

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

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

**Einfluss von Zwischenfruchtbegrünungen auf
den Ertrag von Körnermais im semiariden
Produktionsgebiet – Feldversuch und
Simulationsstudie**

Masterarbeit

zur Erlangung des Grades Diplom-Ingenieur an der Universität für
Bodenkultur

Eingereicht von Bakk. Techn. Sebastian Falb

Betreuer: Kaul Hans-Peter, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.
Bodner Gernot, Priv.-Doz. Dr.

Wien im Oktober 2016

Danksagung:

Ich bedanke mich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hans-Peter Kaul für die Betreuung dieser Masterarbeit. Besonderer Dank gilt Priv.-Doz. Dr. Gernot Bodner für die fachkundigen Hilfestellungen und die geduldige Betreuung. Weiters möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die durch ihre Unterstützung und ständiges Motivieren einen wesentlichen Beitrag zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen hat.

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis.....	3
2 Abstract.....	4
3 Einleitung.....	5
4 Hypothesen.....	8
5 Literatur:.....	8
5.1 Begrünungen.....	8
5.2 Beschreibung der verwendeten Zwischenfruchtarten:.....	12
5.2.1 Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>).....	12
5.2.3 Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>).....	12
5.3 Bodenwasserhaushalt.....	13
6 Material und Methoden.....	18
6.1 Versuchsstandort Hollabrunn.....	18
6.1.1 Lage.....	18
6.1.2 Klima.....	19
6.1.3 Boden.....	21
6.2 Versuchsstandort Groß Enzersdorf.....	23
6.2.1 Lage.....	23
6.2.2 Klima.....	25
6.2.3 Boden.....	26
6.3 Versuchsanlage.....	27
6.3.1 Hollabrunn.....	27
6.3.2 Groß Enzersdorf.....	29
6.4 Datenerhebung.....	30
6.4.1 Biomasse.....	30
6.4.2 Bodenwasser.....	30
6.5 Modellierung mit dem Programm Daisy:.....	32
7 Ergebnisse.....	36
7.1 Wasserhaushalt.....	36
7.1.1 Standort Hollabrunn.....	36
7.1.2 Standort Groß Enzersdorf:.....	40
7.2 Biomasseertrag.....	44
7.2.1 Standort Groß Enzersdorf.....	44
7.2.2 Biomasseertrag Hollabrunn.....	45

7.3 Modellierung.....	47
8 Diskussion.....	56
9 Zusammenfassung:.....	58
10 Tabellenverzeichnis.....	60
11 Abbildungsverzeichnis.....	61
12 Literatur:.....	63
13 Anhang.....	66

2 Abstract

For this master thesis the annual soil water content and the dry matter production of corn in the growing season of 2010 was measured at the experimental sites Hollabrunn and Großenzersdorf in the variants of mustard, phacelia and fallow land. The aim of the field trial was to estimate the possible influences of cover crops on dry matter production of corn as the following crop.

Due to high annual precipitation in 2010 no significant differences in the soil water content and dry matter production could be observed. As a following procedure the growth process of corn was simulated with the programme Daisy for the years 2000 to 2010 in order to predict results for different precipitation conditions. The output showed that although variations in soil water content did occur in dry years, they had little impact on the dry matter production of corn.

3 Einleitung

Zwischenfruchtbegrünungen sind ein wertvoller Beitrag zum Erlangen ausgeglichener Humusbilanzen im Ackerbau. Durch die immer stärker werdende Konzentration auf einige wenige Ackerkulturen liefern sie eine wichtige Auflockerung der Fruchtfolge und tragen so zu mehr Biodiversität in der Kulturlandschaft bei. Das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL 2007) ist in hohem Maße für den weit verbreiteten Anbau von Begrünungen in Österreich verantwortlich. Dabei wird die Förderung mit drei Zielen begründet. So sind Reduktion der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser und des Nährstoffaustrages in Oberflächengewässer, Schutz des Bodens vor Wind- und Wassererosion und der Beitrag zur Biodiversität (Tiere und Pflanzen) laut ÖPUL 2007 Förderungsgründe für Begrünungen.

So wurden Österreichweit 2011 auf 48.910 Betrieben 429.293 ha jährlich über die ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ angelegt und mit einer Summe von 64,83 Mio € abgegolten (Grüner Bericht 2012). Damit zählt die Begrünung von Ackerflächen zu einer der bedeutendsten Maßnahmen im ÖPUL und liegt bei Fördervolumen, Fläche und Anzahl teilnehmender Betriebe an dritter Stelle. Weiters wurde auf 139.851 ha die Folgemaßnahme Mulch – und Direktsaat durchgeführt.

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten kann es aber auch zu negativen Auswirkungen für die Folgekultur kommen. Fallen über die Herbst- und Wintermonate nicht ausreichend Niederschläge um den Wasserentzug durch die Begrünung wieder auszugleichen kann es zu Ertragseinbußen in der Folgekultur kommen. Aber auch Schwarzbrachen weisen durch Evaporation Wasserverluste in beträchtlicher Höhe auf. Ziel dieser Arbeit ist es die Auswirkungen des Zwischenfruchtbaus auf die Trockenmassebildung bei Körnermais zu verifizieren. Auch der Folgekultur kommt große Bedeutung zu. So reagiert zum Beispiel Körnermais weit weniger sensibel auf Wasserdefizite im Frühjahr als etwa Sommergetreidearten. Für die Ertragsbildung von Mais sind die Niederschläge vor und nach der Blüte in den Monaten Juni und Juli für gute Kolbenanlagen und Kornfüllung entscheidend. Hier begünstigt die Niederschlagsverteilung im östlichen Flachland Österreichs mit Vorsommertrockenheit und Regenfällen in den Sommermonaten den Anbau von Mais auch nach Begrünungen.

Der Wasserhaushalt des Bodens ist daher von großer Bedeutung für den Erfolg von Zwischenfrüchten in der Fruchtfolge. Übersteigt der Verbrauch der Begrünungen den Zufluss durch Niederschläge so ist mit Ertragseinbußen in der Folgekultur zu rechnen.

Weiters kann durch langjährigen Einsatz von Zwischenfrüchten auch Einfluss auf den Humusgehalt in Böden genommen werden. Vor allem humuszehrende Fruchtfolgen ohne Wirtschaftsdüngergaben können durch Begrünungen zumindest stabil gehalten werden.

Um mögliche Auswirkungen einer abfrostenden Winterbegrünung auf die Trockenmassebildung von Körnermais als Folgefrucht abschätzen zu können wurden im Rahmen dieser Arbeit Wassergehaltsmessungen im Boden über die gesamte Vegetationsdauer von Körnermais im Jahr 2010 erhoben und der Trockenmassegehalt über die Vegetationsdauer an den Versuchsstandorten Hollabrunn und Groß Enzersdorf in den Varianten Senf, Phacelia und Schwarzbrache gemessen. Aufgrund überdurchschnittlicher Niederschlagsmengen im Jahr 2010 an beiden Versuchsflächen konnte man nicht von Ertragsreduktionen durch erhöhten Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten ausgehen.

Durch die große Schwankungsbreite der Einflussfaktoren auf die Trockenmassebildung können einjährige Feldversuche nur Aussagen zu bestimmten Produktionsbedingungen treffen. Um die Aussagekraft auf unterschiedliche Faktoren auszuweiten und eventuell Vorhersagen für zukünftige Klimaszenarien darzustellen wurde anhand des Feldversuchs auch eine Simulation für unterschiedliche Umweltszenarien durchgeführt. Dabei wurde anhand des Trockenmasseverlaufs im Feldversuch eine Simulation für die klimatischen Bedingungen der Jahre 2000 – 2010 am Standort Groß Enzersdorf durchgeführt.

Das dänische Simulationsmodell DAISY (Hansen et. al 1990) wurde zur Analyse von Stoffflüssen (Stickstoffdynamik, Humushaushalt) in Agrarökosystemen entwickelt. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung bietet es heute zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, Prozesse in landwirtschaftlich genutzten Flächen zu verstehen, Szenarien zu prüfen und Prognosen zu erstellen.

Es besteht die Möglichkeit den Trockenmasseertrag, aber auch Parameter des Wasserhaushaltes bei unterschiedlichen Szenarios der Produktionsbedingungen wie Niederschlag, Temperatur und Bodenart zu simulieren. Dies ist von großer Bedeutung, da

bei Feldversuchen nur sehr schwierig Annahmen für geänderte Umweltbedingungen möglich sind.

Die Simulation soll auf Grundlage der Feldversuchsergebnisse absichern und Tendenzen für zu erwartende Ertragsschwankungen in Abhängigkeit der Produktionsbedingungen aufzeigen.

4 Hypothesen

Hypothese 1: Der Wasserentzug durch die Zwischenfrucht Senf hat keine Auswirkung auf den Ertrag der Folgekultur Körnermais, weil der Wasserverbrauch durch die Senfbegrünung in etwa dem Niveau der Brachevariante entspricht

Hypothese 2: Es lassen sich keine Unterschiede zwischen den Begrünungen Phacelia, Senf und Schwarzbrache im Bodenwasserhaushalt der Folgekultur feststellen.

5 Literatur:

5.1 Begrünungen

HAMPL (1996) beschreibt die Bedeutung der Gründüngung als Verfahren, um das Ökosystem Boden wieder in seinen natürlichen Lebensabläufen zu unterstützen und seine Funktionen zu erhalten. Gerade Bodenverdichtungen, Erosion durch Wasser und Wind, Nährstoffauswaschungen und zunehmende Schadstoffbelastungen sind überall anzutreffende Probleme und zeigen, dass das Ökosystem Boden an der Grenze seiner Belastbarkeit angelangt ist.

In den meist sehr getreidereichen Fruchtfolgen der Marktfruchtbetriebe durch fehlenden Feldfutterbau besteht durch das Anlegen von Untersaaten, Zwischenfrüchten und Rotationsbrachen eine wirkungsvolle Möglichkeit der Lockerung der Fruchtfolgen. Weiters können sich durch den gezielten Einsatz von Gründüngung und damit einhergehenden Nährstoffaufschluss mögliche Einsparungen bei Düngemitteln ergeben. Durch Steigerung des Humusgehalts können sich ebenfalls positive Effekte für den Wasserhaushalt im Boden einstellen.

RENIUS (1992) sieht bedeutende Aspekte der Zwischenfrucht in der umweltverträglichen Pflanzenproduktion vor allem zum Schutz des Bodens gegen Wind- und Wassererosion, als Nährstoffspeicher für Restnährstoffe der Vorfrucht und zur Minimierung des Nitrataustrages während der Wintermonate, zur Versorgung der Böden mit organischer Substanz zur Verbesserung der bodenbiologischen Aktivität und damit zusammenhängend des Abbaus von Pflanzenschutzmittelrückständen und zur gezielten Bekämpfung von Fruchtfolgeschädlingen wie etwa Nematoden im Zuckerrübenanbau. Vor allem in stark erosionsgefährdeten Reihenkulturen wie Mais oder Zuckerrübe kann die Verbindung von Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat einen effektiven Bodenschutz bis zum Reihenschluss ermöglichen.

Zur Wahl der richtigen Zwischenfruchtform:

Im Trockengebiet sind abfrosthende Begrünungen zu bevorzugen, damit die Winterniederschläge zur Auffüllung des Bodenprofils genutzt werden können. Beim Nachbau von Sommerungen sind keine Engpässe in der Wasserversorgung zu erwarten. Außerdem sollten die Leguminosen gegenüber Gräser überwiegen. (RENIUS 1992).

MATUSCHEK (2009) sieht die Vorteile des Zwischenfruchtanbaus vor allem auf leichten Sandböden bei denen die nutzbare Wassermenge bei Feldkapazität mit rund 72 mm verfügbares Wasser im durchwurzelbaren Boden im Vergleich zu Lehm Böden mit 252 mm deutlich geringer ist. Dabei reichen die in den Wintermonaten fallenden Niederschläge aus um das Bodenprofil der Sandböden wieder aufzufüllen und es daher zu keiner Verminderung des Wasserangebots für die Hauptkultur kommen kann. Aufgrund der positiven Aspekte wie Nährstoffkonservierung, Humuslieferung und Gefügestabilisierung ist der Anbau von Zwischenfrüchten daher vor Sommerungen auf Sandböden zu empfehlen.

Auswirkungen der Zwischenfrüchte auf Pflanzenkrankheiten, Pflanzenschädlinge und Unkrautunterdrückung:

BUHRE (2008) beschreibt in seiner Arbeit die negativen Auswirkungen von Phacelia als Zwischenfrucht vor Zuckerrübe auf Befallsstandorten mit Später Rübenfäule (*Rhizoctonia solani*). Hier sind Begrünungen mit Ölrettich (*Raphanus raphanistrum*) oder Gelbsenf (*Sinapis alba*) jener mit Phacelia vorzuziehen um das Risiko von Ertragsdepressionen auszuschließen.

BRUST et al. (2011) bestätigen in ihren Untersuchungen die unkrautunterdrückende Wirkung von Zwischenfrüchten. So konnte bei Saat in die Getreidestoppel unmittelbar nach der Ernte bei Gelbsenf die Sprossmasse der Unkräuter um 90 % reduziert werden. Voraussetzung dafür ist allerdings eine rasche Bestandsetablierung der Zwischenfrucht sowie zügige ober- und unterirdische Biomassebildung. Durch die rasche Bodenbedeckung der Zwischenfrüchte

und teilweise auch durch deren allelopathische wirksame Substanzen kann verringertes Wachstum der Unkräuter festgestellt werden.

Zu Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf den Ertrag der Hauptkultur:

BODNER et al (2011) zeigen in ihren Untersuchungen am Standort Hollabrunn das auch im Trockengebiet keine signifikanten Ertragsminderungen aufgrund des Wasserbedarfs der Begrünung zu erwarten sind. Verantwortlich dafür ist die Verringerung von Bodenverdunstung, Oberflächenabfluss und Versickerung sowie Verbesserung von Infiltration und Wasserspeicherung im Boden. Daher sind die Vorteile einer Zwischenfrucht für Bodenfruchtbarkeit und Umwelt auch aus hydrologischer Sicht sehr vorteilhaft. Statistisch signifikante Unterschiede im Ertrag der Hauptkultur konnten in den Jahren 2000 – 2010 nur im Jahr 2003 bei der Hauptkultur Zuckerrübe nach der Zwischenfrucht Grünroggen festgestellt werden. Da diese winterharte Begrünungsform ohnehin kaum Praxisrelevanz aufweist, kann allgemein von keiner negativen Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf die Hauptfruchterträge geschlossen werden.

KOLBE et al (2004) streichen in ihren Untersuchungen die positive Wirkung auf den Ertrag von Silomais (1998-2001) in Sachsen auf biologisch bewirtschafteten Feldern heraus. Dabei konnten vor allem Leguminosenzwischenfrüchte den Ertrag um bis zu 9,2 % steigern. Die Varianten Senf und Phacelia fielen allerdings ertraglich im Vergleich zu Schwarzbrache um bis zu 3,3 % zurück. Bei der Hauptkultur Kartoffel (2002-2004) brachten sämtliche angebauten Begrünungen mit Ausnahme von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) Mehrerträge im Vergleich zur Schwarzbrache.

Pflanzenart oder -gemenge	Trockenmasse Zwischenfrucht (dt/ha)	Ertrag Mais (dt/ha)	Ertrag Mais relativ (%)
ohne Zwischenfrucht	-	143,9	100,0
Platterbse	19,0	150,2	104,4
Perserklee*	12,2	155,0	107,7
Weißer/Blaue Lupine	34,3	150,2	104,4
Zottelwicke	19,0	157,2	109,2
Inkarnatklée*	8,2	141,0	98,0
Weißklée*	7,2	147,0	102,2
Welsches Weidelgras	8,5	140,1	97,4
Landsberger Gemenge ¹	15,2	141,6	98,4
Meliorationsgemenge ²	28,9	131,2	91,2
Phacelia	17,5	139,1	96,7
Buchweizen	27,2	135,0	93,8
W.Senf	30,2	141,7	98,5
So.Raps	14,1	137,9	95,8

Abbildung 1: Silomaiserträge nach Stoppelsaaten mit Einarbeitung im Herbst (Öko - Feld Roda, Mittelwerte der Jahre 1998-2001, Bodenart Lehm, AZ: 68, langjähriges Niederschlagsmittel 711 mm) (KOLBE 2004)

5.2 Beschreibung der verwendeten Zwischenfruchtarten:

5.2.1 Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*)

Phacelia stammt aus Kalifornien und gehört zur Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllaceae*). Sie weist einen aufrechten Wuchs bis zu 70 cm Höhe auf wobei sämtliche Pflanzenteile behaart sind. Die Blätter sind reich gefiedert, die Blüten ährenförmige Trauben, hellblau bis lila gefärbt. Sie gilt als relativ anspruchslos und verträgt Trockenheit und leichte Fröste. Sie bildet eine Pfahlwurzel mit mäßiger Seiten- und Feinwurzelbildung. Außerdem ist sie ein guter Gemengepartner für alle Gründungsformen, wobei der Anteil 1,5 kg in der Mischung nicht überschritten werden soll, da sie sich sonst zu stark ausbreitet und andere Gemengepartner unterdrückt. In Reinsaat sind 10 – 15 kg/ha notwendig. (HAMPL 1996)

Sie eignet sich ideal für alle leichten und mittleren Standorte speziell auch vor Zuckerrübe mit anschließender Mulchsaat. Da sie mit keiner unserer Kulturpflanzen verwandt ist treten keine Fruchtfolgeschwierigkeiten auf. (RENIUS 1992)

5.2.3 Gelbsenf (*Sinapis alba*)

Gelbsenf hat seinen Ursprung im Mittelmeerraum und ist heute in ganz Europa verbreitet. Er ist einjährig und friert über den Winter meist ab. Die Ansprüche an das Klima und Bodenbeschaffenheit sind als gering einzustufen. Er bildet eine Pfahlwurzel mit vielen Seitenwurzeln. Zur Bodenentwicklung ist er weniger geeignet, da er in ungare Boden kaum Wurzeln ausbildet. Durch seine Anspruchslosigkeit kann er jedoch bis in den Oktober angebaut werden und gibt somit die Möglichkeit, den Boden auch nach späträumenden Hauptfrüchten vor dem Winter noch zu bedecken. In Reinsaat sind 15 – 20 kg/ha notwendig. (HAMPL 1996)

RENIUS (1992) bescheinigt dem Gelbsenf eine schwache Wurzelbildung und rät zum Anbau erst ab September, da Senf als Langtagpflanze in den Monaten Juli und August sonst zu schnell in die Blüte geht und zu schwache, lückige Bestände und nicht die gewünschte Gründেকে liefert.

5.3 Bodenwasserhaushalt

Messbare Wassergehaltsunterschiede nach dem Winter in der Hauptwurzelzone sind nur bei gut speicherfähigen Böden zu erwarten, bei denen die Winterniederschläge nicht zu einem vollkommenen Auffüllen des Speichers ausreichen. Trockenanfällige leichte Böden mit geringer Speicherfähigkeit werden dagegen über Winter problemlos aufgefüllt. Der Unterschied liegt in der Sickerwassermenge – einer Verlustgröße in der Wasserbilanz und dem Transportmedium für Nitrat ins Grundwasser.

In den hügeligen Landschaftsräumen der trockenen Lösslandschaft Ostösterreichs ist die Gefahr des oberflächlichen Abfließens intensiverer Niederschläge besonders groß. Bis zu 15 % des Jahresniederschlags können so verloren gehen. Die Begrünung verhindert Verschlammung, lockert den Boden durch ihre Wurzeln und verbessert, besonders zur Schneeschmelze, die Infiltration durch Biomakroporen.

Eine Fruchtfolge mit ausreichend Zufuhr organischer Substanz, und dazu gehört das Fruchtfolgeglied Begrünung, erhöht langfristig die Wasserspeicherkapazität des Bodens. Dies verringert Wasserverluste in tiefere Schichten, wo die Wurzeln keinen Zugang mehr haben. Vor allem auf leichteren Böden ist dieser Effekt wichtig. Ein rauer Zwischenfruchtbestand kann über Winter, besonders in windigen Lagen, eine bedeutende Menge an Schnee akkumulieren, die ebenfalls positiv bilanziert. Erhöhte Taubildung und ein Verdunstungsschutz durch den Zwischenfrucht - Mulch im Frühjahr tun ein Übriges, um die Bilanzunterschiede zu minimieren. (BODNER 2011)

Hauptverantwortlich für den Wasserverbrauch im gemäßigten humiden Klima ist die durch die Sonne eingestrahlte Energie (Globalstrahlung) in Form der Evaporation und Transpiration. Nur 2 – 5 % werden für die Photosynthese der Pflanzen genutzt. Der für die Pflanzen zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensvorgänge notwendige Transpirationsstrom wird durch den von der Energie abhängigen Gradienten des Wasserpotentials zwischen der atmosphärischen Luft und dem Boden gewährleistet. Dieser Gradient führt unter Abwesenheit von Pflanzen zu unproduktiven Wasserverlusten, der Evaporation. Bei voll entwickelten Pflanzenbeständen können über 80 % der Globalstrahlung für die Transpiration verwendet werden. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2010)

EHLERS (1996) macht darauf aufmerksam, dass je nach Klimalage mit einer bestimmten Wassermenge ganz unterschiedliche Erntemengen produziert werden können. Grund dafür ist neben der Wasserbereitstellung durch den Boden der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre, also das Sättigungsdefizit der Luft welches wesentlichen Einfluss auf die Versorgungslage der Pflanze mit dem Wachstumsfaktor Wasser hat.

Die im Verlauf des Jahres wechselnden Witterungsbedingungen und die hierdurch bedingten Schwankungen in der Stoffwechselintensität der Pflanzen führen zu einem mehr oder weniger stark ausgeprägten, charakteristischen Verlauf von Wasserzufuhr zum Boden und

Wasserverlusten aus dem Boden. Der Verlauf dieser Veränderungen, der vielfach unter dem Begriff Wasserhaushalt zusammengefasst wird, ist außer von den genannten Faktoren auch noch von den Bodeneigenschaften sowie von der hydrologischen Situation abhängig. Hierbei sind vor allem die Wasserleitfähigkeit der Böden bei unterschiedlichen Sättigungszuständen und damit die Eigenschaften des Porensystems von Bedeutung. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2010)

Abbildung 2 beschreibt den Einfluss der Zwischenfrucht auf die einzelnen Komponenten der Wasserbilanz. So wirken sich verringerte Evaporation, verminderter Oberflächenabfluss und weniger Sickerwasseranfall im Trockengebiet günstig auf die nachfolgende Hauptfrucht aus. Demgegenüber steht der Wasserverbrauch durch die Transpiration der Zwischenfruchtpflanzen.

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

Abbildung 2: Zwischenfruchteinflüsse auf die Komponenten der Wasserbilanz (BODNER et al 2011, Ländlicher Raum 9/2011)

Bodenart und Kurzzeichen	W_e (dm)	nFK (Vol.-%)	$nFK-W_e$ (mm)	LK (Vol.-%)
Grobsand (gS)	5	5	25	34
Mittelsand (mS, Ss)	6	9	55	31
Feinsand (fS)	6	11	65	29
Lehmiger Sand (Sl3)	8	15	120	20
Schluffiger Sand (Su3)	8	17	135	18
Sandiger Schluff (Us)	11	20	220	13
Schluff (Uu)	12	22	240	11
Toniger Schluff (Ut2-4)	11	18	200	12
Sandiger Lehm (Ls2)	10	16	160	12
Schluffiger Lehm (Lu)	10	17	170	11
Toniger Lehm (Lt2)	10	14	140	12
schluff. u. lehm. Ton (Tu2, TI)	10	12	120	5
Torf/Moor (nH, hH)	2...4	50... 60	100... 240	10... 25

Abbildung 3: Mittlerer effektiver Wurzelraum (W_e) mitteleuropäischer Ackerböden, nutzbare Feldkapazität (nFK), nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum ($nFKW_e$) und Luftkapazität (LK) für häufig auftretende Bodenarten (mittlere Lagerungsdichte) und für Torfhorizonte/Moore (nach Bodenkundliche Kartieranleitung 2005; WESSOLEK et al. 2008)

Bei Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität und in Klimaten mit geringem Anteil der Niederschlägen in der Vegetationszeit, ist die Sicherung der Winterfeuchte Ertragsentscheidend.

Bei Böden mit geringer Speicherkraft und hohem Anteil der Niederschläge in der Vegetationszeit, sind Maßnahmen zur produktiven Nutzung der aktuellen Niederschläge

(Evaporationsschutz, Verbesserung der Bodenspeicherfähigkeit) Ertragsentscheidend.
BODNER (2013)

Zu Auswirkungen der Begrünungen auf den Humushaushalt der Böden:

Humus besitzt eine hohe Wasserspeicherkapazität; er vermag etwa das 3- bis 5fache seines Eigengewichtes an Wasser zu speichern. Die organische Substanz hat durch die aggregierende Wirkung außerdem eine indirekte Wirkung auf die Porengrößenverteilung und den Wasserhaushalt. In Sandböden bestimmt deswegen der Humusgehalt die Feldkapazität. In solchen Böden konnte der Humusgehalt durch hohe Stallmistgaben innerhalb von 18 Jahren von 0,93 auf 1,38 % erhöht werden, wodurch das Porenvolumen von 38,4 auf 41,4 % anstieg. Mulchdecken bewirken zudem eine Verringerung der Evaporation und erhöhen die Infiltration von Wasser. Die Konsistenzgrenzen der Böden werden durch Humus in Richtung höherer Wassergehalte verschoben, so dass die Bodenbearbeitung in einem größeren Feuchtebereich der Böden ohne Gefügeschädigung möglich ist. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2010)

Die Auswirkungen einer Zwischenfrucht-Begrünung auf den Humusgehalt eines Ackerstandortes ergeben sich aus der Qualität und Quantität der Pflanzen und Wurzelrückstände sowie der Wurzelexsudate der Zwischenfruchtpflanzen sowie aus dem Einfluss der Begrünung auf das Bodenleben und die Bodenstruktur (Porenvolumen), die die Umsetzungsdynamik der organischen Substanz beeinflussen. (BODNER et al. 2002)

6 Material und Methoden

6.1 Versuchsstandort Hollabrunn

6.1.1 Lage

Der Versuchsstandort befindet sich direkt neben der landwirtschaftlichen Fachschule in Hollabrunn im pannonischen Trockengebiet.

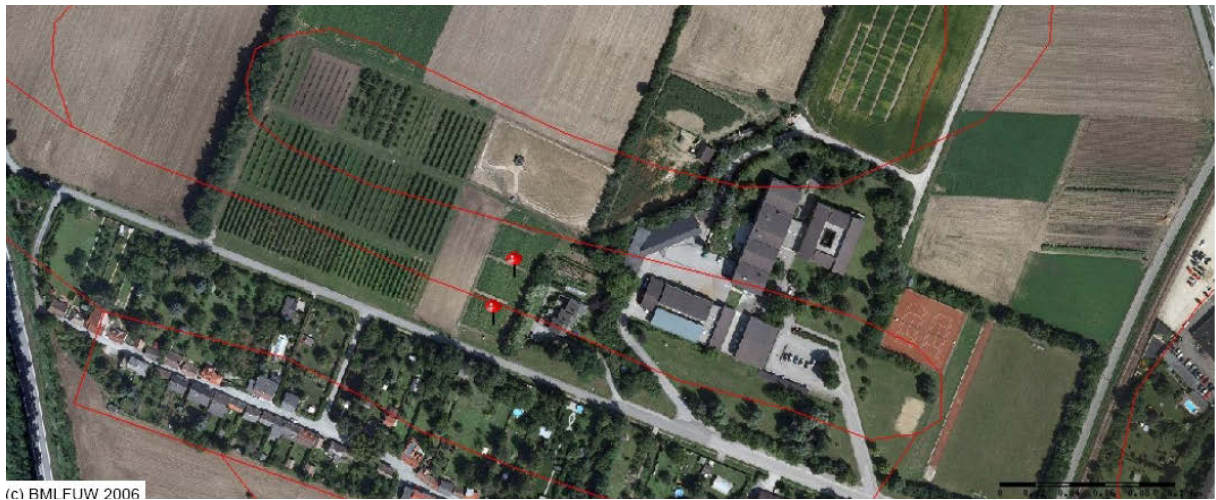


Abbildung 4: Versuchsstandort Hollabrunn neben der landwirtschaftlichen Fachschule, aus der digitalen Bodenkarte (http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD)



Abbildung 5: Foto vom Versuchsstandort Hollabrunn

6.1.2 Klima

Der Standort ist charakterisiert durch semiaride Bedingungen mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von 519 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 9,9°C. Das Versuchsjahr 2010 war durch überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen über die Vegetationsperiode von Mais von April-September gekennzeichnet.

Insgesamt fielen im Jahr 2010 am Versuchsstandort in Hollabrunn 844 mm Niederschlag mit für Körnermais sehr günstigen Verteilung mit hohen Mengen zur Blüte und eher trockenem Oktober zur Abreife und zum Drusch. Hier wird deutlich, dass der Niederschlag doch sehr deutlich über dem langjährigen Mittel lag.

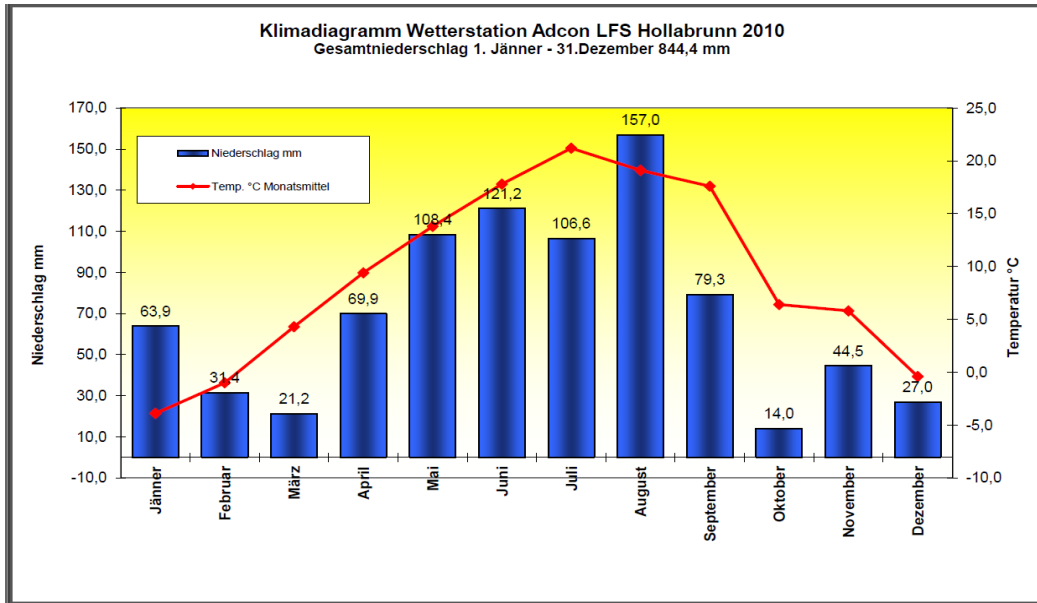


Abbildung 6: Klimadiagramm Hollabrunn 2010 (<http://www.abso.at/versuche/>)

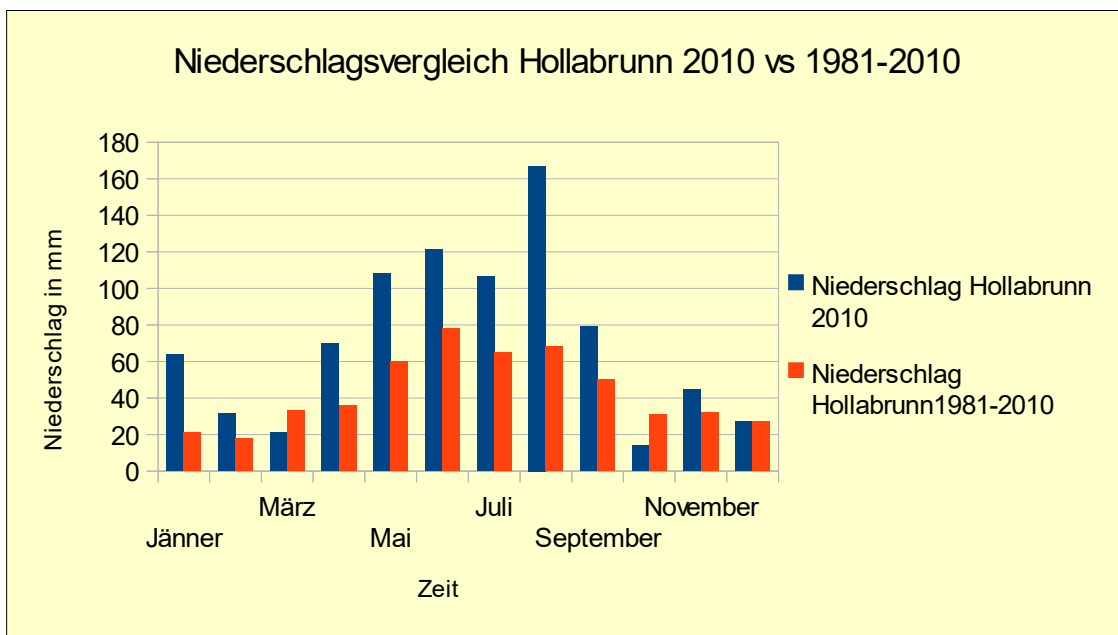


Abbildung 7: Niederschlagsvergleich Hollabrunn vs langjähriges Mittel (1981-2010), Daten Fachschule Hollabrunn und ZAMG Wien

6.1.3 Boden

Tabelle 1 zeigt die Korngrößenfraktionen am Versuchsstandort in Hollabrunn in Abhängigkeit der Hanglage. Am Hangfuss zeigt sich die Anhäufung der Tonfraktion bedingt durch Erosion bei Abnahme der Schlufffraktion. Der Sandanteil bleibt stabil.

	Oberhang	Mittelhang	Hangfuß
Ton (%)	15,5	16,0	22,6
Schluff (%)	51,2	51,9	44,3
Sand (%)	33,3	32,1	33,1

Tabelle 1: Korngrößenverteilung am Versuchsstandort Hollabrunn, Bodner et al

Die Bodenbeschreibung erfolgte nach Daten der digitalen Bodenkarte:

http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD

Aufgrund der Hanglage sind zwei unterschiedliche Beschreibungen notwendig (siehe Übersichtsgraphik)

Für den erodierten Ober- und Mittelhang gilt folgende Bodenbeschreibung:

Der Standort ist schwach geneigt bis hängig. Der Bodentyp und Ausgangsmaterial sind als kalkhaltiger Kulturrohboden aus Löß bezeichnet. Die Wasserverhältnisse sind als trocken mit mäßiger Speicherkraft und hoher Durchlässigkeit definiert. Der Ap - Horizont hat eine Gründigkeit von 25-35cm, darauf folgt der C – Horizont. Als Bodenart liegt ein lehmiger Schluff über die gesamte Profiltiefe vor bei schwach humosen Verhältnissen in Ap und hohem Kalkgehalt. Der Boden ist gut zu bearbeiten und wird als mittelwertiges Ackerland bezeichnet.

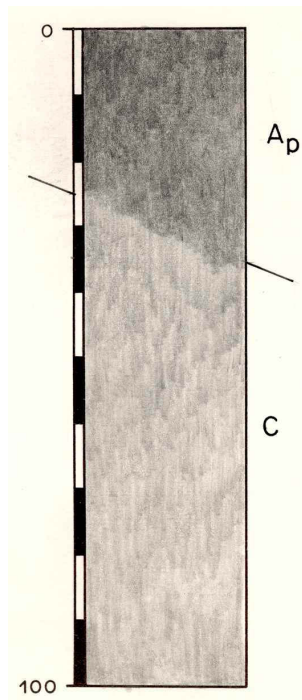


Abbildung 8: Profilzeichnung für den Standort Hollabrunn Oberhang,
 eBodhttp://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD

Für den Unterhang gilt als Bodenbeschreibung:

Der Standort ist eben bis schwach geneigt. Der Bodentyp und Ausgangsmaterial sind als Tschernosem auf Löß bezeichnet. Die Wasserverhältnisse sind als mäßig trocken mit hoher Speicherkraft und mäßiger Durchlässigkeit definiert. Als Bodenart liegt lehmiger Schluff oder schluffiger Lehm bei mittelhumosen Verhältnissen in A1p vor. Der Boden wird als sehr gut zu bearbeiten und hochwertiges Ackerland mit hohem Kalkgehalt bezeichnet.

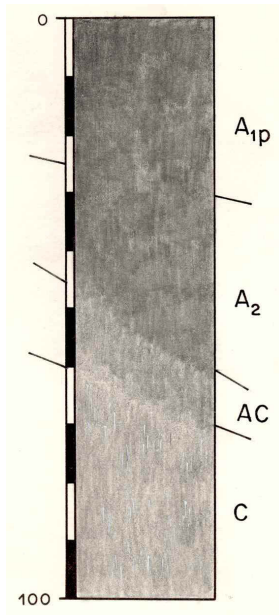


Abbildung 9: Profilzeichnung für den Standort Hollabrunn Hangfuss,
 eBodhttp://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD

6.2 Versuchsstandort Groß Enzersdorf

6.2.1 Lage

Der Versuchsstandort befindet sich auf den Flächen der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf in der Katastralgemeinde Raasdorf im pannonischen Trockengebiet.

Das Marchfeld ist eine der größten Ebenen Österreichs und bildet den nördlichen Teil des Wiener Beckens. Es liegt nordöstlich der Bundeshauptstadt Wien und wird im Süden von der Donau, im Osten von der March, im Norden vom Hügelland und im Westen vom Bisambergzug begrenzt. Die Fläche wird mit 930 qkm ausgewiesen. Die größte Ausdehnung in west- östlicher Richtung beträgt rund 26 km, die Seehöhe liegt zwischen 137 m und 165 m. (<http://www.dnw.boku.ac.at/pb/dienstleistungen/wetterdaten/standort-raasdorf/>)

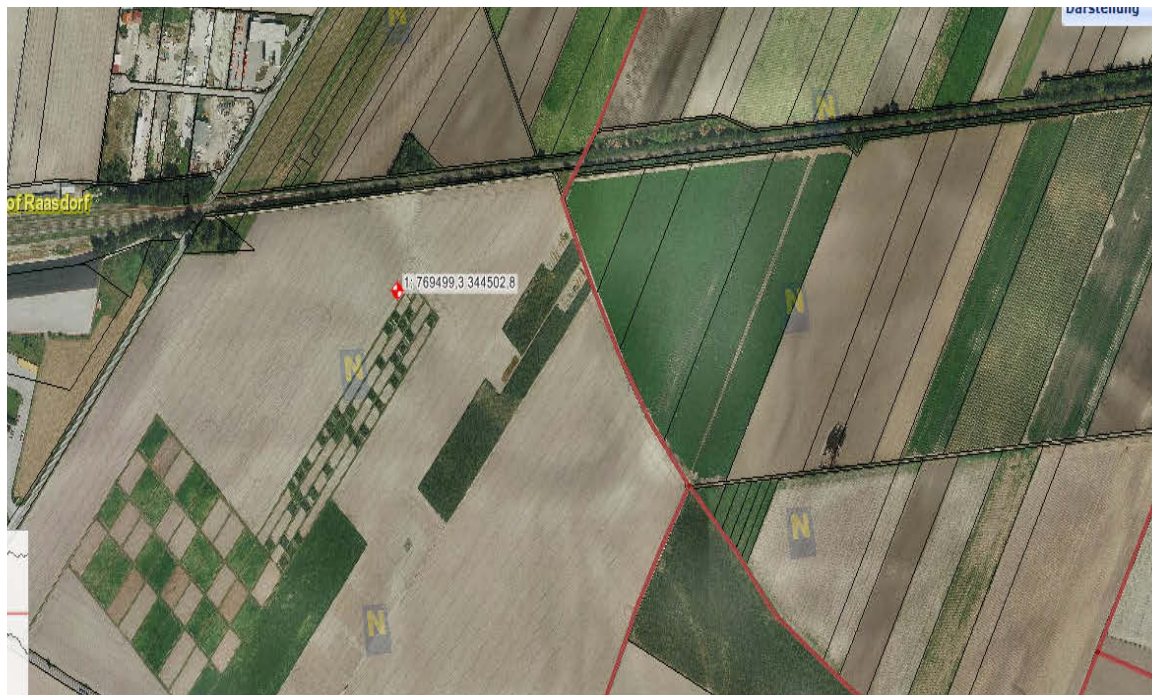


Abbildung 10: Luftbild Versuchsstandort Raasdorf http://atlas.noe.gv.at/webgisatlas/%28S%28c5oplkdhf5ldffkftgui5pe5%29%29/init.aspx?karte=atlas_gst



Abbildung 11: Foto vom Versuchsstandort Groß Enzersdorf (KG Raasdorf)

6.2.2 Klima

Der Standort wies in den Jahren 1998-2010 eine mittlere Temperatur von 10,65 °C bei einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 550 mm auf.

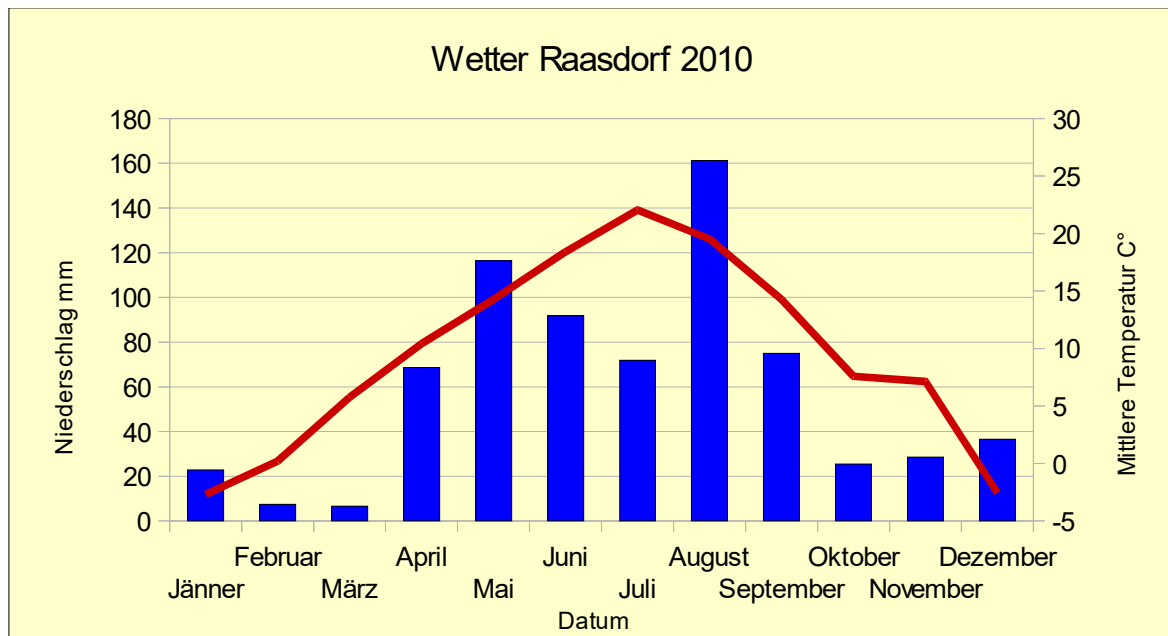


Abbildung 12: Wetterdiagramm 2010 Raasdorf

Im Jahr 2010 lag der Jahresniederschlag bei 712mm bei einer Jahresmitteltemperatur von 9,57 °C. Die Daten zeigen also eine um 171 mm höhere Niederschlagsmenge und um 1,1 °C niedrigere Temperatur im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt. Auch die Niederschlagsverteilung mit gleichmäßiger Versorgung über die gesamte Vegetationszeit und ausreichend Niederschlag vor der Blüte im Juni lässt auf ideale Wachstumsverhältnisse für die Kulturart Mais im Jahr 2010 schließen.

6.2.3 Boden

Die Bodenbeschreibung erfolgt nach Daten der digitalen Bodenkarte.

http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD

Der Standort ist eben. Der Bodentyp und Ausgangsmaterial sind Tschernosem aus kalkhaltigem Feinsediment über Schotter. Die Wasserverhältnisse sind als trocken definiert. Der A1-Horizont hat eine Gründigkeit von 0 - 25 cm, gefolgt vom A2 - Horizont von 25 - 50 cm und dem D-Horizont von 50 - 200 cm mit vorherrschend Schotter. Als Bodenart liegt ein lehmiger Schluff über die Horizontale A1 und A2 vor bei mittelhumosen Verhältnissen und hohem Kalkgehalt.

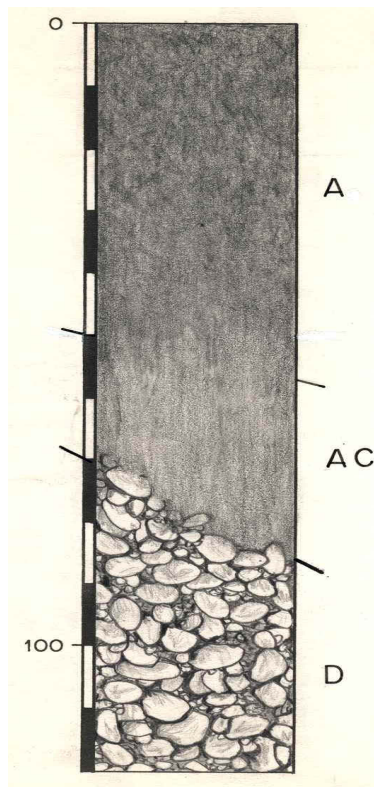


Abbildung 13: Bodenprofil aus der digitalen Bodenkarte für den Standort Raasdorf http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD

6.3 Versuchsanlage

6.3.1 Hollabrunn

Die Messungen wurden auf einem Versuchsfeld der landwirtschaftlichen Fachschule Hollabrunn durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als Blockanlage in Kleinparzellen mit 3 Wiederholungen. Nach der Ernte der Vorfrucht Sommergerste im Sommer 2009 erfolgte ein Grubberstrich und der Anbau der Zwischenfrüchte laut Versuchsplan am 14.8.2009 mit einer Drillsämaschine. Dabei wurde zwischen den Varianten Schwarzbrache, Phacelia, Wicke, Mischung und Senf unterschieden. Die Messrohre für die Bodenwassermessungen befanden sich auf den Parzellen Senf, Phacelia und Schwarzbrache in dreifacher Wiederholung. Diese Varianten wurden auch in der vorliegenden Arbeit ausgewertet. Am 21.4.2010 wurde die Maissorte „Die Samanta“ (RZ 320) mit einer Einzelkornsämaschine auf 18 cm Abstand in der Reihe bei 75 cm Reihenabstand angebaut. Die maschinelle Ernte der Versuchspartzellen erfolgte am 14.10.2010.

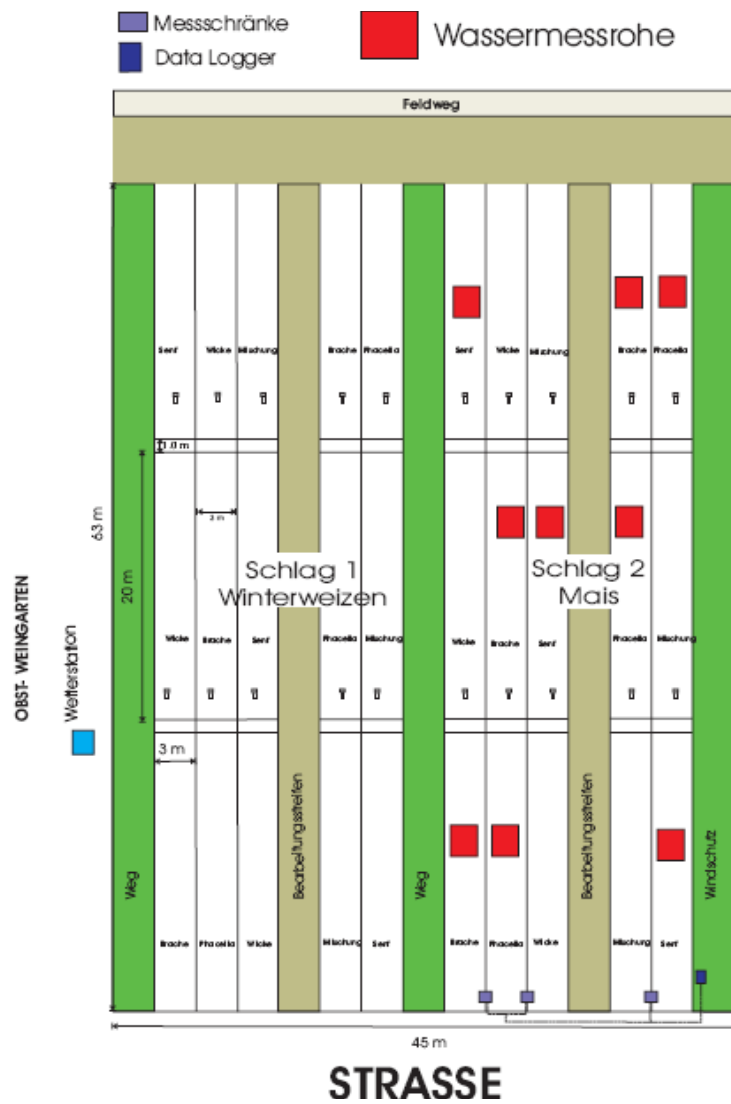


Abbildung 14: Versuchsplan Hollabrunn

Abbildung 14 zeigt den Versuchsplan am Standort Hollabrunn mit den Standorten der Beprobungsrohre für die Wassergehaltsmessungen im Boden.

6.3.2 Groß Enzersdorf

Die Messungen erfolgten auf den Versuchsflächen der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf in Raasdorf. Das Versuchsfeld wurde als randomisierte Blockanlage mit Parzellen von 3 mal 12 Meter angelegt. Zusätzlich wurde jede Parzelle in zwei 1,5 m breite Teilstücke unterteilt.

35		1		6		7		25		19		20	
Schwarzbrache	95	Gemenge A		Phacelia	82	Senf	83	Sommerwicke		Perserklee		Gelber Steinklee	
144	145	146	147	148	149	150							

31		23		2		25		6		35		7	
Linse		Weißklee		Gemenge B		Sommerwicke		Phacelia	91	Schwarzbrache	92	Senf	93
111	112	113	114	115	116	117							

16		12		5		6		1		7		35	
Flechtstrauchgras		Mungo		Sommerhahnenfuß		Phacelia	85	Gemenge A		Senf	87	Schwarzbrache	88
78	79	80	81	82	83	84							

Tabelle 2: Auszug aus dem Versuchsplan Groß Enzersdorf mit den betrachteten Doppelparzellen (blau markiert) und Standort der Beprobungsrohre für den Bodenwasserhaushalt (rote Zahlen)

6.4 Datenerhebung

6.4.1 Biomasse

Zur Beprobung der Biomasse wurden jeweils pro Parzelle 6 Einzelpflanzen auf einem Laufmeter in einer Reihe 5 cm über dem Boden mit einer Sichel abgeschnitten und in die Fraktionen Stamm, Blatt und Korn unterteilt und in Probensäcken aufbewahrt. Nach einer Vortrocknung im Trockenschrank bei 50 °C wurden die Proben bei 105 °C über mindestens 24 Stunden weiter getrocknet bis keine weitere Gewichtsreduktion mehr eintrat und anschließend mit einer Waage die Trockenmasse bestimmt.

6.4.2 Bodenwasser

Zur Ermittlung des Bodenwassers wurden jeweils 9 Beprobungsrohre (Senf, Phacelia und Schwarzbrache in dreifacher Wiederholung) pro Standort einen Meter tief in die Erde vergraben. Die Beprobung erfolgte mit dem Diviner 2000 der Firma Sentek. Dieser ermöglicht die Messung des Bodenwassergehalts in unterschiedlichen Bodentiefen. Dabei wird die Messsonde in die Beprobungsrohre geschoben und automatisch der Bodenwassergehalt in 10 cm – Schritten bis zu einer Tiefe von einem Meter gemessen und auf dem dazugehörigen Datenlogger gespeichert.



Abbildung 15: Diviner Sentek zur Messung des Bodenwassergehalts



Abbildung 16: Beprobungsrohr für die Bodenwassermessungen

6.5 Modellierung mit dem Programm Daisy:

Das dänische Simulationsmodell DAISY (Hansen et. al 1990) wurde zur Analyse von Stoffflüssen (Stickstoffdynamik, Humushaushalt) in Agrarökosystemen entwickelt. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung bietet es heute zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, Prozesse in landwirtschaftlich genutzten Flächen zu verstehen, Szenarien zu prüfen und Prognosen zu erstellen.

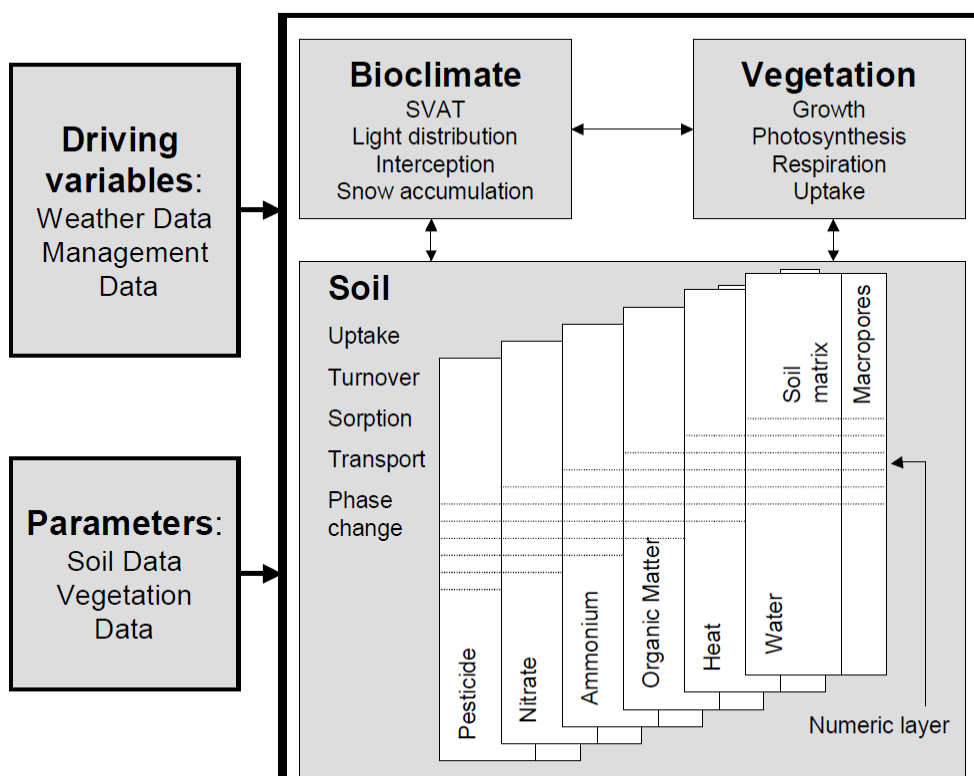


Abbildung 17: Das Simulationsmodell DAISY und seine Teilkomponenten, Abrahamsen

Aufbauend auf der vorhandenen Simulationsdatei „pioneer maize“ wurden die folgenden Parameter in „Mais2010“ so verändert, dass sie dem gemessenen Trockenmasseverlauf entsprechen und so die physiologischen Eigenschaften der angebauten Maissorte widerspiegeln. Die Kalibration erfolgte für den am Standort Raasdorf ermittelten Trockenmasseverlauf.

Neben den Pflanzeigenschaften stützt sich die Simulation dabei auf unterschiedliche Dateien die gemeinsam die Eigenschaften des Standorts wiedergeben sollen. So gibt es ein Wetterfile welche die Klimadaten von 2000 – 2010 enthält. Weiters erfolgt die Bodenbeschreibung über die Korngrößenfraktionen und Humusgehalt in einer eigenen File, sodass diese bei Bedarf gegen andere Standorte ausgetauscht werden kann. Die Beschreibung des Pflanzenwachstums selbst erfolgt über die Dateien Mais2010 und Management _zwischenfrucht in denen die wichtigen pflanzenbaulichen Maßnahmen und physiologische Faktoren im Wachstum berücksichtigt werden können

Nach der Nachbildung des Wachstumsverlaufs für das Kalibrationsjahr 2010 wurde die Simulation der Jahre 2000 – 2010 durchgeführt unter Berücksichtigung der Wetterdaten in Groß Enzersdorf. So kann ermittelt werden wie sich der Trockenmasseertrag in unterschiedlichen Jahren entwickelt. Vor allem in Trockenjahren besteht der Verdacht auf Ertragsdepressionen durch vorangehenden Zwischenfruchtbau.

Tabelle 4 zeigt die veränderten Parameter in der Simulationsdatei „Mais2010“ die zur Anpassung des simulierten Wachstumsverlaufs an den gemessenen Wachstumsverlauf in Groß Enzersdorf geführt haben. Für die Simulation der vorhergehenden Zwischenfrucht Senf wurde auf eine Parametrisierung von Wohlmuth (2009) zurückgegriffen. Dabei wurden die einzelnen Werte solange in kleinen Schritten verändert, bis eine gute Übereinstimmung mit der Trockenmassebildung in Groß Enzersdorf vorlag. Die der Simulation zugrunde liegende Bodenbeschreibung ist in Tabelle 3 ersichtlich.

	Ah – Horizont (0 – 65 cm)	C- Horizont (65 cm – 200 cm)
Ton (%)	24,4	12,8
Schluff (%)	56,4	65,3
Sand (%)	19,2	21,9
Humus (%)	2,5	1,5
C/N – Verhältnis	11	20

Tabelle 3: Korngrößenverhältnis, C/N - Verhältnis und Humusgehalt Groß Enzersdorf

Parameter [Einh]	Beschreibung Parameter	Ausgangswert	Abänderung
EmrTSum [dg C T]	Temperatursumme für Durchspitzen des Keimlings	300	170
DSRate 1 [DS/d]	Wachstumsphase. 0-1 für vegetative Phase, 1-2 für generative Phase	0,020	0,021
TempEff1	Temperatureffekt auf vegetatives Stadium	(0. 0.30) (10. 0.30) (15. 0.75) (25. 1.00) (35. 1.20)	(0. 0.00) (10. 0.30) (15. 0.75) (25. 1.0) (35. 1.2)
DSRate 2 [DS/d]	Entwicklungsrate in der generativen Wachstumsphase	0,015	0,0125
FM[gCO ₂ /m ² /h]	Maximale Assimilationsleistung	6	6
Seed LAI	Anfangsblattfläche – definiert die Geschwindigkeit der Anfangsentwicklung	0,13	0,55
SpLAI	Blattfläche pro Einheit Blattbiomasse, je höher desto mehr LAI und Biomassebildung	0,03	0,025
PARext	Strahlungsextinktion – Abschwächung der Strahlung beim Durchqueren eines Mediums, je höher desto mehr Assimilation	0,6	0,56
LfDR	Blattabsterberate nach dem Entwicklungsstadium	(0.00 0.00) (0.10 0.00) (1.50 0.005) (2.00 0.10)	(0.00 0.00) (0.10 0.00) (1.40 0.005) (1.60 0.005) (2.00 0.005)
Partit	Aufteilung der Biomasse zwischen Wurzel, Blatt und Stamm in Abhängigkeit der Wachstumsphase; der Rest wird zur Kornbildung verwendet		
-) Root		(0.00 0.50) (0.67 0.25) (1.37 0.00) (1.60 0.00) (2.00 0.00)	(0.00 0.60) (0.67 0.35) (1.00 0.05) (1.37 0.10) (1.60 0.00) (2.00 0.00)
-) Leaf		(0.00 0.95) (0.35 0.59) (0.67 0.20) (1.00 0.12) (1.18 0.09) (1.37 0.00) (2.00 0.00)	(0.00 0.95) (0.35 0.70) (0.67 0.50) (1.00 0.15) (1.01 0.09) (1.37 0.00) (1.85 0.00) (2.00 0.00)
-) Stem		(0.00 0.05) (0.35 0.41) (0.67 0.66) (1.00 0.64) (1.18 0.31) (1.37 0.00) (2.00 0.00)	(0.00 0.05) (0.35 0.30) (0.67 0.50) (1.00 0.55) (1.01 0.11) (1.37 0.00) (1.80 0.00) (2.00 0.00)

Tabelle 4: Erklärung der veränderten Parameter in der Grunddatei Mais2010 mit dem dazugehörigen veränderten Endwert in der Modellierung nach Abrahamsen[2011]

Produktionsbedingungen Modellierung:

Der Anbau von Mais erfolgt am 21. April. Anschließend werden am 1. Mai und 20. Juni jeweils 70 kg/ha N in Form von Ammoniumnitrat gedüngt.

Die Wetterdaten beruhen auf Wetterstationsmessungen am Standort Groß Enzersdorf für die Jahre 2000-2010.

Im weiteren Verlauf wurde dann die Simulation für die Jahre 2000-2010 durchgeführt um mögliche Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt und Pflanzenwachstum unter geänderten Niederschlagsverhältnissen zu erfahren.

7 Ergebnisse

7.1 Wasserhaushalt

Im folgenden wird der Wasserhaushalt getrennt an beiden Standorten gezeigt. Hier erfolgte die statistische Auswertung getrennt nach Standort, da das Statistikprogramm SAS bei dem vorhandenen Computer die gesamten Daten (Zeit x Tiefe x Zwischenfrucht x Standort) nicht verarbeiten konnte. Der Standort Hollabrunn (25,8 Vol%) weist über die gesamte Messdauer tendenziell um 3 Prozent höhere Wassergehalte als der Standort Groß Enzersdorf (22,9 Vol %) auf (siehe Anhang).

7.1.1 Standort Hollabrunn

Abbildung 18 zeigt den durchschnittlichen Wassergehalt im Boden über eine Tiefe von 0-100 cm gemessen in den Beprobungsrohren mit dem Diviner Sentek Sensor. Hier sind keine signifikanten Unterschiede in den drei Versuchsvarianten (Brache, Phacelia, Senf) feststellbar (Tabelle 5).

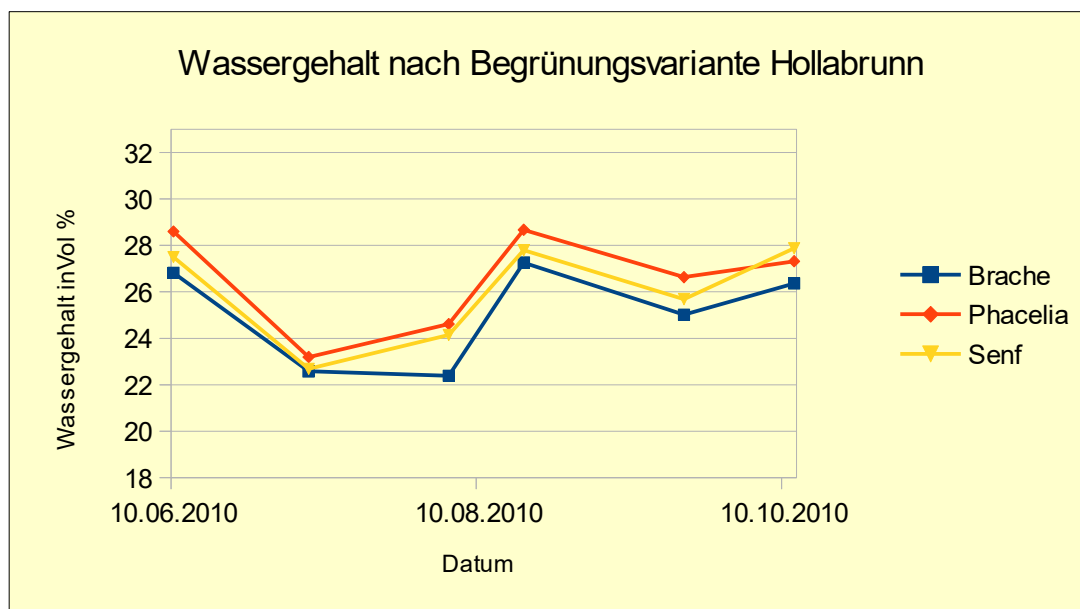


Abbildung 18: Wassergehaltsmittelwerte Hollabrunn 0-100cm in Abhängigkeit der Begrünungsvarianten Brache, Phacelia, Senf

Effekt	Freiheitsgrade Zähler	Freiheitsgrade Nenner	F-Statistik	Pr > F
TERMIN	5	17	29.17	<.0001
TIEFE	8	31	45.34	<.0001
TERMIN*TIEFE	40	132	10.42	<.0001
ZF	2	4	2.14	0.2329
TERMIN*ZF	10	17	0.60	0.7961
ZF*TIEFE	16	31	7.65	<.0001
TERMIN*ZF*TIEFE	80	132	0.78	0.8847
WH	2	4	33.61	0.0032
TERMIN*WH	10	17	1.37	0.2744
WH*TIEFE	16	31	13.77	<.0001
TERMIN*WH*TIEFE	80	132	0.98	0.5418

Tabelle 5: Statistische Auswertung Wassergehalt Hollabrunn

Aufgrund der Hanglage am Versuchsstandort und der damit einhergehenden unterschiedlichen Wasserspeicherefähigkeit ergeben sich über die Wiederholungen deutliche Unterschiede im Bodenwassergehalt. Hier ist vor allem der Einfluss der Bodenart und die Hangneigung von Bedeutung. Am Hangfuss (WH 2: 26,69 Vol% und WH 3: 26,73 Vol%) zeigen sich tendenziell höhere Wassergehalte als am Hangrücken (WH1: 24,04 Vol%) im Durchschnitt über die Vegetationsperiode.

Im Mittel zeigten sich signifikante Unterschiede im Bodenwassergehalt zwischen Begrünungen in Abhängigkeit der Tiefe (Tabelle 6).

Tiefe (cm)	Brache	Senf	Phacelia
10	25,9 a	23,9 b	23,4 b
20	28,2 ab	27,3 a	28,4 b
30	28,2 ab	27,5 a	28,4 b
40	25,0 a	24,7 a	26,2 b
50	23,7 a	26,1 b	26,6 b
60	25,1 a	25,2 a	26,9 b
70	26,0 a	26,0 a	25,3 a
80	25,3 a	25,9 a	27,0 a

Tabelle 6: Durchschnittlicher Wassergehalt Hollabrunn in Vol %

Die Abb. 19 und 20 und Tabelle 6 zeigen den Wassergehalt am Standort Hollabrunn über die einzelnen Tiefenstufen. Zu beachten dabei sind die im Jahr 2010 ungewöhnlich hohen Niederschlagsmengen von 518 mm über die gesamte Vegetationsperiode von 21.4. bis 4.10. 2010.

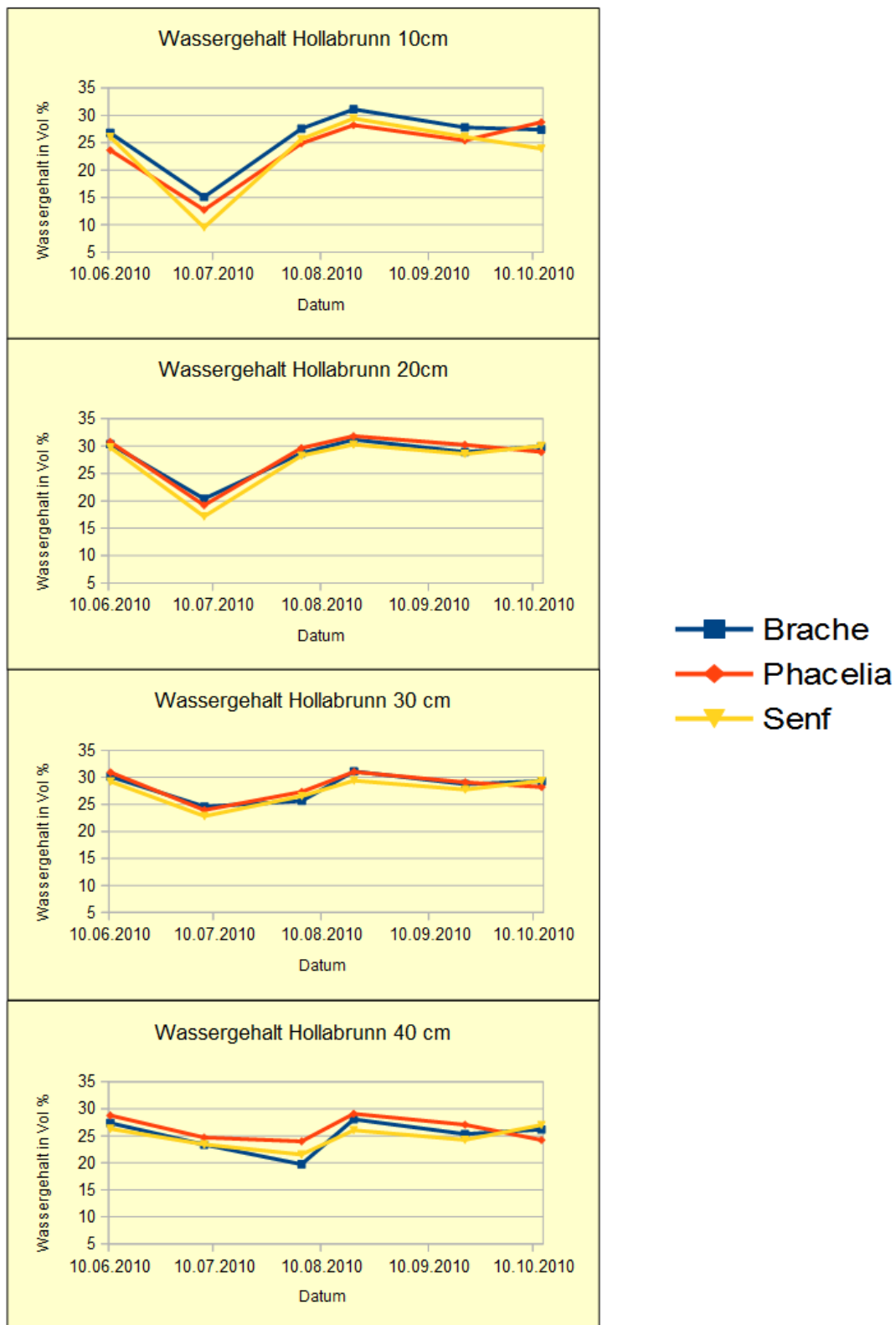


Abbildung 19: Wassergehalt Hollabrunn 10 - 40 cm

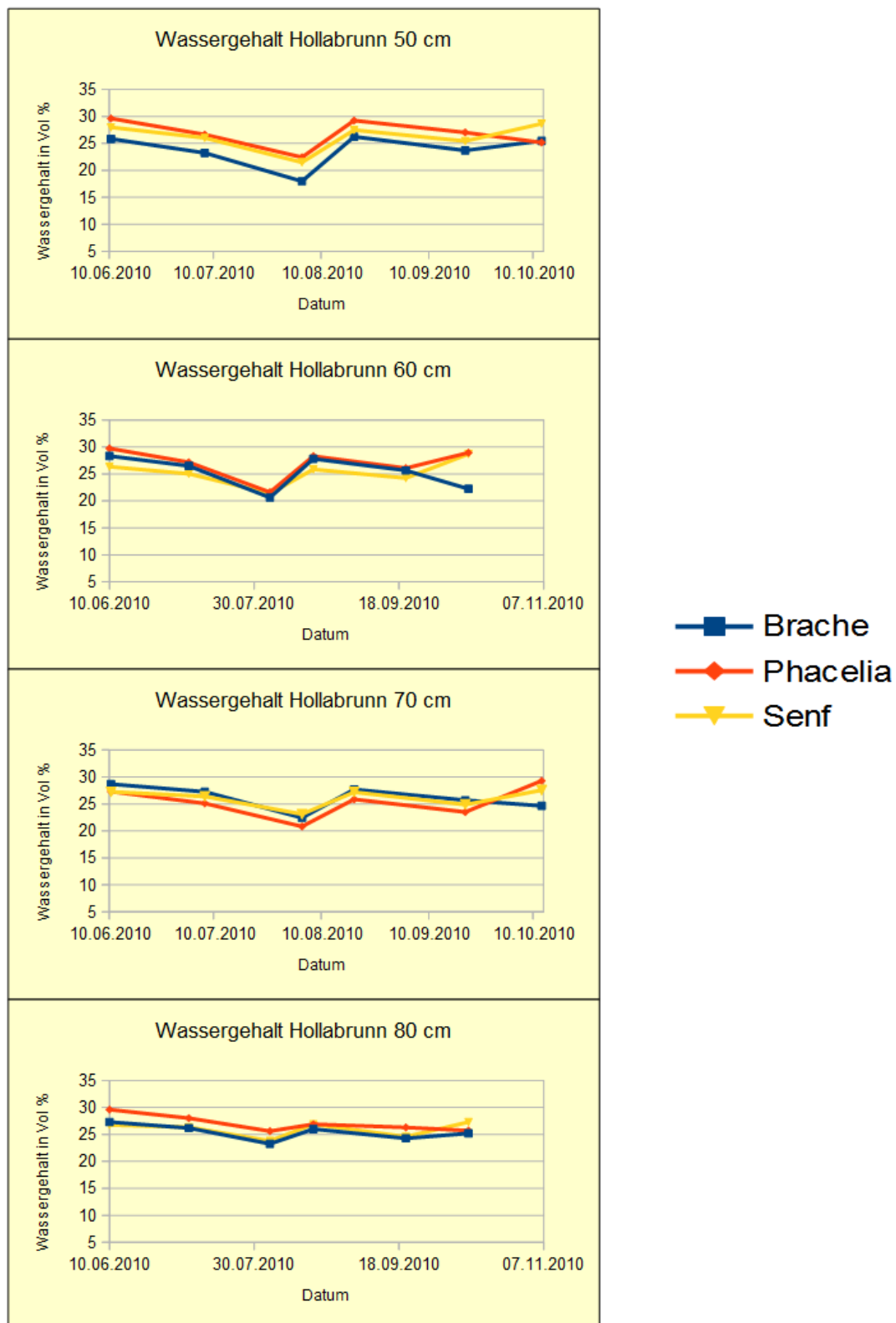


Abbildung 20: Wassergehalt Hollabrunn 50 - 80 cm

7.1.2 Standort Groß Enzersdorf:

Abbildung 21 zeigt den durchschnittlichen Wassergehalt im Boden über eine Tiefe von 0-100 cm gemessen in den Beprobungsrohren mit dem Diviner Sentek Sensor.

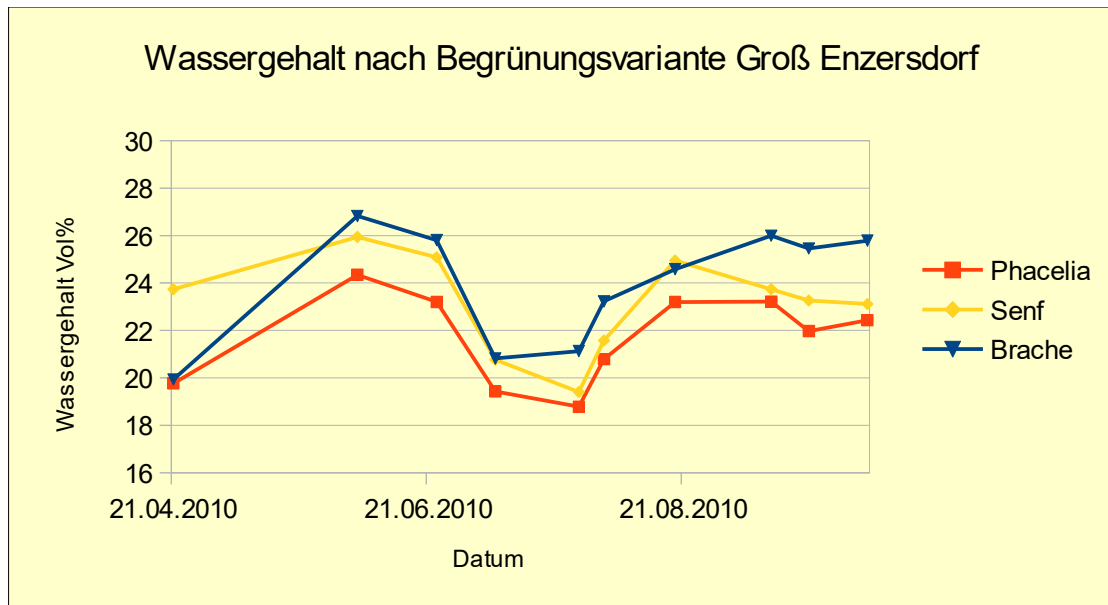


Abbildung 21: Mittelwerte der Wassergehalte in Abhängigkeit der Begrünungsvariante am Standort Groß Enzersdorf

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F
TERMIN	5	16	21.03	<.0001
TIEFE	8	32	61.44	<.0001
TERMIN*TIEFE	40	128	4.31	<.0001
ZF	2	4	6.14	0.0603
TERMIN*ZF	10	16	0.57	0.8168
ZF*TIEFE	16	32	1.17	0.3385
TERMIN*ZF*TIEFE	80	128	0.76	0.9117
WH	2	4	16.97	0.0111
TERMIN*WH	10	16	0.62	0.7729
WH*TIEFE	16	32	11.59	<.0001
TERMIN*WH*TIEFE	80	128	0.66	0.9784

Tabelle 7: Statistische Auswertung Wassergehalt Groß Enzersdorf

Die statistische Auswertung des Wassergehalts in Groß Enzersdorf (Tab.7) zeigt keine signifikanten Unterschiede bei den Begrünungsvarianten.

In Tabelle 8 sind die durchschnittlichen Wassergehalte in Groß Enzersdorf angeführt. Diese sind gemittelt über den Vegetationsverlauf dargestellt. Die Unterschiede über die Tiefenstufen sind nicht signifikant.

Tiefe (cm)	Brache	Senf	Phacelia
10	18,1	17,6	16,3
20	21,7	21,5	20,7
30	26,6	26,3	25,2
40	25,6	25,4	25,9
50	25,4	25,6	24,6
60	25,5	24,2	22,0
70	23,0	20,6	18,7
80	25,5	22,8	21,7
90	25,8	24,2	22,8

Tabelle 8: Durchschnittlicher Wassergehalt Groß Enzersdorf

Die Abbildungen 22 - 24 zeigen den Wassergehalt am Standort Groß Enzersdorf über die einzelnen Tiefenstufen. Dabei zeigt sich, dass größere Schwankungen über die Zeit vor allem im Oberboden im Bereich von 10 – 30 cm auftreten. Darunter bleibt der Wassergehalt relativ konstant auf einem Niveau von ca. 25 Vol.%. Zu beachten dabei sind die im Jahr 2010 ungewöhnlich hohen Niederschlagsmengen über die gesamte Vegetationsperiode (476mm) von 21.4. – 4.10, sodass die Pflanzen zu keinem Zeitpunkt auf die Wasserreserven in tieferen Bodenschichten zurückgreifen mussten.

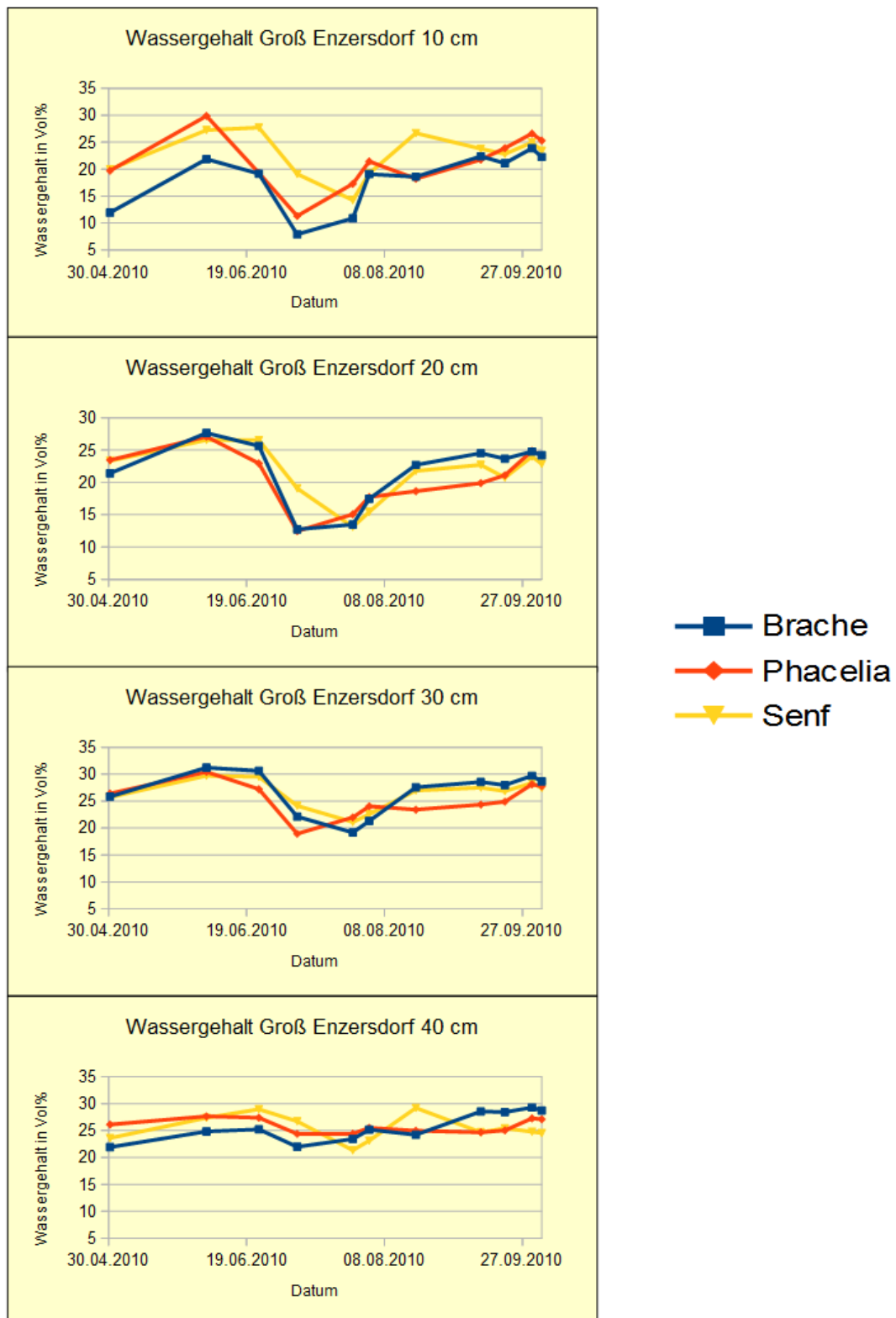


Abbildung 22: Wassergehalt Groß Enzersdorf 10 - 40 cm

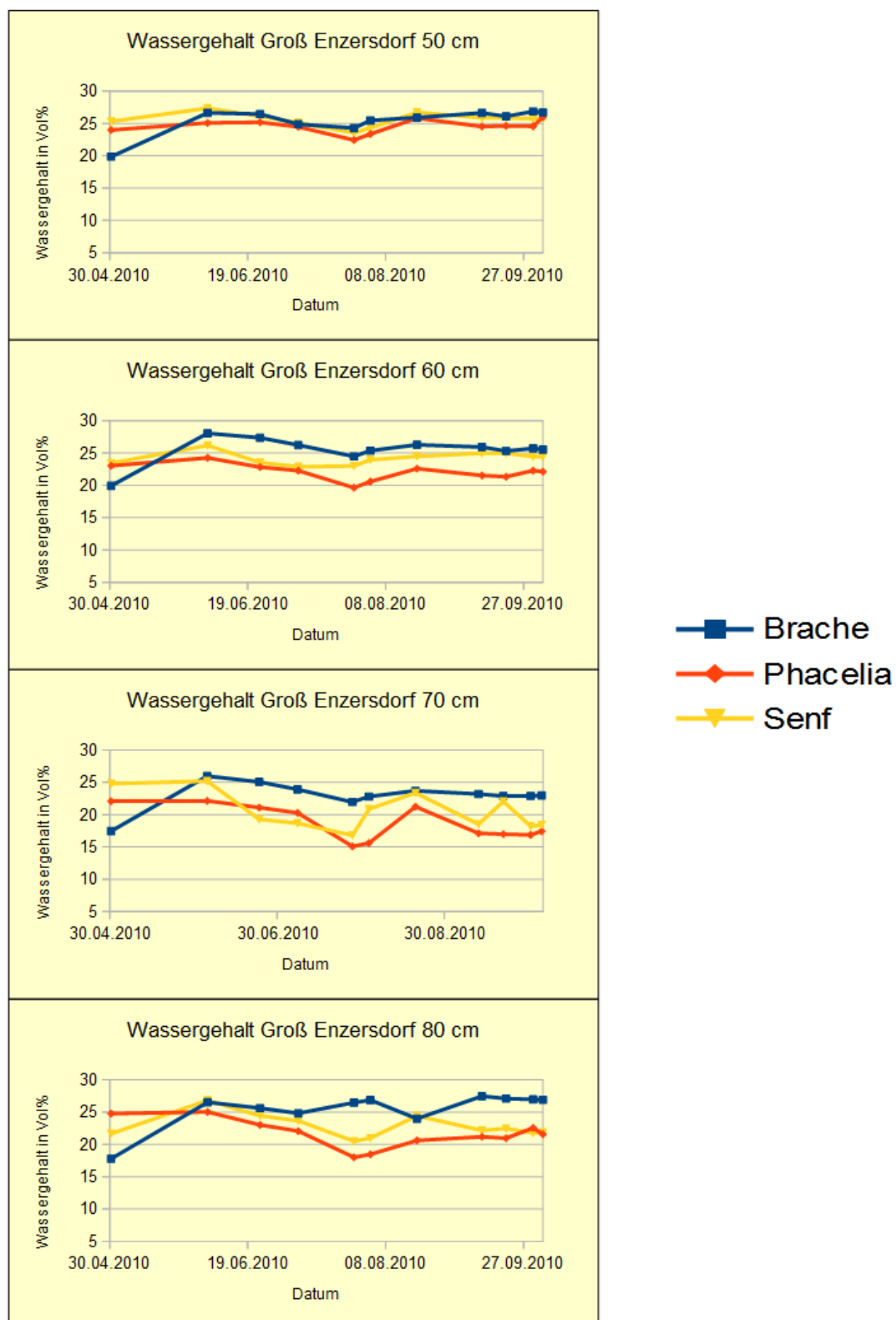


Abbildung 23: Wassergehalt Groß Enzersdorf 50 - 80 cm

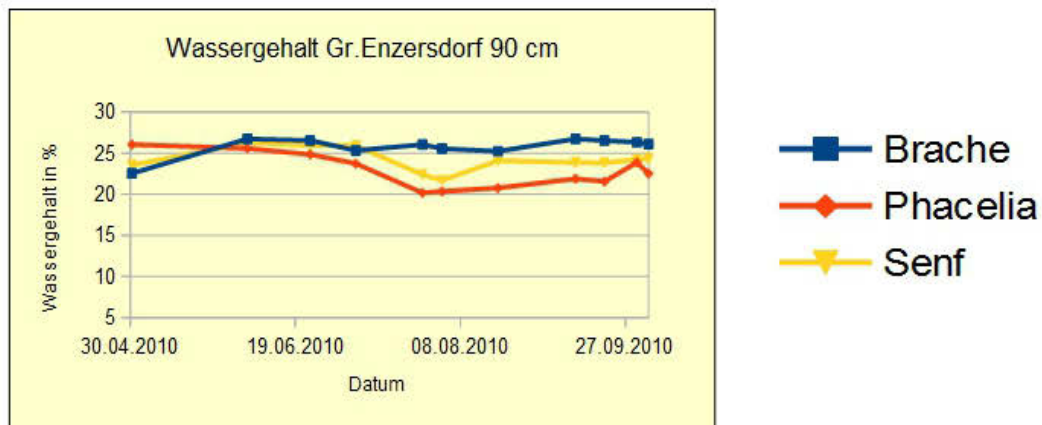


Abbildung 24: Wassergehalt Groß Enzersdorf 90 cm

7.2 Biomasseertrag

7.2.1 Standort Groß Enzersdorf

Abbildung 25 zeigt die Trockenmassebildung von Mais über die Vegetationsperiode am Standort Groß Enzersdorf.

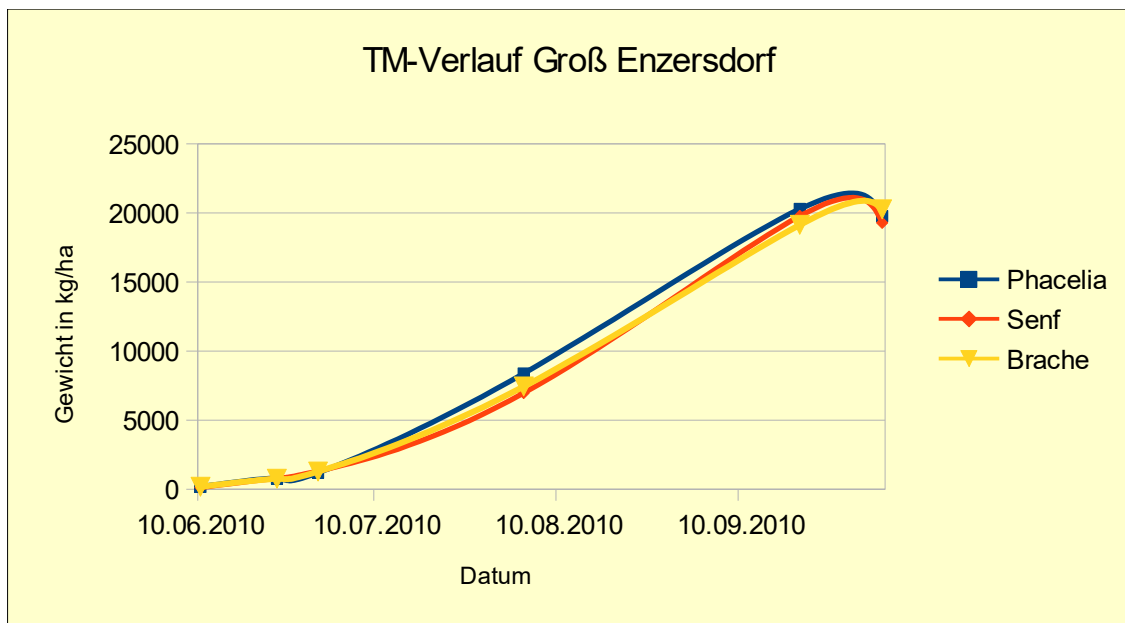


Abbildung 25: Trockenmasseertrag am Standort Groß Enzersdorf

Der Trockenmasseertrag am Standort Groß Enzersdorf lässt auf keinen Einfluss der Begrünungen schließen. Dabei muss allerdings der sehr günstige Witterungsverlauf mit ausreichend Niederschlägen (476mm) über die gesamte Vegetationszeit (21.4 – 4.10) im Jahr 2010 berücksichtigt werden.

Die statistische Auswertung (Tab. 9) zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Biomasseproduktion durch die Begrünungsvarianten.

	Zähler	Nenner		
Effekt	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F
ZF	2	9.38	0,58	0.5805
DNS	5	16.5	628.03	<.0001
ZF*DNS	10	15.9	0.27	0.9782
WH	2	9.38	1.92	0.1997
WH*DNS	10	15.9	1.03	0.4623

Tabelle 9: Statistische Auswertung Trockenmasse Groß Enzersdorf

7.2.2 Biomasseertrag Hollabrunn

Die Kornerträge am Versuchsstandort in Hollabrunn lassen keine Unterschiede in den einzelnen Versuchsvarianten erkennen. In der Druschvariante der landwirtschaftlichen Fachschule Hollabrunn am selben Standort konnten jedoch bei Schwarzbrache nicht die Erträge von Phacelia und Senf erreicht werden (Abb. 27). Außerdem wurden die Erträge per Handernte von 6 Einzelpflanzen je Parzelle erhoben (Abb. 26).

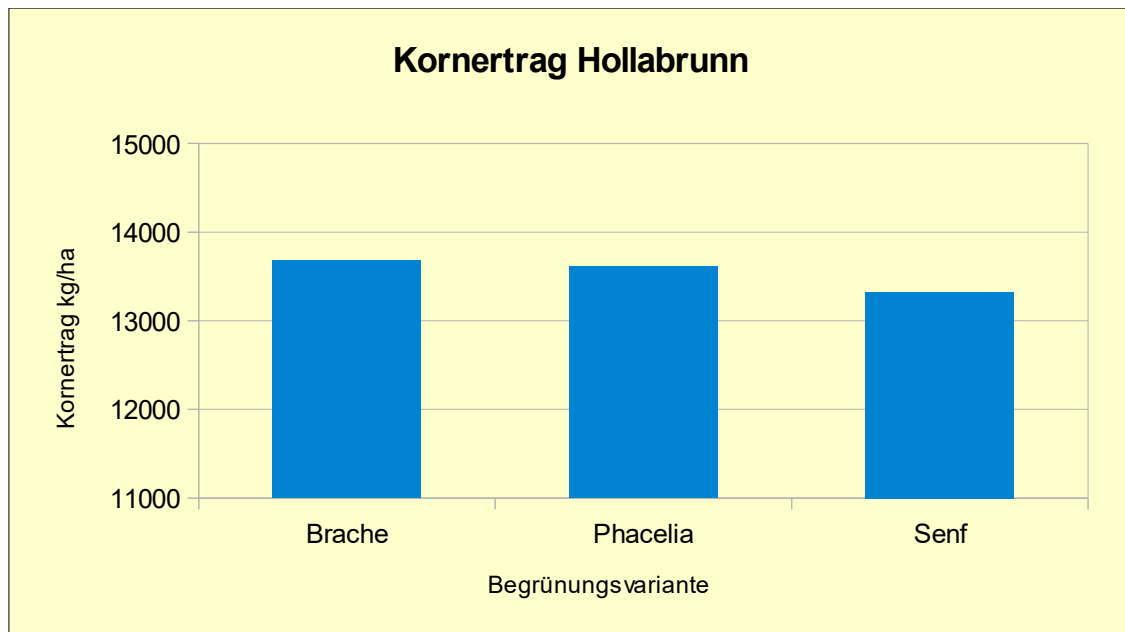


Abbildung 26: Kornertrag Handernte Hollabrunn in kg/ha

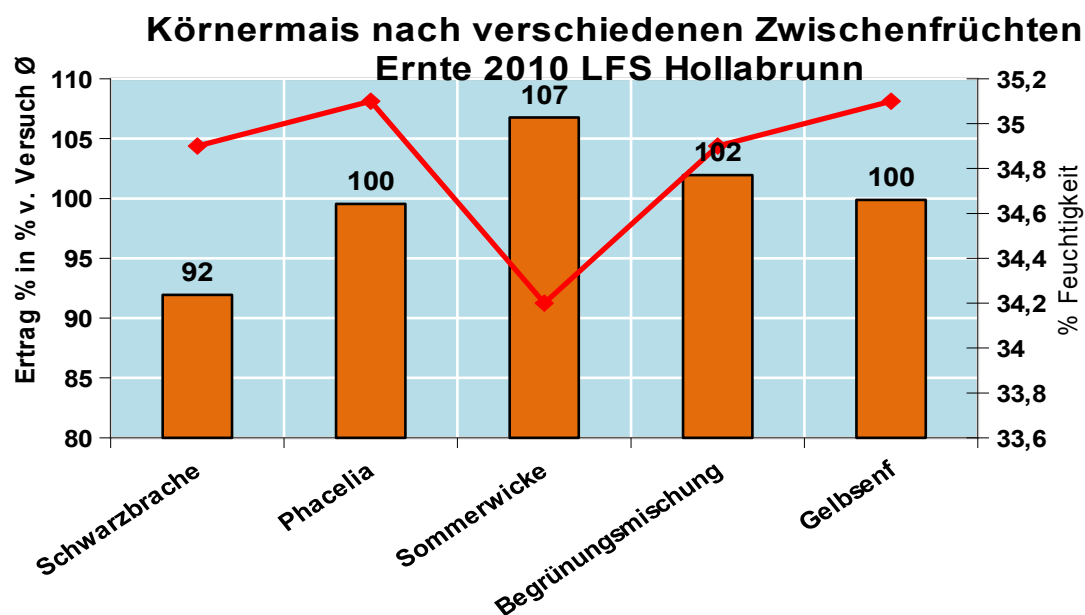


Abbildung 27: Kornertrag Hollabrunn mit maschineller Ernte der ganzen Parzellen
(Quelle: Fachschule Hollabrunn)

7.3 Modellierung

Für den Standort Groß Enzersdorf wurde die Trockenmassebildung von Mais simuliert um anhand der Simulationsergebnisse Aussagen für unterschiedliche Klimabedingungen in den Jahren 2000 – 2010 treffen zu können. Es wurde zunächst für die Kalibration des Modells versucht den tatsächlichen Wachstumsverlauf mit Hilfe des Simulationsmodells Daisy möglichst genau wiederzugeben. Dabei wurden die Parameter wie in Tabelle 3 beschrieben abgeändert um den Wachstumsverlauf unter den gegebenen Produktionsbedingungen möglichst realistisch wiederzugeben.

Abbildung 28 zeigt den tatsächlichen Wachstumsverlauf anhand der Trockenmassebildung im Jahr 2010 im Vergleich zum modellierten Wachstumsverlauf für den Standort Groß Enzersdorf.

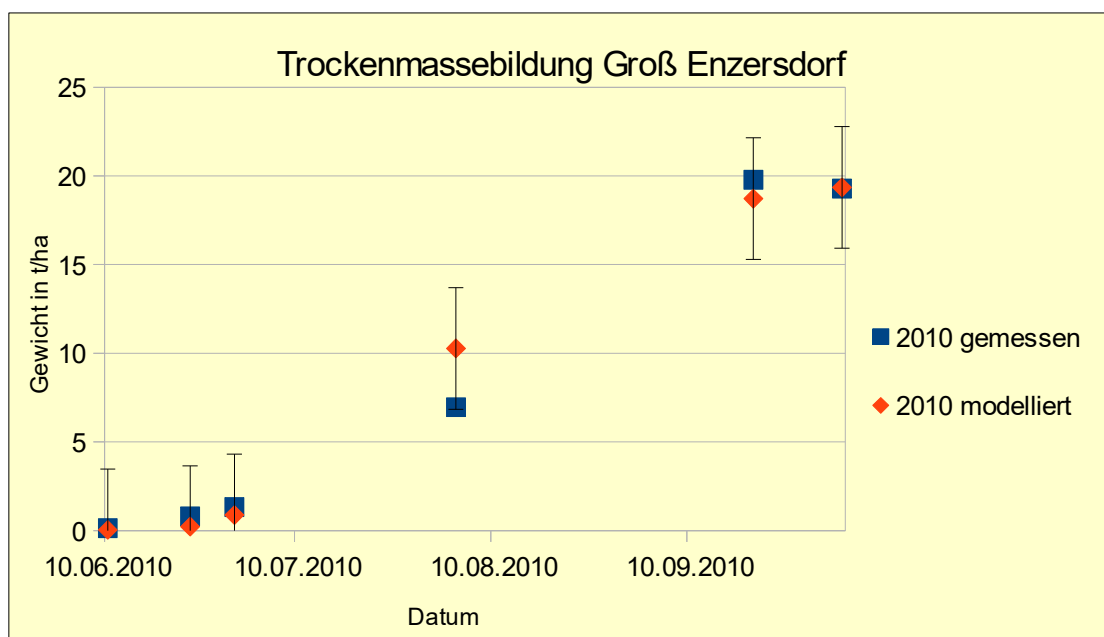


Abbildung 28: Trockenmassebildung gemessen und modelliert 2010 Groß Enzersdorf

Der Vergleich der Wassergehalte im Boden ist in Abbildung 29 dargestellt. Die Wassergehalte in der Modellierung liegen zu Beginn mit rund 7 Vol% deutlich über jenen der gemessenen Variante in Groß Enzersdorf. Ab Mitte der Vegetationszeit erfolgt eine

Annäherung an die gemessenen Werte auf ca. 4 Vol%. Eine mögliche Begründung kann in einer ungenauen Parametrisierung der Bodeneigenschaften liegen, die aus der Textur geschätzt und nicht anhand einer Retentionskurve gemessen waren (Tabelle 3). Der Standort Groß Enzersdorf weist sehr heterogene Bodenbedingungen auf wodurch ein genauer Einbau in das Modell schwierig ist. Dies ist bei den Ergebnissen der Modellierung zu berücksichtigen.

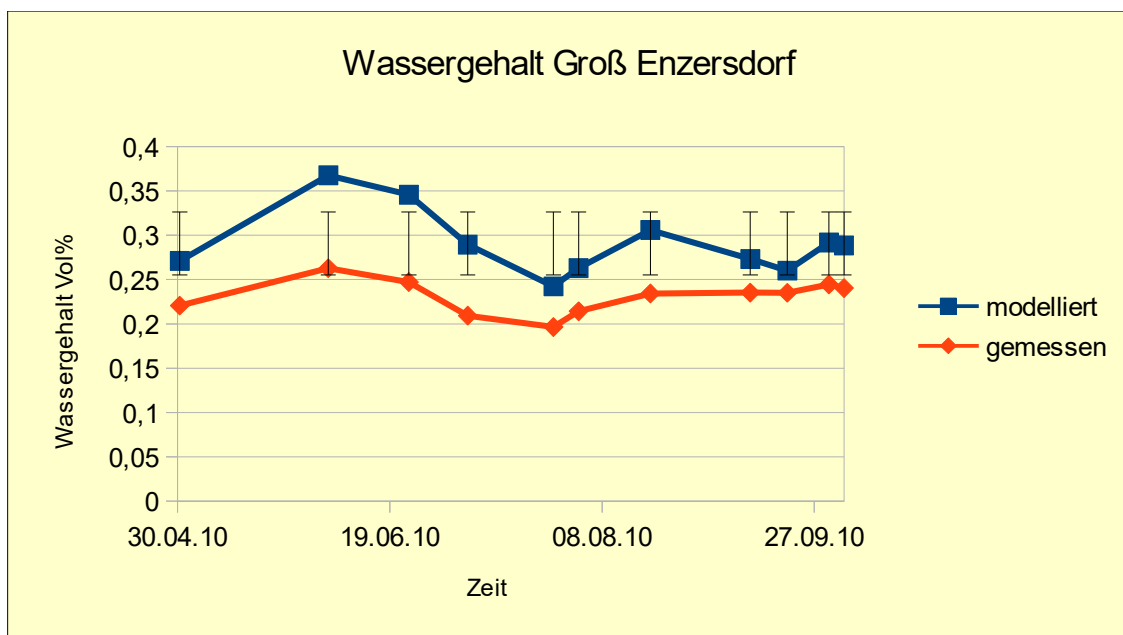


Abbildung 29: Wassergehalt Groß Enzersdorf 2010 modelliert und gemessen

Die Abbildung 30 zeigt den Anfangswassergehalt zum Saatzeitpunkt von Mais modelliert von 2000 bis 2010 für Senf und Schwarzbrache und den Wassergehalt zum Ende der Vegetationsperiode im Jahr davor am 15.12. Dabei zeigt sich, dass die Wassergehalte im Boden zu Saatbeginn von Mais in der Senfvariante stets unter den Gehalten von Schwarzbrache liegen. Zum 15.12 liegen die Unterschiede bei durchschnittlich 37 mm. Bis zur Saat von Mais am 21.4 verringern sich diese auf durchschnittlich 17 mm. Dies geschieht unter der Annahme, dass die Vegetation für die Senfbegrünungen am 15.12 durch Häckseln beendet ist und kein weiteres Wachstum mehr erfolgt.



Abbildung 30: Bodenwassergehalt in mm modelliert Groß Enzersdorf

Die Evaporation der Senfbegrünungen vom 25.8 (Anbau Senf) bis zum 21.4 (Anbau Körnermais) liegt jedes Jahr im Mittel bei rund 29 mm unter jener von Schwarzbrache. Dem gegenüber steht der erhöhte Wasserverbrauch der Senfbegrünung durch die Transpiration. In Mittel über die Jahre 2000 – 2010 liegt die Evapotranspiration der Senfvariante 73 mm über der Brachevariante (Abb. 31).

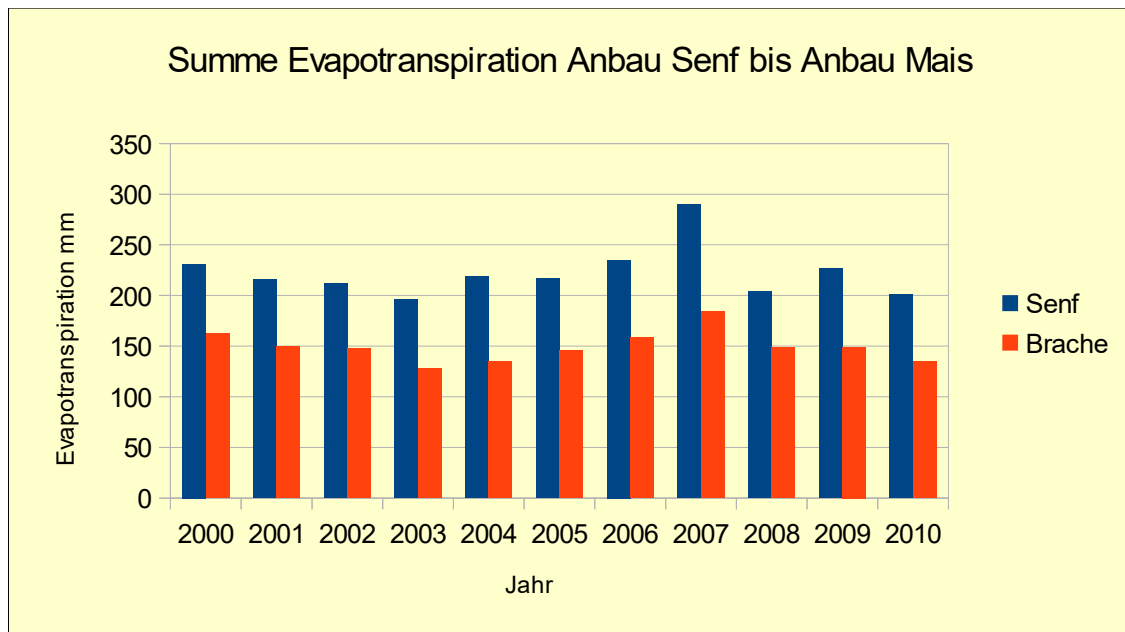


Abbildung 31: Evapotranspiration modelliert für die Jahre 2000 - 2010 am Standort Groß Enzersdorf für die Varianten Brache und Senf vom Anbau Senf (25. 8) bis Anbau Mais (21. 4)

Die Trockenmassebildung von Senf modelliert schwankt relativ gering über die Jahre 2000 - 2010.(Abb. 32) im Bereich von 2,52 t/ha 2008 bis 3,71 t/ha im Jahr 2000. Im Durchschnitt liegt er bei 3,3 t/ha.

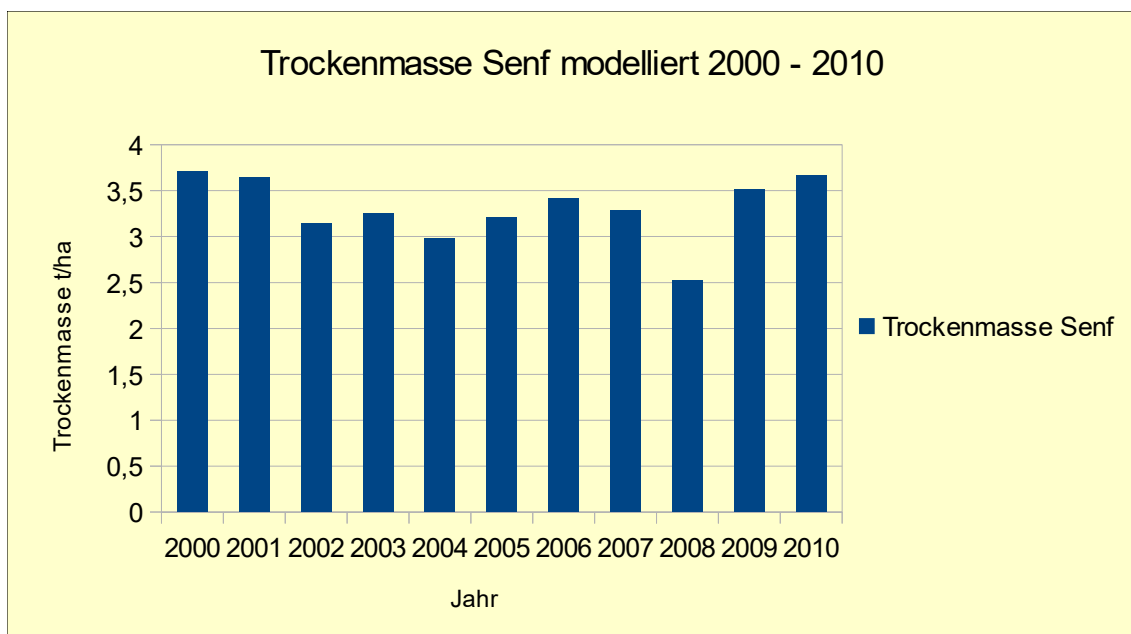


Abbildung 32: Trockensubstanz von Senf modelliert zu Jahresbeginn

Transpiration (mm)	
2000	62,2
2001	59,0
2002	51,5
2003	43,8
2004	65,1
2005	69,5
2006	76,7
2007	101,7
2008	62,2
2009	71,0
2010	52,2

Tabelle 10: Transpiration der Senfbegrünung vom Anbau (25.8) bis 15.12

Tabelle 10 zeigt die Transpiration der Senfbegrünungen modelliert für die Jahre 2000 – 2010. Ein direkter Zusammenhang der Höhe der Transpiration durch die Begrünung und der erzielten Trockenmassebildung ist nicht zu erkennen. So liefern etwa die Jahre 2005 und 2007 ähnlich hohe Trockensubstanz in der Begrünung, unterscheiden sich jedoch in der Transpiration mit 69,51 mm im Jahr 2005 und 101,69 mm im Jahr 2007 deutlich.

In Tabelle 11 und 12 ist die Transpiration und Evaporation vom Maisanbau (21.4) bis zur Maisernte (4.10) dargestellt. Die Transpiration liegt im Mittel über die Jahre bei Brache um 13 mm, die Evaporation um 4 mm höher als in der Senfvariante.

	Niederschlag (mm)	Transpiration (mm)	Evaporation (mm)
2000	285	287,5	120,0
2001	318	239,8	133,2
2002	398	290,0	156,1
2003	226	202,0	137,7
2004	253	194,7	170,3
2005	282	240,6	124,5
2006	316	238,0	151,4
2007	433	241,9	138,4
2008	516	279,1	134,8
2009	308	295,8	117,5
2010	476	195,8	136,9

Tabelle 11: Niederschlag, Transpiration und Evaporation vom Anbau Mais (21.4) bis zur Maisernte (4.10) in der Senfvariante

	Niederschlag (mm)	Transpiration (mm)	Evaporation (mm)
2000	285	300,8	125,3
2001	318	251,2	137,4
2002	398	288,8	158,8
2003	226	208,2	139,3
2004	253	217,9	171,8
2005	282	261,5	131,4
2006	316	261,8	159,1
2007	433	279,6	147,6
2008	516	278,8	136,1
2009	308	306,5	123,6
2010	476	195,4	138,1

Tabelle 12: Niederschlag, Transpiration und Evaporation vom Anbau Mais (21.4) bis zur Maisernte (4.10) in der Brachevariante

Der modellierte Kornertrag in Abbildung 33 zeigt den Ertragsunterschied über die Jahre 2000 bis 2010 in der Begrünungsvariante Senf im Vergleich zu Schwarzbrache. Es zeigt sich, dass über die Jahre deutliche Ertragsschwankungen von 16,85 bis 5,95 t/ha festzustellen sind. In einzelnen Jahren zeigen sich leichte Ertragsvorteile für die Brachevariante.

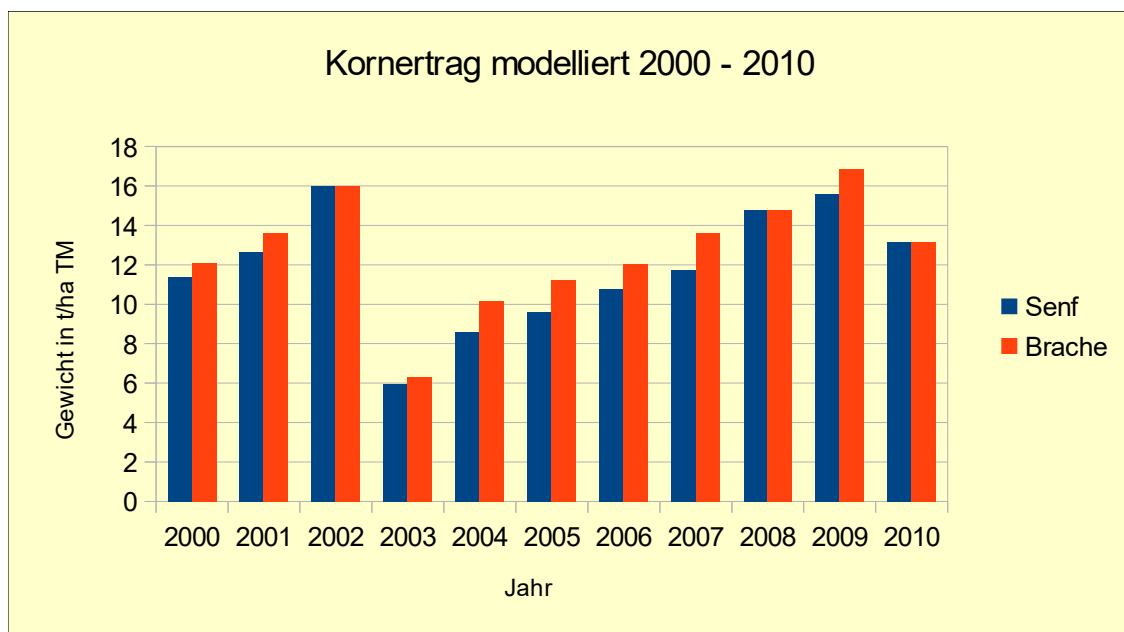


Abbildung 33: Modellierter Kornertrag Mais für Senf und Brache 2000 - 2010

In Abbildung 34 ist der Ertragsvorsprung der Brachevariante in Abhängigkeit der Vorjahresniederschläge von 25.8 bis 15.12 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Variabilität im Ertragsvorsprung der Brachevariante zu 48 % auf die Höhe der Niederschläge im Vorjahr zurückzuführen ist. Je mehr Regen zur Begrünung Senf fällt, desto geringer fallen die Ertragsunterschiede aus da nicht auf die Reserven im Boden zurückgegriffen werden muss.

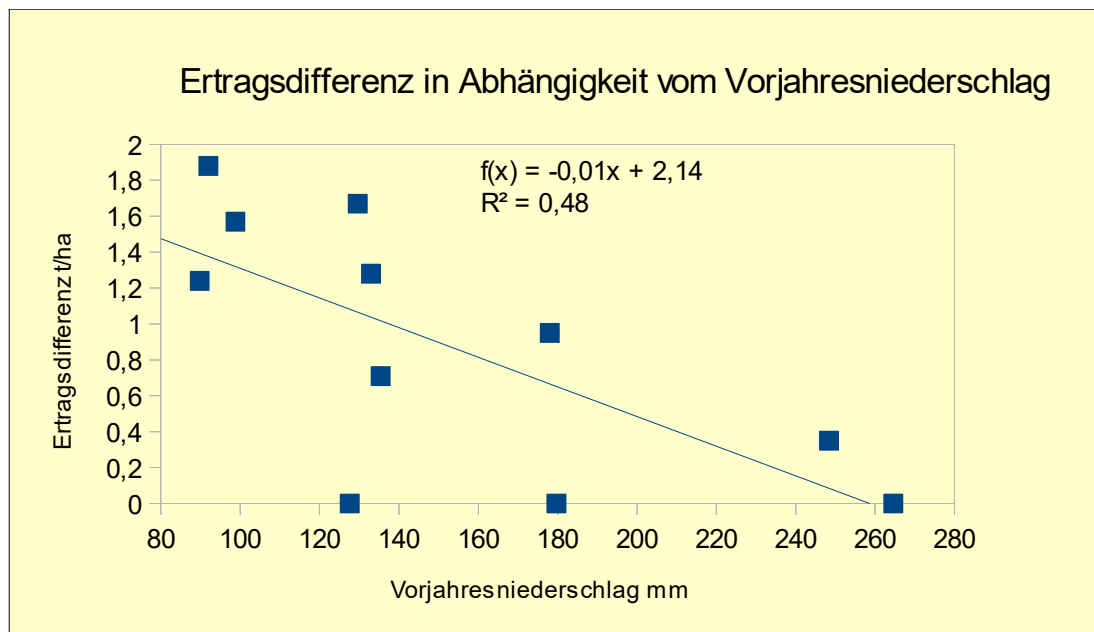


Abbildung 34: Ertragsdifferenz von Brache zu Senf in Abhängigkeit der Vorjahresniederschläge von 25.8 bis 15.12

Ebenso ist die Differenz im Bodenwassergehalt zum Anbauzeitpunkt von Mais (21.4) zu 64 % von den Vorjahresniederschlägen im Zeitraum 25.8 bis 15.12 abhängig (Abb. 35).

Fallen im Zeitraum von 1.5 – 31.7 ausreichend Niederschläge, so fällt auch der Ertragsvorsprung der Brachevariante geringer aus (Abb. 36). Außerdem tragen die Niederschläge im genannten Zeitraum wesentlich zur Ertragshöhe bei (Abb. 37), wodurch die Wichtigkeit von Niederschlägen zur Maisblüte im Frühsommer deutlich wird.

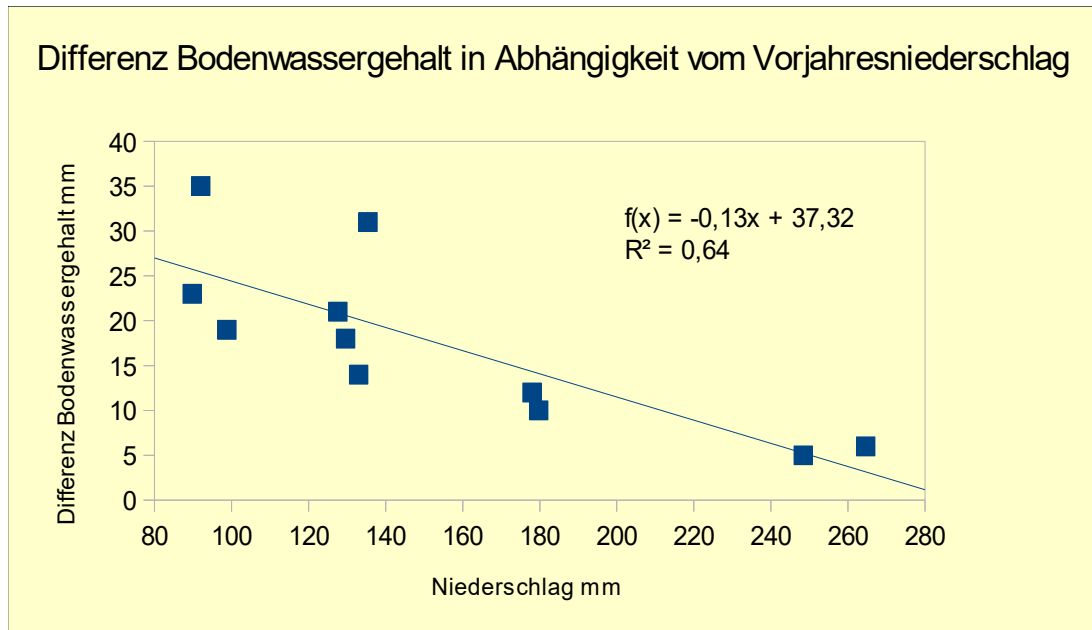


Abbildung 35: Differenz Bodenwassergehalt am 21.4 in Abhängigkeit der Vorjahresniederschlagsmenge (25.8 - 15.12)

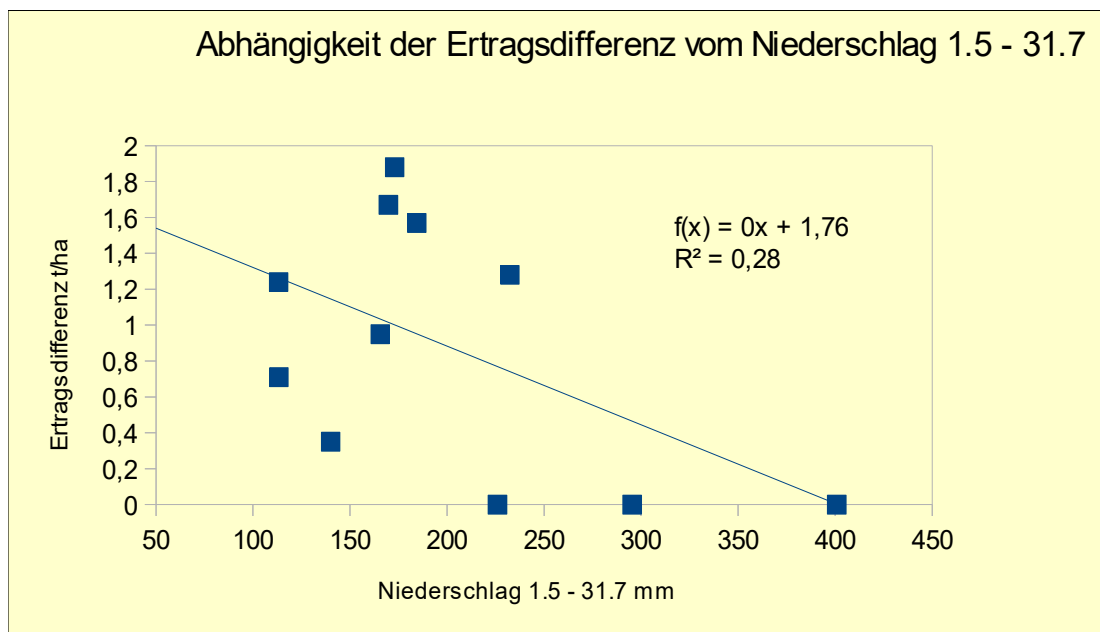


Abbildung 36: Ertragsdifferenz in Abhängigkeit der Niederschläge im Zeitraum 1.5 - 31.7

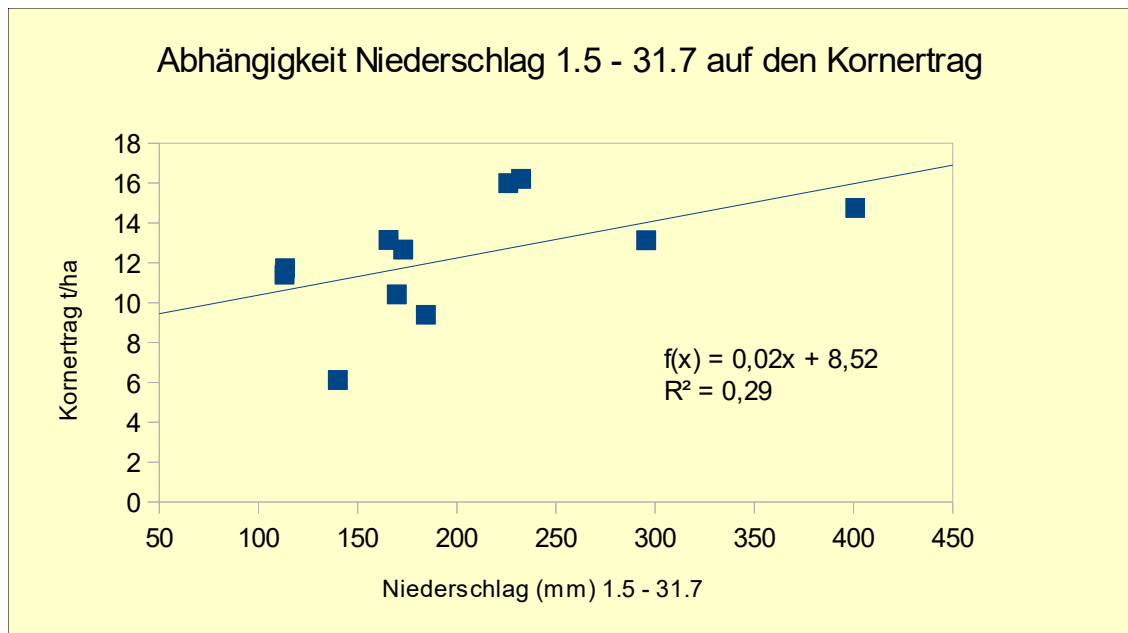


Abbildung 37: Ertrag in Abhängigkeit der Niederschläge 1.5 - 31.7

8 Diskussion

In dieser Arbeit wurde der Einfluss von Zwischenfruchtbegrünungen auf den Bodenwasserhaushalt und Ertrag bei Körnermais untersucht.

Unsere erste Hypothese war, dass der Wasserentzug durch die Zwischenfrüchte Senf und Phacelia keine Auswirkung auf den Ertrag der Folgekultur Körnermais hat, weil der Wasserverbrauch durch die Senfbegrünung in etwa dem Niveau der Brachevariante entspricht.

Die Messergebnisse zeigten im Jahr 2010 auf keinem der zwei Standorte einen signifikanten Ertragsunterschied durch den Anbau einer Zwischenfrucht. Ergebnisse von BODNER et al (2011) am Versuchsstandort Hollabrunn zeigen ebenfalls keine signifikanten Ertragsdifferenzen durch die Anlegung einer Begrünung für die Hauptfrucht Körnermais in den untersuchten Jahren 2006, 2007, 2009 und 2010.

Die genaue Analyse des Wasserhaushalts und des Trockenmasseertrags erfolgte ausschließlich für den Standort Groß Enzersdorf mit dem Simulationsprogramm Daisy. Im Jahr 2010 konnten hier wie auch bei der Handernte keine Unterschiede zwischen den Varianten Senf und Schwarzbrache erfasst werden. Allerdings konnte in vielen der modellierten Jahre 2000 – 2010 ein Ertragsunterschied festgestellt werden. Dabei liegt der simulierte Ertragsvorsprung durch die Brachevariante im Mittel bei 870 kg/ha. In den niederschlagsreichen Jahren 2002, 2008 und 2010 wurden in der Simulation der Senfvariante ähnlich hohe Erträge errechnet. In den Trockenjahren 2003, 2004 und 2005 liegt der simulierte Ertragsvorsprung in der Brachevariante bei durchschnittlich 1,2 t/ha.

Die modellierten Bodenwasserunterschiede zum Anbauzeitpunkt liegen im Mittel bei rund 17 mm zugunsten der Brachevariante. Es zeigt sich auch, dass Körnermais für die Ertragsbildung hauptsächlich auf Niederschläge in der Vegetationszeit zurückgreift. Hier sind vor allem die Sommermonate zur Zeit der Blüte für gute Kolbenanlagen und damit verbundene hohe Kornerträge von Bedeutung.

Trotzdem muss entsprechend der Simulation ein etwas höheres Risiko durch die Anlegung von Senfbegrünungen in Kauf genommen werden, da hier die Bodenwassermengen zum Saatzeitpunkt von Mais zumeist etwas unter jenen von Schwarzbrachen liegen. In der hier

erfolgten Simulation konnten jedoch einige positive Zusammenhänge durch den Begrünungsanbau in Bezug auf den Wasserhaushalt nicht berücksichtigt werden.

So bewirken Mulchdecken eine Verringerung der Evaporation und erhöhen die Infiltration von Wasser. Zusätzlich vermag Humus das 3– bis 5fache seines Eigengewichts an Wasser zu speichern. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2010)

Weiters kann durch die Anlegung einer Begrünung der Oberflächenabfluss in Hanglagen bei Starkregenereignissen gebremst und die Infiltrationsleistung in den Boden insgesamt erhöht werden. Außerdem besteht bei nicht bodennah (z.b. walzen, häckseln,...) gebrachten Zwischenfrüchten Potential, Schneeeverwehungen zu verringern und dadurch bei einsetzender Schneeschmelze mehr Wasser am Standort zur Versickerung zu bringen. Dies konnte in der vorliegenden Modellierung jedoch nicht berücksichtigt werden.

Die angeführten Punkte könnten in der Praxis durchaus dazu führen, dass die leichten Vorteile der Brachevarianten in der Modellierung in Feldversuchen nicht mehr erkennbar sind.

Bei der zweiten Hypothese wurde angenommen, dass sich keine Unterschiede zwischen den Begrünungen Phacelia, Senf und Schwarzbrache im Bodenwasserhaushalt der Folgekultur feststellen lassen.

Im Jahr 2010 traten keine signifikanten Unterschiede im Bodenwasserhaushalt der unterschiedlichen Varianten auf. Jedoch konnten Unterschiede unter den Standorten Hollabrunn und Groß Enzersdorf festgestellt werden. So waren die Bodenwassergehalte vor allem im Oberboden in Hollabrunn um 3 Prozent höher als in Groß Enzersdorf. Es zeigten sich vor allem die verschiedenen Boden- und Niederschlagsverhältnisse als relevant. Am Standort Hollabrunn zeigte sich auch die Exposition am Hang als ausschlaggebend. So konnten am Hangfuss mit deutlich mächtigerem A- Horizont im Boden auch die höchsten Wassergehalte im Boden festgestellt werden. Statistisch signifikante Unterschiede konnten am Standort Hollabrunn über die Tiefe festgestellt werden. Hier lag der Wassergehalt in der Phaceliavariante ab einer Tiefe von 40 cm über den Varianten Senf und Brache.

In den modellierten Varianten zeigen sich oft deutliche Wassergehaltsunterschiede in den einzelnen Jahren. Jedoch konnten wie bereits erwähnt in der Modellierung nicht alle Einflussfaktoren (wie z.B. erhöhte Infiltration, erhöhter Humusgehalt und Verringerung von

Schneeverwehungen in der Begrünungsvariante) berücksichtigt werden. Dies könnte in der Praxis dazu führen, dass die Wassergehaltsunterschiede deutlich geringer ausfallen.

Das Modell konnte die gemessenen Wassergehalte und die Biomasseentwicklung gut wiedergeben.

9 Zusammenfassung:

Im vorliegenden Versuch wurde der Bodenwassergehalt im Vegetationsverlauf auf den Standorten Hollabrunn und Groß Enzersdorf in den Varianten Brache, Phacelia und Senf während der Hauptfrucht Körnermais gemessen und die Trockenmassebildung erhoben. Aufgrund der niederschlagsreichen Situation im Versuchsjahr 2010 konnte kein Unterschied im Bodenwassergehalt oder der Trockenmassebildung festgestellt werden. Anschließend wurde anhand des Wachstumsverlaufs von Körnermais im Jahr 2010 eine Simulation für die Jahre 2000 – 2010 mit dem Simulationsprogramm Daisy erstellt. Dabei zeigt sich, dass in Trockenjahren Unterschiede im Wassergehalt des Boden auftreten können, diese allerdings nur geringe Auswirkungen auf den Trockenmasseertrag auf Mais aufweisen.

Die Modellierung mit dem Programm Daisy kann helfen, die Ergebnisse von Feldversuchen zu unterstützen und grobe Tendenzen zu zeigen. Dabei zeigt sich, dass auch langfristig nur in trockenen Jahren mit einer Ertragsreduktion zu rechnen ist, die zumeist unter 7 % liegt. Besonders bei der Hauptfrucht Körnermais hängt der Ertrag in erster Linie von den Niederschlägen zur Maisblüte im Juni – Juli ab.

Es bleibt festzuhalten das die Modellierung von Zwischenfrucht – Hauptfrucht – Folgen nicht gänzlich in der Lage ist das komplexe Zusammenspiel von Pflanze, Boden und Klima darzustellen. Viele Faktoren wie die Wirkung von Mulch oder Taubildung nehmen Einfluss auf den Wasserhaushalt und das Pflanzenwachstum. Daher ist die Weiterentwicklung der Modelle und ihre Validierung durch Feldversuche von großer Bedeutung.

Weiters ist es durch den Anbau von Zwischenfrüchten und darauffolgender Mulchsaat möglich, die Bodenerosion durch Wind und Wasser vor allem am Hang deutlich zu reduzieren und damit langfristig die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu steigern. Sollte es in Einzeljahren doch zu Ertragsreduktionen durch Begrünungen kommen, so wird dies durch den positiven Nutzen mehr als ausgeglichen. Trotzdem ist es notwendig um die breite

Akzeptanz für den Begrünungsanbau zu erhalten diesen auch monetär in diversen Umweltprogrammen wie ÖPUL 2015 zu unterstützen

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korngrößenverteilung am Versuchsstandort Hollabrunn, Bodner et al	21
Tabelle 2: Auszug aus dem Versuchsplan Groß Enzersdorf mit den betrachteten Doppelparzellen (blau markiert) und Standort der Beprobungsrohre für den Bodenwasserhaushalt (rote Zahlen).....	29
Tabelle 3: Korngrößenverhältnis, C/N - Verhältnis und Humusgehalt Groß Enzersdorf.....	33
Tabelle 4: Erklärung der veränderten Parameter in der Grunddatei Mais2010 mit dem dazugehörigen veränderten Endwert in der Modellierung nach Abrahamsen[2011].....	34
Tabelle 5: Statistische Auswertung Wassergehalt Hollabrunn.....	37
Tabelle 6: Durchschnittlicher Wassergehalt Hollabrunn in Vol %.....	37
Tabelle 7: Statistische Auswertung Wassergehalt Groß Enzersdorf.....	40
Tabelle 8: Durchschnittlicher Wassergehalt Groß Enzersdorf.....	41
Tabelle 9: Statistische Auswertung Trockenmasse Groß Enzersdorf.....	45
Tabelle 10: Transpiration der Senfbegrünung vom Anbau (25.8) bis 15.12.....	51
Tabelle 11: Niederschlag, Transpiration und Evaporation vom Anbau Mais (21.4) bis zur Maisernte (4.10) in der Senfvariante.....	51
Tabelle 12: Niederschlag, Transpiration und Evaporation vom Anbau Mais (21.4) bis zur Maisernte (4.10) in der Brachevariante.....	52

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Silomaisserträge nach Stoppelsaaten mit Einarbeitung im Herbst (Öko - Feld Roda, Mittelwerte der Jahre 1998-2001, Bodenart Lehm, AZ: 68, langjähriges Niederschlagsmittel 711 mm) (KOLBE 2004).....	12
Abbildung 2: Zwischenfruchteinflüsse auf die Komponenten der Wasserbilanz (BODNER et al 2011, Ländlicher Raum 9/2011).....	15
Abbildung 3: Mittlerer effektiver Wurzelraum (We) mitteleuropäischer Ackerböden, nutzbare Feldkapazität (nFK), nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) und Luftkapazität (LK) für häufig auftretende Bodenarten (mittlere Lagerungsdichte) und für Torfhorizonte/Moore (nach Bodenkundliche Kartieranleitung 2005; WESSOLEK et al. 2008)	16
Abbildung 4: Versuchsstandort Hollabrunn neben der landwirtschaftlichen Fachschule, aus der digitalen Bodenkarte (http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD).....	18
Abbildung 5: Foto vom Versuchsstandort Hollabrunn.....	19
Abbildung 6: Klimadiagramm Hollabrunn 2010 (http://www.abso.at/versuche/).....	20
Abbildung 7: Niederschlagsvergleich Hollabrunn vs langjähriges Mittel (1981-2010), Daten Fachschule Hollabrunn und ZAMG Wien.....	20
Abbildung 8: Profilzeichnung für den Standort Hollabrunn Oberhang, eBod http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD	22
Abbildung 9: Profilzeichnung für den Standort Hollabrunn Hangfuss, eBod http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD	23
Abbildung 10: Luftbild Versuchsstandort Raasdorf http://atlas.noe.gv.at/webgisatlas/%28S%28c5oplkdhf5ldffkftgui5pe5%29%29/init.aspx?karte=atlas_gst	24
Abbildung 11: Foto vom Versuchsstandort Groß Enzersdorf (KG Raasdorf).....	24
Abbildung 12: Wetterdiagramm 2010 Raasdorf.....	25
Abbildung 13: Bodenprofil aus der digitalen Bodenkarte für den Standort Raasdorf http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD	26
Abbildung 14: Versuchsplan Hollabrunn.....	28
Abbildung 15: Diviner Sentek zur Messung des Bodenwassergehalts.....	31
Abbildung 16: Beprobungsrohr für die Bodenwassermessungen.....	31
Abbildung 17: Das Simulationsmodell DAISY und seine Teilkomponenten, Abrahamsen.....	32

Abbildung 18: Wassergehaltsmittelwerte Hollabrunn 0-100cm in Abhängigkeit der Begrünungsvarianten Brache, Phacelia, Senf.....	36
Abbildung 19: Wassergehalt Hollabrunn 10 - 40 cm.....	38
Abbildung 20: Wassergehalt Hollabrunn 50 - 80 cm.....	39
Abbildung 21: Mittelwerte der Wassergehalte in Abhängigkeit der Begrünungsvariante am Standort Groß Enzersdorf.....	40
Abbildung 22: Wassergehalt Groß Enzersdorf 10 - 40 cm.....	42
Abbildung 23: Wassergehalt Groß Enzersdorf 50 - 80 cm.....	43
Abbildung 24: Wassergehalt Groß Enzersdorf 90 cm.....	44
Abbildung 25: Trockenmasseertrag am Standort Groß Enzersdorf.....	44
Abbildung 26: Kornertrag Handernte Hollabrunn in kg/ha.....	46
Abbildung 27: Kornertrag Hollabrunn mit maschineller Ernte der ganzen Parzellen (Quelle: Fachschule Hollabrunn).....	46
Abbildung 28: Trockenmassebildung gemessen und modelliert 2010 Groß Enzersdorf.....	47
Abbildung 29: Wassergehalt Groß Enzersdorf 2010 modelliert und gemessen.....	48
Abbildung 30: Bodenwassergehalt in mm modelliert Groß Enzersdorf.....	49
Abbildung 31: Evapotranspiration modelliert für die Jahre 2000 - 2010 am Standort Groß Enzersdorf für die Varianten Brache und Senf vom Anbau Senf (25. 8) bis Anbau Mais (21. 4).....	50
Abbildung 32: Trockensubstanz von Senf modelliert zu Jahresbeginn.....	50
Abbildung 33: Modellierter Kornertrag Mais für Senf und Brache 2000 - 2010.....	52
Abbildung 34: Ertragsdifferenz von Brache zu Senf in Abhängigkeit der Vorjahresniederschläge von 25.8 bis 15.12.....	53
Abbildung 35: Differenz Bodenwassergehalt am 21.4 in Abhängigkeit der Vorjahresniederschlagsmenge (25.8 - 15.12).....	54
Abbildung 36: Ertragsdifferenz in Abhängigkeit der Niederschläge im Zeitraum 1.5 - 31.7... ..	54
Abbildung 37: Ertrag in Abhängigkeit der Niederschläge 1.5 - 31.7.....	55

12 Literatur:

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

Abrahamsen, P. (2011): Daisy Program Reference manual; University of Copenhagen.

Bodner et al (2002) Auswirkungen von Zwischenfrucht-Begrünungen auf den Ertrag der Folgefrucht und vorläufige Ergebnisse auf die Beeinflussung des Humushaushaltes, Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten, Jahrestagung in Klosterneuburg 2002

Bodner, G. (2011) Workshop Daisy Handout

Bodner, G.(2011) Bodenschutz auf Kosten der Wasserversorgung. Berlin Landwirtschaft ohne Pflug

Bodner, G.(2013) Witterungsextreme und Ertragssicherheit, Wintertagung 2013 des Ökosozialen Forums in Hollabrunn
(http://www.oekosozial.at/uploads/tx_osfopage/Praesentation_Bodner.pdf)

Bodner, G. Ländlicher Raum 9/2011

Buhre C. (2008) Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl und Zwischenfruchtanbau auf den Befall von Zuckerrüben mit *Rhizoctonia solani*, Cuvillier Verlag, Göttingen

Brust et al (2011) Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen, Gesunde Pflanzen (2011) 63:191–198

Daisy (Hansen et al)

Digitale Bodenkarte [http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?
&146=true&gui_id=eBOD](http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD)

Diviner Sentek <http://www.sentek.com.au/products/portable.asp>

Grüner Bericht 2012, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5, <http://www.gruenerbericht.at/cm3/download.html>

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

Ehlers, W (1996) Wasser in Boden und Pflanze, Stuttgart Hohenheim, Ulmer Verlag

Kolbe et al (2004) Zwischenfrüchte im ökologischen Landbau, Dresden, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Matuschek, D. 2009 Perspektiven des Pflanzenbaus bei Wasserknappheit, Landwirtschaft im Umbruch KTBL – Tagung vom 18-19 März 2009 in Glosar, Herausgeber KTBL Darmstadt

Scheffer und Schachtschabel, (2010) Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage Springer Verlag Heidelberg

Renius et al (1992) Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung: ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz, DLG Verlag Frankfurt am Main

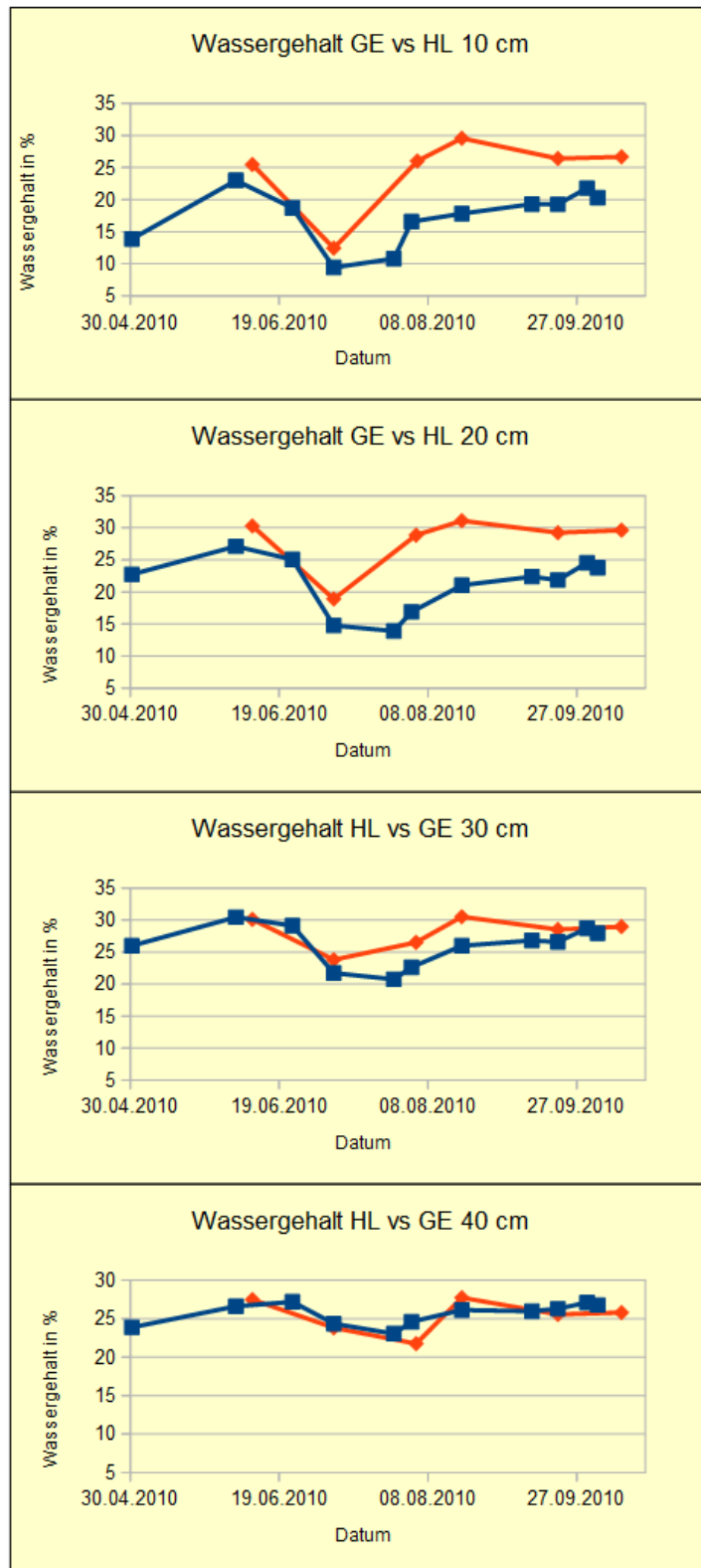
ÖPUL 2007: SRL: http://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl_entwicklung/le-07-13/rechtsinfo/OEPUL.html

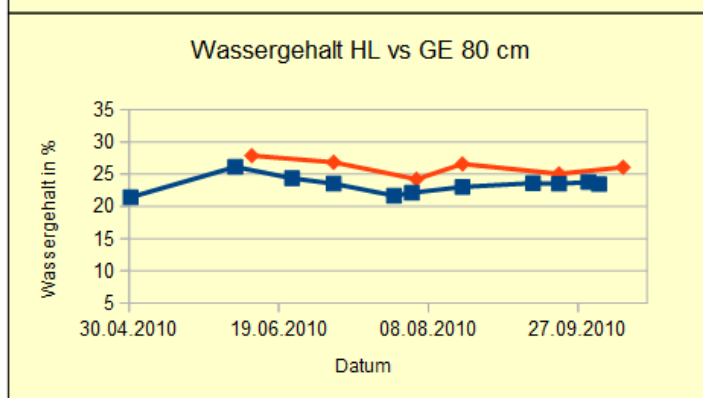
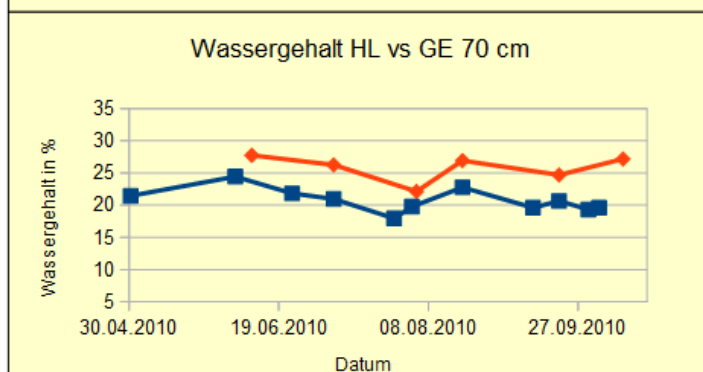
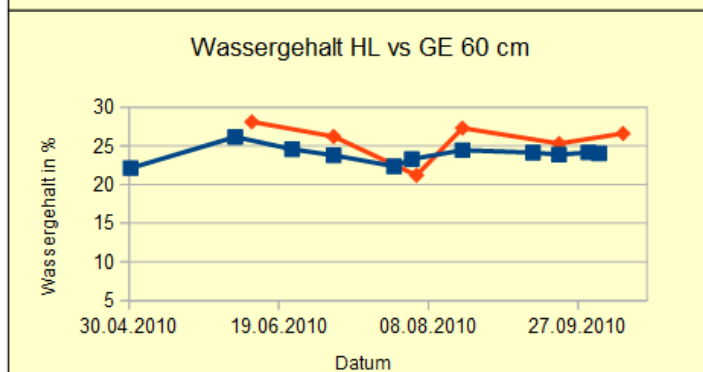
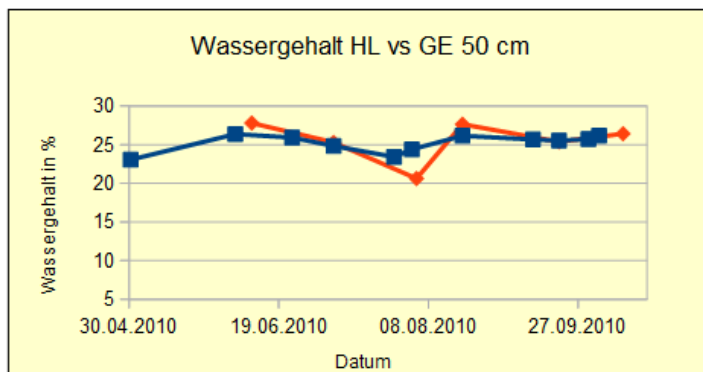
Standortbeschreibung Raasdorf:

<http://www.dnw.boku.ac.at/pb/dienstleistungen/wetterdaten/standort-raasdorf/>

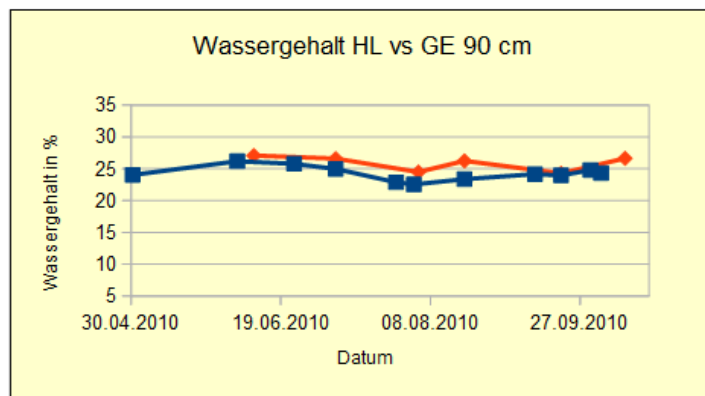
Wohlmuth 2009, Untersuchung des Zwischenfruchteinflusses auf Wasserhaushalt und Nachfruchtertrag, Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien

13 Anhang





—■— GE
—◆— HL



—■— GE

—◆— HL