



**EINFLUSS UNTERSCHIEDLICHER FRUCHTARTEN
AUF BIOMASSEERTRAG UND WURZELBILDUNG
ALS BEGRÜNUNGSMASSNAHME
IM SEMIARIDEN PRODUKTIONSGBIET**

Masterarbeit

Zur Erreichung des Grades Diplom-Ingenieur
an der Universität für Bodenkultur Wien

Eingereicht von

Thomas Assinger

Wien, Dezember 2013

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard

Kurzzusammenfassung

Die Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme muss standortsbezogen erfolgen. Im semiariden Ackerbaugebiet (<600 mm Jahresniederschlag) steht der Aspekt des Wasserverbrauchs im Vordergrund.

Im Jahr 2012 wurde an zwei bezüglich Boden und Witterung unterschiedlichen Standorten ein Begrünungsversuch als Langparzellenanlage (Standardmethode) angelegt. Zum Anbau kamen Ölrettich, Meliorationsrettich, Gelbsenf, Braunsenf, Kresse, Buchweizen, Öllein, Sommerwicke, Linse, Platterbse, Kanadische Platterbse und Alexandrinerklee sowie vier Gemenge und eine Brachevariante. Das Kalenderjahr 2012 war durch höhere Temperaturen und geringere Niederschlagsmengen im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt geprägt. Kriterien waren der Bedeckungsgrad, die oberirdische Biomasse sowie die Wurzellängendichte und Wurzelbiomasse.

Am Standort Untermallebarn kam es durch die trockene Witterung im Spätfrühling und Sommer 2012 zu einer generell langsameren Jungendentwicklung und somit zu einem geringeren Bodenbedeckungsgrad. Die früheste Bodenbedeckung erzielten Ölrettich und Meliorationsrettich sowie Kresse am Standort Zagging – bei feuchteren Bodenbedingungen.

Je niedriger der Bodenbedeckungsgrad, desto geringer war die Trockenmasseproduktion. Linse, Kanadische Platterbse und Öllein ergaben im Vergleich zum Standard (Ölrettich Final) signifikant geringere Blattmassen.

Die Wurzelmasse (kg/ha von 0 bis 30 cm Bodentiefe) war unter trockenen Bedingungen deutlich höher. Der Meliorationsrettich ergab auf beiden Standorten eine konstant hohe Wurzelmasse. Zusätzlich zeigte der Meliorationsrettich eine günstigere Verteilung der Wurzellänge im Boden; der Bodenwasservorrat wurde dadurch besser genutzt.

Ein Gemengeanbau führt auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen oder Ausfall eines Gemengepartners zu einer ausreichenden Bodenbedeckung. In der meist begrenzt kurzen Vegetationszeit nützt ein Gemenge als Begrünungsmaßnahme (Zwischenfrucht) die knappen Ressourcen Boden, Wasser und Licht optimaler.

Abstract

Cover crop cultivation as a greening project should be adapted on the location. The aspect of water consumption in semi-arid farming areas (<600 mm annual precipitation) should be prioritized.

In 2012, a planting experiment was designed as a long-plot-system (standard method) at two locations with differing soil and weather conditions. The cultivated crops were: oil radish, tillage radish, yellow mustard, brown mustard, cress, buckwheat, linseed, common vetch, lentil, pea, canadian pea, egyptian clover, four mixtures and a plot of bare soil. 2012 was characterized by higher than average temperatures and lower than average rainfall. Investigative criteria included the rate of soil-coverage, the above ground biomass production, root length density and root biomass.

The location at Untermallebarn showed a generally slower development and a lower degree of soil coverage due to the dry weather in late spring and summer of 2012. At Untermallebarn the earliest soil coverage was attained by tillage- and oil radish. At Zagging, due to damper soil conditions, the earliest soil coverage was attained by cress, tillage- and oil radish. The low the rate of dry matter production was due to the lower rate of soil coverage. Lentils, canadian pea and linseed had significantly lower leaf masses compared to the standard oil radish.

The root mass (kg/ha from 0 to 30 cm soil depth) was significantly higher under dry conditions. Tillage radish had consistently high root masses at both locations. In addition, the tillage radish showed a more favorable distribution of root length in the soil. Thus the soil moisture level was better utilized.

Using a mixture of different cover crops that grow under different unfavorable weather conditions is advantageous because if one crop fails the thriving crops will still cover the ground sufficiently and quickly. In short growing-seasons a mixture as a greening measure (catch/cover crop) takes optimal advantage of the limited resources of soil, water and light.

Danksagung

Meinem Betreuer, Herrn Ao.Univ.Prof.Dr. Peter Liebhard, danke ich für die Betreuung der Arbeit, die fachliche Unterstützung und die stetige Diskussionsbereitschaft.

Ein Dankeschön Herrn Dipl.-Ing. Herbert Eigner, Zuckerforschung Tulln GmbH., für die Organisation und Durchführung der Feldversuche, der Probenaufbereitung und Analyse.

Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Sigl ein aufrichtiges Danke für die Bereitstellung des Versuchsfeldes sowie für die Unterstützung bei der mathematisch-statistischen Auswertung der ermittelten Daten.

Herrn Dipl.-Ing. Peter Scholl und Dr. Gernot Bodner danke ich für die Hilfestellung bei der Aufbereitung der Wurzelproben und bei der Ermittlung der Wurzeldaten.

All meinen FreundInnen und StudienkollegInnen danke ich für die unvergessliche Zeit.

Meine Eltern, Frau Käthe und Herrn Anton Assinger, vermittelten mir seit meiner Kindheit Werte, die meinen Weg prägten. Sie förderten meinen beruflichen Werdegang und ließen mir die Freiheit, Erfahrungen zu sammeln und einen selbstständigen Weg zu gehen – dafür ein inniges Danke.

Ein herzliches Danke Dir Katharina für Deine Unterstützung und dass du immer für mich da bist.

Inhaltsübersicht

1	Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung	10
1.1	Einleitung.....	10
1.2	Problemstellung.....	12
1.3	Zielsetzung	13
2	Ausgewählte Literatur	14
2.1	Zwischenfrucht	14
2.2	Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme (ÖPUL)	15
2.3	Einfluss der Zwischenfrucht auf den Boden	17
2.4	Einfluss der Zwischenfrucht auf das Pflanzenwachstum	18
2.5	Einfluss der Zwischenfrucht auf die Umwelt	21
2.6	Einfluss der Zwischenfrucht auf die Zuckerrübe	22
3	Material und Methoden	24
3.1	Material.....	24
3.1.1	Großraum und Klima.....	24
3.1.1.1	Untermallebarn.....	24
3.1.1.2	Zagging	25
3.1.2	Boden	25
3.1.2.1	Untermallebarn.....	26
3.1.2.2	Zagging	28
3.1.3	Witterungsverlauf.....	30
3.1.3.1	Untermallebarn.....	30
3.1.3.2	Zagging	31
3.2	Methode	32
3.2.1	Versuchsanlage	32
3.2.2	Artenbeschreibung.....	34
3.2.2.1	Ölrettich und Meliorationsrettich (Raphanus sativus)	34
3.2.2.2	Senf (Sinapis alba) bzw. (Brassica juncea)	35

3.2.2.3	Kresse (<i>Lepidum sativum</i>).....	36
3.2.2.4	Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	36
3.2.2.5	Öllein (<i>Linum usitatissimum</i>)	36
3.2.2.6	Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)	37
3.2.2.7	Linse (<i>Lens culinaris</i>).....	37
3.2.2.8	Platterbse (<i>Lathyrus sativus</i>)	37
3.2.2.9	Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	38
3.2.2.10	Mischungen	38
3.2.3	Versuchsdurchführung	39
3.2.3.1	Untermallebarn	40
3.2.3.2	Zagging	40
3.2.4	Datenerhebung	41
3.2.4.1	Ermittlung des Feldaufganges und des Pflanzenverlaufes.....	41
3.2.4.2	Bodenbedeckungsgrad und LAI	42
3.2.4.3	Ausgewählte Bodenparameter	44
3.2.4.4	Ermittlung der oberirdischen Biomasse	47
3.2.4.5	Ausgewählte Pflanzeninhaltsstoffe	48
3.2.4.6	Ermittlung der Wurzel-Biomasse	49
3.2.5	Mathematisch statistische Verrechnung ausgewählter Daten.....	52
4	Ergebnisse	53
4.1	Ausgewählte Bodenanalysenergebnisse	53
4.1.1	Bodenwassergehalt am Standort Untermallebarn.....	53
4.1.2	Bodenwassergehalt am Standort Zagging	56
4.2	Keimfähigkeit und Feldaufgang	58
4.3	Wachstums- und Entwicklungsverlauf	61
4.4	Bodenbedeckungsgrad und Blattflächenindex	64

4.4.1	Bedeckungsgrad am Standort Untermallebarn	64
4.4.2	Bedeckungsgrad am Standort Zagging.....	66
4.4.3	Blattflächenindex.....	67
4.5	Wuchshöhe und Durchwurzelungstiefe	68
4.6	Frisch- und Trockenmasseertrag ausgewählter Zwischenfruchtarten als Begrünungsmaßnahme.....	70
4.7	Ausgewählte Nährstoffgehalte der Pflanzen.....	76
4.8	Wurzelentwicklung.....	79
4.8.1	Wurzeldurchmesser	79
4.8.2	Wurzelmasseendichte.....	81
4.8.3	Wurzellängendichte	82
5	Diskussion.....	84
5.1	Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf ausgewählte Bodenkennzahlen.....	85
5.2	Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf den Feldaufgang und auf den Zeitpunkt der Bodenbedeckung	91
5.3	Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf die oberirdische Biomassebildung	97
5.4	Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf die Wurzelentwicklung	102
6	Zusammenfassung.....	106
7	Literaturverzeichnis	110
8	Abbildungsverzeichnis	120
9	Tabellenverzeichnis	122
10	Anhang.....	124

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Anastomosegruppe
AMA	Agrarmarkt Austria
AZ	Ausgleichszahlungen
BNF	Biological Nitrogen Fixation (Biologische Stickstofffixierung)
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
Corg	organischer Kohlenstoff
cm	Zentimeter
EU	Europäische Union
EUF	Elektro-Ultrafiltration
FA	Feldaufgang
FG	Freiheitsgrade
ha	Hektar
KF	Keimfähigkeit
Kg	Kilogramm
LAD	Leaf-Area-Density (Blattflächendichte)
LAI	Leaf-Area-Index (Blattflächenindex)
LE	Ländliche Entwicklung
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
lj.	langjährig
MAX	Maximum
MIN	Minimum
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
Nd.	Niederschlag
Nmin	mineralischer Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
ÖPUL	Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft
PAR	photosynthetically active radiation
PP	pleated paper

% Prozent
RWA Raiffeisen Ware Austria
S Schwefel
Std. Standard
Tab. Tabelle
Temp. Temperatur
TKG Tausendkorngewicht in Gramm
TM Trockenmasse
u.a. unter anderem
UM Untermallebarn
v.l.n.r. von links nach rechts
ZA Zagging
ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
z.T. zum Teil

1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Durch die Optimierung in der Kulturführung und Mechanisierung in der Landwirtschaft konnte die Schlagkraft wesentlich erhöht werden und dadurch wurde ein stetiger Anstieg der Erntemenge möglich. Die hohe Schlagkraft ist meist verbunden mit stärkeren Zugkräften und wesentlich höheren Achslasten und dies führt zu einer Schädigung der natürlichen Tragfähigkeit und teilweise zu Verdichtungen des Bodens. Durch die Zielsetzung der „Integrierten Pflanzenproduktion“ wird die Gefügestabilität des Bodens in den Mittelpunkt gestellt. Die Ertragssicherung unter Berücksichtigung der wesentlichen ökonomischen und ökologischen Kriterien wird dabei gewährleistet.

Der Boden ist in der pflanzlichen Produktion einer der wichtigsten Produktionsfaktoren. Der Erhalt bzw. eine Verbesserung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit ist wesentliches Ziel zur ausreichenden Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Ein optimaler Humusgehalt und eine stabile Bodenstruktur sind wesentliche Säulen in der Nutzpflanzenproduktion. Häufig sind unter den derzeitigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen nur wenige Fruchtarten (je nach Standort unterschiedlich), hinsichtlich Deckungsbeitrag wirtschaftlich. Ein Zwischenfruchtanbau soll in jeder Fruchtfolge vorhanden sein (RENIUS et al., 1992). Dabei sollte nicht nur das Argument der Bodenbedeckung zwischen zwei Hauptfrüchten im Vordergrund stehen.

Um wesentliche Ziele des Agrarumweltschutzprogrammes zu erreichen, wird innerhalb der EU und durch das ÖPUL (Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft) die Begrünung von Ackerflächen gefördert. Durch den Zwischenfruchtanbau als Begrünungsmaßnahme wird das Bodenleben gefördert und die Bodenfruchtbarkeit erhöht. Erosionen durch Wind und Wasser werden durch die beinahe ganzjährige Bodenbedeckung verringert und die Verlagerung von Nitrat ins Grundwasser wird aufgrund der Abreicherung durch den aufwachsenden Begrünungspflanzenbestand entgegengewirkt.

Im ökologischen Landbau ist der Zwischenfruchtanbau, der meist eine Gründüngung ist, die Grundlage für die Abläufe im wenig gestörten Ökosystem.

Dabei werden vor allem Pflanzenarten – im speziellen Leguminosen – verwendet, welche den Boden mit Stickstoff anreichern. Dadurch steht der folgenden Hauptfrucht ausreichend Energie für das Wachstum zur Verfügung (HAMPL, 1996).

Von großer Bedeutung ist die Erzielung eines zeitgerechten Zwischenfrucht-Pflanzenbestandes der meist mehr Vorteile für die nachfolgende Hauptfrucht bringt. Dabei ist es nicht vorteilhaft die billigste Pflanzenart auszuwählen. Die Verträglichkeit innerhalb der Zwischenfruchtpflanzengemische und der Fruchtfolge muss gewährleistet sein, um eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit zu erreichen und um Pflanzenschutzprobleme durch biotische Faktoren zu vermindern.

Die Zuckerrübe als Folgefrucht stellt besonders hohe Ansprüche an den Bodenzustand, die Bodentemperatur, die Bodenfeuchte und an die optimale Durchwurzelbarkeit.

Um die ausreichende Bereitstellung an Nahrungsmitteln für die Bevölkerung zu sichern, ist meist eine hohe Bewirtschaftungsintensität erforderlich. Dadurch kann der Boden belastet, der Humusgehalt gesenkt und die Bodenfruchtbarkeit abnehmen. Folglich wird auch der Lebensraum der vielfältigen Tierwelt verändert und häufig gefährdet. Damit es nicht dazu kommt, muss in der pflanzlichen Produktion die Nachhaltigkeit oberste Priorität erhalten. Nicht nur die Landwirtschaft, auch die gesamte Gesellschaft ist verpflichtet, das „Ökosystem Boden“ und dessen Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere und die Bereitstellung von wertvollem Grund- und Trinkwasser zu schützen.

Eine möglichst lange Bedeckung der Ackerfläche ist für eine nachhaltige Bewirtschaftung von großer Bedeutung. Deshalb wird im Rahmen des ÖPUL-Programmes der Anbau von Begrünungen gefördert. Im Ackerbau kann aus einem breiten Spektrum an Zwischenfrüchten und Anbauterminen gewählt werden.

Der Zwischenfruchtanbau ist für die Sommer-, Herbst- und Winterbegrünung wesentlich. Außerdem wird einer Nährstoffverlagerung ins Grundwasser und dem Bodenabtrag entgegengewirkt. Zusätzlich kommt es durch spezielle Pflanzengesellschaften noch zu einer Minderung des Beikrautaufkommens sowie Schädlingen und Krankheiten. Speziell die Minimierung der Nematoden kann durch nematodenresistente Zwischenfruchtarten leicht gewährleistet werden.

1.2 Problemstellung

Die Begrünungsmaßnahme verursacht Kosten und muss in die Fruchtfolge eingebunden werden. Außerdem kann im semiariden Produktionsgebiet auch der Bodenwasservorrat durch die Zwischenfrucht vermindert werden.

Eine große Herausforderung ist das Herausfinden der optimalen Zwischenfrucht oder einer Mischung aus mehreren Arten, die an den Standort und die jeweilige Fruchtfolge angepasst ist. Auch der rechtzeitige Aufgang der Zwischenfrucht muss gewährleistet sein, damit wesentliche Ziele erfüllt werden (ausreichender Bodenbedeckungsgrad, Nitratbindung, Erosionsverminderung). Die Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber sorgt für lockere Bodenverhältnisse und durch die Rückverfestigung der oberen Bodenschicht wird der kapillare Bodenschluss meist hergestellt und optimale Bedingungen für den Aufgang sind gewährleistet.

In semiariden Regionen kann es jedoch aufgrund der zum Teil vorkommenden extremen Trockenperioden zu verspäteten Aufgängen mit geringerer Effizienz der Zwischenfrucht kommen. Andererseits wird aber auch durch einen zu starken Aufwuchs der Zwischenfrucht der Bodenwasservorrat reduziert, welches zu einer Verminderung des Wasserangebotes für die nachfolgende Frucht führt.

Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird häufig der Zwischenfruchtanbau hinterfragt, da die Saatgut- und Maschinenkosten sowie die Arbeitszeit hoch sind.

1.3 Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Auswirkungen verschiedener Zwischenfruchtarten bei speziellen Produktionsbedingungen und speziellen Zielsetzungen zu beurteilen. Besondere Kriterien sind der Bodenwasserhaushalt und die produzierte ober- und unterirdische Biomasse.

Nachfolgend wird auch der Einfluss unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf den Lebensraum Boden und die Auswirkungen auf die folgende Hauptfrucht Zuckerrübe beurteilt. Im Besonderen sollten folgende Fragen, auf zwei unterschiedlichen Standorten (Alpenvorland und Tullnerfeld), bearbeitet werden:

- Einfluss unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf den Bodenwassergehalt
- Einfluss unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf die ober- und unterirdische Trockenmassebildung und Nährstoffspeicherung der gebildeten Biomasse
- Einfluss unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf den Bodenbedeckungsgrad und LAI (Leaf-Area-Index)

2 Ausgewählte Literatur

2.1 Zwischenfrucht

Zu Beginn des 20. Jahrhundert wurde der Zwischenfruchtanbau zur Erhöhung der Nahrungs- und Futtermittelaufbringung eingeführt (DEICHMANN, 1939). Auf den brach liegenden Flächen wurden Zwischenfrüchte angebaut, dadurch konnten die eingestrahlte Sonnenenergie, das Wasser und die im Boden befindlichen Pflanzennährstoffe optimal genutzt werden. Die Futtergewinnung stand im Vordergrund. Gegenwärtig wird, speziell auf Ackerbaubetrieben mit einer fruchtartenarmen Fruchtfolge, durch den Zwischenfruchtanbau als Gründüngung, der Bodenzustand nachhaltig verbessert.

SCHELLER (1992) unterscheidet im Zwischenfruchtanbau grundsätzlich zwischen Sommer- und Winterzwischenfruchtanbau. Der Sommerzwischenfruchtanbau wird in Einsaat, Untersaat und Stoppelsaat unterteilt. Der Erfolg eines Zwischenfruchtanbaues ist an spezielle produktionstechnische- und standortbedingte Anforderungen gebunden.

Winterzwischenfrüchte werden hauptsächlich für die Futternutzung oder für die Biomasseproduktion angebaut und bereits im April oder Mai geerntet. Ausgewählte Arten können bereits im Herbst geerntet werden (LÜTKE ENTRUP, 1991). Vorteil für den Winterzwischenfruchtanbau ist aufgrund der Nutzung der Winterniederschläge die höhere Ertragssicherheit. Bei kalten Winterwitterungen kann es zu Auswinterungen kommen. Durch die späte Ernte der Zwischenfrucht kann der Anbau der Hauptkultur verzögert werden (SCHELLER, 1992).

Als Sommerzwischenfrüchte werden nach LÜTKE ENTRUP (1991) Pflanzen bezeichnet, welche vor dem Winter zur Futternutzung oder Biomassenutzung geerntet oder als Gründüngungspflanzen genutzt werden.

Je früher im Sommer die Vorrucht vom Feld geräumt wird, desto länger ist die Zeitspanne für das Wachstum der Zwischenfrucht. Die Tage in den Sommermonaten sind am produktivsten. BAEUMER (1994) verweist auf eine untere Grenze von 50 Tagen, mit Tagesmitteltemperaturen über 9 °C, für ein ausreichendes Wachstum.

Daher soll umgehend nach der Getreideernte eine Stoppelsaat durchgeführt werden, damit die längstmögliche produktive Zeitspanne bestmöglich genutzt wird.

Durch die Begrünung der Ackerfläche zwischen zwei Hauptkulturen wird der Boden beinahe ganzjährig bedeckt. Dadurch wird ein Erosionsschutz erreicht und meist ein organischer Eintrag in den Boden gewährleistet. Durch die Gründüngung stehen der Folgefrucht, durch die nachfolgende Mineralisation, Nährstoffe zur Verfügung. Ansätze zur Verbesserung der wirtschaftlichen Fähigkeit und zur Reduzierung der Umweltauswirkungen der Landwirtschaft werden getroffen (CHERR et al., 2006). Solche Ansätze sind aufgrund der Wechselwirkungen mehrerer Faktoren sehr komplex.

2.2 Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme (ÖPUL)

Das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten Landwirtschaft (ÖPUL) ist ein Agrar-Umweltprogramm, mit dem eine umweltschonende Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen gefördert wird. Dabei wurde in Österreich ein grundlegender Ansatz gewählt, der eine flächendeckende Teilnahme der österreichischen Landwirtschaft zum Ziel hat.

Die Ausgleichszahlungen dienen der Aufrechterhaltung der benachteiligten Gebiete und der Pflege der Kulturlandschaft. Um diese Zahlungen zu erhalten, sind verpflichtende Anforderungen zu erfüllen. Der Spielraum für diese Anforderungen wird jedoch aufgrund der tendenziell steigenden ökologischen Anforderungen immer kleiner. Die Finanzierung des Umweltprogramms erfolgt durch die EU und Österreich durch eine 50 : 50 Kofinanzierung (HOLZER, 2008).

Im Rahmen des Programmes Ländliche Entwicklung (LE 07-13) werden die Sonderrichtlinien ÖPUL zur Umsetzung der Maßnahmen festgehalten. Ein Sonderziel dieser Richtlinie ist die Führung einer umweltgerechten Landwirtschaft. Durch die Subventionen der ÖPUL-Maßnahmen wird der Landwirt angeregt, Produktionsmaßnahmen durchzuführen, die dem Schutz und der Verbesserung der Umwelt dienen. Dabei sollte auch die nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raumes gefördert werden (ÖPUL, 2007).

Für die Abwicklung der Förderungen des ÖPUL ist die „Agrarmarkt Austria“ (AMA) zuständig. Die Landwirtschaftskammern übernehmen die Anträge der Landwirte und leiten diese an die AMA weiter. Diese entscheidet, ob eine Gewährung der Prämie

stattgegeben wird. Die AMA kontrolliert die Einhaltung der Anforderungen und erteilt Sanktionen bei Verstößen gegen die rechtlichen Bestimmungen.

Im ÖPUL 2007 – 2013 werden deutlich weniger Maßnahmen als in den Vorgängerprogrammen angeboten. Die Reduktion ist aufgrund des gesetzlichen Standards – einige Maßnahmen sind als Standard deklariert – sowie auf die Verwerfung nicht oder nur wenig beantragter Maßnahmen zustande gekommen (HOLZER, 2008). Die 25 angebotenen Maßnahmen werden in den Sparten extensive und umweltschonende Bewirtschaftungsweise, Kulturlandschaft und Naturschutz sowie Boden-, Klima- und Wasserschutz differenziert. In letzterer wird die Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ angeführt.

Die ÖPUL-Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ führte zu einer Ausweitung der Begrünungsflächen in Österreich. 42,7 % der Betriebe die am ÖPUL teilnehmen haben im Jahr 2011 mit 429.293 ha an der Maßnahme Begrünung von Ackerflächen teilgenommen (GRÜNER BERICHT, 2012). Ziele dieser Maßnahme sind u.a. die Reduktion der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser und des Nährstoffaustrages mit dem Oberflächengewässer, der Beitrag zur Biodiversität (Tiere und Pflanzen) sowie der Schutz des Bodens vor Wind- und Wassererosion (ÖPUL, 2007).

Tab. 1: Begrünungsvarianten von Ackerflächen (ÖPUL, 2007)

Variante	Anlegung bis	Belassung bis	Besondere Bedingungen
A1 abfrostend	31. 07.	15. 10.	Begrünung zwischen 2 Hauptkulturen, mit verpflichtendem Anbau von Wintergetreide im Herbst. Kein Einsatz von Herbiziden! Nur Zwischenfrüchte.
A	20. 08.	15. 11.	Eine Bodenbearbeitung kann frühestens am 16.11. erfolgen. Kein Einsatz von Herbiziden! Nur Zwischenfrüchte.
B abfrostend	20. 09.	01. 03.	Eine Bodenbearbeitung kann frühestens am 02.03. erfolgen. Nur Zwischenfrüchte.
C1 winterhart	15. 10.	01. 03.	Zulässige Kulturen: Spätsaatverträgliche Sorten von Grünschnittroggen nach Saatgut-Gesetz, Winterwicke, Englisches Raygras, Perko, Winterrübsen. Kein Einsatz von Herbiziden!
C winterhart	15. 10.	01. 03.	Zulässige Kulturen: Spätsaatverträgliche Sorten von Grünschnittroggen nach Saatgut-Gesetz, Winterwicke, Englisches Raygras, Perko, Winterrübsen, Ackerfutterkulturen, Winter-raps, Wintermohn und Winterkümmel.
D1 winterhart	31. 08.	01. 03.	Aktive Anlage von mindestens 2 Begrünungskulturen als Gemenge und aktive Anlage einer Folgekultur im Frühjahr. Kein Einsatz von Herbiziden! Mehrjährige Kulturen wie Stillelegung, Wechselwiese und Klee-gras sind nicht als Folgekultur zulässig. Nur Zwischenfrüchte.
D abfrostend	31. 08.	01. 03.	Aktive Anlage von mindestens 2 Begrünungskulturen als Gemenge und aktive Anlage einer Folgekultur im Frühjahr. Die Nachfolgekultur ist zwingend in Mulch- oder Direktsaat anzubauen. Mehrjährige Kulturen wie Stillelegung, Wechselwiese und Klee-gras sind nicht als Folgekultur zulässig. Nur Zwischenfrüchte.

2.3 Einfluss der Zwischenfrucht auf den Boden

Die natürliche Bodenfruchtbarkeit entsteht durch gegenseitige Interaktion zwischen Pflanzenwurzeln und Bodenleben. Dabei soll auf eine ausgeglichene Versorgung geachtet werden. Bodenlebewesen sorgen für einen krümeligen Boden und bringen meist den Wasser-, Luft- und Nährstoffkreislauf des Bodens in die für die Pflanze benötigten Verhältnisse. Die Pflanzen stellen die dafür benötigte Energie aus den abgestorbenen Wurzeln und den oberirdischen Aufwuchs zur Verfügung. Deshalb hängt die Ertragsfähigkeit im Wesentlichen von der Wurzelmasse ab (HAMPL, 1996).

BODNER et al. (2011a) heben die Bedeutungen der Wurzelbiomasse in ihrer Abbaudynamik und Humusbildung hervor. Durch den ständigen Kohlenstoffumsatz im Wurzelsystem wird die Bedeutung des Wurzelsystems für den Humushaushalt stärker hervorgehoben. RUAN et al. (2001) und ROLDAN et al. (2003) weisen auf die Förderung der Bodenfruchtbarkeit durch die ganzjährige Bedeckung des Bodens und durch den hohen organischen Eintrag durch den Zwischenfruchtanbau hin.

CZERATZKI und RUHM (1974) zeigen, dass die Wurzeltätigkeit der Zwischenfrucht als hauptsächliche Wirkung betrachtet werden soll. Dabei gelangen durch das Wurzelwachstum der Zwischenfrüchte und die dabei entstehende mechanische Lockerung des Bodengefüges, die Wurzeln der Hauptfrucht in tiefere Schichten. BODNER et al. (2011a) verweisen auf das Wurzelsystem, welches für die agroökologische Leistung entscheidend ist. Dabei unterscheiden sich die Wurzeldichten der Arten nur im Oberboden. Die Tiefenwirkung der Wurzel hängt viel mehr vom jahreszeitlichen Verlauf der Niederschläge ab.

Entscheidend für den erfolgreichen Anbau einer Zwischenfrucht in semiariden Gebieten ist der Bodenwasserhaushalt. Der Wasserentzug ist nach BODNER et al. (2011a) bei Begrünungen mit vollständiger Bodenbedeckung, tiefen Wurzelsystem und frühem Saattermin in Trockenjahren um 63 mm höher als jener bei Schwarzbrache. Bei üblichen Zwischenfruchtanbauterminen Ende August ist der Wasserentzug nur geringfügig höher als bei Schwarzbrache.

Ergebnisse, die auf eine geringere Wasserversorgung für die nachfolgende Kultur hinweisen, wurden auch von SCHULTE (1980), KAHNT (1983), HOOKER et al. (2008) und HELMERS et al. (2011) erbracht.

BÄUMER (1992), KÖRSCHEN (1992) und KOLBE et al. (2004) sind der Meinung, dass der Bodenwassergehalt durch die Zwischenfrucht stärker ausgelaugt wird und somit Ertragsminderungen in der Folgefrucht auftreten können (WOHLMUTH, 2012).

2.4 Einfluss der Zwischenfrucht auf das Pflanzenwachstum

In der Pflanzenproduktion ist der Ertrag der Hauptfrucht der entscheidende Faktor. In Jahren mit geringerer Niederschlagsmenge kommt es durch den zusätzlichen Wasserverbrauch der Zwischenfrucht zur höheren Ausschöpfung des Bodenwasservorrates. Wie bereits angeführt wird dies von den Autoren mit unterschiedlichen Ergebnissen belegt. Im Wasserhaushalt muss der gesamte Wasserkreislauf miteinbezogen werden.

BODNER et al. (2011b) weisen bei der Beurteilung des Wasserhaushaltes darauf hin, dass sowohl der Wasserverbrauch der Zwischenfrucht (Transpiration) als auch die Evaporation bei der Schwarzbrache berücksichtigt werden muss. Dabei kann ein brach liegender Boden durch Evaporation mehr Wasser verbrauchen als mit einer Pflanzendecke.

Tab. 2: Zwischenfruchteinflüsse auf die Komponenten der Wasserbilanz (BODNER et al., 2011b)

Wasserbilanz-Komponente	Zwischenfrucht-Einfluss
Evaporation	Blatt- und Mulchdecke verringern Bodenevaporation; Bio-Makroporen transportieren Wasser in tiefere Bodenschicht, wo Bodenverdunstung nicht angreifen kann.
Oberflächenabfluss	Bodenbedeckung und verbesserte Infiltration durch Bioporen verringern den Oberflächenabfluss.
Sickerwasseranfall	Zwischenfrucht-Wasseraufnahme aus tieferen Bodenschichten reduziert die Sickerwassermenge (und damit die Nitratverlagerung); Humusaufbau verbessert langfristig die Speicherfähigkeit des Bodens.
Transpiration	Zwischenfrucht nimmt entsprechend ihrer Wurzelverteilung Wasser aus verschiedenen Bodentiefen auf.

Die Auswirkungen der Zwischenfrucht auf die Wasserverfügbarkeit für die Folgefrucht hängen stark von der Witterung während der aufwachsenden Zwischenfrucht (August und September) ab. Dabei sollte der Niederschlag den Wasserbedarf der Zwischenfrucht decken, da ansonsten die Gefahr der Erschöpfung des Bodenwasservorrates besteht (BAEUMER, 1992).

Zwischenfruchtpflanzen vermindern Stickstoffauswaschungen, indem sie den freiwerdenden Stickstoff aufnehmen und binden. Durch Mineralisationsvorgänge wird mineralischer Stickstoff für die nachfolgende Kultur verfügbar (LÜTKE ENTRUP, 2001). Die positive Wirkung auf den Boden, die Verbesserung des Bodengefüges und die intensive Durchwurzelung, welche die Nährstoffe in der Ackerkrume hält, wird auch von HEINRICHS (2011) hervorgehoben.

Zusätzlich können Legume Zwischenfrüchte durch die Symbiose der Wurzeln mit stickstofffixierenden Bakterien (Rhizobien) Stickstoff aus der Luft fixieren. Verbleibt die Zwischenfrucht am Acker und wird eingearbeitet, bleibt dieser Stickstoff für die Folgefrucht erhalten (RINNOFNER, 2006).

MÖLLER und REENTS (2009) sehen in den Legumen Zwischenfrüchten eine höhere N-Versorgung für die Folgekultur. Dabei wurden signifikant höhere Kartoffelknollengewichte nach Leguminosen gegenüber Ölrettich festgestellt.

Für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Bodens müssen jedoch widersprüchliche Ziele in Einklang gebracht werden. Daher sollen Mischkulturen aus Leguminosen und Nichtleguminosen als Zwischenfrucht angebaut werden, damit die BNF (Biological Nitrogen Fixation) von Leguminosen, mit dem Risiko der N-Verluste durch Auswaschung und der Minderung bodenbürtiger Krankheiten und Schädlinge verbunden wird.

Durch den Anbau von Begrünungspflanzen werden Beikräuter und Ausfallgetreide effektiv unterdrückt. Dazu müssen ein rascher Aufgang, sowie eine zügige, ganzflächige Bedeckung und eine ausreichende Biomassebildung gewährleistet werden. Durch Licht-, Wasser- und Nährstoffkonkurrenz können die Beikräuter nachhaltig unterdrückt werden (BRUST et al., 2011).

NORSWORTHY et al. (2007) sehen in der Glucosinolatproduktion mancher Zwischenfruchtarten die Unterdrückung von Fingerhirse und Fuchsschwanzarten. Sie betonen auch, dass der Zwischenfruchtanbau die Erträge der Nachfrucht nicht negativ beeinflusst. Im Gegenteil, es werden öfter höhere Erträge erzielt.

Die Glucosinolatproduktion der Zwischenfrüchte wird ebenso als biologische Technik zur Kontrolle von Bodenkrankheiten genutzt. Die „Biofumigation“ ist die toxische Wirkungsweise der Kultur bzw. Reststücke von Kulturen auf Schädlinge und Krankheiten im Boden. Im Speziellen sind es Brassica-Arten die für die Biofumigation genutzt werden. Viele Arten dieser Familie weisen einen hohen Glucosinolatgehalt auf. Dieser wird jedoch erst beim Zerkleinern der Pflanze, bzw. beim Zerstören der Zelle, frei. Bei derartigen Verletzungen wandelt das Myrosinaseenzym die Glucosinolate in Isothiocyanate um. Diese gasförmige Substanz ist für viele Insekten, Bodenpilze und Nematoden toxisch. Da die Konzentration der Glucosinolatgehalte während der Blüte am höchsten ist, sollte die Pflanze in diesem Stadium fein geschlegelt und im Boden eingearbeitet werden. Um gasförmige Verluste zu vermeiden, ist es vorteilhaft, den Oberboden anschließend anzuwalzen. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Wirkung der Biofumigation ist die Bodentemperatur. Diese soll möglichst hoch sein (Ende Sommer, Anfang Herbst), damit die Pflanzenteile im Boden ihre Arbeit verrichten können (VISSER und KORTHALS, 2010).

KIRKEGAARD und SARWAR (1998) zeigen in ihrem Versuch die schwankenden Glucosinolatgehalte ausgewählter Brassica-Arten auf. In abhängiger Korrelation von Biomassezuwachs und Glucosinolatgehalt sind speziell im oberirdischen Aufwuchs die Inhaltsstoffe zwischen den einzelnen Arten sehr unterschiedlich. SARWAR und KIRKEGAARD (1998) weisen darauf hin, dass bei kürzerer Tageslänge, geringerer Einstrahlung und kühlerer Temperatur mit beigeselltem Frost eine niedrigere Glucosinolatproduktion erfolgt.

2.5 Einfluss der Zwischenfrucht auf die Umwelt

Der Landwirt ist angehalten den Boden nachhaltig zu bewirtschaften und die Risiken durch die moderne Produktionstechnik durch ökologische und ökonomische Einschränkungen in einem für die Umwelt verträglichem Zustand zu bewahren (DIERCKS und HEITEFUSS, 1994).

KASTENHUBER (2012) weist darauf hin, dass der Anbau von Zwischenfrüchten den Boden vor Niederschlägen und vor Erosion schützt. Um oberflächliche Bodenabspülungen zu vermeiden müssen eine Reihe von Schutzmaßnahmen getroffen werden, um die Regenverdaulichkeit des Bodens zu steigern. Wesentliche Ansätze sind die Verbesserung der Krümelstruktur durch Humusanreicherung und Kalkung, sowie durch eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung durch Pflanzen oder einer Mulchdecke (OEMICHEN, 2000). Beide Schutzmaßnahmen werden durch eine fruchtfolgeangepasste Zwischenfruchteinbindung erreicht. Dabei wird das Erosionsrisiko, durch flache Einarbeitung der Zwischenfrucht oder durch Direktsaat der Hauptkultur, auch bei sich langsam entwickelnden Hauptfrüchten wie Mais oder Rüben wesentlich verringert (LFL, 2011). BACH (1987) erwähnt die positiven N-Bilanzsalden in intensiv bewirtschafteten Ackerböden und die im Zusammenhang stehenden höheren Nitrateinträge ins Grundwasser.

Durch die Begrünung von Ackerflächen als Agrarumweltmaßnahme, ist die Belastung des Grundwassers mit Nitrat seit 2007 rückläufig (UMWELTBUNDESAMT, 2010).

BODNER et al. (2011a) weisen darauf hin, dass eine tiefwurzelnde Begrünung von großer Bedeutung für die Reduktion von Nitratverlagerung ins Grundwasser ist. Da die Pflanzenwurzeln Nitrat aus dem Unterboden über mehrere Jahre aufnehmen können und somit einer Verlagerung ins Grundwasser entgegenwirkt, werden nach SAUER et al. (2002) Nitratgehalte in tiefgründig durchwurzelbaren Lößboden in Trockengebieten nur zu einem geringen Teil aus dem durchwurzelbaren Bereich verlagert.

RINNOFNER et al. (2006) stellten unterschiedliche Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfruchtmischungen auf den N_{\min} -Gehalt im Boden fest. Dabei wurden bei optimalen Pflanzenbeständen signifikante Reduktionen des N_{\min} -Gehaltes sowohl durch Nichtleguminosen- und Leguminosenmischungen erzielt.

Schwach entwickelte Pflanzenbestände konnten keine signifikante Reduktion gegenüber der Schwarzbrache erzielen.

In einem Praxisversuch stellten MÖLLER und REENTS (2009) eine deutliche Reduzierung des Nitrat-Auswaschungsrisikos, auch in tieferen Bodenschichten durch die N-Aufnahme von Zwischenfrüchten, wie Ölrettich, fest.

2.6 Einfluss der Zwischenfrucht auf die Zuckerrübe

Die Zuckerrübe stellt besonders hohe Ansprüche an den Boden, dessen Beschaffenheit, Düngung und Bearbeitung. Durch das tiefgehende Wurzelsystem werden optimale Bedingungen auf tiefgründigen, nährstoffreichen Böden gefunden. Durch den hohen Wasserbedarf sind sandige Böden nicht geeignet, da keine kontinuierliche Wasserversorgung gegeben ist. Aufgrund der großen Anpassungsfähigkeit an das Klima und durch die Züchtung kann die Zuckerrübe in vielen Regionen angebaut werden. Sie gehört zu den Pflanzen des gemäßigten Klimas und erreicht hohe Zuckererträge nur durch lange Sonnenscheindauer (RÖSTEL, 1999).

Tritt bei Zuckerrübe ein nesterweises Welken der Pflanzen und Kümmerwuchs, speziell bei Trockenheit auf, kann von einem Nematodenbefall ausgegangen werden. Bei Vorhandensein einer struppigen Wurzel mit starker Seitenwurzelbildung und erst hellgelben, allmählich dunkelbraun werdenden stecknadelgroßen Zysten besteht Verdacht auf Rübennematoden (*Heterodera schachtii*) (MEYER et al., 2012).

Um den Rübenanbau unter ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen durchführen zu können, ist eine stetige Bekämpfung der Rübensystemnematoden erforderlich. Dabei spielt die biologische Nematodenbekämpfung mit resistenten Ölrettich- oder Senfsorten eine entscheidende Rolle.

Der nematodenbekämpfende Erfolg durch die Zwischenfrucht ist von der Anfangsverseuchung abhängig, da bei hoher Nematodendichte eine Reduzierung leichter erreicht werden kann als bei niedriger oder nur nesterweise auftretender Befalldichte. Ein weiterer wichtiger Faktor für den Bekämpfungserfolg ist eine rechtzeitige Aussaat der Zwischenfrucht (SAATEN UNION, 2012).

HEINRICHS (2011) weist auf eine Senkung des Nematodenbesatzes durch erfolgreichen Zwischenfruchtanbau um bis zu 70 % hin, wobei der Zuckerrübenertrag auf

einem hohen Niveau gehalten werden muss. Dies kann aber nur erfolgen, wenn dem Anbau der Zwischenfrucht ein mindestens gleich hohes Augenmerk wie einer Hauptfrucht gewidmet wird. Dabei können Mehrerträge im nachfolgenden Zuckerrübenanbau von 10 bis 15 % erzielt werden.

In einer langjährigen Untersuchung von ARNDT (2002) konnten trotz ungünstiger Voraussetzungen hinsichtlich Witterung im Zwischenfruchtanbau nachfolgend Mehrerträge im Zuckerrübenanbau erreicht werden. Höhere Erträge wurden in der Senf-Variante zum Teil auch der Stickstoffkonservierung und der Verbesserung der Bodeneigenschaften zugerechnet. Im Besonderen durch die nematodenresistenten Ölrettichsorten konnte eine Nematodenbekämpfung sichergestellt werden.

Rhizoctonia-Wurzelfäule (*Rhizoctonia solani* var. *betae*) ist eine Pilzkrankheit der Anastomosegruppe AG2-2 mit weiteren Differenzierungen und tritt weltweit in landwirtschaftlich genutzten Böden auf. Erkennbar ist die Krankheit am nesterartigen Welken der Pflanzen und den trockenen Faulstellen mit Sklerotienbildung am Rübenkörper (MEYER et al., 2012). Bei schlechter Bodenstruktur, enger Zuckerrüben- oder Zuckerrüben-Maisfruchtfolgen wird ein Auftreten der Krankheit gefördert. Durch aufgelockerte Fruchtfolgen, resistente Sorten und durch den Zwischenfruchtanbau kann eine Krankheitsminderung erfolgen (HEITEFUSS et al, 2000).

Biofumigation ist eine potentiell nützliche Technik um bodenbürtige Pflanzenkrankheitserreger, wie *Rhizoctonia solani* zu unterdrücken. *Rhizoctonia* ist der meist empfindlichste Pilz gegenüber den von Pflanzen produzierten Isothiocyanate und kann somit leichter als andere Krankheiten reduziert werden (SARWAR et al., 1998).

In einem 3-jährigen Zuckerrübenversuch wurden die Effekte von Braunsenf (*Brassica juncea*) als Zwischenfrucht auf den Befall mit *Rhizoctonia* untersucht. Dabei wurden in den Blöcken Senf im Blütenstadium ausgegraben (MP) und Senf im Blütenstadium zerkleinert und eingearbeitet (MC) signifikant niedrigere Krankheitshäufigkeiten als in der brach liegenden Kontrollvariante (BS) gefunden. Ebenso wurde bei MP eine signifikant höhere Erkrankung als bei MC nachgewiesen. Der Zuckerrübenenertrag war signifikant niedriger in BS als in der MC-Variante (MOTISI et al., 2009).

3 Material und Methoden

3.1 Material

Der Versuch wurde an zwei hinsichtlich Boden und Witterung unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Der Standort **Untermallebarn** befindet sich in einem intensiven Ackerbaugebiet in Niederösterreich und liegt im Weinviertel. Der zweite Standort befindet sich ebenfalls in einem intensiv genutzten Ackerbaugebiet Niederösterreichs im Mostviertel, in **Zagging**.

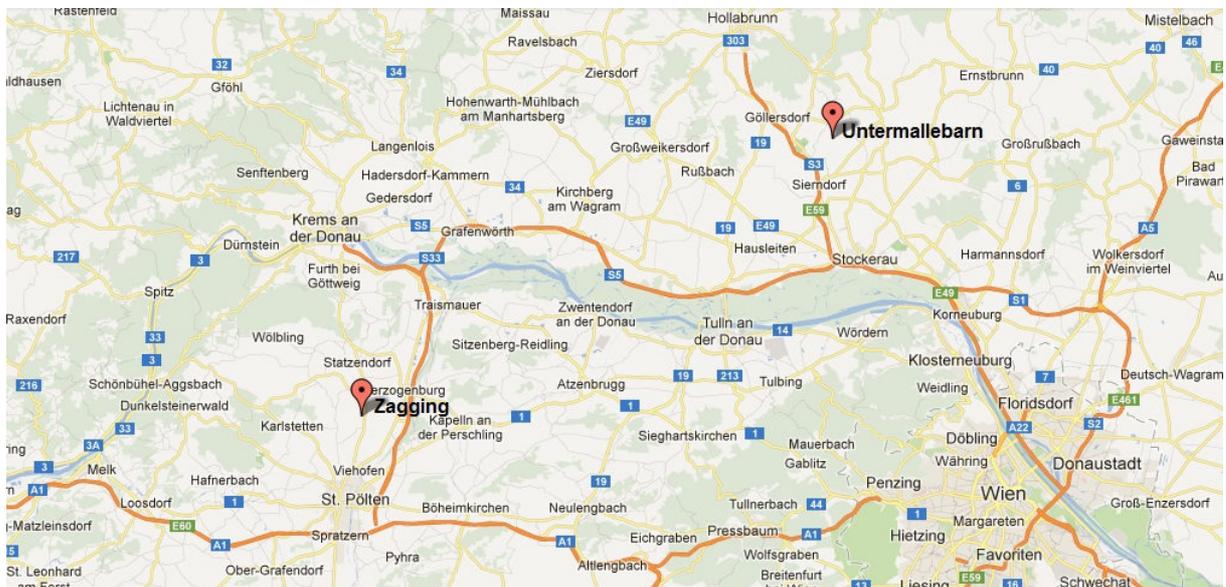


Abb. 1: Lage der Versuchsstandorte Untermallebarn und Zagging in Österreich, 2012

3.1.1 Großraum und Klima

3.1.1.1 Untermallebarn

Untermallebarn befindet sich im westlichen Weinviertel, in Niederösterreich und liegt auf einer Seehöhe von 196 m. Die Landschaft ist durch schwach hügelige Ausprägungen, dem sogenannten Hollabrunner Hügelland, gekennzeichnet, welches Seehöhenunterschiede von bis zu 100 Meter aufweist. Untermallebarn liegt im Übergangsbereich zwischen dem osteuropäischen Kontinentalklima und dem westeuropäischen mediterranen Klima. Da in dieser Region das Klima durch geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnet ist, kommt es häufig zu Trockenperioden, die in manchen Jahren Ertragsverluste verursachen. Die Jahressumme der Niederschläge beträgt 548 mm. Diese Niederschlagsmenge fällt an 80 bis 100 Tagen im Jahr,

wovon rund 56 % der Jahresmenge in den Monaten April bis August fallen. Dadurch stehen den Pflanzen in der Hauptvegetationsperiode trotz der geringen Niederschlagsmengen meist die erforderlichen Wassermengen zur Verfügung. Die geringen Schneemengen entsprechen den geringen Winterniederschlägen, welche in diesem Gebiet registriert werden. Durch die lange Vegetationsdauer von rund 235 Tagen ist das Gebiet sehr gut für den Ackerbau geeignet. Diese Vegetationsperiode erstreckt sich vom 20. März bis 10. November und weist in dieser Zeit eine durchschnittliche Tagesmitteltemperatur von über 5 °C auf. Die Temperaturextreme können sehr unterschiedlich sein. Minima von -25 °C und Maxima von +35 °C sind in manchen Orten des Kartierungsbereiches Stockerau keine Seltenheit. Die mittlere Windgeschwindigkeit ist mit 3 bis 4 m/sec hoch. Dadurch wird auch die Verdunstung begünstigt und ist mit durchschnittlich 500 mm, errechnet aus Niederschlag und Abfluss, hoch.

3.1.1.2 Zagging

Zagging liegt im nördlichen Mostviertel, in Niederösterreich. Die Seehöhe beträgt 277 m. Die Grundwasserverhältnisse in diesem Gebiet sind günstig. Die Entwässerung erfolgt über die talbildenden Flüsse, wie zum Beispiel der Fladnitz, hin zur Donau. Dadurch ergeben sich Hügelzüge, die eine Süd-Nordrichtung aufweisen. Bei starken Regenfällen kann es in den Hanglagen zu Erosionen durch das abfließende Wasser kommen. Die Jahressumme der Niederschläge beträgt 587 mm und wird durch rund 100 Regentage eingebracht. Ca. 60 % des Jahresniederschlages fallen in den Monaten April bis August. Die Verdunstung ist mit durchschnittlich 624 mm sehr hoch. Daher kann es regional auch zu zeitlich begrenzten Trockenperioden kommen, welche durch die mittlere Windstärke von 2 bis 4 m/sec gefördert werden. Die Vegetation beginnt im Durchschnitt am 21. 3. und erstreckt sich über einen Zeitraum von 230 Tagen. 84 bis 90 Frosttage werden im Gebiet verzeichnet, wobei an rund 30 Tagen ganztägiger Frost herrscht. Bei fehlender Schneedecke kann durch Auffrieren der Böden großer Schaden an den landwirtschaftlichen Kulturen entstehen.

3.1.2 Boden

Die Bodenbeschreibungen wurden aus der Österreichischen Bodenkartierung – Kartierungsbereich Stockerau (1981) bzw. Herzogenburg (1980) – entnommen.

3.1.2.1 Untermallebarn

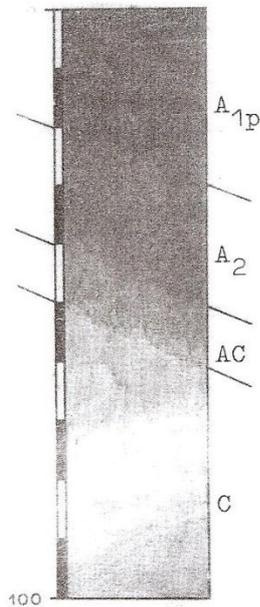


Abb. 2: Tschernosem aus Löß (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1981)

Der Boden am Standort Untermallebarn ist ein Tschernosem aus Löß und weist eine durchschnittliche Humustiefe von 50 cm auf. Dieser tiefkrumige, mäßig trockene Lößtschernosem ist im gesamten Kartierungsbereich großflächig vorhanden und nimmt ein Flächenausmaß von 20,8 % ein.

Als Bodenart in den Horizonten A_{1p} und A₂ herrschen ein lehmiger Schluff oder ein schluffiger Lehm. Im AC- bzw. C-Horizont sind lehmiger Schluff bis sandiger Schluff vorhanden.

Der Standort ist ausreichend mit Wasser versorgt, kann aber während längeren Trockenperioden zu Engpässen in der Wasserversorgung neigen. Der tiefgründige Boden weist eine Tiefe von über 70 cm auf. Dadurch ist genügend Platz für das Wurzelwachstum und ausreichend Speicherplatz für Wasser und Nährstoffe gewährleistet.

Der Kalkgehalt im Oberboden ist mäßig vermindert, im Unterboden stark kalkhaltig. Da Kalk im Boden stabilisierend wirkt, kann von einer guten Bodenstruktur und Bildung einer guten Humusform ausgegangen werden. Eine gute Bearbeitbarkeit ist dadurch gegeben.

Durch die am Standort vorkommende hohe Windgeschwindigkeit ist eine mäßige Gefährdung durch Winderosion gegeben.

Profilbeschreibung:

- A_{1p}** 0 – 25 cm: erdfrisch; lehmiger Schluff, mittelhumos (Mull), stark kalkhaltig; deutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; dunkelgraubraun (10 YR 3/2); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; übergehend
- A₂** 25 – 40 cm: erdfrisch; lehmiger Schluff, mittelhumos (Mull), stark kalkhaltig; deutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; dunkelgraubraun (10 YR 3/2); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; übergehend
- AC** 40 – 50 cm: erdfrisch; lehmiger Schluff, schwach humos (Mull), stark kalkhaltig; undeutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; dunkelgraubraun (10 YR 4/2); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; übergehend
- C** ab 50 cm: erdfrisch; sandiger Schluff, stark kalkhaltig; undeutlich feinkörnig/Kanten gerundet, mittelporös, Lößgefüge, leicht zerdrückbar; lichtgelblichbraun (2,5 Y 6/4); Pseudomycel; wenig bis nicht durchwurzelt, geringe bis keine Regenwurmtätigkeit; Krotowinen

Ausgangsmaterial: Löß

Bodentyp: Tschernosem

Tab. 3: Analyseergebnisse Tschernosem aus Löß (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1981)

Entnahme-Tiefe Cm	Zusammensetzung des Feinbodens in %			Humus (Walkley) %	Kalk (Scheibler) %	pH in nKCl
	2,000 – 0,060 mm	0,060 – 0,002 mm	unter 0,002 mm			
15	10	71	19	2,6	18,0	7,5
35	11	70	19	1,7	20,5	7,6
45	12	68	20	0,9	29,9	7,6
80	17	72	11	0,2	39,7	7,7

3.1.2.2 Zagging

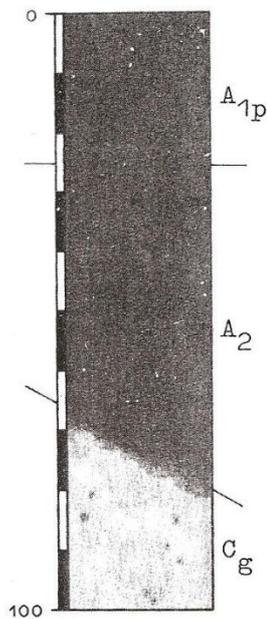


Abb. 3: Kalkhaltige Feuchtschwarzerde (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1980)

Der Boden am Versuchsstandort Zagging ist eine kalkhaltige Feuchtschwarzerde, die aus feinem Schwemmaterial der Fladnitz und ihrer Seitenbäche entstanden ist. Sie ist tiefkrumig und tiefgründig und somit ein hochwertiger Ackerstandort.

Als Bodenart im A_{1p}- und A₂-Horizont herrschen Lehm oder schluffiger Lehm. Manchmal tritt auch lehmiger Schluff auf. Im C_g-Horizont ist lehmiger Schluff vorhanden.

Aufgrund des mäßigen Grundwassereinflusses ist das Wasserverhältnis mäßig feucht. Die Wasserspeicherkraft ist hoch und die Durchlässigkeit gering. Dadurch ist der mäßig feuchte Boden auch für Kulturen mit hohen Wasseransprüchen geeignet. Jedoch kann es in niederschlagsreichen Jahren zu einem bedingt geeigneten Standortanspruch für Ackerkulturen werden. Da für die Wirksamkeit des Kalkes die Wasserversorgung eine Rolle spielt, kommt es aufgrund der wechselnden Niederschlagsverhältnisse zu stark wechselndem Kalkgehalt.

Die Bearbeitbarkeit des Bodens ist im Normalfall relativ gut, kann aber nach höheren Niederschlägen zur Schollenbildung neigen. Die Erosionsgefahr durch Wind ist wie am Standort Untermallebarn mäßig gegeben.

Profilbeschreibung:

- A_{1p} 0 – 25 cm: erdfrisch; Lehm, mittelhumos (Mull), stark kalkhaltig; deutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; dunkelgraubraun (10 YR 3/2); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; übergehend
- A₂ 25 – 75 cm: erdfrisch; Lehm, mittelhumos (Mull), stark kalkhaltig; undeutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; dunkelbraun (10 YR 2/2); ab 60 cm mehrere undeutliche kleine Rostflecken; gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; allmählich übergehend
- C_g ab 75 cm: erdfeucht; lehmiger Schluff, stark kalkhaltig; deutlich feinblockig, Kanten gerundet, mittelporös; lichtolivbraun (2,5 Y 5/4); viele deutliche mittlere Rost- und Gleyflecken; wenig bis nicht durchwurzelt, geringe bis keine Regenwurmtätigkeit

Ausgangsmaterial: feines Schwemmaterial der Fladnitz und ihrer Seitenbäche

Bodentyp: kalkhaltige Feuchtschwarzerde

Tab. 4: Analysenergebnisse kalkhaltige Feuchtschwarzerde (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1980)

Entnahme-Tiefe cm	Zusammensetzung des Feinbodens in %			Humus (Walkley) %	Kalk (Scheibler) %	pH in nKCl
	2,000 – 0,060 mm	0,060 – 0,002 mm	unter 0,002 mm			
10	20	52	28	2,7	11,3	7,3
45	22	49	29	1,7	18,4	7,6
90	13	69	18	0,1	21,0	7,6

3.1.3 Witterungsverlauf

Die im Versuchsjahr angeführten Witterungsdaten wurden von den Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) bereitgestellt. Die langjährigen Jahresmittelwerte über den 30-jährigen Zeitraum von 1971 bis 2000 (Klimanormalwerte Österreich 1971 – 2000) wurden aus den allgemein verfügbaren Daten der ZAMG entnommen.

3.1.3.1 Untermallebarn

In folgender Abbildung ist der Witterungsverlauf für die Zeit des Versuchsjahres dargestellt.

Der Verlauf der Temperatur entsprach dem langjährigen Mittel, wobei im Jänner, März bis September und November 2012 die Temperaturen um 2,8 – 4,3 °C über dem langjährigen Durchschnitt lagen. Der Februar 2012 war vergleichsweise um knappe 3 °C kühler.

Im Jahr 2012 fielen am Standort Untermallebarn nur 523 mm Regen. 25 mm weniger als im langjährigen Mittel. Gekoppelt mit der tendenziell um 2,5 °C höheren Temperatur, kann das Jahr 2012 als relativ trocken eingestuft werden. Nur in den Monaten Jänner, Juni und Juli 2012 konnten bei weitem größere Niederschlagsmengen beobachtet werden. Diese waren jedoch für eine ausreichende Wasserversorgung der im August angebauten Zwischenfrucht, zu gering. Dadurch kam es zu einer langsameren Entwicklung der Zwischenfruchtkulturen und in weiterer Folge zu einer geringeren Biomassebildung.

In den Monaten Februar – Mai, August, November und Dezember 2012 zeigten sich im Ausmaß von 4 – 27 mm geringere Niederschlagsmengen. Im Jänner und Februar 2013 konnten um 160 bzw. knapp 100 Prozent höhere Niederschlagsmengen verzeichnet werden. Somit wurde der Bodenwasservorrat für die folgende Zuckerrübenkultur einigermaßen aufgefüllt.

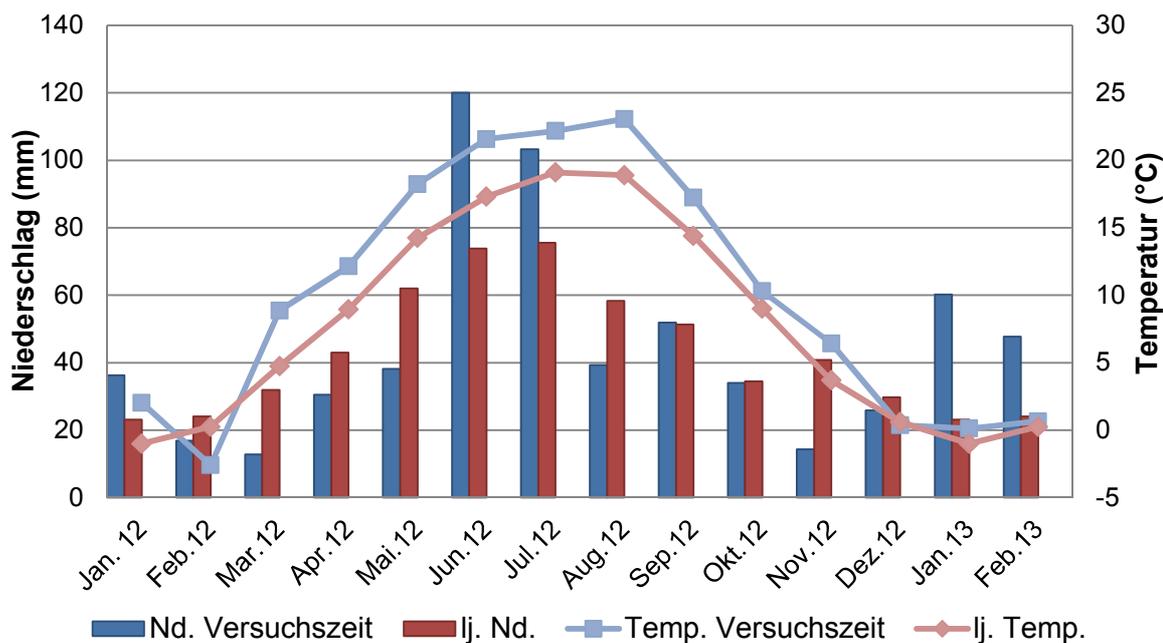


Abb. 4: Temperaturverlauf (Monatsmittel in °C) und Niederschlagsverteilung (Monatsmittel in mm) im langjährigen Durchschnitt sowie während der Versuchszeit in Untermallebarn, Messstelle Stockerau (lj. Werte aus den Mittelwerten der Messstelle Hollabrunn und Langenlebarn)

3.1.3.2 Zagging

Wie dem Temperaturverlauf (siehe Abbildung 5) am Standort Zagging zu entnehmen ist, handelt es sich hierbei um ähnliche Temperaturextreme wie am Standort Untermallebarn. Dem kalten Februar 2012 folgte ein um ca. 2,1 °C überwiegend wärmeres Jahr. Erst gegen Ende des Jahres 2012, Beginn 2013 wurden Temperaturen annäherungsweise des langjährigen Mittels gemessen.

Die etwas geringeren Niederschläge im Herbst 2012 wurden durch die zuvor höheren Regenmengen von Mai bis Juli einigermaßen kompensiert. Dadurch wurden eine rasche Jugendentwicklung und hohe Biomasserträge am Standort ermittelt.

Im Februar und März 2012 fielen auffällig geringe Niederschlagsmengen. Ebenso wurden in den Monaten April, August, Oktober und November 2012 geringere Regenmengen verzeichnet. Das niederschlagsreich beginnende Jahr 2013 bietet optimale Wachstumsvoraussetzungen für den Frühjahrsanbau.

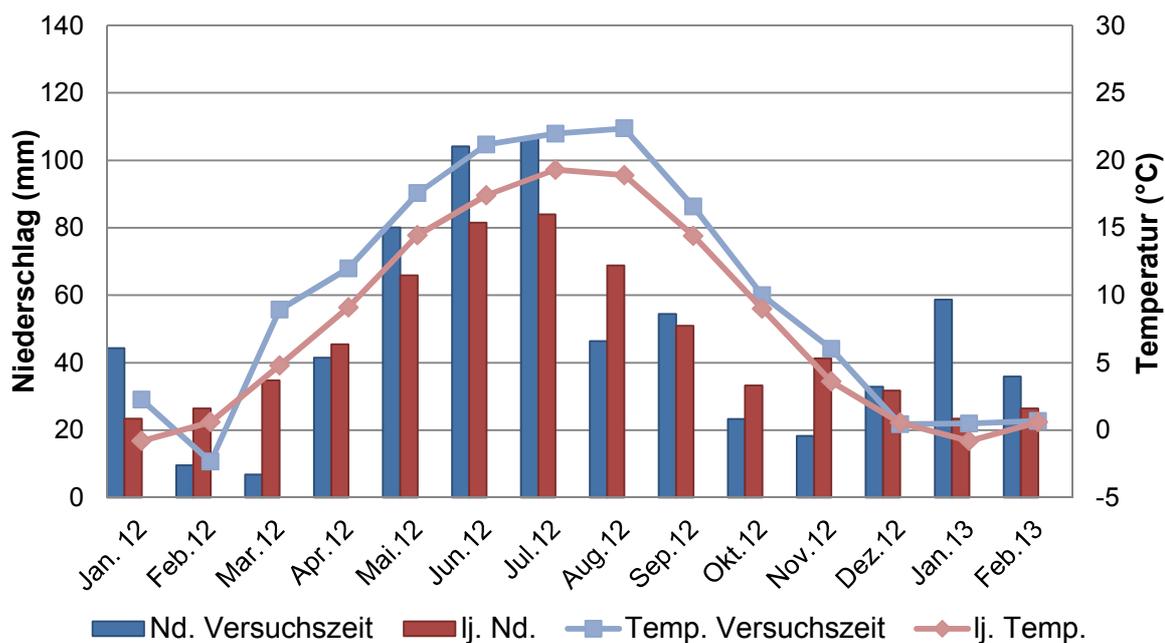


Abb. 5: Temperaturverlauf (Monatsmittel in °C) und Niederschlagsverteilung (Monatsmittel in mm) im langjährigen Durchschnitt sowie während der Versuchszeit in Zagging, Mittelwerte aus den Messstellen St. Pölten und Krems

3.2 Methode

3.2.1 Versuchsanlage

Die Anlage des Zwischenfruchtversuches erfolgte im Sommer 2012 mit fünf verschiedenen Fruchtarten aus der Familie der Leguminosen, sieben Kreuzblütlern, einem Knöterichgewächs, einem Leingewächs, vier Mischungsvarianten aus den zuvor genannten Familien, sowie einer Brachparzelle. Der Feldversuch wurde als Langparzellen-Versuch an zwei Standorten angelegt, wobei es standortbedingt zu unterschiedlichen Parzellengrößen kam. Die Parzellen hatten eine Breite von 6 m. Die Länge betrug 30 m in Untermallebarn bzw. 40 m in Zagging.

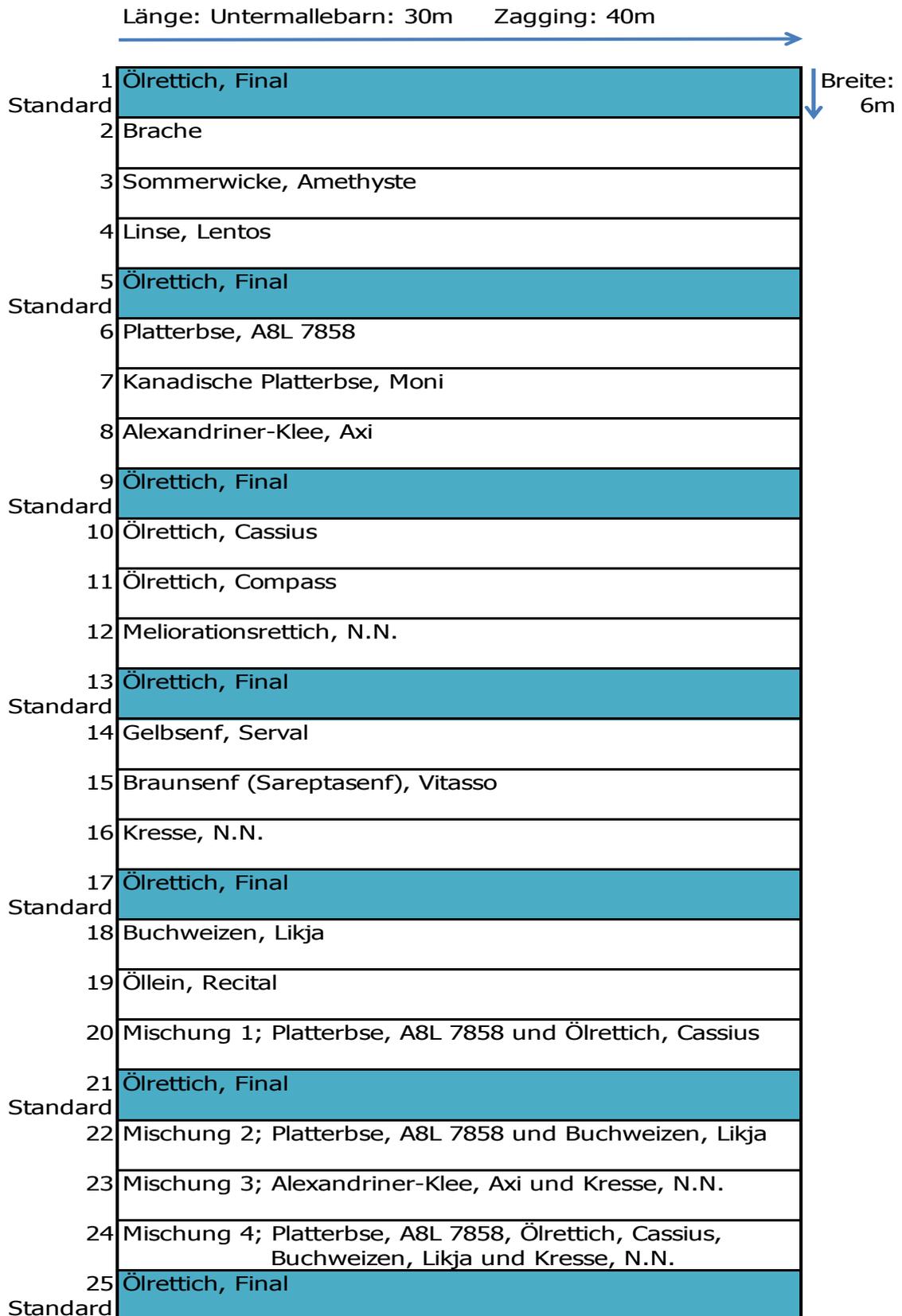


Abb. 6: Skizze des Versuchsplans des Feldversuches, 2012

3.2.2 Artenbeschreibung

Der Versuch setzte sich aus neun Fruchtarten, welche zum Teil noch in weitere Unterarten und verschiedene Sorten gegliedert waren, zusammen. Die Beschreibung der Arten setzt sich aus nachfolgenden Autoren zusammen: FREYER et al. (2005), GEISLER (1991), HAMPL (1996), KOLBE et al. (2004), LIEBEREI und REISDORFF (2007), LÜTKE ENTRUP (2001), RENIUS et al. (1992) und SCHREINER (1988).

Die zum Teil vorhandenen Sorteneigenschaften wurden aus folgenden Quellen angeführt: ACKERGRÜN FOLDER (2013), BUNDESSORTENAMT (2012), FELDSAATEN FREUDENBERGER (2012), SAATBAU LINZ (2012), SAATEN UNION (2012).

Zur Beurteilung der nematodenresistenten Ölrettich- bzw. Senfsorten wurden Resistenzstufen zur Gliederung der Nematodenbekämpfung eingesetzt. Dabei sind Sorten der Resistenzstufe 1 in der Lage, die Nematodenpopulation im Boden um über 90 % zu vermindern. In der Resistenzstufe 2 werden Sorten mit einem Bekämpfungspotential von 70 % bis 89 % zusammengefasst. Die Resistenzstufe 3 beinhaltet Sorten, die unter optimalen Bedingungen nur 50 % bis maximal 69 % reduzieren (SAATEN UNION, 2012).

3.2.2.1 Ölrettich und Meliorationsrettich (*Raphanus sativus*)

Ölrettich ist spätsaatverträglich und stellt an Boden und Klima keine besonders großen Ansprüche und ist sehr anpassungsfähig an den Standort. Jedoch sollte bei gewünschter hoher Grünmasse auf eine reichliche Düngung geachtet werden. Aufgrund der relativ raschen Jugendentwicklung besitzt der Ölrettich eine gute Unterdrückungsleistung der Beikräuter. Der Boden wird durch die Ausbildung einer Pfahlwurzel und einem stark verzweigtem Nebenwurzelsystem gut aufgelockert. Durch die Züchtung auf nematodenresistente Sorten ist der Ölrettich speziell vor dem Zuckerrüben- und Kartoffelanbau in der Zwischenfrucht anzufinden. Durch die geringe Frostverträglichkeit stirbt der Ölrettich über den Winter sicher ab. Daher ist nachfolgend eine Mulchsaat problemlos durchführbar.

Die Sorte FINAL wurde als Standard in der Versuchsanlage angebaut. Final ist ein nematodenresistenter Ölrettich und ist in der Resistenzstufe 1 klassifiziert.

Final zeichnet sich durch eine mittlere Massenbildung im Anfang und durch eine geringe Blühneigung aus. Die Rettichbildung ist besonders niedrig, so dass im Zuckerrübenanbau ein Durchwuchs nicht auftritt. Die Sorte wächst nicht in die Höhe sondern in die Breite, sodass eine frühere Bedeckung des Bodens zur Beikrautunterdrückung gewährleistet wird.

COMPASS ist ein nematodenresistenter Ölrettich, in der Resistenzstufe 2. Die Massenbildung im Anfangsstadium ist mittel bis hoch und die Blühneigung gering. Compass friert schneller ab als herkömmliche Ölrettichsorten.

CASSIUS ist ebenso wie Compass in der Resistenzstufe 2 und zeigt eine mittlere Massenbildung zu Beginn und eine geringe Blühneigung. Besondere Eigenschaften sind die hohe Standfestigkeit und der rasche Aufwuchs.

Der Meliorationsrettich ist eine Rettichart die eine lange Pfahlwurzel bildet und dadurch den Boden lockert. Da die Pfahlwurzel immer ein wenig aus dem Boden heraussteht, ist ein sicheres Abfrosten gewährleistet. In der Entwicklung ist der Meliorationsrettich sehr rasch, sogar schneller als die des Ölrettichs.

3.2.2.2 Senf (*Sinapis alba*) bzw. (*Brassica juncea*)

Der Senf, welcher in unseren Regionen angebaut wird, wird in zwei unterschiedliche Arten eingeteilt. Der Gelbsenf, oder Weißer Senf, (*Sinapis alba*) weist einen verzweigten Stängel mit wechselseitig fiederspaltigen grünen Blättern, die rau behaart und am Blattgrund stark eingekerbt sind, auf. Beim Sareptasenf, oder Brauner Senf (*Brassica juncea*) sind die Blätter blaugrün und glatt. Wie auch der Ölrettich ist der Senf sehr anspruchslos an Boden und Klima. Er kann fast als Pionierpflanze bezeichnet werden. Da der Senf eine Langtagspflanze ist, sollte er nicht vor Mitte bis Ende August ausgesät werden, da er ansonsten gleich Stängel und Blütenansatz bildet. Senf kann deshalb auch bei später Saat eine ausreichende Entwicklung erzielen. Die Pfahlwurzel mit vielen Seitenwurzeln wird bei späterer Saat stärker ausgebildet. Senf ist ebenso eine abfrierende Zwischenfruchtart und eignet sich im nachfolgenden Mulchverfahren.

SERVAL, eine resistente Gelbsenf-Sorte mit der Resistenzstufe 2, weist ein tiefgehendes und verzweigtes Wurzelsystem auf. Die Neigung zum Blühen wird mit mittel beschrieben und die Massenbildung im Anfang ist ebenfalls mittelmäßig.

VITASSO, ein Braunsenf ist keine nematodenresistente Sorte. Die Massenbildung im Anfang ist gering – mittel und die Neigung zum Blühen ist sehr gering. Durch eine bessere Durchwurzelung - kräftigeres, tiefreichenderes Wurzelwerk als Gelbsenf – wird eine höhere Bodenstrukturverbesserung erreicht.

3.2.2.3 Kresse (*Lepidum sativum*)

Die Kresse gehört zur Familie der Kreuzblütler und ist eine einjährige krautige Pflanze die eine Höhe von über 50 cm erreicht. Der Stängel trägt unpaarig gefiederte Laubblätter und an der Spitze eine weiß blühende Blütenknospe. Kresse besitzt einen scharfen Geschmack, welcher auf den Gehalt an Glucosinolaten – vor allem Glucolepidin und Glucotropaeolin – zurückzuführen ist.

3.2.2.4 Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*)

Buchweizen, ein Knöterichgewächs, wird in sehr engen Fruchtfolgen als Zwischenfrucht eingesetzt um das Artenspektrum zu erweitern. Buchweizen ist eine anspruchslose Pflanze, die auch unter trockenen Bedingungen sicher und sehr schnell aufläuft und nährstoffarme Böden sehr gut aufwertet. Jedoch ist die produzierte organische Masse vergleichsweise gering. Aufgrund der raschen Entwicklung kann der Buchweizen auch für kurzfristige Begrünungsmaßnahmen eingesetzt werden. Buchweizen ist sehr frostempfindlich und stirbt bereits nach den ersten Frühfrösten ab. Um Mindererträge in der nachfolgenden Kultur zu vermeiden, sollte der Bestand nicht zu alt werden, da ansonsten das C/N-Verhältnis zu weit wird. Die Samenausbildung kann bei älteren Beständen soweit vor sich gehen, dass in der Nachfolgekultur ein Durchwuchs auftritt. Buchweizen gilt als Nematodenfeindpflanze.

3.2.2.5 Öllein (*Linum usitatissimum*)

Öllein hat eine tiefgehende, wenig verzweigte Pfahlwurzel, mit einem kräftigen Seiten- und Feinwurzelsystem. Nach einer langsamen Jugendentwicklung, bildet sich ein Stängel an dem sich die langzettlichen Blätter wechselständig anordnen. Wird der Lein als Hauptfrucht zur Flachsfasernutzung angebaut benötigt er eine hohe Wasserversorgung und eine hohe Luftfeuchtigkeit. Bei geringeren Qualitätsansprüchen, wie zum Beispiel in früheren Zeiten für die Eigenversorgung, war der Anbau in fast allen Lagen verbreitet. Öllein ist ebenso eine frostempfindliche Pflanze.

3.2.2.6 Sommerwicke (*Vicia sativa*)

Die Sommerwicke oder Saatwicke wird vorwiegend im Sommerzwischenfruchtanbau eingesetzt. Die Jugendentwicklung wird durch einen früheren Saattermin gefördert. Über ein fein verzweigtes Wurzelsystem mit zahlreichen Wurzelknöllchen werden die Nährstoffe aufgenommen und in den bis zu 1,5 m langen, verzweigten, rankenden Spross verteilt. Die Ansprüche an den Boden und an das Klima sind relativ gering. Bei ausreichender Wasserversorgung ist der Anbau der Saatwicke auf schweren bis leichten Böden geeignet. Bevorzugt werden jedoch mittlere und schwere, kalkhaltige, frische Lehmböden in feuchtkühler Lage. Durch das schnelle Wachstum wird der Beikrautwuchs unterdrückt und die Bodengare gefördert. Dadurch trägt Wicke zur Bodenverbesserung bei und ist eine wertvolle Vorfrucht. Die Sommerwicke ist gegen Frühfröste unempfindlich.

3.2.2.7 Linse (*Lens culinaris*)

Linse gedeiht speziell unter tropischen Bedingungen – in Regionen mit warmgemäßigem Klima. Daher ist ein Anbau an trockenen und relativ armen Standorten möglich. Sie ist schwachwüchsig und daher sehr konkurrenzschwach. Aufgrund der geringen Massenbildung ist die Linse keine ideale Gründüngungspflanze und sollte daher nur auf extrem trockenen Standorten angebaut werden. Deshalb ist bei der Saatbettbereitung auf eine weitgehende Entfernung der Beikräuter zu achten bzw. die Linse in einem Gemenge mit rasch deckendem Partner anzubauen.

3.2.2.8 Platterbse (*Lathyrus sativus*)

Die Platterbse gehört zur Familie der Schmetterlingsblütler und ist relativ anspruchslos. Bevorzugt wächst sie auf kalkreichen Böden mit mittlerer Feuchtigkeit und bei warmer Witterung. Jedoch weist die Platterbse eine hohe Trockentoleranz auf. Eine Aussaat im Juli oder Anfang August in Kombination mit hohen Temperaturen und gemäßer Wasserversorgung ist für eine hohe Ertragsleistung essentiell. Die Bodenbedeckung bleibt jedoch auch bei optimaler Standortbedingung gering.

Die Pigmentplatterbse MONI, eine dunklere, gefleckte Platterbse ist sehr schnell in der Jugendentwicklung, wodurch eine raschere Bodenbedeckung und eine bessere Unkrautunterdrückung erreicht werden.

Spezielle Vorteile der Sorte MONI sind Trockenheitsverträglichkeit, die erhöhte Stickstofffixierung und die Abwehrkraft gegen Blattläuse durch die Bildung von Nuerotoxin.

3.2.2.9 Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*)

Alexandrinerklee ist eine bestockende Kleeart mit einer eher geringeren Nachwuchsleistung. Durch die langsame Jugendentwicklung, insbesondere bei geringen Temperaturen, wird der Beikrautdruck gefördert. Speziell gezüchtete, einschnittige Formen werden im Zwischenfruchtanbau bevorzugt eingesetzt und erzielen eine raschere Jugendentwicklung. Das schnelle Wurzelwachstum führt zu einer gleichmäßigen Seiten- und Feinwurzelbildung. Alexandrinerklee ist an warme, feuchte Klimabedingungen angewiesen. Der Wasserbedarf ist relativ hoch, deshalb ist ein Anbau in Trockengebieten nicht zu empfehlen. Ebenso sind sandige Böden und Böden mit hohem pH-Wert ungeeignet. Die nicht winterfeste Kleeart friert über den Winter sicher ab.

3.2.2.10 Mischungen

Im Versuch wurden auch vier Mischungen angebaut. Dazu wurden die vorher erwähnten Sorten mit der halben Aussaatmenge für die Mischungen 1 bis 3 bzw. mit einem Viertel der Aussaatmengen für die Mischung 4 zusammengesetzt. Je Mischung wurde noch 0,5 kg Senf/ha als Stützfrucht hinzugegeben.

Mischung 1: Platterbse und Ölrettich (Cassius)

Mischung 2: Platterbse und Buchweizen

Mischung 3: Alexandrinerklee und Kresse

Mischung 4: Platterbse, Ölrettich (Cassius), Buchweizen und Kresse

3.2.3 Versuchsdurchführung

Der Feldversuch wurde als Langparzellen-Anlage (Standardmethode) an zwei unterschiedlichen Standorten angelegt. Die Versuchsglieder wurden als Langparzellen angelegt, wobei jede vierte Langparzelle mit der Standardkultur Ölrettich (Sorte Final) belegt wurde. Der Grund für diese Variante ergab sich aus der leichteren Durchführbarkeit der Saat.

In Tabelle 5 sind die Saatstärken für die Zwischenfrüchte angegeben. Diese wurden aus Angaben diverser Broschüren der angeführten Bezugsfirmen übernommen.

Tab. 5: Saatstärke und Bezugsquelle der ausgewählten Zwischenfrüchte, Feldversuch 2012

Art	Sorte	Bezug	Saatstärke
Sommerwicke	Amethyste	RWA *	100 kg/ha
Linse	Lentos	Saatbau Linz	50 kg/ha
Platterbse	A8L 7858	Saatbau Linz	75 kg/ha
Kanadische Platterbse	Moni	Saatbau Linz	75 kg/ha
Alexandrinerklee	Axi	RWA	25 kg/ha
Ölrettich	Final (Standard)	Freudenberger **	25 kg/ha
Ölrettich	Cassius	Freudenberger	25 kg/ha
Ölrettich	Compass	Petersen	25 kg/ha
Meliorationsrettich	N.N.	Saatbau Linz	25 kg/ha
Gelbsenf	Serval	Saatbau Linz	25 kg/ha
Braunsenf	Vitasso	RWA	5 kg/ha
Kresse	N.N.	Saatbau Linz	25 kg/ha
Buchweizen	Likja	RWA	60 kg/ha
Öllein	Retical	Saatbau Linz	40 kg/ha
Mischung 1	A8L 7858 Cassius	Saatbau Linz Freudenberger	37,5 kg/ha 12,5 kg/ha
Mischung 2	A8L 7858 Likja	Saatbau Linz RWA	30 kg/ha 30 kg/ha
Mischung 3	Axi Kresse N.N.	RWA Saatbau Linz	12,5 kg/ha 12,5 kg/ha
Mischung 4	A8L 7858 Cassius Likja Kresse N.N.	Saatbau Linz Freudenberger RWA Saatbau Linz	15 kg/ha 6 kg/ha 15 kg/ha 6 kg/ha
* Raiffeisen Ware Austria			
** Feldsaaten Freudenberger			

3.2.3.1 Untermallebarn

Nach der Ernte der Vorfrucht (Winterweizen), im Sommer 2012, wurde eine Stoppelbearbeitung mit dem Grubber auf 10 bis 15 cm Tiefe durchgeführt. Dadurch wurde das Ausfallgetreide zum Auflaufen gebracht und die Beikrautunterdrückung sichergestellt. Zur besseren Effizienz der mechanischen Unkrautbekämpfung wurde nach dem Auflaufen ein zweites Mal gegrubbert. Nach dem Pflügen, auf 25 cm Tiefe am 16. August 2012, wurde aufgrund der Schollenbildung und trockenen Bodenverhältnisse die Fläche mit einer Cambridgewalze rückverdichtet. Dies sollte einer rascheren Bodenaustrocknung entgegenwirken. Noch am selben Tag wurden die Parzellen eingemessen und die Zwischenfruchtbegrünung variantenbezogen gesät. Die Parzellen hatten eine Länge von 30 m und eine Breite von 6 m, woraus sich eine Parzellenfläche von 180 m² ergab. Die Gesamtfläche des Feldstückes betrug ca. 2,7 ha. Die Versuchsanlage mit einer Gesamtgröße von 4500 m² wurde im süd-östlichen Teil des Feldes angelegt. Die Saat erfolgte mit einer Kreiseleggen-Drillkombination, mit einer Reform Semo 99 Sämaschine. Die ausgebrachte Saatmenge wurde zuvor mittels Abdreprobe gesichert und ist aus Tabelle 5 ersichtlich.

3.2.3.2 Zagging

Nach der Ernte der Vorfrucht (Zwiebel) wurde das Feld mit einem Totalherbizid (Round Up) behandelt. Am 23. August 2012 wurde die Versuchsfläche mit dem Pflug auf 25 cm Tiefe bearbeitet. Nach dem Pflügen wurde das Versuchsfeld am 24. August 2012 ausgemessen und anschließend mit den genannten Zwischenfrüchten angebaut. Die Parzellen hatten eine Länge von 40 m und eine Breite von 6 m, woraus sich eine Fläche von 240 m²/Parzelle ergab. Die Saat erfolgte mit einer Kreiseleggen-Drillkombination. Zur Ermittlung der gewünschten Ausbringmenge sind oft mehrere Abdrehproben erforderlich, um die richtige Getriebestellung der Amazone AD-P-303 Spezial-Sämaschine zu erhalten. Daher wurde die Abdrehprobe nur bei einer Kultur durchgeführt. Mit einer Rechenscheibe der Firma Amazone wurden die erforderlichen Getriebeeinstellungen aus den Werten der ersten Abdrehprobe berechnet. Da keine zusätzliche Kontrolle über die Korrektheit der Getriebeeinstellung durchgeführt wurde, kam es zu geringfügigen Abweichungen bezüglich der vorgegebenen Aussaatmenge.

Die Versuchsanlage mit einer Gesamtgröße von 6.000 m² wurde im östlichen Teil des Feldes, nahe dem Fluss Fladnitz angelegt. Die restliche Fläche des 3,2 ha großen Feldstückes wurde mit einem Tiefenlockerer bearbeitet und mit der standortüblichen Zwischenfruchtmischung aus 17 kg Buchweizen, 3 kg Phacelia und 1 kg Gelbsenf je ha bestellt.

Am 21. November 2012 wurde ein Teil der Versuchsfläche geschlegelt. Eine Woche später wurde die gehäckselte Pflanzenmasse mit einem Flügelschargrubber eingearbeitet. Dies wurde als Anlage für eine nachfolgende Arbeit durchgeführt. Die Folgewirkung der unterschiedlichen Zwischenfruchtbegrünungsvarianten soll bei der Zuckerrübe ermittelt werden.

3.2.4 Datenerhebung

3.2.4.1 Ermittlung des Feldaufganges und des Pflanzenverlaufes

Zur Ermittlung der Keimfähigkeit wurde zuvor eine Keimfähigkeitsprüfung nach ISTA-Norm durchgeführt. Dazu wurde die PP-Methode (pleated paper - Faltenfiltermethode) angewendet. In dreifacher Wiederholung wurden je Sorte 100 Körner getestet. Dazu wurden in jede der 50 Falten 2 Samen eingelegt. Zur besseren Aufbewahrung wurde der Filterpapierstreifen anschließend in einem Kunststoffbehälter platziert, bewässert und bei 25 °C gelagert. Am 4. und 7. Tag nach dem Ansetzen wurde die Keimfähigkeit mittels Auszählen der gekeimten Körner bestimmt.



Abb. 7: Keimfähigkeitsprüfung bei Gelbsenf

Der Feldaufgang wurde durch Auszählen der Pflanzen am 18. 09. 2012 ermittelt. Je Parzelle wurde die Anzahl der Pflanzen auf einer Fläche von 0,5 m² in dreifacher Wiederholung ausgezählt.

Das ober- und unterirdische (Spatenblattprobe) Pflanzenwachstum wurde durch visuelle Beobachtung beurteilt. Die durchschnittliche Wuchshöhe wurde zu drei Terminen ermittelt. Die Wurzellänge wurde durch vorsichtiges Ausgraben der Wurzeln zu zwei Terminen festgehalten. Zusätzlich wurde an den Leguminosen der Rhizobienbesatz festgehalten.

3.2.4.2 Bodenbedeckungsgrad und LAI

Der Bodenbedeckungsgrad der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten wurde zu sieben Terminen bestimmt. Dazu wurden je Termin und je Parzelle 2 digitale Fotos erstellt. Die Fotos wurden nach der Zufallsmethode an Stellen in der Parzelle und unter natürlichem Tageslicht angefertigt. Jede Parzelle wurde aus einer Höhe von einem Meter über den Bestand (senkrecht) fotografiert.

Tab. 6: Termine für die Ermittlung des Bedeckungsgrades unterschiedlicher Zwischenfruchtarten, 2012

Termin	Standort
04. September 2012	Untermallebarn Zagging
07. September 2012	Untermallebarn Zagging
10. September 2012 *	Untermallebarn Zagging
15. September 2012	Untermallebarn Zagging
24. September 2012	Zagging
26. September 2012	Untermallebarn
02. Oktober 2012	Zagging
08. Oktober 2012	Untermallebarn
25. Oktober 2012	Untermallebarn * Zagging
* Fotos über den ganzen Versuch von besser entwickelten Pflanzen	

Die Fotos wurden anschließend mit dem Bildbearbeitungsprogramm **Sigma Scan Pro** ausgewertet. Der Bedeckungsgrad des Bodens wird über die Pixeldifferenz der gesamten Fläche zum definierten Farbbereich berechnet. Der berechnete Wert wird in Prozent angegeben.

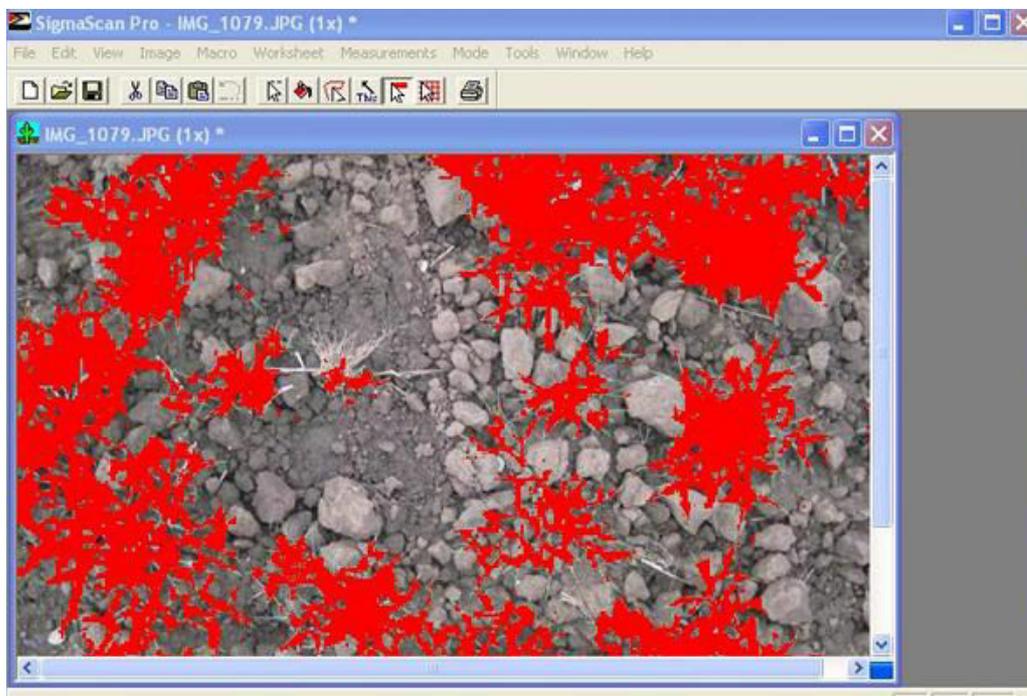


Abb. 8: Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades mittels SigmaScanPro

Der Blattflächenindex oder Leaf-Area-Index (LAI) wurde mit dem „LP-80 Accu PAR“ (PAR/LAI Ceptometer Decagon Devices, Inc.) am 25. Oktober 2012 gemessen.

Zuerst wird der Referenzwert über dem Bestand, mittels 80 individuellen im PAR-Spektralbereich (photosynthetically active radiation) empfindliche Sensoren auf einem 84 cm langen Messfühler gemessen. Anschließend wurde aus vier weiteren Messungen unter dem Bestand der LAI-Wert berechnet.

Die Blattflächendichte oder Leaf-Area-Density (LAD) wird aus dem LAI berechnet, indem der LAI durch die Bestandeshöhe dividiert wird.



Abb. 9: LP-80 Accu PAR – PAR/LAI Ceptometer: (ROSELL und SANZ, 2012)

3.2.4.3 Ausgewählte Bodenparameter

Um Unterschiede der einzelnen Zwischenfruchtarten auf den Bodenwasser- und Bodennährstoffgehalt ermitteln zu können, wurden Bodenproben zu Beginn des Versuchs, im Herbst und im nachfolgenden Frühjahr entnommen. Die Termine für die Entnahme der Bodenproben sind aus Tabelle 7 zu entnehmen.



Abb. 10: Bohrstock mit Boden-Probenmaterial von 0 bis 90 cm Bodentiefe

Um eine repräsentative Probe zu erhalten, wurden mit einem Bohrstock 12 Erdproben pro Parzelle entnommen und in die Tiefenbereiche 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm geteilt.

Tab. 7: Termine für die Entnahme der Bodenproben für die EUF-Bodenuntersuchung und Bestimmung des Bodenwassergehaltes, 2012

Termin	Standort	Varianten	Beprobungstiefe
11. 09. 2012	Untermallebarn & Zagging	1, 5 & 9 2, 3, 4, 6, 7, 8, 13, 17, 21 & 25	0 – 90 cm 0 – 60 cm
15. 10. 2012 *	Untermallebarn	Alle, außer 3, 6 & 8	0 – 60 cm
19. 10. 2012 *	Zagging	Alle, außer 3 & 6	0 – 60 cm
26. 11. 2012	Zagging	Alle, außer 3, 7, 11 & 21 7 & 11	0 – 90 cm 0 – 60 cm
27. 11. 2012	Untermallebarn	Alle, außer 3, 7, 8, 11 & 21 7 & 11	0 – 90 cm 0 – 60 cm
12. 03. 2013	Untermallebarn	Alle, außer 3, 8 & 21	0 – 90 cm
11. 03. 2013	Zagging	Alle, außer 3 & 21	0 – 90 cm

* nur Bodenwassergehalt

3.2.4.3.1 Ermittlung des Bodenwassergehaltes

Der Bodenwassergehalt wurde thermogravimetrisch im Labor bestimmt. Dazu wurden ca. 100 g Erde aus den zuvor entnommenen Bodenproben eingewogen und im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstante getrocknet. Um Fehler zu vermeiden, wurde jede Bodenprobe in zweifacher Wiederholung bearbeitet. Durch die Ermittlung des Gewichtes vor und nach der Trocknung konnte der Wassergehalt ermittelt werden.

Die Berechnung erfolgte nach der Formel:

$$\text{Wassergehalt [\%]} = 100 - \left(\frac{\text{Auswaage (Brutto)} - \text{Leergewicht (Becher)}}{\text{Einwaage (Brutto)} - \text{Leergewicht (Becher)}} * 100 \right)$$

3.2.4.3.2 Nährstoffanalyse nach EUF

Die Proben wurden im Labor der Zuckerforschung Tulln GmbH aufbereitet und zur Analyse in das Bodenlabor der Südzucker AG in Rain am Lech geschickt. Die ermittelten Werte der EUF-Methode umfassen zwei Fraktionen.

Die EUF-Methode (Elektro-Ultrafiltration) ist eine Wassereextraktion welche durch Vakuumunterstützung beschleunigt wird. Durch die Veränderung der elektrischen Spannung, der Temperatur und der Extraktionszeit werden verschiedene Nährstofffraktionen gewonnen (NEMETH, 1976; BEISS und FEYERABEND, 1984).

Bei der EUF-Methode werden in 35 Minuten alle Nährstoffe in einem Vorgang analysiert (siehe Abbildung 11). Dabei werden zwei Nährstoff-Fraktionen unter folgenden Bedingungen gewonnen:

1. Fraktion: EUF_I: 0 – 30 min bei 200 V (\leq 15 mA) und 20 °C
2. Fraktion: EUF_{II}: 30 – 35 min bei 400 V (\leq 150 mA) und 80 °C

Um eine Düngeempfehlung für die folgende Hauptfrucht zu erstellen, ist es erforderlich, sowohl die direkt verfügbaren Nährstoffmengen (EUF_I), als auch das Nachlieferungspotential der Nährstoffe (EUF_{II}) zu berücksichtigen (NEMETH, 1985).

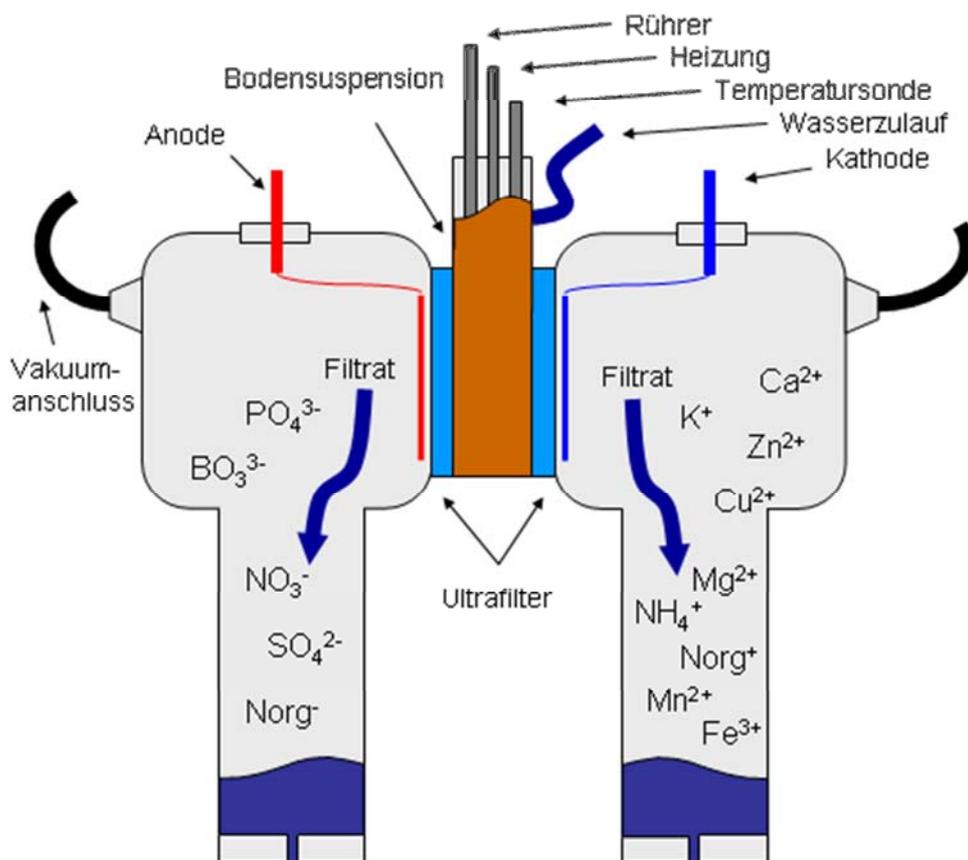


Abb. 11: Kammersystem der EUF-Bodenuntersuchungsmethode (SÜDZUCKER, 2012)

3.2.4.4 Ermittlung der oberirdischen Biomasse

Die oberirdische Biomasse wurde zu zwei Terminen erhoben. Dazu wurden jeweils Parzellen in der Größe von 0,25 bzw. 0,5 m², in dreifacher Wiederholung geerntet. Der Pflanzenbestand wurde ca. 1 cm über dem Boden geschnitten, in Säcke gefüllt und beschriftet.

Tab. 8: Termine für die oberirdischen Biomasseernte, 2012

Termin	Standort	Größe der Ernteparzelle
08. Oktober 2012	Untermallebarn	0,5 m ²
19. Oktober 2012	Zagging	0,25 m ²
06. November 2012	Untermallebarn	0,5 m ²
12. November 2012	Zagging	0,25 m ²

Die Ermittlung der Trockenmasse erfolgte anschließend gravimetrisch im Labor. Die drei Säcke/Parzelle wurden für die Bestimmung der Frischmasse getrennt gewogen. Anschließend wurde daraus eine Mischprobe erstellt und in zweifacher Wiederholung wurden ca. 500 g Pflanzenmaterial auf Zargen eingewogen. Am Standort Untermalbarn, wurden aufgrund des streifenförmig unterschiedlichen Bestandes, jeweils zwei Ernteparzellen an Pflanzen mit höherer Wasserversorgung und eine Ernteparzelle aus der trockeneren Fläche gezogen.

Bei ca. 65 °C wurden die Proben 24 Stunden im Trockenschrank vorgetrocknet und nachfolgend gewogen. Zur Bestimmung der absoluten Trockenmasse wurden ca. 10 bis 20 g Pflanzenmehl in zweifacher Wiederholung in Becher eingewogen und ein zweites Mal bei 105 °C für ca. 24 Stunden bis zur Gewichtskonstante im Trockenschrank getrocknet. Durch die Gewichtsermittlungen vor und nach den Trockenvorgängen konnte der Trockenmassegehalt sicher ermittelt werden.

Die Berechnung erfolgte nach folgender Formel:

$$\text{Trockenmassegehalt [\%]} = \left(\frac{\text{Auswaage 1}}{\text{Einwaage 1}} * \frac{\text{Auswaage 2}}{\text{Einwaage 2}} * 100 \right)$$

Die getrockneten Pflanzen wurden mit einer Pflanzenmühle vermahlen.

3.2.4.5 Ausgewählte Pflanzeninhaltsstoffe

Von der oberirdischen Biomasse wurden Teile der Proben vermahlen und aus dem Mahlgut wurden die Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalte ermittelt.

Ca. 40 mg Pflanzenmehl wurden in ein Zinn-Schiffchen eingewogen und verschlossen. 60 solcher Schiffchen können in einem Durchgang mit dem Elementaranalysator "vario MACRO cube" vollautomatisch ermittelt werden.

Nach dem Prinzip der Dumas-Methode werden die Proben unter Sauerstoffzufuhr bei ca. 1150 °C verbrannt. In der nachfolgenden Reduktion bei 850 °C werden die Verbrennungsgase in die Komponenten C, N und S getrennt und nacheinander an einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt.

3.2.4.6 Ermittlung der Wurzel-Biomasse

Die Entnahme der Wurzelproben erfolgte gegen Ende der Vegetationsperiode, am 20. November 2012. Mit einem Wurzelprobennehmer der Firma Eijkelkamp wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 10 cm und einer Länge von 15 cm entnommen. Die Bohrkern wurden in Kunststoffsäcke eingepackt und anschließend tief-



Abb. 12: Probe und Wurzelbohrer

gefroren. Dadurch wurde ein verfärben, absterben, oder ein weiteres Wurzelwachstum verhindert. Je Parzelle wurde eine Probe (0 – 15 cm), unter einer Pflanze, entnommen. Zusätzlich wurde – bei sieben ausgewählten Zwischenfruchtkulturen – eine zweite Probe (15 – 30 cm) ebenfalls direkt unter der Pflanze entnommen.

Zur Ermittlung der Wurzelmasse und der Wurzellänge, wurden die Wurzeln zeitaufwendig (händisch) von der Erde getrennt. Als übliche Methode wurde die Auswaschung gewählt. Die gefrorenen Proben wurden dazu im warmen Wasser aufgetaut. Anschließend wurde die Probe in ein Sieb mit der Maschenweite von 2 mm übergeführt. Die Wurzeln wurden freigelegt, indem die Bodenaggregate mit kaltem Wasser abgespült wurden. Damit das feinere Wurzelmaterial nicht verloren geht, wurde ein weiteres Sieb mit einer Maschenweite von 1 mm untergestellt. Im folgenden Schritt wurden die Wurzeln händisch vom organischen Material getrennt und in einem mit 25 % Ethanol gefülltem Probenrohr bei 4 °C gelagert.



Abb. 13: Wurzelwaschen

Zur Bestimmung der Wurzelcharakteristik wurden die Wurzelproben mit einem Scanner analysiert. Die zuvor mit Methylenblau eingefärbten Wurzeln wurden in einer mit 2 – 3 mm Wasser gefüllten Schale gegeben. Um ein optimales Scanergebnis zu erreichen, dürfen die Wurzeln nicht zu nahe nebeneinander liegen bzw. durften sie sich nur geringfügig überkreuzen. Mit dem Programm WinRHIZO wurde je Scanvorgang ein Bild erstellt, auf dem die Wurzeln in schwarz abgebildet wurden. In einer TXT-Datei wurden die Wurzellänge, die Wurzeloberfläche, der durchschnittliche Wurzel-durchmesser, sowie die Länge der Wurzeln in den unterschiedlichen Durchmesser-kategorien gespeichert.

Da in einem Scanvorgang nur eine „gewisse Wurzelmasse“ erfasst werden kann, wurden die Proben in Abhängigkeit von deren Volumen und Zusammensetzung vor dem Scannen durch optische Bestimmung geteilt. Konnte eine Teilung aufgrund der Wurzelcharakteristik nur schwer vorgenommen werden bzw. war das Volumen nachfolgend noch immer zu groß, wurden je Probe mehrere Scans durchgeführt.

Wurzeln mit einem Durchmesser über 0,3 mm mussten separat mit einer Schublehre gemessen werden.

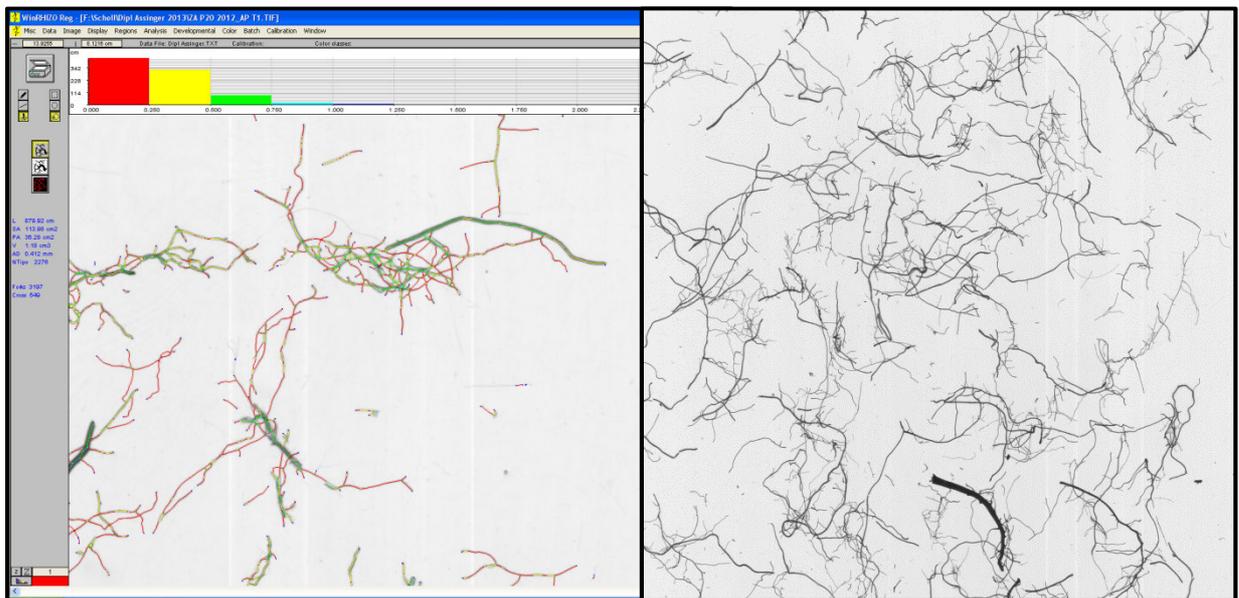


Abb. 14: Software-Programm WinRHIZO mit gescanntem Wurzelbild (links) sowie Ausschnitt eines Wurzelbildes (rechts)

Nach dem Scannen wurde die unterirdische Trockenmasse bestimmt. Dazu wurden die Wurzelproben für 72 Stunden bei 60 °C in den Trockenschrank gestellt.

3.2.5 Mathematisch statistische Verrechnung ausgewählter Daten

Die Daten wurden nach der Methode von LOCHOW und SCHUSTER (1979) für eine Langparzellenversuchsanlage ausgewertet. Datenreihen, in welcher nur eine Standardparzelle erfasst wurde, wurden mit dem Programm SAS 9.1 ausgewertet. Datenreihen mit nur einer Wiederholung, wurden mittels einfachen t-Test ausgewertet, unter der Annahme, dass die berechnete Standardabweichung aus den Standardparzellen für alle Parzellen gilt.

Als 0-Hypothese wurde angenommen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten gibt und die Unterschiede nur zufällig bedingt waren.

Die Datenerfassung wurde mit dem Programm „Microsoft Excel 2010“ durchgeführt. Die Erstellung der Grafiken erfolgte ebenfalls mit Excel 2010.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit für die Langparzellen-Methode nach LOCHOW und SCHUSTER (1979) wurde wie folgt angenommen:

- nicht signifikant (n.s.) bei mehr als 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit
- signifikant bei weniger als 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit
 - * signifikant bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit
 - ** signifikant bei 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit
 - *** hoch signifikant bei 0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit

Bei der Auswertung mit dem SAS-Programm wurden signifikante Unterschiede ab einem Niveau von $p \leq 0,05$ ermittelt. Durch den nachfolgenden Student-Newman-Keuls-Test wurden Gruppierungen vorgenommen. Gruppen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

4 Ergebnisse

4.1 Ausgewählte Bodenanalysergebnisse

Der pflanzenverfügbare Nährstoffgehalt im Boden wurde mittels EUF-Methode analysiert. Von der Vielzahl an Makro- und Mikronährstoffen wird der Nitratgehalt im Anhang angeführt.

4.1.1 Bodenwassergehalt am Standort Untermallebarn

Aufgrund der trockenen Witterungsbedingungen im Spätfrühling und Sommer 2012 am Standort Untermallebarn wiesen die Böden überwiegend einen geringeren Wassergehalt auf. Tabelle 9 zeigt die Bodenwassergehalte über die Vegetationsperiode bis zu einer Tiefe von 60 cm. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der Standardvariante (= Ölrettich Sorte Final) bis zu einer Tiefe von 90 cm angeführt. Weitere Messdaten sind im Anhang aus Tabelle 22 zu entnehmen.

Beim Beprobungstermin, am 11. 09. 2012, wurde in der Standardvariante im Oberboden (0 – 30 cm) mit 10,86 % der niedrigste Bodenwassergehalt gemessen. Über alle Beprobungstiefen gab es zu diesem Termin keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Messung am 15. 10. und 27. 11. 2012 wurden signifikante Unterschiede zwischen der Standardvariante und den Körnerleguminosen (Linse, Platterbse und Kanadische Platterbse) sowie der Brachparzelle festgestellt. Die Brache zeigte im Oktober im Oberboden einen hoch signifikanten Unterschied. Die Kresse wies im 2. und 3. Beprobungstermin ebenfalls höhere Bodenwassergehalte auf.

Kresse, Buchweizen und Öllein wiesen Ende November signifikant höhere Unterschiede im Oberboden auf.

Durch die relativ hohen Winterniederschläge von Dezember 2012 bis April 2013 wurde der Bodenwassergehalt wieder aufgefüllt. Die Kresse erreichte im Oberboden mit 16,69 % den höchsten Gehalt. In einer Tiefe von 60 – 90 cm wurde der Wassergehalt von Mitte September bis Mitte März des Folgejahres sogar um über 10 %, auf 18,52 %, erhöht.

Im März 2013 zeigten sich im Gegensatz zur Standardvariante im Bereich 30 – 60 cm signifikant niedrigere Gehalte bei den Varianten Ölrettich Sorte Cassius, Meliorationsrettich, Öllein, Mischung 1 und Mischung 3.

Tab. 9: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (0 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Untermallebarn (August 2012 bis März 2013)

Parzelle	(0 – 30 cm) (30 - 60 cm) (Std 60 - 90 cm)	Beprobungstermine			
		11. 09. 2012	15. 10. 2012	27. 11. 2012	12. 03. 2013
		Bodenwassergehalt in %			
Ø Ölrettich, Final (Std)	10,86	11,03	15,37	16,20	
	12,41	12,36	13,14	18,58	
	8,10		10,74	18,52	
Brache	11,94	14,27 ***	16,33 *	16,22	
	12,21	14,46 **	15,90 **	18,37	
Linse	11,77	12,93 **	16,22 *	16,14	
	12,16	13,82 *	15,07 *	18,57	
Platterbse	12,48		16,37 *	16,43	
	12,00		15,21 **	18,22	
Kanadische Platterbse	11,81	12,85 **	15,84	16,45	
	12,52	13,88 *	13,95	18,68	
Ölrettich, Cassius		10,87	14,81	16,06	
		12,31	12,65	18,02 *	
Ölrettich, Compass		10,99	14,50 *	16,21	
		11,97	12,73	18,44	
Meliorationsrettich		11,00	15,29	16,10	
		12,45	13,08	18,08 *	
Gelbsenf		10,98	15,59	16,94	
		12,46	13,18	18,98	
Braunsenf		11,38	15,48	16,29	
		12,86	13,39	18,91	
Kresse		12,10 *	16,47 *	16,69	
		13,23	14,34	18,87	
Buchweizen		11,85	16,30 *	16,44	
		13,23	14,38	18,50	
Öllein		12,02	16,20 *	16,58	
		13,24	14,16	18,01 *	
Mischung 1		10,66	15,63	16,27	
		12,11	12,96	17,93 *	
Mischung 2		11,50	15,41	16,37	
		12,97	13,89	18,29	
Mischung 3		11,86	15,54	16,65	
		13,43	13,87	18,08 *	
Mischung 4		11,31	15,28	16,19	
		12,72	13,40	18,49	

4.1.2 Bodenwassergehalt am Standort Zagging

Der gravimetrische Bodenwassergehalt am Standort Zagging war im Durchschnitt zwischen 5 und 10 % höher als am Standort Untermallebarn. Tabelle 10 zeigt den Verlauf des gravimetrischen Bodenwassergehaltes in den Bodentiefen 0 – 30 cm und 30 – 60 cm bei den unterschiedlichen Varianten. Bei der Standardvariante (Ölrettich, Final) wurden auch die Mittelwerte der Tiefe 60 – 90 cm angeführt. Weitere Messdaten dieser Bodentiefe sind in Tabelle 23 angeführt.

Mit 16 % zeigte die Standardvariante den niedrigsten Bodenwassergehalt im Oberboden zu Beginn der Versuchsperiode, am 11. 09. 2012. Zu diesem Termin zeigten sich über alle Beprobungstiefen und –varianten keine signifikanten Unterschiede.

Zum Messtermin Mitte Oktober erreichten die Brache, die Leguminosenvarianten sowie der Buchweizen, Meliorationsrettich und Ölrettich der Sorte Compass einen geringfügig höheren Bodenwassergehalt im Bereich zwischen 0 und 60 cm. Kresse und Öllein zeigten zwar im Oberboden trockenere Verhältnisse, erzielten jedoch in einer Bodentiefe von 30 – 60 cm einen höheren Wassergehalt.

Nach den niederschlagsreichen Wintermonaten konnten im März 2013 keine signifikanten Unterschiede im Oberboden zwischen den Zwischenfruchtarten gemessen werden. Lediglich im Unterboden (30 – 90 cm) stieg der Wassergehalt in der Standardvariante von 21,68 % bzw. 18,79 % Mitte November 2012 auf 23,23 % (30 – 60 cm) und 21,51 % (60 – 90 cm) Mitte März 2013.

Tab. 10: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (0 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Zagging (August 2012 bis März 2013)

Parzelle (0 – 30 cm) (30 - 60 cm) (Std 60 - 90 cm)	Beprobungstermine			
	11. 09. 2012	19. 10. 2012	26. 11. 2012	11. 03. 2013
	Bodenwassergehalt in %			
Ø Ölrettich, Final (Std)	16,00	20,38	23,86	22,82
	19,97	19,08	21,68	23,23
	18,20		18,79	21,51
Brache	17,80	20,43	22,61	22,51
	20,07	21,80	22,09	23,38
Linse	16,17	20,76	22,84	23,46
	21,73	21,53	22,18	24,00
Platterbse	17,44		22,96	22,61
	19,43		22,44	23,34
Kanadische Platterbse	17,21	21,09	23,08	23,08
	19,62	20,10	21,65	22,49
Alexandrin Klee	17,75	21,17	23,42	22,53
	19,05	21,12	23,16	22,07
Ölrettich, Cassius		21,59	22,56	22,24
		18,89	21,05	22,74
Ölrettich, Compass		20,79	23,01	23,57
		19,22	20,83	23,67
Meliorationsrettich		21,87	23,53	24,49
		19,66	22,15	23,68
Gelbsenf		21,01	24,54	25,49
		18,67	23,01	23,95
Braunsenf		20,54	23,99	24,43
		18,87	20,42	23,91
Kresse		20,00	23,43	23,63
		19,33	21,27	23,57
Buchweizen		21,02	22,41	21,63
		20,38	21,51	22,65
Öllein		19,79	21,28	21,92
		20,22	20,83	23,15
Mischung 1		19,55	21,76	22,31
		19,12	20,70	22,85
Mischung 2		19,19	21,91	22,52
		18,20	19,89	21,41 *
Mischung 3		19,66	22,60	22,26
		19,78	21,03	22,19
Mischung 4		20,01	23,32	23,29
		18,95	19,45 *	22,99

4.2 Keimfähigkeit und Feldaufgang

Die Laborergebnisse ergaben bei allen Zwischenfruchtarten eine Keimfähigkeit von über 75 %. Tabelle 11 und Abbildung 15 zeigen die mittlere Keimfähigkeit der angebauten Zwischenfruchtarten in Prozent. Alexandriner Klee, Sommerwicke und Platterbse wiesen die geringste Keimqualität, mit unter 85 % auf. Linse, Kresse, Gelbsenf, Buchweizen und Öllein erreichten mit über 97 % die signifikant höchste Keimfähigkeit.

Durch Auszählen der Pflanzen am 18. 09. 2012 und den Daten aus dem zuvor gemessenem TKG, der Keimfähigkeit und der Saatgutmenge, wurde der Feldaufgang ermittelt. Folgende Tabelle zeigt einen geringeren Feldaufgang am Standort Untermallebarn. Alexandrinerklee wies am Standort Untermallebarn einen Feldaufgang von 16 % auf und konnte sich daher an diesem Standort nicht etablieren.

Der geringe Feldaufgang von Kresse und Braunsenf führt am Standort Untermallebarn zu einem am Anfang geringeren Bedeckungsgrad des Bodens.

Generell wies der Standort Untermallebarn einen geringeren Feldaufgang auf. Dies steht im engen Zusammenhang mit den geringen Niederschlägen in Spätfrühling und Sommer 2012.

Tab. 11: Mittlere Keimfähigkeit in %, Tausendkorngewicht in g und ausgewählte Saatmenge in kg/ha, sowie die berechneten mittleren Feldaufgänge in % an den Standorten Untermallebarn und Zagging. Zwischenfruchtarten mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich.

Zwischenfrucht	KF [%]	TKG [g]	Saatmenge [kg/ha]	FA UM [%]	FA ZA [%]
Ölrettich, Final (Std)	93,67 ab	11,8	25	63,80	84,88
Ölrettich, Cassius	93,67 ab	13,2	25	82,68	94,70
Ölrettich, Compass	91,00 ab	11,6	25	86,00	99,26
Meliorationsrettich	96,00 ab	17,1	25	77,90	90,73
Gelbsenf	98,33 a	5,1	25	72,06	105,67
Braunsenf	87,00 b	1,5	5	40,46	73,56
Buchweizen	98,33 a	26,5	60	67,07	102,11
Kresse	99,00 a	2,1	25	18,84	91,81
Öllein	97,33 a	6,8	40	82,44	92,68
Sommerwicke	76,67 c	75,6	100	65,74	55,22
Linse	99,33 a	20,4	50	91,18	102,14
Platterbse	80,00 c	137,4	75	109,92	112,97
Kanadische Platterbse	94,33 ab	164,6	75	124,47	103,92
Alexandrinischer Klee	76,00 c	2,7	25	16,27	44,05

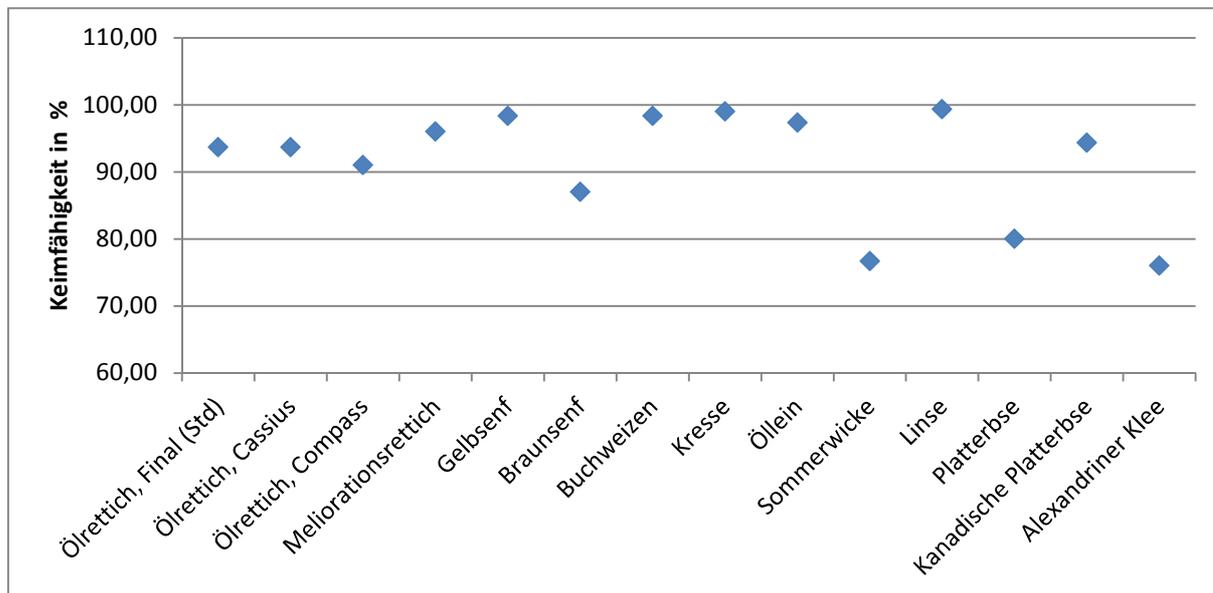


Abb. 15: Mittlere Keimfähigkeit in % der Zwischenfruchtarten.

Die Unterschiede der Keimfähigkeit zwischen den einzelnen Zwischenfruchtarten konnten auch statistisch abgesichert werden. Die Ergebnisse der Auswertung mit Hilfe der Varianzanalyse sind aus nachfolgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 12: Einfache Varianzanalyse über die Auswirkung unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf die Keimfähigkeit.

Quelle	FG	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Zwischenfrucht	13	2687,142857	206,703297	14,57	<0,0001 ***
Fehler	28	397,333333	14,190476		
Korrigierte Summe	41	3084,476190			

Die Varianzanalyse zeigt ebenfalls einen signifikanten Unterschied im Feldaufgang zwischen den Varianten, den Standorten und deren Wechselbeziehung.

Tab. 13: Varianzanalyse (Lineares Modell) über die Auswirkung unterschiedlicher Zwischenfruchtarten, Standorte und deren Wechselbeziehung auf den Feldaufgang.

Quelle	FG	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Zwischenfrucht	17	59959,71860	3527,04227	23,94	<0,0001 ***
Standort	1	12084,03628	12084,03628	82,01	<0,0001 ***
Zwischenfrucht*Standort	17	11749,10917	691,12407	4,69	<0,0001 ***
R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	FA in % Mittelwert		
0,887618	15,92693	12,13872	76,21504		

4.3 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Aufgrund der am Standort Untermallebarn trockeneren Witterungsbedingungen, im Sommer 2012, wurde eine Aufgangsverzögerung von fast einer Woche im Vergleich zum zweiten Standort Zagging festgestellt.

Daher wurde in Untermallebarn der Feldaufgang erst 11 Tage nach der Saat bonitiert. Abbildung 16 zeigt die Boniturergebnisse am Standort Untermallebarn zwischen dem 11. und 19. Tag nach dem Anbau.

Alexandrinischer Klee zeigte ein um 3 Tage verzögertes Auflaufen und konnte somit erst am 14. Tag nach der Saat bonitiert werden. Der zögerliche Aufgang setzte sich fort und führte zu einer geringeren Bestandesentwicklung. Die Sommerwicke ging ebenfalls langsam auf und wies schlussendlich nach dem Auflaufen am 14. Tag (nach der Saat) ein sehr geringes weiteres Wachstum auf. Die langsame Entwicklung zu Beginn konnten die Kresse und der Braunsenf ab dem 14. Tag kompensieren.

Bei den Retticharten zeigten die Sorte Cassius, sowie der Meliorationsrettich den optimalsten Wachstumsverlauf.

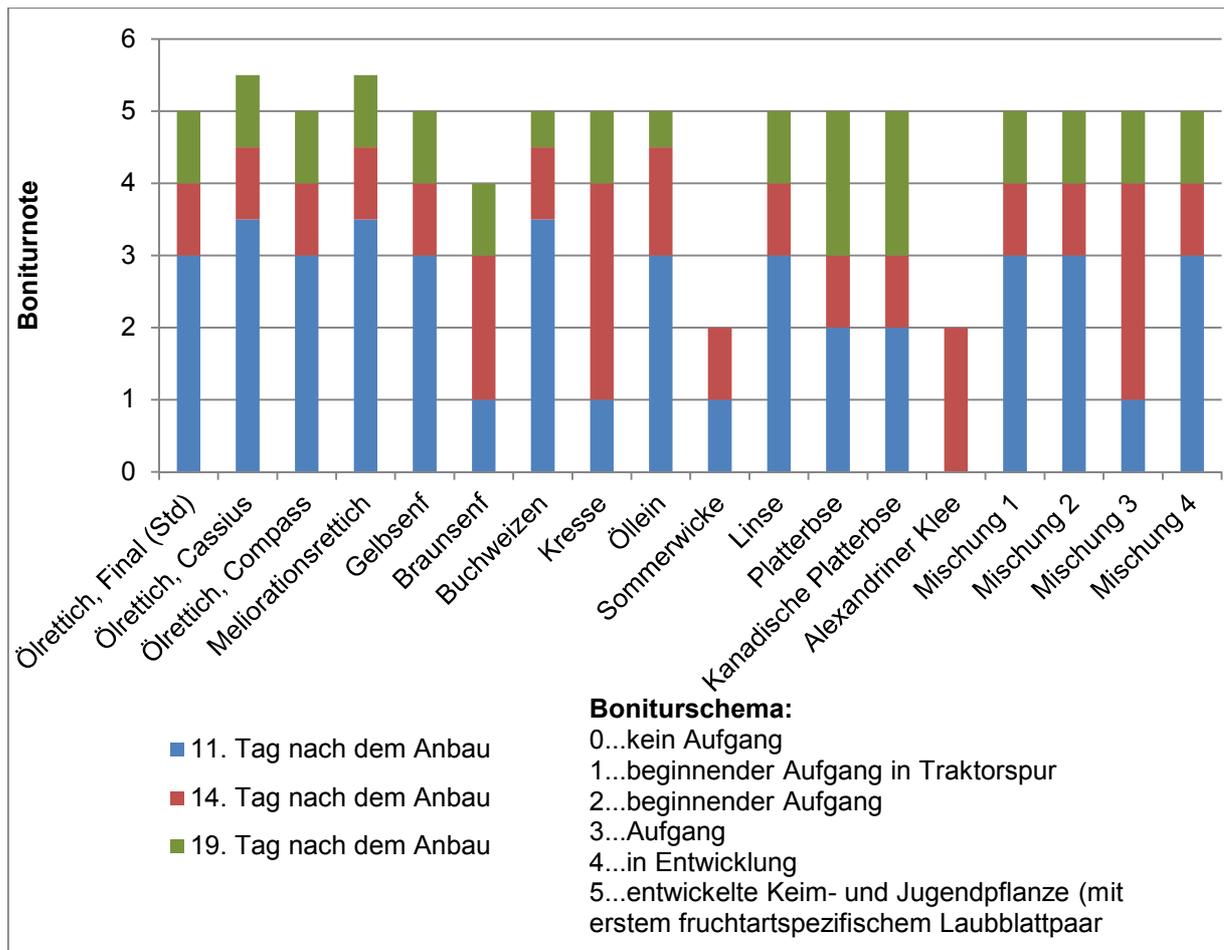


Abb. 16: Wachstums- und Entwicklungsverlauf in den ersten 19 Tagen nach der Saat am Standort Unter-mallebarn.

Folgende Abbildung zeigt den Wachstumsverlauf am Standort Zaggung zwischen 6. und 17. Tag nach dem Anbau.

Ähnlich, wie am Standort Untermallebarn, wiesen der Ölrettich Sorte Cassius und der Meliorationsrettich den schnellsten und höchsten Wachstumsverlauf auf. Die Sommerwicke ergab ein langsames Jugendwachstum und konnte sich auch an diesem Standort nicht etablieren. Die Platterbse zeigte zu Beginn einen schwächeren Wachstumsverlauf, konnte jedoch durch ein in der 2. Vegetationswoche rasches Wachstum aufholen und gleichstand mit der kanadischen Platterbse erzielen.

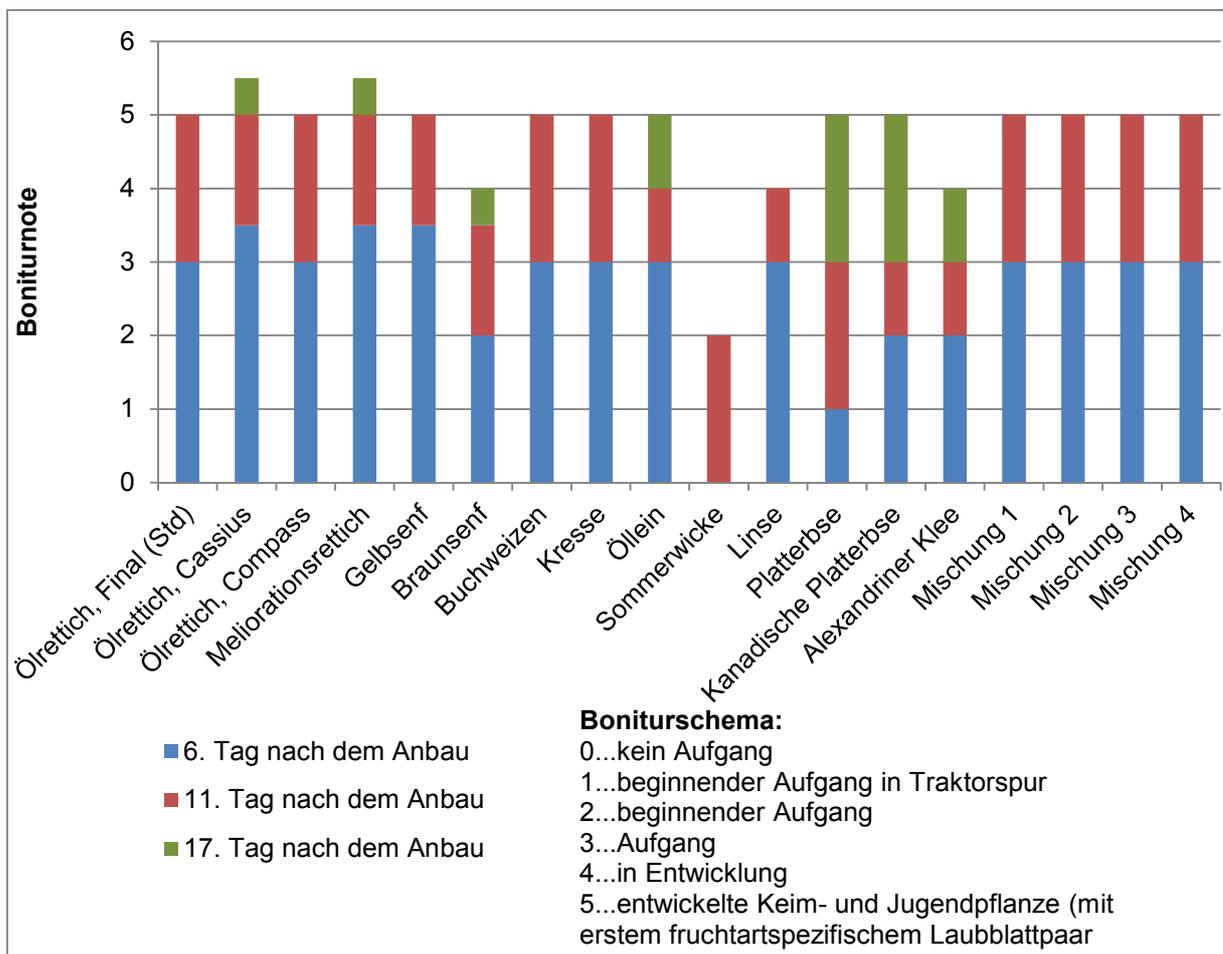


Abb. 17: : Wachstums- und Entwicklungsverlauf in den ersten 17 Tagen nach der Saat am Standort Zaggung.

4.4 Bodenbedeckungsgrad und Blattflächenindex

Ein Vergleich der Standorte hinsichtlich des Bedeckungsgrades der Standardvariante Ölrettich Sorte Final zeigt, dass am Standort Untermallebarn ein langsames Jugendwachstum erfolgte und somit eine langsamere Bodenbedeckung erreicht wurde. Für eine Bedeckung von ca. 10 % benötigte Final am Standort Untermallebarn um 8 Tage länger. Für eine Bodenbedeckung von ca. 40 % bzw. für ca. 60 % war eine längere Vegetationszeit von 10 bzw. 20 Tagen erforderlich.

4.4.1 Bedeckungsgrad am Standort Untermallebarn

Aus Tabelle 14 sind die aus den interpolierten Standardwerten korrigierten Bedeckungsgrade zu entnehmen (nach Standardmethode von LOCHOW und SCHUSTER, 1979).

Über den gesamten Zeitraum wurden signifikante Unterschiede zwischen der Standardvariante und den Leguminosen ermittelt. Ähnliche Ergebnisse sind beim Öllein ersichtlich. Buchweizen ist rasch in der Bedeckung, erreicht jedoch mit 83 % sein Maximum.

Ölrettich Cassius bzw. der Meliorationsrettich zeigten im ersten Monat eine deutlich schnellere Bodenbedeckung. Nach dem ersten Vegetationsmonat erzielte Gelbsenf die höchsten Bedeckungswerte.

Braunsenf und Kresse zeigten im ersten Vegetationsmonat eine signifikant geringere Bodenbedeckung. Nach ca. 30 Vegetationstagen setzten sich diese Fruchtarten durch und erreichten schlussendlich eine Bedeckung von über 90 %.

Tab. 14: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % aus den interpolierten Standardwerten, Standort Unter-
mallebarn (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979)

Parzelle	Tage nach dem Anbau						
	19	22	25	30	41	53	70
Ø Ölrettich, Final (Std)	10,27	16,80	17,91	41,03	60,88	85,53	98,19
Sommerwicke	-0,84 ***	2,56 ***	2,52 ***	-3,15 ***	4,15 ***	5,60 ***	3,86 ***
Linse	1,62 **	4,62 **	6,37 **	2,55 ***	11,21 ***	19,73 ***	37,24 ***
Platterbse	1,58 **	4,84 **	3,62 **	1,89 ***	7,91 ***	40,00 ***	41,57 ***
Kanadische Platterbse	2,15 **	7,97 *	6,49 **	11,73 **	11,83 ***	36,46 ***	53,48 ***
Alexandriner Klee	-0,74 ***	2,58 ***	1,12 ***	4,51 ***	1,65 ***	7,68 ***	15,46 ***
Ölrettich, Cassius	20,95 **	24,46 *	30,57 **	69,05 **	76,88	90,13	100,02
Ölrettich, Compass	14,94	19,76	18,58	52,62	67,09	92,58	96,08
Meliorationsrettich	18,62 **	36,53 ***	34,43 ***	59,02 *	83,19 *	100,71 **	98,83
Gelbsenf	10,30	24,70 *	25,01	68,90 **	89,30 **	101,13 **	97,95
Braunsenf	0,16 **	0,88 ***	3,25 **	9,22 ***	61,06	90,21	90,34
Kresse	1,45 **	3,10 **	2,62 ***	14,24 **	37,42 **	92,38	97,85
Buchweizen	13,13	23,26	22,50	48,13	75,42	72,40 *	83,81 **
Öllein	6,54	9,36	5,26 **	12,99 **	24,10 ***	30,71 ***	51,09 ***
Mischung 1	9,40	17,60	16,49	47,87	66,17	88,70	98,78
Mischung 2	10,59	13,98	20,06	40,04	67,57	73,76 *	97,57
Mischung 3	4,69	1,11 ***	4,54 **	17,20 **	62,87	90,70	98,64
Mischung 4	7,58	7,13 *	17,73	32,86	71,28	89,24	98,55

4.4.2 Bedeckungsgrad am Standort Zagging

Tabelle 15 zeigt die aus den interpolierten Standardwerten korrigierten Bedeckungsgrade in Prozent. Wie auch am Standort Untermallebarn zeigen die Leguminosen über den gesamten Zeitraum einen signifikant geringeren Bedeckungsgrad. Ausschließlich die Linse konnte nach ca. 2 Monaten den Boden fast komplett bedecken.

Unterschiedliches Verhalten war in den zwei Senfarten zu erkennen. Während Gelbsenf eine raschere Bedeckung erzielte, zeigte der Braunsenf eine langsamere Entwicklung zu Beginn. Nach einer Entwicklung von ca. 20 Tagen erreichte der Braunsenf binnen kurzer Zeit ein Plus an 30 %.

Tab. 15: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % aus dem interpolierten Standardwerten, Standort Zagging (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979)

Parzelle	Tage nach dem Anbau						
	11	14	17	22	31	39	62
Ø Ölrettich, Final (Std)	9,52	27,03	36,02	65,16	98,01	99,57	99,59
Sommerwicke	1,08 ***	-0,26 ***	3,88 ***	1,68 ***	2,93 ***	5,27 ***	1,04 ***
Linse	2,86 ***	10,12 ***	9,79 ***	13,36 ***	32,55 ***	63,65 ***	95,85
Platterbse	-0,1 ***	5,78 ***	9,47 ***	11,41 ***	18,61 ***	37,51 ***	72,79 ***
Kanadische Platterbse	0,68 ***	9,33 ***	11,09 ***	20,03 ***	31,63 ***	42,32 ***	85,46 **
Alexandrin Klee	2,09 ***	4,10 ***	1,39 ***	0,91 ***	8,22 ***	26,23 ***	55,08 ***
Ölrettich, Cassius	11,80	32,07	38,88	71,34	95,57	99,74	99,59
Ölrettich, Compass	9,80	24,76	31,91	67,80	98,20	98,82	99,48
Meliorationsrettich	13,74 *	30,45	46,21 *	75,45	86,05 ***	99,27	98,32
Gelbsenf	17,29 ***	49,18 ***	53,33 **	80,96 *	86,77 ***	99,41	99,46
Braunsenf	4,32 **	6,64 ***	13,98 ***	54,10	93,11	99,63	99,72
Kresse	14,06 **	32,58	44,22	63,63	75,61 ***	99,18	98,72
Buchweizen	6,99	31,77	34,12	60,61	83,63 ***	92,50	97,21
Öllein	6,68	17,64 **	14,95 ***	24,12 ***	39,61 ***	68,93 ***	97,38
Mischung 1	7,80	24,01	28,39	53,68	86,33 ***	99,44	99,58
Mischung 2	8,02	25,31	32,50	46,81 **	84,60 ***	98,16	99,47
Mischung 3	9,91	25,55	33,44	54,97	85,94 ***	99,41	99,51
Mischung 4	9,73	27,91	33,07	61,06	88,88 **	98,96	99,54

4.4.3 Blattflächenindex

Am 25. Oktober 2012 wurden der Blattflächenindex und die Blattflächendichte gemessen (Tabelle 16).

Speziell am Standort Untermallebarn waren die geringen Blattflächenindexe der Leguminosen auf die kleine Wuchshöhe der Pflanzen zurückzuführen. Bei Berechnung der Blattflächendichte erzielten auch die Leguminosen und der Öllein repräsentative Werte.

Die höchsten Blattflächenindexe am Standort Untermallebarn, unter trockenen Bodenbedingungen, erreichten die Mischung 1 mit 4,61 und der Meliorationsrettich mit 3,87. Am Standort Zagging erreichten die Ölrettichsorten Cassius mit 6,77 und Final mit 6,09 die höchsten Blattflächenwerte. Die höchste Blattflächendichte erreichte die Linse mit 14,67 m²/m³ am Standort Zagging bzw. der Meliorationsrettich mit 15,48 am Standort Untermallebarn.

Tab. 16: Blattflächenindex (LAI) in Blattfläche je Bodenfläche und Blattflächendichte (LAD) in m²/m³ vom 25. 10. 2012

Parzelle	Untermallebarn LAI	Zagging LAI	Untermallebarn LAD	Zagging LAD
Ø Ölrettich, Final (Std)	3,75	6,09	10,71	10,15
Linse	0,40	2,20	5,33	14,67
Platterbse	0,81	1,56	6,23	10,40
Kanadische Platterbse	0,96	2,06	7,38	10,30
Alexandrinischer Klee		0,91		4,55
Ölrettich, Cassius	3,10	6,77	8,86	11,28
Ölrettich, Compass	2,65	5,50	7,57	9,17
Meliorationsrettich	3,87	5,80	15,48	11,60
Gelbsenf	3,82	5,67	4,78	5,67
Braunsenf	3,34	5,11	8,35	6,81
Kresse	3,23	4,64	5,87	9,28
Buchweizen	1,63	2,40	4,08	4,36
Öllein	0,98	2,71	3,92	6,78
Mischung 1	4,61	5,37		
Mischung 2	2,57	3,96		
Mischung 3	3,61	4,79		
Mischung 4	3,57	4,91		

4.5 Wuchshöhe und Durchwurzelungstiefe

Abbildung 18 und 19 zeigen zu 3 aufeinanderfolgenden Terminen (11. 09., 24. oder 26. 09. und 25. 10. 2012) die Wuchshöhe der Zwischenfruchtvarianten sowie an 2 Terminen die Wurzeltiefe. Die Durchwurzelungstiefe wurde durch vorsichtiges Ausgraben und Messen der Wurzellänge an 5 Pflanzen/Parzelle bestimmt.

Vergleicht man die Durchwurzelungstiefe der jeweiligen Fruchtarten auf den beiden Standorten, so zeigen sich nur geringe Unterschiede. Einzige Ausnahmen bilden Öllein und Braunsenf, die am Standort Untermallebarn (trockenere Bodenverhältnisse) Ende September eine um 7 bzw. 6 cm tiefere Durchwurzelung aufweisen.

Die Wuchshöhe der Pflanzen unterscheidet sich mit zunehmender Vegetationsdauer zwischen den Standorten. Unter den feuchteren Bodenbedingungen, am Standort Zagging, war Ende September die gemessene Wuchshöhe der Pflanzen um ca. 20 cm höher. Entgegengesetzt zeigte die Kresse am Standort Untermallebarn mit einer Höhe von ca. 55 cm eine um 5 cm höhere Pflanzenlänge.

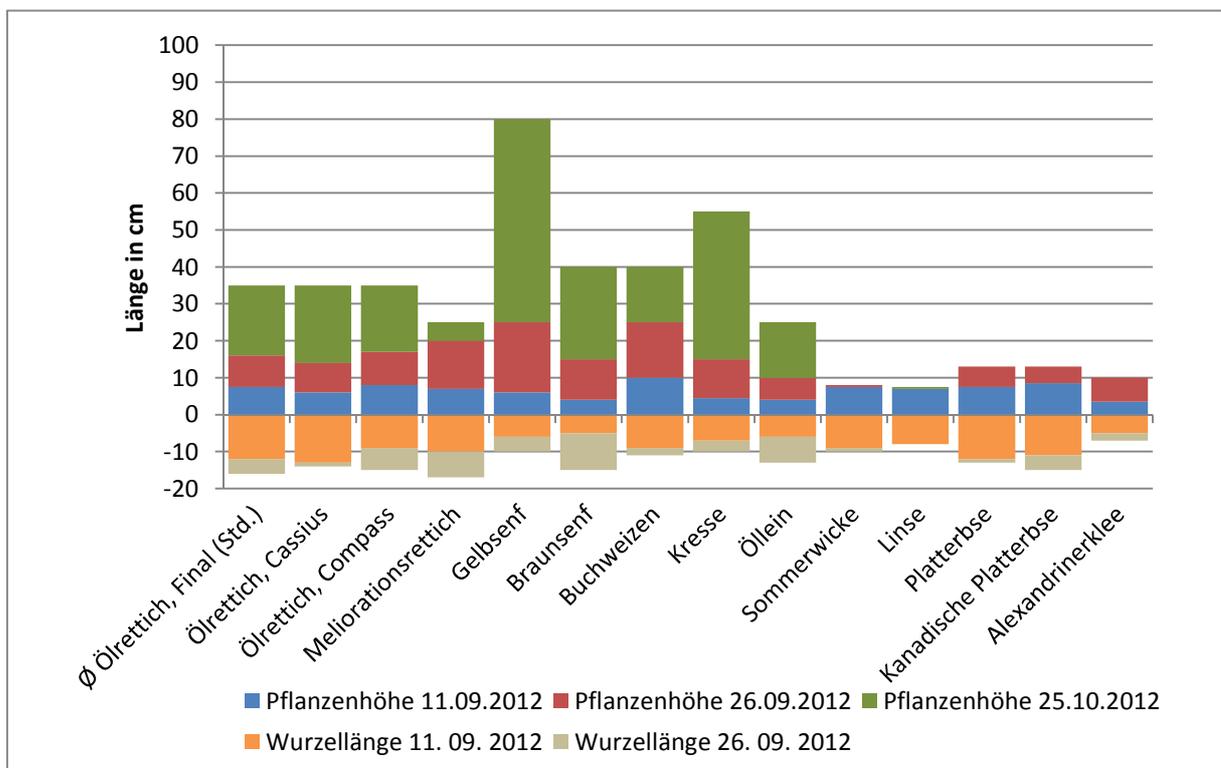


Abb. 18: Pflanzenhöhe und Durchwurzelungstiefe in cm. Pflanzenhöhe in cm am 25. 10. 2012 bei Pflanzen mit höherer Wasserversorgung gemessen, Standort Untermallebarn

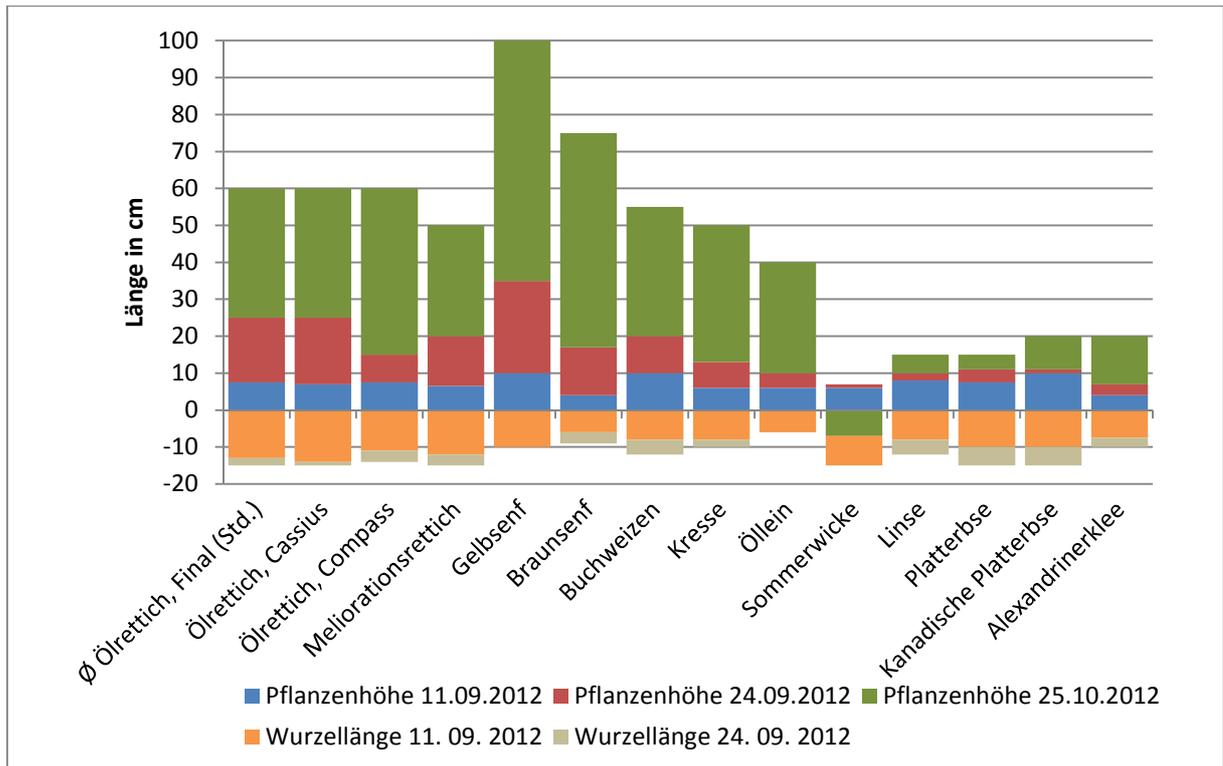


Abb. 19: Pflanzhöhe und Durchwurzelungstiefe in cm, Standort Zagging

4.6 Frisch- und Trockenmasseertrag ausgewählter Zwischenfruchtarten als Begrünungsmaßnahme

Die Biomasseproduktion der einzelnen Zwischenfruchtvarianten wurde zu zwei unterschiedlichen Terminen erhoben. Die erste Messung erfolgte im Oktober 2012, die zweite im November 2012. Am Standort Untermallebarn wurden je Variante 2 Ernteparzellen im Bereich mit der höheren Bodenwasserversorgung angelegt und eine im Bereich niedrigerer Wasserversorgung. Folgende Tabellen, sowie Abbildung 21 zeigen die Zuwachsraten oberirdischer Pflanzenmassen in kg TM/ha sowie den Trockenmassegehalt in %.

Die am Standort Untermallebarn bereits erwähnte trockenere Witterung im Spätfrühling und Sommer 2012, zeigte dies auch in der Bildung der oberirdischen Biomasse deutlich (niedrigere Zuwachsraten). Bei der Zwischenernte im Oktober ergab sich ein um mindestens 1,3-facher höherer Ertrag am Standort Zagging. Bei der Haupternte im November zeigte sich ein höherer Ertrag von über 100 Prozent zwischen den Standorten. Abbildung 20 zeigt die unterschiedlichen Bodenbedingungen innerhalb der Varianten Örettich Sorte Compass, Meliorationsrettich, Örettich Sorte Final und Gelbsenf (v.l.n.r.). Ersichtlich sind die grünen Streifen im Vordergrund, in der Mitte und im Hintergrund. Die zwei helleren Streifen in der Mitte zeigten ein vergilben der Blätter von außen nach innen und eine deutlich geringere Wuchshöhe, korreliert mit geringeren Frischmasseerträgen.



Abb. 20: Unterschiedliche Bodenbedingungen innerhalb der Zwischenfruchtvarianten Ölrettich und Gelbsenf, am 25. 10. 2012, Standort Untermallebarn

Eine signifikant niedrigere Biomasseproduktion ergaben die Leguminosen Zwischenfruchtarten an beiden Standorten. Wobei die Kanadische Platterbse im November die höchste Trockenmasseproduktion mit 976 bzw. 1634 kg/ha unter den Leguminosen erreichte.

Unter den Retticharten zeigte die Sorte Compass geringere Zuwachsraten als die Standardsorte Final. Der Meliorationsrettich wies eine bessere Trockentoleranz auf und konnte im Oktober sogar einen Mehrertrag von knapp 300 kg TM/ha erreichen. Unter feuchteren Bedingungen ergab sich bei Meliorationsrettich mit nur 3051 kg TM/ha eine signifikant niedrigere Produktionsrate.

Die höchste Trockenmasseproduktion erzielte die Variante Gelbsenf im Oktober mit 6644 kg/ha am Standort Zagging. Dieser höhere Ertrag von ca. 80 % führte, durch die Verholzung der Pflanze Ende Oktober, Anfang November, zu einem Minderertrag im November von ca. 20 % gegenüber der Standardvariante Ölrettich. Unter trockenen Bedingungen erreichte Gelbsenf ähnliche Erträge als der Standard (Ölrettich, Final).

Gleichartig wie beim Bedeckungsgrad zeigte der Braunsenf zwischen den Ernteterminen im Oktober und November einen deutlichen Anstieg. Dieser ist unter trockeneren Bodenbedingungen deutlicher ausgeprägt.

Kresse zeigte im Grunde ähnliche Reaktionen wie Braunsenf und erzielte im November am Standort Untermallebarn unter den Reinsaatvarianten den höchsten Trockenmasseertrag mit 1930 kg/ha.

Buchweizen und Öllein ergaben zum Teil signifikant niedrigere Erträge in der oberirdischen Pflanzenmasse. Diese waren beim Buchweizen unter trockenen Bedingungen am geringsten.

Tab. 17: Korrigierte Trockenmasseerträge in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten und Trockenmassegehalt in %, Standort Untermallebarn (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979)

Parzelle	Untermallebarn			
	08. 10. 2012		06. 11. 2012	
	TM kg/ha	TM %	TM kg/ha	TM %
Ø Örettich, Final (Std)	1319	12,22	1768	11,33
Brache				
Sommerwicke				
Linse	271 ***	20,32	366 **	21,25
Platterbse	369 **	13,87	774 *	15,51
Kanadische Platterbse	571 *	15,15	976	14,84
Alexandrin Klee				
Örettich, Cassius	1310	14,68	1888	14,10
Örettich, Compass	1217	13,77	1576	11,44
Meliorationsrettich	1613	12,50	1678	10,70
Gelbsenf	1324	14,97	1855	15,26
Braunsenf	834	9,96	1754	10,86
Kresse	333 **	11,16	1930	13,75
Buchweizen	941	16,06	1418	22,23
Öllein	168 ***	15,48	933 *	18,66
Mischung 1	1011	10,79	2106	10,56
Mischung 2	1188	14,64	1632	16,60
Mischung 3	1103	12,10	2309	14,67
Mischung 4	1315	11,84	1328	12,40

Tab. 18: Korrigierte Trockenmasseerträge in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten und Trockenmassegehalt in %, Standort Zagging (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979)

Parzelle	Zagging			
	19. 10. 2012		12. 11. 2012	
	TM kg/ha	TM %	TM kg/ha	TM %
Ø Ölrettich, Final (Std)	3693	6,04	4635	6,65
Brache				
Sommerwicke				
Linse	1349 ***	14,13	1600 ***	13,19
Platterbse	1653 ***	11,71	973 ***	12,98
Kanadische Platterbse	1524 ***	12,17	1634 ***	11,90
Alexandrin Klee	510 ***	12,80	373 ***	11,64
Ölrettich, Cassius	3798	6,60	4776	7,12
Ölrettich, Compass	3396	6,48	4059	6,96
Meliorationsrettich	3221	5,69	3051 *	5,97
Gelbsenf	6644 ***	7,98	3881	9,06
Braunsenf	3057	5,94	4205	6,78
Kresse	3822	6,99	4872	8,75
Buchweizen	2586 *	14,77	1833 ***	17,63
Öllein	1659 ***	12,14	2656 **	13,82
Mischung 1	2842	6,86	4693	8,23
Mischung 2	2657 *	7,71	3997	9,51
Mischung 3	3754	7,50	4223	8,10
Mischung 4	3646	8,04	5017	7,83

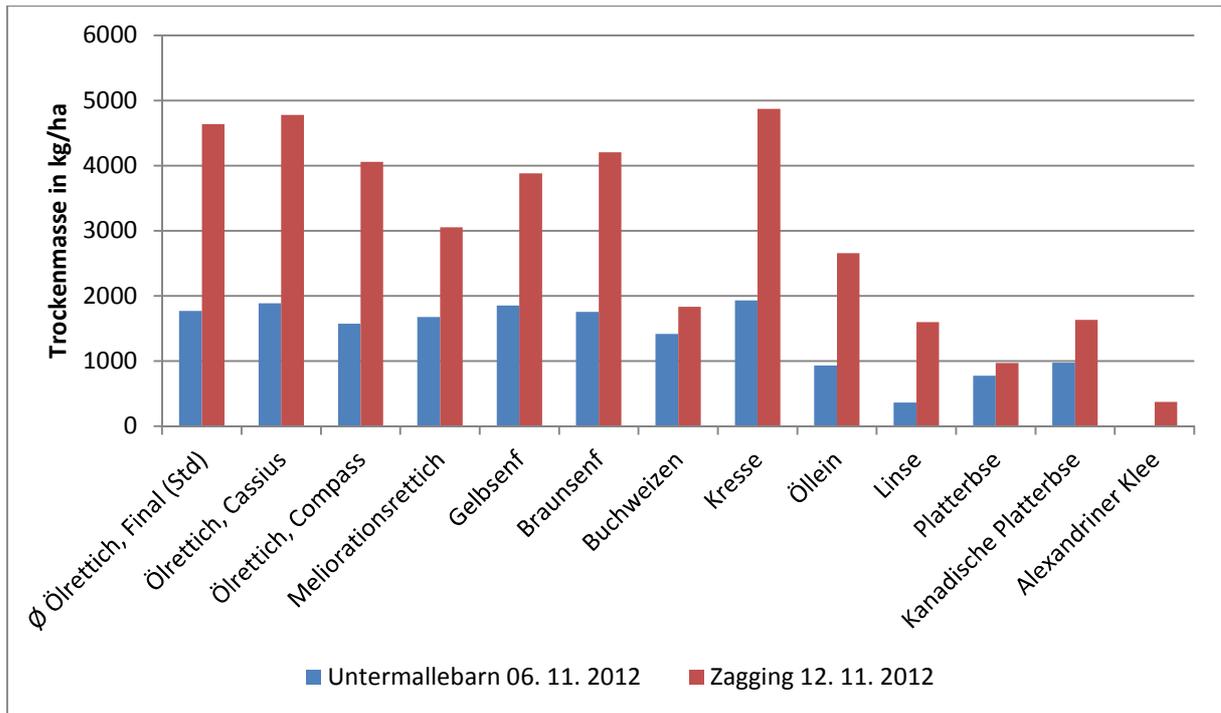


Abb. 21: Trockenmasseerträge in kg/ha ausgewählter Zwischenfruchtarten zwischen den Standorten Untermallebarn und Zagging im November 2012

4.7 Ausgewählte Nährstoffgehalte der Pflanzen

Der Stickstoffgehalt in der oberirdischen Pflanzenmasse zeigte erwartungsgemäß eine starke Abhängigkeit von der produzierten Biomasse. Folgende Tabellen zeigen die Stickstoffwerte sowie das C/N – Verhältnis. In den Tabellen 26 und 27 sind die Kohlenstoff- und Schwefelgehalte aufgelistet.

Signifikant niedrigere Gehaltswerte wurden am Standort Zagging an den Leguminosenvarianten und den Varianten Buchweizen und Öllein gemessen. Ähnliche Ergebnisse waren am Standort Untermallebarn zu verzeichnen, jedoch unterschieden sich diese nicht immer signifikant voneinander.

Die höchsten N-Gehalte wurden im Oktober im Gelbsenf gemessen. Wie auch bei der Trockenmassebildung, nimmt der Stickstoffgehalt am Standort Zagging bis November signifikant ab.

Das C/N – Verhältnis war am Standort Untermallebarn deutlich höher. Zwischen den Terminen Oktober und November 2012 gab es nur geringfügige Unterschiede. Das weiteste C/N – Verhältnis wurde über beide Standorte in der Variante Buchweizen gemessen. Das Engste wurde am Standort Untermallebarn mit 7,4 bzw. 8,93 in der Variante Platterbse ermittelt. Am Standort Zagging wies im Oktober der Gelbsenf mit 5,17 bzw. im November der Braunsenf mit 6,76 das engste C/N – Verhältnis auf.

Tab. 19: Korrigierte Stickstoffgehalte (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979) der oberirdischen Biomasse in kg/ha und korrigierte C/N – Verhältnisse aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Untermallebarn

Parzelle	Stickstoff		C/N - Verhältnis	
	08. 10. 2012	06. 11. 2012	08. 10. 2012	06. 11. 2012
Ø Ölrettich, Final (Std)	46,17	49,10	12,58	14,97
Brache				
Sommerwicke				
Linse	13,56 *	11,63 *	8,87	10,65
Platterbse	19,17 *	29,48	7,40	8,93
Kanadische Platterbse	27,15	34,62	7,66	9,32
Alexandrin Klee				
Ölrettich, Cassius	44,40	52,70	13,06	14,04
Ölrettich, Compass	40,00	42,18	13,73	14,62
Meliorationsrettich	45,48	42,26	14,50	14,90
Gelbsenf	51,07	50,01	11,96	17,22
Braunsenf	39,55	64,22	8,92	11,93
Kresse	13,07 *	63,25	11,32	13,98
Buchweizen	13,54 *	25,34	20,73	23,40
Öllein	7,89 **	28,80	10,69	14,58
Mischung 1	40,76	81,25	11,05	11,37
Mischung 2	29,99	49,79	15,39	13,99
Mischung 3	53,99	72,42	8,78	13,78
Mischung 4	41,03	42,19	13,28	14,14

Tab. 20: Korrigierte Stickstoffgehalte (nach LOCHOW und SCHUSTER, 1979) der oberirdischen Biomasse in kg/ha und korrigierte C/N – Verhältnisse aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Zagging

Parzelle	Stickstoff		C/N - Verhältnis	
	20. 10. 2012	12. 11. 2012	20. 10. 2012	12. 11. 2012
Ø Ölrettich, Final (Std)	188,88	219,17	7,77	8,37
Brache				
Sommerwicke				
Linse	71,97 ***	100,23 ***	8,49	9,01
Platterbse	103,26 ***	72,65 ***	7,31	7,48
Kanadische Platterbse	85,80 ***	103,03 ***	7,80	7,86
Alexandrin Klee	32,39 ***	41,05 ***	8,10	8,87
Ölrettich, Cassius	180,99	209,81	8,37	9,04
Ölrettich, Compass	181,55	211,03	7,09	7,51
Meliorationsrettich	175,93	162,73 *	6,56	7,09
Gelbsenf	409,49 ***	156,71 *	5,17	9,53
Braunsenf	204,99	247,39	5,43	6,76
Kresse	198,91	189,26	7,73	10,42
Buchweizen	78,15 ***	41,06 ***	14,98	16,53
Öllein	70,33 ***	100,04 ***	10,35	11,60
Mischung 1	147,15	205,03	7,28	9,30
Mischung 2	135,10 *	143,83 **	7,50	9,89
Mischung 3	194,98	169,83	7,81	9,26
Mischung 4	133,80 *	209,55	9,75	9,10

4.8 Wurzelentwicklung

Detaillierte Messwerte über die Wurzeldurchmesser, Wurzelmassen- und Wurzellängendichte sind im Anhang, in den Tabellen 28 und 29 aufgelistet.

4.8.1 Wurzeldurchmesser

Abbildung 22 zeigt die mittleren Wurzeldurchmesser der Zwischenfrüchte in der Bodentiefe 0 – 15 cm. Bei ausgewählten Zwischenfruchtarten sind auch die Wurzeldurchmesser der Tiefe 15 – 30 cm angeführt. Der Durchmesser bezieht sich auf den Mittelwert der gesamten gescannten Länge. Wurzelstücke mit über 2,5 mm Durchmesser konnten nicht gescannt werden.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich der Wurzeldurchmesser weder zwischen den Standorten, noch zwischen den Bodentiefen unterscheidet. Ein Großteil der Zwischenfruchtvarianten lag im Bereich der Standardvariante Ölrettich, bei ca. 0,45 mm. Einen dickeren Wurzeldurchmesser wiesen die Leguminosen auf. Einzig die Kanadische Platterbse zeigte bei trockenen Bodenverhältnissen einen geringeren Wurzeldurchmesser in der unteren Bodentiefe. Buchweizen erreichte unter trockeneren Bedingungen eine dickere Wurzel.

Da Wurzelteile der Variante Buchweizen, am Standort Zagging und den Varianten Kresse und Öllein, am Standort Untermallebarn einerseits händisch vermessen und andererseits die gesamte Wurzel gescannt wurde, kann dies zu unterschiedlichen Durchmessern, der Varianten Kresse und Buchweizen, führen.

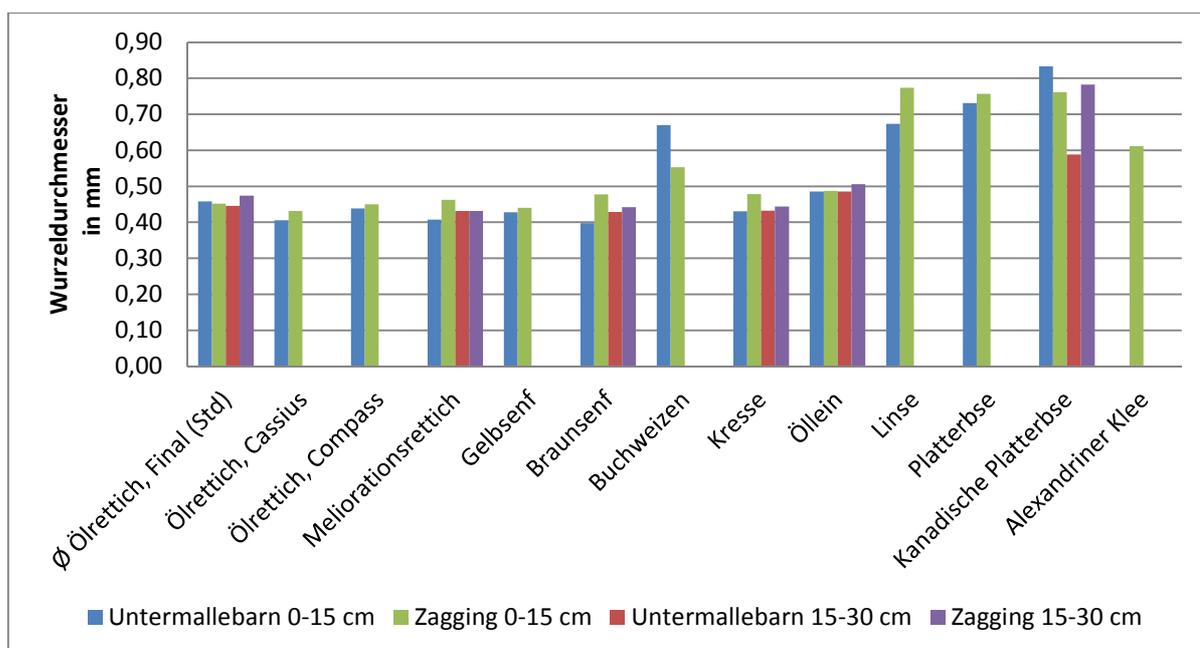


Abb. 22: Durchschnittlicher Wurzelradius in mm ausgewählter Zwischenfruchtarten in den Bodentiefen 0 – 15 cm und 15 – 30 cm

Die Wurzelstücke mit einem Durchmesser von über 2,5 mm wurden händisch vermessen und in Tabelle 21 angeführt. Die dickste Pfahlwurzel sowohl im Bereich des mittleren Durchmessers, sowie des maximalen Durchmessers erreichte der Meliorationsrettich mit 11,3 bzw. 14 mm. Kresse und Öllein zeigten unter trockenen Bedingungen eine kräftigere Pfahlwurzel mit einem maximalen Durchmesser von 3,1 bzw. 5 mm. Buchweizen erreichte nur bei feuchteren Bedingungen eine dickere Wurzel mit einem maximalen Durchmesser von 3,5 mm.

Tab. 21: Mittlere Wurzelradien und maximale Wurzelradien in mm, der Wurzelstücke über 2,5 mm, durch Messung mittels Schublehre bestimmt

Parzelle	Untermallebarn		Zagging	
	MW [mm]	MAX [mm]	MW [mm]	MAX [mm]
Ø Ölrettich, Final (Std)	5,26	9,20	5,50	11,48
Ölrettich, Cassius	2,33	3,10	4,69	12,00
Ölrettich, Compass	3,93	7,80	4,97	11,50
Meliorationsrettich	6,65	11,30	5,57	14,00
Gelbsenf	2,13	4,40	3,06	5,40
Braunsenf	5,91	9,10	3,16	7,80
Buchweizen			1,81	3,50
Kresse	2,48	3,10		
Öllein	3,21	5,00		

4.8.2 Wurzelmasseendichte

Abbildung 23 zeigt die Wurzelmasseendichte von den zwei Standorten über die Bodentiefen 0 bis 15 cm und 15 bis 30 cm. Die Wurzelmasse war im Durchwurzelungsbereich zwischen 0 bis 15 cm, bis auf wenige Ausnahmen, unter trockenen Bedingungen am Standort Untermallebarn höher. Dabei erreichte Braunsenf eine auffällig hohe Wurzelmasseendichte mit $1,16 \text{ mg/cm}^3$. Hinsichtlich unterschiedlicher Bodenbedingungen ergaben Linse, Meliorationsrettich und Öllein keine gravierenden Abweichungen.

Im unteren Durchwurzelungsbereich zwischen 15 und 30 cm Bodentiefe war die Wurzelmasse bei den ausgewählten Zwischenfruchtvarianten nahezu konstant, jedoch bei weitem geringer als im oberen Durchwurzelungsbereich.

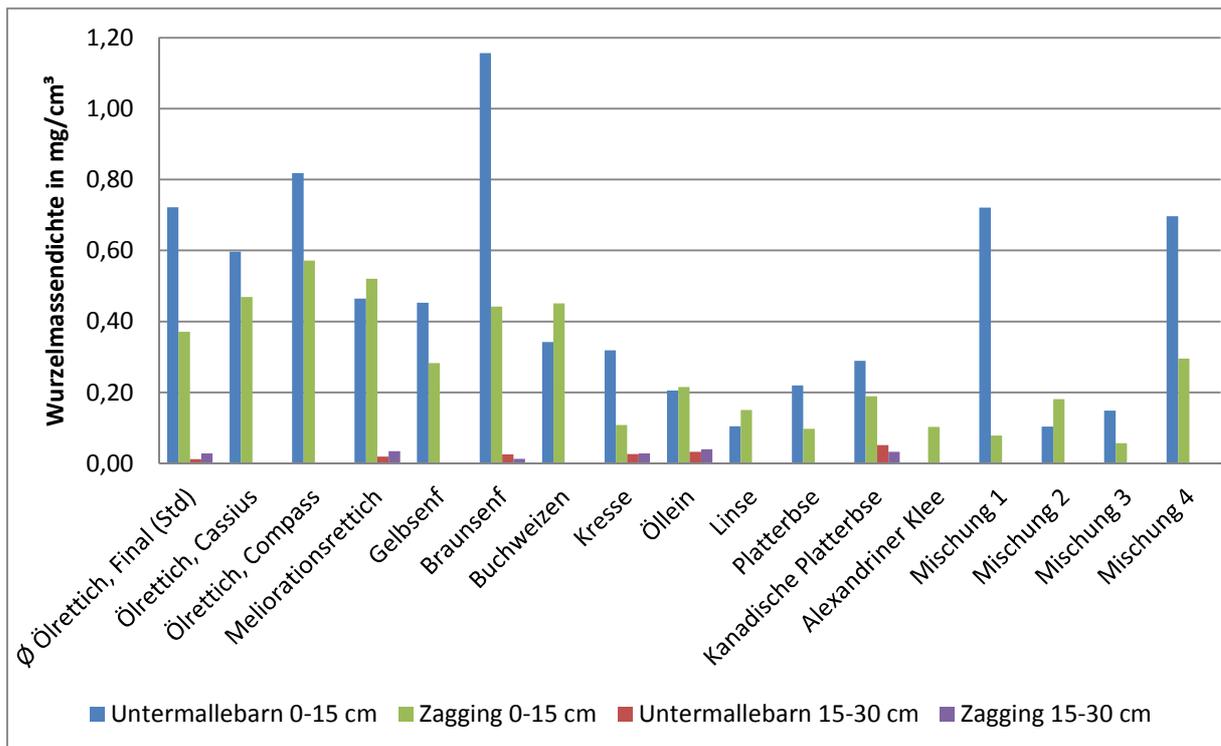


Abb. 23: Wurzelmasseendichte in mg/cm^3 der Standorte Untermallebarn und Zagging

4.8.3 Wurzellängendichte

Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen die Wurzellängendichte in cm je cm^3 der unterschiedlichen Zwischenfruchtkulturen. Die blauen Querbalken zeigen den Bereich der Standardabweichung im Durchwurzelungsbereich zwischen 0 und 15 cm der Standardvariante Ölrettich Sorte Final. Gleiches zeigen die roten Querbalken für den Durchwurzelungsbereich zwischen 15 und 30 cm.

Ersichtlich ist, dass die Wurzellängendichte der angeführten Zwischenfruchtarten mit zunehmender Bodentiefe abnahm. Zwischenfruchtvarianten der Familie Fabaceae ergaben sowohl im oberen, als auch im unteren Durchwurzelungsbereich eine deutlich geringere Wurzellängendichte.

Auffällig waren am trockenen Standort auch die hohen Werte bei den Ölretticharten der Sorte Cassius und Compass. Meliorationsrettich bildete eine Pfahlwurzel und setzt die Feinwurzeln erst in tieferen Bereichen an. Daher zeigte sich im oberen Bereich eine deutlich geringere Wurzellängendichte. Im unteren Bereich hingegen war die Wurzellängendichte bedeutend höher.

Gelbsenf bildete im Vergleich zur oberirdischen Wuchshöhe und Trockenmassebildung eine geringere Wurzellänge aus. Längere Wurzeln wurden hingegen beim Braunsenf gemessen. Buchweizen wies unter trockenen Bedingungen die geringste Wurzellängendichte unter den Reinsaatvarianten auf.

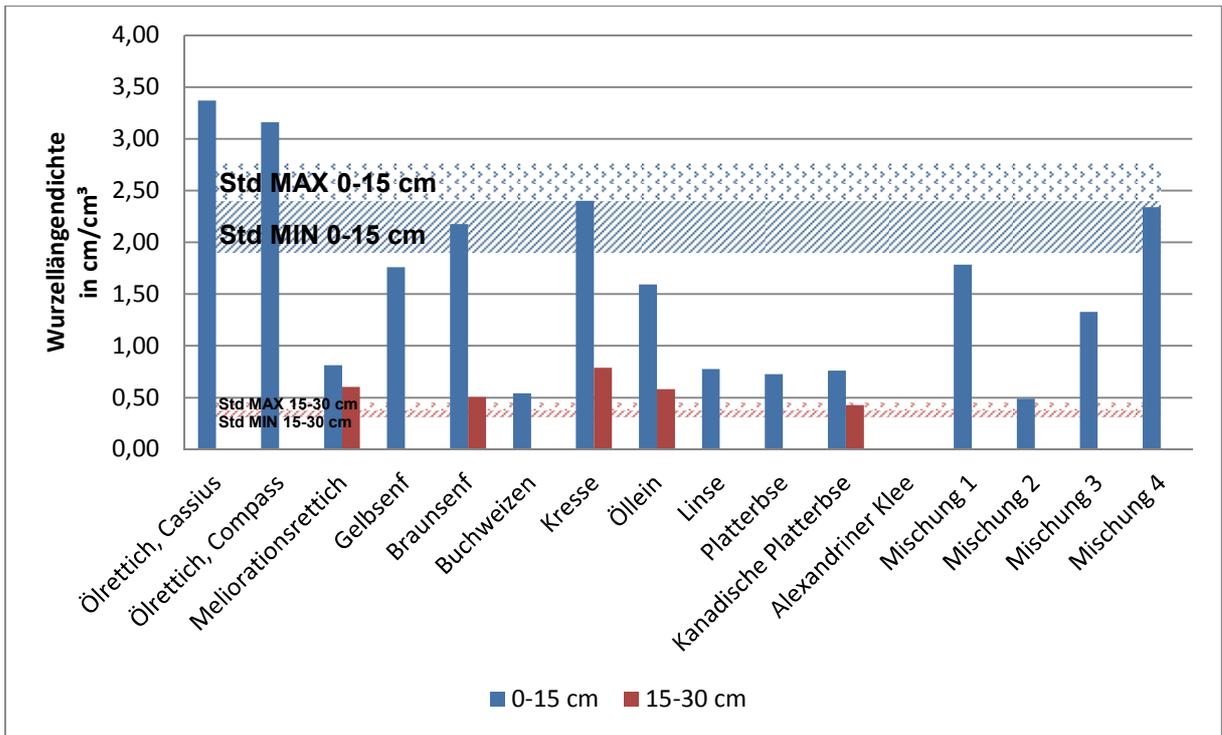


Abb. 24: Wurzellängendichte in cm/cm³ am Standort Untermallebarn, 2012

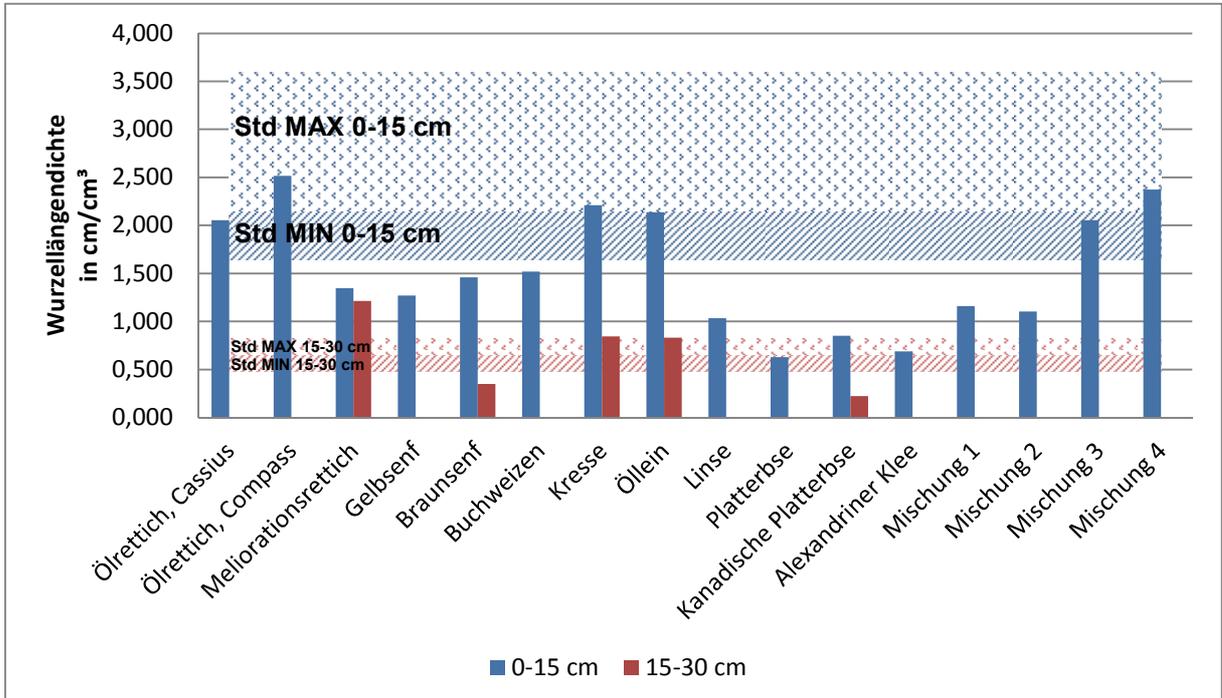


Abb. 25: Wurzellängendichte in cm/cm³ am Standort Zagging, 2012

5 Diskussion

Die Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus als Begrünungsmaßnahme liegt Großteils in der Etablierung bzw. Verbesserung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Die Zwischenfrucht trägt auf vielen Ackerflächen zum Erhalt bzw. zur Erhöhung des C_{org} – Gehaltes im Boden bei.

Erst seit wenigen Jahren wird dem zielorientierten Zwischenfruchtanbau eine bedeutende phytosanitäre Wirkung zugesprochen. Voraussetzung dafür ist eine abwechslungsreiche Frucht- und Zwischenfruchtfolge, damit den Schaderregern möglichst wenige Wirtspflanzen zur Verfügung stehen. Die Bekämpfung der Rübennematoden (*Heterodera schachtii*) mit nematodenresistenten Ölrettichsorten ist ein Beispiel und trägt zum Erfolg für einen ertragssicheren Zuckerrübenbau bei. Für eine fruchtfolge-sanierende Wirkung ist nach BACHTHALER (1979) ein Gründüngungsertrag von mindestens 15 bis 20 dt/ha Trockenmasse erforderlich.

RENIUS et al. (1985) sowie LIEBHARD und BODNER (2005) verweisen speziell in Trockengebieten auf das Einmulchen der aufgewachsenen Zwischenfruchtbiomasse. Dadurch werden die Niederschläge im Spätherbst für die nachfolgende Frucht gespart. FREYER (2003) weist auf die ungünstige Auswirkung bei der Folgefrucht hin, wenn die Zwischenfruchtauswahl und Bearbeitungsmaßnahmen nicht an den Standort angepasst werden.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, den Einfluss der Zwischenfruchtpflanzenbestände bei verschiedenen Fruchtarten auf ausgewählte Bodenparameter zu bewerten sowie die zeitliche Bodenbedeckung zu ermitteln. Der im Sommer 2012 angelegte Feldversuch an den Standorte Untermallebarn (Weinviertel) und Zagging (Mostviertel) diente als Grundlage für die Datenerfassung. Aufgrund der unterschiedlichen Witterungs- und Bodenbedingungen auf den zwei Standorten mussten die Ergebnisse getrennt beurteilt werden.

5.1 Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf ausgewählte Bodenkennzahlen

Die Transpiration des aufwachsenden Zwischenfruchtbestandes sowie die Evaporation der Bodenoberfläche sind für die Bodenwasserbilanz bedeutend.

BODNER et al. (2011b) weist auf den Einfluss der Niederschlagsmenge, speziell in der späteren Vegetationszeit bei weitgehender Bodenbedeckung der Zwischenfrucht hin. Ab Oktober (teils ab September) sind meist die potentielle Verdunstung und die Niederschlagsmenge etwa auf gleicher Höhe und ergeben dadurch die hohe Wassereffizienz der Gründecke.

FREYER (2003) glaubt, dass für einen geschlossenen Zwischenfruchtbestand nach einer Etablierung von 50 Tagen ein Wasserverbrauch von 150 – 200 mm benötigt wird. Im Versuchsjahr 2012 fielen in den Monaten August (Zwischenfruchtanbau) bis November ca. 140 mm Niederschlag. In den Monaten davor gab es hingegen am Standort Zugging höhere Niederschläge, welche von der kalkhaltigen Feuchtschwarzerde gespeichert wurden. BAEUMER (1992) verweist auf die Notwendigkeit einer ausreichenden Niederschlagsmenge für den Zwischenfruchtanbau in den Monaten August und September. Bei geringen Niederschlägen während dieser Zeitspanne kommt es zu einer Verminderung des Bodenwasservorrates.

Eine Verbesserung der Wasserinfiltration und ein hohes Wasserhaltevermögen wird durch den erzielten Humusaufbau mit der Gründüngung erreicht (ÜBLEIS et al., 2010). Nach SCHULTE (1980) liegt nach einer Ölrettich-Zwischenfrucht ein trockenerer Boden vor. Leguminosen hingegen entziehen dem Boden weniger Wasser.

Durch Mulchen bzw. Einkürzen des aufwachsenden Zwischenfruchtbestandes wird der Wasserverbrauch vermindert und gleichzeitig wird das Wurzelwachstum gefördert. Bei der Einkürzung soll eine Schnitthöhe von mindestens 10 cm eingehalten werden (HAMPL, 1996).

Am niederschlagsreicheren Standort Zagging waren innerhalb der Zwischenfruchtvarianten nur geringfügige Unterschiede im Bodenwassergehalt zu erkennen. Die „unbestellte Brachevariante“ wies einen mittleren Wassergehalt auf, welcher durch den Unkrautbewuchs und den höheren Evaporationsverlust bedingt wurde. Im Bereich zwischen 30 und 60 cm Bodentiefe wies Alexandrinerklee den höchsten Bodenwassergehalt, gefolgt von Öllein, Buchweizen, Linse und Brache auf.

Am Standort Zagging waren die Bodenwassergehalte generell um ca. 5 bis 10 Volumsprozent höher, welche auf die hohe Speicherfunktion des Bodens, den etwas höheren Niederschlagsmengen und den geringeren Bodenwasserentzug der Vorfrucht Zwiebel zurückzuführen sind.

Der am Standort Untermallebarn gegen der Erwartung hohe Weizenertrag im Jahr 2012 führte zu einer Ausschöpfung des Bodenwasservorrates, welcher auch durch die nachfolgend geringen Niederschlagsmengen nicht kompensiert werden konnten. Zusätzlich wurde durch die vorherrschend höheren Temperaturen und durch die Stoppelbearbeitung mittels Grubber die Wasserverdunstung gefördert. Durch die Strohmatte – durch das vorangegangene Pflügen verursacht – wurde in einer Tiefe von ca. 15 cm die Wasserbewegung unterbunden. Das Anwalzen vor der Saat quer zur Anbaurichtung führte aufgrund der Aufhängung der Walzenteile zu einer streifenförmigen Rückverfestigung des Bodens und in weiterer Folge zu einer mehr oder weniger ausgeprägten streifenartigen Trockenheitserscheinung. RENIUS et al. (1985) zeigte die unzureichende Bodenwasserführung durch falsche Einarbeitung der Strohreste auf. Der Bodenschluss wird bei matratzenförmiger Stroheinbringung nachfolgend auch nach mehrmaligen Walzen nicht erreicht. Im Oberboden lag unter der Brachevariante der höchste Bodenwassergehalt vor, gefolgt von den Leguminosen und den Fruchtarten Kresse, Buchweizen und Öllein. Eine ähnliche Reihenfolge ergab sich auch in einer Bodentiefe von 30 – 60 cm.

Bei Betrachtung des von der Vorfrucht hinterlassenen Nitratgehaltes bei Sätermin der Zwischenfrucht, befand sich nach Zwiebel (Standort Zagging) mit ca. 400 kg NO_3/ha (0 – 90 cm) ein deutlich höherer Nitratgehalt im Boden. Diese Nitratmengen wurden zum Teil von der Zwischenfrucht aufgenommen. Dadurch lag in der oberirdischen Biomasse am Standort Zagging ein deutlich höherer Stickstoffgehalt vor.

Wie das Ergebnis zeigt, wirkt der Zwischenfruchtanbau einer Nitratverlagerung und Nitratauswaschung entgegen. Bei hohen Rest- N_{min} Gehaltswerten soll auf reine Leguminosenbestände verzichtet werden (RINNOFNER et al., 2006 und ÜBLEIS et al., 2010).

CHERR et al. (2006) verweist auf eine langsame Stickstofffreisetzung bei der Zersetzung der organischen Rückstände. Diese werden von der nachfolgenden Kultur besser aufgenommen als anorganische Stickstoffquellen. Durch die höhere Stickstoffaufnahme und gleichzeitig verminderte N-Auswaschung wird ein höherer Ertrag in der Folgefrucht erzielt.

Folgende Abbildungen 26 bis 29 zeigen die Wassergehalte im Boden in Relativprozent zur „Standardvariante Ölrettich der Sorte Final“ im Beprobungszeitraum von 11. 09. 2012 bis 12. 03. 2013. Am Standort Untermallebarn ergaben sowohl im Oberboden (0 – 30 cm) als auch in einer Tiefe von 30 – 60 cm die Variante Brache, alle Leguminosenvarianten sowie die Varianten Kresse, Buchweizen und Öllein einen niedrigeren Wasserverbrauch gegenüber den anderen Varianten (Ölrettich, Meliorationsrettich, Gelbsenf und Braunsenf).

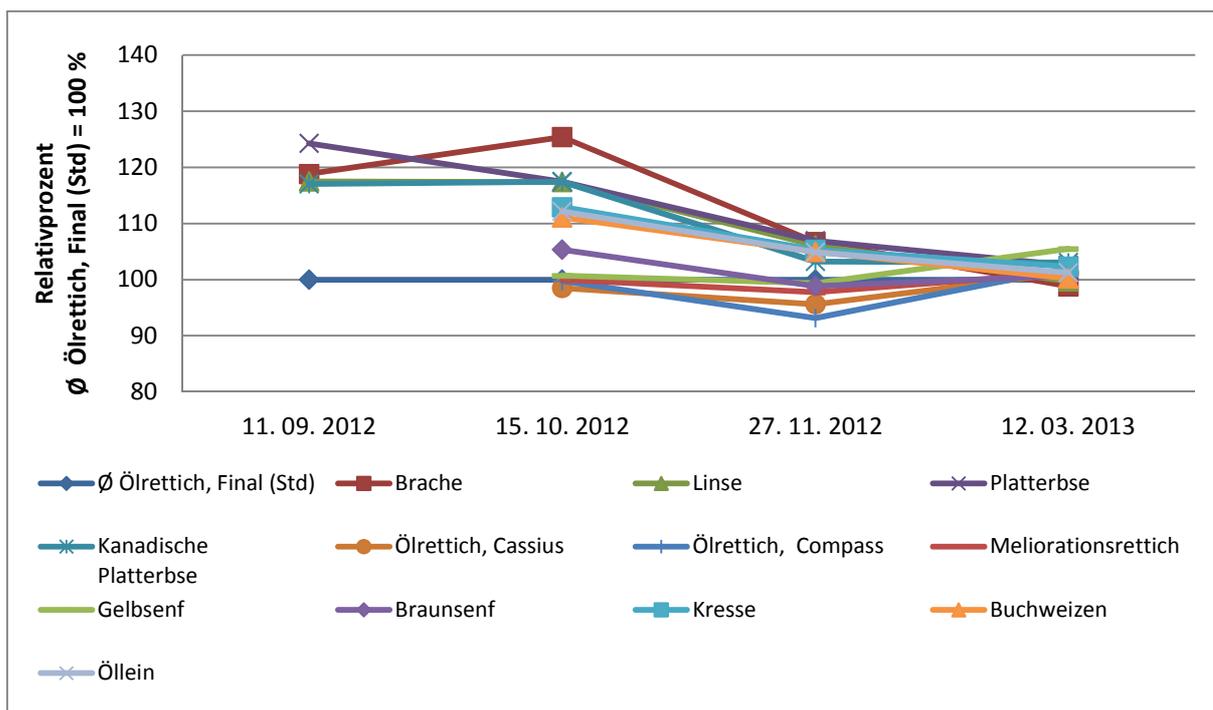


Abb. 26: Abweichung des Bodenwassergehaltes (0 – 30 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 12. 03. 2013 am Standort Untermallebarn, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 %

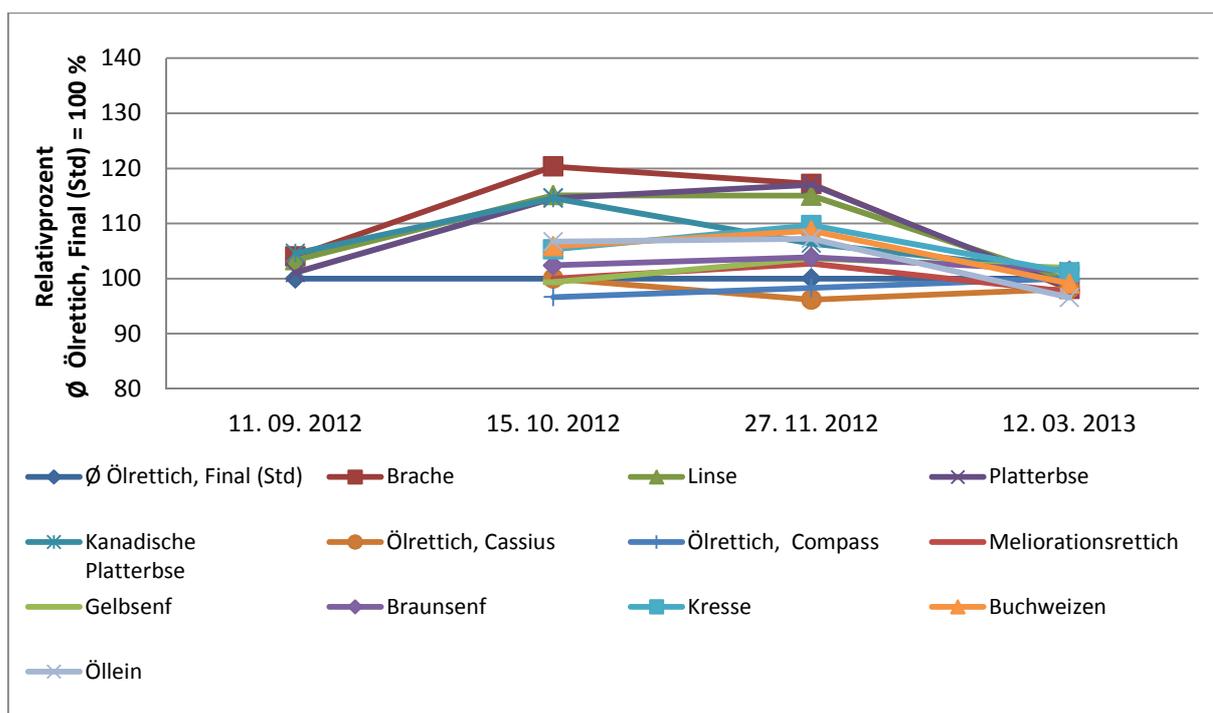


Abb. 27: Abweichung des Bodenwassergehaltes (30 – 60 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 12. 03. 2013 am Standort Untermallebarn, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 %

Abbildungen 28 und 29 zeigen die Änderung des Bodenwassergehaltes am Standort Zagging über den Versuchszeitraum, ausgewählter Zwischenfruchtarten, in Relativprozent zur „Standardvariante Ölrettich, Final“.

Zu Beginn zeigten die Brache und die Leguminosen im Oberboden einen höheren Wassergehalt. Zwischen 19. 10. 2012 und 11. 03. 2013 konnten nur geringfügige Abweichungen ± 5 Prozent zwischen den einzelnen Varianten gemessen werden. Öllein erreichte am 26. 11. 2012 die größte Abweichung, mit knapp minus 10 Prozent.

In der Bodentiefe von 30 – 60 cm wurden über den Versuchszeitraum zum Großteil nur geringfügige Abweichungen im Bodenwassergehalt von ± 5 Prozent gemessen. Die Brachparzelle und die Zwischenfruchtvariante Linse erzielten bis Mitte Oktober 2012 einen um bis zu 10 % höheren Wassergehalt. Mitte Oktober erreichten die Varianten Öllein, Buchweizen und Alexandriner Klee eine Abweichung von über + 10 % zum Standard. Alexandrinerklee wies Mitte November 2012 in einer Bodentiefe von 30 – 60 cm den höchsten Bodenwassergehalt auf.

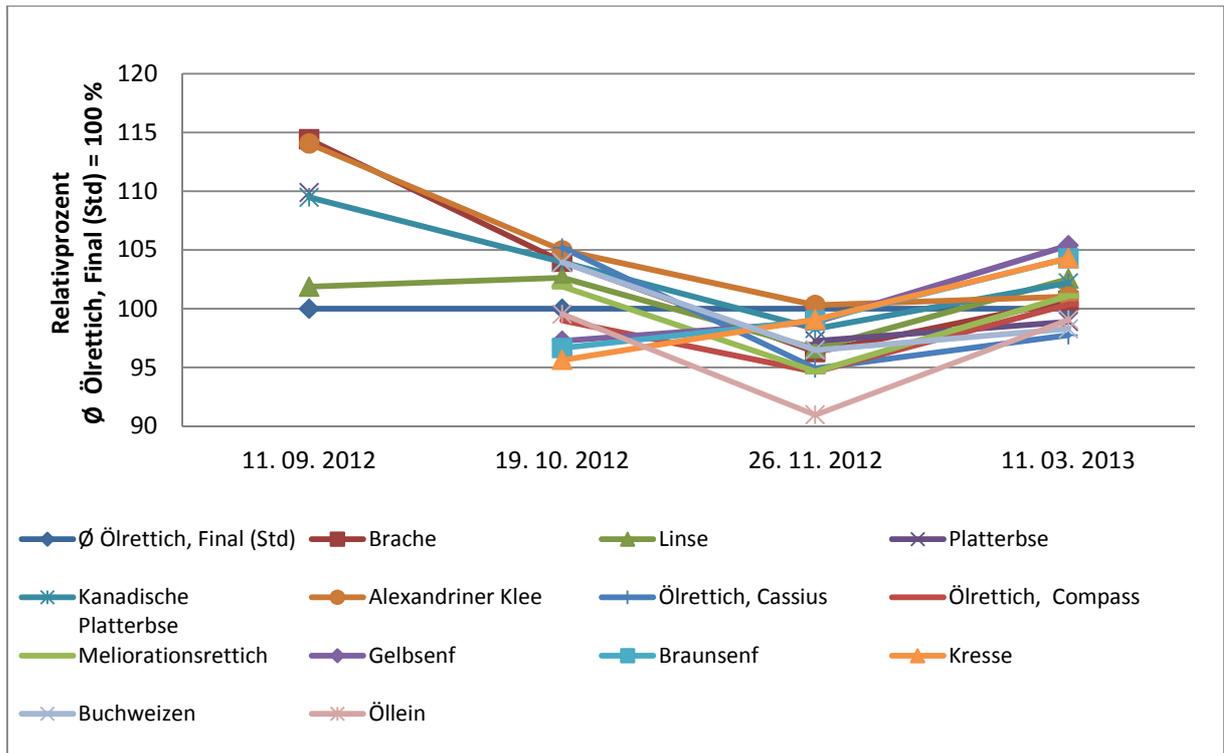


Abb. 28: Abweichung des Bodenwassergehaltes (0 – 30 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 11. 03. 2013 am Standort Zagging, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 %

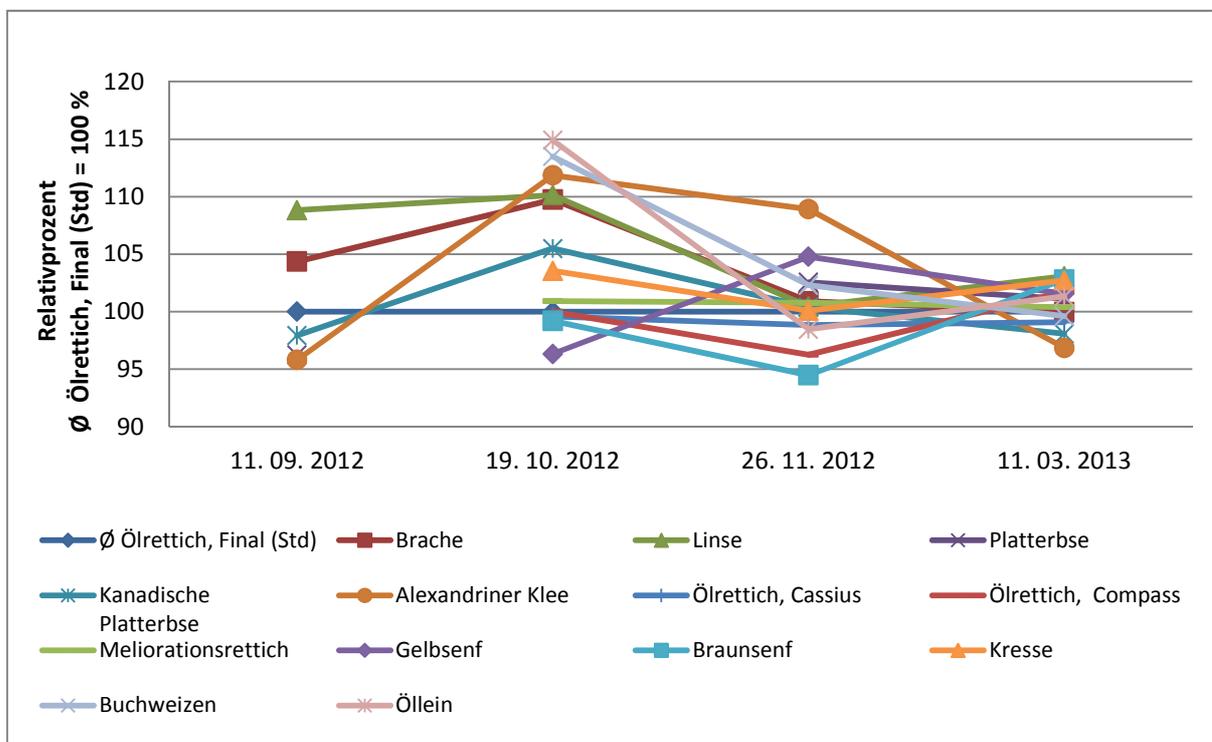


Abb. 29: Abweichung des Bodenwassergehaltes (30 – 60 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 11. 03. 2013 am Standort Zagging, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 %

5.2 Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf den Feldaufgang und auf den Zeitpunkt der Bodenbedeckung

Zur Erhöhung der Leistung eines Ackerbodens, ist eine Verkürzung der Teilbrache erforderlich. Diese Feststellung ist nur gültig, solange der Bodenwasservorrat ausreichend hoch ist und günstige Fruchtfolgeglieder ausgewählt werden (FREYER, 2003). Durch einen an die Fruchtfolge angepassten Zwischenfruchtanbau kann die Brachephase zwischen zwei Hauptfruchtarten wesentlich verkürzt werden. Deshalb sind ein schneller Feldaufgang und eine rasche Bodenbedeckung erforderlich.

Die Bewertung des Feldaufganges (Abbildung 30) erfolgte nach der Keimfähigkeitsbestimmung und der ermittelten Pflanzen/m². Da sich Fehler bei der Berechnung multiplizieren, kam es bezüglich Feldaufgang zu Werten über 100 Prozent. Dies trat speziell beim Saatgut der Platterbsen auf, welches eine ungenauere Ausbringung von großkörnigem Saatgut mittels Drillmaschine zeigt.

Generell war der Feldaufgang am Standort Untermallebarn geringer. Am Standort Untermallebarn wurde bis auf Braunsenf, Kresse und Alexandrinerklee ein Feldaufgang von über 60 % ermittelt. Am Standort Zagging ergab sich ein Feldaufgang von über 80 %. Nur Braunsenf, Sommerwicke und Alexandrinerklee lagen darunter. Der niedrigere Feldaufgang am Standort Untermallebarn ist auf die geringen Niederschläge im Spätfrühling und Sommer 2012 zurückzuführen. Ein optimaler Feldaufgang wird nur erreicht, wenn die Boden- und Klimaansprüche der Zwischenfruchtart gedeckt werden.

HAMPL (1996) und GUJER (1999) wiesen darauf hin, dass Alexandrinerklee und Sommerwicke für ihre Etablierung einen hohen Wasserbedarf aufweisen. Aufgrund der trockenen Witterungsbedingungen kam es am Standort Untermallebarn bei Alexandrinerklee nur zu einem Feldaufgang von 16 %.

Die Aussaat der Sommerwicke muss bis Ende Juli erfolgen (FREYER et al., 2005). Der spätere Anbau, die trockenen Bodenverhältnisse und die Welkeerscheinungen mit sklerotischen Symptomen führten auf beiden Standorten nach einem verminderten Aufgang mit unter 65 % zu einer Verkümmerng der Sommerwicke.

Auch BRUST et al. (2011) erhielten bei der Saatwicke und Alexandrinerklee als Gemenge eine langsamere Entwicklung im Gegensatz zum schnell wachsenden Gelbsenf.

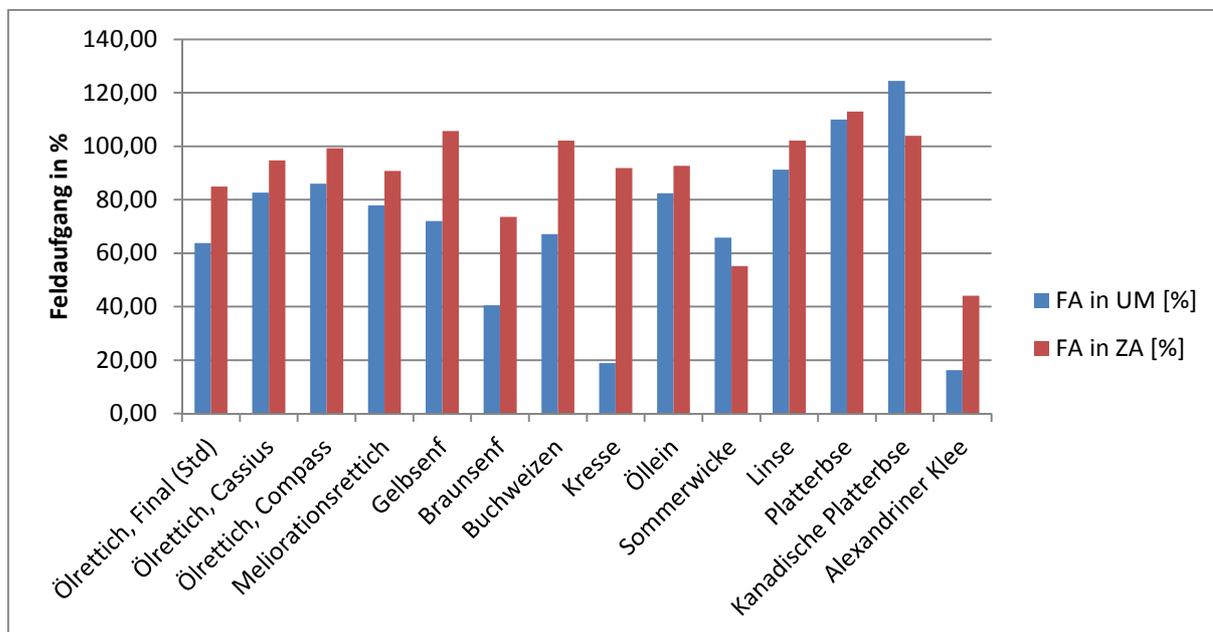


Abb. 30: Mittlerer Feldaufgang (FA) in %, an den Standorten Untermallebarn (UM) und Zagging (ZA), 18. 09. 2012

Zur Nutzung der positiven Ergebnisse der Zwischenfruchtbegrünung ist auf eine rasche und ausreichende Bodenbedeckung zu achten. Dadurch wird einerseits die Erosion vermindert und andererseits das Beikrautauflkommen unterdrückt (LIEBHARD und BODNER, 2005).

Abbildungen 31 und 32 zeigen die Zunahme des Bodenbedeckungsgrades im zeitlichen Verlauf. Die rasche Bedeckung des Bodens durch **Ölrettich**, **Gelbsenf** und **Buchweizen** wird bereits in den Versuchsergebnissen von RENIUS und LÜTKE-ENTRUP (1985) erwähnt. Dies zeigen auch die Ergebnisse im Kapitel 4.4.

BRUST et al. (2011) erzielten bei Gelbsenf acht Wochen nach der Aussaat einen Bodenbedeckungsgrad von 64 %. Ein Gemenge mit den Komponenten **Alexandrinerklee** und **Saatwicke** erreichte zum selben Termin nur 40 % Bodenbedeckung. Ergebnisse bei Alexandrinerklee dieser Art wurden auch am Standort Zagging erzielt. SALMERON et al. (2010) erzielten in einem zweijährigem Versuch ebenfalls ein langsames Wachstum bei Wicke im ersten Jahr.

Im zweiten Versuchsjahr führten die kalten Temperaturen im Winter zum Absterben der Saatwicke und somit zu einem Totalausfall. Die Sommerwicke erreichte im angeführten Versuch (Untermallebarn und Zaggung) eine Bodenbedeckung von Maximum 5,6 % und wies – wie bereits oben erwähnt – während der Versuchszeit einen kümmerlichen Wuchs auf.

Der geringe Feldaufgang von **Kresse** mit knapp 20 % und **Braunsenf** mit ca. 40 % führte am Standort Untermallebarn zu einem bis Mitte September geringeren Bedeckungsgrad des Bodens. Die OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2012) weist auf eine rasche Jugendentwicklung und hohe Bodenbedeckung bei Braunsenf als Zwischenfrucht hin. Das BUNDESSORTENAMT (2012) erhielt jedoch bei der Braunsensorte Vitasso nur eine niedrige bis mittelmäßige Massenbildung zu Beginn der Vegetationsperiode. Diese Sorteneigenschaft zeigt Vitasso in den ersten 20 bis 30 Tagen nach der Aussaat. Ein sprunghafter Anstieg der oberirdischen Biomasse bei der Variante Braunsenf führt ca. ab dem 35. Tag zu einem ähnlichen Bedeckungsgrad als bei den Retticharten und der Variante Gelbsenf.

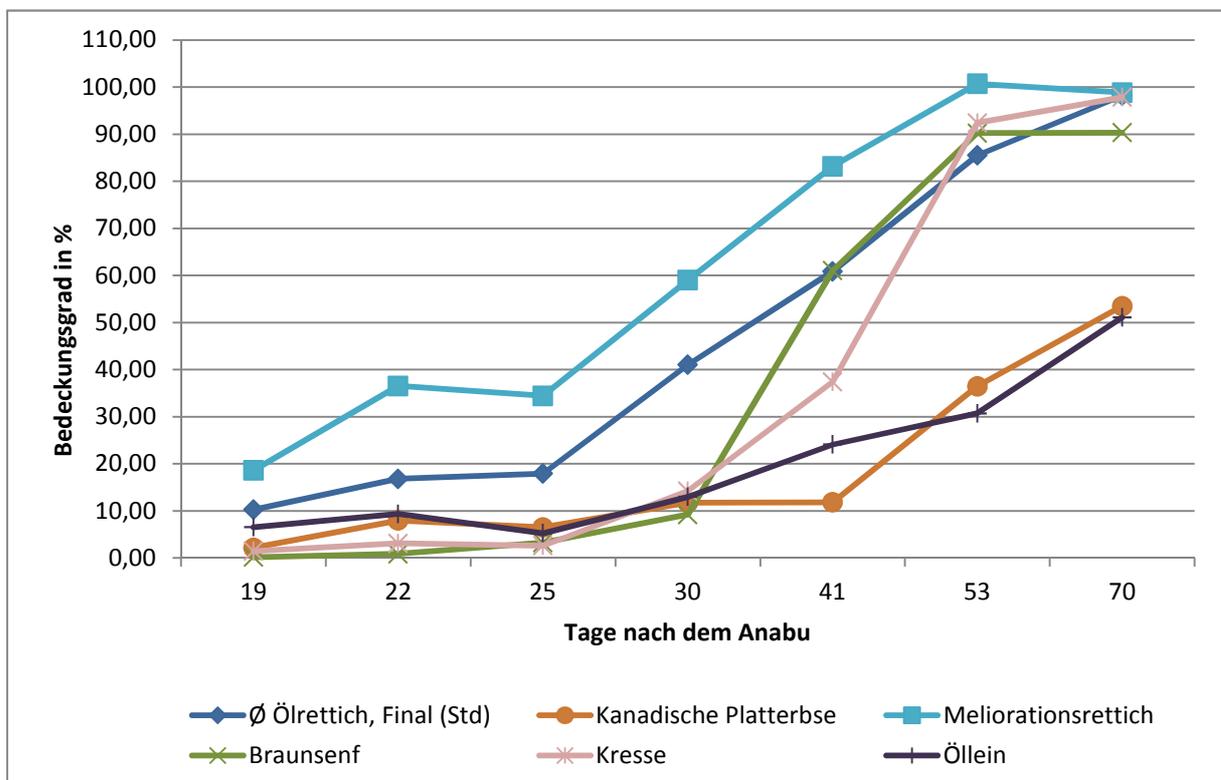


Abb. 31: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % ausgewählter Zwischenfruchtarten, Standort Untermallebarn, 16. 08. – 25. 10. 2012

Der etwas langsamere Wachstums- und Entwicklungsverlauf des **Ölleins** führte nur bei höheren Niederschlagsmengen zu einer ganzflächigen Bedeckung. DIEPENBROCK et al. (1999) erwähnt die bodenwasserschonende Bodenbearbeitung, welche vor dem Leinanbau erfolgen soll. Außerdem muss die Bodenbearbeitung auf eine gute Unkrautbekämpfung ausgelegt werden, damit sich der langsam wachsende Lein etablieren kann. Die langsame Jugendentwicklung und geringe Konkurrenzskraft wurde auch von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft erwähnt (TLL, 2008).

Die späteste Bodenbedeckung wurde in der Gruppe der Leguminosen erzielt. LIEBHARD und BODNER (2005) erwähnen einen etwas späteren Aufgang bei den **Platterbsen**. Gegen Trockenheit im Keim- und Jungpflanzenstadium sind Platterbsen toleranter und daher gut für trockenere Standorte geeignet. Die Platterbsen – speziell die Kanadische Platterbse – erreichten am Standort Untermallebarn den höchsten Bodenbedeckungsgrad unter den Leguminosen, gefolgt von Linse und Alexandrinerklee.

Bei etwas feuchteren Bedingungen am Standort Zagging ergab die Zwischenfruchtvariante **Linse** den höchsten Bedeckungsgrad unter den Leguminosen. An diesem Standort erreichte die Kanadische Platterbse im Herbst zwischendurch höhere Bedeckungswerte als Linse, fiel jedoch zurück und erreichte mit 85 % ihr Maximum.

Die Mischungsvarianten zeigten aufgrund der übermäßigen Etablierung des Gelbsenfes – Beimengung von 0,5 kg Gelbsenf/ha als Stützfrucht – ähnliche Bedeckungsgrade als die Gelbsenfvariante. Lediglich die Mischung 3 (Alexandrinerklee und Kresse) zeigte unter trockeneren Bedingungen eine geringere Bodenbedeckung.

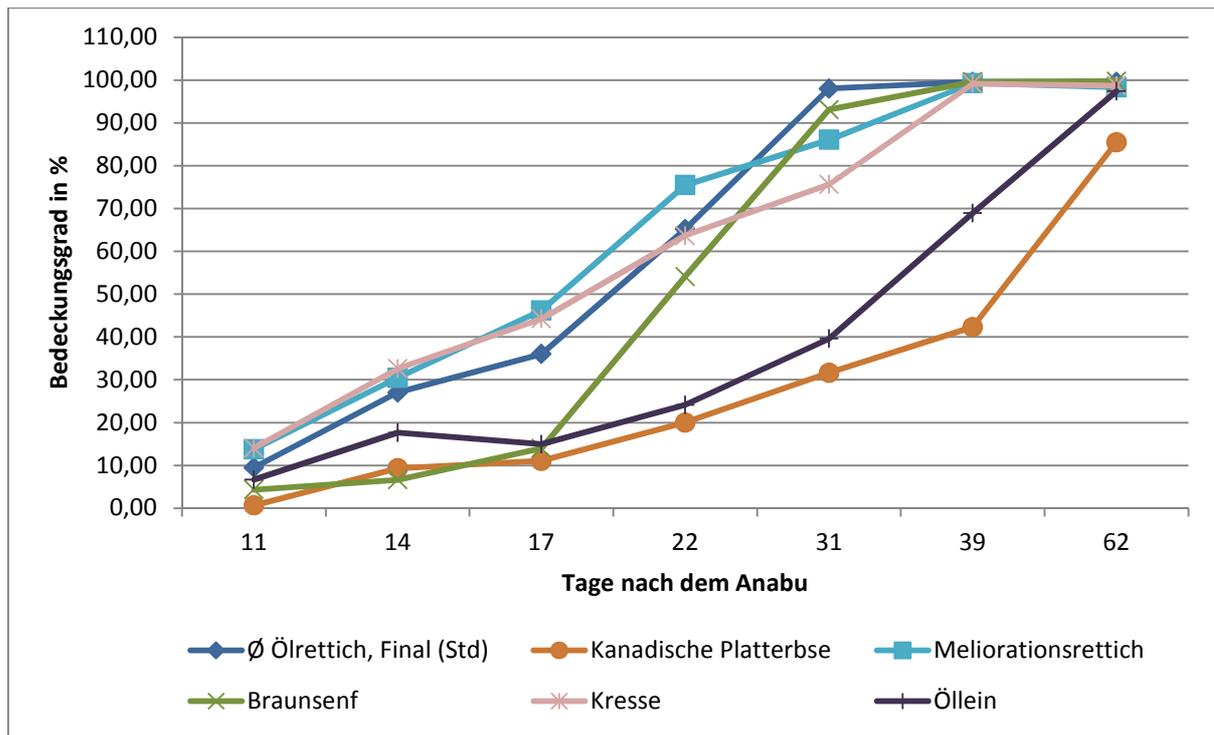


Abb. 32: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % ausgewählter Zwischenfruchtarten, Standort Zagging, 24. 08. – 25. 10. 2012

BÄUMER (1992) weist darauf hin, dass die oberirdische Zuwachsrates beinahe linear mit der Zunahme des Blattflächenindex ansteigt. Ab einer gegenseitigen Beschattung der Blätter nimmt die Zuwachsrates nur noch geringfügiger zu.

Ähnliche Ergebnisse bei Bedeckungsgrad und Blattflächenindex wurden an den angeführten Versuchsstandorten erzielt. Abbildung 33 zeigt den Bedeckungsgrad in % aller Zwischenfruchtvarianten beider Standorte im Vergleich zum Blattflächenindex. Vergleicht man die einzelnen Werte miteinander, so zeigt sich eine Zunahme des Bedeckungsgrades, der mit der Zunahme des LAI korreliert. Diese Zunahme tritt bis zu einem LAI von 4 beinahe linear auf.

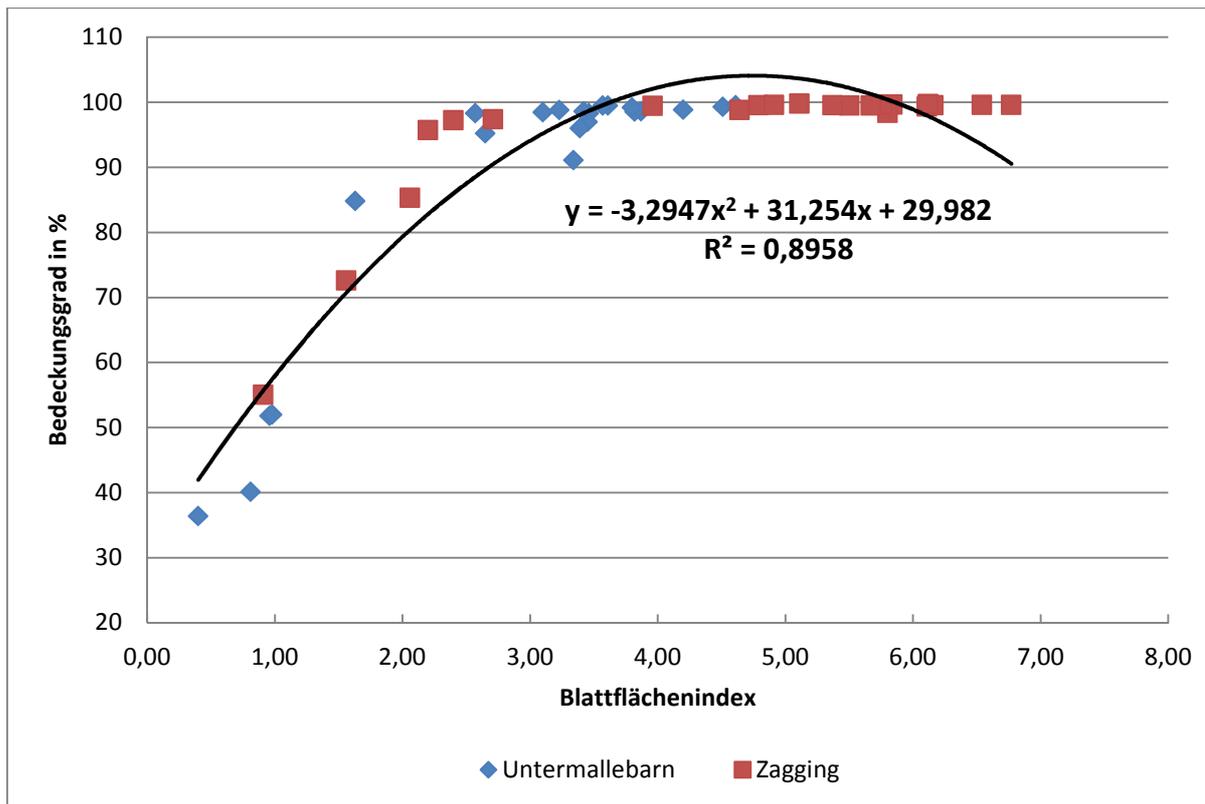


Abb. 33: Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad und dem Blattflächenindex der Zwischenfruchtvarianten beider Standorte am 25. 10. 2012. Die Polynome Regressionsgerade 2. Grades liefert ein Bestimmtheitsmaß von 89,58 %.

5.3 Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf die oberirdische Biomassebildung

Nur bei einer ausreichenden Biomassebildung durch die Zwischenfrucht sind die Voraussetzungen für eine optimale Bodenbedeckung gegeben. Generell sind jedoch die Standortgegebenheiten – Bodenart und Witterungsbedingungen – entscheidend für die oberirdische Biomassebildung.

LENZI et al. (2009) erhielten in einem zweijährigen Zwischenfruchtversuch aufgrund geringerer Niederschläge und geringere Bodenstickstoff- und Bodenphosphorgehalte eine Reduktion in der Biomasseproduktion von 47 %. Im angeführten Feldversuch 2012 wurden am Standort Untermallebarn aufgrund der äußerst trockenen Boden- und Witterungsbedingungen durchschnittlich – über alle Varianten und Erntetermine gemittelt – 2000 kg/ha weniger an oberirdischer Pflanzentrockenmasse gebildet als am niederschlagsreicheren Standort Zagging. Dies entspricht im Oktober einem durchschnittlichen Minderertrag von 70 % bei der Zwischenernte und ca. - 54 % bei der Haupternte im November 2012.

Die von der produzierten Biomasse gebundene Stickstoffmenge dient als Nährstoffquelle und steht der Folgefrucht zur Verfügung. FIGL-WOLFSBERGER (1997) und BODNER (2001) verweisen auf die Bedeutung des C/N-Verhältnisses der gebildeten Zwischenfruchtbiomasse. Leguminosen weisen ein engeres C/N-Verhältnis auf, werden daher schneller abgebaut und stehen der Folgekultur rascher zur Verfügung. Ein weiteres C/N-Verhältnis, welches bei *Brassicaceae* vorliegt, führt zu einer Immobilisierung des Bodenstickstoffes und gibt diesen erst später in einer für die Pflanze verfügbaren Form ab.

BANGARWA et al. (2011) verwiesen auf deutlich unterschiedliche Biomasseerträge innerhalb der *Brassicaceae* Zwischenfruchtarten, zwischen den Bodenarten und über die Jahre. Dabei wurden oberirdische Trockenmassen zwischen 1350 kg/ha und 7300 kg/ha ermittelt. Im Feldversuch lagen die Zwischenfruchterträge der *Brassicaceae*, gemittelt über die Standorte, zwischen 333 kg/ha und 6644 kg/ha Trockenmasse.

Die LFL (2011) erreichte bei Ende August gesäten Ölrettichbeständen einen durchschnittlichen Trockenmasseaufwuchs von 2200 kg/ha. Bei einer Saat Anfang August wurde beinahe die doppelte Menge gemessen. Ähnliche Erträge zwischen 2500 und 3500 kg/ha erzielte auch DAPAAH und VYN (1998).

Die **Ölrettichsorten** zeigten konstante Trockenmasseerträge innerhalb der Standorte. Bei ausreichend feuchten Witterungsbedingungen und der folgenden raschen Entwicklung erzielten die höchsten Blatterträge die Sorte Cassius, gefolgt von der Sorte Final und Compass. Nur der Meliorationsrettich zeigte unter feuchteren Bodenverhältnissen eine signifikant geringere Pflanzenmasse.

Am trockeneren Standort Untermallebarn kam es zu einer langsameren Keim- und Jugendentwicklung. Durch den verzögerten Aufgang wurden geringere Pflanzenerträge gebildet – ähnlich einer späteren Saat. Meliorationsrettich erzielte im Oktober die höchste Trockenmassebildung. Dies ist auf die höhere Wurzelmenge in tieferen Bodenschichten und die dadurch entstehende bessere Toleranz gegenüber Trockenheitsbedingungen zurückzuführen. Die Zunahme bis in den November war jedoch relativ gering, sodass Meliorationsrettich eine geringere oberirdische Biomasse als die Ölrettichsorten Cassius und Final aufwiesen.

RENIUS et al. (1992) erhielten in ihrem Versuch mit 18 Zwischenfruchtvarianten die höchsten oberirdischen Pflanzenmassen unter anderem bei **Gelbsenf**. Die Feldversuche am Standort Zagging erbrachten bei der Ernte im Oktober mit über 6000 kg TM/ha die höchsten Grünmasseerträge bei Gelbsenf. Dies wurde zum einem durch den hohen Feldaufgang und zum anderen durch die enorme Wuchshöhe gewährleistet, welche wiederum auf die gute Bodenwasserversorgung zurückzuführen war. Der Verlust an oberirdischer Zuwachsmenge von knapp 3000 kg/ha bis Mitte November ist von mehreren Faktoren abhängig. Der vorzeitige Verlust von Blattmaterial durch die fortgeschrittene Entwicklung wird auch von der OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2011) erwähnt. Speziell tritt der Verlust der Blätter in den unteren Blattetagen durch altersbedingte Welkeerscheinungen und Abfall der Blätter auf. Der Stängel war beim Beprobungstermin am 12. November 2012 bereits vollständig verholzt und somit innen hohl. Diese Faktoren führten gemeinsam zu einer Minderung der oberirdischen Trockenmasse.

Für die Bestandesbildung der Zwischenfrucht Gelbsenf sind laut LIEBHARD und BODNER (2005) der Sätermin, die Witterungsbedingungen, und die Länge der Vegetationszeit entscheidend. KAIMBACHER (2007) erzielte bei Gelbsenf aufgrund der äußerst ungünstigen Witterungsbedingungen nur einen schwachen Pflanzenbestand von 1200 bzw. 1400 kg TM/ha. Diese Ergebnisse decken sich mit dem gebildeten Pflanzenmassen am trockeneren Standort Untermallebarn.

5300 bis 6100 kg TM/ha bei **Braunsenf** wurden von NORSWORTHY et al. (2007) ermittelt. MOTISI et al. (2009) berichten über Braunsenferträge von 2300 bis 3500 kg TM/ha. Letztere Ergebnisse decken sich beinahe mit den Erhebungen am Versuchsfeld Zagging. Auch der Braunsenf zeigt unter trockenen Witterungsbedingungen geringere Blattmassen. Die Menge hat sich zwischen den Beprobungsterminen Oktober und November mehr als verdoppelt. Dies war speziell am trockenen Standort auf die langsame Jugendentwicklung – eine Eigenschaft der Sorte Vitasso – und die Eigenschaft der besseren Nährstoff- und Wasseraufschließung durch das stark verzweigte Wurzelsystem (mehrfach durchgeführte Spatenproben) zurückzuführen. Die Sorte Vitasso zeigt somit eine spätere Biomassebildung.

Buchweizen ist eine raschwüchsige Pflanze die aber nur geringe Pflanzenmassen bildet. RENIUS und LÜTKE-ENTRUP (1985) gehen von einer Ertragserwartung zwischen 1000 und 2000 kg/ha Trockenmasse aus. Zusätzlich wird Buchweizen bevorzugt von Wild als Äsung verwendet. N'DAYEGAMIYE und TRAN (2001) ermittelten hingegen 2100 bis 3700 kg TM/ha. Die Erträge am Standort Untermallebarn decken sich mit den Ergebnissen von RENIUS und LÜTKE-ENTRUP (1985). Bei optimalen Bedingungen, wie am Standort Zagging wurden höhere Erträge Mitte Oktober ermittelt. Die deutliche Verminderung an Biomasse bis Mitte November war auf vereinzelt kühle Tage im Oktober und November zurückzuführen, welche ausreichten und ein Abfrieren der Kultur bereits Ende Oktober bewirkte.

Kresse zeigte am Standort Untermallebarn die höchste Zuwachsrate zwischen Oktober und November. Mit einer Zunahme von 333 kg auf 1930 kg TM/ha erreichte Kresse den höchsten Biomasseertrag am Standort Untermallebarn unter den Einzelvarianten. Die späte Entwicklung von Kresse war auf die kühlere Temperatur zurückzuführen. MUNRO und SMALL (1997) sowie ÖZLEM et al. (2010) berichten über eine signifikant höhere Biomasseproduktion bei Temperaturen unter 20 °C.

BANGARWA et al. (2011) erreichten in ihren Versuch einen Trockenmasseertrag von 1350 kg/ha bei Kresse. NORSWORTHY et al. (2007) erzielten sogar 2530 kg/ha. Höhere Erträge von 2400 bis 3500 kg/ha, bei einer Vegetationsperiode von Maximum 62 Tagen, erreichten ÖZLEM et al. (2010).

LENZI et al. (2009) berichten über Frischmasseerträge von 10,16 t/ha bei **Lein**. BODNER et al. (2011a) erhielten eine oberirdische Biomasse von ca. 2000 kg TM/ha. Diese Ergebnisse deckten sich mit den angeführten Feldversuchen. Da der Lein eine selbstunverträgliche Pflanze ist und einen Anbauabstand von mindestens 6 Jahren benötigt, sind auch im Zwischenfruchtanbau abwechslungsreiche Fruchtarten erforderlich. Die Bodenbearbeitung zu Lein muss wassersparend und auf eine ausreichende Unkrautbekämpfung ausgerichtet werden (DIEPENBROCK et al., 1999).

Die Leguminosen **Platterbse** und **Linse**, sowie **Alexandrinerklee** am Standort Zaggung zeigten gegenüber dem Standard Ölrettich signifikant geringere Biomasseerträge. Die **Kanadische Platterbse** erreichte unter trockeneren Bedingungen einen höheren oberirdischen Biomasseertrag als die Platterbse. Die hohe Biomassebildung und die höhere Toleranz gegenüber Trockenheit bei Kanadischer Platterbse wurden auch von der OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2011) angeführt. Alexandrinerklee ergab nur eine spärliche Entwicklung mit nur 500 kg TM/ha. Diese Menge liegt bei weitem unter dem 5-jährigen Durchschnitt von 2100 kg TM/ha der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2011). Der niedrige Ertrag ist auf die geringere Keimfähigkeit von nur 76 % und den damit verbundenen niedrigeren Feldaufgang zurückzuführen.

Die **Mischungsvarianten** zeigten aufgrund der deutlichen Etablierung des zugesetzten Gelbsenfs (je Mischung 0,5 kg/ha Gelbsenf als Stützfrucht) eine ähnliche Tendenz in der Biomassebildung als Gelbsenf. Dies war speziell am trockenen Standort zu beobachten. Am feuchteren Standort ergab der Biomasseertrag im Gemenge eine mittlere Ertragshöhe (im Oktober geringer als Gelbsenf).

Vergleicht man die Wuchshöhe mit der gebildeten Biomasse (Abbildung 34 und 35), so liegt ein Zusammenhang zwischen der Pflanzenhöhe und der Trockenmassebildung vor. Buchweizen, Öllein und die Leguminosen zeigen eine geringere Wuchshöhe sowie geringere Biomasseerträge. Der positive Zusammenhang zwischen Wuchshöhe und Biomassebildung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wird auch von MAYER et al. (2005) und STAUDT (2009) erwähnt.

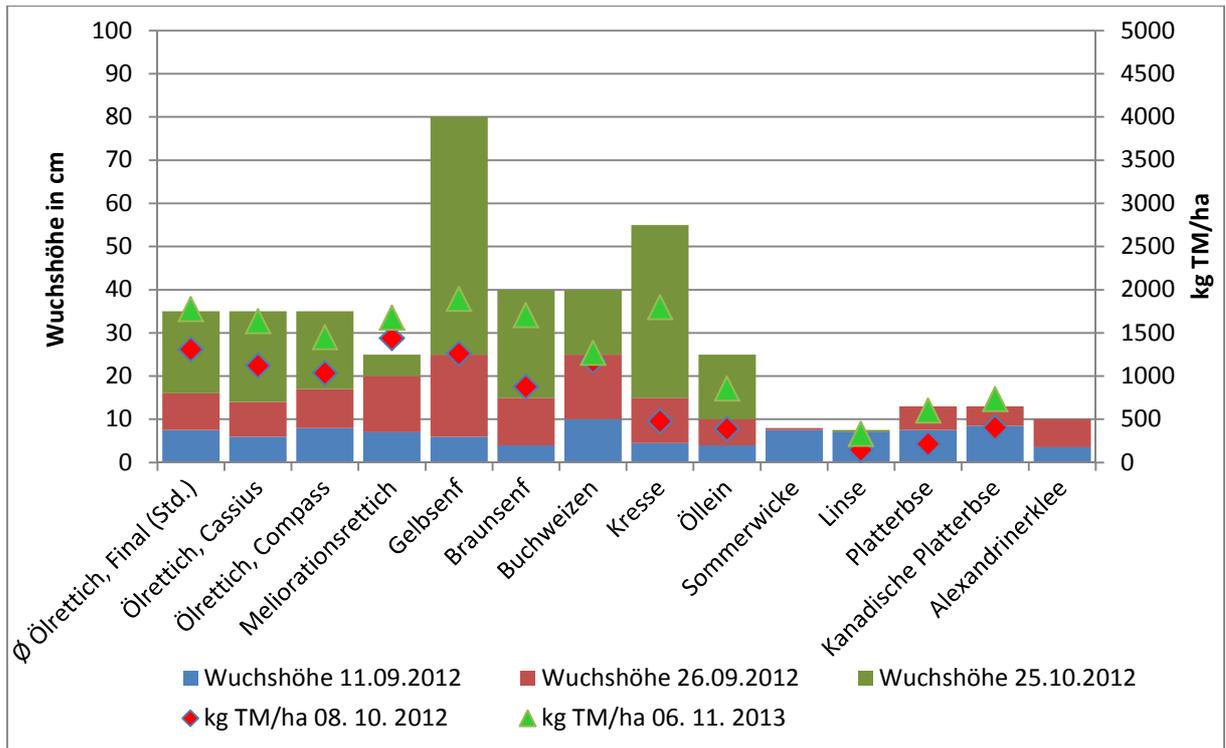


Abb. 34: Wuchshöhe der Zwischenfruchtvarianten in cm und gebildete oberirdische Trockenmasse in kg/ha zu unterschiedlichen Messterminen am Standort Untermallebarn

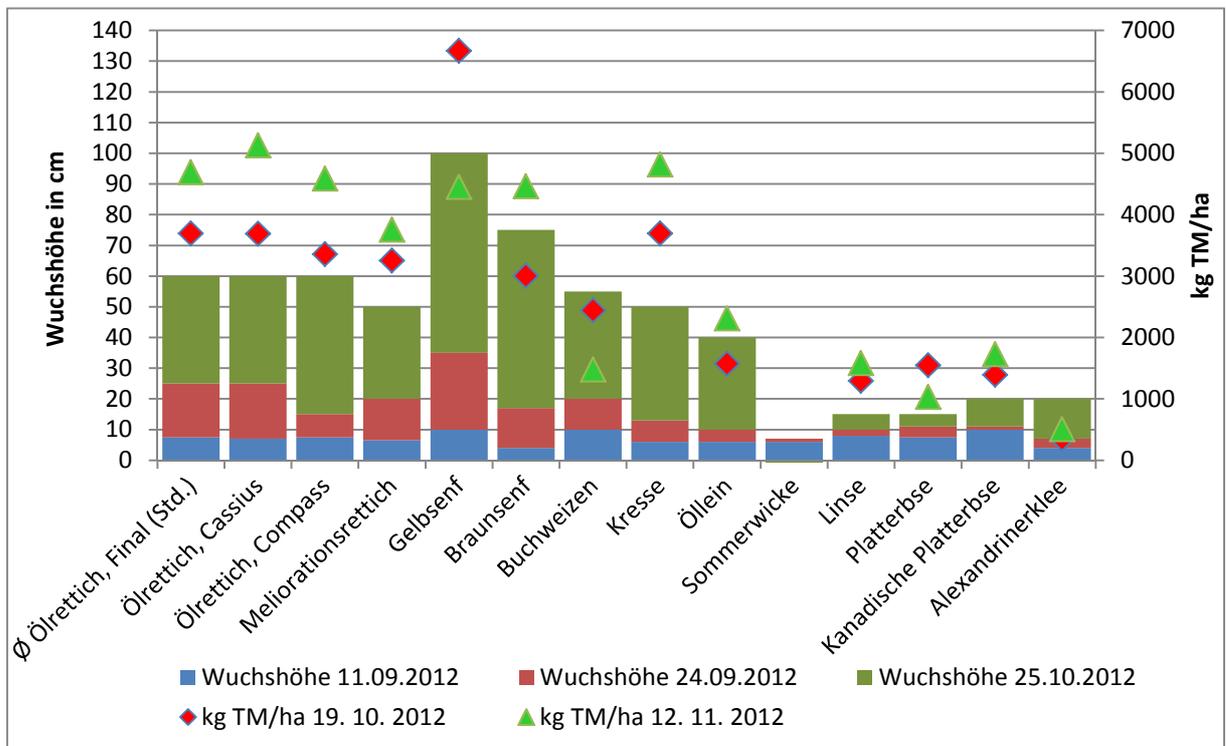


Abb. 35: Wuchshöhe der Zwischenfruchtvarianten in cm und gebildete oberirdische Trockenmasse in kg/ha zu unterschiedlichen Messterminen am Standort Zagging

5.4 Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten bei der Zwischenfrucht als Begrünungsmaßnahme auf die Wurzelentwicklung

Die Pflanzenwurzel ist für die Verankerung der Pflanze im Boden verantwortlich. Nährstoffe und Wasser werden aufgenommen und an die benötigten Stellen transportiert. Die größte Bedeutung der Pflanzenwurzel im Zwischenfruchtanbau liegt in der Versorgung der Bodenlebewesen mit wertvoller und lebensnotwendiger Nahrung. Durch die tiefe Durchwurzelung und die Pfahlwurzelbildung einiger Zwischenfruchtarten können verdichtete Böden gelockert werden. Nur zwischen einer aufrechten Interaktion zwischen Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen kann die natürliche Bodenfruchtbarkeit gewährleistet werden (HAMPL, 1996).

DIEPENBROCK et al. (1999) verweisen auf das Ziel einer hochwertigen Bodenkrume mit einem stabilen Krümelgefüge und ausreichend Hohlräume für Wasser und Luft sowie eine rege Lebendverbauung (mit Boden, Pflanzen- und Wurzelresten und aktiven Wurzeln). Eine gelenkte Fruchtfolge und integrierter Zwischenfruchtanbau entscheidet über die Menge und Art der am Feld verbleibenden organischen Stoffe, insbesondere einer hohen Durchwurzelung.

Eine genaue Beurteilung der Wurzelentwicklung kann derzeit nur durch ein sehr aufwändiges Wasch- und Scanverfahren erfolgen. Für ein repräsentatives Ergebnis müssen daher mehrere Wiederholungen durchgeführt werden, da die Entwicklung und Verteilung der Wurzeln von sehr vielen Faktoren abhängig ist. Dabei können insbesondere bei einer unsachgemäßen Auswaschung, aber auch durch falsche Lagerung Trockenmasseverluste von bis zu 40 % auftreten (VAN NOORDWIJK und FLORIS, 1979; AMATO und PARDO, 1994). Aufgrund der hohen Anzahl an Zwischenfruchtvarianten wurde im Oberboden jeweils nur eine Wiederholung je Variante beprobt und im Bereich zwischen 15 und 30 cm Tiefe nur 6 ausgewählte Zwischenfruchtarten ermittelt. Die Probenziehung erfolgte direkt über der Pflanze und innerhalb der Zwischenfruchtarten an phänotypisch ähnlichen Pflanzen.

Bezüglich **Wurzeldurchmesser** gab es, mit Ausnahme der Leguminosen und dem Buchweizen, nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten und den Standorten. Der durchschnittliche Wurzeldurchmesser von 0,4 bis 0,5 mm verminderte sich auch im unteren Bodenbereich von 15 bis 30 cm Bodentiefe nicht. Der Buchweizen erreicht einen Durchmesser von ca. 0,6 mm.

Die Leguminosen besitzen mit 0,6 bis über 0,8 mm die dicksten Wurzeln. BODNER et al. (2011a) berichten in ihrem Versuch über die Wurzeleigenschaften von Zwischenfrüchten auch über dickere Wurzeln bei Leguminosen.

Vergleicht man den **maximalen Durchmesser** der Wurzeln zueinander, so erreichte der Meliorationsrettich mit 11,3 mm unter trockenen Bedingungen bzw. 14 mm unter feuchten Bedingungen die dickste Pfahlwurzel. FELGENTREU (2012) verweist auf die starke Wurzeleistung des Meliorationsrettichs welche durch die Züchtung erreicht wurde. Durch die kräftige und tiefe Durchwurzelung werden schwere Bodenverdichtungen, sogar Pflugsohlen, beseitigt (FELGENTREU, 2012).

Die **Wurzelmasse** (kg TM/ha) unterscheidet sich deutlich zwischen den Fruchtarten und mit zunehmender Bodentiefe nimmt die Wurzelmasse ab. Nach GREGORY (2006) unterscheidet sich der Aufbau der Wurzel in Abhängigkeit von der Pflanzenart, Standorteigenschaften und der Wurzellänge der einzelnen Wurzeln. Bei Kräutern und Gräsern befinden sich zwischen 60 und 80 % der Wurzelmassen im oberen Bodenbereich von fünf Zentimeter.

Braunsenf erzielte unter trockenen Bodenbedingungen eine auffällig hohe Wurzelmasse mit über 1,1 mg/cm³. Dies ist auf die Ausbildung einer mittelstarken Pfahlwurzel von Braunsenf zurückzuführen. Die stärker ausgeprägte Pfahlwurzelbildung wird in der Artenbeschreibung von DIEPENBROCK et al. (1999) dargestellt und deckt sich mit den Ergebnissen in Kapitel 4.8. Die deutlich höhere Wurzelmassebildung von Braunsenf unter trockeneren Bedingungen ist auf die höhere Toleranz gegenüber Trockenheit zurückzuführen (ÖO-WASSERSCHUTZBERATUNG, 2012). Trotz der dickeren Einzelwurzeln bei Leguminosen fiel die Wurzelmasse gering aus. Dies bestätigen auch die Ergebnisse von BODNER et al. (2011a). Die hohen Wurzelmasse bei Lein, welche von den zuvor genannten Autoren ermittelt wurde, konnte in diesem Versuch nicht bestätigt werden.

Ähnlich wie bei der Wurzelmasse zeigen die Leguminosen in der **Wurzellängendichte** die niedrigsten Werte. Ein Grund für die schwache Wurzelentwicklung der Leguminosen ist die Spätsaatunverträglichkeit, die bereits von SCHULTE (1980) beschrieben wird. Die bessere Wurzelteilung bzw. die längere Wurzelbildung im Bodenbereich zwischen 15 und 30 cm der Varianten Meliorationsrettich und Kresse zeigt speziell unter trockenen Bedingungen eine höhere Wassernutzung und somit

höhere Erträge bei der oberirdischen Pflanzenmasse. Die laut OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2012) gegenüber Trockenheit tolerantere Kanadische Platterbse ergab im Vergleich zum Ölrettich (Sorte Final) auch eine höhere Durchwurzelung im unteren Bereich, sowohl bei trockenen Verhältnissen als auch bei feuchteren Bedingungen.

Abbildung 36 zeigt den Zusammenhang zwischen der gebildeten Wurzellänge und der Pflanzentrockenmasse. Die 4 Mischungsvarianten wurden in der Auswertung nicht miteinbezogen.

Je höher die oberirdische Pflanzenmasse, desto länger ist auch die Wurzellängendichte. Durch die durchschnittlich längeren Wurzeln und der geringer produzierten Pflanzenmasse am Standort Untermallebarn ergab sich eine steilere Steigung der Regressionsgerade bei trockeneren Bedingungen.

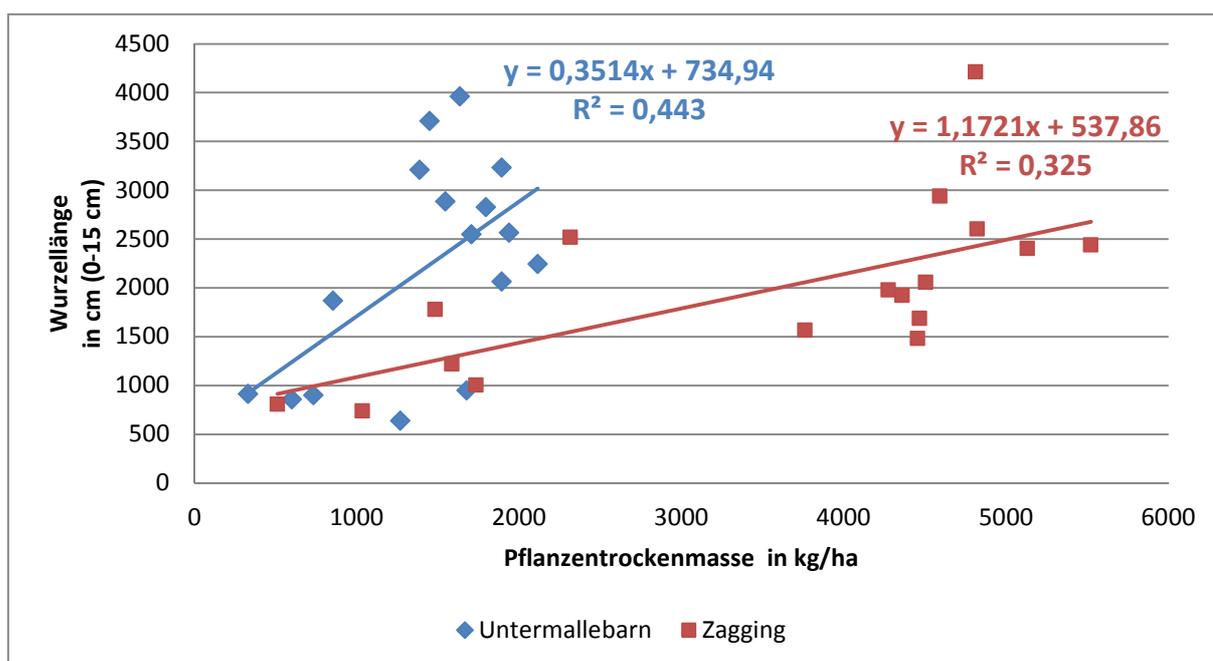


Abb. 36: Wurzellänge in cm im obersten Durchwurzelungsbereich von 0 – 15 cm Bodentiefe und gebildete oberirdische Pflanzentrockenmasse in kg/ha bei den Zwischenfruchtvarianten (außer Mischungen) am Standort Untermallebarn und Zagging, Ende November 2012. Die lineare Regressionsgerade ist ein Bestimmtheitsmaß von 44,3 % für den Standort Untermallebarn bzw. 32,5 % für den Standort Zagging.

Auch Abbildung 37 zeigt den Zusammenhang zwischen der oberirdischen und unterirdischen Biomassebildung. Die produzierte unterirdische Wurzelmassemenge war bei trockeneren Bodenbedingungen in Untermallebarn deutlich höher.

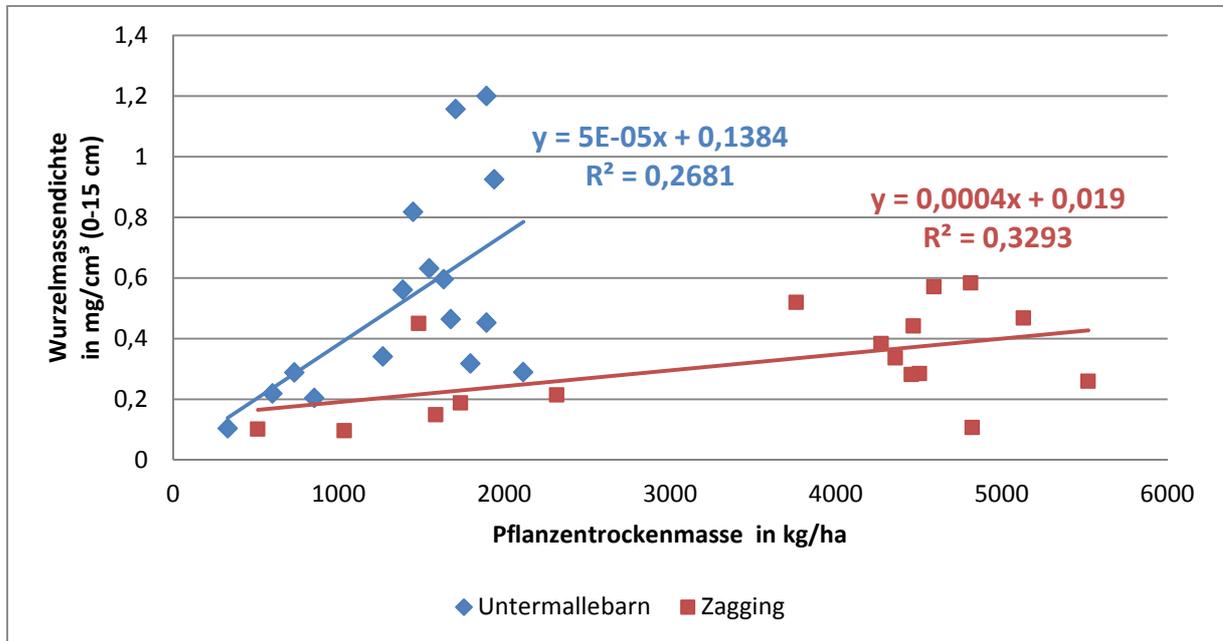


Abb. 37: Wurzelmasse in mg/cm^3 im obersten Durchwurzelungsbereich von 0 – 15 cm Bodentiefe und gebildete oberirdische Pflanzentrockenmasse in kg/ha bei den Zwischenfruchtvarianten (außer Mischungen) am Standort Untermallebarn und Zagging, Ende November 2012. Die lineare Regressionsgerade ist ein Bestimmtheitsmaß von 26,81 % für den Standort Untermallebarn bzw. 32,93 % für den Standort Zagging.

6 Zusammenfassung

In der Pflanzenproduktion sind unter den derzeitigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen nur wenige Fruchtarten (je nach Standort unterschiedlich) bezüglich Deckungsbeitrags rentabel. Der Zwischenfruchtanbau als Begrünungsmaßnahme ist in den häufigsten Fruchtfolgen wesentlich. Von großer Bedeutung ist die Erzielung eines zeitgerechten Zwischenfrucht-Pflanzenbestandes. Zu den wesentlichen Vorteilen zählen: verringerte Pflanzenschutzprobleme durch biotische Faktoren für die nachfolgende Hauptfrucht, verminderte Nitratverlagerung und verminderte Bodenerosion. Die möglichst ganzjährige Bodenbedeckung steht im Vordergrund. Zur Erreichung der wesentlichen Ziele ist die rechtzeitige Etablierung der Zwischenfrucht erforderlich. Der Zwischenfruchtanbau als Begrünungsmaßnahme soll „Standortsbezogen“ unterschiedlich durchgeführt werden. Auch die Vorgaben des ÖPUL-Programmes müssen erreicht werden. Speziell im semiariden Ackerbaugebiet (<650 mm Jahresniederschlag) kommt es zu einem langsameren Wachstumsverlauf der Begrünung.

Der Einfluss der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten auf den „Lebensraum Boden“ und die nachfolgenden Auswirkungen auf die Hauptfrucht wird derzeit äußerst unterschiedlich beurteilt und ist in wesentlichen Bereichen nicht durch Literatur gedeckt. Ziel der aufwendigen Feld- und Laborversuche war unterschiedliche Zwischenfruchtarten auf den Bodenbedeckungsgrad sowie auf die ober- und unterirdische Trockenmassebildung hin zu beurteilen.

Im Sommer 2012 wurden an zwei hinsichtlich Boden und Witterung unterschiedlichen Standorten eine Langparzellenanlage angelegt. Die Fläche der Einzelparzelle betrug 180 bzw. 240 m². Der Standort „**Untermallebarn**“ liegt im westlichen Weinviertel und weist eine durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme von 548 mm auf. Der Boden ist ein Tschernosem aus Löß. Der zweite Standort „**Zagging**“ liegt im Großraum St. Pölten, im Niederungsbereich der Fladnitz. Die Jahressumme der Niederschläge beträgt 587 mm. Der mäßig feuchte Boden, eine kalkhaltige Feuchtschwarzerde, ist auch für Fruchtarten mit hohen Wasseransprüchen geeignet. Das Jahr 2012 war durch höhere Temperaturen und wesentlich geringere Niederschläge als im langjährigen Durchschnitt geprägt.

14 Zwischenfruchtvarianten (3 Sorten Ölrettich, Meliorationsrettich, Gelbsenf, Braunsenf, Kresse, Buchweizen, Öllein, Sommerwicke, Linse, Platterbse, Kanadische Platterbse, Alexandriner Klee sowie vier Gemenge und eine Brachevariante) wurden beurteilt. Als Standard wurde der Ölrettich (Sorte Cassius) verwendet. Der Feldversuch wurde am 16. August 2012 (Untermallebarn) und am 23. August 2012 (Zagging) angelegt. Zuvor wurde die Bodenbearbeitung mit dem Pflug durchgeführt. Als Hauptmerkmale wurden der Bedeckungsgrad, die oberirdische Biomasse und die Wurzelbiomasse sowie die Wurzelcharakteristik erhoben. Nebenkriterien waren die Bodenkennwerte (Bodenwasser- und Nährstoffgehalt), der Rhizobienbesatz, die Durchwurzelungsintensität, der Blattflächenindex, die Bestandeshöhe und die N-Bindung in der oberirdischen Biomasse.

Die Sommerwicke konnte aufgrund des späten Anbaus und der trockenen Witterungsbedingungen nicht in die Auswertung einbezogen werden. Alexandriner Klee erreichte am Standort Untermallebarn nur einen geringen Bedeckungsgrad und wurde daher von der weiteren Beprobung ausgeschlossen.

Zur Erhebung des Bedeckungsgrades der jeweiligen Zwischenfruchtvarianten wurde jede Parzelle in vorgegebenen Zeitabständen – zu sieben Terminen – fotografiert und mit dem Programm „Sigma Scan Pro“ beurteilt. Zur Bestimmung der oberirdischen Frisch- und Trockenmasse wurden im Oktober und im November eine Ganzpflanzenernte durchgeführt und die Gehaltswerte der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel ermittelt. Die Wurzelproben wurden im November mit einem Kernbohrer entnommen und nachfolgend der Wurzeldurchmesser, die Wurzellängendichte und die Wurzelmasse durch Auswaschen und Scannen (WinRhizo) der Wurzeln bestimmt.

Der **Wasserverbrauch** durch die Zwischenfrucht-Begrünungsmaßnahme wird im semiariden Produktionsgebiet häufig kritisch beurteilt.

Aufgrund der geringfügig höheren Niederschläge und der verminderten „Bodenwasser-Vorratsausschöpfung“ der Vorfrucht Zwiebel zeigten sich am Standort Zagging innerhalb der Zwischenfruchtvarianten kaum Unterschiede im Bodenwassergehalt.

Am trockenerem Standort Untermallebarn (geringere Niederschläge und Vorfrucht Winterweizen mit sehr hohem Ertrag) zeigte sich im Oberboden der höchste Bodenwassergehalt unter der Brachevariante, gefolgt von den Leguminosen und den Fruchtarten Kresse, Buchweizen und Öllein.

Der Zwischenfrucht-Feldversuch am Standort Untermallebarn ergab durch die trockene Witterung im Spätfrühling und Sommer 2012 eine generell langsamere Jungendentwicklung und somit einen geringeren **Bodenbedeckungsgrad**. Die früheste Bodenbedeckung (Ende September) erzielten Ölrettich und Meliorationsrettich, sowie Kresse bei feuchteren Bodenbedingungen. Bei Braunsenf kam es nach einer langsamen Entwicklung in den ersten 20 bis 30 Tagen nachfolgend zu einem sprunghaften Anstieg in der Bedeckung. Öllein und Platterbse erzielten bei trockenen Bedingungen nur eine unzureichende Bodenbedeckung.

Ein ausreichend früh erzielter und ausreichender Bedeckungsgrad der Zwischenfrucht, sowie eine tiefe Durchwurzelung mit hoher Wurzelmassemenge als organischer Rückstand im Boden sind Voraussetzungen, um die positiven Wirkungen der Zwischenfrüchte nutzen zu können. Die Standortbedingungen Boden und Witterung sowie der Einfluss der Vorfrucht sind wesentlich für den Wachstumsverlauf der Zwischenfrucht entscheidend.

Die **oberirdische Biomasseproduktion** (kg TM/ha) zeigten ein ähnliches Ergebnis als der Bodenbedeckungsgrad. Die trockenen Witterungsbedingungen am Standort Untermallebarn führten auch in der oberirdischen Biomasseproduktion (im Vergleich zum Standort Zagging) zu einem deutlichen Minderertrag. Kanadische Platterbse sowie Öllein ergaben signifikant niedrigere Grünmassen. Platterbsen schöpfen ihr Potential bei der Bildung ober- und unterirdischer TM nur bei sehr frühem Anbau aus (LIEBHARD und BODNER, 2005). Die Kresse erhöhte am Standort Untermallebarn zwischen Mitte Oktober und Mitte November noch ihre Biomasseproduktionsmenge um 1600 kg TM/ha. Braunsenf erzielte, wie auch bei der Bedeckung, eine sprunghafte Steigerung zwischen den Ernteterminen. Meliorationsrettich zeigte eine höhere Trockentoleranz als der Ölrettich Final und erzielte am Standort Untermallebarn beinahe gleich hohe Grünmassenmengen wie der Ölrettich Final.

Die **Wurzelmassebildung** war unter trockenen Bedingungen deutlich höher. Nur der Meliorationsrettich zeigte auf beiden Standorten konstant hohe Wurzelmassemengen. Hinsichtlich Wurzeldurchmesser zeigten die Leguminosen ein dickeres Wurzelsystem. Bei der Wurzellänge ergaben sich keine messbaren Unterschiede zwischen den Standorten. Nur der Meliorationsrettich erreichte am Standort Untermallebarn eine geringere Länge, welche auf die höhere Trockentoleranz zurückzuführen war. Meliorationsrettich erreichte unter trockenen Bedingungen, mit weniger Wasser und in Folge mit einer geringeren Wurzellänge, einen mittleren Grünmasseertrag. Zusätzlich ist die günstigere Verteilung der Wurzeln im Boden hervorzuheben. Während die übrigen Fruchtarten 70 % und mehr der Wurzellänge im oberen Durchwurzelungsbereich zwischen 0 und 15 cm aufwiesen, bildete Meliorationsrettich 43 bzw. 47 % der Wurzellänge im Durchwurzelungsbereich zwischen 15 und 30 cm Bodentiefe. Der Bodenwasservorrat wurde somit besser genutzt.

Der Zwischenfruchtanbau als Begrünungsmaßnahme muss Standortsbezogen durchgeführt werden und soll mit dem ÖPUL-Programm im Einklang stehen. Gezielt eingesetzte Saat- und Umbruchstermine der Zwischenfrucht führen zur Erhöhung der natürlichen Ertragsfähigkeit der Böden. Durch Auswahl spezieller Zwischenfruchtarten wird die Nachhaltigkeit des Bodens gefördert. Der Aspekt der Bodenwasserschonung soll im semiariden Produktionsgebiet im Vordergrund stehen. Günstig ist ein Gemenge, welches bei nicht zu hoher Blattmasse den Boden gut und frühzeitig bedeckt. Evaporationsverminderung sowie ein vermindertes Beikrautauflaufen wird speziell durch den schnellwüchsigen Meliorationsrettich erreicht. Zusätzlich ist Meliorationsrettich toleranter gegenüber trockeneren Boden- und Witterungsverhältnissen. Durch den Gemengeanbau werden auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen oder Ausfall eines Gemengepartners eine ausreichende Bodenbedeckung sowie ein hoher Aufwuchs erzielt. Die Ressourcen Boden, Wasser, Licht werden in der relativ kurzen Vegetationsperiode besser genutzt.

7 Literaturverzeichnis

- ACKERGRÜN FOLDER (2013): Ackergrün. Begrünung von Ackerflächen Nützlings- und Blühstreifen Flächenstilllegung. Auf: <http://www.lagerhaus.at/?+Broschueren+++Flugblaetter+&id=2500%2C%2C%2C2973> (14. 10. 2012).
- AMATO, M. und A. PARDO (1994): Root length and biomass losses during sample preparation with different screen mesh sizes. *Plant and Soil*, 161, 299-303.
- ARNDT, M. (2002): Einfluss von Fruchtfolge, chemischen und biologischen Bekämpfungsmaßnahmen auf die Befallsentwicklung von Rübennematoden (*Heterodera schachtii*) und den Zuckerrübenenertrag. *Gesunde Pflanzen*, 54. Jahrg., Heft 3+4, 74-79.
- BACH, M. (1987): Die potentielle Nitrat-Belastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. *Göttinger bodenkundlicher Bericht*, 93, 186S.
- BACHTHALER, G. (1979): Fruchtfolge und Produktionstechnik. Verlagsunion Agrar, München, Frankfurt-Main, Münster-Hiltrup, Wien, Aarau.
- BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BAEUMER, K. (1994): Gestaltung der Fruchtfolge. In: DIERCKS, HEITEFUSS (Hrsg.): *Integrierter Landbau*. BLV Verlagsgesellschaft mbH., München, 110.
- BANGARWA, S.K., J.K. NORSWORTHY, J.D. MATTICE und E.E. GBUR (2011): Glucosinolate and Isothiocyanate Production from Brassicaceae Cover Crops in a Plasticsulture Production System. *Weed Science* (2011), 59, 247-254.
- BEISS, U. und I. FEYERABEND (1984): Methoden der Bodenuntersuchung zur Ermittlung des Düngebedarfs von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie*, 109, 832-840.
- BUNDESSORTENAMT (2012): Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte 2012. Bundessortenamt, Hannover.

- BODNER, G. (2001): Einfluss von Fruchtart, Saat- und Umbruchzeitpunkt der Zwischenfruchtbegrünung auf den Bodenwasserhaushalt, die Nitratdynamik sowie ihre Auswirkungen auf ausgewählte Ertrags- und Qualitätsparameter der Folgefrucht Sommergerste. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- BODNER, G., A. KASTELLIZ, P. LIEBHARD, W. LOISKANDL, M. HIMMELBAUER und H.P. KAUL (2011a): Wurzeleigenschaften von Zwischenfrüchten und ihre agrarökologische Funktion. 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung 2011, Raumberg-Gumpenstein, 67-74.
- BODNER, G., H. SUMMERER, F. ECKER und J. ROSNER (2011b): Zwischenfruchtbau ist auch im Trockengebiet machbar. Ländlicher Raum, Okt. 2011, 1-14.
- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF und A. KIPP (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. Gesunde Pflanze (2011), 63, 191-198.
- CHERR, C.M., J.M.S. SCHOLBERG und R. MCSORLEY (2006): Green Manure Approaches to Crop Production. A Synthesis. Agron. J., 98, 302-319.
- CZERATZKI, W. und E. RUHM (1974): The effect of stubble treatments and catch crops on some physical properties of the soil and on yield in a sugar-beet rotation on a pseudogley-parabraunderde. Landbauforschung Volkenrode, 24(2), 111-122.
- DAPAAH, H.K. und T.J. VYN (1998): Nitrogen fertilization and cover crop effects on soil structure stability and corn performance. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 29, 2557-2569.
- DEICHMANN, E. (1993): ABC des Zwischenfrucht-Futterbaues für den Bauernhof. Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft der deutschen Stickstoff-Industrie für das landwirtschaftliche Beratungswesen, Berlin.
- DIERCKS, R. und R. HEITEFUSS (1994): Integrierter Landbau. Systeme umweltbewußter Pflanzenproduktion. BLV Verlagsgesellschaft mbH., München.

- DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K.U. HEYLAND und N. KNAUER (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3., neubearbeitete und ergänzte Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- FELDSAATEN FREUDENBERGER (2012): Saatgut Zwischenfrucht und Futterbau 2012. Infobroschüre der Feldsaaten Freudenberg GmbH & Co. KG, Krefeld.
- FELGENTREU, C. (2012): Tillage Radish – Der lebende "Bodenbohrer". Auf: http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dsv-saaten.de%2Fexport%2Fsites%2Fdsv-saaten.de%2Fextras%2Fdokumente%2FInnovation-ab-1-12%2F2-12-tillage-radish.pdf&ei=ZbmMUfbSGciROljsNgN&usg=AFQjCNE2UcPMFqH_KkfXa7iiJKCCQXmuZQ&bvm=bv.46340616,d.ZWU (10. 05. 2013).
- FIGL-WOLFSBERGER, T. (1997): Auswirkungen von Gülle-, Stroh-, Mineraldüngung und Zwischenfruchtanbau vor Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.) und Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doell) auf EUF-N-Fraktionen. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- FREYER, B. (2003): Fruchtfolgen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- FREYER, B., G. PIETSCH, R. HRBEK und S. WINTER (2005): Futter- und Körnerleguminosen im biologischem Landbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf.
- GEISLER, G. (1991): Farbatlas Landwirtschaftliche Kulturpflanzen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- GREGORY, P.J. (2006): Plant roots: growth, activity and interaction with soils. Blackwell Scientific, Oxford.
- GRÜNER BERICHT (2012): Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2011. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5, Wien.
- GUJER, H. (1999): Einjährige Futterleguminosen (z.T. überwintert). In: KELLER, HANUS und HEYLAND (Hrsg.): Handbuch des Pflanzenbaues – Bd.3. Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 781.

- HAMPL, U. (1996): Gründüngung. Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart.
- HEINRICHS, C. (2011): Biologische Bekämpfung des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*. *Gesunde Pflanze*, 62, 101-106.
- HEITEFUSS, R., K. KÖNIG, A. OBST und M. RESCHKE (2000): Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- HELMERS, M.J., R.W. MALONE und K.R. THORP (2011): Simulating long-Term impacts of winter rye cover crop on hydrologic cycling and nitrogen dynamics for a cornsoybean crop system. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 54(5), 1575-1588.
- HOLZER, G. (2008): Agrarrecht - Ein Leitfaden. Neuer Wissenschaftlicher Verlag GmbH Nfg KG, Wien-Graz.
- HOOKE, K.V., C.E. COXON, R. HACKETT, L.E. KIRWAN, E. O'KEEFFE und K.G. RICHARDS (2008): Evaluation of Cover Crop and Reduced Cultivation for Reducing Nitrate Leaching in Ireland. *Journal of Environmental Quality*, 37, 138-145.
- KAHNT, G. (1983): Gründüngung. 2. Aufl. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- KAIMBACHER, B. (2007): Wurzelcharakteristika und Wasserverbrauch unterschiedlicher Fruchtarten als Zwischenfrucht für die Sommer-, Herbst- und Winterbe-grünung im semiariden Produktionsraum. Diplomarbeit, Universität für Boden-kultur, Wien.
- KASTENHUBER, F. (2010): Welche Zwischenfrüchte für welche Standorte am besten geeignet sind. Auf: <http://www.bauernzeitung.at/?id=2500%2C94286%2C%2C> (23. 08. 2012).
- KIRKEGAARD, J.A. und M. SARWAR (1998): Biofumigation potential of brassicas. I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil*, 201, 71-89.

- KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, A. GRÜNBECK, I. SCHLIEßER, A. KÖHLER, W. KARLUS, B. KRELLIG, R. POMMER und B. ARP (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Auf: <http://orgprints.org/15102/2/Zwischenfruechte.pdf> (09. 11. 2012).
- KÖRSCHENS, M. (1992): Modelle für Umsatz und Reproduktion der organischen Substanz im Boden. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4: Humushaushalt. Paul Parey Verlag, Berlin&Hamburg.
- LENZI, A., D. ANTICHI, F. BIGONGIALI, M. MAZZONCINI, P. MIGLIORINI und R. TESI (2009): Effect of different cover crops on organic tomato production. *Renewable Agriculture and Food System*, 24(2), 92-101.
- LFL (2011): Integrierter Pflanzenbau – Zwischenfruchtbau. 8. Auflage. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Druckhaus Kastner, Wolnzach.
- LIEBEREI, R. und C. REISDORFF (2007): Nutzpflanzenkunde. 7. Auflage. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart.
- LIEBHARD, P. und G. BODNER (2005): Expertise zur Wirksamwerdung der Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter im Rahmen der ÖPUL-Förderung 2000 auf Nitratverlagerung und Grundwasserqualität unter unterschiedlichen hydrologischen, bodenkundlichen und pflanzenbaulichen Rahmenbedingungen in Österreich. BMLFUW-LE.1.3.7/0012-II/5/2005. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- LOCHOW, J.V. und W. SCHUSTER (1979): Anlage und Auswertung von Feldversuchen. 2., erweiterte Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- LÜTKE ENTRUP, N. (1991): Zwischenfrüchte im integrierten Pflanzenbau. AID-Verlag, Bonn.
- LÜTKE ENTRUP, N. (2001): Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. AID-Verlag, Bonn.

- MAYER, P., B. HEINDL-TENHUNEN und J. TENHUNEN (2005): Bestandeshöhen-Messungen zur Charakterisierung von Grünland auf Landschaftsebene. Untersuchungsergebnisse am Lehrstuhl Pflanzenökologie der Universität Bayreuth. Auf:
<http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcollection.library.ethz.ch%2Feserv%2Feth%3A27671%2Feth-27671-01.pdf&ei=O0eLUe-JLcqEhQeWw4BY&usg=AFQjCNFXbled-rroiHPnvWaiHFr-XMD43g&bvm=bv.46226182,d.ZG4> (09. 05. 2013).
- MEYER, E., J. FRAHM, J. KLATT, M. KLUG, T. KOCK, H. KRAMER, C. MÄRZ, C. MAJUNKE, G. MEINERT und G. WEGNER-KIß (2012): Taschenbuch des Pflanzenarztes. 57., neu bearbeitete Folge. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- MÖLLER, K. und H.J. REENTS (2009): Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 2009, 172, 277-287.
- MOTISI, N., F. MONTFORT, V. FALOYA, P. LUCAS und T. DORÉ (2009): Growing Brassica juncea as a cover crop, then incorporating its residues provide complementary control of Rhizoctonia root rot of sugar beet. *Field Crops Research*, 113, 238-245.
- MUNRO, D.B. und E. SMALL (1997): *Vegetables of Canada*. NRC Research Press Scientific Publishing, 416, 245-247.
- N'DAYEGAMIYE, A. und T.S. TRAN (2001): Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can. J. Soil. Sci.*, 81, 371-382.
- NEMETH, K. (1976): Die effektive und potentielle Nährstoffverfügbarkeit im Boden und ihre Bestimmung mit Elektro-Ultrafiltration. Habilitationsschrift, Universität Gießen, Gießen.
- NEMETH, K. (1985): Recent advances in EUF research (1980-1983). *Plant and Soil*, 83, 1-19.

- NORSWORTHY, J.K., M.S. MALIK, P. JHA und M.B. RILEY (2007): Suppression of *Digitaria sanguinalis* and *Amaranthus palmeri* using autumn-sown glucosinolate-producing cover crops in organically grown bell pepper. *Weed Research*, 47, 425-432.
- OEMICHEN, J. (2000): Bodenkunde. In: LÜTKE ENTRUP und OEMICHEN (Hrsg.): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer, 49.
- OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2011): Versuchsbericht 2011. Verein Oö. Wasserschutzberatung, Linz.
- OÖ-WASSERSCHUTZBERATUNG (2012): Gewässerschutz durch Zwischenfruchtanbau. Verein Oö. Wasserschutzberatung, Linz.
- ÖPUL (2007): Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft. BMLFUW-LE.1.1.8/0073-II/8/2007. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG (1980): Erläuterung zur Bodenkarte. KB, Herzogenburg NÖ, Bundesministerium für Forst- und Landwirtschaft, Wien.
- ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG (1981): Erläuterung zur Bodenkarte. KB, Stockerau NÖ, Bundesministerium für Forst- und Landwirtschaft, Wien.
- ÖZLEM, T., E. DURSUN, Y. BÜLENT und O. BÜLENT (2010): Yield and quality of garden cress affected by different nitrogen sources and growing period. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), 608-617.
- RENIUS, W. und E. LÜTKE ENTRUP (1985): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. 2., vollkommen überarbeitete Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).

- RENIUS, W., E. LÜTKE ENTRUP, und N. LÜTKE ENTRUP (1992): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- RINNOFNER, T., R. FARTHOFER, J.K. FRIEDEL, G. PIETSCH, A. STRAUSS-SIEBERTH, W. LOISKANDL und B. FREYER (2006): Stickstoffaufnahme und Biomasseertrag von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Folgekultur und Nitratgehalte in der Bodenlösung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Jahrgang 2006.
- ROLDÁN, A., F. CARAVACA, M.T. HERNÁNDEZ, C. GARCÍA, C. SÁNCHEZ-Brito, M. VELÁSQUEZ und M. TISCAREÑO (2003): No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil Tillage Research*, 72, 65-73.
- ROSELL, J.R. und R. SANZ (2012): A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81, 124-141.
- RÖSTEL, H.J. (1999): Zuckerrübe. In: KELLER, HANUS und HEYLAND (Hrsg.): *Handbuch des Pflanzenbaues – Bd.3. Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 332-334.
- RUAN, H., L.R. AHUJA, T.R. GREEN und J.G. BENJAMIN (2001): Residue cover and surface-sealing effects on infiltration - numerical simulations for field applications. *Soil Science Society of America, Journal* 65, 853-861.
- SAATBAU LINZ (2012): *Das Beste für Zwischendurch*. Infojournal der Saatbau Linz, Leonding.
- SAATEN UNION (2012): *Das Zwischenfrucht Programm*. Gesamtkatalog der Saaten-Union GmbH, Isernhagen.
- SARWAR, M. und J.A. KIRKEGAARD (1998): Biofumigation potential of brassicas. II. Effect of environment and ontogeny on glucosinolate production and implications for screening. *Plant and Soil*, 201, 91-101.

- SARWAR, M., J.A. KIRKEGAARD, P.T.W. WONG und J.M. DESMARCHELIER (1998): Biofumigation potential of brassicas. III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil*, 201, 103-112.
- SAUER, S., W. HAUßMANN und T. HARRACH (2002): Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lößböden eines Trockengebietes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 165, 269-273.
- SHELLER, H. (1992): Integrierter Pflanzenbau. In: BACHTALER, HÜFFMEISTER (Hrsg.): *Pflanzliche Erzeugung*. BLV Verlagsgesellschaft, München, 438.
- SCHREINER, W. (1988): *Landwirtschaftliche Nutzpflanzen in Wort und Bild*. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt (Main).
- SCHULTE, D. (1980): Die Entwicklung der unter- und oberirdischen Pflanzenmasse bei Zwischenfrüchten in Abhängigkeit von Standort und Saatzeitpunkt. Dissertation, Universität Bonn, Bonn.
- STAUDT, C. (2009): Räumliche Differenzierung von Vegetationsparametern auf landwirtschaftlichen Flächen auf Grundlage hyperspektraler Fernerkundungsdaten und groundtruth – Informationen. Diplomarbeit, Goethe–Universität, Frankfurt a. Main.
- SÜDZUCKER (2012): Was ist EUF?. Auf:
http://bisz.suedzucker.de/Bodengesundheitsdienst/Dienstleistungen/EUF-Bodenuntersuchung/Was_ist_EUF/ (18. 12. 2012).
- TLL (2008): Anbautelegramm Öllein (*Linum usitatissimum* L.). Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Freistaat Thüringen.
- ÜBLEIS, T., M. GERSTL und C. RECHBERGER (2010): Maßnahmen zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung in Oberösterreich: Ergebnisse der Begrü- nungsversuche 2009. 2. Umweltökologisches Symposium 2010, 121-126.
- UMWELTBUNDESAMT (2010): Neunter Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Öster- reich. Reports, Bd. REP-0286. Umweltbundesamt, Wien.
- VAN NOORDWIJK, M. und J. FLORIS (1979): Loss of dry weight during washing and storage of root samples. *Plant and Soil*, 53, 239-243.

VISSER, J.H.M. und G.W. KORTHALS (2010): Many more questions around biofumigation. *Journal for the potato sector*, 2, 35-39.

WOHLMUTH, M.L. (2012): Untersuchung des Zwischenfruchteinflusses auf Wasserhaushalt und Nachfruchtertrag sowie modellgestützte Analyse des Einflusses von Zwischenfrüchten auf die Komponenten der Wasserbilanz. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Versuchsstandorte Untermallebarn und Zagging in Österreich, 2012	24
Abb. 2: Tschernosem aus Löß (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1981)	26
Abb. 3: Kalkhaltige Feuchtschwarzerde (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1980)	28
Abb. 4: Temperaturverlauf (Monatsmittel in °C) und Niederschlagsverteilung (Monatsmittel in mm) im langjährigen Durchschnitt sowie während der Versuchszeit in Untermallebarn, Messstelle Stockerau (lj. Werte aus den Mittelwerten der Messstelle Hollabrunn und Langenlebarner)	31
Abb. 5: Temperaturverlauf (Monatsmittel in °C) und Niederschlagsverteilung (Monatsmittel in mm) im langjährigen Durchschnitt sowie während der Versuchszeit in Zagging, Mittelwerte aus den Messstellen St. Pölten und Krems	32
Abb. 6: Skizze des Versuchsplans des Feldversuches, 2012	33
Abb. 7: Keimfähigkeitsprüfung bei Gelbsenf	42
Abb. 8: Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades mittels SigmaScanPro	43
Abb. 9: LP-80 Accu PAR – PAR/LAI Ceptometer: (ROSELL und SANZ, 2012)	44
Abb. 10: Bohrstock mit Boden-Probenmaterial von 0 bis 90 cm Bodentiefe	45
Abb. 11: Kammersystem der EUF-Bodenuntersuchungsmethode (SÜDZUCKER, 2012)	47
Abb. 12: Probe und Wurzelbohrer	49
Abb. 13: Wurzelwaschen	50
Abb. 14: Software-Programm WinRHIZO mit gescanntem Wurzelbild (links) sowie Ausschnitt eines Wurzelbildes (rechts)	51
Abb. 15: Mittlere Keimfähigkeit in % der Zwischenfruchtarten.	59
Abb. 16: Wachstums- und Entwicklungsverlauf in den ersten 19 Tagen nach der Saat am Standort Untermallebarn.	62
Abb. 17: : Wachstums- und Entwicklungsverlauf in den ersten 17 Tagen nach der Saat am Standort Zagging.	63
Abb. 18: Pflanzenhöhe und Durchwurzelungstiefe in cm. Pflanzenhöhe in cm am 25. 10. 2012 bei Pflanzen mit höherer Wasserversorgung gemessen, Standort Untermallebarn	68
Abb. 19: Pflanzenhöhe und Durchwurzelungstiefe in cm, Standort Zagging	69
Abb. 20: Unterschiedliche Bodenbedingungen innerhalb der Zwischenfruchtvarianten Ölrettich und Gelbsenf, am 25. 10. 2012, Standort Untermallebarn	71
Abb. 21: Trockenmasseerträge in kg/ha ausgewählter Zwischenfruchtarten zwischen den Standorten Untermallebarn und Zagging im November 2012	75
Abb. 22: Durchschnittlicher Wurzelradius in mm ausgewählter Zwischenfruchtarten in den Bodentiefen 0 – 15 cm und 15 – 30 cm	80
Abb. 23: Wurzelmasse in mg/cm ³ der Standorte Untermallebarn und Zagging	81
Abb. 24: Wurzellängendichte in cm/cm ³ am Standort Untermallebarn, 2012	83
Abb. 25: Wurzellängendichte in cm/cm ³ am Standort Zagging, 2012	83

- Abb. 26: Abweichung des Bodenwassergehaltes (0 – 30 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 12. 03. 2013 am Standort Untermallebarn, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 % _____ 88
- Abb. 27: Abweichung des Bodenwassergehaltes (30 – 60 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 12. 03. 2013 am Standort Untermallebarn, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 % _____ 89
- Abb. 28: Abweichung des Bodenwassergehaltes (0 – 30 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 11. 03. 2013 am Standort Zagging, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 % _____ 90
- Abb. 29: Abweichung des Bodenwassergehaltes (30 – 60 cm Bodentiefe) in Relativprozent ausgewählter Zwischenfruchtarten über den Zeitraum 11. 09. 2012 bis 11. 03. 2013 am Standort Zagging, Standardvariante (Ölrettich, Final) = 100 % _____ 90
- Abb. 30: Mittlerer Feldaufgang (FA) in %, an den Standorten Untermallebarn (UM) und Zagging (ZA), 18. 09. 2012 _____ 92
- Abb. 31: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % ausgewählter Zwischenfruchtarten, Standort Untermallebarn, 16. 08. – 25. 10. 2012 _____ 93
- Abb. 32: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % ausgewählter Zwischenfruchtarten, Standort Zagging, 24. 08. – 25. 10. 2012 _____ 95
- Abb. 33: Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad und dem Blattflächenindex der Zwischenfruchtvarianten beider Standorte am 25. 10. 2012. Die Polynome Regressionsgerade 2. Grades liefert ein Bestimmtheitsmaß von 89,58 % . _____ 96
- Abb. 34: Wuchshöhe der Zwischenfruchtvarianten in cm und gebildete oberirdische Trockenmasse in kg/ha zu unterschiedlichen Messterminen am Standort Untermallebarn _____ 101
- Abb. 35: Wuchshöhe der Zwischenfruchtvarianten in cm und gebildete oberirdische Trockenmasse in kg/ha zu unterschiedlichen Messterminen am Standort Zagging _____ 101
- Abb. 36: Wurzellänge in cm im obersten Durchwurzelungsbereich von 0 – 15 cm Bodentiefe und gebildete oberirdische Pflanzentrockenmasse in kg/ha bei den Zwischenfruchtvarianten (außer Mischungen) am Standort Untermallebarn und Zagging, Ende November 2012. Die Lineare Regressionsgerade ist ein Bestimmtheitsmaß von 44,3 % für den Standort Untermallebarn bzw. 32,5 % für den Standort Zagging. _____ 104
- Abb. 37: Wurzelmasse in mg/cm^3 im obersten Durchwurzelungsbereich von 0 – 15 cm Bodentiefe und gebildete oberirdische Pflanzentrockenmasse in kg/ha bei den Zwischenfruchtvarianten (außer Mischungen) am Standort Untermallebarn und Zagging, Ende November 2012. Die Lineare Regressionsgerade ist ein Bestimmtheitsmaß von 26,81 % für den Standort Untermallebarn bzw. 32,93 % für den Standort Zagging. _____ 105

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Begrünungsvarianten von Ackerflächen (ÖPUL, 2007)	16
Tab. 2: Zwischenfruchteinflüsse auf die Komponenten der Wasserbilanz (BODNER et al., 2011b)	18
Tab. 3: Analyseergebnisse Tschernosem aus Löß (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1981)	27
Tab. 4: Analyseergebnisse kalkhaltige Feuchtschwarzerde (ÖSTERREICHISCHE BODENKARTIERUNG, 1980)	29
Tab. 5: Saatstärke und Bezugsquelle der ausgewählten Zwischenfrüchte, Feldversuch 2012	39
Tab. 6: Termine für die Ermittlung des Bedeckungsgrades unterschiedlicher Zwischenfruchtarten, 2012	43
Tab. 7: Termine für die Entnahme der Bodenproben für die EUF-Bodenuntersuchung und Bestimmung des Bodenwassergehaltes, 2012	45
Tab. 8: Termine für die oberirdischen Biomasseernte, 2012	47
Tab. 9: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (0 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Untermallebarn (August 2012 bis März 2013)	55
Tab. 10: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (0 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Zagging (August 2012 bis März 2013)	57
Tab. 11: Mittlere Keimfähigkeit in %, Tausendkorngewicht in g und ausgewählte Saatmenge in kg/ha, sowie die berechneten mittleren Feldaufgänge in % an den Standorten Untermallebarn und Zagging. Zwischenfruchtarten mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich.	59
Tab. 12: Einfache Varianzanalyse über die Auswirkung unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf die Keimfähigkeit.	60
Tab. 13: Varianzanalyse (Lineares Modell) über die Auswirkung unterschiedlicher Zwischenfruchtarten, Standorte und deren Wechselbeziehung auf den Feldaufgang.	60
Tab. 14: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % aus den interpolierten Standardwerten, Standort Untermallebarn (nach Lochow und Schuster, 1979)	65
Tab. 15: Korrigierter Bodenbedeckungsgrad in % aus dem interpolierten Standardwerten, Standort Zagging (nach Lochow und Schuster, 1979)	66
Tab. 16: Blattflächenindex (LAI) in Blattfläche je Bodenfläche und Blattflächendichte (LAD) in m^2/m^3 vom 25. 10. 2012	67
Tab. 17: Korrigierte Trockenmasseerträge in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten und Trockenmassegehalt in %, Standort Untermallebarn (nach Lochow und Schuster, 1979)	73
Tab. 18: Korrigierte Trockenmasseerträge in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten und Trockenmassegehalt in %, Standort Zagging (nach Lochow und Schuster, 1979)	74
Tab. 19: Korrigierte Stickstoffgehalte (nach Lochow und Schuster, 1979) der oberirdischen Biomasse in kg/ha und korrigierte C/N – Verhältnisse aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Untermallebarn	77

Tab. 20: Korrigierte Stickstoffgehalte (nach Lochow und Schuster, 1979) der oberirdischen Biomasse in kg/ha und korrigierte C/N – Verhältnisse aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Zagging _____	78
Tab. 21: Mittlere Wurzel Durchmesser und maximale Wurzel Durchmesser in mm, der Wurzelstücke über 2,5 mm, durch Messung mittels Schublehre bestimmt _____	80
Tab. 22: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtkulturen (60 – 90 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (60 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Untermallebarn _____	124
Tab. 23: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtkulturen (60 – 90 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (60 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Zagging _____	125
Tab. 24: Nitratgehalte nach EUF einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich Final (0 – 90 cm) am Standort Untermallebarn _____	126
Tab. 25: Nitratgehalte nach EUF einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich Final (0 – 90 cm) am Standort Zagging _____	127
Tab. 26: Korrigierte Kohlenstoff- und Schwefelgehalt der oberirdischen Biomasse in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Untermallebarn _____	128
Tab. 27: Korrigierte Kohlenstoff- und Schwefelgehalt der oberirdischen Biomasse in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Zagging _____	129
Tab. 28: Durchschnittlicher Wurzel Durchmesser in mm, Wurzelmasse dichte in mg/cm ³ und Wurzellängendichte in cm/cm ³ in den Tiefen 0 – 15cm und 15 – 30 cm ausgewählter Zwischenfruchtvarianten am 20. 11. 2012, Standort Untermallebarn _____	130
Tab. 29: Durchschnittlicher Wurzel Durchmesser in mm, Wurzelmasse dichte in mg/cm ³ und Wurzellängendichte in cm/cm ³ in den Tiefen 0 – 15cm und 15 – 30 cm ausgewählter Zwischenfruchtvarianten am 20. 11. 2012, Standort Zagging _____	131

10 Anhang

Tab. 22: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtkulturen (60 – 90 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (60 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Untermallebarn

Parzelle	Beprobungstermine		
	11. 09. 2012	27. 11. 2012	12. 03. 2013
	Wassergehalt in %		
Ø Ölrettich, Final (Std)	8,10	10,74	18,52
Brache		11,26	18,63
Linse		10,57	18,51
Platterbse		10,57	19,06
Kanadische Platterbse			19,20
Ölrettich, Cassius		9,67	17,92
Ölrettich, Compass			18,94
Meliorationsrettich		10,93	18,76
Gelbsenf		9,97	19,29
Braunsenf		10,95	19,31
Kresse		11,45	18,58
Buchweizen		13,08	19,11
Öllein		12,08	19,37
Mischung 1		11,28	19,33
Mischung 2		11,91	19,60 *
Mischung 3		11,80	19,72 *
Mischung 4		11,73	19,75 *

Tab. 23: Gravimetrischer Bodenwassergehalt in % einzelner Zwischenfruchtkulturen (60 – 90 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich, Final (60 – 90 cm) über den Versuchszeitraum am Standort Zagging

Parzelle	Beprobungstermine		
	11. 09. 2012	26. 11. 2012	11. 03. 2013
Wassergehalt in %			
Ø Ölrettich, Final (Std)	18,20	18,77	21,47
Brache		20,72	22,29
Linse		20,60	21,60
Platterbse		20,57	21,47
Kanadische Platterbse			20,14
Alexandrinischer Klee		20,64	20,15
Ölrettich, Cassius		18,52	20,72
Ölrettich, Compass			20,46
Meliorationsrettich		18,92	20,63
Gelbsenf		18,57	20,15
Braunsenf		18,43	20,30
Kresse		18,30	20,66
Buchweizen		19,88	20,65
Öllein		19,43	21,82
Mischung 1		18,77	21,53
Mischung 2		19,40	21,55
Mischung 3		19,20	22,38
Mischung 4			21,56

Tab. 24: Nitratgehalte nach EUF einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich Final (0 – 90 cm) am Standort Untermallebarn

Parzelle (0 – 30 cm) (30 - 60 cm) (Std 60 - 90 cm)	11.09. 2012	27.11. 2012	12.03. 2013	11.09. 2012	27.11. 2012	12.03. 2013
	NO ₃ kg/ha	NO ₃ kg/ha	NO ₃ kg/ha	N org kg/ha	N org kg/ha	N org kg/ha
Ölrettich, Final (Std)	55,54	20,25	27,75	73,99	79,20	71,55
	43,01	13,65	21,75	54,96	62,93	61,35
	16,95	10,88	12,83	39,00	44,70	47,25
Brache	59,85	40,50	18,90	82,35	58,50	69,30
	27,90	50,40 ***	19,35	54,90	61,20	67,50
Sommerwicke	69,75			65,25		
	47,70			53,55		
Linse	60,30 *	31,05	21,15	60,30	70,20	81,45
	31,50	48,60 ***	20,25	58,95	53,55	61,65
Platterbse	66,15	27,45	19,35	68,85	71,10	79,65
	40,50	40,05 ***	21,15	51,75	56,25	66,60
Kanadische Platterbse	63,90	29,25	24,30	65,70	59,40	73,80
	41,40	47,25 ***	22,95	56,25	47,70	60,75
Alexandriner Klee	64,35			72,00		
	47,70			59,40		
Ölrettich, Cassius		19,35	22,50		74,70	67,05
		13,50	17,55		52,20	58,95
Ölrettich, Compass		22,95	26,10		54,45	63,90
		9,45	14,85		55,35	65,25
Meliorationsrettich		29,70	22,50		97,20	108,90 ***
		17,10	22,95		127,35 **	60,30
Gelbsenf		21,60	22,95		75,60	69,75
		18,00	16,65		55,80	53,55
Braunsenf		13,50	35,10		79,20	66,60
		13,95	20,25		54,45	61,65
Kresse		18,00	25,65		77,85	71,10
		13,05	20,25		59,85	64,35
Buchweizen		22,95	23,85		67,05	64,80
		31,50 ***	22,50		64,80	60,30
Öllein		22,05	54,00 *		69,30	93,15 *
		41,85 ***	30,60		52,20	57,15
Mi 1		20,70	29,25		79,20	64,35
		13,50	23,85		54,45	71,55
Mi 2		18,00	27,90		58,50	61,65
		14,40	22,50		48,15	72,45
Mi 3		14,85	52,65		79,20	78,75
		12,15	27,45		55,35	62,10
Mi 4		19,80	30,15		91,35	94,05 **
		13,05	25,20		56,25	67,50

Tab. 25: Nitratgehalte nach EUF einzelner Zwischenfruchtarten (0 – 60 cm) und Mittelwerte der Standardzwischenfrucht Ölrettich Final (0 – 90 cm) am Standort Zagging

Parzelle (0 – 30 cm) (30 - 60 cm) (Std 60 - 90 cm)	11.09. 2012	26.11. 2012	11.03. 2013	11.09. 2012	26.11. 2012	11.03. 2013
	NO ₃ kg/ha	NO ₃ kg/ha	NO ₃ kg/ha	N org kg/ha	N org kg/ha	N org kg/ha
Ölrettich, Final (Std)	185	88	79	100,16	102	107
	183	56	83	76,95	62	90
	59	17	39	39,45	42	54
Brache	168	133	46 ***	96,75	88	99
	106 *	119 **	54 **	76,05	53	84
Sommerwicke	170			97,65		
	141			83,70		
Linse	195	93	59 ***	94,05	85	95
	164	126**	78	72,90	87	86
Platterbse	222	123	43 ***	90,90	81	96
	168	150 ***	58 *	80,10	70	78
Kanadische Platterbse	216	121	40 ***	93,15	88	99
	214	122 **	62 *	79,20	52	75
Alexandrin Klee	213	141	35 ***	96,75	90	106
	164	186 ***	65 *	72,00	77	68
Ölrettich, Cassius		99	73		105	107
		55	73		66	95
Ölrettich, Compass		90	76		75	121
		39	70		63	116
Meliorationsrettich		60	77		76	105
		55	83		82	79
Gelbsenf		151	63 **		69	106
		82	89		56	77
Braunsenf		90	74		102	122
		57	87		63	68
Kresse		252 **	65 **		55 *	101
		127 **	76		69	91
Buchweizen		114	40 ***		88	92
		161 ***	45 **		70	81
Öllein		75	56 ***		87	116
		121 **	58 *		76	79
Mi 1		92	48 ***		74	107
		68	80		56	91
Mi 2		77	48 ***		79	113
		79	57 *		67	89
Mi 3		96	54 ***		68	95
		109 **	70		56	97
Mi 4		74	61 **		76	110
		39	77		56	87

Tab. 26: Korrigierte Kohlenstoff- und Schwefelgehalt der oberirdischen Biomasse in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Untermallebarn

Parzelle	Kohlenstoff		Schwefel	
	08. 10. 2012	06. 11. 2012	08. 10. 2012	06. 11. 2012
Ø Ölrettich, Final (Std)	521,09	673,69	7,22	8,37
Brache				
Sommerwicke				
Linse	101,67 ***	128,05 **	-0,16 ***	0,71 **
Platterbse	145,92 **	291,83 *	1,06 ***	2,77 *
Kanadische Platterbse	220,16 *	359,87	1,01 ***	3,80
Alexandrin Klee				
Ölrettich, Cassius	516,59	706,79	7,45	10,05
Ölrettich, Compass	479,09	604,09	6,95	9,09
Meliorationsrettich	558,61	582,86	6,62	8,79
Gelbsenf	555,51	779,45	7,53	12,05
Braunsenf	327,17	679,95	6,69	10,93
Kresse	159,18 **	810,39	3,09 *	10,22
Buchweizen	423,43	534,43	5,77	5,00
Öllein	111,55 **	415,15	1,80 **	3,29 *
Mischung 1	417,31	803,58	6,58	10,34
Mischung 2	511,58	628,69	5,51	6,35
Mischung 3	452,74	951,33	7,24	12,90
Mischung 4	528,99	510,67	9,13	6,49

Tab. 27: Korrigierte Kohlenstoff- und Schwefelgehalt der oberirdischen Biomasse in kg/ha aus den interpolierten Standardwerten zu unterschiedlichen Messterminen, Standort Zagging

Parzelle	Kohlenstoff		Schwefel	
	20. 10. 2012	12. 11. 2012	20. 10. 2012	12. 11. 2012
Ø Ölrettich, Final (Std)	1450,07	1818,45	24,41	32,41
Brache				
Sommerwicke				
Linse	559,92 ***	778,35 ***	9,77 ***	12,91 ***
Platterbse	726,16 ***	435,74 ***	9,20 ***	8,91 ***
Kanadische Platterbse	632,87 ***	719,02 ***	11,03 ***	12,70 ***
Alexandriner Klee	214,77 ***	212,45 ***	1,65 ***	5,37 ***
Ölrettich, Cassius	1483,65	1869,50	26,56	34,92
Ölrettich, Compass	1275,76	1557,70	25,42	32,02
Meliorationsrettich	1143,62	1072,03 **	24,48	18,58 **
Gelbsenf	2389,48 ***	1459,65	48,07 ***	23,42 *
Braunsenf	1146,84	1636,74	17,85 *	29,28
Kresse	1524,44	1952,33	22,15	35,37
Buchweizen	1141,71	748,14 ***	7,10 ***	9,32 ***
Öllein	774,58 ***	1250,15 *	7,98 ***	16,46 ***
Mischung 1	1089,90 *	1921,94	14,85 **	32,50
Mischung 2	1052,10 *	1536,49	7,25 ***	23,85 *
Mischung 3	1514,02	1654,12	18,35 *	27,26
Mischung 4	1440,44	1932,37	17,75 *	33,80

Tab. 28: Durchschnittlicher Wurzeldurchmesser in mm, Wurzelmasendichte in mg/cm³ und Wurzellängendichte in cm/cm³ in den Tiefen 0 – 15cm und 15 – 30 cm ausgewählter Zwischenfruchtvarianten am 20. 11. 2012, Standort Untermallebarn

Parzelle	Ø Wurzeldurchmesser (mm)		Wurzelmasendichte (mg/cm ³)		Wurzellängendichte (cm/cm ³)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Ø Ölrettich, Final (Std)	0,46	0,45	0,72	0,012	2,41	0,38
	0,46	0,45	0,72	0,012	2,41	0,38
Linse	0,67		0,10		0,78	
Platterbse	0,73		0,22		0,73	
Kanadische Platterbse	0,83	0,59	0,29	0,051	0,76	0,43
Alexandrin Klee	0,00		0,00		0,00	
Ölrettich, Cassius	0,41		0,60		3,37	
Ölrettich, Compass	0,44		0,82		3,16	
Meliorationsrettich	0,41	0,43	0,46	0,019	0,81	0,60
Gelbsenf	0,43		0,45		1,76	
Braunsenf	0,40	0,43	1,16	0,025	2,18	0,51
Kresse	0,43	0,43	0,32	0,026	2,40	0,79
Buchweizen	0,67		0,34		0,54	
Öllein	0,49	0,49	0,20	0,033	1,59	0,58
Mischung 1	0,52		0,72		1,78	
Mischung 2	0,60		0,10		0,49	
Mischung 3	0,42		0,15		1,33	
Mischung 4	0,46		0,70		2,34	

Tab. 29: Durchschnittlicher Wurzelradius in mm, Wurzelmasse in mg/cm³ und Wurzellängendichte in cm/cm³ in den Tiefen 0 – 15cm und 15 – 30 cm ausgewählter Zwischenfruchtvarianten am 20. 11. 2012, Standort Zaggig

Parzelle	Ø Wurzelradius (mm)		Wurzelmasse (mg/cm ³)		Wurzellängendichte (cm/cm ³)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Ø Örettich, Final (Std)	0,45	0,47	0,37	0,028	2,15	0,65
Linse	0,77		0,15		1,03	
Platterbse	0,76		0,10		0,63	
Kanadische Platterbse	0,76	0,78	0,19	0,033	0,85	0,22
Alexandrin Klee	0,61		0,10		0,69	
Örettich, Cassius	0,43		0,47		2,05	
Örettich, Compass	0,45		0,57		2,52	
Meliorationsrettich	0,46	0,43	0,52	0,034	1,35	1,21
Gelbsenf	0,44		0,28		1,27	
Braunsenf	0,48	0,44	0,44	0,013	1,46	0,35
Kresse	0,48	0,44	0,11	0,028	2,21	0,84
Buchweizen	0,55		0,45		1,52	
Öllein	0,49	0,51	0,22	0,040	2,14	0,83
Mischung 1	0,43		0,08		1,16	
Mischung 2	0,60		0,18		1,10	
Mischung 3	0,44		0,06		2,05	
Mischung 4	0,48		0,29		2,37	

