

# Universität Kassel

## Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

### Diplomarbeit

Wirkungen eines Präparates aus den Blüten des Baldrian (*Valeriana officinalis*) auf die Phosphoreffizienz von Hafer (*Avena sativa*) und weißer Lupine (*Lupinus albus*)

Im Fachgebiet biologisch-dynamische Landwirtschaft



vorgelegt von: Udo Hennenkämper,  
im Sommersemester 2008,  
in Witzenhausen, den 30.8. 2008

1. Betreuer: Prof. Dr. Ton Baars (FG biologisch-dynamische Landwirtschaft), Beisitzer  
Dr. Jürgen Fritz (Universität Bonn, IOL)
2. Prüfer: Dr. Christine Wachendorf (FG Bodenbiologie und Pflanzenernährung)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Literaturüberblick</b> .....	<b>1</b>
1.1. Das Baldrianpräparat.....	2
1.1.1. Exkurs: <i>Valeriana officinalis</i> .....	5
1.2. Die Bedeutung des Phosphors für unsere Kulturpflanzen .....	6
1.3. P in Pflanzen.....	7
1.4. P-Aufnahme.....	9
1.5. P-Verfügbarkeit .....	9
1.6. Phosphoreffizienz .....	11
1.6.1. Phosphor-Aufnahme-Effizienz .....	11
1.6.2. Phosphor-Verwertungs-Effizienz.....	12
1.7. Phosphor im ökologischen Pflanzenbau .....	13
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>16</b>
2.1. Standort und Material .....	16
2.1.2. Klima.....	17
2.1.3. Boden, Nährstoffversorgung .....	18
2.1.4. Saatgut, Präparate.....	19
2.2. Allgemeine Methoden.....	20
2.2.1. Versuchsaufbau .....	20
2.2.2. Vorgehensweise bei der Harnstoffdüngung.....	20
2.2.3. Anwendung des Baldrianpräparates .....	20
2.2.4. Anthraknoseschutz .....	20
2.2.5. Bewässerung .....	20
2.2.6. Vorgehensweise bei der Aussaat .....	21
2.2.7. Hafersamen Ernte.....	21
2.2.8. Versuchsablauf.....	21
2.3. Methodik zu den Prüfmerkmalen .....	22
2.3.1. Welkegrad .....	22
2.3.2. Längenbestimmung .....	22
2.3.3. Chlorophyllgehalt.....	22
2.3.4. Bestockungsgrad .....	22
2.3.5. Mehлтаubefall .....	22
2.3.6. Trockenmassebestimmung.....	23
2.3.7. Bestimmung des Restaschegewichtes der Wurzelmasse.....	23
2.3.8. Bestimmung des Phosphorgehaltes der Wurzeln.....	23
2.3.9. Verwendete Statistik .....	23

<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Ergebnisse der Merkmalsprüfungen .....</b>	<b>24</b>
3.1.1. Hafer .....	24
3.1.2. Weiße Lupine .....	29
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>35</b>
4.1. Versuchsfrage .....	35
4.2. Literaturstudie .....	37
4.3. Schlußfolgerungen und Ausblick .....	40
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>41</b>
<b>6. Literatur .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>50</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blattmetamorphose des Baldrian (aus: BOCKEMÜHL 2006).....	5
Abbildung 2: P-Aufnahme und TS-Bildung im Verlauf der Vegetation (nach: LÜTKE- ENTRUP und OEMICHEN; 2000).....	8
Abbildung 3: Die drei Haupt-P-Fraktionen (aus: MENGEL und KIRKBY, 2001).....	10
Abbildung 4: Standort „Drahtkäfig“.....	16
Abbildung 5: Temperaturen und Luftfeuchte in Werten des Tagesdurchschnitts .....	17
Abbildung 6: Temperatur-, und Niederschlagsaufzeichnungen der Messstelle in Hebenshausen.....	18
Abbildung 7: Diagramm Hafer Länge im Stadium EC 39.....	25
Abbildung 8: Diagramm Chlorophyllgehalt in SPAD-Units.....	25
Abbildung 9: Diagramm Befallsgrad Mehltaubefall F-2.....	26
Abbildung 10: Prozentualer P-Gehalt der Haferwurzeln .....	27
Abbildung 11: Haferbilder der Versuchsvarianten .....	28
Abbildung 18: P-Toxizität in der P2-Stufe .....	30
Abbildung 19: Wurzeln der Lupinen (B1, P2).....	29
Abbildung 12: Lupine zur Blüte .....	29
Abbildung 13: Diagramm Gewicht der Lupinenwurzeln der 1. Zwischenernte .....	30
Abbildung 14: Diagramm Lupine Wurzel/Spross Ratio der Trockenmasse .....	31
Abbildung 15: Prozentualer P-Gehalt der Lupinenwurzeln .....	32
Abbildung 16: Diagramm Lupinenwurzel-P in mg/Topf, 1.Zwischenernte .....	32
Abbildung 17: Diagramm Prozentualer P-Gehalt der Sprosse .....	33
Abbildung 20: Diagramm Hafer Keimrate .....	50
Abbildung 21: Diagramm Hafer Bestockungsgrad.....	50
Abbildung 22: Diagramm Hafer Welkegrad .....	50
Abbildung 23: Diagramm Hafer Mehltaubefall Fahnenblatt .....	51
Abbildung 24: Diagramm Hafer Mehltaubefall F-1 .....	51
Abbildung 25: Diagramm Hafer Kornertrag.....	51
Abbildung 26: Diagramm Lupine Keimlinge/Topf.....	52
Abbildung 27: Diagramm Lupine Spross TM Z1 .....	52
Abbildung 28: Diagramm Lupine Spross TM Z2 .....	52
Abbildung 29: Diagramm Lupine Wurzel TM Z2 .....	53
Abbildung 30: Diagramm Lupine Wurzel/Spross TM Ratio Z2 .....	53
Abbildung 31: Diagramm Lupine Samenertrag.....	53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der 1. LHL Untersuchung .....	18
Tabelle 2: Ergebnisse der 2. LHL Untersuchung .....	19
Tabelle 3: Versuchsablauf .....	22
Tabelle 4: optimiertes Mikrowellenprogramm .....	23
Tabelle 5: Ergebnisse LIEBOLDS, die auf eine erhöhte P-Effizienz durch Baldrianpräparatanwendung 1:1000 hinweisen .....	38
Tabelle 6: Diplomarbeit GERBER .....	39

## Abkürzungsverzeichnis

CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
DL	Doppellactatauszug
EC	Entwicklungsstadium Pflanze
EU-VO 2092/91	Verordnung der europäischen Union zur ökologischen Landwirtschaft
LHL	Landesbetrieb hessisches Landeslabor
n.s.	Nicht signifikant
P <sub>i</sub>	Anorganisch gebundener Phosphor
P <sub>org</sub>	Organisch gebundener Phosphor
P <sub>t</sub>	Gesamt Phosphor
TM	Trockenmasse

## 1. Einleitung und Literaturüberblick

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Auswertung von Gefäßversuchen mit Hafer (*Avena sativa*) und mit weißer Lupine (*Lupinus albus*), die im Frühjahr/Sommer 2007 in Witzenhausen durchgeführt wurden. Hierbei wurden die Reaktionen der Pflanzen auf verdünnte Sprühungen mit dem milchsauer vergorenen Presssaft aus den Blüten des Baldrian (*Valeriana officinalis*) getestet. In den Jahren 1999 und 2000 wurden von LIEBOLD ähnliche Versuche an einem Hafer-Erbse Gemenge durchgeführt. Die Reaktionen der Versuchspflanzen auf das Präparat zeigten sich hierbei deutlich. Unter anderem wurde eine erhöhte Nährstoffeffizienz, eine bessere Nährstoffumlagerung, eine erhöhte Blattlausresistenz sowie ein frühzeitigeres und intensiveres Blühen festgestellt. Aus der Praxis biologisch-dynamisch wirtschaftender Betriebe in Skandinavien sind ähnliche Reaktionen von Kulturpflanzen auf das Baldrianpräparat als Feldspritzpräparat bekannt, doch waren diese unter veränderten Bedingungen nicht immer reproduzierbar (LINDROTH 2007). In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass Böden der nördlichen Breiten gewöhnlich relativ sauer und phosphorarm sind. Die Ergebnisse von LIEBOLD (2003) deuten bei seinen Baldrianpräparatsprühungen auf eine Steigerung der Phosphoreffizienz hin, zumal er in seinen Versuchen Erde verwendete, die eine relative Armut an pflanzenverfügbaren Phosphor besaß (P-CAL: 2,4 und 3,0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 100 g TM Erde). Da ein Zusammenhang mit der Wirkung des Präparates mit dem Phosphorgehalt der Erde vermutet wurde, war in den Versuchen 2007 zur vorliegenden Arbeit, die Erde in den verschiedenen Töpfen mit mittleren bis hohen Gehalt an pflanzenverfügbaren Phosphor versehen. Die Versuchspflanzen wurden diesmal auch nicht im Gemenge angebaut, sondern getrennt, um Wechselwirkungen im Wurzelraum zwischen den Kulturen auszuschließen. Neben dem wenig phosphoreffizienten Hafer (Qualifizierung nach: RÜBENSAM und RAUHE, 1969) wurde statt der Erbse eine höchst phosphoreffiziente Pflanze, die weiße Lupine, gewählt. Die Versuche wurden also darauf ausgerichtet den Zusammenhang zwischen Baldrianpräparatanwendung und Wirkungen auf die Phosphoreffizienz ausgewählter Kulturpflanzen zu klären. Von Interesse war u.a., ob Wirkungen des Präparates festgestellt werden können bei guter Phosphorversorgung und phosphoreffizienter Kulturpflanze, im Gegensatz zu weniger guten Phosphorversorgungsverhältnissen.

Folgende Versuchsfragen werden zur Klärung bearbeitet:

**Versuchsfrage: Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Wirkungen des Baldrianpräparates auf die Versuchspflanzen und der Phosphorversorgung bzw. der Phosphoreffizienz der Versuchspflanzen ?**

Von besonderem Interesse ist hierbei die Gegenüberstellung der Ergebnisse von relativ geringerer und höherer Phosphorgehalte der Versuchsgefäße einerseits sowie die Ergebnisse des Hafers (weniger P-effizient) im Vergleich zur weißen Lupine (höchst P-effizient) andererseits.

**Literaturstudie: Wie sind die Ergebnisse des Versuches im Vergleich zu bisherigen Forschungsergebnissen über das Baldrianpräparat zu bewerten ?**

Die Ergebnisse werden hier im Hinblick auf phosphorversorgungsbedingte Merkmalsausprägungen ausgewertet. Insbesondere die Ergebnisse von LIEBOLD (2003) sollen hier zum Vergleich herangezogen werden, da bei seinen Versuchen ähnliche Bedingungen, wie zu den Versuchen zu dieser Arbeit herrschten.

### **1.1. Das Baldrianpräparat**

Auf seinem landwirtschaftlichen Kurs 1924 in Koberwitz sprach Rudolf STEINER auch über die Zubereitung des Düngers mit von ihm für diesen Zweck entwickelten Präparaten. Am Ende seines Vortrages über *'die richtige Substanzialisierung des Düngers'* kam er nach der Besprechung von fünf Präparaten, die in den Dung hineingegeben werden, zu dem Präparat, das den geringsten Aufwand in seiner Herstellung benötigt: „(..) Überwindet man sich dann noch und presst, bevor man den zubereiteten Dünger verwendet, die Blüten von *Valeriana officinalis*, von Baldrian, aus und verdünnt dasjenige, was man da herauspresst, sehr stark – man kann das ja jederzeit machen und dann die Sache aufheben, namentlich, wenn man zum Verdünnen warmes Wasser verwendet -, so kann man, wenn man den Dung in einer ganz feinen Weise beibringt diesen verdünnten Saft der Baldrianblüte, insbesondere in ihm dasjenige hervorrufen, was ihn anregt dazu, sich gegenüber demjenigen, was man Phosphorsubstanz nennt, in der richtigen Weise zu verhalten. Dann wird man durch diese sechs Ingredienzien einen ganz vorzüglichen Dünger, sowohl aus Jauche wie aus Stallmist wie aus Kompost herstellen können.“ STEINER, (1924). Nun erscheint es aus gewöhnlicher wissenschaftlicher Anschauung doch recht absurd, dass ein Dünger durch den Presssaft von Baldrianblüten 'angeregt werde', sich in 'richtiger Weise' gegenüber der Phosphorsubstanz 'zu verhalten'. In der Praxis der biologisch-dynamischen Landwirtschaft hingegen, wird der Baldrianblütenpresssaft und die anderen Präparate mit großem Vertrauen in ihre Wirksamkeit verwendet. Aber trotz umfangreicher Präparateforschung u.a.

mit Langzeitstudien (zusammenfassend u.a. KOEPF 1996; KÖENIG 1999), die die Wirksamkeit der Präparate belegen, gibt es dennoch Forscher die eine Präparatewirkung bezweifeln (PENNER 2003). Über die spezifische Wirkung einzelner Präparate gibt es allerdings noch großen Forschungsbedarf.

Was das **Baldrianpräparat** betrifft, wird im biologisch-dynamischen Landbau der Presssaft der Blüten in einer 0,01-0,03%igen Verdünnung über den zuvor **präparierten Komposthaufen** ausgebracht. Darüber hinaus wird das Baldrianpräparat auf einigen Betrieben auch als **Wurzeltunke** für Jungpflanzen nach dem Pikieren verwendet, um ein besseres Anwachsen der kupierten Wurzeln zu fördern. Zum **Frostschutz** findet es Verwendung in Form von Sprühungen auf die ganze Pflanze (SATTLER und WISTINGHAUSEN, 1989).

KABISCH (1930) zeigte in Gefäßversuchen eine durch Baldrian angeregte Rotte von Kuhmist. Versuchsergebnisse von PFEIFFER (1935) weisen auf eine durch Baldrian angeregte Bodenbelebung hin, die sich durch einen erhöhten Bestand an Regenwürmern äußerte.

**Die Anwendung des Baldrianpräparates in Saatgutbädern und Keimlingsbehandlungen** wurde häufiger untersucht: LIPPERT (1944) berichtet von einem höheren Knöllchenbesatz von Leguminosen nach vorhergegangenem Saatgutbad mit Baldrian. KÜENZEL (1953) konnte nach vergleichbarer Baldriananwendung deutliche Ertragssteigerungen von Bohnen sowie stimulierte Ähren- und Kornausbildung bei Weizen nachweisen. Versuche von KOLISKO (1953) mit potenziertem Baldrian führten zu Ertragssteigerungen bei Weizenkeimlingen in verschiedenen, spezifischen Potenzstufen. GOLDSTEIN und KOEPF (1982) zeigten nach Anwendung von Baldrian ein verändertes Wurzelwachstum von Weizenkeimlingen in Richtung einer verstärkten vertikalen Ausbildung. In Untersuchungen von DE OLIVIERA (1990) wurde durch die Zugabe von Baldrianpräparat in Nährlösung der Trockenmasseertrag und die Sprosslänge von gezogenen Weizenkeimlingen signifikant erhöht.

**In der Anwendung des Baldrianpräparates direkt auf den Boden und die Pflanze** liegen folgende Ergebnisse vor: LIPPERT (1944, 1946) berichtet von der kombinierten Anwendung des Baldrians mit den Spritzungen des Hornkieselpräparates zur Steigerung der Anzahl der Blüten und Intensivierung der Fruchtbildung. Nach einer Bodenspritzung mit Baldrian fand SCHWARZ (1949) eine gesteigerte Blühwilligkeit bei Stangenbohnen und Hortensien. THIESS (1949) bestätigte die blütenintensivierende Wirkung des Baldrians in Versuchen mit Obconica-Primeln. GEIER (1992) stellte in Versuchen mit dem Baldrianpräparat in Feldspritzversuchen an Rotklee tendenziell eine höhere Anzahl an Blüten fest (n. s.), wenn das Baldrianpräparat nachmittags verwendet wurde. Die entgegengesetzte Wirkung trat bei Spritzungen vormittags auf. In Gefäßversuchen an Oelrettich kurz vor dem Blühen stellte er eine tendenziell höhere Umlagerung an Phosphor von der Wurzel in den Spross fest (n. s.). Und in Hydrokultur an Weizenkeimlingen konnte er feststellen, dass das Präparat auch in

abgeschlossenen Glasröhrchen die Wurzellänge und die Wurzelmasse absolut und im Verhältnis zur Gesamtpflanze positiv beeinflusste ( in P-Mangellösung signifikant).

LINDROTH und BÖMER-SCHULTE führten umfangreiche, systematische Untersuchungen mit dem Baldrianpräparat in seiner Verwendung als Feldspritzpräparat durch. Dazu wird der wässrige Auszug von Baldrianblüten die letzte Viertelstunde beim Rühren des Hornmist- und Hornkieselpräparates hinzugegeben. In 0,1 bis 0,01%iger Verdünnung wird Baldrian zur Saat, zur Keimung, im Dreiblattstadium, zur Bestockung, zum Ährenschieben und zur Abreife in feiner Verteilung auf Pflanze und Boden gespritzt. Die Autoren fanden bei verschiedenen Kulturpflanzen (u.a. Weizen, Roggen, Möhren, Koriander, Kornblume) eine starke Einflussnahme des Baldrianpräparates auf die Pflanzenentwicklung, die Ertragsbildung, die Blütenbildung, auf die Morphologie, auf die Verteilung von Pflanzeninhaltsstoffen sowie die Phosphorgehalte unterschiedlich versorgter Böden. Wissenschaftliche Standards wurden von den Autoren in ihren Veröffentlichungen jedoch vernachlässigt (LINDROTH und BÖMER-SCHULTE 1993, 1994, 1998, 1999 und mündliche Mitteilungen 2007). Nach ähnlicher Methode, und unter Mitwirkung dieser Autoren stellte GERBER (1994) für seine Diplomarbeit systematische Feldspritzversuche an Sommerweizen und Winterroggen an. Hierbei zeigte sich, bei P-CAL armer Erde, ein deutlicher Mehrertrag. Da die Roggenfeldspritzversuche auf Böden unterschiedlicher P-CAL Gehalte angelegt wurden, konnte hier belegt werden, dass der Kornertrag der Baldrianvariante in einer hohen negativen Korrelation zu steigenden P-CAL Werten stand. Pflanzeninhaltsstoffanalysen ergaben hierbei zur Ernte stets einheitlich gut mit Phosphor versorgte Pflanzen. Im Stadium EC 27-29 (Ende der Bestockung) allerdings, zeigten sich bei Sommerweizen erhöhte P-CAL Gehalte des Sprosses unter Baldrianpräparatanwendung.

LIEBOLD (2003) dokumentierte in seiner Diplomarbeit Ergebnisse seiner über 2 Jahre durchgeführten Gefäßversuche an einem Hafer-Erbsegemenge in P-armer Erde. Das Baldrianpräparat wurde hierzu in verschiedenen Verdünnungs-, und homöopathischen Potenzierungsstufen angewendet, und auf Wechselwirkungen mit dem Hornkieselpräparat geprüft. Die Erbsen zeigten hierbei u.a. eine frühere und intensivere Blüte, längere Stängel mit erhöhtem Sprossertrag sowie eine bessere Kaliumumlagerung. Der Hafer zeigte u.a. im Jugendstadium eine geringere Anthozyanverfärbung, hohe Resistenz gegen Blattläuse bei hohem Befallsdruck, erhöhte Chlorophyllgehalte des Fahnenblattes, einen geringeren Nitratgehalt des Strohes sowie einen erhöhten Stroh-, und Wurzelsertrag. Mit einer praxisüblichen Verdünnung des Präparates von 1:1000 erzielte LIEBOLD überwiegend die größten Wirkungen.

ELSÄSSER, 2003 untersuchte über mehrere Jahre verschiedene übliche P-Düngemittel im Grünland und verglich sie mit Baldrianspritzungen unter keiner P-Düngung. Hierbei zeigte sich, dass die Parzellen, die mit Baldrian behandelt wurden im Mittel, bei erhöhtem Kräuteranteil, die höchsten TM-Erträge erbrachten (in den ersten drei Versuchsjahren nicht signifikant).

Im Handel kann man Baldrianblütenextrakt als sog. Pflanzenhilfsmittel und Bodenhilfsstoff erwerben. Es unterliegt somit dem Düngemittelgesetz, nach dem es keinen wesentlichen Gehalt an Nährstoffen besitzen darf. Tatsächlich enthält der Baldrian, im Vergleich zu anderen Kräutern relativ wenig Phosphor (DUKE 1992). Als Pflanzenstärkungsmittel wurde das Baldrianblütenextrakt bisher nicht der biologischen Bundesanstalt für Land-, und Forstwirtschaft (bBa) gemeldet, obwohl es nach LIEBHOLD (2003) Hinweise auf eine Blattlausresistenz induzierende Wirkung gibt.

### 1.1.1. Exkurs: *Valeriana officinalis*

Der Baldrian gehört zu den Doldengewächsen, aber wegen seiner 350 bekannten Arten bildet er eine eigene Pflanzenfamilie, die der Baldriangewächse (Darunter der Feldsalat, *Valerianella spp.*). Heilbaldrian ist eine mehrjährige krautige Pflanze von 1 bis 2 m Höhe, die schlauchartige mit Aerenchymen versehene Rhizome als Überdauerungsorgane ausbildet. Man findet ihn vor allem dort, wo schattiges in besonntes, feuchtes in trockenes übergeht am Waldrand, an Bachläufen, in Senken, auf zeitweise staunassen Böden. Er hat sattgrüne, gefiederte Blätter von etwa 20 cm Länge, die unteren gestielt, die oberen sitzend. Die Fiedern sind oval oder lanzettlich, ganzrandig oder ungleich gesägt. Baldrian hat die Tendenz üppig zu wuchern (PELIKAN 1978). Das steigert sich beim Anbau wenn der Boden zu humos und locker ist. Er beginnt dann, aus der Form zu geraten, Doppelblätter, drei anstatt zwei Blätter an einem Knoten, die Neigung zu Verbänderungen, Verdickungen und Verdrehungen nehmen zu. Der Baldrian benötigt einen feuchten Untergrund, pflügt man ihn ab, so erschlaft in kurzer Zeit die ganze Gestalt.



**Abbildung 1: Blattmetamorphose des Baldrian (aus: BOCKEMÜHL 2006)**

In dichten, endständigen, doldenrispigen Blütenständen öffnen sich kleine hellrosafarbene (an schattigen Standorten weiße), süßlich duftende Blüten von 4 bis 5 mm Durchmesser. Die Blüten öffnen sich nicht alle zu gleicher Zeit. Während die ersten blühen, welken und fruchten, gliedert sich der Blütenstand weiter auf und treibt neue Blüten. Dadurch entsteht ein wolkiges Gebilde, dass die Doldenrispe abrundet. Die Blütezeit reicht von Mai bis Juli. Der von der Blüte ausströmende süßlich, dumpfe Duft durchzieht die Pflanze bis zur Wurzel. Auf Katzen wirkt dieser Duft Paarungstrieb anfeuernd. Seinen Namen erhielt der Baldrian in Bezug auf den germanischen Lichtgott Baldur (\*). Im französischen wird er auch als 'guerri

tout' und im englischen als 'all heal' bezeichnet, in früheren Zeiten wurden dem Baldrian also große Heilwirkungen zugesprochen. Heute werden Auszüge der Baldrianwurzel in Deutschland häufig bei Einschlafschwierigkeiten und Unruhe verwendet. Empfohlen wird Baldrian auch bei Prüfungsangst und Stress, da er Konzentrationfähigkeit und innere Ruhe fördern soll. In der medizinischen Forschung wird die sedierende Wirkung Stoffen zugeschrieben die im Baldrian gefunden wurden und sonst wohl einzigartig sind, weshalb man ihnen den Namen Valepotriate gab. Interessant ist, dass die meisten Fruchtaromen Ester der (Iso-)Valeriansäure sind. Stoffe, die bei dem Reifen der Früchte entstehen. BOCKEMÜHL und JÄRVINEN (2005) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass das Baldrianpräparat in der Lage sei, den Reifeprozess im Kompost und in der Erde anzuregen. Die Idee dieser Autoren, und der Anhänger der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise beinhaltet, dass Licht-, und Wärmewirkungen über den Phosphor dem Lebendigen verinnerlicht werden, und hierdurch eine Metamorphose vegetativer Prozesse bewirken.

\* Übrigens: Phosphor erhielt seinen Namen von dem altgriechischen Gott Phosphorus, der Lichtträger.

## **1.2. Die Bedeutung des Phosphors für unsere Kulturpflanzen**

In der Pflanzenernährung wird der Phosphor (P) als ein Makronährstoff bezeichnet, da es sich um ein Element handelt, welches von den meisten Kulturpflanzen in relativ großem Umfang zur Ertragsbildung benötigt wird. Über den Ernteentzug wird P von den Ackerflächen abtransportiert. Damit nun für die nächste Kultur wieder im ausreichenden Maße P zur Verfügung steht, wird über Düngung oder Mobilisierung aus dem Bodenvorrat der Verarmung an pflanzenverfügbaren P entgegengewirkt. Für etwa ein Drittel der weltweiten Ackerflächen ist die Verfügbarkeit von P der begrenzende Ertragsfaktor (UEXKÜLL und MUTERT, 1995). Der P-Düngerkonsum der entwickelten Länder geht seit Anfang der 90er Jahre zurück, während der P-Verbrauch der Entwicklungsländer nach wie vor stetig ansteigt, so dass der P-Verbrauch weltweit auch insgesamt weiter ansteigt. Eine Umkehr dieses Trends ist in nächster Zukunft nicht zu erwarten. Voraussichtlich wird Phosphor der erste Rohstoff sein, dessen Lagerstätten sich erschöpfen (WERNER, 1999). Die Verwendung von auf den Hof importierten mineralischen P-Düngern ist zudem problematisch. Höchstens 20% der ausgebrachten Menge wird von der jährlichen Kultur aufgenommen (RUSSEL, 1973), der Rest wird im Boden festgelegt und führt über Erosion zur Eutrophierung der Gewässer (RUNGE-METZGER, 1995; BUMB und BAANANTE, 1996). In Deutschland werden nur noch P-arme Erze verhütet, so dass das früher häufig verwendete Thomasmehl nun u.a. durch Cadmium-, und Uranbelastete P-Erden aus Nordafrika ersetzt wird. Diese Vorkommen sind jedoch begrenzt, so dass langfristig nach Strategien gesucht wird, den im Boden vorhandenen Phosphor besser zu nutzen. Neben P-mobilisierende und erosionsmindernde Bewirtschaftungsmaßen des Bodens (Kap 1.7)

kann dies bei unseren Kulturpflanzen etwa durch entsprechende Züchtung erreicht werden (GRAHAM, 1984). Die Beeinflussung des Pflanzenstoffwechsels durch Pflanzenhilfsmittel, bzw. Pflanzenstärkungsmittel ist hingegen bislang relativ wenig erforscht. Doch lassen bisherige Ergebnisse auf ein hohes und vielfältiges Potential schließen ([www.pflanzenstaerkungsmittel.bba.de/](http://www.pflanzenstaerkungsmittel.bba.de/)).

### **1.3. P in Pflanzen**

Phosphor liegt organisch gebunden in der Pflanze stets in seiner höchsten Oxidationsstufe als Ortho-, oder Pyrophosphat vor (BERGMANN, 1993). Bei P-Überschuß wird er als Phytin in Vakuolen gespeichert. Im Samen ist zur guten Phosphorversorgung des Keimlings 80% des Phosphors als Phytin gespeichert (LIBBERT, 1987). P spielt eine überragende Rolle im Energiestoffwechsel der Pflanze. So ist er unersetzbarer Bestandteil von ATP, AMP, ADP, NADP, NADPH, u.a. Verbindungen, die für die Energiespeicherung für Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel sowie für die Photosynthese benötigt werden. Durch die Bildung von Phosphatestern (z. B. mit Zuckern) werden organische Verbindungen durch Anhebung auf ein höheres Energieniveau für Folgereaktionen wie etwa die Stärkesynthese aktiviert. Der bei P-Mangel gehemmte Stärke- und Zelluloseaufbau führt zu einer Anreicherung von Zuckern, wodurch andererseits die Anthozyansynthese erhöht wird. In Phospholipiden (z. B. Lecithin) ist P unentbehrlicher Bestandteil verschiedener Zellmembranen, wie etwa dem Tonoplast, dem Plasmalemma oder von Chloroplastmembranen, und spielt hierdurch indirekt eine Rolle für die Translokation von Stoffen innerhalb der Pflanze (MARSCHNER, 1995). Im Amylopektin und in Phospholipiden ist der Phosphor auch verantwortlich für die Frosthärte der Pflanze.

Als Baustein der Nukleinsäuren (DNS, RNS) ist der Phosphor Strukturelement jener zellulären Bestandteile, die die Lebensvorgänge steuern und die Erbinformationen übertragen. Zellteilung, Übertragung der Erbinformation, Determinierung der Aminosäuresequenzen zur Eiweißbildung sind somit abhängig von der Phosphorverfügbarkeit innerhalb der Pflanze.

Phosphor ist Phloemmobil, bei P-Mangel wird Phosphor aus älteren Blättern mobilisiert. So sterben ältere Blätter erst ab, nachdem der Phosphor aus ihnen heraus transportiert wurde. Dieses bewirkt eine geringere Seneszens älterer Blätter, auch kommt es zu einer Hemmung bzw. zu einem Stillstand des Sprosswachstums, während die Wurzeln auf der Suche nach weiteren Phosphorquellen weiter wachsen. Dies verursacht eine Erhöhung des Wurzel/Spross TM Ratio. Die tiefgrüne Farbe der P-Mangelpflanze resultiert aus der relativen Anreicherung von Stickstoff in der Pflanze, da erhöhte Atmung und normaler Enzymstoffwechsel vorliegen (BERGMANN, 1993). Der Gehalt an blaugrünen Chlorophyll a ist gegenüber dem mehr gelbgrünen Chlorophyll b erhöht. Man spricht hierbei von Hyperchlorophyllierung.

Neben seinem Einfluss auf das vegetative Wachstum ist Phosphor vor allem für die reproduktive Entwicklung der Pflanzen von besonderer Wichtigkeit. Zur Keimung benötigt

der Pflanzenembryo eine gute P-Versorgung für Enzym-, und Aufbaureaktionen. Bei P-Mangel verzögern sich die Blüh-, und Reifezeiten, auch ist die Anzahl sowie die Ausbildung der reproduktiven Organe ist gehemmt. Getreide hat zum Zeitpunkt des Schossens bis zur Blüte einen erhöhten Phosphorbedarf (RÖMER und SCHILLING 1986), (Abb.2).

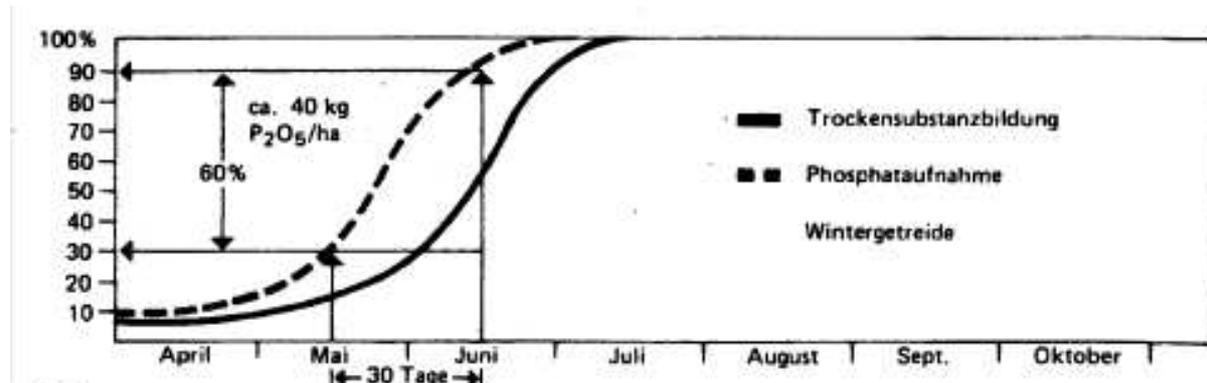


Abbildung 2: P-Aufnahme und TS-Bildung im Verlauf der Vegetation (nach: LÜTKE-ENTRUP und OEMICHEN; 2000)

Als typisches Symptom für P-Mangel gilt bei Getreide die sog. Starrtracht, die Blätter sind hierbei senkrecht nach oben gestellt, während die Blattspitzen herunterhängen. Auch kommt es zu einer geringeren Bestockung des Getreides bei P-Mangel. Der Blattlausbefall soll sowohl durch P-Mangel als auch durch P-Überdüngung verstärkt werden (BERGMANN, 1993, LIEBOLD, 2003). Die erhöhte Anfälligkeit gegenüber Blattläusen ist erklärbar über die Anhäufung nichteiweißartiger N-Verbindungen in der P-Mangelpflanze, da Blattläuse Stickstoff zu ihrem eigenem Eiweißaufbau benötigen. Die erhöhte Resistenz verschiedener Kulturpflanzen gegenüber pilzlichen, viralen und bakteriellen Erregern unter Phosphordüngung ist in der Literatur hinreichend belegt, u.a. bei: BORYS (1966), KAILA und HÄNNINEN (1961), HERLIHY und CARROLL (1969), BRAND und SESSOUS (1953). Darunter auch der Befall von Getreide mit echten Mehltau (*Erysiphe graminis*) (BERGMANN, 1993).

Auch kann die Stickstoffversorgung der Pflanze durch P-Mangel gehemmt werden. Die sog. Knöllchenbakterien, weisen bei P-Mangel eine eingeschränkte Aktivität bei der Stickstofffixierung der Leguminosen auf (RÖMER und LEHNE, 2004).

P-Überschuß führt zu einer Reifeverzögerung bei Weizen. Bei Konzentrationen über 1 % im Gesamtblattgewebe kann es zu negrotischen Erscheinungen in Form von braunen Punkten kommen, die gleichmäßig auf der Blattfläche verteilt sind (LONEREAGRAN, 1978), dies wird als P-Toxizität bezeichnet.

## 1.4. P-Aufnahme

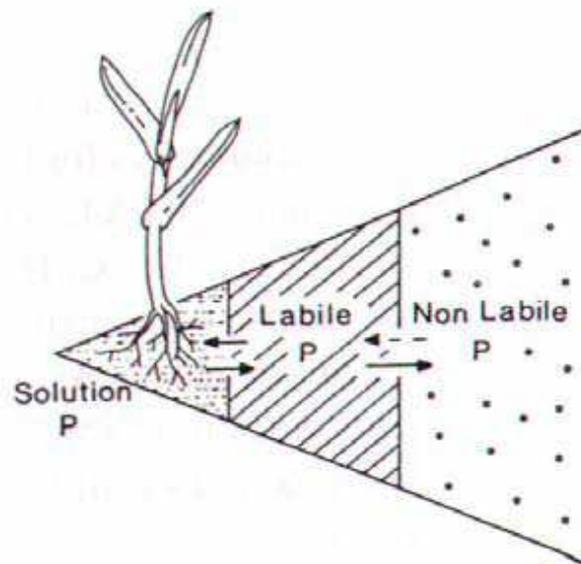
Die P-Aufnahme der Pflanze geschieht immer als Anion, nämlich als  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (primäres Phosphat) oder als  $\text{HPO}_4^{2-}$  (sekundäres Phosphat) und vorwiegend über Diffusion, also der Nährstoffbewegungen innerhalb der Bodenlösung. Hierzu ist eine ausreichende Wasserversorgung notwendig. Kontaktaustausch findet vorwiegend über Wurzelhaare und Mycorrhiza-Pilze statt. Massenfluss ist für die P-Aufnahme von untergeordneter Bedeutung. Symplastisch wird P von der Wurzeloberfläche zum Xylem transportiert. organisch-gebundener P, der bis zur Hälfte des pflanzenverfügbaren P ausmachen kann, muss mittels Hydrolyse mineralisiert werden, bevor er von der Pflanze aufgenommen werden kann (HORST et al., 2001). Die Konzentrationsunterschiede von P zwischen Bodenlösung und Cytoplasma der Pflanzenzellen ist enorm groß, so dass aktiver Transport durch das Plasmalemma und dem negativen Membranpotential notwendig ist (SCHACHTMANN et al., 1998).

## 1.5. P-Verfügbarkeit

Phosphor im Boden liegt entweder organisch ( $\text{P}_{\text{org.}}$ ) oder mineralisch ( $\text{P}_i$ ) gebunden vor. In der Bodenlösung ist normalerweise nur ein sehr geringer Anteil vorhanden. In niederschlagsreichen Gebieten wie den Tropen oder in degenerierten Böden wie den Podsolen ist das Calcium ausgewaschen, so dass ein niedriger pH-Wert vorliegt. Hier wird Phosphor als Fe- und Al-Phosphat festgelegt oder an die Oxide dieser Metalle und an organischer Substanz sorbiert (MATAR et al, 1992; COMERFORD, 1998). Böden mit hohen pH-Werten, die vor allem in Trockengebieten anzutreffen sind, wird Phosphor als tertiäres Calciumphosphat ausgefällt. Die beste P-Verfügbarkeit der Kulturpflanzen liegt bei pH-Werten zwischen 6 und 6,5 (KHASAWNEHT et al., 1980, AMBERGER, 1984). Die P-Aufnahme wird durch Trockenheit (GRIMME, 1973),  $\text{O}_2$ -Mangel (NELSON und MILLER, 1980) und insbesondere durch niedrige Temperaturen (NIELSON, 1960) gehemmt. Zwischen den verschiedenen P-Formen im Boden herrscht ein dynamisches Gleichgewicht, das in Abhängigkeit steht zu:

- pH-Wert
- Carbonatgehalt
- Sesquioxidgehalt
- Ton-, und Humusgehalt
- Schwermetallgehalt
- Bodenfeuchtigkeit
- Wasser/Luftverhältnis
- Temperatur
- mikrobielle Aktivität (insb. durch Phosphatasen ausscheidende Bakterien)
- Bodenstruktur (locker, verdichtet, verschlämmt)

Für die P-Versorgung der Pflanze ist hierbei die Schnelligkeit der Mobilisierung des festgelegtem P in einen 'labilen pool' von Interesse (HELAL und DRESSLER, 1989). P-Mangel kann so bei ungünstigen Boden-, bzw. Umweltvoraussetzungen, in Abhängigkeit der genetischen Voraussetzungen der Pflanzen, auch bei ausreichender P-Versorgung des Bodens auftreten (KHASAWNETH et al., 1980). In Böden der gemäßigten Klimate ist Phosphat prinzipiell in ausreichenden Mengen (20 – 80 mg Gesamt-P/ 100 g Boden) vorhanden (SCHACHTSCHABEL et al., 1998). Jedoch ist davon nur ein sehr geringer Teil, ungefähr 10%, direkt pflanzenverfügbar. Wobei die Einschränkung gilt, dass besonders phosphoreffiziente Pflanzen in der Lage sind auch festgelegtes P zu lösen und zu ihrer Ernährung zu nutzen. Die mengenmäßige Verteilung des pflanzenverfügbaren Phosphors auf der einen und des festgelegten Phosphors auf der anderen Seite soll folgende Darstellung veranschaulichen (Abb. 3):



**Abbildung 3: Die drei Haupt-P-Fractionen (aus: MENGEL und KIRKBY, 2001)**

Gerade auch nach neueren Erkenntnissen müssen die üblichen Bodenanalysemethoden wie etwa CAL, DL, Olsen, Mehlich-III, P-Wasser und EUF zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors kritisch betrachtet werden. So wird organisch gebundenes Phosphat wie Phytat von einigen Kulturpflanzen aufgenommen, ohne dass dieser Phosphor in seinem tatsächlichen Vorkommen im Boden mit den oben genannten Methoden erfasst wird (LEPPIN, 2007). Auch sind Pflanzen, wie die weiße Lupine durch Abscheidung von Protonen, organischer Anionen (vor allem Citrat), Phenolen und Phosphatasen (YAN et al., 2002). dazu in der Lage P, das beispielsweise im Apatit festgelegt ist, zu mobilisieren (LEPPIN, 2007).

## 1.6. Phosphoreffizienz

Die P-Effizienz einer Pflanze wird einerseits durch ihre Leistung beschrieben, Phosphor aus dem Boden aufzunehmen bzw. zu mobilisieren, andererseits durch ihr Vermögen, mit einer bestimmten aufgenommenen Menge an Phosphor Einheiten an Biomasse zu erzeugen.

### 1.6.1. Phosphor-Aufnahme-Effizienz

(Phosphor acquisition efficiency, PAE)

Sie beschreibt die Fähigkeit der Pflanzen zur Anpassung der morphologischen und physiologischen Wurzeleigenschaften an variables Nährstoffangebot (BATTEN, 1992; EGGLE et al., 1999; FRANSEN et al., 1999; HORST et al., 1993). Definiert ist die PAE durch die Gesamt-P-Aufnahme pro Pflanze (CASTANEDA-ORTIZ, 2006). Die geringe Mobilität des Phosphors im Boden macht die Phosphoreignung der Pflanze abhängig von einer effizienten Wurzeldurchdringung des Bodens, da dieser Nährstoff hauptsächlich über die Wurzeloberfläche aufgenommen wird. (NYE und TINKER, 1977; BARBER, 1984; KOIDE, 1991; MARSCHNER, 1991). Wurzelverteilung und Wurzeldichte sind also maßgebend für ein gutes P-Aufnahmevermögen. Hierzu gehört insbesondere die Ausbildung von Wurzelhaaren, röhrenartige Zellen, sog. Trichoblasten, die von der Oberfläche der Wurzeln in den Bodenraum wachsen (RIDGE, 1996; JUNGK und CLAASEN, 1989). Wurzelhaare sind spezialisiert auf Nährstoffaufnahme (GILROY und JONES, 2000), sie bilden sich an besonderen Wurzelepidermiszellen, und entfalten sich unabhängig vom Wachstum der Wurzelhaube. Wurzelhaare können bis zu 2/3 der Wurzeloberfläche von Ackergetreiden darstellen (PARKER et al., 2000). Auf P-Mangel reagieren beispielsweise Raps, Spinat und Tomate mit einer vermehrten Bildung von Wurzelhaaren (JUNGK, 2001). Noch effizienter ist die Symbiose mit Mykorrhiza-Pilzen. Diese Pilze durchdringen mit ihren noch feineren Hyphen den Boden und sind so in der Lage effektiver den Phosphor aufzunehmen. Die Pflanze versorgt den Pilz mit Zucker und anderen leicht abbaubaren Kohlenstoff-Quellen. Im Gegenzug erhält sie den Phosphor und andere Nährstoffe.

Bei hohem pflanzenverfügbarem P-Angebot des Bodens, ist das P-Aufnahmevermögen stark abhängig von der Wurzellänge. Hingegen bei geringem P-Angebot oder bei begrenztem Bodenraum für die Wurzeln, wurde diese Abhängigkeit nicht festgestellt (OTANI und AE, 1996). Die Wurzelarchitektur wird maßgebend von dem verfügbaren und mobilisierbaren Phosphor bestimmt (CHARLTON, 1996; JOHNSON et al., 1996; BORCH et al., 1999). Da P sich im Boden kaum bewegt, bleibt das mit dem Dünger zugeführte P an der Bodenoberfläche. Unter P-Mangel bilden sich mehr horizontale Basalwurzeln, vermehrte Adventivwurzelbildung, ausgedehnter lateraler Wurzelbildung und dichtere, längere Haarwurzeln (LYNCH und BRAUN, 2001). Auch verlängerte Wurzeln und Wurzelzellen wurden bei Bohnen gefunden (ANRUDADA und NARAYANAN, 1991). Reduzierte Primärwurzel ausdehnung mit einer vermehrten und längeren Ausbildung der Lateralwurzeln

fand WILLAMSON et al. (2001) bei *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae). Wurzelbildung an der Bodenoberfläche kann im Widerspruch zur effektiven Wassersuche der Pflanze stehen.

Die Ausscheidung organischer Säuren entsteht bei der Stickstofffixierung von Leguminosen, und zur Nährstoffmobilisierung insbesondere durch Bildung von Chelaten mit Eisen und Phosphaten, die so pflanzenverfügbar werden. Es entstehen günstige reduktive Bedingungen durch Beeinflussung des Kationen/Anionen-Verhältnisses. Durch Chelatisierung von  $Al^{3+}$  kann ein Eindringen dieser Ionen in die Wurzel verhindert werden, so dass solche Pflanzen auf aluminiumtoxischen Böden wachsen können. Insbesondere Dicotyle wie Leguminosen, aber beispielsweise auch Kulturpflanzen wie Raps und Sonnenblumen scheiden organische Säuren aus (MARSCHNER et al., 1986). Bei Alfalfa (*Medicago sativa*) verdoppelt sich die Ausscheidung von org. Säure, wenn das Wurzel/Spross-Verhältnis, induziert durch Phosphorarmut, zu steigen beginnt (LIPTON et al., 1987). Auf calciumreichen Vertisolen sind Pflanzen die Kohlensäure, Zitronensäure u.ä. abscheiden im Vorteil.

Proteidwurzeln sind auf Mobilisierung von Phosphor spezialisierte Wurzeln. Dabei handelt es sich um flaschenbürstenartige Bündel kurzer Seitenwurzeln mit begrenztem Längenwachstum, die an Lateral-Wurzeln zweiter Ordnung gebildet werden. Im Boden bilden sie kleine Taschen in die sie eine beachtliche Menge an organischer Säure (insb. Citrat), Phenole und Phosphatasen entlassen. Proteidwurzeln finden sich vor allem bei Proteaceae, Myricaceae, Casuarinaceae und Leguminae. Untersuchungen zur Phosphormobilisierung fanden vor allem an der Proteidwurzel der weißen Lupine (*Lupinus albus*) statt. Unter anderen fand man heraus, dass sie ein hohes Affinitätssystem zur Aufnahme von  $P_i$  besitzt (NEUMANN et al., 1999). An einer Mischkultur von Weizen und weißer Lupine konnte festgestellt werden, dass der Weizen besser mit P versorgt wurde als ohne weiße Lupine MARSCHNER et al., 1986. Gute P-Versorgung des Samens führt zu mehr Wurzeloberfläche im Jungstadium der Pflanze, so dass eine bessere P-Aufnahme möglich ist (RILEY et al., 1993).

Darüber hinaus sind auch die physiologischen Eigenschaften der Wurzeln maßgebend. Sie werden z.B. quantitativ in kinetischen Modellen beschrieben als Nährstoffaufnahme in Abhängigkeit von Wurzellängendichte und Zeit (STEINGROBE und CLAASEN, 2000).

### 1.6.2. Phosphor-Verwertungs-Effizienz

(P-use-efficiency, PUE)

Sie beschreibt die Eigenschaft der Pflanze, den von ihr aufgenommenen Phosphor mehr oder minder gut zu für ihr Wachstum zu verwerten. So ist die PUE definiert als die Menge an Phosphor, die benötigt wird, um eine Einheit an Biomasse der Pflanze zu erzeugen. Die Fähigkeit von Pflanzen Phosphor aus vegetativen zu reproduktiven Organen zu mobilisieren wird von CARADUS (1990) beschrieben. Bei der Mobilisierung von Phosphor aus alten Blättern löst sich das Blatt erst nach der Mobilisierung des Phosphors. So wurde beispielsweise bei Weizen, der unter P-Mangelbedingungen wuchs, eine höhere Seneszenz

des Fahnenblattes festgestellt (BATTEN et al., 1986). Normalerweise wird P dem Spross zugeführt. Unter P-Mangel jedoch wird dieses P wieder zu den Wurzeln geleitet und kann so dem weiteren Wurzelwachstum dienen. Dies wurde z.B. bei *Stylosanthes hamata* unter P-Mangelbedingungen festgestellt SMITH et al., 2000. Auch die gehemmte Bildung reproduktiver Organe spart P für vegetative Prozesse (BOULD und PARFITT 1973).

Viele Pflanzen verfügen über bemerkenswerte Flexibilität bei der Anpassung des Stoffwechsels an P-arme Bedingungen. Stoffwechselschritte die ATP und  $P_i$  erfordern, können umgangen werden (Alternative Glykolyse) (DUFF et al., 1989 ; MERTENS, 1991; THEODOROU et al., 1992). Auch gibt es nichtphosphorylierende Wege, die energieaufwendige Wege umgehen, und den Elektronentransport alternativ über cyanid-resistente Atmung zu vollbringen (Alternative mitochondriale Atmung) (RYCHTER und MIKULSKA, 1990; RYCHTER et al., 1992). Um effektiv mit dem aufgenommenen P zu wirtschaften, wird  $P_i$  in Vakuolen gespeichert um es im Cytoplasma konstant zu halten (LEE und RARCLIFF, 1983; 1993).

### 1.7. Phosphor im ökologischen Pflanzenbau

Die ökologische Landwirtschaft versucht primär die P-Ernährung über organische Düngung und aktive Nährstoffmobilisierung zu erreichen (SCHELLER 1992 und 1993), d.h. über die P-Vorräte im Boden und nicht über die Ausbeutung der P-Lagerstätten zu erreichen. Wie lange eine solche Strategie der P-Versorgung ohne P-Mangel umgesetzt werden kann, ist in Abhängigkeit vom Standort (P-Vorräte und P-Mobilisierungsbedingungen im Boden) und Betriebstyp (P-Bilanzen, Nutzungsform und -intensität) sehr unterschiedlich (NOWACK 1990, SCHULTE 1996).

Bei einem Literaturvergleich von Hoforbilanzen ökologisch wirtschaftender Betriebe fand LINDENTHAL (2000) eine im Durchschnitt leicht negative Bilanz (s.a. KOEPF et al. 1989, NEUERBURG 1995). Dies verwundert nicht, da es in Relation zum konventionellen Landbau im ökologischen Landbau einen geringeren P-Import gibt. Dies liegt an Restriktionen (EU-VO 2092/91) in Düngerform und Düngermenge beim Einsatz mineralischer P-Dünger, am eingeschränkten Import von Futtermitteln, Viehbestand und organischer Düngemittel, und dem in den Richtlinien vorgeschriebenen flächengebundenen Viehbesatz.

Doch zeigen die Ergebnisse der meisten deutschen Dauerversuche auch, dass die Gehalte an leicht verfügbarem P zwar zurückgegangen oder auf niedrigerem Niveau geblieben sind, dennoch aber relativ hohe Erträge und P-Entzüge gemessen wurden. Also wurden von den Kulturpflanzen P-Quellen genutzt, die nicht von den üblichen CAL-, DL-P Analysen erfasst werden konnten. SHARPLEY (1985) weist auf die Notwendigkeit hin, organischen Phosphor in Routine-Bodenanalysen verstärkt zu berücksichtigen, was mit der CAL-, DL-Methode nicht möglich ist. Der Autor begründet dies mit der, besonders bei eingeschränkter P-Verfügbarkeit, wichtigen Rolle des organischen Phosphors als P-Quelle. LEPPIN (2007) verglich das P-Aneignungs-, und P-Mobilisierungsvermögen an stabilen  $P_{org}$  (Phytat) und  $P_i$

(Apatit) von unterschiedlich P-effizienten Kulturpflanzen und prüfte die Aussagekraft verschiedener P-Analysemethoden. Hierbei konnte er beweisen, dass Pflanzen durchaus in der Lage sind, sich Phosphate der stabilen P-Fraktion anzueignen. Insbesondere Phytat konnte von allen Pflanzen in hohem Maß genutzt werden. Andererseits zeigten seine Versuchsergebnisse, dass sich Versuchspflanzen in ihrer Fähigkeit, stabile Phosphate anzueignen, deutlich unterscheiden. Auf der Nullparzelle des DOK-Versuches in der Schweiz konnte eine Abnahme der NaOH-P-sowie der HCl-P-Fraktionen beobachtet werden, was darauf hindeutet, dass auch diese als schwerer verfügbar geltende Fraktionen zur Pflanzenernährung beitragen OBERSON 1993.

Im ökologischen Landbau wird der P-Input vorzugsweise über organische Düngemittel geleistet. Die hohe P-Verfügbarkeit organischer Dünger an leicht löslichem P ist mehrfach belegt, auch hinsichtlich der Mobilisierung schwerlöslicher P-Fraktionen (ASMUS et al. 1982, GÖRLITZ 1985, IYAMUREMYE et al. 1996, KÖPPEN 1997). Auswirkungen des Kompost-Einsatzes im Hinblick auf eine gesteigerte P-Verfügbarkeit zeigen auch HARTL et al. (1999) in einem sechsjährigen ackerbaulichen Versuch im pannonischen Trockengebiet (grauer Auboden) auf: Die CAL-, DL-Gehalte der Kompost-Varianten (Biotonnenkompost) sind gleich hoch, zum Teil sogar tendenziell höher als bei mineralischer NPK-Düngung (P-Düngerform: Superphosphat) und liegen um 2-5 mg  $P_2O_5/100$  g Boden oberhalb der ungedüngten Variante. OBERSON (1993) und SCHELLER (1993) weisen in ihren Arbeiten darauf hin, dass Nährstoffmobilisation über ein reges Bodenleben verstärkt wird. P-Mobilisierung wird hier vor allem über einen erhöhtem Anteil an Mykorrhiza, und Phosphatasen absondernder Mikroorganismen geleistet.

In der ökologischen Landwirtschaft wird Wert auf gefügeschonende Bodenbearbeitung gelegt. Durch geringe Bodenverdichtungen steht den Kulturpflanzen ein größerer Wurzelraum zur P-Aufnahme zur Verfügung. Die Erhöhung der Lagerungsdichte der Böden durch Bewirtschaftungsmaßnahmen erschwert die Durchwurzelung des Bodens. Dies hat eine reduzierte P-Verfügbarkeit aufgrund einer geringeren Wurzeloberfläche und einer geringeren Erschließung des Bodenvolumens zur Folge. Somit haben alle Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtungen eine große Bedeutung für die P-Mobilisierung (SCHELLER 1990, CLAASEN 1994).

Ein hoher Anteil an Leguminosen in der Fruchtfolge und Zwischenfrüchte wie Phacelia, Seradella, Buchweizen, schwarzer Senf und Ölrettich mobilisieren P über Wurzelexsudate und einer gründlichen Durchwurzelung des Bodens. Aus dem Unterboden wird P bei mehrjährigen Luzerne-, oder Klee-grasanbau und durch Tiefwurzler wie die Lupine oder Ölrettich mobilisiert. Da der P-Aufnahme aus dem Unterboden insbesondere in Trockenzeiten eine wichtige Bedeutung zukommt sind acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, die den Zugang des Wurzelsystems zum feuchteren Unterboden durch Veränderungen des Gefüges verbessern, bedeutsam (KÖPKE, 1994). Aber auch die Förderung der Regenwurmpopulation ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

Eigenschaften, die ein erhöhtes Nährstoff-Aneignungsvermögen von Kulturpflanzen betreffen, sind in der ökologischen Pflanzenzüchtung gegeben, da diese Sorten auf Böden ökologisch wirtschaftender Betriebe gezüchtet werden. In der konventionellen Pflanzenzüchtung sind Anreize für solche Zuchtziele aufgrund großer Nährstoffimporte gering (KÖPKE, 1994). Bei Karotten konnte HAGEL (1997) unterschiedliche P-Effizienz in Abhängigkeit der Sorte aufzeigen. So lagen die P-Gehalte der Hybride "Nandor" mit 257 ppm etwa 33 % niedriger als die der biologisch-dynamischen "Rothild-Selektion" (383 ppm). Dieser geringere P-Gehalt war zu einem Großteil im geringen Nährstoffaneignungsvermögen der Hybridsorte begründet.

Zusammenfassend lässt sich aus dem oben Erwähnten schließen, dass im ökologischen Landbau ein großer Anteil an P aus dem Boden mobilisiert wird, und dass aus der Literatur allgemein gültige P-CAL/DL-Schwellenwerte für den ökologischen Landbau schwer abzuleiten sind, da Faktoren wie Bodentyp bzw. -art, Bodenleben,  $P_{org}$  des Bodens, Kulturpflanzenart, Wurzelentwicklung, N-Ernährung der Pflanzen, Mykorrhizierung oder Witterung ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen.

Die Bodenanalyse nach dem System Dr. Balzer (BALZER und BALZER-GRAF, 1984) wird als Alternative zur P-CAL/DL-Analyse im ökologischen Landbau empfohlen. Sie enthält drei P-Bestimmungsmethoden: Extraktion mit Essigsäure (Na-Acetatlösung), Milchsäure (Doppellaktat) und Zitronensäure. Damit kann eine etwas verbesserte Charakteristik und Prognose hinsichtlich der P-Versorgung ökologisch bewirtschafteter Böden erzielt werden, jedoch werden P-Mobilisierungsprozesse aus schwerer verfügbaren P-Fraktionen, die im ökologischen Landbau insbesondere aus dem  $P_{org}$  stammen, in diesem Untersuchungskonzept ebenso nicht berücksichtigt, wie der Gesamtphosphor- ( $P_i$ )-Gehalt als P-Reserve und -Puffer.

## 2. Material und Methoden

Zur Klärung der Versuchsfragen wurden im Jahr 2007 zweifaktorielle Gefäßversuche mit Lupinen und mit Hafer durchgeführt. Die zwei Faktoren, Behandlung mit Baldrianpräparat und Phosphorgehalt der Topferde wurden variiert angelegt. Die Prüfmerkmale bei Hafer waren die Keimrate, der Welkegrad der unteren Blattetagen, der Bestockungsfaktor, der Chlorophyllgehalt, die Sprosslänge, der Mehлтаubefall, der Phosphorgehalt der Wurzeln, sowie die TM-Gewichte der Wurzeln, Samen und des Strohes. Prüfmerkmale an den Lupinepflanzen waren die Keimrate, die Phosphorgehalte der Wurzeln und Sprosse einer Zwischenernte, sowie die TM-Gewichte der Wurzeln, der Sprosse und der Samen.

### 2.1. Standort und Material

#### 2.1.1. Standort

Die Versuche wurden auf dem Gelände des FB 11, ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel in Witzenhausen am Standort Nordbahnhof durchgeführt. Ein Gewächshaus, das nach außen durch Maschendraht abgegrenzt ist diente als Unterstand für die Gefäße. Für die Versuche wurde lichtdurchlässige Plastikfolie über das Dach der Station gespannt, welche die Gefäße seitlich und nach oben vor Niederschlägen und Wind schützte. Die Stirnseiten des Gewächshauses blieben unbedeckt (Abb.4).



Abbildung 4: Standort „Drahtkäfig“

Ein Schattenwurf der umliegenden Gebäude war während des Versuchs nicht zu beobachten. Die etwas kühlere Stirnseite des Gewächshauses wurde durch entsprechendes Umstellen der Töpfe berücksichtigt.

### 2.1.2. Klima

Witzenhausen liegt in einer Senke im Regenschatten des Kaufunger Waldes. Selbst bei Bewölkung und hoher Luftfeuchtigkeit kommt es hier eher selten zu Niederschlägen. Die nächste Messstelle zur Dokumentation der Niederschläge liegt außerhalb dieser Senke in Hebenshausen. Hier liegt das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagsmenge bei 670 mm. Zur Dokumentation der Temperatur und der Luftfeuchte während des Versuchs, wurde ein elektronischer Klimaschreiber der Marke TFA verwendet. Leider kam es Ende Mai zu einem Defekt des Gerätes, so dass die gespeicherten Daten eines Monats verloren gingen.

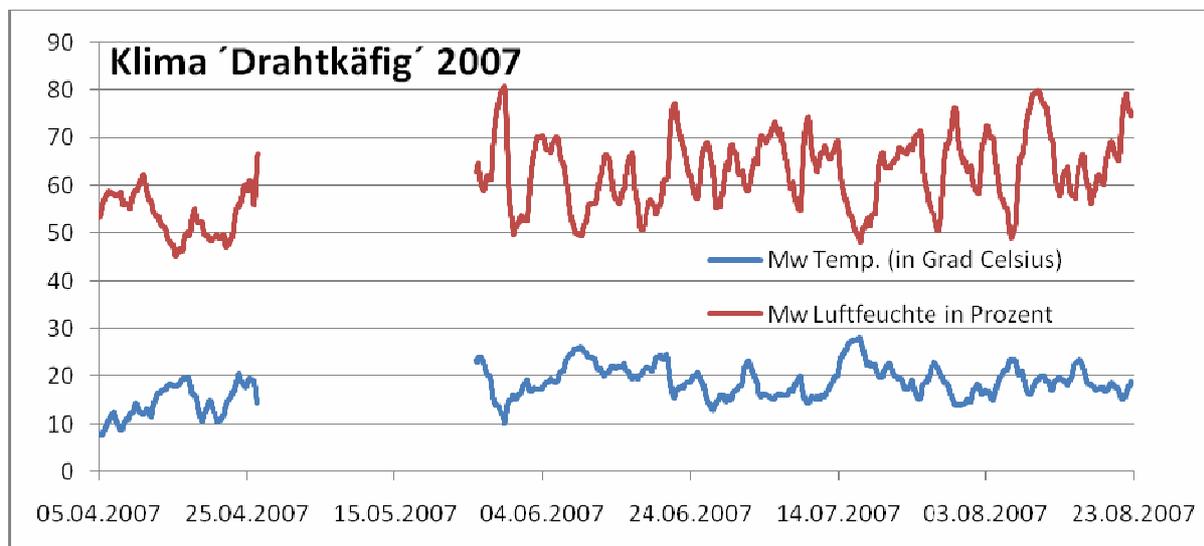


Abbildung 5: Temperaturen und Luftfeuchte in Werten des Tagesdurchschnitts

In dem Diagramm (Abb. 5) sind warme und trockene Perioden nur stellenweise zu erkennen. Insgesamt war das Frühjahr und der Sommer 2007 eher kühl und feucht. Insbesondere die Zeit zwischen Ende Juni bis Mitte Juli war gekennzeichnet durch eine hohe Luftfeuchte, die hier nur selten unter 60 % lag. Im Vergleich zu Freilandbedingungen sind im Gewächshaus deutlich höhere Werte an Temperatur und Luftfeuchte. Zum Vergleich des jährlichen Verlaufs dieser Werte sollen hier dennoch die Aufzeichnungen der Messstelle in Hebenshausen aufgeführt werden, um einen Eindruck über den untypischen Verlauf im Versuchsjahr 2007 zu geben.

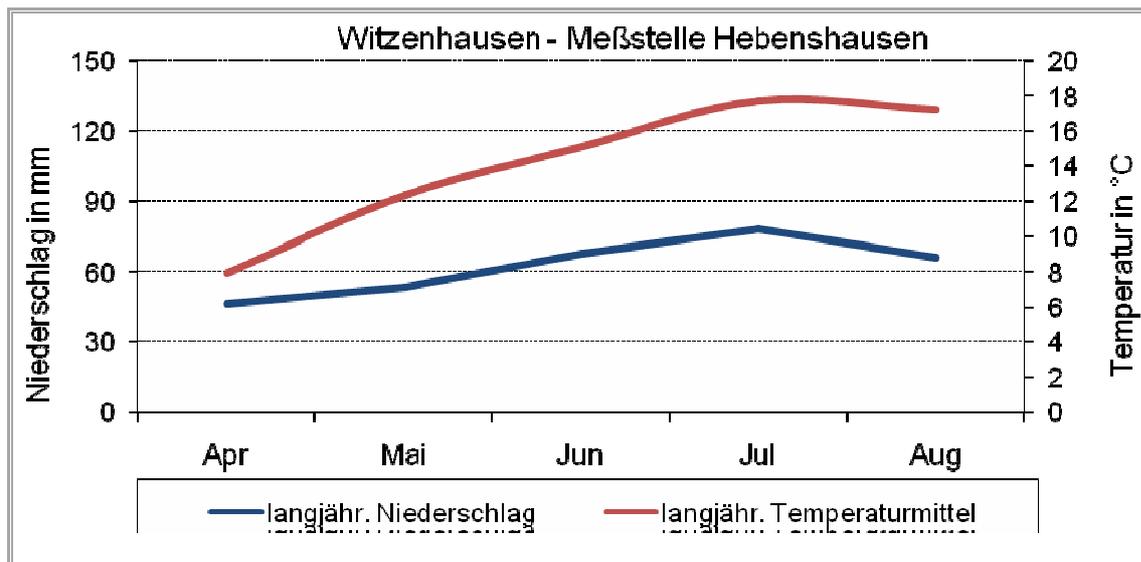


Abbildung 6: Temperatur-, und Niederschlagsaufzeichnungen der Messstelle in Hebenshausen.

Gewöhnlich steigen Temperatur und Niederschläge bis etwa Mitte Juli an, und senken sich von da ab wieder. Im Vergleich mit den Werten des 'Drahtkäfigs' im Jahr 2007 zeigt sich jedoch dort ein relativ konstanter Temperaturverlauf ab Anfang Juni.

### 2.1.3. Boden, Nährstoffversorgung

Als Topferde wurde ein Gemisch aus 2/3 Ackererde und 1/3 Rheinsand verwendet. Ein Betonmischgerät diente zur gründlichen Vermischung der Komponenten. Die Ackererde stammte vom Betrieb *Haus Bollheim*, in der Nähe von Bonn im Regenschatten der Eifel gelegen, der lange schon biologisch-dynamisch bewirtschaftet wird. Eine Probe des Gemisches wurde zunächst zur Prüfung der Eigenschaften und des Nährstoffgehaltes an die LHL (Landesbetrieb Hessisches Landeslabor) in Kassel gegeben. Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchung fasst folgende Tabelle zusammen:

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Methode: CAL)</b>	<b>8 mg/100g Boden</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>7 mg/100g Boden</b>
<b>Mg</b>	<b>4 mg/100g Boden</b>
<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>0,58 mg/100g Boden (≙ 24 kg/ha)</b>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>0,01 mg/100g Boden</b>
<b>C<sub>org.</sub></b>	<b>0,9 %</b>
<b>Humus</b>	<b>1,55 %</b>
<b>pH</b>	<b>6,3</b>
<b>Dichte</b>	<b>1,4 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Sand</b>	<b>64 %</b>
<b>Schluff</b>	<b>28,5 %</b>
<b>Ton</b>	<b>7,5 %</b>

Tabelle 1: Ergebnisse der 1. LHL Untersuchung

Die Bodenart ist ein mittelschluffiger Sand (Su3), der nach der LHL der Bodenartgruppe 2 zugeteilt ist. Der pH-Wert liegt mit 6,3 in einem für diese Böden optimalen Bereich. Das Gemisch ist reich an Humus. Nach der Gehaltsklasseneinteilung der LHL verfügt das Gemisch über mittel viel pflanzenverfügbares Phosphat (Gehaltsklasse B), und einen mittel bis niedrigen Gehalt an verfügbaren Kalium (Gehaltsklasse B/A). Der Nitratgehalt ist sehr niedrig. Der Magnesiumgehalt ist niedrig.

Damit möglichst nur an Phosphor ein geringeres Nährstoffangebot im Bodengemisch vorliegt, wurden mineralische Dünger zur Nährstoffergänzung verwendet. Die in der ökologischen Landwirtschaft üblichen organischen Düngemittel sind alle mehr oder minder phosphorhaltig, weswegen mineralische Düngung bevorzugt wurde.

Um antagonistische Wechselwirkungen zwischen Stickstoff und Phosphor im Bodengemisch zu vermeiden (s. BOSCH und AMBERGER, 2007), erfolgte die Stickstoffversorgung über Harnstoffblattdüngung (46 % Gesamtstickstoff). Zur besseren Kalium-, und Magnesiumversorgung wurde Patentkali (30 % K<sub>2</sub>O, 10 % MgO, 17 % S) verwendet. Zur Einstellung der verschiedenen Phosphorstufen in den Varianten wurde schnell wirksames Triplephosphat (45 % neutral-ammoniumcitratlösliches und wasserlösliches P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, davon 43,5 % wasserlösliches P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) verwendet. Die Düngemittel wurden freundlicherweise vom Raiffeisengroßhandel in Rossbach bei Göttingen zur Verfügung gestellt. Nach dem Aufdüngen wurden weitere Bodenproben zur Analyse an die LHL gegeben.

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> niedrig (P0)</b>	<b>8 mg/100g Boden</b>
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mittel (P1)</b>	<b>13 mg/100g Boden</b>
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hoch (P2)</b>	<b>32 mg/100g Boden</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>16,5 mg/100g Boden</b>
<b>Mg</b>	<b>8 mg/100g Boden</b>
<b>pH P0</b>	<b>6,1</b>
<b>pH P1</b>	<b>5,9</b>
<b>pH P2</b>	<b>5,7</b>

Tabelle 2: Ergebnisse der 2. LHL Untersuchung

#### 2.1.4. Saatgut, Präparate

- Hafersorte *Aragon*, zur Verfügung gestellt von:  
Nordsaat Saatzuchtgesellschaft mbH, 38895 Böhnshausen.
- Lupinensorte *Feodora*, zur Verfügung gestellt von:  
Südwestsaat GbR, 76437 Raststadt.
- Knöllchenbakterien zur Impfung der Lupinensamen: *Radacin*<sup>®</sup> No.6, der Firma Jost GmbH, 58590 Iserlohn.

- Baldrianpräparat verschiedener Herkünfte : Pär Lindroth, Tobias Hartkemeyer, Christian von Wistinghausen.

## 2.2. Allgemeine Methoden

### 2.2.1. Versuchsaufbau

Hafer: 3 Phosphorstufen (P0, P1, P2) X (Baldrianbehandelt + Kontrolle) X 6 Wiederholungen + 4 Randgefäße.= 40 Gefäße.

Lupine: 2 Phosphorstufen (P0,P2) X (2 Zwischenernten + Endernte) X (Baldrianbehandelt + Kontrolle) X 6 Wiederholungen + 8 Randgefäße = 80 Gefäße.

Der Versuch wurde zunächst als randomisierte Blockanlage angelegt. Dabei standen die baldrianbehandelten Töpfe im Wechsel zu den kontrollbehandelten Töpfen. Zu den jeweiligen Baldrianpräparatanwendungen wurden die Töpfe komplett umgestellt, und zwar so, dass die Töpfe die auf der Sonnenseite standen nun im Schatten stehen, und die Töpfe die zur etwas kühleren Stirnseite des Gewächshauses standen, nun in der wärmeren Mitte stehen. Hierbei wurde die Blockformation aufgelöst.

### 2.2.2. Vorgehensweise bei der Harnstoffdüngung

Das Harnstoffpräparat wurde auf praxisübliche 12 % konz. mit Wasser verdünnt, und auf die Blätter aller Haferpflanzen gleichmäßig aufgesprüht. Die Anwendungen erfolgten bis zum Stadium EC 59 im 14-tägigen Rhythmus. Danach wurden keine weiteren Harnstoffspritzungen vorgenommen.

### 2.2.3. Anwendung des Baldrianpräparates

Der milchsauer vergorene Blütenpresssaft des Baldrians wurde kurz vor dem Ausbringen auf 1:1000 mit lauwarmen Regenwasser, das aus einer Regentonne genommen wurde, verdünnt. Die ersten beiden Behandlungen erfolgten mit kleinen Feinzerstäubern aus Plastik, die weiteren Baldrianbehandlungen mit einem Sprühapparat aus Kupfer. Die Kontrolle erfolgte mit lauwarmen Regenwasser. Die Pflanzen wurden besprüht, bis sie tropfnaß waren. Um eine Abdrift des Präparates auf die Kontrollpflanzen zu vermeiden, wurden die mit Baldrian zu behandelnden Töpfe außerhalb des Gewächshauses besprüht

### 2.2.4. Anthraknoseschutz

Die Lupinensamen wurden zum Schutz vor Anthraknose 30 min bei 50<sup>0</sup> C im Wasserbad erhitzt (Methode nach: ROEMER , 2002).

### 2.2.5. Bewässerung

Es wurde eine Tröpfchenbewässerung über Injektoren angewendet. Die Injektoren wurden zunächst zwischen Innen-, und Außentopf appliziert. Wasser floss so erst zum Topfgrund,

und füllte den Topf bis zum Überlauf, der in der 3 cm Höhe angebracht ist. Nach oben gelangte das Wasser über den Saugspannungsdruck des Erde-, Sandgemischs. Obwohl reichlich Wasser zugeführt wurde, funktionierte dies nur mäßig gut, so dass die Lupinen kurz vor Ihrer Blüte starke Welkeerscheinungen zeigten. Ab dieser Zeit wurden die Injektoren in die Mitte der Töpfe gesteckt, Hafer und Lupinen reagierten auf das neuerliche Wasserangebot mit neuen Ansätzen von Bestockungstrieben, bzw. mit neuen Blütenknospen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzen bis dahin unter Trockenstress standen. Bewässerung erfolgte, je nach Witterung, 1-2 mal täglich bzw. 3-7 mal wöchentlich, jeweils 4 min.

### 2.2.6. Vorgehensweise bei der Aussaat

Erde und Sand wurden mit Hilfe eines Betonmischers gut durchmischt, und sogleich in die doppelwandigen 10 l Töpfe gefüllt. Die Aussaat wurde mittels Aussaatschablone vollzogen. Nach der Aussaat folgte die erste Baldrian-bzw./Kontrollanwendung. Danach wurde mit Rheinsand aufgefüllt. 2-3 cm bei Hafer, 3-4 cm bei Lupine. Bei Hafer sowie bei Lupine wurde eine Aussaatstärke von 24 Samen pro Topf gewählt. Die Lupinen wurde bewusst relativ dicht gesät, da zu erwarten war, dass durch das Wärmebad es häufiger zu Kümmerlingen (geschädigte Keimlinge) kommen würde, und dass die Keimrate niedriger ausfallen würde. Im Stadium EC 13 wurden die Lupinen auf 12 Pflanzen pro Topf vereinzelt.

### 2.2.7. Hafersamen Ernte

Die Rispen wurden vom Halm abgeschnitten, und mit einem Probendrescher des FG ökologischer Land-, und Pflanzenbau gedroschen.

### 2.2.8. Versuchsablauf

Datum	Arbeiten/ Beobachtungen
3. 4.	Aussaat, 1.Baldriananwendung auf ausgebrachtes Saatgut
23. 4.	Keimrate, Vereinzlung der Lupinen auf 16 Pflanzen/Topf
24.4.	2. Baldrianbehandlung Hafer EC 12, Lupine EC 14.
7. 5.	3. Baldrianbehandlung Hafer EC 32, Pflanzen mit niedriger P-Versorgung zeigen senkrechtere Blattstellung.
9.5.	3. Baldrianbehandlung Lupine EC 35, Vereinzlung auf 12 Lupinen/Topf
18. 5. -19. 5.	1. Zwischenernte Lupine EC 50
22. 5.	Welkebonitur Hafer EC 39
23. 5.	Chlorophyllmessung Hafer EC 39, 1.Längenmessung Hafer
25. 5.	Photoaufnahmen Hafer, Welkeerscheinungen Lupine
26. 5.	Umstellung der Bewässerung
27. 5.	4. Baldriananwendung Lupine EC 55, Hafer EC 50
29.5. – 30.5.	2. Zwischenernte Lupine, Begin Blüte Lupine EC 60
1. 6.	Begin Haferblüte EC 60
19. 6.	Mehltaubonitur Hafer EC 69 Fahnenblatt

Datum	Arbeiten/ Beobachtungen
20.6.	Mehltaubonitur Hafer EC 69 F-1
21.6.	Mehltaubonitur Hafer EC 69 F-2
26. 6.	5. Baldriananwendung Hafer EC 71-73
28. 6.	5. Baldriananwendung Lupine EC 80-81
4. 8.	2. Längenmessung Hafer EC 99
6. 8-7.8.	Ernte Hafer
17. 8.-18.8.	Ernte Lupine

Tabelle 3: Versuchsablauf

## 2.3. Methodik zu den Prüfmerkmalen

### 2.3.1. Welkegrad

Das Absterben älterer Blätter von der Spitze her unter dunkelbrauner Verfärbung gilt als ein Hinweis auf eine geringe Phosphorversorgung von Getreide BERGMANN, W 1993. Die drei untersten Blättetagen wurden nach einer Skala von 0-5 bonitiert. Dies entspricht folgenden Prozentsätzen an welker Blattfläche. : 0 = 0 %, 1-20 % = 1, 21-40 % = 2, 41-60 % = 3, 61-80 % = 4, 81-100 % = 5. Es wurde jeder Spross eines Topfes bonitiert, und daraus der Mittelwert ermittelt.

### 2.3.2. Längenbestimmung

Gemessen wurde vom Austritt der Pflanzen aus dem Boden, bis zum obersten Knoten. Ohne Rispe.

### 2.3.3. Chlorophyllgehalt

Verwendet wurde ein Gerät der Firma Minolta (SPAD-502). Welches aus der Differenz zweier Lichtabsorptionswerte des Blattchlorophylls bei 650 und 950 nm einen Rechenwert bildet. Dieser ist eng korreliert mit dem tatsächlichen Chlorophyllgehalt und der Blattfarbe. Gemessen wurde in der Mitte des drittobersten Blattes (F-2). Der Wert in SPAD-units ergab sich aus dem Mittelwert aus 30 Messungen pro Topf.

### 2.3.4. Bestockungsgrad

Anzahl der Längenmessungen pro Topf/ Keimrate pro Topf.

### 2.3.5. Mehлтаubefall

Methode nach: JAMES (1971). Boniturschema: 0 %, 1 %, 5 %, 25 %, 50 %. Werte über 50 % werden bei echten Getreidemehltau als 50 % gewertet.

### 2.3.6. Trockenmassebestimmung

Drei Tage wurde das zu untersuchende Pflanzenmaterial im Trockenschrank bei 60° C getrocknet. Nach dem Abkühlen erfolgte das Wiegen des Materials.

### 2.3.7. Bestimmung des Restaschegewichtes der Wurzelmasse

Zunächst wurde das Wurzelpulver bei 105 °C im Trockenschrank 24 Stunden lang getrocknet. Nach dem Abkühlen erfolgte eine Einwaage, danach wurde das Wurzelpulver bei 550 °C im Muffelofen verascht, danach erfolgte eine erneute Einwaage. Aus der Differenz ergab sich die Restasche in Prozent.

### 2.3.8. Bestimmung des Phosphorgehaltes der Wurzeln

Die Wurzeln wurden vorsichtig über einem 2 mm Sieb von der Topferde ausgewaschen. Nach dem Trocknen und Einwiegen wurden die Wurzeln unter Verwendung eines 0,5 mm Siebes in einer Mühle zermahlen. Mittels Restaschebestimmung wurden Proben mit einer Verunreinigung an Ton aus der P-Bestimmung ausgeschlossen. Zum Phosphoraufschluss wurden 0,2 g Wurzelmasse mit 3 ml HNO<sub>3</sub> konz. und 1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konz. in eine Mikrowelle der Marke PRO-20 QS der MLS GmbH gegeben. Folgendes Programm stellte sich als optimal für den Aufschluss heraus (Tab. 4):

Programm			
1:	4 min	500 Watt	T2: 70 °C
2:	8 min	1000 Watt	T2: 150 °C
3:	8 min	1200 Watt	T2: 200 °C
4:	10 min	1200 Watt	T2: 200 °C
Ventilator:	7 min		

Tabelle 4: optimiertes Mikrowellenprogramm für den Druckaufschluß zur P-Bestimmung

Nach dem Aufschluß wurde jede Probe mit bidestilliertem Wasser auf 50 ml aufgefüllt, und danach abfiltriert. Davon wurden 2ml-Aliquots in 50 ml einer mit Reagenzien versehenen Lösung gegeben, und der P-Gehalt lichtspektroskopisch bei 882 nm gemessen. (P-blau Bestimmung nach: BROOKES et al. (1992), modifiziert nach BRAY und KURZ (1945))

### 2.3.9. Verwendete Statistik

Die Versuchsanlage wurde vollrandomisiert ausgewertet. Zur Berechnung der Grenzdifferenzen der Hauptfaktoren Baldrianbehandelt (B0, B1) und Phosphorgehalt des Bodens (P0, P1, P2) wurde der Tukey-Test verwendet, das bedeutet es ist zulässig alle Phosphorgehalts-Varianten miteinander zu vergleichen. Für die Wechselwirkung B, P wurde der LSD-Test *a priori* nach KÖHLER et al. (1995) verwendet. Bei diesem Test ist ein Vergleich der Anzahl der Varianten geteilt durch zwei zulässig. Im vorliegenden Falle ist es zulässig B und Kontrolle jeweils auf einer P-Düngungsstufe miteinander zu vergleichen. Es wurde das SAS-Programm verwendet.

### 3. Ergebnisse

Im Versuchsjahr 2007 wurden insbesondere solche Merkmalsprüfungen vorgenommen, die einen Hinweis auf die Phosphoreffizienz der Pflanzen liefern könnten. Beobachtungen von Auffälligkeiten während des Versuchs, die nicht näher geprüft wurden sind gesondert vermerkt. Merkmalsauswertungen, die zu keinen signifikanten Unterschieden führten, werden im Anhang in Diagrammen dargestellt.

#### ***Beobachtungen während des Versuchs am Hafer, die keine Signifikanz aufwiesen oder nicht in Merkmalsprüfungen aufgenommen wurden:***

Die Triebkraft, sowie die Keimdauer der Hafersorte waren in allen Gefäßen einheitlich. Im Stadium EC 13 zeigte der Hafer der untersten Phosphorstufe senkrechte Blattstellung mit abgeknickten Blattspitzen, eine Erscheinung des Getreides, die 'Starrtracht' genannt wird und auf P-Mangel schließen lässt. Eine Anthozyanverfärbung der älteren Blätter fand zu keiner Zeit während des Versuches statt. Nach Umstellung der Bewässerung im Stadium EC 35 (während des Schossens) bestockte der Hafer erneut, was im weiteren Verlauf zu einem uneinheitlichen Abblühen und Abreifen in jedem Gefäß führte. Eine Verzögerung in Abhängigkeit der Gefäßvarianten war nicht ersichtlich. Ein Blattlausbefall fand nur in einem sehr geringem Ausmaß statt. Zur Ernte waren die Unterschiede zwischen Baldriananwendung und Kontrolle, die während des Schossens noch so deutlich auftraten, wieder verschwunden. So konnten auch keine signifikanten Unterschiede im TM-Ertrag von Wurzel, Spross und Korn gemessen werden. Die Stickstoffversorgung über Harnstoffblattdüngung ergab ein kräftiges Blattgrün, was durch allgemein hohe SPAD-Werte der Chlorophyllmessung bestätigt wurde.

#### **3.1. Ergebnisse der Merkmalsprüfungen**

##### **3.1.1. Hafer**

Unterschiede zwischen den Varianten zeigten sich am deutlichsten im Stadium EC 37-39, kurz vor dem Rispenziehen. Während dieses Zeitraumes wurden Bonituren der Halmlängen, der Abwelkeerscheinungen der 3 untersten Blattetagen, der Bestockung, und eine Messung des durchschnittlichen Chlorophyllgehaltes der Töpfe vorgenommen. Eine leichte Erhöhung der Bestockung auf allen P-Stufen, und etwas geringere Abwelkeerscheinungen bei niedriger und bei höchster Phosphatstufe wurde als Reaktion auf das Baldrianpräparat gemessen (Abb. 20, 21; Anhang S.49). Jedoch sind diese Ergebnisse nicht signifikant. Bei den Messungen der Halmlängen ergab sich dagegen ein deutliches Bild (Abb. 7):

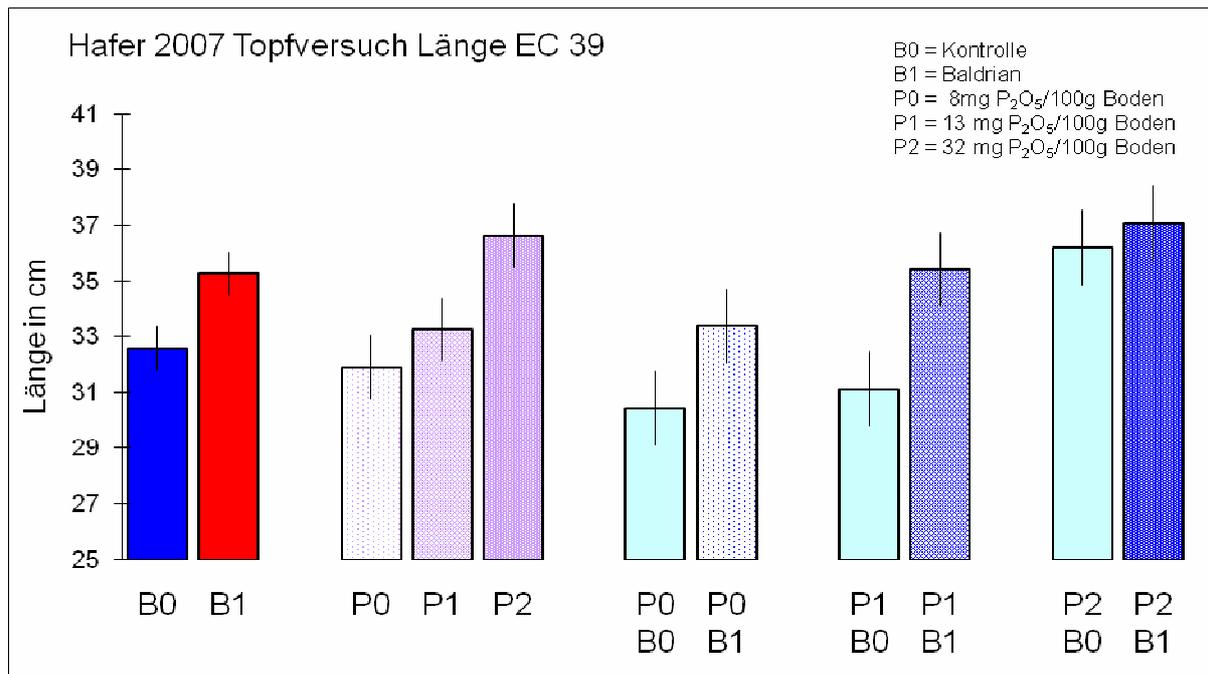


Abbildung 7: Diagramm Hafer Länge im Stadium EC 39

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ , d.h. Überschneidungen der Längen weisen auf nicht signifikante Unterschiede hin.)

Sowohl die Anwendung des Baldrianpräparates, wie auch der Phosphorgehalt der Erde, ergaben signifikant längere Halme. Bei Baldriananwendung ergaben sich im Mittel um 8 % längere Halme. Nur bei der höchsten Phosphorstufe hatte die Baldrianbehandlung keinen signifikanten Einfluss (Abb. 8):

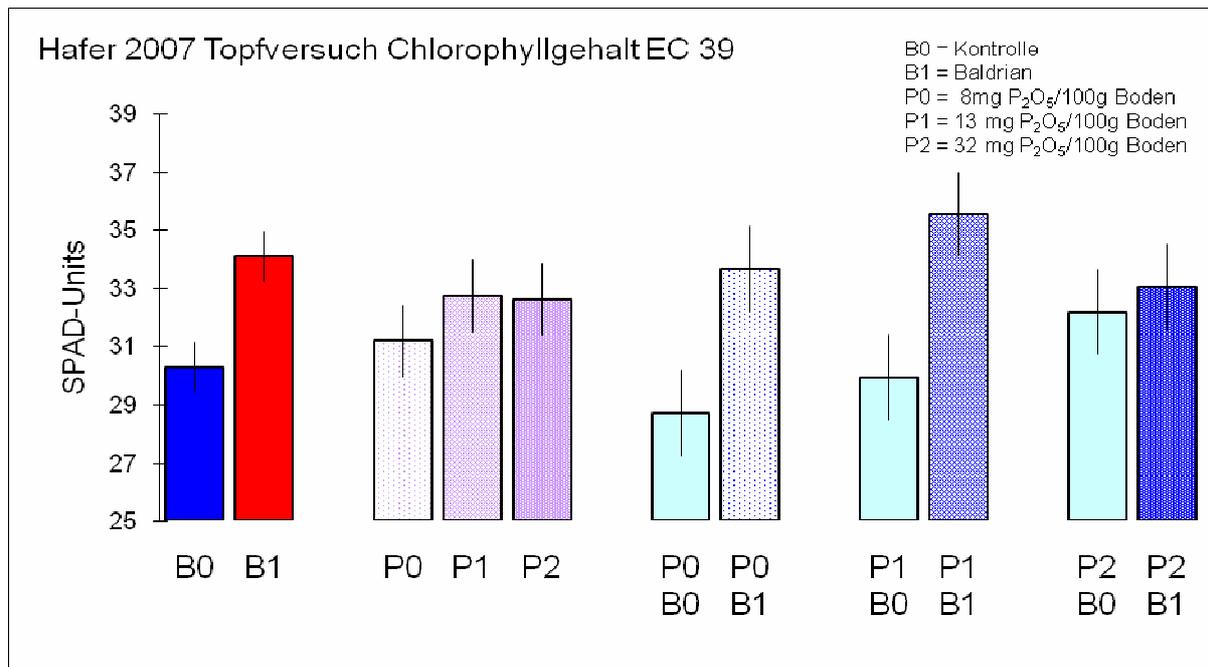


Abbildung 8: Diagramm Chlorophyllgehalt in SPAD-Units

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Die Unterschiede im Chlorophyllgehalt des Hafers waren zu diesem Zeitpunkt so deutlich, dass sie mit bloßen Auge erkennbar waren. Signifikante Auswirkungen der Baldrianbehandlung zeigten sich in der niedrigsten und mittleren Phosphorstufe. Der Phosphorgehalt der Topferde wirkte sich hier nicht signifikant auf den Chlorophyllgehalt des Hafers aus. Das etwas blässere Grün der untersten Phosphorstufe zeigt, dass hier noch kein eigentlicher P-Mangel herrscht, da ansonsten das Blattgrün intensiv-matt in Erscheinung treten würde und eine deutlichere Wachstverzögerung ersichtlich wäre (Kap. 1.3).

Das Jahr 2007 war gekennzeichnet von einem besonders schwül-feuchten Klima von Anfang bis Mitte Juni (Kap. 2.1.2). Infolgedessen kam es zu einem Befall des Hafers mit Echtem Mehltau (*Erysiphe graminis*). Es waren zunächst nur wenige Töpfe, die teilweise relativ weit voneinander im Haferversuchsbereich standen, von dem Befall betroffen. Auffallend hierbei war, dass sich der Mehltau zuerst an den Kontrollpflanzen der niedrigsten Phosphorstufe ausbreitete (Abb. 9):

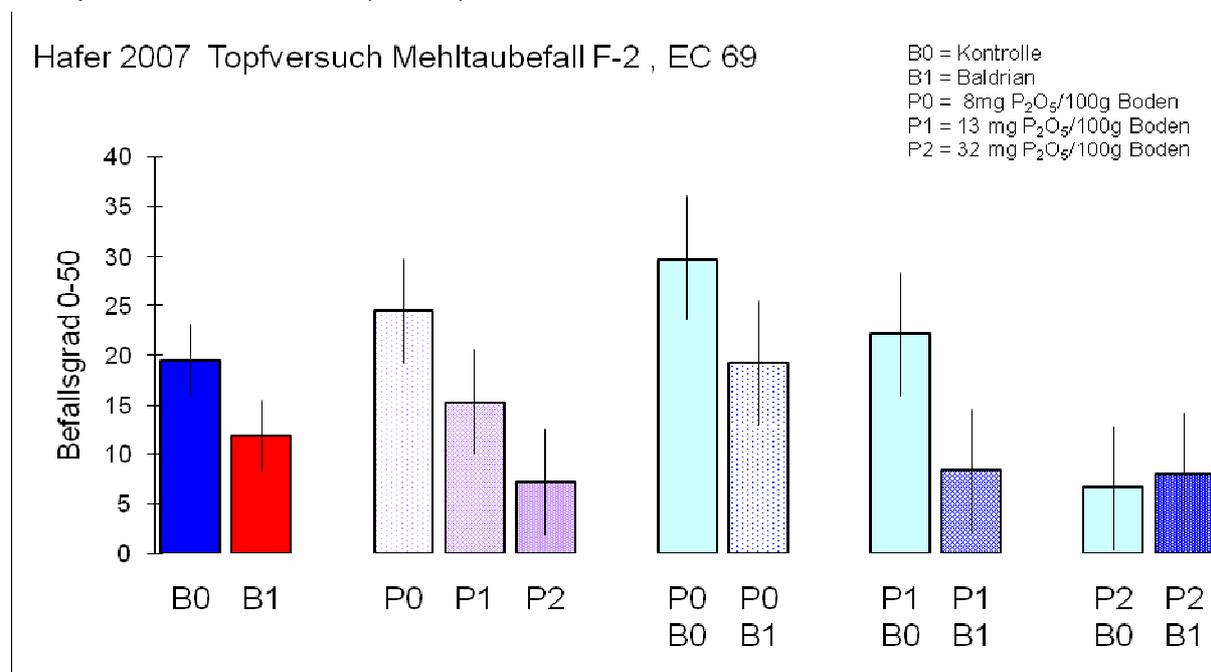


Abbildung 9: Diagramm Befallsgrad Mehltaubefall F-2

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Der Befallsgrad an Echtem Mehltau (*Erysiphe graminis*) steht hier in enger Verbindung zu dem Phosphorgehalt der Erde und der Anwendung des Baldrianpräparates. Insgesamt ergab die Baldriananwendung signifikant geringeren Befall. Wobei zu bemerken ist, dass eine Wirksamkeit des Baldrianpräparates auf die Resistenz des Hafers in der höchsten Phosphorstufe wiederum nicht festgestellt werden konnte. Im weiteren Versuchsverlauf breitete der Befall an Mehltau sich aus, so dass zuletzt alle Pflanzen befallen waren.

Nach der Ernte wurde eine P-Gesamt-Analyse mit den Wurzeln des Hafers vorgenommen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Großteil des Phosphors in Spross und Korn verlagert, und

geringere P-Gehalte, als zu anderen Wachstumsstadien der Pflanze, lagen erwartungsgemäß als Ergebnis vor:

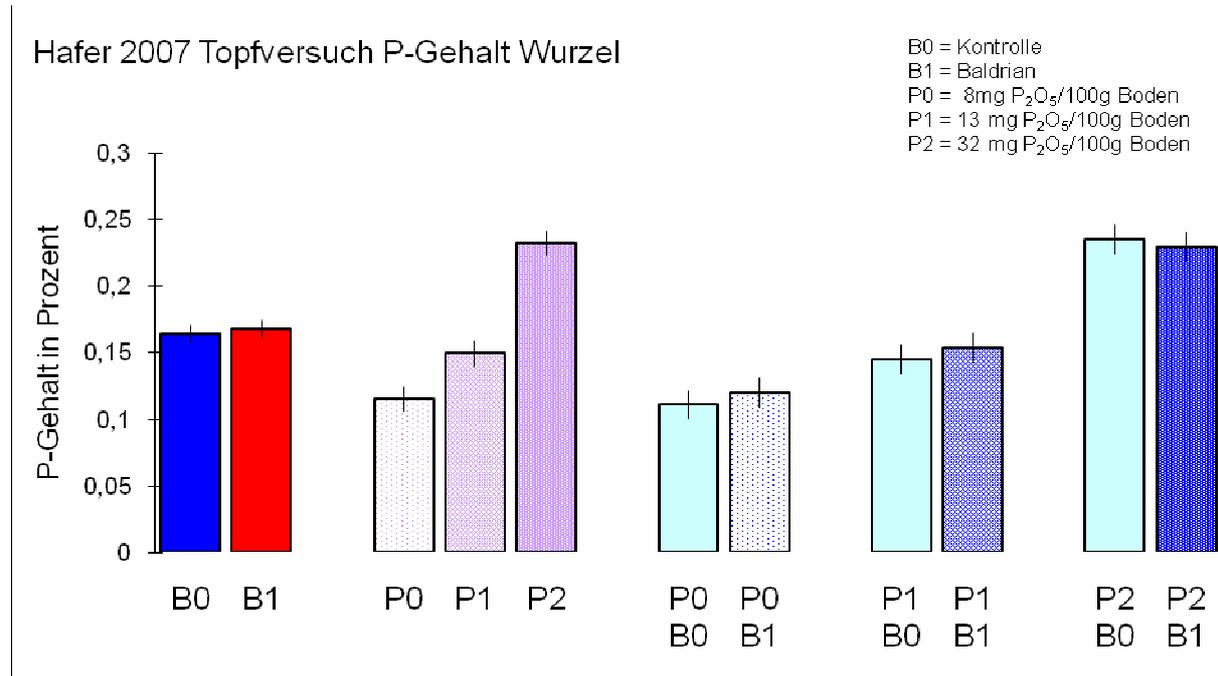


Abbildung 10: Prozentualer P-Gehalt der Haferwurzeln

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Signifikante Unterschiede in den Varianten zeigten sich nur in Bezug auf die unterschiedlichen P-Gehalte der Versuchserden. Das Baldrianpräparat zeigte hier keine signifikante Wirkung, bei einer Signifikanzniveau von 5%. Tendenziell zeigte sich jedoch, in den unteren P-Versorgungsstufen ein leicht erhöhter P-Gehalt im Gegensatz zu einem leicht gesenkten P-Gehalt in der höchsten P-Versorgungsstufe.

Zur Veranschaulichung hier einige Bilder des Hafers gegen Ende des Schossens:

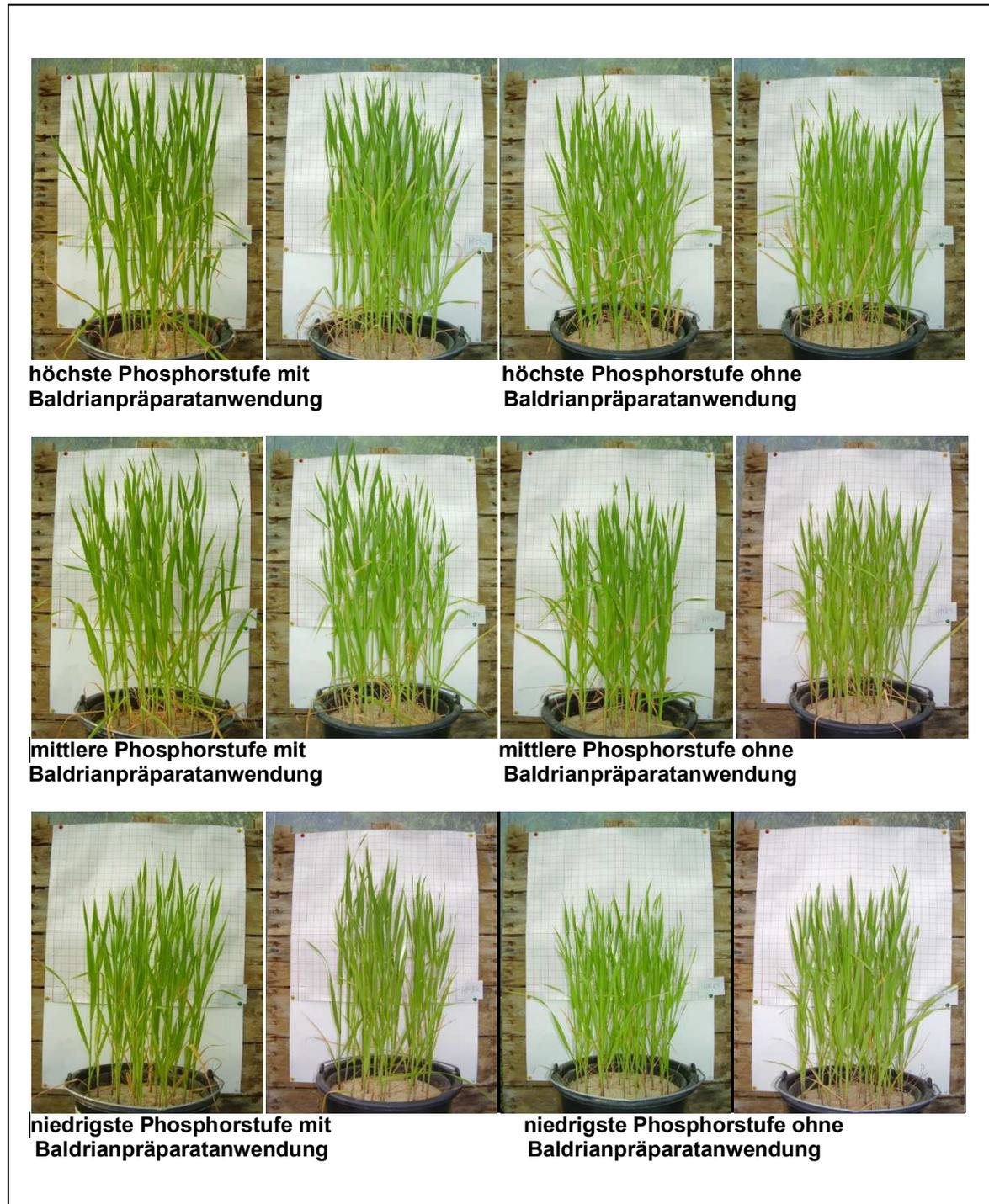


Abbildung 11: Haferbilder der Versuchsvarianten

Anmerkung: die schlechte Bildqualität zeigt nur unvollkommen das etwas kräftigere Grün der mit Baldrian behandelten Pflanzen.

### 3.1.2. Weiße Lupine

**Beobachtungen während des Versuchs an der weißen Lupine, die nicht in Merkmalsprüfungen aufgenommen wurden:**



**Abbildung 12: Lupine zur Blüte**

Die Keimung der Lupinen erstreckte sich über einen Zeitraum von 20 Tagen. Auffallend viele Kümmerlinge wurden beobachtet, und sogleich, bei einer Vereinzlung auf 18 Pflanzen/Topf entfernt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass diese ohne die Samenbohne entfernt wurden, um den zusätzlichen P-Eintrag gleichmäßig zu halten. Zu Beginn der Knospenbildung kreuselten sich die Blätter aufgrund von Vertrocknung zusammen. Nach Veränderung der Bewässerungsmethode (Kap. 2.2.6) verschwand diese Erscheinung und zusätzliche Knospen wurden gebildet. Während des gesamten Versuchsablaufs zeigten sich weder Erkrankungen (auch keine Antraknose !), noch Parasitenbefall.



**Abbildung 13: Wurzeln der Lupinen (B1, P2)**

Während der gesamten Versuchsdauer zeigten sich am Spross der höchst P-effizienten weißen Lupine keine Unterschiede zwischen den Varianten. Bei der Auswertung der Wurzel-TM und der Phosphorgehalte von den Wurzeln und der Sprosse konnten erstaunlicherweise doch Unterschiede festgestellt werden. Die erste Zwischenernte der gesamten Pflanze erfolgte bei Bildung erster Blütenknospen, 48 Tage nach Aussaat.

Bei Vergrößerung nebenstehender Abbildung sind Proteoidwurzeln in ihrer typischen flaschenbürstenartigen Form zu erkennen. Auch Wurzelknöllchen von Rhizobien (sog. Knöllchenbakterien) sind dann deutlich sichtbar. Innen waren die Wurzelknöllchen rosa gefärbt, was darauf hinweist, dass sie aktiv Stickstoff fixierten.



Abbildung 14: P-Toxizität in der P2-Stufe

Ab dem Stadium EC 30 zeigten die Blätter der Lupinen der hohen Versorgungsstufe nekrotische Punkte, die auf eine P-Toxizität hinwiesen. P-Überschußsymptome können nach LONEGRAN, 1978 ab einem Gesamtblatt-P-Gehalt von über 1 % auftreten. Induzierter Zink-, oder Eisenmangel oder Mangantoxizität ist Aufgrund der Symptomatik auszuschließen.

Das Auswerten der Wurzeltrockenmasse erfolgte unter Beachtung der Ergebnisse der Restasche, so dass zu stark verunreinigte Proben (Tonanteil > 10 %) nicht in der Auswertung der Daten berücksichtigt wurden.

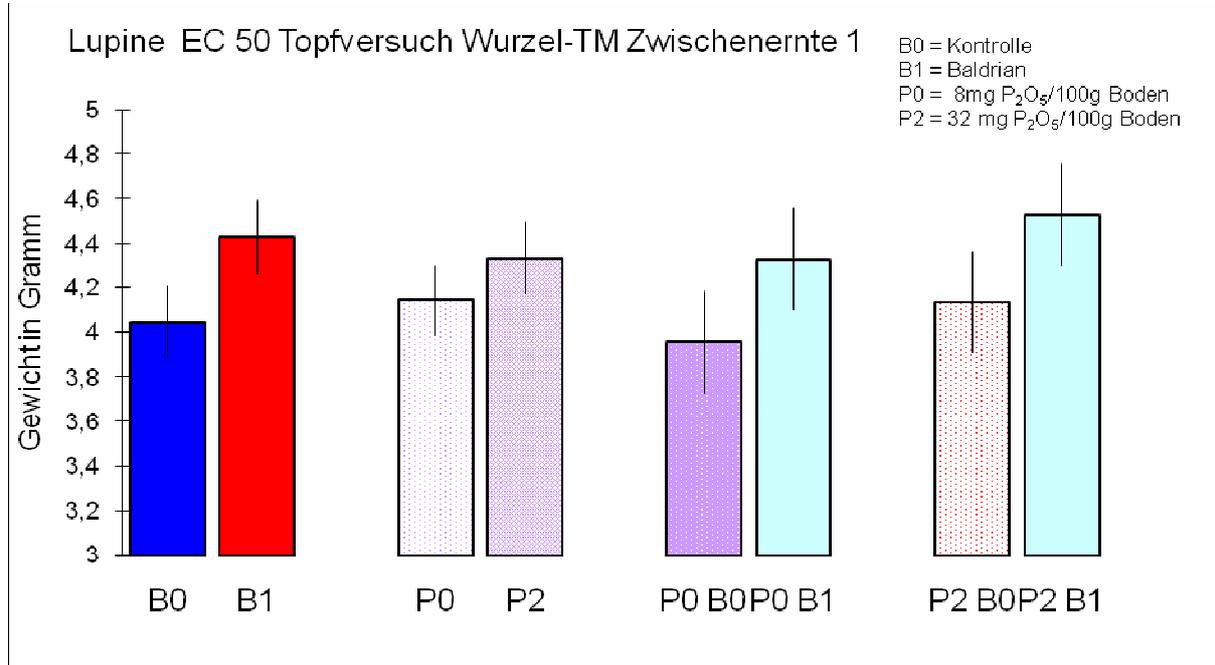


Abbildung 15: Diagramm Gewicht der Lupinenwurzeln/ Topf der 1. Zwischenernte

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Während ein erhöhter P-CAL-Gehalt keinen signifikanten Einfluss auf die Wurzel-TM der Lupinen hatte, ergab die Anwendung des Baldrianpräparates hingegen eine signifikant

größere Trockenmasse an zwischengeernteten Wurzeln. In den jeweiligen P-Versorgungsstufen waren jedoch die Ergebnisse zu breit gestreut, um signifikant zu sein. Es ist nicht auszuschließen, dass die Versuchstöpfe bis zur Umstellung der Bewässerung (einige Tage vor der 1. Zwischenernte) bis dahin unterschiedlich mit Wasser versorgt waren, und hieraus die relativ großen Streuungen resultieren.

Mit der größeren Wurzelmasse war auch eine tendenziell erhöhte Sprossmasse verbunden (n. s.), was in Folge eine relativ ausgeglichene Wurzel/Spross TM Ratio ergab:

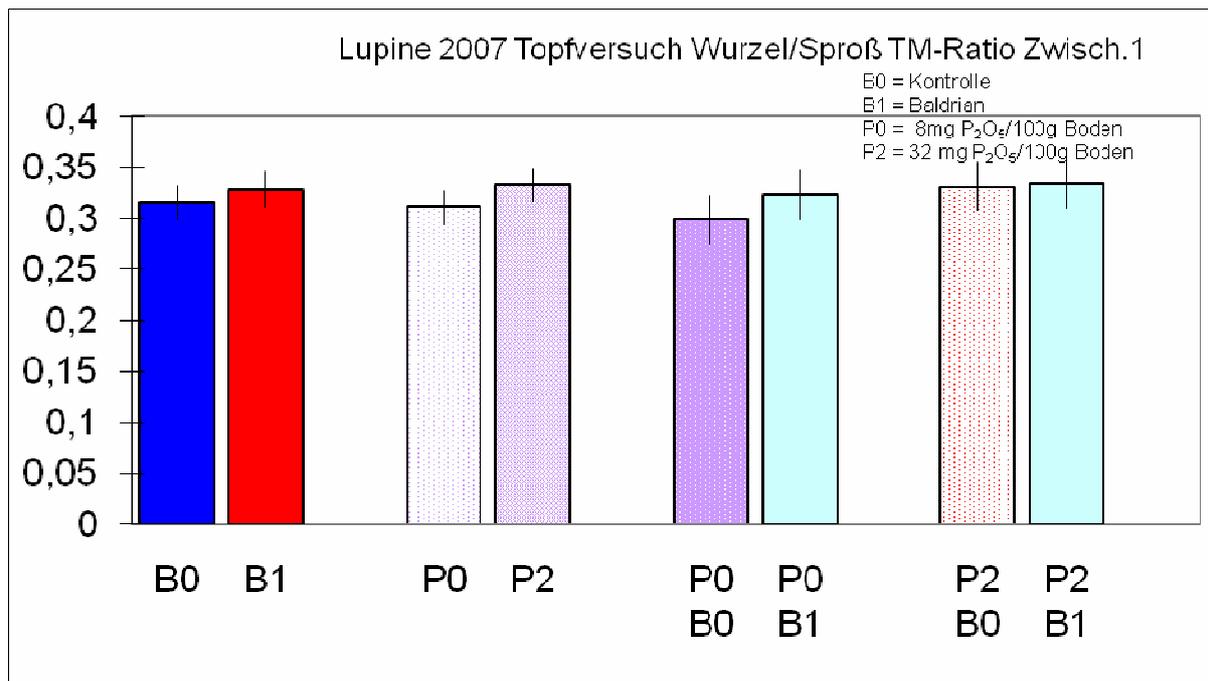


Abbildung 16: Diagramm Lupine Wurzel/Spross Ratio der Trockenmasse

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Tendenziell ergab sich mit zunehmendem P-Gehalt auch eine größere Wurzel/Spross TM-Ratio. Bei einer P-Mangelversorgung der Lupine in der unteren P-Stufe hätte sich eine entgegengesetzte Tendenz ergeben müssen (Kap. 1.6.1).

Die Analyse des Phosphorgehaltes der Wurzeln der ersten Zwischenernte zeigten die Wirksamkeit des Baldrianpräparates auf den Phosphorhaushalt der Pflanzen. Das Baldrianpräparat bewirkte sowohl in der unteren, als auch in der oberen P-Versorgungsstufe einen geringeren P-Gehalt der Wurzeln und dies unter vergleichbar starker Sprossmassenbildung wie in der Kontrolle. Zu beachten hierbei ist, dass der relativ hohe P-CAL Gehalt der unteren Versorgungsstufe der Topferde, sowie ein hohes Potential an mobilisierbarem Phosphor aus der Ackererde die höchst P-effiziente weiße Lupine mit mehr als ausreichend viel Phosphor versorgte.

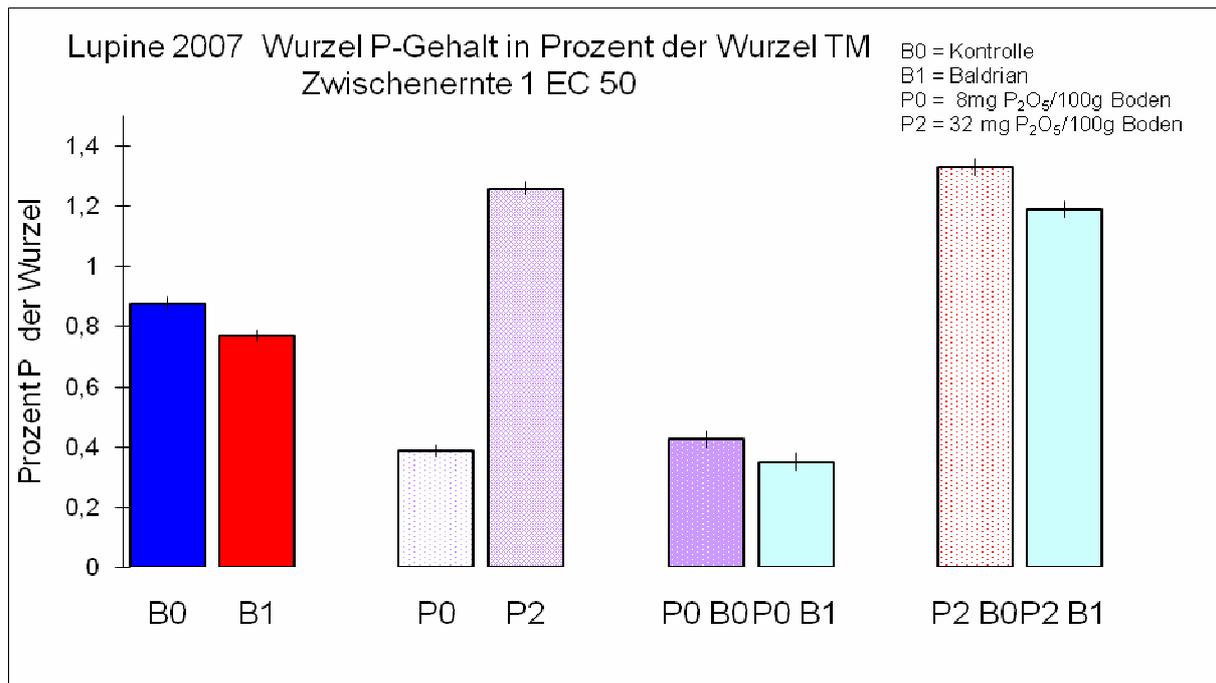


Abbildung 17: Prozentualer P-Gehalt der Lupinenwurzeln

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Die relativ enge Streuung der Ergebnisse deutet auf einheitliche Wurzelreaktionen auf das Baldrianpräparat und zeigt die Genauigkeit der Analyseverfahren. Für die Beurteilung der Phosphoraufnahme ist die P-Gesamtaufnahme der Wurzeln von Bedeutung, da unabhängig von der Wurzelmasse die P-Versorgung des Sprosses beurteilt wird:

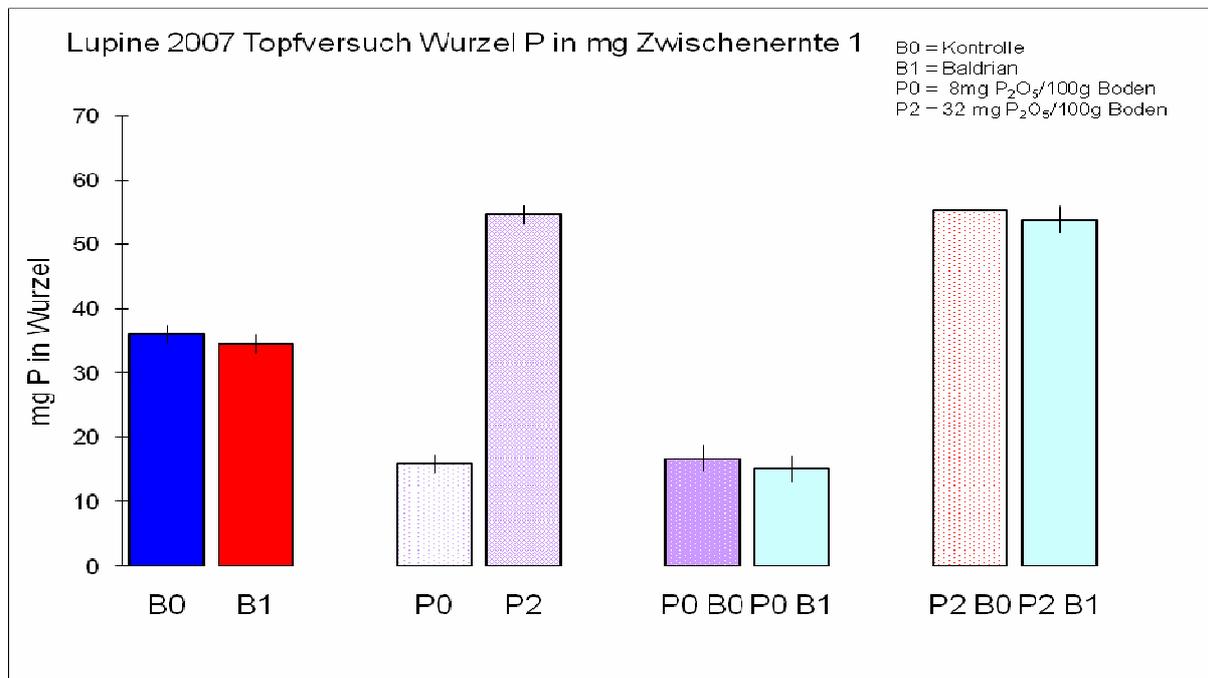


Abbildung 18: Diagramm Lupinenwurzel-P in mg/Topf, 1. Zwischenernte

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Hier ergaben sich nicht signifikant etwas niedrigere absolute P-Gehalte der Wurzeln durch das Baldrianpräparat. Deutlich beeinflusst ist die absolute Menge an P der Wurzeln vom P-CAL des Bodens

Die Auswertung des P-Gehaltes der Sprosse ergab keine signifikanten Unterschiede (Abb. 19):

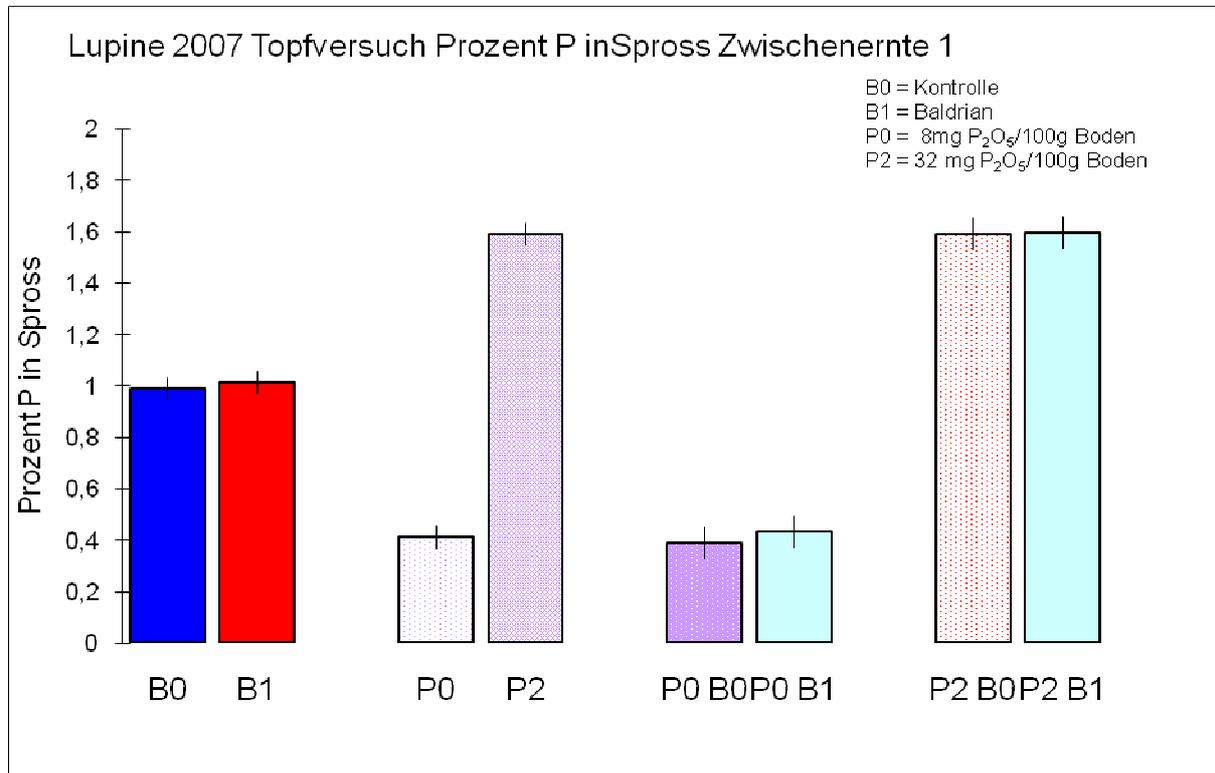


Abbildung 19: Diagramm Prozentualer P-Gehalt der Sprosse

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

Auf die Spross-TM bezogen ergibt sich folgendes Bild (Abb. 20):

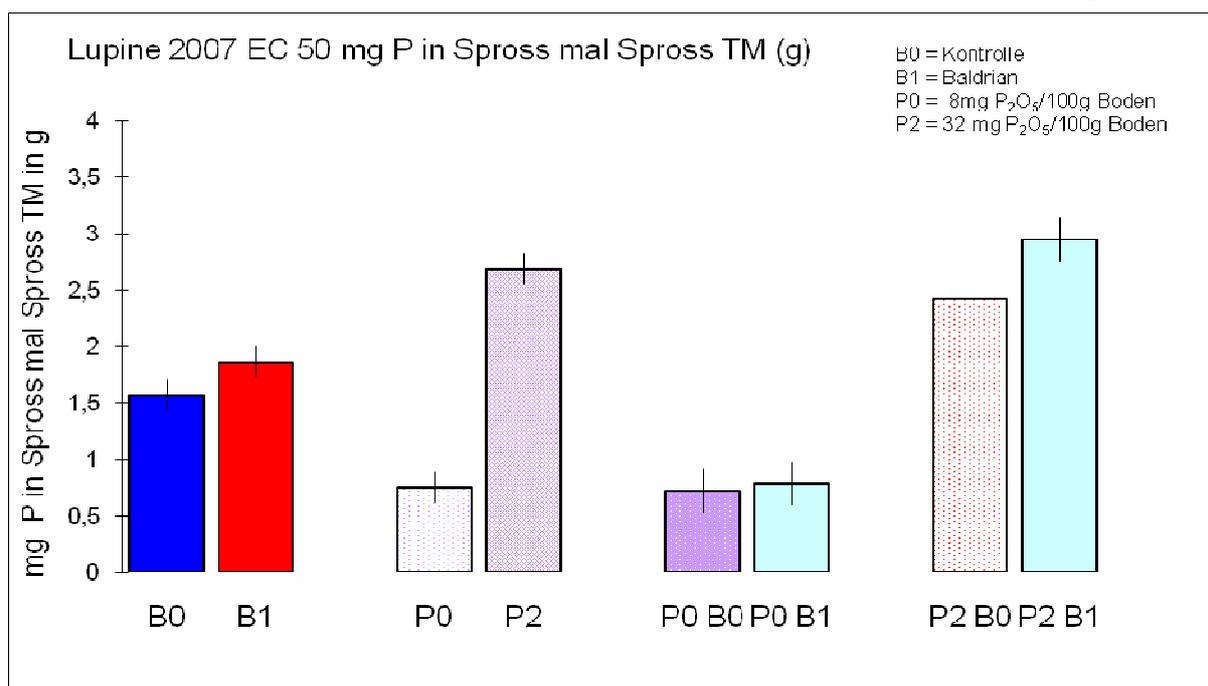


Abbildung 20: Spross-Phosphormenge bezogen auf Spross-TM

(senkrechte Striche markieren die Grenzdifferenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von:  $\alpha = 5\%$ )

## 4. Diskussion

Es sollte geklärt werden, inwiefern sich Wirkungen verdünnter Sprühungen des Baldrianpräparates auf ausgesuchte Kulturpflanzen abhängig sind von der Phosphorversorgung der Pflanzen, und ob im Rückschluß daraus folgt, ob das Baldrianpräparat eine positive Auswirkung auf die P-Effizienz der Pflanzen besitzt. Ergebnisse anderer Arbeiten zur Baldrianpräparatanwendung sollen hier in Bezug auf eine mögliche Veränderung der P-Effizienz der Pflanzen betrachtet werden. Dies soll unter besonderer Beachtung ihrer P-Versorgung geschehen.

### 4.1. Versuchsfrage

***Gibt es einen Zusammenhang zwischen Wirkungen der Anwendung des Baldrianpräparates und der Phosphorversorgung bzw. Phosphoreffizienz der Versuchspflanzen ?***

Merkmale einer P-Effizienz von Pflanzen zeigen sich am deutlichsten unter P-Mangelbedingungen. Die P-Versorgungslage der Versuchspflanzen zu dieser Arbeit hingegen ließ fast keine P-Mangelercheinung in Erscheinung treten. Lediglich die Haferpflanzen der untersten P-Versorgungsstufe zeigten im Stadium der Bestockung bis zum Schossen eine leichte Starrtracht. Die Erde in den Versuchsgefäßen besaß in der ungedüngten Stufe einen CAL-P-Gehalt von 8mg  $P_2O_5$ /100g Boden. Nach der Gehaltsklasseneinteilung der LHL in Kassel entspricht dies einem mittleren P-Gehalt. P-Mangelercheinungen waren also auch nicht zu erwarten. Die beobachtete Starrtracht ist deswegen vermutlich der geringen Wasserversorgung zu Beginn des Versuches, die eine P-Aufnahme der Pflanzen über Diffusion erschwerte (Kap. 1.4), zuzuschreiben. Dies würde aber auch bedeuten, dass die vorgenommenen Bonituren bis zur Umstellung der Bewässerung eher mit einer geringeren Versorgung an pflanzenverfügbaren Phosphor verglichen werden sollten, als des gemessenen P-CAL zu Beginn des Versuches. Langjährig ökologisch wirtschaftende Betriebe weisen oft einen noch geringeren Gehalt an CAL-, DL-P auf LINDENTHAL (2000, S. 37) (s.a. Kap. 1.7), als den in der Versuchserde. Die Praxisrelevanz zur vorliegenden Arbeit liegt vor allem darin, aufzuzeigen in wie weit die Wirkungen der Baldrianpräparatanwendung bei höheren P-CAL Gehalten nachlassen. Hinzu kommt, dass für die Versuche Boden verwendet wurde, die von einem solchem langjährig ökologisch wirtschaftenden Betrieb stammte, eine humose Erde, die vermutlich auch reich an Mikroorganismen und Mykorrhiza war (Kap. 2.1.3). Die Versuchspflanzen hatten dadurch ein Potential an leicht mobilisierbarem Phosphor, das nicht mit der CAL-Analyse erfasst wurde (Kap. 1.7). Da die P-Aufnahmedynamik des Hafers während des Schossens nicht mit entsprechenden Wurzel-, und Sprossanalysen untersucht wurde, kann nur vermutet werden ob die aktive P-Mobilisierung des Hafers durch die Präparatanwendung beeinflusst wurde.

Der Hafer zeigte in dieser Phase einen höheren Chlorophyllgehalt und längere Halme, was gemeinhin mit einer besseren Stickstoffversorgung assoziiert wird. Phosphor könnte in diesem Zusammenhang jedoch indirekt eine Rolle spielen. So ist eine allgemein verbesserte Nährstoffeffizienz auch durch eine gute P-Versorgung erklärbar. Beispielsweise wird hierdurch die Funktion und Stabilität von Membranen in der Pflanze gefördert, was eine Erhöhung der Translokationsleistung zur Folge hat (Kap 1.3). Eine schnellere N-Verwertung über erhöhte P-Effizienz wäre aber nicht nur hierdurch denkbar. Eine erhöhte Photosyntheseleistung durch verbesserten Energiestoffwechsel unter erhöhter P-Effizienz wäre ebenfalls eine plausible Erklärung zu den beobachteten Phänomenen bei den Haferpflanzen (Kap. 1.3.; Kap. 1.6.2). Die zum Zeitpunkt des Schossens gemessenen Längen deuten auf den Zusammenhang zwischen Phosphorversorgung des Hafers und Zellulosebildung aus niederen Zuckern, die bei P-Unterversorgung gehemmt erscheint, da bei diesem Vorgang Phosphatester eine wesentliche Rolle spielen (Kap.:1.3) Der stärkere Zelluloseaufbau und die erhöhte Photosyntheseleistung könnte also mit einer verbesserten P-Effizienz zusammen hängen. Wobei eine direkte Nährstoffversorgung über das Präparat auszuschließen ist, da bei einer Verdünnung von 1:1000 der Nährstoffgehalt der Sprühhlösung sich bei wenigen ppm an Stickstoff, Phosphor, Kalium und den anderen Nährstoffen befindet DUKE, 1992. Hinzu kommt, dass die Nährstoffe in organische Verbindungen eingebaut sind, und so über den Spross kaum aufgenommen werden können.

In erster Linie spricht alles für eine beschleunigte P-Translokation innerhalb der Pflanze, evtl. verbunden mit einer besseren P-Aufnahmedynamik und P-Verwertungseffizienz. Zur Ernte hatten sich die Halmlängen des Hafers in den jeweiligen Phosphorstufen aneinander angeglichen, und die Phosphorgehalte der Wurzeln unterschieden sich nur nach dem P-CAL Gehalt der Erden. Das Baldrianpräparat beeinflusste also nicht die Gesamtaufnahme an Phosphor. Vielmehr kann eine schnellere P-Aufnahme-Dynamik oder eine bessere P-Verwertungseffizienz mit höherer P-Translokationsleistung während des Schossens angenommen werden. Für eine bessere P-Effizienz der mit Baldrian behandelten Haferpflanzen spricht vor allem, dass die Erhöhung an P-CAL in der Versuchserde einen ähnlichen Effekt auf den Chlorophyllgehalt, Mehлтаubefall und das Längenwachstum des Hafers hatte, wie die Anwendung des Baldrianpräparates. Wobei eine erhöhte Mehltaresistenz auch im Zusammenhang steht mit einer optimalen P-Versorgung von Pflanzen (Kap. 1.3). Außerdem zeigten die Lupinen unter Baldrianbehandlung in der ersten Zwischenernte eine erhöhte Wurzel TM unter ausgeglichener Wurzel/Spross- TM Ratio und dies kurz vor dem Blühen in der Phase des höchsten P-Aufnahmebedarfs, was darauf hin weist, dass Phosphor schneller aufgenommen wurde, und sogleich in Wachstum umgesetzt wurde.

Die Lupine war in beiden Versorgungsstufen mit einem für ihre Bedürfnisse überreichlichen Angebot an Phosphor versorgt. Ihr hohes Potential an Mobilisierung von Phosphor aus dem Gesamtvorrat ( $P_t$  mit  $P_{org}$ ) der Ackererde bewirkte, dass die höchst P-effiziente weiße Lupine am Spross, selbst bei der niedrigen P-Stufe keine Reaktionen auf das Baldrianpräparat zeigte, was als weiterer Hinweis auf die Einschränkung der Wirkung des Baldrianpräparates

bei einer guten P-Versorgungslage gelten kann. An den Wurzeln der Lupine zeigte sich erstaunlicherweise ein geringerer P-Gehalt der Lupinen im Stadium EC 50 kurz vor dem Blühen als eine Reaktion auf das Baldrianpräparat.

Gegen eine (alleinige) Wirkung des Baldrianpräparates auf die Phosphoreffizienz der Versuchspflanzen spricht, dass die beobachteten Effekte auch mit einer allgemein verbesserten Nährstoffaufnahme sowie einer Resistenzinduzierung der Versuchspflanzen erklärbar wären. Auch lässt sich eine Erklärung über Phytohormonwirkungen konstruieren. So könnten Auxine (streckungswachstumsfördernd), Gibberelline (induziert das Schossen) und Cytokinine (fördert Zellteilung) oder auch Steroide sich vermehrt in den Blüten des Baldrian befinden, oder der Abbau dieser Hormone könnte durch Inhibitoren die über das Baldrianpräparat in die Versuchspflanzen gelangten gehemmt worden sein. Was diesen Erklärungsansatz plausibel erscheinen lässt, ist das Beispiel eines Pflanzenstärkungsmittels, das aus dem Samen der Pechnelke (*Lychnis viscaria*) gewonnen wird. Dessen enorm ertragsfördernde Wirkung wurde auf Phytohormone die sich vermehrt im Samen dieser Pflanze befinden zurückgeführt (FRIEBE, 1999). Selbstverständlich sind Leistungssteigerungen über Hormone stets verbunden mit einer erhöhten P-Effizienz, aber eine erhöhte P-Effizienz wird andererseits auch eine vermehrte Hormonproduktion mit sich bringen, was hier eine definitive Aussage über Ursache und Wirkung erschwert, und in bloßen Spekulationen enden müsste.

Nimmt man die Ergebnisse ähnlicher Arbeiten, wie die vorliegende, und betrachtet diese in Bezug auf die P-Versorgungslage der Pflanzen, so zeigen sich dort Minderungen von P-Mangelsymptomen bei Anwendung des Baldrianpräparates. Dies soll in der nun folgenden 2ten Versuchsfrage näher betrachtet werden.

#### 4.2. Literaturstudie:

***Wie sind die Ergebnisse des Versuches zu bewerten, im Vergleich zu bisherigen Forschungsergebnissen über das Baldrianpräparat ?***

Die vorliegende Arbeit versteht sich als eine Fortführung der Diplomarbeit von Stefan LIEBOLD, 2003. Neben dem selben Standort wie zu seinen Versuchen im Jahr 2000, wurde auch eine ähnliche Erde verwendet, die, wie bei LIEBOLD vom Betrieb *Haus Bollheim* bei Bonn stammte. Nur besaß die Erde diesmal in ihrer ungedüngten Phosphorstufe 8 mg  $P_2O_5$ / 100g Boden anstatt 3 mg  $P_2O_5$ /100g Boden (1999, Dottenfelder Hof: 2,4 mg  $P_2O_5$ /100g Boden). In seiner Versuchsvariante der Baldrianspritzungen in einer Verdünnung von 1;1000, konnte LIEBOLD auch vermehrte und deutlichere Wirkungen auf die Versuchspflanzen feststellen, die auf eine bessere P-Versorgung der baldrianbehandelten Pflanzen hindeuten. Folgende Tabelle fasst diese Ergebnisse LIEBOLDS in Bezug auf Merkmalsausprägungen, die auf eine erhöhte P-Effizienz hindeuten zusammen:

LIEBOLD, 2003	Merkmalsausprägung	Entwicklungsstadium	Leistungssteigerung in Prozent	Hinweis auf P-Effizienz
<b>Dottenfelder Hof (1999)</b>				
<b>Hafer:</b>	Mangelblätter mit Anthozyanfärbung/ Topf	EC 30	-23	Kap. 1.3
	Blattlausbefall	EC 55	-100	Kap. 1.3
	Stickstoffgehalt Stroh	EC 99	-22	Kap. 1.3
	Länge bis Rispe	EC 59	+4	Kap. 1.3
	TM-Ertrag Stroh	EC 99	+10	Kap. 1.3
	Chlorophyll Fahnenblatt	EC 89	+115	Kap. 1.3
<b>Erbse:</b>	Keimrate	EC 10	+5,3	
	Anzahl der Blüten/Topf	EC 65	+49	Kap. 1.6.2
	Frühzeitigkeit des Blühens	EC 60	5 Tage	Kap. 1.6.2
	Kaliumgehalt Stroh	EC 99	-24	Kap. 1.3
	TM-Ertrag Stroh	EC 99	+18	Kap. 1.3
<b>Witzenhausen (2000)</b>				
<b>Hafer:</b>	Mangelblätter mit Anthozyanfärbung/ Topf	EC 35	-29	Kap. 1.3
		EC 41	-56	
	Länge bis Rispe	EC 59	+4	Kap. 1.3
	Blattläuse/Topf	EC 75	-76	Kap. 1.3
	TM-Ertrag Stroh	EC 99	+8	Kap. 1.3
	Restfeuchte Korn	EC 99	+12	Kap. 1.3
<b>Erbse</b>	Keimrate	EC 10	+16	
	Länge	EC 37	+4	Kap. 1.3
	TM-Ertrag Stroh	EC 51	+9	Kap. 1.3
	Anzahl der Blüten/Topf	EC 65	+12	Kap. 1.6.2
	Seneszens der unteren Blattetagen	EC 51	-28	Kap. 1.6.2
	Schotenlänge	EC 99	+9	Kap.1.6.2, 1.3
	TM-Ertrag Stroh	EC 99	+9	Kap. 1.3

Tabelle 5: Ergebnisse LIEBOLDS, die auf eine erhöhte P-Effizienz durch Baldrianpräparatanwendung 1:1000 hinweisen. Alle Ergebnisse sind signifikant bei  $\alpha = 5\%$

Insbesondere eine Anthozyanverfärbung und verändertes Blühverhalten gelten als eindeutige Symptome unter P-Mangel, die anderen zitierten Ergebnisse sind auch durch

eine allgemein verbesserte Nährstoffaufnahme und Nährstofftranslokation erklärbar. Da zur vorliegenden Arbeit derart deutliche Reaktionen auf das Baldrianpräparat ausblieben, obwohl ähnliche Erde verwendet wurde, und ähnliche Bedingungen herrschten, kann auch hieraus geschlossen werden, dass die Wirkung des Präparates mit zunehmenden P-CAL des Bodens nachlässt.

Die Feldversuche GERBERs, 1994 mit dem Baldrianpräparat als Spritzpräparat auf Winterroggen und Sommerweizen angewendet, berücksichtigen insbesondere die P-Gehalte von Boden und Versuchspflanzen zu unterschiedlichen Entwicklungsabschnitten während der gesamten Versuchsdauer.

<b>GERBER, 1994</b>	<b>Besonderheiten</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-CAL Versuchs- parzellen</b>	<b>Ernte- steigerung in Prozent</b>
<b>Sommerweizen 1993</b>	Im Stadium EC 27-29 um 21 % erhöhter P-Gehalt des Sprosses. In anderen Stadien in etwa gleiche P-Gehalte, wie die Kontrolle	7,8 - 8,5	Korn +11,2 Stroh +12,1
<b>Roggen (Ährenbeet) 1992/93</b>	Ährenbeetmethode: Die mittleren Lagen wurden am deutlichsten in Richtung kräftigere Stängel und breitere Blätter beeinflusst.	7,3 – 7,5	Korn +28 Stroh +8
<b>Roggen (Feldversuch) 1992/93</b>	Hohe Ertragswirksamkeit des Baldrians in Varianten mit niedrigen P-CAL, und negative Korrelation zwischen P-Gehalt im Boden und Kornertrag in der Baldrianvariante	10,3 16,4	– Korn +16 Stroh +15

Tabelle 6: Diplomarbeit GERBER. Alle Ergebnisse sind signifikant bei  $\alpha = 5\%$ .

Der Boden der Versuchspartellen war für ökologische Anbauverhältnisse sehr gut mit CAL-P ausgestattet, was sich in ausreichenden P-Gehalten von Inhaltsstoffanalysen der Versuchspflanzen widerspiegelte. Insgesamt zeigen die Ergebnisse deutlich den Zusammenhang zwischen Baldrianpräparatwirkung in Abhängigkeit zum P-CAL-Gehalt des Bodens. Bei den Versuchen zur vorliegenden Arbeit wurde eine Abnahme der Baldrianpräparatwirkung mit zunehmenden P-CAL Gehalt festgestellt, was nahe legt, dass eine Wirkung des Präparates generell bei guter P-Versorgung der Pflanzen stark nachlässt. Außerdem gilt es zu beachten, dass im Gewächshaus höhere Temperaturen als im Freiland herrschen, und damit die P-Verfügbarkeit dort als höher eingestuft werden sollte (Kap. 1.4; 1.7) und die Vergleichbarkeit selbst bei höheren P-CAL im Freiland nahe legt.

### 4.3. Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Auswertungen der Versuche zur vorliegenden Arbeit ergeben Hinweise auf eine Erhöhung der Phosphoreffizienz des Hafers und der weißen Lupine durch das Baldrianpräparat. Während bei den Haferpflanzen dies vor allem durch eine Abnahme der Wirksamkeit des Präparates bei erhöhtem P-CAL der Topferde konstatiert wurde, gab es diese Hinweise bei der höchst P-effizienten weißen Lupine nur sehr waage: zum Zeitpunkt des höchsten P-Aufnahmebedarfs, während der Knospenbildung, durch verminderte P-Gehalte der Wurzeln bei erhöhter Wurzel-TM unter gleicher Sprossleistung wie ohne Baldrianpräparatanwendung. Im Vergleich mit Literatur über ähnliche Versuche ergab sich eine Bestätigung aller Hinweise auf eine erhöhte P-Effizienz, über gemessene Merkmalsausprägungen die im Zusammenhang mit einer guten P-Versorgung stehen, und über die Abhängigkeit der Stärke der Ausprägungen von den P-Gehalten der Versuchserden.

Zur Deckung des Phosphorbedarfs der Kulturpflanzen wird im ökologischen Lanbau besonderen Wert auf Mobilisierung von P aus dem Bodenvorrat gelegt. Die Beeinflussung des Pflanzenstoffwechsels über das Baldrianpräparat stellt hier eine Möglichkeit dar, die Kulturpflanzen effizienter mit Phosphor zu versorgen, ohne dem Boden mehr Phosphor zu entziehen, da vermutet werden kann, dass durch das Präparat die Phosphorverwertungseffizienz der Pflanzen erhöht wird.

Für Landwirte und Gärtner insbesondere des ökologischen Anbaus, die die P-Effizienz ihrer Kulturpflanzen erhöhen möchten, ist eine Anwendung des Baldrianpräparates als Spritzpräparat bei P-CAL Gehalten der Ackererde auch und gerade unterhalb 8 mg/ 100 g Boden je nach P-Bedürftigkeit der Kulturpflanze empfehlenswert.

Als Ausblick ergibt sich die Möglichkeit von weiteren Analysen des gesammelten Pflanzenmaterials. Nährstofftranslokation in den Spross und in das Erntegut, Abreifeverhalten, sowie der Nährwert der Bohnen und Körner könnten so näher beleuchtet werden.

Interessant wäre auch eine Erhebung über Erfahrungen von Landwirten mit dem Baldrianpräparat, begleitet mit Analysen von Boden-, und Pflanzenmaterial, sowie die Anlage von Feldversuchen um eine Optimierung des Anwenzeitpunktes und der Anwenhäufigkeit des Baldrianpräparates zu erreichen.

## 5. Zusammenfassung

Ein in der biologisch-dynamischen Landwirtschaft verwendetes Präparat aus den Blüten des Baldrian wurde auf seine Wirksamkeit auf die Phosphoreffizienz von ausgewählten Kulturpflanzen untersucht. Hierzu wurde es 2007 in Gefäßversuchen mit Ackererde und Sand an Hafer und weißer Lupine als verdünntes Spritzpräparat (1:1000) verwendet. Die Sprühungen erfolgten zur Aussaat, im Dreibattstadium, zu Beginn des Schossens, zum Rispschieben, bzw. zur Blütenbildung, und zur Milchreife. Die Gefäße besaßen als Varianten unterschiedlich hohe P-CAL-Gehalte in der Versuchserde. Die zwei Faktoren, Behandlung mit Baldrianpräparat und Phosphorgehalt der Topferde wurden vollrandomisiert angelegt. Die Prüfmerkmale bei Hafer waren die Keimrate, der Welkegrad der unteren Blatttagen, der Bestockungsfaktor, der Chlorophyllgehalt, die Sprosslänge, der Mehлтаubefall, der Phosphorgehalt der Wurzeln, sowie die TM-Gewichte der Wurzeln, Samen und des Strohes. Prüfmerkmale an den Lupinepflanzen waren die Keimrate, die Phosphorgehalte der Wurzeln und Sprosse einer Zwischenernte, sowie die TM-Gewichte der Wurzeln, der Sprosse und der Samen.

Signifikante Ergebnisse der Versuchspflanzen als Reaktion auf die Baldrianpräparatanwendung ergaben sich bei Hafer zum Zeitpunkt des Schossens über erhöhte Chlorophyllgehalte der oberen Blätter und durch längere Halme, sowie einer erhöhten Resistenz gegen echtem Mehltau im Stadium der Milchreife. Höhere P-CAL-Gehalte hatten hierbei einen ähnlichen Effekt, wie die Anwendung des Baldrianpräparates. Bei der Lupine ergab die Analyse der P-Gesamt-Gehalte der Sprosse und Wurzeln bei einer Zwischenernte während der Knospenbildung keine signifikanten Veränderungen durch das Baldrianpräparat. Die Trockenmasse der Lupinenwurzeln war jedoch durch das Präparat signifikant erhöht worden.

In Zusammenschau der Ergebnisse von ähnlichen Versuchen mit dem Baldrianpräparat können die Ergebnisse zur vorliegenden Arbeit als ein Hinweis auf eine verbesserte Phosphorverwertungseffizienz durch das Baldrianpräparat gelten. Oder um es mit den Worten Rudolf Steiners auszudrücken: „...so kann man, wenn man den Dung in einer ganz feinen Weise beibringt diesen verdünnten Saft der Baldrianblüte, insbesondere in ihm dasjenige hervorrufen, was ihn anregt dazu, sich gegenüber demjenigen, was man Phosphorsubstanz nennt, in der richtigen Weise zu verhalten“.

## 6. Literatur

- AE N, ARIHARA J, OKADA K, YOSHIHARA T, JOHANSEN C. 1990: Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science* 248: 477–480.
- AMBERGER A. 1984: Phosphatwirkung in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung. *Bodenkultur* 35: 295-304.
- AMBERGER A. 1996: Pflanzenernährung – Ulmer Verlag Stuttgart (4. Auflage)
- ANURADHA M. and NARAYANAN A. 1991: Promotion for root elongation by Phosphorus deficiency. *Plant soil* 136: 273-275.
- ASMUS F, GÖRLITZ H und KLOCKE M 1982: Wirkung langjähriger hoher Güllegaben auf Pflanzen und Boden in Futterbau-Fruchtfolgen, *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 26/11, 725-732.
- BALZER F. und BALZER-GRAF U R. 1984: Bodenanalyse System Dr. Balzer. *Lebendige Erde*, H.1,13-18, H.2, 66-71, H.4, 151-156.
- BARBER S A. 1984: Phosphorus. In: John Wiley eds. *Soil Nutrient Bioavailability: A mechanistic approach*. New York: Springer-Verlag, pp 201-228.
- BATTEN G D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil* 146, 163-168.
- BERGMANN W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen – Gustav Fischer Verlag, Jena, 3. Auflage, Stuttgart.
- BORYS M W. 1966: Influence of  $H_2PO_4^-$  -nutrition of potato plants on the resistance of their leaves to *Phytophthora infestans* de Bary. *Phytopathology Z.* 57: 301–309.
- BOSCH M und AMBERGER A. 2007: Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf die Phosphat-Dynamik einer Ackerbraunerde. Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München, D-8050 Freising-Weihenstephan
- BOULD C und PARFITT R I. 1973: Leaf analysis as a guide to nutrition fo fruit Crops. X. Magnesium and phosphorus sand culture experiments with apple. *J. Sci. Food Agric.* 24: 175-185.
- BRANDT J und SESSOUS D. 1953: Bedeutung der Phosphorsäure für Leistung und Gesundheit der Kartoffel. *Phosphorsäure* 13: 293.
- BRAY R H, und KURTZ L T. 1945: Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- CARADUS J R. 1990: Mechanisms improving nutrient use by crop and herbage legumes. In: V.C. Baligar, R.R. Duncan eds. *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. San Diego: Academic Press, pp 253-311.
- CASTANEDA-ORTIZ N. 2006: Phosphorus efficiency of *Arachis pintoi* genotypes and possible mechanisms for tolerance to low soil P supply. Diss., Georg-August-Universität Göttingen.
- CHARLTON W A. 1996: Lateral root initiation. In: WAISEL Y ESHEL A KFKAFA U, eds. *Plant roots: the hidden half*, 2nd edn. New York, NY, USA: Marcel Dekker. 149–173.

- CLAASEN N. 1994: Die Bedeutung des Aneignungsvermögens der Pflanzen für den
- COMERFORD N B. 1998: Soil phosphorus bioavailability. In: Lynch JP Deikman J, eds. Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem processes. Rockville, MD, USA: American Society of Plant Physiology, 136–147.
- DE OLIVEIRA 1990: Sustainable Agriculture – in: KOEPF H. 1997: Biologisch-dynamische Forschung – Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart.
- DUFF S M G, MOORHEAD G B G, LEFEBVRE D D, PLAXTON W C. 1989: Phosphate starvation inducible ‘bypasses’ of adenylate and phosphate dependent glycolytic enzymes in *Brassica nigra* suspension cells. *Plant Physiology* 90: 1275–1278.
- DUKE J A. 1992: Handbook of phytochemical constituents of Grass herbs and other economic plants. Boca Raton, FL. CRC Press.
- EGLE K, MASKE G, RÖEMER W und VLEK P L G. 1999. Improve phosphorus efficiency of three new wheat genotypes from CIMMYT in comparison with an older Mexican variety. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences* 162, 353-358.
- ELSÄESSER 2003: Einsatz von Wirtschafts-, und Mineraldüngern und biologisch-dynamischen Präparaten im Dauergrünland. *Landinfo* 4/2003.
- EU-ÖKOVERORDNUNG 2092/91: [www.oekolandbau.de/erzeuger/richtlinien-und-kontrolle/](http://www.oekolandbau.de/erzeuger/richtlinien-und-kontrolle/) Fleck-Verlag, Gießen, 229-232.
- FRANSEN B, BLIJJENBERG J, und DE KROON H. 1999: Root morphological and physiological plasticity of perennial grass species and the exploitation of spatial and temporal heterogeneous nutrient patches. *Plant and Soil* 211, 179-189.
- FRIEBE A, VOLZ A, SCHMIDT B, VOIGT B, ADAM G und SCHNABL H. 1999: 24-Epi-secosterone and 24-epi-castasterone from *Lychnis viscaria* seeds. *Institute of Agricultural Botany, University of Bonn. Phytochemistry Volume 52, Issue 8, December 1999, Pages 1607-1610.*
- GEIER U. 1992: Untersuchungen zur Wirkung des Baldrianpräparates der bio-dyn. Wirtschaftsweise im Feldversuch, Gefäßversuch und Hydrokultur – Diplomarbeit am Inst.für organischen Landbau, Universität Bonn.
- GERBER A. 1994: Einfluss einer Flächenspritzung des biologisch dynamischen Baldrianpräparates (507) auf das Wachstum von Sommerweizen und Winterroggen unter besonderer Berücksichtigung der P-Versorgung. Diplomarbeit, Universität Hohenheim.
- GILROY S, JONES D L. 2000: Through form to function: root hair development and nutrient uptake. *Trends in Plant Science* 5: 56–60.
- GOLDSTEIN W und KOEPF H H 1982: A Contribution to the Development of Tests for the Bio-Dynamics Preparations. *Elemente der Naturwissenschaft* Nr. 36, 41-53.
- GÖRLITZ H. 1985: Untersuchungen zur Nutzung des Phosphors aus organischen Düngern und seines Einflusses auf den Gehalt des Bodens an laktatlöslichem P, *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 29/4, 211-216.
- GRAHAM R D 1984: Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Advances in Plant nutrition* 1, 57-102. Praeger, New York.

- GRIMME H. 1973: Nährstoffkonzentrationen und Nährstoffdiffusion als Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit. Vortr. Bünthehof, BRD, 17-23.
- HAGEL I. 1997: Möhren: Bauen wir die falschen Sorten an ? Ökologie und Landbau 101, 42 - 43.
- HARTL W, ERHART E und PUTZ B. 1999: Beitrag von Biotonnenkompost zur Nährstoffversorgung in viehlosen ökologisch wirtschaftenden Betrieben. In HOFFMANN, H. und S. MÜLLER (Hrsg.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Berlin, Verlag Dr. Köster, Berlin, 93 - 96.
- HELAL H M und DRESSLER A. 1989: Mobilisation and turnover of soil phosphorus in the rhizosphere. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 152, 175-180.
- HERLIHY M und CARROLL P J. 1969: Effects of N, P and K and their interactions on yield, tuber blight and quality of potatoes. J. Sci. Food and Agric. 20: 513-517.
- HORST W J, ABDU M und WIESLER F. 1993: Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. Plant and Soil 156, 293-296.
- HORST W J, KAMH M, JIBRIN J M, CHUDE V A. 2001: Agronomic measures for increasing P availability to crops. Plant and Soil 237: 211-233.
- IYAMUREMYE F R DICK P und BAHAM J. 1996: Organic amendments and phosphorus dynamics I-III, Soil Science 161/7, 426-451.
- JOHNSON J F, VANCE C P, ALLAN D L. 1996: Phosphorus deficiency in *Lupinus albus*. Altered lateral root development and enhanced expression of phosphoenolpyruvate carboxylase. Plant Physiology 112: 31-41.
- JUNGK A 2001: Root hairs and the acquisition of plant nutrients from soil. International Plant Nutrition Colloquium No14, Hannover, 2001, vol. 164, no 2 (127 p.) (1 p.1/4), pp. 121-129.
- JUNGK A und CLAASSEN N. 1989: Availability in soil and acquisition by plants as the basis for potassium and phosphorus supply to plants. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 152, 151-158.
- JUNGK A und CLAASSEN N. 1997: Ion diffusion in the soil-root system. Advances in Agronomy 61, 53-110.
- KABISCH H 1930: Zum Studium der Mistzusatzpräparate 502-507 – Interner Rundbrief des Landwirtschaftlichen Versuchsringes anthroposophischer Landwirte 9/10 S.12.
- KAILA A und HÄNNINEN P. 1961: Reponse of winter rye to hyperphosphate and superphosphate. J. Sci. Agri. Soc. Finland 33: 39.
- KHASAWNEH F E, SAMPLE E C und KAMPRATH E J. 1980: The role of phosphorus in agriculture. Publ. Americ. Soc. Agronomy, Crop Sci Soc. America and Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wisc., USA.
- KOEPF H 1997: Biologisch-dynamische Forschung – Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart.
- KOEPF H, KAFFKA S und SATTLER F 1989: Nährstoffbilanz und Engergiebedarf im
- KOIDE R T. 1991: Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. New Phytologist 117 (3), 365-386.
- KOLISKO L und E 1953: Landwirtschaft der Zukunft – Verlag Schaffhausen-Meier.

- KÖPKE U und WERNER W 1994: Resümee und Ausblick. In: Berichte über Landwirtschaft, SH 207: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 5: Nährstoffhaushalt, Paul Parey, Hamburg/Berlin, 213-215.
- KÖPPEN D. 1997: Langjährige Entwicklung des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Nährstoffen in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen, in: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 3. - 4. März 1997, Bonn, Verlag Dr. Köster, Berlin, 122-128.
- KÜNZEL M 1953: Das Baldrianpräparat – Lebendige Erde 213 bis 215.
- LEE R B und RATCLIFFE R G 1983: Phosphorus nutrition and the intracellular distribution of inorganic phosphate in pea root tips: A quantitative study using P-NMR. J. Exp. Bot. 40, 741-752.
- LEE R B und RATCLIFFE R G 1993: Subcellular distribution of inorganic phosphate, and levels of nucleoside triphosphate, in mature maize roots at low external phosphate concentrations: Measurements with P-NMR. J. Exp. Bot. 44, 471-486.
- LEPPIN T. 2007: Mobilisierungspotential unterschiedlicher Pflanzen für stabile Phosphatformen im Boden. Diss., Institut für Pflanzenernährung am FB 09 der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- LIBBERT E. 1987: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. 3. Auflage Fischer, Jena 1979, 4. Auflage 1987.
- LIEBOLD S. 2003: Das biologisch-dynamische Baldrianpräparat in seiner Verwendung als Spritzpräparat im Pflanzenwachstum von Hafer und Erbsen. Diplomarbeit. FG ökologischer Land-, und Pflanzenbau. FB ökologische Agrarwissenschaften Witzenhausen. Universität Kassel.
- LINDENTHAL T 2000: Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen, und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau - Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushaltes. Diss. Institut für Ökologischen Landbau Universität für Bodenkultur, Wien. S.11 f.
- LINDROTH P 1999: Inverkan av valerianapreparat – skördeniva och mobilisering av fosfor och kalium vid odling av varvete – Forschungsbericht für Norsok, Norsk senter for økologisk landbruk, Tingvoll.
- LINDROTH P und BÖMER-SCHULTE I. 1993: Aus der Forschung am Ulmenhof – in: Hofnachrichten des Forschungsvereins für biologisch-dynamische Anbauweise und Umweltschutz e.V. und Betriebsgemeinschaft Ulmenhof.
- LINDROTH P und BÖMER-SCHULTE I 1994: Aus der Forschung am Ulmenhof – in: Hofnachrichten des Forschungsvereins für biologisch-dynamische Anbauweise und Umweltschutz e.V. und Betriebsgemeinschaft Ulmenhof.
- LINDROTH P und BÖMER-SCHULTE I. 1998: Wirkung und Bedeutung des Baldrianpräparates – Manuskript.
- LIPPERT F 1944: Apfelgas und Duftstoffversuche, Bakterienknöllchen und Düngehilfsmittel – Manuskript.

- LIPPERT F 1946: Vom Nutzen der Kräuter im Landbau – Schriftenreihe Lebendige Erde, Darmstadt 1953 (3. Auflage).
- LIPTON D S, BLANCHARD R W und BLEVINS D G 1987: Citrate, Malate, and Succinate concentration in exudates from P-sufficient and P-stressed *Medicago Sativa* seedlings. *Plant physiology* 85, 315-317.
- LONERAGAN J F. 1978: Anomalies in the relationship of nutrient concentrations to plant yield. Proc. 9<sup>th</sup> Intern. Coll. Plant Anal. And Fertil. Problems, Auckland, New Zealand, 283-298.
- LÜETKE-ENTRUP N und Oehmichen J (Hrsg.) 2000: Handbuch des Pflanzenbaues, Bd. 1: Grundlagen (2000), Bd. 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann Gelsenkirchen.
- LYNCH JP, BROWN KM 2001: Topsoil foraging—an architectural adaptation of plants to low phosphorus. *Plant and Soil* 237: 225–237.
- MARSCHNER H, 1995: Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Acad. Press. London.
- MARSCHNER H, RÖMHELD V, HORST WJ, MARTIN P. 1986. Root induced changes in the rhizosphere: importance for mineral nutrition of plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 149: 441–456.
- MARSCHNER H. 1991: Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil* 134, 1-20.
- MATAR A, TORRENT J, RYAN J. 1992. Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland Mediterranean zone. *Advances in Soil Science* 18: 81–146.
- MERTENS E. 1991: Pyrophosphate-dependent phosphofructokinase, an anaerobic glycolytic enzyme? *Federation of European Biochemical Societies Letters* 285: 1–5.
- NELSON P und MILLER M H. 1980: Corn root growth as affected by soil texture and bulk density. Rep. Dep. Res. Sci. Univ. Guelph, Ontario, Canada. 47-49.
- NEUERBURG W 1995: Schwachstellenanalyse in ökologischen Betrieben – Ausgewählte Ergebnisse aus 4-jährigen Praxiserhebungen in Rheinland-Pfalz. In: DEWES, T. und L., SCHMITT (Hrsg): Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel, Fleck-Verlag, Gießen, 229-232.
- NEUMANN G, MASSONNEAU A, LANGLADE N, DINKELAKER B, HENGELER C, RÖMHELD V, MARTINOIA E. 2000. Physiological aspects of cluster root function and development in phosphorus-deficient white lupin (*Lupinus albus* L.). *Annals of Botany* 85: 909–919.
- NEUMANN G, MASSONNEAU A, MARTINOIA E, RÖMHELD V. 1999: Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupin. *Planta* 208: 373–382.
- NEUMANN G, RÖMHELD V. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant and Soil* 211: 121–130.
- NIELSON K F et al. 1960: The influence of soil temperature on the growth and mineral composition of oats. *Can. J. Soil Sci.* 40. 255-263.
- NOWACK K.-H. 1990: Phosphorversorgung biologisch bewirtschafteter Äcker und Möglichkeiten der Bioindikation. Diss., Univ. Göttingen.
- NYE P H und TINKER P B. 1977. Solute Movement in the Soil-Root System. *Studies in Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp 342.

- OBERSON A. 1993: Phosphordynamik in biologisch und konventionell bewirtschafteten Böden des DOK-Versuchs, Diss., ETH Zürich.
- OTANI T und AE N. 1996: Sensitivity of phosphorus uptake to changes in root length and soil volume. *Agronomy Journal* 88, 371-375.
- PARKER JS, CAVELL AC, DOLAN L, ROBERTS K, GRIERSON CS. 2000. Genetic interactions during root hair morphogenesis in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 12: 1961–1974.
- PENNER H. 2003: Methoden der anthroposophischen Landwirtschaft– in: Internationaler Arbeitskreis für Verantwortung in der Gesellschaft e.V. – [www.iavq.org](http://www.iavq.org)
- PFEIFFER E KÜNZEL M SABARTH E 1935: Versuche zur Demonstration der Wirkung der Präparate 500 und 501, sowie 502-507 – *DEMETER* 10,7, S.113.
- RAGHOTHAMA K G. 1999: Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 665–693.
- REID R J, MIMURA T, OHSUMI Y, WALKER N A, SMITH F A. 2000. Phosphate transport in *Chara*: membrane transport via Na/Pi cotransport. *Plant, Cell & Environment* 23: 223–228.
- RIDGE R W. 1996: Root hairs: Cell biology and development. In: Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi eds. *Plant roots-the Hidden Half*. New York: Marcel Dekker, pp 127-147.
- RILEY M M, ADCOCK K G und BOLLAND M D A. 1993: A small increase in the concentration of phosphorus in the sawn seed increased the early growth of wheat. *J. Plant Nutr.* 16, 851-864.
- RÖEMER P. 2002-2005: zit. in: Entwicklung praxistauglicher Strategien für den ökologischen Anbau von Eiweißpflanzen am Oberrhein. Kurzfassung von J. Poetsch, W. Claupein Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim. Januar 2006.
- RÖMER W, AUGUSTIN J und SCHILLING G. 1988: The relationship between phosphate absorption and root-length in nine wheat cultivars. *Plant and Soil* 111, 199-201.
- RÜBENSAM P und RAUHE G. 1969: Boden, Klima, Düngung und Ertrag - zit. in NOWACK 1990.
- RUNGE-METZGER A. 1995: Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global security. In: Tiessen H, ed. *Phosphorus in the global environment*. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 27–42.
- RUSSELL D W. 1973: *Soil conditions and plant growth*. New York, NY, USA: Longman Group Ltd.
- RYCHTER A M, CHAUVEAU M, BOMSEL J-L, LANCE C. 1992: The effect of phosphate deficiency on mitochondria activity and adenylate levels in bean roots. *Physiologia Plantarum* 84: 80–86.
- RYCHTER A M, MIKULSKA M. 1990. The relationship between phosphate status and cyanide-resistant respiration in bean roots. *Physiologia Plantarum* 79: 663–667.
- SATTLER F und v WISTINGHAUSEN E. 1988: *Der landwirtschaftliche Betrieb, Ökologie und Landbau*. 2. Aufl.. Ulmer Eugen Verlag. Stuttgart.
- SCHACHTMAN D P, REID R J, und AYLING S M. 1998: Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447–453.

- SCHACHTSCHABEL P, BLUME H-P, BRÜMMER G, HARTGE K H, SCHWERTMANN U, 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHEFFER F und SCHACHTSCHABEL P 1992: Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- SHELLER E 1992: Die Düngungspraxis im Ökologischen Landbau - unverantwortlich oder wissenschaftlich fundiert? In: VOGTMANN, H. (Hrsg.): Ökologische Landwirtschaft – Landbau mit Zukunft. Alternative Konzepte 70, Verlag Müller, Karlsruhe, 93-110.
- SHELLER E 1993: Wissenschaftliche Grundlagen zum Verständnis der Düngungspraxis im Ökologischen Landbau - Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Rahmenbedingungen, Selbstverlag, Dipperz.
- SHELLER E. 1990: Ist Düngung nur Nährstoffersatz? - Plädoyer für eine Erweiterung des Düngungsbegriffes. Bioland 5, 35-40.
- SCHMITT (Hrsg): Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel,
- SCHULTE G 1996: Bodenchemische und bodenbiologische Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Böden in Rheinland-Pfalz unter besonderer Berücksichtigung der Nitratproblematik. Diss., Univ. Trier.
- SCHWARZ M K 1949: Beobachtung bei der Anwendung von Baldrian zur Unterstützung einer gesteigerten Blühwilligkeit bei Topfpflanzen – Mitteilungen des Forschungsrings für bio.-dyn. Wirtschaftsweise 3,12 S.19 Selbstverlag, Dipperz.
- SHARPLEY A N. 1985: Phosphorus Cycling in Unfertilized and Fertilized Agricultural Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 905 – 911.
- SMITH F W, RAE A L, HAWKESFORD M J. 2000: Molecular mechanisms of phosphate and sulfate transport in plants. Biochimica et Biophysica Acta 1465: 236–245.
- STEINER R. 1924: Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft Rudolf Steiner Verlag, Dornach/ Schweiz (1984, 7. Auflage)
- STEINGROBE B. und CLAASSEN N. 2000: Mechanistic simulation models for a better understanding of nutrient uptake from soil. In: Z. Rengel eds. Mineral Nutrition of Crops: Fundamental mechanisms and implications. N. Y. Binghamton: The Haworth Press, Inc., pp 327-367.
- THEODOROU M E, CORNEL F A, DUFF S M, PLAXTON W C. 1992: Phosphate starvation-inducible synthesis of the alpha-subunit of the pyrophosphate-dependent phosphofructokinase in black mustard suspension cells. Journal of Biological Chemistry 267: 21901–21905.
- THIEß H 1949: Erlebnisse mit Baldrian – Mitteilungen des Forschungsrings für bio.-dyn. Wirtschaftsweise 3,14 S.47.
- UEXKÜELL H R, MUTERT E. 1995: Global extent, development and economic impact of acid soils. Plant and Soil 171: 1–15.
- WERNER W. 1999: Ökologische Aspekte des Phosphor-Kreislaufs. Anthropogene Eingriffe in den globalen Phosphorkreislauf und deren Folgen für die Umwelt. UWSW Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 11 (6), 343-351.
- WILLIAMSON L C, RIBRIOUX S P, FITTER A H, LEYSER H M. 2001: Phosphate availability regulates root system architecture in Arabidopsis. Plant Physiology 126: 875–882.

---

YAN F, ZHU Y, MÜLLER C, ZÖRB C, SCHUBERT S, 2002: Adaptation of H<sup>+</sup>-pumping and plasma membrane H<sup>+</sup> ATPase activity in proteoid roots of white lupin under phosphate deficiency. *Plant Physiology* 129, 50-63.

## 7. Anhang

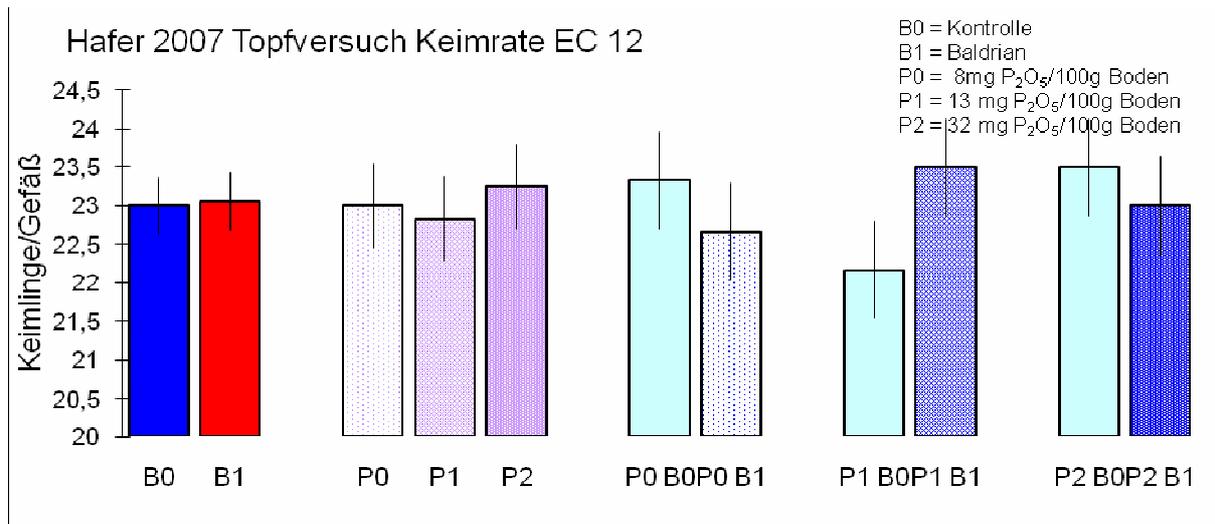


Abbildung 21: Diagramm Hafer Keimrate

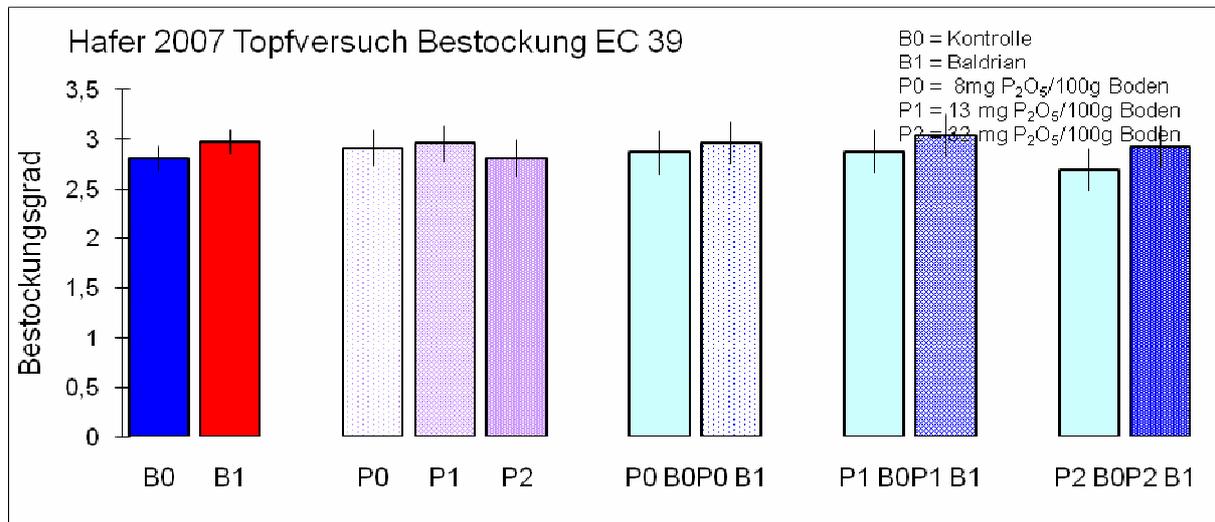


Abbildung 22: Diagramm Hafer Bestockungsgrad

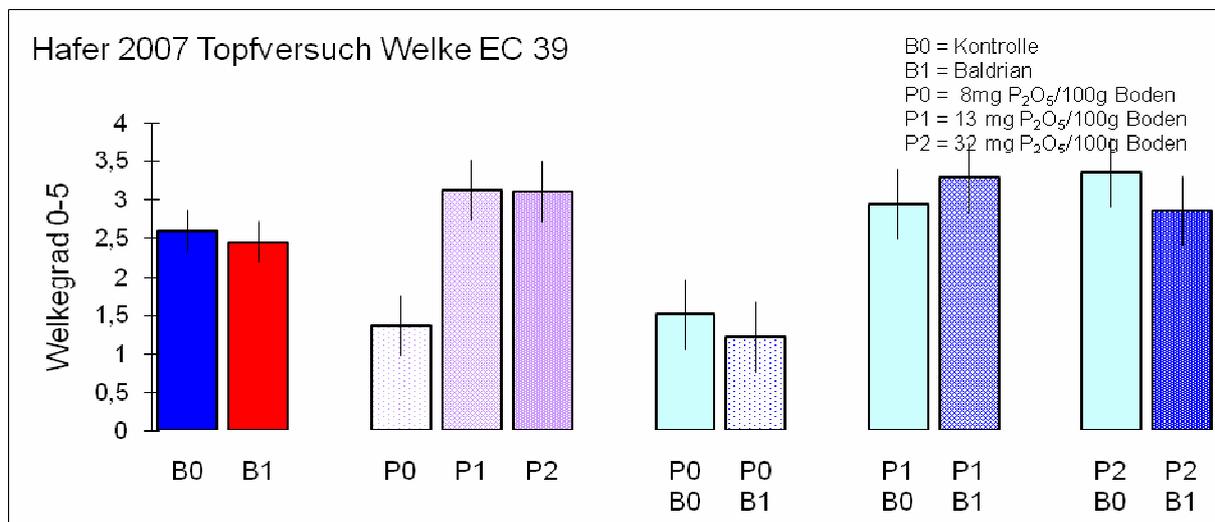


Abbildung 23: Diagramm Hafer Welkegrad

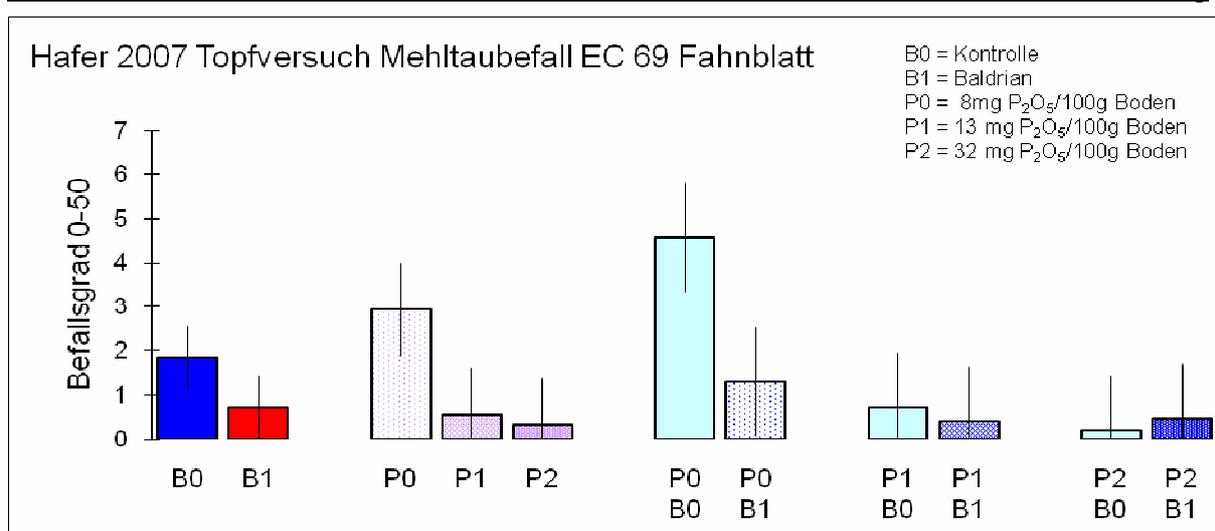


Abbildung 24: Diagramm Hafer Mehлтаubefall Fahnblatt

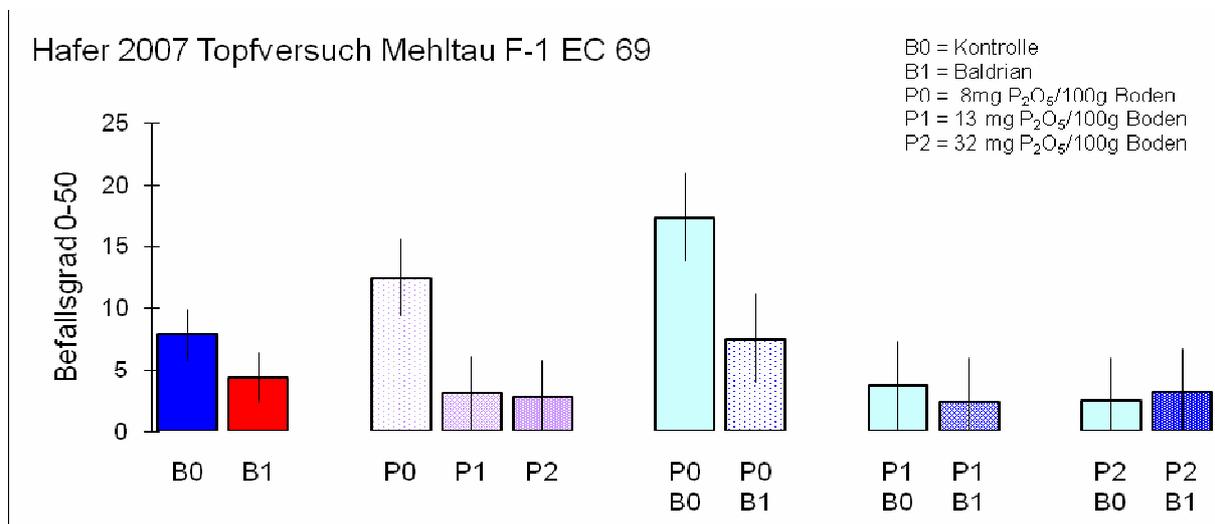


Abbildung 25: Diagramm Hafer Mehлтаubefall F-1

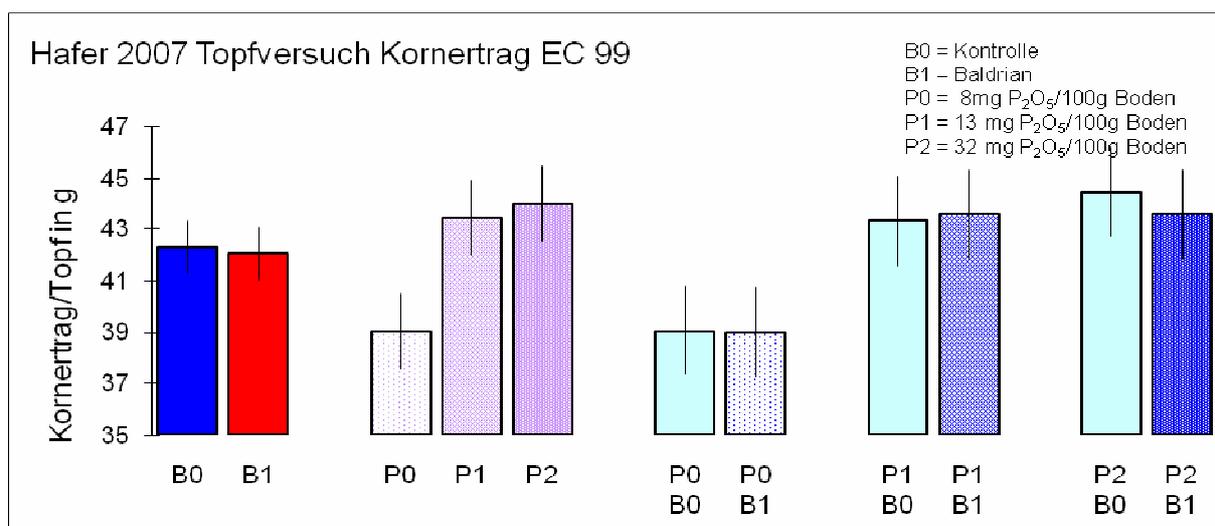


Abbildung 26: Diagramm Hafer Kornertrag

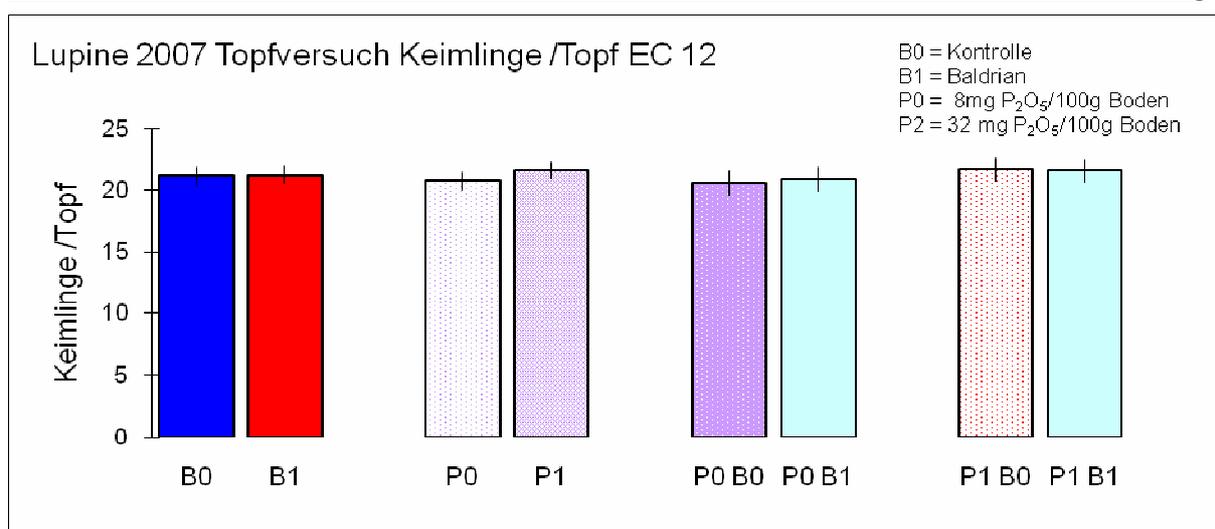


Abbildung 27: Diagramm Lupine Keimlinge/Topf

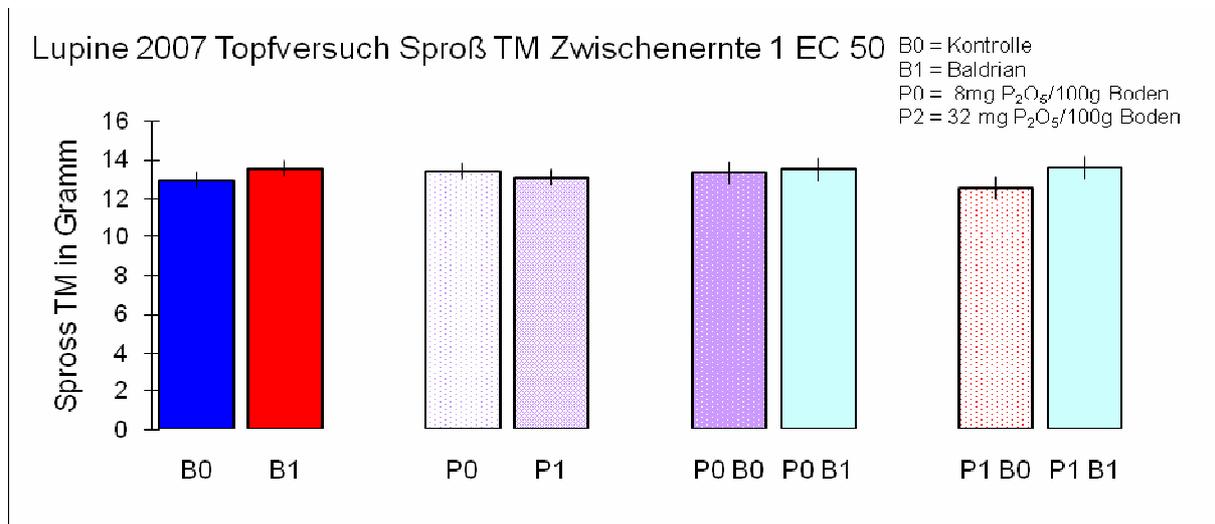


Abbildung 28: Diagramm Lupine Spross TM Z1

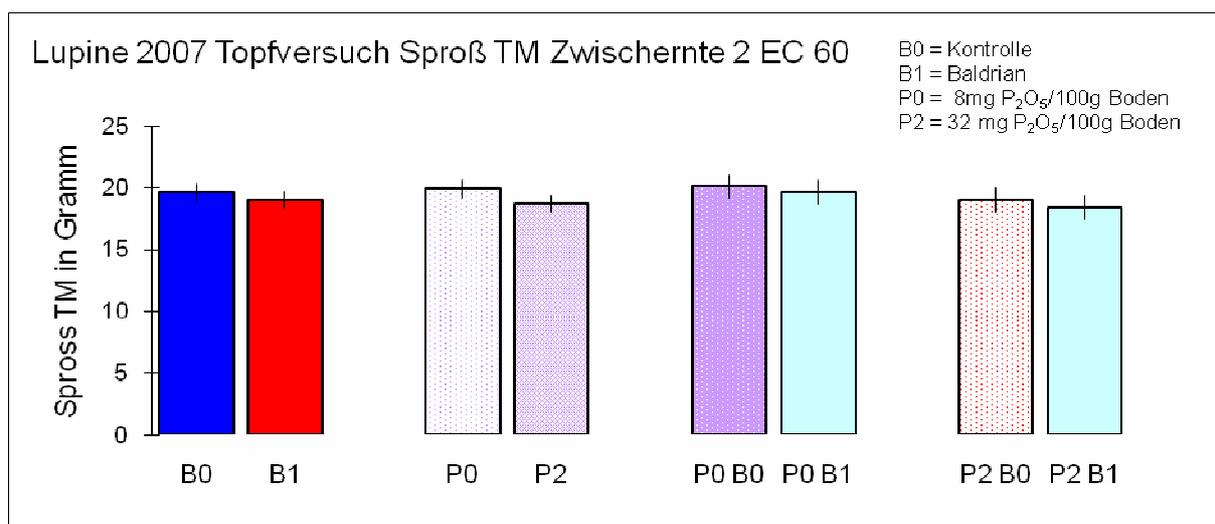


Abbildung 29: Diagramm Lupine Spross TM Z2

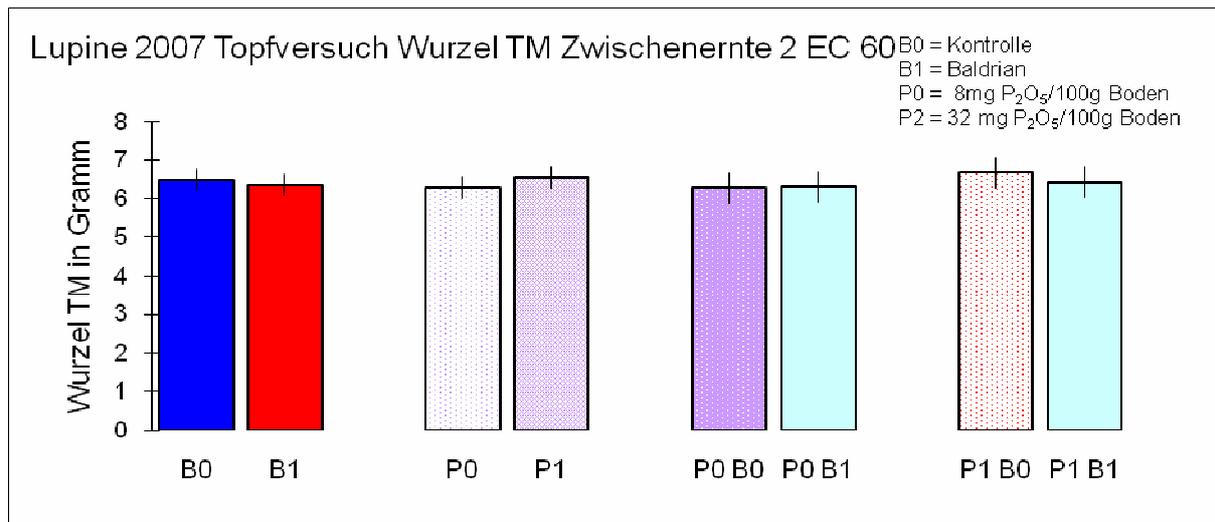


Abbildung 30: Diagramm Lupine Wurzel TM Z2

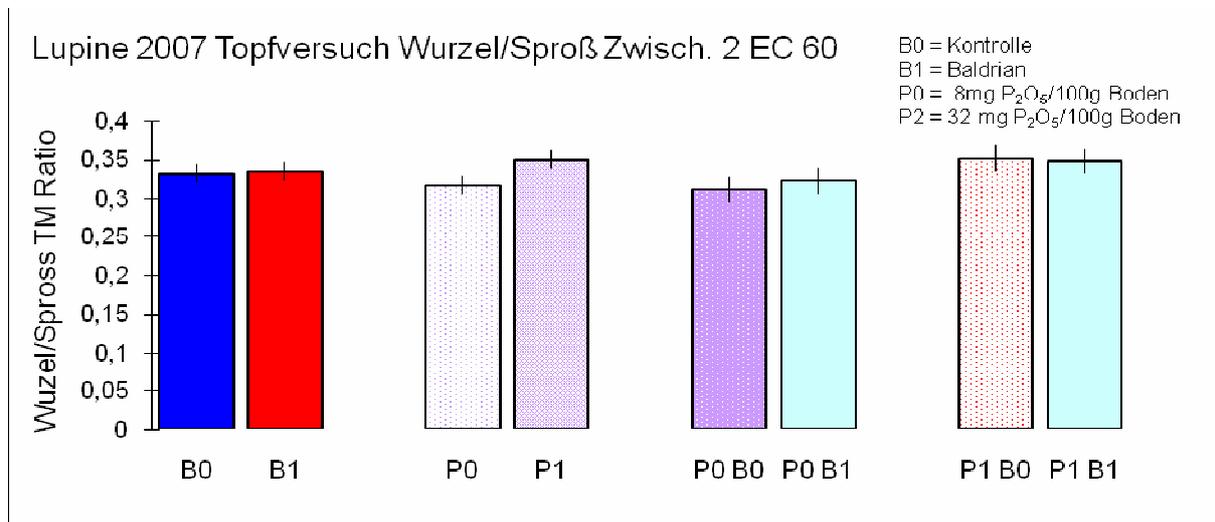


Abbildung 31: Diagramm Lupine Wurzel/Spross TM Ratio Z2

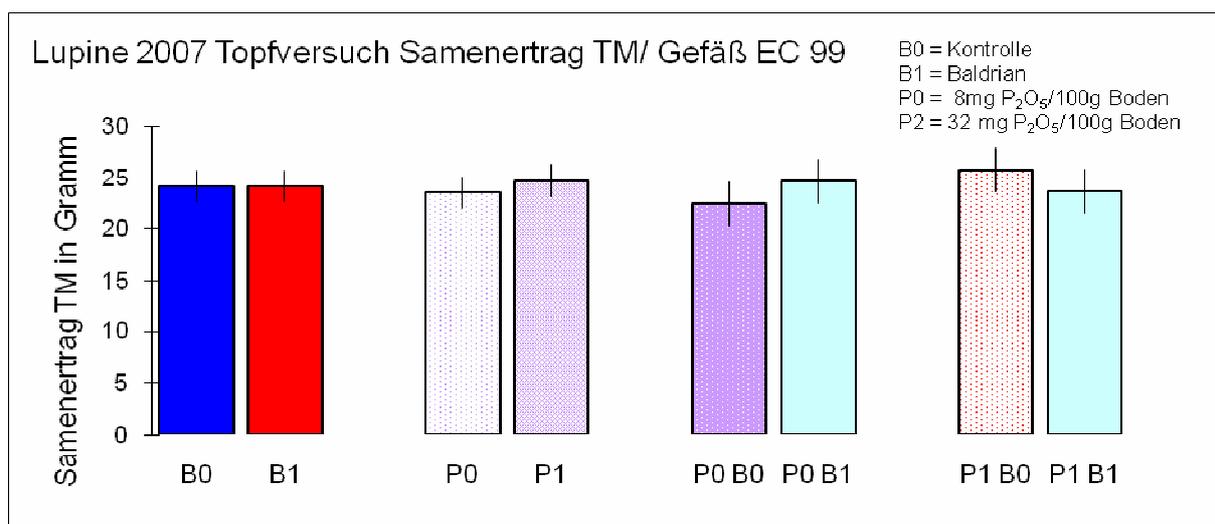


Abbildung 32: Diagramm Lupine Samenertrag

