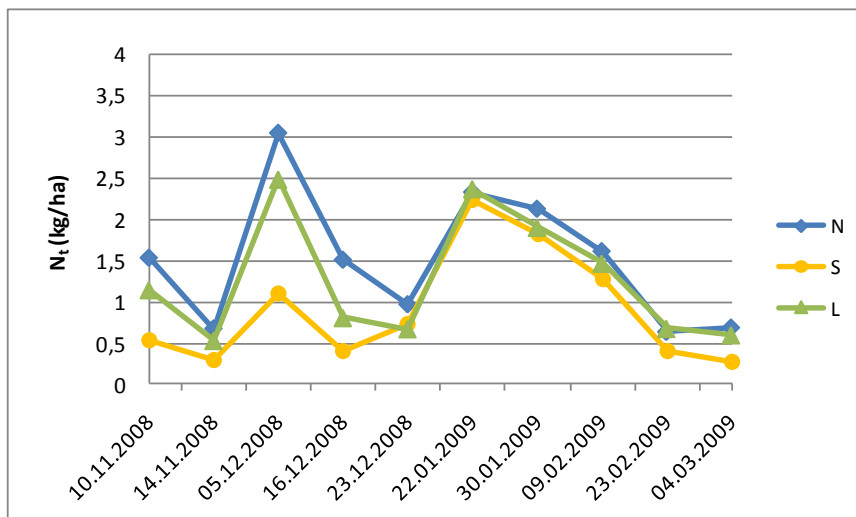


Abb. 7: Gesamtmenge an löslichem Stickstoff in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

Abb. 8 stellt den Verlauf von NH_4 über die gesamte Versuchsdauer dar. Während die Versuchsvarianten Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung einen sehr

ähnlichen Verlauf zeigen, weicht die Senf-Variante mit regelmäßig geringeren NH_4 – Auswaschungswerten deutlich davon ab.

Die Probenahmetermine (5.12.08, 22.01.09, 30.01.09, 09.02.09) ergaben eine erhöhte Ammonium-Stickstoffauswaschung; mögliche Zusammenhänge mit der Witterungslage werden in Kap. 4.1.4 besprochen.

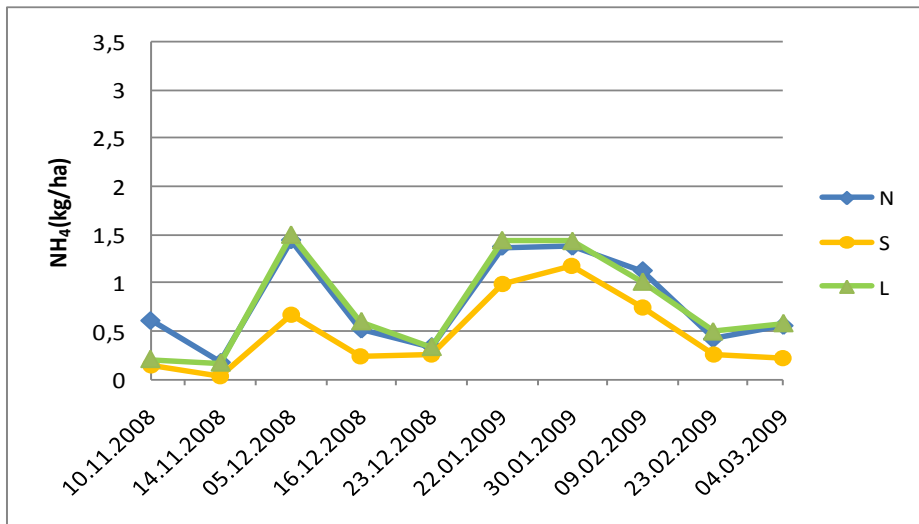


Abb. 8: Ammonium-Gehalt in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

Der Verlauf der N-Auswaschung in Form von NO_3 (kg/ha) ist aus Abb. 9 ersichtlich. Die Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung zeigt zum Probenahmetermin 05.12.08 verglichen mit den anderen Versuchsvarianten einen höheren NO_3 -Auswaschungswert.

Im Gegensatz dazu weist die Versuchsvariante Senf zum Probenahmetermin 22.01.09 eine höhere NO_3 -Auswaschung als die anderen Versuchsvarianten auf.

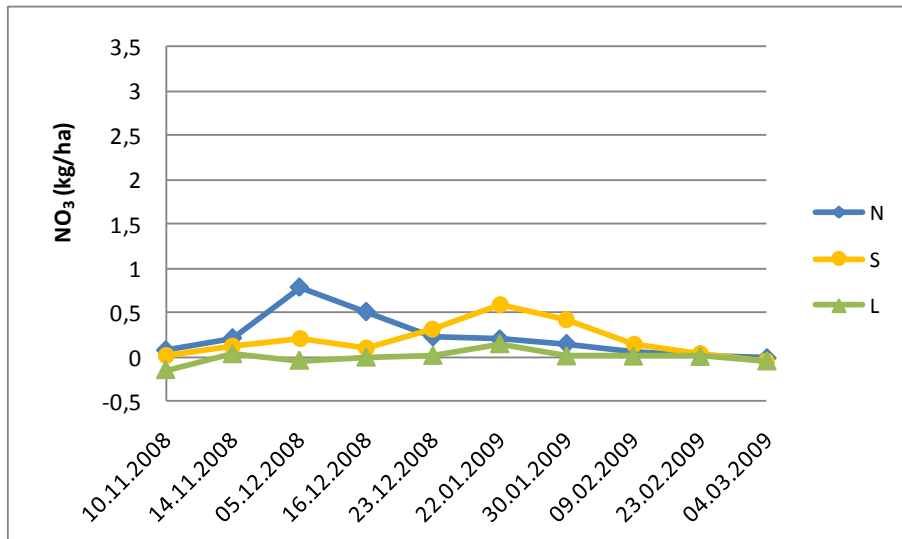


Abb. 9: Nitrat-Gehalt in der Auswaschungsflüssigkeit (kg/ha) während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

7.1.2. **Gehalte an organischem Stickstoff, Nitrat (NO_3) und Ammonium (NH_4) in der Auswaschungsflüssigkeit**

In den Abb. 10, 11, 12 sind die Mengen an organischem- und anorganischem Stickstoff (aufgeteilt in Nitrat und Ammonium) ersichtlich.

In den ersten Probenahmeterminen sind die Werte tendenziell niedrig, danach steigt der Gehalt an Ammonium im Gegensatz zu den anderen Fraktionen (NO_3 und Norg). Am Ende des Versuchs reduziert sich der Gehalt der drei Fraktionen wieder.

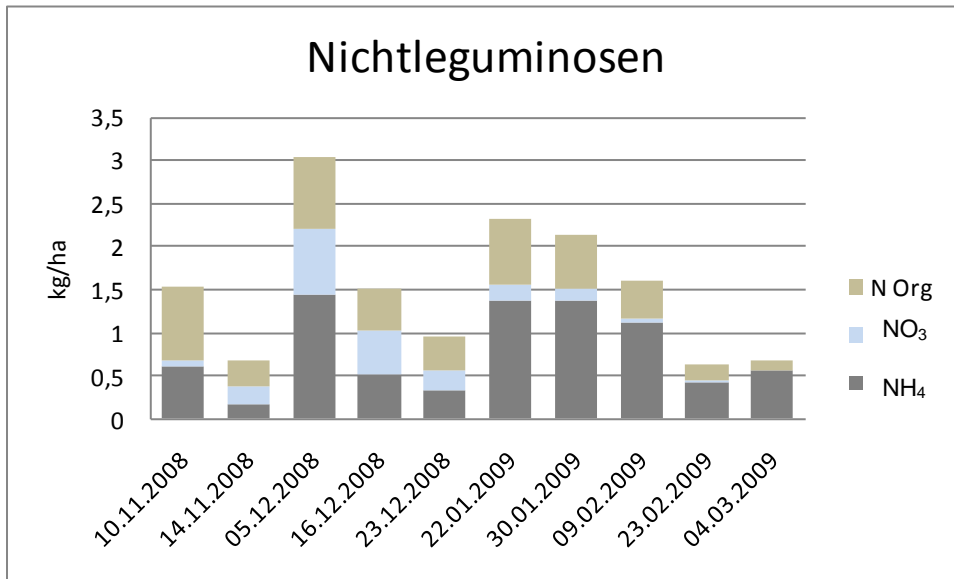


Abb. 10: Organischer Stickstoff, Nitrat(NO₃), Ammonium (NH₄) in der Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung

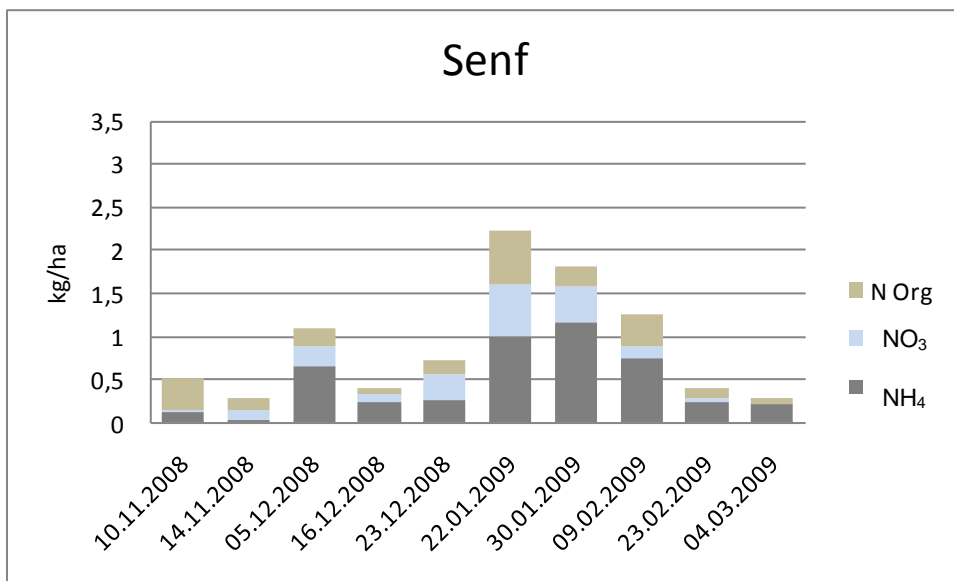


Abb. 11: Organischer Stickstoff, Nitrat(NO₃), Ammonium (NH₄) in der Versuchsvariante Senf

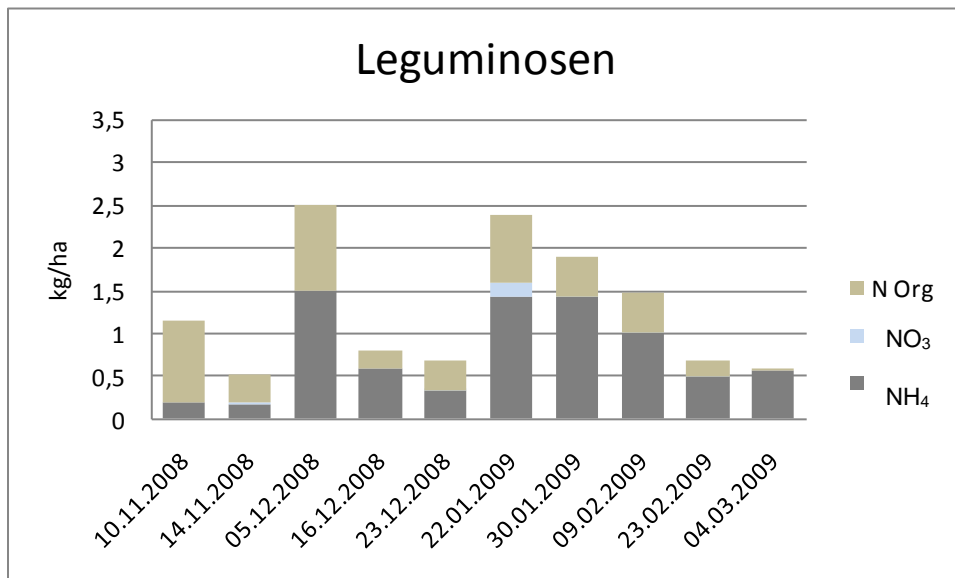


Abb. 12: Organischer Stickstoff, Nitrat(NO_3), Ammonium (NH_4) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung

7.1.3. Rückstand/Schwebstoffe

Der nach der Filtration gewonnene Rückstand wurde auf Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Kohlenstoff analysiert. Die Ergebnisse (jeweils in kg/ha) sind in den nachfolgenden Abbildungen zusammengefasst.

Der Gesamt-Stickstoff zeigte in den drei Versuchsvarianten einen relativ ähnlichen Verlauf (Abb. 13). Die Rückstände der Versuchsvariante Senf enthielten gegenüber den anderen Varianten allerdings insgesamt weniger Stickstoff. Im Zeitfenster zwischen 30.01.09 und 09.02.09 zeigten alle Versuchsvarianten höhere Gesamtstickstoff-Auswaschungswerte als bei den anderen Probenahmeterminen. Der Kohlenstoff (Abb. 14) weist bei den drei Versuchsvarianten einen dem Stickstoff sehr ähnlichen Verlauf auf.

Festzuhalten ist, dass die Senfvariante sowohl bezüglich löslicher als auch unlöslicher N- und C-Verbindungen jeweils niedrigere Werte aufwies als die beiden anderen Varianten. Generell gilt dabei, dass im Rückstand der Auswaschungslösung etwas mehr an Stickstoff nachweisbar war als im Filtrat.

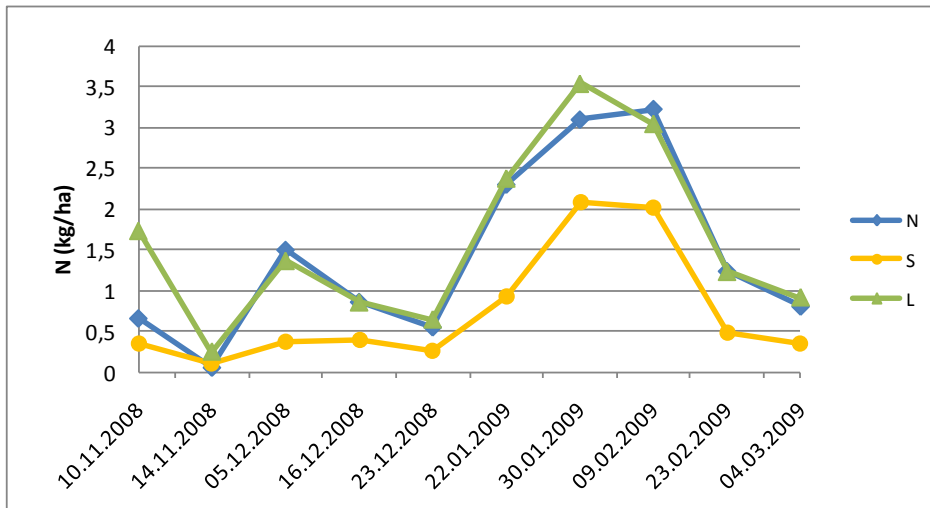


Abb. 13: Gesamt-Stickstoff (kg/ha) im Rückstand (Schwebstoffanteil) der Auswaschungsflüssigkeit während des Versuchverlaufs; N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

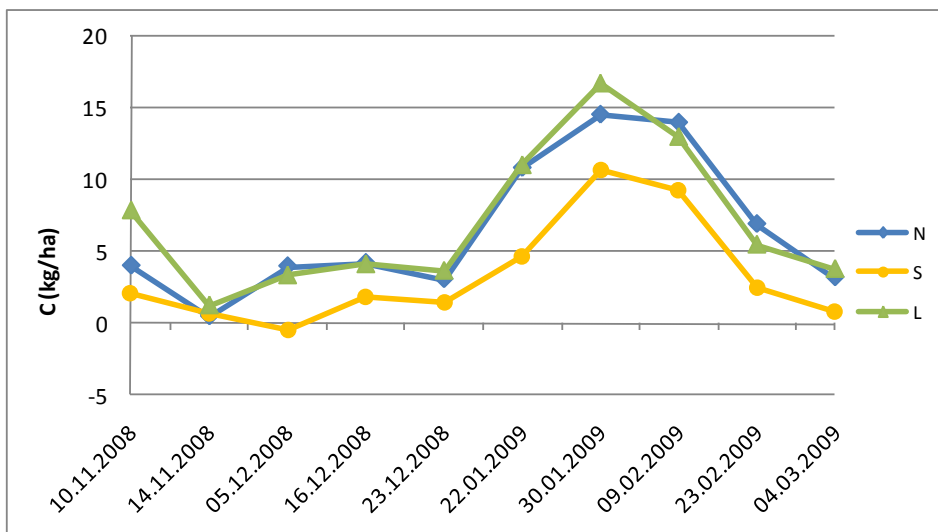


Abb. 14: Gesamt-Kohlenstoff (kg/ha) im Rückstand (Schwebstoffanteil) der Auswaschungsflüssigkeit während des Versuchverlaufs; N: Nicht-Leguminosen, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

7.1.4. Summe der Auswaschung von C und N

7.1.4.1. Flächenbezogene Auswaschung

Die Summe der Auswaschung setzt sich aus den jeweiligen Gehalten an C und N in der Auswaschungsflüssigkeit und dem Rückstand nach Filtration (Schwebstoffe) zusammen. In den folgenden Abbildungen (Abb. 15 und Abb. 16) werden die Gesamtmengen an ausgewaschenem Stickstoff und Kohlenstoff auf die Fläche bezogen und als kg/ha berechnet. Die unterschiedlichen Biomasse-Erträge der einzelnen Versuchsvarianten auf dem Versuchsfeld in Altenmarkt spiegeln sich daher in den Ergebnissen wieder. In den einzelnen Beprobungsintervallen (Abb. 15) werden im Versuchsverlauf zwischen 0 und 5 kg/ha Stickstoff aus den Pflanzen in Richtung Boden ausgewaschen.

Im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten zeigt die Senfmischung die geringste Stickstoffauswaschung, was auf deren geringere Biomasse-Erträge zurückzuführen ist.

Wie aus 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-Auswaschungen auf als die beiden anderen Begrünungsvarianten.

In Abb. 16 ist der Kohlenstoff-Auswaschungsverlauf der drei Versuchsvarianten dargestellt. Der Verlauf ist ähnlich dem Verlauf der Stickstoff-Auswaschung (s. Abb. 15). Die Versuchsvariante Senfmischung wies an 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 Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung. An den Terminen 30.01.2009 und 09.02.2009 unterschieden sich die Versuchsvarianten untereinander nicht signifikant, wie aus Tab. 2 hervorgeht.

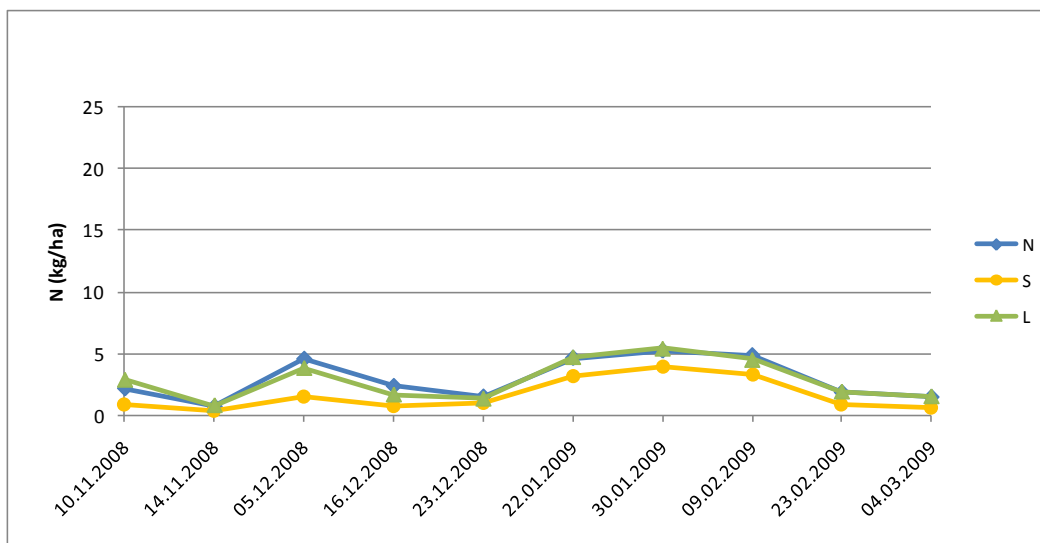


Abb. 15: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Stickstoff (kg/ha) während des Versuchsverlaufs; N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

| 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 Versuchsverlaufs. Werte an den angegebenen Terminen, die mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0,05$).

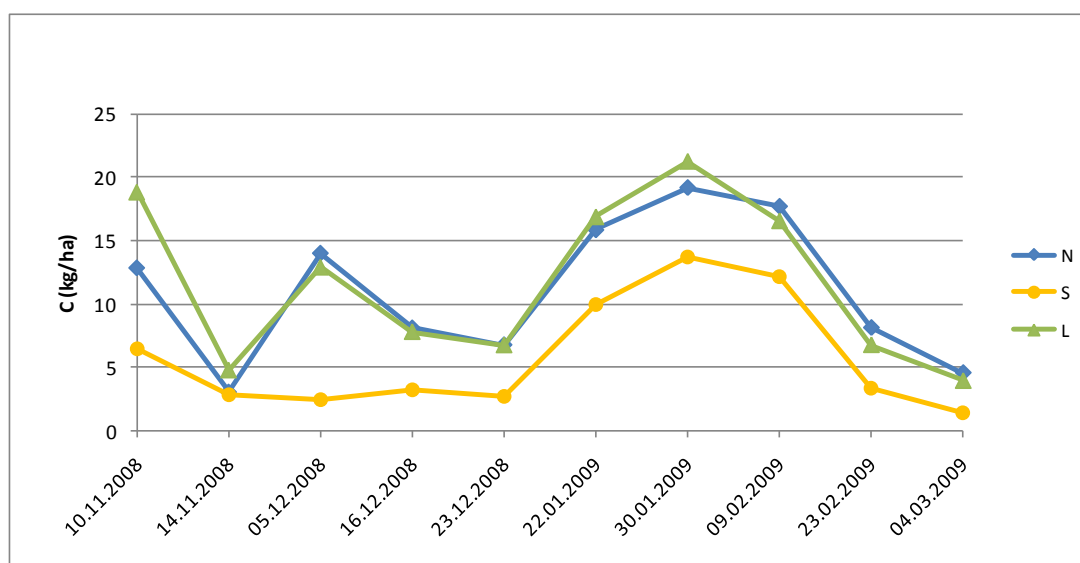


Abb. 16: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Kohlenstoff (kg/ha) während des Versuchsverlaufs; N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

| Termin | Nicht | Senf | Leguminosen |
|--------|-------|------|-------------|
|--------|-------|------|-------------|

| | 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 an den angegebenen Terminen, die mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0,05$).

7.1.4.2. Biomassebezogene Auswaschung

Die folgenden Abbildungen zeigen die auf die Anfangsbiomasse bezogenen Mengen an ausgewaschenem Stickstoff bzw. Kohlenstoff, berechnet als g/t Biomasse. Auf dieser Basis können die drei Begrünungsvarianten unabhängig von der jeweiligen Ertragshöhe verglichen werden. Die Verläufe von Biomasse-bezogener und flächenbezogener N- und C-Auswaschung über die gesamte Versuchsdauer stimmen naturgemäß überein.

Die Gesamt-Auswaschung von Stickstoff (Abb. 17) lag zwischen den einzelnen Beprobungsintervallen im Bereich von 0 bis 400 g/t. Wie schon für die flächenbezogene Auswaschung (s. Abb 15) gezeigt wurde, ergaben sich für die Senfmischung bei den ersten fünf Terminen zunächst sehr niedrige Stickstoff-Auswaschungswerte (max. bis zu 100 g/t), doch glichen sich die N-Auswaschungen mit Werten von ca. 300 bis 400 g/t zu den Terminen 22.01.2009, 30.01.2009 und 09.02.2009 den Werten für die beiden anderen Versuchsvarianten an.

Zu den Terminen 10.11.2008, 05.12.2008, 22.01.2009, 30.01.2009, 09.02.2009 wurden für die Versuchsvarianten Leguminosen und Nicht-Leguminosenmischung hohe Werte für die Kohlenstoff-Auswaschung registriert. Die Senfmischung zeigte wie für die N-Auswaschung ebenfalls im Dezember viel niedrigere Werte, die sich ab dem 21.01.2009 den Ergebnissen der beiden anderen Begrünungsvarianten annäherten.

Zwischen den Zeiträumen 14.11.2008 bis 16.12.2008 und 22.01.2008 bis 23.02.1009 ergaben sich hohe Werte für die Stickstoff- und Kohlenstoff-Auswaschung. Dies hängt vermutlich mit der in Bodennähe gemessenen Temperatur (Abb. 19) und den Niederschlagsmengen (Abb. 20) zusammen. Im Zeitraum zwischen 14.11.2008 und 3.12.2008 führten regelmäßiger Frost und stark schwankende Temperaturen zu hohen Kohlenstoff- und Stickstoff-Auswaschungswerten. In Analogie dazu konnten die höchsten

Stickstoff- und Kohlenstoff-Auswaschungen ab dem 22.01.2008, kurz nach Erwärmung nach dem Ende einer längeren Frostperiode beobachtet werden.

Ebenso spielte der Niederschlag eine große Rolle: Wie aus *Abb. 20* ersichtlich, gab es mit 33 und 25 mm die höchsten Niederschlagsmengen am 05.12.2008 und am 23.02.2009.

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 bei Bedarf immer nach den jeweiligen Niederschlagsereignissen erfolgte, ließen sich die Monate nicht ganz exakt voneinander abgrenzen.

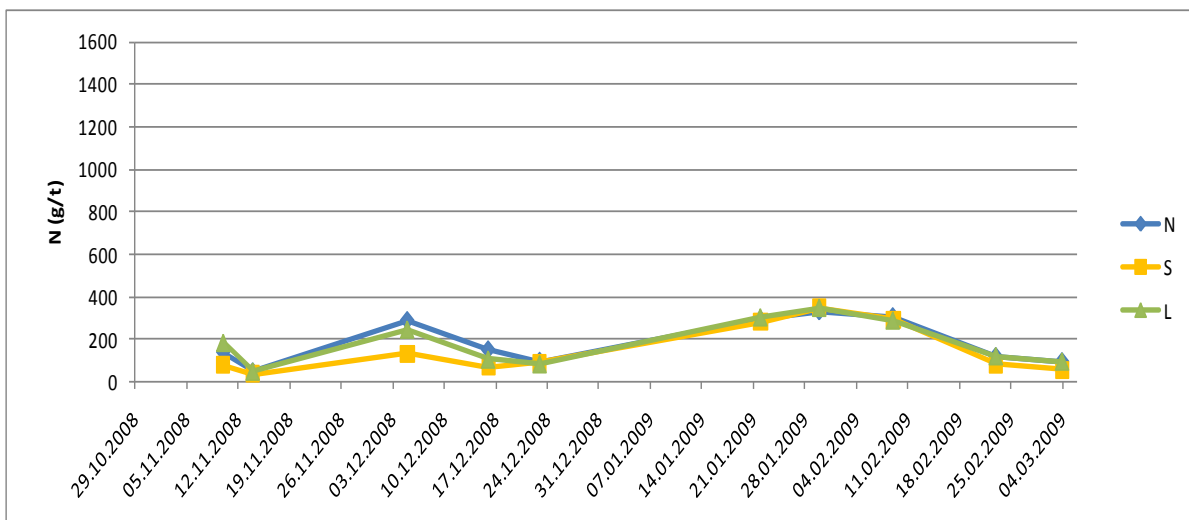


Abb. 17: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Stickstoff (g/t) während des Versuchverlaufs; N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

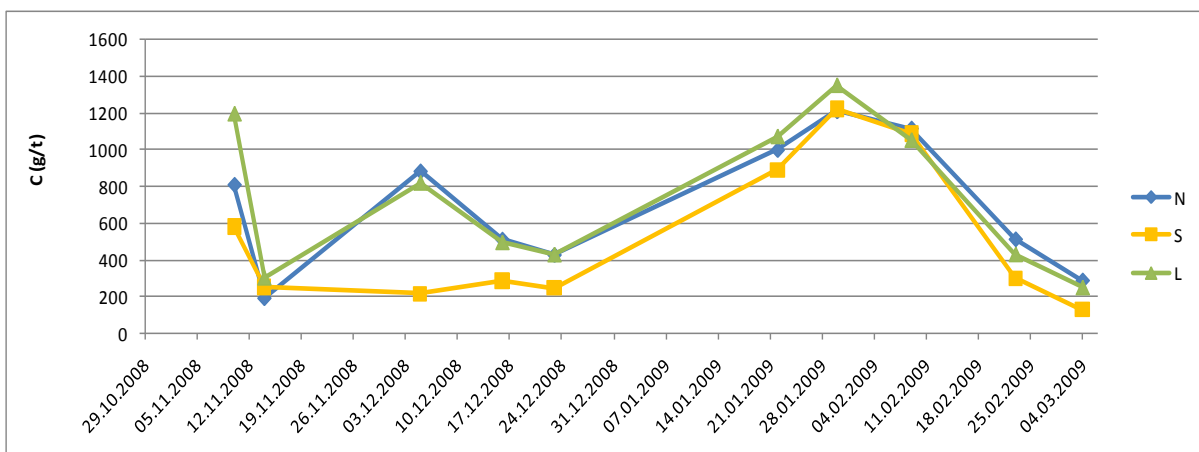


Abb. 18: Summe der Auswaschung (Filtrat und Rückstand) von Kohlenstoff (g/t) während des Versuchverlaufs; N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung.

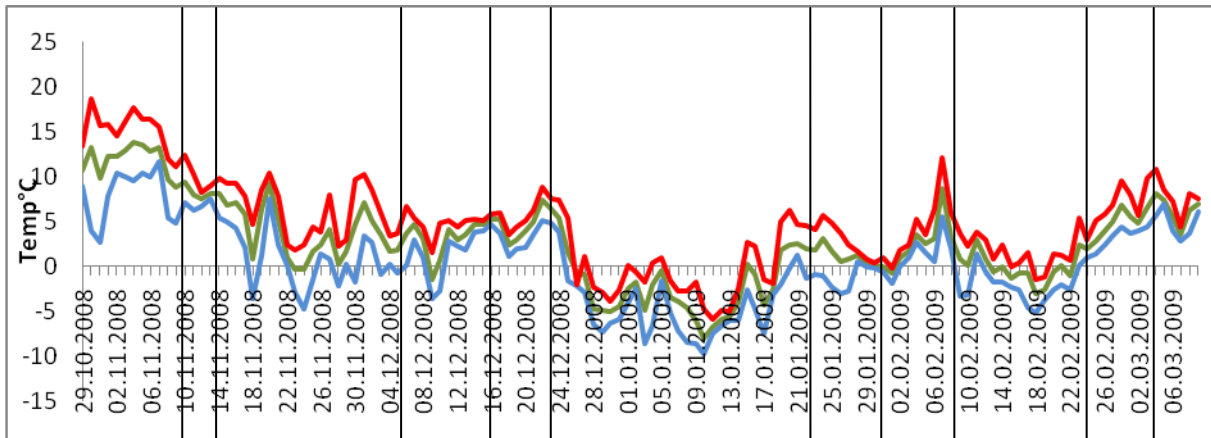


Abb. 19: Tagesmittelwerte für bodennahe Temperatur (°C) während des Versuchsverlaufs; die vertikalen Linien markieren die zehn Probenahme-Termine; rote Kurve: Maximale Temperatur; blaue Kurve: Minimale Temperatur; grüne Kurve: Temperatur (°C).

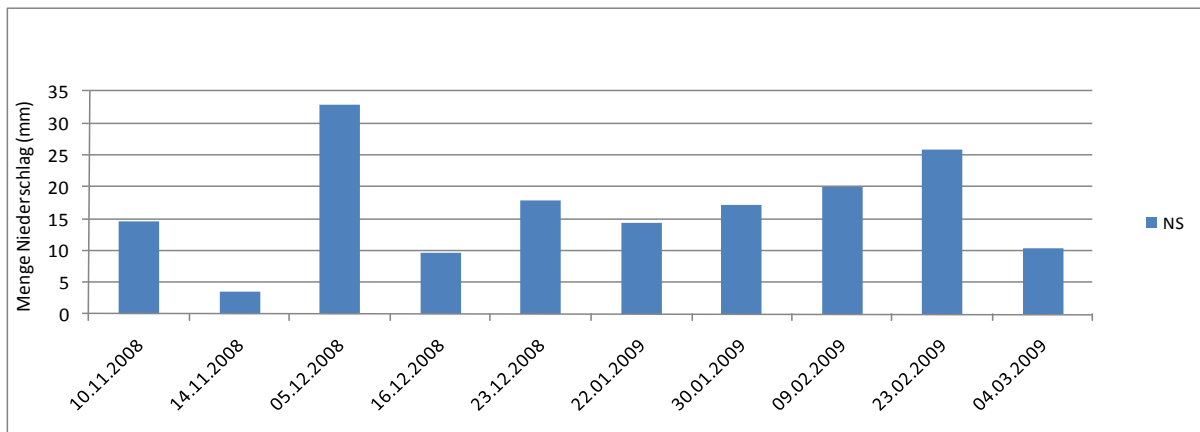


Abb. 20: Niederschlagsmengen im Verlauf des Versuchs (mm)

7.2. Begrünungsbiomasse

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Begrünungsproben (Versuchsproben 27.10.2008, 04.03.2009) und die Referenzprobe aus Altenmarkt hinsichtlich der Biomasse (TM, t/ha), Kohlenstoff (kg/ha) und Stickstoff (kg/ha) verglichen.

7.2.1. Biomasse

In Abb. 21 sind die zu Versuchsbeginn aufgebraachten Biomassemengen sowie die Biomasse zu Versuchsende angeführt (Trockenmasse in t/ha). Bei den Versuchsvarianten Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung wurden ca. 60%, bei der Variante Senf ca. 50% der Anfangsbiomasse abgebaut.

Aus der statistischen Auswertung der Trockenmassen zu Versuchsende ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Senfmischung und den beiden anderen Versuchsvarianten (Leguminosen und Nicht-Leguminosenmischung).

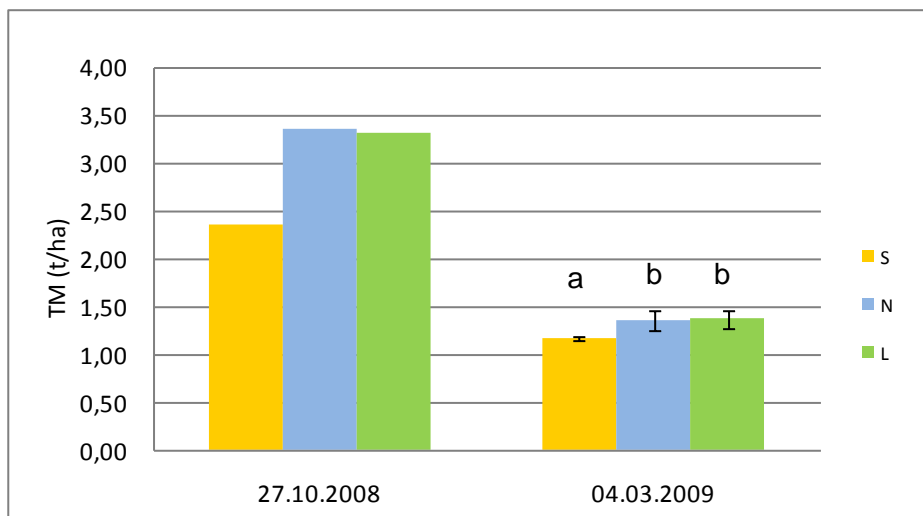


Abb. 21: Biomasse (TM: Trockenmasse) (t/ha) der Proben zu Versuchsbeginn am 27.10.08 (n=1) im Vergleich zu Versuchsende am 04.03.09 (n=4) , S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

In Abb.22 ist die Trockenmasse der Versuchsprobe zu Beginn des Hauptversuches im Vergleich zur Trockenmasse der jeweiligen Referenzprobe die am 10.03.2009 am Feld geerntet wurde, ersichtlich. Am Feld verlor die Versuchsvariante Senfmischung mit 46% am geringsten Biomasse, während die Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung mit 60% und am stärksten die Leguminosenmischung mit 66% der Anfangsbiomasse abnahm.

Die Gegenüberstellung der Biomassedynamik im Hauptversuch und am Feld ergab somit größenordnungsmäßig eine sehr gute Übereinstimmung. Unsere gewählten Versuchsbedingungen spiegelten also sehr gut die tatsächlichen Verhältnisse am Feld wieder.

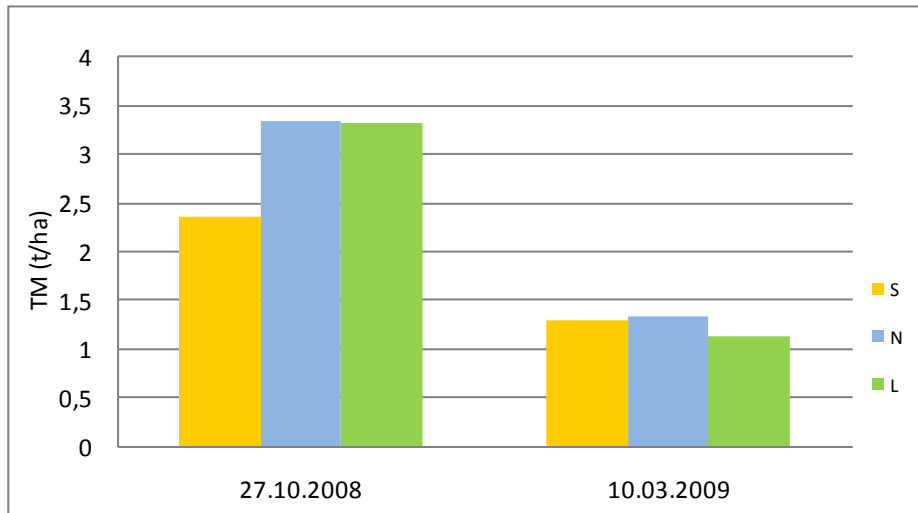


Abb. 22: Biomasse (TM: Trockenmasse) (t/ha) der Versuchsproben am 27.10.08 (n=1) im Vergleich zu den Referenzproben am 10.03.09 (n=1) vom Feld in (t/ha) , S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung.

7.2.2. Gesamt-Kohlenstoff

Abb. 23 zeigt den Gehalt an Kohlenstoff (kg/ha) der Versuchspflanzen von 27.10.08 und 04.03.09. Die Abnahme des Kohlenstoffgehalts verläuft ähnlich der Abnahme der Trockenmasse der Begrünungsbiomasse. Bei der Senfmischung nimmt der Kohlenstoffgehalt um 48% ab, während er bei der Leguminosen- und der Nicht-Leguminosenmischung um 56% gegenüber dem Ausgangswert abnimmt.

Am Ende des Hauptversuches war der Gesamtgehalt an Kohlenstoff in der Senfmischung signifikant niedriger als in der Leguminosenmischung. Der Kohlenstoffgehalt in der Nicht-Leguminosenmischung lag in der Mitte.

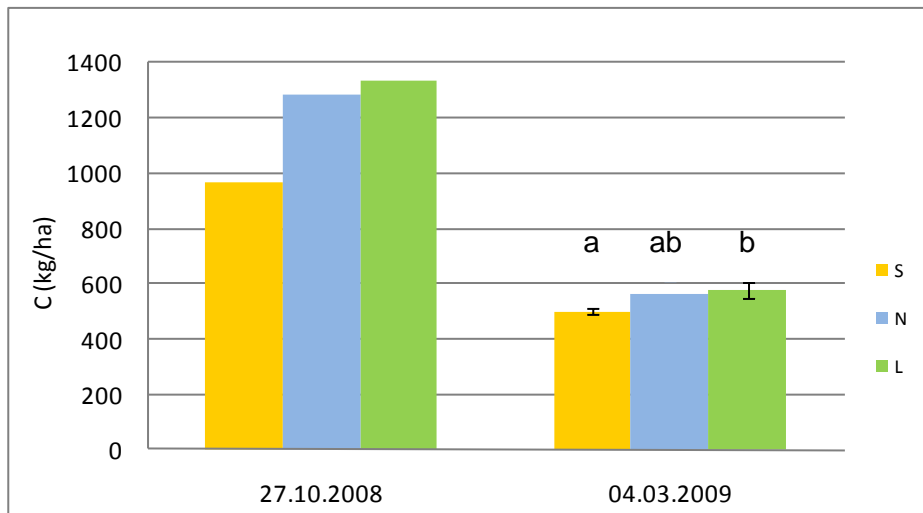


Abb. 23: Kohlenstoff-Gehalte (kg/ha) der Versuchsproben zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 ($n=1$) und zu Versuchsende am 04.03.2009 ($n=4$), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

In weiterer Folge wird der Kohlenstoffgehalt (kg/ha) in der Versuchsprobe am 27.10.08 mit der Referenzprobe vom Feld am 10.03.09 verglichen (siehe Abb. 24). Die Abnahme des Kohlenstoffgehaltes geht mit der Abnahme der Trockenmasse in den einzelnen Begrünungsvarianten parallel.

Der Kohlenstoffgehalt der Versuchsvariante Senf nimmt um 40%, der der Nicht-Leguminosenmischung um 56% und der der Leguminosenmischung um 67% gegenüber Versuchsbeginn ab.

Zu Versuchsende weisen die Referenzproben vom Feld bei den Varianten Senf und Nicht-Leguminosenmischung einen höheren Gehalt an Kohlenstoff auf als die Proben des Hauptversuches. Im Gegensatz dazu hat die Versuchsprobe der Variante Leguminosenmischung einen höheren Gehalt an Kohlenstoff als die Referenzprobe vom Feld (vgl. dazu Abb. 23 und Abb. 24).

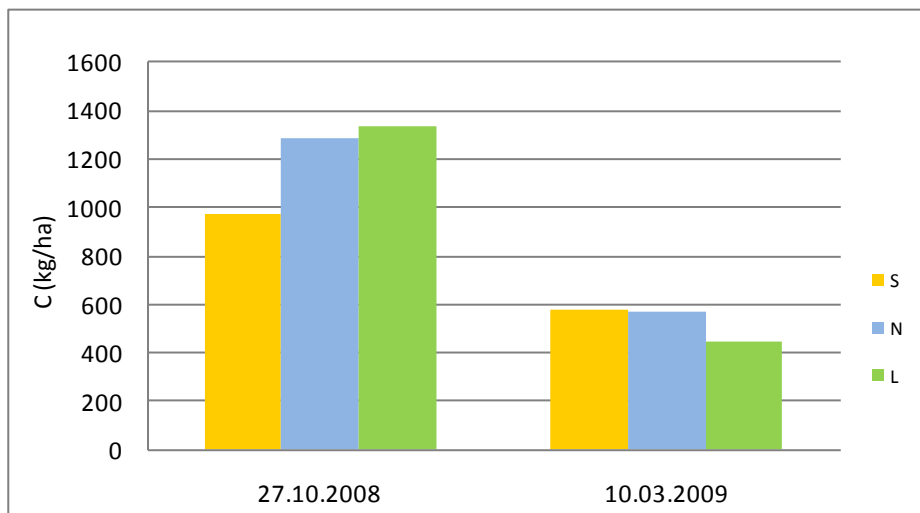


Abb. 24: Vergleich des Kohlenstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchsprobe zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 (n=1) mit den Referenzproben (vom Feld) am 10.03.2009 (n=1), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.2.3. Gesamt-Stickstoff

Die Gehalte an Gesamt-Stickstoff (kg/ha) der Versuchsproben und der Referenzproben vom Feld werden in Abb. 25 und Abb.26 veranschaulicht.

In Abb. 25 ist die Abnahme des Stickstoff-Gehaltes (kg/ha) der Versuchsproben ersichtlich. Ähnlich der Biomasse und dem C-Gehalt verhält sich auch der Stickstoff. Bei den Varianten Nicht-Leguminosenmischung und Leguminosenmischung nimmt der Stickstoffgehalt während der gesamten Versuchsdauer um ca. 50%, bei der Senfmischung um 62% ab.

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

In Abb. 26 wird die Abnahme des Stickstoffs (kg/ha) in den Referenzproben (10.03.2008) gegenüber den Versuchsproben (27.10.2008) dargestellt.

Deutlicher als Kohlenstoff nimmt der Stickstoff in allen Varianten der Referenzproben gegenüber den Ausgangswerten ab: Um 82%, und damit am stärksten von allen Varianten beim Senf, um 76% bei der Nicht-Leguminosenmischung und um 67% bei der Leguminosenmischung.

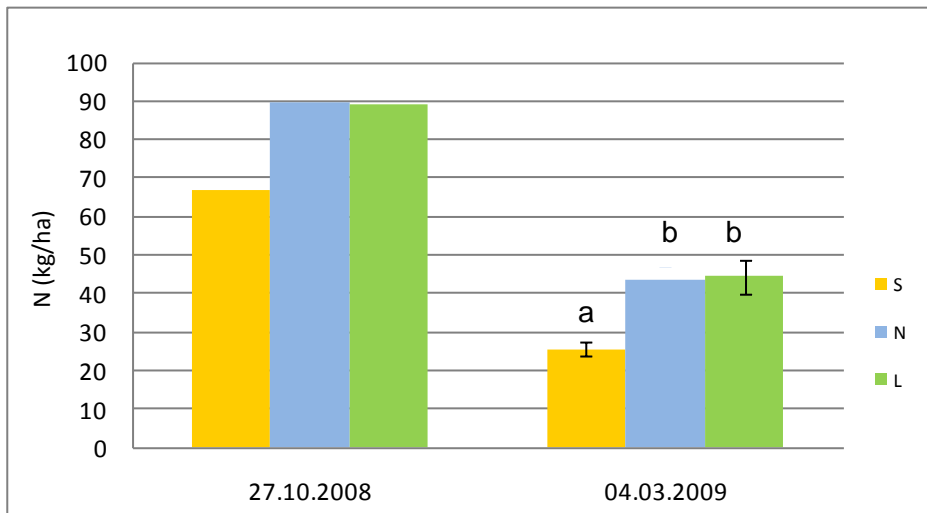


Abb. 25: Stickstoff-Gehalte (kg/ha) der Versuchspflanzen zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 ($n=1$) und zu Versuchsende am 04.03.2009 ($n=4$), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

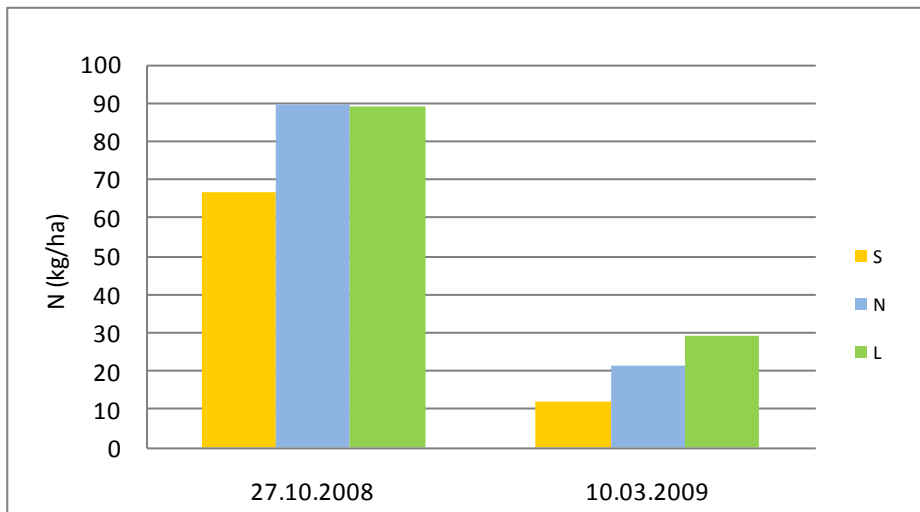


Abb. 26: Vergleich des Stickstoffgehaltes (kg/ha) der Versuchspflanzen zu Versuchsbeginn am 27.10.2008 ($n=1$) mit der Referenzprobe (vom Feld) am 10.03.2009 ($n=1$), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.2.4. *Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff*

In der Abb. 27 ist das Verhältnis von Kohlenstoff/Stickstoff in den Begrünungspflanzen ersichtlich, die Werte nehmen am Ende des Versuchs tendenziell zu.

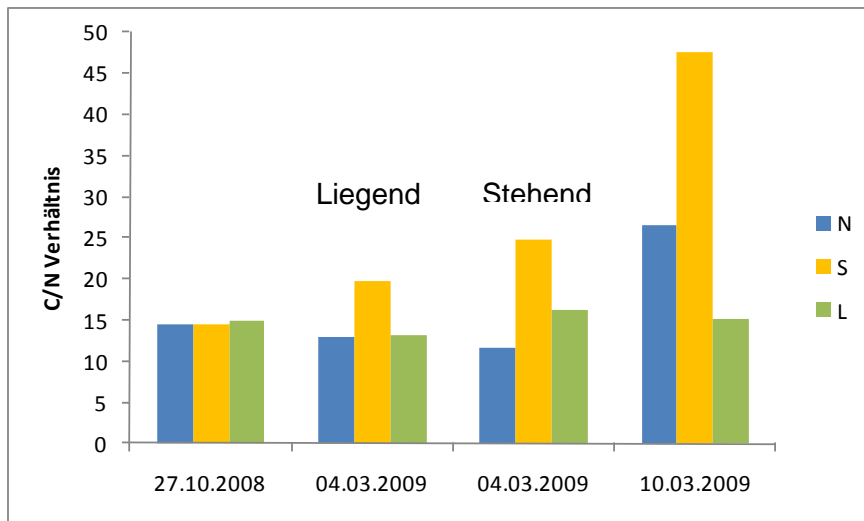


Abb. 27: Verhältnis Kohlenstoff/Stickstoff zu Beginn des Versuchs (27.10.2008), am Ende des Versuchs bei den liegenden und stehenden Pflanzen (04.03.2009) sowie bei den Referenzprobe vom Feld (10.03.2009); N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf, L: Leguminosenmischung

7.2.5. *Pflanzliche Fasern, Lignin und Cellulose*

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

Im Laufe des Hauptversuches nahmen 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 bildete ein zahlenmäßiger Anstieg des Ligningehaltes im Senf. Dieser lag jedoch innerhalb der Standardabweichung der vier Versuchswiederholungen.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen wiesen sowohl die Versuchs- als auch die Referenzproben zu Versuchsende (Tab. 4 & Tab. 5) höhere Prozentanteile an Strukturkohlenhydraten auf, als zu Versuchsbeginn (Tab. 3). Vermutlich steht dies mit dem Verschwinden aller leicht auswaschbaren bzw. abbaubaren Substanzen, wie Mineralstoffionen, löslichen Zuckern, Proteinen, Fructanen, Stärke, etc. und dem damit verbundenen starken Abfall an Biomasse (als Bezugsgröße) in Zusammenhang.

Dabei weisen die Referenzproben vom Feld im Vergleich zu den Versuchsproben am Ende des Versuchs im Frühjahr überwiegend höhere Anteile von Hemicellulose und Cellulose bei geringeren Lignin-Anteilen auf.

| | | TM (t/ha) | Hemicell. (%) | Hemicell. (kg/ha) | Cellulose (%) | Cellulose (kg/ha) | Lignin (%) | Lignin (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: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | | TM (t/ha) | Hemicell. (%) | Hemicell. (kg/ha) | Cellulose (%) | Cellulose (kg/ha) | Lignin (%) | Lignin (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: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | | TM (t/ha) | Hemicell. (%) | Hemicell. (kg/ha) | Cellulose (%) | Cellulose (kg/ha) | Lignin (%) | Lignin (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: Referenzproben vom 10.03.2009 am 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: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.3. Mikroklimamessungen:

Die bodennahe und in 2m Höhe gemessene Temperatur sowie die rel. Luftfeuchtigkeit sind in den nachfolgenden Abbildungen zusammengefasst.

Die bodennahe Temperatur lag während des Hauptversuchs 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. 28* und *Abb. 29*).

Die Temperatur auf 2m Höhe (*Abb. 30*) schwankte 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. 31*) schwankte zwischen 59% und 92%.

Da die Auswaschungsboxen auf dem Boden aufgestellt waren, spiegelten die bodennah gemessenen Werte die tatsächlichen Versuchsverhältnisse besser wieder und wurden daher im Folgenden auch zur Interpretation herangezogen.

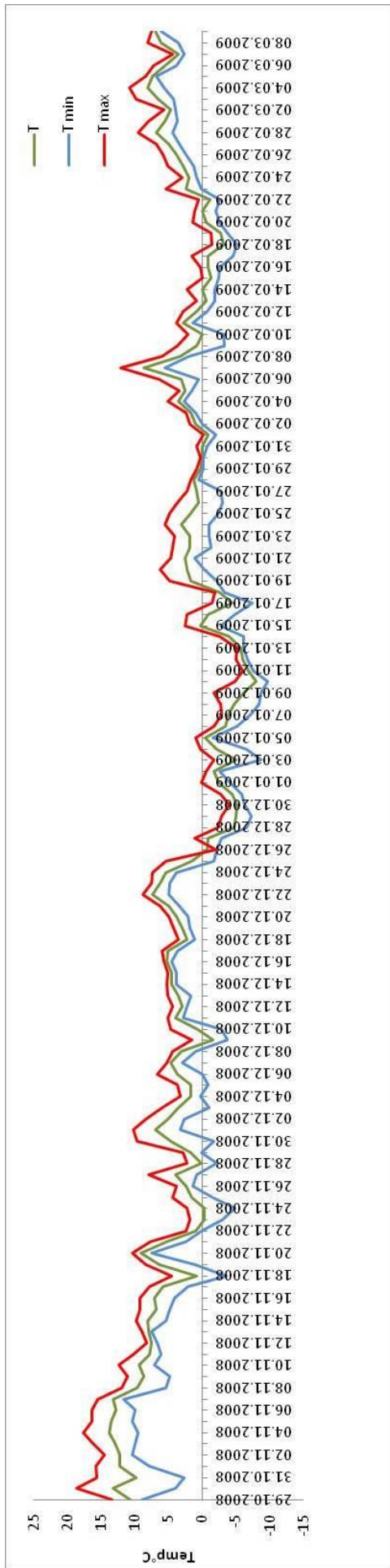


Abb. 28: Temperatur bodennah ($^{\circ}\text{C}$) während des Versuchsverlauf

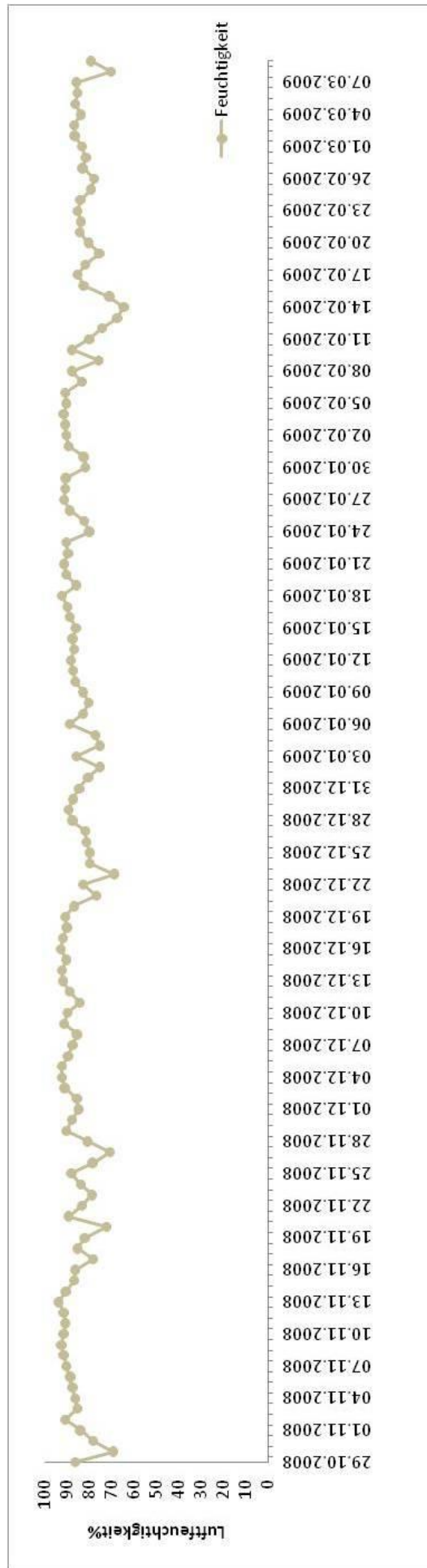


Abb. 29: Relative Luftfeuchtigkeit bodennah (%) während des Versuchsverlaufs

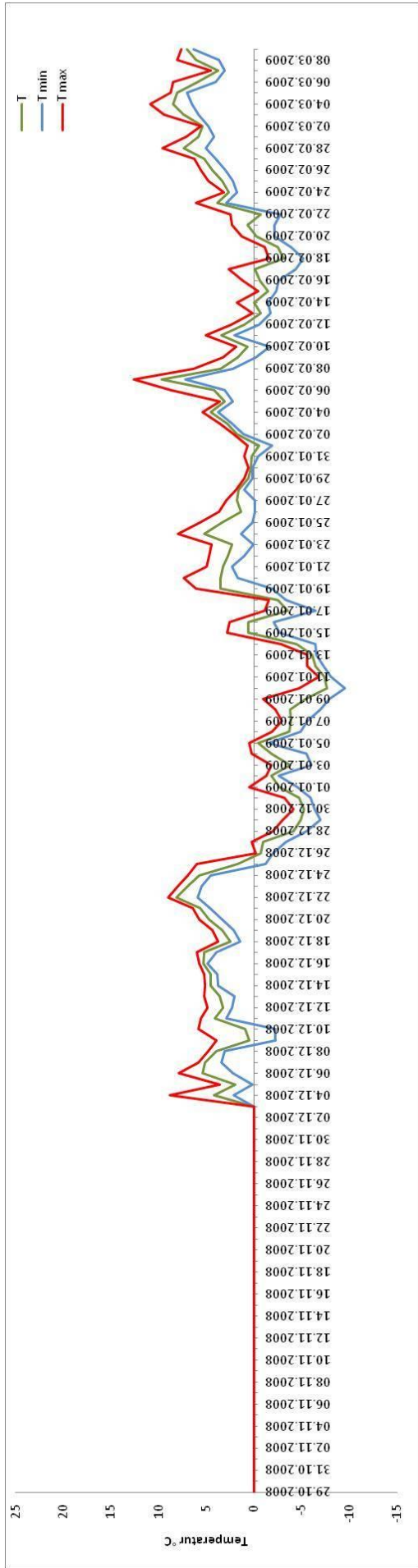


Abb. 30: Temperatur (°C) während des Versuchsverlaufs in zwei Meter Höhe; die Messung begann am 03.12.2008

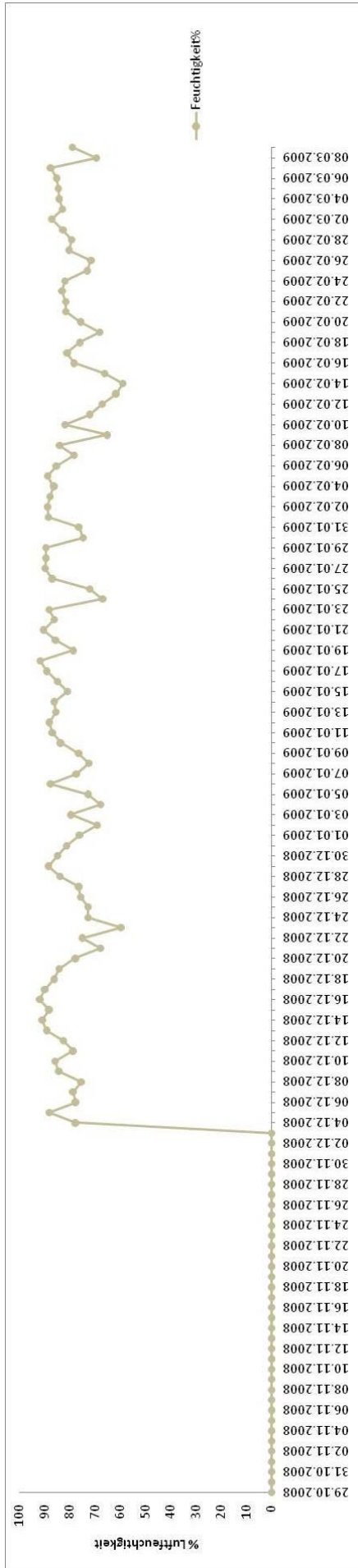


Abb.31: Relative Luftfeuchte (%) während des Versuchsverlaufs in zwei Meter Höhe; die Messung begann am 03.12.2008

7.4. Aufgliederung der Verluste

Die folgenden Tabellen zeigen die Bilanzierung der Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha, bzw. %) in den Proben des Hauptversuchs.

Es sind folgende Fraktionen dargestellt:

- (1) Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in den Proben zu Versuchsbeginn am 27.10.2008,
- (2) Verluste an Kohlenstoff und Stickstoff in Form von Auswaschung (rückgerechnet aus den Gehalten in den jeweiligen Auswaschungslösungen),
- (3) Gehalte in der Versuchsbiomasse zu Versuchsende am 04.03.2009 und
- (4) Verluste durch Ausgasungen

Die gasförmigen Verluste ergeben sich aus der Differenz der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalte in 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.

Generell bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten. Die Variante Senf zeigte mit 42% einen geringeren gasförmigen Verlust als die Varianten Leguminosen- und Nicht-Leguminosenmischung, welche ca. 48% des Kohlenstoffes als CO₂ verloren.

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

Tab. 6: Absolute Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten kg/ha, S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | C (%) Versuchsbeginn 27.10.2008 | C (%) Auswaschung | C (%) Versuchsende 04.03.2009 | C (%) Ausgasung |
|---|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 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 Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten %, S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

Tab. 8 und Tab. 9 zeigen in analoger Weise die entsprechenden Stickstoffgehalte bzw. -verluste.

Die Versuchsvariante Senf weist einen geringeren Stickstoff-Auswaschungsverlust auf als die Varianten Leguminosen- und Nicht-Leguminosenmischung, jedoch einen fast doppelt so hohen gasförmigen Verlust (37%) als die beiden anderen Versuchsvarianten mit 18 – 19 % (vgl. Tab. 9).

Die Varianten Leguminosen und Nicht-Leguminosenmischung verhalten sich hinsichtlich der Auswaschungs- und Ausgasungsverluste sehr ähnlich.

Die Auswaschungsverluste liegen für 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) Versuchsbeginn 27.10.2008 | N (kg/ha) Auswaschung | N (kg/ha) Versuchsende 04.03.2009 | N (kg/ha) Ausgasung |
|---|--|--------------------------|---|--------------------------------|
| 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 Stickstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | N (%) Versuchsbeginn 27.10.2008 | N (%) Auswaschung | N (%) Versuchsende 04.03.2009 | N (%) Ausgasung |
|---|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 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 Stickstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (%), S: Senf, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen noch einmal die prozentuelle Aufteilung der Gehalte bzw. Verluste (Auswaschung, Ausgasung, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt in der Biomasse zu Versuchsende) in den einzelnen Begrünungsvarianten.

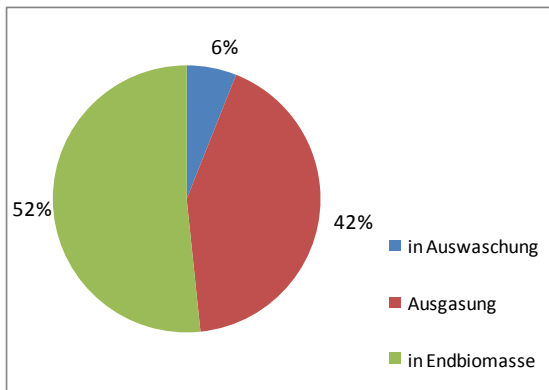


Abb. 32: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Senf

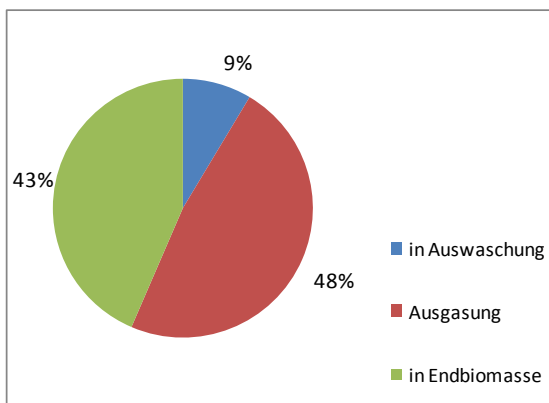


Abb. 33: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung

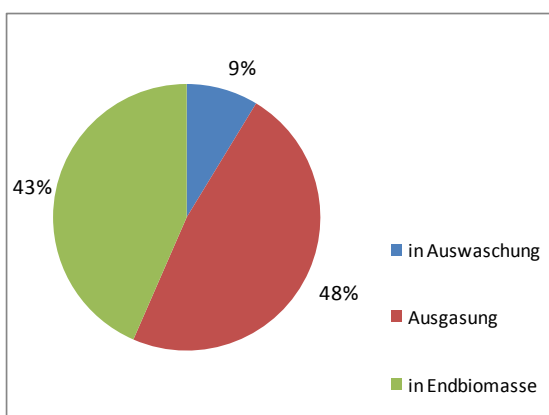


Abb. 34: Prozentuelle Aufteilung der Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung

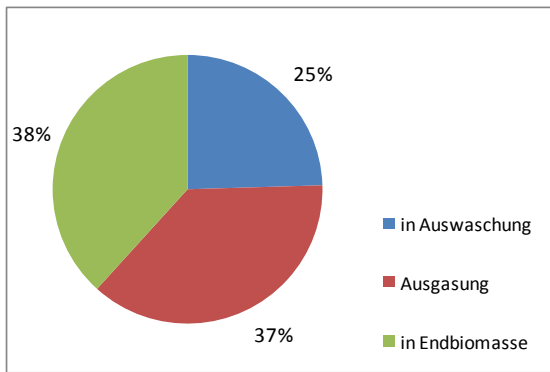


Abb. 35: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Senf

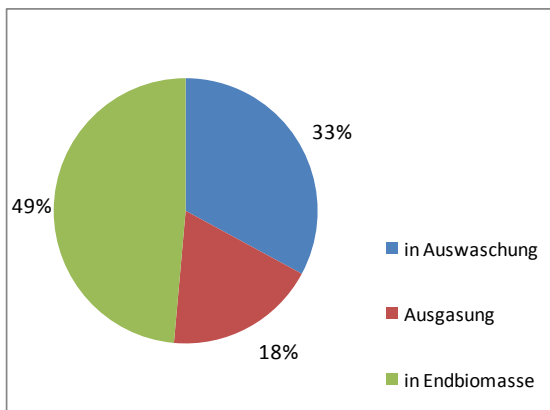


Abb. 36: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Nicht-Leguminosenmischung

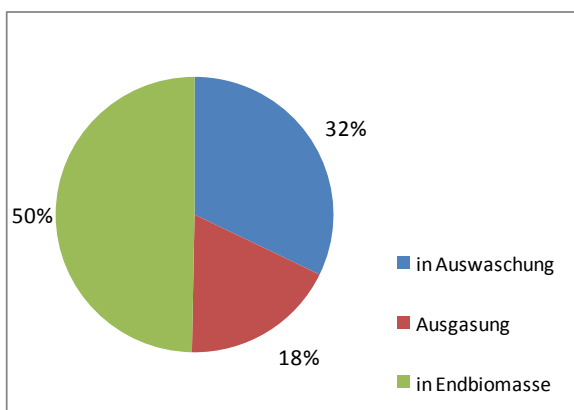


Abb. 37: Prozentuelle Aufteilung der Stickstoffgehalte bzw. -verluste (%) in der Versuchsvariante Leguminosenmischung

7.5. Zusatzversuche

7.5.1. Stehende Pflanzen

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

7.5.1.1. Summe der Auswaschungswerte C und N bezogen auf die Fläche.

Abb. 38 zeigt den Verlauf der Stickstoff-Auswaschung für die Versuchsvarianten Nicht-Leguminosenmischung und Leguminosenmischung (kg/ha), der in beiden Fällen vergleichbar ist. Am Probenahmetermin 05.12.2008 ist der Auswaschungswert für beide Varianten sehr hoch.

Auch der Verlauf der Kohlenstoffauswaschung ist bei beiden Varianten ähnlich (siehe Abb. 39). Bei einigen Terminen gegen Ende des Versuchs zeigt die Variante Leguminosenmischung höhere Auswaschungswerte als die Nicht-Leguminosenmischung. Festzuhalten ist, dass die Kohlenstoff-Auswaschungswerte aus den stehenden Pflanzen deutlich höher sind als im Hauptversuch (Abb. 16).

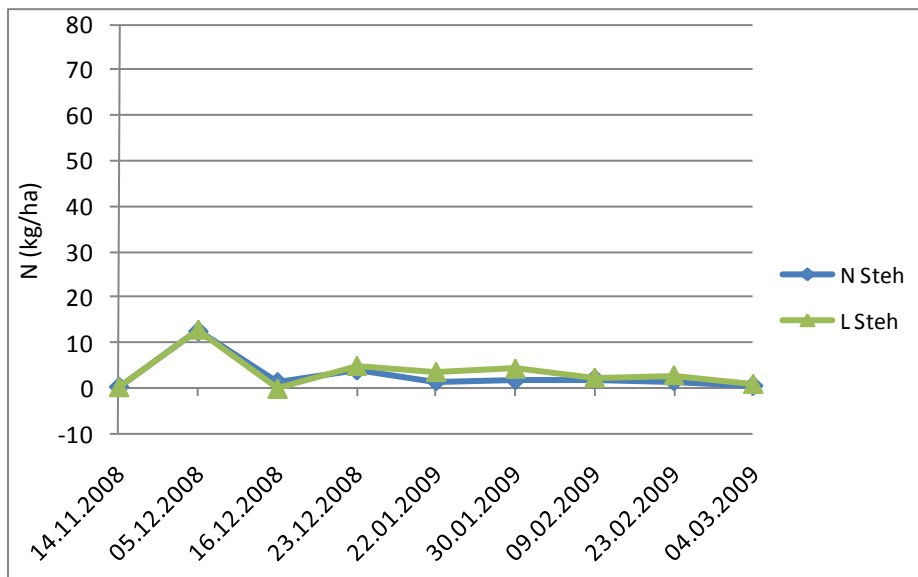


Abb. 38: Summe der Auswaschung von Stickstoff (kg/ha), während des Versuchverlaufs, N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

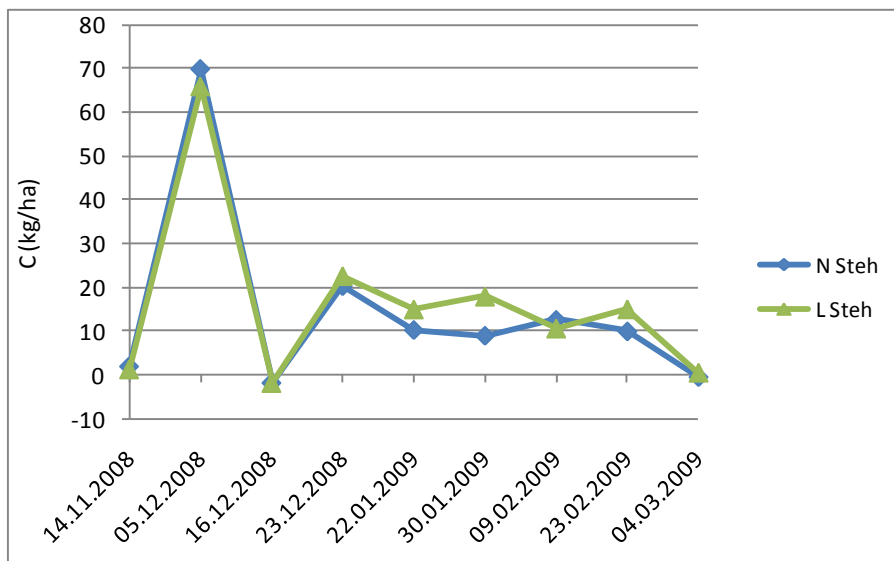


Abb. 39: Summe der Auswaschung von Kohlenstoff (kg/ha) während des Versuchsverlaufs, N: Nicht-Leguminosen, L: Leguminosenmischung

7.5.1.2. Begrünung Biomasse

7.5.1.2.1. Biomasse

In Abb. 40 ist die Trockenmasse (t/ha) aller Versuchsproben der Versuchsvarianten Nicht-Leguminosenmischung und Leguminosenmischung dargestellt.

Die stehenden Pflanzen haben nach Versuchsende die niedrigsten Verluste an Biomasse im Vergleich zu den Versuchsproben (liegende Pflanzen) und Referenzproben vom Feld.

Die Versuchsvariante Leguminosenmischung zeigt im Zusatzversuch „Stehende Pflanzen“ einen niedrigeren Verlust an Biomasse als die Nicht-Leguminosenmischung.

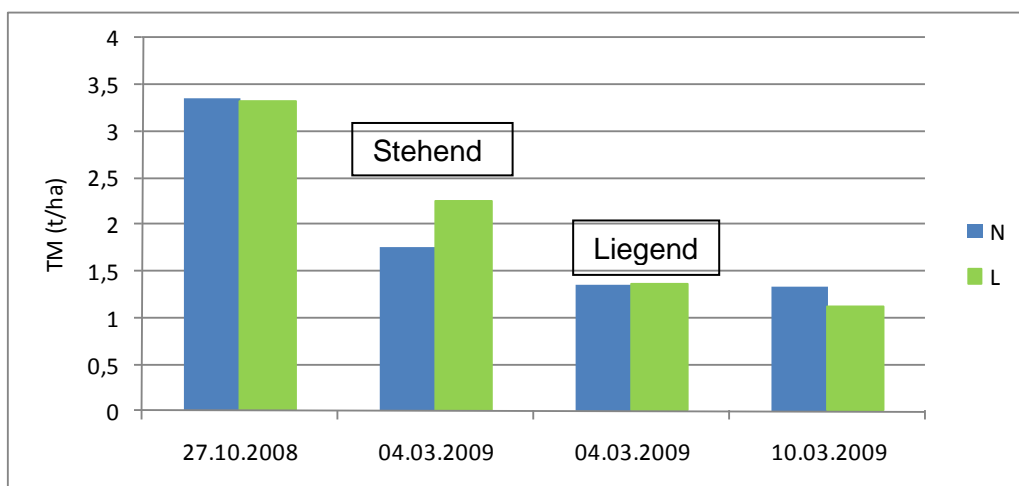


Abb.40: Vergleich der Trockenmassen (t/ha) aller Versuchsproben (Versuchsproben der liegenden Pflanzen am 27.10.2008, Versuchsproben der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsproben der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Referenzprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nicht-Leguminosen, L: Leguminosenmischung

7.5.1.2.2. Gesamt-Kohlenstoff

In *Abb.41* ist der Kohlenstoff-Gesamtgehalt in den Versuchsproben dargestellt, umgerechnet auf kg/ha. Die Versuchsprobe am 04.03.2009 (stehende Pflanzen) zeigt die niedrigsten Kohlenstoffverluste in Relation zur Anfangsbiomasse. Hier wiederum unterscheidet sich die Leguminosenmischung mit weniger Verlust an Kohlenstoff von der Nicht-Leguminosenmischung.

Bezüglich der Leguminosenmischung ist festzuhalten, dass die stehenden Pflanzen wesentlich weniger Kohlenstoff verlieren als die Referenzproben des Feldversuchs

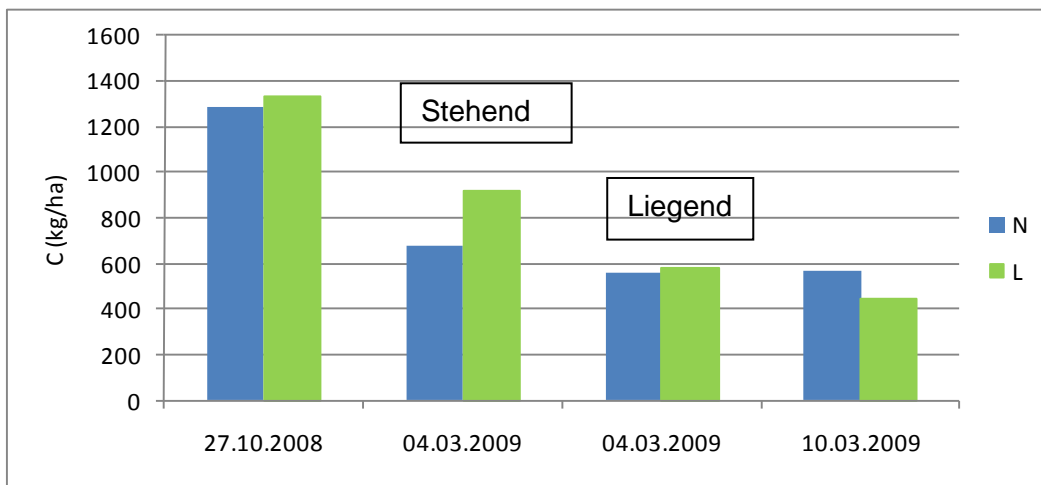


Abb. 41: Vergleich des Kohlenstoffgehalts (kg/ha) aller Versuchsproben (Versuchsprobe der liegenden Pflanzen am 27.10.2008, Versuchsprobe der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsprobe der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Referenzprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.5.1.2.3. Gesamt-Stickstoff

Abb. 42 gibt den Gesamtgehalt an Stickstoff (kg/ha) in allen Versuchsproben wieder.

Beide Versuchsvarianten (stehende Pflanzen) verhalten sich bezüglich der Stickstoff-Abnahme gleich. Im Vergleich zu den liegenden Pflanzen des Hauptversuchs nimmt der Stickstoffgehalt jedoch weniger stark ab.

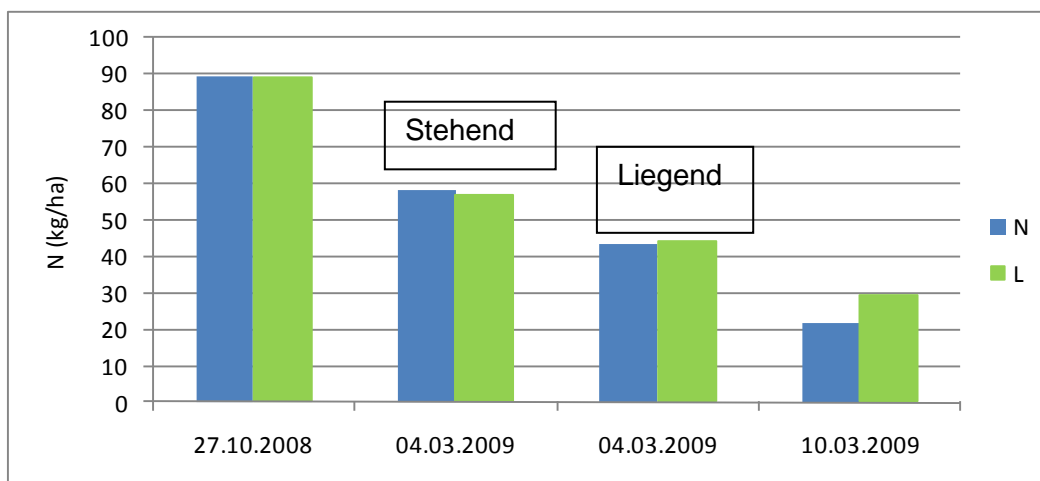


Abb. 42: Vergleich des Stickstoffgehalts (kg/ha) aller Versuchsproben (Versuchsproben der liegenden Pflanzen am 27.10.2008, Versuchsproben der stehenden Pflanzen am 04.03.2009, Versuchsproben der liegenden Pflanzen am 04.03.2009 und die Referenzprobe vom Feld am 10.03.2009), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.5.1.3. Pflanzliche Fasern Lignin und Cellulose

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

Im Vergleich zu den Anfangsgehalten dieser Inhaltstoffe in den liegenden Proben des Hauptversuchs im Herbst (vgl. Tab. 3, Kapitel 7.2.5.) werden größenordnungsmäßig ähnlich hohe Anteile an Hemicellulose, Cellulose und Lignin abgebaut wie in den liegenden Pflanzen des Hauptversuchs, nur bezüglich Cellulose verbleibt infolge geringeren Abbaues in den stehenden Pflanzen etwas mehr Cellulose (vgl. Tab. 4 in Kapitel 7.2.5.)

| | | TM (t/ha) | Hemicell. (%) | Hemicell. (kg/ha) | Cellulose (%) | Cellulose (kg/ha) | Lignin (%) | Lignin (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. 10: 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-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.5.1.4. Stehende Pflanzen – Aufgliederung der Verluste

Folgende Tabellen zeigen die Aufgliederung der Verluste bzw. Gehalte von Kohlenstoff und Stickstoff (kg/ha und %). Wie aus Tab. 11 und 12 ersichtlich, verlieren die Pflanzen der Variante Nicht-Leguminosenmischung einen höheren Teil an Kohlenstoff in gasförmiger Form als diejenigen der Variante Leguminosenmischung. Ähnlich wie beim Kohlenstoff verhalten sich die Varianten bezüglich Stickstoff (vgl. Tab. 13 und 14). Wie auch beim Hauptversuch, sind die Verluste durch Auswaschung für Stickstoff höher als für Kohlenstoff.

| | C (kg/ha) Versuchsbeginn (liegende Pfl.) 27.10.2008 | C (kg/ha) Auswaschung | C (kg/ha) Versuchsende (stehende Pfl.) (04.03.2009 | C (kg/ha) Ausgasung |
|---|--|--------------------------|--|--------------------------------|
| N | 1286,3 | 132 | 678 | 477 |
| L | 1334,9 | 148 | 921 | 267 |

Tab. 11: Absolute Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung. Als Vergleichswert dient der Kohlenstoffgehalt der liegenden Pflanzen zu Beginn des Hauptversuchs.

| | C (%) Versuchsbeginn (liegende Pfl.) 27.10.2008 | C (%) Auswaschung | C (%) Versuchsende (stehende Pfl.) 04.03.2009 | C (%) Ausgasung |
|---|--|----------------------|--|------------------------|
| N | 100 | 10,2 | 52,7 | 37,1 |
| L | 100 | 11,1 | 69,0 | 20,0 |

Tab. 12: Relative Kohlenstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (%), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | N (kg/ha) Versuchsbeginn (liegende Pfl.) 27.10.2008 | N (kg/ha) Auswaschung | N (kg/ha) Versuchsende (stehende Pfl.) 04.03.2009 | N (kg/ha) Ausgasung |
|---|--|--------------------------|--|--------------------------------|
| N | 89,5 | 24,6 | 58,0 | 6,98 |
| L | 89,2 | 31,0 | 57,0 | 1,16 |

Tab. 13: Absolute Stickstoffgehalte- bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (kg/ha), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

| | N (%) Versuchsbeginn (liegende Pfl.) 27.10.2008 | N (%) Auswaschung | N (%) Versuchsende (stehende Pfl.) 04.03.2009 | N (%) Ausgasung |
|---|--|----------------------|--|------------------------|
| N | 100 | 27,5 | 64,7 | 7,80 |
| L | 100 | 34,8 | 63,9 | 1,30 |

Tab. 14: Relative Stickstoffgehalte bzw. -verluste in den Versuchsvarianten (%), N: Nicht-Leguminosenmischung, L: Leguminosenmischung

7.5.2. *Mögliche Verluste durch Tropfenfehler*

In diesem Versuch wurde nachgewiesen, dass ein Abprallen von Regentropfen von der Oberfläche der Biomasse über den Gefäßrand hinaus auszuschließen war.

7.5.2.1. *Regentropfenaufprallversuch*

Abb. 43 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. Die Differenz entsprach größenordnungsmäßig der Wassermenge, die während eines Niederschlagsereignisses vom liegenden Pflanzenmaterial aufgenommen wurde (vgl. Abb. 44)

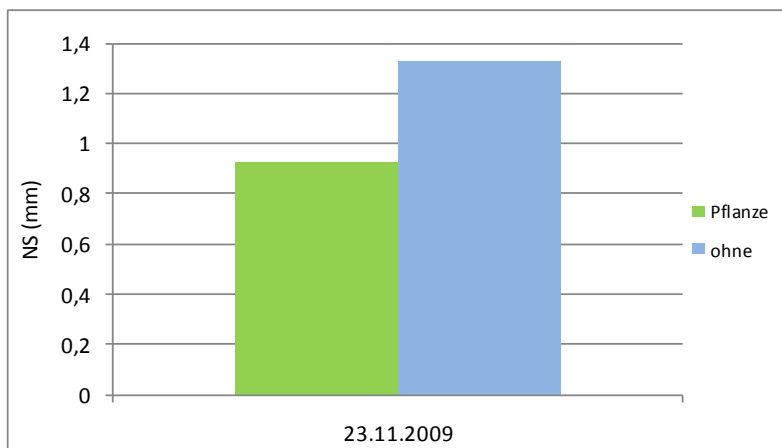


Abb.43: Vergleich der Wassermenge in den Versuchsgefäßen; Pflanze: Gefäß mit Pflanze, ohne: Gefäß ohne Pflanze nach einem Niederschlagsereignis (NS, in mm).

7.5.2.2. *Niederschlags-Interzeption und Aufnahme durch die Pflanzenbiomasse*

18 bis 24% des Niederschlagswassers wurde nach einem Niederschlagsereignis von der pflanzlichen Biomasse zurückgehalten. Der in den Wannen unterhalb der Pflanzen aufgefangene Niederschlag betrug zwischen 82% und 76% des gesamten Niederschlags.

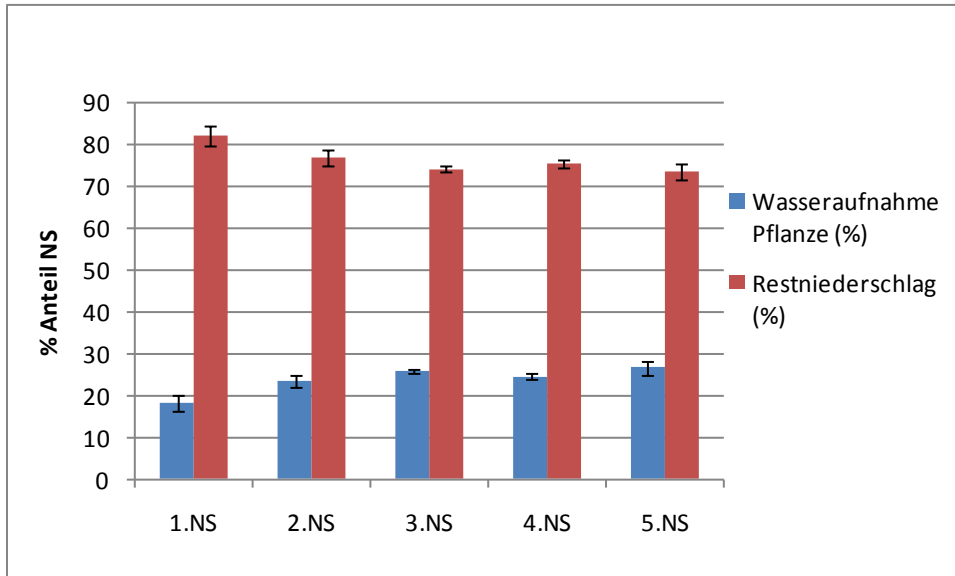


Abb. 44: Vergleich des prozentuellen Anteil an zurückgehaltenem und aufgenommenen Niederschlag von der Pflanzenbiomasse und den prozentuellen Anteil an aufgefangenem Niederschlag (NS).

8. Diskussion

Die ÖPUL-Förderungsvarianten von Begrünungen B und D (abfrostende Herbst-/Winterbegrünungen) 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 während der Wintermonate. Die untersuchten Begrünungsvarianten waren eine Leguminosenmischung, eine Nicht-Leguminosenmischung und eine Begrünung ausschließlich mit Senf.

Auswaschung von Stickstoff und Kohlenstoff aus der oberirdischen Begrünungsbiomasse

In einem ersten Schritt wurden die Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff, die bei Regenfällen aus dem Pflanzenmaterial ausgewaschen wurden, erfasst. Die Auswaschung dieser Elemente erfolgte nicht gleichmäßig über den Versuchszeitraum, sondern zeigte deutliche Spitzen zu bestimmten Probenahmeterminen, wie etwa am 10.11.2008, 05.12.2008 und 22.01.2009. Offensichtlich hing dies mit der Witterungslage zusammen, wie aus Abb. 16 ersichtlich. Der Grund für die besonders hohen Auswaschungswerte in allen Versuchsvarianten am 10.11.2008 lag zudem darin, dass der Versuch am 27.10.2008 angelegt wurde. Damit waren die Pflanzen bereits zwei Wochen den Außenbedingungen ausgesetzt und es fanden bis zum ersten Probenahmetermin bereits starke Zersetzungsvorgänge in der pflanzlichen Biomasse statt, sodass der zwischenzeitliche Niederschlag bereits hohe Auswaschungsraten verursachte.

Die hohen Auswaschungswerte am 05.12.2008 und am 22.01.2009 waren wahrscheinlich durch jeweils davor aufgetretene Frostperioden bedingt. Die Eiskristalle im Zellinneren der pflanzlichen Organe zerstörten die Struktur (Larcher, 2001), sodass in weiterer Folge der Niederschlag eine Auswaschung der nun nicht mehr durch Membranen geschützten Zellinhaltsstoffe verursachte. Ein weiterer Grund für die hohen Auswaschungsmengen waren die relativ kohlenstoffreichen Oligo- und Polysaccharide, die von der Pflanze als Gefrierschutzstoffe zur Steigerung der Frostresistenz gebildet wurden (Amberger, 1996, Larcher, 2001). In einem Versuch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2003), in dem frische und gefrorene Senfpflanzen für 30 min. in Wasser eingelegt wurden, verloren die frischen Senfpflanzen rund 4 % ihres gesamten Stickstoffs, die durchgefrorenen Pflanzen jedoch doppelt so viel. Beim Termin 05.12.2008 kommt hinzu, dass in der Auswaschungsflüssigkeit zum ersten Mal ein Rückstand beobachtet und bei der Messung berücksichtigt wurde.

Die Variante Senf wies in allen Messungen geringere Auswaschungswerte (als kg/ha) auf als die Varianten Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung. Dies war zum Teil durch die geringere Biomasse der Senf-Variante zu Versuchsbeginn bedingt, wodurch sich – bezogen auf kg/ha – naturgemäß geringere Auswaschungsmengen ergaben. Die Relativierung der Auswaschungsdaten auf Gramm ausgewaschene Substanz pro Tonne Anfangsbiomasse bzw. als % berechnet, die einen Vergleich unabhängig von der Höhe der Anfangsbiomasse erlaubte, relativierte diese geringeren Auswaschungswerte etwas.

Dennoch wies der Senf zu den Terminen 14.11.2008, 5.12.2008 und 16.12.2008 eine geringere Stickstoffauswaschung und bei den meisten Terminen auch eine geringere Kohlenstoffauswaschung auf als die Varianten Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung, die sich kaum voneinander unterschieden. Im Verlauf des Versuchs wurde im Senf 25 % des zu Versuchsbeginn in der Biomasse enthaltenen Stickstoffs ausgewaschen, während mit 32 bzw. 33 % in den beiden anderen Varianten deutlich mehr ausgewaschen wurde. Die Auswaschungsverluste an Kohlenstoff 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 an löslichem Stickstoff am Gesamtstickstoff in der Biomasse von Senfpflanzen 29 %, Sommerroggen 28 %, Ölrettich 44 % und von 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.

Bei allen drei Versuchsvarianten stieg im Laufe des Versuchs der Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt der Auswaschungsflüssigkeit an, während die Anteile an Nitrat und löslichem organischen Stickstoff abnahmen. Dies ist vermutlich auf Verrottungsprozesse zurückzuführen, die in der Biomasse stattgefunden haben.

Risiko einer Stickstoff- und Kohlenstoffverlagerung ins Grundwasser

Die am Feld unter natürlichen Bedingungen aus der oberirdischen Biomasse ausgewaschenen Substanzen – entsprechend den in unserem Versuch in den Boxen gesammelten Eluaten samt Schwebstoffen - gelangen zunächst in den Boden und sind dort für die Folgekultur bzw. für den Humusaufbau nicht verloren, sofern die Speicherkapazität des Bodens ausreicht und auch der Niederschlag nicht zu hoch ist, .

In mehreren Feldversuchen in den Jahren 2008, 2009 mit Begrünungspflanzen am Standort Absdorf unter Berücksichtigung von Bodenanalysen konnte im Rahmen von Projekten der „Bio Forschung Austria“ festgestellt werden, dass die Auswaschung des von der Begrünungsbiomasse gebundenen Stickstoffs – wie in unserem Hauptversuch – ebenfalls mit großer Verzögerung erfolgte. Dabei wurde wie in unseren Versuchen (33% Auswaschungsrate) ebenfalls nur ein Teil des Stickstoffs ausgewaschen, der zudem in den oberen Bodenschichten verblieb. Doch selbst aus tieferen Bodenschichten kann Stickstoff durch die Pflanzenwurzeln noch entzogen werden. Dadurch ist insgesamt das Risiko einer Versickerung von Stickstoffverbindungen in tiefere Bodenschichten wesentlich verringert. Für das Element Kohlenstoff besteht kaum ein Auswaschungsrisiko, da die Mikrofauna alle kohlenstoffhaltigen Substanzen rasch bindet bzw. verarbeitet.

Eine generelle Erhöhung des Risikos der Eutrophierung des Grundwassers durch C- bzw. N-haltige Verbindungen kann demnach ausgeschlossen werden.

Begrünungsbiomasse

Als bestimmend für die Abbaubarkeit pflanzlicher Rückstände wird einerseits deren C/N-Verhältnis, andererseits auch deren Gehalt an schwer abbaubaren strukturellen

Kohlenhydraten (Cellulose, Hemicellulosen, etc.) und Lignin. angesehen (Müller et al., 1988; Handayanto et al., 1997). Im C/N-Verhältnis unterschieden sich die drei Varianten zu Versuchsbeginn kaum: es lag in allen drei Fällen zwischen 14 und 15. Die Unterschiede im Ligningehalt waren geringer als hinsichtlich des Gehaltes an Cellulose und Hemicellulosen. Allgemein waren die Gehalte an diesen Strukturkohlehydraten und auch an Lignin 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 Pflanzen der Versuchsvarianten Leguminosen und Nicht-Leguminosenmischung zeigten im Hauptversuch wie im Feldversuch zu Versuchsende höhere Verluste an Biomasse und Kohlenstoff als die Senf-Pflanzen. Verantwortlich hierfür ist wahrscheinlich die höhere Blatt-Biomasse (und geringere Stängel-Biomasse) in den beiden erstgenannten Varianten, die auch die geringeren Gehalte an Cellulose und Hemicellulosen bedingt. Im Gegensatz dazu wurde im Versuch beobachtet, dass beim Senf der Anteil an Stängeln an der Gesamt Biomasse mit zunehmender Versuchsdauer offensichtlich anstieg.

Dass Lignin mit dem Biomasseabbau nicht parallel ging, also von einem Abbau nicht betroffen war, dürfte an der relativ kurzen Versuchsdauer (18 Wochen) und der fehlenden Einarbeitung in den Boden liegen. Frankenberger & Abdelmagid (1985) fanden in einem 20-wöchigen Abbaubersuch (mit Einarbeitung) keinen sehr starken Lignin-Abbau, während erst in einem 56-wöchigen Abbaubersuch, vorwiegend mit Biomasse von *Vicia faba* und *Phleum pratense* in Meshbags im Boden (Müller et al., 1988), Lignin deutlich zurückging.

Der Vergleich der Pflanzenproben am Ende des Hauptversuchs mit den zum selben Zeitpunkt (10.03.2009) am Feld geernteten Proben zeigte, dass am Feld bei allen Begrünungsvarianten höhere Biomasseverluste auftraten als in den Versuchsboxen. Dies ist vermutlich auf Faktoren wie etwa Wildfraß und/oder Wind zurückzuführen, denen die Pflanzen in den Versuchsboxen nicht ausgesetzt waren..

Der höchste Stickstoffverlust mit 62 % (Hauptversuch) ergab sich bei der Senfmischung. Dies könnte auf den hohen Gehalt dieser Pflanze an Senfölglycosiden zurückzuführen sein, die beim Welken freiwerden. Demgegenüber wiesen die Leguminosenmischung und die Nicht-Leguminosenmischung Stickstoffverluste in der Biomasse von nur 50 bzw. 51 % auf.

In einem Zwischenfruchtversuch in Sachsen verloren die über Winter auf dem Feld verbliebenen Zwischenfrüchte von Senf mit 61 % und Ölrettich mit 60 % mehr Stickstoff als die „Nicht-Leguminose“ Sommerroggen (53 %), jedoch verlor *Phacelia* sogar 78 % ihres ursprünglichen Stickstoffgehaltes (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2003). In unserem Feld-Referenzversuch lag der Stickstoffverlust der Senfpflanzen mit 82% ebenfalls deutlich über dem Stickstoffverlust der Leguminosenmischung (67 %).

Gasförmige Verluste

In der vorliegenden Arbeit wurden die gasförmigen Verluste nicht direkt gemessen, sondern als Differenz zwischen den Kohlenstoff- bzw. Stickstoffgehalten der Biomasse zu

Versuchsbeginn und zu Versuchsende, abzüglich der Auswaschungsverluste errechnet. Hohe gasförmige Verluste von Kohlenstoff wurden bei den Versuchsvarianten Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung (48%) festgestellt. Diese sind wahrscheinlich auf die relativ weiche Zusammensetzung der Blattbiomasse zurückzuführen, die nach Frostereignissen von der Mikrofauna rasch zersetzt werden konnte. Mikroorganismen sind vor allem an den Umsatzprozessen der leicht abbaubaren C- und N-Fractionen beteiligt (Friedel et al., 1997). Andererseits zeigte die Senfmischung mit 42 % geringere Verluste an Kohlenstoff (als CO₂), möglicherweise als Folge des robusteren (skleromorphen) Gesamtbaues dieser Pflanzen, bei denen mit der Alterung der Anteil der Stängel stark ansteigt, deren hoher Cellulose und Ligninanteil schwerer abgebaut wird.

Bei den gasförmigen Stickstoffverlusten erreicht der Senf mit 37 % die höchsten Verluste. Wie in einem anderen Zusammenhang vorher erwähnt, ist der mögliche Grund hierfür die leicht flüchtigen Senfölglycoside, die neben Schwefel rel. viel Stickstoff enthalten und bei Zerstörung der Blattstruktur (z.B. durch Frost, Umknicken durch Wind, mikrobiellen Abbau) freigesetzt werden (Strasburger et al., 2008). Die gasförmigen Stickstoffverluste bei der Variante Leguminosenmischung und Nicht-Leguminosenmischung lagen demgegenüber nur im Bereich von 18 %.

Die Frage von gasförmigen Verlusten von Pflanzen wird in der Literatur wenig behandelt. So untersuchten z.B. Mannheim et al. (1996) Ammoniakemissionen mit einem Windtunnelsystem, wobei sie bei Ernterückständen zwischen 0,9 und 3,7% Ammoniak-Verluste feststellen konnten. In unserem Versuch umfassten die gasförmigen Verluste jedoch alle Stickstoffverbindungen, sodass viel höhere Werte gefunden wurden. Auch Kulozik-Erben (2007) stellte anhand eines Gefäßversuchs fest, dass die Bilanzierungsmethode weit höhere gasförmige Verluste ergab als eine parallel durchgeführte Ammoniak-Emissionsmessung.

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. 15: Humusertrag (Humus-C (kg/ha)) bei direkter Einarbeitung der verschiedenen Gründüngungsvarianten im Herbst (umgerechnet auf die jeweiligen Stalldung-Trockenmasse-Äquivalente in t/ha). L: Leguminosenmischung, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf

2. Einarbeitung im Frühjahr

a) berechnet auf Grundlage 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 |

Tab. 16: Humusertrag (Humus-C (kg/ha)) bei Einarbeitung der verschiedenen Gründüngungsvarianten des Referenzversuchs am Feld im Frühjahr (umgerechnet auf die jeweiligen Stalldung-Trockenmasse-Äquivalente in t/ha). L: Leguminosenmischung, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf

b) berechnet auf Grundlage 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 |

Tab. 17: Humusertrag (Humus-C (kg/ha)) bei Einarbeitung der verschiedenen Gründüngungsvarianten des Hauptversuchs im Frühjahr (umgerechnet auf die jeweiligen Stalldung-Trockenmasse-Äquivalente in t/ha). L: Leguminosenmischung, N: Nicht-Leguminosenmischung, S: Senf

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 Nicht-Leguminosenmischung, während sich im Frühling durch die bessere Erhaltung der Biomasse in der Nicht-Leguminosenmischung 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 (Klee gras – Weizen – Weizen – Frühkartoffel+Klee gras aussaat) 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 Stallung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, das entspricht 271 kg/ha Humus-C pro Jahr.

Die 7-jährige Biolandbau-typische Fruchtfolge (Klee gras – Silomais – Dinkel oder Roggen – Hafer – Ölkürbis – Körnerleguminosen - Sommergerste+Klee grasuntersaat) hat einen positiven Humusbilanzsaldo von 0,79 t/ha Stallung-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 Stallung-Trockenmasse-Äquivalent pro Jahr, das entspricht 174 kg/ha Humus-C pro Jahr.

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 % Bodenhumus 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 Bodenhumus unterstützen und liefern damit einen Beitrag zur Humusbildung, der über die reine C-Zufuhr durch ihre eigene Biomasse hinausgeht.

Zusatzversuche

Stehende Pflanzen

Wie *Tab.12* und *Tab.14* dokumentieren, sind die Biomasse-, Kohlenstoff- und Stickstoffverluste der stehenden Pflanzen niedriger als die entsprechenden Verluste in liegenden Pflanzen des Hauptversuchs. Bezüglich der gasförmigen Kohlenstoff- und Stickstoffverluste sind diese Unterschiede besonders dramatisch: Bei liegenden Pflanzen ging ca. 48% des Kohlenstoffs und ca. 18% des Stickstoffs verloren (in beiden Varianten etwa gleich viel), während der gasförmige Verlust stehender Pflanzen nur 20 % C (Leg) und 37 % C (Nicht-Leg), bzw. 1,3 % N (Leg) und 7,8 % N (Nicht-Leg) betrug.

Der Grund dafür ist vermutlich, dass diese Pflanzen im Laufe des Versuchs trockenkonserviert wurden, da sie dem Wind stärker ausgesetzt waren als die liegenden Pflanzen im Hauptversuch. Somit konnten weniger Mikroorganismen an diesen Pflanzen aktiv sein, woraus sich eine geringe Abbaurate ergab. Hinsichtlich der pflanzlichen Fasern

blieben höhere Mengen an Hemicellulose, Cellulose und Lignin in den stehenden Pflanzen im Vergleich zu den liegenden übrig.

Regentropfenaufprall, Niederschlagsinterzeption und -aufnahme durch Pflanzen

Der Zusatzversuch „Regentropfenaufprall“ (vgl. Kap. 7.5.2.) bestätigte, dass unsere Versuchsgefäße den darauf fallenden Niederschlag ohne Verluste durch Wegspritzen o.ä. aufgefangen haben. Dieser Zusatzversuch zeigte zudem, dass ein gewisser prozentueller Anteil des Niederschlags (im Bereich 18 bis 24 %) durch die Pflanzen aufgrund von Interzeption zurückgehalten wurde.

Schlussfolgerung

Die Versuche zeigen eindeutig, dass die Variante Senf die höchsten Stickstoffverluste durch Ausgasung erfährt. Dagegen ist der Verlust an Kohlenstoff geringer als bei den anderen Versuchsvarianten.

Somit kann aufgrund vorliegender Ergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis durchaus empfohlen werden, eher die Varianten Leguminosen- und Nicht-Leguminosenmischung anstatt dem üblicherweise verwendeten Senf als GrünSaat anzubauen.

9. 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 guineensis* (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 (NH₃ und N₂O) 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. (2001). Ökophysiologie der Pflanze. 6. Auflage. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 408 pp.
- Leder K., Puxbaum H. (2003). Nasse Deposition im Land wien. Bericht für MA22 – Umweltschutz. Wien.
- Marschner, H. (1995), Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press. Cambridge. 889pp.
- 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.

Alya Badawi
Lorenz-Böhler- Gasse 6/4/50
A-1200 Wien
Tel.: 0650 - 400 28 50
E-Mail: alya.badawi@gmx.at

10. Lebenslauf

Persönliche Daten

| | |
|--------------------|-------------------|
| Geburtsdatum | 04.01.1984 |
| Geburtsort | Tulln a. d. Donau |
| Familienstand | Ledig |
| Staatsbürgerschaft | Österreich |

Ausbildung

| | |
|-------------------------------|---|
| 2002 | Abschluss der Ausbildung am naturwissenschaftlichen Gymnasium in Nablus/Palästina mit Reifeprüfung. |
| Oktober 2002 – Januar 2003 | Vorstudienlehrgang an der Universität Wien in den Bereichen Geschichte, Geographie und Sozialkunde. |
| seit SS 2003 | Studium der Biologie/Ökologie an der Universität Wien. |

Studienbegleitende Tätigkeiten

| | |
|-----------------------|---|
| Nov. 2003 | Dolmetscherin (Arabisch – Deutsch) für eine arabische Delegation in Hartberg/Steiermark |
| Jul. 2005 - Sep. 2005 | Ferialpraktikum bei Firma Fronius in Zusammenarbeit mit Bio Austria und Ökowitz in Schlierbach / OÖ |
| Jan. 2003 - Dez. 2006 | Im Bereich Kinderbetreuung |
| seit Apr. 2007 | Büroassistentin in einer Praxis für Osteopathie |
| Jul. 2007 | Praktikum bei Bluespring Consulting Unternehmensberatung |
| Aug. 2007 – Sep. 2007 | Praktikum bei Bioforschung Austria – Drahtwurmprojekt |
| Seit Nov.2007 | Wissenschaftl. Mitarbeit bei Bioforschung Austria |

Weitere Qualifikationen

| | |
|----------|---|
| Sprachen | Deutsch (Muttersprache), Arabisch (verhandlungssicher in Wort und Schrift), Englisch (Maturaniveau in Wort und Schrift) |
| EDV | Grundkenntnisse in MS – Office, |

