

**Ursachen und Auswirkungen der Ausbreitung  
von *Lupinus polyphyllus* Lindl. im Bergwiesenökosystem der Rhön  
und Maßnahmen zu seiner Regulierung**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)  
am Fachbereich Agrarwissenschaften,  
Ökotoxikologie und Umweltmanagement der  
Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von  
Dipl.-Ing. agr. Harald Volz

Dekan: Prof. Dr. Wolfgang Köhler

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Annette Otte

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. Wilhelm Opitz von Boberfeld

Gießen, 14. Oktober 2003

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Anlass der Untersuchungen.....	2
1.2	Untersuchungskonzept .....	5
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>7</b>
2.1	Bedeutung von <i>Lupinus polyphyllus</i> für mitteleuropäische Biotoptypen.....	7
2.1.1	Etablierungsprozesse .....	7
2.1.2	Ausbreitungswege .....	8
2.2	Botanische und biologische Kennzeichen von <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.....	9
2.2.1	Herkunft .....	9
2.2.2	Taxonomie .....	10
2.2.3	Einführung und Verbreitung in Deutschland .....	10
2.2.4	Morphologie .....	12
2.2.5	Standortansprüche von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	13
2.3	<i>Lupinus polyphyllus</i> in Bergwiesen der Rhön.....	14
2.3.1	Geranio sylvatici-Trisetetum flavescens (Knapp ex Oberdorfer 1957) in der Rhön.....	14
2.3.2	Übergang zum Borstgrasrasen (Nardetalia) .....	16
2.3.3	Übergang zu Nasswiesen.....	17
<b>3</b>	<b>Untersuchungsgebiete in der Rhön .....</b>	<b>18</b>
3.1	Naturräumliche Voraussetzungen .....	18
3.1.1	Naturraum.....	18
3.1.2	Geologische Verhältnisse und Böden.....	18
3.1.3	Klima .....	19
3.1.4	Potenzielle natürliche Vegetation .....	20
3.2	Kulturlandschaftsentwicklung .....	21
3.3	Einwanderungsgeschichte von <i>Lupinus polyphyllus</i> in der Rhön.....	23
3.3.1	Untersaat in Fichtenaufforstungen.....	23
3.3.2	Wildäsungs- und Deckungspflanze .....	24
3.3.3	Rohbodenpionier zur Böschungsbegrünung .....	24
3.3.4	Ausbreitung durch Gartenabfälle .....	25
3.2	Lage der Untersuchungsgebiete und Probestellen.....	26
<b>4</b>	<b>Methoden.....</b>	<b>29</b>
4.1	Dokumentation und Auswertung vegetationskundlicher Bestandsaufnahmen.....	29
4.2	Flächige Erfassung von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	30
4.2.1	Auswertung von Luftbildern .....	30
4.2.2	Detailerfassung in großem Maßstab (1:250) .....	31
4.3	Erfassung populationsbiologischer Parameter.....	31
4.3.1	Diasporenbank .....	32

4.3.1.1	Tetrazolium-Test zur Ermittlung der potenziellen Keimungsfähigkeit .....	32
4.3.1.2	Diasporenvorrat im Boden .....	32
4.3.1.3	Lebensdauer von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Samen .....	33
4.3.1.4	Temperaturansprüche bei der Keimung und Keimungsraten .....	33
4.3.1.5	Keimlingsversuche im Freiland .....	34
<b>4.3.2</b>	<b>Keimlingsentwicklung und Mortalitätsraten.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Samenproduktion.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Untersuchungen zur Vegetations- und Biomasseentwicklung bei maschinellen Pflegemaßnahmen .....</b>	<b>35</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Auswahl und Einrichtung der Versuchsanlage.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Pflegemaßnahmen.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Dokumentationsmethoden.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Biomassebestimmungen.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5</b>	<b>Biomasseentwicklung und Nährstoffhaushalt.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Ermittlung der Biomasseproduktion.....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Interner Nährstoffhaushalt von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>38</b>
<b>4.6</b>	<b>Auswertungsmethoden.....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Aktuelle Verbreitung von <i>Lupinus polyphyllus</i> und Einnischung in die Grünlandgesellschaften der Rhön.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Verbreitung von <i>Lupinus polyphyllus</i> im NSG „Lange Rhön“ (1998).....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Aktuelle Pflanzengesellschaften mit <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2</b>	<b>Vegetationsdynamik auf den Teilflächen des Transekts Heidelberg.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Vegetationsveränderungen zwischen 1997 und 2001.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Ausbreitungsgeschwindigkeit von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3</b>	<b>Populationsbiologische Untersuchungen an <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Diasporenbank .....</b>	<b>51</b>
5.3.1.1	Keimungsfähigkeit von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	51
5.3.1.2	Samendichte in der Diasporenbank von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	52
5.3.1.3	Keimungsfähigkeitstests an vergrabenen Samen.....	53
5.3.1.4	Temperaturansprüche bei der Keimung .....	55
5.3.1.5	Keimungsversuche im Freiland .....	57
<b>5.3.2</b>	<b>Keimlingsentwicklung und Mortalitätsrate .....</b>	<b>58</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Samenproduktion.....</b>	<b>59</b>
5.3.3.1	Individuelle Samenproduktion.....	59
5.3.3.2	Samenproduktion pro Fläche .....	60
<b>5.3.4</b>	<b>Ausstreuen der Samen.....</b>	<b>61</b>
5.3.4.1	Tausendkornmasse .....	61
5.3.4.2	Verteilung der Samen im Raum.....	62
<b>5.3.5</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4</b>	<b>Biomasseentwicklung und Nährstoffhaushalt.....</b>	<b>64</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Interner Nährstoffhaushalt von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Verlauf der Vegetationsperiode 1998.....</b>	<b>64</b>

---

5.4.1.1	Stickstoff (N) .....	64
5.4.1.2	Phosphor (P) .....	67
5.4.1.3	Kalium (K).....	68
5.4.1.4	Kalzium (Ca) .....	69
5.4.1.5	Magnesium (Mg) .....	71
<b>5.4.2</b>	<b>Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen in Beständen ohne <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>72</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen in Beständen mit <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>73</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Nährstoffentzug bei verschiedenen Mahdzeitpunkten.....</b>	<b>75</b>
<b>5.5</b>	<b>Pflegeversuche mit Maschinen .....</b>	<b>76</b>
<b>5.5.1</b>	<b>Entwicklung der Vegetation und Biomasseproduktion .....</b>	<b>77</b>
5.5.1.1	Null-Varianten.....	78
5.5.1.2	1-Schnitt-Juni-Variante .....	79
5.5.1.3	2-Schnitt-Juni + August-Variante .....	81
5.5.1.4	1-Schnitt-Juli-Variante .....	83
<b>5.5.2</b>	<b>Hauptkomponentenanalyse der floristischen Daten (PCA).....</b>	<b>85</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Beurteilung der Pflege-Varianten und Entwicklung der <i>Lupinus</i>-Biomasse .....</b>	<b>86</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Fazit der Pflegeversuche .....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Abschließende Betrachtung.....</b>	<b>92</b>
<b>6.1</b>	<b>Die Bedeutung der anthropogenen Fernausbreitung des Neophyten <i>Lupinus polyphyllus</i> in das Bergwiesenökosystem der Rhön.....</b>	<b>92</b>
<b>6.2</b>	<b>Funktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> als Schlüsselart im Bergwiesenökosystem der Rhön.....</b>	<b>93</b>
6.2.1	Schichtenumbau in der Vegetation.....	94
6.2.2	Populationsbiologische Eigenschaften.....	94
6.2.3	Biomasseproduktion und Nährstoffhaushalt .....	96
<b>6.3</b>	<b>Einfluss von Nutzungsveränderungen auf den Hochflächen der Rhön für die Ausbreitung von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....</b>	<b>98</b>
<b>6.4</b>	<b>Regulierungsmöglichkeiten von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Bergwiesenökosystem der Rhön.....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>Summary .....</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>109</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>120</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b>	Lage des Biosphärenreservates Rhön und des NSG „Lange Rhön“ .....	18
<b>Abb. 2:</b>	Monatliche Niederschlagssummen der Wetterstationen Wasserkuppe, Weiherhof und Bischofsheim im Untersuchungszeitraum 1997–1999. Mittelwerte der monatlichen Niederschlagssummen der Wetterstationen Wasserkuppe aus den Jahren 1950–2000 .....	19
<b>Abb. 3:</b>	Monatliche Durchschnittstemperaturen der Wetterstationen Wasserkuppe, Weiherhof und Bischofsheim im Untersuchungszeitraum 1997–1999. Mittelwerte der monatlichen Durchschnittstemperaturen der Wetterstationen Wasserkuppe aus den Jahren 1950–2000 .....	20
<b>Abb. 4:</b>	NSG „Lange Rhön“ 1950: Blick vom Leitgraben Richtung Heidelberg. <i>Lupinus</i> - Bestand in Fichtenaufforstung von 1942 (Foto: R. Omert, Ginolfs) .....	23
<b>Abb. 5:</b>	Übersichtskarte der Untersuchungsflächen (Maßstab ca. 1:100.000; aus TK 1:100.000, C 5526 Meiningen) .....	26
<b>Abb. 6:</b>	Schematische Darstellung des Lebenszyklus von <i>Lupinus polyphyllus</i> mit Angabe der ausgeführten populationsbiologischen Untersuchungen (angelehnt an das Lebenszyklus-Schema von Urbanska 1992) .....	31
<b>Abb. 7:</b>	Übersichtsplan der Versuchsanlage am Standort Herrenwasser .....	35
<b>Abb. 8:</b>	NSG „Lange Rhön“ (11.06.99): Leitgraben zur Hauptblütezeit von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	40
<b>Abb. 9:</b>	Verbreitung von <i>Lupinus polyphyllus</i> im NSG „Lange Rhön“ (1998) .....	41
<b>Abb. 10:</b>	Heidelberg (21.06.98): Luftbild des Heidelberg Nordhangs zur Hauptblüte von <i>Lupinus polyphyllus</i> mit eingezeichneter Transektfläche .....	46
<b>Abb. 11:</b>	Übersicht der Vegetationsaufnahmen am Transekt Heidelberg .....	47
<b>Abb. 12:</b>	Heidelberg (30.06.98): <i>Arnica montana</i> wird von <i>Lupinus polyphyllus</i> überwachsen .....	47
<b>Abb. 13:</b>	Heidelberg (24.08.99): <i>Lupinus</i> - Dominanzbestand mit Begleitflora <i>Cirsium palustre</i> , <i>Urtica dioica</i> und <i>Galium aparine</i> .....	48
<b>Abb. 14:</b>	Probefläche Heidelberg; Kartierter <i>Lupinus</i> - Bestand in Ausbreitung .....	50
<b>Abb. 15:</b>	Keimungsfähigkeitsraten von <i>Lupinus polyphyllus</i> nach einem Tetrazoliumtest (n=500) und eine Woche nach Anritzen der Diasporen (n=750; Wechseltemperatur 5/15 °C) .....	51
<b>Abb. 16:</b>	Box-Whisker Plots für das Keimlingsaufkommen von <i>Lupinus polyphyllus</i> pro m <sup>2</sup> in <i>Lupinus</i> -Dominanzbeständen. (Median aus jeweils vier Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.) .....	52
<b>Abb. 17:</b>	Potenziell keimungsfähige Restsamen und Keimlinge (%) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Untersuchungszeitraum August 1998 bis Juni 2002 .....	54
<b>Abb. 18:</b>	Potenziell keimungsfähige Restsamen und Keimlinge (%) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Untersuchungszeitraum August 1999 bis Dezember 2001 .....	54
<b>Abb. 19 a–j:</b>	Keimungsraten der Diasporen von <i>Lupinus polyphyllus</i> nach sechs Wochen im Keimschrank (n=6). Temperaturansprüche bei der Keimung (WT=Wechseltemperatur bei 5/15°C) .....	56
<b>Abb. 20:</b>	Box-Whisker Plots für kumulative Keimlingsaufkommen von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Freiland, n=100 Samen bei 20 Wiederholungen (*Restsamen: potenziell keimungsfähige Samen nach Versuchsende) .....	57
<b>Abb. 21:</b>	Verteilung von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Keimlingen während der Vegetationsperiode 1999 am Standort Heidelberg (auf Rasterflächen 10 m*10 cm) .....	58
<b>Abb. 22:</b>	Stirnberg 17.04.98: Keimlinge von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Keimblattstadium .....	58
<b>Abb. 23:</b>	Samenproduktion je Einzelpflanzen von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg; jeweils unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> im Dominanzbestand und einzeln stehend (Median aus jeweils zehn Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.) .....	59

<b>Abb. 24:</b>	Samenproduktion ( $\text{m}^2$ ) in Dominanzbeständen von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg (Median aus jeweils acht Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.) .....	60
<b>Abb. 25:</b>	Tausendkornmasse der Samen von <i>Lupinus polyphyllus</i> der Standorte Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Median aus jeweils 20 Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.) .....	61
<b>Abb. 26:</b>	Verteilungsmuster von <i>Lupinus polyphyllus</i> - Samen um die Mutterpflanze unter Versuchsbedingungen .....	62
<b>Abb. 27:</b>	Samendichte (%) von <i>Lupinus polyphyllus</i> um die Mutterpflanze .....	62
<b>Abb. 28:</b>	Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	65
<b>Abb. 29:</b>	Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (22.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	65
<b>Abb. 30:</b>	Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen Fraktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	67
<b>Abb. 31:</b>	Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf (Leitgraben), (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6). .....	68
<b>Abb. 32:</b>	Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der vegetativen oberirdischen Fraktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	70
<b>Abb. 33:</b>	Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der vegetativen oberirdischen Fraktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	71
<b>Abb. 34:</b>	Stickstoffgehalte ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) in der Wurzel (> 5 mm) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	74
<b>Abb. 35:</b>	Luftbild der Versuchsanlage am Herrenwasser (21.06.98) .....	77
<b>Abb. 36:</b>	Trockenbiomasse der Null-Varianten; unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> , Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen) .....	78
<b>Abb. 37:</b>	Trockenbiomasse der 1-Schnitt-Juni-Variante; unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> , Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen) .....	79
<b>Abb. 38:</b>	Trockenbiomasse der 2-Schnitt-Juni + August-Variante; unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> , Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen) .....	81
<b>Abb. 39:</b>	Trockenbiomasse der 1-Schnitt-Juli-Variante; unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> , Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen) .....	83
<b>Abb. 40:</b>	Ordinationsdiagramm einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Entwicklung von Vegetationsaufnahmen (1997-2001) durch <i>Lupinus</i> -Pflegeversuche am Standort Herrenwasser .....	85
<b>Abb. 41:</b>	Biomasseproduktion (TM) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der <u>Mahd</u> -Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4) .....	87
<b>Abb. 42:</b>	Biomasseproduktion (TM) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der <u>Mulch</u> -Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4) .....	88
<b>Abb. 43:</b>	Biomasseproduktion (TM) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der <u>Schlegel</u> -Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4) .....	89
<b>Abb. 44:</b>	Vergleich potenzieller Nährstoffentzüge von <i>Lupinus</i> -Dominanzbeständen und Goldhaferwiesen am Standort Leitgraben zum Erntetermin 14.07.1999 .....	97

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b>	Kennzeichen der Untersuchungsflächen .....	28
<b>Tab. 2:</b>	Schätzskala zur Vegetationsaufnahme .....	29
<b>Tab. 3:</b>	Klassifizierungsschema zur Darstellung von <i>Lupinus polyphyllus</i> in Flurkarten .....	30
<b>Tab. 4:</b>	Pflegekonzept der Versuchsanlage Herrenwasser: Bearbeitungstermine und Pflege-Varianten mit jeweiliger Anzahl der Teilflächen .....	36
<b>Tab. 5:</b>	Klassifizierungsschema zur Darstellung von <i>Lupinus polyphyllus</i> in Flurkarten .....	40
<b>Tab. 6:</b>	Pflanzengesellschaften mit <i>Lupinus polyphyllus</i> in der Rhön .....	45
<b>Tab. 7:</b>	Vegetationstabelle der Transektfläche Heidelberg aus den Jahren 1997, 1999 und 2001 .....	49
<b>Tab. 8:</b>	Tabellarische Übersicht der Ausbreitung von <i>Lupinus polyphyllus</i> am Transekt Heidelberg im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2001 .....	50
<b>Tab. 9:</b>	Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen (14.07.99) der Flächen ohne <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Standorten Leitgraben (L) und Herrenwasser (HW) (n=2) .....	72
<b>Tab. 10:</b>	Biomasseproduktion und Nährstoffgehalte einer Goldhaferwiese ohne <i>Lupinus polyphyllus</i> am Standort Leitgraben (1999) (n=2) .....	72
<b>Tab. 11:</b>	Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen von <i>Lupinus polyphyllus</i> und deren Begleitflora am Standort Leitgraben (1999) (n=2) .....	73
<b>Tab. 12:</b>	Vergleich potenzieller Nährstoffentzüge von Goldhaferwiesen und Lupinus-Beständen (Deckungsgrad > 80 % <i>Lupinus polyphyllus</i> ) zu verschiedenen Mahdzeitpunkten am Standort Leitgraben (1999) .....	75
<b>Tab. 13:</b>	Bewertung der Pflege-Varianten in Bezug auf die Regulierung von <i>Lupinus polyphyllus</i> und die floristische Entwicklung des Bestandes (+ = positiv, - = negativ, . . = indifferent) .....	101

## 1 Einleitung

Die Landschaften Mitteleuropas stehen an einem Scheideweg. Einerseits sind die Kulturlandschaften ertragreicher Standorte durch landwirtschaftliche Methoden überprägt, andererseits sind die heute noch existierenden historisch gewachsenen Kulturlandschaften, v. a. in strukturschwachen Regionen, wo noch bis in die jüngste Vergangenheit kleinbäuerliche Landwirtschaft betrieben wurde, inzwischen Grenzertragsstandorte und fallen aus der Nutzung. Diese Kulturlandschaften mit ihrem wertvollen Arteninventar stehen vor einer neuen Herausforderung. Die soziokulturelle Bereitschaft, auf traditionelle Weise Landwirtschaft zu betreiben, verschwindet. Gleichzeitig werden die Agrarpreise innerhalb der EU den Weltmarktpreisen angeglichen, was zum weiteren Nutzungsausfall dieser landwirtschaftlichen Flächen führt.

Aus naturschutzfachlicher und kulturhistorischer Sicht wird in der Rhön versucht, auf für schützenswert erachteten Flächen diesen Nutzungswandel aufzuhalten (Vertragsnaturschutz), was oft nicht ohne Nebenwirkungen einhergeht, wie das Beispiel der Ausbreitung der Stauden-Lupine (*Lupinus polyphyllus*) zeigt. Die damit verbundene Gefährdung der Wiesenvegetation durch *Lupinus polyphyllus* findet bereits bei BOHN (1981), GEIER & GREBE (1987) und BARTH (1995) Erwähnung. Großflächig überwachsen *Lupinus*-Herden artenreiche Storchschnabel-Goldhaferwiesen und Borstgrasrasen im Naturschutzgebiet (NSG) „Lange Rhön“ und ersetzen diese durch *Lupinus*- Dominanzbestände, die einen hohen Anteil an Ruderalarten (*Urtica dioica*, *Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit*) aufweisen. Zusätzlich verändert *Lupinus polyphyllus* den Nährstoffzustand von silikatischen Bergwiesen-Ökosystemen dieser Kulturlandschaft nachhaltig, so dass unter nährstoffärmeren Bedingungen wachsende Grünlandökosysteme verdrängt werden. Nach der FFH-Richtlinie ausgewiesene prioritäre Lebensraumtypen (Borstgrasrasen) und Goldhaferwiesen werden dadurch verändert.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Ursachen für die Etablierung von *Lupinus polyphyllus* in Bergwiesen der Rhön dargestellt und analysiert werden. Aus diesen Ergebnissen wird ein Maßnahmenkatalog für den zukünftigen Umgang mit *Lupinus polyphyllus* abgeleitet, um das aus naturschutzfachlicher und kulturhistorischer Sicht schützenswerte Bergwiesen-Ökosystem der Rhön in seinem Bestand zu erhalten.

Der vorliegenden Arbeit liegen folgende Fragen zugrunde:

1. Welche Ursachen sind für die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* verantwortlich?
2. Welche Folgen hat die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* auf die Biomasseproduktion, die Nährstoffentwicklung und das Artenspektrum von geschützten Biotoptypen im Biosphärenreservat Rhön?
3. Wie können Veränderungen der Artenspektren von Bergwiesen, in die *Lupinus polyphyllus* eingedrungen ist, rückgängig gemacht werden?

### 1.1 Anlass der Untersuchungen

Die Rhön wurde 1991 von der UNESCO als Biosphärenreservat (BR) ausgewiesen. Diese sind wie folgt durch die Arbeitsgruppe der Biosphärenreservate in Deutschland (ANONYMUS 1995a) definiert:

„Biosphärenreservate sind großflächige, repräsentative Ausschnitte von Natur- und Kulturlandschaften, die zum überwiegenden Teil ihrer Fläche unter gesetzlichem Schutz stehen. In ihnen werden - gemeinsam mit den hier lebenden und wirtschaftenden Menschen - beispielhafte Konzepte zu Schutz, Pflege und Entwicklung erarbeitet und umgesetzt.“

Die handlungsbestimmenden, nationalen Leitlinien im BR Rhön bilden die Grundlage für die Zonierung in drei Gebietskategorien. 2,1 % der Fläche des BR Rhön sind als Kernzone (Zone I) mit naturnahen Laubwäldern und Mooren ausgewiesen (ANONYMUS 1995b). Dort hat der Schutz natürlicher bzw. naturnaher Ökosysteme höchste Priorität, und eine landwirtschaftliche Nutzung darf nur ihrer gezielten Pflege und Erhaltung dienen. Die Pflegezone (Zone II) dient der Erhaltung und Pflege von Ökosystemen, die für den Charakter und die Eigenart der Rhönlandschaft besonders bedeutsam sind. Aufgrund ihres hohen Flächenanteils (36,4 %) wurde sie in zwei Zonen unterteilt: Die Pflegezone A mit 7,8 % umfasst u. a. die Hochlagen der Hohen Rhön. Dort sind Landschaftspflegemaßnahmen der Schlüsselfaktor für den Schutz der Landschaft mit ihrer Pflanzen- und Tierwelt. Die Pflegezone B mit 28,7 % umfasst die sonstigen, für den Natur- und Lebensraum Rhön besonders charakteristischen Kulturlandschaften. Die Entwicklungszone (Zone III) mit fast 60 % Flächenanteil ist der Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum der Bevölkerung im BR Rhön. Die vorliegende Forschungsarbeit bezieht sich ausschließlich auf die Flächen der Pflegezonen, insbesondere auf die Flächen der Pflegezone A.

Für die Erhaltung der Kulturlandschaft Rhön wird der Landwirtschaft die wichtigste Rolle bei der Bewahrung des hohen ökologischen Wertes zugeschrieben. Die allgemeinen Leitbilder für die Landnutzung im BR Rhön sind im Rahmenkonzept BR Rhön (ANONYMUS 1995b) wie folgt beschrieben:

- ◆ Aufrechterhaltung bzw. Umstellung auf umweltschonende Nutzungsformen und Nutzungsintensitäten (Ressourcenschutz, Nachhaltigkeit),
- ◆ keine wesentliche Belastung von Boden, Wasser und Luft sowie der Lebensräume von Tieren und Pflanzen und
- ◆ Erhaltung und Weiterentwicklung herkömmlicher Nutzungsformen zur Pflege der Kulturlandschaft.

Die „Lange Rhön“ (Pflegezone A) birgt aufgrund ihrer Größe Lebensraum für europaweit gefährdete, hochspezialisierte Tier- und Pflanzenarten (ANONYMUS 1995b). Zwischen 1982 und 1996 wurde die „Lange Rhön“ mit 2666 ha Fläche zum NSG ausgewiesen. Die primäre Leitart dieser Bergwiesenlandschaft ist das Birkhuhn (*Tetrao tetrix*), welches in der Rhön eines seiner wichtigsten Vorkommen in Mitteleuropa hat (MÜLLER & KOLB 1997). Darüber hinaus bieten die offenen Grünlandgebiete Lebensraum für andere Wiesenbrüter wie Wachtelkönig (*Crex crex*), Bekassine (*Gallinago gallinago*), Wiesenpieper (*Anthus pratensis*) und Steinschmätzer (*Oenanthe oenanthe*); (ANONYMUS 1998a).

Die Untersuchung begründet sich auf der Verordnung über das NSG „Lange Rhön“, wo in § 3 Absatz 1, 2 und 4 der Schutzzweck festgelegt ist (ANONYMUS 1996):

### § 3 Schutzzweck

Zweck der Festlegung des NSG ist es:

1. die durch die Tier- und Pflanzenwelt bestimmte Eigenart des Gebietes zu bewahren und seine charakteristischen Landschaftselemente zu erhalten,
2. das dortige Birkwildvorkommen und dessen Lebensraum zu erhalten und zu verbessern, insbesondere die für den Fortbestand dieser Tiere notwendigen Balz, Brut- und Nahrungsbiotope sowie Einstandsgebiete zu sichern; sowie Flächen, die mit Naturschutzmitteln von einem gemeinnützigen Träger erworben wurden, teilweise in Laubholzbestände umzuwandeln bzw. auf diesen Flächen die für das Birkwild notwendigen Freiräume zu schaffen.
3. sonstigen Pflanzen und Tieren, insbesondere seltenen und gefährdeten Arten, den Lebensraum zu sichern.

Das NSG „Lange Rhön“ ist als Fauna-Flora-Habitat-Gebiet gemeldet. Zentrales Ziel der Richtlinie ist die Erhaltung der natürlichen Biodiversität in „Gebieten von gemeinschaftlicher Bedeutung“, die Bestandteil des europäischen Schutzgebietsnetzes „Natura 2000“ sind. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten zur Beobachtung der Bestandsentwicklung der Populationen und der Entwicklung der Lebensräume, um bei Eintritt eines ungünstigen Erhaltungszustandes Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Des Weiteren müssen Grundlagen erforscht werden, die zur Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen notwendig sind, z. B. zur Ökologie und Verbreitung der Arten oder zur erforderlichen Pflege bzw. Bewirtschaftung der Lebensraumtypen und Habitate (RUDOLPH 2000).

### **Veränderung der Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft:**

Unter den heutigen Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft und den Einschränkungen durch das Naturschutzgesetz besteht kaum noch Nutzungsinteresse am Grünland der Hochrhön. Durch die Intensivierung in der Landwirtschaft fallen Grenzertragsstandorte aus der Produktion. Gleichzeitig fordert die Mechanisierung immer größere Flächeneinheiten zur Bewirtschaftung. Durch naturschutzfachliche Bemühungen wird versucht, über Verordnungen (ANONYMUS 1996) und Subventionen (Vertragsnaturschutz, ANONYMUS 1997b) die Kulturlandschaft zu erhalten. Das primäre wirtschaftliche Interesse der Landwirte sind die Flächenprämien, die an bestimmte Bewirtschaftungsauflagen gekoppelt sind. In der Praxis kommt es zu folgenden Veränderungen in der Bewirtschaftung und den damit verbundenen Auswirkungen für *Lupinus polyphyllus*:

- ◆ Durch die Schutzgebietsverordnungen ist der Beginn der jährlichen Mahd und die Heugewinnung nicht mehr an Schönwetterperioden gebunden, die eine schnelle Trocknung ermöglichen und dadurch zu qualitativ hochwertigerem Futter führen. Administrative Verordnungen, die eine späte Bewirtschaftung (ab 10. August im Kernbereichen des Schutzgebietes) vorgeben, ermöglichen die Ausreifung der Samen von *Lupinus polyphyllus*, wodurch die Chance ihrer autochoren Ausbreitung steigt.
- ◆ Ferner ist der Stichtag, bis zu dem die Flächen geräumt werden müssen, mit dem 31. Oktober zu spät angesetzt. Die reifen Samen werden durch die Schlepperreifen in den Oberboden eingedrückt und zusätzlich fernausgebreitet.
- ◆ Die Flächen werden nur noch minimal bewirtschaftet, um lediglich die Flächenprämie zu erhalten (Minimalpflege). Steinriegel und Randbereiche werden bei der Mahd großflächig ausgespart und die Grabenbereiche nicht mehr ausgemäht. In diesen ungenutzten Bereichen kann sich *Lupinus polyphyllus* ungehindert etablieren und reproduzieren.

- ◆ Die Räumung der Entwässerungsgräben ist nach §4 Abs. 8 verboten (ANONYMUS 1996). Vernässte Standorte, in denen sich *Lupinus polyphyllus* bevorzugt einnisch, können auch aufgrund des hohen Maschinengewichtes nicht mehr gemäht werden.
- ◆ Durch den Maschineneinsatz kommt es zur Verletzung der Grasnarbe, es werden dadurch ideale Keimungsbedingungen für *Lupinus polyphyllus* geschaffen. Mit den landwirtschaftlichen Maschinen werden *Lupinus*-Samen verschleppt und eingearbeitet.

## 1.2 Untersuchungskonzept

Um die Ursachen für den Erfolg von *Lupinus polyphyllus* im Bergwiesenökosystem der Rhön zu ermitteln, wurde folgendes Untersuchungskonzept entwickelt:

- ◆ Die aktuelle Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* im NSG „Lange Rhön“ wurde über die Auswertung von Luftbildern (1998) erfasst. Diese Dokumentation ermöglicht eine aktuelle Problembeschreibung und ein zukünftiges flächiges Monitoring, bei dem in regelmäßigen Zeitabständen (ca. fünf Jahre) die weitere Ausbreitung verfolgt bzw. der Erfolg von Maßnahmen zur Regulierung von *Lupinus polyphyllus* dokumentiert werden kann.
- ◆ Die botanischen Kennzeichen von *Lupinus polyphyllus* und die historische Analyse des Einwanderungsprozesses gaben Aufschluss über deren Etablierungsweg im NSG „Lange Rhön“.
- ◆ Zur Beschreibung, in welchen Biotoptypen *Lupinus polyphyllus* aktuell vorkommt, wurden diese vegetationskundlich dokumentiert und hinsichtlich wichtiger Umweltfaktoren interpretiert.
- ◆ Die räumliche und zeitliche Entwicklung von *Lupinus*-Beständen und deren Begleitarten wurde durch wiederholte Vegetationsaufnahmen auf Transektflächen (10 m\*10 m) erfasst. Zusätzlich lieferten punktgenaue Aufnahmen auf 2000 m<sup>2</sup> detaillierte Informationen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit von *Lupinus polyphyllus*.
- ◆ Populationsbiologische Untersuchungen an *Lupinus polyphyllus* dienen dazu, Eigenschaften wie Keimungsfähigkeit, den Aufbau der Diasporenbank und das Keimungsverhalten zu dokumentieren, wodurch die Lebens- und Ausbreitungsstrategie ermittelt werden konnte. Außerdem lieferten Untersuchungen zur Keimlingsentwicklung zeitliche und strukturelle Parameter, um empfindliche Stadien im Lebenszyklus von *Lupinus polyphyllus* quantitativ zu erfassen.

- 
- ◆ Zum Nachweis, in welchem quantitativen Ausmaß *Lupinus polyphyllus* Nährstoffe im Oberboden anreichert, wurden Nährstoffanalysen in *Lupinus*-Dominanzbeständen und in benachbarten Beständen ohne *Lupinus polyphyllus* (Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen) durchgeführt. Zusätzlich lieferten Untersuchungen zur Nährstoffkonzentration (an drei Standorten) im Jahresverlauf von *Lupinus polyphyllus* Aussagen zu optimalen Pflgeterminen, um die Mittel der Landschaftspflege effizient zum Entzug oberirdisch gebundener Nährstoffe einzusetzen.
  - ◆ Maschinelle Pflegeversuche mit drei Pflege-Varianten und zwei Schnittterminen (bzw. zweimaliger Schnitt) ermöglichten praktische Hinweise, wie effektiv *Lupinus polyphyllus* reguliert werden kann und wie sich die Vegetation der Bestände entwickelt.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Bedeutung von *Lupinus polyphyllus* für mitteleuropäische Biotoptypen

Biologische Invasionen sind weltweit aus den verschiedensten Regionen bekannt und betreffen Pflanzen- und Tierarten gleichermaßen (WEBER & SCHMID 1993). Dabei werden Neophyten als diejenigen Pflanzenarten definiert, die durch den Menschen seit der „Entdeckung“ Amerikas 1492 außerhalb ihres ursprünglichen Areals verbreitet wurden und sich unter den neuen Umweltbedingungen reproduzieren können (SCHRÖDER 1969, KOWARIK 1996). Im Folgenden werden die prinzipiellen Etablierungsprozesse von Neophyten dargestellt, um im Anschluss einen Überblick zur aktuellen Verbreitung von Neophyten in Biotoptypen zu geben. Anschließend werden die in der Literatur angeführten Standortansprüche von *Lupinus polyphyllus* beschrieben.

#### 2.1.1 Etablierungsprozesse

Für die Etablierung eines Neophyten müssen geeignete Wachstumsbedingungen vorliegen, bzw. der Neophyt muss folgende Eigenschaften haben, um sich erfolgreich zu etablieren (KOWARIK 1985, KOWARIK 1998):

- ◆ Der Neophyt muss aus einem ähnlichen Klimagebiet kommen und sich an die „neuen“ Umweltbedingungen anpassen können (Akklimatisierung),
- ◆ über angepasste Ausbreitungsmechanismen und -strategien verfügen,
- ◆ konkurrenzfähig gegenüber der vorhandenen Vegetation sein und
- ◆ ökologische Nischen besiedeln können.

Eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Ansiedelung eines Neophyten ist die Größe der Anfangspopulation (WILLIAMSON 1996). Je größer die Gründerpopulation, desto umfassender ist ihr Genpool. Kommt es nach der Einführung eines Neophyten zur Etablierung, so können unterschiedliche Prozesse ablaufen, die zur Ausbreitung der Art führen. Wenn sich genügend Jungpflanzen etablieren, kann eine Gründerpopulation heranwachsen und durch Ausbreitung neue Populationen bilden (BAZZAZ 1986). Konkurrenzvorteile neuer Arten können durch autökologische Merkmale (schnelles Wachstum, r-Strategie, hohe vegetative oder generative Vermehrung usw.) und demökologischen Vor- und Nachteilen (Fehlen von Konkurrenz, breite ökologische Nische, Pilzkrankheiten, Phytophage usw.) bestehen (STURM 1995, FALINSKI 1998). Änderungen der genetischen Struktur von Sippen können Areal- und Abundanzzunahmen begünstigen, indem es zur Evolution neuer, angepasster Ökotypen kommt (WEBER & SCHMID 1993), wie z. B. bei der Entstehung von *Oenothera*-Arten durch Neukombinationen seit der Einführung in Europa 1660.

Insgesamt gelingt nur wenigen der eingeführten oder eingeschleppten Arten, sich gegenüber den einheimischen Arten zu behaupten oder sie in Konkurrenz sogar zu übertreffen. Derzeit wird von 412 Neophyten in Deutschland ausgegangen (KOWARIK 2002), wobei die meisten auf ruderalen Standorten vorkommen (KOWARIK 1999). Im „Exotic Species Model“ (WILLIAMSON & BROWN 1986) wird das Potenzial unerwünschter Auswirkungen von Neophyten beschrieben. Von allen eingeführten Arten erfahren demnach 10 % eine spontane Ausbreitung, 2% können sich etablieren, die Hälfte davon wiederum in naturnaher Vegetation. 0,2 % der eingeführten Arten verursachen unerwünschte Auswirkungen. Insgesamt werden gegenwärtig in Mitteleuropa etwa 25 Neophyten gezielt bekämpft (SCHEPKER et al. 1997).

### 2.1.2 Ausbreitungswege

Durch die Aufnahme von Verkehr und Handel zwischen den Kontinenten wurden die natürlichen Ausbreitungsschranken zwischen isolierten Florenreichen aufgehoben (STURM 1995). Durch die Zunahme der anthropogenen Ausbreitungsvektoren (z. B. Verkehr, Transport, Bautätigkeit, Freizeit und Erholung) erhöht sich auch die Etablierungswahrscheinlichkeit der hierdurch verbreiteten Pflanzen. Andererseits verändern sich Ausbreitungsvektoren durch Nutzungsänderungen, Wege und Straßen als Barrieren, Rückgang der Wanderschäferei usw. Darüber hinaus werden Neophyten aktiv angesät (Ansaubungen durch Imker, Deckungspflanzen für Wild).

Gleichzeitig führen Nutzungsveränderungen zu einer höheren Dynamik in der Pflanzendecke (Eutrophierungs- und Ruderalisierungsprozesse). Ruderalpflanzengemeinschaften, die entweder von Natur aus (z. B. Flussauen) oder durch den Menschen (z. B. Siedlungsbiotope) starker Dynamik unterworfen sind, gelten als besonders bevorzugt für die Ausbreitung und Einnischung von Neophyten (WEBER & SCHMID 1993). Der Wechsel von Überschwemmungen, Trockenfallen und Umbaumaßnahmen schafft kontinuierlich neue Konkurrenzsituationen, die von Pionierpflanzen besiedelt werden können. Zusätzlich führt die Besiedlungsstruktur in Auen zu einem hohen Input von Arten, was durch das Transportmedium Wasser noch verstärkt wird (MÜLLER 1995). Bereits THELLUNG erwähnte 1918 die neophytische Etablierung und Ausbreitung von *Solidago*- und *Aster*-Arten an Flussufern.

FOX & FOX (1986) setzen für biologische Invasionen Boden verwundende Eingriffe an den betreffenden Biotoptypen voraus. So sind z. B. die von SCHULDES & KÜBLER (1991), HARTMANN et al. (1994) und BÖCKER et al. (1995) als „Problemneophyten“ bezeichneten Sippen *Solidago canadensis*, *S. gigantea*, *Impatiens glandulifera*, *Helianthus tuberosus*, *Heracleum mantegazzia-*

*num*, *Reynoutria japonica* und *R. sachalinensis* vorwiegend durch Gartenabfälle, von Jägern als Deckungspflanze für Wildtiere und von Imkern als Bienenweide aktiv in die Kulturlandschaft gebracht worden.

## **2.2 Botanische und biologische Kennzeichen von *Lupinus polyphyllus* Lindl.**

### **2.2.1 Herkunft**

Über das Ursprungsgebiet und Genzentrum der Gattung *Lupinus* gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben (CRISTOFOLINI 1989, KÄSS & WINK 1992). Nach HONDELMANN (1996) sprechen fossile Funde dafür, dass die meisten Tribus der Familie der Fabaceae südamerikanischen Ursprungs sind.

Derzeit werden in der so genannten „Alten Welt“ zwölf annuelle *Lupinus*-Arten differenziert. In der „Neuen Welt“, der Heimat von *Lupinus polyphyllus*, werden dagegen über 400 sowohl annuelle als auch perennierende Arten unterschieden (FISCHER 1938, HACKBARTH & TROLL 1959, HACKBARTH 1961, GROSS 1986).

*Lupinus polyphyllus* wurde 1827 erstmals von Lindley beschrieben. Das Genzentrum von *Lupinus polyphyllus* Lindl. liegt nach HACKBARTH (1961) im warmen bis gemäßigten, pazifischen Nordamerika. Unter ozeanischem Klimaeinfluss ist er auf offenen Bergwiesen von Britisch Kolumbien bis Kalifornien verbreitet (HANELT 1960, HANSEN & STAHL 1994). Von dort breitet sich *Lupinus polyphyllus* laut WILDFLOWER DIRECTORY (2000) in den kontinentaler geprägten Osten aus und ist in Ziergärten, an Straßenrändern, angrenzenden Feldern und in lichten Wäldern zu finden (vgl. Verbreitungskarte PHILLIPS 1955). BOIVIN (1966) und HULTEN (1968) dokumentieren das unkrautartige Auftreten von *Lupinus polyphyllus* an Küstenstreifen, auf Wiesen, an Straßenrändern und anderen gestörten Standorten in Alaska. Ferner kommt er in den ostkanadischen Provinzen an Straßenrändern und auf Müllplätzen vor (ERSKINE 1960); über seine Ausbreitung im Straßenbau zur Böschungsbefestigung berichten TURNER & SZCZAWINSKI (1991).

Das Verbreitungsgebiet von *Lupinus polyphyllus* innerhalb Europas erstreckt sich von den skandinavischen Ländern Norwegen, Schweden und Finnland, über England, Dänemark und die Niederlande bis nach Frankreich. In Osteuropa kommt er in Polen, Tschechien, Ungarn, Jugoslawien, Rumänien bis Russland vor. Auch in Österreich, Liechtenstein und der Schweiz ist er nachgewiesen.

### 2.2.2 Taxonomie

*Lupinus polyphyllus* gehört zur Familie der Fabaceae (Unterfamilie: *Papilionaceae*, Tribus: *Genisteae*). Im deutschen Sprachgebrauch wird er als Stauden-, Dauer- und Vielblättrige Lupine bezeichnet, im Englischen als Washington Lupin (HACKBARTH & TROLL 1959).

*Lupinus perennis* ist eine nahe verwandte Sippe, die schwer von *Lupinus polyphyllus* abzugrenzen ist. WITTMACK (1927) erwähnt in seiner Abhandlung „Zur Geschichte und Systematik der Lupine“ diese Problematik: „Uns interessiert von allen diesen [Lupinen aus der „Neuen Welt“] nur die Dauerlupine, *Lupinus polyphyllus* Lindley, die Vielblättrige Lupine, die im Samenhandel perennierende Lupine heißt, auch sogar von manchen als *Lupinus perennis* bezeichnet wird, was man nicht mit der echten *Lupinus perennis* Linnés verwechseln darf.“

Zwar unterscheiden BECKER-DILLINGEN (1929), LENT (1934), FRUWIRTH (1921), GROMBTSCHESKAJA (1951), HANELT (1960), PLARRE & PORSCHE (1961) und HEGI (1964) diese beiden Dauerlupinen noch sehr genau, doch schien sich von SENGBUSCH (1942) nicht sicher zu sein, welche der beiden Sippen er alkaloidarm gezüchtet hatte. Während er in Teil I des Züchtungsberichtes schreibt, er habe *Lupinus polyphyllus* selektiert, so spricht er in Teil III seiner Forschungsarbeit von *Lupinus perennis*. PLARRE & PORSCHE (1961) gehen davon aus, dass *Lupinus polyphyllus* und *Lupinus perennis* sehr nahe verwandt sind und Bastardierungen höchstwahrscheinlich vorkommen, weshalb sie oft nicht auseinander zu halten sind. Das Pflanzenmaterial ihrer Untersuchungen beschreiben sie als „mehr zu *Lupinus polyphyllus*“ gehörend. NOWACKI (1960) erwähnt Kreuzungen zwischen *Lupinus nootkatensis* und *Lupinus polyphyllus*, die von HACKBARTH (1961) als Subspezies von *Lupinus perennis* eingeordnet werden. Untersuchungen von ANISZEWSKI et al. (2000) belegen, dass *Lupinus polyphyllus* ein Bastard aus verschiedenen Sippen ist.

### 2.2.3 Einführung und Verbreitung in Deutschland

*Lupinus polyphyllus* kam 1827 ursprünglich als Zierpflanze nach Europa (GOEZE 1913). Durch ihre Verwendung in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Straßenbau wurde sie in unterschiedlichste Biotoptypen eingebracht.

Bereits in den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts fand sie als Gründüngung im Forst Verwendung (LENT 1934). 1921 lobt FRUWIRTH den günstigen Einfluss von *Lupinus polyphyllus* auf das Wachstum von Gehölzen. Wenige Jahre später bezeichnet GEHRHARDT (1927) die Ertragssteigerung im Forst, wo 1902 *Lupinus polyphyllus* systematisch bei Aufforstungen auf einer Fläche von 750 ha eingesetzt wurde, als „Erfolge, die jeden Forstmann und Waldbesitzer für die Einbringung der Dauerlupine (Nomenklatur siehe Kap. 2.2.2) geradezu begeistern müssen“. Demnach ließen sich die Umtriebszeiten für Fichte um mindestens zehn Jahre verkürzen. Zusätzlich würde *Lupinus polyphyllus* die jungen Fichten vor Frost, Dürre, Insekten- und Wildfraß schützen. ZIMMERLE & REIHLING stellten 1937 Wachstumsversuche mit *Lupinus polyphyllus* im Waldbau vor, deren Ergebnisse in das Handbuch der Forstdüngung eingingen (BECKER-DILLINGEN 1939) und dadurch breite Anwendung in der forstwirtschaftlichen Praxis fanden. Erst in den sechziger Jahren wurde der Unterbau mit *Lupinus polyphyllus* im Waldbau dahingehend systematisiert, dass verschiedene Bodentypen, Bodenbearbeitungs-Varianten, Düngungsstufen (PECHMANN & WUTZ

1960, BREDOW-STECHOW 1961, BREDOW-STECHOW 1963, REHFUESS 1965, MELZER & HERTEL 1981) analysiert wurden. Steigende Konkurrenz und fallende Holzpreise veränderten die Forstwirtschaft während der letzten drei Jahrzehnte grundlegend, wodurch der Einsatz von *Lupinus polyphyllus* als Untersaat aus arbeitsintensiven Gründen nicht mehr rentabel war und seitdem nicht mehr praktiziert wird.

Erste Meldungen über synanthrope Vorkommen in Deutschland stammen aus Bayern. Dort wurde *Lupinus polyphyllus* seit 1890 an einem Waldrand zwischen Erlangen und Bubenreuth beobachtet und als eingebürgert bezeichnet (HEGI 1964). Weitere Angaben finden sich bei MICHAELIS (1919): „Der jetzt so beliebte *Lupinus polyphyllus*, der in Deutschland seit einigen Jahren an vielen Stellen verwildert und sich immer mehr ausbreitet, stammt freilich aus Nordamerika.“ FRUWIRTH erwähnt 1921, dass in Norddeutschland Eisenbahndämme mit *Lupinus polyphyllus* eingesät werden und bei HANEMANN findet er 1927 als „angesät bei Neusaß, Eichswiesen“ Erwähnung. Bei BERTSCH & BERTSCH (1933) wird *Lupinus polyphyllus* als „bei uns verwildert“ charakterisiert.

Die Züchtung an *Lupinus polyphyllus* brachte verschiedene Farbvarianten hervor, weshalb die bis dahin angebauten *Lupinus*-Arten (*Lupinus mutabilis*, *Lupinus perennis*) in den Ziergärten verdrängt wurden. In den Gartenpflanzen-Lexika und Samenkatalogen wird *Lupinus polyphyllus* als attraktive Gartenpflanze sowohl als Wildform wie als Gartenhybride in allen Farben angeboten.

Die Aussaat von *Lupinus polyphyllus* als Wildfutter- und Deckungspflanze wurde von KEB (1927) mit dem Artikel „Auch als Jäger würdigt die Lupine!“ empfohlen. Auch heute noch wird *Lupinus polyphyllus* in Jagdzeitschriften (z. B. „Wild & Hund“) für die Ansaat empfohlen. Saatmischungen können über den Garten- und Jagd-Fachhandel bezogen werden.

In Deutschland sind größere Vorkommen von *Lupinus polyphyllus* im Bayerischen Wald, Fichtelgebirge, Schwarzwald und der Rhön bekannt. An Autobahnrandstreifen und Bahndämmen ist sie im gesamten Bundesgebiet zu finden. In der Liste der am weitest verbreiteten Neophyten der Flora Deutschlands ist *Lupinus polyphyllus* in 2292 von 3000 Messtischblättern (76,4 %) vorhanden (KOWARIK 2002). Die heutige Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* in Bayern wird im Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns dargestellt (SCHOENFELDER & BRESINSKY 1990). Dort gilt in 75 % der Quadranten *Lupinus polyphyllus* als nachgewiesen, obwohl Gärten und Parkanlagen nicht berücksichtigt werden.

#### 2.2.4 Morphologie

*Lupinus polyphyllus* ist ein perennierender Hemikryptophyt. Er entwickelt im ersten Jahr nur eine Blattrosette. Im Folgejahr erreicht er eine vegetative Höhe von 0,8- 1,2 m und bildet aufrechte, wenig verzweigte Sprosse (kahl bis spärlich behaart) aus. Die Blätter sind gefingert, 9- 15-zählig, die Teilblätter lanzettlich, 3- 15 cm lang und 5- 25 mm breit und nur auf der Unterseite stärker behaart. Die Pflanze erreicht inklusive des generativen Teils eine Höhe von 1- 1,5 m. Die 30- 50 cm langen, endständigen, aufrechten Trauben haben 50- 80 blauviolette Blüten, die quirlartig übereinander angeordnet sind. Diese typischen Fabaceae-Blüten sind 1,2- 1,5 cm lang. Der Kelch ist deutlich zweilippig und relativ früh abfallend. Die Krone ist blau bis purpurn, ihre Fahne in der Mitte weißlich. *Lupinus polyphyllus* ist vorwiegend selbststeril (HACKBARTH 1961). Die relativ lange Blütezeit von Beständen reicht je nach klimatischen Voraussetzungen von Juni bis August.

Die schwarzen, mit filzigen Haaren bedeckten Hülsen von *Lupinus polyphyllus* sind 6- 7 cm lang, 1,5- 2,5 cm breit und ebenso hoch. Die darin enthaltenen 4- 12 nahezu runden Samen zeigen in ihrer Färbung eine große Variation vom dunkel- bis hellbraun, z. T. mit hellen braunen bis weißlichen Tüpfeln (ANISZEWSKI et al. 2000), deren Durchmesser 2- 3 mm aufweisen und eine Tausendkorntmasse von 20- 23 g haben.

*Lupinus polyphyllus* bildet in aller Regel eine Pfahlwurzel aus, die als Speicherorgan genutzt wird. Nach Untersuchungen von LAPISKIENE (Pflanzensoziologisches Institut Klagenfurt, Mittl. 1997) kann die Wurzel von *Lupinus polyphyllus* auf leicht durchwurzelbaren Böden bis in eine Tiefe von 1,8 m reichen. Die vegetative Ausbreitung erfolgt durch Wurzelrhizome.

#### Die wichtigsten Pflanzeninhaltsstoffe

Die Gattung *Lupinus* produziert als pflanzliche Sekundärstoffe neben Flavonoiden und Saponinen, vorwiegend bitter schmeckende, toxische und zum Teil hitzestabile Alkaloide (TEI & WINK 1998). Die Alkaloidkonzentration in der vegetativen oberirdischen Biomasse (TM) von *Lupinus polyphyllus* wird mit 1,2- 1,3 %, in den Samen mit 2,5- 2,6 % angegeben (MAJEWSKI 1960).

Die Alkaloide von *Lupinus polyphyllus* übernehmen folgende Funktionen:

- ◆ Alkaloide schützen vor Fraßfeinden, wirken antibiotisch und fungistatisch; sie sind also chemische Abwehrsubstanzen (WINK 1984a, b). Innerhalb kurzer Zeit nach der Schädigung von Blattgewebe an *Lupinus polyphyllus* steigt dort die Alkaloidkonzentration um ein Vielfaches (WINK 1983).

- ◆ Die allelopatische Hemmung verschafft *Lupinus polyphyllus* einen Konkurrenzvorteil. WINK konnte 1985 nachweisen, dass *Lupinus*-Alkaloide über die Wurzel abgegeben werden und dadurch die Keimung von Salat- und Grassamen gehemmt wird. Gleichzeitig werden konkurrierende Arten in ihrer Entwicklung gehemmt (TEI & WINK 1998).
- ◆ Alkaloide werden als Stickstoffspeicher vor allem in der oberirdischen Biomasse verwendet (WINK 1985). Der hohe Alkaloidgehalt in den Samen von *Lupinus polyphyllus* schützt vor Fraß und gewährleistet bei der Keimung eine gute Versorgung mit Stickstoff.

### 2.2.5 Standortansprüche von *Lupinus polyphyllus*

*Lupinus polyphyllus* wird von ELLENBERG et al. (1992) als Licht- bis Halbschattenpflanze eingestuft, die Temperaturansprüche des „Mäßigwärmezeigers“ *Lupinus polyphyllus* zeigen sich im Verbreitungsschwerpunkt in submontan-montan temperaten Zonen (ELLENBERG et al. 1992). FRUWIRTH (1921) beschreibt *Lupinus polyphyllus* als „gegen Kälte sehr wenig empfindlich“ und HANELT (1960) als „sehr frosthart“. Untersuchungen von PLARRE & PORSCHE (1961) belegen keine Schädigung der Blattmasse bei minus 5 °C. Jungpflanzen überstehen Fröste von minus 5 bis minus 6 °C (GROMBTSCHESKAJA 1951).

ELLENBERG et al. (1992) bezeichnen *Lupinus polyphyllus* als Frischezeiger, der mittelfeuchte Böden bevorzugt und auf nassen sowie öfter austrocknenden Böden fehlt. An die Feuchtigkeit stellt *Lupinus polyphyllus* relativ hohe Ansprüche (FRUWIRTH 1921), reagiert allerdings sehr empfindlich gegenüber Staunässe (JOHN 1931).

Das Wachstumsoptimum von *Lupinus polyphyllus* liegt nach Untersuchungen von JOHN (1931) im Bereich pH 3 bis pH 5. Demnach wirkt sich ein niedriger pH-Wert (pH 4) zwar negativ auf den Samenertrag aus, eine Säureschädigung an der Pflanze selbst konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Wie alle Fabaceae besitzt *Lupinus polyphyllus* die Fähigkeit, in Symbiose mit Knöllchenbakterien Luftstickstoff zu binden. Der hier wirksame Mikrosymbiont *Bradyrhizobium lupini*, ist an niedrige pH-Werte (pH < 5,5) im Boden angepasst (MENGEL 1991). Die Knöllchenentwicklung setzt in der Regel wenige Wochen nach dem Keimlingswachstum an der Hauptwurzel ein und dauert bis zur Reifezeit der Hülsen an. Zur Zeit des Blühbeginns wird ein Höhepunkt der Stickstoffbindung erreicht.

Nach Untersuchungen von HILL (1993) konnten in *Lupinus polyphyllus* 160- 180 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nachgewiesen werden. Davon baut *Lupinus polyphyllus* ein Drittel in die eigene Phytomasse ein. Damit wird dem Boden eine nicht unerhebliche Menge Stickstoff über Samen, Blatt- und Blütenstandstreu und durch die absterbende Wurzel zugeführt. Nach dem Absterben der Pflanzen und dem Zerfall der Knöllchen bleiben genügend Bakterien zurück, um später erneut aktiv werden zu können.

Der Phosphatbedarf ist wie bei allen Fabaceae auch bei *Lupinus polyphyllus* relativ hoch. Wobei die Gattung *Lupinus* v. a. Rohphosphate sehr gut mobilisieren kann (PRJANISHNIKOW 1934). JOHN (1931) und LENT (1934) betonen, dass sich eine Kalium- Düngung sehr positiv auf das Wachstum auswirkt.

### **2.3 *Lupinus polyphyllus* in Bergwiesen der Rhön**

Die Pflanzengesellschaften der Rhön werden bei SPEIDEL (1972), JOHNE (1973), v. BORSTEL (1974), BOHN (1981), ARENS (1987), ARENS (1989), NOWAK (1990), PEPPLER (1992) und BARTH (1995) ausführlich beschrieben.

Im Folgenden finden nur diejenigen Pflanzengesellschaften der Rhön Berücksichtigung, in die *Lupinus polyphyllus* vorzugsweise eindringt. *Lupinus polyphyllus* kommt vorwiegend in den Wiesen- und Weidegesellschaften (Molinio-Arrhenatheretea) der montanen Lage mit Übergängen zu den Borstgrasrasen (Nardetalia) und den Kleinseggenriedern (Scheuchzerietalia) und deren Brachestadien vor (OTTE et al. 2002).

#### **2.3.1 Geranio sylvatici-Trisetetum flavescens (Knapp ex Oberdorfer 1957) in der Rhön**

Das Geranio sylvatici-Trisetetum ist eine verbreitete Bergwiesen-Assoziation aller deutschen Mittelgebirge (DIERSCHKE 1997). Die Berg-Goldhaferwiesen, nach OBERDORFER (1993) dem Verband Polygono-Trisetion (Charakterarten: *Geranium sylvaticum*, *Phyteuma spicatum*) zugeordnet, unterscheiden sich von den Glatthaferwiesen (Arrhenatherion) des Tieflandes durch eine kürzere Vegetationszeit, eine meist lang anhaltende Schneedecke und höhere Niederschlagssummen (DIERSCHKE 1997). Anstelle von Obergräsern dominieren in den Goldhaferwiesen die Mittelgräser *Trisetum flavescens* und *Holcus lanatus* sowie die Untergräser *Festuca rubra* agg. und *Agrostis capillaris* (ELLENBERG 1996). Für die Entstehung von Goldhaferwiesen sind Böden mit einem ausgeglichenen Wasserhaushalt (NOWAK 1990) auf basenreichen Standorten der Mittel-

gebirge verantwortlich. Kennzeichnend für die Bergwiesen ist der langsame Entwicklungsbeginn im Frühjahr, eine geringe Zersetzung organischer Substanz und insgesamt ein verzögerter phänologischer Rhythmus gegenüber Tieflagen (DIERSCHKE 1997). Die mittlere Artenzahl von über 40 je Vegetationsaufnahme (25 m<sup>2</sup>) bildet einen auffälligen Blühaspekt, v. a. im Juni und Juli (DIERSCHKE 1997).

Die orographische Untergrenze der Goldhaferwiesen liegt in den osthessischen Mittelgebirgen bei etwa 450 m ü. NN (BARTH 1995), wobei die Übergänge von den Goldhaferwiesen in den Hochlagen zu den Glatthaferwiesen der Tieflagen und den Borstgrasrasen fließend sind (SPEIDEL 1972). *Poa chaixii* und *Bistorta officinalis* charakterisieren die Goldhaferwiesen als orographische Differentialarten gegenüber den Glatthaferwiesen. Charakterarten der Goldhaferwiesen (Geranio-Trisetetum) der Mittelgebirge sind nach DIERSCHKE (1997) *Geranium sylvaticum*, *Phyteuma spicatum*, *Crepis mollis*, *Bistorta officinalis*, *Potentilla erecta*, *Hypericum maculatum*, *Anemone nemorosa* und *Ranunculus nemorosus*.

#### Nutzung:

Die Goldhaferwiesen der Hohen Rhön wurden traditionell einschürig (im Juli) als Heuwiesen genutzt und lieferten je nach Witterung und Standort Erträge zwischen 25 und 40 dt TM ha<sup>-1</sup> (ARENS & NEFF 1997). Im Anschluss erfolgte die Beweidung mit Schafen oder Rindern in Form von Hute; gedüngt wurden die ortsfernen Wiesen der Hochlagen nicht (GEIER & GREBE 1987).

#### Entwicklung bei Brache:

Bei der Sukzession der brach gefallenen Flächen geht die Anzahl der vorkommenden Arten zurück (BÖTTNER 1992). ARENS (1987) charakterisiert die von Brache begünstigten Arten als hochwüchsig, als Kräuter mit unterirdischen Ausläufern und als horstwüchsige Gräser. Arten, die in Brachen zurückgedrängt werden, sind niedrigwüchsig oder haben geringe Konkurrenzkraft.

Auf Brachflächen ist der Boden mit Streu bedeckt, wodurch sich im Frühjahr die Bodenerwärmung verzögert. Die generelle Keimfähigkeit von Wiesenarten liegt im Dunkeln deutlich niedriger als unter Lichteinfluss (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2001). Der Blühbeginn setzt auf Brachflächen später ein als auf gemähten Flächen, so dass spät blühende Stauden zur Entwicklung kommen und im Hoch- und Spätsommer aspektbildend sind (DIERSCHKE 1994). Durch die Mineralisierung des abgestorbenen Pflanzenmaterials werden die entzogenen Nährstoffe an den Boden zurückgegeben (ARENS 1987).

In den Hochlagen der Rhön werden in brachgefallenen Goldhaferwiesen sowohl die Gräser *Poa chaixii*, *Helictotrichon pratense*, *Luzula luzuloides* als auch die Kräuter *Bistorta officinalis*, *Geranium sylvaticum*, *Galium verum*, *Hypericum maculatum* und *Sanguisorba officinalis* begünstigt (ARENS 1987). Es bildet sich eine hohe Auflage von abgestorbenem *Poa chaixii*- und *Deschampsia flexuosa*-Material, wie bereits MEISEL & HÜBSCHMANN 1973 beschrieben haben.

In frischen bis feuchten Bergwiesenbrachen neigen *Geranium sylvaticum*, *Bistorta officinalis* (DIERSCHKE 1997), *Sanguisorba officinalis*, *Epilobium angustifolium*, *Poa chaixii* und *Deschampsia cespitosa* zur Faziesbildung (MEISEL & HÜBSCHMANN 1973, SPOLZENBURG 1989). In diese Brachflächen dringt auch *Lupinus polyphyllus* ein und bildet Dominanzbestände unter Beteiligung von *Poa chaixii* aus. Holzarten dringen von Waldrändern kommend in die Flächen ein, wobei eine spontane Wiederbewaldung aufgrund der dichten Streu relativ lange dauert (DIERSCHKE 1997).

### 2.3.2 Übergang zum Borstgrasrasen (Nardetalia)

Bei nährstoffarmen Ausbildungen der Goldhaferwiesen entstehen Übergangsbstände auf flachgründigeren und trockeneren Standorten, die entweder zu azidophytischen Arten der Borstgrasrasen (Nardetalia) oder basiphytischen Arten der Kalkhalbtrockenrasen (Festuco-Brometalia) überleiten. Die Charakterarten der Borstgrasrasen (Ordnung: Nardetalia) sind u. a. *Nardus stricta*, *Arnica montana*, *Antennaria dioica*, *Hypericum maculatum* und *Carex pallescens*. Das Polygalo-Nardetum ist in der Hohen Rhön die am häufigsten vorkommende Nardetalia-Gesellschaftsassoziation (PEPPLER 1992). Generell sind Borstgrasrasen durch Nutzungsausfall (Sukzession), Intensivierung der Grünlandnutzung und Aufforstungen sehr gefährdete Pflanzengesellschaften (MANZ 1990). Im Untersuchungsgebiet wird durch die Schutzgebietsverordnung eine Aufforstung und Intensivierung der Wiesennutzung untersagt. Hier ist vorwiegend der Aspekt nachlassender Nutzung (Verbrachung) von Bedeutung.

#### Entwicklung bei Brache:

Beim Brachfallen kommt es ebenfalls zur Anreicherung von Streu, wodurch niedrig- und schwachwüchsige Arten beschattet werden (SCHIEFER 1981), so dass typische Arten wie *Thesium pyrenaicum*, *Antennaria dioica*, *Viola canina*, *Polygala vulgaris* unterdrückt werden (ARENS 1989, BARTH 1995). Arten wie *Deschampsia cespitosa*, *Vaccinium myrtillus* (BARTH 1995), *Poa chaixii*, *Bistorta officinalis* (ARENS 1989) gelangen zur Dominanz, der Anteil an *Deschampsia flexuosa* und *Agrostis capillaris* steigt (SCHWABE 1990).

Auf brachliegenden Flächen ehemaliger Borstgrasrasen am Stirnberg beschreibt BARTH (1995) das Fehlen der Nardetalia-Arten, die durch die Bestandsbildner *Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa* und *Lupinus polyphyllus* sowie die nitrophilen Sippen *Phleum pratense*, *Galium aparine* und *Urtica dioica* ersetzt werden. Die Etablierung dieser Arten ist nach BARTH (1995) auf die Stickstoffanreicherung durch *Lupinus polyphyllus* zurückzuführen, da auf vergleichbaren Flächen ohne *Lupinus polyphyllus* das nitrophile Arteninventar fehlt.

### 2.3.3 Übergang zu Nasswiesen

Sind bei unregelmäßiger Mahd genügend Nährstoffe vorhanden, so gehen die Goldhaferwiesen in Hochstaudengesellschaften über (ELLENBERG 1996). Die großblättrigen Stauden beschatten und unterdrücken damit den Gras-Jungwuchs und die kleineren Fabaceen (ELLENBERG 1996). Auf Standorten mit hydromorphen Böden leiten die Goldhaferwiesen zu den Nasswiesen über. Der Anteil an Arten der Feuchtwiesen (Molinietalia) nimmt zu, *Silene flos-cuculi* und *Myosotis scorpioides* erreichen höhere Stetigkeiten (STOLZENBURG 1989). Der Verband der Sumpfdotterblumen-Wiesen (Calthion) findet sich auf wechselfeuchten bis nassen, humosen Böden unterschiedlicher Nährstoffversorgung in allen Höhenstufen.

#### Entwicklung bei Brache:

Bei Nutzungsaufgabe entwickeln sich die Nasswiesen innerhalb weniger Jahre zu feuchten Hochstaudenfluren oder zu hochwüchsigen Binsen- oder Seggen-Gesellschaften mit anschließender Verbuschung (POTT 1996). In den Hochlagen der Rhön gewinnen ausdauernde, verholzende Kryptophyten wie *Salix aurita* und *Betula pubescens* ssp. *carpatica* an Bedeutung (BOHN 1981), während horstbildende Gräser „Bulten“ (erhöhte, trockenere Bereiche) ausbilden. In den Tieflagen sind Nasswiesen vorwiegend durch Entwässerung und Nährstoffeintrag gefährdet, im NSG „Lange Rhön“ hingegen ausschließlich durch die Nutzungsaufgabe. Die zunehmende Sukzession in ungenutzten vernässten Bereichen der Hochrhön verändert das Leitbild „Land der offenen Fernen“ und zerstört den Lebensraum der Offenlandart Birkhuhn (*Tetrao tetrix*) u. a. Gleichzeitig erfordert die Gehölzreduktion immense Kosten in der Landschaftspflege.

## 3 Untersuchungsgebiete in der Rhön

### 3.1 Naturräumliche Voraussetzungen

#### 3.1.1 Naturraum

Die Rhön erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 3500 km<sup>2</sup> im Grenzraum der Bundesländer Bayern, Hessen und Thüringen und gliedert sich in drei naturräumliche Haupteinheiten: Südrhön, Kuppenrhön und Hohe Rhön. Die Hohe Rhön umfasst kaum besiedelte Hochebenen und breite Bergrücken, wie insbesondere die „Lange Rhön“ (siehe Abb. 1). In den Jahren 1982 bis 1996 wurde die „Lange Rhön“ mit 2666 ha zum Naturschutzgebiet (NSG) ausgewiesen.

#### 3.1.2 Geologische Verhältnisse und Böden

Die Rhön ist ein vulkanisches Mittelgebirge mit Basaltkuppen und -decken des Tertiärs, die triasische Schichten aus Muschelkalk und Buntsandstein überlagern. Der Basaltrücken der Langen Rhön (20 km lang, 7 km breit), das Kerngebiet der Untersuchungen, erstreckt sich nördlich von Bischofsheim auf einer Höhe von 800- 926 m ü. NN.

Ausführliche Angaben zur Entstehungsgeschichte der Rhön finden sich bei BÜCKING (1910), HUMMEL (1929), NATHAN (1935), HIRSCH (1937), KUHN (1964), MENSCHING (1957), RUTTE (1965), MARTINI (1970) u. a.

An Standorten ohne Staunässe sind basenreiche Braunerden als Folge der Basaltverwitterung anzutreffen, die z. T. tiefgründige Lockerbraunerden ausbilden können. An Hangschultern sind diese erodiert und flachgründig. Ton- und schluffreiche Verwitterungsprodukte können wasserstauende Schichten ausbilden und dadurch zur Vergleyung der Braunerden führen. Die hohen Niederschlagssummen begünstigen den Nährstoffaustrag (v. a. die Entbasung), und die traditionelle Bewirtschaftung führte insbesondere an Hanglagen zur Nährstoffverarmung und Versauerung der Böden. Je nach Wasserhaushalt der Böden sind Übergänge von Braunerde-Pseudogley



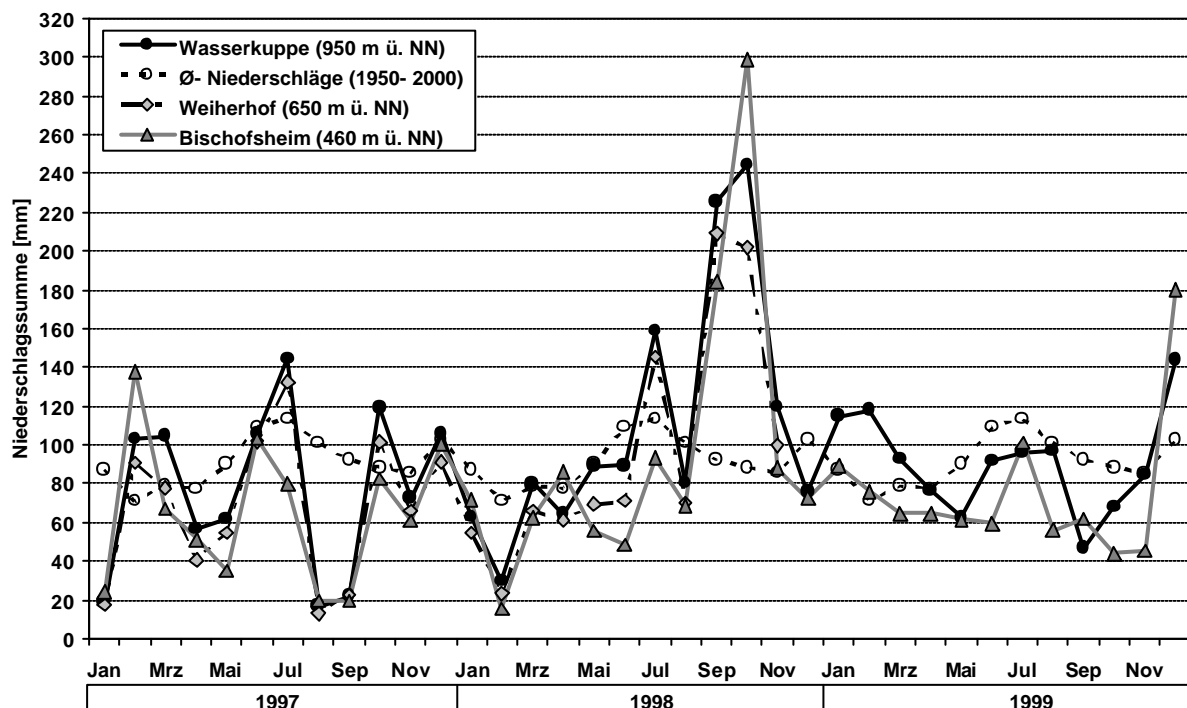
Abb. 1: Lage des Biosphärenreservates Rhön und des NSG „Lange Rhön“

bis zu reinen Torfböden zu finden (SCHUCHT 1941, SCHÖNHALS 1954, KNAPP 1977, PUFFE & ZERR 1988).

### 3.1.3 Klima

Die Rhön liegt in der gemäßigten Klimazone der mittleren Breiten im Übergang von subatlantischem zu subkontinentalem Klimabereich. Die Hohe Rhön und insbesondere der in Nord-Süd-Richtung verlaufende Basaltrücken „Lange Rhön“ stellt sich den vorherrschenden Südwestwinden wie ein meteorologischer Riegel entgegen. Niedrige Temperaturen im Jahresdurchschnitt (Wasserkuppe: 4,7 °C) und hohe jährliche Niederschlagssummen (Wasserkuppe: 1124 mm) führen zu einem späten Frühlingseinzug (20.–26. Mai) und damit zu einer kurzen Vegetationsperiode (170- 180 Tage).

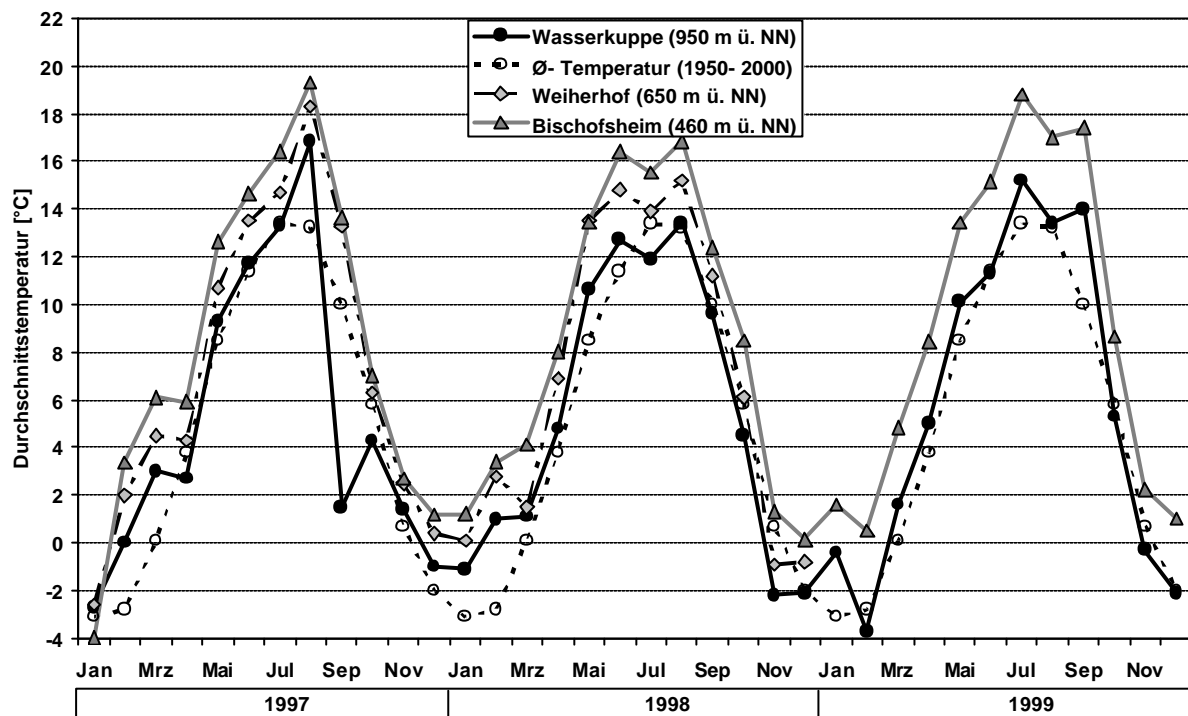
Witterungsdaten der den Untersuchungsflächen nächstgelegenen Messstationen Wasserkuppe, Weiherhof (bis Nov. 1998 Versuchsstation der Hessischen Lehr- und Versuchsanstalt Eichhof) und Bischofsheim sind in den Abb. 2 und 3 dargestellt.



**Abb. 2:** Monatliche Niederschlagssummen der Wetterstationen Wasserkuppe, Weiherhof und Bischofsheim im Untersuchungszeitraum 1997–1999. Mittelwerte der monatlichen Niederschlagssummen der Wetterstationen Wasserkuppe aus den Jahren 1950–2000

Die Messstation Weiherhof liegt im Windschatten 300 m unterhalb der Wasserkuppe, was sich in den etwas geringeren Niederschlagssummen und ausgeglicheneren Temperaturen als auf der Wasserkuppe widerspiegelt. Für die Untersuchungsflächen am Stirnberg und im Leitgraben sind

die klimatischen Verhältnisse zwischen den beiden Wetterstationen Wasserkuppe und Weiherhof anzunehmen. Die Untersuchungsfläche am Bauersberg entspricht im Wesentlichen den Klimadaten von Bischofsheim. Dort sind die Niederschlagssummen bis auf einzelne Niederschlagsereignisse niedriger als auf der Wasserkuppe. Insgesamt sind die monatlichen Durchschnittstemperaturen um 2-4 °C höher als auf der Wasserkuppe, was sich in einer längeren Vegetationsperiode ausdrückt.



**Abb. 3:** Monatliche Durchschnittstemperaturen der Wetterstationen Wasserkuppe, Weiherhof und Bischofsheim im Untersuchungszeitraum 1997–1999. Mittelwerte der monatlichen Durchschnittstemperaturen der Wetterstationen Wasserkuppe aus den Jahren 1950–2000

### 3.1.4 Potenzielle natürliche Vegetation

Die potenzielle natürlichen Vegetation der „Langen Rhön“ ist Buchenwald. Ausgenommen davon sind die von Natur aus waldfreien Blockhalden und Moore. Differenzierte Angaben zu den jeweiligen Standorttypen und Schlussgesellschaften sind bei KNAPP (1977), BARTH (1993) und BOHN (1996) beschrieben.

## 3.2 Kulturlandschaftsentwicklung

### Landschaftsgeschichte der Rhön:

Im 1. Jahrhundert n. Chr. wird die Rhön von Tacitus als Laubwaldgebiet (Buchonia) beschrieben (FUCHS 1973), wobei prähistorische Funde aus dem Neolithikum, der Bronze- und Eisenzeit frühere Siedlungen an Talrändern und Kuppen entlang der Flusssauen belegen (z. B. Milseburg). Bei KINDINGER (1942) werden eine Siedlung (Moor 820 m ü. NN) und erste Rodungen am Schwarzen Moor um 800 n. Chr. erwähnt, während die überwiegende Besiedelung und Entwaldung der Hochflächen erst zwischen 1000 und 1350 n. Chr. stattfand (KNEITZ 1961, KNAPP 1977) und gegen Ende des 14. Jahrhunderts als abgeschlossen gelten kann (KINDINGER 1942). Die spätmittelalterliche Wüstungsperiode ist wahrscheinlich neben einer allgemeinen Klimaver-schlechterung und Seuchen (Pest) auf eine Veränderung der Siedlungsstruktur zurückzuführen. Lockere Streusiedlungen wurden zugunsten von geschlossenen Ortschaften aufgegeben (KINDINGER 1942, JÄGER 1958). Die Intensität der Bewirtschaftung ging zurück, teilweise kam es zu Sukzessionsprozessen, und insgesamt kann wohl von einer Extensivierung siedlungsferner Flächen ausgegangen werden (KINDINGER 1942, RÖLL 1966). Aufgrund des starken Bevölkerungswachstums seit der Mitte des 15. Jahrhunderts förderten damalige Landesherren eine systematische Neubesiedelung (JÄGER 1958), was sich im Rückgang von Grünland zugunsten von Ackerland widerspiegelte. Rodungen für Glashütten, Eisenschmelzen und Köhlereien führten bis zum 30-jährigen Krieg (1618- 1648) zur größten Ausdehnung der waldfreien Flächen. Grünland (v. a. Borstgrasrasen), vorwiegend als Hutungsflächen genutzt, in klimatischen Gunstlagen Terrassenäcker, prägten das Landschaftsbild. Der 30-jährige Krieg hatte nach KINDINGER (1942) und JÄGER (1958) kaum Auswirkungen auf die Bevölkerung und das Landschaftsbild der Rhön. Die Rodungsperiode des 17. und 18. Jahrhunderts führte zur Ausweitung von Hutungsflächen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde Ackerland in den Kammlagen der Langen Rhön, wo bislang Gerste, Roggen, Flachs und Kartoffeln angebaut worden war, in Grünland überführt (REINFELD 1977), da die mineralische Düngung und neue Kulturpflanzen eine intensivere Ackernutzung in den Tieflagen ermöglichte. Die dauerhafte Trennung von Acker- und Grünlandnutzung setzte ein, wobei eine regelmäßige Grünlanddüngung erst viel später eingeführt wurde (KNAPP 1977). Entsteinungen von Huteflächen sind aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts bekannt (KINDINGER 1942). Damit wurden Weiden in Wiesen überführt, so dass sich im Laufe des 19. Jahrhunderts die Stallhaltung und damit die Wiesenutzung gegenüber der Weidenutzung durchsetzen konnte (KINDINGER 1942).

Im 17. und 18. Jahrhundert hatten Holzangel und größeres Nutzungsinteresse durch die Landesherren die Einführung von planmäßiger Waldwirtschaft, Waldpflege und Aufforstung

(HARTIG 1795, KINDINGER 1942) zur Folge. Nadelholzpflanzungen in der Langen Rhön werden seit Mitte des 18. Jahrhunderts erwähnt (KINDINGER 1942, BARTH 1993). So wurde z. B. in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Stirnberg mit Fichten aufgeforstet (KINDINGER 1942).

Der so genannte „Dr. Hellmuth-Plan“ von 1933 ist eine detaillierte Landnutzungsplanung, die neben Verkehrserschließung, Sanierung der Landwirtschaft, Pflege des Gewerbes und der Industrie die Neuorganisation der Arbeitsteilung der Bevölkerung und damit die Beseitigung des fränkischen Erbrechts (Realerbteilung) beinhaltet (HASSLINGER 1937, SCHUCHT 1941). Insbesondere im Gebiet der Langen Rhön sollte die land- und forstwirtschaftliche Nutzung während des „Dritten Reiches“ verbessert werden. Um den Anbau von Hafer, Gerste und Kartoffel auf den Hochflächen zu ermöglichen, wurden durch den Reichsarbeitsdienst Fichtenstreifen in Nord-Süd-Richtung als Windschutz angelegt. Flurstücke am Leitgraben, an der Schornhecke und im Schachen wurden 1942 durch den Reichsarbeitsdienst mit Fichten aufgeforstet (Bezirksamt Bad Neustadt, Mitteilungen von Landwirten) und mit *Lupinus polyphyllus* zur Standortverbesserung eingesetzt (siehe Kap. 3.3.1). Meliorationsmaßnahmen in Wiesen (Entsteinung, Entwässerung der Flächen) und im Schwarzen Moor wurden ebenfalls durchgeführt.

#### Nutzung und deren Veränderung auf den Hochflächen der Langen Rhön:

Die extensive Landbewirtschaftung ohne Düngung mit einmaliger Mahd ab „Kiliani“ (8. Juli) führte zum heutigen artenreichen Grünland. Während der jährlichen Heugewinnung wurden die Schlagbäume, die die Zufahrten zur Langen Rhön absperreten, für vier Wochen geöffnet (KINDINGER 1942). Nach der Heuernte ließen Gemeindehirten und Wanderschäfer die Hochflächen durch Schaf- und Ziegenherden abweiden, während die sehr feuchten Bereiche zur Streugewinnung genutzt wurden (GEIER & GREBE 1987).

Während der Entstehungsgeschichte der heutigen Kulturlandschaft bestand das wirtschaftliche Interesse der Landwirte darin, quantitativ und qualitativ hochwertiges Heu v. a. als Winterfutter zu erwirtschaften. Dazu gehörte auch das Ausmähen und die Räumung von Gräben, was eine schnellere Entwässerung der Flächen und damit deren bessere Zugänglichkeit und kürzere Trocknungszeiten für das Heu zur Folge hatte.

### 3.3 Einwanderungsgeschichte von *Lupinus polyphyllus* in der Rhön

Die Initialstellen der Ausbreitung von Neophyten sind für deren Etablierung von großer Bedeutung. Im Folgenden wird die Einwanderungsgeschichte von *Lupinus polyphyllus* in der Rhön beschrieben.

#### 3.3.1 Untersaat in Fichtenaufforstungen

Anfang der vierziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurden bei der Ausführung des „Dr. Hellmuth-Planes“, dessen Ziel es war, die Hochflächen der Rhön land- und forstwirtschaftlich ertragreicher zu nutzen, großflächige Fichtenaufforstungen vorgenommen (Bezirks-Amt Bad Neustadt). Zur Standortverbesserung der Fichtenaufforstungen wurde *Lupinus polyphyllus* als Untersaat verwendet. Die Einsaat erfolgte vorzugsweise nach der von GERHARDT (1927) beschriebenen Methode, nach der das Saatgut zwischen die Nadelholz-Pflanzreihen in schmale, mit der Hacke gezogene Furchen in 1-2 cm Tiefe abgelegt wurde. Die Angaben über die hierbei verwendete Saatgutmenge reichen von zwei bis  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  *Lupinus*-Samen (LENT 1934, ZIMMERLE & REHLING 1937), was einer Menge von 10- 75 Samen je  $\text{m}^2$  entspricht.



**Abb. 4:** NSG „Lange Rhön“ 1950: Blick vom Leitgraben Richtung Heidelberg. *Lupinus*-Bestand in Fichtenaufforstung von 1942 (Foto: R. Omert, Ginolfs)

Abb. 4 zeigt einen achtjährigen Fichtenbestand am Leitgraben im NSG „Lange Rhön“ mit Unterbau von *Lupinus polyphyllus*. Die Schwierigkeit, *Lupinus polyphyllus* zurückzudrängen, beschreibt GERHARDT bereits 1927: „... wo sie einmal Fuß gefasst hat, ist sie, solange sie genügend Licht genießt, nicht mehr zu vertreiben.“ In den

Fichtenforsten der Hohen Rhön wurde *Lupinus polyphyllus* durch die allmählich höher werdenden Bäume verdrängt. Nur in Randbereichen waren die Lichtverhältnisse für eine langfristige Etablierung von *Lupinus polyphyllus* ausreichend. Es kann davon ausgegangen werden, dass von diesen Standorten eine allmähliche, flächige Ausbreitung entlang von Gräben und ungemähten Hochstaudengesellschaften ausging (z. B. am Leitgraben, Elsgellen, Stirnberg Westhang).

### 3.3.2 Wildäsungs- und Deckungspflanze

Seit den sechziger Jahren werden die beiden ausdauernden *Lupinus*-Arten (*Lupinus polyphyllus* und *Lupinus perennis*) in Forst- und Jagdzeitschriften als Wildäsungspflanze empfohlen (HACKBARTH 1966). In den meisten Saatgutkatalogen werden beide Arten als ideale Gründüngungs-, Futter- und Zierpflanzen und zum Teil auch als Wildfutter angeboten (ANONYMUS 1990, ANONYMUS 1998b). Im Saatgutkatalog ODIN-Wildäsung (ANONYMUS 1997c) wird *Lupinus polyphyllus* wie folgt beschrieben: „Pionierpflanze für rohe Böden. Gute Deckungspflanze. Wird nur zögernd bestämt. Gut geeignet für Böschungen, Wegränder und lichte Stellen. Treibt jedes Jahr wieder aus.“ Bereits bei GERHARDT (1927) findet sich jedoch die Angabe, dass *Lupinus polyphyllus* vom Wild nicht verbissen wird. Denn aufgrund des hohen Alkaloidgehaltes von *Lupinus polyphyllus* (Schutz vor Fraßfeinden) lässt sich diese Annahme bestätigen, weshalb ihre Bedeutung als Äsungspflanze anzuzweifeln ist. Dagegen ist *Lupinus polyphyllus* als Deckungspflanze für Wildschweine geeignet, wie eigene Beobachtungen belegen.

Die *Lupinus*-Bestände auf einigen Waldwiesen der Schwarzen Berge zwischen Stangenroth und Gefäll (Bayern) und am Petersee-Moor bei Stedtlingen (Thüringen) sind wahrscheinlich auf Ansaaten für Wildäcker zurückzuführen. Die eingesäten Wildäcker sind im Gelände durch ihre klaren, rechtwinkligen Abgrenzungen erkennbar; von dort aus erfolgt stellenweise eine Ausbreitung in die umgebende Vegetation.

### 3.3.3 Rohbodenpionier zur Böschungsbegrünung

Bei neu angelegten Straßen, Trassenverbreiterungen und sonstigen Erdverschiebungen im Straßenbau findet *Lupinus polyphyllus* seit den siebziger Jahren Verwendung. Untersuchungen von STOTTELE (1995) zeigen, dass der hohe Anteil an *Lupinus polyphyllus* in der straßenbegleitenden Vegetation Deutschlands typisch ist, da Untersaaten mit *Lupinus polyphyllus* bereits während der Bauphase oder als Zwischeneinsaaten auf Bodenmieten vorgenommen werden. Inzwischen hat sich *Lupinus polyphyllus* in silikatischen Mittelgebirgen zu einem festen Bestandteil der Straßenrandvegetation sowie der Waldlichtungsgesellschaften entwickelt (v. a. *Sambuco-Salicion*; STOTTELE 1995).

Am Straßenrand wachsende Pflanzen erfahren eine sehr schnelle und effiziente Ausbreitung. Ein Teil der Samen dieser Arten wird alljährlich auf die Verkehrswege geschleudert und über Kraftfahrzeuge und im Fahrtwind über weite Strecken mitgeführt. Zu diesen Arten zählt auch

*Lupinus polyphyllus*. Am Straßenrand und im Grabenbereich findet *Lupinus polyphyllus* günstige Keimungsvoraussetzungen, wie lückige, mit Nährstoffen angereicherte und mit Wasser gut versorgte Standorte. Zusätzlich verschleppt land- und forstwirtschaftlicher Verkehr Diasporen in von Straßen entferntere Gebiete. Im NSG „Lange Rhön“ wird diese Form der Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* deutlich. Entlang der Hochrhönstraße und angrenzender Wege häufen sich Vorkommen von *Lupinus polyphyllus*. Ist sie erst einmal in den Straßengräben etabliert, kommt es auch zur flächigen Ausbreitung in angrenzenden Wiesen.

Die Folge einer Böschungsbegrünung mit *Lupinus polyphyllus* wird an den Flächen der Gemeindegeweide in Seiferts deutlich: Vor etwa 20 Jahren wurde nach Bauarbeiten die Böschung der Verbindungsstraße L 3476 zwischen Seiferts und der Hochrhönstraße mit *Lupinus polyphyllus* eingesät. Sukzessiv erfolgte die Ausbreitung des *Lupinus*-Bestandes in die Fläche der Gemeindegeweide; dort ist *Lupinus polyphyllus* derzeit die dominante Art.

#### **3.3.4 Ausbreitung durch Gartenabfälle**

Wie bei anderen Neophyten (*Impatiens glandulifera*, *Reynoutria* sp., *Solidago* sp. usw.) erfolgt die Fernausbreitung von *Lupinus polyphyllus* auch durch wild abgelagerte Gartenabfälle. Hier handelt es sich vorwiegend um Züchtungsformen von *Lupinus polyphyllus* (Russell-Hybriden), die durch ihre Farbenvarietät auffallen. Derartige bunte *Lupinus*-Bestände sind an der Kreuzung der Bundesstraße 27 und B 286 bei Eichenzell im Ortsteil Döllbach zu finden.

### 3.4 Lage der Untersuchungsgebiete und Probeflächen

#### Leitgraben im NSG „Lange Rhön“:

Der Standort befindet sich direkt an der Hochrhönstraße auf etwa 820 m ü. NN (Exposition: SO; Inklination: 3°; Gauß-Krüger-Koordinaten: 3573900/5593700). Die Brachfläche ist durch eine gute Wasserversorgung (Hangzugs-wasser) und Nährstoffreichtum (basaltischer Untergrund) gekennzeichnet. Den Vegetationsbestand bilden vorwiegend *Lupinus polyphyllus*, *Poa chaixii* und *Deschampsia cespitosa*. Freiliegende Basaltblöcke beeinträchtigen den Maschineneinsatz bei der Flächenpflege. Die Bodenuntersuchungen im Oberboden des *Lupinus*-Dominanzbestandes zeigen folgende Ergebnisse (siehe Tab. 1): pH [KCl] 4,6; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [CAL] 4,3 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden; K<sub>2</sub>O [CAL] 33 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden und das C/N-Verhältnis beträgt 11.

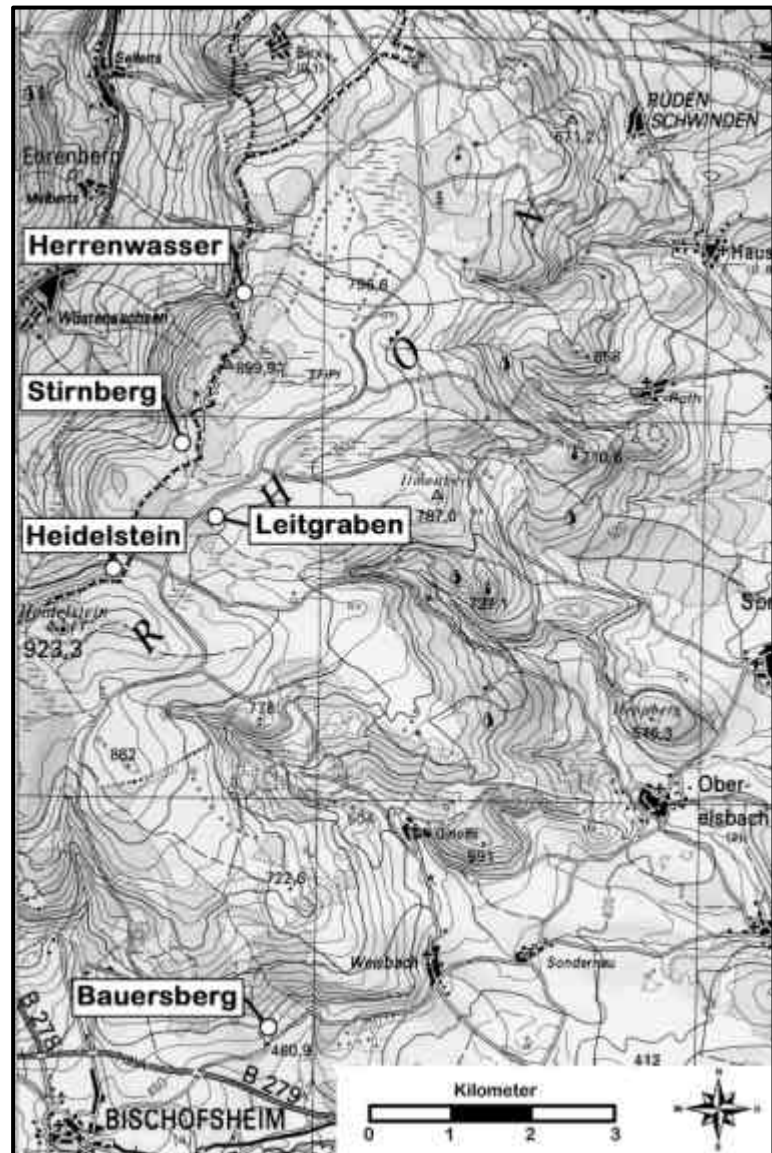


Abb. 5: Übersichtskarte der Untersuchungsflächen (aus TK 1:100.000, C 5526 Meiningen)

#### Stirnberg:

Der Versuchsstandort am Stirnberg befindet sich im Grenzgebiet zwischen den Bundesländern Hessen und Bayern (Gauß-Krüger-Koordinaten: 3572350/5594750; Inklination: 10- 15°) auf 850 m ü. NN. Der westexponierte Hang ist als verbrachte Berg-Goldhaferwiese anzusprechen, in der neben *Poa chaixii* und *Deschampsia cespitosa* *Lupinus polyphyllus* dominiert. Die flachgründigen Braunerden, aus denen Basaltblöcke herausstehen, trocknen sehr schnell aus. Die Untersuchungen des Oberbodens lieferten 5,6 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [CAL] und 30 mg K<sub>2</sub>O [CAL] je 100 g Boden bei einem C/N-Verhältnis von 11 und einem pH-Wert [KCl] von 4,8.

### Bauersberg:

Der Standort liegt auf einer Höhe von 470 m ü. NN, ca. 2,5 km nordöstlich von Bischofsheim (Gauß-Krüger-Koordinaten: 3574650/5587050). Vor etwa 15 Jahren wurde dort die Beweidung mit Jungvieh aufgegeben, seitdem wird eine Teilfläche jährlich gemäht, wobei die *Lupinus*-Bestände großflächig ausgespart werden. Der Muschelkalk im Untergrund ist durch Basalte vom Steinberg überlagert, einzelne kleinere Basaltblöcke stehen an. Die SO-exponierte Fläche (Inklination: 3- 10°) ist durch eine längere Vegetationsperiode als die beiden vorgenannten Standorte gekennzeichnet und während der Sommermonate relativ trocken (siehe Klimadaten Abb. 2 und 3). Der pH-Wert [KCl] im Oberboden des *Lupinus*-Dominanzbestandes lag bei 5,5, der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt [CAL] hatte 3,2 mg und der K<sub>2</sub>O-Gehalt [CAL] 28 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden.

### Herrenwasser:

Auf 880 m ü. NN liegt der Standort Herrenwasser (Gauß-Krüger-Koordinaten: 3574450/5596600), ca. 1 km nördlich des Stirnberges. Als Westhang (Inklination: 7- 18°) ist der Standort starken Temperatur- und Niederschlagsschwankungen und gleichzeitig einer hohen Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Auf der flachgründigen, skelettreichen Braunerde (Basaltverwitterung) mit 10 cm Humusaufgabe bilden vorwiegend *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* den Vegetationsbestand. Die Brachfläche ist wegen ihrer starken Neigung und vereinzelter Basaltblöcke maschinell schwer zu bewirtschaften. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen (0- 10 cm im *Lupinus*-Dominanzbestand) lieferten einen pH-Wert [KCl] von 4,7; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt [CAL] 3,6 und K<sub>2</sub>O [CAL] 29 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden.

### Heidelstein:

Der Untersuchungsstandort am Heidelstein (2000 m<sup>2</sup>) liegt im Bundesland Hessen und grenzt an das NSG „Lange Rhön“ an (Gauß-Krüger-Koordinaten: 3572500/5592900; Höhe: 880 m ü. NN). Auf dem nordwestexponierten Hang (Inklination: 15- 20°), der als Skipiste genutzt und jährlich im Spätherbst geschlegelt wird, breitet sich nach allen Seiten ein Bestand mit *Lupinus polyphyllus* aus. Auf dieser Fläche wurde 1997, 1998 und 1999 im Maßstab 1:250 *Lupinus polyphyllus* flächig kartiert (Kap. 5.2). Die aus botanischer Sicht ursprünglich sehr artenreiche Ausbildung eines Polygalo-Nardetum (bestimmt nach PEPLER 1992) weist neben *Nardus stricta* auch *Arnica montana* auf. Die Ergebnisse der Untersuchungen im Oberboden lieferten im *Lupinus*-Dominanzbestand einen pH-Wert [KCl] von 4,3; einen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt [CAL] von 5,2 und einen K<sub>2</sub>O-Gehalt [CAL] von 36 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden. Im angrenzenden Bestand der mageren Goldhaferwiese war der K<sub>2</sub>O-Gehalt [CAL] mit 20 mg\*100 g<sup>-1</sup> deutlich niedriger.

Tab. 1: Kennzeichen der Untersuchungsflächen

	Leitgraben	Stirnberg	Bauersberg	Herrnwasser	Heidelstein
<b>Größe:</b>	20 x 40 m	40 x 80 m	20 x 40 m	48 Teilflächen à 4 x 4 m	40 x 50 m
<b>Fläche:</b>	800 m <sup>2</sup>	3200 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	768 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>
<b>Höhe ü. NN:</b>	820 m	850 m	470 m	880 m	820 m
<b>Gauß-Krüger-Koordinaten:</b>	3573900/ 5593700	3572350/ 5594750	3574650/ 5597050	3574450/ 5596600	3572500/ 5592900
<b>Exposition:</b>	SO	W	SO	W	NW
<b>Inklination:</b>	3°	10–15°	3–10°	7–18°	15–20°
<b>Nutzung:</b>	Brache	Brache	Brache, ehem. Jungviehweide	Brache	Skipiste, Mulchen im Spätherbst
<b>Bestandsbildner:</b>	<i>L. polyphyllus, Poa chaixii, Deschampsia cespitosa</i>	<i>L. polyphyllus, Poa chaixii, Deschampsia cespitosa</i>	<i>L. polyphyllus</i>	<i>L. polyphyllus, Poa chaixii</i>	<i>L. polyphyllus</i>
<b>Relief; Wasserverhältnisse:</b>	Mulde; feucht	starke Hanglage; wechselfeucht	Hanglage; relativ trocken	starke Hanglage; wechselfeucht	starke Hanglage; wechselfeucht
<b>Bodentyp:</b>	flachgründige, skelettreiche Braunerde, Humusauflage 10 cm	flachgründige, skelettreiche Braunerde, Humusauflage 10 cm	flachgründige, skelettreiche Braunerde, Basalt über Muschelkalk, Humusauflage 5 cm	flachgründige, skelettreiche Braunerde, Humusauflage 10 cm	flachgründige, skelettreiche Braunerden, Humusaufl. im <i>Lupinus</i> -Bestand 10 cm, in Goldhaferwiese 2-5 cm
<b>Unterteilung:</b>	<i>Lupinus</i> -Dominanzbestand	<i>Lupinus</i> -Dominanzbestand	<i>Lupinus</i> -Dominanzbestand	<i>Lupinus</i> -Dominanzbestand	<i>Lupinus</i> -Dominanzbestand
<b>pH [KCl]</b>	4,6	4,8	5,5	4,7	4,3
<b>0–10 cm</b>	4,3	4,8	5,3	4,5	4,1
<b>10–20 cm</b>	4,4	4,7	5,3	4,7	4,2
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [CAL]</b>	4,3	5,6	3,2	3,6	5,2
<b>(mg/100 g)</b>	4,1	5,8	2,4	2,4	4,7
<b>10–20 cm</b>	4,2	5,8	2,4	4,2	4,1
<b>K<sub>2</sub>O [CAL]</b>	33	30	28	29	36
<b>(mg/100 g)</b>	29	24	23	26	20
<b>C/N-Verhältnis</b>	11	11	10	11	11,5
<b>0–10 cm</b>	11	10	10	11	11,7
<b>10–20 cm</b>	11	10	11	11	10,6

\*Die Bodenanalysen wurden nach Standard-Methoden der VDLUFA (1991) durchgeführt. Aus den Pflanzenproben wurde nach der Trockenveraschung bei 500 °C die Analysenlösung für die Gehaltsuntersuchungen von Phosphat, Kalium und Magnesium hergestellt. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wurde nach der Methode von MURPHY & RILEY (1962) im Photometer bestimmt. Die Kationen K, Ca und Mg wurden mit dem Atomic Absorption Spectrometer (AAS der Fa. Varian; Typ Spectra 10) bei definierten Wellenlängen gemessen. Die Gesamtgehalte von C und N wurden mittels dem automatischen Nitrogen Analyser 1500 (Fa. Carlo Erba Instruments) bestimmt.

## 4 Methoden

Um die Ursachen für den Erfolg von *Lupinus polyphyllus* im Bergwiesenökosystem der Rhön beurteilen zu können, wurde das im Folgenden beschriebene Untersuchungsdesign entworfen.

Vegetationsaufnahmen wurden erhoben, um die Pflanzenbestände mit *Lupinus polyphyllus* hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und wichtiger Umweltfaktoren beschreiben zu können. Zur Erfassung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung von *Lupinus*-Beständen und deren Begleitarten wurden Vegetationsaufnahmen auf einer 2000 m<sup>2</sup> großen Fläche am Heidelberg durchgeführt. Zusätzlich lieferte die viermalige Kartierung (1997 bis 2001) der Transekte im Maßstab 1:250 Informationen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit von *Lupinus polyphyllus*. Die Luftbildauswertung ermöglichte die Flächenermittlung von *Lupinus polyphyllus* im NSG „Lange Rhön“. Die Erfassung populationsbiologischer Parameter an *Lupinus polyphyllus* wurden für die Interpretation ihrer Lebens- und Ausbreitungsstrategie herangezogen. Die Untersuchungen zur Vegetations- und Biomasseentwicklung bei maschinellen Pflegemaßnahmen lieferten praktische Hinweise, wie effektiv *Lupinus polyphyllus* reguliert werden kann und wie sich die Bestände vegetationskundlich entwickeln. Die Untersuchungen zur Biomasseentwicklung und zum Nährstoffhaushalt lieferten den Nachweis, in welchem quantitativen Ausmaß *Lupinus polyphyllus* Nährstoffe im Oberboden anreichert. Zusätzlich sollen dadurch Aussagen zu optimalen Pflegeterminen von *Lupinus polyphyllus* ermittelt werden, um den Schutz/Erhaltung der typischen Bergwiesen in der Rhön gewährleisten zu können.

### 4.1 Dokumentation und Auswertung vegetationskundlicher Bestandsaufnahmen

Auf jeweils 10 m\*10 m großen Flächen wurden vegetationskundliche Bestandsaufnahmen nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) durchgeführt. Zur Schätzung der Deckungsgrade der vorhandenen Arten wurde eine achteilige Skala verwendet:

**Tab. 2:** Schätzskala zur Vegetationsaufnahme

Kodierungssymbol (modifizierte Braun-Blanquet-Skala)	Anzahl der Individuen bzw. Deckungsgrad in %	Transformationswert in % für das Auswertungsprogramm „bsveg“
r	1-2 Exemplare	0,1
+	< 1 %	0,5
1	> 1-5 %	3
2a	> 5- 15 %	10
2b	> 15- 25 %	20
3	> 25- 50 %	37,5
4	> 50- 75 %	62,5
5	> 75 %	87,5

Die Nomenklatur entspricht der „Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands“ (WISSKIRCHEN & HAEUPLER 1998), die deutschen Namen den Angaben von OBERDORFER (1994).

Auf einigen Standorten war es möglich, parallel Aufnahmen mit bzw. ohne *Lupinus polyphyllus* zu dokumentieren, die in der Vegetationstabelle alphabetisch als Hochwerte gekennzeichnet sind. Die grau hinterlegten Spalten stellen diejenigen Vegetationsaufnahmen dar, deren Deckungsgrad an *Lupinus polyphyllus* mindestens 2a (> 5 %) beträgt.

## 4.2 Flächige Erfassung von *Lupinus polyphyllus*

### 4.2.1 Auswertung von Luftbildern

Zur Dokumentation der aktuellen Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* im NSG „Lange Rhön“ wurde mit Unterstützung des LIFE II-Projektes „Hochrhön“ im Juli 1998 eine Doppelkammer-Befliegung durchgeführt. Dabei wurden sowohl Color-Diapositive (Kodak SO 359) als auch Color-Infrarotaufnahmen (CIR) (Kodak Aerochrome 2443) erstellt. Die CIR-Aufnahmen sind zur Abgrenzung von Biotoptypen besser geeignet als Color-Dias, deren Vorteil allerdings in der Einzelpflanzenkartierung von *Lupinus polyphyllus* zu sehen ist. Die Luftbilder (Maßstab 1:2.500) wurden unter dem Stereoskop ausgewertet. Die blaue bis violette Blütenfarbe von *Lupinus polyphyllus* ermöglichte eine Abgrenzung von *Lupinus*-Beständen bis hin zur Erkennung von Einzelexemplaren (v. a. in mageren Wiesen und Weiden mit geringer Bestandeshöhe). Dabei wurden die Bestände nach Deckungsgradklassen unterteilt (Tab. 3) und auf Flurkarten dargestellt. Die Flächenberechnung der Deckungsgradklassen erfolgte im GIS Arc View.

**Tab. 3:** Klassifizierungsschema zur Darstellung von *Lupinus polyphyllus* in Flurkarten

Klassen	Darstellung in Flurkarten	Abgrenzung auf Luftbildern
Deckungsgrad 1- 5 %:	gelb	homogen über die Fläche verteilte Einzelpflanzen
Deckungsgrad 6- 50 %:	violett	abgrenzbarer Bestand
Deckungsgrad > 50 %:	rot	abgrenzbarer Bestand

Die im Bericht verwendeten Begriffe Dominanzbestände und lückige Bestände von *Lupinus polyphyllus* werden im Folgenden kurz definiert:

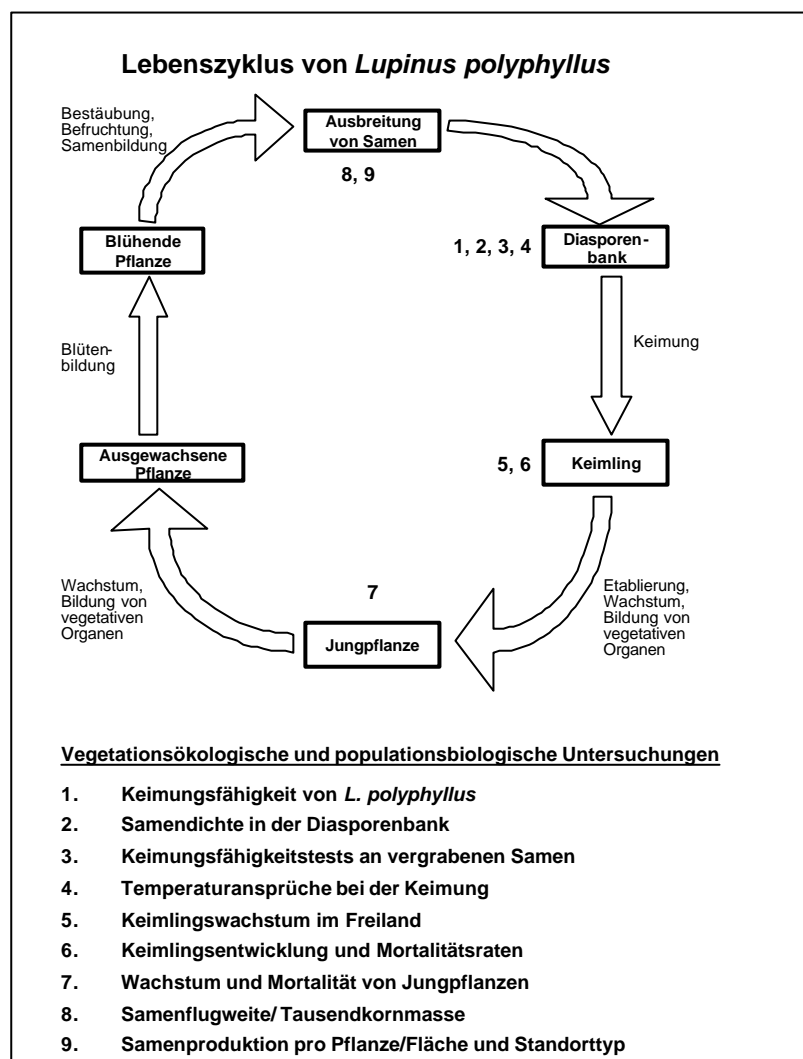
- ◆ Dominanzbestand von *Lupinus polyphyllus* heißt, wenn *Lupinus polyphyllus* mindestens 50 % der Aufnahmefläche bedeckt.
- ◆ Als lückiger Bestand von *Lupinus polyphyllus* werden im Folgenden Flächen bezeichnet, die durch zahlreiche vereinzelt wachsende Individuen von *Lupinus polyphyllus* gekennzeichnet sind (Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* < 50 %).

### 4.2.2 Detailerfassung in großem Maßstab (1:250)

Im Herbst 1997 wurde eine am Standort Heidelberg eingerichtete Probefläche (40 m\*50 m) in 320 Teilflächen je 2,5 m\*2,5 m im Maßstab 1:250 dargestellt. Der Dominanzbestand von *Lupinus polyphyllus* wurde flächig abgegrenzt, während im Randbereich eine individuengenaue Erfassung möglich war. Durch Wiederholungskartierungen in den Jahren 1998, 1999 und 2001 konnte an diesem Beispiel die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines *Lupinus*-Bestandes erfasst werden.

### 4.3 Erfassung populationsbiologischer Parameter

Um die Entwicklung von *Lupinus*-Beständen in den montanen Hochlagen der Rhön erklären zu können, müssen die die Reproduktion bestimmenden Parameter auf Populationsebene erfasst werden. Dazu wurden die in Abb. 6 dargestellten Untersuchungen anhand des Lebenszyklus von *Lupinus polyphyllus* durchgeführt. Die populationsbiologischen Untersuchungen werden im Folgenden in die Bereiche Diasporenbank (Abb. 6, Nr. 1-5), Keimlingsentwicklung (Nr. 6-7) und Samenproduktion (Nr. 8-9) unterteilt.



**Abb. 6:** Schematische Darstellung des Lebenszyklus von *Lupinus polyphyllus* mit Angabe der ausgeführten populationsbiologischen Untersuchungen (angelehnt an das Lebenszyklus-Schema von URBANSKA 1992)

### 4.3.1 Diasporenbank

#### 4.3.1.1 Tetrazolium-Test zur Ermittlung der potenziellen Keimungsfähigkeit

Der Tetrazolium-Test wird zur Keimungsfähigkeitsprüfung von Samen verwendet. Dabei wird die Atmungsaktivität von keimfähigen Samen bzw. deren Reduktionspotential mit Hilfe von Redoxindikatoren nachgewiesen. Der Test stellt lediglich die potenzielle Keimungsfähigkeit fest und liefert keine Information darüber, ob die Samen tatsächlich zur Keimung gelangen. Samen, die auf diesen Test negativ reagieren, sind nicht mehr keimungsfähig (METZNER 1982, SCHOPFER 1989).

#### 4.3.1.2 Diasporenvorrat im Boden

##### Auswahl der Untersuchungsflächen:

Zur Feststellung, ob in älteren Fichtenforsten, auf denen *Lupinus polyphyllus* Anfang der vierziger Jahre als Untersaat Verwendung fand (siehe Kap. 3.4.1), die Diasporenbank noch aktiv ist, wurden an drei Standorten (Schornhecke, Stirnberg-Oberhang, Stirnberg-Unterhang) Proben entnommen. Für die Bestimmung des maximalen Keimlingsaufkommens wurden drei *Lupinus*-Dominanzflächen (Deckungsgrad > 50 %) ausgewählt (Standorte: Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg). Zwei Probeflächen mit relativ dichter Grasnarbe (Schafkoppel bzw. jährlich gemähte Wiese am Stirnberg) und hoher Invasibilität durch angrenzende *Lupinus*-Dominanzbestände wurden in die Untersuchungsreihe aufgenommen.

##### Probeentnahme und Aufbereitung:

Die Probeentnahme erfolgte im Oktober 1997 an allen Standorten nach der gleichen Methode. Dabei wurden auf 25 m<sup>2</sup> jeweils 25 Stichproben (Probenehmer mit 12 cm<sup>2</sup> Kreisfläche) homogen über die Fläche verteilt entnommen und in zwei bzw. drei Tiefenschichten (0- 5 cm, 5- 10 cm und für die Fichtenbestände zusätzlich noch 10- 20 cm) als Mischprobe fraktioniert. Die aufliegende Streu wurde nicht entfernt, so dass bei den Ergebnissen die Samenausschüttung 1997 dazu kommt. Zur statistischen Absicherung wurde an allen Standorten mit vier Wiederholungen gearbeitet. Wassergehalt, Masseanteile an Steinen und organisches Material > 2 mm wurden bestimmt. Die insgesamt 76 Proben wurden in Styropor-Saatgutschalen eingefüllt und unter Freilandbedingungen Mitte November 1997 auf dem Versuchsgelände der Professur für Landschaftsökologie (Universität Gießen) zwölf Monate lang hinsichtlich des Keimlingsaufkommens von *Lupinus polyphyllus* untersucht (siehe Tab. A-2 im Anhang). Als Bezugsgröße für das Keimlingsaufkommen wurde die Entnahmefläche (12 cm<sup>2</sup> je Bohrstockprobe) bezogen auf die Mischprobenanzahl (25) herangezogen (300 cm<sup>2</sup>).

#### 4.3.1.3 Lebensdauer von *Lupinus polyphyllus*-Samen

Um genauere Aussagen darüber treffen zu können, ob *Lupinus polyphyllus* eine dauerhafte Diasporenbank aufbaut, wurden im Herbst 1998 am Standort Leitgraben reife Samen geerntet und jeweils 25 *Lupinus*-Samen in 10 cm\*10 cm große Gazesäckchen eingenäht. In drei Versuchsreihen mit jeweils sechs Wiederholungen wurden die Säckchen im Oktober 1998 am Standort Leitgraben ausgebracht. Die Versuchsreihe I wurde am Oberboden aufgelegt, während Versuchsreihe II in 5 cm bzw. Versuchsreihe III in 10 cm Tiefe vergraben wurde. An 15 Entnahmetermi-  
nen wurden jeweils 18 Proben entnommen und die Samen mit dem Tetrazolium-Test (Kap. 4.3.1.1, S. 32) auf ihre Keimungsfähigkeit untersucht. Um die wetterbedingten Einflüsse auf die Keimungsraten exakter bewerten zu können, wurde das gleiche Verfahren im Herbst 1999 mit 6 Entnahmetermi-  
nen (108 Proben) wiederholt.

#### 4.3.1.4 Temperaturansprüche bei der Keimung und Keimungsraten

Um das Keimungsverhalten von *Lupinus polyphyllus* zu erfassen, wurden die samentragenden Hülsen von *Lupinus polyphyllus* nach folgenden Kriterien ausgesucht:

##### Leitgraben und Stirnberg:

- a) Zufällig ausgewählte Hülsen von *Lupinus polyphyllus* auf langjähriger Brachfläche.
- b) Früh ausgereifte Hülsen der Hauptachse (oberes Drittel des Blütenstandes).
- c) Spät ausgereifte Hülsen der Hauptachse (unteres Drittel des Blütenstandes).
- d) Hülsen der Seitenachsen.

##### Bauersberg:

- e) Hülsen des zweiten Aufwuchses nach Durchführung von Pflegemaßnahmen (Mahd und Mulch Anfang Juni).

Zur Ermittlung der Temperaturansprüche von *Lupinus polyphyllus* bei der Keimung wurden Laborversuche unter standardisierten Bedingungen vorgenommen (OTTE 1994). Die Versuche wurden in Klimaschränken durchgeführt bei jeweils konstanten Temperaturen (3, 7, 10, 15, 20, 25, 30 und 35 °C) und einem Tag- und Nacht-Wechsel (16/8 Stunden). Zusätzlich erfolgte eine Messreihe bei Wechseltemperatur mit 16 Stunden Beleuchtung (15 °C) und acht Stunden Dunkelheit (5 °C). Die Samen von *Lupinus polyphyllus* des Standortes Leitgraben im NSG „Lange Rhön“ wurden pro Temperaturstufe mit zehn Wiederholungen à 25 Samen getestet. Bei allen anderen Untersuchungen erfolgten fünf Wiederholungen. Die Samen wurden in Petrischalen (Ø 9 cm) auf Filterpapier eingezählt und sofort nach dem Anfeuchten (mit destilliertem Wasser) sechs Wochen (42 Tage) in den Klimakammern zum Keimen aufgestellt. Das Auszählen der gekeimten Samen erfolgte im wöchentlichen Abstand.

#### 4.3.1.5 Keimlingsversuche im Freiland

Um genauer klären zu können, wie hoch die Keimungsraten der Samen von *Lupinus polyphyllus* unter Freilandbedingungen sind, wurden Ende Dezember 1998 auf dem Versuchsgelände der Professur für Landschaftsökologie (Universität Gießen) 20 Keimungsschalen mit je 100 Samen von *Lupinus polyphyllus* des Standortes Leitgraben bestückt und diese sukzessive bis zum Sommer 1999 auf das Keimlingsaufkommen hin untersucht.

#### 4.3.2 Keimlingsentwicklung und Mortalitätsraten

Um genauere Aussagen darüber treffen zu können, wie hoch die Überlebensrate der Keimpflanzen von *Lupinus polyphyllus* ist, wurden in der Vegetationsperiode 1999 am Standort Heidelberg an drei Terminen Keimlinge bzw. sich daraus entwickelnde Jungpflanzen gezählt. Dort wurden am 27.04.99 auf einem Messquadrat mit hohem Keimlingsaufkommen alle Keimlinge mit farbigen Stäbchen markiert, um in weiteren zwei Nachkartierungen (08.06.99, 23.08.98) neu hinzu gekommene Keimlinge bzw. die Mortalitätsraten zu ermitteln.

#### 4.3.3 Samenproduktion

Kurz vor der Samenreife wurden im Sommer 1997 auf den drei Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg jeweils zehn Pflanzen von *Lupinus polyphyllus* aus einem Dominanz- (hier Deckungsgrad >75 % *Lupinus polyphyllus*) und einem Einzelbestand auf ihre Samenproduktion untersucht. Dabei wurden vor der Ernte jeweils die Blütenstände und die Anzahl der Sprosse gezählt. Die Pflanzen wurden einzeln ausgedroschen und mit Hilfe eines Samenzählgerätes (Firma BAUMANN: Sortimat) ausgezählt.

Ein Jahr später wurden auf den o. g. Standorten jeweils acht Teilflächen der Größe 4 m\*4 m, die als Dominanzbestände von *Lupinus polyphyllus* angesprochen werden konnten, sämtliche *Lupinus*-Hülsen abgeerntet. Um ein Aufplatzen der Hülsen aufgrund der unterschiedlichen Reifezeitpunkte der Samen im Gelände zu vermeiden, wurden die Samen zur Milchreife geerntet und in luftdurchlässigen Säcken nachgetrocknet. Dreschen und Zählen erfolgte nach der oben genannten Methode.

#### 4.4 Untersuchungen zur Vegetations- und Biomasseentwicklung bei maschinellen Pflegemaßnahmen

Um die Effizienz verschiedener maschineller Pflegemaßnahmen zu überprüfen, wurde in einem Dominanzbestand von *Lupinus polyphyllus* eine Versuchsanlage zur Durchführung von *Lupinus*-regulierenden Maßnahmen eingerichtet.

##### 4.4.1 Auswahl und Einrichtung der Versuchsanlage

Für die Versuchsanlage wurde der Standort Herrenwasser auf 880 m ü. NN ausgewählt. Er liegt innerhalb des Naturschutzgebietes „Lange Rhön“, jedoch nicht im Kernbereich des Wiesenbrüterschutzgebietes. Gleichzeitig war dort ein *Lupinus*-Deckungsgrad >50 % vorhanden.

Um den differenzierten Versuchsaufbau in Bezug auf Pflege-Varianten, Bearbeitungstermine und vier Wiederholungen gewährleisten zu können, wurde auf eine Randomisierung der Versuchsanlage verzichtet. Standortunterschiede zwischen den Pflege-Varianten konnten deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

In Abb. 7 ist die Versuchsanlage Herrenwasser dargestellt. Die Anlage umfasst drei Pflege-Varianten (Mahd, Mulch und Schlegel) der Größe 16 m\*16 m. Die Pflege-Varianten wurden in jeweils vier Bearbeitungsflächen unterteilt. Dabei wurden die Eckpunkte der zwölf Bearbeitungsflächen (8 m\*8 m) mit Holzpfählen markiert und für die Vegetationsaufnahmen und Biomassebestimmungen in jeweils vier Teilflächen (A, B, C, D) der Größe 4 m\*4 m gegliedert.

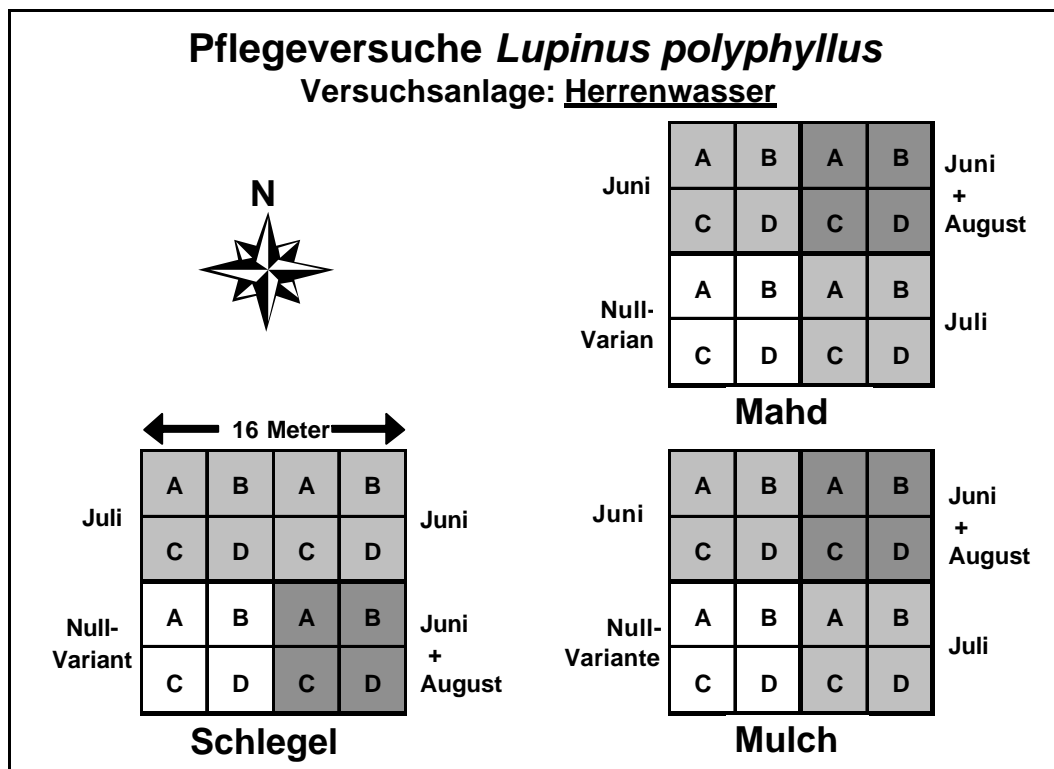


Abb. 7: Übersichtsplan der Versuchsanlage am Standort Herrenwasser

#### 4.4.2 Pflegemaßnahmen

Die Pflegemaßnahmen der Versuchsanlage umfassen neben drei Pflege-Varianten jeweils vier Bearbeitungstermine, die nach der in Tab. 4 dargestellten phänologischen Entwicklung von *Lupinus polyphyllus* ausgeführt wurden.

Die Versuchsanlage umfasst drei Pflege-Varianten:

- ◆ Mahd-Variante (Balkenmäher) mit Abtransport der Biomasse
- ◆ Mulch-Variante (Balkenmäher) ohne Abtransport der Biomasse
- ◆ Schlegel-Variante (Schlegel-Mäher) mit Zerkleinern der Biomasse

Die Bearbeitungstermine der Pflegeflächen erfolgen phänologisch:

- ◆ Null-Variante: keine Pflege
- ◆ 1-Schnitt-Juni-Variante: Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus*
- ◆ 1-Schnitt-Juli-Variante: vor Samenreife von *Lupinus polyphyllus*
- ◆ 2-Schnitt-Juni + August-Variante: Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* + acht Wochen später

**Tab. 4:** Pflegekonzept der Versuchsanlage Herrenwasser: Bearbeitungstermine und Pflege-Varianten mit jeweiliger Anzahl der Teilflächen

	Bearbeitungstermine Teilflächen:	Pflege-Varianten			Phänologische Entwicklungsstufe
		Mahd	Mulch	Schlegel	
		n	n	n	
<b>Herrenwasser</b>	Null-Variante	4	4	4	
	Mitte Juni	4	4	4	Hauptblüte von <i>L. polyphyllus</i>
	Mitte Juli	4	4	4	Milchreife der Samen
	Mitte Juni+Mitte August	4	4	4	Hauptblüte + 8 Wochen später

Die Bearbeitungstermine der Pflegeflächen erfolgen - definiert nach phänologischen Entwicklungszuständen - während der Hauptblüte (Mitte bis Ende Juni) und während der Milchreife der Samen (Mitte Juli). Als zusätzlicher Termin schließt sich für eine Variante eine Herbstmahd acht Wochen nach dem ersten Bearbeitungstermin im Juni an.

#### 4.4.3 Dokumentationsmethoden

Jede Teilfläche von 4 m\*4 m wird vor der Durchführung der Maßnahmen nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) mit einem erweiterten Aufnahmeschlüssel für den Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* (5 % Skala) dokumentiert. Als zusätzlicher Parameter wurde die Gesamtbio-

masseproduktion und der jeweilige Anteil an *Lupinus polyphyllus* abgeschätzt, um Rückschlüsse auf die Biomasseproduktion der nicht bestimmten Schlegel- und Null-Varianten ziehen zu können.

#### 4.4.4 Biomassebestimmungen

Auf den Mulch- und Mahd-Varianten (32 Teilflächen) wurde zum jeweiligen Schnitttermin die gesamte Frischbiomasse gewogen. Auf der Hälfte dieser Teilflächen wurde das Schnittgut von 4 m<sup>2</sup> in *Lupinus polyphyllus* und „Restbiomasse“ (Restbiomasse = gesamte Biomasse abzüglich *Lupinus polyphyllus*) fraktioniert und gewogen. Zu jedem Erntetermin wurden pro Variante (z. B. Mahd - Mitte Juni) jeweils vier Mischproben (ca. 1 kg) *Lupinus polyphyllus* bzw. „Restbiomasse“ eingewogen und nach Wasserentzug im Trockenschrank (105 °C) die Trockenbiomasse ermittelt.

#### 4.5 Biomasseentwicklung und Nährstoffhaushalt

Um die Biomasseentwicklung in Beständen mit und ohne *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf zu ermitteln und den internen Nährstoffkreislauf von *Lupinus polyphyllus* im Jahresgang quantifizieren zu können, wurden folgende Untersuchungen vorgenommen:

- 1998 bis 2001 wurde auf 32 Teilflächen (je 16 m<sup>2</sup>) der Versuchsanlage Herrenwasser die Biomasse bestimmt:  
1998: 23.06.98, 14.07.98, 31.08.98  
1999: 22.06.99, 16.07.99, 30.08.99  
2000: 08.06.00, 26.06.00, 07.08.00  
2001: 21.06.01, 16.07.01, 13.08.01
- ◆ 1999 wurde am Standort Leitgraben an sechs Terminen (16.06, 30.06, 14.07, 28.07, 11.08 und 25.08) die Biomasse in Beständen mit *Lupinus polyphyllus* und in angrenzenden Beständen ohne *Lupinus polyphyllus* ermittelt und hinsichtlich der Pflanzennährstoffe analysiert.
- ◆ 1998 wurde an neun Terminen zwischen dem 17.04 und 06.10 auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg (ähnlich dem Standort Herrenwasser) und Bauersberg die Nährstoffe der generativen und vegetativen oberirdischen Biomasse sowie des Wurzelstocks von *Lupinus polyphyllus* analysiert (siehe Kap. 4.5.2).

#### 4.5.1 Ermittlung der Biomasseproduktion

Die Biomassebestimmung wurde am Frischmaterial im Gelände durch Aberntung von 16 m<sup>2</sup> (4 m\*4 m) mit einer Federwaage bestimmt. Zusätzlich wurde im Bestand mit *Lupinus polyphyllus* die Biomasse von *Lupinus polyphyllus* und deren Begleitflora getrennt gewogen. Sowohl in den *Lupinus*-Beständen als auch in benachbarten Beständen ohne *Lupinus polyphyllus* (Goldhaferwiese, Borstgrasrasen) wurden zwei Wiederholungen (4 m\*4 m) durchgeführt. Jeweils zwei Mischproben (ca. 1 kg) je Teilfläche (16 m<sup>2</sup>) wurden zur Bestimmung der Trockenbiomasse und für die Nährstoffanalysen herangezogen. Im *Lupinus*-Dominanzbestand wurde die Biomasse von *Lupinus polyphyllus* und seiner Begleitflora („Restbiomasse“) getrennt voneinander bestimmt.

#### 4.5.2 Interner Nährstoffhaushalt von *Lupinus polyphyllus*

Im Jahresverlauf 1998 wurden auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg an neun Terminen jeweils drei *Lupinus*-Pflanzen ausgegraben und in Fraktionen (generativ und vegetativ oberirdischer sowie unterirdischer Teil) getrennt. Zur Kontrolle erfolgte ein Jahr später am 16. Juni 1999 eine Entnahme. Nach der Trocknung wurde das Pflanzenmaterial gewogen und gehäckselt und mit einer Scheiben- und Kugelmühle gemahlen. Diese Pflanzenproben wurden anschließend für die Gehaltsbestimmung von Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg) verwendet. Zusätzlich wurden am Standort Leitgraben 1999 an sechs Terminen (S. 37) im *Lupinus*-Bestand und einer benachbarten Goldhaferwiese ohne *Lupinus polyphyllus* Mischproben (aus 4 m\*4 m mit jeweils zwei Wiederholungen) entnommen und auf die o. g. Nährstoffe untersucht. Die Vegetation des *Lupinus*-Dominanzbestandes wurde getrennt nach *Lupinus polyphyllus* und seiner Begleitflora analysiert.

#### 4.6 Auswertungsmethoden

Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der pflanzensoziologischen Methodik von BRAUN-BLANQUET (1964) geordnet. Die Berechnung der Zeigerwerte von ELLENBERG et al. (1992) erfolgte im Tabellenkalkulationsprogramm bsveg (STORCH 1983). Zur statistischen Auswertung der populationsbiologischen Daten wurde die Software STATISTICA 5.1 verwendet. Für die potenzielle Keimungsfähigkeit, den Diasporenvorrat im Boden, Lebensdauer von *Lupinus*-Samen im Boden, die Temperaturansprüche bei der Keimung und die Keimlingsversuche im Freiland wurden Mittelwert (bei starker Streuung z. T. Median) und Standardabweichung berechnet. Für die Entwicklung der Lebensdauer von *Lupinus*-Samen (Funktion der Entwicklung potenziell keimfähiger Restsamen) wurde in EXCEL ein exponentielles Modell erstellt und mit dem

„Solver“ gefittet. Für die Überprüfung, ob die Keimung von *Lupinus polyphyllus* signifikant von der Vergrabungstiefe abhängt, wurde ab dem achten Entnahmeterrain der Tukey HSD-Test herangezogen. Die Ergebnisse der Keimungsversuche im Freiland, Individuelle Samenproduktion, Samenproduktion pro Fläche und die Tausendkornmasse wurden als Box-Whisker-Plots mit Median, Quartile, Minimum und Maxima dargestellt. Die einfaktorielle Varianzanalyse wurde für den Standortvergleich herangezogen bzw. für die individuelle Samenproduktion die zweifaktorielle Varianzanalyse. Auf Signifikanz wurde mit dem Tukey HSD-Test abgefragt. Die Überprüfung der Daten auf Varianzhomogenität erfolgte mit dem Bartlett-Test.

Für die Darstellung und Interpretation der Auswirkungen der maschinellen Pflegeversuche auf die Vegetationsentwicklung (240 Vegetationsaufnahmen) wurde die multivariate Statistik herangezogen. Bei der Ordination werden Vegetationsaufnahmen bzw. Arten in Beziehung zu Umweltfaktoren gesetzt. Auf mathematischem Weg wird der n-dimensionale Raum, der durch die Vegetationsaufnahmen bzw. Arten aufgespannt wird, auf wenige darstellbare Achsen reduziert. Die Deckungsgradschätzung nach BRAUN-BLANQUET (1964) wurden durch die in Tab. 2 dargestellten Transformationswerte ersetzt und im Anschluss die Mittelwerte der parallelen Vegetationsaufnahmen gebildet (60 Vegetationsaufnahmen). Um den Einfluss der Vegetationsdeckung bei der Hauptkomponentenanalyse (PCA) anzupassen, wurden die Deckungsgrade mit dem Exponenten  $p = 0,5$  transformiert. Die PCA wurde mit dem Programm PC ORD durchgeführt.

Für die Interpretation der Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* im Untersuchungszeitraum 1998 bis 2001 in Bezug auf die drei Pflege-Varianten und vier Bearbeitungstermine wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (STATISTIKA) durchgeführt (als Bezugsgröße gilt die *Lupinus*-Biomasse zu Versuchsbeginn = 100 %). Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurden mit dem Tukey HSD-Test auf Signifikanz getestet.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Aktuelle Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* und Einnischung in die Grünlandgesellschaften der Rhön

#### 5.1.1 Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* im NSG „Lange Rhön“ (1998)

Die Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* im Bereich des Naturschutzgebietes „Lange Rhön“ wurde anhand von Luftbildern aus dem Jahre 1998 dokumentiert (Kap. 4.2.1). Die nachfolgenden Prozent- und Flächenangaben beziehen sich ausschließlich auf das NSG „Lange Rhön“, das den Großteil des Untersuchungsgebietes darstellt.

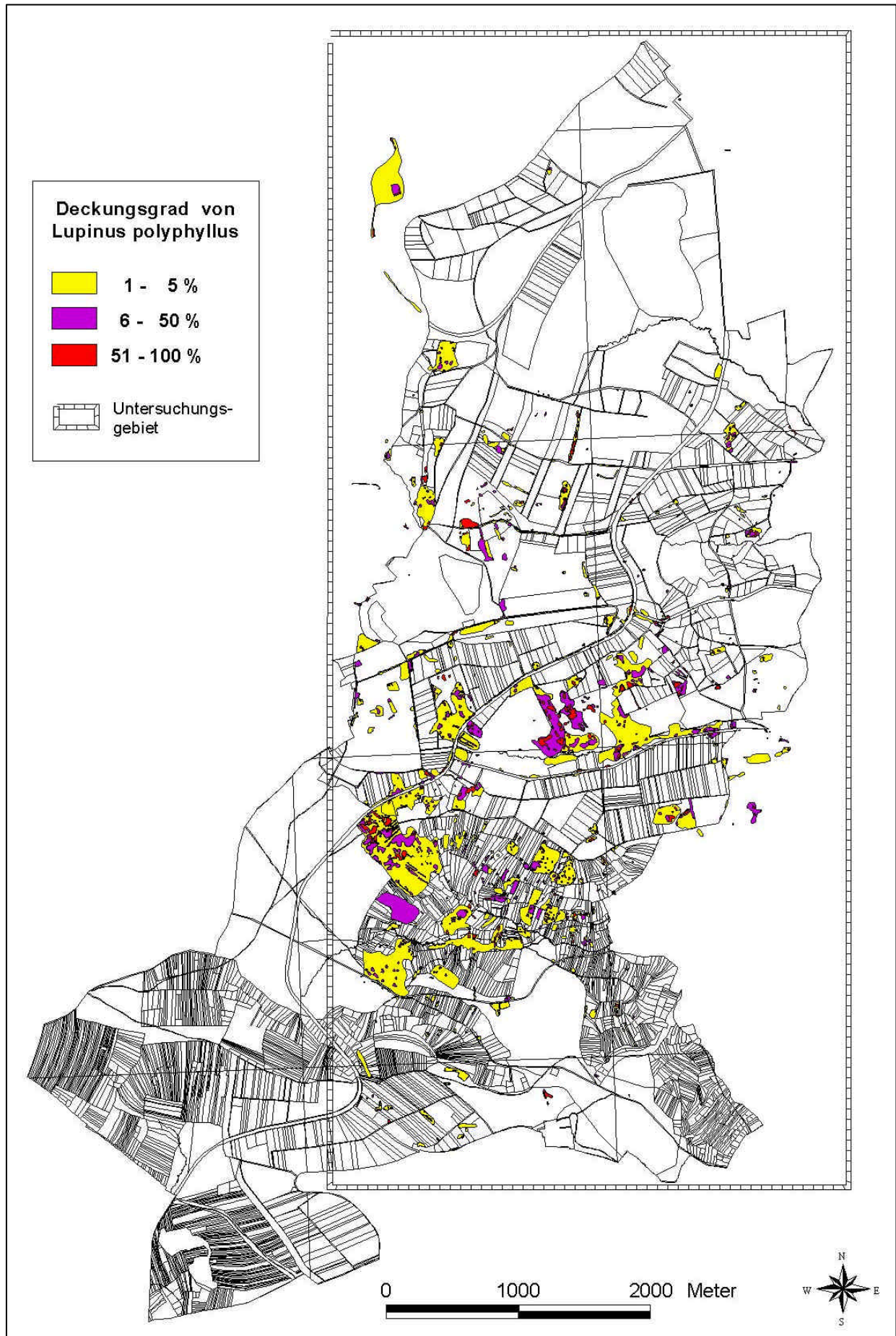
**Tab. 5:** Klassifizierungsschema zur Darstellung von *Lupinus polyphyllus* in Flurkarten

Deckungsgrad-Klassen <i>L. polyphyllus</i>	Fläche in ha	%-Anteil des NSG (2666 ha)
Deckungsgrad 1–5 %:	113	4,2%
Deckungsgrad 6–50 %:	31	1,2%
Deckungsgrad > 50 %:	13	0,5%
<b>Summe:</b>	<b>157</b>	<b>5,9%</b>

1998 waren 113 ha (4,2 %) des Schutzgebietes (2666 ha) mit einem Deckungsgrad von 1-5 % *Lupinus polyphyllus* abgrenzbar (Abb. 9). 31 ha (1,2 %) hatten 6-40 % und 13 ha (0,5 %) einen Anteil > 40 % *Lupinus polyphyllus*. Massenvorkommen (Deckungsgrad > 40 %) befinden sich in den feuchten Hanglagen des Leitgrabens, der Elsgellen und des Oberekbacher Grabens. Daneben gibt es kleinere *Lupinus*-Herden unterhalb des Heidelsteins, des Maihügels, des Querbergs und am Herrenwasser. Kleinere, lineare *Lupinus*-Vorkommen finden sich entlang der Hochrhönstraße, an ungenutzten Wegrändern und Basaltriegeln.



**Abb. 8:** NSG „Lange Rhön“ (11.06.99): Leitgraben zur Hauptblütezeit von *Lupinus polyphyllus* (violett)



**Abb. 9:** Verbreitung von *Lupinus polyphyllus* im NSG „Lange Rhön“ (1998)

### 5.1.2 Aktuelle Pflanzengesellschaften mit *Lupinus polyphyllus*

Zur Beschreibung, in welchen Pflanzenbeständen *Lupinus polyphyllus* aktuell vorkommt, wurden Standorte (Gauß-Krüger-Koordinaten und Beschreibung der Aufnahmestandorte befinden sich im Anhang) mit und ohne *Lupinus polyphyllus* nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) aufgenommen (Tab. 6, S. 45). In allen Aufnahmen sind Charakterarten der Storchschnabel-Goldhaferwiesen (*Geranio sylvatici-Trisetum flavescens*) zu finden. Auf den mageren Standorten (A, A<sup>L-P</sup>) stellen sich Arten der Borstgrasrasen (*Nardetalia*) ein, während in feuchten bis nassen Lagen (C, C<sup>L-P</sup>) Arten der Feuchtwiesen (*Molinietalia*) zunehmen. In den Aufnahmen der Tieflagen (D, D<sup>L-P</sup>) werden die Kennarten der Storchschnabel-Goldhaferwiesen durch die Charakter- und Kennarten der Glatthaferwiesen (*Arrhenatheretalia*) ersetzt.

#### A: *Geranio sylvatici-Trisetum flavescens*, Ausbildung von *Galium saxatile* (Aufn. 1–8):

Die mageren Standorte der Goldhaferwiesen in den Hochlagen (ca. 800 m ü. NN) leiten zu den Borstgrasrasen über. Die mittlere Bestandeshöhe (Aufnahme 1–8) liegt zwischen 15 und 50 cm, die Artenzahl reicht von 25–47. Der Anteil an Arten der Borstgras- und Zwergstrauchheiden (*Nardo-Callunetea*) ist im Vergleich zur typischen Ausbildung der Goldhaferwiesen (B, B<sup>L-P</sup>) höher. Durch die *Galium saxatile*-Gruppe mit *Nardus stricta*, *Galium saxatile*, *Thymus pulegioides*, *Viola canina* und *Thesium pyrenaicum* lassen sie sich voneinander abgrenzen. Aufgrund der sehr extensiven Nutzung (Mahd im Spätsommer) und dem teilweise vollständigen Nutzungsausfall ist der Anteil an Brache- und Versaumungszeigern relativ hoch (*Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa*). *Hypericum maculatum* nimmt dabei z. T. einen erheblichen Flächenanteil in Anspruch. Ähnliche Bestände werden von BARTH (1995) als *Galium-harcynicum-Nardus-stricta*-(*Nardetalia*-Basalgesellschaft) bezeichnet.

#### A<sup>L-P</sup>: *Geranio sylvatici-Trisetum flavescens*, Ausbildung von *Galium saxatile* - Fazies mit *Lupinus polyphyllus* (Aufn. 9 + 10):

In nährstoffarmen Bereichen der Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen tritt *Lupinus polyphyllus* vorwiegend einzeln stehend auf, kann jedoch bei ausschließlicher „Spätmahd“ (nach Ausreifung der Samen von *Lupinus polyphyllus*) oder bei Brachfallen Dominanzbestände ausbilden. Die mittlere Bestandeshöhe (Aufnahme 9 + 10) liegt zwischen 60 und 70 cm, was auf den hohen Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* zurückzuführen ist. Die Aufnahmen 9 (28 Arten) und 10 (40 Arten) stellen Dominanzbestände von *Lupinus polyphyllus* dar, deren Arteninventar noch auf die magere Ausbildung der Goldhaferwiesen hinweist. Die meisten Arten der in A beschriebenen Gruppe sind noch vorhanden, denn die *Lupinus*-Bestände beinhalten *Lupinus polyphyllus*-freie Lücken. Dort können sich kleinwüchsige Arten wie *Galium saxatile*, *Thesium pyrenaicum* und

*Hypericum maculatum* halten. Vereinzelt kommen nährstoffanzeigende Arten aus der *Galium aparine*-Gruppe vor.

**B: Geranio sylvatici-Trisetum flavescens, typische Ausbildung** (Aufn. 11- 17):

Die zusammenhängend großflächigsten Standorte von *Lupinus polyphyllus* in der Rhön befinden sich in den Hochlagen bodenfrischer Standorte. Die Vegetationsaufnahmen der typischen Hochlagen-Goldhaferwiesen (610- 810 m ü. NN) sind im Komplex B zusammengestellt. Die mittlere Bestandeshöhe ohne *Lupinus polyphyllus* (Aufnahme 11- 17) liegt zwischen 30 und 50 cm, die Artenzahl reicht von 18 bis 41. In den vorwiegend ungenutzten oder erst ab dem Spätsommer gemähten Flächen bilden *Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa* und *Festuca rubra* die bestandsbildenden Gräser. Die kleinwüchsigen Arten der *Galium saxatile*-Gruppe fehlen.

**B<sup>L-P</sup>: Geranio sylvatici-Trisetum flavescens, typische Ausbildung**  
- Fazies mit *Lupinus polyphyllus* (Aufn. 18- 36):

Die Hälfte der Vegetationsaufnahmen (Aufnahmen 18, 19, 31- 36) der Fazies mit *Lupinus polyphyllus* stammen aus dem Kernbereich des Naturschutzgebietes (Leitgraben, Elsgellen). Die mittlere Bestandeshöhe (Aufnahme 18- 36) liegt bedingt durch *Lupinus polyphyllus* zwischen 30 und 110 cm, die Artenzahlen zwischen 18 und 44. Die Nährstoffe anzeigende *Galium aparine*-Gruppe mit *Galium aparine*, *Poa trivialis*, *Alopecurus pratensis*, *Galeopsis tetrahit*, *Vicia sepium*, *Galium mollugo* agg. und *Urtica dioica* kennzeichnet mit hoher Stetigkeit die *Lupinus*-Fazies. Die Tieflagenart *Urtica dioica* findet sich in Aufnahme 20 mit dem Deckungsgrad 3 (25- 50 %). In den Aufnahmen 22, 30, 34 und 35, deren parallele Aufnahmen in der mageren Ausbildung der Goldhaferwiesen (Komplex A) liegen, fehlt die *Galium saxatile*-Gruppe vollständig.

**C: Geranio sylvatici-Trisetum flavescens,**  
**Ausbildung von *Galium uliginosum*** (Aufn. 37 + 38):

Im Bereich der feuchten bis nassen Standorte in den Hochlagen (830- 850 m ü. NN) leiten die Goldhaferwiesen zu den Kleinseggenrieden (Scheuchzerietalia) über. Kennzeichnend für sie ist die *Galium uliginosum*-Gruppe mit *Potentilla palustris*, *Carex panicea*, *Epilobium palustre*, *Viola palustris*, *Agrostis canina*, *Galium uliginosum*, *Mentha arvensis*, *Juncus effesus*, *Carex nigra*, *Equisetum palustre*, *Caltha palustris*, *Juncus conglomatus*, *Angelica sylvestris*, *Succisa pratensis*. Artenreich ist die Aufnahme 37 mit 40 Arten. Sie weist durch das flächige Auftreten von *Potentilla palustris* und *Viola palustris* eine mittlere Bestandeshöhe von 50 cm auf, während die Aufnahme 38 (28 Arten) vorwiegend durch *Angelica sylvestris* geprägt ist (mittlere Bestandeshöhe: 80 cm).

**C<sup>L-P</sup>: Geranio sylvatici-Trisetum flavescens-Ausbildung von *Galium uliginosum*  
- Fazies mit *Lupinus polyphyllus* (Aufn. 39- 46):**

In der Faziesausbildung mit *Lupinus polyphyllus* (780- 860 m ü. NN) liegen die mittleren Bestandeshöhen zwischen 60 und 120 cm, die Artenzahlen zwischen 28 und 50. In den feuchten bis sehr feuchten Hochstaudengesellschaften ist *Lupinus polyphyllus* noch konkurrenzfähig, fällt aber in nassen und staunassen Bereichen aus oder ist dort nur noch vereinzelt auf Bulten zu finden. Mit *Filipendula ulmaria* kann *Lupinus polyphyllus* dichte, lichtundurchlässige Bestände ausbilden (Aufnahme 40, 42 und 46). Die *Galium aparine*-Gruppe differenziert die Aufnahmen 43- 46 (Aufnahme 44: *Urtica dioica* 4); hier geht der Anteil der feuchtezeigenden, niedriger wüchsigen *Galium uliginosum*-Gruppe zurück. *Epilobium angustifolium* ist in den Aufnahmen 45 und 46 mit einem Deckungsgrad von 2a vertreten.

**D: Übergangsgesellschaft zwischen Geranio sylvatici-Trisetum flavescens und Arrhenatheretum elatioris (Aufn. 47 + 48):**

In den tieferen Lagen (470- 650 m ü. NN) vermittelt die nährstoffreichere Ausbildung der Goldhaferwiesen zu den Glatthaferwiesen. Aufnahme 47 (42 Arten) hat eine mittlere Bestandeshöhe von 70 cm, Aufnahme 48 (31 Arten) von 60 cm. *Poa chaixii* fällt in den tieferen Lagen fast vollständig aus, während die Bestandsanteile der Obergräser *Poa pratensis*, *Poa trivialis*, *Alopecurus pratensis*, *Festuca pratensis* und *Phleum pratense* zunehmen. Der Anteil der nährstoffzeigenden *Galium aparine*-Gruppe und die *Cirsium arvense*-Gruppe mit *Ranunculus repens*, *Cirsium arvense*, *Festuca pratensis* und *Phleum pratense* nimmt zu.

**D<sup>L-P</sup>: Übergangsgesellschaft zwischen den *Lupinus polyphyllus*-Fazies des Geranio sylvatici-Trisetum flavescens und Arrhenatheretum elatioris (Aufn. 49- 52):**

Die Aufnahmen 49 und 51 stellen parallele Aufnahmen mit *Lupinus polyphyllus* zu den Aufnahmen 47 und 48 dar. Die mittleren Bestandeshöhen sind in den Aufnahmen mit *Lupinus polyphyllus* um 30 cm höher als in Beständen ohne *Lupinus polyphyllus*. Aus der Artenzusammensetzung ist jedoch nicht ersichtlich, ob und in welchem Ausmaß *Lupinus polyphyllus* Arten verdrängt. Im Allgemeinen sind die Bestände der nährstoffreicheren Tieflagen frohwüchsiger, und hochwüchsige Arten bestimmen die Vegetation. *Lupinus polyphyllus* tritt hier nicht als alleinige hochwüchsige Art auf und muss mit anderen hochwüchsigen Arten konkurrieren.



## 5.2 Vegetationsdynamik auf den Teilflächen des Transekts Heidelberg

### 5.2.1 Vegetationsveränderungen zwischen 1997 und 2001

#### Zustand 1997:

Der Transekt ist als artenreiche Goldhaferwiese mit Übergang zum Borstgrasrasen anzusprechen (*Geranio sylvatici-Trisetum flavescens*, Ausbildung von *Galium saxatile*). Als Artengruppe wird die Fläche durch die *Galium saxatile*-Gruppe mit *Galium saxatile*, *Euphrasia rostkoviana*, *Leontodon hispidus*, *Thesium pyrenaicum*, *Vaccinium myrtillus*, *Centaurea montana* und *Hieracium pilosella* vertreten. Die bestandsbildenden Gräser des Standortes sind die Magerkeit anzeigenden Arten *Festuca rubra*, *Festuca ovina*, *Helictotrichon pubescens* und *Nardus stricta*. Daneben zeigen *Poa chaixii*,



**Abb. 10:** Heidelberg (21.06.98): Luftbild des Heidelstein Nordhangs zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* mit eingezeichneter Transektfläche

*Luzula luzuloides*, *Anthoxanthum odoratum* und *Deschampsia flexuosa* das Eindringen von Versaumungs- und Brachezeigern an. Die Kräuter mit höheren Deckungsgraden sind *Bistorta officinalis*, *Trollius europaeus*, *Ranunculus nemorosus* und *Knautia arvensis*. Der Versaumungszeiger *Hypericum maculatum* bedeckt z. T. erhebliche Flächenanteile. Die Artenzahlen reichen von 25 bis 40, die mittlere Artenzahl ist 36. Im Zentrum des Transektes befindet sich eine *Lupinus*-Herde mit einem Deckungsgrad von 4- 5 (> 50 %).

#### Nutzung/Maßnahmen:

Das Flurstück, auf dem sich der Transekt befindet, wird als Skipiste genutzt und jährlich zur Beseitigung hochstehender Biomasse im Spätherbst geschlegelt.

Die 20 Teilflächen der Transekte ließen sich aufgrund der Auswertung der Bestandsaufnahmen von 1997, 1999 und 2001 in drei Gruppen gliedern (Abb. 11 und Tab. 7):

1. wenig veränderte Vegetation
2. starke Zunahme des Deckungsgrades von *Lupinus polyphyllus* und deren Begleiter
3. starke Zunahme des Deckungsgrades der *Lupinus*-Begleiter, starker Artenrückgang

1. wenig veränderte Vegetation

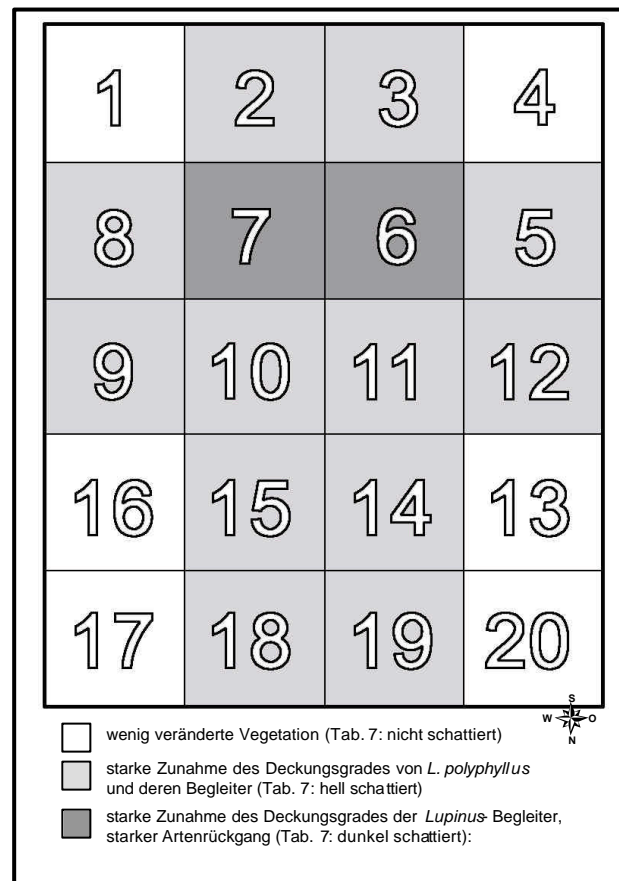
(Abb. 11 und Tab. 7, nicht schattiert):

Die Vegetationsaufnahmen 1, 4, 13, 16, 17 und 20 befanden sich 1997 im Randbereich der Transekte. Dort etablierten sich bis 1999 nur Einzelpflanzen von *Lupinus polyphyllus*. Sein Deckungsgrad hat zwischen 1999 und 2001 zugenommen. Die an nährstoffreichen Standorten häufigen Arten *Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit* und *Urtica dioica* konnten sich auf diesen Teilflächen noch nicht etablieren. Die durchschnittliche Artenzahl

war im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2001 mit 45 Arten konstant. Aufnahme 17 war mit 52 Arten am artenreichsten. Die Bestandeshöhe der Gras- und Krautschicht war im Untersuchungszeitraum relativ unverändert; Einzelpflanzen von *Lupinus polyphyllus* konnten sich bis 2001 kräftig entwickeln (Höhe: 120 cm). Die durchschnittlichen Lichtzahlen der sechs Vegetationsaufnahmen liegen mit 6,7 etwas über den Durchschnittswerten von 6,5. Die Stickstoffzahlen dieser



**Abb. 12:** Heidelberg (30.06.98): *Arnica montana* wird von *Lupinus polyphyllus* überwachsen



**Abb. 11:** Übersicht der Vegetationsaufnahmen am Transekt Heidelberg

Aufnahmen liegen mit 3,8 deutlich unter dem Durchschnitt von 4,1, was auf die größere Artenzahl magerer Standorte zurückzuführen ist. Die Turn-over-Rate, die den Grad des Artenwechsels zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten angibt, liegt zwischen 5 und 10 %.

## 2. starke Zunahme des Deckungsgrades von *Lupinus polyphyllus* und deren Begleiter

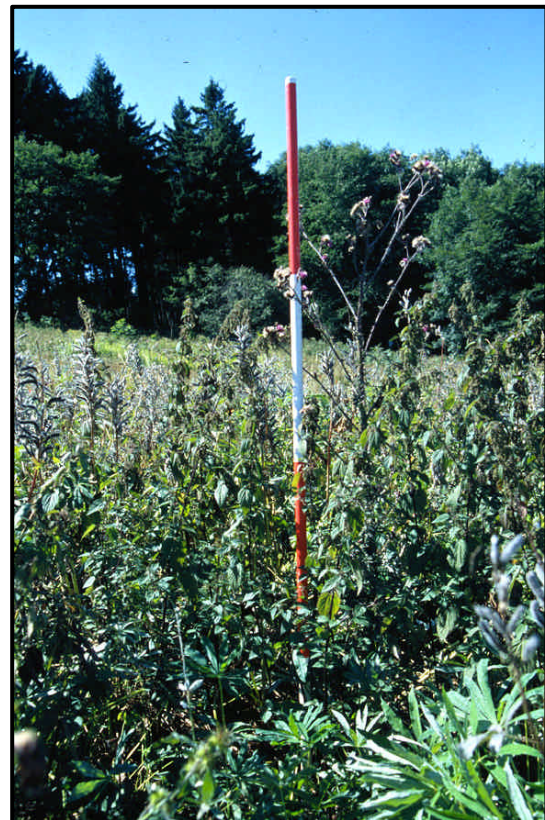
(Abb. 11 und Tab. 7, hell schattiert):

Die Vegetationsaufnahmen 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 18 und 19 grenzten 1997 direkt an den dichten *Lupinus*-Bestand an. Auf diesen Teilflächen konnte sich *Lupinus polyphyllus* bis 2001 zu dichten Beständen entwickeln. Die an nährstoffreichen Standorten häufigen Arten *Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit* und *Urtica dioica* nahmen seit 1997 stetig zu und erreichten 2001 Deckungsgrade von 1 bis 2a. Die durchschnittliche Artenzahl blieb im Untersuchungszeitraum 1997 bis 1999 mit 40 Arten konstant, zwei Jahre später konnten im Durchschnitt 36 Arten gefunden werden. Durch die Zunahme von *Lupinus polyphyllus* ging der Deckungsgrad an Gräsern und Kräutern zurück. Gleichzeitig stieg die durchschnittliche Höhe der Grasschicht von 80 auf 99 cm, die der Krautschicht von 44 auf 62 cm. Im Durchschnitt der Vegetationsaufnahmen liegt die ungewichtete Lichtzahl bei 6,5; die Feuchtezahl bei 5,2; die Reaktionszahl bei 4,6 und die Stickstoffzahl bei 4,1. Die Turn-over-Rate liegt zwischen 10 und 20 %.

## 3. starke Zunahme des Deckungsgrades der *Lupinus*-Begleiter, starker Artenrückgang

(Abb. 11 und Tab. 7, dunkel schattiert):

Die Vegetationsaufnahmen 6 und 7 waren bereits 1997 dicht mit *Lupinus polyphyllus* bewachsen. *Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit* und *Urtica dioica* waren 1997 mit geringer Deckung vorhanden und nahmen bis 2001 stark zu. Die durchschnittliche Artenzahl ging von 28 (1997) bis auf 18 Arten (2001) zurück. Neben *Lupinus polyphyllus* und deren Begleitern ist das Vorkommen anderer Arten nur noch als rudimentär einzustufen. Die Bestandeshöhe war im Untersuchungszeitraum konstant bei 120 cm. Die ungewichtete Lichtzahl liegt mit 6,5 im Durchschnitt der gesamten Transekttaufnahmen. Dagegen sind die Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahlen deutlich höher als die Durchschnittswerte. Der Artenwechsel (Turn-over-Rate) innerhalb der Untersuchungsjahre lag jeweils zwischen 20 und 30 %.



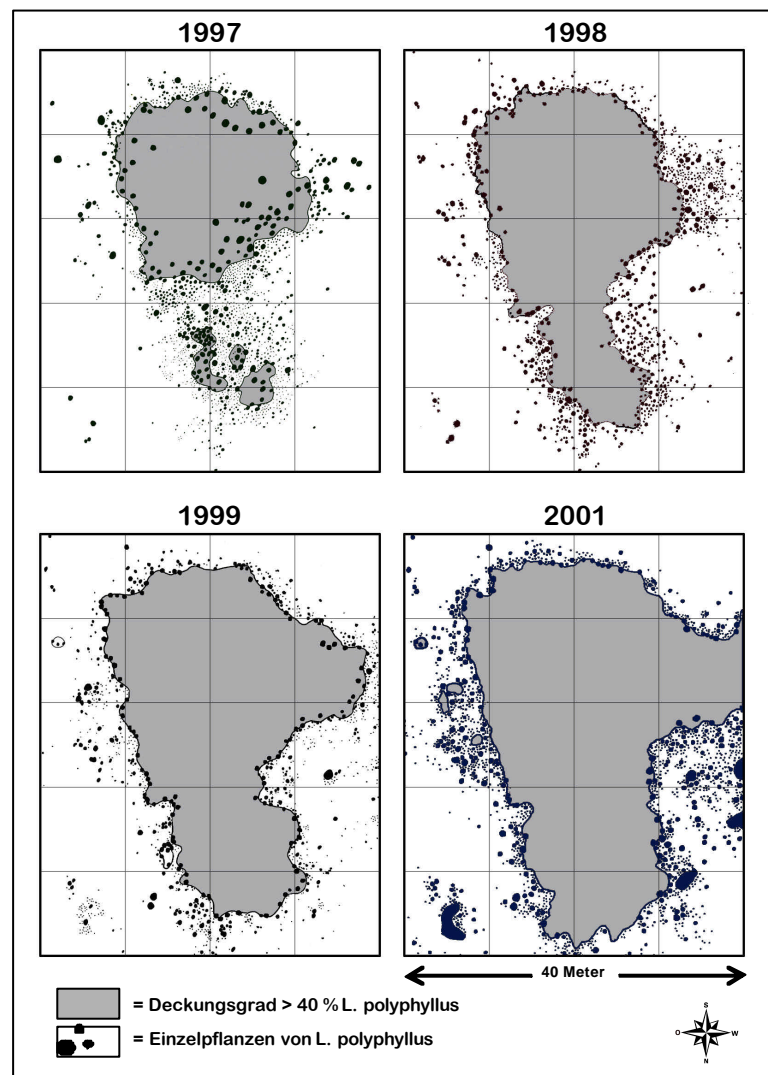
**Abb. 13:** Heidelbergstein (24.08.99): *Lupinus*-Dominanzbestand mit Begleitflora *Cirsium palustre*, *Urtica dioica* und *Galium aparine*



### 5.2.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit von *Lupinus polyphyllus*

Am Heidelberg (Nordhang) wurde 1997, 1998, 1999 und 2001 eine Fläche der Größe 40m\*50m im Maßstab 1:250 kartiert. In Abb. 14 ist die Ausbreitung des *Lupinus*-Bestandes von 1997 bis 2001 abgebildet. Bei einem *Lupinus*-Deckungsgrad von mehr als 40 % waren Einzelpflanzen nicht mehr ohne Bestandesschädigung abzugrenzen. 1997 waren 23,6 %, 1998 32,8 %, 1999 41,2 % und 2001 50,4 % der Fläche mit *Lupinus polyphyllus* bewachsen. Zwischen 1997 und 2001 hat sich die mit *Lupinus polyphyllus* bewachsene Fläche mehr als verdoppelt. Diese rasche Ausbreitung ist vorrangig auf die Einzelindividuen am äußeren Rand zurückzuführen, die aufeinander zuwachsen, den Bestand am inneren äußeren Rand verdichten

und nach außen einen neuen lückigen Ring ausbilden, der sich im folgenden Jahr dann verdichtet.



**Abb. 14:** Probefläche Heidelberg; kartierter *Lupinus*-Bestand in Ausbreitung

**Tab. 8:** Tabellarische Übersicht der Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* am Transekt Heidelberg im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2001

		Fläche in m <sup>2</sup>	%- Anteil <i>L. polyphyllus</i>	Differenz	Differenz von 1997 bis 2001 bzw. 2001
<b>Transektfläche:</b>		2000	100,0 %		
<b>Anteil von <i>L. polyphyllus</i></b>	<b>1997</b>	471	23,6 %		
	<b>1998</b>	656	32,8 %	9,2%	
	<b>1999</b>	824	41,2 %	8,4%	17,6%
	<b>2001</b>	1007	50,4 %	9,2%	26,8%

### 5.3 Populationsbiologische Untersuchungen an *Lupinus polyphyllus*

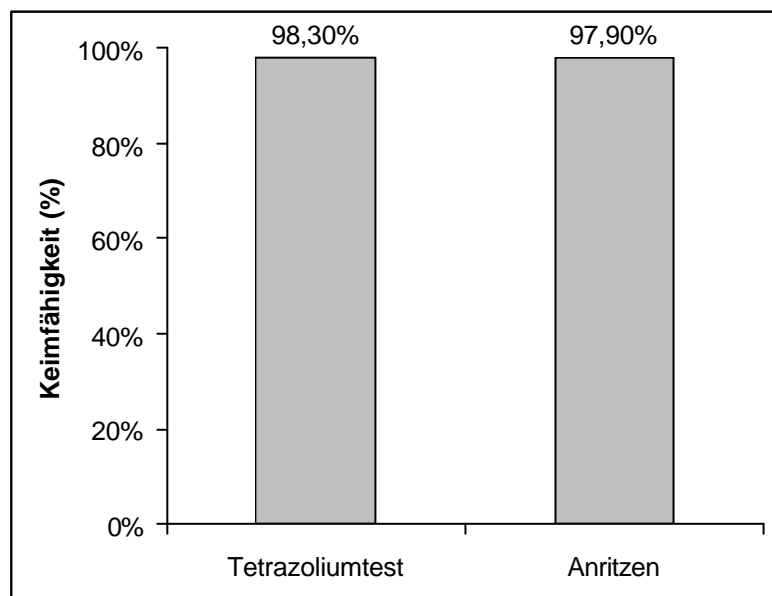
Die Populationsbiologie untersucht die Lebensphasen und -vorgänge in Populationen (URBANSKA 1992). Die Keimung der Samen steht am Beginn der Entwicklung jedes Pflanzenindividuums.

#### 5.3.1 Diasporenbank

Von zentraler Bedeutung für die Erarbeitung eines erfolgreichen Managementkonzeptes für *Lupinus polyphyllus* ist die Erfassung ihres generativen Regenerationspotentials aus den Diasporen. Für die Umsetzung von Pflegemaßnahmen ist die Frage entscheidend, ob eine temporäre oder eine dauerhafte Diasporenbank vorliegt; denn darauf aufbauend muss die Dauer der Pflegemaßnahmen ausgerichtet werden. In einer temporären Diasporenbank bleiben die Diasporen maximal ein Jahr in lebender Form erhalten. In einer dauerhaften Diasporenbank hingegen bleibt die potenzielle Keimungsfähigkeit der Diasporen länger als ein Jahr erhalten und die Diasporen werden im Laufe der Zeit akkumuliert (URBANSKA 1992).

##### 5.3.1.1 Keimungsfähigkeit von *Lupinus polyphyllus*

Die hartschaligen *Lupinus*-Samen keimen nicht gleichzeitig, was in Züchtungsversuchen immer wieder zu Problemen führte. Um das Keimungspotenzial von *Lupinus polyphyllus* einschätzen zu können, wurden 500 *Lupinus polyphyllus*-Samen nach der in Kap. 4.3.1.1 beschriebenen Methode mit dem Tetrazolium-Test geprüft. 98,3 % der Samen waren potenziell keimfähig. Nach dem Anritzen von 750



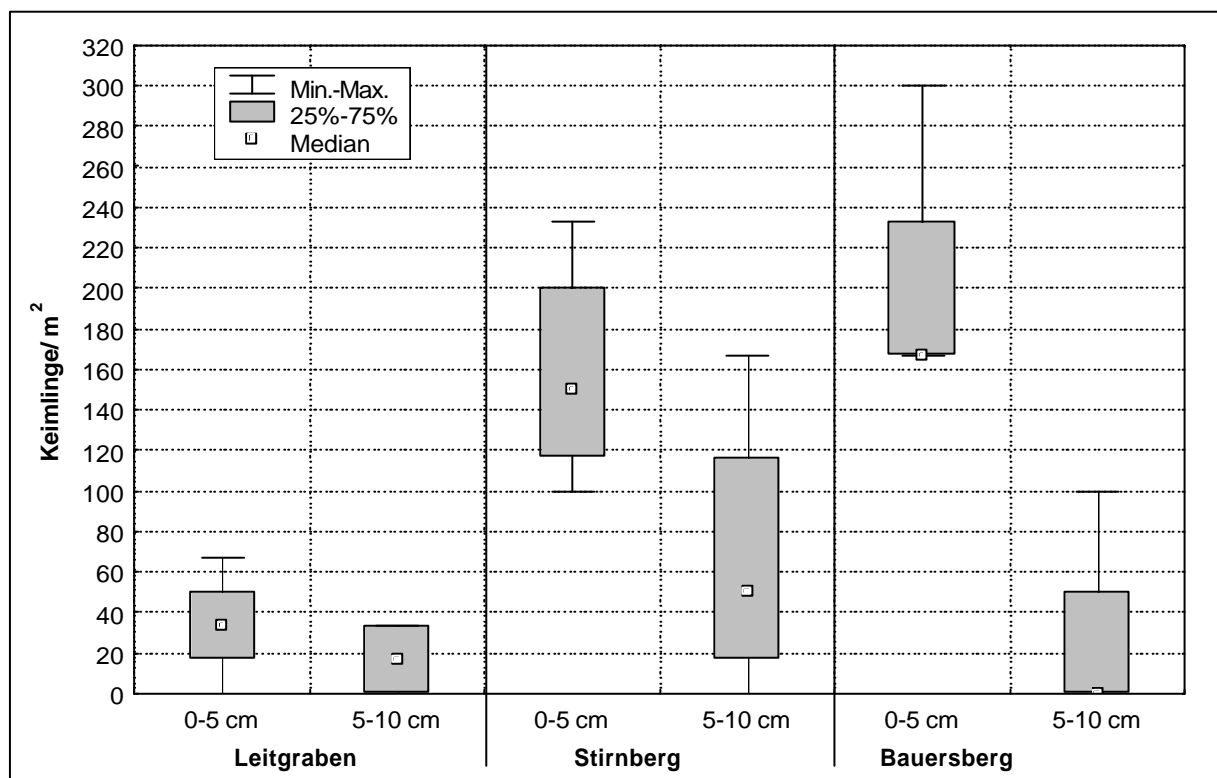
**Abb. 15:** Keimungsfähigkeitsraten von *Lupinus polyphyllus* nach einem Tetrazoliumtest (n=500) und eine Woche nach Anritzen der Diasporen (n=750; Wechseltemperatur 5/15 °C)

Samen kamen 97,9 % nach einer Woche bei Wechseltemperatur (5/15 °C) zur Keimung. PLARRE & PORSCHE (1961) kamen bei Keimungsfähigkeitsuntersuchungen an *Lupinus polyphyllus* mit vier Wiederholungen je 100 angeritzter Samen nach zehn Tagen zu ähnlichen Ergebnissen: 95,7 % waren gekeimt, der Rest gequollen. Die Samen von *Lupinus polyphyllus* verfügen damit über ein sehr hohes Keimungspotenzial.

### 5.3.1.2 Samendichte in der Diasporenbank von *Lupinus polyphyllus*

Die Lebensdauer der Diasporen von *Lupinus polyphyllus* bestimmt u. a. den Erfolg von Maßnahmen zu ihrer Regulierung, denn eine dauerhafte Diasporenbank könnte die durch regulierende Maßnahmen ausgemerzten *Lupinus polyphyllus*-Individuen immer wieder ergänzen.

Auf drei untersuchten Standorten mit Fichten (jeweils vier Wiederholungen in den Tiefenschichten 0-5, 5-10 und 10-20 cm), die in den vierziger Jahren mit *Lupinus polyphyllus* bewachsen waren, konnten keine potenziell keimfähigen *Lupinus*-Samen im Boden nachgewiesen werden (vgl. Anhangtabelle A-3). Die Keimlingszahlen der drei *Lupinus*-Dominanzbestände (mit jeweils zwei Tiefenschichten) unterliegen einer starken Streuung. Abb. 16 zeigt die Mittelwerte der Samen pro m<sup>2</sup> auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg.



**Abb. 16:** Box-Whisker Plots für das Keimlingsaufkommen von *Lupinus polyphyllus* pro m<sup>2</sup> in *Lupinus*-Dominanzbeständen. (Median aus jeweils vier Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.)

Am Standort Leitgraben waren in der Entnahmetiefe 0-5 cm im Durchschnitt 33 Keimlinge je m<sup>2</sup> zu finden, in der 5-10 cm tiefen Schicht die Hälfte. An den Standorten Stirnberg und Bauersberg waren in der Entnahmetiefe 0-5 cm 158 bzw. 200 Keimlinge zu finden, im Bereich 5-10 cm 67 bzw. 25 Keimlinge. In der Entnahmetiefe 0-5 cm waren am Standort Leitgraben signifikant weniger Keimlinge zu finden als an den Standorten Stirnberg und Bauersberg.

Die Ergebnisse aus den *Lupinus*-Invasionsgefährdeten Beständen am Stirnberg (vier Wiederholungen mit jeweils zwei Tiefenschichten) zeigen folgendes Bild: Im Oberbodenbereich 0-5 cm

der Schafweide wurden in einer der vier Mischproben zwei Keimlinge erfasst (Mittelwert: 17 Keimlinge je m<sup>2</sup>). Auf der Wiesenfläche keimte ein *Lupinus polyphyllus* in der Bodenschicht 0–5 cm (Mittelwert: acht Keimlinge je m<sup>2</sup>). Im Bereich 5–10 cm konnte auf beiden Standorten kein Keimlingsaufkommen festgestellt werden. Die Samen von *Lupinus polyphyllus* werden in noch intakten Borstgrasrasen durch die dichte, geschlossene Grasnarbe keinen Bodenanschluss für eine Keimung erhalten. Die gering mächtige Humusaufgabe der Wiesen- und Weideflächen erschwert eine Keimung. Zusätzlich würde ein Keimling hoher Wurzelkonkurrenz durch die Grasnarbe ausgesetzt sein.

Zur genaueren Analyse, wie lange nun *Lupinus polyphyllus*-Samen im Boden überdauern, wurden die im Folgenden beschriebenen Keimungsfähigkeitsuntersuchungen an vergrabenen Samen von *Lupinus polyphyllus* durchgeführt.

### 5.3.1.3 Keimungsfähigkeitstests an vergrabenen Samen

Zur Bewertung der Diasporenbank von *Lupinus polyphyllus* wurden nach der in Kap. 4.3.1.3 beschriebenen Methode Textilsäckchen mit jeweils 25 *Lupinus*-Samen vergraben. Das Ergebnis der 15 Entnahmetermine ist in Abb. 17 dargestellt. Die Angaben erfolgen in Prozent potenziell noch keimfähiger Samen (Restsamens). Acht Wochen nach Vergrabung der Samen waren fast 60 % der Samen gekeimt. In 5 cm Tiefe sind die Temperatur- und Wasserverhältnisse am ausgeglichensten, weshalb dort die Keimungsrate etwas höher lag. Im Frühjahr des Folgejahres keimten weitere 20 %. Da die vergrabenen Keimlinge nicht aus den Textilsäckchen herauswachsen und somit keine Photosynthese betreiben konnten, starben sie im Frühjahr bei einsetzender mikrobieller Aktivität ab. Die am Oberboden (0 cm) liegenden Keimlinge sind zwar zum großen Teil während des Winters erfroren, doch dort konnten die im Frühjahr gekeimten Samen wochenlang als deformierte Jungpflanzen überleben. Im Herbst 1999 waren in allen drei Versuchsreihen noch etwa 12 % der Samen potenziell keimfähig. Zwischen Oktober 1999 und April 2000 keimten nur etwa 2 %, bis Ende Juni lediglich 1–3 %. In vier von sechs Textilsäckchen der am Oberboden aufliegenden Variante wurden im Mai und Juni 2000 ein Großteil der Restsamens wahrscheinlich von Mäusen aufgefressen, in den nicht angefressenen Säckchen waren noch 10 % potenziell keimfähig. Ab dem achten Entnahmeterrn (27.10.99) waren die potenziell noch keimungsfähigen Restsamens bezüglich ihrer Tiefe signifikant verschieden. Insgesamt waren 44 Monate nach Versuchsbeginn (25.05.02) noch 5 % der vergrabenen Samen potenziell keimungsfähig.

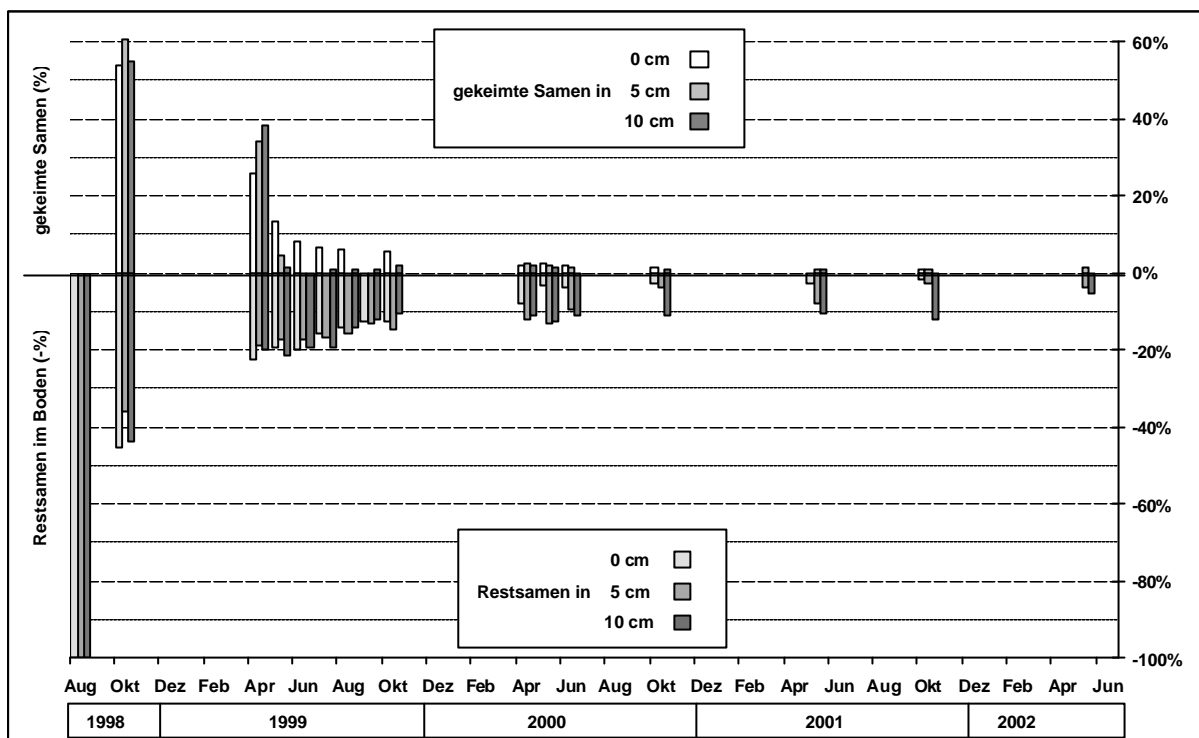


Abb. 17: Potenziell keimungsfähige Restsamen und Keimlinge (%) von *Lupinus polyphyllus* im Untersuchungszeitraum August 1998 bis Juni 2002 (Mittelwert aus jeweils sechs Wiederholungen)

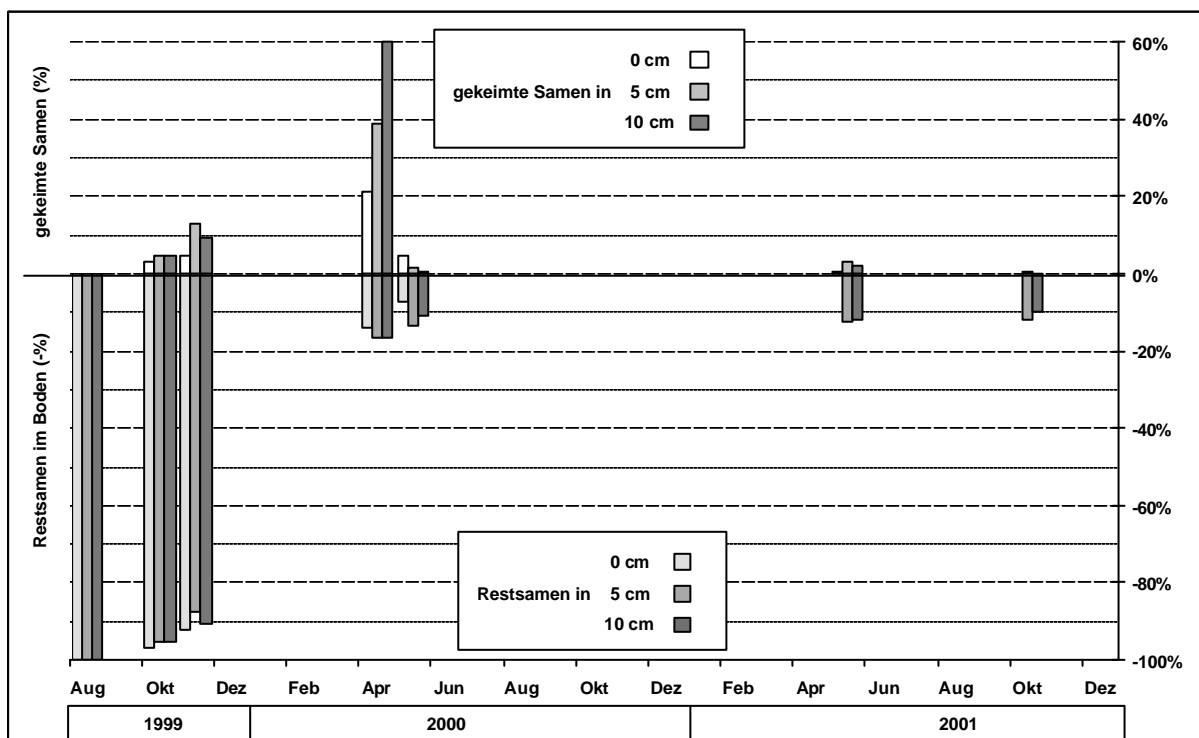


Abb. 18: Potenziell keimungsfähige Restsamen und Keimlinge (%) von *Lupinus polyphyllus* im Untersuchungszeitraum August 1999 bis Dezember 2001 (Mittelwert aus jeweils sechs Wiederholungen)

Der gleiche Versuchsaufbau wurde ein Jahr später wiederholt (Abb. 18). Acht Wochen nach dem Vergraben der Samen waren erst 5-7 % gekeimt, weitere vier Wochen später 9-12 %. Die enorme Differenz der Ergebnisse beider Versuchsjahre ist vermutlich auf die Witterung zurückzu-

führen. Die hohen Niederschläge im Herbst 1998 (siehe Abb. 2, S. 19). führten zu den hohen Keimungsraten innerhalb der ersten Wochen. Im Herbst 1999 waren die Niederschlagssummen dagegen relativ niedrig, die Quellung der Samen konnte nicht erfolgen und nach dem Einsetzen der Niederschläge sanken die Temperaturen, wodurch die Enzymaktivität gehemmt wurde. Im April des folgenden Jahres waren noch ca. 15 % der Samen potenziell keimfähig, an der Bodenoberfläche 20 %. In 5 cm Bodentiefe waren 40 % und in 10 cm Tiefe 60 % als Keimlinge ausgebildet. Die Hälfte der Samen an der Bodenoberfläche wurde zwischen Ende April und Ende Mai wahrscheinlich von Mäusen gefressen. 26 Monate nach Versuchsbeginn waren in den Bodentiefen 5 und 10 cm noch 10 % der Samen potenziell keimfähig. Die Entwicklung der potenziell keimfähigen Restsamen ist für die beiden Untersuchungsjahre als Funktion im Anhang dargestellt (vgl. Abb. A-1, A-2).

Insgesamt betrachtet können unter für Diasporen günstigen Bedingungen (ausreichende Wasserversorgung, höhere Temperaturen) fast 60 % der Samen von *Lupinus polyphyllus* innerhalb der ersten Wochen nach Samenausschüttung keimen. Mindestens 10 % der Samen überdauern ein Jahr, die Diasporenbank ist damit teilweise persistent.

#### 5.3.1.4 Temperaturansprüche bei der Keimung

Die Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus* wurden nach der in Kap. 4.3.1.4 beschriebenen Methode ermittelt. Im Keimungsschrank kam es nach sechs Wochen zu den in Abb. 19a-j dargestellten Keimungsraten. Niedrige Temperaturen hemmen die Keimung, zu hohe Temperaturen hingegen verhindern die Keimung. Die Keimungsraten der Mischproben des Standortes Leitgraben (Abb. 19a) sind 10 % niedriger als die Mischproben Stirnberg (Abb. 19b). Früh ausgereifte Samen (Abb. 19c-d, Haupttrieb oben), spät ausgereifte Samen (Abb. 19e-f, Haupttrieb unten) bzw. Samen der Seitentriebe (Abb. 19g-h) zeigen weder Standortunterschiede, noch sind die durchschnittlichen Keimungsraten signifikant verschieden.

Auffällig hingegen sind die Keimungsfähigkeitsraten des zweiten Aufwuchses von *Lupinus polyphyllus* nach Mahd bzw. Mulchen der Flächen am Standort Bauersberg (Abb. 19i-j). Hier liegen die Keimungsraten über alle Temperaturstufen nur bei etwa 40 %. Ob der Stressfaktor Mahd/Mulch die potenzielle Keimungsfähigkeit insgesamt verminderte oder dadurch die Dormanzraten steigen, konnte nicht geklärt werden.

Die Wechseltemperatur 5/15 °C ist mit Geländebedingungen vergleichbar und zeigt bei den Proben des Standortes Leitgraben Keimungsraten von 60 %, ähnlich wie bei den Vergrabungsversuchen 1998. PLARRE & PORSCHE (1961) kamen zu vergleichbaren Ergebnissen; 42,8 % der

Samen waren nach zehn Tagen gekeimt, 7,7 % gequollen und 49,5 % als hartschalig einzustufen. Insgesamt zeigt das Ergebnis, dass *Lupinus polyphyllus* bei allen Temperaturstufen keimt und ein Optimum zwischen 15 und 25 °C hat (vgl. Anhangtabellen A-8 bis A-17).

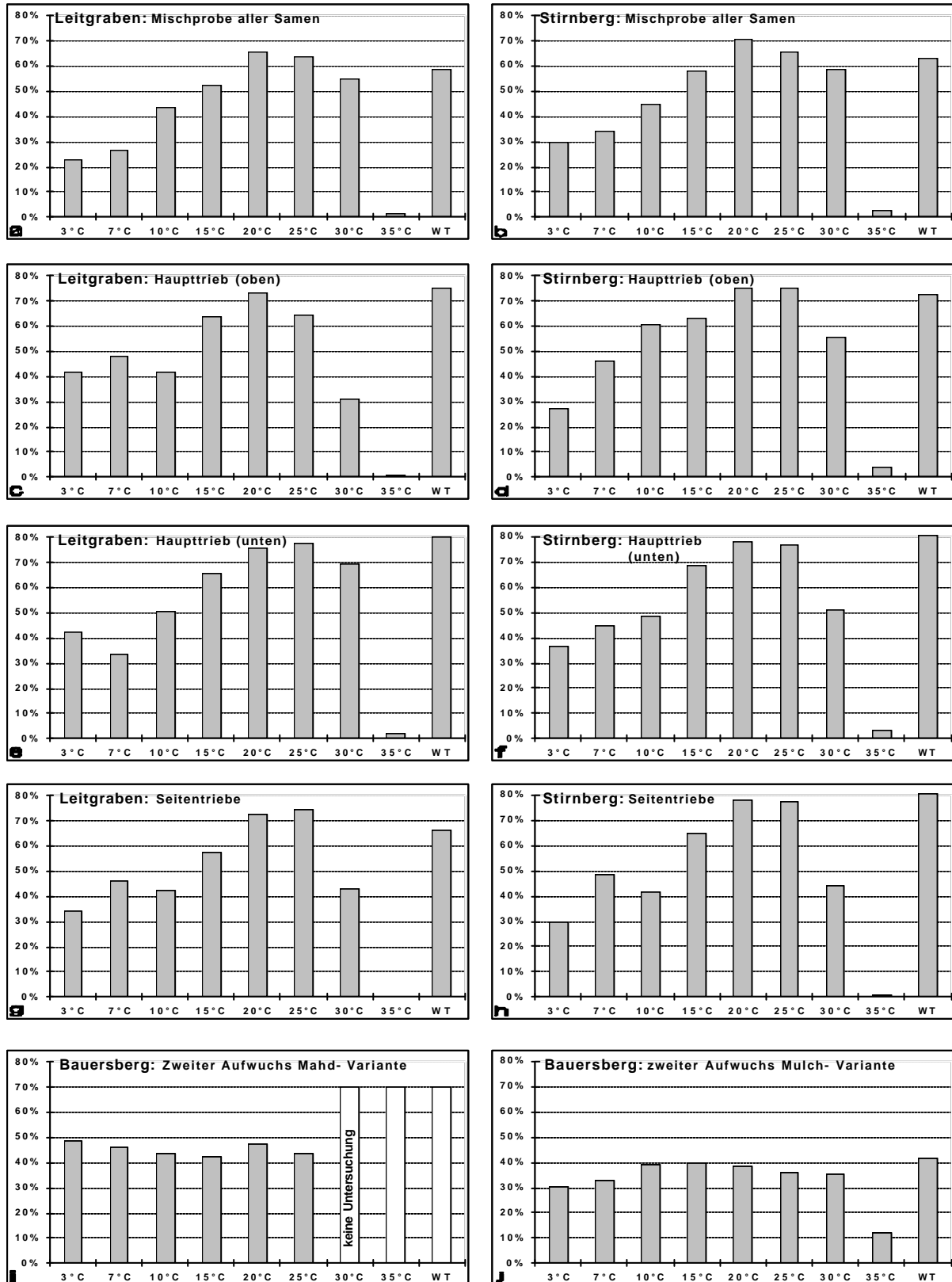
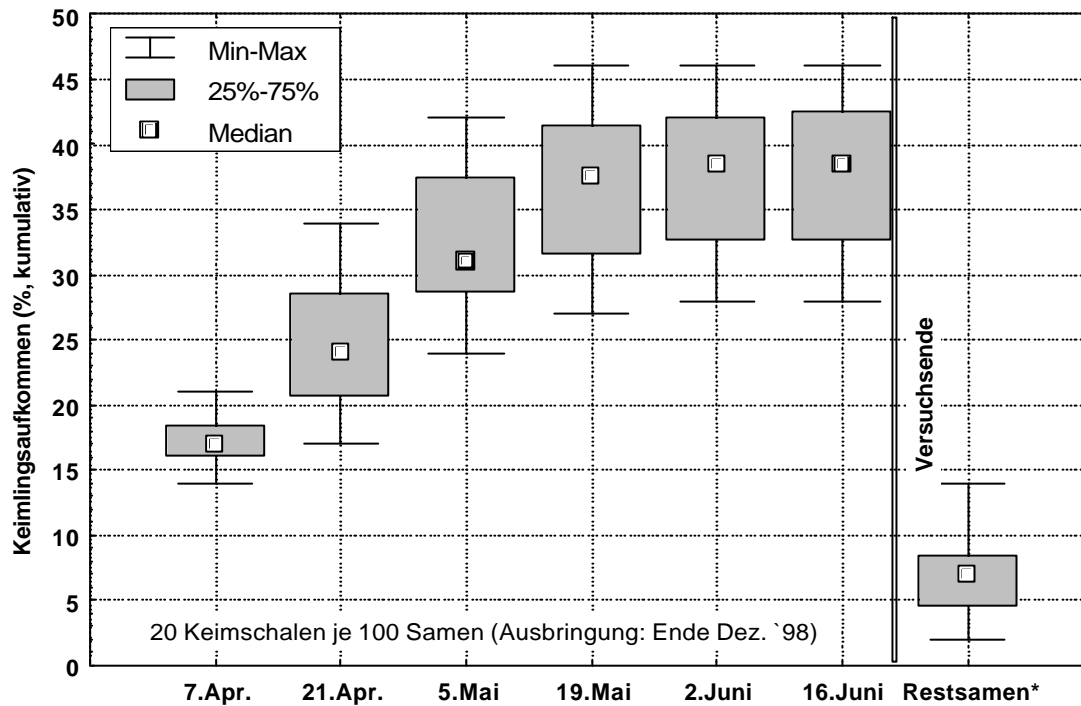


Abb. 19 a-j: Keimungsraten der Diasporen von *Lupinus polyphyllus* nach sechs Wochen im Keimschrank (n=6). Temperaturansprüche bei der Keimung (WT=Wechseltemperatur bei 5/15 °C)

### 5.3.1.5 Keimungsversuche im Freiland

Ende Dezember 1998 wurden 2000 *Lupinus polyphyllus*-Samen des Standortes Leitgraben in 20 Keimungsschalen mit je 100 Samen ausgebracht (vgl. Kap. 4.3.1.5 und Anhangtabelle A-2). In Abb. 20 sind die Summen des Keimlingsaufkommens zu den jeweiligen Untersuchungsterminen abgebildet.

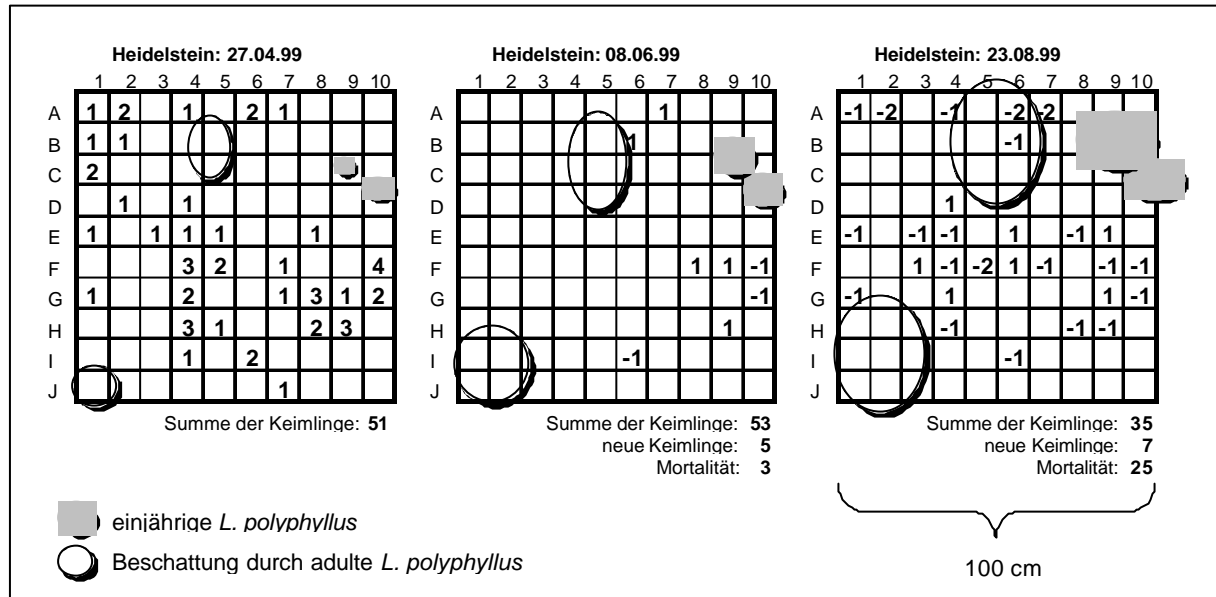


**Abb. 20:** Box-Whisker Plots für kumulative Keimlingsaufkommen von *Lupinus polyphyllus* im Freiland, n=100 Samen bei 20 Wiederholungen (\*Restsamen: potenziell keimungsfähige Samen nach Versuchsende)

Am 7. April 1999 waren 17 % der *Lupinus*-Samen als Keimlinge sichtbar. Bis zum 19. Mai waren fast 40 % der Samen gekeimt, in den anschließenden vier Wochen konnte kein weiteres Keimlingsaufkommen festgestellt werden. 8 % der Samen konnten nach Versuchsabschluss mit dem Tetrazolium-Test als potenziell keimungsfähige Samen (Restsamen) eingestuft werden. Die Diasporenbank wurde unter den Versuchsbedingungen sehr schnell abgebaut. 50 % der Samen waren nach Abschluss des Versuches weder als Keimling noch als Samen nachzuweisen. Diese Diasporen sind wahrscheinlich im Frühjahr gequollen und vor der Ausbildung der Keimblätter erfroren oder ausgetrocknet. Zusätzlichen Stress erfuhren diese Keimlinge wahrscheinlich durch die erheblichen Temperaturschwankungen in den Schalen.

### 5.3.2 Keimlingsentwicklung und Mortalitätsrate

Während der Vegetationsperiode 1999 wurde am Standort Heidelberg 1 m<sup>2</sup> am 27.04.99, 08.06.99 und 23.08.99 auf das Keimlingsaufkommen untersucht. Das Untersuchungsquadrat wurde in 100 Rasterflächen von 10 cm\*10 cm unterteilt. In Abb. 21 ist die Gitterquadratfläche zu den jeweiligen Untersuchungsterminen dargestellt.



**Abb. 21:** Verteilung von *Lupinus polyphyllus*-Keimlingen während der Vegetationsperiode 1999 am Standort Heidelberg (auf Rasterflächen 10 cm\*10 cm)

Die Untersuchungsfläche zeigt eine hohe Schwankung beim Keimlingsaufkommen, was auf eine aggregierte Verteilung der Samen zurückzuführen ist. Am 27.04.99 wurden 51 Keimlinge gezählt. Bis zum 08.06.99 wuchs die Anzahl der Keimlinge um 10 %, während 6% abgestorben waren (Mortalität). Bis zum 23.08.99 liefen weitere 7 Keimlinge auf, während 25 Keimlinge nicht mehr gezählt werden konnten. Insgesamt waren im August 1999 noch 26 (51 %) der im Frühjahr gezählten Keimlinge vorhanden.



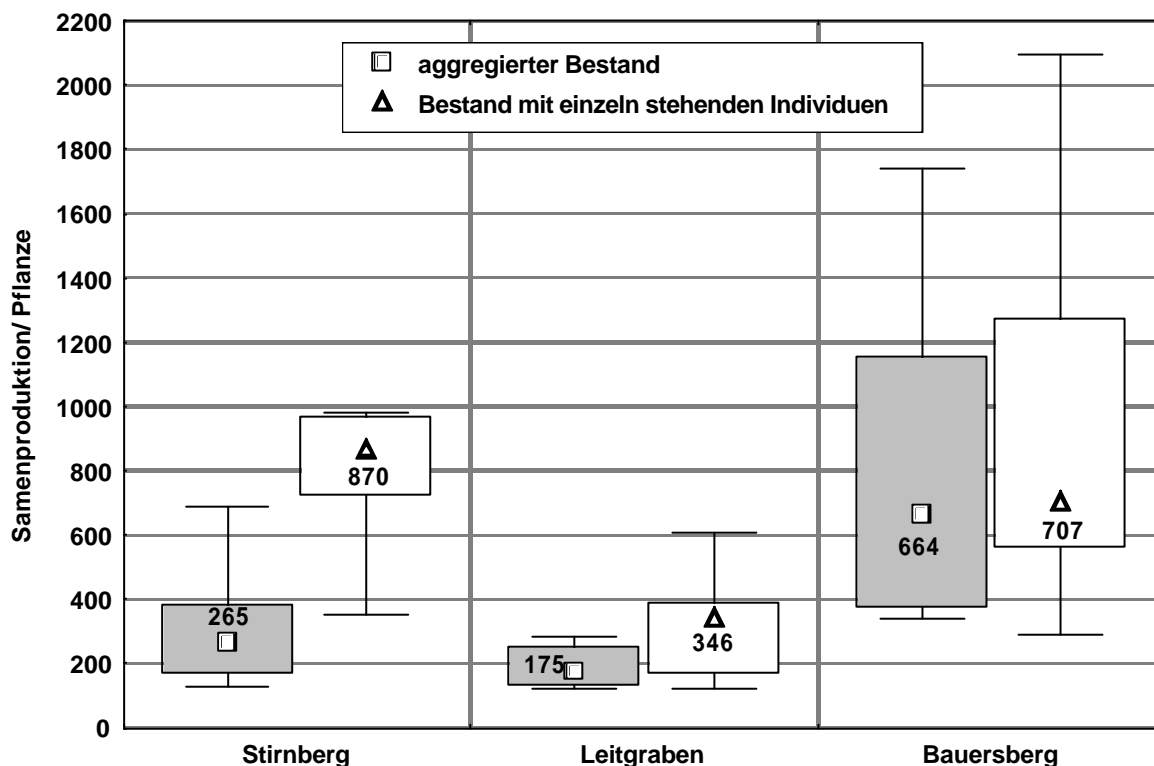
**Abb. 22:** Stirnberg 17.04.98: Keimlinge von *Lupinus polyphyllus* im Keimblattstadium

Hohe Auflafraten und somit Keimlingsdichten von *Lupinus polyphyllus* treten vor allem bei lückiger oder verletzter Grasnarbe auf (z. B. in Suhlen von Wildschweinen). Abb. 22 zeigt das Keimlingsaufkommen auf einem Untersuchungsquadrat in einem Dominanzbestand (>50 % Deckung durch *Lupinus polyphyllus*) am Stirnberg.

### 5.3.3 Samenproduktion

#### 5.3.3.1 Individuelle Samenproduktion

Im Herbst 1997 wurden auf den drei Standorten Leitgraben (820 m ü. NN), Stirnberg (840 m ü. NN) und Bauersberg (470 m ü. NN) jeweils zehn Pflanzen von *Lupinus polyphyllus* aus einem Dominanzbestand (Deckungsgrad >75 % *Lupinus polyphyllus*) und einem Einzelbestand auf ihre Samenproduktion untersucht (Kap. 4.3.3). In Abb. 23 sind die Mediane der Samenzahlen pro Pflanze dargestellt.



**Abb. 23:** Samenproduktion je Einzelpflanzen von *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg; jeweils unterteilt in *Lupinus polyphyllus* im Dominanzbestand und einzeln stehend (Median aus jeweils zehn Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.)

Am Stirnberg bildete *Lupinus polyphyllus* im aggregierten Bestand 265 Samen, bei einzeln stehenden Individuen 870 Samen aus ( $p < 5\%$ ). Am Leitgraben waren es im aggregierten Bestand 175 Samen, bei einzeln stehenden Individuen 346 Samen. Die Samenproduktion am Bauersberg war im aggregierten Bestand mit 664 Samen gering niedriger als bei einzeln stehenden Individuen (707 Samen). Im Mittelwertvergleich der drei Standorte produzierte *Lupinus polyphyllus* im aggregierten Bestand am Standort Bauersberg signifikant mehr als auf den übrigen Standorten, was auf die längere Vegetationsperiode an diesem tiefer gelegenen Standort (470 m ü. NN) zurückzuführen war. Einzeln stehende Individuen bildeten am Stirnberg und Bauersberg signifikant mehr Samen als am Leitgraben (Mittelwertvergleich mit Signifikanz-Niveau in Anhangtabelle A-18).

Insgesamt ergaben die Ergebnisse der 60 untersuchten *Lupinus polyphyllus* Samenzahlen von 122- 1742 Samen/Pflanze im aggregierten Bestand und 120- 2094 Samen/Pflanze bei einzeln stehenden Individuen. In Untersuchungen von ANISZEWSKI et al. (2000) wurden mit 1220- 2654 deutlich mehr Samen/Pflanze gezählt, was auf eine optimal mit Nährstoffen versorgte Monokultur von *Lupinus polyphyllus* zurückzuführen ist. Zusätzlich wurden diese Ergebnisse mit Sicherheit auf einem Tieflagenstandort erzielt (Samenproduktion Bauersberg, 25/75 % Quartile: 420- 1229).

### 5.3.3.2 Samenproduktion pro Fläche

Auf insgesamt 24 Teilflächen (jeweils 16 m<sup>2</sup>) in *Lupinus*-Dominanzflächen wurden im Sommer 1998 alle Hülsen abgeerntet und die produzierten Samen bestimmt. In Abb. 24 sind die Mittelwerte der Samenzahlen pro Teilfläche auf 1 m<sup>2</sup> bezogen dargestellt.

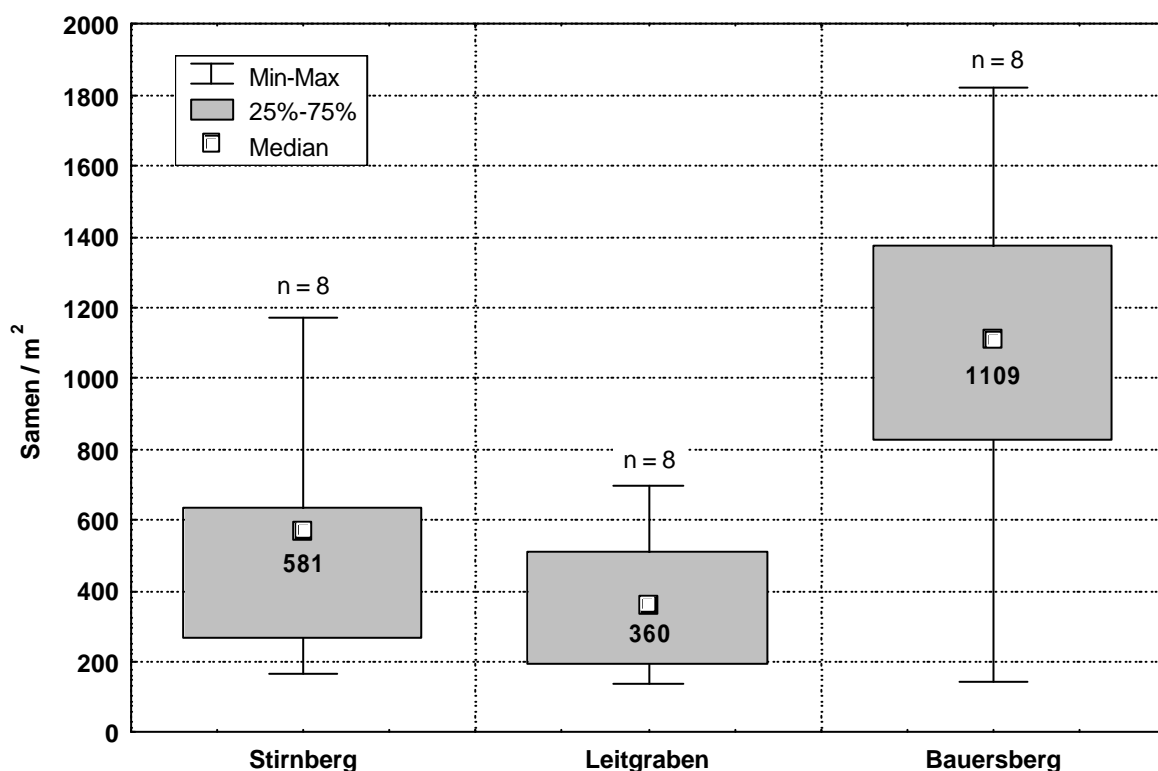


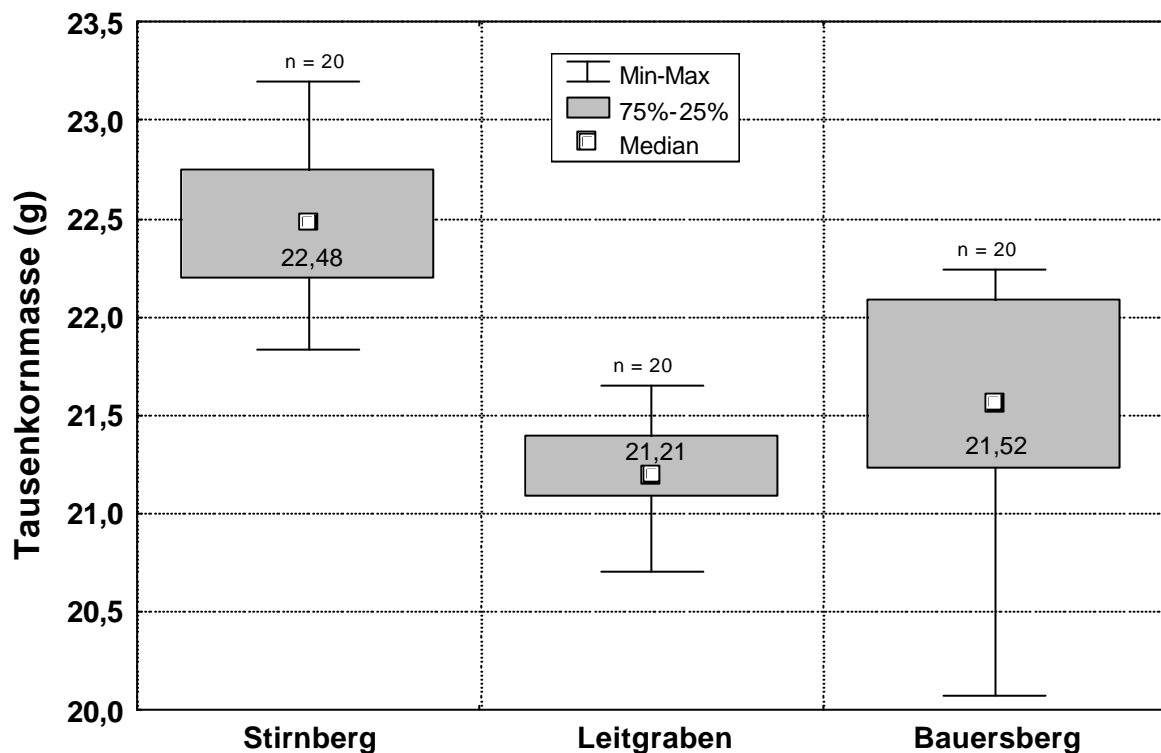
Abb. 24: Samenproduktion (m<sup>2</sup>) in Dominanzbeständen von *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg (Median aus jeweils acht Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.)

In Dominanzbeständen am Stirnberg werden jährlich 581 *Lupinus polyphyllus*-Samen je m<sup>2</sup> produziert, am Leitgraben 360 und am Bauersberg 1109 Samen. Die Samenproduktion je m<sup>2</sup> ist am Standort Bauersberg signifikant höher als auf den übrigen Standorten (Mittelwertvergleich mit Signifikanz-Niveau in Anhangtabelle A-19).

### 5.3.4 Ausstreuen der Samen

#### 5.3.4.1 Tausendkornmasse

Auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg wurden aus der Samenausschüttung im Herbst 1997 mit jeweils 20 Wiederholungen die Tausendkornmasse (TKM) bestimmt (Abb. 25). Die TKM des Standortes Stirnberg ist mit 22,48 g hochsignifikant verschieden zu den Standorten Leitgraben mit 21,21 g und Bauersberg mit 21,52 g. Der Mittelwert aller 60 untersuchten Proben hat eine TKM von 21,7 g (Mittelwertvergleich mit Signifikanz-Niveau in Anhangtabelle A-20).

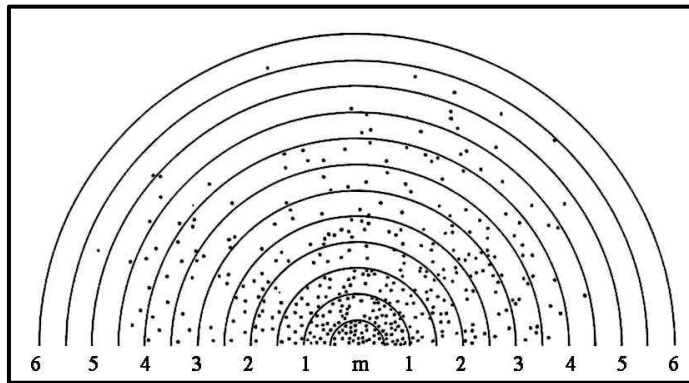


**Abb. 25:** Tausendkornmasse der Samen von *Lupinus polyphyllus* der Standorte Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Median aus jeweils 20 Wiederholungen, 25/75 % Quartile, Min.-Max.)

Im Literaturvergleich mit Saatgutkatalogen (ANONYMUS 1990), in denen die TKM für *Lupinus polyphyllus* mit 18- 22 g angegeben wird, liegt die TKM von *Lupinus polyphyllus* in der Rhön mit 20,1- 23,2 g im oberen Bereich. PLARRE & PORSCHE (1961) berichten von einer großen Variationsbreite bei *Lupinus polyphyllus* in der TKM (12- 27 g). ANISZEWSKI (1993) gibt für die TKM 20- 25 g und HANELT (1960) 14- 23 g an.

### 5.3.4.2 Verteilung der Samen im Raum

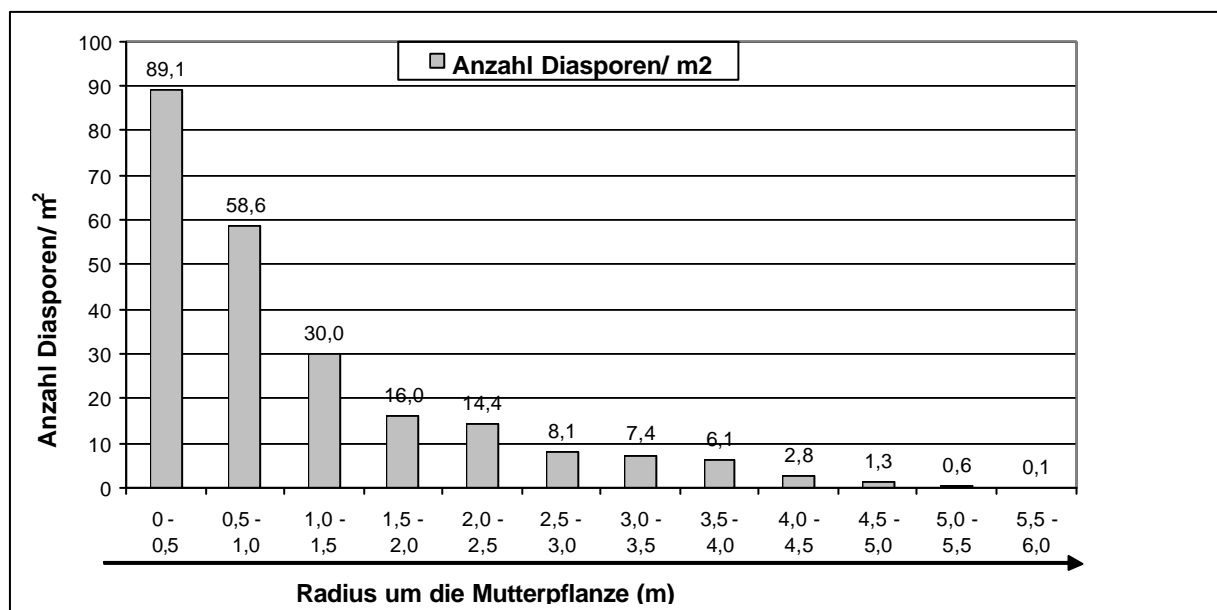
Bei *Lupinus polyphyllus* erfolgt die autochore Samenausbreitung durch das plötzliche korkenzieherartige Einrollen der Fruchtklappen (Austrocknungsstreuer); somit ist das Ausbreitungspotenzial der Diasporen durch die Flugweite der Samen bestimmt. Um eine unbeeinflusste Ausbreitung (Relief, Wind und Abprallen der Samen an Pflanzenteilen) sicherzustellen, hat der Versuch im Gewächshaus stattgefunden. Das Verbreitungsmuster in Abb. 26 zeigt, wie sich die Samen im



**Abb. 26:** Verteilungsmuster von *Lupinus polyphyllus*-Samen um die Mutterpflanze unter Versuchsbedingungen

Idealfall um die Mutterpflanze verteilen könnten. 92 % der Samen fallen im Radius bis 4,0 m um die Mutterpflanze zu Boden. In einer Entfernung  $> 6$  m liegt der Samenniederschlag nahe Null. Ähnliche Distanzen beschreibt HEGI (1964) von der ebenfalls in Nordamerika beheimateten *Lupinus digitatus*, deren Samen bis zu 7,0 m weit fliegen.

Wird das prozentuale Verteilungsmuster auf die Fläche bezogen, erhält man die Samendichte (Diasporen/Fläche), wie in Abb. 27 als Säulendiagramm dargestellt. Mit zunehmendem Radius um die Mutterpflanze steigt auch der Flächenanteil. Im Radius bis 0,5 m um die Mutterpflanze ist die Samendichte am höchsten (38 %). Ab einem Abstand von 1,5 m von der Mutterpflanze liegt die Samendichte unter 7 %.



**Abb. 27:** Samendichte (%) von *Lupinus polyphyllus* um die Mutterpflanze

### 5.3.5 Fazit

Die Samen von *Lupinus polyphyllus* in der Rhön haben eine Masse von 20- 23 mg und ein sehr hohes Keimungspotenzial (98 %). Bei der Keimung ist *Lupinus polyphyllus* unabhängig von Licht und keimt bei allen Temperaturstufen mit einem Optimum zwischen 15 und 25 °C. Nach zwei Jahren sind noch etwa 10 % der in 5 und 10 cm Tiefe vergrabenen Samen als potenziell keimfähig anzusprechen; *Lupinus polyphyllus* baut damit eine persistente Diasporenbank auf. Unter günstigen Bedingungen (Wasser, Temperatur) keimen bereits bis zu 60 % im Herbst nach der Samenausschüttung, bei Wassermangel etwa 10 %. Die meisten im Herbst gekeimten Diasporen erfrieren im Winter. Während des Frühjahrs setzt eine zweite Keimungsperiode ein. Ende August (23.08.99) waren noch 51 % der im Frühjahr (27.04.99) gezählten Keimlinge vorhanden. Bei durchschnittlich zwei *Lupinus polyphyllus*-Pflanzen je m<sup>2</sup> im Dominanzbestand kommt der intra-spezifischen Konkurrenz während der Entwicklungsphase zur adulten Pflanze eine wichtige Rolle zu. *Lupinus polyphyllus* produziert im aggregierten Bestand deutlich weniger Samen/Pflanze als im Bestand mit einzeln stehenden Individuen. In den Tieflagen der Rhön (Bauersberg, 470 m ü. NN) kann *Lupinus polyphyllus* aufgrund der längeren Vegetationsperiode bedeutend mehr Samen ausbilden als in den Hochlagen über 800 m ü. NN. Im Durchschnitt befinden sich in *Lupinus*-Dominanzbeständen zwei Pflanzen pro m<sup>2</sup>, die je nach Standortbedingungen im Durchschnitt 350- 1100 Samen pro m<sup>2</sup> produzieren (120- 2094 Samen/Pflanze).

In Fichtenbeständen, die in den vierziger Jahren mit *Lupinus polyphyllus* eingesät wurden, konnten keine *Lupinus polyphyllus*-Samen mehr in der Diasporenbank nachgewiesen werden. Für die Reaktivierung persistenter Diasporenbanken bei Räumung von Fichten konnte somit kein Beleg gefunden werden.

Der Austrocknungsstreuer *Lupinus polyphyllus* schleudert seine Diasporen bis zu 6m um die Mutterpflanze, wobei die Samendichte (m<sup>2</sup>) < 1 m um die Mutterpflanze am höchsten ist.

## 5.4 Biomasseentwicklung und Nährstoffhaushalt

Ziel der Bestimmung der Biomasse und Pflanzennährstoffe ist es, die Verteilungsdynamik der Nährstoffe von *Lupinus polyphyllus* innerhalb des Pflanzenkörpers im Jahresverlauf zu erfassen. Außerdem wird ermittelt, inwieweit *Lupinus polyphyllus* Nährstoffe anreichert bzw. als Nährstoffpumpe (der bodentiefen Nährstoffe) fungiert. Darauf aufbauend sollen Pfliegertermine entwickelt werden, um effizient oberirdisch gebundene Nährstoffe zu entziehen und *Lupinus polyphyllus* regulieren zu können.

Folgende Fragen werden dabei untersucht:

- ◆ Wie verändern sich die Nährstoffkonzentrationen (%) von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf in den generativen und vegetativen oberirdischen und unterirdischen Fraktionen; gibt es Standortunterschiede?
- ◆ Wie unterscheiden sich die Biomasseproduktion ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) und der Nährstoffhaushalt in *Lupinus*-Beständen und angrenzenden Flächen ohne *Lupinus polyphyllus*?
- ◆ Wann sind die höchsten Nährstoffgehalte ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) in der oberirdischen Phytomasse gebunden?
- ◆ Wie verändert sich das Nährstoffniveau der Bergwiesen durch die Invasion von *Lupinus polyphyllus*?

### 5.4.1 Interner Nährstoffhaushalt von *Lupinus polyphyllus* im Verlauf der Vegetationsperiode 1998

Im Zeitraum vom 17. April bis 06. Oktober 1998 wurden auf den drei Standorten (Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg) an neun Terminen jeweils drei Pflanzen von *Lupinus polyphyllus*, getrennt nach vegetativer und generativer oberirdischer Biomasse und Wurzel, auf ihre Nährstoffkonzentrationen untersucht (Kap 4.5.2).

#### 5.4.1.1 Stickstoff (N)

In Abb. 28 ist die Stickstoffkonzentration von *Lupinus polyphyllus* im Zeitraum vom 17. April bis 06. Oktober 1998 für den Standort Leitgraben dargestellt. Zu Beginn der Vegetationsperiode (17. April) lag die Stickstoffkonzentration der Wurzel bei 2,8 % in der Trockenbiomasse. Zum dritten Probetermin Mitte Juni war die Stickstoffkonzentration in der Wurzel am niedrigsten (1,5 %). Ab Juli stieg die Stickstoffkonzentration in der Wurzel wieder an. In der oberirdischen vegetativen Biomasse ging die Stickstoffkonzentration zwischen dem 17. April und 16. Juni von 4,8 % auf 2,2 % rapide zurück und sank bis zum Ende der Vegetationsperiode bis auf 1,8 %. Die Stickstoff-

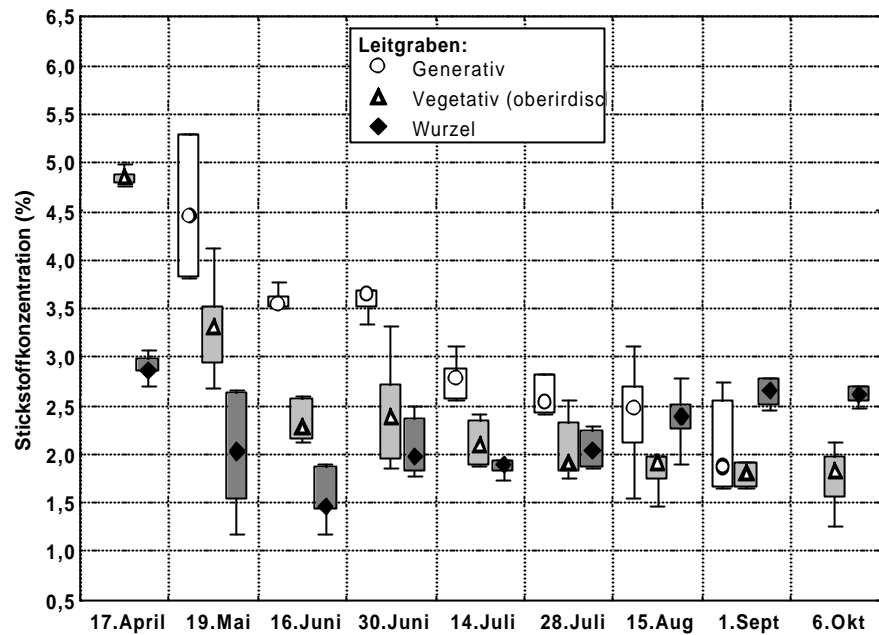
konzentration im generativen Teil von *Lupinus polyphyllus* verringerte sich von 4,5 % am 19. Mai bis 1,8 % im September. Die Samen enthielten 6-7 % Stickstoff.

Zur Kontrolle wurde zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* am 22. Juni 1999 die Nährstoffanalyse wiederholt, deren Stickstoffkonzentration

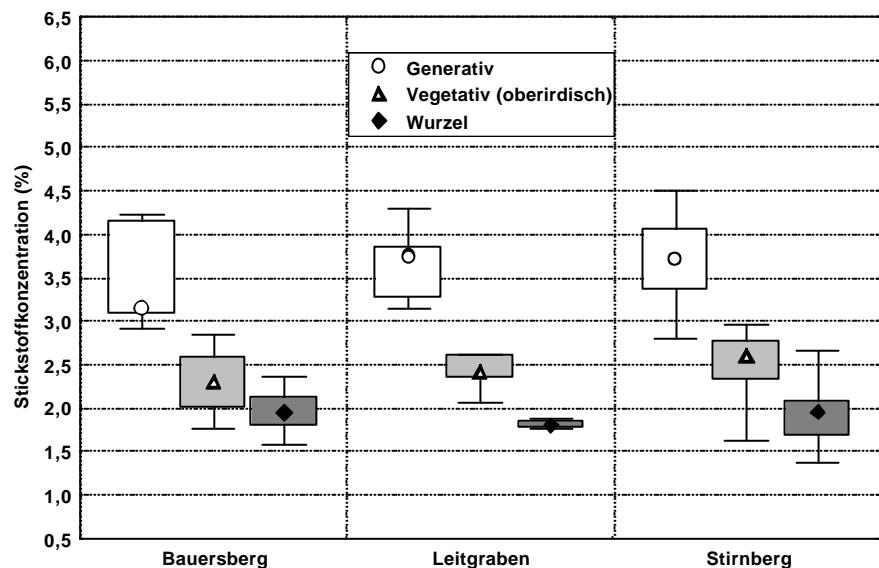
für die Standorte Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg in Abb. 29 dargestellt ist. Die Stickstoffkonzentrationen aller Fraktionen am Standort Leitgraben entsprachen am 22.06.99 in etwa den Werten vom 16.06.98 (Abb. 28).

Insgesamt befanden sich die *Lupinus*-Fraktionen aller drei Standorte auf ähnlichem Nährstoffniveau. Die geringere Konzentration in der

generativen und vegetativen oberirdischen Biomasse am Bauersberg kann durch die um ca. drei Wochen vorausliegende phänologische Entwicklung dieses Tieflagenstandortes erklärt werden.



**Abb. 28:** Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)



**Abb. 29:** Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (22.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

Im Frühjahr wird Stickstoff aus dem Wurzelsystem mobilisiert und in den vegetativen oberirdischen Teil und zur Blütenausbildung in den generativen Teil investiert. Dadurch kommt der Entwicklungsvorsprung gegenüber der Begleitflora zustande. In den montanen Hochlagen der Rhön (> 800 m ü. NN) steigt die Stickstoffkonzentration im Wurzelstock ab Juli (Leitgraben und Stirnberg), in den submontanen Höhenlagen (470 m ü. NN, Standort Bauersberg) ab Mitte Juni (früherer Beginn der Vegetationsperiode); Stickstoff wird in die Wurzel verlagert.

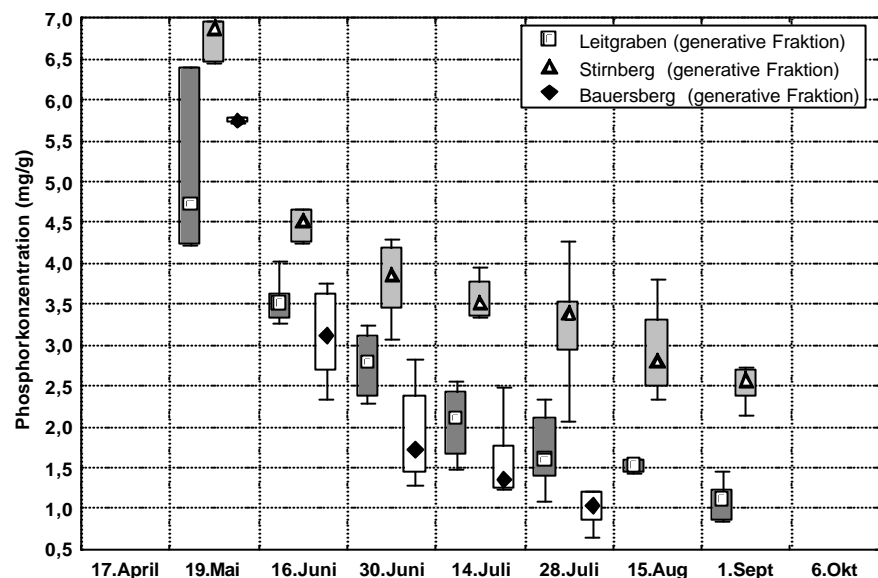
Kontinuierlich sinkende Stickstoffkonzentrationen in der oberirdischen Biomasse während der Wachstumsphase werden auch in anderen Untersuchungen gefunden. HILL (1993) stellt in Beweidungsversuchen mit mehrjährigen *Lupinus*-Arten fest, dass die Stickstoffkonzentration von 4,8 % zu Beginn der Vegetationsperiode bis zum letzten Erntetermin auf 2,4 % der Trockenbiomasse sinkt. In der Wurzel beträgt die Stickstoffkonzentration nach JOHN (1931) zum Erntetermin nach Ausreifung der Samen zwischen 1,6 und 2,3 %, was aus phänologischer Sicht mit dem Erntetermin am 15. August in den Hochlagen vergleichbar ist (2,3- 2,5 %). Die analysierten Werte von 6- 7 % Stickstoff in den Samen entsprechen den Angaben von JOHN (1931).

In *Lupinus*-Dominanzbeständen konnte ein Grobwurzelanteil (Durchmesser > 5 mm) von 300- 500 g\*m<sup>-2</sup> ermittelt werden (30- 50 dt\*ha<sup>-1</sup>). LENT (1934) erhielt in Kastenversuchen mit *Lupinus polyphyllus* in der dritten Vegetationsperiode zur Samenreife 406 g/Pflanze. Bei durchschnittlich zwei Pflanzen\*m<sup>-2</sup> entspricht dies einer Wurzeltrockenbiomasse von 81 dt\*ha<sup>-1</sup>, bzw. 180- 200 kg Stickstoff\*ha<sup>-1</sup>. Eigene Untersuchungen ergeben, dass im Grobwurzelbereich während der Wintermonate 70- 140 kg Stickstoff\*ha<sup>-1</sup> gespeichert waren.

LENT (1934) betont, dass *Lupinus polyphyllus* den über die Knöllchenbakterien gewonnenen Stickstoff ausschließlich selbst verwendet und dieser erst nach Absterben der Pflanze für die Begleitflora verfügbar wird. Dagegen erwähnt BECKER-DILLINGEN (1939), dass die benachbarten Nicht-Fabaceen vom Stickstoff profitieren können, wenn sie in den Wurzelbereich von *Lupinus polyphyllus* hineinreichen. Einzelne Arten (*Urtica dioica*, *Galium aparine*) sind wahrscheinlich in der Lage, durch ihr tief reichendes Wurzelsystem (180 cm; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1992) Stickstoff von *Lupinus polyphyllus* zu nutzen. Aus der gering höheren Stickstoffkonzentration in der Begleitflora von *Lupinus polyphyllus* (1,6 %) gegenüber der Konzentration im Goldhafer-Bestand (1,5 %) geht nicht hervor, ob die Begleitflora vom Stickstoffgehalt in *Lupinus polyphyllus* profitiert. Nährstoffuntersuchungen (Topfversuche in Neuseeland) von HILL (1993) an *Lupinus polyphyllus* zeigen, dass in der Gesamtpflanze die Stickstoffkonzentration von 4,2 % im Frühjahr bis auf 2,4 % im Hochsommer sinkt.

### 5.4.1.2 Phosphor (P)

Die Phosphorkonzentrationen im Jahresverlauf zeigten auf allen drei Standorten ähnliche Konzentrationsentwicklungen wie bei den Stickstoffkonzentrationen (siehe Anhang). Der Phosphorgehalt in der Wurzel lag auf allen Standorten zwischen 1,2 und 2,4 mg\*g<sup>-1</sup>, mit den Höchstwerten im Frühjahr und Herbst. In der vegetativen oberirdischen Fraktion sank die Phosphorkonzentration vom 17. April (4,5- 5,3 mg\*g<sup>-1</sup>) bis zum 16. Juni (1,8- 2,3 mg\*g<sup>-1</sup>) sehr stark und bis zum 06. Oktober auf 1,2- 1,4 mg\*g<sup>-1</sup>. Bei der generativen Fraktion war die Phosphorkonzentration am Standort Stirnberg signifikant höher als auf den beiden anderen Standorten, wie in Abb. 30 dargestellt. Am Stirnberg sank der Phosphorgehalt während der Vegetationsperiode von 6,8 auf 2,5 mg\*g<sup>-1</sup>. Im gleichen Zeitraum reduzierte sich die Phosphorkonzentration der Standorte Leitgraben und Bauersberg von 5,7 auf 1,1 mg\*g<sup>-1</sup>. Die *Lupinus polyphyllus*-Samen enthielten 3,2- 3,5 mg\*g<sup>-1</sup> Phosphor.



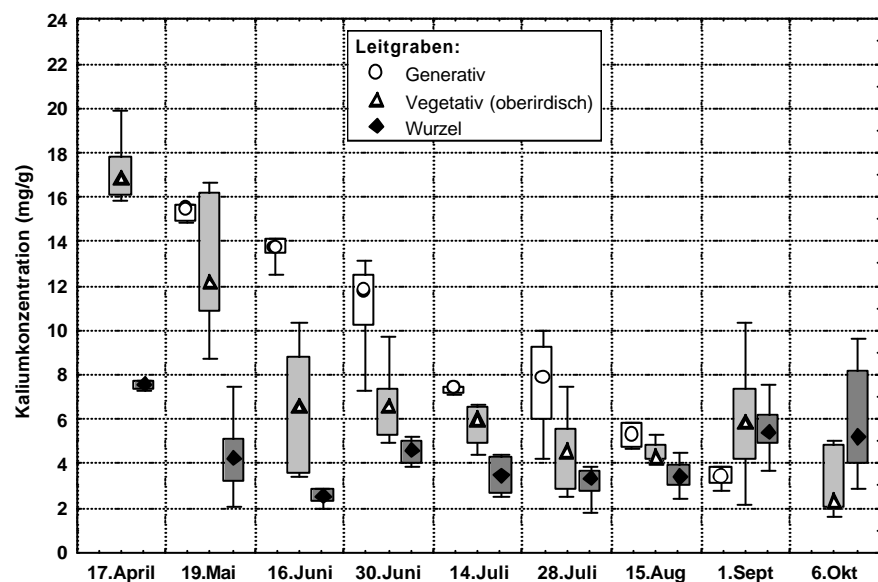
**Abb. 30:** Phosphorkonzentrationen (mg\*g<sup>-1</sup>) der generativen Fraktion von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

Insgesamt haben sich die Phosphorkonzentrationen im Jahresverlauf ähnlich wie die Stickstoffkonzentrationen verhalten. In den Goldhaferwiesen am Leitgraben lagen die Phosphorkonzentrationen im Jahresverlauf zwischen 1,6 und 1,8 mg\*g<sup>-1</sup>, während die Begleitflora von *Lupinus polyphyllus* um 0,2 mg\*g<sup>-1</sup> höhere Werte aufwies. *Lupinus polyphyllus* dagegen hatte eine wesentlich größere Dynamik in der Phosphorkonzentration, die von 2,0 mg\*g<sup>-1</sup> zu Beginn der Vegetationsperiode kontinuierlich bis auf 1,3 mg\*g<sup>-1</sup> sank. Durch die höhere Biomasseproduktion der *Lupinus*-Bestände war die Gesamtmenge an Phosphor in diesen Beständen (10,5 kg\*ha<sup>-1</sup>) um ein Drittel höher als in Goldhaferwiesen (6,6 kg\*ha<sup>-1</sup>). Obwohl das Bodenausgangsgestein Basalt bis zu 1,3 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> enthält (BOHN 1996), ist P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in Basaltverwitterungsböden stark gebunden und die Pflanzenversorgung mit verfügbarer Phosphorsäure relativ niedrig (SCHUCHT 1941). Die P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Versorgung [CAL] der Böden auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg waren mit Gehalten von 2,3- 5,6 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden im

mit Gehalten von 2,3- 5,6 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden im Vergleich mit Untersuchungen von ARENS & NEFF (1997), die auf einer Goldhaferwiese am Stirnberg 6,3 mg\*100 g<sup>-1</sup> Boden analysierten, als gering bis mäßig einzustufen. *Lupinus polyphyllus* ist einerseits in der Lage, durch die verstärkte Ausscheidung von Zitronensäure in der Rhizosphäre, schwerlösliche Phosphate zu mobilisieren (HONDELMANN 1996). Andererseits kann sie durch das Wurzelsystem, das bis in eine Tiefe von 180 cm reicht (LAPISKIENE, Pflanzensoziologisches Institut Klagenfurt, Mittl. 1997) bodentiefe Phosphate aufschließen. Bei Anbauversuchen von HORST & WASCHKIES (1986) konnte Weizen sowohl im Mischanbau als auch im Nachbau von der Phosphormobilisierung durch *Lupinus albus* profitieren. PRJANISHNIKOW (1952) postulierte, dass die Gründüngung mit *Lupinus*-Arten nicht nur Stickstoff für die Nachfrucht liefert, sondern auch eine gute Phosphorversorgung gewährleistet.

#### 5.4.1.3 Kalium (K)

Die Verlagerung von Kalium zwischen den Pflanzenteilen von *Lupinus polyphyllus* zeigte ähnliche Verschiebungen wie bei Stickstoff und Phosphor. Am Leitgraben ist die Kaliumkonzentration in der Wurzel innerhalb der ersten drei Beprobungstermine von 7,5 mg\*g<sup>-1</sup> (17. April) bis auf 2,5 mg\*g<sup>-1</sup> (16. Juni) gesunken und gegen Ende der Vegetationsperiode bis auf 5 mg\*g<sup>-1</sup> (6. Okt) angestiegen, wie in Abb. 31 dargestellt. In der vegetativen oberirdischen Biomasse sank der Kaliumgehalt im Jahresverlauf von 17 mg\*g<sup>-1</sup> bis auf 2 mg\*g<sup>-1</sup>, in der generativen Fraktion von 15 mg\*g<sup>-1</sup> bis auf 3,5 mg\*g<sup>-1</sup>.



**Abb. 31:** Kaliumkonzentrationen (mg\*g<sup>-1</sup>) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf (Leitgraben), (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75% Quartil und Minima/ Maxima, n=6)

Die Kaliumgehalte in Bodenuntersuchungen der Standorte Leitgra-

ben, Stirnberg, Herrenwasser und Bauersberg liegen zwischen 20- 30 mg\*100 g<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O [CAL], während ARENS & NEFF (1997) unter Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen am Stirnberg

12- 13 mg\*100 g<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O ermittelten und in *Lupinus*-Beständen bis zu 60 mg\*100 g<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (NEFF in POKORNY 1999 unveröff.). Die pflanzenverfügbaren Mengen sind in Basaltverwitterungsböden im Allgemeinen sehr niedrig (SCHUCHT 1941). Kalium ist im Stoffhaushalt der Pflanzen relativ mobil und wird in hohem Maße aufgenommen. Für den Wasserhaushalt und den Stofftransport ist Kalium von besonderer Bedeutung. Das Schließen der Stomata wird vorwiegend von der Kaliumkonzentration in den Schließzellen veranlasst (MENGEL 1991). Der Kaliumgehalt in Pflanzen liegt zwischen 10 und 60 mg\*g<sup>-1</sup> (BERGMANN 1993).

In den Goldhaferwiesen am Leitgraben ist die Kaliumkonzentration niedriger als in der Begleitflora von *Lupinus polyphyllus*. Da Gräser eine bedeutend größere Kalium-Aufnahmekapazität haben als Fabaceae (BERGMANN 1993) und in *Lupinus*-Beständen in erster Linie Kräuter verdrängt werden, sind die niedrigen Kaliumkonzentrationen von *Lupinus polyphyllus* nachvollziehbar. Die niedrigen Kaliumgehalte in *Lupinus polyphyllus* könnten dazu führen, dass die Stomata nur bedingt geschlossen werden können, wodurch sich der relativ hohe Anspruch an eine gute Wasserversorgung erklären ließe.

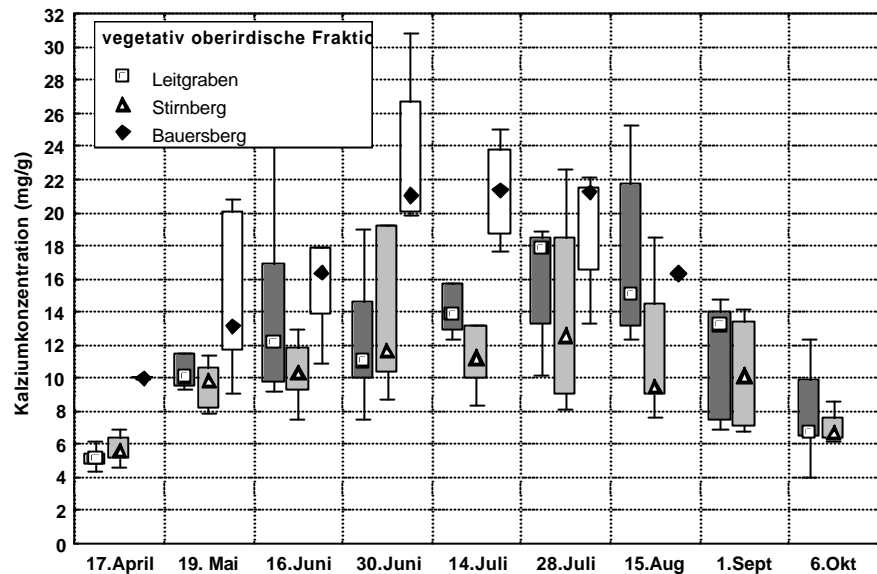
Mitte Juli beträgt der potenzielle Nährstoffentzug für Kalium in Goldhaferwiesen 33 kg\*ha<sup>-1</sup>, im *Lupinus*-Dominanzbestand 46 kg\*ha<sup>-1</sup>. Die Kaliumkonzentration zur Samenreife von *Lupinus polyphyllus* ist mit 4,2 mg\*g<sup>-1</sup> geringer als bei LENT (1934) (5,7 mg\*g<sup>-1</sup>). Bei einzeln stehenden *Lupinus polyphyllus* ist die Kaliumkonzentration der oberirdischen Biomasse signifikant niedriger als im Dominanzbestand, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Pflanzen im Dominanzbestand über Pflanzengenerationen hinweg Kalium aus tieferen Bodenschichten mobilisieren und somit in den Nährstoffkreislauf der oberen Bodenschicht mit einbringen. Bei Anbauversuchen von Mischkulturen von Fabaceae und Gräsern, wurde beobachtet, dass die Produktivität der Fabaceae nach einigen Jahren stark zurückgeht, was auf die verstärkte Kalium-Aufnahme der Gräser zurückzuführen ist (KINZEL 1982).

#### 5.4.1.4 Kalzium (Ca)

Die Kalziumkonzentration in der Wurzel lag auf den Standorten der Hochlagen (Leitgraben und Stirnberg) während der gesamten Vegetationsperiode bei etwa 3- 4 mg\*g<sup>-1</sup> in der Trockenbiomasse, am Bauersberg zwischen 4 und 5 mg\*g<sup>-1</sup> (Abb. A-6, A-11 und A-16 im Anhang). Im vegetativen oberirdischen Teil dagegen stieg die Kalziumkonzentration während der Vegetationsperiode und erreichte ihre höchste Konzentration im Sommer (Abb. 32). Am Standort Bauersberg war die Kalziumkonzentration bereits am 17. April mit 10 mg\*g<sup>-1</sup> doppelt so hoch wie an den Standorten

Leitgraben und Stirnberg. Während der Vegetationsperiode stieg die Konzentration (Bauersberg) bis auf  $21 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  und war am 30. Juni und 14. Juli signifikant höher als in den Hochlagen. Gegen Ende der Vegetationsperiode ging die Konzentration auf  $7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  zurück. Die Kalziumkonzentration der generativen Fraktion lag Mitte April auf allen Standorten zwischen 6 und  $9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , sank bis zum zweiten Probetermin und pendelte sich auf den drei Standorten im Bereich von 4 bis  $6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ein (Abb. A-6, A-11 und A-16 im Anhang).

Fabaceen haben einen hohen Kalzium-Bedarf. Innerhalb der Pflanze verhält sich Kalzium sehr immobil; es wird kaum verlagert. Die Wurzelspitzen müssen daher vom Nährmedium dauernd mit Kalzium versorgt werden, um ein ausreichendes Wurzelwachstum zu gewährleisten (MENGEL 1991). Nach Ergebnissen von YAMADA (1975) wird



**Abb. 32:** Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der vegetativen oberirdischen Fraktion von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

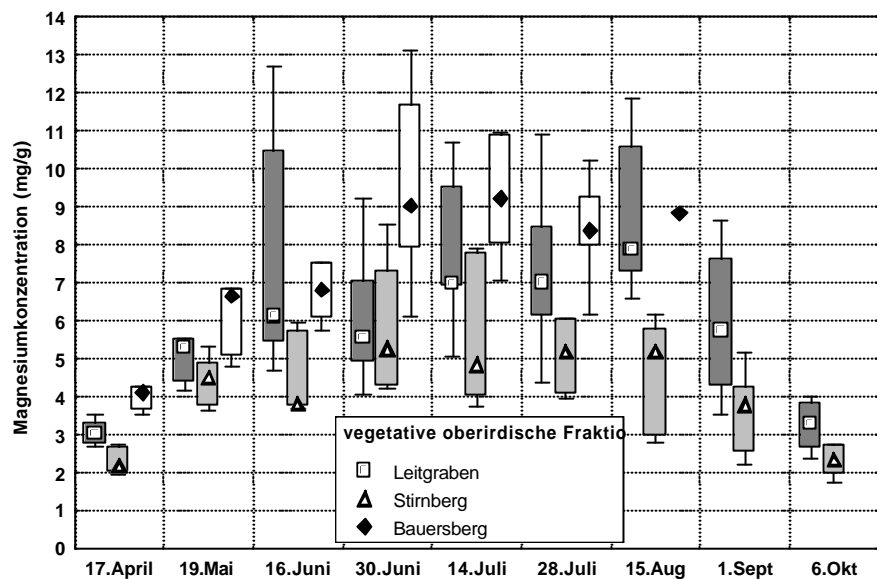
eine Kalziumkonzentration von mehr als 0,5 % in Pflanzen für ausreichend gehalten. Die Kalziumkonzentration in der vegetativ oberirdischen Biomasse ist im Juni und Juli 1998 auf dem Standort Bauersberg signifikant höher als auf den Standorten der Hochlagen. Die Standorteigenschaften (von Basaltschutt überdeckter Muschelkalk) sind hierfür verantwortlich, was sich im höherem pH-Wert des Standortes (pH 5,5) im Vergleich zu den Standorten der Hochlagen (pH 4,7) widerspiegelt. Ferner sind nach SCHUCHT (1941) die Basaltverwitterungsböden aufgrund der hohen Niederschläge stark entbast, obwohl Basalt 8-12 % CaO und 3-12 % MgO enthält (SCHUCHT 1941, BOHN 1996). Mit  $66 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  Kalzium ist der potenzielle Nährstoffentzug im *Lupinus*-Bestand doppelt so hoch wie zum gleichen Erntetermin in Goldhaferwiesen. Die hohe Kalziumkonzentration in der oberirdischen Fraktion von *Lupinus polyphyllus* ( $15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ist im Vergleich zu ihrer Begleitflora ( $5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ), die sich vorwiegend aus Gräsern zusammensetzt, um das Dreifache höher, da dikotyle Pflanzen wesentlich mehr Kalzium aufnehmen als monokotyle Pflanzen (BERGMANN 1993). Die Flora der Goldhaferwiese weist eine Kalziumkonzentration von  $8,7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  auf, Gräser und Kräuter kommen hier in etwa gleichen Biomasseanteilen vor.

### 5.4.1.5 Magnesium (Mg)

Die Konzentration in den Grobwurzeln ( $> 5 \text{ mm } \varnothing$ ) lag im Jahresverlauf 1998 auf den Standorten Leitgraben und Stirnberg bei  $5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , am Bauersberg zu Beginn der Vegetationsperiode bei  $8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (Abb. A-7, A-12 und A-17 im Anhang). Die Konzentration in der generativen Fraktion lag bei  $3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  und die der vegetativen Biomasse stieg von  $3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  bis auf  $12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (Bauersberg) in den Sommermonaten an. Insgesamt war die Magnesiumkonzentration des vegetativen oberirdischen Teils am Bauersberg höher als am Leitgraben, der Standort Stirnberg zeigte hier die niedrigste Konzentration (Abb. 33).

Magnesium kann im Gegensatz zu Kalzium innerhalb der Pflanzen verlagert und in jüngere Pflanzenteile transportiert werden (MENGEL 1991). Als Zentralatom des Chlorophylls ist Magnesium für Pflanzen von entscheidender Bedeutung, der Magnesiumgehalt beträgt zwischen  $1,0$  und  $5,0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  in der

Trockenbiomasse (BERGMANN 1993). Die Magnesiumkonzentration der Goldhaferwiese betrug am 14.07.99  $5,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , die von *Lupinus polyphyllus* liegt insgesamt auf höherem Niveau ( $7,7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ), und die Begleitflora zeigt geringere Konzentrationen ( $3,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Die potenziellen Nährstoffzüge sind im *Lupinus*-Bestand am Leitgraben ( $36 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) aufgrund der höheren Magnesiumkonzentration in der oberirdischen Fraktion und der höheren Biomasseproduktion um  $12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  größer als in den Goldhaferwiesen ( $24 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Fabaceae haben grundsätzlich doppelt so hohe Magnesiumgehalte wie Gräser, wobei BERGMANN (1993) für *Lupinus*-Arten einen Wert von  $4,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  ermittelte.



**Abb. 33:** Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der vegetativen oberirdischen Fraktion von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

#### 5.4.2 Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen in Beständen ohne *Lupinus polyphyllus*

Die Biomasseproduktion in den Beständen ohne *Lupinus polyphyllus* auf den Hochflächen der Rhön betrug am 14. Juli 1999 in einem brachgefallenen Borstgrasrasen 28 dt\*ha<sup>-1</sup>, in Goldhaferwiesen 41 dt\*ha<sup>-1</sup> (Tab. 9). Die Goldhaferwiesen der Standorte Leitgraben (L) und Herrenwasser (HW) unterschieden sich vorwiegend in der Kationenkonzentration der oberirdischen Biomasse. Die Kaliumkonzentration war am Herrenwasser höher, während dort der Gehalt an Kalzium und Magnesium wesentlich niedriger lag.

**Tab. 9:** Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen (14.07.99) der Flächen ohne *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Leitgraben (L) und Herrenwasser (HW) (n=2)

	TM (dt/ha)	N (%)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)	C (%)
Goldhaferwiese (Brache), L	40,8	1,5	1,6	8	8,7	5,8	42
Goldhaferwiese (Brache), HW	41,3	1,2	1,6	12,8	5,1	2,2	43
Borstgrasrasen (Brache), HW	28,4	1,6	1,7	6,2	9,8	7,9	42

Zur genaueren Differenzierung, wie sich die Pflanzennährstoffkonzentrationen zwischen Juni und September innerhalb des Bestandes verlagern, wurden am Leitgraben in einem 14-tägigen Messturnus die Biomasseproduktion und die Nährstoffkonzentrationen bestimmt (Tab. 10).

**Tab. 10:** Biomasseproduktion und Nährstoffgehalte einer Goldhaferwiese ohne *Lupinus polyphyllus* am Standort Leitgraben (1999) (n=2)

		TM (dt/ha)	N (%)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
Leitgraben Goldhaferwiese	16.06.1999	33	1,7	1,8	8,8	7,1	4,5
	30.06.1999	38	1,7	1,8	8,6	8,4	5,0
	14.07.1999	41	1,5	1,6	8,0	8,7	5,8
	28.07.1999	45	1,3	1,7	8,5	8,2	5,2
	11.08.1999	47	1,3	1,8	8,4	7,6	4,9
	25.08.1999	46	1,2	1,7	9,1	7,8	3,7

Der Stickstoffgehalt der Goldhaferwiesen am Leitgraben lag am 16. Juni bei 1,7 % und ist bis zum 25. August auf 1,2 % gesunken. Die Phosphorkonzentration schwankte im Bereich von 1,6 und 1,8 mg\*g<sup>-1</sup> der Trockenbiomasse (TM) und der Kaliumgehalt war gleichfalls indifferent mit Werten zwischen 8,0 und 9,1 mg\*g<sup>-1</sup>. Dagegen war bei den zweiwertigen Kationen (Kalzium, Magnesium) am 14. Juli ein Maximum ihrer Konzentration zu verzeichnen, der Gehalt an Kalzium in der TM lag zwischen 7,1 und 7,8 mg\*g<sup>-1</sup>, der von Magnesium zwischen 3,7 und 5,8 mg\*g<sup>-1</sup>.

### 5.4.3 Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen in Beständen mit *Lupinus polyphyllus*

Die *Lupinus*-Bestände am Leitgraben wurden zu den Ernteterminen in *Lupinus polyphyllus* und deren Begleitflora fraktioniert. Die Nährstoffgehalte und der Anteil an der gesamten TM zu den einzelnen Terminen sind in Tab. 11 dargestellt. Der Anteil von *Lupinus polyphyllus* betrug am 16. Juni 64 % von der Trockenbiomasse. Im Laufe der Vegetationsperiode nahm die Biomasse der Begleitflora zu und der prozentuale Anteil von *Lupinus polyphyllus* ab. Die Nährstoffkonzentrationen von *Lupinus polyphyllus* wurden in Kap. 5.4.1 beschrieben und an dieser Stelle zur Quantifizierung des Nährstoffentzuges herangezogen.

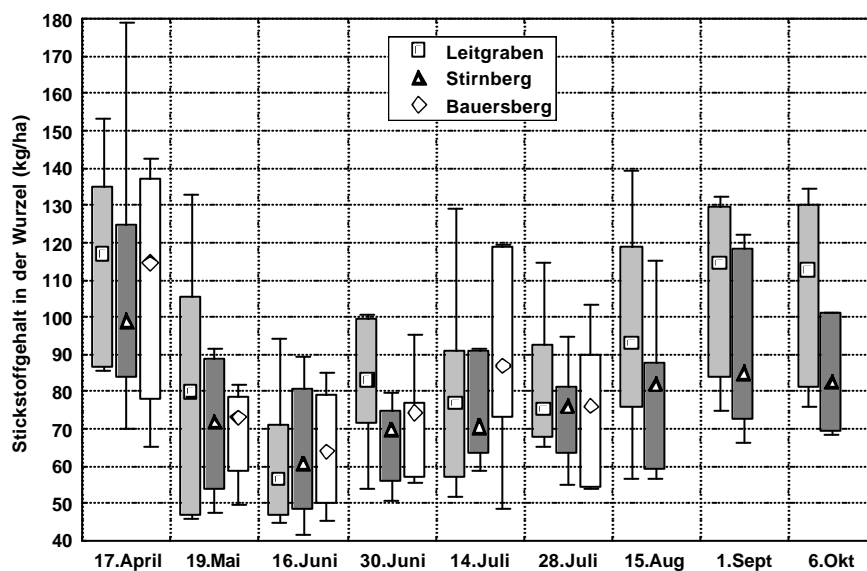
**Tab. 11:** Biomasseproduktion und Nährstoffkonzentrationen von *Lupinus polyphyllus* und deren Begleitflora am Standort Leitgraben (1999) (n=2)

		TM (dt/ha)	N (%)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
Leitgraben <i>L. polyphyllus</i>	16.06.1999	29,3 (64%)	2,3	2,0	6,6	14,2	7,6
	30.06.1999	33,1 (62%)	2,4	1,6	6,7	12,2	6,1
	14.07.1999	35,9 (62%)	2,1	1,8	5,8	15,0	7,7
	28.07.1999	36,7 (59%)	2,1	1,3	4,6	16,1	7,3
	11.08.1999	36,3 (57%)	2,0	1,3	4,2	17,1	8,7
	25.08.1999	34,1 (52%)	1,8	1,3	5,9	11,6	5,9
		TM (dt/ha)	N (%)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
Leitgraben Begleitflora	16.06.1999	16,7 (36%)	1,8	2,0	9,7	4,5	3,3
	30.06.1999	19,9 (38%)	1,8	1,8	10,5	4,6	4,0
	14.07.1999	22,1 (38%)	1,6	1,9	11,4	5,3	3,8
	28.07.1999	25,3 (41%)	1,5	2,0	11,0	4,8	3,9
	11.08.1999	27,7 (43%)	1,5	1,8	11,3	5,4	3,6
	25.08.1999	30,9 (48%)	1,4	1,8	10,8	5,8	4,2

Die Begleitflora der *Lupinus*-Bestände setzt sich aus den in Kap. 5.1.2 beschriebenen Arten zusammen. Ihr Biomasseanteil an der gesamten Trockenbiomasse stieg während der Untersuchungstermine von 36 auf 48 % (Tab. 11). Die Stickstoffkonzentration war während dieses Zeitraumes kontinuierlich gesunken (1,8-1,4 %) und lag insgesamt auf einem geringfügig höheren Niveau als in den Goldhaferwiesen (1,7-1,2 %). Sie war jedoch deutlich niedriger als in den *Lupinus polyphyllus*-Pflanzen. Die Phosphorkonzentration schwankte zwischen 1,8 und 2,0 mg\*g<sup>-1</sup> und lag auf etwas höherem Niveau als die der Goldhaferwiesen (1,6-1,8 mg\*g<sup>-1</sup>). Dagegen war die Kaliumkonzentration (9,7-11,4 mg\*g<sup>-1</sup>) in der *Lupinus*-Begleitflora insgesamt höher als in der Flora der Goldhaferwiesen und fast doppelt so hoch wie die Konzentration in *Lupinus polyphyllus* (4,2-6,7 mg\*g<sup>-1</sup>).

Die Konzentration an zweiwertigen Kationen zeigte in der Begleitflora von *Lupinus polyphyllus* keine Dynamik, der Gehalt an Kalzium betrug mit 4,5- 5,8 mg\*g<sup>-1</sup> nur ein Drittel der *Lupinus*-Fraktion (11,6- 17,1 mg\*g<sup>-1</sup>) und war deutlich geringer als in den Goldhaferwiesen (7,1- 8,7 mg\*g<sup>-1</sup>). Die Magnesiumkonzentration der Begleitflora war mit der in den Goldhaferwiesen vergleichbar (3,3- 4,2 mg\*g<sup>-1</sup>), gleichzeitig aber nur halb so hoch wie die von *Lupinus polyphyllus* (5,9- 8,7 mg\*g<sup>-1</sup>).

Die Wurzelfraktion von *Lupinus polyphyllus* wurde, bis auf Klein- (< 5 mm Ø) und Feinwurzeln, zu den einzelnen Untersuchungsterminen entnommen, um deren Nährstoffkonzentrationen und Trockenbiomasse zu bestimmen (Kap. 4.5.2). Die Biomasse der Grobwurzeln (> 5 mm Ø) im *Lupinus*-Dominanzbestand betrug 300- 500 g\*m<sup>-2</sup>. Zu Beginn der Vegetationsperiode lag die Menge des in den Grobwurzeln fixierten Stickstoffs zwischen 70 und 140 kg\*ha<sup>-1</sup>. Durch die sinkende Stickstoffkonzentration in der Wurzel ging gleichzeitig der Gesamtgehalt an Stickstoff in der Wurzel zurück. Gegen Ende der Vegetationsperiode ist der Stickstoffgehalt in der Wurzel angestiegen. Eine Zunahme der Wurzelbiomasse, wie bei Wachstumsvorgängen üblich, konnte nicht bestimmt werden und blieb in der Berechnung unberücksichtigt.



**Abb. 34:** Stickstoffgehalte (kg/ha) in der Wurzel (> 5 mm) von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

#### 5.4.4 Nährstoffentzug bei verschiedenen Mahdzeitpunkten

Über die Biomasse und die Nährstoffkonzentrationen lassen sich die Nährstoffmengen berechnen, woraus sich der potenzielle Nährstoffentzug bei verschiedenen Mahd- oder Beweidungszeitpunkten ergibt.

In Tab. 12 sind für den Standort Leitgraben die Ernteerträge in Goldhaferwiesen (4 m\*4 m, n=2) und *Lupinus*-Dominanzbeständen dargestellt. Mitte Juni bis Ende August ist der potenzielle Ernteertrag in Goldhaferwiesen von 33 auf 46 dt\*ha<sup>-1</sup> gestiegen, während die Biomasseproduktion im *Lupinus*-Bestand wesentlich größer war und von 46 auf 65 dt\*ha<sup>-1</sup> zugenommen hat. Im *Lupinus*-Dominanzbestand waren Ende Juni 116 kg Stickstoff\*ha<sup>-1</sup> in der oberirdischen Biomasse gebunden, in benachbarten Goldhaferwiesen dagegen nur die Hälfte (65 kg\*ha<sup>-1</sup>). Durch die generelle Auflichtung der *Lupinus*-Bestände ab Ende Juli bei gleichzeitig sinkendem Stickstoffgehalt in der oberirdischen Phytomasse und steigendem Stickstoffgehalt im Wurzelstock, ging der potenzielle Stickstoffentzug trotz steigender Trockenbiomasse zurück.

Die Menge des oberirdisch gebundenen Phosphors im *Lupinus*-Bestand war während des Untersuchungszeitraumes mit 10 kg\*ha<sup>-1</sup> um ein Drittel höher als in benachbarten Goldhaferwiesen (5,9- 8,5 kg\*ha<sup>-1</sup>).

**Tab. 12:** Vergleich potenzieller Nährstoffentzüge von Goldhaferwiesen und *Lupinus*-Beständen (Deckungsgrad >80 % *Lupinus polyphyllus*) zu verschiedenen Mahdzeitpunkten am Standort Leitgraben (1999)

		TM (dt/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
Leitgraben Goldhaferwiese	16.06.1999	33	56	5,9	29	23	15
	30.06.1999	38	65	6,8	33	32	19
	14.07.1999	41	62	6,6	33	36	24
	28.07.1999	45	59	7,7	38	37	23
	11.08.1999	47	61	8,5	39	36	23
	25.08.1999	46	55	7,8	42	36	17
		TM (dt/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
Leitgraben <i>Lupinus</i> -Bestand	16.06.1999	46	99	9,1	35	49	28
	30.06.1999	53	116	9,0	43	49	28
	14.07.1999	58	111	10,5	46	66	36
	28.07.1999	62	113	9,7	45	71	37
	11.08.1999	64	112	9,9	46	77	41
	25.08.1999	65	105	10,1	54	57	33

Im gleichen Zeitraum könnten dem Dominanzbestand 35- 54 kg Kalium bzw. in Goldhaferwiesen 29- 42 kg\*ha<sup>-1</sup> entzogen werden. Bei den zweiwertigen Kationen war der potenzielle Nährstoff-

entzug pro ha im *Lupinus*-Bestand sowohl bei Kalzium mit 49- 77 kg\*ha<sup>-1</sup> als auch bei Magnesium mit 28- 41 kg\*ha<sup>-1</sup> doppelt so groß wie in den Goldhaferwiesen (Kalzium: 23- 37; Magnesium: 15- 24 mg\*g<sup>-1</sup>). Der maximale oberirdisch gebundene Nährstoffgehalt zweiwertiger Ionen war in den Goldhaferwiesen Mitte bis Ende Juli, im *Lupinus*-Bestand Mitte August zu finden.

## 5.5 Pflegeversuche mit Maschinen

Am Standort Herrenwasser wurden nach der in Kap 4.4.1 beschriebenen Methode 48 Teilflächen zur Pflege von *Lupinus*-Dominanzflächen eingerichtet. Jährlich wurde vor der Durchführung der Pflegemaßnahmen die Vegetation nach BRAUN-BLANQUET (1964) erfasst (für den Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* eine 5%-Skala). Die Biomasseproduktion der Pflege-Varianten Mahd und Mulch (Balkenmäher) wurde direkt bei der Ernte gravimetrisch bestimmt, die der Null- und Schlegel-Varianten abgeschätzt bzw. über die Ermittlung der Deckungsgrade berechnet und müssen bei der Interpretation der Ergebnisse dementsprechend berücksichtigt werden. 1997 wurden die 48 Teilflächen zum ersten Mal vegetationskundlich erfasst, 1998- 2001 wurde das Pflegekonzept umgesetzt. Die Ergebnisse der Pflegeversuche konnten erst im jeweiligen Folgejahr bonitiert und damit ausgewertet werden.

Im Folgenden wird die Entwicklung der Vegetation und Biomasseproduktion im Untersuchungszeitraum 1998- 2001 beschrieben; unterteilt in die vier Bearbeitungstermine 1-Schnitt-Juni, 2-Schnitt-Juni + August, 1-Schnitt-Juli und Null-Variante. Innerhalb der Bearbeitungstermine werden die Pflege-Varianten (Mahd, Mulch und Schlegel) berücksichtigt. Im Anschluss werden die Vegetationsaufnahmen (1997- 2001) mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse (PCA) auf ihre Ähnlichkeit hin untersucht (Kap. 5.5.2). Die Pflege-Varianten und Entwicklung der *Lupinus*-Biomasse werden in Kap. 5.5.3 beurteilt.

### 5.5.1 Entwicklung der Vegetation und Biomasseproduktion

Wie auf dem Luftbild der Versuchsanlage Herrenwasser zu sehen ist (Abb. 35), befindet sich zwischen den Versuchsfeldern und dem Forst ein Borstgrasrasen mit Übergängen zur Goldhaferwiese, die jährlich einmal vor Ausreifung der *Lupinus*-Samen gemäht wird. Auf dieser Wiese ist die Grasnarbe geschlossen, und *Lupinus polyphyllus* kann sich dort nicht etablieren.

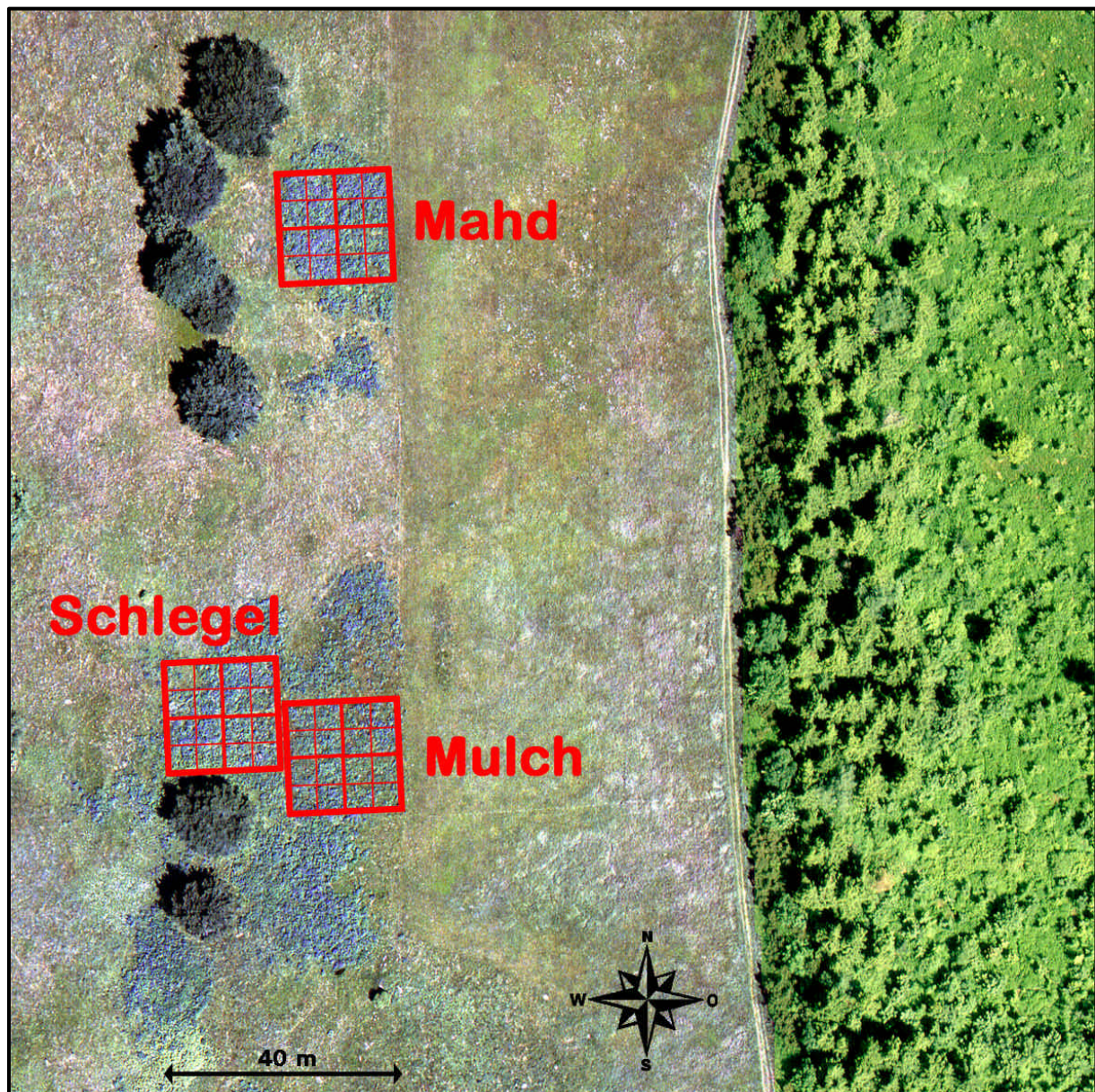
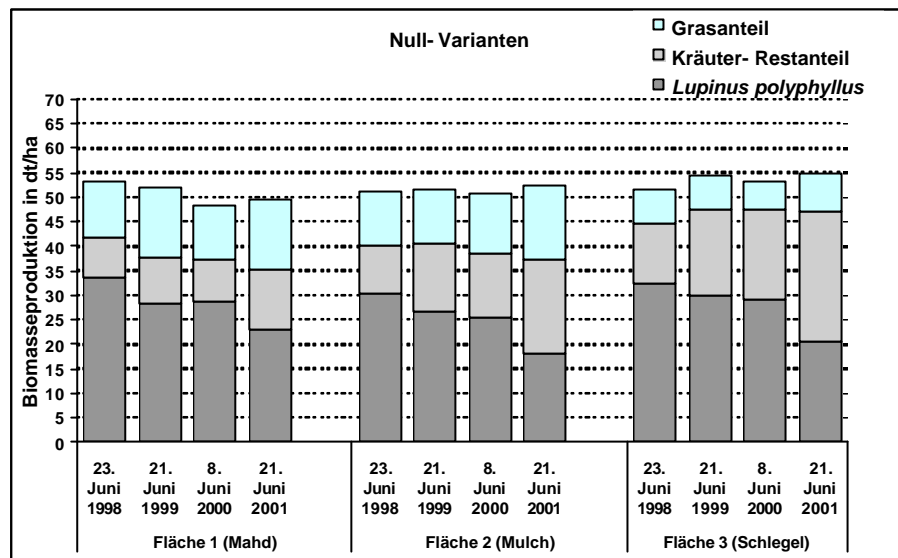


Abb. 35: Luftbild der Versuchsanlage am Herrenwasser (21.06.98)

### 5.5.1.1 Null-Varianten

Als Null-Varianten werden die jährlich vegetationskundlich kartierten zwölf Teilflächen bezeichnet, auf denen keine Pflege stattgefunden hat. Aufgrund des Versuchsaufbaues wurde auf jeder Pflege-Variante (Mahd, Mulch, Schlegel) jeweils eine Null-Fläche mit vier Parallelen eingerichtet. Der *Lupinus*-Deckungsgrad und damit auch die Begleitflora, unterscheidet sich auf den Pflege-Varianten, weshalb im Nachfolgenden die Null-Flächen in die Standort-Varianten unterteilt wurden.



**Abb. 36:** Trockenbiomasse der Null-Varianten; unterteilt in *Lupinus polyphyllus*, Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen)

#### Null-Variante der Fläche 1(Mahd):

Die Deckung von *Lupinus polyphyllus* lag 1998 auf den Teilflächen A, B und D zwischen 85 und 90 % (ca. 70 % der TM), auf Teilfläche C nur bei 45 %. Im Untersuchungszeitraum wurden 18- 22 Arten erfasst. Die Null-Variante der Fläche 1 setzte sich 1998 neben *Lupinus polyphyllus* aus *Poa chaixii*, *Bistorta officinalis* und *Galium aparine* zusammen. Bis 2001 ging der Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* leicht zurück, was durch Zunahme von *Bistorta officinalis* und *Galium aparine* kompensiert wurde. Auf der Fläche kam es zur massenhaften Keimung von *Lupinus*-Samen. *Urtica dioica* kam im Jahr 2000 in die Fläche. *Phyteuma orbiculare*, *Lathyrus linifolius*, *Serratula tinctoria* und *Silene nutans* traten nur sporadisch mit einzelnen Exemplaren auf. *Helianthemum nummularium* wurde im Untersuchungszeitraum fast völlig verdrängt.

#### Null-Variante der Fläche 2 (Mulch):

1998 war die Null-Variante der Fläche 2 mit 60- 95 % (ca. 60 % der TM) von *Lupinus polyphyllus* bedeckt. Daneben hatten nur noch *Poa chaixii*, *Galium aparine* und *Urtica dioica* auf den Teilflächen A und C höhere Deckungsgrade. Zwei Exemplare von *Lilium martagon* wurden während des gesamten Untersuchungszeitraumes wieder gefunden. *Urtica dioica* bedeckte 2001 auf Teilfläche A drei Viertel des Bestandes, auf Teilfläche C etwa die Hälfte, was zu einem

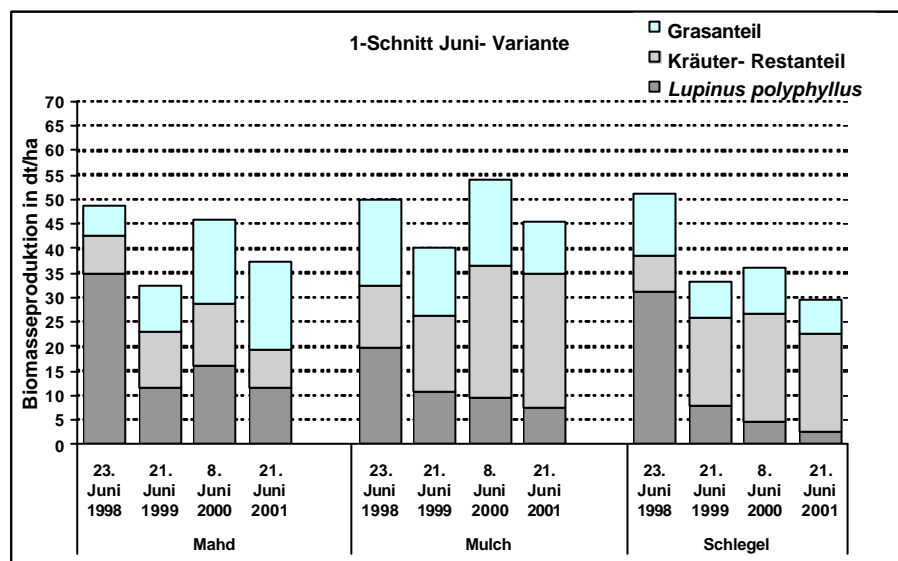
leichten Rückgang der *Lupinus*-Deckung führte. Im Durchschnitt wurden zwischen 1998 und 2001 nur 15- 18 Arten erfasst.

#### Null-Variante der Fläche 3 (Schlegel):

1998 lag die Deckung von *Lupinus polyphyllus* auf der Null-Variante der Fläche 3 zwischen 60 und 95 % (ca. 70 % TM). Im Untersuchungszeitraum ging die durchschnittliche Artenzahl von 18 auf 14 zurück. Auf Teilfläche C und D breitete sich *Rubus idaeus* stark aus und überwuchs *Lupinus polyphyllus*, so dass deren Deckungsgrad deutlich zurückging. Der Deckungsgrad von *Aegopodium podagraria* stieg von 10 % (1998) auf 30 % (2001) an, während im gleichen Zeitraum *Hypericum maculatum*, das 1998 teilweise bis zu 15 % der Fläche bedeckte, vollständig verdrängt wurde. Im Bereich des *Lupinus*-Vorkommens legte sich *Galium aparine* wie ein Schleier über den Bestand, fiel aber im Bereich der höher wachsenden *Rubus idaeus* aus. In den nächsten Jahren wird voraussichtlich *Rubus idaeus* die gesamte Fläche überwachsen.

#### 5.5.1.2 1-Schnitt-Juni-Variante

Die Varianten Mahd, Mulch und Schlegel wurden jährlich zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* gepflegt. Dabei wurde die Biomasse der Varianten Mahd und Mulch gravimetrisch erfasst, die der Schlegel-Variante lediglich über Schätzwerte errechnet.



**Abb. 37:** Trockenbiomasse der 1-Schnitt-Juni-Variante; unterteilt in *Lupinus polyphyllus*, Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen)

#### Mahd-Fläche:

Auf der Mahd-Fläche lag der *Lupinus*-Deckungsgrad vor Beginn der Maßnahmen 1998 auf den vier Parallelfeldern zwischen 80 und 95 % (70 % TM). Im Durchschnitt kamen 19 Arten vor. Neben *Lupinus polyphyllus* bildete *Poa chaixii* den Bestand. *Galium aparine* war flächig über den

*Lupinus*-Bestand gewachsen und *Bistorta officinalis* vereinzelt unter dem dicht wachsenden Bestand vorhanden. Auf kleineren *Lupinus*-freien Flächen ( $< 1 \text{ m}^2$ ) erreichten *Festuca rubra* und *Hypericum maculatum* höhere Deckungsgrade. Nach dem ersten Schnitt am 24. Juni 1998 ging die Biomasseproduktion im Folgejahr um ein Drittel zurück. *Lupinus polyphyllus* war nach wie vor frohwüchsig, die Blattmasse ging aber deutlich zurück. Auf dem lückigen Bestand stellten sich sofort *Rumex acetosa*, *Leucanthemum vulgare*, *Urtica dioica* und *Taraxacum sect. Ruderalia* ein. Der Biomasse-Anteil von *Lupinus polyphyllus* konnte durch den ersten Schnitt sprunghaft reduziert werden und lag nach weiteren zwei Pflgeterminen bei etwa 30 %. 2001 war der ehemals 120 cm hohe Bestand nur noch 70 cm hoch. Ein Drittel der Biomasse wurde von *Lupinus polyphyllus*, ein weiteres Drittel von *Poa chaixii* gebildet; *Bistorta officinalis* trug 10-20 % der Biomasse bei. Insgesamt waren 2001 28 Arten zu finden.

#### Mulch-Fläche:

Die Mulch-Fläche hatte 1998 einen *Lupinus*-Deckungsgrad von 45-80 % (40 % TM). Neben *Poa chaixii* war *Urtica dioica* in Teilfläche A und C sehr stark vertreten. Die restlichen der insgesamt 20 Arten kamen mit geringer Deckung vor. Augenscheinlich handelt es sich bei der Fläche um einen alten *Lupinus*-Bestand, der bereits zu Beginn der Untersuchungen einen beträchtlichen Anteil an Ruderalarten wie *Galium aparine* und *Urtica dioica* aufwies. Dennoch konnten auf allen vier Teilflächen jeweils ein bis drei Exemplare von *Lilium martagon* überleben, stark konkurrierend mit dem 120 cm hohen Bestand. Durch den ersten Schnitt 1998 konnten *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* im Folgejahr weniger Biomasse produzieren. In den Folgejahren hat sich der Biomasseanteil zugunsten der Kräuter, v. a. *Bistorta officinalis* und *Urtica dioica*, verschoben. *Urtica dioica* erreichte auf Teilfläche A 40 % und auf Teilfläche C 60 % Masseanteil. Insgesamt waren 2001 26 Arten zu finden; darunter wurden im Jahr 2000 drei Exemplare der schnittempfindlichen *Lilium martagon*, wahrscheinlich zum letzten Mal, erfasst. Das Belassen der Biomasse auf der Pflegefläche nach Balkenmähermahd begünstigte Nährstoffe liebende Arten.

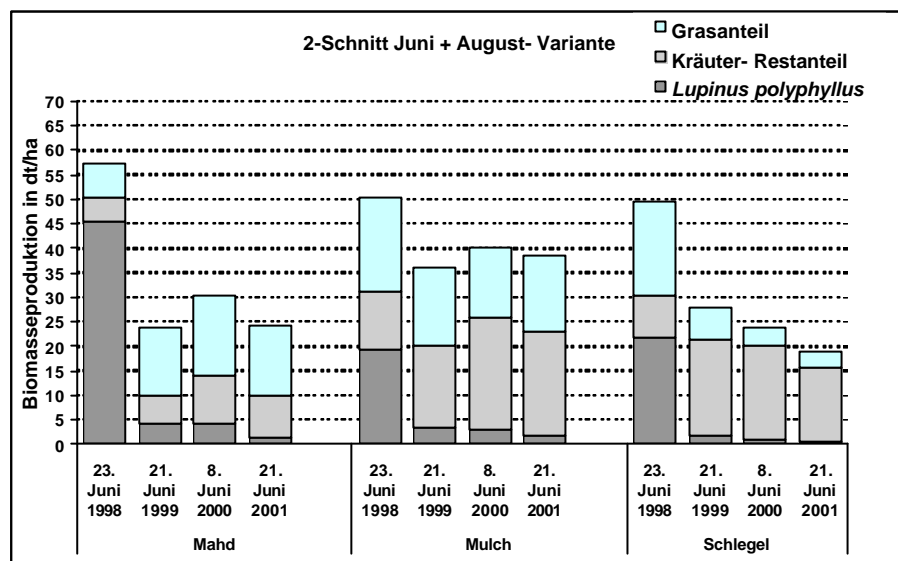
#### Schlegel-Fläche:

Der *Lupinus*-Deckungsgrad auf der Schlegel-Fläche lag 1998 zwischen 70 und 95 %. Sie produzierte fast zwei Drittel der Biomasse. 1998 waren auf den vier Teilflächen im Durchschnitt 18 Arten zu finden. Neben *Poa chaixii* mit 30 % kam *Bistorta officinalis* und *Galium aparine* häufiger vor. Der Biomasseanteil von *Lupinus polyphyllus* ging nach dem ersten Schlegeln um mehr als zwei Drittel zurück, wodurch die Biomasseproduktion im Folgejahr abnahm. Der Anteil von *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* sank in den folgenden Jahren kontinuierlich und wurde vorwiegend durch Kräuter ersetzt. 2001 waren nur 80 % der Fläche mit Pflanzen bedeckt. Dort waren 35 Arten zu finden. Das Schlegeln hat Freiflächen geschaffen, auf denen sich Pionierpflanzen

zen wie *Rumex acetosa*, *Taraxacum sect. Ruderalia*, *Luzula luzuloides*, *Bromus hordeaceus* und *Urtica dioica* etablieren konnten. Bemerkenswert ist das Vorkommen der Ackerunkräuter *Capsella bursa-pastoris*, *Cirsium arvense*, *Thlaspi arvense* und *Veronica arvensis* auf den Freiflächen. Zusätzlich wurden Lichtinseln für *Campanula rotundifolia*, *Lathyrus linifolius*, *Alchemilla vulgaris*, *Knautia arvensis*, *Potentilla erecta* und *Cirsium palustre* geschaffen.

### 5.5.1.3 2-Schnitt-Juni + August-Variante

Die Pflegemaßnahmen der Varianten Mahd, Mulch und Schlegel erfolgten jährlich zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus*. Zusätzlich wurde ein zweiter Schnitt sechs bis acht Wochen nach der Erstmaßnahme durchgeführt.



**Abb. 38:** Trockenbiomasse der 2-Schnitt-Juni + August-Variante; unterteilt in *Lupinus polyphyllus*, Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen)

#### Mahd-Fläche:

Die Mahd-Fläche war zu Beginn der Pflege 1998 auf allen Parallelfächen fast ausschließlich mit *Lupinus polyphyllus* bedeckt (90- 95 %). Der 120 cm hohe *Lupinus*-Bestand war stark mit *Galium aparine* überwachsen. In Bodennähe waren *Poa chaixii* und *Helictotrichon pratensis* mit höheren Deckungsgraden vorhanden. Die meisten der insgesamt 25 Arten kamen nur vereinzelt (+) auf der Fläche vor. Nach den zwei Mahdterminen 1998 ging der *Lupinus*-Deckungsgrad sprunghaft auf 30 % zurück, was einen Masseanteil von ca. 15 % entspricht. Nur noch 80 % der Fläche waren mit Vegetation bedeckt, was bis 2001 nicht kompensiert werden konnte. Insgesamt wurden 2001 37 Arten erfasst, wobei *Poa chaixii* und *Bistorta officinalis* zusammen 50 % der Biomasse bilden.

### Mulch-Fläche:

Die Mulch-Fläche war 1998 zu 50 bis 75 % mit *Lupinus polyphyllus* bewachsen. Bestandsbildner waren bei den krautigen Arten *Bistorta officinalis*, *Trollius europaeus*, *Galium verum*, *Galium boreale* und *Galium aparine*. Der Grasanteil wurde vorwiegend von *Poa chaixii*, *Festuca rubra* und *Helictotrichon pubescens* gebildet. Insgesamt wurden in dem 120 cm hohen Bestand 22 Arten gefunden. Das *Lupinus*-Vorkommen ging durch zweimaliges Mulchen sprunghaft zurück. Die Bodennarbe wurde nicht wie beim Schlegeln verletzt, so dass sich die vorhandenen Arten ausbreiten konnten. Die schnittempfindliche *Poa chaixii* ging stark zurück, *Lilium martagon* und *Hypericum maculatum* waren nicht mehr vorhanden. Dagegen profitierten bei den Gräsern *Festuca rubra*, *Helictotrichon pubescens* und z. T. *Alopecurus pratensis*, während bei den Kräutern *Geum rivale*, *Rhinanthus minor*, *Phyteuma orbiculare*, *Alchemilla vulgaris*, *Lathyrus linifolius* und *Cirsium palustre* neu hinzukamen. 2001 wurden in dem 70 cm hohen Bestand, dessen Hauptbestandsbildner *Bistorta officinalis* war, 34 Arten erfasst.

### Schlegel-Fläche:

Die Biomasse der Schlegel-Fläche wurde 1998 über 40 % (50- 80 % Deckung) von *Lupinus polyphyllus* gebildet. Daneben waren von den insgesamt 14 Arten *Poa chaixii*, *Galium aparine* und *Aegopodium podagraria* von Bedeutung. Auf der Teilfläche C nahm *Rubus idaeus* 20 % Deckung ein. Durch das zweimalige Schlegeln 1998 ging die Biomasse im Folgejahr um die Hälfte zurück, was vorwiegend durch den Rückgang von *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* verursacht wurde. Ein Viertel der Teilflächen war durch die Bodenverwundung vegetationsfrei, wodurch sich in den folgenden Jahren Pionierpflanzen wie *Rumex acetosa*, *Taraxacum sect. Ruderalia*, *Luzula luzuloides*, *Cirsium palustre* und z. T. die Gräser *Poa trivialis* und *Trisetum flavescens* etablieren konnten. Ackerunkräuter wie *Thlaspi arvense*, *Capsella bursa-pastoris* und *Veronica arvensis* profitierten ebenfalls von den Freiflächen; so konnte die vorwiegend unter Lichteinfluss keimende *Capsella bursa-pastoris* (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2001) Deckungsgrade von 5- 15% erreichen. Jeweils eine *Lilium martagon* kam im Jahr 2000 auf den Teilflächen A und B neu hinzu. Insgesamt wurden 2001 28 Arten erfasst.

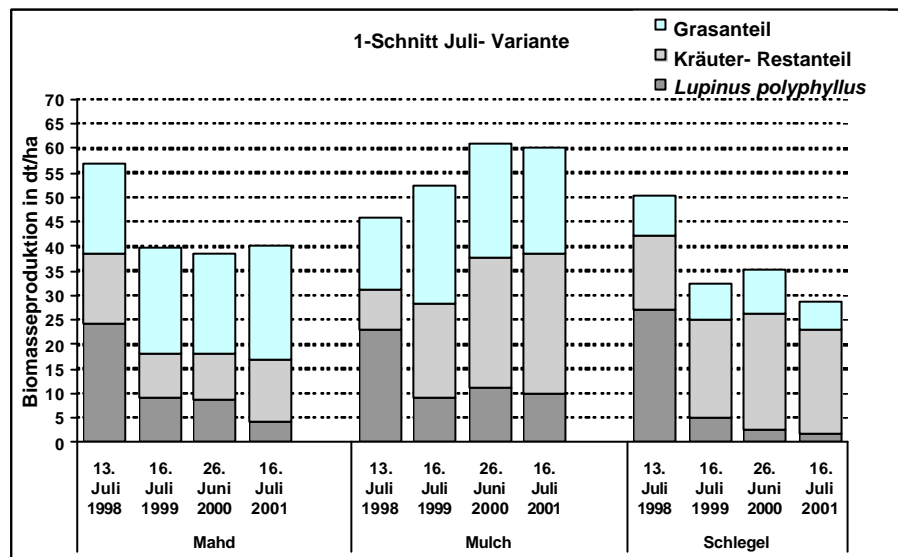
#### 5.5.1.4 1-Schnitt-Juli-Variante

Um eine möglichst späte Pflege untersuchen zu können, wurden die Varianten Mahd, Mulch und Schlegel jährlich einmal vor Ausreife der *Lupinus*-Samen gepflegt.

##### Mahd-Fläche:

1998 waren 45- 70 % der Mahd-Fläche mit *Lupinus polyphyllus* bewachsen (40 % TM). Hauptbestandsbildner waren neben *Lupinus polyphyllus* die Gräser *Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa* und die Kräuter *Bistorta officinalis*, *Galium boreale* und *Galium verum*. 1998 wurden 26 Arten erfasst. Durch die einmalige Mahd 1998 vor Ausreifung der Samen von *Lupinus polyphyllus* sank die Biomasseproduktion im nächsten Jahr um fast ein Drittel. Der Anteil an *Lupinus polyphyllus* reduzierte sich um mehr als die Hälfte. Bis 2001 sank der *Lupinus*-Deckungsgrad kontinuierlich auf 10 % Masseanteil.

Kompensiert wurde *Lupinus polyphyllus* und *Deschampsia cespitosa* vorwiegend durch *Bistorta officinalis*, *Rumex acetosa* und den Gräsern *Helictotrichon pubescens* und *Festuca rubra*. *Poa chaixii* und *Bistorta officinalis* bildeten zusammen mehr als



**Abb. 39:** Trockenbiomasse der 1-Schnitt-Juli-Variante; unterteilt in *Lupinus polyphyllus*, Grasanteil und Kräuter-Restanteil (Mittelwert aus vier Parallelen)

zwei Drittel der Biomasse. *Urtica dioica* und *Galium aparine* fielen bis 2001 fast vollständig aus. *Trollius europaeus* - 1998 noch häufig vorhanden - war 2001 verschwunden. Neu hinzu kamen jedoch Licht liebende Arten wie *Rhinanthus minor*, *Phyteuma orbiculare*, *Campanula rotundifolia*, *Alchemilla vulgaris*, *Veronica arvensis*, *Taraxacum sect. Ruderalia* und *Geranium sylvaticum*. Die Artenzahl ist von ursprünglich 26 auf 34 angestiegen, die Bestandeshöhe ist von 120 cm auf 70 cm zurückgegangen.

### Mulch-Fläche:

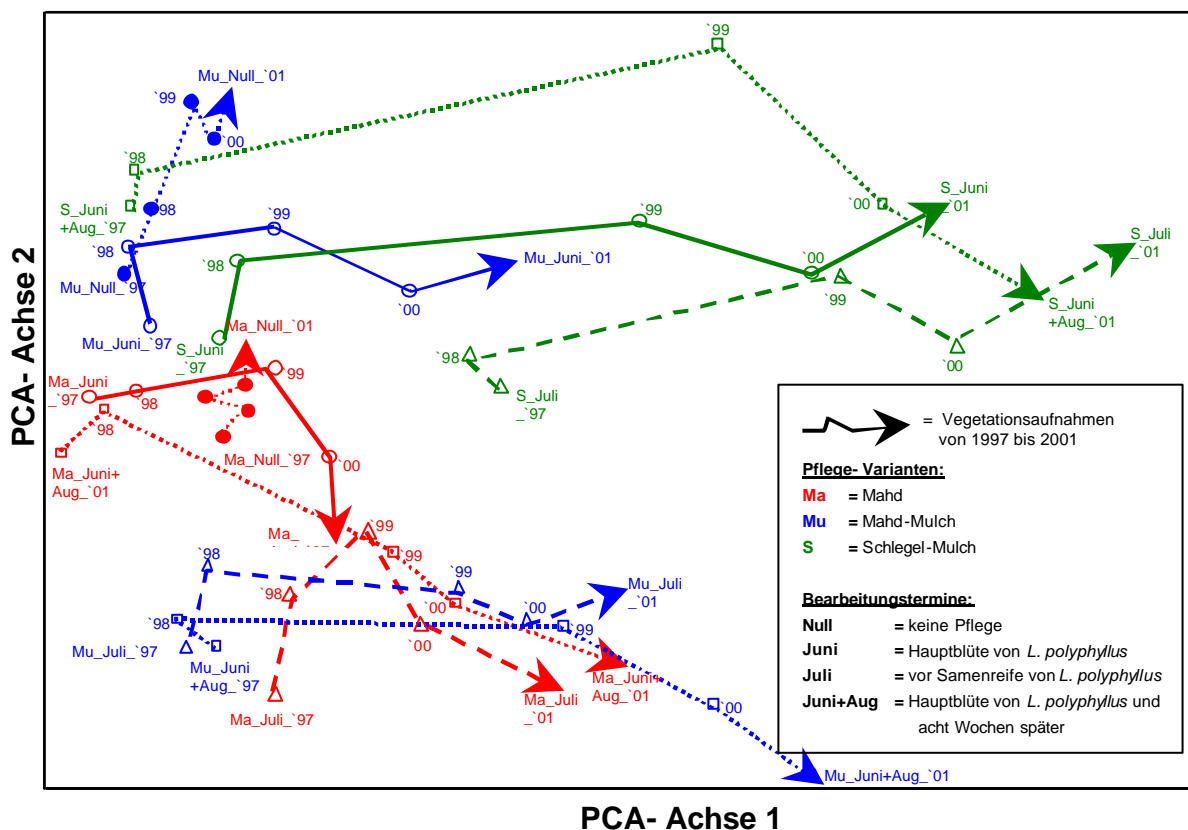
Auf der Mulch-Fläche waren die Teilflächen A, B und C jeweils 80 % mit *Lupinus polyphyllus* bedeckt, während Teilfläche D 45 % *Lupinus*-Deckung aufwies. Vor der Pflege 1998 wurden 24 Arten erfasst, neben *Poa chaixii* kamen *Trollius europaeus*, *Galium boreale* und *Galium aparine* mit höheren Deckungsgraden vor. Durch einmaliges Mulchen 1998 stieg die Biomasseproduktion im Folgejahr sogar an, obwohl *Lupinus polyphyllus* um über die Hälfte Masseanteil sank. Neben starker Zunahme von *Bistorta officinalis* erreichten *Helictotrichon pubescens*, *Poa trivialis*, *Dactylis glomerata* und *Arrhenatherum elatius* stellenweise hohe Deckung. Der Bestand glich 2001 mit inzwischen 31 Arten und einer Höhe von 90 cm einer aufgedüngten Wirtschaftswiese. Die Nährstoffzeiger *Galium aparine* und *Urtica dioica* waren vorhanden und *Cirsium palustre* erreichte stellenweise eine höhere Deckung.

### Schlegel-Fläche:

Auf der Schlegel-Fläche lag 1998 die Deckung von *Lupinus polyphyllus* auf Teilfläche B, C und D bei 65- 90 %, auf Teilfläche A nur bei 20 %. *Poa chaixii*, *Aegopodium podagraria*, *Hypericum maculatum* waren neben *Lupinus polyphyllus* Hauptbestandbildner. Insgesamt waren 1998 26 Arten zu finden. Durch einmaliges Schlegeln vor Ausreifung der *Lupinus*-Samen hat sich die Biomasseproduktion im Folgejahr um ein Drittel reduzieren lassen. *Lupinus polyphyllus* ging von über 50 % Masseanteil auf 15 % zurück. *Bistorta officinalis* und *Aegopodium podagraria* nahmen in Folge stark zu. Der *Lupinus*-Anteil sank bis 2001 auf 6,3 % Masseanteil. *Aegopodium podagraria* bildete über 60 % der Biomasse. Neben *Bistorta officinalis* erreichten die Gräser *Helictotrichon pubescens*, *Poa pratensis* und *Festuca rubra* noch höhere Deckungsgrade. Insgesamt konnten 2001 im 60 cm hohen Bestand 34 Arten erfasst werden. Die Vegetation der Juli-Schlegel-Variante war 2001 im Vergleich zur Juni-Variante weniger lückenhaft, was auf die flächige Ausbreitung von *Aegopodium podagraria* zurückzuführen war. Nur in Bereichen ohne *Aegopodium podagraria* konnten sich neue Arten etablieren wie z. B. *Bromus hordeaceus* in Teilfläche B. Der Bestand war von der Artenzusammensetzung sehr heterogen.

### 5.5.2 Hauptkomponentenanalyse der floristischen Daten (PCA)

Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) ist eine Ordinationsmethode, in der eine Menge von Objekten durch eine reduzierte Anzahl von neuen Variablen beschrieben wird (GLAVAC 1996). Ihr Ziel ist es, die Vielzahl der Vegetationsaufnahmen entsprechend ihrer Ähnlichkeit anzuordnen und zu analysieren. Für die PCA wurde jeweils der Mittelwert aus vier parallelen Vegetationsaufnahmen (A-D) herangezogen. Die insgesamt 240 Vegetationsaufnahmen aus fünf Untersuchungs-jahren (1997-2001) mit drei Pflege-Varianten (Mahd, Mahd-Mulch, Schlegel-Mulch) und vier Bearbeitungsterminen (Null, Juni, Juni + August, Juli) konnten so auf eine überschaubare Größe von 60 gemittelten Aufnahmen reduziert werden. Pflanzenarten, die in den gemittelten Vegetationsaufnahmen weniger als viermal vorkamen, blieben in der Hauptkomponentenanalyse unberücksichtigt.



**Abb. 40:** Ordinationsdiagramm einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Entwicklung von Vegetationsaufnahmen (1997-2001) durch *Lupinus*-Pflegeversuche am Standort Herrenwasser

Die Darstellung der Vegetationsaufnahmen in Bezug zu Achse 1 und Achse 2 (Abb. 40) ergibt eine deutliche Aufspaltung der Pflege-Varianten und Bearbeitungstermine im Untersuchungszeitraum. Achse 1 erklärt 34,2 %, Achse 2 15,4 % und Achse 3 14,5 % der Varianz der Artendaten. Die Vegetationsaufnahmen 1997 und 1998 vor Beginn der Pflege zeigen geringe Varianzen und finden sich in Abb. 39 auf der linken Seite. Ihre Ähnlichkeit ist vorwiegend auf den hohen Deckungsgrad von *Lupinus polyphyllus* zurückzuführen. Die nicht gepflegten Null-Plots der

Pflege-Varianten Mahd und Mulch verschieben sich im Untersuchungszeitraum nach oben, was sowohl auf die Zunahme von Ruderalarten wie *Urtica dioica*, *Galeopsis tetrahit*, *Galium aparine* als auch von in *Lupinus*-Dominanzbeständen konkurrenzfähigen Arten wie *Senecio ovatus* und *Rubus idaeus* zurückzuführen ist. Die Schlegel-Varianten zeigten unabhängig vom Bearbeitungstermin die stärkste Veränderung im Untersuchungszeitraum, was sich in der Hauptkomponentenanalyse durch eine Verschiebung nach rechts zeigt. Die Hauptbestandsbildner *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* wurden bereits durch die erste Pflege 1998 stark zurückgedrängt und ein vegetationsfreier Oberboden geschaffen. In Folge konnten sich *Aegopodium podagraria*, *Bromus hordeaceus* und die Ackerarten *Capsella bursa-pastoris*, *Veronica arvensis*, *Thlaspi arvense* etablieren. Bei den Pflege-Varianten Mahd und Mahd-Mulch hat der Bearbeitungstermin einen größeren Einfluss auf die Artenzusammensetzung. Durch eine Pflege zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* (Juni) wird ihr Deckungsgrad kaum verändert. Auf der Mahd-Mulch-Variante profitieren Nährstoffe anzeigende Arten, auf der Mahd-Variante werden Gräser gefördert. Die Pflegetermine Juni + August und Juli schneiden am besten ab. Insgesamt spiegelt der Verlauf der ersten Achse die abnehmende Deckung von *Lupinus polyphyllus* und *Poa chaixii* wider. Gegenläufig hierzu verläuft die Zunahme von *Bistorta officinalis*.

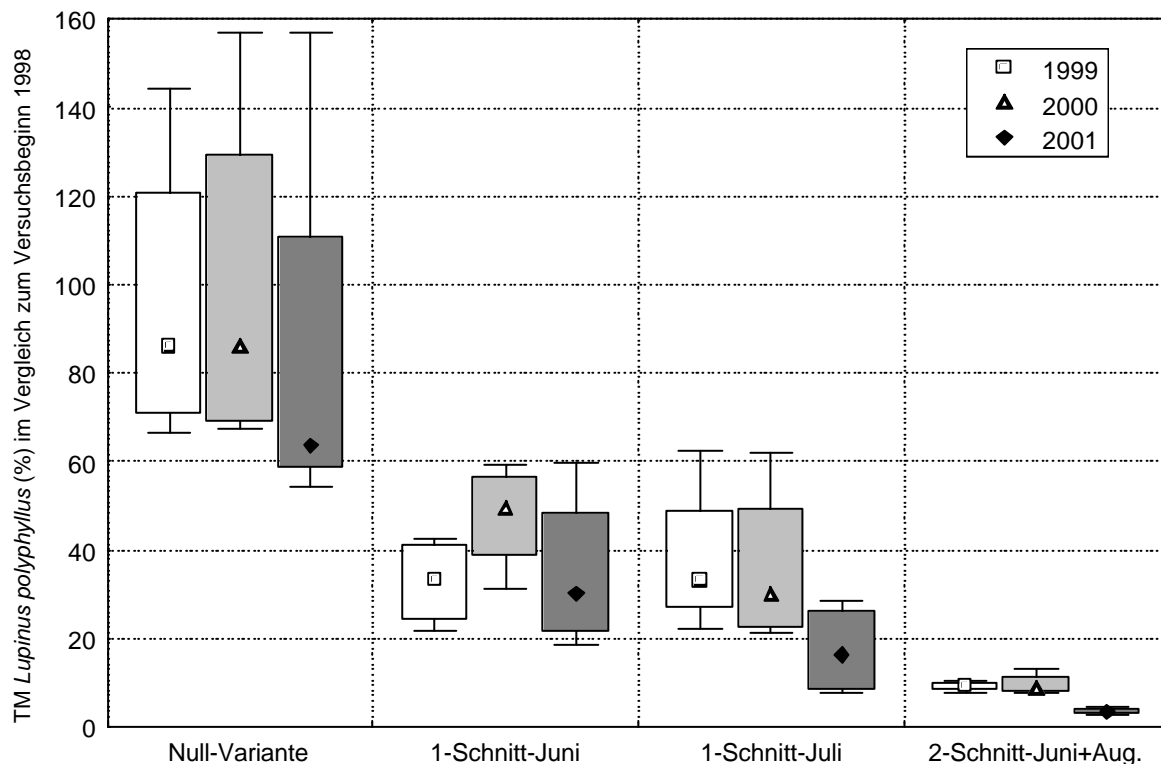
### 5.5.3 Beurteilung der Pflege-Varianten und Entwicklung der *Lupinus*-Biomasse

Auf allen 48 Teilflächen produzierte *Lupinus polyphyllus* vor der Pflege 1998 mehr als ein Drittel der gesamten Biomasse. Die Brache anzeigenden Gräser *Poa chaixii* und *Deschampsia cespitosa* lieferten den Großteil der restlichen Biomasse. Auf den Null-Varianten war, vegetationskundlich betrachtet, kaum eine Dynamik festzustellen. Bei vermutlich „älteren“ *Lupinus*-Beständen (Null-Flächen der Pflege-Varianten Mulch und Schlegel), nahm die Ruderalflora größere Flächenanteile in Anspruch. Dort setzte der natürliche Alterungsprozess mit Absterben von *Lupinus polyphyllus* ein. Vegetationslücken entstehen, die zum Konkurrenzfeld der Ruderalflora und junger *Lupinus polyphyllus* werden. Langfristig wird *Lupinus polyphyllus* von *Urtica dioica*, *Epilobium angustifolium* und später dann von aufkommenden Sträuchern wie *Salix aurita*, *Prunus spinosa* und *Rubus*-Arten (siehe Pflege-Variante Schlegel, Null-Fläche C) überwachsen und verdrängt. Im Nachfolgenden wird die Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* bezogen auf den Versuchsbeginn 1998 dargestellt. Die Erträge in  $\text{dt} \cdot \text{ha}^{-1}$  und die Ergebnisse der Signifikanz-Tests sind den Tabellen A-24 bis A-27 im Anhang zu entnehmen.

#### Mahd:

Durch einmalige Pflege im ersten Versuchsjahr 1998 konnte die Biomasse von *Lupinus polyphyllus* auf den 1-Schnitt-Varianten um mehr als 60 % reduziert werden, auf der 2-Schnitt-Variante

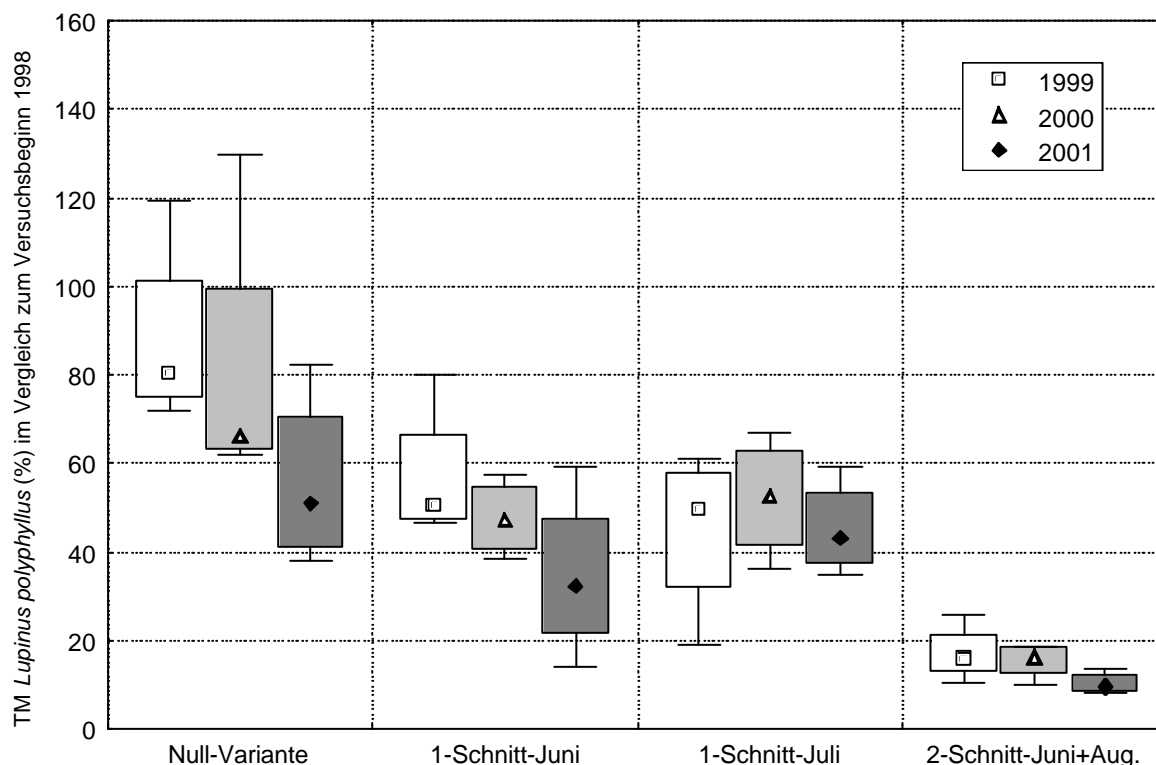
um 90 % (Abb. 41). Auf der Null-Variante war bis 2000 kein signifikanter Unterschied in der Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* festzustellen, bis 2001 wurde um 20 % signifikant weniger Biomasse festgestellt. Auf der 1-Schnitt-Juni-Variante konnte sich *Lupinus polyphyllus* bis 2000 regenerieren, während auf der 1-Schnitt-Juli-Variante die Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* kontinuierlich bis 2001 um mehr als 80 % reduziert wurde. Auf der 2-Schnitt-Juni+August-Variante konnte *Lupinus polyphyllus* bis 2000 nicht weiter reduziert werden. Erst durch das dritte Pflegejahr war ein weiterer Rückgang festzustellen. Trotz dreier Versuchsjahre produzierte *Lupinus polyphyllus* 2001 noch 2-5 % der ursprünglichen Biomasse. Die geringe Varianz der Biomasseproduktion innerhalb der vier parallelen Flächen bekräftigt die Wirksamkeit der 2-Schnitt-Variante. Die z. T. noch existierende Grasnarbe wurde bei der Mahd im Gegensatz zum Schlegeln geschont. Der Abtransport der Biomasse begünstigte kleinwüchsige Arten, die allerdings bereits durch *Lupinus polyphyllus* verdrängt oder durch die Nährstoffanreicherung des Oberbodens von Gräsern (*Poa trivialis*, *Holcus lanatus*) überwachsen wurden. Insgesamt war die Wuchshöhe der Mahd-Flächen aufgrund der Biomasse-Abfuhr niedriger als auf den Mulch-Flächen. Neben *Bistorta officinalis* erfuhren die Gräser *Poa trivialis* und *Holcus lanatus* großen Zuwachs. Die Artenzahlen stiegen im Untersuchungszeitraum auf allen Mahd-Flächen an.



**Abb. 41:** Biomasseproduktion (TM) von *Lupinus polyphyllus* im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der Mahd-Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4)

### Mulch:

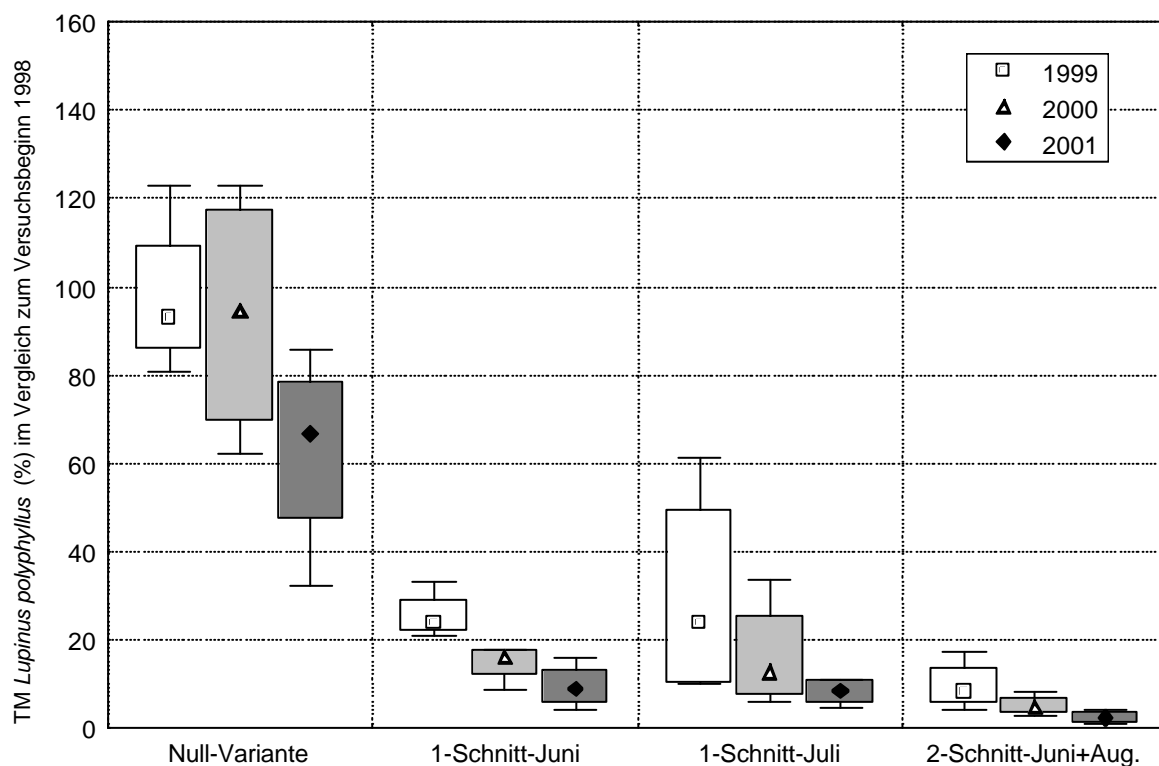
Auf der Null-Variante ging der Biomasseanteil von *Lupinus polyphyllus* im Vergleich zum Versuchsbeginn 1998 kontinuierlich bis auf 50 % zurück. Durch das Mulchen (Mahd mit Balkenmäher ohne Abtransport der Biomasse) konnte die *Lupinus*-TM im ersten Versuchsjahr auf den 1-Schnitt-Varianten um 50 % und auf der 2-Schnitt-Variante um über 80 % reduziert werden. In den Folgejahren ging die Biomasse von *Lupinus polyphyllus* nur noch leicht zurück. Durch das Belassen des Mahdgutes auf der Fläche wurden ständig Nährstoffe nachgeliefert, zusätzlich hinderte die dichte Mulchschicht kleinwüchsige Arten und Untergräser am Austreiben. Die Nährstoffe anzeigenden Arten wie *Galium aparine* und *Urtica dioica* konnten weniger erfolgreich zurückgedrängt werden als auf den Mahd-Varianten, z. T. konnten sie sich stark ausbreiten (Juni-Variante). Die Mulch-Varianten sind im Vergleich zu den Mahd-Varianten sehr „gräserbetont“; teilweise treten Massenvorkommen von *Poa trivialis* und *Holcus lanatus* auf. Die Mulchschicht verhindert die Austrocknung des Bodens, weshalb *Trollius europaeus* weniger stark zurückgedrängt wird als auf den Mahd-Flächen. Die Deckung von *Cirsium palustre* hat im Untersuchungszeitraum zugenommen.



**Abb. 42:** Biomasseproduktion (TM) von *Lupinus polyphyllus* im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der Mulch-Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4)

### Schlegel:

Beim Schlegeln wird die Vegetation auf 2-3 cm zerklüftet, weshalb das Schnittgut wesentlich schneller mineralisiert und damit früher pflanzenverfügbar ist als beim Mulchen. Um *Lupinus polyphyllus* möglichst stark zurückzudrängen, sollte ihr Wurzelansatz bzw. der Vegetationspunkt verletzt werden. Dazu wurde die Schlegelmaschine bei den Versuchsdurchführungen relativ tief eingestellt. Altersbedingt und durch zunehmende Konkurrenz von Hochstauden ging die TM von *Lupinus polyphyllus* auf der Null-Variante kontinuierlich zurück. Zu sämtlichen Pflageterminen konnte die Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* innerhalb eines Jahres um durchschnittlich 75-90 % reduziert werden. Gleichzeitig wurde die Begleitvegetation erheblich beschädigt, wodurch die Gesamtbiomasseproduktion im Folgejahr um 50 % abnahm. Auf den Freiflächen konnten sich Arten wie *Bistorta officinalis* u. a. etablieren. Die Ackerunkräuter *Cirsium arvense*, *Thlaspi arvense* und *Capsella bursa-pastoris*, die schnell auf die neu geschaffene Konkurrenzsituation reagieren konnten, nahmen beträchtliche Flächenanteile ein. Auf Teilbereichen wurde durch das Schlegeln ein „Keimbett“ geschaffen, wodurch die Diasporenbank von *Lupinus polyphyllus* aktiviert wurde und dort flächig auskeimen konnte. In den Folgejahren bewirkte das Schlegeln auf allen Pflege-Varianten einen weiteren Rückgang von *Lupinus polyphyllus*.



**Abb. 43:** Biomasseproduktion (TM) von *Lupinus polyphyllus* im Vergleich zu Versuchsbeginn (1998 = 100 %) auf den Teilflächen der Schlegel-Variante (Box-Whisker Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4)

#### 5.5.4 Fazit der Pflegeversuche

*Lupinus*-Bestände entwickeln sich unter Brache oder bei zu später Mahd (nach Ausreifung ihrer Samen). Diese beiden Faktoren müssen in Zukunft im Vertragsnaturschutzprogramm berücksichtigt werden. Entscheidend für die Regulierung von *Lupinus polyphyllus* sind der Schnittzeitpunkt und die Schnitthäufigkeit. Begrenzt wird der Schnittzeitpunkt durch die phänologische Entwicklung von *Lupinus polyphyllus*, vor der Ausreifung ihrer Samen. *Lupinus*-Flächen müssen deshalb in den Hochlagen der Rhön vor Ende Juli gepflegt werden.

Schnittempfindliche Arten, die kurz- bis mittelfristig von der Verbrachung der Bergwiesen profitieren, werden bei der Pflege von *Lupinus*-Beständen ebenfalls zurückgedrängt, soweit sie nicht bereits von *Lupinus polyphyllus* überwachsen und damit auskonkurriert wurden. Die Kräuter *Trollius europaeus*, *Lilium martagon* und die Gräser *Helictotrichon pratensis*, *Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa* sind besonders davon betroffen. Der Deckungsgrad von Magerkeit anzeigenden Arten wie *Galium verum*, *Hypericum maculatum* und *Thymus pulegioides* sinkt bei intensiver Pflege ebenfalls.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Schnittzeitpunkte kurz zusammengefasst. Der Schnittzeitpunkt bzw. die Schnitthäufigkeit ist für die Regulierung von *Lupinus polyphyllus* entscheidend. Die darauf folgende Artenzusammensetzung hängt allerdings im Wesentlichen von der Bearbeitungs-Variante ab (siehe Kap. 5.5.3).

Auf allen zur Hauptblüte von *Lupinus polyphyllus* gepflegten Flächen (1-Schnitt-Juni-Varianten) ließ sich die Biomasse im Folgejahr um 50 % (Mulch), 65 % (Mahd) und 75 % (Schlegel) reduzieren. Bis 2001 konnte *Lupinus polyphyllus* auf den Mulch und Schlegel-Flächen kontinuierlich reduziert werden, während auf der Mahd-Fläche im Jahr 2000 eine Zunahme der TM zu verzeichnen war. Nach drei Jahren Pflege lag die TM von *Lupinus polyphyllus* noch bei 30 % (Mulch, Mahd), bzw. 10 % (Schlegel) der ursprünglichen TM. Das Arteninventar hat auf allen Varianten zugenommen. In Pflegeversuchen von NEFF (2002) konnte der Biomasseanteil von *Lupinus polyphyllus* durch einmaligen Schnitt im Juni (Mahd, Schlegel) ebenfalls stark reduziert werden und die Artenzahl stieg.

Die 1-Schnitt-Juli-Varianten wurden jährlich einmal vor Ausreifung der *Lupinus*-Samen gepflegt. Die Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* ging nach dem ersten Pflegetermin im Folgejahr in ähnlicher Größenordnung wie bei der 1-Schnitt-Juni-Varianten zurück. Ersetzt wurde diese durch die Zunahme der Deckung bereits vorhandener Arten wie *Bistorta officinalis*, *Poa*

*trivialis*, *Rumex acetosa* und z. T. durch *Holcus lanatus* und *Helictotrichon pubescens*. Neue Arten konnten sich nach der Erstpflge in den Vegetationslücken einnischen. In den Folgejahren war auf den Mulch-Flächen nur eine geringe Abnahme zu verzeichnen, während auf den Mahd-Flächen *Lupinus polyphyllus* bis auf 18 % der ursprünglichen TM reduziert werden konnte. Auf den Schlegel-Flächen konnte bei der Zurückdrängung von *Lupinus polyphyllus* in den Untersuchungsjahren 2000 und 2001 kein signifikanter Unterschied zwischen den 1-Schnitt-Varianten festgestellt werden.

Auf den 2-Schnitt-Juni + August-Varianten ging die Biomasseproduktion im Folgejahr um 80 % (Mulch) bzw. um 90 % (Mahd, Schlegel) zurück. Die Varianzen der Biomasseproduktion waren wesentlich geringer als bei den 1-Schnitt-Varianten, was den Erfolg der 2-Schnitt-Varianten gegenüber 1-Schnitt verdeutlicht. Über die Jahre hinweg konnte *Lupinus polyphyllus* kontinuierlich weiter reduziert werden, was Pflegeversuche von NEFF (2002) bestätigen. Die Wirksamkeit der *Lupinus*-Reduktion auf den Mulch-Flächen war mit den 1-Schnitt-Varianten der Schlegel-Flächen vergleichbar. Die Mahd- und Schlegel-Flächen unterschieden sich hinsichtlich der Wirksamkeit der *Lupinus*-Reduktion nicht. Insgesamt erwies sich die zweimalige Pflege innerhalb eines Jahres gegenüber der einmaligen Pflege als erfolgreicher. Kompensiert wurde *Lupinus polyphyllus* vorwiegend durch *Bistorta officinalis* und Ruderalarten. Auf allen Bearbeitungs-Varianten stieg die Artenzahl stark an, was jedoch je nach Bearbeitungsgerät unterschiedlich bewertet werden muss.

## 6 Abschließende Betrachtung

In der abschließenden Betrachtung werden die Ursachen und Auswirkungen für die erfolgreiche Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* im Bergwiesenökosystem der Rhön dargestellt und die Möglichkeiten ihrer Regulierung erörtert. Dabei handelt es sich um komplexe Zusammenhänge, wie in ökosystemaren Prozessen üblich. Im Nachfolgenden wird die Bedeutung der antropogenen Fernausbreitung von *Lupinus polyphyllus* in das Bergwiesenökosystem der Rhön kurz erläutert, um anschließend in Kap. 6.2 die Funktionsweise von *Lupinus polyphyllus* als Schlüsselart in den Bergwiesen der Rhön zu beschreiben. Der Einfluss von Nutzungsänderungen auf den Hochflächen der Rhön für die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* wird in Kap. 6.3 berücksichtigt und deren Regulierungsmöglichkeiten bzw. die bereits erzielten Erfolge in Kap. 6.4 diskutiert.

### 6.1 Die Bedeutung der antropogenen Fernausbreitung des Neophyten *Lupinus polyphyllus* in das Bergwiesenökosystem der Rhön

Die zunehmende Globalisierung führt zum weltweiten Artenaustausch, natürliche Arealgrenzen werden für Pflanzen und Tiere überwunden. In urbanen Bereichen ist dieses Phänomen am stärksten ausgeprägt. Gleichzeitig sind dort auch die unterschiedlichsten Biotope vorhanden. In langsam gewachsenen naturnahen Ökosystemen ist das Eindringen von Neophyten relativ selten, da dort ein geringerer Artenaustausch stattfindet und gleichzeitig weniger offene, konkurrenzarme Bodenstellen (safe-sites) vorhanden sind.

Waren es im Mittelalter die so genannten Archäophyten (Kulturpflanzen und deren Begleiter), so sind es seit der Neuzeit Neophyten, die teils absichtlich in die Natur- und Kulturlandschaften eingebracht werden. In Botanische Gärten und Hausgärten wurden die neuen Arten aktiv eingebracht. Nicht selten sprangen oder springen diese über den Gartenzaun (*Solidago canadensis* et *gigantea*, *Impatiens glandulifera*, *Heracleum mantegazzianum* usw.) oder wurden später als „Nützlinge“ entdeckt (*Heracleum mantegazzianum* als Trachtpflanze in der Imkerei). Weitaus intensiver wurden neophytische Kulturpflanzen oder Nützlinge in die heimischen Biotope verbracht (*Picea abies* usw.). In diesem Zusammenhang ist auch die antropogene Fernausbreitung von *Lupinus polyphyllus* zu betrachten. *Lupinus polyphyllus* wurde insbesondere durch seine Nutzung in der Waldwirtschaft im gesamten mitteleuropäischen Raum verbreitet (Kap. 2.2.3).

Durch die jahrhundertlange Waldweide- und Mittelwaldnutzung war ein Großteil der mitteleuropäischen Waldböden degradiert. Stickstoff war deshalb auf den meisten Standorten ein Mangelfaktor für das Waldwachstum (TAMM 1991). Eine schnellwüchsige, Stickstoff sammelnde, tief wurzelnde und Nährstoffe mobilisierende Pflanze wie *Lupinus polyphyllus* (siehe Kap. 2.2.4), die

auch noch im Halbschatten (ELLENBERG et al. 1992) zur Standortverbesserung beitragen konnte, erfuhr daher großen Zuspruch in der Forstwirtschaft (FRUWIRTH 1921, GEHRHARDT 1927, LENT 1934, ZIMMERLE & REIHLING 1937, BECKER-DILLINGEN 1939). Die durch *Lupinus polyphyllus* mobilisierten Nährstoffe schlugen sich in einer gewünschten steigenden Produktivität des Forstes nieder (PECHMANN & WUTZ 1960, BREDOW-STECHOW 1961, BREDOW-STECHOW 1963, REHFUESS 1965, MELZER & HERTEL 1981). *Lupinus polyphyllus* wurde deshalb ab Ende des 19. Jahrhunderts flächig in Aufforstungen eingebracht. In den Hochlagen der Rhön sollte durch die Ansaat von *Lupinus polyphyllus* zur Standortverbesserung die Wirtschaftlichkeit der Fichtenforste verbessert werden (Kap. 3.3.1). Nach dem Aufwachsen der Gehölze wurde *Lupinus polyphyllus* aufgrund der Lichtkonkurrenz auskonkurriert, konnte sich aber im Randbereich der Forste auf ungenutzten Wegrändern und Basaltriegeln etablieren.

Diese mit Absicht erfolgte anthropogene Fernausbreitung von *Lupinus polyphyllus* ist Voraussetzung für seine weitere Ausbreitung. Ohne die flächige Ansaat käme *Lupinus polyphyllus* nicht oder höchstens rudimentär in den Hochlagen der Rhön vor. Eine unabsichtliche Verschleppung der relativ großen, glatten Samen durch Kraftfahrzeuge, Touristen, Tiere usw. ist unwahrscheinlich.

## 6.2 Funktion von *Lupinus polyphyllus* als Schlüsselart im Bergwiesenökosystem der Rhön

*Lupinus polyphyllus* kommt vorwiegend in den typischen Goldhaferwiesen - *Geranio sylvatici-Trisetetum flavescens* (Knapp ex Oberdorfer 1957) - der Rhön und den Übergängen zu Borstgrasrasen, Nasswiesen und Kleinseggenriedern vor. ELLENBERG et al. (1992) bezeichnen *Lupinus polyphyllus* als Frischezeiger, der mittelfeuchte Böden bevorzugt und auf nassen sowie öfter austrocknenden Böden fehlt. An die Feuchtigkeit stellt *Lupinus polyphyllus* relativ hohe Ansprüche (FRUWIRTH 1921), allerdings reagiert er sehr empfindlich gegenüber Staunässe (JOHN 1931), weshalb er in Kleinseggenriedern nur auf etwas trockeneren Bulten vorkommt. Ein *Lupinus*-Dominanzbestand ist 120- 140 cm hoch und setzt sich vorwiegend aus folgenden Arten zusammen: *Lupinus polyphyllus*, *Bistorta officinalis*, *Poa chaixii*, *Deschampsia cespitosa*, *Galeopsis tetrahit*, *Galium aparine* und *Urtica dioica*. Dort fungiert *Lupinus polyphyllus* als „Schlüsselart“ (keystone species, HOLLING 1992); d. h. er steuert den quantitativen Stoffhaushalt maßgeblich. *Lupinus polyphyllus* bestimmt damit den Lebensraum für andere Glieder der Biozönose, denn er übernimmt „Schlüsselfunktionen“ (keystone functions) in den betreffenden Biotopen, indem er direkt oder indirekt auf den Licht-, Temperatur-, Wasser- und/oder Nährstoffhaushalt einwirkt. Damit vernichtet *Lupinus polyphyllus* die Regenerationsnischen für konkurrenzschwächere Arten.

### 6.2.1 Schichtenumbau in der Vegetation

In Borstgrasrasen (Höhe ca. 30 cm) und Goldhaferwiesen (Höhe ca. 50-70 cm) fehlen die Obergräser (ELLENBERG 1996). Sobald *Lupinus polyphyllus* in diese Bergwiesenökosysteme der Rhön eindringt, überwächst er sie zumindest ab dem zweiten Lebensjahr (Kap. 5.2.1: Vegetationsveränderungen zwischen 1997 und 2001). Im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2001 betrug der Deckungsgrad an *Lupinus polyphyllus* am Standort Heidelberg konstant 95 %, was die These von FRUWIRTH (1921) bestätigt, *Lupinus polyphyllus* würde 8-10 Jahre lang einen guten, geschlossenen Bestand ausbilden. Hierdurch wird die ursprüngliche Vegetation beschattet, viele Licht liebende Arten wachsen langstielig, um an ausreichend Licht zu gelangen. So kann *Helianthemum nummularium* in Borstgrasrasen 5 cm hoch, unter *Lupinus polyphyllus* bis zu 50 cm hoch werden. Innerhalb weniger Jahre fallen kleinwüchsige Arten wie z. B. *Euphrasia rostkoviana* und *Thesium pyrenaicum* aus und die dichte Gras- und Krautschicht (sogenannte Matten bei Borstgrasrasen) löst sich auf. Der Oberboden ist z. T. vegetationsfrei und bietet für Diasporen ideale Keimungsbedingungen. Aufgrund der Beschattung können sich dort vor allem große Samen mit einem relativ großen Nährstoffdepot, wie *Lupinus*-Samen, durchsetzen.

In Wiesen der Tieflagen hingegen konkurriert *Lupinus polyphyllus* in der Höhengschicht 100-120 cm mit Obergräsern wie *Arrhenatherum elatius* und *Alopecurus pratensis*, weshalb dort ein Massenwuchs weniger häufig auftritt.

### 6.2.2 Populationsbiologische Eigenschaften

Die populationsbiologischen Untersuchungen von *Lupinus polyphyllus* geben Aufschluss über das intra- und interspezifische Konkurrenzverhalten, um darauf aufbauend Schwachstellen in der Konkurrenzfähigkeit zu ermitteln.

Die generative Ausbreitungsstrategie ist durch die Produktion von 150-2100 Samen pro Pflanze und Jahr gekennzeichnet (Leitgraben=346, Stirnberg=870, Bauersberg=707; Median aus zehn Wiederholungen). In Dominanzbeständen von *Lupinus polyphyllus* beträgt der jährliche Diasporenregen 180-1800 Samen je m<sup>2</sup> (Leitgraben=360, Stirnberg=581, Bauersberg=1109; Median aus acht Wiederholungen), was durch Untersuchungen an Pflanzen in Dominanzbeständen von *Lupinus polyphyllus* bestätigt werden konnte. Die relativ hohe spezifische Masse der Samen (TKM=20-23 g), die bis zu 6 m im Radius um die Mutterpflanze ausgestreut werden, ermöglicht ein großes Stickstoff-Depot (WINK 1985) für den Keimling und einen hohen Alkaloidgehalt

(MAJEWSKI 1960), wodurch ihr Schutz vor Fressfeinden gewährleistet ist (WINK 1984a, b). Mit einer potenziellen Keimfähigkeit von 98,3 % sind die Diasporen unabhängig von Licht bei allen Temperaturstufen mit einem Optimum zwischen 15 und 25 °C (Kap. 5.3.1.4) reproduktionsstark. Nach zwei Jahren sind noch etwa 10 % der Samen potenziell keimfähig; die Diasporenbank von *Lupinus polyphyllus* ist damit z. T. dauerhaft.

Voraussetzungen für die Etablierung des Keimlings sind offene Bodenstellen, die entweder durch bereits etablierte Stauden (einschließlich *Lupinus polyphyllus*) vorhanden sind oder durch Wildtiere (Wildschweine, Maulwürfe) und den Einsatz von Maschinen geschaffen werden. Die Keimung kann im Herbst erfolgen. Hauptkeimzeit ist jedoch das zeitige Frühjahr, wodurch der Keimling die Zeit für Photosynthese nutzen kann, bevor sich der Bestand schließt. Unter Lichtkonkurrenz ziehen sich die Jungpflanzen bereits im Juni oberirdisch zurück und können durch eingelagerte Reservestoffe in der Wurzel im nächsten Jahr austreiben. Insgesamt treten 30- 50 % der im Spätsommer ausfallenden Samen in Dominanzbeständen als Keimlinge im Folgejahr auf, wovon 10- 20 % zu adulten Pflanzen auswachsen. Im Durchschnitt können sich pro adulter Pflanze jährlich 5- 10 Jungpflanzen neu etablieren. Unterstützt wird der Etablierungserfolg noch dadurch, dass *Lupinus polyphyllus* über die Wurzel Alkaloide ausscheidet, die andere Diasporen an der Keimung hemmen (WINK 1985) und konkurrierende Arten in ihrer Entwicklung behindern (TEI & WINK 1998). MORRIS & WOOD konnten 1989 nachweisen, dass *Lupinus lepidus* hemmend auf die Entwicklung anderer Keimlinge wirkt und gleichzeitig offene, konkurrenzarme Bodenstellen (safe-sites) für die eigenen Keimlinge bietet.

Der Neophyt *Lupinus polyphyllus* hat in der „neuen Heimat“ keine natürlichen Feinde (demökologischer Vorteil, STURM 1995); zwar sind die Lupinenblattlaus\* (PIRON 1987) und der Pilz *Colletotrichum acutatum* (ANONYMUS 1997a) an *Lupinus polyphyllus* nachgewiesen, führen aber aufgrund des hohen Alkaloidgehaltes\*\* von *Lupinus polyphyllus* (WINK 1988) zu keiner nachhaltigen Beeinträchtigung der Pflanze. Nach Untersuchungen von BORNHOLD (in POKORNY 1999)

---

\* Die aus Nordamerika stammende Lupinenblattlaus (*Macrosiphum albifrons* Essig) wurde zu Beginn der 80er Jahre nach Europa verschleppt und hat sich von England aus über mehrere europäische Länder ausgebreitet (KARL & SCHMIDT 1992). 1986 wurde die Lupinenblattlaus bei Bayreuth in Oberfranken an *Lupinus polyphyllus* nachgewiesen (PIRON 1987). *Macrosiphum albifrons* Essig kann verschiedene Pflanzenviren übertragen. Als bevorzugte Überwinterungspflanze fungiert *Lupinus polyphyllus*. Obwohl die Lupinenblattlaus die Chinolizidinalkaloide von *Lupinus polyphyllus* erfolgreich gegen eigene Prädatoren einsetzt (WINK 1992), werden von ihr alkaloidreiche *Lupinus*- Arten gemieden (WINK 1988). Schwere Kalamitäten wurden bis jetzt nur auf landwirtschaftlichen Anbauflächen annueller *Lupinus*- Arten festgestellt.

\*\* Eine natürliche Selektion auf hohen Alkaloidgehalt findet im Freiland statt. Zufällig auftretende alkaloidärmere Individuen werden abgeäst und kommen somit nicht zur Reproduktion. Blütenstände von *Lupinus polyphyllus* werden von Rehen verbissen, dagegen werden die alkaloidreichen Samenstände gemieden.

sind in *Lupinus*-Dominanzbeständen deutlich weniger assoziierte Insektenarten und andere Tiergruppen vorhanden als in benachbarten Beständen ohne *Lupinus polyphyllus*.

Nach vier bis sechs Jahren sterben die vegetativen Teile von *Lupinus polyphyllus* ab. Durch die Polykormonbildung können im Radius bis zu 20 cm um die Mutterpflanze Tochterpflanzen heranwachsen, die neue Pfahlwurzeln aufbauen. Die vegetative Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* kann durch mechanische Störung der Mutterpflanze (Mahd, Beweidung) beschleunigt werden, wodurch jedoch die Vitalität des *Lupinus*-Bestandes insgesamt sinkt, was sich optisch als „lückigere Bestände“ zeigt.

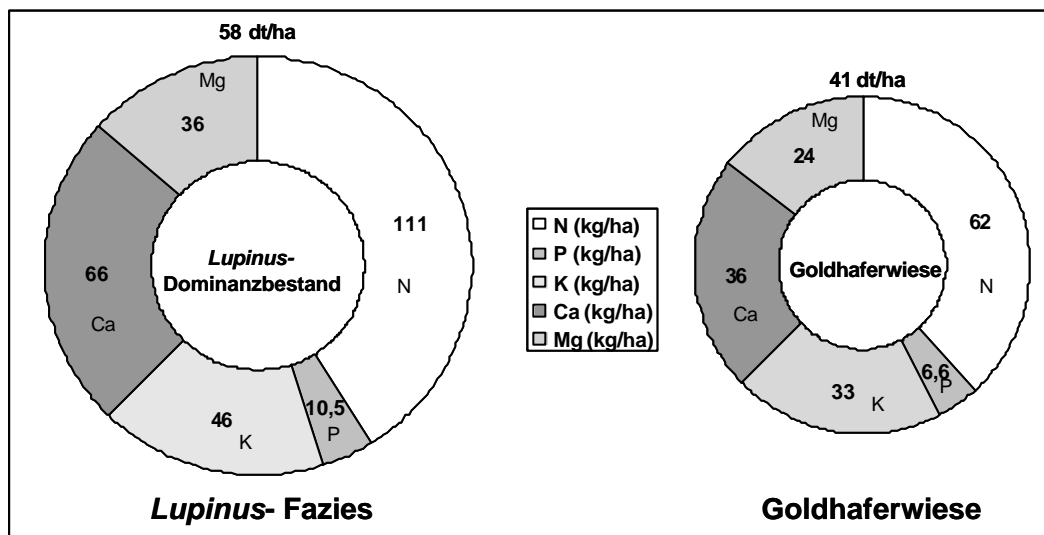
Die Bedeutung neu angepasster Ökotypen für die Area- und Abundanzzunahmen wird bei WEBER & SCHMID (1993) beschrieben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte nicht geklärt werden, ob *Lupinus polyphyllus* aus der Rhön genetisch mit den nordamerikanischen *Lupinus polyphyllus* identisch sind. Die Schwierigkeit der Abgrenzung zu *Lupinus perennis* erwähnten bereits WITTMACK (1927) und PLARRE & PORSCHE (1961). ANISZEWSKI et al. (2000) konnten in Finnland belegen, dass ihr untersuchtes *Lupinus polyphyllus*-Material ein Bastard aus verschiedenen Sippen ist.

### 6.2.3 Biomasseproduktion und Nährstoffhaushalt

Der relativ kurzen Vegetationsperiode in den Hochlagen der Rhön (170- 180 Tage) begegnet *Lupinus polyphyllus* unter anderem dadurch, dass er zu Beginn der Vegetationsperiode die Nährstoffreserven in den Wurzeln für ein schnelles Wachstum nutzt, bevor konkurrierende Gräser (*Deschampsia cespitosa*, *Poa chaixii*) und Kräuter (*Filipendula ulmaria*, *Trollius europaeus* usw.) zur Geltung kommen. Dieser Konkurrenzvorteil wird durch die nachgewiesene Kälteresistenz verstärkt (FRUWIRTH 1921, GROMBTSCHESKAJA 1951, HANELT 1960, PLARRE & PORSCHE 1961).

Bei den Flächen der Versuchsanlage Herrenwasser handelt es sich um Dominanzbestände von *Lupinus polyphyllus*, die einen Deckungsgrad >50 % aufweisen. Auf allen Teilflächen wurden nach langjähriger Brache 40- 70 dt\*ha<sup>-1</sup> Trockenmasse geerntet, was den Biomasseerträgen von NEFF (in POKORNY 1999) in vergleichbaren *Lupinus*-Beständen entspricht. ANISZEWSKI (1993) ermittelte in Pflanzungen mit *Lupinus polyphyllus* zwischen 1983 und 1989 jährliche Erträge von 38- 65 dt\*ha<sup>-1</sup>, während ZIMMERLE & REIHLING (1937) zwischen 1930 und 1935 auf Versuchsfeldern 40- 80 dt\*ha<sup>-1</sup> (200- 400 dt\*ha<sup>-1</sup> Frischmasse) ernteten. Die Biomasseproduktion zum zweiten Schnitttermin acht Wochen nach dem ersten Schnitt lag zwischen 15 und 25 dt\*ha<sup>-1</sup>.

Die Biomasseproduktion in Beständen ohne *Lupinus polyphyllus* in den Hochlagen der Rhön lag Mitte Juli 1999 im Borstgrasrasen bei  $28 \text{ dt*ha}^{-1}$  und ist vergleichbar mit Ergebnissen von ARENS & NEFF (1997) in Borstgrasrasen am Stirnberg (1981- 1983 und 1985; jeweils niederschlagsreiches Frühjahr). Die Goldhaferwiesen im Leitgraben lieferten Erträge von  $41 \text{ dt*ha}^{-1}$ , während die benachbarten *Lupinus*-Bestände bis zu  $60 \text{ dt*ha}^{-1}$  produzierten. In Anbauversuchen mit *Lupinus polyphyllus* wurden von JOHN (1931)  $74\text{-}100 \text{ dt*ha}^{-1}$ , von ANISZEWSKI (1993) in Finnland  $38\text{-}65 \text{ dt*ha}^{-1}$  ermittelt, während die Biomasseerträge bei Pflegeuntersuchungen von NEFF (in POKORNY 1999) in vergleichbaren *Lupinus*-Beständen zwischen  $45$  und  $60 \text{ dt*ha}^{-1}$  lagen. In Abb. 44 sind die potenziellen Nährstoffentzüge von *Lupinus*-Dominanzbeständen und Goldhaferwiesen am Standort Leitgraben zum Erntetermin 14.07.99 dargestellt.



**Abb. 44:** Vergleich potenzieller Nährstoffentzüge von *Lupinus*-Dominanzbeständen und Goldhaferwiesen am Standort Leitgraben zum Erntetermin 14.07.1999

In den Goldhaferwiesen am Leitgraben waren Mitte Juli  $62 \text{ kg Stickstoff*ha}^{-1}$  in der oberirdischen Biomasse gebunden, in *Lupinus*-Dominanzbeständen  $111 \text{ kg Stickstoff*ha}^{-1}$ . Einerseits war die Trockenbiomasse der Goldhaferwiesen um fast ein Drittel ( $41 \text{ dt*ha}^{-1}$ ) geringer als im *Lupinus*-Bestand ( $58 \text{ dt*ha}^{-1}$ ), andererseits war der Stickstoffgehalt von Goldhaferwiesen mit 1,5 % niedriger als der von *Lupinus polyphyllus* (2,1 %).

Nach Untersuchungen von HILL (1993) konnte in *Lupinus polyphyllus*  $160\text{-}180 \text{ kg Stickstoff}$  pro Jahr nachgewiesen werden. Davon baut *Lupinus polyphyllus* ein Drittel in die eigene Phytomasse ein. Damit wird dem Boden eine nicht unerhebliche Menge Stickstoff über Samen, Blatt- und Blütenstandstreu und durch die absterbende Wurzel zugeführt. Nach dem Absterben der Pflanzen und dem Zerfall der Knöllchen bleiben genügend Bakterien zurück, um später erneut aktiv werden zu können.

Der Phosphorbedarf ist wie bei allen Fabaceae auch bei *Lupinus polyphyllus* relativ hoch, wobei die Gattung *Lupinus* v. a. Rohphosphate sehr gut mobilisieren kann (PRJANISHNIKOW 1934). JOHN (1931) und LENT (1934) betonen, dass sich eine Kalium-Düngung sehr positiv auf das Wachstum auswirkt.

Das Arteninventar verschiebt sich in *Lupinus*-Beständen zugunsten Nährstoffe liebender Gräser wie Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis*) und Wolliges Honiggras (*Holcus lanatus*). Erst allmählich setzen sich Ruderalarten wie Brennessel (*Urtica dioica*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) und Stechender Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) durch (siehe Kap. 5.2.1). Bereits eine geringe Intensivierung durch Düngung, wie z. B. durch *Lupinus polyphyllus* verursacht, führt zur Artenverschiebung (SCHWABE 1990). In jungen, wenig produktiven Brachen wird z. B. *Arnica montana* gefördert. Kleine Düngergaben, wie durch *Lupinus polyphyllus* verursacht, reichen aus, um konkurrenzkräftigere Gräser und Kräuter zu fördern, die wiederum *Arnica montana* überwachsen (MANZ 1990). Auch *Thesium pyrenaicum* reagiert sehr empfindlich auf Düngung.

### **6.3 Einfluss von Nutzungsveränderungen auf den Hochflächen der Rhön für die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus***

*Lupinus polyphyllus* gehört zu den 0,2 % der eingeführten Arten, die in naturnaher Vegetation unerwünschte Auswirkungen verursachen („Exotic Species Model“, WILLIAMSON & BROWN 1986), da er aus einem ähnlichen Klimagebiet kommt (Kap. 2.2.1) und sich in der „Neuen Heimat“ sowohl generativ als auch vegetativ reproduzieren kann (autökologische Merkmale). Entscheidend für die Etablierung von *Lupinus polyphyllus* ist das Vorhandensein von Keimungs- und Schutzstellen (safe-sites). Die Bedeutung bodenverwundender Eingriffe für biologische Invasionen erwähnen FOX & FOX (1986).

Eine großflächige Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* über Diasporen war unter der traditionellen, im Vergleich zu heute relativ intensiven Bewirtschaftungsweise, nicht möglich. Die Wiesen der Hochflächen wurden innerhalb von vier Wochen gemäht, danach wurden von Gemeindegewirtschaftern und Wanderschäfern die Schaf- und Ziegenherden aufgetrieben, während die sehr feuchten Bereiche zur Streugewinnung genutzt wurden (GEIER & GREBE 1987). Die Samen von *Lupinus polyphyllus* fanden keine Keimungs- und Schutzstellen und kamen deshalb zum größten Teil nicht zur Ausreife. ARENS beschrieb 1989, dass sich die uneingeschränkte Erhaltung des Zustandes der Bergwiesen nur durch jährlichen Schnitt Anfang bis Mitte Juli und Abfahren des Schnittgutes

erreichen lasse. Gleichzeitig sei dieses Verfahren aber mit sehr hohem Arbeits- und Kostenaufwand verbunden und besonders wegen der schwierigen Beseitigung des nicht verwertbaren Schnittgutes problematisch.

Erst durch die Veränderungen der Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft innerhalb der letzten 30 Jahre hat sich das Nutzungsinteresse an den Wiesen der Hochlagen grundsätzlich geändert. Nach dem Vertragsnaturschutzprogramm werden viele Flächen im NSG „Lange Rhön“ ab dem 10. Juli gemäht, was aus historischer Sicht auf den Feiertag „Kiliani“ zurückzuführen ist<sup>\*</sup>.

Durch die zunehmende Verbrachung werden hochwüchsige Arten wie *Lupinus polyphyllus* gefördert, es kommt zum Schichtenaufbau in der Vegetation (siehe Kap. 6.2.1). Gleichzeitig kommt *Lupinus polyphyllus* bei Brache oder zu später Nutzung zur generativen Reproduktion und die Diasporen von *Lupinus polyphyllus* werden bei der Pflege fernausgebreitet.

Ohne die Nutzungsveränderungen in den Hochlagen der Rhön hätte sich *Lupinus polyphyllus* nicht flächig in Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen etablieren können.

#### **6.4 Regulierungsmöglichkeiten von *Lupinus polyphyllus* im Bergwiesenökosystem der Rhön**

Grundsätzlich muss jede Maßnahme zur Regulierung von *Lupinus polyphyllus* vor Ausreifung ihrer Samen (ca. Ende Juli) erfolgen. Danach führt jede Pflege von *Lupinus*-Flächen zu deren Verschleppung (z. B. Schlepperreifen, endozoochore Ausbreitung) und zur Saatbettbereitung (Eindrücken der Samen in den Boden, Schaffung offener Bodenstellen). Das Nutzungskonzept muss dahingehend angepasst werden, dass der jährliche Beginn der Mahd auf den Hochflächen nach phänologischen Gesichtspunkten durchgeführt wird. Generell sollte in den Pflegeverträgen die Räumung der Flächen vor Ausreifung der *Lupinus*-Samen verankert werden. Derzeit müssen die Flächen erst bis zum 31. Oktober gepflegt sein, wie im Bayerischen Vertragsnaturschutzprogramm verankert (ANONYMUS 1997b).

---

<sup>\*</sup> Ob der Beginn der jährlichen Mahd im NSG „Lange Rhön“ immer erst ab „Kiliani“ (8. Juli) stattgefunden hat, ist anzuzweifeln. Nach mündlicher Mitteilung von Landwirten war je nach Wetterlage das Heu bereits zu „Kiliani“ eingebracht, was aus landwirtschaftlicher Sicht sehr wahrscheinlich ist, um qualitativ hochwertiges Winterfutter zu erhalten. Die phänologische Entwicklung der Vegetation auf den Hochflächen und die Großwetterlage werden die ausschlaggebenden Parameter für den Beginn der jährlichen Mahd gewesen sein, was in „Durchschnittsjahren“ sicherlich Anfang Juli war. „Kiliani“ ist damit eher als zeitlicher Anhaltspunkt für die Heuernte in den Hochlagen zu werten und symbolisiert v. a. den für alle Landwirte geltenden gemeinsamen Mahdtermin, der für eine konfliktfreie Heugewinnung nötig war (Zufahrten, Grenzabstimmung).

Für die maschinelle Regulierung von *Lupinus*-Dominanzbeständen sind sowohl Kreiselmäher und Balkenmäher als auch das Mulchgerät geeignet. Pflegeversuche mit Rhönschafen (OBERT 1999, OTTE et al. 2002) sind ebenfalls erfolgreich.

Folgende Grundsätze sollten bei der Pflege von *Lupinus*-Beständen berücksichtigt werden:

- ◆ Vor der Umsetzung von Maßnahmen sollte jede betroffene Fläche dahingehend bewertet werden, inwieweit naturschutzfachliche Ziele (Arteninventar, Priorität für Wiesenbrüter, Bewirtschaftbarkeit) dort noch umgesetzt werden können, um eine kostenintensive und langfristige Pflege zu rechtfertigen.
- ◆ Die Pflege muss drei bis fünf Jahre mit mindestens zwei Pfliegerterminen je Vegetationsperiode umfassen, um anschließend in das traditionelle Mahdregime (einmal jährlich) übergehen zu können.
- ◆ Die Erstpflege von *Lupinus*-Dominanzbeständen sollte aus technischen Gründen (Steinriegel, Bulten ausbildende Horstgräser) vorzugsweise mit dem Schlegel erfolgen. Die anschließende Pflege wird je nach Priorität und Zielsetzung in Bezug auf das Arteninventar mit dem Mähwerk, Schlegel oder den Schafen durchgeführt.
- ◆ Die Schafbeweidung ermöglicht die Pflege von maschinell unzugänglichen steinigen Flächen. Eine Beweidung sollte mehrmals im Jahr durchgeführt werden, dabei ist die Ausreifung der *Lupinus*-Samen wegen der endozoochoren Ausbreitungsgefahr zu vermeiden. (Zusätzlich ist eine Gewöhnungszeit an den eiweiß- und alkaloidreichen *Lupinus polyphyllus* erforderlich).
- ◆ *Lupinus*-Dominanzbestände an Waldrändern und Ruderalstandorten, deren Diasporen absehbar nicht verschleppt werden, können der natürlichen Sukzession überlassen werden.
- ◆ Der Einsatz von Phytophagen wie die Lupinenblattlaus (PIRON 1987) oder Regulierungsversuche mit Pilzen, wie *Colletotrichum acutatum*\* (ANONYMUS 1997a), sollten unterbleiben.

---

\* Pilzkrankungen beeinträchtigen den Anbau und Ertrag von *Lupinus*-Arten erheblich. Dabei handelt es sich vorwiegend um bodenbürtige Pilze (OPITZ 1949, HACKBARTH & TROLL 1960), wobei die Gruppe der Fusarium-Arten die wichtigste Erregergruppe für Fuß- und Welkekrankheiten ist. FEILER (1991) konnte auf *Lupinus*-Arten insgesamt 28 Pilze nachweisen. Weltweit hat die sprunghafte Ausbreitung der Lupinenanthraknose (Brennfleckenkrankheit) innerhalb der letzten Jahre zu enormen Einbußen im Ertrag von *Lupinus*-Arten geführt (FEILER & NIRENBERG 1998) und stellt den weiteren Anbau annualer *Lupinus*-Arten in Frage. Verursacht wird diese Pilzkrankung durch eine *Colletotrichum*-Art, die bereits 1989 auf *Lupinus polyphyllus* vorkam und durch DNA-Analyse als *Colletotrichum acutatum* identifiziert wurde (REED et al. 1996). In Deutschland wurde Anthraknose erstmals 1993 entdeckt und neben anderen *Lupinus*-Arten auch an *Lupinus polyphyllus* nachgewiesen (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT 1997). 1999 konnte die Biologische Bundesanstalt in Berlin (Dr. Uta Feiler) auf *Lupinus*-Pflanzenmaterial des Standortes Bauersberg Sporen von *Colletotrichum ssp.* nachweisen.

Anthraknose befällt neben Stängeln vorzugsweise die Hülsen von *Lupinus*-Arten, die dann rosa-orange Flecken aufweisen. Befallene Pflanzen zeigen häufig eine Krümmung des Stängels, Blätter und Blütenrispe welken. Der Pilz ist samenbürtig und kann folglich auf dem generativen Weg zur Ausbreitung gelangen. Im Bestand erfolgt die Übertragung vor allem durch Regentropfen und Insekten (AMELUNG 1996 und 1997, BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT 1997, KURTZ & KÖPPL 1997, DITTMANN 1998).

Der Erfolg von Pilzen zur Regulierung von *Lupinus polyphyllus* (insbesondere *Colletotrichum acutatum*) ist bei alkaloidreichen „verwilderten“ *Lupinus polyphyllus* als gering einzustufen. Ein kostenintensives Züchten des Pilzes im Labor und mehrjähriges Ausbringen könnten zwar Erfolge bringen, doch ist die selbständige Ausbreitung von *Colletotrichum acutatum* in den Hochlagen der Rhön aufgrund des rauen Klimas unwahrscheinlich. Das Risiko einer unkontrollierten Ausbreitung über Zwischenwirte (insb. Fabaceae) ist als relativ hoch einzustufen. Die Biologische Bundesanstalt in Berlin und der Verband der Lupinenzüchter (annualer *Lupinus*-Arten) stehen dem Einsatz von *Colletotrichum acutatum* zur Regulierung von *Lupinus polyphyllus* sehr kritisch gegenüber.

Auf den Pflegeflächen am Herrenwasser sind neben *Lupinus polyphyllus*, *Bistorta officinalis* und *Poa chaixii* Hauptbestandsbildner. In Tab. 13 erfolgt eine Bewertung der Pflege-Varianten in Bezug auf die Regulierung von *Lupinus polyphyllus* und die floristische Bestandesentwicklung. Der Schnitzeitpunkt bzw. die Häufigkeit ist für die Regulierung von *Lupinus polyphyllus* entscheidend. Die darauf folgende Artenzusammensetzung hängt allerdings im Wesentlichen von der Bearbeitungs-Variante ab. Die zweimalige Mahd mit Abtransport der Biomasse erweist sich bei der Regulierung von *Lupinus polyphyllus* und bezüglich der Förderung von Zielarten (*Thesium pyrenaicum*, *Helianthemum nummularium* usw.) als sehr erfolgreich. Durch die Mulch-Variante werden generell konkurrenzstarke Gräser und Ruderalarten gefördert. Die Schlegel-Variante zeigt zwar sehr gute Ergebnisse bei der Regulierung von *Lupinus polyphyllus*, fördert aber je nach Arteninventar eine Ruderalisierung (*Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit*, *Urtica dioica* usw.).

**Tab. 13:** Bewertung der Pflege-Varianten in Bezug auf die Regulierung von *Lupinus polyphyllus* und die floristische Entwicklung des Bestandes (+ = positiv, - = negativ, ... = indifferent)

	Mahd			Mulch			Schlegel		
	Juni	Juli	Juni + Aug	Juni	Juli	Juni + Aug	Juni	Juli	Juni + Aug
<b>Regulierung von <i>L. polyphyllus</i></b>	+	+	+++	+	++	+++	++	+++	+++
<b>Bestandes- entwicklung</b>	...	++	++	...	+	+	+	-	---

Das in Pflegeversuchen von NEFF (in POKORNY 1999) und SPITZL (1999) erwähnte Ergebnis, dass die durch Mahd zurückgehende *Lupinus polyphyllus* vorwiegend durch *Bistorta officinalis* ersetzt wird, konnte bestätigt werden. Das starke Ausbreitungspotenzial von *Bistorta officinalis* ist vorwiegend vegetativen Ursprungs, da OPITZ v. BOBERFELD et al. (2001) bei *Bistorta officinalis* eine niedrige Keimfähigkeit nachweisen konnten.

*Lupinus polyphyllus* ist relativ schnittunverträglich, v. a. zwei- bis dreimaliger Schnitt im Jahr führt zu nicht mehr kompensierbaren Nährstoffverlusten und nach mehrjähriger Wiederholung zum Absterben der Pflanzen. Die Lichtkonkurrenz wird dadurch eingeschränkt und der physiologische Entwicklungsablauf unterbrochen (ARENS 1987). Der Abtransport der Biomasse führt zum Nährstoffentzug, was je nach Nährstoffniveau zur Aushagerung des Bodens führen kann. Die Erkenntnisse der Pflegeversuche von drei Vegetationsperioden verdeutlichen insgesamt, dass ein völliges Zurückdrängen von *Lupinus polyphyllus* nur mittelfristig (3-5 Jahre) mit hohem maschinellen Einsatz (mindestens zwei Pflegetermine im Jahr) zu erreichen ist.

Im Vergleich zu langjährig verbrachten Flächen sind *Lupinus*-Dominanzbestände stark mit Nährstoffen angereichert. Ihre Rückentwicklung zu Goldhaferwiesen oder Borstgrasrasen wird wesentlich langsamer erfolgen als bei verbrachten Flächen. Deshalb sind präventiven Maßnahmen, die eine weitere Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* unterbinden, in der Naturschutzpraxis Vorrang einzuräumen. Das Einbringen von *Lupinus*-Samen ist zu vermeiden. Auf funktionsfähigen Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen kann die Grasnarbe durch kontinuierliche frühzeitige Mahd dicht gehalten werden. Der weiteren Verbrachung wertvoller Flächen, in denen sich *Lupinus*-Bestände entwickeln, ist entgegenzuwirken.

## 7 Zusammenfassung

Das Naturschutzgebiet „Lange Rhön“ (2666 ha) liegt im Grenzraum der Bundesländer Bayern, Hessen und Thüringen. Seit einigen Jahrzehnten überwächst dort die Stauden-Lupine (*Lupinus polyphyllus*) artenreiche Storchschnabel-Goldhaferwiesen und Borstgrasrasen und impliziert dadurch Habitatsveränderungen für die zentralen Leitarten der Rhön (Wiesenbrüter: Birkhuhn und Wachtelkönig). Die Erhaltung repräsentativer Ausschnitte dieser Kulturlandschaft wird damit gefährdet (Rahmenkonzept Biosphärenreservat Rhön, Naturschutzgebietsverordnung, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ursachen für den Etablierungserfolg und der damit verbundenen starken Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* in den Hochlagen der Rhön untersucht. Die Folgen für das Artenspektrum geschützter Biotoptypen im Biosphärenreservat Rhön wurden aufgezeigt und die Möglichkeiten eines zukünftigen Managements von *Lupinus*-Beständen anhand von Pflegeversuchen ermittelt und dargestellt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der ursprünglich im Nordwesten Amerikas beheimatete Neophyt *Lupinus polyphyllus* wurde 1942 zur Standortsverbesserung in Fichtenaufforstungen der „Langen Rhön“ eingesät. Diese mit Absicht erfolgte anthropogene Fernausbreitung von *Lupinus polyphyllus* war Voraussetzung für seine weitere Ausbreitung.
2. Die flächige Ausbreitung des Neophyten konnte erst durch Nutzungsveränderung in den letzten Jahrzehnten erfolgen. Durch die Veränderungen der Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft (Verbrachung, späte Mahd, Minimalpflege) wurden die Eigenschaften des Neophyten *Lupinus polyphyllus* zur Einnischung in das Bergwiesenökosystem der Hochrhön gefördert. Der Vertragsnaturschutz hält eine Flächennutzung nur monitär über Prämien aufrecht, wodurch die Ausbreitungsmechanismen und -strategien von *Lupinus polyphyllus* z. T. unterstützt werden.
3. Die Amplitude der Pflanzengesellschaften, in denen sich *Lupinus polyphyllus* einnisch, reicht von artenreichen Borstgrasrasen über Goldhaferwiesen bis hin zu Feuchtwiesen und Kleinseggrasrasen, wobei der Schwerpunkt ihrer Verbreitung in den frischen Standorten der Goldhaferwiesen liegt.
4. Die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* findet vorwiegend über den generativen Weg statt. 120- 2094 Samen je adulter Pflanze werden jährlich im Radius von 6 m ausgeschleudert. Die

Diasporen sind mit hohen Stickstoff- und Alkaloidgehalten ausgestattet und erreichen bei allen Temperaturstufen hohe Keimungsfähigkeitsraten. Allerdings sind die Samen zur Keimung auf offene, konkurrenzarme Bodenstellen (safe-sites) angewiesen, die durch Auflösung der Grasnarbe durch späte Pflege, durch mechanische Beschädigung der Grasnarbe bei Pflegearbeiten oder durch Tiere entstehen (Wildschweinsuhlen, Maulwurfhaufen). Die vegetative Ausbreitung über Polykormonbildung kann bis 0,2 m im Jahr betragen.

5. Sobald *Lupinus polyphyllus* in die Bergwiesenökosysteme Borstgrasrasen und Goldhaferwiesen eindringt, überwächst sie diese ab dem zweiten Lebensjahr (Schichtenumbau in Bergwiesen). Hierdurch wird die ursprüngliche Vegetation beschattet (u. a. Leitarten der Naturschutzpraxis), Licht liebende Arten werden verdrängt und die dichte Gras- und Krautschicht löst sich im Laufe der Zeit auf. Diasporen bekommen ideale Keimbedingungen. Aufgrund der Beschattung können sich dort vor allem große Samen mit einem relativ großen Nährstoffdepot, wie *Lupinus*-Samen, durchsetzen.
6. Zusätzlich reichert *Lupinus polyphyllus* seine Bestände mittels N<sub>2</sub>-fixierender Bradyrhizobien mit Stickstoff an und das tief in den basaltischen Untergrund hineinwachsende Wurzelsystem nimmt Nährstoffe aus dem Untergrund auf, transportiert sie in die oberirdische und oberflächennahe Phytomasse und reichert somit an Pflanzennährstoffen arme Ah-Horizonte an (Nährstoffpumpe). Durch die Nährstoffanreicherung verschiebt sich das Arteninventar zugunsten Nährstoffe liebender Gräser und Kräuter. In *Lupinus*-Beständen sind die Nährstoffkonzentrationen von Stickstoff, Kalzium und Magnesium deutlich höher als in benachbarten Goldhaferwiesen. Ende Juni bis Mitte August sind die höchsten Nährstoffgehalte in der oberirdischen Biomasse gebunden, wobei die Stickstoffkonzentration in der Wurzel von *Lupinus polyphyllus* bereits ab Mitte Juni wieder ansteigt. Die Biomasseproduktion ist in *Lupinus*-Dominanzbeständen um ein Drittel höher als in benachbarten Beständen ohne *Lupinus polyphyllus*.
7. *Lupinus polyphyllus* kann sowohl durch den Einsatz von Maschinen als auch durch Schafe reguliert werden. Entscheidend für den Erfolg sind der Zeitpunkt (vor Ausreifung der Samen) und die Wiederholung der Maßnahmen. Jede Pflege muss über 3-5 Jahre hinweg mindestens zweimal jährlich durchgeführt werden.

*Lupinus polyphyllus* fungiert im Ökosystem der montanen Rhöner-Bergwiesen als Schlüsselart (keystone species); d. h. sie steuert den quantitativen Stoffhaushalt von Ökosystemen maßgeblich. Zum einen baut sie in die Bergwiesen eine neue Vegetationsschicht ein, zum anderen reichert sie den Oberboden mit Nährstoffen an. *Lupinus polyphyllus* bestimmt damit den Lebensraum für andere Glieder der Biozönose und vernichtet die Regenerationsnischen für konkurrenzschwächere

---

Arten. Die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* wird durch die günstigen Voraussetzungen der Diasporen, wie z. B. breite Temperaturansprüche bei der Keimung, hohe Nährstoff- und Alkaloidgehalte in den großen Samen begünstigt. Das empfindliche Stadium im Lebenszyklus von *Lupinus polyphyllus* ist die Phase des Keimlings bis zur Jungpflanze. Die entscheidenden Parameter für die Ausbreitung von *Lupinus polyphyllus* sind die Diasporenproduktion und deren Fernausbreitung. Diese können durch eine Pflege von *Lupinus polyphyllus* vor Ausreifung der Samen verhindert werden. Die Etablierungswahrscheinlichkeit des Keimlings kann durch Erhaltung bzw. Schaffung einer geschlossenen Grasnarbe reduziert werden, was durch ein langfristiges Managementkonzept erreicht werden kann.

## 8 Summary

The nature reserve “Lange Rhoe” (2,666 hectares) is situated in the border area of the German federal states of Bavaria, Hesse and Thuringia. For some decades already the large-leaved lupine (*Lupinus polyphyllus*) has grown over a large number of species of crane’s bill-yellow oat meadows (Geranio (sylvatici)-Trisetetum Knapp ex Oberd. 157) and mat-grass pastures (Polygalo-Nardetum Oberd. 57), and thus implies habitat changes for the leading species of the Rhoe region (meadow breeders: black grouse (*Tetrao tetrix*) and corncrake (*Crex crex*). The preservation of representative sections of this man-made landscape is thus jeopardized (Framework Concept – Rhoe Biosphere Reserve, German Nature Reserve Act, Fauna Flora Habitat Guidelines).

The reasons for the settlement success and thus the extensive spread of *Lupinus polyphyllus* in the uplands of the Rhoe region was examined in this paper. The consequences for the variety of species in protected types of biotope in the Rhoe biosphere reserve have been described, and the possibilities for a future management of the *Lupinus* stock were determined and described by means of cultivation trials.

### The results can be summarised as follows:

8. The neophyte *Lupinus polyphyllus* originally resident in the north-western regions of America was used as sub-seed for location improvement in spruce afforestation in “Lange Rhoe”. This intentionally caused anthropic long-distance dispersal of *Lupinus polyphyllus* was the pre-requisite for its further spread.
9. The areal dispersal of the neophyte could occur only on account of the utilization changes in the last few decades. On account of the changes in the framework conditions in agriculture (fallow land, late hay harvest, minimum cultivation), the nature of the neophyte *Lupinus polyphyllus* to niching was supported in the ecological upland meadow system of the Hochrhoe region. Contractual protection of nature ensures land cultivation by premiums only, which supports the dispersal mechanisms and strategies of *Lupinus polyphyllus* in addition.
10. The amplitude of plant populations, in which *Lupinus polyphyllus* settles, reaches from a large number of species of mat grass and yellow oat grass to wet meadows and marshy wasteland meadows, whereby the priority of their dispersal lays in the fresh locations of the yellow oat grass.

11. The dispersal of *Lupinus polyphyllus* takes place primarily through generative means. One hundred-and-fifty to two thousand seeds of each adult plant are catapulted across a radius of 6 metres every year. The diaspores contain a high amount of nitrogen and alkaloid and reach a high capability of germination at all temperature stages. However, for germination the seeds depend on open locations (safe sites) with little competition which are produced by the thinning of the turf, by mechanical damage of the turf during cultivation or by animals (wild boar wallows, mole hills). The vegetative dispersal by polycormons may amount up to 0.2 metres per year.
12. As soon as *Lupinus polyphyllus* penetrates the ecological upland meadow systems of mat grass and yellow oat grass, it starts growing over them as from the second year (zone change in upland meadows). This causes a shading of the original vegetation (among others leading species of the nature reserve), displacing heliophilic species and dissolving the dense grass and weed layers in the course of the time. Diaspores find ideal germination conditions. On account of the shading, primarily large seeds with a relatively large nutrient depot, such as *Lupinus* seeds, will assert themselves.
13. In addition, *Lupinus polyphyllus* will enrich its stock with nitrogen by means of N<sub>2</sub> bonding bradyrhizobias, and the root system reaching deep down into the basaltic subsoil absorbs nutrients from the subsoil, transports them into the topsoil and near-surface phytomass, and thus enrich A<sub>n</sub>-horizons poor in plant nutrients (nutrient pump). On account of the nutrient enrichment, the stock of species shifts in favour of nutriophilic grasses and weeds. In *Lupinus* populations, the nutrient concentrations of nitrogen, calcium and magnesium are distinctly higher than in neighbouring yellow oat meadows. From the end of June to the middle of August, the highest nutrient concentrations are bound in the topsoil biomass whereby the nitrogen concentration in the root of *Lupinus polyphyllus* starts increasing as from the middle of June. The biomass production in *Lupinus* dominated populations is higher by one third than in neighbouring locations without *Lupinus polyphyllus*.
14. *Lupinus polyphyllus* can be controlled by the use of machines as well as by sheep. The point in time (prior to ripening of the seeds) and the repetition of the measures are decisive for the success. Each control measure has to be carried out at least twice a year over a period of three to five years.

In the ecological system of the upland meadows in the Rhoe region the *Lupinus polyphyllus* acts as a keystone species, which means it controls decisively the quantitative nitrogen concentration of the ecological systems. Firstly, it introduces a new layer of vegetation in the upland meadows,

and secondly, it enriches the topsoil with nutrients. Thus, *Lupinus polyphyllus* determines the habitat for other members of the biocenosis and destroys the regeneration niches for weaker species. The dispersal of *Lupinus polyphyllus* is assisted by the favourable conditions of the diaspores, such as the wide temperature range for germination, the nutrient and alkaloid concentrations in large seeds. The sensitive stages in the life cycle of *Lupinus polyphyllus* are the phases from seedling to young plant. The decisive parameters for the dispersal of *Lupinus polyphyllus* are the diaspore production and their wide-range dispersal, which can be stopped by tending to *Lupinus polyphyllus* prior to ripening of the seeds. The establishment probability of the seedling can be reduced by the conservation and/or production of a closed turf which can be achieved by a management concept.

## 9 Literatur

- AMELUNG, D. 1996: Anthraknose der Lupine - Eine für Deutschland neue Krankheit. - In: Raps - Fachzeitschr. über Öl- und Eiweißpflanzen, 14. Jg. (4), Gelsenkirchen, S. 178- 179.
- AMELUNG, D. 1997: Anthraknose der Lupine - Wie mit der Krankheit „leben“?. - In: Raps - Fachzeitschr. über Öl- und Eiweißpflanzen. - 15. Jg. (4), Gelsenkirchen, S. 164- 166.
- ANISZEWSKI, T. 1993: A potential crop in Finland; studies on the ecology, productivity and quality of *Lupinus* ssp. - University of Joensuu, Dissertation, 50 S.
- ANISZEWSKI, T., KUPARI M. H. & A. J. LEINONEN 2000: Seed number, seed size and seed diversity in Washington Lupin (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). - *Annals of Botany* 84: S. 1- 6.
- ANONYMUS 1990: Samen von Wildpflanzen. - Saatgutkatalog Fa. Appel, 3. Auflage. 86 S.
- ANONYMUS 1995a: Biosphärenreservate in Deutschland. Leitlinien für Schutz, Pflege und Entwicklung. - Ständige Arbeitsgruppe der Biosphärenreservate in Deutschland - Springer, Heidelberg, 377 S.
- ANONYMUS 1995b: Biosphärenreservat Rhön - Rahmenkonzept für Schutz, Pflege und Entwicklung. - Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.); Planungsbüro Grebe (Bearb.), Neumann- Verlag, Radebeul, 400 S.
- ANONYMUS 1996: Amtsblatt der Regierung von Unterfranken. - 41. Jahrgang, Nr. 3, Würzburg, 26. Feb. 1996, S. 45- 48.
- ANONYMUS 1997a: Jahresbericht 1997. - Biologische Bundesanstalt Berlin (BBA) und Braunschweig, Institut für Mikrobiologie, Berlin-Dahlem, 10 S.
- ANONYMUS 1997b: Richtlinien über Bewirtschaftungsverträge des Naturschutzes und der Landespflege auf landwirtschaftlich nutzbaren Flächen (Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm). - Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.): Dienstanweisung über den Verwaltungsvollzug und die Vollzugskontrolle, 136 S.
- ANONYMUS 1997c: Samen und Pflanzen. - ODIN-Wildäsung, Wildgerechte Hege und Biotopverbesserung. - Saatgutkatalog Fa. Appel, 32 S.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 1998a: Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. - BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie. (SSYMANK A., HAUKE U., RÜCKRIEM CH. & E. SCHRÖDER) Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 53, Bonn-Bad Godesberg, 560 S.
- ANONYMUS 1998b: Gartendüfte 1998. - Saatgutkatalog Fa. Samen-Schmitz, 80 S.
- ARENS, R. 1987: Brachflächenpflege - Versuche im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprogramms zum NSG „Rotes Moor“. - Zwischenbericht zur Versuchsdurchführung 1981- 1986, 49 S.

- ARENS, R. 1989: Versuche zur Erhaltung und Wiederherstellung von Extensivwiesen. - TELMA Beiheft 2, Hannover, S. 215- 232.
- ARENS, R. & R. NEFF 1997: Versuche zur Erhaltung von Extensivgrünland. - Angewandte Landschaftsökologie 13, 176 S.
- BARTH, U. 1993: Untersuchungen zum Einfluß der Nutzung auf magere Grünlandgesellschaften der Hochrhön. - Universität Göttingen, Geobotanisches Institut, Diplomarbeit, 130 S.
- BARTH, U. 1995: Beitrag zur Kenntnis des Grünlandes in der Hochrhön. - Beiträge zur Naturkunde in Osthessen Nr. 31, S. 69- 98.
- BAZZAZ, F. A. 1986: Life history of colonizing plants: some demographic, genetic and physiological features. - In: MOONEY H. A. & J. A. DRAKE (Hrsg.): Ecology of biological invasions of North America and Hawaii. Berlin.
- BECKER-DILLINGEN, J. 1929: Handbuch des Hülsenfruchtanbaues und Futterbaues. Berlin, 231 S.
- BECKER-DILLINGEN, J. 1939: Die Ernährung des Waldes. - Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Berlin, 439 S.
- BERGMANN, W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. - 3. Aufl., Fischer- Verl. Stuttgart, 835 S.
- BERTSCH, K & F. BERTSCH 1933: Flora von Württemberg und Hohenzollern. - München, 311 S.
- BÖCKER, R., GEBHARDT H., KONOLD W. & S. SCHMIDT-FISCHER 1995: Gebietsfremde Pflanzenarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Kontrollmöglichkeiten und Management. - Umweltforschung in Baden-Württemberg, eco-med Verl., 215 S.
- BÖTTNER, M. 1992: Auswirkungen des Mulchens auf die Bestandsentwicklung einer Borstgras-Wiese. - Botanik und Naturschutz in Hessen, Beiheft 4, S. 104- 110.
- BOHN, U. 1981: Die Vegetation der Hohen Rhön - Gesellschaftsinventar, Bewertung, Aktuelle Gefährdungen, Erhaltungsmaßnahmen. - In: Natur & Landschaft 56, S. 350- 359.
- BOHN, U. 1996: Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland - Potentielle natürliche Vegetation - Blatt CC 5518 Fulda 1:200 000. - Schriftenreihe für Vegetationskunde Heft 15, Bundesamt für Naturschutz 2. Aufl., 364 S.
- BOIVIN, B. 1966: Enumeration des plantes du Canada. - Nat. Can. (Quebec), S. 989- 1063.
- BORSTEL, U. v. 1974: Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung auf ökologisch verschiedenen Grünland- und Ackerbrachen hessischer Mittelgebirge (Westerwald, Rhön, Vogelsberg). - Dissertation, Gießen, 159 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. - 3. Aufl., Wien, New York (Springer), 865 S.
- BREDOW-STECHOW, W. 1961: Lupinenunterbau in älteren Beständen. - Allgemeine Forstzeitschrift 16, S. 669- 671.
- BREDOW-STECHOW, W. 1963: Unterbau mit Dauerlupine. - Allgemeine Forstzeitschrift 8, S. 510.

- BÜCKING, H. (1910): Geologische Karte von Preußen 1:25.000 - Gradabteilungsblatt 69/35 Sondheim, Berlin.
- CRISTOFOLINI, G. 1989: A serological contribution to the systematics of genus *Lupinus* (Fabaceae). - In: EHRENDORFER, F. (Hrsg.): Plant Systematics and Evolution. Vol. 166, Springer-Verl., S. 265- 278.
- DIERSCHKE, H. 1994: Pflanzensoziologie. - Lehrbuch, UTB-Verl. 683 S.
- DIERSCHKE, H. 1997: Synopsis der Pflanzengesellschaften Deutschlands. - Heft 3 Molinio-Arrhenatheretea (E1) Teil 1: Arrhenatheretalia Wiesen und Weiden frischer Standorte, Selbstverl., Göttingen, 74 S.
- DIETZEN, W., KOLB K.-H., SALOMON J. & K. SPITZL 1992: Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung - Projekt: Hohe Rhön (Lange Rhön). - In: Natur & Landschaft 67, S. 371- 379.
- DITTMANN, B. 1998: Anthraknosebekämpfung bei Lupinen. - Erste Versuchsergebnisse. - In: Raps - Fachzeitschrift über Öl- und Eiweißpflanzen, 15. Jg. (4), Gelsenkirchen, S. 152- 154.
- ELLENBERG, H. 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. - 5. Aufl. Ulmer-Verl. Stuttgart, 1095 S.
- ELLENBERG, H., WEBER H. E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. & D. PAULISSEN. 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - 2. Aufl. Scripta Geobotanica 18, Göttingen, 258 S.
- ERSKINE, D. S. 1960: Plants of Prince Edward Island. - Canadian Department of Agriculture, Publ. 1088, S. 1- 270.
- FALINSKI, J. B. 1998: Invasive alien plants and vegetation dynamics. - In: STARFINGER, U., EDWARDS K., KOWARIK I. & M. WILLIAMSON (Hrsg.): Plant Invasions: Ecological Mechanisms and Human Responses, S. 3- 22.
- FEILER, U. 1991: Erste Ergebnisse zum endogenen Pilzbefall von *Lupinus luteus* (Wurzel und Stengel) in Abhängigkeit von Standort und Fruchtfolge. - In: WINK, M. (Hrsg.) 1992: Lupinen 1991 - Forschung, Anbau und Verwertung. Univ. Heidelberg, S. 26- 36.
- FEILER, U. & I. NIRENBERG 1998: Eine neue klassische Methode zur Bestimmung des Colletotrichum-Befalls an Saatgut von *Lupinus* spp. - Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 50 (10), S. 259- 262.
- FISCHER, A. 1938: Die Züchtung und die Bedeutung bitterstofffreier Lupinen in außerdeutschen Ländern. - Zeitschr. Züchter 10, S. 1- 6.
- FOX, M. D. & B. J. FOX 1986: The susceptibility of natural communities to invasions. - In: GROVES, R. H. & J. J. BURDON (Hrsg.): Ecology of Biological Invasions: An Australian Perspective. - Australian Academy of Sciences, Canberra, S. 57- 66.
- FRUWIRTH, C. 1921: Handbuch des Hülsenfruchterbaus. - Verl. f. Landwirtsch., Gartenbau und Forstwesen, Berlin, 232 S.
- FUCHS, F. 1973: Die Rhön. Wandlung einer Kulturlandschaft eines Mittelgebirgsraumes. - Marburger Geographische Schriften 60, S. 305- 325.

- GEHRHARDT, 1927: Dauerlupinen im Walde. - Illustrierte Landwirtsch. Zeitung 47 (24), S. 320.
- GEIER, M & R. GREBE 1987: Pflege- und Entwicklungsplan Lange Rhön. - Schlussbericht & Karten, Nürnberg, 368 S.
- GLAVAC, V. 1996: Vegetationsökologie. - Fischer-Verl., Jena, 358 S.
- GOEZE, E. 1913: Blumistische Plauderei. - Jahrbuch für Staudenkunde der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft 1913.
- GROMBTSCHESKAJA, G. N. 1951: Die mehrjährige Lupine. - Selchosgis Moskau (Bibl. D. Kolchosbauern). Deutsche Übersetzung J. Gebhardt.
- GROSS, R. 1986: Lupins in the Old and New World - a biological cultural coevolution. - Proc. 4th Int. Lupin Conf., Geraldton W. Australia, S. 244- 277.
- HACKBARTH, J. 1961: Die Genzentren der Gattung *Lupinus* in der neuen Welt und ihre Bedeutung für die Züchtung. - Zeitschr. f. Pflanzenzüchtung 46, S. 254- 264.
- HACKBARTH, J. 1966: Lupinen als Wildäsung. - Zeitschr. Wild und Hund 68, S. 901- 902.
- HACKBARTH, J. & H. J. TROLL 1959: Lupinen als Körnerleguminosen und Futterpflanzen. - In: KAPPERT-RUDORF (HRSG.): Handbuch der Pflanzenzüchtung. - 2. Aufl., Bd. IV, S. 1- 51.
- HACKBARTH, J. & H. J. TROLL 1960: Anbau und Verwertung von Süßlupinen. - DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 115 S.
- HÄBERLEIN, C., J. JENRICH & K.-H. KOLB 1997: Maßnahmen zum Schutz des Birkhuhns in der Rhön, Das Birkhuhn - Die Entwicklung von Birkhuhnpopulationen im Flachland und in Mittelgebirgen - Wie können wir diese Tierart erhalten. - Sächsische Akademie Natur und Umwelt, S. 36- 41.
- HANELT, P. 1960: Die Lupinen. - Zur Botanik und Geschichte landwirtschaftlich wichtiger Lupinenarten. - A. Ziemsen-Verlag, Wittenberg, 104 S.
- HANEMANN, J. 1927: Ergebnisse der floristischen Durchforschung des östlichen und nordöstlichen Teiles Württembergs. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württemb. 83, Stuttgart, S. 23- 48.
- HANSEN, R. & F. STAHL 1994: Die Stauden und ihre Lebensbereiche in Gärten und Grünanlagen. - 2. Auflage, Ulmer Stuttgart, 572 S.
- HARTIG, G. L. 1795: Anweisung zur Taxation der Forste oder zur Bestimmung des Holzertrags der Wälder. - Ein Beitrag zur höheren Forstwissenschaft, 200 S.
- HARTMANN, E., SCHULDES H., KÜBLER R. & W. KONOLD 1994: Neophyten - Biologie, Verbreitung und Kontrolle ausgewählter Arten. - Umweltforschung in Baden-Württemberg, eco-med Verlag, 302 S.
- HASSLINGER, K. 1937: 4 Jahre Dr. Hellmuth- Plan. - Gauverlag Mainfranken, Würzburg, 18 S.
- HEGI, G. 1964: Illustrierte Flora von Mitteleuropa IV (3). Dicotyledones 2: Leguminosae - Tropaeolaceae. - 2. Aufl. mit Nachtrag, Nachdruck der 1. Aufl. von 1925, Parey: Hamburg, 1750 S.

- HILL, G. D. (1993): The potential of perennial lupins for grazing. - Proceedings VII th, International Lupin Conference, Evora, S. 435- 444.
- HIRSCH, L. 1937: Tertiärgeologische Untersuchungen in der Rhön. - Dissertation, Gießen.
- HOLLING, C. S. 1992: Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. - Ecol. Monogr. 62, S. 447- 502.
- HONDELMANN, W. 1996: Die Lupine: Geschichte und Evolution einer Kulturpflanze. - Bundesforschungsanstalt für LWS, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 162, 247 S.
- HORST, W. J. & CH. WASCHKIES 1986: Verbesserung der Phosphatversorgung von Sommerweizen durch Anbau von Weißer Lupine auf einem Boden mit niedriger Phosphatverfügbarkeit. - VDLUFA-Kongressband, Schriftenreihe 16, Darmstadt, S. 179- 183.
- HULTEN, E. 1968: Flora of Alaska and neighboring territories: a manual of the vascular plants. - Stanford University Press, Stanford, California.
- HUMMEL, K. 1929: Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslandes (Vogelsberg und Rhön). Fortschr. Geol. Paläontol. Band VIII, S. 24.
- JÄGER, H. 1958: Entwicklungsperioden agrarer Siedlungsgebiete im mittleren Westdeutschland seit dem frühen 13. Jahrhundert. - Würzburger Geogr. Arb. 6, 117 S.
- JOHN, G. 1931: Bodenreaktion und Wachstum der blauen perennierenden Lupine (*Lupinus polyphyllus*). - Zeitschr. Forst- und Jagdwesen LXIII, S. 493- 510.
- JOHNE, B. 1973: Grundlagenuntersuchungen zur Erhaltung des Grünlandes auf der Hochrhönfläche. - Dissertation, TU München- Weihenstephan.
- KÄSS, E. & M. WINK 1992: Molekulare Methoden zur Analyse der Evolution der Gattung *Lupinus*. - In: WINK, M. (Hrsg.): Lupinen 1991 - Forschung, Anbau und Verwertung. - Univ. Heidelberg, S. 53- 65.
- KARL, E. & H. E. SCHMIDT 1992: Die Ausbreitung der Lupinenblattlaus (*Macrosiphum albifrons* Essig) in Mitteleuropa und ihre Bedeutung als Virusvektor. - In: WINK, M. (Hrsg.): Lupinen 1991 - Forschung, Anbau und Verwertung. - Uni. Heidelberg, S. 26- 36.
- KEß, 1927: Auch als Jäger würdigt die Lupine. - Illustrierte Landwirtsch. Zeitung 47, Lupinen-Sondernummer, Nr. 25, S. 325- 326.
- KINDINGER, W. 1942: Beiträge zur Entwicklung der Kulturlandschaft der zentralen Rhön vom dreißigjährigen Krieg bis 1933. - Fränkische Studien 4.
- KINZEL, H. 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. - Ulmer-Verl. Stuttgart, 534 S.
- KNAPP, R. 1977: Die Pflanzenwelt der Rhön unter besonderer Berücksichtigung der Naturpark-Gebiete. - 2. Aufl., Parzeller-Verl. Fulda, 136 S.
- KNEITZ, G. 1961: Geographische Charakteristik der Rhön. - Abhandlungen Naturwiss. Verein Würzburg 1, S. 5- 11.
- KOWARIK, I. 1985: Zum Begriff "Wildpflanzen" und zu den Bedingungen und Auswirkungen der Einbürgerung hemerochorer Arten. - Publ. Naturhist. Gen. Limburg 35 (3/4), S. 8- 25.

- KOWARIK, I. 1996: Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bewertung. - In: Texte des Umweltbundesamtes 58/96, Berlin, S. 119- 155.
- KOWARIK, I., 1998: Das „exotic species model“ als Hilfsmittel zur Risikoabschätzung gentechnisch veränderter Pflanzen. - In: Ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch veränderten Pflanzen. Auskreuzung und Bewertung agronomisch relevanter Resistenzen. - Tagungsband zum Symposium vom 19.05.98, Wien, Forschungsberichte 10/98 Bundeskanzleramt, Sektion VI, Wien, S. 13- 19.
- KOWARIK, I. 1999: Neophyten in Deutschland: quantitativer Überblick, Einführungs- und Verbreitungswege, ökologische Folgen und offene Fragen. - In: UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Gebietsfremde Organismen in Deutschland. - Ergebnisse eines Arbeitsgespräches am 5. und 6. März 1998, UBA.
- KOWARIK, I. 2002: Biologische Invasionen in Deutschland: Zur Rolle nichteinheimischer Pflanzen. - In: KOWARIK, I & U. STARFINGER (Hrsg.): Biologische Invasionen. Herausforderung zum Handeln? NEOBIOTA 1, S. 5- 24.
- KUHN, O. 1964: Geologie von Bayern. - 3. Aufl. München, Basel, Wien (BLV), 159 S.
- KURTZ, E. & H. KÖPPL 1997: Die Anthraknose (*Colletotrichum gloeosporioides*) der Lupine. - In: Zeitschr. INFORM, S. 49- 52.
- KUTSCHERA, L. & E. LICHTENEGGER 1992: Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. - Fischer-Verl. Stuttgart, 2 Bd., 851 S.
- LENT, J. 1934: Die Dauerlupine in der deutschen Waldwirtschaft. - Mitteilungen für die Landwirtschaft. 49, S. 15- 16.
- MAJEWSKI, A. 1960: Badania nad lubinem wieloletnim *Lupinus polyphyllus* Lindl. (Untersuchungen über die perennierende Lupine, *Lupinus polyphyllus* Lindl.). - Hodowla Roslin Aklimatyzacja i Nasiennictwo 4, Nr. 4, Warszawa, S. 431- 448.
- MANZ, E. 1990: Bestandveränderungen rheinland-pfälzischer Borstgrasrasen. - In: Natur & Landschaft 65, Heft 11, S. 527- 533.
- MARTINI, E. 1970: Einführung in die Geologie des Gebietes zwischen Rhön und Vogelsberg. - Beitr. Naturkd. Osthessen, 2/3, S. 3- 10.
- MEISEL, K. & A. von HÜBSCHMANN 1973: Grundzüge der Vegetationsentwicklung auf Brachflächen. - Natur & Landschaft 48, Heft 3, S. 70- 75.
- MELZER, E. & H-J. HERTEL 1981: Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) auf Buntsandstein und ihr Einfluß auf den Zuwachs der forstlich wichtigsten Koniferen. - Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 25, S. 319- 325.
- MENGEL, K. 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. - Gießen, 466 S.
- MENSCHING, H. 1957: Geomorphologie der Hohen Rhön und ihres südlichen Vorlandes. - Würzburger Geographische Arbeiten, 4/5, S. 47- 88.
- METZNER, H. 1982: Pflanzenphysiologische Versuche. - Stuttgart, 406 S.

- MICHAELIS, H. 1919: Zur Geschichte der Lupine. - Ber. Pharmazeut. Gesellsch. 29, S. 518- 530.
- MORRIS, W. F. & D. M. WOOD 1989: The role of Lupine in succession on mount St. Helens: Facilitation or inhibition? - Zeitschr. Ecology 70 (3), S. 697- 703.
- MÜLLER, F. & K.-H. KOLB 1997: Das Birkhuhn (*Tetrao tetrix*) - Leitart der offenen Kulturlandschaft in der Hohen Rhön. - Artenschutzreport 7/97, S. 29- 37.
- MÜLLER, N. 1995: Zum Einfluß des Menschen auf Flora und Vegetation von Flußauen. - In: BUNDESAMT F. NATURSCHUTZ (Hrsg.): Dynamik und Konstanz, Schriftenreihe für Vegetationskunde 27, S. 289- 297.
- NATHAN, H. 1935: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Bischofsheim, München.
- NEFF, R. 2002: Behandlungsvarianten von Lupinenflächen am Stirnberg auf der Langen Rhön – ein Zwischenbericht. - In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz und Naturpark und Biosphärenreservat Bayerische Rhön e.V. (Hrsg.): Ergebnisbericht Neophyten-Tagung 09.07.02- 11.07.02, S. 50- 55.
- NOWACKI, E. 1960: Systematics of Genisteae in the light of chemical analysis. - Genetica Polonica 1, S. 119- 143.
- NOWAK, B. 1990: Glatthafer- und Goldhafer- Wiesen (*Arrhenatheretalia elatioris*). - In: NOWAK, B. (Hrsg.): Beiträge zur Kenntnis hessischer Pflanzengesellschaften - Ergebnisse der Pflanzensoz. Sonntagsexkursionen der Hess. Bot. Arbeitsgemeinschaft, 207 S.
- OBERDORFER, E. 1993: Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil III: Wirtschaftswiesen und Unkrautgesellschaften. - 3. Aufl. Jena, 455 S.
- OBERDORFER, E. 1994: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. - 7. Aufl. Stuttgart. 1050 S.
- OBERT, S. 1999: Untersuchungen zur Ausbreitung der Stauden-Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) unter Weidenutzung. - Diplomarbeit (unveröff.), Prof. f. Landschaftsökologie und -planung, Univ. Gießen, 139 S.
- OPITZ, K. 1949: Anbau von Hülsenfrüchten. - Deutscher Bauernverlag Berlin, 63 S.
- OPITZ v. BOBERFELD, W.; KNÖDLER, C. & C. ZIRON 2001: Keimungsstrategien von Arten verschiedener Grünland-Pflanzengesellschaften. – Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 5 (2), S. 87- 95.
- OTTE, A. 1994: Die Temperaturansprüche von Ackerwildkräutern bei der Keimung; auch eine Ursache für den Wandel im Artenspektrum auf Äckern. - Aus Liebe zur Natur 5, S. 103- 122.
- OTTE, A., OBERT S., VOLZ H. & E. WEIGAND 2002: Effekte von Beweidung auf *Lupinus polyphyllus* Lindl. in Bergwiesen des Biosphärenreservates Rhön. – In: KOWARIK, I. & U. STARFINGER (Hrsg.): Biologische Invasionen: Herausforderung zum Handeln? – Neobiota 1, S 101- 133.
- PAGEL, R. 1994: Zum Einfluß von Leguminosen auf Nährstoffdynamik, Umweltbelastung und Pflanzenwachstum in Lysimeter- und Freilanduntersuchungen. - Diss., Giessen, 104 S.

- PECHMANN, H. V. & A. WUTZ 1960: Haben Mineraldüngung und Lupinenanbau einen Einfluß auf die Eigenschaften von Fichten- und Kiefernholz? - Forstwiss. Cbl. 79, S. 91- 105.
- PEPLER, C. 1992: Die Borstgrasrasen (Nardetalia) Westdeutschlands. - Dissertationes Botanicae 193, Cramer-Verl, Stuttgart, 381 S.
- PHILLIPS, L. 1955: A revision of the perennial species of *Lupinus* of North America exclusive of southwestern United States and Mexico. - In: Research studies of the State College of Washington. - Volume XXIII, September 1955 (3), S. 161- 201.
- PIRON, P. G. M. 1987 : The advance of the American lupin aphid (*Macrosiphum albifrons* Essig) (Homoptera: Aphididae) in Europe. - Journ. appl. Ent. 103, S. 111- 112.
- PLARRE, W. & W. PORSCHE 1961: Züchtungsarbeiten an *Lupinus polyphyllus* Lindl. zur Nutzung als Futterpflanze. - Zeitschrift Pflanzenzüchtung 46, S. 67- 97.
- PIRON, P. G. M. 1987: The advance of the American lupin aphid (*Macrosiphum albifrons* Essig) (Homoptera: Aphididae) in Europe. - Journ. appl. Ent. 103, S. 111- 112.
- POKORNY, D. (1999): Fachgespräch zum Forschungsprojekt „Biotopspezifische Untersuchungen zu Ausbreitungsmechanismen und Regulierungsmöglichkeiten von Hochstauden in der Rhön - bearbeitet am Beispiel der Stauden-Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.)“. - Dokumentation des Fachgesprächs zum Zwischenbericht des Projektes am 20. Mai 1999 in Würzburg (unveröff.).
- PRJANISHNIKOW, D. 1934: Der Abbau von Rohphosphat durch Wurzelausscheidungen der Lupine. - Zeitschr. Phosphors 4, S. 1- 23.
- PRJANISHNIKOW, D. 1952: Der Stickstoff im Leben der Pflanzen und im Ackerbau der UdSSR. - Deutsche Übersetzung. - Neue Möglichkeiten auf dem Gebiete der Gründüngung, Akademie-Verl., Berlin, S. 181- 200.
- PUFFE, D & W. ZERR 1988: Untersuchungen an Böden unter Grünland in der Hessischen Rhön und deren Vorland. - Eichhof Berichte, Reihe A, Heft 10, 110 S.
- REED, P. J., J. S. W. DICKENS & T. M. O'NEILL 1996: Occurrence of anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) on ornamental lupin in the United Kingdom. - Plant Pathology 45, S. 245- 248.
- REHFUESS, K. E. .1965: Ernährung und Wachstum der Dauerlupine (*Lupinus polyphyllus* L.) unter Kieferschirm auf Oberpfälzer Standorten. Forstwiss. - Cbl. 84, Nr. 9/10, S. 265- 292.
- REINFELD, U. 1977: Landschaftsentwicklungsplan Naturpark Hessische Rhön. - Institut für Naturschutz, Darmstadt, 102 S.
- RÖLL, W. 1966: Die kulturlandschaftliche Entwicklung des Fuldaer Landes seit der frühen Neuzeit. - Giessener Geogr. Schriften 9, 97 S.
- RUDOLPH, B.-U. 2000: Auswahlkriterien für Habitats von Arten des Anhangs II der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie am Beispiel der Fledermausarten Bayerns. - In: Natur & Landschaft 75, Heft 8, S. 328- 338.

- RUTTE, E. 1965: Mainfranken und Rhön. - In: LOTZE, F (Hrsg.): Sammlung Geologischer Führer, Band 43, 221 S.
- SCHEPKER, H., KOWARIK I. & E. GARVE 1997: Verwilderungen nordamerikanischer Kultur-Heidelbeeren (*Vaccinium subgen. Cyanococcus*) in Niedersachsen und deren Einschätzung aus Naturschutzsicht. - In: Natur & Landschaft 72, S. 346- 351.
- SCHIEFER, J. 1981: Vegetationsentwicklung und Pflegemaßnahmen auf Brachflächen in Baden-Württemberg - sechsjährige Dauerflächenuntersuchungen in zwei Halbtrockenrasen und Glatthaferwiesen. - In: Natur & Landschaft 56, Heft 7/8, S. 263- 268.
- SCHMIDT, W. 1985: Mahd ohne Düngung - Vegetationskundliche und ökologische Ergebnisse aus Daueruntersuchungen zur Pflege von Brachflächen. - In: SCHREIBER, K.-F. (Hrsg.): Sukzession auf Grünlandbrachen. - Münsterische Geogr. Arb. 20, S. 81- 99.
- SCHÖNFELDER, P. & A. BRESINSKY 1990: Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns. - Ulmer Stuttgart, 752 S.
- SCHÖNHALS, E. 1954: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. - Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, Wiesbaden, Heft 2, 288 S.
- SCHOPFER, P. 1989: Experimentelle Pflanzenphysiologie. Einführung in die Anwendungen. - Band 2, Heidelberg, 458 S.
- SCHRÖDER, F.G. 1969: Zur Klassifizierung der Anthropochoren. - Vegetation 16, S. 225- 238.
- SCHUCHT, F. 1941: Über Basalt- und Buntsandsteinböden in der Rhön. - Landwirtschaftliches Jahrbuch 90, S. 978- 1019.
- SCHULDES, H. & R. KÜBLER 1991: Neophyten als Problempflanzen im Naturschutz. - Arbeitsbl. Naturschutz 12, Karlsruhe, S. 1- 16.
- SCHWABE, A. 1990: Veränderungen in montanen Borstgrasrasen durch Düngung und Brachlegung: *Antennaria dioica* und *Vaccinium vitis-idea* als Indikatoren. - Tuexenia 10, S. 295- 310.
- SENGBUSCH, R. von 1942: Süßlupinen und Öllupinen. - Landw. Jahrbücher 91 (5), S. 719- 880.
- SPEIDEL, B. 1972: Das Wirtschaftsgrünland der Rhön. - Ber. Naturwiss. Ges. Bayreuth 14, S. 201- 240.
- SPITZL, K 1999: Lupinenmahd- Pflegeversuche zur Zurückdrängung von *Lupinus polyphyllus* im Naturschutzgebiet „Lange Rhön“. - In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): Effizienzkontrollen im Naturschutz. - Schriftenreihe Heft 150, S. 179- 182.
- STOLZENBURG, H.-J. 1989: Grünlandwirtschaft und Naturschutz in der Hessischen Rhön. - Notizb. Kasseler Schule 13, Kassel, 295 S.
- STORCH, M. 1983: Zur floristischen Struktur der Pflanzengesellschaften in der Waldstufe des Nationalparks Berchtesgaden und ihrer Abhängigkeit vom Standort und der Entwicklung des Menschen. - Diss., LMU München, 470 S.
- STOTTELE, T. 1995: Vegetation und Flora am Straßennetz Westdeutschlands: Standorte - Naturschutzwert - Pflege. - Dissertationes Botanicae, Band 248, 360 S.

- STURM, P. 1995: Neophyten - ein Naturschutzproblem? - Laufener Seminarbeitr. 2/95, Bay. Akad. f. Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), S. 57- 61.
- TAMM, C. O. 1991: Nitrogen in terrestrial ecosystems. Questions of productivity, vegetational changes and ecosystem stability. - Ecol. Stud. 81, S. 1- 116.
- TEI, A. & M. WINK 1998: Einführung in die Analytik von Lupinenalkaloiden mittels GC-MS. - In: WINK, M. (Hrsg.): Lupinen in Forschung und Praxis. - 4. Heidelberger Lupinentagung 1997. - Verl. M. Reinheimer, Ludwigshafen, S. 65- 88.
- THELLUNG, A. 1918: Zur Terminologie der Adventiv- und Ruderalfloristik. - Allg. Bot. Zeitschr. f. Systematik, Floristik, Pflanzen 24/25 (9- 12), S. 36- 42.
- THUM, J. 1978: Einfluß von Dauerlupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) und Steinklee (*Melilotus albus* Med.) auf Baumwachstum, -ernährung und Bodeneigenschaften eines Kippstandortes. - Beitr. Forstwirtsch. 12, Berlin, S. 167- 172.
- TURNER, N. J. & A. F. SZCZAWINSKI 1991: Common Poisonous Plants and Mushrooms of North America. - Timber Press Portland, Oregon, 293 S.
- URBANSKA, K. M. (1992): Populationsbiologie der Pflanzen. - UTB-Verlag, 374 S.
- VDLUFA, 1991: Methodenbuch Bd. I. - Die Untersuchung von Böden. - 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 427 S.
- VISSER, U. 2001: Die Invasion der Stauden- Lupine im Biosphärenreservat Rhön - Untersuchungen zum Ausbreitungsverhalten von *Lupinus polyphyllus* mit Hilfe eines räumlich expliziten Simulationsmodells. - Diplomarbeit (unveröff.), Fb. Biologie, Univ. Marburg, 62 S.
- VISSER, U., VOLZ H., JOHST K., WINKLER E. & CH. WISSEL 2001: Lupine invasion on poor meadows. - Verh. Ges. Ökol. 31: S. 332.
- VOLZ, H. & A. OTTE 2000: Biotopspezifische Untersuchungen zu Ausbreitungsmechanismen und Regulierungsmöglichkeiten von Hochstauden in der Rhön - bearbeitet am Beispiel der Stauden- Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). - Abschlussbericht (unveröff.), Prof. f. Landschaftsökologie und Landschaftsplanung Univ. Giessen, 138 S.
- VOLZ, H. & A. OTTE 2001: Occurrence and spreading ability of *Lupinus polyphyllus* Lindl. in the Hochrhen area. - In: KOWARIK, I. & U. STARFINGER (Hrsg.): Biological Invasions in Germany - A Challenge to Act? - Contributions and results of a Conference in Berlin October 4<sup>th</sup>- 7<sup>th</sup>, 2000, BfN-Skripten 32, S. 97- 98.
- VOLZ, H. & A. OTTE 2002: Biotopspezifische Untersuchungen zu Ausbreitungsmechanismen und Regulierungsmöglichkeiten von Hochstauden in der Rhön - bearbeitet am Beispiel der Stauden- Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) - Kurzfassung des Abschlussberichtes. - In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz und Naturpark und Biosphärenreservat Bayerische Rhön e.V. (Hrsg.): Ergebnisbericht Neophyten-Tagung 09.07.02- 11.07.02, S. 29- 45.
- WEBER, E. & B. SCHMID 1993: Das Neophytenproblem. - Festschrift Zoller, Dissertationes Botanicae 196, S. 209- 227.

- WILLIAMSON, M. H. & K. C. BROWN 1986: The analysis and modelling of British invasions. - Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 314, S. 505- 522.
- WILLIAMSON M. H. 1996: Biological Invasions. Chapman & Hall, London, 239 S.
- WINK, M. 1983: Wounding-induced increase of quinolizidine alkaloid accumulation in lupin leaves. - Zeitschr. für Naturforschung, Bd. 38 c, S. 905- 909.
- WINK, M. 1984a: Chemical defense of leguminosae. Are quinoilizidine alkaloids part of the antimicrobial defense system of lupins. - Zeitschr. für Naturforschung, Bd. 39 c, S. 548- 552.
- WINK, M. 1984b: Chemical defense of leguminosae. Mollusc repellent properties of quinoilizidine alkaloids. - Zeitschr. für Naturforschung, Bd. 39 c, S. 553- 558.
- WINK, M. 1985: Chemische Verteidigung der Lupinen: Zur biologischen Bedeutung der Chinolizidinalkaloide. - Plant Syst. Evolution 150, S. 65- 81.
- WINK, M. 1988: Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. - Theoretic Appl. Genet. 75, S. 225- 233.
- WINK, M. 1992: The role of quinolizidine alkaloids in plant insect interactions. - In: BERNAYS, E. A. (Hrsg.) Focus on Insect-plant interactions. - Bd. IV, S. 133- 169.
- WISSKIRCHEN R. & H. HÄUPLER 1998: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. - Hrsg: Bundesamt für Naturschutz, 765 S.
- WITTMACK, L. 1927: Zur Geschichte und Systematik der Lupine. - Illustrierte. Landw. Zeitung 47, S. 337- 338.
- YAMADA, T. 1975: Calcium and its relationship to blossom-end rot in tomato. - Comm. Soil Sci. Plant Analysis 6, S. 273- 284.
- ZIMMERLE, H. & K. REIHLING 1937: Wachstumsversuche mit Dauerlupine. - Mitteilungen Württembergische Forstl. Versuchsanstalt, Heft 2, Stuttgart, 90 S.

## 10 Anhang

### Anhangabbildungen

<b>Abb. A-1:</b> Mittelwerte potenziell keimfähiger Restsamen (%) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Untersuchungszeitraum August 1998 bis Juni 2002 .....	128
<b>Abb. A-2:</b> Mittelwerte potenziell keimfähiger Restsamen (%) von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Untersuchungszeitraum August 1999 bis Dezember 2001 .....	128
<b>Abb. A-3:</b> Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	143
<b>Abb. A-4:</b> Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	143
<b>Abb. A-5:</b> Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	144
<b>Abb. A-6:</b> Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	144
<b>Abb. A-7:</b> Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	145
<b>Abb. A-8:</b> Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	145
<b>Abb. A-9:</b> Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	146
<b>Abb. A-10:</b> Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	146
<b>Abb. A-11:</b> Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	147
<b>Abb. A-12:</b> Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	147
<b>Abb. A-13:</b> Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	148
<b>Abb. A-14:</b> Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	148
<b>Abb. A-15:</b> Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	149
<b>Abb. A-16:</b> Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	149

<b>Abb. A-17:</b> Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	150
<b>Abb. A-18:</b> Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	150
<b>Abb. A-19:</b> Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	151
<b>Abb. A-20:</b> Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	151
<b>Abb. A-21:</b> Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	152
<b>Abb. A-22:</b> Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von <i>Lupinus polyphyllus</i> (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6) .....	152
<b>Abb. A-23:</b> Entwicklung der Biomasseproduktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Teilflächen der Mahd-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4) .....	155
<b>Abb. A-24:</b> Entwicklung der Biomasseproduktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Teilflächen der Mulch-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 %-Quartil und Min./Max., n=4) .....	155
<b>Abb. A-25:</b> Entwicklung der Biomasseproduktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Teilflächen der Schlegel-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4) .....	156

### Anhangtabellen

<b>Tab. A-1:</b> Tausendkornmasse der Samen von <i>Lupinus polyphyllus</i> der Standorte Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg (MD=Median, MWT=Mittelwert, STAB=Standardabweichung) .....	123
<b>Tab. A-2:</b> Keimlingsversuche im Freiland (MD=Median, MWT=Mittelwert, STAB=Standardabweichung) .....	123
<b>Tab. A-3:</b> Samendichte in der Diasporenbank von <i>Lupinus polyphyllus</i> .....	124
<b>Tab. A-4:</b> Keimfähigkeitsversuche 1998 von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Samen am Standort Leitgraben. Anzahl der potenziell keimfähigen Restsamen .....	125
<b>Tab. A-5:</b> Keimfähigkeitsversuche 1998 von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Samen am Standort Leitgraben. Anzahl der sichtbaren Keimlinge zu den Entnahmetermen .....	126
<b>Tab. A-6:</b> Keimfähigkeitsversuche 1999 von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Samen am Standort Leitgraben. Anzahl der potenziell keimfähigen Restsamen .....	127
<b>Tab. A-7:</b> Keimfähigkeitsversuche 1999 von <i>Lupinus polyphyllus</i> -Samen am Standort Leitgraben. Anzahl der sichtbaren Keimlinge zu den Entnahmetermen .....	127
<b>Tab. A-8:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Leitgraben: Mischprobe aller Samen .....	129
<b>Tab. A-9:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> .	

Standort Stirnberg: Mischprobe aller Samen .....	130
<b>Tab. A-10:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Leitgraben: Haupttrieb (oben) .....	131
<b>Tab. A-11:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Stirnberg: Haupttrieb (oben) .....	132
<b>Tab. A-12:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Leitgraben: Haupttrieb (unten) .....	133
<b>Tab. A-13:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Stirnberg: Haupttrieb (unten) .....	134
<b>Tab. A-14:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Leitgraben: Seitentriebe .....	135
<b>Tab. A-15:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Stirnberg: Seitentriebe .....	136
<b>Tab. A-16:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Bauersberg: Zweiter Aufwuchs Mahd-Variante .....	137
<b>Tab. A-17:</b> Temperaturansprüche bei der Keimung von <i>Lupinus polyphyllus</i> . Standort Bauersberg: Zweiter Aufwuchs Mulch-Variante .....	138
<b>Tab. A-18:</b> Signifikanzniveau der Samenproduktion (Tukeys HSD-Test) je Einzelpflanzen von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg; jeweils unterteilt in <i>Lupinus polyphyllus</i> im Dominanzbestand und einzeln stehend ( $p < 5\% = *$ , $p < 1\% = **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	139
<b>Tab. A-19:</b> Signifikanzniveau der Samenproduktion (Tukeys HSD-Test) je $m^2$ in Dominanzbeständen von <i>Lupinus polyphyllus</i> auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg ( $p < 5\%$ $= *$ , $p < 1\% = **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	139
<b>Tab. A-20:</b> Signifikanzniveau der Tausendkornmasse (Tukeys HSD-Test) der Samen von <i>Lupinus</i> <i>polyphyllus</i> auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg ( $p < 5\% = *$ , $p < 1\%$ $= **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	139
<b>Tab. A-21:</b> Vegetationstabelle (Deckung nach Braun-Blanquet) am Standort Herrenwasser: Mahd- Variante .....	140
<b>Tab. A-22:</b> Vegetationstabelle (Deckung nach Braun-Blanquet) am Standort Herrenwasser: Mulch- Variante .....	141
<b>Tab. A-23:</b> Vegetationstabelle (Deckung nach Braun-Blanquet) am Standort Herrenwasser: Schlegel- Variante .....	142
<b>Tab. A-24:</b> Biomasseproduktion ( <i>Lupinus polyphyllus</i> , Gräser und Rest-Kräuter) am Standort Herrenwasser .....	153
<b>Tab. A-25:</b> Jahreseffekte der Mahd-Variante. Signifikanzniveau (Tukey HSD-Test) der Biomasse- produktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zum Versuchsbeginn 1998 ( $p < 5\% =$ $*$ , $p < 1\% = **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	154
<b>Tab. A-26:</b> Jahreseffekte der Mulch-Variante. Signifikanzniveau (Tukey HSD-Test) der Biomasse- produktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zum Versuchsbeginn 1998 ( $p < 5\% =$ $*$ , $p < 1\% = **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	154
<b>Tab. A-27:</b> Jahreseffekte der Schlegel-Variante. Signifikanzniveau (Tukey HSD-Test) der Biomasse- produktion von <i>Lupinus polyphyllus</i> im Vergleich zum Versuchsbeginn 1998 ( $p < 5\% =$ $*$ , $p < 1\% = **$ , $p < 0,1\% = ***$ ) .....	154

## 10.1 Anhang: Populationsbiologische Ergebnisse

**Tab. A-1:** Tausendkornmasse der Samen von *Lupinus polyphyllus* der Standorte Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg (MD=Median, MWT=Mittelwert, STAB=Standardabweichung)

Wh.	Stirnberg TKG (g)	Leitgraben TKG (g)	Bauersberg TKG (g)
1	22,50	21,43	22,24
2	22,92	21,12	22,22
3	22,35	21,08	22,17
4	22,20	21,26	22,02
5	22,62	21,30	22,15
6	22,92	21,46	22,16
7	22,15	21,65	22,01
8	22,57	21,46	21,76
9	22,63	21,37	21,26
10	22,94	21,09	20,86
11	22,88	21,20	21,70
12	23,20	21,18	21,20
13	22,31	21,19	21,42
14	21,83	21,20	20,59
15	22,09	21,02	20,07
16	21,87	21,57	21,35
17	22,50	20,93	21,24
18	22,44	20,86	20,87
19	22,46	20,70	21,32
20	22,19	21,14	21,76
<b>MD</b>	<b>22,48</b>	<b>21,20</b>	<b>21,56</b>
<b>MWT</b>	<b>22,48</b>	<b>21,21</b>	<b>21,52</b>
<b>STAB</b>	<b>0,37</b>	<b>0,24</b>	<b>0,61</b>

**Tab. A-2:** Keimlingsversuche im Freiland (MD=Median, MWT=Mittelwert, STAB=Standardabweichung)

<b>Keimlingsversuche im Freiland</b>									
jeweils 100 <i>Lupinus</i> - Samen je Keimchale, 20 Wiederholungen, MW=Mittelwert, MD=Median, STB=Standardabweichung									
	07.04.1999	21.04.1999	05.05.1999	19.05.1999	02.06.1999	16.06.1999	Summe	Restsamen	Differenz
1	18	3	8	5	0	1	35	4	61
2	15	2	11	4	0	0	32	7	61
3	19	3	8	3	0	0	33	6	61
4	18	9	9	3	1	0	40	8	52
5	17	3	8	3	2	0	33	9	58
6	14	4	6	4	0	0	28	14	58
7	17	3	6	5	1	0	32	8	60
8	15	8	6	2	1	0	32	2	66
9	17	7	8	6	0	0	38	14	48
10	16	3	5	3	1	0	28	10	62
11	17	11	12	3	0	0	43	3	54
12	19	10	8	7	0	0	44	7	49
13	16	11	8	5	0	1	41	7	52
14	20	4	6	2	3	1	36	3	61
15	17	8	8	6	1	0	40	7	53
16	15	7	8	7	2	0	39	3	58
17	16	14	12	2	1	0	45	9	46
18	19	15	6	1	0	1	42	5	53
19	18	16	4	4	1	0	43	5	52
20	21	12	9	4	0	0	46	7	47
<b>MW:</b>	<b>17,2</b>	<b>7,7</b>	<b>7,8</b>	<b>4,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>37,5</b>	<b>6,9</b>	<b>55,6</b>
<b>MD:</b>	<b>17</b>	<b>7,5</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>38,5</b>	<b>7</b>	<b>56</b>
<b>STB:</b>	<b>1,8</b>	<b>4,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,4</b>	<b>5,6</b>	<b>3,3</b>	<b>5,7</b>

Tab. A-3: Samendichte in der Diasporenbank von *Lupinus polyphyllus*

	Standort	Tiefe (cm)	Wh.	Keimlinge 1998				Samen 300 cm <sup>2</sup>	Samen pro m <sup>2</sup>	Frischgewicht Probe (g)	Gras-/Streuanteil (%)	Wurzelanteil	Steine (%)	H <sub>2</sub> O Gew. % (nur Boden)	Trockengewicht (in g Feinboden)
				22.1	16.3	23.4	16.6								
Fichtenforst	Schornhecke	0-5	1					0	0	435	1,0	4,2	0,0	37,1	270
	Schornhecke	0-5	2					0	0	416	0,4	6,8	1,1	31,4	280
	Schornhecke	0-5	3					0	0	429	1,7	6,8	0,0	37,4	263
	Schornhecke	0-5	4					0	0	407	2,5	6,8	0,0	32,0	271
	Schornhecke	5-10	1					0	0	839	0,1	0,5	2,7	32,0	568
	Schornhecke	5-10	2					0	0	800	0,0	0,3	3,2	27,8	575
	Schornhecke	5-10	3					0	0	918	0,0	0,5	1,1	30,6	636
	Schornhecke	5-10	4					0	0	930	0,0	1,4	0,6	25,7	690
	Schornhecke	10-20	1					0	0	929	0,0	0,2	3,7	27,9	667
	Schornhecke	10-20	2					0	0	1116	0,0	0,1	6,6	25,5	826
	Schornhecke	10-20	3					0	0	1218	0,0	0,1	5,0	28,2	871
	Schornhecke	10-20	4					0	0	1281	0,0	0,1	5,1	21,8	997
	Stirnberg Oberhang	0-5	1					0	0	395	0,7	9,8	0,5	32,1	261
	Stirnberg Oberhang	0-5	2					0	0	436	0,3	5,0	0,0	32,6	291
	Stirnberg Oberhang	0-5	3					0	0	481	0,9	10,7	0,9	36,4	298
	Stirnberg Oberhang	0-5	4					0	0	444	0,0	2,5	1,1	35,0	286
	Stirnberg Oberhang	5-10	1					0	0	1035	0,0	0,9	4,6	30,1	719
	Stirnberg Oberhang	5-10	2					0	0	1041	0,0	1,3	3,1	29,9	726
	Stirnberg Oberhang	5-10	3					0	0	993	0,0	1,8	11,1	32,8	658
	Stirnberg Oberhang	5-10	4					0	0	976	0,0	1,0	4,4	32,1	659
	Stirnberg Oberhang	10-20	1					0	0	707	0,0	0,8	12,5	28,8	494
	Stirnberg Oberhang	10-20	2					0	0	846	0,0	0,3	8,8	26,7	613
	Stirnberg Oberhang	10-20	3					0	0	911	0,0	0,3	19,6	31,2	613
	Stirnberg Oberhang	10-20	4					0	0	707	0,0	0,1	11,6	28,7	496
	Stirnberg Unterhang	0-5	1					0	0	438	0,0	6,4	2,5	30,8	297
	Stirnberg Unterhang	0-5	2					0	0	759	0,0	0,9	1,6	35,5	488
	Stirnberg Unterhang	0-5	3					0	0	650	0,0	2,6	0,4	32,2	438
	Stirnberg Unterhang	0-5	4					0	0	517	0,0	6,1	7,3	29,4	356
	Stirnberg Unterhang	5-10	1					0	0	984	0,0	1,1	11,1	30,0	680
	Stirnberg Unterhang	5-10	2					0	0	1135	0,0	0,4	4,9	34,2	744
	Stirnberg Unterhang	5-10	3					0	0	1101	0,0	1,4	6,1	31,7	747
	Stirnberg Unterhang	5-10	4					0	0	1211	0,0	0,6	10,6	30,0	840
Stirnberg Unterhang	10-20	1					0	0	914	0,0	0,3	29,5	26,7	648	
Stirnberg Unterhang	10-20	2					0	0	832	0,0	0,0	20,6	29,9	569	
Stirnberg Unterhang	10-20	3					0	0	842	0,0	0,5	25,1	28,0	587	
Stirnberg Unterhang	10-20	4					0	0	1084	0,0	0,2	20,5	27,4	772	
Dominanzbestand von <i>Lupinus polyphyllus</i>	Leitgraben	0-5	1				1	33	828	9,6	3,9	1,6	35,9	521	
	Leitgraben	0-5	2					0	920	1,9	3,9	2,2	37,0	574	
	Leitgraben	0-5	3			2		2	977	5,9	6,8	9,5	32,6	643	
	Leitgraben	0-5	4				1	1	1120	6,2	6,6	0,0	57,2	474	
	Leitgraben	5-10	1					0	1037	0,3	0,7	3,5	33,4	687	
	Leitgraben	5-10	2		1			1	1376	0,2	0,8	3,1	36,0	878	
	Leitgraben	5-10	3					0	1404	0,2	0,8	4,7	31,1	963	
	Leitgraben	5-10	4	1				1	1383	0,5	1,9	0,3	52,3	658	
	Stirnberg 2	0-5	1		4		1	5	167	645	2,7	1,6	2,5	40,5	380
	Stirnberg 2	0-5	2		2	2		4	133	778	2,6	1,7	7,9	31,9	521
	Stirnberg 2	0-5	3		1	2		3	100	665	3,2	4,2	8,7	30,7	450
	Stirnberg 2	0-5	4	1	1	3	2	7	233	610	3,1	2,6	5,9	31,9	408
	Stirnberg 2	5-10	1		5			5	167	993	0,4	0,2	5,9	29,2	699
	Stirnberg 2	5-10	2		1	1		2	67	1203	0,6	1,4	5,5	31,3	821
	Stirnberg 2	5-10	3			1		1	33	1161	0,4	1,7	14,0	30,2	800
	Stirnberg 2	5-10	4					0	0	907	1,0	0,4	8,4	31,6	614
	Bauersberg	0-5	1	1	3	4	1	9	300	1056	1,1	2,0	2,1	12,3	922
	Bauersberg	0-5	2	3		1	1	5	167	993	0,8	2,3	0,8	15,3	838
	Bauersberg	0-5	3	5				5	167	922	2,1	1,4	1,1	16,3	768
	Bauersberg	0-5	4	5				5	167	986	2,8	1,3	1,5	16,1	823
Bauersberg	5-10	1					0	0	1232	0,3	0,6	3,5	12,0	1080	
Bauersberg	5-10	2					0	0	1241	0,1	0,6	0,7	14,1	1065	
Bauersberg	5-10	3					0	0	1115	0,1	0,7	0,4	16,7	928	
Bauersberg	5-10	4	1	2			3	100	1249	0,2	0,8	0,9	15,8	1050	
benachbarte Schafweide/ Wiese	Stirnberg, Schafweide	0-5	1	2				2	67	715	5,0	7,2	2,3	28,0	505
	Stirnberg, Schafweide	0-5	2					0	0	639	6,8	7,5	2,8	27,6	450
	Stirnberg, Schafweide	0-5	3					0	0	828	2,7	6,0	1,8	29,2	579
	Stirnberg, Schafweide	0-5	4					0	0	724	3,5	3,7	8,0	26,5	521
	Stirnberg, Schafweide	5-10	1					0	0	943	0,1	0,9	10,3	26,9	681
	Stirnberg, Schafweide	5-10	2					0	0	931	0,0	0,5	2,8	25,7	689
	Stirnberg, Schafweide	5-10	3					0	0	1053	0,0	0,9	1,9	27,8	759
	Stirnberg, Schafweide	5-10	4					0	0	929	0,1	1,0	2,0	65,6	318
	Stirnberg, Goldhaferwies	0-5	1			1		1	33	606	2,2	4,4	1,8	25,6	444
	Stirnberg, Goldhaferwies	0-5	2					0	0	667	2,7	9,4	5,8	24,9	487
	Stirnberg, Goldhaferwies	0-5	3					0	0	598	2,9	4,0	7,8	25,8	433
	Stirnberg, Goldhaferwies	0-5	4					0	0	543	3,8	5,9	3,4	26,4	390
	Stirnberg, Goldhaferwies	5-10	1					0	0	1006	0,0	0,7	0,1	25,1	753
	Stirnberg, Goldhaferwies	5-10	2					0	0	715	0,3	1,9	10,0	24,4	531
	Stirnberg, Goldhaferwies	5-10	3					0	0	824	0,2	0,6	7,9	25,1	610
Stirnberg, Goldhaferwies	5-10	4					0	0	814	0,1	0,8	3,0	25,7	602	

**Tab. A-4:** Keimfähigkeitsversuche 1998 von *Lupinus polyphyllus*-Samen am Standort Leitgraben.  
Anzahl der potenziell keimfähigen Restsamen

<b>Keimfähigkeitsversuche Leitgraben</b>											
<b>(01.09.1998 - 25.05.2002) mit 15 Entnahmeterminen</b>											
<b>(25 Samen pro Säckchen)</b>											
<b>Anzahl der Restsamen:</b>											
Entnahme- termin:	Boden- tiefe	Wiederholungen						Mittel- wert	%	Standard- abweichung	
		1	2	3	4	5	6				
1	27.10.1998	0 cm	8	18	11	6	10	15	11,3	45%	4,5
		5 cm	10	7	5	5	14	13	9,0	36%	3,9
		10 cm	9	7	11	13	12	14	11,0	44%	2,6
2	27.04.1999	0 cm	5	7	8	4	5	5	5,7	23%	1,5
		5 cm	5	7	0	6	5	5	4,7	19%	2,4
		10 cm	5	3	8	4	4	6	5,0	20%	1,8
3	27.05.1999	0 cm	5	4	6	4	3	7	4,8	19%	1,5
		5 cm	4	2	8	5	3	4	4,3	17%	2,1
		10 cm	6	4	4	7	4	7	5,3	21%	1,5
4	27.06.1999	0 cm	5	6	4	4	5	6	5,0	20%	0,9
		5 cm	3	4	8	3	3	5	4,3	17%	2,0
		10 cm	5	5	5	4	6	4	4,8	19%	0,8
5	27.07.1999	0 cm	4	7	6	4	2	1	4,0	16%	2,3
		5 cm	5	5	5	4	3	3	4,2	17%	1,0
		10 cm	3	6	7	6	4	3	4,8	19%	1,7
6	27.08.1999	0 cm	4	2	4	2	5	4	3,5	14%	1,2
		5 cm	4	5	3	4	3	5	4,0	16%	0,9
		10 cm	2	6	4	2	1	6	3,5	14%	2,2
7	27.09.1999	0 cm	2	2	4	4	4	3	3,2	13%	1,1
		5 cm	3	4	4	2	4	3	3,3	13%	0,8
		10 cm	4	2	3	3	5	1	3,0	12%	1,4
8	27.10.1999	0 cm	4	2	5	1	3	4	3,2	13%	1,5
		5 cm	3	5	3	4	4	3	3,7	15%	0,8
		10 cm	2	2	4	4	2	2	2,7	11%	1,0
9	27.04.2000	0 cm	2	1	3	2	2	2	2,0	8%	0,6
		5 cm	4	3	2	3	2	4	3,0	12%	0,9
		10 cm	2	4	2	4	2	3	2,8	11%	1,0
10	27.05.2000	0 cm	0	3	1	0	1	0	0,8	3%	1,2
		5 cm	2	5	4	2	4	3	3,3	13%	1,2
		10 cm	4	3	2	2	4	4	3,2	13%	1,0
11	27.06.2000	0 cm	1	1	1	0	1	2	1,0	4%	0,6
		5 cm	2	2	2	3	1	4	2,3	9%	1,0
		10 cm	2	4	3	3	2	3	2,8	11%	0,8
12	27.10.2000	0 cm	0	1	0	2	0	1	0,7	3%	0,8
		5 cm	0	1	3	2	0	0	1,0	4%	1,3
		10 cm	3	3	2	2	4	3	2,8	11%	0,8
13	10.05.2001	0 cm	0	1	1	2	0	0	0,7	3%	0,8
		5 cm	2	2	2	4	2	0	2,0	8%	1,3
		10 cm	0	3	4	3	3	3	2,7	11%	1,4
14	27.10.2001	0 cm	0	0	3	0	0	0	0,5	2%	1,2
		5 cm	0	0	2	1	1	0	0,7	3%	0,8
		10 cm	5	4	2	3	3	1	3,0	12%	1,4
15	25.05.2002	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	3	3	0	0	0	1,0	4%	1,5
		10 cm	3	0	3	1	1	0	1,3	5%	1,4

**Tab. A-5:** Keimfähigkeitsversuche 1998 von *Lupinus polyphyllus*-Samen am Standort Leitgraben.  
Anzahl der sichtbaren Keimlinge zu den Entnahmetermi-  
nen

<b>Keimfähigkeitsversuche Leitgraben</b> <b>(01.09.1998 - 25.05.2002) mit 15 Entnahmetermi-            nen</b> <b>(25 Samen pro Säckchen)</b>											
<b>Anzahl der Keimlinge:</b>											
Entnahme- termin:	Boden- tiefe	Wiederholungen						Mittel- wert	%	Standard- abweichung	
		1	2	3	4	5	6				
1	27.10.1998	0 cm	17	7	14	19	15	9	13,5	54%	4,6
		5 cm	15	17	20	20	8	11	15,2	61%	4,9
		10 cm	16	18	13	11	13	11	13,7	55%	2,8
2	27.04.1999	0 cm	7	7	6	5	10	4	6,5	26%	2,1
		5 cm	8	9	12	7	7	8	8,5	34%	1,9
		10 cm	10	6	11	16	8	6	9,5	38%	3,8
3	27.05.1999	0 cm	2	1	7	7	2	1	3,3	13%	2,9
		5 cm	2	2	2	1	0	0	1,2	5%	1,0
		10 cm	1	0	0	1	0	0	0,3	1%	0,5
4	27.06.1999	0 cm	0	0	2	1	1	8	2,0	8%	3,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
5	27.07.1999	0 cm	0	2	3	2	2	1	1,7	7%	1,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	1	0	0	0	0,2	1%	0,4
6	27.08.1999	0 cm	0	2	0	2	4	1	1,5	6%	1,5
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	1	0	0	0	0,2	1%	0,4
7	27.09.1999	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	0	1	0,2	1%	0,4
8	27.10.1999	0 cm	1	1	1	2	3	0	1,3	5%	1,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	1	0	0	1	1	0,5	2%	0,5
9	27.04.2000	0 cm	1	0	0	1	0	1	0,5	2%	0,5
		5 cm	0	0	3	0	1	0	0,7	3%	1,2
		10 cm	1	0	1	0	1	0	0,5	2%	0,5
10	27.05.2000	0 cm	0	0	2	0	0	0	0,3	1%	0,8
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	1	0	0,2	1%	0,4
11	27.06.2000	0 cm	0	0	1	0	0	0	0,2	1%	0,4
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
12	27.10.2000	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
13	10.05.2001	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
14	27.10.2001	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	0	1	0	0	0,2	1%	0,4
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
15	25.05.2002	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	2	0	0	0	0,3	1%	0,8
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0

**Tab. A-6:** Keimfähigkeitsversuche 1999 von *Lupinus polyphyllus*-Samen am Standort Leitgraben.  
Anzahl der potenziell keimfähigen Restsamen

<b>Keimfähigkeitsversuche Leitgraben</b>											
<b>(01.09.1999 - 27.10.2001) mit 6 Entnahmeterminen</b>											
<b>(25 Samen pro Säckchen)</b>											
<b>Anzahl der Restsamen:</b>											
Entnahme- termin:	Boden- tiefe	Wiederholungen						Mittel- wert	%	Standard- abweichung	
		1	2	3	4	5	6				
1	27.09.1999	0 cm	24	25	24	25	23	24	24,2	97%	0,8
		5 cm	25	25	24	23	24	22	23,8	95%	1,2
		10 cm	25	23	25	24	24	22	23,8	95%	1,2
2	27.10.1999	0 cm	20	24	24	23	24	weg	23,0	92%	1,7
		5 cm	24	22	23	22	21	19	21,8	87%	1,7
		10 cm	25	22	23	22	20	24	22,7	91%	1,8
3	27.04.2000	0 cm	6	4	2	3	3	3	3,5	14%	1,4
		5 cm	4	3	1	3	7	7	4,2	17%	2,4
		10 cm	3	6	6	5	2	3	4,2	17%	1,7
4	27.05.2000	0 cm	1	1	1	0	0	8	1,8	7%	3,1
		5 cm	3	4	3	1	4	5	3,3	13%	1,4
		10 cm	1	4	2	3	2	4	2,7	11%	1,2
5	10.05.2001	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	3	3	5	5	3	3,2	13%	1,8
		10 cm	2	5	1	1	5	4	3,0	12%	1,9
6	27.10.2001	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	2	1	5	4	2	4	3,0	12%	1,5
		10 cm	2	3	5	1	2	2	2,5	10%	1,4

**Tab. A-7:** Keimfähigkeitsversuche 1999 von *Lupinus polyphyllus*-Samen am Standort Leitgraben.  
Anzahl der sichtbaren Keimlinge zu den Entnahmeterminen

<b>Keimfähigkeitsversuche Leitgraben</b>											
<b>(01.09.1999 - 27.10.2001) mit 6 Entnahmeterminen</b>											
<b>(25 Samen pro Säckchen)</b>											
<b>Anzahl der Keimlinge:</b>											
Entnahme- termin:	Boden- tiefe	Wiederholungen						Mittel- wert	%	Standard- abweichung	
		1	2	3	4	5	6				
1	27.09.1999	0 cm	1	0	1	0	2	1	0,8	3%	0,8
		5 cm	0	0	1	2	1	3	1,2	5%	1,2
		10 cm	0	2	0	1	1	3	1,2	5%	1,2
2	27.10.1999	0 cm	1	1	1	1	2	1	1,2	5%	0,4
		5 cm	1	3	2	3	4	6	3,2	13%	1,7
		10 cm	0	3	2	3	5	1	2,3	9%	1,8
3	27.04.2000	0 cm	3	6	6	3	6	8	5,3	21%	2,0
		5 cm	7	14	12	7	12	6	9,7	39%	3,4
		10 cm	19	12	2	19	14	24	15,0	60%	7,6
4	27.05.2000	0 cm	0	3	0	0	0	4	1,2	5%	1,8
		5 cm	1	0	0	0	0	1	0,3	1%	0,5
		10 cm	0	0	0	0	0	1	0,2	1%	0,4
5	10.05.2001	0 cm	1	0	0	0	0	0	0,2	1%	0,4
		5 cm	2	3	0	0	0	0	0,8	3%	1,3
		10 cm	1	1	0	1	0	0	0,5	2%	0,5
6	27.10.2001	0 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0
		5 cm	0	0	1	0	0	0	0,2	1%	0,4
		10 cm	0	0	0	0	0	0	0,0	0%	0,0

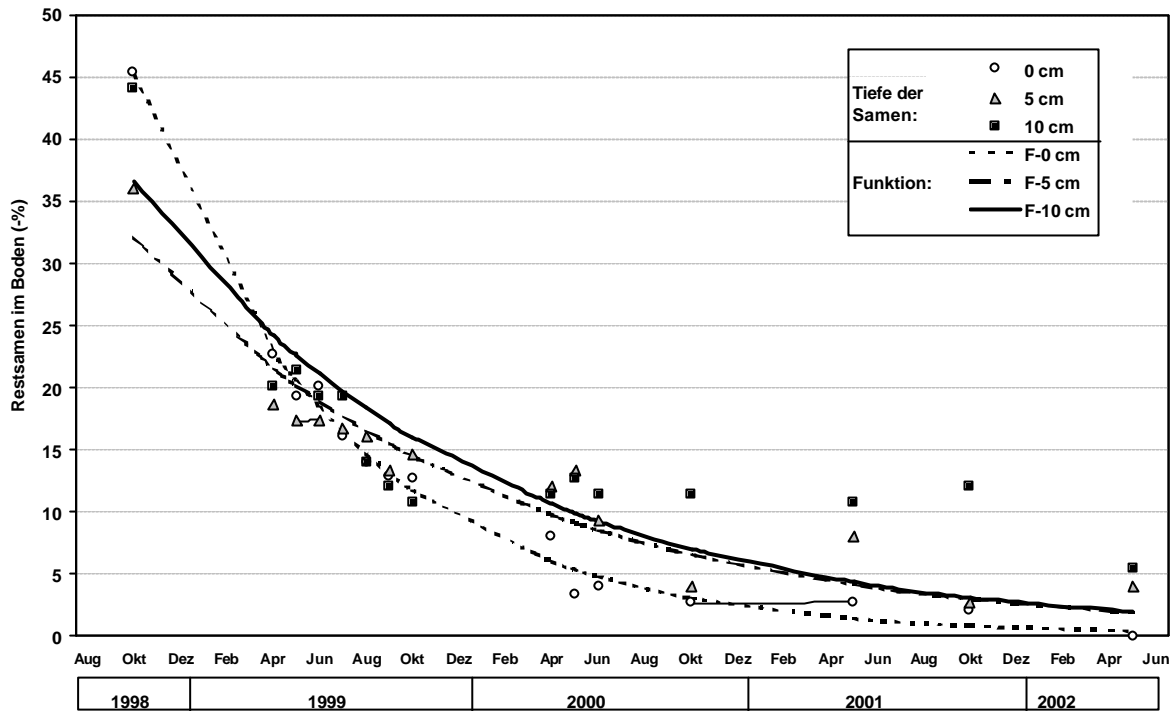


Abb. A-1: Mittelwerte potenziell keimfähiger Restsamen (%) von *Lupinus polyphyllus* im Untersuchungszeitraum August 1998 bis Juni 2002

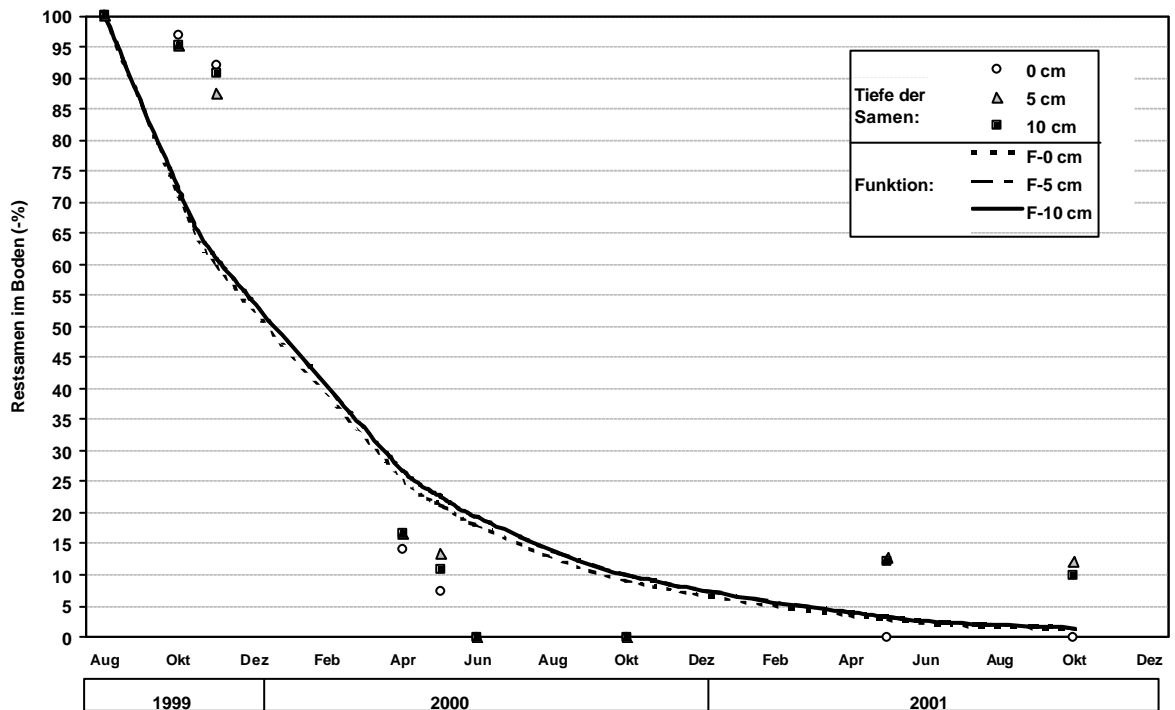


Abb. A-2: Mittelwerte potenziell keimfähiger Restsamen (%) von *Lupinus polyphyllus* im Untersuchungszeitraum August 1999 bis Dezember 2001



**Tab. A-9:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Stirnberg: Mischprobe aller Samen

Stirnberg	Temperatur	Datum	22.01.1998	29.01.1998	05.02.1998	12.02.1998	19.02.1998	26.02.1998	Summe
Lupinus polyphyllus		Woche	1	2	3	4	5	6	6
		Tage	1 - 7	8 - 14	15 - 21	16 - 28	29 - 35	36 - 42	6 42
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %
	<b>3 °C</b>	a1	0 0	4 16	0 0	1 4	0 0	1 4	6 24
		a2	2 8	1 4	1 4	2 8	1 4	0 0	7 28
		a3	1 4	0 0	3 12	1 4	2 8	2 8	9 36
		a4	0 0	2 8	3 12	1 4	1 4	2 8	9 36
		a5	3 12	0 0	0 0	0 0	2 8	1 4	6 24
		<b>Mittelwert</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>7,4 29,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,52 6,07</b>
	<b>7 °C</b>	b1	1 4	0 0	0 0	2 8	2 8	1 4	6 24
		b2	3 12	3 12	1 4	1 4	2 8	2 8	12 48
		b3	2 8	0 0	0 0	1 4	2 8	1 4	6 24
		b4	3 12	0 0	1 4	1 4	2 8	3 12	10 40
		b5	1 4	2 8	1 4	3 12	0 0	1 4	8 32
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>8,4 33,6</b>
		<b>Standardabw.</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>1,41 5,66</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>2,61 10,43</b>
	<b>10 °C</b>	c1	4 16	0 0	2 8	1 4	2 8	4 16	13 52
		c2	3 12	0 0	1 4	2 8	3 12	1 4	10 40
		c3	2 8	1 4	1 4	2 8	2 8	3 12	11 44
		c4	3 12	2 8	1 4	1 4	3 12	1 4	11 44
		c5	4 16	2 8	0 0	3 12	1 4	1 4	11 44
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,2 12,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>11,2 44,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,41 5,66</b>	<b>1,10 4,38</b>
	<b>15 °C</b>	d1	2 8	4 16	3 12	3 12	1 4	2 8	15 60
		d2	2 8	1 4	4 16	3 12	3 12	0 0	13 52
		d3	3 12	4 16	4 16	2 8	2 8	0 0	15 60
		d4	2 8	3 12	6 24	3 12	2 8	0 0	16 64
		d5	1 4	2 8	3 12	5 20	3 12	0 0	14 56
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>4,0 16,0</b>	<b>3,2 12,8</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>14,6 58,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>1,22 4,90</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,14 4,56</b>
	<b>20 °C</b>	e1	3 12	3 12	4 16	2 8	2 8	0 0	14 56
		e2	4 16	5 20	3 12	4 16	1 4	1 4	18 72
		e3	3 12	8 32	4 16	2 8	3 12	0 0	20 80
		e4	2 8	6 24	7 28	1 4	1 4	1 4	18 72
		e5	5 20	7 28	5 20	2 8	0 0	0 0	19 76
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,4 13,6</b>	<b>5,8 23,2</b>	<b>4,6 18,4</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>17,8 71,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>1,92 7,69</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>2,28 9,12</b>
	<b>25 °C</b>	f1	4 16	9 36	3 12	1 4	0 0	0 0	17 68
		f2	0 0	5 20	5 20	0 0	0 0	0 0	10 40
		f3	7 28	11 44	5 20	1 4	0 0	0 0	24 96
		f4	5 20	6 24	6 24	0 0	1 4	0 0	18 72
		f5	2 8	6 24	4 16	2 8	0 0	0 0	14 56
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,6 14,4</b>	<b>7,4 29,6</b>	<b>4,6 18,4</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>16,6 66,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,70 10,81</b>	<b>2,51 10,04</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>5,18 20,71</b>
	<b>30 °C</b>	g1	5 20	3 12	3 12	0 0	0 0	0 0	11 44
		g2	6 24	7 28	1 4	0 0	1 4	0 0	15 60
		g3	3 12	9 36	4 16	2 8	0 0	0 0	18 72
		g4	1 4	12 48	2 8	1 4	1 4	0 0	17 68
		g5	1 4	8 32	4 16	0 0	0 0	0 0	13 52
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,2 12,8</b>	<b>7,8 31,2</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>14,8 59,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,28 9,12</b>	<b>3,27 13,08</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>2,86 11,45</b>
	<b>35 °C</b>	h1	2 8	0 0					2 8
		h2	1 4	0 0					1 4
		h3	0 0	0 0					0 0
		h4	1 4	0 0					1 4
		h5	0 0	0 0					0 0
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,0 0,0</b>					<b>0,8 3,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,00 0,00</b>					<b>0,84 3,35</b>
	<b>5/15 °C</b>	i1	1 4	4 16	5 20	4 16	1 4	0 0	15 60
		i2	1 4	6 24	4 16	4 16	0 0	0 0	15 60
		i3	1 4	2 8	4 16	5 20	3 12	0 0	15 60
		i4	1 4	3 12	5 20	6 24	0 0	0 0	15 60
		i5	0 0	2 8	5 20	5 20	4 16	3 12	19 76
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>3,4 13,6</b>	<b>4,6 18,4</b>	<b>4,8 19,2</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>15,8 63,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>1,79 7,16</b>

**Tab. A-10:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Leitgraben: Haupttrieb (oben)

LHO	Temperatur	Datum	22.01.1998	29.01.1998	05.02.1998	12.02.1998	19.02.1998	26.02.1998	Summe
Lupinus polyphyllus		Woche	1	2	3	4	5	6	6
		Tage	1 - 7	8 - 14	15 - 21	16 - 28	29 - 35	36 - 42	6 42
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %
	<b>3 °C</b>	a1	1 4	2 8	3 12	1 4	2 8	2 8	11 44
		a2	3 12	0 0	0 0	2 8	2 8	2 8	9 36
		a3	2 8	0 0	1 4	2 8	0 0	5 20	10 40
		a4	2 8	4 16	1 4	1 4	3 12	1 4	12 48
		a5	2 8	2 8	1 4	0 0	3 12	2 8	10 40
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>10,4 41,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,22 4,90</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>1,14 4,56</b>
	<b>7 °C</b>	b1	7 28	1 4	1 4	2 8	1 4	0 0	12 48
		b2	3 12	1 4	2 8	0 0	2 8	1 4	9 36
		b3	2 8	1 4	2 8	1 4	6 24	1 4	13 52
		b4	4 16	0 0	3 12	2 8	2 8	1 4	12 48
		b5	6 24	1 4	1 4	0 0	4 16	2 8	14 56
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,4 17,6</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>12,0 48,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,07 8,29</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>2,00 8,00</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,87 7,48</b>
	<b>10 °C</b>	c1	2 8	1 4	1 4	1 4	2 8	4 16	11 44
		c2	2 8	0 0	0 0	2 8	2 8	3 12	9 36
		c3	2 8	1 4	1 4	3 12	1 4	2 8	10 40
		c4	1 4	0 0	1 4	3 12	3 12	2 8	10 40
		c5	3 12	0 0	1 4	3 12	3 12	2 8	12 48
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>10,4 41,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,14 4,56</b>
	<b>15 °C</b>	d1	1 4	7 28	3 12	3 12	1 4	1 4	16 64
		d2	3 12	3 12	1 4	5 20	1 4	0 0	13 52
		d3	7 28	2 8	1 4	2 8	5 20	2 8	19 76
		d4	7 28	4 16	3 12	4 16	1 4	2 8	21 84
		d5	2 8	4 16	1 4	1 4	3 12	0 0	11 44
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,0 16,0</b>	<b>4,0 16,0</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>16,0 64,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,83 11,31</b>	<b>1,87 7,48</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>1,58 6,32</b>	<b>1,79 7,16</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>4,12 16,49</b>
	<b>20 °C</b>	e1	1 4	4 16	2 8	5 20	1 4	3 12	16 64
		e2	2 8	1 4	3 12	7 28	7 28	1 4	21 84
		e3	2 8	3 12	6 24	6 24	2 8	0 0	19 76
		e4	5 20	3 12	1 4	6 24	3 12	1 4	19 76
		e5	3 12	2 8	5 20	5 20	2 8	0 0	17 68
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>3,4 13,6</b>	<b>5,8 23,2</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>18,4 73,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>2,07 8,29</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>2,35 9,38</b>	<b>1,22 4,90</b>	<b>1,95 7,80</b>
	<b>25 °C</b>	f1	8 32	10 40	4 16	0 0	0 0	0 0	22 88
		f2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
		f3	6 24	9 36	3 12	2 8	0 0	0 0	20 80
		f4	9 36	8 32	1 4	1 4	0 0	0 0	19 76
		f5	6 24	8 32	4 16	1 4	1 4	0 0	20 80
		<b>Mittelwert</b>	<b>5,8 23,2</b>	<b>7,0 28,0</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>16,2 64,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>3,49 13,97</b>	<b>4,00 16,00</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>9,12 36,49</b>
	<b>30 °C</b>	f1	7 28	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	7 28
		f2	8 32	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	8 32
		f3	6 24	6 24	0 0	0 0	0 0	0 0	12 48
		f4	4 16	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	4 16
		f5	7 28	1 4	0 0	0 0	0 0	0 0	8 32
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,4 25,6</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>7,8 31,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>2,61 10,43</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>2,86 11,45</b>
	<b>35 °C</b>	f1	0 0	0 0					0 0
		f2	0 0	0 0					0 0
		f3	0 0	0 0					0 0
		f4	0 0	0 0					0 0
		f5	1 4	0 0					1 4
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>0,0 0,0</b>					<b>0,2 0,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,00 0,00</b>					<b>0,45 1,79</b>
	<b>5/15 °C</b>	f1	5 20	6 24	4 16	1 4	0 0	0 0	16 64
		f2	3 12	5 20	5 20	4 16	4 16	0 0	21 84
		f3	5 20	8 32	6 24	0 0	0 0	0 0	19 76
		f4	2 8	11 44	2 8	4 16	1 4	0 0	20 80
		f5	3 12	8 32	4 16	2 8	1 4	0 0	18 72
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,6 14,4</b>	<b>7,6 30,4</b>	<b>4,2 16,8</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>18,8 75,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>2,30 9,21</b>	<b>1,48 5,93</b>	<b>1,79 7,16</b>	<b>1,64 6,57</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>1,92 7,69</b>

**Tab. A-11:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Stirnberg: Haupttrieb (oben)

SHO	Temperatur	Datum	22.01.1998	29.01.1998	05.02.1998	12.02.1998	19.02.1998	26.02.1998	Summe
Lupinus polyphyllus		Woche	1	2	3	4	5	6	6
		Tage	1 - 7	8 - 14	15 - 21	16 - 28	29 - 35	36 - 42	6 42
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %
	<b>3 °C</b>	a1	0 0	4 16	0 0	1 4	0 0	0 0	5 20
		a2	2 8	1 4	1 4	2 8	1 4	0 0	7 28
		a3	1 4	0 0	4 16	1 4	2 8	2 8	10 40
		a4	0 0	0 0	3 12	1 4	0 0	2 8	6 24
		a5	3 12	0 0	0 0	0 0	2 8	1 4	6 24
		<b>Mittelwert</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>6,8 27,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>1,73 6,93</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>1,92 7,69</b>
	<b>7 °C</b>	b1	4 16	2 8	0 0	3 12	2 8	0 0	11 44
		b2	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	3 12	13 52
		b3	4 16	2 8	2 8	2 8	3 12	2 8	15 60
		b4	1 4	1 4	0 0	2 8	3 12	0 0	7 28
		b5	2 8	0 0	0 0	2 8	3 12	5 20	12 48
		<b>Mittelwert</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>11,6 46,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>2,12 8,49</b>	<b>2,97 11,87</b>
	<b>10 °C</b>	c1	5 20	2 8	1 4	1 4	2 8	3 12	14 56
		c2	4 16	2 8	2 8	2 8	2 8	0 0	12 48
		c3	5 20	2 8	1 4	5 20	2 8	3 12	18 72
		c4	2 8	2 8	1 4	0 0	5 20	5 20	15 60
		c5	2 8	2 8	3 12	2 8	5 20	3 12	17 68
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,6 14,4</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>3,2 12,8</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>15,2 60,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,87 7,48</b>	<b>1,64 6,57</b>	<b>1,79 7,16</b>	<b>2,39 9,55</b>
	<b>15 °C</b>	d1	5 20	2 8	3 12	1 4	2 8	1 4	14 56
		d2	4 16	3 12	0 0	5 20	2 8	4 16	18 72
		d3	4 16	3 12	2 8	2 8	2 8	0 0	13 52
		d4	4 16	3 12	5 20	5 20	0 0	1 4	18 72
		d5	5 20	4 16	2 8	0 0	3 12	2 8	16 64
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,4 17,6</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>15,8 63,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>2,30 9,21</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>2,28 9,12</b>
	<b>20 °C</b>	f1	4 16	7 28	4 16	2 8	2 8	0 0	19 76
		f2	6 24	5 20	4 16	4 16	0 0	0 0	19 76
		f3	9 36	5 20	2 8	2 8	1 4	0 0	19 76
		f4	7 28	4 16	7 28	3 12	0 0	0 0	21 84
		f5	7 28	6 24	1 4	2 8	0 0	0 0	16 64
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,6 26,4</b>	<b>5,4 21,6</b>	<b>3,6 14,4</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>18,8 75,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>2,30 9,21</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>1,79 7,16</b>
	<b>25 °C</b>	f1	8 32	7 28	3 12	3 12	0 0	0 0	21 84
		f2	6 24	9 36	3 12	0 0	0 0	0 0	18 72
		f3	4 16	13 52	0 0	0 0	0 0	0 0	17 68
		f4	8 32	5 20	5 20	0 0	0 0	0 0	18 72
		f5	7 28	9 36	3 12	1 4	0 0	0 0	20 80
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,6 26,4</b>	<b>8,6 34,4</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>18,8 75,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>2,97 11,87</b>	<b>1,79 7,16</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>1,64 6,57</b>
	<b>30 °C</b>	f1	11 44	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	11 44
		f2	5 20	9 36	0 0	0 0	2 8	0 0	16 64
		f3	9 36	7 28	2 8	0 0	0 0	0 0	18 72
		f4	7 28	2 8	0 0	0 0	0 0	0 0	9 36
		f5	6 24	10 40	0 0	0 0	0 0	0 0	16 64
		<b>Mittelwert</b>	<b>7,6 30,4</b>	<b>5,6 22,4</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>14,0 56,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,41 9,63</b>	<b>4,39 17,57</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>3,81 15,23</b>
	<b>35 °C</b>	f1	1 4	0 0	<b>Denaturiert !</b>				1 4
		f2	2 8	2 8					4 16
		f3	0 0	0 0					0 0
		f4	0 0	0 0					0 0
		f5	0 0	0 0					0 0
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>1,0 4,0</b>				
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,73 6,93</b>				
	<b>5/15 °C</b>	f1	6 24	5 20	6 24	0 0	0 0	0 0	17 68
		f2	5 20	8 32	0 0	1 4	0 0	0 0	14 56
		f3	5 20	8 32	6 24	3 12	1 4	0 0	23 92
		f4	5 20	8 32	2 8	2 8	1 4	1 4	19 76
		f5	3 12	7 28	6 24	2 8	0 0	0 0	18 72
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,8 19,2</b>	<b>7,2 28,8</b>	<b>4,0 16,0</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>18,2 72,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>2,83 11,31</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>3,27 13,08</b>

**Tab. A-12:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Leitgraben: Haupttrieb (unten)

LHU	Temperatur	Datum	22.01.1998		29.01.1998		05.02.1998		12.02.1998		19.02.1998		26.02.1998		Summe			
Lupinus polyphyllus		Woche Taae	1 1 - 7		2 8 - 14		3 15 - 21		4 16 - 28		5 29 - 35		6 36 - 42		6 42			
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%		
	<b>3 °C</b>	a1	3	12	0	0	0	0	0	0	1	4	2	8	6	24		
		a2	4	16	1	4	1	4	0	0	5	20	1	4	12	48		
		a3	5	20	1	4	1	4	1	4	1	4	3	12	12	48		
		a4	4	16	0	0	1	4	2	8	2	8	2	8	11	44		
		a5	4	16	2	8	0	0	0	0	1	4	5	20	12	48		
		Mittelwert	4,0	16,0	0,8	3,2	0,6	2,4	0,6	2,4	2,0	8,0	2,6	10,4	10,6	42,4		
		Standardabweichung	0,71	2,83	0,84	3,35	0,55	2,19	0,89	3,58	1,73	6,93	1,52	6,07	2,61	10,43		
	<b>7 °C</b>	b1	1	4	1	4	3	12	3	12	0	0	2	8	10	40		
		b2	1	4	1	4	0	0	1	4	1	4	1	4	5	20		
		b3	0	0	1	4	1	4	1	4	1	4	3	12	7	28		
		b4	3	12	1	4	1	4	1	4	2	8	2	8	10	40		
		b5	1	4	1	4	0	0	3	12	1	4	4	16	10	40		
		Mittelwert	1,2	4,8	1,0	4,0	1,0	4,0	1,8	7,2	1,0	4,0	2,4	9,6	8,4	33,6		
		Standardabweichung	1,10	4,38	0,00	0,00	1,22	4,90	1,10	4,38	0,71	2,83	1,14	4,56	2,30	9,21		
	<b>10 °C</b>	c1	6	24	2	8	0	0	3	12	3	12	3	12	17	68		
		c2	2	8	2	8	2	8	1	4	3	12	1	4	11	44		
		c3	2	8	1	4	0	0	8	32	1	4	0	0	12	48		
		c4	3	12	2	8	2	8	1	4	2	8	1	4	11	44		
		c5	2	8	0	0	2	8	3	12	5	20	0	0	12	48		
		Mittelwert	3,0	12,0	1,4	5,6	1,2	4,8	3,2	12,8	2,8	11,2	1,0	4,0	12,6	50,4		
		Standardabweichung	1,73	6,93	0,89	3,58	1,10	4,38	2,86	11,45	1,48	5,93	1,22	4,90	2,51	10,04		
	<b>15 °C</b>	d1	5	20	3	12	0	0	2	8	3	12	1	4	14	56		
		d2	3	12	2	8	4	16	3	12	3	12	2	8	17	68		
		d3	10	40	3	12	1	4	1	4	3	12	0	0	18	72		
		d4	2	8	2	8	8	32	2	8	2	8	2	8	18	72		
		d5	4	16	0	0	2	8	1	4	6	24	2	8	15	60		
		Mittelwert	4,8	19,2	2,0	8,0	3,0	12,0	1,8	7,2	3,4	13,6	1,4	5,6	16,4	65,6		
		Standardabweichung	3,11	12,46	1,22	4,90	3,16	12,65	0,84	3,35	1,52	6,07	0,89	3,58	1,82	7,27		
	<b>20 °C</b>	f1	4	16	5	20	5	20	1	4	1	4	0	0	16	64		
		f2	12	48	7	28	5	20	0	0	0	0	0	0	24	96		
		f3	9	36	3	12	4	16	1	4	0	0	0	0	17	68		
		f4	6	24	5	20	3	12	3	12	1	4	0	0	18	72		
		f5	8	32	3	12	5	20	3	12	1	4	0	0	20	80		
		Mittelwert	7,8	31,2	4,6	18,4	4,4	17,6	1,6	6,4	0,6	2,4	0,0	0,0	19,0	76,0		
		Standardabweichung	3,03	12,13	1,67	6,69	0,89	3,58	1,34	5,37	0,55	2,19	0,00	0,00	3,16	12,65		
	<b>25 °C</b>	f1	7	28	6	24	5	20	0	0	0	0	1	4	19	76		
		f2	8	32	9	36	2	8	1	4	0	0	0	0	20	80		
		f3	7	28	5	20	5	20	1	4	0	0	0	0	18	72		
		f4	7	28	9	36	4	16	0	0	0	0	0	0	20	80		
		f5	8	32	9	36	3	12	0	0	0	0	0	0	20	80		
		Mittelwert	7,4	29,6	7,6	30,4	3,8	15,2	0,4	1,6	0,0	0,0	0,2	0,8	19,4	77,6		
		Standardabweichung	0,55	2,19	1,95	7,80	1,30	5,22	0,55	2,19	0,00	0,00	0,45	1,79	0,89	3,58		
	<b>30 °C</b>	f1	8	32	8	32	0	0	0	0	0	0	0	0	16	64		
		f2	12	48	4	16	0	0	0	0	0	0	0	0	16	64		
		f3	9	36	6	24	0	0	0	0	0	0	0	0	15	60		
		f4	13	52	7	28	1	4	0	0	0	0	0	0	21	84		
		f5	7	28	11	44	0	0	1	4	0	0	0	0	19	76		
		Mittelwert	9,8	39,2	7,2	28,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4	69,6		
		Standardabweichung	2,59	10,35	2,59	10,35	0,45	1,79	0,45	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	10,04		
	<b>35 °C</b>	f1	0	0	0	0	<b>Denaturiert !</b>										0	0
		f2	0	0	0	0											0	0
		f3	0	0	0	0											0	0
		f4	3	12	0	0											3	12
		f5	0	0	0	0											0	0
		Mittelwert	0,6	2,4	0,0	0,0								0,6	2,4			
		Standardabweichung	1,34	5,37	0,00	0,00								1,34	5,37			
	<b>5/15 °C</b>	f1	7	28	4	16	3	12	4	16	1	4	0	0	19	76		
		f2	6	24	8	32	7	28	3	12	0	0	0	0	24	96		
		f3	4	16	5	20	4	16	1	4	3	12	0	0	17	68		
		f4	7	28	11	44	3	12	1	4	0	0	0	0	22	88		
		f5	7	28	8	32	2	8	1	4	0	0	0	0	18	72		
		Mittelwert	6,2	24,8	7,2	28,8	3,8	15,2	2,0	8,0	0,8	3,2	0,0	0,0	20,0	80,0		
		Standardabweichung	1,30	5,22	2,77	11,10	1,92	7,69	1,41	5,66	1,30	5,22	0,00	0,00	2,92	11,66		

**Tab. A-13:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Stirnberg: Haupttrieb (unten)

SHU	Temperatur	Datum	22.01.1998		29.01.1998		05.02.1998		12.02.1998		19.02.1998		26.02.1998		Summe			
Lupinus polyphyllus		Woche	1		2		3		4		5		6		6			
		Tage	1 - 7		8 - 14		15 - 21		16 - 28		29 - 35		36 - 42		42			
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%		
	<b>3 °C</b>	a1	4	16	1	4	2	8	2	8	1	4	2	8	12	48		
		a2	1	4	3	12	0	0	0	0	1	4	2	8	7	28		
		a3	0	0	1	4	1	4	1	4	2	8	4	16	9	36		
		a4	2	8	4	16	1	4	0	0	1	4	0	0	8	32		
		a5	0	0	3	12	1	4	1	4	2	8	3	12	10	40		
		Mittelwert	1,4	5,6	2,4	9,6	1,0	4,0	0,8	3,2	1,4	5,6	2,2	8,8	9,2	36,8		
		Standardabweichung	1,67	6,69	1,34	5,37	0,71	2,83	0,84	3,35	0,55	2,19	1,48	5,93	1,92	7,69		
	<b>7 °C</b>	b1	3	12	0	0	1	4	0	0	2	8	3	12	9	36		
		b2	8	32	0	0	1	4	0	0	1	4	1	4	11	44		
		b3	4	16	0	0	1	4	2	8	3	12	2	8	12	48		
		b4	1	4	1	4	0	0	1	4	5	20	3	12	11	44		
		b5	6	24	0	0	1	4	3	12	1	4	2	8	13	52		
		Mittelwert	4,4	17,6	0,2	0,8	0,8	3,2	1,2	4,8	2,4	9,6	2,2	8,8	11,2	44,8		
		Standardabweichung	2,70	10,81	0,45	1,79	0,45	1,79	1,30	5,22	1,67	6,69	0,84	3,35	1,48	5,93		
	<b>10 °C</b>	c1	5	20	0	0	0	0	0	0	4	16	5	20	14	56		
		c2	4	16	1	4	2	8	2	8	4	16	1	4	14	56		
		c3	2	8	0	0	0	0	3	12	4	16	4	16	13	52		
		c4	2	8	3	12	1	4	1	4	2	8	1	4	10	40		
		c5	3	12	0	0	0	0	4	16	2	8	1	4	10	40		
		Mittelwert	3,2	12,8	0,8	3,2	0,6	2,4	2,0	8,0	3,2	12,8	2,4	9,6	12,2	48,8		
		Standardabweichung	1,30	5,22	1,30	5,22	0,89	3,58	1,58	6,32	1,10	4,38	1,95	7,80	2,05	8,20		
	<b>15 °C</b>	d1	5	20	3	12	4	16	2	8	4	16	2	8	20	80		
		d2	4	16	3	12	3	12	1	4	3	12	0	0	14	56		
		d3	3	12	2	8	2	8	10	40	0	0	1	4	18	72		
		d4	7	28	2	8	3	12	4	16	3	12	1	4	20	80		
		d5	4	16	1	4	2	8	5	20	1	4	1	4	14	56		
		Mittelwert	4,6	18,4	2,2	8,8	2,8	11,2	4,4	17,6	2,2	8,8	1,0	4,0	17,2	68,8		
		Standardabweichung	1,52	6,07	0,84	3,35	0,84	3,35	3,51	14,03	1,64	6,57	0,71	2,83	3,03	12,13		
	<b>20 °C</b>	f1	6	24	5	20	4	16	2	8	0	0	0	0	17	68		
		f2	5	20	7	28	6	24	3	12	0	0	0	0	21	84		
		f3	7	28	5	20	6	24	1	4	0	0	0	0	19	76		
		f4	5	20	10	40	5	20	0	0	0	0	0	0	20	80		
		f5	5	20	3	12	9	36	3	12	1	4	0	0	21	84		
		Mittelwert	5,6	22,4	6,0	24,0	6,0	24,0	1,8	7,2	0,2	0,8	0,0	0,0	19,6	78,4		
		Standardabweichung	0,89	3,58	2,65	10,58	1,87	7,48	1,30	5,22	0,45	1,79	0,00	0,00	1,67	6,69		
	<b>25 °C</b>	f1	11	44	8	32	4	16	0	0	0	0	0	0	23	92		
		f2	12	48	5	20	1	4	0	0	0	0	0	0	18	72		
		f3	11	44	4	16	4	16	0	0	0	0	0	0	19	76		
		f4	11	44	5	20	2	8	0	0	0	0	0	0	18	72		
		f5	12	48	4	16	1	4	1	4	0	0	0	0	18	72		
		Mittelwert	11,4	45,6	5,2	20,8	2,4	9,6	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2	76,8		
		Standardabweichung	0,55	2,19	1,64	6,57	1,52	6,07	0,45	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	8,67		
	<b>30 °C</b>	f1	7	28	7	28	0	0	0	0	0	0	0	0	14	56		
		f2	9	36	4	16	0	0	0	0	0	0	0	0	13	52		
		f3	11	44	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	13	52		
		f4	7	28	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	32		
		f5	8	32	8	32	0	0	0	0	0	0	0	0	16	64		
		Mittelwert	8,4	33,6	4,4	17,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	51,2		
		Standardabweichung	1,67	6,69	3,05	12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	11,80		
	<b>35 °C</b>	f1	0	0	0	0	<b>Denaturiert !</b>										0	0
		f2	3	12	0	0											0	0
		f3	1	4	0	0											0	0
		f4	0	0	0	0											0	0
		f5	0	0	0	0											0	0
		Mittelwert	0,8	3,2	0,0	0,0									0,8	3,2		
		Standardabweichung	1,30	5,22	0,00	0,00									1,30	5,22		
	<b>5/15 °C</b>	f1	5	20	8	32	4	16	3	12	1	4	0	0	21	84		
		f2	7	28	6	24	4	16	1	4	0	0	0	0	18	72		
		f3	6	24	4	16	6	24	1	4	2	8	0	0	19	76		
		f4	8	32	6	24	6	24	2	8	0	0	0	0	22	88		
		f5	6	24	6	24	3	12	4	16	2	8	0	0	21	84		
		Mittelwert	6,4	25,6	6,0	24,0	4,6	18,4	2,2	8,8	1,0	4,0	0,0	0,0	20,2	80,8		
		Standardabweichung	1,14	4,56	1,41	5,66	1,34	5,37	1,30	5,22	1,00	4,00	0,00	0,00	1,64	6,57		

**Tab. A-14:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Leitgraben: Seitentriebe

LS	Temperatur	Datum	22.01.1998		29.01.1998		05.02.1998		12.02.1998		19.02.1998		26.02.1998		Summe			
Lupinus polyphyllus		Woche	1		2		3		4		5		6		6			
		Tage	1 - 7		8 - 14		15 - 21		16 - 28		29 - 35		36 - 42		42			
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%		
	<b>3 °C</b>	a1	0	0	2	8	1	4	2	8	1	4	2	8	8	32		
		a2	0	0	0	0	2	8	1	4	1	4	3	12	7	28		
		a3	0	0	3	12	0	0	1	4	0	0	1	4	5	20		
		a4	2	8	2	8	3	12	0	0	1	4	3	12	11	44		
		a5	3	12	1	4	2	8	2	8	1	4	3	12	12	48		
		<b>Mittelwert</b>	<b>1,0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>9,6</b>	<b>8,6</b>	<b>34,4</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,41</b>	<b>5,66</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>2,88</b>	<b>11,52</b>		
	<b>7 °C</b>	b1	3	12	0	0	2	8	2	8	3	12	2	8	12	48		
		b2	5	20	1	4	2	8	2	8	1	4	2	8	13	52		
		b3	4	16	1	4	3	12	0	0	2	8	0	0	10	40		
		b4	2	8	2	8	2	8	1	4	3	12	0	0	10	40		
		b5	2	8	1	4	3	12	1	4	5	20	1	4	13	52		
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,2</b>	<b>12,8</b>	<b>1,0</b>	<b>4,0</b>	<b>2,4</b>	<b>9,6</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>2,8</b>	<b>11,2</b>	<b>1,0</b>	<b>4,0</b>	<b>11,6</b>	<b>46,4</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,30</b>	<b>5,22</b>	<b>0,71</b>	<b>2,83</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>1,48</b>	<b>5,93</b>	<b>1,00</b>	<b>4,00</b>	<b>1,52</b>	<b>6,07</b>		
	<b>10 °C</b>	c1	4	16	0	0	1	4	1	4	2	8	0	0	8	32		
		c2	3	12	1	4	0	0	5	20	2	8	1	4	12	48		
		c3	5	20	1	4	1	4	1	4	4	16	1	4	13	52		
		c4	4	16	0	0	1	4	2	8	3	12	1	4	11	44		
		c5	2	8	0	0	3	12	1	4	0	0	3	12	9	36		
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,6</b>	<b>14,4</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>2,0</b>	<b>8,0</b>	<b>2,2</b>	<b>8,8</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>10,6</b>	<b>42,4</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>1,10</b>	<b>4,38</b>	<b>1,73</b>	<b>6,93</b>	<b>1,48</b>	<b>5,93</b>	<b>1,10</b>	<b>4,38</b>	<b>2,07</b>	<b>8,29</b>		
	<b>15 °C</b>	d1	5	20	0	0	0	0	1	4	5	20	1	4	12	48		
		d2	6	24	2	8	2	8	2	8	0	0	2	8	14	56		
		d3	3	12	2	8	2	8	3	12	3	12	1	4	14	56		
		d4	3	12	5	20	3	12	3	12	2	8	1	4	17	68		
		d5	3	12	1	4	0	0	2	8	8	32	1	4	15	60		
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,0</b>	<b>16,0</b>	<b>2,0</b>	<b>8,0</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>	<b>2,2</b>	<b>8,8</b>	<b>3,6</b>	<b>14,4</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>14,4</b>	<b>57,6</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,41</b>	<b>5,66</b>	<b>1,87</b>	<b>7,48</b>	<b>1,34</b>	<b>5,37</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>3,05</b>	<b>12,20</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>1,82</b>	<b>7,27</b>		
	<b>20 °C</b>	f1	7	28	5	20	3	12	3	12	0	0	0	0	18	72		
		f2	8	32	4	16	4	16	2	8	1	4	0	0	19	76		
		f3	6	24	9	36	5	20	0	0	0	0	0	0	20	80		
		f4	5	20	4	16	3	12	0	0	0	0	0	0	12	48		
		f5	5	20	7	28	8	32	2	8	0	0	0	0	22	88		
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,2</b>	<b>24,8</b>	<b>5,8</b>	<b>23,2</b>	<b>4,6</b>	<b>18,4</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>18,2</b>	<b>72,8</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,30</b>	<b>5,22</b>	<b>2,17</b>	<b>8,67</b>	<b>2,07</b>	<b>8,29</b>	<b>1,34</b>	<b>5,37</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,77</b>	<b>15,07</b>		
	<b>25 °C</b>	f1	6	24	6	24	4	16	2	8	0	0	0	0	18	72		
		f2	10	40	2	8	5	20	1	4	1	4	1	4	20	80		
		f3	9	36	7	28	3	12	0	0	0	0	0	0	19	76		
		f4	7	28	5	20	4	16	1	4	0	0	0	0	17	68		
		f5	7	28	6	24	4	16	2	8	0	0	0	0	19	76		
		<b>Mittelwert</b>	<b>7,8</b>	<b>31,2</b>	<b>5,2</b>	<b>20,8</b>	<b>4,0</b>	<b>16,0</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>18,6</b>	<b>74,4</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,64</b>	<b>6,57</b>	<b>1,92</b>	<b>7,69</b>	<b>0,71</b>	<b>2,83</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>		
	<b>30 °C</b>	f1	9	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	36		
		f2	7	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	28		
		f3	4	16	4	16	0	0	0	0	0	0	0	0	8	32		
		f4	9	36	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	48		
		f5	8	32	8	32	2	8	0	0	0	0	0	0	18	72		
		<b>Mittelwert</b>	<b>7,4</b>	<b>29,6</b>	<b>3,0</b>	<b>12,0</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>10,8</b>	<b>43,2</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,07</b>	<b>8,29</b>	<b>3,32</b>	<b>13,27</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>4,44</b>	<b>17,75</b>		
	<b>35 °C</b>	f1	0	0	0	0	<b>Denaturiert !</b>										0	0
		f2	0	0	0	0											0	0
		f3	0	0	0	0											0	0
		f4	0	0	0	0											0	0
		f5	0	0	0	0											0	0
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>								<b>0,0</b>	<b>0,0</b>			
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>								<b>0,00</b>	<b>0,00</b>			
	<b>5/15 °C</b>	f1	3	12	7	28	4	16	3	12	0	0	0	0	17	68		
		f2	7	28	7	28	2	8	0	0	0	0	1	4	17	68		
		f3	7	28	5	20	2	8	0	0	0	0	1	4	15	60		
		f4	7	28	6	24	2	8	0	0	0	0	0	0	15	60		
		f5	8	32	7	28	3	12	0	0	1	4	0	0	19	76		
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,4</b>	<b>25,6</b>	<b>6,4</b>	<b>25,6</b>	<b>2,6</b>	<b>10,4</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>16,6</b>	<b>66,4</b>		
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,95</b>	<b>7,80</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>1,34</b>	<b>5,37</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>1,67</b>	<b>6,69</b>		

**Tab. A-15:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Stirnberg: Seitentriebe

SS	Temperatur	Datum	22.01.1998	29.01.1998	05.02.1998	12.02.1998	19.02.1998	26.02.1998	Summe
Lupinus polyphyllus		Woche	1	2	3	4	5	6	6
5 Parallelen à 25 Samen		Tage	1 - 7	8 - 14	15 - 21	16 - 28	29 - 35	36 - 42	6 42
		Parallele	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %
	<b>3 °C</b>	a1	1 4	0 0	2 8	1 4	2 8	2 8	8 32
		a2	4 16	2 8	1 4	1 4	0 0	1 4	9 36
		a3	2 8	3 12	0 0	4 16	0 0	2 8	11 44
		a4	0 0	0 0	1 4	0 0	1 4	2 8	4 16
		a5	0 0	1 4	1 4	1 4	2 8	0 0	5 20
		<b>Mittelwert</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>7,4 29,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>2,88 11,52</b>
	<b>7 °C</b>	b1	4 16	0 0	1 4	1 4	5 20	2 8	13 52
		b2	4 16	1 4	2 8	0 0	3 12	3 12	13 52
		b3	1 4	0 0	0 0	2 8	3 12	2 8	8 32
		b4	2 8	2 8	0 0	5 20	2 8	5 20	16 64
		b5	4 16	0 0	2 8	2 8	1 4	2 8	11 44
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>12,2 48,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,41 5,66</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>1,87 7,48</b>	<b>1,48 5,93</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>2,95 11,80</b>
	<b>10 °C</b>	c1	3 12	3 12	1 4	5 20	5 20	2 8	19 76
		c2	2 8	1 4	1 4	2 8	0 0	1 4	7 28
		c3	0 0	1 4	2 8	1 4	2 8	4 16	10 40
		c4	2 8	3 12	0 0	1 4	2 8	2 8	10 40
		c5	1 4	0 0	0 0	3 12	2 8	0 0	6 24
		<b>Mittelwert</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>2,2 8,8</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>10,4 41,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>1,79 7,16</b>	<b>1,48 5,93</b>	<b>5,13 20,51</b>
	<b>15 °C</b>	d1	5 20	3 12	1 4	3 12	0 0	3 12	15 60
		d2	5 20	3 12	0 0	5 20	5 20	1 4	19 76
		d3	4 16	2 8	1 4	2 8	0 0	4 16	13 52
		d4	4 16	2 8	5 20	3 12	4 16	3 12	21 84
		d5	3 12	4 16	3 12	1 4	0 0	2 8	13 52
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,2 16,8</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>2,8 11,2</b>	<b>1,8 7,2</b>	<b>2,6 10,4</b>	<b>16,2 64,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>2,00 8,00</b>	<b>1,48 5,93</b>	<b>2,49 9,96</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>3,63 14,53</b>
	<b>20 °C</b>	f1	5 20	5 20	6 24	2 8	2 8	0 0	20 80
		f2	6 24	5 20	6 24	0 0	0 0	1 4	18 72
		f3	10 40	6 24	4 16	1 4	0 0	0 0	21 84
		f4	5 20	10 40	3 12	3 12	0 0	0 0	21 84
		f5	7 28	6 24	4 16	1 4	0 0	0 0	18 72
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,6 26,4</b>	<b>6,4 25,6</b>	<b>4,6 18,4</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>19,6 78,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,07 8,29</b>	<b>2,07 8,29</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>1,52 6,07</b>
	<b>25 °C</b>	f1	9 36	7 28	1 4	0 0	1 4	0 0	18 72
		f2	16 64	4 16	0 0	0 0	0 0	0 0	20 80
		f3	5 20	2 8	8 32	2 8	1 4	0 0	18 72
		f4	5 20	13 52	3 12	0 0	0 0	0 0	21 84
		f5	6 24	5 20	7 28	2 8	0 0	0 0	20 80
		<b>Mittelwert</b>	<b>8,2 32,8</b>	<b>6,2 24,8</b>	<b>3,8 15,2</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>19,4 77,6</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>4,66 18,63</b>	<b>4,21 16,83</b>	<b>3,56 14,25</b>	<b>1,10 4,38</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>1,34 5,37</b>
	<b>30 °C</b>	f1	8 32	1 4	0 0	0 0	0 0	0 0	9 36
		f2	5 20	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	5 20
		f3	7 28	8 32	1 4	0 0	0 0	0 0	16 64
		f4	8 32	4 16	2 8	0 0	0 0	0 0	14 56
		f5	4 16	7 28	0 0	0 0	0 0	0 0	11 44
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,4 25,6</b>	<b>4,0 16,0</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>0,0 0,0</b>	<b>11,0 44,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,82 7,27</b>	<b>3,54 14,14</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>0,00 0,00</b>	<b>4,30 17,20</b>
	<b>35 °C</b>	f1	1 4	0 0					1 4
		f2	0 0	0 0					0 0
		f3	0 0	0 0					0 0
		f4	0 0	0 0					0 0
		f5	0 0	0 0					0 0
		<b>Mittelwert</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>0,0 0,0</b>					<b>0,2 0,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,00 0,00</b>					<b>0,45 1,79</b>
	<b>5/15 °C</b>	f1	8 32	4 16	4 16	3 12	1 4	1 4	21 84
		f2	8 32	3 12	5 20	2 8	2 8	0 0	20 80
		f3	10 40	7 28	5 20	0 0	0 0	1 4	23 92
		f4	7 28	8 32	1 4	2 8	2 8	0 0	20 80
		f5	2 8	7 28	3 12	3 12	2 8	0 0	17 68
		<b>Mittelwert</b>	<b>7,0 28,0</b>	<b>5,8 23,2</b>	<b>3,6 14,4</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>20,2 80,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>3,00 12,00</b>	<b>2,17 8,67</b>	<b>1,67 6,69</b>	<b>1,22 4,90</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>2,17 8,67</b>

**Tab. A-16:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Bauersberg: Zweiter Aufwuchs Mahd-Variante

B_Mahd	Temperatur	Datum	22.01.1998	29.01.1998	05.02.1998	12.02.1998	19.02.1998	26.02.1998	Summe
Lupinus polyphyllus		Woche Tage	1 1 - 7	2 8 - 14	3 15 - 21	4 16 - 28	5 29 - 35	6 36 - 42	6 42
5 Parallelen à 25 Samen		Parallele	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %	Wert %
	<b>3 °C</b>	a1	6 24	2 8	1 4	1 4	1 4	0 0	11 44
		a2	4 16	2 8	2 8	1 4	0 0	2 8	11 44
		a3	3 12	7 28	1 4	1 4	1 4	1 4	14 56
		a4	1 4	7 28	0 0	2 8	2 8	1 4	13 52
		a5	1 4	7 28	2 8	1 4	1 4	0 0	12 48
		<b>Mittelwert</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>5,0 20,0</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>12,2 48,8</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,12 8,49</b>	<b>2,74 10,95</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>0,84 3,35</b>	<b>1,30 5,22</b>
	<b>7 °C</b>	b1	6 24	1 4	3 12	2 8	0 0	0 0	12 48
		b2	2 8	2 8	0 0	2 8	2 8	0 0	8 32
		b3	7 28	3 12	3 12	0 0	0 0	0 0	13 52
		b4	5 20	4 16	1 4	0 0	0 0	2 8	12 48
		b5	3 12	5 20	3 12	1 4	0 0	1 4	13 52
		<b>Mittelwert</b>	<b>4,6 18,4</b>	<b>3,0 12,0</b>	<b>2,0 8,0</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>11,6 46,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,07 8,29</b>	<b>1,58 6,32</b>	<b>1,41 5,66</b>	<b>1,00 4,00</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>2,07 8,29</b>
	<b>10 °C</b>	c1	6 24	4 16	2 8	1 4	0 0	0 0	13 52
		c2	5 20	2 8	1 4	1 4	3 12	0 0	12 48
		c3	10 40	0 0	0 0	0 0	1 4	1 4	12 48
		c4	3 12	3 12	0 0	0 0	0 0	0 0	6 24
		c5	7 28	3 12	0 0	0 0	0 0	2 8	12 48
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,2 24,8</b>	<b>2,4 9,6</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,8 3,2</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>11,0 44,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,59 10,35</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>1,30 5,22</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>2,83 11,31</b>
	<b>15 °C</b>	d1	6 24	2 8	0 0	1 4	0 0	0 0	9 36
		d2	8 32	1 4	0 0	2 8	1 4	0 0	12 48
		d3	8 32	1 4	1 4	1 4	0 0	0 0	11 44
		d4	3 12	1 4	2 8	1 4	1 4	0 0	8 32
		d5	9 36	1 4	0 0	1 4	1 4	1 4	13 52
		<b>Mittelwert</b>	<b>6,8 27,2</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>1,2 4,8</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>10,6 42,4</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>2,39 9,55</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>2,07 8,29</b>
	<b>20 °C</b>	e1	7 28	2 8	0 0	2 8	0 0	0 0	11 44
		e2	10 40	0 0	0 0	1 4	0 0	0 0	11 44
		e3	10 40	0 0	0 0	1 4	0 0	0 0	11 44
		e4	8 32	3 12	1 4	0 0	0 0	0 0	12 48
		e5	8 32	3 12	0 0	1 4	1 4	1 4	14 56
		<b>Mittelwert</b>	<b>8,6 34,4</b>	<b>1,6 6,4</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>1,0 4,0</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>11,8 47,2</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>1,52 6,07</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,71 2,83</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>1,30 5,22</b>
	<b>25 °C</b>	f1	10 40	0 0	1 4	0 0	0 0	0 0	11 44
		f2	6 24	1 4	1 4	0 0	1 4	1 4	10 40
		f3	8 32	1 4	0 0	0 0	2 8	0 0	11 44
		f4	8 32	2 8	0 0	3 12	0 0	0 0	13 52
		f5	7 28	3 12	0 0	0 0	0 0	0 0	10 40
		<b>Mittelwert</b>	<b>7,8 31,2</b>	<b>1,4 5,6</b>	<b>0,4 1,6</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,6 2,4</b>	<b>0,2 0,8</b>	<b>11,0 44,0</b>
		<b>Standardabweichung</b>	<b>1,48 5,93</b>	<b>1,14 4,56</b>	<b>0,55 2,19</b>	<b>1,34 5,37</b>	<b>0,89 3,58</b>	<b>0,45 1,79</b>	<b>1,22 4,90</b>

**Tab. A-17:** Temperaturansprüche bei der Keimung von *Lupinus polyphyllus*.  
Standort Bauersberg: Zweiter Aufwuchs Mulch-Variante

<b>B_Mulch</b>	Temperatur	Datum	22.01.1998		29.01.1998		05.02.1998		12.02.1998		19.02.1998		26.02.1998		<b>Summe</b>			
Lupinus polyphyllus	Woche	1	1 - 7		2 - 8 - 14		3 - 15 - 21		4 - 16 - 28		5 - 29 - 35		6 - 36 - 42		6 - 42			
5 Parallelen à 25 Samen	Parallele	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	Wert	%	
<b>3 °C</b>	a1	3	12	1	4	1	4	1	4	0	0	0	0	6	24			
	a2	3	12	0	0	1	4	1	4	0	0	0	0	5	20			
	a3	5	20	3	12	1	4	1	4	0	0	0	0	10	40			
	a4	2	8	2	8	3	12	1	4	0	0	0	0	8	32			
	a5	2	8	4	16	1	4	1	4	2	8	0	0	9	36			
	<b>Mittelwert</b>		<b>3,0</b>	<b>12,0</b>	<b>2,0</b>	<b>8,0</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>7,6</b>	<b>30,4</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,22</b>	<b>4,90</b>	<b>1,58</b>	<b>6,32</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2,07</b>	<b>8,29</b>		
<b>7 °C</b>	b1	6	24	2	8	0	0	1	4	1	4	0	0	10	40			
	b2	5	20	1	4	1	4	1	4	0	0	0	0	8	32			
	b3	4	16	1	4	1	4	1	4	0	0	1	4	8	32			
	b4	3	12	3	12	1	4	0	0	0	0	0	0	8	32			
	b5	5	20	1	4	1	4	0	0	0	0	0	0	7	28			
	<b>Mittelwert</b>		<b>4,6</b>	<b>18,4</b>	<b>1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>8,2</b>	<b>32,8</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,14</b>	<b>4,56</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>1,10</b>	<b>4,38</b>		
<b>10 °C</b>	c1	7	28	2	8	0	0	1	4	1	4	1	4	12	48			
	c2	4	16	1	4	0	0	1	4	0	0	0	0	6	24			
	c3	10	40	2	8	2	8	0	0	1	4	0	0	15	60			
	c4	7	28	0	0	1	4	1	4	0	0	0	0	9	36			
	c5	5	20	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	7	28			
	<b>Mittelwert</b>		<b>6,6</b>	<b>26,4</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>9,8</b>	<b>39,2</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>2,30</b>	<b>9,21</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>3,70</b>	<b>14,81</b>		
<b>15 °C</b>	d1	13	52	2	8	0	0	1	4	0	0	0	0	16	64			
	d2	7	28	0	0	0	0	1	4	1	4	0	0	9	36			
	d3	8	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	9	36			
	d4	5	20	1	4	1	4	1	4	1	4	0	0	9	36			
	d5	4	16	1	4	1	4	0	0	0	0	1	4	7	28			
	<b>Mittelwert</b>		<b>7,4</b>	<b>29,6</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>10,0</b>	<b>40,0</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>3,51</b>	<b>14,03</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>3,46</b>	<b>13,86</b>		
<b>20 °C</b>	f1	8	32	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	10	40			
	f2	5	20	1	4	1	4	2	8	1	4	0	0	10	40			
	f3	3	12	3	12	3	12	0	0	0	0	0	0	9	36			
	f4	9	36	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	11	44			
	f5	4	16	1	4	0	0	0	0	3	12	0	0	8	32			
	<b>Mittelwert</b>		<b>5,8</b>	<b>23,2</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	<b>4,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>9,6</b>	<b>38,4</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>2,59</b>	<b>10,35</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>	<b>1,30</b>	<b>5,22</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>1,30</b>	<b>5,22</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,14</b>	<b>4,56</b>		
<b>25 °C</b>	f1	6	24	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	7	28			
	f2	7	28	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	8	32			
	f3	7	28	2	8	0	0	1	4	0	0	0	0	10	40			
	f4	7	28	1	4	0	0	0	0	1	4	0	0	9	36			
	f5	10	40	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	11	44			
	<b>Mittelwert</b>		<b>7,4</b>	<b>29,6</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>9,0</b>	<b>36,0</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,52</b>	<b>6,07</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,58</b>	<b>6,32</b>		
<b>30 °C</b>	f1	5	20	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	6	24			
	f2	7	28	1	4	0	0	0	0	0	0	1	4	9	36			
	f3	8	32	1	4	0	0	1	4	0	0	0	0	10	40			
	f4	10	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	40			
	f5	8	32	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	9	36			
	<b>Mittelwert</b>		<b>7,6</b>	<b>30,4</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>8,8</b>	<b>35,2</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,82</b>	<b>7,27</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>1,64</b>	<b>6,57</b>		
<b>35 °C</b>	f1	3	12	3	12									6	24			
	f2	0	0	0	0									0	0			
	f3	3	12	0	0									3	12			
	f4	4	16	0	0									4	16			
	f5	2	8	0	0									2	8			
	<b>Mittelwert</b>		<b>2,4</b>	<b>9,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>									<b>3,0</b>	<b>12,0</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,52</b>	<b>6,07</b>	<b>1,34</b>	<b>5,37</b>									<b>2,24</b>	<b>8,94</b>		
<b>5/15 °C</b>	f1	9	36	1	4	0	0	0	0	2	8	0	0	12	48			
	f2	8	32	1	4	0	0	1	4	1	4	0	0	11	44			
	f3	11	44	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	12	48			
	f4	8	32	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	10	40			
	f5	6	24	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	7	28			
	<b>Mittelwert</b>		<b>8,4</b>	<b>33,6</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>10,4</b>	<b>41,6</b>		
	<b>Standardabweichung</b>		<b>1,82</b>	<b>7,27</b>	<b>0,84</b>	<b>3,35</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>	<b>2,19</b>	<b>0,89</b>	<b>3,58</b>	<b>0,45</b>	<b>1,79</b>	<b>2,07</b>	<b>8,29</b>		

**Tab. A-18:** Signifikanzniveau der Samenproduktion (Tukeys HSD-Test) je Einzelpflanzen von *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg; jeweils unterteilt in *Lupinus polyphyllus* im Dominanzbestand und einzeln stehend ( $p < 5\% = *$ ,  $p < 1\% = **$ ,  $p < 0,1\% = ***$ )

	Dominanzbestand			einzeln stehende Individuen		
	Stirnberg {1}	Leitgraben {2}	Bauersberg {3}	Stirnberg {4}	Leitgraben {5}	Bauersberg {6}
Mittelwert	299	191	837	847	343	915
{1}		-	*	*	-	**
{2}	-		**	**	-	***
{3}	*	**		-	*	-
{4}	*	**	-		*	-
{5}	-	-	*	*		**
{6}	*	***	-	-	**	

**Tab. A-19:** Signifikanzniveau der Samenproduktion (Tukeys HSD-Test) je m<sup>2</sup> in Dominanzbeständen von *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg ( $p < 5\% = *$ ,  $p < 1\% = **$ ,  $p < 0,1\% = ***$ )

	Stirnberg {1}	Leitgraben {2}	Bauersberg {3}
Mittelwert	534	370	1070
{1}		-	*
{2}	-		**
{3}	*	**	

**Tab. A-20:** Signifikanzniveau der Tausendkornmasse (Tukeys HSD-Test) der Samen von *Lupinus polyphyllus* auf den Standorten Stirnberg, Leitgraben und Bauersberg ( $p < 5\% = *$ ,  $p < 1\% = **$ ,  $p < 0,1\% = ***$ )

	Stirnberg {1}	Leitgraben {2}	Bauersberg {3}
Mittelwert	22,48	21,21	21,52
{1}		***	***
{2}	***		-
{3}	***	-	

10.2 Anhang: Vegetationskundliche Ergebnisse

Tab. A-21: Vegetationstabelle (Deckung nach Braun-Blanquet) am Standort Herrenwasser: Mahd-Variante

Herrenwasser Mahd	Mahd																	
	Null- Variante				Juni				Juli				Juni + August					
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
Varianten: Parallele: A(1), B(2), C(3), D(4)																		
Jahr:	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0	1	2
Gesamtdeckung (%)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Höhe Gesamt (cm)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Grasanteil (%)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Höhe der Grasschicht (cm)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Krautanteil (ohne L. poly in %)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Höhe der Krautschicht (cm)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Deckung von L. polyphyllus (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Höhe von L. polyphyllus (cm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
mittlere gew. Lichtzahl	2,4	2,0	2,6	2,6	2,4	2,0	2,6	2,6	2,4	2,0	2,6	2,6	2,4	2,0	2,6	2,6	2,4	2,0
mittlere gew. Feuchtezahl	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
mittlere gew. Stickstoffzahl	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Artenzahl:	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Lupinus polyphyllus	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	5	4
Begleiter von L. polyphyllus	Galium aparine agg. Urtica dioica Cerastium arvense																	
Arten der Storchschnabel-Goldhaherwiesen (Geranio-sylvatici-Trisetum-flavescentis), Verband: Polygono-Trisetum	Poa chaixii Bistorta officinalis Ranunculus nemorosus Aichemilia vulgaris agg. Geranium sylvaticum Trollius europaeus Pheytum spicatum																	
Arten der Borstgras- und Zwergstrauheiden (Klasse Nardo-Callunetea)	Potentilla erecta Hypericum maculatum Galium saxatile Lathyrus linifolius Viola canina Festuca ovina agg. Pimpinella saxifraga agg. Deschampsia flexuosa Luzula campestris agg. Vaccinium myrtillus Polygala vulgaris Thesium pyrenaicum																	
Arten der gedüngten Frischwiesen (Ordnung Arrhenatheretalia)	Helictotrichon pubescens Knaulia arvensis Agrostis capillaris Veronica chamaedrys Achillea millefolium agg. Arrhenatherum elatius Stellaria graminea Trifolium repens Rhinanthus minor Pimpinella major agg. Leucanthemum vulgare Trisetum flavescens Crepis mollis																	
Arten der Feuchtwiesen (Ordnung Molinietales)	Galium boreale Deschampsia cespitosa Phyteuma orbiculare Cirsium palustre																	
Arten des Wirtschaftsgrünlandes (Klasse Molinio - Arrhenatheretea)	Festuca rubra agg. Cardamine pratensis Rumex acetosa Anthoxanthum odoratum Lathyrus pratensis Poa trivialis Taraxacum sect. Ruderalia Cerastium holosteoides Ajuga reptans Poa pratensis pratensis Alopecurus pratensis Sanguisorba officinalis Ranunculus acris Trifolium pratense Plantago lanceolata Holcus lanatus																	
Arten der Kalk-Magerrasen (Klasse Festuco-Brometea)	Galium verum Helictotrichon pratense Helianthemum nummularium Koeleria pyramidata Silene viscaria Thymus pulegioides																	
Sonstige Begleiter:	Luzula luzuloides Campanula rotundifolia Anemone nemorosa Veronica officinalis Silene nutans Lotus corniculatus Dactylis glomerata Myosotis arvensis Epilobium spec. Leontodon hispidus Orchis spec.																	
Folgende Arten kommen insgesamt höchstens dreimal vor: Agrimonia eupatoria (Juni_D_00:r), Anthyllus vulneraria (Jun+Aug_A_01:r;_02:+), Bellis perennis (Jun+Aug_C_01:r), Briza media (Jun+Aug_B_97:+;_98:+;_99:+), Carex pilulifera (Jun+Aug_B_98:), Centaurea montana (Null_D_01:r), Cerastium glomeratum (Juli_B_02:), Epilobium angustifolium (Juni_D_02:r), Euphrasia rostkoviana (Jun+Aug_B_97:+;_98:+), Galeopsis tetrahit (Jun+Aug_C_97:+;_01:r;_D_98:), Galium mollugo agg (Jun+Aug_C_97:;_98:+;_D_01:), Hieracium lachenalii (Juli_D_01:r), Hieracium pilosella (Juli_D_02:r), Nardus stricta (Jun+Aug_B_96:+;_97:+;_98:+), Rubus idaeus (Jun+Aug_B_00:r), Sambucus racemosa (Null_D_02:r), Saxifraga granulata (Jun+Aug_A_01:r), Senecio ovatus (Null_D_00:r;_01:r;_02:), Serratula tinctoria (Null_B_99:r), Silene dioica (Juni_D_02:r), Succisa pratensis (Juni_B_98:+;_99:r;Juli_A_97:r), Thlaspi arvense (Juli_D_97:+;Jun+Aug_B_97:)																		

Tab. A-22: Vegetationstabelle (Deckung nach Braun-Blanquet) am Standort Herrenwasser: Mulch-Variante

Herrenwasser Mulch	Varianten:																																	
	Null- Variante				Juni				Mulch				Juli				Juni + August																	
	Parallele: A(1), B(2), C(3), D(4)				A				B				C				D																	
Jahr:	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0	1	2	7	8	9	0						
Gesamtdeckung (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Höhe Gesamt (cm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Grasanteil (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Höhe der Grasschicht (cm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Krautanteil (ohne L. poly in %)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Höhe der Krautschicht (cm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Deckung von L. polyphyllus (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Höhe von L. polyphyllus (cm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
mittlere gew. Lichtzahl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
mittlere gew. Feuchtezahl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
mittlere gew. Stickstoffzahl	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Artenzahl:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Lupinus polyphyllus	4	4	3	3	a	4	5	5	4	5	4	4	3	3	b	5	5	5	5	4	5	4	4	3	3	a	4	4	3	3				
Begleiter von L. polyphyllus	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a			
Galium aparine agg.	3	3	3	3	5	5	5	5	4	5	4	4	3	3	b	5	5	5	5	4	5	4	4	3	3	a	4	4	3	3				
Urtica dioica	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a			
Arten der Storchschnabel-Goldhaferwiesen (Geranio-sylvatici-Trisetum-flavescentis), Verband: Polygono-Trisetion	3	3	3	3	b	3	3	3	b	3	3	3	3	b	3	3	3	3	b	3	3	3	3	b	3	3	3	3	b	3	3	3	3	b
Poa chaixii	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Bistorta officinalis	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Geranium sylvaticum	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Trollius europaeus	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Ranunculus nemorosus	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Alchemilla vulgaris agg.	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Arten der Borstgras- und Zwergstrauchheiden (Klasse Nardo-Callunetea)	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Hypericum maculatum	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Potentilla erecta	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Lathyrus linifolius	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Festuca ovina agg.	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Galium saxatile	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Viola canina	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Arten der gedüngten Frischwiesen (Ordnung Arrhenatheretalia)	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Helictotrichon pubescens	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Pimpinella major agg.	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Achillea millefolium agg.	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Knautia arvensis	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Arrhenatherum elatius	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Veronica chamaedrys	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Agrostis capillaris	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Stellaria graminea	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Anthriscus sylvestris	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Crepis mollis	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Saxifraga granulata	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Rhinanthus minor	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Arten der Feuchtwiesen (Ordnung Molinieta)	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Galium boreale	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Cirsium palustre	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Deschampsia cespitosa	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Geum rivale	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Phyteuma orbiculare	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Arten des Wirtschaftsgrünlandes (Klasse Molinio - Arrhenatheretea)	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Festuca rubra agg.	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a
Lathyrus pratensis	1	1	1	1	a	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1</												



### 10.3 Anhang: Nährstoffhaushalt

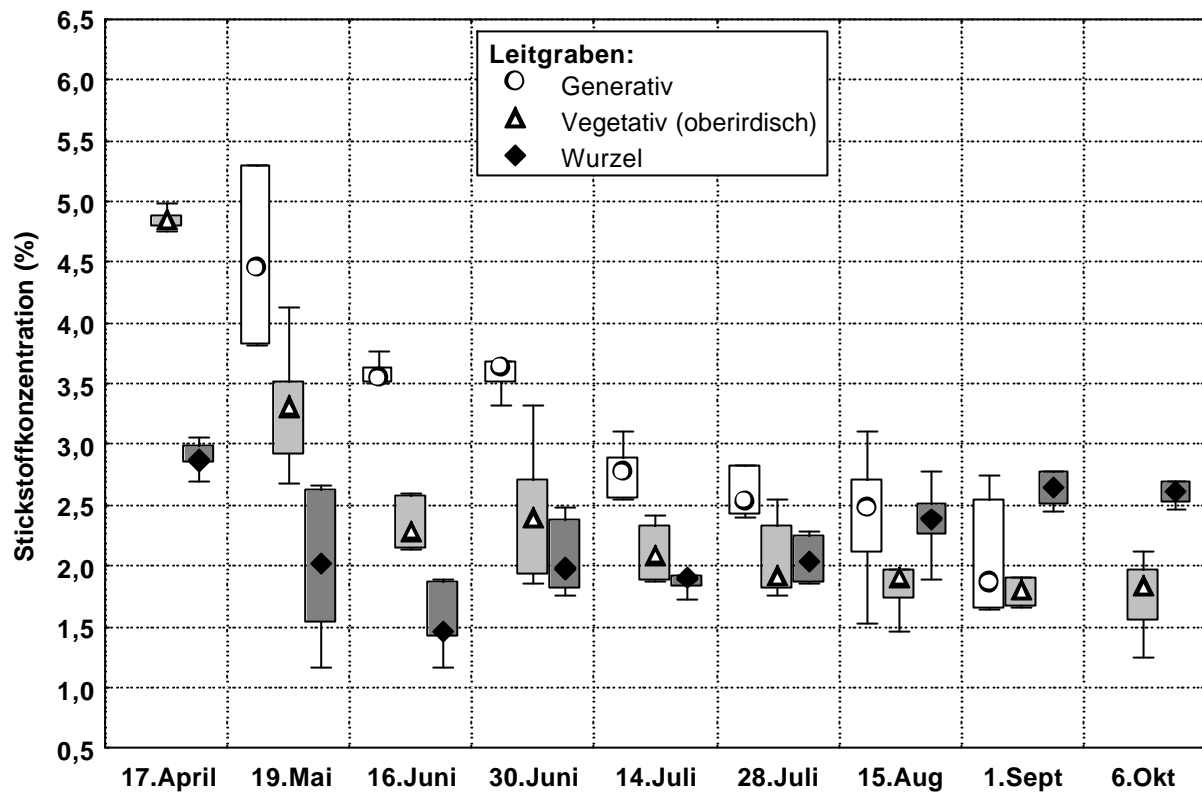


Abb. A-3: Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

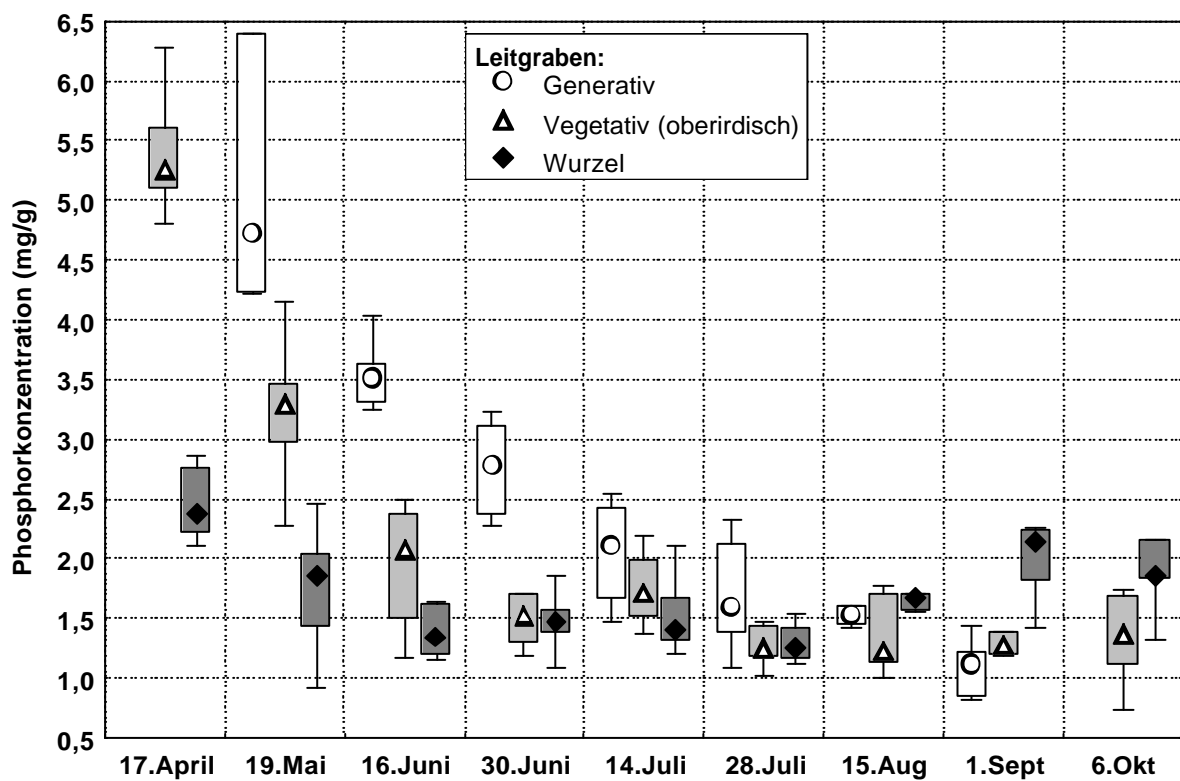


Abb. A-4: Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

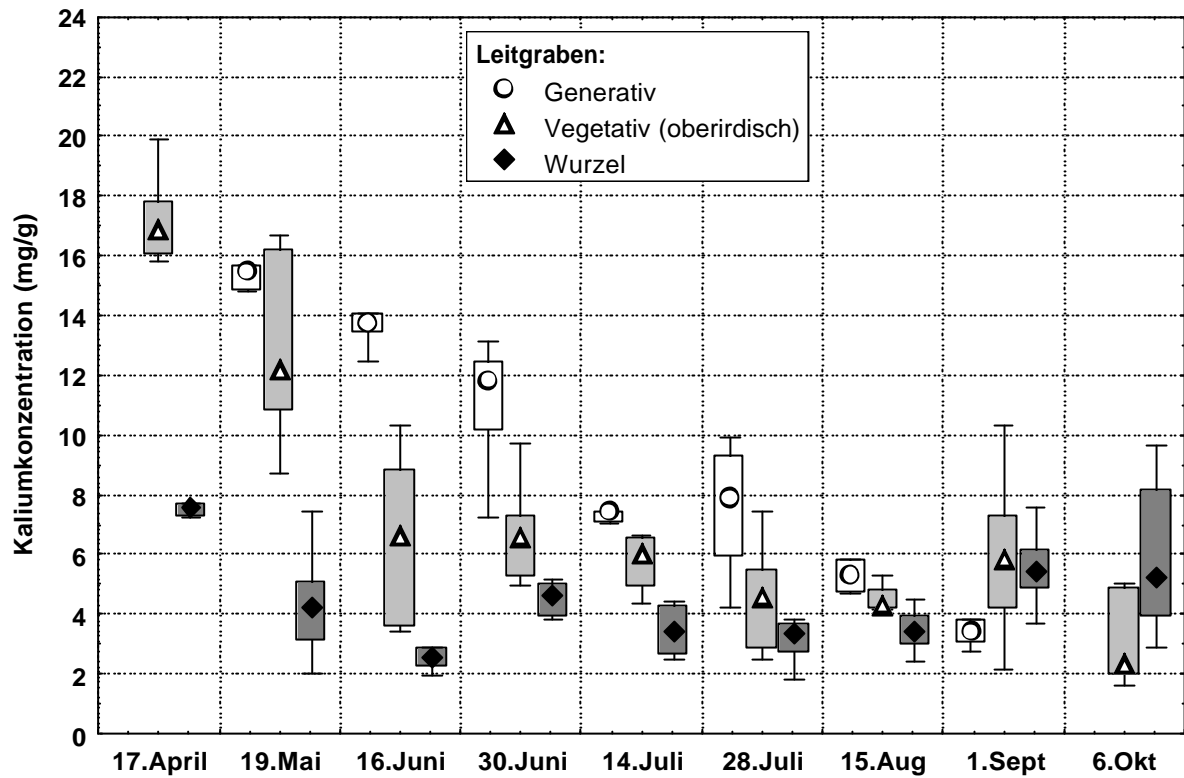


Abb. A-5: Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

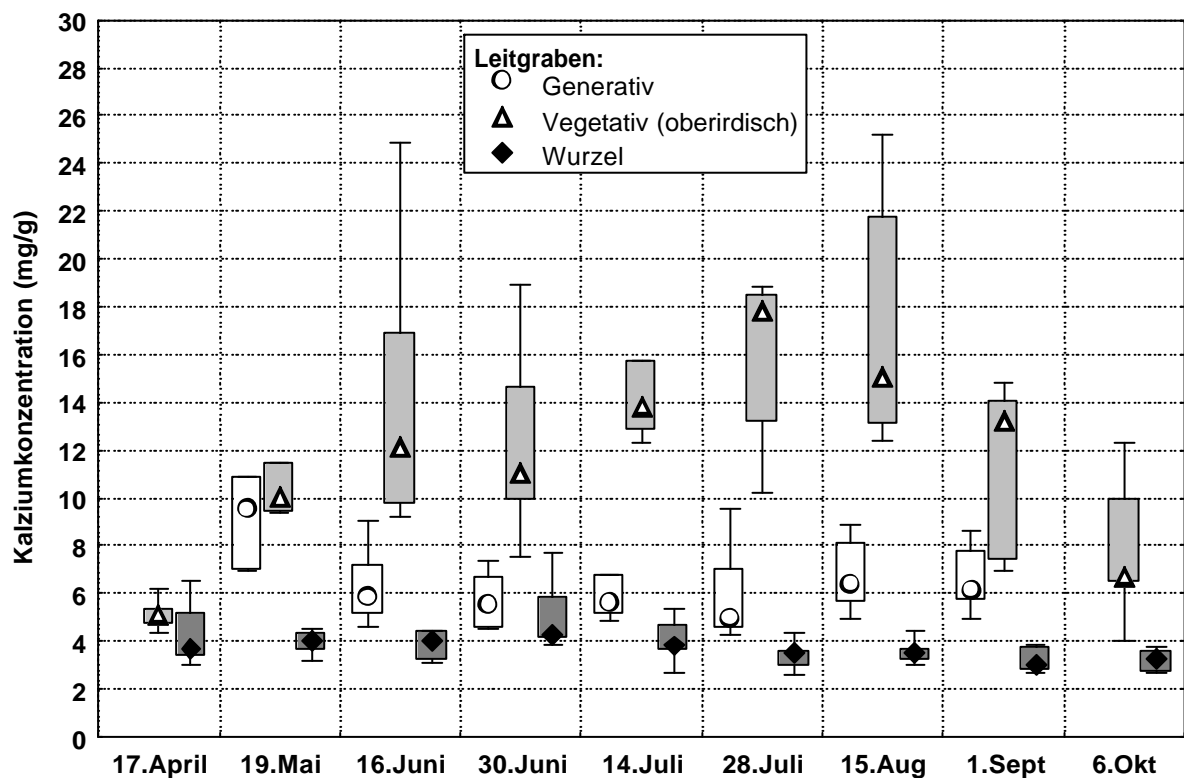


Abb. A-6: Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

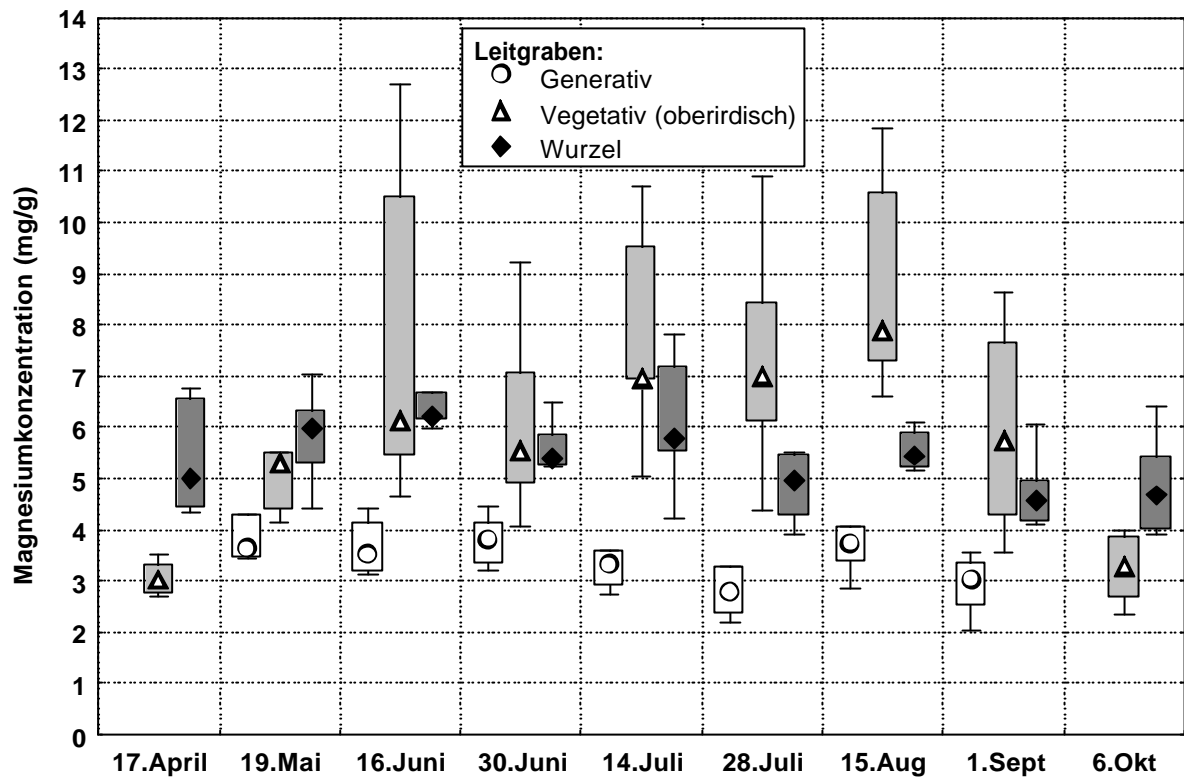


Abb. A-7: Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Leitgraben (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

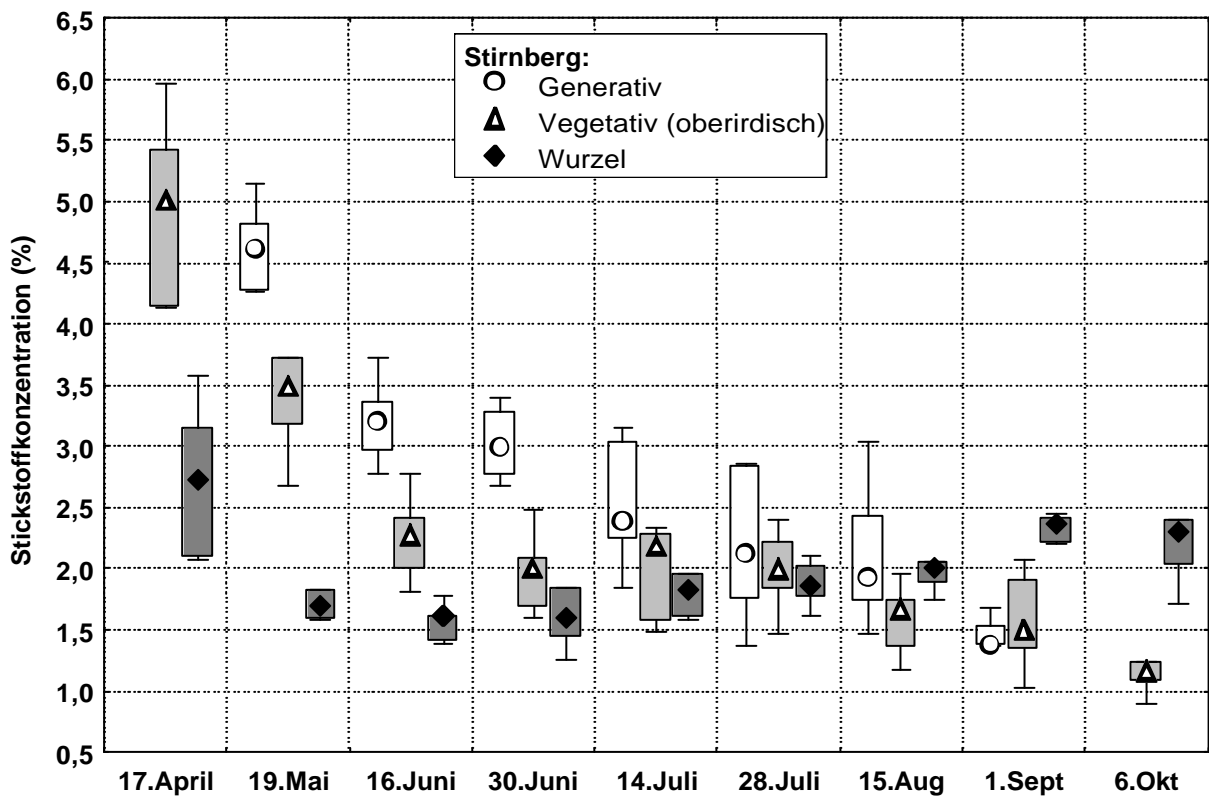


Abb. A-8: Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

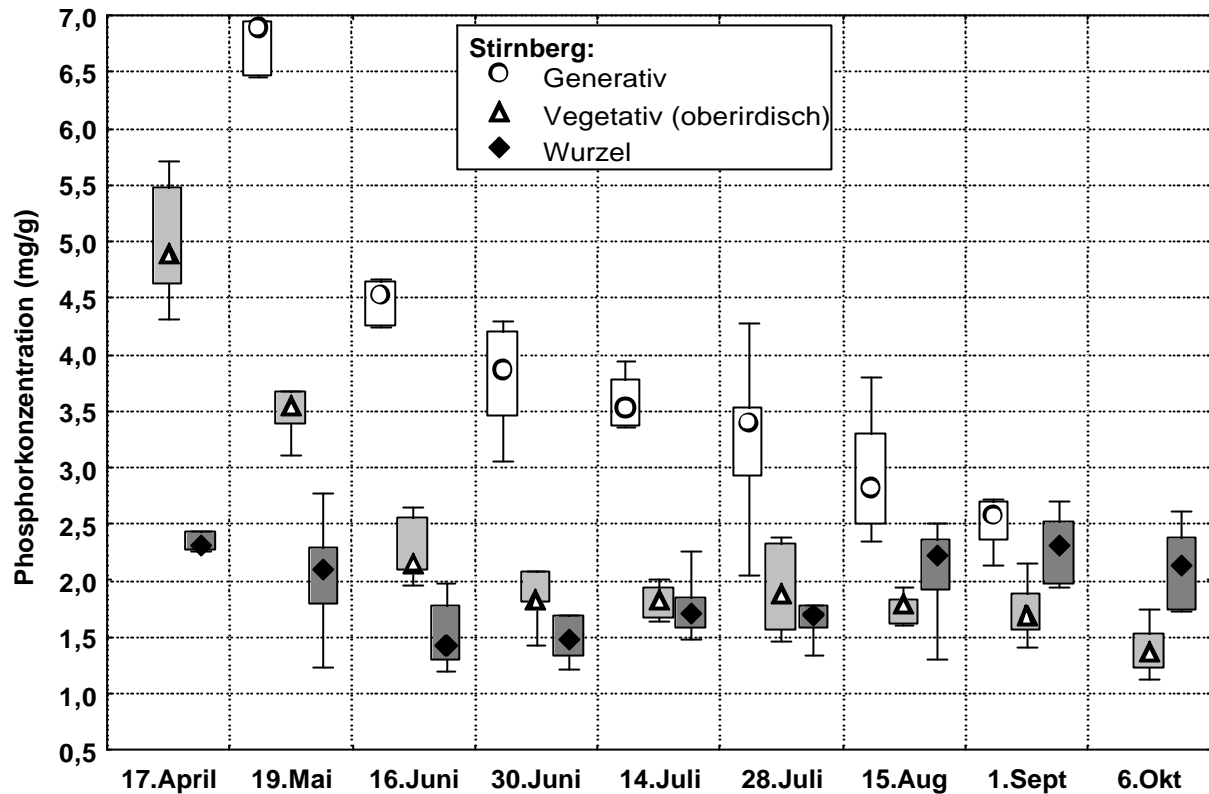


Abb. A-9: Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

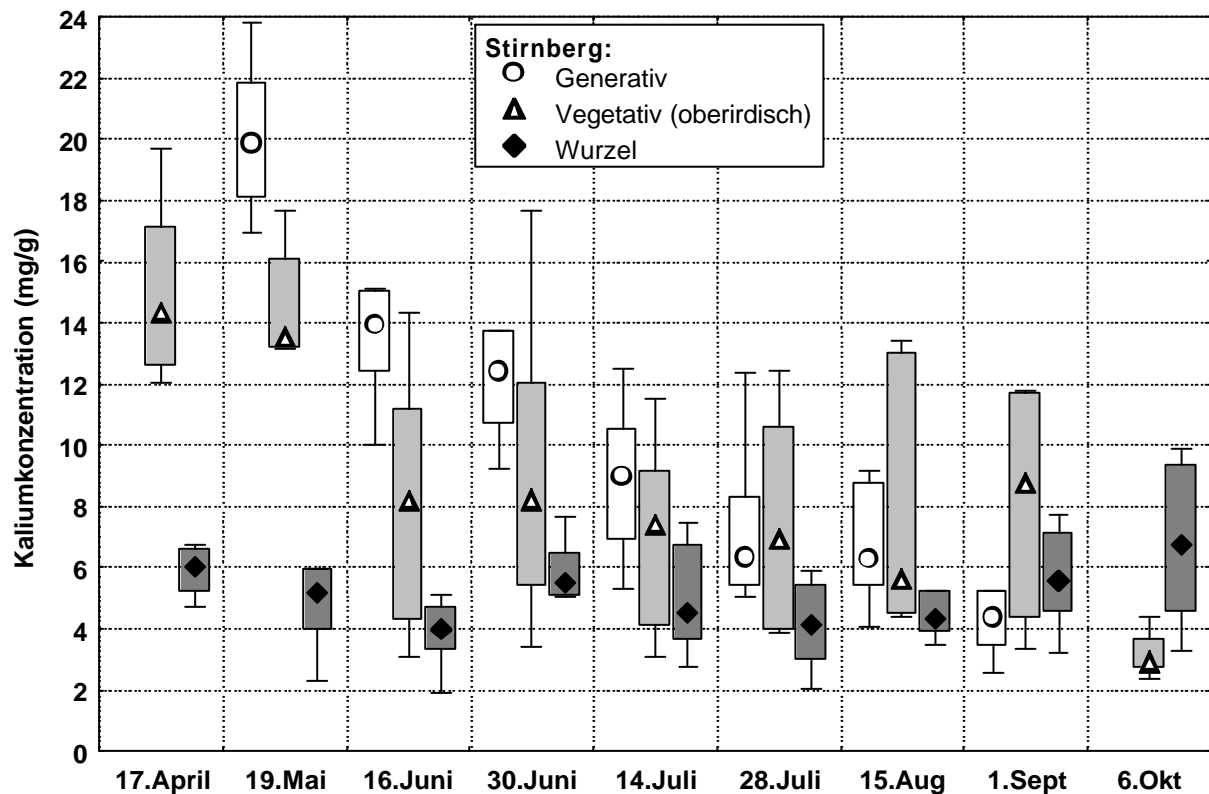


Abb. A-10: Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

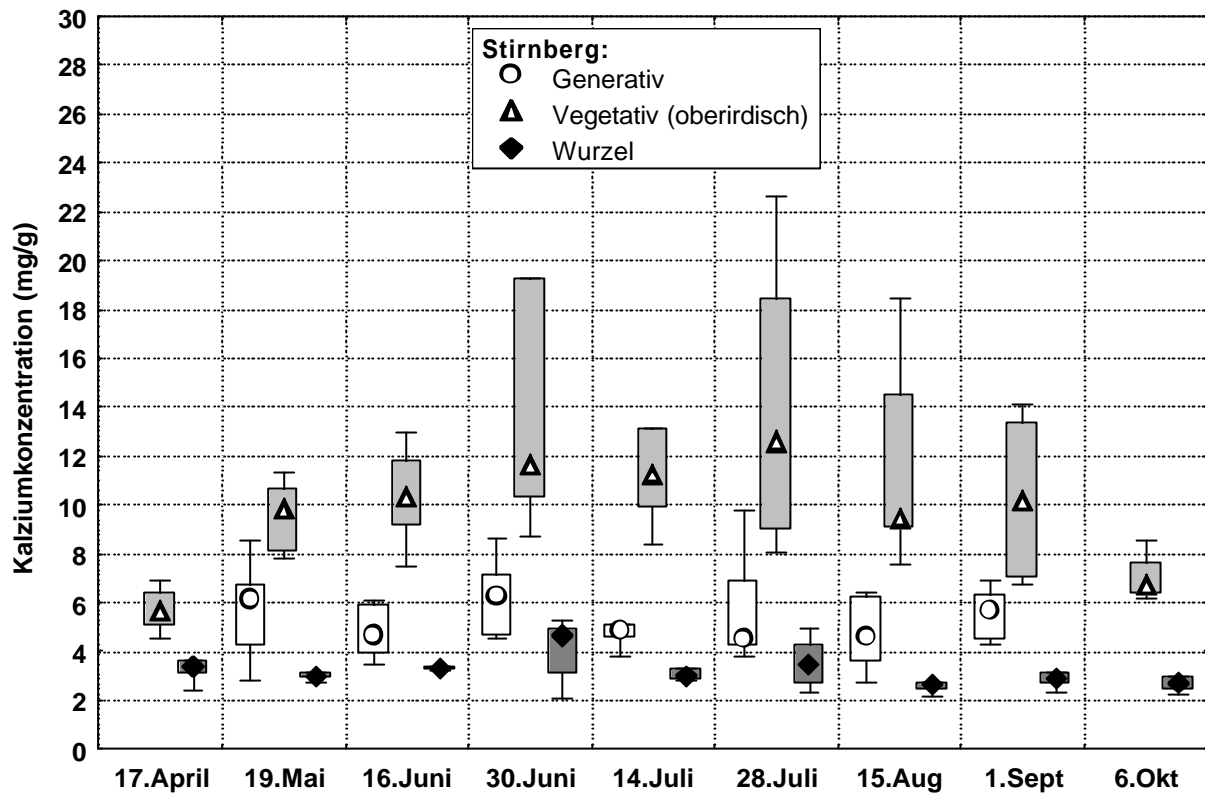


Abb. A-11: Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

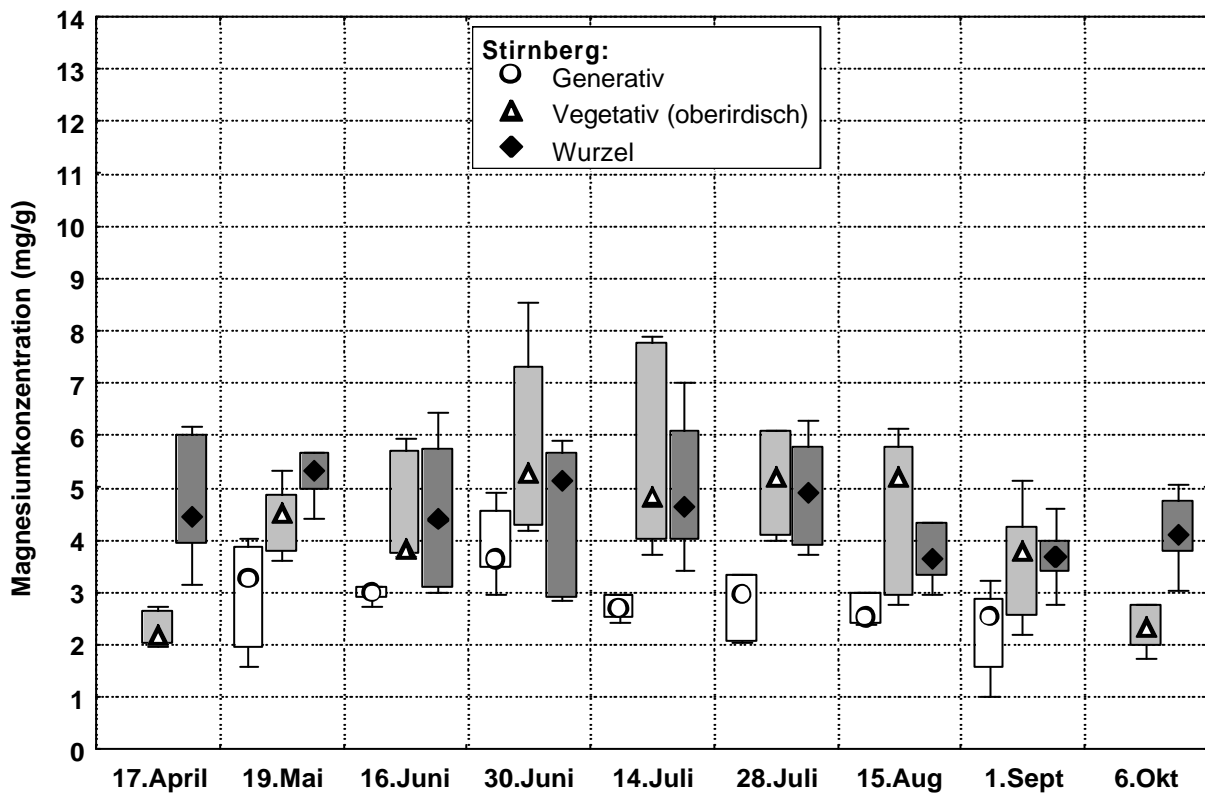


Abb. A-12: Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Stirnberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

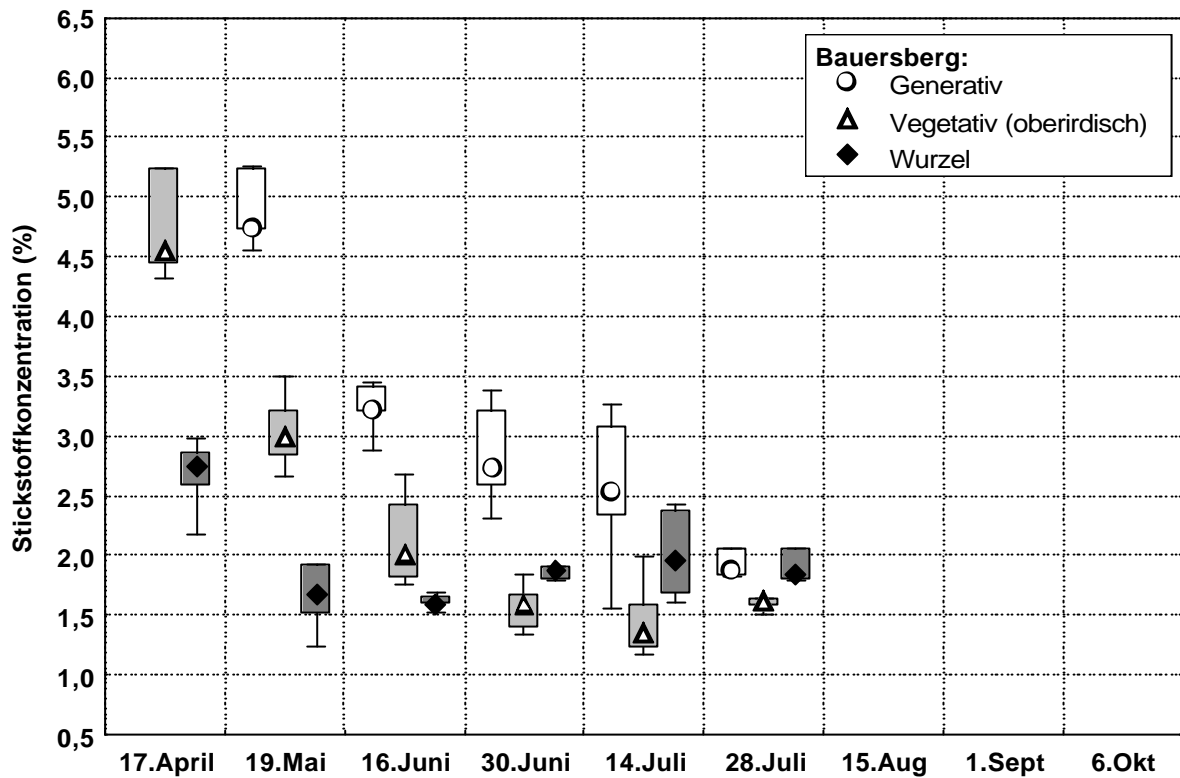


Abb. A-13: Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

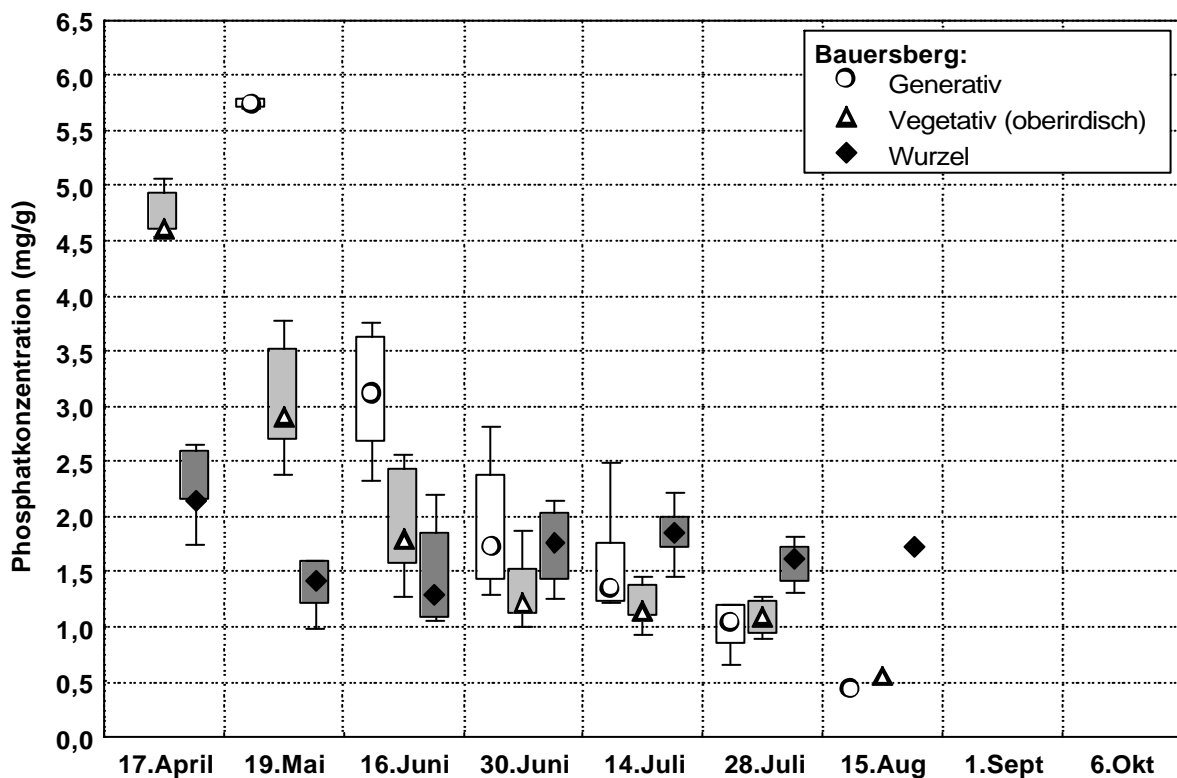


Abb. A-14: Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima, n=6)

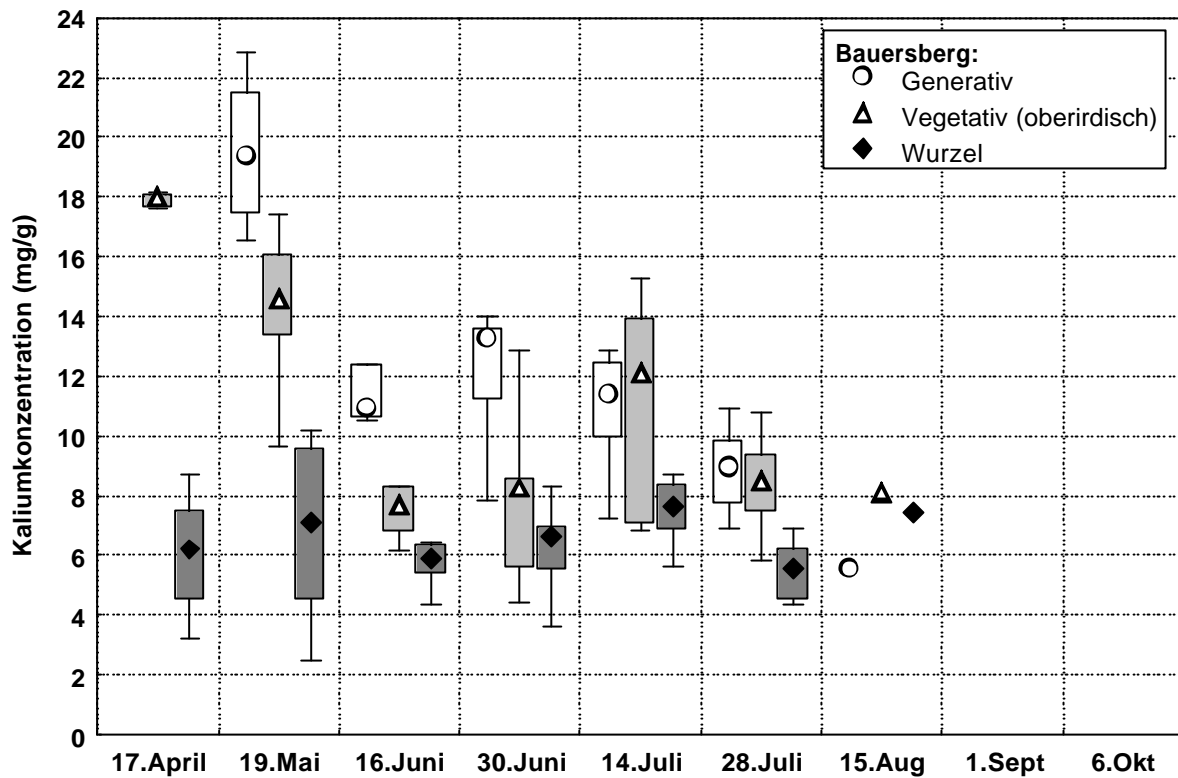


Abb. A-15: Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

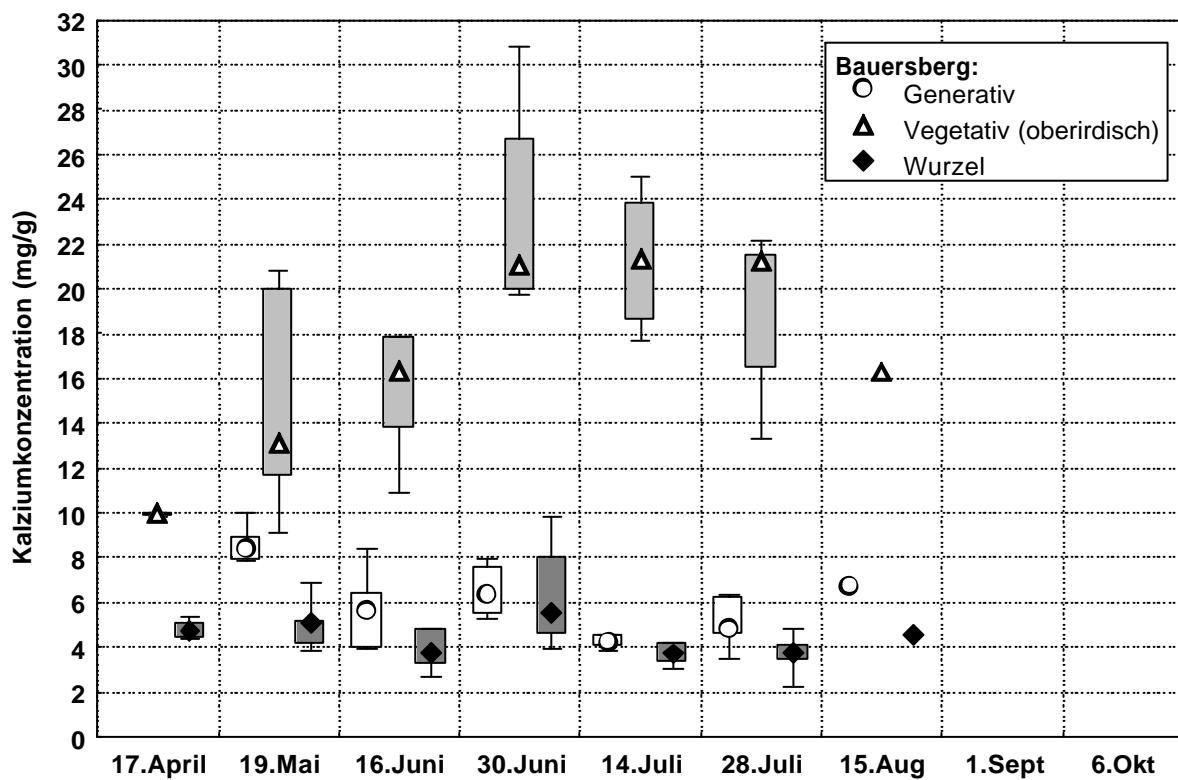


Abb. A-16: Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

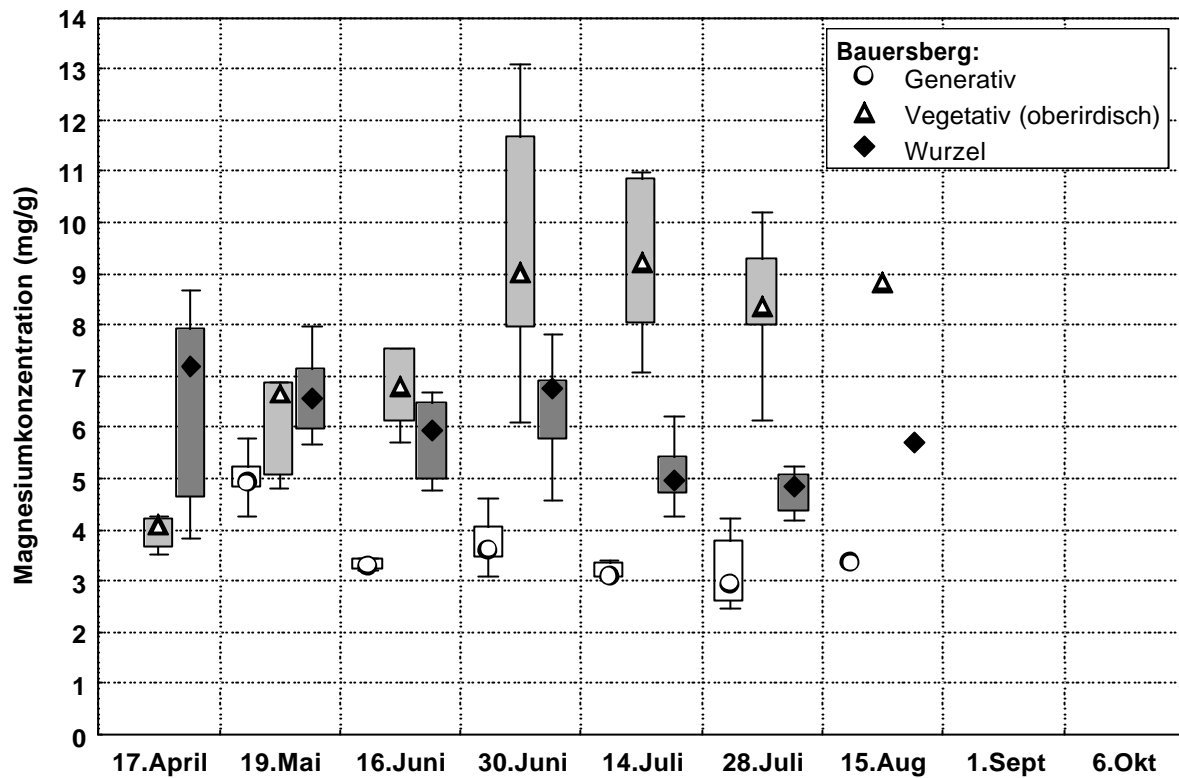


Abb. A-17: Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* im Jahresverlauf 1998 am Standort Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

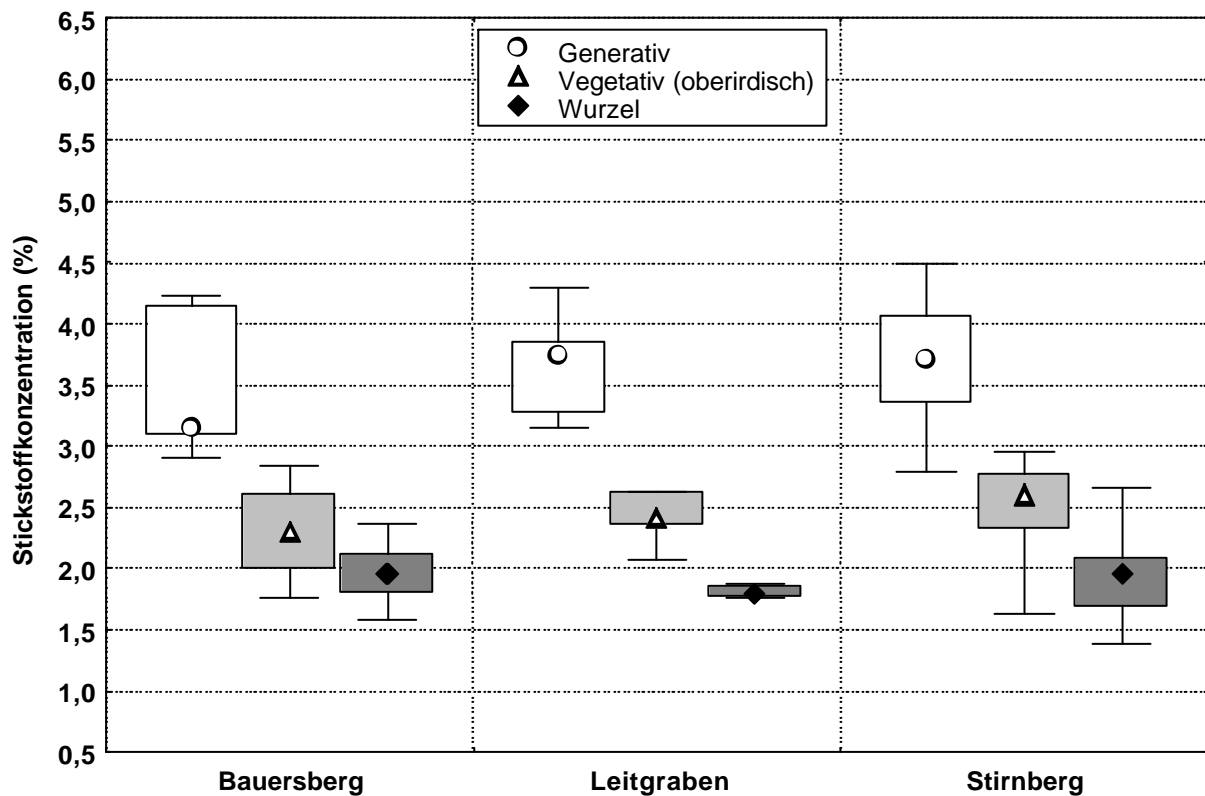


Abb. A-18: Stickstoffkonzentrationen (%) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

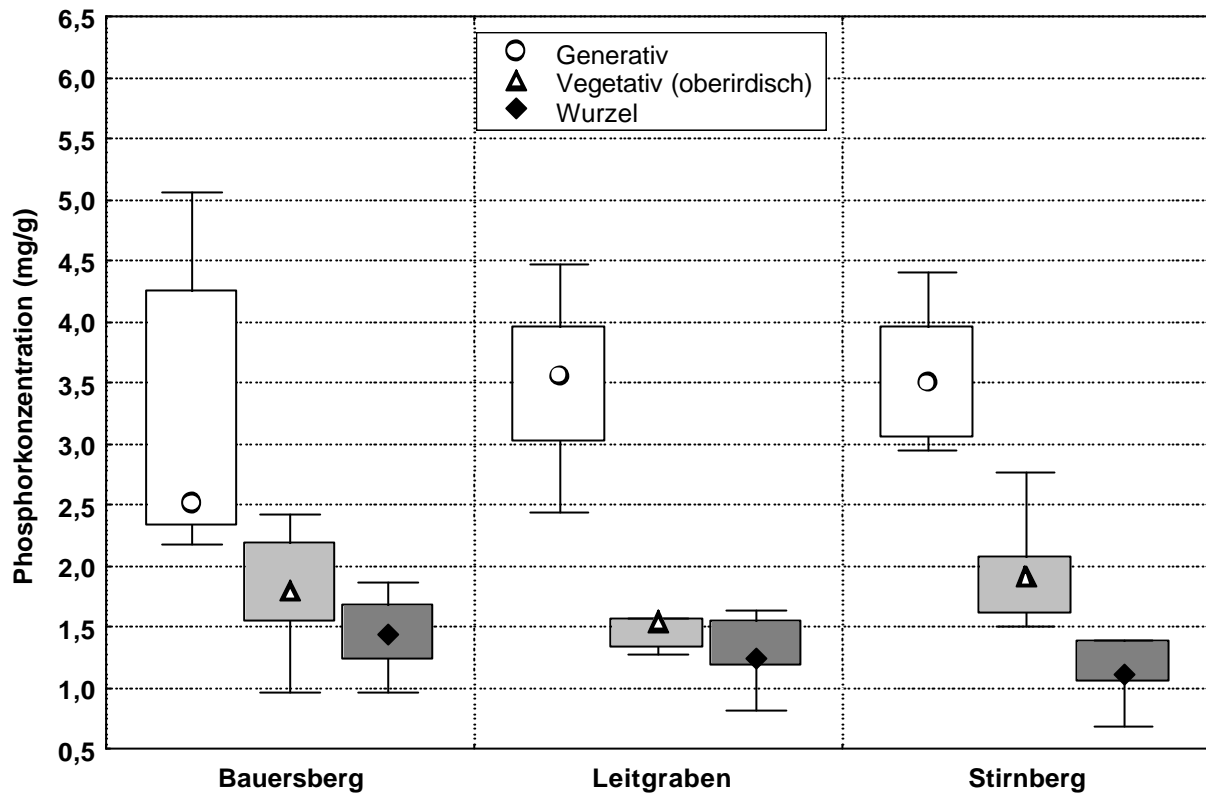


Abb. A-19: Phosphorkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

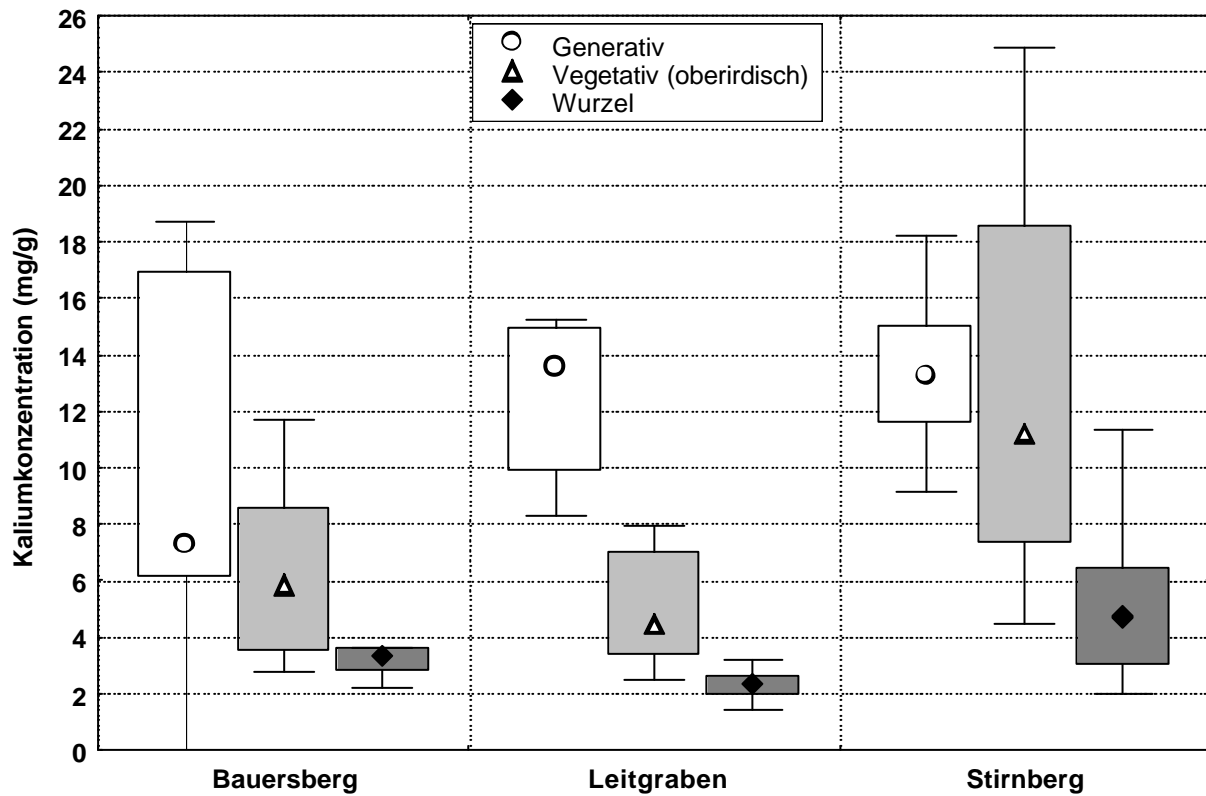


Abb. A-20: Kaliumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

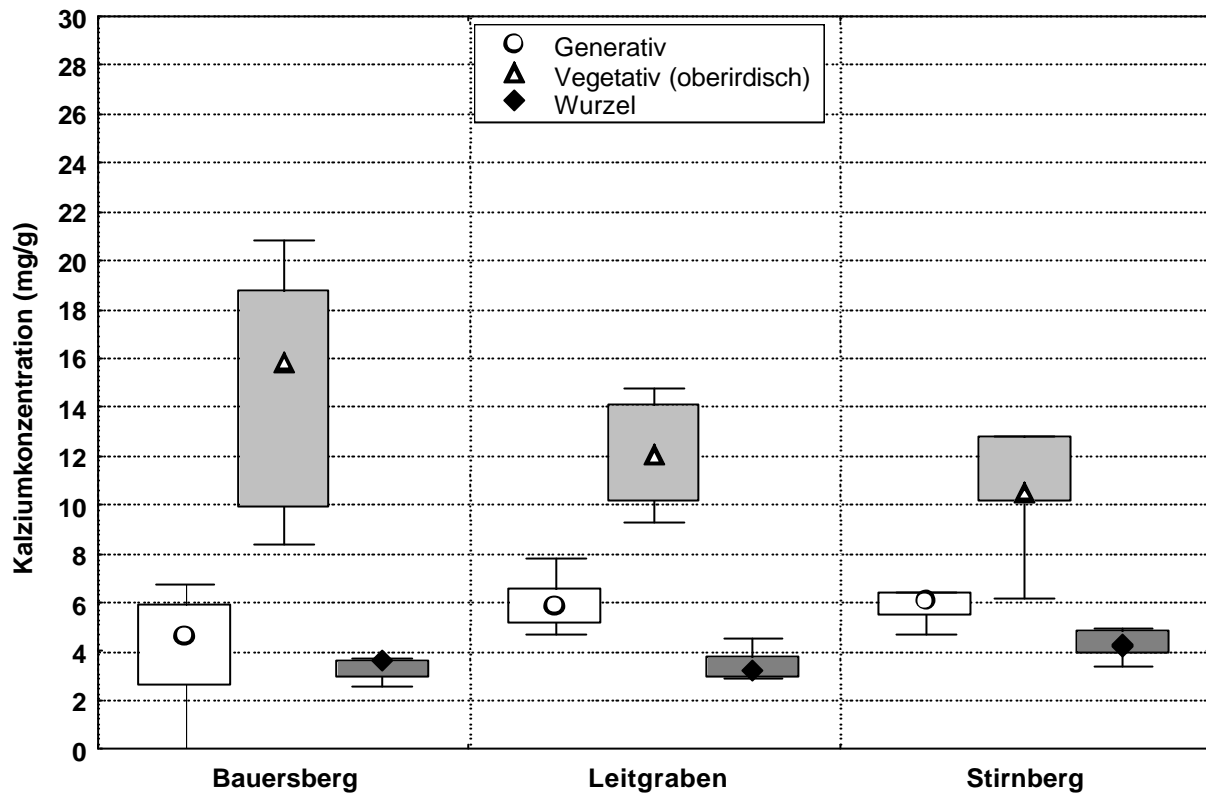


Abb. A-21: Kalziumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

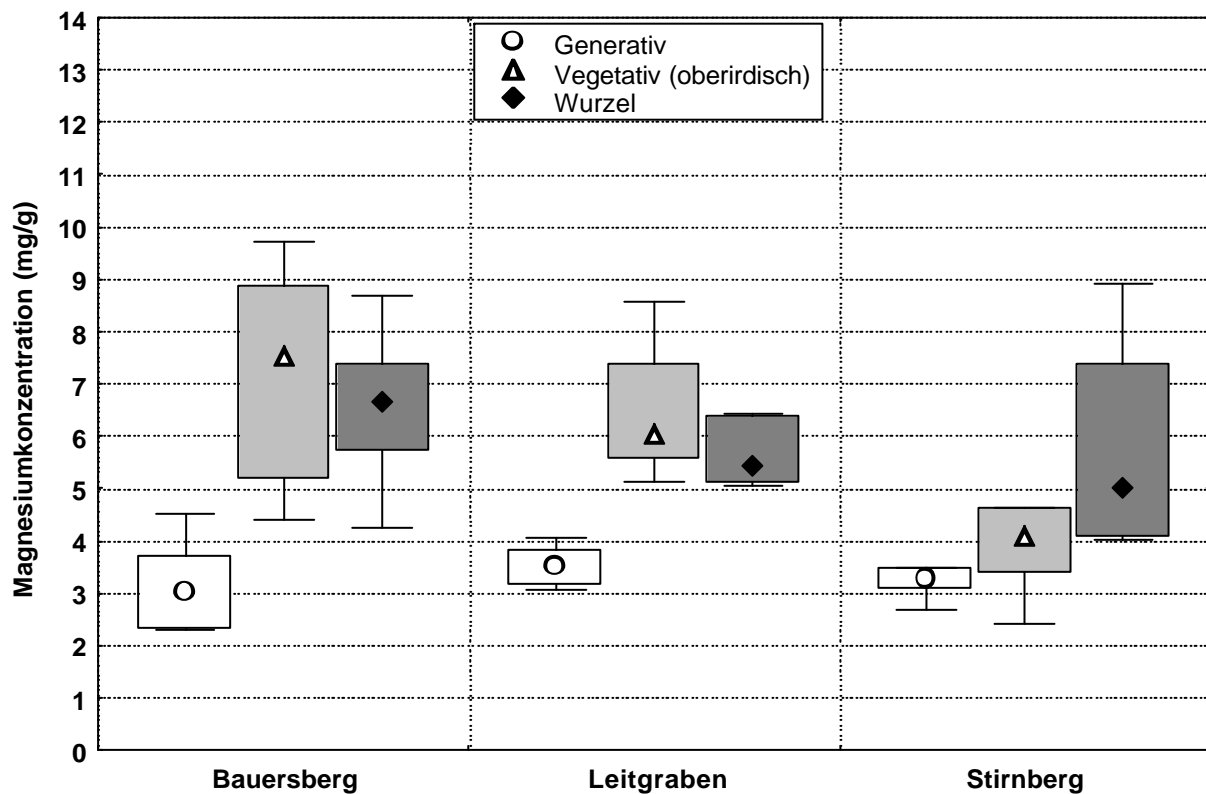


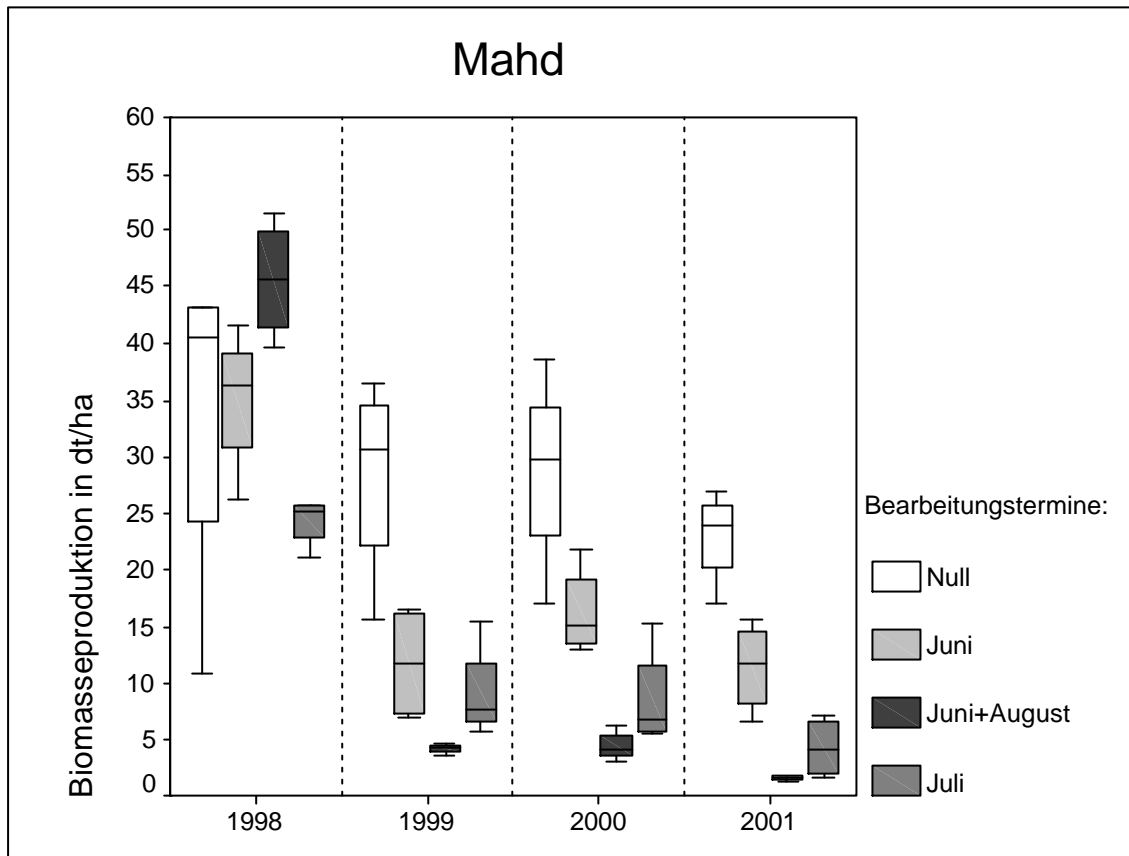
Abb. A-22: Magnesiumkonzentrationen ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) der generativen, vegetativen oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *Lupinus polyphyllus* (16.06.99) auf den Standorten Leitgraben, Stirnberg und Bauersberg (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Minima/Maxima,  $n=6$ )

## 10.4 Anhang: Pflegeversuche mit Maschinen

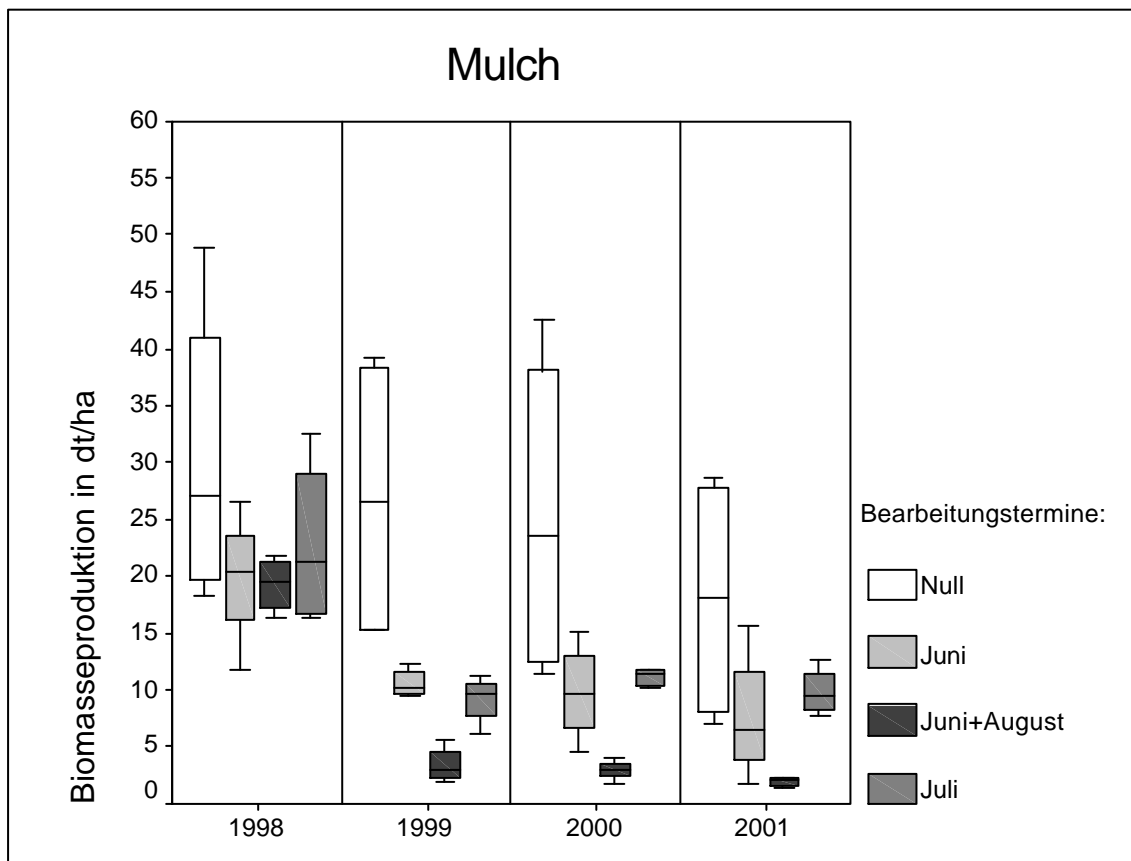
Tab. A-24: Biomasseproduktion (*Lupinus polyphyllus*, Gräser und Rest-Kräuter) am Standort Herrenwasser

		1998				1999				2000				2001				
		Trockengewicht: dt/ha				Trockengewicht: dt/ha				Trockengewicht: dt/ha				Trockengewicht: dt/ha				
		Wh	Gesamt (dt/ha)	Lupine (dt/ha)	Rest-Kraut (dt/ha)	Gras (dt/ha)	Gesamt (dt/ha)	Lupine (dt/ha)	Rest-Kraut (dt/ha)	Gras (dt/ha)	Gesamt (dt/ha)	Lupine (dt/ha)	Rest-Kraut (dt/ha)	Gras (dt/ha)	Gesamt (dt/ha)	Lupine (dt/ha)	Rest-Kraut (dt/ha)	Gras (dt/ha)
<b>Mahd</b>	0-Variante	A	57,2	43,3	5,9	8,0	54,2	32,5	11,2	10,4	50,6	30,4	11,6	8,6	52,2	23,5	15,4	13,3
		B	57,2	43,3	4,1	9,8	52,2	28,7	3,0	20,5	48,5	29,1	3,7	15,7	49,0	27,0	9,7	12,3
		C	42,7	10,8	16,5	15,4	44,8	15,7	12,4	16,7	42,5	17,0	11,6	13,9	42,5	17,0	11,9	13,6
		D	55,8	37,7	8,1	9,9	56,3	36,6	10,1	9,6	51,3	38,5	6,7	6,2	54,4	24,5	12,0	18,0
	Mittelwert		53,2	33,8	8,7	10,8	51,9	28,4	9,2	14,3	48,3	28,8	8,4	11,1	49,5	23,0	12,2	14,3
	1-Schnitt-Juni-Variante	A	54,7	36,9	10,8	7,0	34,7	15,6	11,8	7,3	54,8	21,9	15,0	17,9	33,9	13,6	6,5	13,8
		B	43,6	26,1	10,1	7,4	23,2	7,0	8,2	8,0	39,9	14,0	10,4	15,5	39,0	15,6	5,6	17,8
		C	47,9	35,6	7,8	4,5	38,6	7,7	16,7	14,1	46,2	16,2	17,4	12,7	36,9	6,6	15,1	15,1
		D	48,8	41,6	3,2	4,1	33,1	16,5	8,5	8,0	43,1	12,9	6,8	23,3	39,4	9,9	4,5	25,1
	Mittelwert		48,7	35,0	8,0	5,8	32,4	11,7	11,3	9,4	46,0	16,2	12,4	17,4	37,3	11,4	7,9	18,0
	2-Schnitt-Juni-Variante	A	60,5	51,5	3,6	5,4	20,1	4,0	2,8	13,3	27,6	4,1	7,4	16,0	24,8	1,5	9,5	13,8
		B	57,7	42,9	7,7	7,1	26,0	4,4	9,7	11,9	28,3	4,2	8,5	15,6	24,8	1,7	8,9	14,2
		C	53,3	39,7	5,0	8,7	21,1	3,6	4,2	13,3	30,1	3,0	8,5	18,6	25,6	1,8	7,2	16,6
		D	57,5	48,2	2,7	6,7	27,6	4,7	7,8	15,1	35,1	6,3	14,7	14,1	22,0	1,3	8,4	12,3
	Mittelwert		57,3	45,6	4,7	7,0	23,7	4,2	6,1	13,4	30,3	4,4	9,8	16,1	24,3	1,6	8,5	14,2
	1-Schnitt-Juli-Variante	A	60,3	21,0	18,2	21,1	37,1	7,4	7,7	22,0	38,4	7,7	9,9	20,8	41,0	1,6	15,2	24,2
B		60,9	25,7	12,9	22,2	38,5	5,8	6,9	25,9	36,6	5,5	10,1	21,0	37,4	2,2	12,9	22,3	
C		56,1	24,7	15,2	16,1	44,1	15,4	5,8	22,8	38,3	15,3	4,6	18,4	35,1	7,0	6,5	21,6	
D		50,0	25,5	11,2	13,2	39,6	7,9	15,3	16,4	40,0	6,0	15,1	18,9	46,9	6,1	17,7	23,1	
Mittelwert		56,8	24,3	14,4	18,2	39,8	9,1	8,9	21,8	38,3	8,6	9,9	19,8	40,1	4,3	13,0	22,8	
<b>Mulch</b>	0-Variante	A	46,4	18,3	15,4	12,7	43,8	15,3	18,5	9,9	45,5	11,4	23,1	11,0	46,5	7,0	28,7	10,8
		B	52,6	32,8	6,3	13,5	60,3	39,2	9,0	12,1	56,7	42,5	4,4	9,8	60,2	27,1	15,0	18,1
		C	47,9	21,3	12,9	13,7	43,8	15,3	14,3	14,1	45,0	13,5	15,5	16,1	46,0	9,2	21,1	15,7
		D	57,1	48,8	4,4	3,9	57,9	37,6	13,6	6,7	56,1	33,7	12,9	9,5	57,2	28,6	13,3	15,3
	Mittelwert		51,0	30,3	9,7	10,9	51,4	26,9	13,9	10,7	50,9	25,3	14,0	11,6	52,5	18,0	19,5	15,0
	1-Schnitt-Juni-Variante	A	56,0	20,3	16,3	19,4	43,3	10,8	21,5	10,9	52,8	10,6	25,3	16,9	48,0	5,8	30,3	12,0
		B	49,8	20,4	11,1	18,2	38,9	9,7	11,2	18,0	57,7	8,7	28,4	20,6	48,9	7,3	28,5	13,1
		C	48,7	11,9	23,4	13,5	47,6	9,5	27,4	10,7	45,7	4,6	31,3	9,8	33,3	1,7	28,0	3,6
		D	44,7	26,5	4,1	14,1	30,9	12,3	6,9	11,7	60,8	15,2	21,4	24,2	52,1	15,6	21,6	14,9
	Mittelwert		49,8	19,8	13,7	16,3	40,2	10,6	16,7	12,8	54,2	9,7	26,6	17,9	45,6	7,6	27,1	10,9
	2-Schnitt-Juni-Variante	A	58,3	16,3	17,9	24,1	34,3	2,4	17,3	14,6	43,2	3,0	26,0	14,2	44,8	2,2	23,2	19,4
		B	57,2	18,2	12,9	26,0	37,6	1,9	20,2	15,4	36,2	1,8	20,9	13,5	36,0	1,4	20,4	14,1
		C	44,7	20,8	11,6	12,3	34,8	3,5	17,0	14,3	41,9	2,9	22,9	16,0	36,5	2,2	21,5	12,9
		D	41,6	21,8	5,5	14,2	37,7	5,6	13,5	18,5	39,9	4,0	21,4	14,5	36,7	1,8	19,5	15,4
	Mittelwert		50,4	19,3	12,0	19,2	36,1	3,4	17,0	15,7	40,3	2,9	22,8	14,6	38,5	1,9	21,1	15,4
	1-Schnitt-Juli-Variante	A	53,4	32,6	4,3	16,5	47,9	6,2	10,3	31,3	69,1	11,7	27,0	30,3	63,2	12,6	27,1	23,5
B		28,7	17,1	3,9	7,7	46,9	9,4	15,4	22,1	55,9	10,1	18,9	26,9	59,4	10,1	20,1	29,2	
C		42,2	25,4	7,5	9,4	55,7	11,1	23,5	21,0	58,6	11,7	30,3	16,5	59,0	8,9	32,5	17,7	
D		58,9	16,3	20,6	22,0	58,4	9,9	28,1	20,4	60,4	10,9	30,2	19,4	59,2	7,7	36,2	15,3	
Mittelwert		45,8	22,8	9,1	13,9	52,2	9,2	19,3	23,7	61,0	11,1	26,6	23,3	60,2	9,8	28,9	21,4	
<b>Schlegel</b>	0-Variante	A	52,8	34,3	9,9	8,7	54,5	32,7	14,0	7,8	51,3	38,5	7,5	5,4	53,4	29,4	14,5	9,5
		B	59,1	51,4	2,6	5,2	59,3	41,5	7,5	10,3	56,4	39,5	9,5	7,4	58,0	31,9	16,2	10,0
		C	44,9	18,9	23,2	2,8	51,6	23,2	25,5	2,9	51,5	23,2	26,8	1,5	53,7	13,4	37,0	3,2
		D	48,8	25,7	17,8	5,3	51,6	23,2	25,7	2,6	53,1	15,9	35,8	1,4	54,8	8,2	43,2	3,4
	Mittelwert		51,4	32,5	13,4	5,5	54,2	30,2	18,2	5,9	53,1	29,3	19,9	3,9	55,0	20,7	27,7	6,5
	1-Schnitt-Juni-Variante	A	54,7	45,8	3,7	5,1	35,0	10,5	21,1	3,4	37,7	6,8	27,6	3,3	31,2	3,1	22,5	5,5
		B	50,1	26,3	8,2	15,6	32,7	6,5	17,9	8,3	35,1	4,6	19,8	10,7	28,7	2,9	15,1	10,7
		C	51,4	30,4	8,6	12,4	33,4	10,0	17,5	5,9	38,2	2,7	23,2	12,4	30,4	1,2	24,9	4,3
		D	48,7	22,6	7,0	19,1	31,7	4,8	14,0	13,0	33,6	4,0	18,5	11,1	27,3	3,6	18,3	5,5
	Mittelwert		51,2	31,3	6,9	13,1	33,2	8,0	17,6	7,6	36,2	4,5	22,3	9,4	29,4	2,7	20,2	6,5
	2-Schnitt-Juni-Variante	A	57,4	36,4	4,6	16,4	29,1	1,5	20,2	7,4	23,4	0,9	17,4	5,0	18,7	0,4	14,0	4,4
		B	45,1	14,3	10,0	20,8	27,8	1,4	19,2	7,2	23,3	1,2	19,7	2,4	18,7	0,6	13,8	4,3
		C	47,1	16,9	13,9	16,3	28,8	2,9	18,5	7,4	24,9	1,0	21,3	2,6	19,6	0,6	15,9	3,1
		D	49,1	19,9	7,0	22,3	26,4	1,3	19,9	5,2	23,5	0,7	19,1	3,7	18,8	0,2	16,7	1,9
	Mittelwert		49,7	21,9	8,9	18,9	28,0	1,8	19,5	6,8	23,8	0,9	19,4	3,4	18,9	0,4	15,1	3,4
	1-Schnitt-Juli-Variante	A	33,9	5,0	23,9	4,9	30,9	3,1	22,4	5,5	34,0	1,7	23,9	8,4	27,7	0,6	20,7	6,5
B		50,6	23,3	18,1	9,2	34,9	8,7	18,8	7,4	38,8	3,9	18,3	16,6	30,9	2,5	20,6	7,8	
C		54,9	31,5	13,1	10,3	31,0	3,1	18,7	9,2	33,7	2,7	24,8	6,2	27,4	1,9	21,9	3,6	
D		61,4	48,1	8,1	5,3	32,3	4,9	20,4	7,1	35,3	2,8	25,7	6,8	28,5	2,3	21,9	4,2	
Mittelwert		50,2	27,0	15,8	7,4	32,3	4,9	20,1	7,3	35,4	2,8	23,2	9,5	28,6	1,8	21,3	5,5	

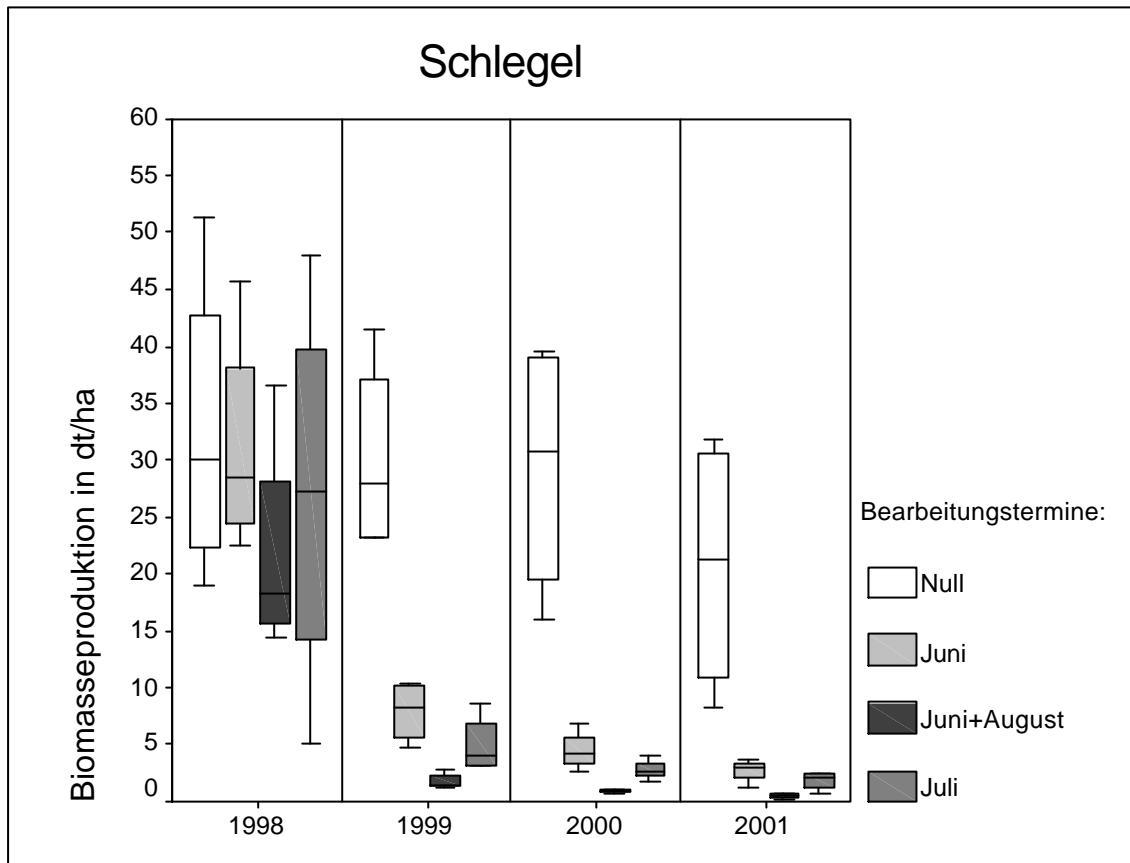




**Abb. A-23:** Entwicklung der Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* auf den Teilflächen der Mahd-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4)



**Abb. A-24:** Entwicklung der Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* auf den Teilflächen der Mulch-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % -Quartil und Min./Max., n=4)



**Abb. A-25:** Entwicklung der Biomasseproduktion von *Lupinus polyphyllus* auf den Teilflächen der Schlegel-Variante (Box-Whisker-Plots mit Median, 25/75 % Quartil und Min./Max., n=4)

## Dank

Ich danke Frau Prof. Dr. Dr. Annette Otte für die Überlassung des interessanten Themas und die wissenschaftliche Betreuung.

Herr Prof. Dr. Dr. h.c. Wilhelm Opitz von Boberfeld hat dankenswerterweise das Koreferat übernommen.

Mein Dank gilt allen MitarbeiterInnen und den studentischen Hilfskräften der Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung für die Erarbeitung der Feld- und Labordaten. Herrn Scholz vom Hofe danke ich für die tatkräftige Unterstützung im Gelände und Labor; den Diplomanten Frau Maul und Herrn Obert für die anregenden Diskussionen zum Thema Stauden-Lupine.

Namentlich möchte ich den folgenden Institutionen bzw. Personen meinen Dank für die konstruktive Zusammenarbeit aussprechen:

- ◆ Herrn Geier, Herrn Kolb, Frau Dr. Pokorny, und Frau Schneider (Verwaltungsstelle Biosphärenreservat Rhön, bayerischer Teil, Oberelsbach), die das Projekt vor Ort mit ihrer Fachkenntnis begleitet haben; Herrn Spitzl für sein stetes Engagement und seine Anregungen; den PraktikantInnen (FÖJ) und Zivildienstleistenden der Verwaltungsstellen in Bayern und Hessen für die Mitarbeit im Gelände;
- ◆ Herrn Mayerl (Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Umwelt, München) und Herrn Salomon (Höhere Naturschutzbehörde Unterfranken, Würzburg);
- ◆ Herrn Weisenburger und Herrn Stumpf (Untere Naturschutzbehörde, Bad Neustadt/ Saale);
- ◆ Herrn Dr. Tamm (Regierungspräsidium, Kassel) und Herrn Sauer (Verwaltungsstelle des Biosphärenreservat Rhön, hessischer Teil);
- ◆ Herrn Dr. Rebhan (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach);
- ◆ Herrn Prof. Dr. Wissel und Frau Visser (Umweltforschungszentrum Halle/Leipzig) für die Modellierung zur Ausbreitung der Stauden-Lupine;
- ◆ Herrn Pörtner (Oberelsbach), Herrn Rohrbach (Oberelsbach) und Herrn Weckbach (Wüstensachsen) für die sorgfältige Umsetzung von Pflegemaßnahmen;
- ◆ Herrn Dr. Neff (Hessische Lehr- und Forschungsanstalt Eichhof) für den Erfahrungsaustausch zur Pflege von *Lupinus polyphyllus*.

Die Finanzierung des an diese Arbeit geknüpften Forschungsprojektes erfolgte durch den Freistaat Bayern, zusätzliche Mittel für chemische Analysen wurden durch das Land Hessen bereitgestellt. Die Erstellung der Luftbilder wurde im Rahmen des Projekt LIFE-II (Biosphärenreservat Rhön, bayerischer Teil) finanziell unterstützt.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir das Studium und die anschließende Promotion ermöglicht haben.