Universität für Bodenkultur Wien Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

Departmentleiter: Univ. Prof. DI Dr. Hans-Peter Kaul

Masterarbeit

zur Erreichung des Grades Diplom-Ingenieurin an der Universität für Bodenkultur Wien

Untersuchung des Zwischenfruchteinflusses auf Wasserhaushalt und Nachfruchtertrag sowie modellgestützte Analyse des Einflusses von Zwischenfrüchten auf die Komponenten der Wasserbilanz



Eingereicht von: Mag. Marie-Luise Wohlmuth

Betreut von:

Univ. Prof. Dr. Dipl. Ing. Hans-Peter Kaul Dipl. Ing. Dr. Gernot Bodner

Wien, Mai 2012

Danksagung

Mein Dank geht an meine Betreuer Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Hans-Peter Kaul für die Betreuung meiner Arbeit und an Dipl. Ing. Dr. Gernot Bodner, der immer ein offenes Ohr für mich hatte und mich tatkräftig und mit viel Geduld bei meiner Arbeit unterstützte.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern der Abteilung für Pflanzenbau, die mir während des Versuches hilfreich zur Seite standen.

Agnes Strauss und Christina Morauf danke ich für die Hilfe bei der Fehlersuche.

Mein besonderer Dank geht an meine Familie, die mich mit viel Zeit, Geduld, Organisation und Liebe unterstützte und damit das Zustandekommen der Arbeit ermöglicht hat.

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inha	ıltsve	rzeichnis
2	Abk	ürzur	ngsverzeichnis
3	Abs	tract	
4	Einl	eitun	g
5	Fraç	geste	llungen und Hypothesen
	5.1	Frag	estellungen
	5.2	Arbe	eitshypothesen
6	Lite	ratur	
	6.1	Zwis	chenfrüchte und Gründüngung
	6.2	Sono	derrichtlinie ÖPUL 2007-2013
	6.3	Beso	chreibung der verwendeten Zwischenfrüchte
	6.3.		Phacelia (Phacelia tanacetifolia)
	6.3.	2	Weißer Senf oder Gelbsenf (Sinapis alba)
	6.3.	3	Futtererbse oder Körnererbse (<i>Pisum sativum</i>)
	6.3.	4	Saatwicke (Vicia sativa)
	6.3.	5	Saatmengen, Saatzeitpunkt und N-Bindungskapazitäten
	6.4	Bode	enwasser
	6.4.	1	Die Bodenwasserbilanz
	6.	.4.1.1	Niederschlag
	6.	4.1.2	Abfluss
	6.	.4.1.3	Evapotranspiration
	6.	.4.1.4	Transpiration (produktive Verdunstung)
	6.	.4.1.5	Evaporation (unproduktive Verdunstung)
	6.	.4.1.6	Sickerwasserspende
	6.4.	2	Wasserverbrauch und Trockenmasseproduktion
	6.5		wirkungen von Zwischenfrüchten auf den Boden und die Komponente
			vasserbilanz
	6.6		wirkungen von Zwischenfrüchten auf den Nachfruchtertrag
_	6.7	_	ebnisse der Zwischenfruchtversuche in Hollabrunn 1998 bis 2010
7			und Methoden
	7.1		uchsstandort
	7.1.		Lage
	7.1.		Klima
	7.1.		Boden
	7.2		suchsanlage und -durchführung
	7.2.		Versuchsanlage
	7.2.		Versuchsdurchführung
	7.3		noden
	7.3.	1	Datenerhebung

	7.3.2	Erhobene Merkmale
	7.3.2.	1 Blattflächenindex4
	7.3.2.2	2 Oberflächenbedeckung
	7.3.2.3	Biomasse
	7.3.2.4	4 Bodenwassergehalt
•	7.3.3	Statistische Auswertungen
•	7.3.4	Modellierung
8	Ergebnis	sse und Diskussion der Merkmale
8.1	l Felc	dversuch4
;	8.1.1	Vegetationsbedingungen
;	8.1.2	Bedeckungsgrad
;	8.1.3	Oberirdische Trockenmasse
;	8.1.4	Blattflächenindex
;	8.1.5	Bodenwassergehalt
;	8.1.6	Errechnete Wasserbilanz
;	8.1.7	Nachfruchtertrag
;	8.1.8	Gesamtresümee Feldversuch:
8.2	2 Mod	dellierung4
;	8.2.1	Kalibrierung
	8.2.1.	1 Phacelia
	8.2.1.2	2 Senf
;	8.2.2	Validierung
	8.2.2.	1 Phacelia Pflanzenwachstum
	8.2.2.2	Senf Pflanzenwachstum2
	8.2.2.3	Bodenwassergehalt4
	8.2.2.4	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
;	8.2.3	Wasserbilanz simuliert2
;	8.2.4	Komponenten der Wasserbilanz im Detail
9	Beantwo	ortung der Forschungsfragen4
9.1		
		serhaushalt und damit den Ertrag der Nachfrucht?
9.2		t es unterschiedliche Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt zwischer g in Reinsaaten und als Gemenge?
10	_	ssbetrachtung
11		nmenfassung4
12		enverzeichnis
13		lungsverzeichnis
14		rurliste
15		ellen
16	•	ig
16		suchsplan4
		auf der gemessene Bodenwassergehalte ie Tiefenstufe

16.3	Verlauf der gemessenen Bodenwassergehaltsunterschiede je Tiefenstufe . 4
16.4	Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für
Brach	e4
	Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für
Phace	elia4
	Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für 4
00111	

2 Abkürzungsverzeichnis

Α	Oberflächenabfluss	(mm)
BFI, LAI	Blattflächenindex, Leaf Area Index	dimensionslos
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis	dimensionslos
E	Evaporation	(mm)
EmrTSum	Wärmesumme bis Feldaufgang	(°C)
EpFac	Pflanzenkoeffizient/ Potentieller Evapotraspirationsfaktor	dimensionslos
ET Veg	Wasserverbrauch über die Vegetationsperiode	(mm)
ET	Evapotranspiration	(mm)
N	Stickstoff	
MaxPen	maximale Wurzeltiefe	(cm)
N	Niederschlag	(mm)
PT	Transpirationseffizienz	(g TM/I H ₂ O)
S	Sickerwasserspende	(mm)
SLA	spezifische Blattfläche	(m^2/g)
Т	Transpiration	(mm)
TK	Transpirationskoeffizient	(I H ₂ O/kg TM)
TM	Trockenmasse	(kg/ha) oder (t/ha)
TNS	Tag nach Saat	(Tag)
Veg	Vegetationsperiode	
VegSum	Wärmesumme bis Blüte	(°Cd)
WNE	Wassernutzungseffizienz	(g TM/I H ₂ O)
ZF	Zwischenfrucht/Zwischenfrüchte	
ΔR	Wasservorratsänderung im Boden	(mm)

3 Abstract

In semi-arid environments in East Austria there are still concerns that cover crops may increase soil water depletion with negative effects on subsequent cash crop yields. The present field experiment conducted in 2009 at the research farm in Groß-Enzersdorf is part of a series of experiments that examined the influence of cover crops on soil water storage.

Weather conditions in 2009 were favourable because of higher temperatures and lower precipitation than on average. Cover crops (mustard, phacelia and field peas) and a mixture of mustard, phacelia and common vetch were compared with bare soil. Plots were arranged in a randomized block design with three replications and were planted on 27 August. Data from the leaf area index, above ground biomass, canopy coverage and soil water storage were gathered.

Mustard and phacelia had a fast juvenile development and average yields. The development of the mixture took longer but the yield was at the same level as phacelia despite the total failure of common vetch.

Soil water storage showed no statistical difference between bare soil and the cover crop treatments at the end of the vegetation period (Dec. 8). Bare soil showed significantly higher water consumption than mustard during the winter period (8.12.-17.3.) and in total (9.9.-17.3.) significantly higher water consumption than mustard and Phacelia. The yields of the cash crop maize showed no significant difference between the treatments.

For the estimation of the components of the water balance the modelling software DAISY was used. The results of the simulation illustrated that the amount of transpiration of the cover crops were compensated by the exceeding evaporation of bare soil. The results are quite similar to those of the field experiments taken in Hollabrunn in the years from 1999 to 2010.

This experiment demonstrates once again that the risk of growing cover crops with respect to the yield of cash crops is low.

4 Einleitung

Zwischenfruchtbegrünungen sind eine verbreitete Agrarumweltmaßnahme mit vielfältigem Nutzen. Die Begrünungspflanzen sichern in vielfältiger Weise die Bodenfruchtbarkeit (Erhöhung der biologischen Aktivität des Bodens durch Förderung von Bodenlebewesen, Unkrautunterdrückung,...), unterstützen die Einhaltung von Umweltzielen (z.B. Grundwasserschutz, Erosionsschutz,...) und tragen damit zur Ertragssicherung bei.

Erosionsschutz ist - besonders im semi-ariden Bereich - aufgrund zunehmender Extremwetterereignisse, sowohl Wind als auch Wasser betreffend, von zunehmender Bedeutung. Jedoch werden gerade unter semi-ariden Bedingungen aus der Praxis häufig Bedenken geäußert, dass der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte die Erträge der Nachfrucht verringern könnte. Auch in der Literatur gibt es dazu kritische Aussagen:

DIEPENBROCK et al. (1999) führt der Anbau von Zwischenfrüchten bei der nachfolgenden Hauptfrucht häufig zur Ertragsminderung, da ein Teil der Winterniederschläge von der Zwischenfrucht beansprucht wird und es zu Saatzeitverzögerungen kommen kann. Auch BÄUMER (1992) führt in seinem Buch an, dass ein geschlossener Zwischenfruchtbestand während einer 50-tägigen Vegetationsperiode etwa 150 - 200 mm Wasser verbraucht. Deshalb gelingt der Anbau nur, wenn die mittlere Niederschlagsmenge während der Monate August und September diesen Wasserbedarf deckt oder noch ausreichend Wasservorräte im unzureichender Boden gespeichert sind. Bei Wasserversorgung Zwischenfruchtbestände die Bodenfeuchte in der Krume so erschöpfen, dass die Bestellung und der Feldaufgang vom nachfolgenden Wintergetreide beeinträchtigt werden.

Um Daten für diese Fragestellung zu erhalten, werden seit einigen Jahren Versuche unter der Leitung von Dipl. Ing. Dr. Gernot Bodner, Abteilung Pflanzenbau an der Universität für Bodenkultur Wien, durchgeführt. Im Rahmen dieser Versuche wurde auch die vorliegende Untersuchung durchgeführt, die den Einfluss der Zwischenfruchtbegrünung auf die Wasserbilanz und damit auf den Ertrag der Nachfrucht zum Inhalt hat.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen des Einsatzes von Sommerzwischenfrüchten auf die Wasserbilanz und das Ertragsrisiko der Nachfrucht Mais. Ein weiteres Ziel stellt die Beurteilung der Unterschiede von Reinsaaten und Gemenge dar.

5 Fragestellungen und Hypothesen

Die in der Einleitung genannten Bedenken führen zu den folgenden Fragestellungen und Arbeitshypothesen.

5.1 Fragestellungen

Wie weit beeinträchtigt der Anbau von Zwischenfrüchten den Bodenwasserhaushalt und damit den Ertrag der Nachfrucht?

Gibt es unterschiedliche Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt zwischen Begrünung in Reinsaaten oder als Gemenge?

5.2 Arbeitshypothesen

Der Bodenwasserhaushalt ist im Frühjahr nicht signifikant unterschiedlich zwischen Brache und den Zwischenfruchtbegrünungen.

Die Begrünung mittels Zwischenfrüchten stellt kein erhöhtes Risiko für den Ertrag der Nachfrucht dar.

6 Literatur

6.1 Zwischenfrüchte und Gründüngung

KAHNT (1983) definiert Gründüngung als Biomasse noch nicht abgestorbener, grüner, wasserreicher Pflanzen. Die Wirksamkeit der Gründüngung hängt von der erzeugten ober- und unterirdischen Masse und den in der Pflanze enthaltenen Nährstoffen ab. Diese stammen laut OEHMICHEN et al. (2011) in erste Linie von Pflanzen des Zwischenfruchtanbaues.

6.2 Sonderrichtlinie ÖPUL 2007-2013

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) gibt alle 7 Jahre eine Sonderrichtlinie für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL) heraus. Die derzeit geltende Richtlinie umfasst den Zeitraum 2007–2013 und enthält in Punkt 2.19. die Begrünung von Ackerflächen.

Als Ziele werden in dieser Sonderrichtlinie folgende Maßnahmen angeführt: "Durch die Begrünung von Ackerflächen im Zeitraum zwischen dem Anbau von Hauptkulturen soll eine Reduktion der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser und des Nährstoffaustrages in Oberflächengewässer, sowie ein Schutz des Bodens vor Wind- und Wassererosion erreicht und ein Beitrag zur Verbesserung der Biodiversität (Tiere und Pflanzen) geleistet werden" (BMLFUW 2010).

Zwischenfruchtbegrünungen erfüllen diese drei Kriterien und liefern darüber hinaus weitere Vorteile für das Ökosystem.

6.3 Beschreibung der verwendeten Zwischenfrüchte

In Folgenden wird für jede Pflanze eine Beschreibung angeführt.

6.3.1 Phacelia (Phacelia tanacetifolia)

Phacelia gehört zur Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllaceae*), stammt aus Kalifornien und ist mit keiner heimischen Kulturpflanze verwandt. Es handelt sich um eine einjährige, schnell wachsende Pflanze, deren Pflanzenteile stark behaart sind. Sie haben einen aufrechten Trieb und können eine Wuchshöhe von ca. 70 cm erreichen. Die Blätter sind stark gefiedert, die Blüten bilden ährenförmige Trauben und sind hellblau bis lila gefärbt. Die Pflanze ist anspruchslos. Sie hält Trockenheit und leichte Fröste gut aus. Sie ist für alle Böden geeignet, da sie mittlere Ansprüche an Boden und Klima stellt (HAMPL 1996). Das Wurzelsystem besteht aus einer Pfahlwurzel mit mäßiger Seiten- und Feinwurzelbildung (FREYER 2003). Die Blütenbildung erfolgt während der gesamten Vegetationszeit, ist jedoch bei Frühsaat verstärkt. Phacelia zählt zu den Dunkelkeimern (LÜTKE ENTRUP 2001).

Phacelia ist laut HAMPL (1996) ein guter Gemengepartner, sollte aber nie mit mehr als 1 bis 1,5 kg/ha Saatgut den Gemengen beigegeben werden, da sie sich sonst zu stark ausbreitet und andere Gemengepartner unterdrückt.

Große Bedeutung hat Phacelia laut LÜTKE ENTRUP (2001) als Zwischenfrucht vor Sommerungen, die in Mulchsaat bestellt werden, da sie über den Winter meist vollständig abfriert und das trockene Pflanzenmaterial leicht zerbricht. Ein weiterer

Vorteil für die Verwendung von Phacelia als Zwischenfrucht ist die rasche Jugendentwicklung mit unkrautunterdrückender Wirkung.

6.3.2 Weißer Senf oder Gelbsenf (Sinapis alba)

Senf ist eine Pflanze aus der Familie der Kreuzblütler (*Brassicaceae*) und ist in ganz Europa verbreitet. Sie läuft schnell auf und bildet keine großen Blätter. Senf ist sehr anspruchslos. Er ist gekennzeichnet durch eine stark photoperiodische Reaktion (Langtagspflanze). Je früher er ausgesät wird, desto eher kommt er zur Blüte. Die Assimilate werden zur Stängel- und Blütenbildung herangezogen - die Blatt- und Wurzelentwicklung ist daher benachteiligt. Erfolgt die Aussaat ab Mitte August kommt es im Bestand zu einer hohen Blattmasse, einem dichten Bestand und intensiver Durchwurzelung, was sich positiv auf die Wirkung einer Gründüngung Spätsaatverträglichkeit erlaubt somit vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Senf zeichnet sich durch eine hohe Trockenmasseproduktion aus, friert in den meisten Fällen über den Winter ab, ist kostengünstig hinsichtlich Saatgut und Saattechnik und zählt zu den häufigsten verwendeten Begrünungspflanzen im Sommerzwischenfruchtanbau (HAMPL 1996). Das Wurzelsystem besteht laut FREYER (2003) aus einer Pfahlwurzel mit Seitenund Feinwurzelbildung. Die Durchwurzelungstiefe reicht in lockereren Böden von 80 bis 150 cm.

LÜTKE ENTRUP (2001) sieht die Vorteile von Senf in der raschen Jugendentwicklung und in guten Bodendeckungs- und Erosionseigenschaften sowie in der Fähigkeit, Nährstoffe im hohen Ausmaß zu speichern. Als Nachteil ist die hohe Stickstoffbedürftigkeit für die Bestandsbildung zu nennen.

6.3.3 Futtererbse oder Körnererbse (*Pisum sativum*)

Es handelt sich bei Futtererbsen laut LÜTKE ENTRUP (2001) um schnell wachsende, eiweißreiche und massenwüchsige Pflanzen aus der Familie der Hülsenfrüchtler (*Fabaceae*) mit langen, hohlen, liegenden bis aufrechten Stängeln und farbigen Blüten. Sie sind relativ saatzeitempfindlich, die Keimung erfolgt hypogäisch d.h. die Keimblätter verbleiben im Boden. Die Erbse verträgt ein relativ breites Temperaturspektrum. Die Frosttoleranz der Sommererbsen reicht während der Keimung und Jugendentwicklung bis –5 °C. Das Wurzelsystem ist laut FREYER (2003) mit einer kurzen, spindelförmigen Pfahlwurzel mit vielen und kräftigen Seitenwurzeln und einem raschen Wurzelwachstum zu charakterisieren. Der Durchwurzelungsbereich reicht von 0-80 cm. Erbsen gedeihen am Besten auf tiefgründigen, humusreichen, leicht bis mittelschweren Lehm- und Lößböden mit guter Wasserversorgung (über 500 mm Niederschlag) (DIEPENBROCK et al. 1999). Geeignete Gemengepartner laut KOLBE et al. (2004) sind Senf, Ackerbohnen, Lupinen und Sonnenblume.

6.3.4 Saatwicke (Vicia sativa)

Die Saatwicke gehört zur Familie der Hülsenfrüchtler (*Fabaceae*). Sie wird bis zu 100 cm lang, hat rankende Triebe mit kantigen Stängeln und sieben paarig gefiederten Blättern. Die Blüten stehen einzeln und haben rotviolette Färbung. Die Anforderungen an den Standort sind gering. Sie lagern ohne Stützfrucht. Die Jugendentwicklung und Ertragsleistung wird durch frühe Saattermine gefördert LÜTKE ENTRUP (2001). Das Wurzelsystem ist laut FREYER (2003) gut verzweigt und sehr rasch im Wachstum. Die Durchwurzelungstiefe reicht von 80 bis 150 cm.

Geeignete Gemengepartner laut KOLBE et al. (2004) sind Körnerleguminosen, Senf, Sonnenblume und Gräser.

6.3.5 Saatmengen, Saatzeitpunkt und N-Bindungskapazitäten

In Tabelle 1 werden die in der Literatur empfohlenen Saatmengen, der spätmöglichste Saatzeitpunkt und die N-Bindungskapazitäten angegeben.

Tabelle 1 Saattermine und empfohlene Saatmengen nach KAHNT (1983), RENIUS et al. (1992), GEISLER (1988), LÜTKE ENTRUP (2001)

	empfohlene Saatmenge (kg/ha)	spätmöglichster Saatzeitpunkt	N- Bindungskapazitäten (kg/ha)
Weißer Senf	8 - 20	10.09.	100 - 130
Futtererbsen	160 - 220	01.08.	100 - 120
Sommerwicke	90 - 160	05.08.	120 - 140
Phacelia	8 - 15	30.08.	70 - 100

Laut dieser Tabelle zählen Futtererbse und Sommerwicke zu den frühsaatbedürftigen Zwischenfrüchten. Senf und Phacelia zählen zu den Spätsaatverträglichen.

6.4 Bodenwasser

Bodenwasser stellt die flüssige Komponente der Bodenbestandteile dar. Es handelt sich dabei um eine wässrige Lösung oder Suspension, in der Bestandteile aus der Atmosphäre, die durch Niederschläge eingetragen werden, und Bestandteile aus der Bodenmatrix enthalten sind. (SCHROEDER 1992).

6.4.1 Die Bodenwasserbilanz

Der Wasserhaushalt des Bodens kann vereinfacht nach EHLERS (1996) in folgender Gleichung dargestellt werden:

$$N - A - T - E - S = \Delta R (mm)$$

ΔR = Wasservorratsänderung im Boden

Niederschlag (N) trifft auf der Bodenoberfläche auf. Ein Teil des Wassers infiltriert in den Boden, ein Teil läuft an der Oberfläche ab (A) oder wird evaporiert (E) d.h. es verdunstet an der Bodenoberfläche. Das in den Boden eingedrungene (infiltrierte) Wasser wird zum Teil von der Pflanze aufgenommen und transpiriert (T), ein Teil verbleibt als Haftwasser im Boden und ein Teil fließt als Sickerwasserspende (S) in den Grundwasserspeicher. Sickerwasser kann durch kapillar aufsteigendes Wasser kompensiert werden. Das daraus resultierende ΔR ist die Änderung des Wasservorrates im Boden.

Abbildung 1 stellt die Komponenten der Wasserbilanz in grafischer Form dar.

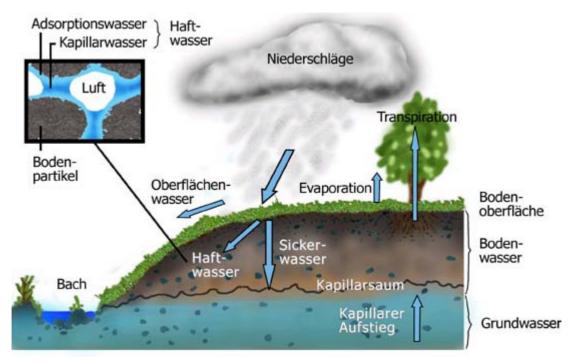


Abbildung 1 Komponenten der Bodenwasserbilanz (Quelle: verändert nach Schroeder (1992))

Im Folgenden werden die Komponenten der Wasserbilanz nach EHLERS (1996) näher beschrieben.

6.4.1.1 Niederschlag

Niederschlag stellt neben dem kapillaren Aufstieg die einzige Zuflussgröße dar. Dieser kann in festem (Schnee, Eis), flüssigem (Regen) oder gasförmigem (Wasserdampf) Zustand den Boden oder die Pflanze erreichen.

6.4.1.2 Abfluss

Beim Oberflächenwasser oder dem Abfluss handelt es sich laut EHLERS (1996) um das Wasser, das nicht in das Bodenprofil infiltriert sondern oberflächlich abläuft. Die Menge hängt unter anderem von Bedeckung, Infiltrationsvermögen, Textur und Bodenstruktur ab.

6.4.1.3 Evapotranspiration

Die Evapotranspiration ist die Summe aus Transpiration und Evaporation. Die Summe der beiden Größen wird oft verwendet, da die beiden Einzelgrößen messtechnisch schwer erfassbar sind (EHLERS 1996).

6.4.1.4 Transpiration (produktive Verdunstung)

Einflussgrößen auf die Transpiration sind: Strahlung, Temperatur, BFI, Dampfdruckgefälle, Windgeschwindigkeit.

Als Transpiration wird das von der Pflanze in Dampfform abgegebene Wasser bezeichnet. Je höher der Blattflächenindex desto höher wird, bis zum Erreichen eines bestimmten kritischen Blattflächenindex, die Transpiration. Damit ist die zur Verfügung stehende Fläche für die Transpiration größer als jene für die Evaporation, die sich auf die Bodenfläche beschränkt. Um das Wasser im Blatt von der flüssigen

in die dampfförmige Phase überzuleiten, ist Strahlungsenergie der Sonne notwendig. Weiters ist ein Dampfdruckgefälle und die Abfuhr des Wasserdampfes, meist durch Massenaustausch mit Wind, Voraussetzung (EHLERS 1996).

Laut BODNER (2007) macht die Transpiration bei Zwischenfrüchten nur zwischen 20% und maximal 60% der gesamten Verdunstungsverluste aus. Dies ist darin begründet, dass das Sättigungsdefizit der Luft temperaturabhängig ist. Im Herbst liegt dieses, aufgrund der geringeren Temperaturen, um 60-70% unter den Werten im Spätsommer.

6.4.1.5 Evaporation (unproduktive Verdunstung)

Einflussgrößen auf die Evaporation sind: Bodenbedeckung, BFI, Strahlung, Temperatur, Bodenwassergehalt, Dampfdruckgefälle, Windgeschwindigkeit.

Bei der Evaporation tritt das Bodenwasser an der Bodenoberfläche von der flüssigen in die dampfförmige Phase über. Dieser energieverbrauchende Prozess wird großteils aus der Strahlungsenergie gespeist. Weitere Voraussetzung für die Diffusion sind ein Dampfdruckgefälle und Konvektion. Die Verdunstungsmenge wird vom Sättigungsdefizit der Luft beeinflusst, das wiederum von der Temperatur abhängt. Sie bringt im Frühjahr die mit der Winterfeuchte aufgesättigten Böden oberflächlich zum Abtrocknen. Sie hängt zum geringeren Teil auch von der Oberflächenbeschaffenheit des Bodens ab (EHLERS 1996).

Die Bewegung des Wasserdampfes spielt an der Bodenoberfläche laut SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2010) eine weitaus bedeutendere Rolle als im Boden. Die Gründe dafür sind die auftreffende Sonneneinstrahlung, die relativen Wasserdampfdrucke, die in der angrenzenden Luft meist geringer sind als in der Bodenluft, und die Luftbewegung über dem Boden, die einen Abtransport des Wasserdampfes bewirkt. Die Verdunstungsverluste an der Bodenoberfläche werden durch Wasserbewegung in der flüssigen Phase aus tieferen Schichten ausgeglichen. Solange diese Nachlieferung hoch genug ist, bleibt die Oberfläche feucht und die Evaporation läuft weiter.

6.4.1.6 Sickerwasserspende

Einflussgrößen auf die Sickerwasserspende sind: Bodentextur, Bodenstruktur, Wurzeltiefe.

Sickerwasser ist der Teil des Bodenwassers, der nicht in den Poren gegen die Schwerkraft festgehalten und in tiefere Zonen verlagert wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Die Menge an Sickerwasser ist unter anderem von der Bodentextur und damit der Feldkapazität abhängig. Sandreiche Böden mit geringer Feldkapazität weisen die größten Sickerwassermengen auf. Ackerböden weisen höhere Sickerwasserraten als Grünland und Nadelwald auf. Wasser, das aus tieferen Bodenschichten in den durchwurzelten Bodenraum kapillar aufsteigt, kann als Zuflussgröße "kapillarer Aufstieg" an die Stelle der Verlustgröße Sickerwasser treten (EHLERS 1996).

Nachfolgende Tabelle zeigt den Zwischenfruchteinfluss auf die Komponenten der Wasserbilanz.

Tabelle 2 Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Komponenten der Wasserbilanz (Bodner et al. 2011)

Wasserbilanz-Komponente	Zwischenfrucht-Einfluss	
Evaporation	Blatt- und Mulchdecke verringern Bodenevaporation; Bio-Makroporen transportieren Wasser in tiefere Bodenschichte, wo Bodenverdunstung nicht angreifen kann.	
Oberflächenabfluss	angreifen kann. Bodenbedeckung und verbesserte Infiltration du 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.	

6.4.2 Wasserverbrauch und Trockenmasseproduktion

Der Transpirationskoeffizient TK beschreibt den Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch und Trockenmasseertrag. Der Transpirationskoeffizient ist, wie BIERHUIZEN & SLATYER (1965) zeigen, an das Sättigungsdefizit der Luft gekoppelt. Er wird nach folgender Formel berechnet:

$$TK = T / TM (I H2O/kg TM)$$

Er gibt an, wie viel Liter Wasser die Pflanze bei der Produktion von einem Kilogramm Trockensubstanz verdunstet. EHLERS (1996) weist darauf hin, dass vielfach in der Literatur höhere Transpirationskoeffizienten zu finden sind, da die Evaporation mit eingerechnet wurde. Der Transpirationskoeffizient wird oft fälschlich als Synonym für den Evapotranspirationskoeffizienten verwendet. Die Werte für den Evapotranspirationskoeffizienten liegen jedoch höher.

Der Kehrwert des Transpirationskoeffizienten wird als die Produktivität der Transpiration PT, Transpirationseffizienz oder Wassernutzungseffizienz bezeichnet.

$$PT = 1/TK (g TM/I H2O)$$

Die Wassernutzungseffizienz kann auch für das Produktionssystem unter Einbeziehung aller Wasserbilanzgrößen angegeben werden.

WNE =
$$PT/(1+((E+A+S)/T))$$
 (g TM/I H₂O)

Je besser es gelingt, die unproduktiven Verlustgrößen (A, S und E) gering zu halten, desto höher ist das Ergebnis. Die Maximierung der Transpiration im Verhältnis zu allen anderen Wasserverlustgrößen ergibt die höchste Wassernutzungseffizienz (EHLERS 1996).

6.5 Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf den Boden und die Komponenten der Bodenwasserbilanz

Der Zwischenfruchtbau wirkt sich laut RENIUS et al. (1992) biologisch, chemisch und physikalisch auf den Boden aus und führt zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

Sie üben durch ihr Wurzelwachstum und der damit verbundenen permanenten Bildung von Makroporen einen signifikanten Einfluss auf die Bodenstruktur (ANGERS & CARON 1998). Permanente Bodenbedeckung und hoher organischer Eintrag durch Zwischenfrüchte fördern die Bodenfruchtbarkeit (RUAN et al. 2001; ROLDAN et al. 2003). HARTWIG & AMMON (2002) zeigten mit ihren Untersuchungen, dass die Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Mulch den Oberflächenabfluss und die Bodenerosion um bis zu 95% gegenüber Brache reduzieren kann. Bereits bei einer Bedeckung von 30% durch Mulch wird das Erosionsrisiko stark reduziert. Bei einem Bedeckungsgrad von 60% liegt der relative Bodenabtrag bei nur mehr 20% (AUERSWALD 1998). LÜTKE ENTRUP (2001) sieht eine besonders intensive Wirkung in der Kombination verschiedener Zwischenfruchtpflanzen. Je vielfältiger der Bewuchs, umso reicher sind die Entwicklung des Bodenlebens und die Wirkung der dadurch hervorgerufenen Regulationseigenschaften.

Der Kohlenstoffgehaltgehalt wird durch Zwischenfruchtbegrünungen erhöht (GUANGWEI et al. 2006). HERMAWAN & BOMKE (1997) zeigten in ihren Feldversuchen die Verbesserung der Aggregatstabilität durch eine Winterbegrünung im Vergleich zu Schwarzbrache.

Zwischenfruchtbegrünungen verringern oder vermeiden laut LÜTKE ENTRUP (2001) die Stickstoffauswaschung durch das Erschließen des Unterbodens mit ihrem Wurzelsystem. Sie nehmen den im Herbst freiwerdenden Stickstoff auf und speichern diesen gemeinsam mit anderen Nährstoffen in der Pflanzenmasse und erhöhen damit die Nährstoffverfügbarkeit für die Nachfrucht. Bei Nichtleguminosen KÖNIG (1996)75%, bei laut Leguminosen Bodenausgangsgehaltes an Nitrat. Die Verringerung von Nitrat-Verlusten wird nicht nur durch die Nitrataufnahme und -bindung der Pflanzen und Herabsetzung der N_{min}bewirkt sondern auch über die Veränderung des Boden Wasserhaushaltes. Durch die Bildung der Biomasse wird Wasser verbraucht, welches für die Versickerung nicht mehr zur Verfügung steht. So können die Wassergehalte des Bodens im Winter im Vergleich zur Brache um 10-30% herabgesetzt und damit auch die Sickerwassermengen deutlich reduziert werden. Diese Effekte können so effizient sein, dass es zu keinen Nitrat-Verlusten, jedoch zu einer geringeren Wasserversorgung der Folgekulturen kommen kann. (SCHULTE 1980, KAHNT 1983, HOOKER et al. 2008, HELMERS et al. 2011). Andere Autoren führen die Möglichkeit an, dass Zwischenfrüchte den Bodenwassergehalt stärker ausschöpfen und es dadurch zu Ertragsminderungen in der Nachfolgekultur kommen kann (KÖRSCHEN 1992, BÄUMER 1992, KOLBE et al. 2004). Einige Autoren beschränken diese Auswirkungen auf Standorte Wasserspeicherfähigkeit und auf den Anbau von winterharten Zwischenfrüchten

(SCHELLER 1992, DIEPENBROCK et al. 1999, RINNO 1958 in KELLER et al. 1997). HAMPL (1996) rät sogar zu rechtzeitigem Mulchen, um eine üppige oberirdische Biomassebildung zu vermeiden. MITCHEL et al. (1999) machen in ihren Studien die Auswirkungen des geringeren Bodenwassergehaltes im Frühjahr nach Winterzwischenfrüchten von der Wahl der Nachfrucht abhängig. Zahlreiche Versuche mit Zwischenfrucht-Begrünungen zeigen, dass der Bodenwasservorrat im Spätherbst im Vergleich zu einer Brache stärker ausgeschöpft wird und dadurch die Verlagerung von Nitrat infolge geringerer Nitratgehalte im Boden vermindert wird (DIETRICH et al. 2002, BODNER et al. 2001, BODNER et al. 2004a). Der Bodenwassergehalt im Frühjahr weist hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Begrünungsvarianten und Brache auf. Einige Ergebnisse zeigen sogar höhere Bodenwassergehalte nach den Begrünungsvarianten (BODNER et al. 2004a, BODNER et al. 2005, ODHIAMBO et al. 2007, BODNER 2007, BODNER & SUMMERER 2009, BODNER et al. 2011).

SALATKO & TIAN (2003) stellten in ihren Versuchen mit Leguminosen als Zwischenfruchtbegrünungen fest, diese sehr unterschiedliche dass Wasseransprüche haben. NIELSEN & VIGIL (2005) schätzen das Risiko des Leguminosen-Zwischenfruchtbaues in semi-ariden Gebieten als sehr hoch ein. Die Studie RAMOS et al. (2010)kam zum Ergebnis, Zwischenfruchtbegrünungen im semi-ariden Gebiet Bodenparameter wie den Gehalt an organischer Masse sowie chemische und physikalische Eigenschaften des verbessern und dessen biologische Aktivität steigern. Bodenwassergehalte waren nach den Begrünungen niedriger. MUNOZ-CARPENA et stellten eine erhöhte Wasserhaltekapazität und aerinaere mit Leguminosen-Zwischenfrüchten Sickerwassermengen bei den begrünten Varianten fest.

ISLAM et al. (2006) zeigten den komplexen Einfluss der Zwischenfrüchte auf den Wasserhaushalt. Pflanzen üben in vielfacher Weise - indirekt und direkt - einen signifikanten Einfluss auf die Bodenstruktur und die Dynamik des Bodenwassers aus (ANGERS & CARON 1998). FOLORUNSO et al. (1992) beobachteten nach Winterzwischenfrüchten einen Anstieg der Wasserinfiltration des Wasserhaltevermögens, JOYCE et al. (2002) stellten geringeren Oberflächenabfluss, eine bessere Infiltration und signifikant höhere Bodenwassergehalte fest. Die Modellierung der Daten mithilfe eines hydraulischen Modells weisen darauf hin, dass für die nachfolgende Kultur das Wasserhaltevermögen des Bodens verbessert wird, rechtzeitig Zwischenfrucht geerntet oder eingearbeitet Zwischenfrüchte steigern sowohl das Wasserhaltevermögen als auch die Bodenwasseraufnahme (COLLA et al. 2000) und bewirkten eine deutliche Reduzierung des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrages (SCHAEFER 1991). FOLORUNSO et al. (1992), MARTENS & FRANKENBERGER (1992) und JOYCE et al. (2002), KAHIMBA et al. (2008) erhielten in ihren Versuchen bessere Ergebnisse für das Einsickern von Regenwasser bei Zwischenfrüchten als bei der Brachevariante. Begrünungen können außerdem Wasser nutzen, unbedeckten Boden verloren geht (Schnee, der verfrachtet wird) oder ohne Pflanzen gar nicht in Erscheinung tritt (Tau) (JUD 2002).

6.6 Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf den Nachfruchtertrag

SCHAEFER (1991) kam bei seinen Versuchen zu dem Ergebnis, dass nach den Sommerzwischenfrüchten Klee, Senf und Phacelia die Erträge von Körnermais nicht vermindert waren. Nach den winterharten Zwischenfrüchten Futterroggen und deutsches Weidelgras waren die Erträge signifikant (im Ausmaß von 10%) niedriger. WEISE et al. (1994) stellten bei Mais, speziell an sandigen Standorten, Ertragswirkungen durch Winterzwischenfrüchte fest. Eine Studie in Roda in Sachsen untersuchte die direkte Wirkung der Zwischenfrucht auf den Ertrag der Nachfrucht. 13 Zwischenfruchtarten wurden als Stoppelsaaten, unter anderem vor Silomais, angebaut, darunter Futtererbse, Phacelia und weißer Senf. Im ersten Jahr konnte unter anderem nach Senf eine Ertragssteigerung von 1-6% festgestellt werden. Im zweiten Jahr gab es Mehrerträge von 5-20% nach den Leguminosen. Im dritten Jahr war nach allen Zwischenfrüchten eine Ertragsdepression festzustellen (KOLBE et al. 2004). Eine achtjährige Studie verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten mit und ohne Zwischenfrüchte ergab für den Nachfruchtertrag bei Körnermais und Sojabohne keine signifikanten Unterschiede. Auch der Gehalt an organischer Masse unterschied sich nicht (OLSON et al. 2010). In einem fünfjährigen Zwischenfruchtversuch am Niederrhein konnten deutliche Unterschiede der einzelnen Arten im Vorfruchtwert bestätigt werden. Der Mehrertrag bei Sommergerste ergab einen Mittelwert aus fünf Jahren von +0,55 t/ha nach Senf, +0,50 t/ha nach Phacelia und +0,74 t/ha nach Erbse bzw. Lupine (BERENDONK 2011). CHEN & WEIL (2011) erhielten bei ihren Versuchen mit den Zwischenfrüchten Daikon (Raphanus sativus var. Longipinnatus), Raps und Roggen höhere Erträge bei der Nachfolgekultur Körnermais.

BODNER et al. (2011) kamen in ihren Zwischenfruchtversuchen in Hollabrunn in den Jahren 1998 bis 2010 unter semi-ariden Bedingungen zu den Ergebnissen, dass der Ertrag der Nachfrucht nach Sommerzwischenfruchtbegrünungen keine signifikanten Unterschiede aufwies. Die Ergebnisse dieser Versuche werden im nächsten Kapitel detailliert erläutert, da diese mit dem Versuchsstandort Marchfeld sehr gut vergleichbar sind. Gemeinsam stellen sie eine verlässliche Grundlage für Aussagen und Empfehlungen für den semi-ariden, landwirtschaftlich intensiv genutzten Teil Ostösterreichs dar.

6.7 Ergebnisse der Zwischenfruchtversuche in Hollabrunn 1998 bis 2010

Seit dem Jahr 1998 werden Feldversuche auf Teilflächen der Landwirtschaftlichen Fachschule Hollabrunn durchgeführt. Hollabrunn gehört zum pannonischen Klimaraum mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,4°C, mittleren Niederschlägen von 491 mm und Windgeschwindigkeiten von 2-4 m/s. Damit ist dieses Gebiet durch für Österreich hohe Jahresmitteltemperaturen bei geringen mittleren Niederschlägen, hohe Verdunstung, Austrocknungsneigung und Tendenzen zur Winderosion geprägt. Beim Boden handelt es sich um ein kalkhaltiges Schwarzerdekolluvium, um schluffigen Lehm, mit einem pH-Wert von 7,6, einem mittleren Humusgehalt von 1,8% und hoher Wasserspeicherkraft (BODNER et al. 2002).

Die Bezeichnung der Versuchsjahre wird mit dem Jahr der Zwischenfruchtsaat angegeben. Daher erfolgte z.B. der Nachfruchtertrag 2002 im Kalenderjahr 2003

usw. und wird mit Ertrag oder Nachfruchtertrag nach dem Versuchsjahr 2002 beschrieben.

Die Ergebnisse der Zwischenfruchtversuche von 1998 bis 2010 (soweit publiziert) sind in den folgenden Tabellen angeführt.

Tabelle 3 Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 1998 - 2000

Zeitraum	1998, 1999, 2000				
Ort	Hollabrunn				
ZF-Varianten	Senf	Phacelia	Perko	Platterbse	
Saattermine	20.8.	10.9.	10.10.		
Umbruchtermine	1.12. (15.11.)	15.2.	10.3.		
Niederschläge	2000 Trockenjahr				
Nachfrucht	Sommergerste				
Untersuchungen					
Nitratgehalt Saattermin Oktober keine effektive Reduktion (Bedeckung <10%) deutliche Reduktion der Nitratgehalte (Phacelia am deutlichsten) je früher Aussaattermin desto mehr N nimmt Pflanze auf			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Nachfruchtertrag	im Mittel tendenziell geringfügig niedrigere Kornerträge speziell bei ZF mit hoher TM-Produktion				
Bodenwassergehalt	Vegetationsende: niedriger als Brache Frühjahr: Senf wies im Mittel der Jahre einen geringeren Wassergehalt als Schwarzbrache auf; alle anderen Varianten wiesen keine nachhaltige Reduktion des volumetrischen Bodenwassergehalts auf.				
Bedeckung	20.8. Senf 92%	10.9. Senf 90%	10.10. Bedec	kung < 10%	
ТМ	20.8. Senf 3,8 t/ha 20.8. Phacelia 3,6 t/ha	10.9. Senf 2,1 t/ha 10.9. Phacelia 2,1 t/h	na		
C/N-Verhältnis	Senf 16,4 Phacelia 14,8				
Modellierung keine					

Quelle der Tabelle und der nachfolgenden Zusammenfassung der Ergebnisse:

BODNER et al. (2001), BODNER et al. (2002), JUD (2002)

In den Versuchsjahren 1998 - 2000 wurden vier Zwischenfruchtvarianten (Senf, Phacelia, Platterbse und die winterharte Variante Rübsen, cv. Perko) mit einer Brachevariante verglichen. Die Aussaat erfolgte zu drei unterschiedlichen Terminen: 20.08. sowie an zwei für Zwischenfrüchte spät gewählten Terminen - 10.09. und 10.10. Als Nachfrucht wurde in allen drei Versuchsjahren Sommergerste angebaut. Es zeigte sich, dass eine Begrünung den Bodennitratgehalt während der Zeit zwischen zwei Hauptfrüchten deutlich reduziert. Auch eine Leguminosen-Zwischenfrucht wie Platterbse weist bei einer bis ins Frühjahr stehenden Begrünung niedrigere Nitratwerte auf als Brache. Die Ergebnisse zeigen weiters, dass bei Zwischenfruchtbegrünungen im Frühjahr zur Aussaat der Folgefrucht keine Reduktion des volumetrischen nachhaltige Bodenwassergehalts durch die Zwischenfrüchte festzustellen war. Lediglich die mit Senf begrünte Variante wies im Mittel der Jahre im Frühjahr einen geringeren Wassergehalt als die Schwarzbrache auf. Im Mittel ergaben sich tendenziell geringfügig niedrigere Kornerträge der Zwischenfruchtvarianten Sommergerste nach ienen höchsten Biomasseproduktion (Senf, Phacelia, Perko).

Tabelle 4 Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2001 und 2002

Zeitraum	2001, 2002				
Ort	Hollabrunn				
ZF-Varianten	Grünroggen	Winterwicke	Ölrettich	Sommerwicke Malve	Gemenge
Saattermine	20.8.	30.9.			
Umbruchtermin	15.11.	10.3.			
Niederschläge	2001: 1.81.3	. 233 mm			
	2002: 1.81.3	. 429 mm			
Nachfrucht	Zuckerrübe, k	Örnererbse			
Untersuchungen					
Nitratgehalt	Absenkung be	ei ZF gegenüb	er Brache		
Nachfruchtertrag	Zuckerrübe nach 2001 2-5% höher Zuckerrübe nach 2002 Ertragsreduktion durch ZF (2-4%, Grünroggen höher) Körnererbse kein eindeutiger Trend nicht nur von Wasser sondern auch von Kulturart abhängig				
Bodenwassergehalt	keine Reduktion im Bodenwasser durch ZF, 2002 sogar geringfügig höhere Werte nach ZF (Infiltration verringert Evaporation), kein Zusammenhang Biomasseaufwuchs und Wassergehalt feststellbar				
Bedeckung	keine Werte				
TM Mittelwerte	5,5 t/ha Ölrettich, Brachemischung 4,7 t/ha, Roggen und Malve 2 t/ha,				
2001 und 2002	Winterwicke 1,1 t/ha und Sommerwicke 0,7 t/ha				
C/N-Verhältnis	keine Werte				
Modellierung	mit Daisy, Oberboden nicht gut abbildbar				

Quelle der Tabelle und der nachfolgenden Zusammenfassung der Ergebnisse:

BODNER et al. (2004a), BODNER et al. (2004b), BODNER et al. (2005)

In den Versuchsjahren 2001 und 2002 wurden fünf Zwischenfruchtvarianten (Grünroggen, Sommerwicke, Ölrettich, Malve und Winterwicke) und ein Gemenge bestehend aus Platterbse, Phacelia, Senf und Sommerwicke angebaut. Saattermine waren der 20.08. und der 30.09. Die Niederschläge im Jahr 2001 betrugen 233 mm und im Jahr 2002 429 mm, was nahezu den durchschnittlichen Jahrsniederschlägen entsprach. Die Biomasseerträge waren im Mittel über die zwei Jahre bei Ölrettich und der Brachemischung am höchsten. Die Nitratgehalte der Zwischenfruchtvarianten zeigten, wie auch schon in den Jahren davor, geringere Werte als Brache. Die Erträge lagen für Zuckerrübe im ersten Jahr um 2-5% über denjenigen der Brache. Im zweiten Jahr lagen sie (mit Ausnahme von Grünroggen) nur knapp unter der Brachevariante. Grünroggen wies signifikant niedrigere Rübenerträge auf. Bei Körnererbse war kein eindeutiger Trend erkennbar, was zur Erkenntnis führte, dass der Nachfruchtertrag nicht nur vom Wasser abhängt sondern auch kulturartabhängig ist.

Der Bodenwassergehalt wies in beiden Frühjahren keinen signifikanten Unterschied auf.

Tabelle 5 Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2004 und 2005

Zeitraum	2004, 2005					
Ort	Hollabrunn					
ZF-Varianten	Senf	Phacelia	Winterwicke	Grünroggen		
Saattermine	20.8.					
Umbruchtermin	10.3.					
Niederschläge		ocken, 20.815.12		11 1		
	2005: bei Saat feucht, 20.815.12. 114,2 mm, OktDez. 11,4 mm, Frühjahr ausreichend					
Nachfrucht	Zuckerrübe, Körnermais, Sommergerste					
Untersuchungen						
Nitratgehalt						
Nachfruchtertrag	kein signifikanter Unterschied					
Bodenwassergehalt	nach 2004: Frühjahr keine signifikanten Unterschiede nach 2005: Frühjahr Wasserverlust bei Begrünungen 3% über Brache					
Bedeckung	2005: Winterwicke > 80%, Senf 60%, Phacelia und Grünroggen < 40%					
TM Mittelwerte	Phacelia 1,6 t/ha					
2004 und 2005	Senf 1,43 t/ha					
C/N-Verhältnis	keine Werte					
Modellierung	mit HYDRUS: Anteil der Transpiration an gasförmigen Verlusten 30%					

Quelle der Tabelle und der nachfolgenden Zusammenfassung der Ergebnisse:

BODNER et al. (2006), BODNER (2007), BODNER et al. (2007a), LIEBHARD et al. (2007), BODNER & SUMMERER (2009)

In den Versuchsjahren 2004 und 2005 waren sowohl die Niederschlagsverteilung als auch –mengen sehr unterschiedlich. Im Jahr 2004 herrschten zur Saat sehr trockene Bedingungen, gefolgt von einer regelmäßig verteilten Niederschlagsmenge von 146 mm. 2005 dagegen fanden die Zwischenfrüchte günstige Feuchtigkeitsbedingungen zur Saat vor. Im Zeitraum von Oktober bis Dezember herrschte ausgesprochene Trockenheit mit nur 11,4 mm Niederschlag.

Der feuchte Oberboden im Jahr 2004 führte zu höheren Wasserverlusten bei Brache als bei den Zwischenfrüchten. Die Pflanzen nahmen das Wasser hauptsächlich aus den obersten Schichten auf, wo auch die unproduktive Verdunstung der Brache stattfand. Somit kam es in den Zwischenfruchtvarianten zu einer Umverteilung von unproduktiver Verdunstung hin zu produktiver ohne signifikante Unterschiede in der Gesamtmenge. Der Wasserbedarf der Pflanzen konnte aus den Niederschlägen gedeckt werden. Und der Bodenwasserhaushalt wurde von den Zwischenfrüchten nicht belastet. Im Frühjahr herrschte kein signifikanter Unterschied zwischen den Zwischenfruchtvarianten und Brache.

2005 war durch die lange Trockenperiode der Oberboden wesentlich trockener und die Evaporation der Brache damit eingeschränkt. Die Pflanzen dagegen holten Wasser mit ihren Wurzeln aus den tiefen Bodenschichten und bewirkten einen höheren Wasserentzug von 30% über die Vegetationsperiode. Über die Winterperiode wurde das Profil jedoch wieder weitgehend aufgefüllt, während es bei Brache zu höheren Versickerungsverlusten in tiefe Profilschichten kam. Die Wassergehaltsunterschiede im Frühjahr lagen nur mehr bei etwa 3%. Dies ist auch auf die Verbesserung der Bodenstruktur und die verbesserte Infiltration zurückzuführen. Aufgrund der rechtzeitigen Niederschläge zur Vegetationszeit der

Nachfolgekulturen wiesen in beiden Jahren die Nachfruchterträge keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 6 Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2006

Zeitraum	2006				
Ort	Hollabrunn				
ZF-Varianten	Senf	Phacelia	Winterwicke	Grünroggen	
Saattermine	20.8.				
Umbruchtermin					
Niederschläge	20.815.12. 5	8,6 mm			
Nachfrucht	Winterweizen	, Körnermais			
Untersuchungen					
Nitratgehalt	keine Werte				
Nachfruchtertrag keine signifikante Unterschiede					
Bodenwassergehalt	keine Werte				
Bedeckung	keine Werte				
ТМ	keine Werte				
C/N-Verhältnis	keine Werte				
Modellierung	keine				

Quelle der Tabelle und der nachfolgenden Zusammenfassung der Ergebnisse:

BODNER & SUMMERER (2009)

Im Versuchsjahr 2006 waren die Niederschläge während der Vegetationsperiode der Zwischenfrucht sehr gering. Nach dem ebenso trockenen Frühjahr 2007 zeigte der Mais im Juni bereits ein deutliches Blattrollen, vor allem auf den Varianten Winterwicke und Grünroggen. Dies war ein deutliches Zeichen von Wasserstress. Durch das Einsetzen ausreichender Niederschläge ab Juni gab es im Ertrag keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten.

Tabelle 7 Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2010

Zeitraum	2010			
Ort	Hollabrunn			
ZF-Varianten	Legmischung	Kreuzblütlermischnung		
Saattermine	Ende Juli			
Umbruchtermin				
Niederschläge				
Nachfrucht				
Untersuchungen				
Nitratgehalt	keine Werte			
Nachfruchtertrag	keine Werte			
Bodenwassergehalt	Frühjahr kein signifikanter Unterschied			
Bedeckung	keine Werte			
ТМ	6,2 t/ha Leguminosenmisch 6,1 t/ha Kreuzblütlermischung			
C/N-Verhältnis	keine Werte			
Modellierung	keine			

Quelle der Tabelle und der nachfolgenden Zusammenfassung der Ergebnisse: BODNER et al. (2011)

Der Bodenwassergehalt wies keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gemengevarianten und Schwarzbrache auf.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuche in Hollabrunn:

Alle Parzellen mit Zwischenfruchtbegrünungen zeigten im untersuchten Zeitraum geringere Nitratgehalte als Schwarzbrache. Der Nachfruchtertrag wies, mit Ausnahme des Trockenjahres 2003, keine signifikanten Ertragsunterschiede auf. Die Bodenwassergehalte zeigten mit Ausnahme von Senf im Mittel der Versuchsjahre 1998 – 2000 keine signifikanten Unterschiede.

7 Material und Methoden

Im Folgenden werden der Standort, der Versuch, die eingesetzte Methoden, die Datenerhebung und die im Versuch verwendeten Zwischenfrüchte beschrieben.

7.1 Versuchsstandort

7.1.1 Lage

Sämtliche Untersuchungen wurden auf den Flächen der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf durchgeführt. Groß-Enzersdorf liegt im Marchfeld. Das Marchfeld ist eine ca. 930 km² große Beckenlandschaft zwischen Wien und der östlichen Bundesgrenze Österreichs. Es wird auch als Kornkammer Österreichs bezeichnet, ist eine der größten Ebenen des Landes und umfasst den nördlichen Teil des Wiener Beckens. Das Marchfeld hebt sich als ebene und offene Landschaft deutlich von der Umgebung ab. Es wird vom Weinviertler Hügelland im Norden, der Donau im Süden, der March im Osten und vom Bisamberg im Westen begrenzt. Die Seehöhe beträgt zwischen 137 m und 165 m (UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR – Intranet 31.10.2011).

7.1.2 Klima

Das Kleinproduktionsgebiet Marchfeld und damit auch die Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf befinden sich im pannonischen Klimagebiet. Das Marchfeld gehört zu den niederschlagärmsten Gebieten Österreichs, verschärft durch lang anhaltende Trockenperioden sowie durch häufige austrocknende Winde. Die Felder liegen in offener, windiger Lage 156 m über dem Meeresniveau. Das Klima ist besonders im Sommer durch geringe Luftfeuchtigkeit und wenig Taubildung gekennzeichnet. Der Klimaraum ist durch heiße, trockene Sommer und kalte, schneearme Winter geprägt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 ℃, die mittlere Niederschlagssumme 546 mm und die durchschnittliche relative Luftfeuchte 75% (UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR – Intranet 31.10.2011).

7.1.3 Boden

Die Böden dieser Region gehören zu den Schwarzerden, die aus kalkhaltigen Feinsedimenten entstanden. Die Tiefgründigkeit des Bodens ist ungleichmäßig, es treten Teilflächen mit hoch anstehenden Schotterlagen auf. Der Ap-Horizont reicht bis ca. 30 cm Tiefe, der Ah-Horizont bis 50 cm. Beide bestehen aus lehmigem Schluff mit einem Humusgehalt zwischen 2,52% und 3,15%. Der AC-Horizont stellt in 50 bis 90 cm Tiefe den Übergang zum C-Horizont aus Löß dar. Der Schluffgehalt

nimmt im Unterboden stark zu. Die Krume ist schollig bis blockig und neigt vor allem bei starken Niederschlägen zur Verschlämmung, Verkrustung und Dichtlagerung (UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR – Intranet 31.10.2011).

7.2 Versuchsanlage und -durchführung

Im August 2009 wurde ein Feldversuch für Zwischenfruchtbegrünungen an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf in Raasdorf angelegt. Die vorliegende Masterarbeit war Teil dieses Versuches. Der Versuch wurde für eine Laufzeit von drei Jahren konzipiert.

7.2.1 Versuchsanlage

Der Versuch bestand aus zwei Teilflächen; das doppelte Anlegen diente dazu, natürliche und optimale Wachstumsbedingungen nebeneinander untersuchen zu können.

Bei Teilfläche 1 (Reihe 1 und 2 im Versuchsplan, Abbildung 29) handelte es sich um den Teil, der unter optimalen Wachstumsbedingungen durchgeführt wurde. Er umfasste 22 Varianten (19 Zwischenfrüchte, 2 Gemenge und Schwarzbrache).

Teilflächen 2 (Reihe 3 bis 5 im Versuchsplan, Abbildung 29) war jener Teil, der unter natürlichen Wachstumsbedingungen, d.h. ohne Düngung und Beregnung durchgeführt wurde. Er umfasste 33 Varianten (29 Zwischenfrüchte, 3 Gemenge und Schwarzbrache).

Beide Teilflächen waren jeweils als randomisierte Blockanlagen in drei Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug jeweils 3 mal 12 Meter. Jede Parzelle wurde weiter in zwei 1,5 m breite Teilparzellenteile unterteilt.

Als Schwarzbrache wird ein durch ackerbauliche Maßnahmen (z.B. Pflügen) oder durch den Einsatz von Herbiziden, vegetationsfrei gehaltenes Ackerland bezeichnet. Bei der Schwarzbrache besteht im Gegensatz zur Grünbrache eine starke Anfälligkeit für Wind- und Wassererosion (STOLZENBERGER-RAMIRES 2012).

Im Anhang 16.1 (Abbildung 29) ist der Versuchsplan abgebildet. Für die vorliegende Masterarbeit wurden die Zwischenbegrünungsvarianten Phacelia, Senf, Sommerwicke, ein Gemenge aus diesen drei Arten und im späteren Verlauf Futtererbse ausgewählt und betrachtet. Die untersuchten Parzellen wurden blau eingefärbt.

7.2.2 Versuchsdurchführung

Die Aussaat der Zwischenfrüchte erfolgte am 27.08.2009.

Bei der im Versuch angewendeten Variante des Zwischenfruchtbaues handelt es sich um Sommerzwischenfruchtbau. Der Anbau erfolgte als Blanksaat nach einer Bodenbearbeitung mit einer Kreiselegge. Die Saatstärken sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 8 Saatstärken im Versuch

Saatstärken	Menge (kg/ha)
Senf	17
Phacelia	12
Futtererbse	140
Sommerwicke	115
Gemenge:	
Senf	1
Phacelia	5
Sommerwicke	30

Auf Teilfläche 1 wurden die Zwischenfrüchte gedüngt (am 23.09., mit 40 kg/ha N) und beregnet (am 23.09. und am 8.10. mit jeweils 25 mm) und somit optimale Wachstumsbedingungen geschaffen. Dadurch wurde ein potentielles Wachstum für die Modellkalibration gewährleistet.

Teilfläche 2 stellte den wasser- und nährstofflimitierten Teil dar; d.h. die Entwicklung der Zwischenfrüchte erfolgte unter realen Bedingungen ohne Beregnung und Düngung.

Der Umbruch der Zwischenbegrünung erfolgte in der zweiten Märzhälfte 2010, als Nachfrucht wurde Körnermais angebaut.

7.3 Methoden

7.3.1 Datenerhebung

Um die in der Arbeit gestellten Fragstellungen beantworten zu können, wurden die Merkmale Blattflächenindex, Oberflächenbedeckung, Biomasse und Bodenwassergehalt erfasst.

Die ersten drei der Parameter wurden für beide Teilflächen ermittelt, der Bodenwassergehalt nur für Teilfläche 2. Die gewählten Erhebungsmethoden und die Anzahl der Messungen im Beobachtungszeitraum (27.8.2009 – 17.3.2010) sind in nachfolgender Tabelle angeführt.

Tabelle 9 Parameter/Merkmale, Methoden und Anzahl der Messungen

Parameter/Merkmal	Methode	Anzahl der Messungen	
Blattflächenindex	Blattscanner (destruktiv)	5 x (3 x unberegnet)	
	SunScan	1 x	
	LAI 2000	2 x	
Oberflächenbedeckung	Digitalfotos & SigmaScan	8x	
Biomasse	Trockenmasse (Blattmasse/Stängelmasse getrennt)	5 x	
Bodenwassergehalt	Diviner 2000	12 x	

Die Ermittlung des Bodenwassergehalts wurde jeweils in der linken Teilparzelle der zweiten Teilfläche vorgenommen, in welche die Rohre, die für die Messung des Bodenwassergehaltes notwendig waren, eingeschlagen wurden. Auch die Digitalphotos für die Bedeckung und der BFI, erhoben mittels indirekter Messungen, wurden in der linken Teilparzelle aufgenommen. Im rechten Teil wurden die Proben für die Trockenmassegehalte und die BFI Erfassung mittels Scanner entnommen.

Die Messwiederholungen für den Bodenwassergehalt waren in einem wöchentlichen Rhythmus geplant. Aufgrund eines Defektes am Gerät und der teilweisen Nichtverfügbarkeit des Ersatzgerätes konnte diese Intervalldauer nicht eingehalten werden. Die Zeitpunkte der tatsächlich erfolgten Messungen sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 10 Zeitpunkte der erfolgten Messungen

Datum	TNS	BFI, TM	BFI, TM	Bedeckung	Bedeckung	Boden-
		unberegnet	beregnet	unberegnet	beregnet	wasser
27.08.2009	0					
09.09.2009	13			х	Х	Х
22.09.2009	26		Х	Х	Х	Х
23.09.2009	27					Х
29.09.2009	33			Х	Х	
05.10.2009	39					Х
06.10.2009	40		Х	Х	Х	
14.10.2009	48			Х	Х	Х
20.10.2009	54	х	Х			
22.10.2009	56				Х	Х
27.10.2009	61			Х		Х
05.11.2009	70					Х
10.11.2009	75			Х	Х	
17.11.2009	82	х	Х			Х
03.12.2009	98					Х
08.12.2009	103	х	Х	х	х	Х
17.03.2010	209					Х

Die Wetterdaten stammen von der Messstation Groß-Enzersdorf, welche zur Universität für Bodenkultur gehört. Die Station (Adcon A730MD) ist mit zwei Kombisensoren, je einer in Bodennähe und einer in zwei Metern Höhe, ausgestattet. Diese erheben Temperatur, Luftfeuchte und Blattnässe. Des Weiteren umfasst die Messstation einen Windsensor, ein Pyranometer (400-700 nm, PAR), einen Niederschlagsmesser sowie einen Bodentemperaturfühler. Die Übermittlung der Einzelwerte erfolgt alle 15 Minuten zur zentralen Messwertanalyse in der Versuchswirtschaft. (UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR – Intranet 31.10.2011).

7.3.2 Erhobene Merkmale

7.3.2.1 Blattflächenindex

Der Blattflächenindex beschreibt das Verhältnis der gesamten einseitigen Blattoberfläche eines Bestandes zur Grundfläche des Bestandes (BFI = Blattfläche des Bestandes / Grundfläche des Bestandes und ist dimensionslos. Befinden sich keine Blätter auf einer Fläche, so beträgt der BFI=0, entspricht die Blattfläche der Bodenoberfläche ist er 1. Mit einem Blattflächenindex zwischen 3 und 5 werden von den meisten Feldfrüchten 95% der Einstrahlung absorbiert. Futterpflanzenbestände können Blattflächenindices von 8 bis 10 erreichen (BÄUMER 1992, WATSON & VERTESSY 1996).

Es existieren sowohl direkte als auch indirekte Methoden zur Bestimmung des BFI. Als indirekte Methoden wurden die Messgeräte SunScan SS1 Canopy Analysis System (Delta-T Devices) und LAI 2000 (LI-COR) eingesetzt.

Die direkten und genaueren Methoden sind destruktiver Art. Dafür wird das Blattwerk von den Pflanzen entfernt und über die Aufsummierung der Flächen der BFI bestimmt. In diesem Versuch wurde der Blattflächenscanner LI 3100 Area Meter (LI-COR) (Abbildung 2) als Gerät für die direkte Ermittlung des Blattflächenindex eingesetzt.



Abbildung 2 Blattflächenscanner LI 3100 Area Meter, Firma LI-COR

7.3.2.2 Oberflächenbedeckung

Der Bedeckungsgrad stellt das Verhältnis der vom Laubdach überdeckten Fläche zur Bestandsgrundfläche dar (WATSON & VERTESSY 1996) und variiert zwischen 0 und 1. Oft wird er auch als prozentualer Bedeckungsgrad, also als der Anteil der Bestandsgrundfläche, der lückenlos durch den Bestand überdeckt ist, angegeben und variiert dann zwischen 0% und 100%.

Die Ermittlung des Bedeckungsgrades erfolgte über eine indirekte Aufnahmemethode mittels Fotoapparat. Eine Anforderung an dieses Verfahren ist die Aufnahme der Bilder im Winkel von 90° zum Boden für jeden Bestand zu erstellen. Von jeder untersuchten Parzelle wurden drei Fotos aufgenommen, und mithilfe der Software SigmaScan (Systat Software GmbH) wurde aufgrund der Farbunterschiede zwischen Pflanzenbestand und Boden der Bedeckungsgrad ermittelt (KARCHER & RICHARDSON, 2005).

7.3.2.3 Biomasse

Für die Ermittlung der Trockenmasse wurden jeweils 0,25 m² jeder Versuchsparzelle beerntet, die Pflanzenmasse im Trockenschrank bei 50 ℃ 24 Stunden vorgetrocknet und 12 Stunden bei 105 ℃ getrocknet. Danach wurde die Trockenmasse der Proben mittels einer Waage erhoben.

7.3.2.4 Bodenwassergehalt

Für die Ermittlung des Bodenwassergehaltes wurden Rohre in die Versuchsparzellen der zweiten Teilfläche geschlagen. Die Messung erfolgte mit dem Gerät Diviner 2000 (Sentek) (Abbildung 3).



Abbildung 3 Diviner 2000 der Firma Sentek

Dieses Gerät ermittelt den Bodenwassergehalt folgendermaßen: Es wird die elektrische Kapazität, die von der Dielektrizitätskonstante des Bodens, des Wassers und der Luft abhängt, zwischen zwei Elektroden gemessen. Die elektrische Kapazität, die sich um den Sensor einstellt, ist abhängig von der Zusammensetzung des Boden-Luft-Wasser Kontinuums. Abbildung 4 stellt die Arbeitsweise einer Rohrsonde schematisch dar. Die Dielektrizitätskonstante von Wasser (ca. 80) ist größer als die von Luft und Bodenbestandteilen (< 3 bis 5). Dadurch ist die durch die Laufzeit bzw. Kapazität indirekt bestimmte Dielektrizitätskonstante ein Maß für den Wassergehalt. Mit diesem Verfahren wird freies und undefiniert gebundenes Wasser gemessen. Es handelt sich um ein Frequenzy Domain Reflectrometry (FDR) - Verfahren (PALTINEANU & STARR 1997; CAMPBELL 1990).



Abbildung 4 Schematische Darstellung einer Rohrsonde

7.3.3 Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mittels SAS 9.1. mit der Prozedur PROC MIXED (gemischtes Modell). Diese findet Anwendung, wenn die Teilvarianzen der Faktoren (Zwischenfrucht, Tag nach Saat, Wiederholung und Tiefe) zumindest teilweise voneinander abhängig sind, wie es in diesem Versuch der

Fall war. Im Folgenden werden die statistischen Parameter des Versuches aufgelistet (RASCH et al. 2007):

Faktoren (unabhängige Variable):

Zwischenfrucht, Tag nach Saat, Tiefe, Wiederholung

Merkmale (abhängige Variable, die gemessen werden):

Bedeckung, Trockenmasse, Blattflächenindex, Bodenwassergehalt

Varianten (Faktorstufen):

Zwischenfrucht: Brache, Senf, Phacelia, Sommerwicke/Erbse, Gemenge

Tiefenstufen: 5 bis 85 cm in 10 cm Schritten

Tag nach Saat: siehe Tabelle 10

Wiederholungen: drei

Mittelwerte, welche im Rahmen dieser Arbeit in einer Tabelle oder einem Diagramm angeführt werden und einen gemeinsamen Buchstaben aufweisen, sind nicht signifikant verschieden. Die Prüfung erfolgte mittels t-Test, $\alpha = 5\%$.

7.3.4 Modellierung

Zwischenfruchteinflüsse auf den Bodenwasserhaushalt und ihre Ertragsrelevanz unterliegen mit den Standort- und Wetterbedingungen komplexen Wechselwirkungen. Um die Einflüsse für unterschiedliche Bedingungen (Bodenarten und Klimaverhältnisse) beschreiben zu können, werden Modelle verwendet. Ein Modell ist ein Versuch, die Realität mittels mathematischer Zusammenhänge nachzubilden. Damit wird es einerseits möglich, die Bodenwasserbilanz in ihre Teilkomponenten zu zerlegen und andererseits Ergebnisse unter anderen Standortund Wetterbedingungen zu generieren. Modelle können damit als Hilfestellung bei Entscheidungen herangezogen werden.

Für diese Arbeit wird das Modell DAISY (Version 4.91) für die Analyse der Wasserdynamik herangezogen. Dabei handelt es sich um ein deterministisches, auf Grundlagen basierendes. eindimensionales physikalischen Boden-Pflanze-Modell. Atmosphäre (SPA) Es beruht weitgehend auf mechanistischen Modellgleichungen für Pflanzenwachstum, Wasserfluss, Stofftransport Stoffumsetzung. DAISY verfügt über eine umfassende Datenbank parametrisierter Pflanzenarten, Düngemittel sowie Managementmaßnahmen (ABRAHAMSEN & HANSEN 2000).

Für die Pflanzenmodellierung von Senf und Phacelia wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

Wurzeltiefe: Versuchsdaten

Spezifische Blattfläche SLA: Regression BFI/TM Blatt; Steigung der Geraden

Temperatursummen: Literaturdaten und errechnete Werte anhand der

Versuchsdaten BFI: Versuchsdaten

Potentielle Evapotraspirationsfaktor EpFac: (Umrechnungsfaktor von Referenzart Gras zur betrachteten Pflanzenart, ABRAHAMSEN 2010, KJAERSGAARD et al. 2008). Verwendet wurden die ermittelten Werte der Zwischenfruchtversuche 2004 und 2005 Hollabrunn (BODNER et al. 2007b).

Die Kalibrierung erfolgte mit Hilfe der Daten der Teilfläche 1 anhand der Zustandsvariablen Bodenbedeckung, BFI und Trockenmasse für die Varianten

Brache, Senf und Phacelia. Die Validierung (Abgleich der Modellergebnisse mit den Ergebnissen der Teilfläche 2) erfolgte anhand der Zustandsvariablen Bodenbedeckung, BFI, Trockenmasse und Bodenwassergehalt für Senf und Phacelia.

8 Ergebnisse und Diskussion der Merkmale

In diesem Kapitel werden im **ersten Teil (Kapitel 8.1)** die Ergebnisse des Feldversuches (Teilfläche 2) dargestellt und jeweils im Anschluss mit Ergebnissen aus der Literatur diskutiert. Der Aufbau wurde so gewählt, dass die Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse der einzelnen Merkmale in Unterkapiteln dargestellt werden. Die Diskussion der Forschungsfragen und Hypothesen erfolgt gesondert im Kapitel 9.

Die Ergebnisse der Merkmale Bedeckung, Trockenmasse und Blattflächenindex dienen in erster Linie zur qualitativen Beurteilung des Zwischenfruchtbestandes.

Die Ergebnisse des Merkmals Bodenwassergehalt und die Darstellung der errechneten Bodenwasserbilanzen liefern Daten, um einerseits die Fragestellung nach den Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaues auf den Bodenwasserhaushalt und andererseits nach den Auswirkungen von Reinsaaten und dem Gemenge beantworten zu können.

Die Ergebnisse des Nachfruchtertrages (FALB, 2010) werden für die Fragestellung der Auswirkung der Zwischenfrüchte auf den Ertrag der Folgekultur herangezogen.

Im **zweite Teil (Kapitel 8.2)** wird die Modellierung für die Zwischenfrüchte Phacelia und Senf beschrieben. Die Einzelkomponenten der Wasserbilanz werden simuliert und diese Wasserbilanz der errechneten Wasserbilanz aus den Daten des Feldversuches (Teilfläche 2) gegenübergestellt.

Sommerwicke und Futtererbse

Einleitend ist anzumerken, dass die Zwischenfrucht Sommerwicke sowohl in Reinkultur als auch im Gemenge zu 100% durch Hasenfraß ausfiel. Für das Gemenge bedeutete dies den Totalausfall eines Gemengepartners. Als Ersatz für die Reinkultur wurde die Zwischenfrucht Futtererbse in den Versuch aufgenommen. Die Wahl von Futtererbse war – im Nachhinein betrachtet - nicht zielführend, da diese sowohl von Krankheiten (Erbsenrost, Mehltau) als auch von Schädlingen (grüne Erbsenblattlaus, Blattrandkäfer) befallen wurde. Die Erträge für Erbse liegen in beiden Versuchen bei 15% bzw. 20% der üblichen Durchschnittserträge (siehe auch Abbildung 12). Die Ergebnisse werden dargestellt, aber nur bei der Beschreibung und Diskussion des Bodenwassergehaltes miteinbezogen.

Die folgende Abbildung dokumentiert den Bestand der Sommerwicke nach erfolgreichem Feldaufgang am 9.9. und die verbliebenen Pflanzen nach Hasenfraß am 22.9.



Abbildung 5 Sommerwicke am 9.9. (links) und am 22.9. (rechts)



Abbildung 6 Futtererbse am 29.9. (links), am 14.10. (Mitte) und am 8.12. (rechts)

Abbildung 6 zeigt den Entwicklungsverlauf der Futtererbse beginnend mit dem 29.9. bis zum 8.12. Durch den späten Saattermin konnte sich der Bestand nicht etablieren (Bild links). Der Bestand blieb lückig. Durch den massiven Krankheits- und Schädlingsbefall verringerte sich die oberirdische Trockenmasse über die Vegetationsperiode zusehends.

<u>FAZIT 1</u>: Das Gemenge war hinsichtlich des Risikos von Ausfällen sicherer als die Reinsaaten.

8.1 Feldversuch

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Teilfläche 2 (natürliche Wachstumsbedingungen) dargestellt.

Unter den Diagrammen werden als Ergebnisse der statistischen Auswertungen der F- und der p-Wert für signifikante Faktoren angegeben.

8.1.1 Vegetationsbedingungen

Die Vegetationsperiode der Zwischenfrüchte dauerte vom 27.8. (Saat der Zwischenfrüchte) bzw. 9.9. (erste Messung) bis zum 8.12.2009 (letzte Messung beim Abfrosten der Kultur). Daran schloss die Winterperiode an, die am 17.3.2010 mit der Messung des Bodenwassergehaltes endete. Der Umbruch Zwischenfrüchte erfolgte Ende März und die Aussaat der Folgekultur Körnermais im April 2010. Der Erhebungszeitraum des Versuches erstreckte sich somit vom 9.9.2009 bis zum 17.3.2010. Der Versuchszeitraum umfasste den Zeitraum vom 27.8.2009 (Saat Zwischenfrüchte) bis zum 29.9.2010 (Ernte Folgekultur Körnermais). Nachfolgende Grafik Witterungsbedingungen zeiat die während Versuchszeitraumes. Bei den abgebildeten Werten handelt sich um Tagesmittelwerte.

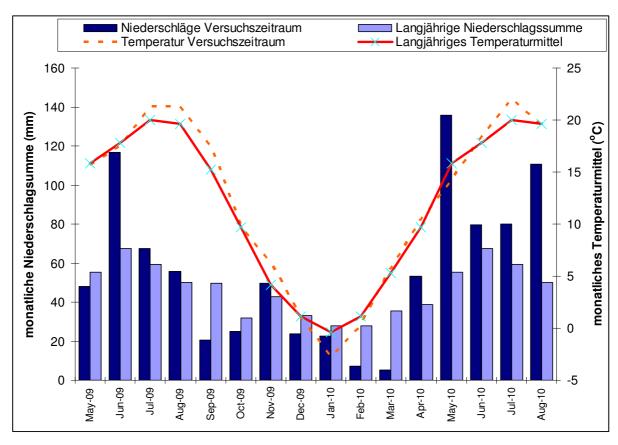


Abbildung 7 Niederschlags- und Temperaturverlauf von 06.2009 bis 08.2010

Die Temperaturen lagen in den Monaten Juli, August, September und November über den langjährigen Durchschnittstemperaturen, was zur Folge hatte, dass auch die Wärmesummen dieser Monate höher waren. Die Niederschläge lagen in den Monaten September bis Oktober und Dezember bis März unter den langjährigen Werten, während es in den Sommermonaten Juni bis August 2009 überdurchschnittlich viel geregnet hat. Daher kann angenommen werden, dass die Bodenwassergehalte zu Versuchsbeginn höher lagen als in anderen Jahren.

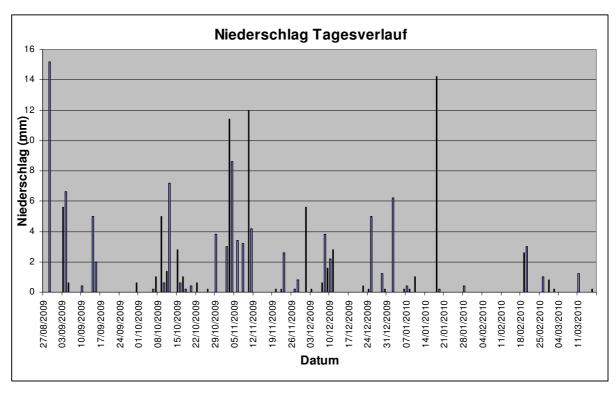


Abbildung 8 Tägliche Niederschlagsmenge im Beobachtungszeitraum von 27.8.2009 bis 17.3.2010

Wie Abbildung 8 zeigt, war der Niederschlag über den Vegetationszeitraum gleichmäßig verteilt. Der maximale Tagesniederschlag betrug 15 mm. Es traten keine Starkregenereignisse auf. In der Winterperiode fiel der Hauptteil der Niederschläge in den Monaten Dezember und Jänner. Die Monate Februar und März wiesen sehr geringe Niederschlagsmengen auf, die weit unter dem Durchschnitt lagen.

Tabelle 11 Niederschläge, Wärmesummen und Durchschnittstemperatur im Beobachtungszeitraum

TNS (Tag) (Datum)	NS (mm)	Wärmesumme (°Cd)	mittlere Tagestemperatur (°C)
1 (28.8.) - 13 (9.9.)	28	167.1	17.9
14 (10.9.) - 26 (22.9.)	7.4	170.6	18.1
27 (23.9.) - 33 (29.9.)	0	81.6	16.7
34 (30.9.) - 40 (6.10.)	0.8	69.2	14.9
41 (7.10.) - 48 (14.10.)	15.2	62.5	12.8
49 (15.10.) - 54 (20.10.)	5	1.5	4.9
55 (21.10.) - 61 (27.10.)	0.8	24.9	8.5
62 (28.10.) - 75 (10.11.)	45.4	17.3	5.0
76 (11.11.) - 82 (17.11.)	4.2	18.7	7.7
83 (18.11.) - 103 (8.12.)	14.2	30.7	5.7
104 (9.12.) - 202 (17.3.)	45.4	21.5	-0.4
Summe	166.4	665.6	

In Tabelle 11 werden die Niederschlagsmengen und die Wärmesummen zwischen den Erhebungszeitpunkten aufsummiert. Die Ermittlung der Wärmesumme erfolgte

mit einer Basistemperatur von 5°C in der Form, dass die Tage, deren Tagesdurchschnittstemperatur >5°C betrug, herangezogen wurden und der Wert der Durchschnittstemperatur, der über diesen 5°C lag, aufsummiert wurde. Beispiel: Tagesdurchschnittstemperatur 7,5°C; davon werden 2,5°C für die Berechnung herangezogen.

Die Bedingungen waren für die Keimung günstig. Im Zeitraum von 28.8. bis 22.9. betrugen die Niederschläge 35,4 mm, die mittleren Tagestemperaturen lagen um 18°C. Auch in der Hauptwachstumsphase (Mitte September bis Mitte Oktober) herrschten gute Bedingungen, die Niederschläge waren unter dem langjährigen Mittel, aber gleichmäßig verteilt.

Diskussion Vegetationsbedingungen

Es herrschten gute Bedingungen für einen Versuch zur Untersuchung der Bodenwasserbilanz von Zwischenfrüchten. Die Temperaturen waren höher, die Niederschläge geringer als der langjährige Durchschnitt. Die Winterniederschläge zum Auffüllen des Bodenwasserspeichers lagen weit unter dem langjährigen Durchschnitt. Die Sommermonate vor Versuchsbeginn wiesen hohe Niederschläge auf, die die Basis für gute Wachstumsbedingungen legten.

8.1.2 Bedeckungsgrad

Die Entwicklung des Bedeckungsgrades ist ein wichtiges Merkmal, um die Erosionswirkung einer Zwischenfrucht zu ermitteln. Eine schnelle Jugendentwicklung und damit rasche Bedeckung des Bodens vermindert das Risiko von Wind- und Wassererosion, von Unkrautkonkurrenz und Evaporation (AUERSWALD 1998).

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf des Bedeckungsgrades der Zwischenfruchtvarianten über die Vegetationsperiode.

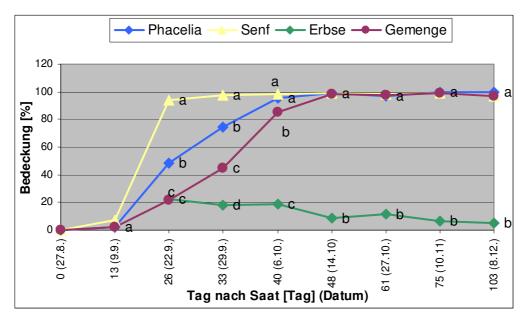


Abbildung 9 Verlauf Bodenbedeckung in %

ZF: F-Wert 2294,89 Pr>F <0,0001

TNS: F-Wert 699,58 Pr>F <0,0001

TNSxZF: F-Wert 59,71 Pr>F 0,0045

Bis zum 9.9. und ab dem 14.10. weisen die Varianten Senf, Phacelia und dem Gemenge keine signifikanten Unterschiede des Bedeckungsgrades auf. Senf erreicht bereits am 22.9. einen Bedeckungsgrad von 94,1% und unterscheidet sich damit durch eine raschere Jugendentwicklung und Bedeckung von Phacelia und dem Gemenge. Phacelia erreichte am 22.9. einen Bedeckungsgrad von 48,5% und am 29.9. von 74,4%. Das Gemenge weist noch am 6.10. einem Bedeckungsgrad von 85,6% und damit einen signifikanten Unterschied zu Senf und Phacelia auf.

Die Entwicklung der Varianten Gemenge, Senf und Phacelia wurde anhand von Bildern dokumentiert und in den folgenden Abbildungen auszugsweise mit je einem Beispiel für jede Variante gezeigt.

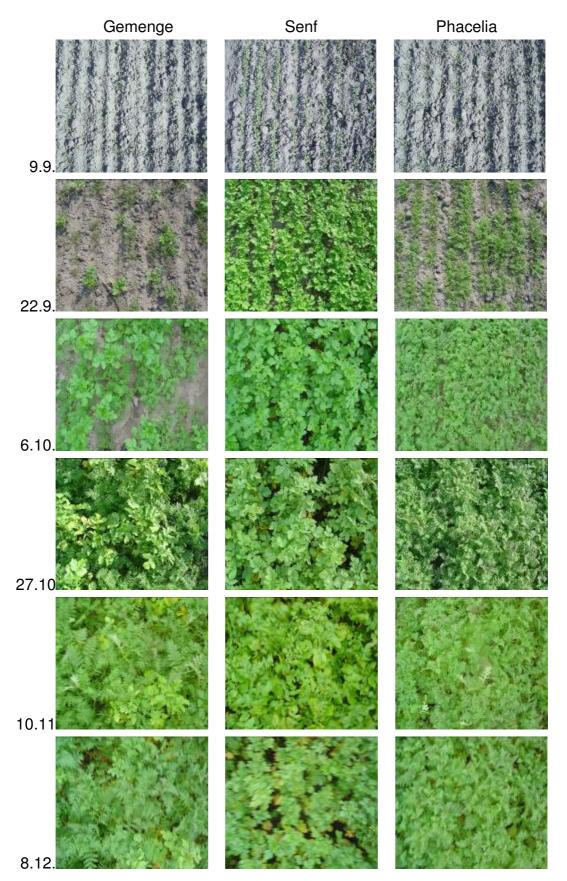


Abbildung 10 Verlauf der Entwicklung von dem Gemenge, Senf und Phacelia anhand der Bilder von dem Gemenge (links), Senf (Mitte) und Phacelia (rechts) über die Vegetationsperiode

Die raschere Jungendentwicklung von Senf war bereits am 9.9. erkennbar. Die Auswirkungen des Ausfalles eines Gemengepartners werden mithilfe der Photos verdeutlicht. Die Bestandsbildung ist deutlich verzögert, kann den Ausfall aber großteils kompensieren.

Diskussion Bedeckungsgrad

Phacelia und Senf weisen beide eine rasche Jugendentwicklung auf. Der Anfangsverlauf ist bei Senf signifikant höher. Die gute Spätsaatverträglichkeit von Senf und Phacelia wird mit diesen Ergebnissen bestätigt. Im Zwischenfruchtversuch 2010 in Großenzersdorf zeigte Phacelia am 15.10. einen Deckungsgrad von 89.6% (KASTELLIZ et al. 2011). Phacelia erreichte im Zwischenfruchtversuch in Hollabrunn im Mittel über die Jahre 1998-2000 beim Saattermin 10.9. einen Deckungsgrad von 88% (BODNER et al. 2001).

Die Jugendentwicklung vom Gemenge war durch den Totalausfall von Sommerwicke verzögert. Ab Anfang Oktober holte der Bestand jedoch auf und wies am 14.10 keinen Unterschied zu den Reinkulturen Senf und Phacelia auf.

Phacelia war im Gemenge, über alle Wiederholungen betrachtet, der dominante Gemengepartner. Die Saatstärke von Phacelia wurde im Gemenge mit 5 kg/ha festgelegt. Die Gemengezusammensetzung war durch die langjährigen Erfahrungen aus den Zwischenfruchtversuchen in Hollabrunn mit 2 kg Senf, 5 kg Phacelia und 25 kg Sommerwicke festgelegt worden und stellte sich als sehr ertragsstabil heraus (BODNER 2007). Der Totalausfall des Gemengepartners Sommerwicke trat in der Versuchsreihe erstmalig auf. HAMPL (1996) empfiehlt, eine maximale Saatstärke von 1 kg/ha, um die verdrängende Wirkung von Phacelia als Gemengepartner zu begrenzen.

8.1.3 Oberirdische Trockenmasse

Der Verlauf der Sprosstrockenmasse wird in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

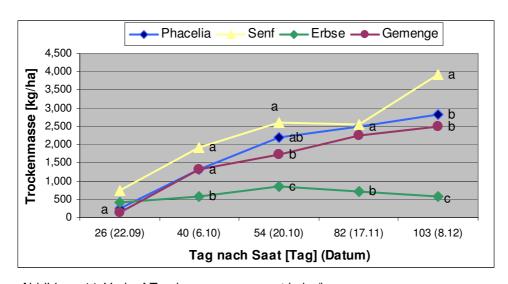


Abbildung 11 Verlauf Trockenmasse gesamt in kg/ha

ZF: F-Wert 58,20 Pr>F 0,0094

TNS: F-Wert 41,21 Pr>F <0,0001

TNSxZF: F-Wert 4,51 Pr>F 0,0047

Senf weist die höchsten Trockenmassewerte während der gesamten Vegetationsperiode auf. Statistisch unterscheidet er sich nur am 20.10. von dem Gemenge und am Ende der Vegetationsperiode von Phacelia und dem Gemenge. Zwischen den Varianten Phacelia und dem Gemenge kommt es über den Verlauf zu keinen signifikanten Unterschieden.

Tabelle 12 ist eine Zusammenstellung von Trockenmasseerträgen aus verschiedenen Literaturquellen.

Zwischenfrucht	Trockenmasse (t/ha)					
	laut KELLER (1997)	laut LÜTKE ENTRUP (2001)	laut FREYER (2003)			
Phacelia	2,39	2,5 - 3,5	2,5 - 3,5			
Senf	k.A.	3 - 4	3,5 - 4			

k.A.

Sommerwicke

Futtererbse

Tabelle 12 Trockenmasseerträge von Zwischenfruchtbeständen

Diese liegen für Phacelia zwischen 2,5 und 3,5 t/ha. Senf erreicht im Durchschnitt 3 bis 4 t/ha. Sommerwicke kann bis zu 5 t/ha erreichen.

3.5

Abbildung 12 zeigt einen Vergleich der gemittelten Erträge aus Tabelle 12 mit den in den beiden Versuchen erzielten Werten.

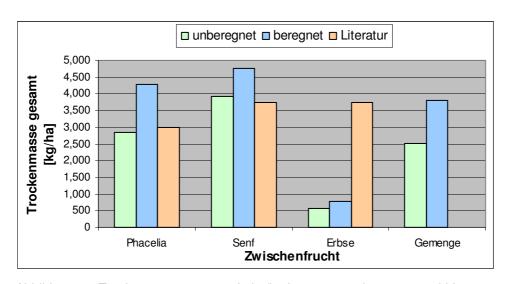


Abbildung 12 Trockenmasse gesamt in kg/ha beregnet, unberegnet und Literaturwerte

Für Phacelia liegt die Trockenmasse im unberegneten Versuch bei 2.839 kg/ha was den durchschnittlichen Literaturwerten entspricht. Der unter Optimalbedingungen erzielte Wert liegt mit 4.287 kg/ha deutlich darüber. Bei Senf liegt der Wert im unberegneten Versuch mit 3.935 kg/ha ebenfalls im Bereich der gemittelten Durchschnittserträge, der beregnete Versuch mit 4.763 kg/ha wieder deutlich darüber. Für das Gemenge sind in der Literatur keine Vergleichswerte angegeben. Die erzielten Werte liegen mit 2.501 kg unter den Durchschnittswerten von Phacelia und Senf in Reinsaaten und sind durch den Ausfall des Gemengepartners Sommerwicke beeinträchtigt.

Für die Varianten Senf, Phacelia und das Gemenge wurden zusätzlich die Trockenmasse der Blätter und Stängel erhoben. Abbildung 13 zeigt die mittlere Trockenmasse der Blätter.

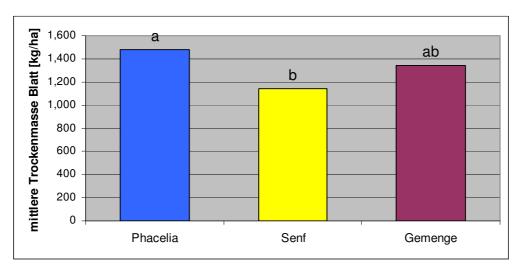


Abbildung 13 Mittlere Trockenmasse Blätter in kg/ha

ZF: F-Wert 12,48 Pr>F 0,0005
TNS: nicht signifikant
TNSxZF: nicht signifikant

Die mittlere Trockenmasse der Blätter unterscheidet sich zwischen Senf und Phacelia signifikant.

Abbildung 14 zeigt den mittleren Trockenmasseertrag für Stängel je Faktorstufe Zwischenfrucht. Abbildung 15 zeigt den mittleren Trockenmasseertrag für Stängel je Faktorstufe Tag nach Saat.

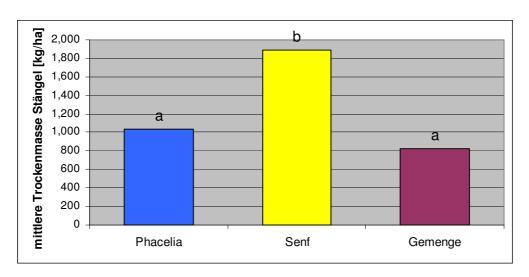


Abbildung 14 Mittlere Trockenmasse Stängel in kg/ha je Zwischenfrucht

ZF: F-Wert 13,92 Pr>F 0,0001

Senf weist die höchsten Trockenmasseerträge für Stängel auf und unterscheidet sich von Phacelia und dem Gemenge signifikant.

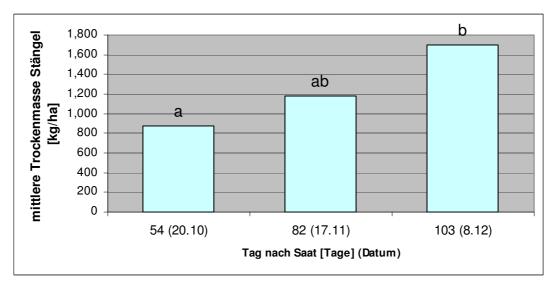


Abbildung 15 Mittlere Trockenmasse Stängel in kg/ha je Tag nach Saat

TNS: F-Wert 4,86 Pr>F 0,0179

TNSxZF: nicht signifikant

Die Faktorstufen Tag nach Saat 54 und 103 unterscheiden sich signifikant voneinander.

Das Verhältnis der Stängelmasse zur Blattmasse betrug am 8.12. für Senf 1:1,7 bei Phacelia 1:0,9 und beim Gemenge 1:1. BODNER et al. (2002) erhielten im Zwischenfruchtversuch 2000 in Hollabrunn ein C/N Verhältnis von 1:16,4 für Senf und 1:14,8 für Phacelia. KOLBE et al. (2004) führt C/N-Werte für Phacelia von 10,3 und 12,9 an. KÖRSCHENS (1992) zeigt, dass das C/N-Verhältnis ein wichtiger Indikator für die Abbaugeschwindigkeit und daraus folgend die N-Verfügbarkeit ist.

Diskussion Trockenmasseertrag

Senf und Phacelia erreichten trotz unterdurchschnittlicher Niederschläge über die Vegetationsperiode durchschnittliche Trockenmasseerträge. Dies ist auf die günstige Verteilung der Niederschläge zurückzuführen.

FAZIT 2: Das Gemenge erzielte auch beim Biomasseertrag trotz Totalausfall eines Gemengepartners und spätem Saattermin Erträge, die sich von Phacelia nicht unterscheiden. Senf erreicht die signifikant höheren Trockenmasseerträge. Zum Zweck der Biomassebildung und den damit verbundenen positiven Wirkungen auf das Bodenleben, den Humus und die Aggregatstabilität, sind alle drei Begrünungsvarianten zu empfehlen. Für Erbse war, neben den Krankheiten und Schädlingen, der Saattermin zu spät.

Exkurs Entwicklungsverlauf Senf:

Der Rückgang der Trockenmasse von Senf zwischen 20.10. und 17.11. ist durch einen Rückgang der Blattmasse bedingt. Der Wachstumseinbruch bei Senf ist in diesem Fall nicht auf Niederschlag und Temperatur zurückzuführen. Die Niederschlagsmenge im Zeitraum von 20.10. bis 17.11. betrug 50 mm bei einer Durchschnittstemperatur von 6,46 °C. Der Rückgang kann zum Teil durch das

Absterben der unteren Blattetagen erklärt werden. Zur Verdeutlichung werden in Abbildung 16 Bilder vom 14.10 und vom 10.11. nebeneinandergestellt. Die ausgelichteten unteren Blattetagen am 10.11. treten deutlich hervor.



Abbildung 16 Senf am 14.10. (links) und am 10.11. (rechts)

Dies erklärt den fehlenden Zuwachs nicht. Die Standardabweichungen weisen auf keinen erhöhten Messfehler hin.

In einer Untersuchung des Wachstumsverhaltens von Sinapis alba von LIETH (1965) wurde festgestellt, dass der Zuwachs zwischen oberirdischer Biomasse und Wurzelmasse alternierend stattfindet. Die Stoffverteilung findet unterschiedlich, einmal mehr zum Spross und einmal mehr zur Wurzel hin, statt. Dieses Wuchsverhalten kann eine Erklärung für die fehlende oberirdische Biomasseproduktion im Zeitraum von 20.10. bis 17.11. darstellen.

Der Zuwachs im letzten Teil der Wachstumsperiode (vom 17.11. bis 8.12.) ist durch die Zunahme der Stängeltrockenmasse um 773 kg/ha (+45%) und der Blatttrockenmasse von 600 kg/ha (+70%) bedingt. Dies bestätigt wiederum die Aussagen von LIETH (1965), dass die Stoffverteilung unterschiedlich erfolgt.

8.1.4 Blattflächenindex

Abbildung 17 zeigt den mittleren Blattflächenindex über die Vegetationsperiode. Für dieses Merkmal war nur der Einfluss der Zwischenfrucht signifikant.

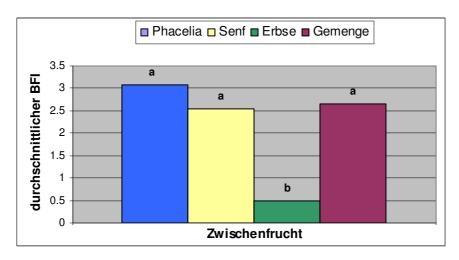


Abbildung 17 Mittlerer Blattflächenindex

ZW: F-Wert 82,89 Pr>F 0,0186

TNS: nicht signifikant TNSxZW: nicht signifikant

<u>Diskussion Blattflächenindex</u>: Es gibt hinsichtlich Blattflächenindex keine Unterschiede zwischen den Varianten Senf, Phacelia und dem Gemenge. Nur Erbse zeigt einen signifikant geringeren Blattflächenindex.

8.1.5 Bodenwassergehalt

Abbildung 18 zeigt den Verlauf des Profilwassergehaltes. Dieser ist die Summe der Mittelwerte des Bodenwassers in den Profiltiefen von 0 bis 85 cm.

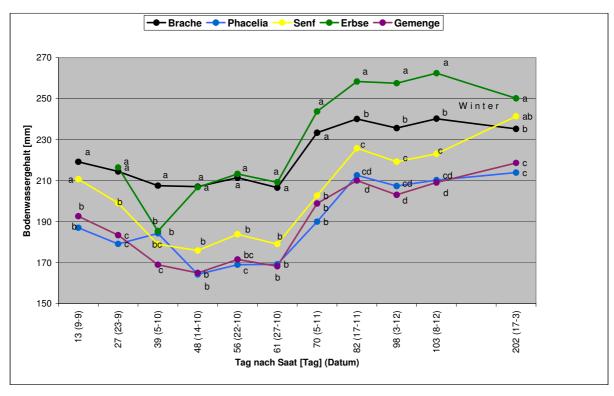


Abbildung 18 Verlauf des Profilwassergehaltes in mm

ZW: F-Wert 156,94 Pr>F <0,0001
TNS: F-Wert 78,88 Pr>F <0,0001
TNSxZW: F-Wert 2,25 Pr>F 0,0028

Hervorzuheben ist, dass am 9.9. die Profilbodenwassergehalte sehr unterschiedliche Höhen aufwiesen. Brache mit 219 mm und Senf mit 210 mm lagen signifikant über den Werten des Gemenges mit 192 mm und Phacelia mit 187 mm. Die Bodenbearbeitung war für alle Varianten einheitlich und erfolgte zu denselben Terminen. Die Standardabweichungen bei Gemenge, Brache, Senf und Erbse weisen auf keinen Messfehler hin. Nur der erhöhte Wert bei Phacelia am 5.10. ist durch einen Messgerätefehler zu erklären. Die Standardabweichungen waren bei diesem Termin auffällig hoch (siehe Kapitel 8.2.2.3). Daher ist die einzige Erklärung für die unterschiedlichen Wassergehalte die Heterogenität des Bodens. Die Tiefgründigkeit des Bodens ist ungleichmäßig, es treten Teilflächen mit hoch anstehenden Schotterlagen auf (siehe 7.1.3).

Um die Änderungen der Bodenwassergehalte vergleichbar zu machen, wurden die Verläufe der Bodenwassergehaltsänderung in Abbildung 19 dargestellt. Da am 9.9. kein Messwert für Erbse vorhanden war wurden in der Folge die Faktorstufen Senf,

Phacelia, das Gemenge und Brache verglichen und den statistischen Tests unterzogen.

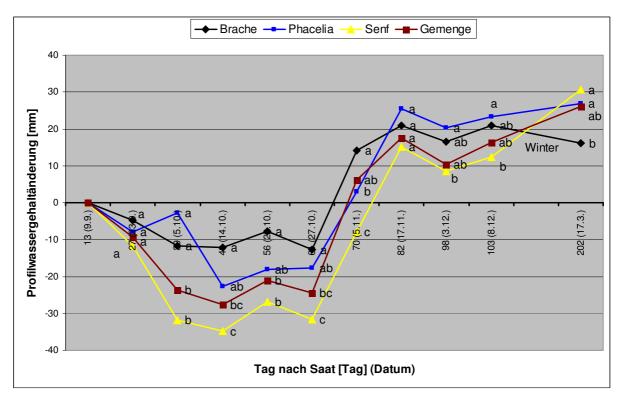


Abbildung 19 Verlauf der Profilwassergehaltänderung in mm

ZW: F-Wert 20,37 Pr>F <0,0001
TNS: F-Wert 95,69 Pr>F <0,0001
TNSxZW: F-Wert 2,16 Pr>F 0,0141

Ab 23.9. bis 27.10. schöpfen die Zwischenfrüchte den Boden stärker aus. Das Gemenge und Senf zeigen signifikant höhere Abnahmen im Bodenwassergehalt als Brache. Mit dem Absinken der Temperaturen ab 5.10. sinkt der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte ab. Ab dem 27.10. bis 17.11. wird der Wassergehalt durch hohe Niederschlagsmengen von 49.6 mm (die im langjährigen Durchschnittsbereich liegen) aufgefüllt. Ab 17.11. bis zum Ende der Vegetationsperiode am 8.12. unterscheiden sich nur die Bodenwassergehalte von Senf und Phacelia signifikant. Im Frühjahr (17.3.) weist Brache einen signifikant geringeren Bodenwassergehalt als Senf und Phacelia auf.

Die tieferen Bodenschichten zeigen wenig Dynamik. Die Verläufe der Bodenwassergehalte und der Bodenwassergehaltsunterschiede je Tiefenstufe werden als Anhang (Anhang 16.2 und Anhang 16.3) angeführt.

Resümee Tiefenstufen Bodenwasser:

Die Brache nimmt das Wasser aus den obersten Bodenschichten, speziell in der Bodenschicht 5 cm.

Senf zieht das Wasser ebenfalls aus den obersten Schichten bis 35 cm. Phacelia hingegen schöpft den Boden gleichmäßig aus. Das Gemenge zeigt ebenso eine gleichmäßige Ausschöpfung über die betrachteten Bodenschichten. Die Ergebnisse

decken sich damit mit den Ergebnissen aus dem Versuch im Jahr 2004 in Hollabrunn. BODNER et al. (2006) kamen dabei mit Winterwicke, Grünroggen und Senf zu dem Ergebnis, dass die Schichten in 0 bis 40 cm am stärksten ausgeschöpft werden. Phacelia ließ 2007 keinen Trend erkennen. KAIMBACHER (2007) kam in seinem Zwischenfruchtversuch 2006 in Hollabrunn zu dem Ergebnis, dass Phacelia eine höhere Wurzellängendichte als Senf, Grünroggen und Winterwicke aufweist. Speziell in tieferen Bodenschichten war die Durchwurzelung eine intensivere. Dies könnte eine Erklärung für die gleichmäßige Ausschöpfung über alle betrachteten Bodenschichten sein.

8.1.6 Errechnete Wasserbilanz

Tabelle 13 Wasserbilanz errechnet (Zeitraum 9.9.2009 – 17.3.2010)

				WASSE	RBI	LANZ (W	erte im r	nm)						
		Vegetation	onsperiod	e 9.9 8.1	2		Winter 8.12 17.3.				gesamt			
	N Veg	WC 9.9.	WC 8.12.	ΔR		ET Veg Annahme S, A=0	N Winter	WC März	ΔR		E Winter Annahme S, A=0	ΔR		ET gesamt Annahme S A=0
Brache	93	219	240	21	ab	72	45	235	-5	b	50	16	b	122
Phacelia	93	187	210	23	а	70	45	214	4	ab	42	27	а	112
Senf	93	211	223	12	b	81	45	241	18	а	27	31	а	108
Gemenge A	93	193	209	16	ab	77	45	219	10	ab	36	26	ab	112

WC = Wassergehalt

N= Niederschlag

ET= Evapotranspiration

E= Evaporation

S= Sickerwasserspende

A= Oberflächenabfluss

ΔR= Änderung des im Boden gespeicherten Wassers

Für die Berechnung der Wasserbilanz wurde die Annahme getroffen, dass die Sickerwasserspende und der Oberflächenabfluss null sind. Lysimeterversuch in Hirschstetten ergab sich für die Jahre 2000 und 2005 während des Zeitraumes von 1.7.-15.10. bzw. 22.6.-31.10. bei Schwarzbrache eine **Evaporation** 80-90% Niederschläge. Es von der kam keinen Sickerwasserspenden (STENITZER et al. 2007). Die Annahme Oberflächenabfluss ist durch die Geländeneigung von 0° begründet.

Die Darstellung der Bodenwasserbilanz erfolgte für die Zwischenfrüchte Phacelia, Senf, dem Gemenge und Brache. Der linke Teil der Tabelle beschreibt den Vegetationszeitraum vom 9.9. bis 8.12. In diesem Zeitraum betrug der Niederschlag 93 mm. Die Änderung des im Boden gespeicherten Wassers ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Wassergehalt zu Beginn und am Ende des Erhebungszeitraumes. Für Brache waren das 21 mm, für Phacelia 23 mm, für Senf 12 mm und für das Gemenge 16 mm. Statistisch gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Brache und den Zwischenfruchtvarianten. Senf und Phacelia unterschieden sich signifikant. Der tatsächliche Wasserverbrauch über die Vegetationsperiode (ET Veg) ergibt sich aus der Summe der Niederschläge und der Änderung im Bodenwasser. Die Menge an Bodenwasser, die der Boden in der Brachevariante als Evaporation verliert, entspricht der Evaporation plus der

Transpiration in den Begrünungsvarianten. Es kommt zu einer Umverteilung des Bodenwassers von unproduktiver Verdunstung zu produktiver.

Im Zwischenfruchtversuch 2004 zeigte sich ein ähnliches Bild. Brache wies höhere Wasserverluste als die Zwischenfruchtvarianten auf. Dies war auf die ausreichende Durchfeuchtung des Oberbodens zurückzuführen. Die Pflanzen nahmen 65% des Wassers aus den oberen Schichten auf, wo auch die unproduktive Bodenverdunstung der Brache stattfand. Die Wasserverluste der Pflanzen waren weitgehend eine Umverteilung von unproduktiver zu produktiver Verdunstung ohne signifikante Unterschiede in der Gesamtmenge (BODNER 2007). Im Versuch im Jahre 2005, wo die Trockenheit im Herbst die Evaporation der Brache einschränkte, bewirkten die Wurzeln durch die Wasseraufnahme aus tieferen Schichten höhere Wasserentzüge (BODNER 2007).

Für die Winterperiode (8.12. bis 17.3.) – im mittleren Teil der Tabelle 13 dargestellt - betrugen die Niederschläge 45 mm. Da in dieser Periode keine lebende Pflanzendecke vorhanden war, beträgt die Transpiration in allen Varianten 0. Der Wasserverlust setzt sich nur mehr aus der Komponente Evaporation zusammen. Diese betrug für Brache 50 mm, für Phacelia 42 mm, für Senf 27 mm und für das Gemenge 36 mm. Der Wasserverbrauch von Brache ist im Vergleich zu Senf signifikant höher und unterscheidet sich von Phacelia und dem Gemenge nicht.

Die Gesamtevapotranspiration ist die Summe der Evapotranspiration über die Vegetationsperiode und der Evaporation über die Winterperiode. Hier weist Brache eine signifikant geringere Wassergehaltsänderung als Senf und Phacelia auf und unterscheidet sich nur von dem Gemenge nicht.

Resümee Wasserbilanz errechnet:

Unter der gegebenen Niederschlagsverteilung (gut verteilte Niederschlagsmengen unter dem langjährigen Durchschnitt, mit durchgängig feuchtem Oberboden, keine Starkregenereignisse) gleichen sich die Transpiration plus die Evaporation der begrünten Varianten und die Evaporation der Brache aus. Die Begrünungsvarianten weisen über die Vegetationsperiode keine signifikanten Unterschiede im Wasserverbrauch im Vergleich zu Brache auf. Über den Winter verliert Brache mehr Wasser als Senf, über den Erhebungszeitraum mehr Wasser als Senf und Phacelia. Die langjährigen Zwischenfruchtversuche in Hollabrunn kamen im Mittel der Jahre 1998-2000 bei Senf im Frühjahr zu geringeren Bodenwassergehalten (BODNER et al. 2001) und für das Jahr 2002 zu höheren Bodenwassergehalten als bei Brache (BODNER et al. 2002). Für die anderen Versuchsjahre war im Frühjahr der Bodenwassergehalt nicht signifikant niedriger als bei Brache (BODNER 2007, BODNER & SUMMERER 2009, BODNER et al. 2011).

Für den in Österreich häufigsten Saattermin der Begrünung (20. August) ergaben Messungen und begleitende Simulationsstudien im semi-ariden Gebiet einen Wasserverbrauch der Zwischenfrucht bis zum Abfrosten von maximal 130 mm. Bei Schwarzbrache lag die Evaporation bei etwa 90 mm. Je geringer der Niederschlag, desto geringer sind auch der Wasserentzug der Zwischenfrucht und die Biomassebildung. Bei trockener Herbstwitterung wurde in Hollabrunn eine Zwischenfrucht-Transpiration von etwa 80 mm gemessen (BODNER et al. 2011).

LÜTKE ENTRUP (2001) gibt einen Richtwert von 100 mm Wasserbedarf für einen Zwischenfruchtbestand Er geht von einem mittleren an. Transpirationskoeffizienten 200 l/ka Trockenmasse t/ha von und 5 Trockenmassebildung aus.

BÄUMER (1992) führt Werte für einen geschlossenen Zwischenfruchtbestand während einer 50-tägigen Vegetationsperiode von 150–200 mm Wasser an.

<u>FAZIT 3</u>: Die Begrünungsvarianten weisen in der Mehrzahl der Versuchsjahre keinen signifikant höheren Wasserverbrauch auf, womit das Risiko für die Folgekultur hinsichtlich Ertragseinbußen durch den Einsatz von Begrünungen als Stoppelsaat als sehr gering eingestuft werden kann.

8.1.7 Nachfruchtertrag

Abbildung 20 zeigt den Nachfruchtertrag für die Varianten Phacelia, Senf und Brache. Für die Variante Gemenge waren keine Daten erhoben worden.

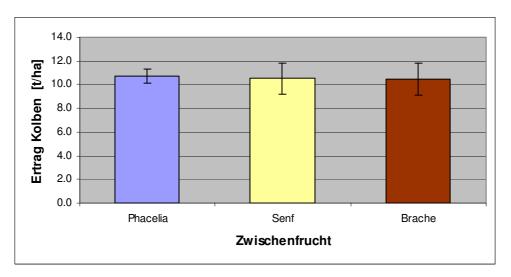


Abbildung 20 Nachfruchtertrag in (kg/ha)

ZW: nicht signifikant

Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Faktorstufen. Der Kolbenertrag lag für die Variante Phacelia bei 10,7 t/ha. Auf den Flächen mit den Varianten Senf und Brache wurden Kolbenerträge von 10,5 t/ha erzielt. Diese Werte liegen im oberen Bereich für die Region Marchfeld. Der durchschnittliche Kornertrag liegt bei 7-8 t/ha (KAUL 2010). Die Niederschläge im Frühjahr lagen über den langjährigen Werten für die Monate April bis August. Das Wachstum der Nachfolgekultur Körnermais hatte somit über die gesamte Vegetationsperiode keine Limitierung hinsichtlich des Wachstumsfaktors Wasser.

Resümee Nachfruchtertrag

Der Zwischenfruchteinfluss auf die Ertragshöhe der Nachfolgekultur hatte in diesem Versuch keine negative Auswirkung. Ab April waren die Niederschläge überdurchschnittlich, und der Wachstumsfaktor Wasser stellte nicht die limitierende Komponente dar. Daher kann der Zwischenfruchteinfluss auf den Bodenwasserhaushalt nur über die Unterschiede im Bodenwassergehalten im Frühjahr beurteilt werden.

BODNER et al. (2004a) folgerte aus seinen Versuchen in Hollabrunn in den Jahren 2001 und 2002, dass die Ertragswirkung der Zwischenfrüchte über das Bodenwasser einerseits von der Jahreswitterung abhängt, aber auch von den spezifischen Bedürfnissen der Folgekultur. Zuckerrübe, Mais und Sonnenblume reagieren deutlicher als Getreide auf Einflüsse der Zwischenfrucht auf das Bodenwasser. Die

Ergebnisse der Versuchsjahre 2005 und 2006 führten zum Schluss, dass die Jahreswitterung und nicht die Begrünungsvariante ertragsbeeinflussend war (BODNER et al. 2011).

Die Zwischenfruchtversuche der Jahre 1998 bis 2007 in Hollabrunn zeigten weder für die Folgefrucht Sommergerste noch für Körnermais signifikante Unterschiede. Zuckerrübe zeigte nur im extremen Trockenjahr 2003 und nur nach der Zwischenfrucht Grünroggen einen signifikant niedrigeren Ertrag. Dazu ist anzumerken, dass es sich bei Grünroggen um eine im semi-ariden Gebiet unübliche Zwischenfruchtpflanze handelt. Nach Phacelia, Winterwicke und Senf waren auch in diesem Extremjahr keine Ertragsunterschiede im Vergleich zu Brache ersichtlich (BODNER et al. 2011).

RINNOFNER et al. (2008) kamen bei ihren Versuchen in den Jahren 2002 bis 2004 im Marchfeld unter Bedingungen des ökologischen Landbaues mit Leguminosen und Nicht-Leguminosengemengen zum Ergebnis, dass der Wasserverbrauch der Pflanzen keine nachteiligen Auswirkungen auf den Nachfruchtertrag hatte. BODNER et al. (2011) kamen im Jahr 2010 mit einer Leguminosen- und einer Kreuzblütlermischung zum gleichen Resultat.

RENIUS et al. (1992) und DACHLER & KÖCHL (1994) geben für den Mehrertrag bei der ersten Nachfrucht einen Wert von 4-12% an, der aber von der Fruchtfolge und den klimatischen Standortbedingungen abhängig ist.

FAZIT 4: Der Ertrag der Nachfolgekultur hängt von den Niederschlägen in deren Vegetationszeit ab. Zu diesem Ergebnis kamen auch BODNER et al. (2011). Das Risiko einer Ertragseinbuße aufgrund einer vorhergehenden Sommerbegrünungsvariante kann als sehr gering eingestuft werden.

8.1.8 Gesamtresümee Feldversuch:

Es herrschten gute Bedingungen für einen Versuch zur Untersuchung der Bodenwasserbilanz. Die Niederschläge lagen unter den langiährigen Durchschnittswerten, die Temperaturen darüber. Die Winterniederschläge zum Auffüllen des Bodenwasserspeichers lagen unter dem langjährigen Durchschnitt. weniger Wasserzufuhr und erhöhte Verdunstung. Niederschlagsverteilung im Versuchszeitraum wies eine gleichmäßige Verteilung mit maximalen Tagesmengen von 15 mm auf. Es traten keine Starkregenereignisse auf. Die Sommermonate vor Versuchsbeginn wiesen hohe Niederschläge auf, die die Basis für gute Wachstumsbedingungen legten.

Aus Sicht des **Erosionsschutzes** sind sowohl Senf als auch Phacelia für Saattermine bis Anfang September gut geeignet. Senf als Pflanze mit einer schnellen Jugendentwicklung - auch zu späteren Saatterminen - weist hinsichtlich des Erosionsschutzes die günstigere Wirkung als Phacelia auf. Bereits am 22.9., also 26 Tage nach Saat, ist der Bedeckungsgrad von Senf über 90%.

Aus der Sicht der **Förderung** des **Bodenlebens** und des **Humusaufbaues** ist bei gleichmäßiger Niederschlagsverteilung trotz Niederschlagsmengen unter dem langjährigen Durchschnitt ein später Saattermin auch mit Phacelia sinnvoll. Das Gemenge erzielte hinsichtlich des Ertrags trotz Totalausfall eines Gemengepartners und spätem Saattermin gute Werte. Zum Zweck der Biomassebildung und den damit verbundenen positiven Wirkungen auf das Bodenleben, den Humus und die Aggregatstabilität sind alle drei Begrünungsvarianten zu empfehlen. Für Erbse war, abgesehen von Problemen mit Krankheiten und Schädlingen, der Saattermin zu spät (siehe Tabelle 1).

Bei Betrachtung des Wasserverbrauches ist kein Unterschied zwischen dem **Gemenge** und Reinkultur zu beobachten. Die Gemenge sind die sicherere Variante hinsichtlich des Risikos von Ausfällen. Die Gemenge weisen den zusätzlichen Vorteil auf, dass durch die unterschiedliche Durchwurzelungsart und –tiefe das Bodenwasser gleichmäßig über die Tiefenstufen verteilt entzogen wird. Auf den Vorteil eines abgestuften Zwischenfruchtbestandes - sowohl in der oberirdischen Masse als auch im Wurzelbereich weist auch BODNER (2012) hin.

Da es bei den Zwischenfruchtvarianten zu keinen statistisch niedrigeren Bodenwassergehalten kam hängt der **Nachfruchtertrag** von den Niederschlagsverhältnissen in der Vegetationsperiode der Folgekultur ab. Die langjährigen Versuche mit Zwischenfrüchten in Hollabrunn kommen zu demselben Ergebnis (BODNER et al. 2011).

Unter der gegebenen Niederschlagsverteilung gleichen sich die Transpiration der Pflanzen und die erhöhte Evaporation der Brache aus. Die Begrünungsvarianten weisen keine signifikant höheren Werte im **Wasserverbrauch** im Vergleich zu Brache auf. Senf und Phacelia weist in diesem Versuch sogar einen signifikant geringeren Wasserverbrauch als Brache auf.

8.2 Modellierung

Für die Modellierung wurde das Programm Daisy 4.1 verwendet. Die Simulation wurde für die Witterungebedingungen der betrachteten Vegetationsperiode durchgeführt. Modelldaten werden in der Folge mit einer durchgezogenen Linie, gemessene Daten als Punkte dargestellt. Bei den gemessenen Werten gibt der Fehlerbalken die Standardabweichung an.

8.2.1 Kalibrierung

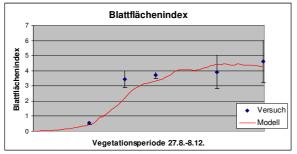
Die Kalibrierung der Pflanzenwachstumskomponenten erfolgte für die Varianten Phacelia und Senf anhand der Zustandsvariablen Trockenmasse und Blattflächenindex der Teilfläche 1 (Optimalbedingungen).

8.2.1.1 Phacelia

Für Phacelia wurden folgende Werte in der Kalibrierung verwendet:

Tabelle 14 Parameter für Kalibrierung Phacelia

Parameter	Wert
SLA (m ² /g)	0,024
EpFac	0,9
MaxPen (cm)	75
EmrTSum (°Cd)	100
VegSum (°Cd)	1150



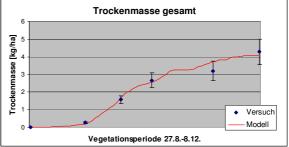


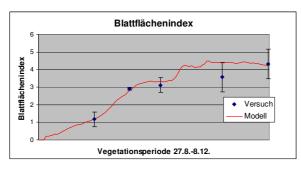
Abbildung 21 Verläufe der Kalibrierungsmerkmale Blattflächenindex und Trockenmasse Phacelia

Abbildung 21 zeigt die simulierten und gemessenen Verläufe des Blattflächenindex und der Trockenmasse für die Zwischenfrucht Phacelia.

8.2.1.2 Senf

Tabelle 15 Parameter für Kalibrierung Senf

Parameter	Wert
SLA (m ² /g)	0,022
EpFac	0,96
MaxPen (cm)	75
EmrTSum (°Cd	100
VegSum (°Cd)	1150



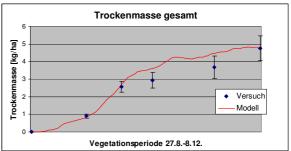


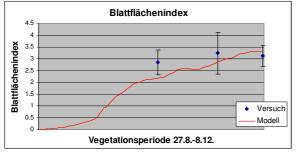
Abbildung 22 Verläufe der Kalibrierungsmerkmale Blattflächenindex und Trockenmasse Senf

Abbildung 22 zeigt die simulierten und gemessenen Verläufe des Blattflächenindex und der Trockenmasse für die Zwischenfrucht Senf. Der Verlauf des Blattflächenindex nur eingeschränkt nachgebildet werden. Der Rückgang der Blattmasse in der Mitte der Vegetationsperiode, der sich im Blattflächenindex und in der Gesamttrockenmasse widerspiegelt, war nicht nachbildbar.

8.2.2 Validierung

Für die Validierung wurden die Messergebnisse von Trockenmasse, Blattflächenindex und Bodenwassergehalt der Teilfläche 2 (natürliche Bedingungen) herangezogen.

8.2.2.1 Phacelia Pflanzenwachstum



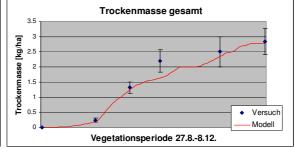
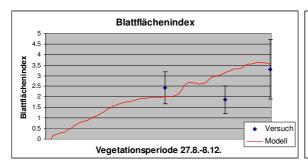


Abbildung 23 Verläufe der Validierungsmerkmale Blattflächenindex und Trockenmasse Phacelia

Der Verlauf des Blattflächenindex kann, da nur Daten von drei Messpunkten vorliegen, mit dem Modell nur eingeschränkt abgebildet werden.

8.2.2.2 Senf Pflanzenwachstum



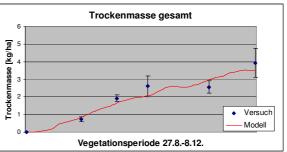


Abbildung 24 Verläufe der Validierungsmerkmale Blattflächenindex und Trockenmasse Senf

Für Senf entsprechen die Ergebnisse der Simulation für die oberirdische Biomasse weitgehend den realen Messwerten. Der Verlauf des Blattflächenindex konnte von Daisy nur eingeschränkt abgebildet werden.

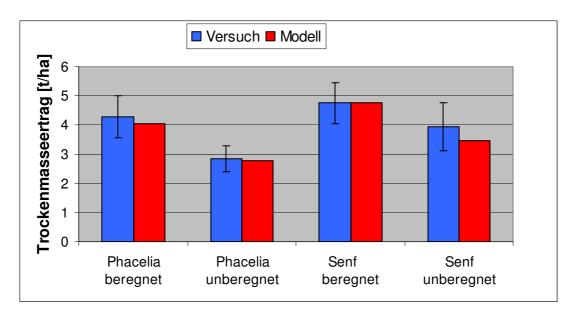


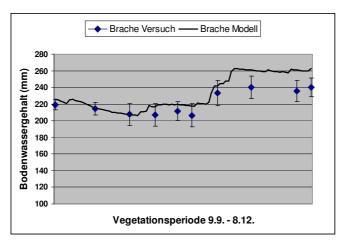
Abbildung 25 Vergleich für Trockenmassewerte gesamt vom 8.12. von Versuch und Modellierung für Teilfläche 1 (beregnet) und 2 (unberegnet)

Abbildung 25 vergleicht die erzielten Werte für Trockenmasse der beregneten und der unberegneten Teilflächen mit den Simulationswerten für die Gesamttrockenmassen. Für beide Zwischenfrüchte entspricht die Simulation weitgehend den gemessenen Werten.

8.2.2.3 Bodenwassergehalt

Die Ergebnisse werden für das Bodenprofil dargestellt.

Die Ergebnisse der Modellierung der einzelnen Tiefenstufen befinden sich im Anhang (Anhang 16.4, 16.5 und 16.6).



Brache wurde mittels der pF-Kurven und der Kurven für die Leitfähigkeit kalibriert. Für Brache konnte bis zum 5.11. der Profilbodenwasserverlauf sehr gut nachgebildet werden. Für die letzten drei Messpunkte wurde eine Verlustgröße in der Simulation nicht richtig eingeschätzt.

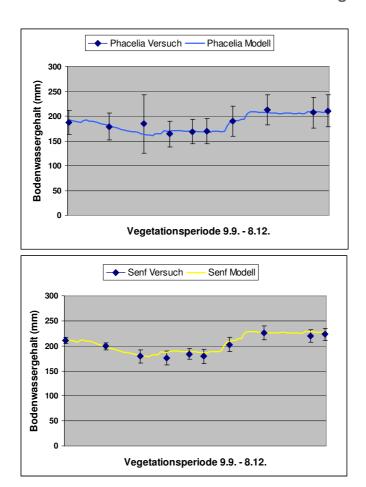


Abbildung 26 Verläufe des Validierungsmerkmale Profilwassergehalt für Brache, Phacelia und Senf

Die Validierung des Modells erfolgte für die Varianten Senf und Phacelia neben dem Blattflächenindex und der Trockenmasse anhand der Zustandsvariablen Profilbodenwassergehalt. Für Phacelia und Senf zeigen sich nahezu identische Verläufe. Die Werte der Simulation sowohl zu Ende der Vegetationsperiode als auch die Verläufe während der Vegetationsperiode entsprechen für Senf und Phacelia weitgehend den gemessenen Werten.

8.2.2.4 Indikatoren für Modellgüte

Mit Hilfe der Software IRENE Version 1.0 (FILA et al. 2003) können Indikatoren errechnet und zur Bewertung der Modellgüte herangezogen werden.

Es wurden die Indikatoren d (Index of Agreement), CV of RMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error), EF (Modelling Efficiency) und CD (Coefficient of Determination) errechnet und bewertet. Bei diesen Indikatoren handelt es sich um solche, die sehr stark auf Messergebnisse mit großer Standardabweichung reagieren, speziell wenn es sich um geringe Datenmengen handelt (FILA et al. 2003, EITZINGER et al. 2004).

Tabelle 16 Ergebnisse der Prüfung der Modellgüte mit der Software IRENE

Prüfgröße	Variante	d	CV (RMSE)	EF	CD
	P=Phacelia S=Senf B=Brache	Index of Agreement	Coefficient of variation of the Root Mean Squared Error (%)	Modelling Efficiency	Coefficient of determination
größte Übereinstimmung Modell und Versuch bei:		1 >0.95 gut >0.9 akzeptabel	0%	1	1
TM gesamt	Р	0.98	0.01	0.92	0.96
TM gesamt	S	0.98	0.01	0.92	0.78
BFI	Р	0.57	14.80	-7.07	11.51
BFI	S	0.64	31.58	-0.83	1.65
Profilwassergehalt	Р	0.95	3.84	0.81	1.09
Profilwassergehalt	S	0.97	2.96	0.89	1.05
Profilwassergehalt	В	0.84	6.29	-0.09	3.04

Die Prüfung der Modellgüte erfolgte für den oberirdischen Biomasseaufwuchs, den Blattflächenindex und den Profilwassergehalt.

Für die Nachbildung des oberirdischen Biomasseaufwuchses hat sich das Modell sowohl für Senf als auch für Phacelia als gut geeignet erwiesen. Alle vier Merkmale weisen große Übereinstimmung auf. Der Verlauf des Blattflächenindex, der nur aus drei Messwerten bestand, konnte nicht nachgebildet werden. Für Senf und Phacelia waren die Profilwassergehalte sehr gut nachbildbar. Alle Modellgüteparameter liefern große Übereinstimmung. Die Parameter für Brache liegen etwas darunter. Der Coefficient of Variation des RMSE liegt mit einer Abweichung von knapp über 6% und der Index of Agreement mit 0.84 in einem akzeptablen Bereich.

Daher kann das Modell für die Zerlegung der Wasserbilanz in ihre Teilkomponenten herangezogen werden.

Daisy wurde mehreren Autoren im Zusammenhang von mit Zwischenfruchtbegrünungen Für den Bodennitratgehalt geprüft. unter Zwischenfrüchten zeigten die Modellergebnisse eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten (THORUP-KRISTENSEN & NIELSEN 1998). Bei Simulationen des Bodenwasserhaushaltes fanden JENSEN et al. (1994) für einige Hauptfrüchte im durchwurzelten Oberboden größere Abweichungen zwischen den simulierten und den gemessenen Werten. Für die Beschreibung der Bodenwasserdynamik unter abfrostenden und winterharten Zwischenfrüchten bei unterschiedlichen Saatterminen konnte zwar der mittlere Wassergehaltsverlauf gut simuliert werden, aber eine Differenzierung zwischen den Managementvarianten war nicht möglich. Auch in diesem Versuch wichen die Verläufe der Anteile des Bodenwassergehaltes von 0 bis 30 cm Bodentiefe am stärksten von den gemessenen Daten ab (BODNER et al. 2004b).

8.2.3 Wasserbilanz simuliert

Für die Zerlegung der Wasserbilanz in die Einzelkomponenten werden die simulierten Werte für Senf, Phacelia und Brache verwendet. Die Simulation erfolgte über die gesamte Vegetationsperiode vom 27.8.-8.12. Die Werte beziehen sich auf eine Profiltiefe von 85 cm.

Tabelle 17 Wasserbilanz simuliert (Zeitraum 27.8. - 8.12.)

WASSERBILANZ 27.8 8.12. (Werte in mm)								
ETAS ET davon E davon T A S								
Brache	-79	-78	-78	0	0	-1		
Phacelia	-98	-100	-72	-28	0	2		
Senf	-103	-110	-75	-35	0	7		

ETAS= Summe Evapotraspiration + Sickerwasserspende + Oberflächenabfluss

ET= Evapotranspiration

E= Evaporation

T= Transpiration

S= Sickerwasserspende

A= Oberflächenabfluss

Das Modell simuliert, wie auch im Versuch angenommen, einem Oberflächenabfluss von 0 mm. Die Simulation der Sickerwasserspende ergibt 1 mm für Brache und eine negative Sickerwasserspende (einen kapillaren Aufstieg) in der Höhe von 2 mm für Phacelia und 7 mm für Senf. Die Gesamtverlustgrößen liegen bei Brache mit 79 mm unter jenem von Phacelia und Senf. Die Evaporation ergibt geringfügige Unterschiede zwischen den Varianten. Dieses Ergebnis weicht von den gemessenen Ergebnissen ab. Der Unterschied ergibt sich aufgrund des höheren simulierten Bodenwassergehaltes am Ende der Vegetationsperiode bei Brache. Die Werte der Transpiration der Zwischenfrüchte weisen mit 28 bzw. 32 mm Werte auf, die sehr gering erscheinen. Der Verlauf der Transpiration wird im Kapitel 8.2.4 genauer dargestellt.

Für Senf lag die gesamte Verdunstung (Evapotranspiration) über die Vegetationsperiode bei 110 mm. Davon fielen nur 35 mm (32%) auf die Transpiration. Die Verteilung bei Phacelia ist ähnlich. Die Evapotranspiration war mit 101 mm etwas geringer und wies einen Transpirationsanteil von knapp 28% auf.

BODNER et al. (2007a) kamen bei den Zwischenversuchen 2004 und 2005 in Hollabrunn mit dem Modell HYDRUS ebenfalls auf einen Anteil von 30% im Mittel über die beiden Versuchsjahre.

8.2.4 Komponenten der Wasserbilanz im Detail

In den folgenden Abbildungen werden für die Varianten Senf und Phacelia die simulierte Transpiration und Evaporation dargestellt.

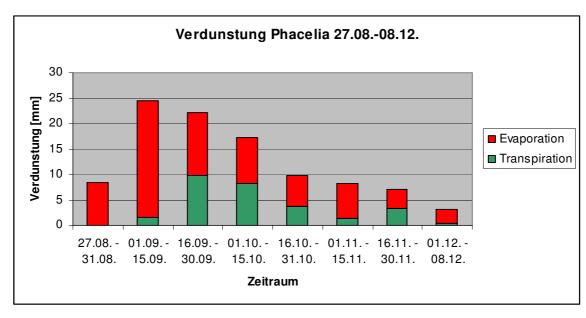


Abbildung 27 Verdunstungswerte Phacelia Zeitraum von 09.09. - 8.12. 2009

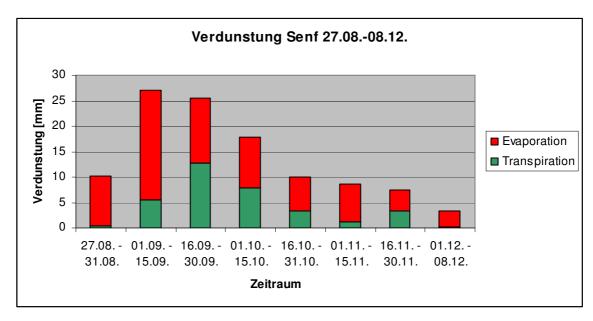


Abbildung 28 Verdunstungswerte Senf im Zeitraum von 09.09. - 08.12. 2009

Wenn wir das Augenmerk auf die Transpiration richten, so zeigt sich, dass diese nur bis Mitte Oktober hohe Werte aufweist. Bei Phacelia ist der Anteil der Transpiration bis Mitte Oktober an der Gesamttranspiration 79% bei Senf 69%. Mit Einsetzen kühlerer Temperaturen und daraus folgend einem niedrigeren Dampfdruckgefälle werden die Werte ab Mitte Oktober sehr gering. Die Biomassebildung läuft ab diesem Zeitpunkt auf einem sehr niedrigen Niveau des Wasserverbrauches und somit sehr wassereffizient ab.

Betrachten wir die Evaporation, so macht diese in den ersten 5 Tagen in beiden Varianten 8–10 mm aus. Das entspricht einem Drittel der gesamten Transpiration über die Vegetationsperiode der Zwischenfrüchte. Die unproduktive Verdunstung steigt am noch gering bedeckten Boden in der ersten Septemberhälfte auf 23 bzw. 22 mm. Der zunehmende Bedeckungsgrad in der zweiten Septemberhälfte und die produktive Verdunstung der Pflanzen senken die Werte auf 12 bzw. 13 mm. Somit wird unproduktive Verdunstung in produktive Verdunstung umgeleitet.

Für den in Österreich häufigsten Saattermin der Zwischenfruchtbegrünungen (20. 8.) ergaben Messungen im semi-ariden Gebiet einen maximalen Wasserverbrauch von 130 mm bis zum Abfrosten. Schwarzbrache verdunstete im gleichen Zeitraum etwa 90 mm. In Hollabrunn wurden bei trockener Herbstwitterung produktive Verdunstungen (Transpiration) von 80 mm gemessen (BODNER et al. 2011).

In folgender Tabelle werden der Transpirationskoeffizient und die Wassernutzungseffizienz von Senf und Phacelia dargestellt.

Tabelle 18 Transpirationskoeffizient und Wassernutzungseffizienz

Zwischen-	Transpiration	Evaporation	Abfluss	Sickerwasser-	Trockenmasse	Transpirations-	Produktivität	Wassernutzung
frucht	[mm]	[mm]	[mm]	spende	[kg/ha]	koeffizient [l/kg	der	seffizienz [g
				[mm]		TM]	Transpiration [g	TM/I H ₂ O]
							TM/I H ₂ O]	
Senf	35	75	0	-7	3940	88.8	11.26	3.83
Phacelia	28	72	0	-2	2840	98.6	10.14	2.90

Für die Bildung von 1 kg Trockenmasse benötigt Senf 88,8 l Wasser. Phacelia liegt mit einem Transpirationskoeffizienten von 98,6 l/kg Trockenmasse darüber. KAIMBACHER (2007) erhielt aus den Daten seiner Versuche im Jahr 2006 in Hollabrunn Koeffizienten für Senf von 178,5 l/kg und für Phacelia von 171 l/kg Trockenmasse. Diese waren infolge sehr geringer Niederschlagsmengen und längerer Trockenperioden durch unterdurchschnittliche Trockenmasseerträge (1,14 t/ha Phacelia und 1,42 t/ha Senf) doppelt so hoch.

Die Produktivität der Transpiration, der Kehrwert des Transpirationskoeffizienten ergaben Werte von 11,26 g TM/l H_2O für Senf und 10,14 g TM/l H_2O . Diese Kenngröße wird in der Literatur oft als Wassernutzungseffizienz bezeichnet.

Die Wassernutzungseffizienz nach EHLERS (1996), die alle Komponenten der Wasserbilanz einbezieht, ergab in diesem Versuch 2,90 g TM/ l H_2O und 3,83 g TM/ l H_2O . Diese Werte lagen über den von LOISKANDL (kA) errechneten Werten für die Zwischenfruchtversuche in Hollabrunn für die Jahre 2004 und 2005, die für das Mittel der beiden Jahre bei circa 1,8 und 2,8 g TM/m^2 lagen.

Resümee Komponenten der Wasserbilanz

Die Transpiration der Zwischenfrüchte macht weniger als die Hälfte der gesamten Verdunstung aus, da ab dem Einsetzten niedrigerer Temperaturen die Biomassebildung einem effizienten Niveau Die auf sehr abläuft. Niederschlagsverteilung mit geringen, aber gleichmäßig verteilten Niederschlägen Versuchsiahr über die Vegetationsperiode, wie im 2009. senkt den Transpirationskoeffizient auf Werte unter 100 l/kg Trockenmasse, erhöht die Wassereffizienz und macht damit Zwischenfruchtbegrünungen zu noch effizienteren Fruchtfolgeelementen.

9 Beantwortung der Forschungsfragen

9.1 Wie weit beeinträchtigt der Anbau von Zwischenfrüchten den Bodenwasserhaushalt und damit den Ertrag der Nachfrucht?

Diese Frage wird folgend in zwei Stufen beantwortet.

Wie weit beeinträchtigt der Anbau von Zwischenfrüchten den Bodenwasserhaushalt? Die Zwischenfrüchte weisen keinen signifikant höheren Wasserverbrauch als Brache auf. In diesem Versuch verbrauchen Phacelia und Senf über den Erhebungszeitraum signifikant weniger Wasser als Brache. Speziell in den Wintermonaten verringerte der bedeckte Boden die unproduktive Wasserverdunstung (Evaporation). Unter der gegebenen Niederschlagsverteilung (gut verteilte Niederschlagsmengen unter dem langjährigen Durchschnitt liegend, mit durchgängig feuchtem Oberboden, keine Starkregenereignisse) entspricht die Transpiration der Pflanzen der erhöhten Evaporation der Brache.

Die langjährigen Ergebnisse der Zwischenfruchtversuche in Hollabrunn weisen darauf hin, dass die Winterniederschläge ausreichen, um auch einen erhöhten Verbrauch im Herbst auszugleichen (BODNER 2007).

HYPOTHESE 1: Der Bodenwasserhaushalt ist im Frühjahr nicht signifikant unterschiedlich zwischen Brache und den Zwischenfruchtbegrünungen.

Antwort: Die Ergebnisse bestätigen Hypothese 1 nicht. Der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte liegt bei Phacelia und Senf sogar signifikant niederer.

Wie weit wird durch den Anbau von Zwischenfrüchten der Nachfruchtertrag beeinträchtigt?

Der Zwischenfruchteinfluss auf die Ertragshöhe der Nachfolgekultur kann mit den Ergebnisse aus diesem Versuch nicht bewertet werden, da die Niederschläge ab April überdurchschnittlich waren und der Wachstumsfaktor Wasser nicht die limitierende Komponente darstellte. Senf und Phacelia zeigten einen signifikant niedrigeren Wasserverbrauch als Brache.

Ergebnisse anderer Studien lassen Rückschlüsse zur Beantwortung der Frage zu. Die Zwischenfruchtversuche der Jahre 1998 bis 2007 in Hollabrunn zeigen weder für die Folgefrucht Sommergerste noch für Körnermais signifikante Unterschiede bei den Erträgen. Zuckerrübe zeigte nur im extremen Trockenjahr 2003 und nur nach der Zwischenfrucht Grünroggen, einer unüblichen Zwischenfrucht im semi-ariden Gebiet, einen signifikant niedrigeren Ertrag. Nach Phacelia, Winterwicke und Senf waren auch in diesem Extremjahr keine Ertragsunterschiede im Vergleich zu Brache ersichtlich (BODNER et al. 2011). RINNOFNER et al. (2008) kamen bei ihren Versuchen in den Jahren 2002 bis 2004 mit Leguminosen und Nicht-Leguminosengemengen - ebenfalls im Marchfeld - zu den Ergebnissen, dass der Wasserverbrauch der Pflanzen keine nachteiligen Auswirkungen auf hatte. Nachfolgekultur hängt von Nachfruchtertrag Der Ertrag der Niederschlägen im Frühjahr ab. Zu diesem Ergebnis kamen auch BODNER et al. (2011).

HYPOTHESE 2: Die Begrünung mittels Zwischenfrüchten stellt kein erhöhtes Risiko für den Ertrag der Nachfrucht dar.

Antwort: Die Ergebnisse bestätigen Hypothese 2.

9.2 Gibt es unterschiedliche Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt zwischen Begrünung in Reinsaaten und als Gemenge?

In diesem Versuch wies der Bodenwasserhaushalt keine signifikanten Unterschiede zwischen Reinsaaten und als Gemenge auf.

Im Zwischenfruchtversuch der Jahre 2001 und 2002 in Hollabrunn wurde ein Gemenge bestehend aus Platterbse, Sommerwicke, Senf und Phacelia angebaut. Dieses erreicht in beiden Versuchsjahren, nach Ölrettich, die zweithöchsten Biomasseerträge (2001 ca. 2,8 t/ha und 2002 circa 6,6t/ha, im Mittel 4,7 t/ha). Im Jahr 2001 war im Frühjahr der Bodenwassergehalt unter dem Gemenge niedriger als unter den anderen Varianten (außer Ölrettich). Bei Zuckerrübe zeigte der Ertrag in beiden Versuchsjahren keine Unterschiede zwischen Reinsaaten und dem Gemenge. Bei der Nachfrucht Körnererbse war der Ertrag im Trockenjahr 2003 (Versuchsjahr 2002) nach dem Gemenge, trotz zweithöchstem Biomasseaufwuchs, höher als bei Schwarzbrache.

Wie repräsentativ sind diese Ergebnisse?

Für eine gut fundierte Aussage zu den Unterschieden zwischen Reinsaaten und einem Gemenge sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind im Kontext mit den Zwischenfruchtversuchen, die seit dem Jahr 1998 in Hollabrunn durchgeführt werden, zu sehen.

Insgesamt können die Ergebnisse dieser Arbeit gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Versuche als gute Basis für die Beratung und Information von Landwirten im semi-ariden Gebiet angesehen werden.

10 Schlussbetrachtung

Die bisherigen Ergebnisse der langjährigen Zwischenversuche im semi-ariden Gebiet sprechen eine deutliche Sprache: das Ertragsrisiko durch die Begrünung ist als sehr gering einzuschätzen. Trockenjahre bringen laut BODNER & SUMMERER (2009) Mindererträge sowohl nach Brache als auch nach Zwischenfruchtbegrünungen. Der vielfältige Nutzen von Zwischenfrüchten (Minderung der Wind- und Wassererosion, Anregung des Bodenlebens, Erhöhung der Aggregatstabilität, Senkung des Risikos der Nitratauswaschung, um nur einige zu nennen) muss dem Risiko gegenüber gestellt werden.

Hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz sind frühe Saattermine (bis 20.08.) vorzuziehen, da die Evaporation (unproduktive Verdunstung) auf unbedecktem Boden bei hohen Temperaturen sehr hohe Werte annimmt. Dieses Wasser kann für die Bildung von Biomasse (Transpiration) herangezogen und somit produktiv genutzt werden. Wichtig dafür ist ein rascher Feldaufgang, um die unproduktive Verdunstung durch schnelle Bodenabdeckung so gering wie möglich zu halten. Ab Mitte Oktober spielt die Transpiration nur mehr eine untergeordnete Rolle, und die Pflanzen erzeugen ihre Biomasse mit sehr geringen Wassermengen. Laut JUD (2002) ist auch der Nitratgehalt des Bodens vom Aussaattermin abhängig. Je früher die Zwischenfrucht gesät wird, desto mehr Nitrat wird vom Pflanzenbestand aufgenommen. Die Managementaufgaben liegen somit in der richtigen Terminierung der Saat, der geeigneten Wahl der Zwischenfrucht und der optimalen Saatbettbereitung.

Die Gemenge sind laut BODNER & SUMMERER (2009) eine Möglichkeit - auch bei ungünstigen Klimabedingungen (trockene Hauptfruchtperioden) - die Vorteile von Zwischenfruchtbegrünungen zu nutzen und Risiken zu minimieren. Durch unterschiedliche Gemengepartner wird auch bei ungünstigen Klimabedingungen oder Ausfällen von Gemengepartnern der Aufwuchs gesichert und eine gute Bodenabdeckung erreicht.

Hinsichtlich der Eigenschaften von Gemengepartnern gibt es langjährige Versuche in Stockerau (HARTL 2011). Die Ergebnisse werden jährlich bei Feldtagen, veranstaltet von der Bioforschung Austria, präsentiert.

Die in der ÖPUL Sonderrichtlinie 2007-2013 festgelegten Maßnahmen - wie den Schutz vor Erosion, Minimierung der Stickstoffauswaschung und die Leistung eines Beitrages zur Biodiversität - können mit Zwischenfruchtbegrünungen erreicht werden.

Die mangelnde Bestandsetablierung von Senf in Reinkultur (obwohl diese Variante die pflanzenbaulich einfachste Variante darstellt), wie im Herbst 2011 in weiten Teilen des Tullnerfeldes beobachtbar, sollte einmal mehr Anlass dazu geben, die Wahl der Begrünung und auch die Beweggründe dafür neu zu überdenken.

11 Zusammenfassung

Der Anbau von Zwischenfrüchten stellt eine wichtige landwirtschaftliche Maßnahme dar. Besonders in Bezug auf das intensiv ackerbaulich genutzte, semi-aride Produktionsgebiet Ostösterreichs gibt es jedoch Bedenken, dass durch stärkeres Ausschöpfen des Bodenwassergehaltes der Nachfruchtertrag vermindert werden könnte. Prognosen zum Klimawandel hinsichtlich der Zunahme von Witterungsextremen (Starkregen, Trockenphasen) geben dem Thema zusätzliches Gewicht.

Der vorliegende Versuch an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (mittlere Jahrestemperatur 9,8 ℃ und durchschnittliche Niederschlagsmenge 546 mm/Jahr) im Jahr 2009 ist Teil einer langjährigen Versuchsserie, die den Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Bodenwasserhaushalt untersucht. Im Jahr 2009 herrschten durch höhere Temperaturen und geringere Niederschläge als im Wachstumsbedingungen. langjährigen Durchschnitt gute Es wurden Zwischenfrüchte (Gelbsenf, Phacelia und Futtererbse) sowie ein Gemenge (Gelbsenf, Phacelia, Sommerwicke) der Brachevariante gegenübergestellt. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen am Merkmale wurden Biomasse, Blattflächenindex, 27.08.2009 angelegt. Als Trockenmasseertrag und Bodenwassergehalt erhoben.

Sommerwicke fiel aufgrund von Hasenfraß und Futtererbse krankheitsbedingt aus. Phacelia und Senf wiesen beide eine rasche Jugendentwicklung auf und erzielten durchschnittliche Trockenmasseerträge. Das Gemenge benötigte in der Entwicklung länger und erreichte trotz des Totalausfalls von Sommerwicke Erträge, die sich von Phacelia in Reinkultur nicht unterschieden.

Der Bodenwasserverbrauch wies nach der Vegetationsperiode (8.12.2009) keine signifikant unterschiedlichen Werte zwischen Brache und den Zwischenfruchtbegrünungen auf. Über den Erhebungszeitraum (9.9.-17.3.) wies Brache einen signifikant höheren Wasserverbrauch als Senf und Phacelia auf.

Eine Modellierung mit DAISY, die der Simulation der Einzelkomponenten der Wasserbilanz diente, ergab, dass die Transpiration der Zwischenfrüchte sehr geringe Werte aufwies und sehr wassereffizient waren. In den Wintermonaten verringerte die Bodenbedeckung die unproduktive Wasserverdunstung des Bodens. Diese Ergebnisse decken sich mit jenen der langjährigen Zwischenfruchtversuche an der Landwirtschaftlichen Fachschule Hollabrunn (durchschnittliche Jahrestemperatur 9.4°C und durchschnittliche Niederschlagsmenge 491 mm/Jahr).

Hinsichtlich des Ertrages der Nachfolgekultur Körnermais konnten keine Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet werden, vielmehr wurde deutlich, dass die Ertragsvarianz der Nachfolgekultur von den Niederschlägen im Frühjahr abhängt.

Dieser Versuch zeigt erneut, dass das Ertragsrisiko durch abfrierende Zwischenfruchtbegrünungen als gering einzustufen ist.

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 RENIU	Saattermine und empfohlene Saatmengen nach KAHNT (1983), JS et al. (1992), GEISLER (1988), LÜTKE ENTRUP (2001) 4
Tabelle 2 (Bodne	Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Komponenten der Wasserbilanz er et al. 2011)4
Tabelle 3	Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 1998 - 2000 4
Tabelle 4	Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2001 und 2002 4
Tabelle 5	Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2004 und 2005 4
Tabelle 6	Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 2006 4
Tabelle 7	Versuch und Ergebnisse Hollabrunn 20104
Tabelle 8	Saatstärken im Versuch4
Tabelle 9	Parameter/Merkmale, Methoden und Anzahl der Messungen 4
Tabelle 10	Zeitpunkte der erfolgten Messungen4
Tabelle 11 Beoba	Niederschläge, Wärmesummen und Durchschnittstemperatur im chtungszeitraum4
Tabelle 12	Trockenmasseerträge von Zwischenfruchtbeständen4
Tabelle 13	Wasserbilanz errechnet (Zeitraum 9.9.2009 – 17.3.2010) 4
Tabelle 14	Parameter für Kalibrierung Phacelia4
Tabelle 15	Parameter für Kalibrierung Senf4
Tabelle 16	Ergebnisse der Prüfung der Modellgüte mit der Software IRENE 4
Tabelle 17	Wasserbilanz simuliert (Zeitraum 27.8 8.12.) 4
Tabelle 18	Transpirationskoeffizient und Wassernutzungseffizienz4
13 Abbil	dungsverzeichnis
Abbildung 1 Schroe	Komponenten der Bodenwasserbilanz (Quelle: verändert nach eder (1992))4
Abbildung 2	Blattflächenscanner LI 3100 Area Meter, Firma LI-COR 4
Abbildung 3	Diviner 2000 der Firma Sentek4
Abbildung 4	Schematische Darstellung einer Rohrsonde4
Abbildung 5	Sommerwicke am 9.9. (links) und am 22.9. (rechts)4
Abbildung 6	Futtererbse am 29.9. (links), am 14.10. (Mitte) und am 8.12. (rechts)4
Abbildung 7	Niederschlags- und Temperaturverlauf von 06.2009 bis 08.2010 4
Abbildung 8 27.8.2	Tägliche Niederschlagsmenge im Beobachtungszeitraum von 009 bis 17.3.20104
Abbildung 9	Verlauf Bodenbedeckung in %4
	Verlauf der Entwicklung von dem Gemenge, Senf und Phacelia d der Bilder von dem Gemenge (links), Senf (Mitte) und Phacelia s) über die Vegetationsperiode
Abbildung 11	

Abbildung 12 Literatur		se gesamt	in kg/ha	_	unberegnet	
Abbildung 13	Mittlere Trocke	nmasse Blät	ter in kg/ha			
Abbildung 14	Mittlere Trocke		_			
Abbildung 15	Mittlere Trocke	nmasse Stä	ngel in kg/h	a je Tag nad	h Saat	4
Abbildung 16	Senf am 14.10	. (links) und	am 10.11. (rechts)		4
Abbildung 17	Mittlerer Blattfla	ächenindex				4
Abbildung 18	Verlauf des Pro	ofilwassergel	naltes in mn	n		4
Abbildung 19	Verlauf der Pro	ofilwassergeh	naltänderun	g in mm		4
Abbildung 20	Nachfruchtertra	ag in (kg/ha)				4
Abbildung 21 Trocken	Verläufe d masse Phacelia		rungsmerkr	nale Blatti	flächenindex	und 4
Abbildung 22 Trocken	Verläufe d masse Senf	er Kalibrie	rungsmerkr	nale Blatt	flächenindex	und 4
Abbildung 23 Trocken	Verläufe o masse Phacelia		rungsmerkn		lächenindex	und 4
Abbildung 24 Trocken	Verläufe om masse Senf	ler Validie	•		lächenindex	und 4
Abbildung 25 und Mod	Vergleich für dellierung für Te		•			
Abbildung 26 Phacelia	Verläufe des und Senf	_	smerkmale		rgehalt für Bra	
Abbildung 27	Verdunstungsv	verte Phacel	ia Zeitraum	von 09.09	8.12. 2009	4
Abbildung 28	Verdunstungsv	verte Senf im	n Zeitraum v	on 09.09. –	08.12. 2009	4
Abbildung 29	Versuchsplan.					4
Abbildung 30	Verläufe der Be	odenwasser	gehalte je Ti	efenstufen .		4
Abbildung 31	Verläufe der Be	odenwasserç	gehaltsunte	rschiede je 7	Γiefenstufen	4
Abbildung 32 Tiefensti	Verläufe der ufe für Brache		_		Wassergehalte	e je 4
•	Verläufe der ufe für Phacelia				Wassergehalte	e je 4
Abbildung 34	Verläufe der	simulierten			Wassergehalte	e je 4

14 Literaturliste

Abrahamsen, P. & Hansen, S. (2000): Daisy - an open soil-crop-atmosphere system model. Environmental Modelling Software 15, 313-330.

Abrahamsen, P. (2010): Daisy Program Reference Manual. University of Copenhagen.

Angers, D.A. & Caron, J. (1998): Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. Biogeochemistry 42, 55-72.

Auerswald, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: Richter, G. (Hrsg.): Bodenerosion - Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Bäumer, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart, Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag.

Berendonk, C. (2011): Zwischenfruchtanbau zur Futternutzung und Biogasgewinnung. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. http://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/zwischenfruchtanbau_2011.pdf, besucht am 22.2.2012.

Bierhuizen, J.F. & Slatyer, R.O. (1965): Effect of atmospheric concentration of water vapour and CO₂ in determining transportation-photosynthesis relationships of cotton leaves. Agricultural Meteorology 2, 259-270.

Bodner, G., Liebhard, P. & Jud, R. (2001): Auswirkungen von Winterbegrünungen auf Nitratdynamik und Bodenwasserhaushalt im Trockengebiet. In: Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich (ALVA). (Hrsg.): ALVA-Jahrestagung 2001, Landwirtschaftliche Qualitätsprodukte - Basis für hochwertige Nahrungsmittel. 29. bis 31. Mai 2001, Wolfpassing. 95-97.

Bodner, G., Liebhard, P. & Jud, R. (2002): Auswirkungen von Zwischenfrucht-Begrünungen auf den Ertrag der Folgefrucht und vorläufige Ergebnisse auf die Beeinflussung des Humushaushaltes. In: Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich (ALVA). (Hrsg.): ALVA-Jahrestagung 2002, Lebensmittelsicherheit pflanzlicher Produkte, Obst, Wein und Gemüse. 27. bis 29. Mai 2002, Klosterneuburg. 135-137.

Bodner, G., Summerer, H. & Ecker, F. (2004a): Sind Zwischenfrüchte wirklich eine Wasserkonkurrenz? Der Pflanzenarzt 8, 18-20.

Bodner, G., Büchter, M., Liebhard, P. & Kaul, H.-P. (2004b): Modellierung als Instrument zur Optimierung des Zwischenfruchtbaus. In: Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich (ALVA). (Hrsg.): ALVA-Jahrestagung 2004, Klimawandel - Auswirkungen auf Umwelt und Agrarproduktion. 17. bis 19. Mai 2004, Wien. 206-209.

Bodner, G., Liebhard, P. & Kaul, H.-P. (2005): Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf Ertrag und Qualität von Zuckerrübe und Körnererbse. In: Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich (ALVA). (Hrsg.): ALVA-Jahrestagung 2005, "Jubiläum – 60. Jahrestagung". 23. bis 25. Mai 2005, Linz. 119-123.

Bodner, G., Strauss-Sieberth A., Loiskandl, W. & Kaul, H.-P. (2006): Wasserbilanz bei Zwischenfruchtbegrünungen im semiariden Raum. In: Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich (ALVA). (Hrsg.): ALVA-

Jahrestagung 2006, Tierische Lebensmittel im Spannungsfeld zwischen Genuss, Gesundheit und Risiko. 22. bis 23. Mai 2006, St. Pölten. 68-71.

Bodner, G. (2007): Mit Zwischenfrüchten den Wasserhaushalt managen - 100 mm Niederschlag für gute Begrünungsbestände. Der Pflanzenarzt 60(8), 25-27.

Bodner, G., Loiskandl, W. & Kaul, H.-P. (2007a): Zwischenfruchtbau unter wasserlimitierten Bedingungen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 19, 142-143.

Bodner, G., Loiskandl, W. & Kaul, H.-P. (2007b): Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. Agricultural Water Management 93, 85-98.

Bodner, G. & Summerer, H. (2009): Gründeckenmanagement im Trockengebiet - Dem Wasser auf der Spur. Der Pflanzenarzt 62 (6-7), 20-23.

Bodner, G., Summerer, H., Ecker, F. & Rosner, J. (2011): Zwischenfruchtbau ist auch im Trockengebiet machbar. Ländlicher Raum, Okt. 2011, 1-14.

Bodner, G. (2012): Zwischenfruchtbegrünungen - Status quo und Optimierungspotentiale von Begrünungsleistungen. Wintertagung 14.2.2012 Hollabrunn.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2010): Sonderrichtlinie des BMLFUW für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL 2007); GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0014-II/8/2010 http://www.ama.at/Portal.Node/public?gentics.rm=PCP&gentics.pm=gti_full&p.conten tid=10008.47092&SRL O4 20100527.pdf, besucht am 10.2.2012

Campbell, J.E. (1990): Dielectric properties and influences of conductivity in soils at one to fifty megahertz. Soil Science Society of America Journal 54, 332-341.

Chen, G. & Weil, R.R. (2011): Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. Soil and Tillage Research 117, 17–27.

Colla, G., Mitchell, J. & Joyce, B.A. (2000): Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems. Agronomy Journal 92, 924-932.

Dachler, M. & Köchl, A. (1994): Die Wirkung verschiedener Gründüngungspflanzen auf Ertrag und Erlös der Folgekultur. Die Bodenkultur 45(2), 139–146.

Diepenbrock, W., Fischbeck, G. & Heyland, K. (1999): Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart, Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag.

Dietrich, R., Liebhard, P., Eschelböck, K., Bäck, M. & Hamedinger, S. (2002): Bewertung von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Verminderung der Stickstoffverlagerung des Feldgemüsebaues im südlichen Eferdinger Becken.

Endbericht über die Versuchsjahre 2000/2001 unter Berücksichtigung der Versuchsjahre 1998/1999. Wien: Österreichische Vereinigung für Agrarwissenschaftliche Forschung, 1-94.

Eitzinger J., Trnka, M., Hösch, J., Žalud, Z. & Dubrovský, M. (2004): Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modelling 171, 223–246.

Ehlers, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze – Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Stuttgart, Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag.

Falb, S. (2010): Erträge der Nachfolgekultur Körnermais. Schriftliche Mitteilung, unveröffentlichte Ergebnisse.

Fila, G., Bellocchi, G., Acutis, M. & Donatelli, M. (2003): Irene - a software to evaluate model performance. European Journal of Agronomy 18, 369–372.

Folorunso, O.A., Rolston, D.E., Prichard, T., & Loui, D.T. (1992): Soil surface strength and infiltration as affected by winter cover crops. Soil Technology 5, 189-197.

Freyer, B. (2003): Fruchtfolgen. Stuttgart, Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag.

Geisler, G. (1988): Pflanzenbau: Ein Lehrbuch; biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage, Parey-Verlag: Berlin, Hamburg.

Guangwei Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D. & Xing, B. (2006): Effect of cover crop management on soil organic matter. Geoderma 130, 229–239.

Hampl, U. (1996): Gründüngung. Graz: Leopold Stocker Verlag.

Hartl, W. (2011): Zwischenfruchtversuche Stockerau im Jahre 2011. Vortrag am 9.11.2011, Stockerau. (nicht veröffentlicht).

Hartwig, N.L. & Ammon, H.U. (2002): Cover crops and living mulches. Weed Science 50, 688-699.

Helmers, M.J., Malone, R.W. & Thorp, K.R. (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.

Hermawan, B. & Bomke, A.A. (1997): Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. Soil and Tillage Research 44, 109-120.

Hooker, K.V., Coxon, C.E., Hackett, R., Kirwan, L.E., O'Keeffe, E. & Richards, K.G. (2008): Evaluation of Cover Crop and Reduced Cultivation for Reducing Nitrate Leaching in Ireland. Journal of Environmental Quality 37, 138–145.

Islam, N., Wallender, W.W., Mitchell, J., Wicks, S. & Howitt, R.E. (2006): A comprehensive experimental study with mathematical modelling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables. Agricultural Water Management 82, 129-147.

Jensen, C., Stougaard, B. & Olsen, P. (1994): Simulation of water and nitrogen dynamics at three Danish locations by use of DAISY model. Acta Agriculturae Scandinavica 44, 75-83.

Joyce, B.A., Wallender, W.W., Mitchell, J.P., Huyck, L.M., Temple, S.R., Brostrom, P.N. & Hsiao, T.C. (2002): Infiltration and Soil Water Storage under Winter Cover Cropping in California's Sacramento Valley. Transactions of the American Society (ASAE) 45, 315-326.

Jud, R. (2002): Methode "Immergrün" – Bodenschutz mit Zwischenfrüchten. Der Pflanzenarzt 8, 23-26.

Kahimba, F.C., Ranjan, R.S., Froese, J., Entz, M. & Nason, R. (2008): Cover crop effects on infiltration, soil temperature, and soil moisture distribution in the Canadian Prairies. Applied Engineering in Agriculture 24(3), 321-333.

Kahnt G. (1983): Gründüngung. 2. Aufl. Frankfurt (Main): DLG-Verlag.

Kaimbacher, B. (2007): Wurzelcharakteristika und Wasserverbrauch unterschiedlicher Fruchtarten als Zwischenfrucht für die Sommer-, Herbst- und Winterbegrünung im semiariden Produktionsgebiet. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.

Karcher, D.E. & Richardson, M.D. (2005): Batch analysis of digital images to evaluate turfgrass characteristics. Crop Science 45, 1536-1539.

Kastelliz, A., Bodner, G., Liebhard, P. & Ofner, K. (2011): Einfluss des Sätermins auf die Pflanzenart und Biomassebildung bei Begrünungspflanzen als Zwischenfrucht. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA) (Hrsg.), Landwirtschaft, Lebensmittel und Veterinärmedizin - Zukunft der Forschung in Österreich, 66. ALVA-Jahrestagung, Tagungsbericht 2011, 226-228.

Kaul, H.-P. (2010): Maiserträge Marchfeld. Persönliche Auskunft.

Keller, E.R., Hanus, H. & Heyland, K.-U. (1997): Handbuch des Pflanzenbaues – Band 1: Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Kjaersgaard J.H., Plauborg F., Mollerup, M., Petersen, C.T. & Hansen, S. (2008): Crop coefficients for winter wheat in a sub-humid climate regime. Agricultural Water Management 95, 918-924.

Kolbe, H., Schuster, M., Hänsel, M., Grünbeck, A., Schließer, I., Köhler, A., Karalus, W. & Krellig, B. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau, Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.

http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/jsp/inhalt.jsp?seite=detail&pub_id=1284

&count=10&navi=88&sort=ERSCH_JAHR&anz=10&sqla=ok&sqlb=ok&von=&suche= T, besucht am 23.1.2012.

König, U.J. (1996): Zwischenfruchtbau von Leguminosen – Verfahren zur Minimierung der Nitratauswaschung und Optimierung des N-Tranfers in der Fruchtfolge. Schriftreihe des Institutes für biologisch-dynamische Forschung 6, Darmstadt.

Körschens, M. (1992): Modelle für Umsatz und Reproduktion der organischen Substanz im Boden. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4: Humushaushalt. Berlin, Hamburg: Paul Parey Verlag.

Liebhard, P., Bodner, G. & Kaimbacher, B. (2007): Wurzelcharakteristika und Wasserverbrauch unterschiedlicher Pflanzenarten als Begrünungszwischenfrucht im semiariden Produktionsraum. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 19, 100-101.

Lieth, H. (1965): Ökologische Fragestellungen bei der Untersuchung der biologischen Stoffproduktion. Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles XII (3), 241-261.

Loiskandl, W. (s.a.): Bodenwasserwirtschaft. Skriptum zur Vorlesung. http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H815/Skripten/Sonstige/SPAC.pdf., besucht am 28.2.2012.

Lütke Entrup, N. (2001): Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. Herausgegeben vom Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Gelsenkirchen: Verlag Thomas Mann.

Martens, D.A. & Frankenberger, W.T. (1992): Modification of infiltration rates in an organicamended irrigated soil. Agronomy Journal 84, 707-717.

Mitchell, J.P., Peters, D.W. & Shennan, C. (1999): Changes in Soil Water Storage in Winter Fallowed and Cover Cropped Soils. Journal Sustainable Agriculture 15(2/3), 19-31.

Munoz-Carpena, R., Ritter, A., Bosch, D.D., Schaffer, B. & Potter, T.L. (2008): Summer cover crop impacts on soil percolation and nitrogen leaching from a winter corn field. Agricultural Water Management 95, 633–644.

Nielsen, D.C. & Vigil, M.F. (2005): Legume green fallow effects on soil water content at wheat planting and wheat yield. Agronomy Journal 97, 684-689.

Odhiambo, J.J.O. & Bomke, A.A. (2007): Cover crop effects on spring soil water content and the implications for cover crop management in south coastal British Columbia. Agricultural Water Management 88, 92–98.

Oemichen, J., Jacobs, G. & Weyer, T. (2011): Pflanzenernährung und Düngung. In: Lütke Entrup, N. & Oemichen, J. (Hrsg.): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 1: Grundlagen. AgroConcept, Bonn, 423-620.

Olson, K., Ebelhar, S. & Lang, J. (2010): Cover Crop Effects on Crop Yields and Soil Organic Carbon Content. Soil Science 175(2), 89-98.

Paltineanu, C.C. & Starr, J.L. (1997): Realtime Soil Water Dynamics Using Multisensor Capacitance Probes: Laboratory Calibration. Soil Science Society of America Journal 61, 1576-1585.

Ramos, M.E., Benitez, E., Garcia, P.A. & Robles, A.B. (2010): Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions - Effects on soil quality. Applied Soil Ecology 44, 6–14.

Rasch, D., Verdooren, L.R. & Gowers, J. (2007): Planung und Auswertung von Versuchen und Erhebungen. 2. Auflage, Oldenburg: Wissenschaftsverlag.

Renius, W., Lütke Entrup, E. & Lütke Entrup, N. (1992): Zwischenfruchtanbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. 3. Auflage. DLG-Verlag: Frankfurt (Main).

Rinnofner, T., Friedel, J.K., Kruijff, R. de, Pietsch, G. & Freyer, B. (2008): Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. Agronomy for sustainable Development 28, 551–558.

Roldán, A., Caravaca, F., Hernández, M.T., García, C., Sánchez-Brito, C., Velásquez, M. & Tiscareño, M. (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.

Ruan, H., Ahuja, L.R., Green, T.R. & Benjamin, J.G. (2001): Residue cover and surface-sealing effects on infiltration - numerical simulations for field applications. Soil Science Society of America Journal 65, 853-861.

Salatko, F.K. & Tian, G. (2003): Soil water depletion under various leguminous cover crops in the derived savanna of West Africa. Agricultural Ecosystems and Environment 100, 173-180.

Schaefer, K. (1991): Less erosion in corn farming by catch crops and mulch seed. Feldwirtschaft 32(10), 458-461.

Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl., Heidelberg: Spektrum-Verlag.

Scheller, H. (1992): Integrierter Pflanzenbau, Zwischenfruchtbau. In: Bachthaler, G. und Hüffmeier, H. (Hrsg.): Pflanzliche Erzeugung. München: BLV Verlagsgesellschaft.

Schroeder, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten. 5. Auflage, Berlin, Stuttgart: Ferdinand Hirt in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung.

Schulte, D. (1980): Die Entwicklung der unter- und oberirdischen Pflanzenmasse bei Zwischenfrüchten in Abhängigkeit von Standort und Saatzeitpunkt, Dissertation, Bonn

Stenitzer, E., Murer, E. & Hösch, J. (2007): Zum Wasserverbrauch der Schwarzbrache im Trockengebiet am Beispiel des Marchfeldes. In: Tagungsbericht 2007, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, 103-105.

Stolzenberg-Ramirez, A. (2012): Definition Schwarzbrache. GeoDataZone, Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. http://www.geodz.com/, besucht am 23.1.2012

Thorup-Kristensen K., & Nielsen N.E. (1998): Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on nitrogen supply for succeeding crops. Plant and Soil 203, 79-89.

Universität für Bodenkultur (2011):

http://www.boku.ac.at/fileadmin/_/H93/H933/Sonstiges/Informationen_Versuchswirts chaft Grossenzersdorf.pdf – Intranet, besucht am 31.10.2011.

Universität für Bodenkultur (2011): Wetterdaten http://pflbau.boku.ac.at/institut/wetter form.php3, besucht am 31.10.2011.

Watson, F.G.R. & Vertessy, R.A. (1996): Estimating Leaf Area Index from stem diameter measurements in mountain ash forest. Cooperative Research for Catchment Hydrology, Report 96/7.

Weise, G., Pickert, J. & Schuppenies, R. (1994): Praxisversuche zum Einfluss von winterharten und abfrierenden Zwischenfrüchten vor Mais im Vergleich zur Winterbrache auf die N-Dynamik im Boden und den Maisertrag. VDLUFA-Schriftenreihe 38, Kongressband 1994.

15 Bildquellen

Photo links Titelseite Futtererbsen: Photo Gernot Bodner

Photo rechts Titelseite Gemenge: Photo Marie-Luise Wohlmuth

Abbildung Bodenwasserbilanz: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/04.htm verändert nach Schroeder 1992)

Abbildung Blattflächenscanner: Photo Marie-Luise Wohlmuth

Abbildung Diviner: http://www.ums-muc.de/produkte/sentek.html

Abbildung Rohrsonde: http://www.hydro-air.de/Leistungen Angebote/Sensortechnik/sensortechnik.html

16 Anhang

16.1 Versuchsplan

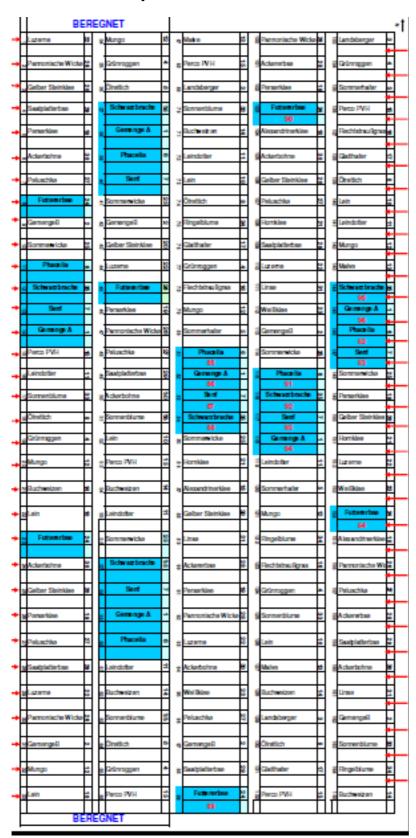


Abbildung 29 Versuchsplan

16.2 Verlauf der gemessene Bodenwassergehalte je Tiefenstufe

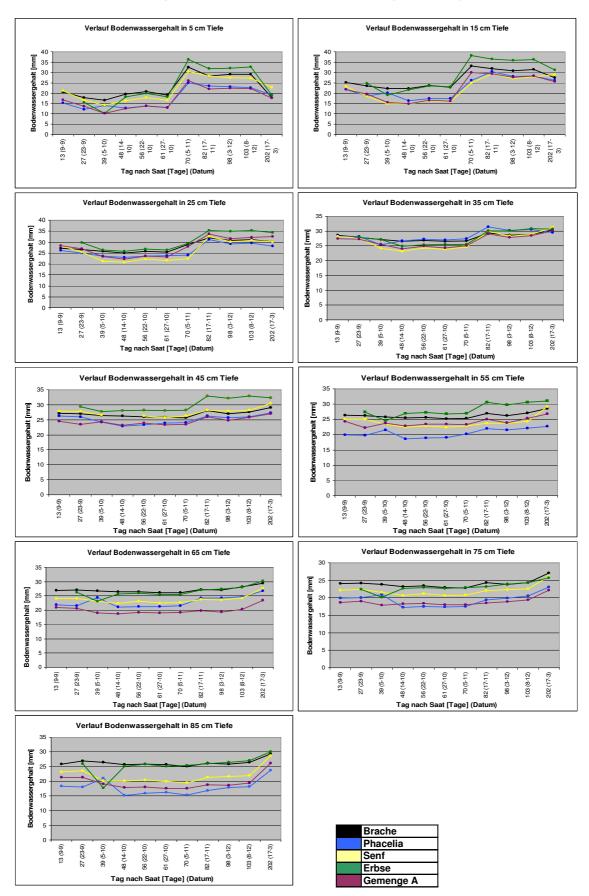


Abbildung 30 Verläufe der Bodenwassergehalte je Tiefenstufen

16.3 Verlauf der gemessenen Bodenwassergehaltsunterschiede je Tiefenstufe

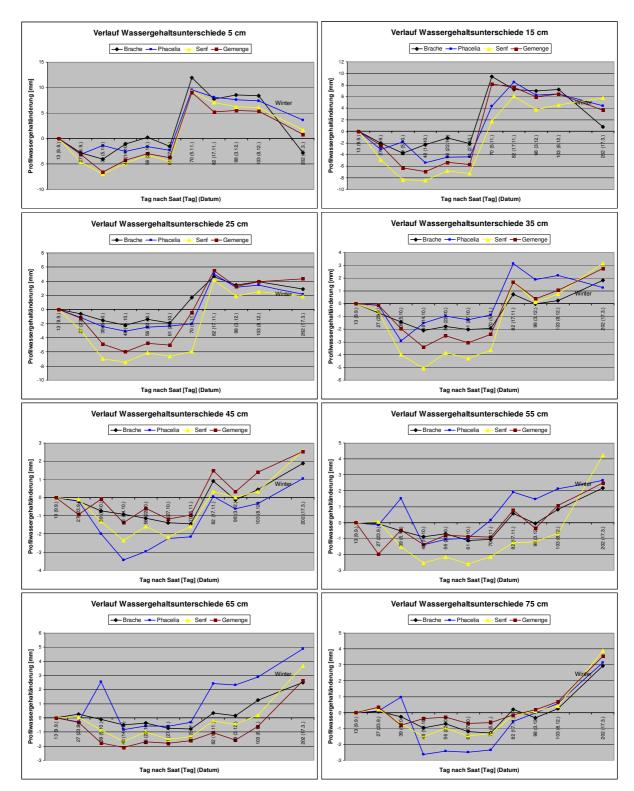


Abbildung 31 Verläufe der Bodenwassergehaltsunterschiede je Tiefenstufen

16.4 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Brache

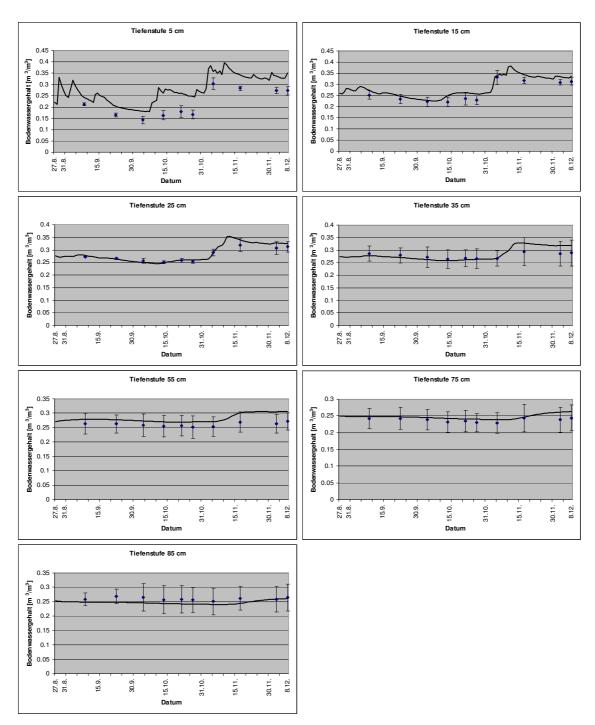


Abbildung 32 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Brache

16.5 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Phacelia

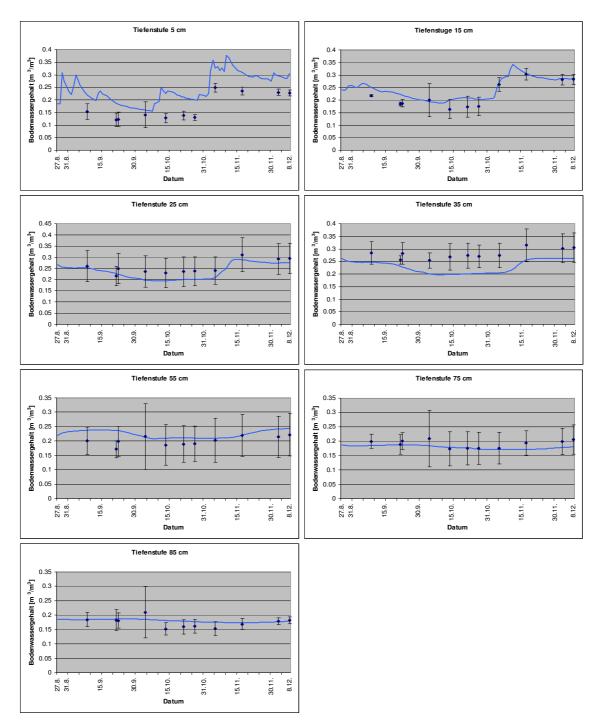


Abbildung 33 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Phacelia

16.6 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Senf

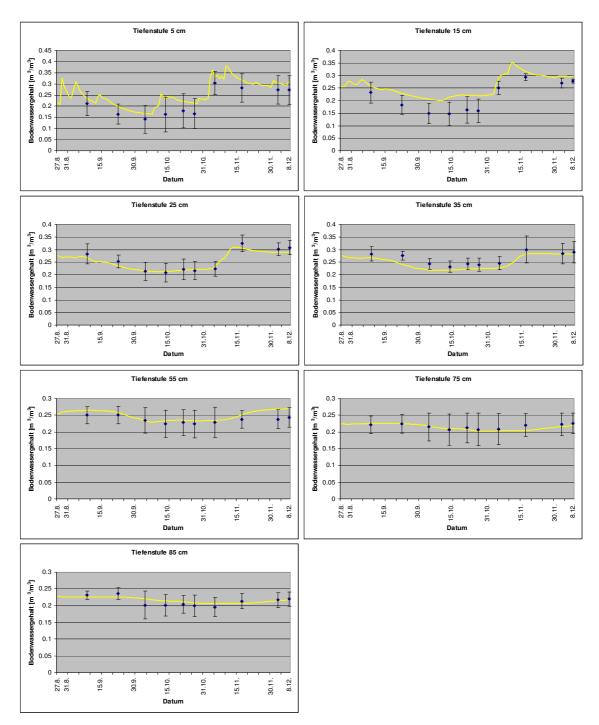


Abbildung 34 Verläufe der simulierten und gemessenen Wassergehalte je Tiefenstufe für Senf