

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	25073	Referat	33/0	Fördersumme	202892,00 €
----	--------------	---------	-------------	-------------	--------------------

Antragstitel **Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutztem Grünland**

Stichworte Grünland, Naturschutz

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
52 Monate	01.12.2007	31.03.2012	1

Zwischenberichte	Erster Zwischenbericht	Zweiter Zwischenbericht	Dritter Zwischenbericht am
	am 30.11.2008	am 30.11.2009	30.11.2010

Bewilligungsempfänger

Justus-Liebig-Universität, Gießen
Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung
Heinrich-Buff-Ring 26-32
35392 Gießen

Tel 0641/9937161

Fax 0641/9937169

Projektleitung

Prof. Dr. Dr. Annette Otte

Dr. Tobias W. Donath

Dr. Lutz Eckstein

Bearbeiter/in

Dipl.-Biol. Linda Jung

Kooperationspartner (Auswahl):

- Obere Naturschutzbehörden der Regierungspräsidien Darmstadt und Gießen: naturschutzfachliche Beratung, Umsetzung der Empfehlungen in Pflegepläne und Monitoringkonzepte (z. B. in FFH-Gebieten).
- Die Landräte von Darmstadt-Dieburg und des Lahn-Dill-Kreises – Landwirtschaftsverwaltung: Fachliche Beratung, Informationsweitergabe an die Landwirte.
- Forstamt Groß-Gerau: Bereitstellung der Flächen, Absprache der Flächenauswahl, Koordination der Nutzung mit den Landwirten.
- Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (Dr. Horst, Abteilung 6 Landwirtschaftliches Untersuchungswesen, Kassel): Fachliche Beratung.
- Haupt- und Nebenerwerbs-Landwirte in den Untersuchungsgebieten

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

In extensiv genutzten, naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen ist in den letzten Jahren eine verstärkte Wiederausbreitung der sehr giftigen Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale*) zu verzeichnen. Probleme bereitet dies im Falle von Grünlandbeständen, deren Erhaltung z. Zt. über die Integration der Bestände in lokale landwirtschaftliche Nutzungssysteme sichergestellt wird. Aktuell wird diese erfolgreiche Vermarktung in vielen Gebieten durch die Ausbreitung der Herbst-Zeitlose zunehmend in Frage gestellt. Positiv auf die Entwicklung der Herbst-Zeitlose-Populationen wirkt dabei insbesondere eine verlängerte Wachstumsphase, die aus den rückversetzten Mahdterminen, wie im Rahmen von Naturschutzgebietsausweisungen oder Vertragsnaturschutz üblich, resultiert.

Bei Anteilen von *C. autumnale* im Futter ist die Heuvermarktung stark eingeschränkt.

Die bestehenden Empfehlungen zur Bekämpfung der Herbst-Zeitlosen stammen vorwiegend aus der Zeit der flächigen Grünlandintensivierung (1950 – 1975; z. B. Nutzungsintensivierung, Einsatz von Herbiziden) oder sind heute für eine Umsetzung in der Praxis zu arbeitsaufwändig für einen großflächigen Einsatz.

Daher ergaben sich für das Projekt folgende Hauptziele:

- Entwicklung naturschutzkonformer Managementstrategien zur Regulierung der Herbst-Zeitlose (*C. autumnale* L.) in Wiesen unter Berücksichtigung der Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die naturschutzfachlich wertvollen Pflanzenarten.
- Erfassung der Veränderungen des Nährstoffgehalte in den verschiedenen Pflanzenteilen der
- Erfassung des Toxingehaltes der Herbst-Zeitlose im Jahresverlauf, zur Bestimmung von Zeitfenstern in denen das Risiko einer Vergiftung gering ist.
- Erstellung einer Informationsbroschüre für Landwirte und Heunutzer, in der die Problematik und die geeigneten Regulierungsmaßnahmen beschrieben werden.

Weitere Ziele: Untersuchungen zur Biologie der Herbst-Zeitlose, zur Beurteilung der Bekämpfungsstrategien:

- Langlebigkeit von Herbst-Zeitlose Samen im Boden - Anlage einer Samenbank?
- Bestimmung der bevorzugten Keimungsbedingungen der Art.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- Populationsbiologische Untersuchungen an *C. autumnale*: Vier Schnittregime wurden auf ihre Wirkung auf populationsbiologische Parameter (z. B. Populationswachstumsrate, Überlebensfähigkeit, generative Reproduktion) untersucht, sowie ihre Wirkung auf verschiedenen Vegetationsparameter (z. B. Artenzahl, Vegetationsstruktur) der naturschutzfachlich wertvollen Begleitvegetation.
- Die standörtliche und zeitliche Variabilität der Nährstoffgehalte in den verschiedenen Pflanzenteilen der Herbst-Zeitlose wurde mittels CNS-Elementaranalysator, Kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung, Atomabsorptionsspektrometrie erfasst.
- Die standörtliche und zeitliche Variabilität des Toxingehaltes in den oberirdischen Pflanzenteilen wurde mittels HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) analysiert.
- Die Samenbankuntersuchung erfolgte in einem Vergrabungsexperiment.
- Untersuchungen zur Keimungsbiologie fanden in Klimaschränken bei unterschiedlichen Temperaturregimen statt.

Ergebnisse und Diskussion

- Stärkste Schwächung der Herbst-Zeitlose durch frühe erste Mahd Ende April/Anfang Mai. Hierbei erfolgte stärkste Verringerung der Populationswachstumsrate, Wachstum und Pflanzengröße, reduzierte Überlebensfähigkeit, vegetative und generative Reproduktion.
- Nach 3jähriger Mahdumstellung bei gleichzeitigem Verzicht auf Düngung keine Veränderung der Vegetationszusammensetzung feststellbar, wenn mind. 6 Wochen Zeit bis zum nächsten Schnitt gelassen werden.
- Ergebnis der Nährstoffanalyse unterstützt Ergebnis der Mahdexperimente: Höchster Ressourcenentzug durch Blattentfernung erfolgt Ende April bzw. Anfang Mai, abhängig vom Klima der jeweiligen Region, bei einer Pflanzengröße von 26 cm.
- Toxizitätsanalyse zeigt verglichen mit Mitte Juni signifikant verringerten Giftgehalt für Anfang/Ende Juli, wenn Herbst-Zeitlose Blätter braun und vertrocknet. Durch Verschiebung der Mahd wird Giftgehalt im Heu mit Herbst-Zeitlose signifikant reduziert.
- Samenbank ist short-term persistent; nach 2¹/₄ Jahren 0,3-30% lebendige Samen im Boden.
- Keimungsexperimente: achtwöchige Warmstratifikation und anschließend geringere warme Temperaturen und Dunkelheit zur Keimung nötig; belegt morpho(physiologische) Dormanz.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

- Zusammenarbeit mit Landwirten, Kreisbehörden, Regierungspräsidium und Forstamt Gerau verlief reibungslos
- Zusammenarbeit mit Silvia Winter und Arbeitsgruppe der BOKU (Prof. Dr. Monika Kriechbaum) in Wien sowie Martin Elsässer (LAZBW Aulendorf), die an der Regulierung der Herbst-Zeitlose arbeiten, gemeinsame Veröffentlichung zweier Artikel in internationalen Zeitschriften
- Vorstellung der Ergebnisse in Form von Postern und Vorträgen auf mehreren Fachtagungen

Fazit

- Empfehlung: früher Mulchschnitt Ende April/Anfang Mai bei Pflanzengröße von 26 cm reduziert Herbst-Zeitlose Dichte am erfolgreichsten und ermöglicht den Erhalt der Pflanzenartenvielfalt. Einschränkung: einige naturschutzfachlich wertvolle Pflanzenarten vertragen keinen frühen Schnitt, und bei Teilnahme am Agrarumweltprogramm oder Lage der Grünlandfläche im Schutzgebiet bedarf eine Vorverlegung des Mahdtermins der Genehmigung. Die Einführung eines frühen Mulchschnitts muss daher abhängig vom Standort und in enger Kooperation mit Natur- und Landwirtschaftsbehörde erfolgen. Für den Ertragsausfall und zusätzlichen Arbeitsaufwand sollte der Landwirt finanziell entschädigt werden, um die Erhaltung der Artenvielfalt durch angepasste Grünlandnutzung langfristig auf Flächen sichern, wo hohe Herbst-Zeitlose Vorkommen Qualität und Vermarktungsfähigkeit des Futters einschränken.
- Alternativ: Mahd Anfang/Ende Juli, wenn Blätter der Herbst-Zeitlose braun und vertrocknet sind, dann ist Giftgehalt im Heu signifikant reduziert. Konkrete Höhe des Intoxikationsrisikos aber nicht benennbar.
- Da Keimung des Großteils der Samen in ersten 2 Jahre, kein/geringer Einfluss der Samenbank auf Herbst-Zeitlose Dichte.

Endbericht

„Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutztem Grünland“

Dipl.-Biol. Linda Jung, Dr. Tobias Donath, Dr. Lutz Eckstein, Prof. Dr. Dr. Annette Otte

Berichtszeitraum	Projektbeginn	Projektlaufzeit	Aktenzeichen
01.12.2007 bis 31.03.2012	01.12.2007	52 Monate	25073-33/0

Projektleiterin: Prof. Dr. Dr. Annette Otte	Justus-Liebig-Universität Gießen
Projektkoordination: Dr. Tobias Donath, Dr. Lutz Eckstein	Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung
Wissenschaftliche Mitarbeiterin: Dipl.-Biol. Linda Jung	IFZ - Interdisziplinäres Forschungszentrum Heinrich-Buff-Ring 26-32 35392 Gießen

Kooperationspartner:

Obere Naturschutzbehörde beim
Regierungspräsidium Darmstadt
Wilhelminenstr. 1-3
64278 Darmstadt
Ansprechpartner: Dr. Matthias Ernst

Der Landrat des Landkreises Darmstadt-Dieburg
Hauptabteilung ländlicher Raum Abt. IV/3
Postfach 10 02 44
64202 Darmstadt

Obere Naturschutzbehörde beim
Regierungspräsidium Gießen
Landgraf-Philipp-Platz
35390 Gießen
Ansprechpartner: Jürgen Busse

Der Landrat des Lahn-Dill-Kreises,
Amt für den ländlichen Raum
Georg-Friedrich-Händel-Straße 5
1-7 35578 Wetzlar

Hessisches Forstamt Groß-Gerau
Robert-Koch-Straße 3
64521 Groß-Gerau
Ansprechpartner: Ralph Baumgärtel

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
Abt. 6 – Landwirtschaftliches
Untersuchungswesen
Am Versuchsfeld 13
34128 Kassel
Ansprechpartner: Dr. Horst

Gießen, 24. August 2012

.....
Prof. Dr. Dr. Annette Otte

Inhalt

1	Anlass und Zielsetzung	2
2	Methoden.....	3
2.1	Untersuchungsgebiete und Versuchsanlage	3
2.2	Populationsbiologische Untersuchungen.....	7
2.2.1	Statistische Auswertung	9
2.3	Klimaparameter	10
2.4	Einzelbekämpfungsmaßnahmen	11
2.4.1	Blütenentfernung.....	11
2.4.2	Blattentfernung.....	11
2.4.3	Statistische Auswertung	12
2.5	Untersuchungen Begleitvegetation.....	12
2.5.1	Statistische Auswertung	13
2.6	Analyse der Nährstoff- und Giftgehalte	13
2.6.1	Statistische Auswertung	16
2.7	Keimungsexperimente	18
2.7.1	Wasseraufnahmefähigkeit von Samen von <i>Colchicum autumnale</i>	18
2.7.2	Keimungsexperiment 1 (2008).....	18
2.7.3	Keimungsexperiment 2 mit Gibberellinsäure (2008).....	21
2.7.4	Keimungsexperiment 3 (2008).....	21
2.7.5	Keimungsexperimente Masterarbeit (2009).....	22
2.8	Vergrabungsexperiment.....	24
2.9	Einfluss von Standortfaktoren und extensiver Nutzung auf die Herbst-Zeitlose	25
3	Ergebnisse	28
3.1	Populationsbiologische Untersuchungen.....	28
3.1.1	Populationswachstumsrate	28
3.1.2	Life-table response experiment (LTRE)	30
3.1.3	Elastizitätsmatrizen	30
3.1.4	Überlebenswahrscheinlichkeit	33
3.1.5	Übergangswahrscheinlichkeit zur generativen Pflanze.....	35
3.2	Einzelbekämpfungsmaßnahmen	36
3.2.1	Blütenentfernung.....	36
3.2.2	Blattentfernung.....	37
3.3	Klimaparameter	39
3.4	Untersuchungen Begleitvegetation.....	41
3.5	Analyse der Gift- und Nährstoffgehalte	46
3.6	Keimungsexperimente	53
3.6.1	Wasseraufnahmefähigkeit von Samen von <i>Colchicum autumnale</i>	53
3.6.2	Keimungsexperiment 1 (2008).....	53
3.6.3	Keimungsexperiment 2 mit Gibberellinsäure (2008).....	54
3.6.4	Keimungsexperiment 3 (2008).....	54
3.6.5	Keimungsexperimente Masterarbeit (2009).....	55
3.7	Vergrabungsexperiment.....	57
3.8	Einfluss von Standortfaktoren auf Verbreitung und Dichte der Herbst-Zeitlose	59
4	Diskussion	68
4.1	Populationsbiologische Untersuchungen.....	68
4.1.1	Auswirkung der Mahdbehandlungen auf <i>Colchicum autumnale</i>	68
4.2	Einzelbekämpfungsmaßnahmen	70
4.3	Untersuchungen Begleitvegetation.....	71

4.4	Analyse der Gift- und Nährstoffgehalte	72
4.4.1	Zeitlicher Verlauf der Nährstoffgehalte	72
4.4.2	Unterschiede zwischen Regionen.....	73
4.4.3	Zeitpunkt des größten Nährstoffentzugs	73
4.4.4	Zeitpunkt verringerten Alkaloidgehalts	74
4.5	Keimungsexperimente	75
4.6	Vergrabungsexperiment.....	76
4.7	Einfluss von Standortfaktoren und extensiver Nutzung auf die Herbst-Zeitlose	77
5	Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern	78
6	Öffentlichkeitsarbeit.....	79
7	Veröffentlichungen.....	80
8	Fazit.....	80

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Lage und Charakterisierung der Gebiete zur Untersuchung von <i>Colchicum autumnale</i> .	5
Tab. 2: Untersuchte Mahdregime zur Regulation von <i>Colchicum autumnale</i> .	7
Tab. 3: Stratifikationen und Keimungsbedingungen von Herbst-Zeitlose-Samen in Keimungsversuchen 2008.	20
Tab. 4: Behandlung von Herbst-Zeitlose-Samen 2008 mit verschiedenen Gibberellinsäure-Konzentrationen.	21
Tab. 5: Stratifikationen und Keimungsbedingungen von Herbstzeitlosesamen während der Keimungsversuche zum Vergrabungsexperiment 2008.	22
Tab. 6: Mittlere Elastizitätsmatrizen für Kontrolle und Mahdbehandlungen von 9 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen in 3 Naturräumen Hessens.	32
Tab. 7: Einfluss verschiedener Faktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von <i>Colchicum autumnale</i> in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens. ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.	33
Tab. 8: Einfluss verschiedener Faktoren auf die Übergangswahrscheinlichkeit verschiedener Lebenszyklusstadien zu generativen Pflanzen bei <i>Colchicum autumnale</i> in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens. ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.	35
Tab. 9: Einfluss der Entfernung oberirdischer Pflanzenorgane Anfang Mai 2010 bei <i>Colchicum autumnale</i> auf die Blattanzahl 2011 in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens.	38
Tab. 10: Einfluss der Entfernung oberirdischer Pflanzenorgane Anfang Mai 2010 bei <i>Colchicum autumnale</i> auf die Kapselanzahl 2011 in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens.	38
Tab. 11: Ergebnisse einer MRPP von Untersuchungsflächen mit unterschiedlichen Mahdbehandlungen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Naturräumen Hessens 2008-2011.	43
Tab. 12: Einfluss von Faktoren auf den Shannon Index verschiedener Untersuchungsflächen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Regionen Hessens.	44
Tab. 13: Einfluss von Faktoren auf die Evenness (Pielou's <i>J</i>) verschiedener Untersuchungsflächen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Regionen Hessens.	45
Tab. 14: Minimale und maximale Alkaloidgehalte (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in mg/g Trockensubstanz zwischen Ende März und Anfang August 2009 und mittlerer Alkaloidgehalte am 15.6. ± SE in verschiedenen Pflanzenteilen von <i>Colchicum autumnale</i> .	47
Tab. 15: Ergebnisse einer nicht-linearen Regressionsanalyse der zeitlichen Veränderung des Nährstoff- und Alkaloidgehalts in 6 Populationen von <i>Colchicum autumnale</i> in zwei Naturräumen Hessens.	50
Tab. 16: Mittlerer Alkaloidgehalt ± SD und mittleres Trockengewicht ± SD von 6 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen in zwei Naturräumen Hessens zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Alkaloide = Summe von Colchicin, Demecolcin und Colchicosid. VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland.	52
Tab. 17: Mittlerer Alkaloidgehalt ± SD von zwei Fraktionen von Pflanzenteilen von 6 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen in zwei Naturräumen Hessens.	53
Tab. 18: Determinationskoeffizienten DCA für Vegetationsaufnahmen unterschiedlicher Regionen in Hessen.	59
Tab. 19: Mittlere Ellenberg-Zeigerwerte von Vegetationsaufnahmen zu 2 Aufnahmezeitpunkten in 3 Regionen Hessens.	59

Tab. 20: Pearson Korrelation mit den Ordinationsachsen einer DCA von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens. Colchicum = Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> , FZ = Feuchtezahl, RZ = Reaktionszahl, NZ = Stickstoffzahl, Taxazahl = Pflanzenartenzahl.	59
Tab. 21: Korrelation bzw. Regression der Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> mit Ellenberg Zeigerwerten und Anzahl Pflanzenarten von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens:	65
Tab. 22: Vergleich der Veränderung der Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> zwischen Vegetationsaufnahmen 3er Regionen in Hessen zu 2 unterschiedlichen Zeitpunkten.....	67

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete (schwarze Punkte) in drei Naturräumen Hessens.	4
Abb. 2: Randomisierte Versuchsanlage für 5 Mahdvarianten in 9 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen und 3 Naturräumen Hessens.....	7
Abb. 3: Mit Metallstäben unterteilter 1 m ² großer Holzrahmen zur Aufnahme der Herbst-Zeitlose Pflanzen.	8
Abb. 4: Untersuchung der Auswirkung der Blütenentfernung bei der Herbst-Zeitlose.....	11
Abb. 5: Untersuchung der Auswirkung der Blattentfernung bei der Herbst-Zeitlose Ende April 2010.....	12
Abb. 6: Verschiedene Fraktionen von Herbst-Zeitlose-Pflanzen zur Analyse von Nährstoff- und Giftgehalten; a = Blätter, b = Kapseln, c = Tochterknolle, d = Mutterknolle.....	14
Abb. 7: Trocknung von Mutter- und Tochterknollen der Herbst-Zeitlose im Gefrietrockner.	15
Abb. 8: Getrocknete und gemahlene Fraktionen der Herbst-Zeitlose.....	16
Abb. 9: Zum Trocknen ausgebreitete Herbstzeitlosekapseln und -samen.....	19
Abb. 10: Klimaschränke der Professur für Landschaftsökologie an der Universität Gießen. .	19
Abb. 11: Vergrabungsexperiment mit Herbst-Zeitlose Samen auf dem Versuchsfeld.	24
Abb. 12: Lebenszyklusstadien von <i>Colchicum autumnale</i>	28
Abb. 13: Mittlere Populationswachstumsrate (λ) mit 95% Konfidenzintervall von 9 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen in drei verschiedenen Naturräumen Hessens unter verschiedenen Mahdregimen (siehe Tab. 2).	29
Abb. 14: Mittlere Populationswachstumsrate (λ) mit 95% Konfidenzintervall von 3 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen im Naturraum Vorderer Vogelsberg unter verschiedenen Mahdregimen (siehe Tab. 2).	30
Abb. 15: Beitrag verschiedener demographischer Prozesse zur Differenz der Populationswachstumsrate ($\Delta\lambda$) zwischen Kontrolle und verschiedenen Mahdregimen in 9 <i>C. autumnale</i> Populationen in drei Naturräumen Hessens für drei Übergangsjahre: a) = 2008-2009, b) = 2009-2010, c) = 2010-2011.	31
Abb. 16: Unterschiede der mittleren Überlebenswahrscheinlichkeit \pm SE von <i>Colchicum autumnale</i>	34
Abb. 17: Unterschiede der Übergangswahrscheinlichkeit (Mittel) zum generativen Stadium \pm SE von <i>Colchicum autumnale</i>	36
Abb. 18: Durchschnittliche Anzahl Blüten 2009, sowie Blätter und Kapseln 2010 von <i>Colchicum autumnale</i> in drei Naturräumen Hessens.	37
Abb. 19: Durchschnittliche Anzahl Blätter und Kapseln 2010, sowie Blätter und Kapseln 2011 von <i>Colchicum autumnale</i> in drei Naturräumen Hessens.	38
Abb. 20: Durchschnittliche monatliche Bodentemperatur in 2 cm Bodentiefe an je 3 Untersuchungsstandorten für <i>Colchicum autumnale</i> in 3 Naturräumen Hessens.....	39
Abb. 21: Durchschnittliche monatliche Lufttemperatur und Niederschlagssumme für die Jahre 2008 – 2011 in 3 Naturräumen Hessens.....	40
Abb. 22: Mittlerer Biomasse- und Nährstoffentzug \pm SE unter verschiedenen Mahdregimen	41
Abb. 23: Mittlerer Biomasseertrag pro Schnittzeitpunkt unter verschiedenen Behandlungen	42
Abb. 24: Detrended Correspondence Analysis der Vegetationszusammensetzung von 9 Untersuchungsflächen mit <i>Colchicum autumnale</i> in drei Naturräumen Hessens 2008.	43
Abb. 25: Unterschiede im mittleren Shannon-Index \pm SE zwischen der Interaktion Jahr x Mahdbehandlung (s. Tab. 2) zwischen Untersuchungsflächen von 9 Grünlandstandorten in 3 Naturräumen Hessens.....	46
Abb. 26: Zeitliche Änderung der mittleren Pflanzenhöhe \pm SE von <i>Colchicum autumnale</i> . .	46

Abb. 27: Zeitlicher Verlauf \pm SE der Gesamtgehalte von (a) N, (b) P, (c) K und (d) Alkaloide (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in oberirdischen Pflanzenteilen einer <i>Colchicum autumnale</i> Pflanze in zwei Naturräumen Hessens.....	48
Abb. 28: Zeitlicher Verlauf \pm SE der mittleren Gesamtgehalte von (a) Stickstoff (N), (b) Phosphor (P), (c) Kalium (K) und (d) Stärke in Speicherorganen einer <i>Colchicum autumnale</i> Pflanze in zwei Naturräumen Hessens.....	49
Abb. 29: Quotient der mittleren Gesamtgehalte von (a) N, (b) P und (c) K zwischen oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteilen und (d) dem Stärkegehalt in den unterirdischen Pflanzenteilen einer <i>Colchicum autumnale</i> Pflanze.....	51
Abb. 30: Alkaloidgehalt (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in oberirdischen Pflanzenteilen von 6 <i>Colchicum autumnale</i> Populationen in zwei Naturräumen Hessens.....	52
Abb. 31: Gewichtszunahme [%] von mit dem Skalpell angeritzten und ungeritzten Herbst-Zeitlose Samen nach 3-tägigem Einlegen in destilliertes Wasser.....	53
Abb. 32: Anteil [%] der gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach verschiedenen Behandlungsreihen des Keimungsexperiments 1 2008.....	54
Abb. 33: Anteil [%] der gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach verschiedenen Behandlungsreihen des Keimungsexperiments 3 2008.....	55
Abb. 34: Anteil [%] der gekeimten Herbst-Zeitlose-Samen im zeitlichen Verlauf verschiedener Behandlungen des Keimungsexperiments 2009.....	56
Abb. 35: Bodenfeuchte auf einem trockenen und einem feuchten Standort im Vergrabungsexperiment mit <i>Colchicum autumnale</i> Samen.....	57
Abb. 36: Temperatur auf einem trockenen und einem feuchten Standort in 3 Tiefen im Vergrabungsexperiment mit <i>Colchicum autumnale</i> Samen.....	57
Abb. 37: Anteil [%] \pm Standardfehler von gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach unterschiedlichen Vergrabungszeiträumen und Vergrabungstiefen auf zwei Standorten.....	58
Abb. 38: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen der Ohmniederung mit Overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von <i>Colchicum autumnale</i>	60
Abb. 39: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen der Ohmniederung mit successional vectors.....	61
Abb. 40: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Vorderen Vogelsberg mit overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von <i>Colchicum autumnale</i>	62
Abb. 41: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Vorderen Vogelsberg mit successional vectors.....	62
Abb. 42: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen des Licher Beckens mit overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von <i>Colchicum autumnale</i>	63
Abb. 43: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Licher Becken mit successional vectors.....	64
Abb. 44: Korrelation zwischen Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> mit Ellenberg Zeigerwerten und Anzahl Pflanzenarten von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens:.....	65
Abb. 45: Anteil der Untersuchungsflächen, für den bei a) Abnahme, b) keiner Veränderung und c) Zunahme der Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> eine Abnahme, keine Veränderung oder Zunahme der Ellenberg Zeigerwerte FZ (Feuchtezahl), NZ (Stickstoffzahl), RZ (Reaktionszahl) und Pflanzenartenzahl (Taxazahl) eintrat.....	66
Abb. 46: Prozentualer mittlerer Anteil \pm SE von <i>Colchicum autumnale</i> an der Gesamtvegetation zu 2 Aufnahmezeitpunkten in Untersuchungsflächen 3er Regionen Hessens.....	67

Abb. 47: Anteil der Untersuchungsflächen auf denen eine Abnahme, keine Änderung oder Zunahme der Dichte von <i>Colchicum autumnale</i> erfolgte von 1950ern/1960ern zu 1990/91 (Ohmniederung und Vogelsberg) bzw. 1976 zu 1986 (Licher Becken).	68
Abb. 48: Anteil der Untersuchungsflächen mit Vorkommen von <i>Colchicum autumnale</i> zu 3 unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten in 3 Regionen Hessens.....	68

Zusammenfassung

Ziel des Projektes „Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutztem Grünland“ war die Entwicklung naturschutzkonformer Strategien, um die Herbst-Zeitlose in artenreichen Grünlandbeständen auf ein für die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen verträgliches Maß zu reduzieren. Im Jahr 2008 wurden für die Untersuchung der Regulierungsmaßnahmen in jeweils drei Herbst-Zeitlose-Populationen in drei Naturräumen Hessens Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet und die Auswirkung von vier verschiedenen Mahdvarianten getestet. Jährlich wurden auf diesen Flächen populationsbiologische Daten und Vegetationsdaten erhoben. Da die stärkste Schädigung der Herbst-Zeitlose durch größtmöglichen Nährstoffentzug bei der Mahd erfolgt, wurde die zeitliche Veränderung der Nährstoffgehalte im Verlauf der Vegetationsperiode untersucht. Zudem wurden Daten zum zeitlichen Verlauf der Alkaloidgehalte und Giftigkeit erhoben. Die effektivste Zurückdrängung der Herbst-Zeitlose erfolgte durch einen frühen Schnitt Ende April/Anfang Mai (abhängig vom Naturraum und phänologischer Entwicklung) bei einer Pflanzengröße von ca. 26 cm. Zu diesem Zeitpunkt ist das Verhältnis zwischen Nährstoffgehalten in oberirdischer Biomasse und Speicherorganen am größten und ein Schnitt bewirkt den größtmöglichen Ressourcenentzug. Die Folge ist eine Verringerung der Populationswachstumsrate, Überlebenswahrscheinlichkeit, sowie der generativen und vegetativen Reproduktion der Pflanzen. Dadurch sinkt die Populationsdichte der Herbst-Zeitlose. Da der Pflanzenaufwuchs Ende April/Anfang Mai noch sehr gering ist und der Alkaloidgehalt von *C. autumnale* relativ hoch, wird ein Mulchschnitt empfohlen. Ein Rückgang der Pflanzenartenvielfalt war nach 3 Jahren veränderter Bewirtschaftung mit Schnitt Ende April und Mitte Juni (und ohne Düngung) nicht zu beobachten. Es wird empfohlen den zweiten Schnitt von Mitte Juni auf Ende Juni/Anfang Juli zu verschieben, um einen ausreichenden Wiederaufwuchs und Biomassertrag sowie die Samenschüttung möglichst vieler Pflanzenarten zu ermöglichen. Es ist jedoch zu erwarten, dass einige naturschutzfachlich wertvolle Pflanzenarten bei regelmäßiger früher Mahd ausfallen. Eine Vorverlegung des ersten Schnittes bei Teilnahme an Agrarumweltprogrammen oder Lage der Grünlandflächen in Schutzgebieten bedarf einer Ausnahmegenehmigung. Die vorgeschlagene Bewirtschaftungsänderung zur Reduktion der Herbst-Zeitlose muss daher in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit Naturschutz- und Landwirtschaftsbehörde erfolgen. Aufgrund des erhöhten Arbeitsaufwandes für den Landwirt und zu erwartenden Ertragsausfalls von ca. 20%, ist eine finanzielle Entschädigung erstrebenswert. Nur so lässt sich eine dem Erhalt der Artenvielfalt angepasste Grünlandnutzung langfristig auf Flächen sichern, wo hohe Herbst-Zeitlose Vorkommen die Qualität und Vermarktungsfähigkeit des Futters in Frage stellen. Bei geringen Dichten ist auch eine Einzelbekämpfung der Herbst-Zeitlose durch Ausreißen der Blätter bei ca. 26 cm Pflanzenhöhe sinnvoll.

Alternativ kann der Giftgehalt in Heu mit Herbst-Zeitlose reduziert werden, indem die Mahd von Mitte Juni auf den Zeitpunkt verschoben wird, wo die oberirdischen Pflanzenteile der Herbst-Zeitlose braun und vertrocknet sind – ca. Anfang/Ende Juli. Der Giftgehalt und damit das Intoxikationsrisiko sind dann signifikant reduziert. Für die genaue Bestimmung beider Größen müssten jedoch weitere Studien erfolgen.

Die Samenbank der Herbst-Zeitlose ist kurzlebig (short-term persistent) mit 0,3 bis 30% lebensfähigen Samen nach 2 Jahren Überdauerung im Boden. Da die Mehrzahl der Samen im 1. und 2. Jahr keimt, ist bei einer Bekämpfung kein starker Einfluss auf die Populationsdichten zu erwarten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Projekt nicht zuletzt durch die gute Zusammenarbeit mit den Projektpartnern sehr erfolgreich verlaufen ist und das Ziel, eine naturschutzverträgliche Maßnahme zur Zurückdrängung der Herbst-Zeitlose zu entwickeln, erreicht wurde.

Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutztem Grünland

1 Anlass und Zielsetzung

Die in vielen Gebieten erfolgreiche Vermarktung der Biomasse von Grünlandbeständen, die mit Auflagen des Naturschutzes bewirtschaftet werden (Donath et al., 2004; Filoda et al., 1996), wird in warmen Tieflagen bis in submontanen Höhenlagen durch die ansteigenden Populationsdichten der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale*) zunehmend in Frage gestellt. Eine mögliche Ursache für die festgestellten ansteigenden Individuendichten in Populationen der Herbst-Zeitlose mit bis zu 50 Ind./m² liegen in der im Vergleich zur früher extensiveren Grünlandnutzung, wie sie z. B. im Zuge von naturschutzfachlichen Nutzungsaufgaben oder Extensivierungsprogrammen (z. B. HIAP - Hessisches Integriertes Agrarumweltprogramm, Briemle, 2006) vereinbart worden sind. Positiv auf die Entwicklung der Herbst-Zeitlose-Populationen wirkt dabei insbesondere eine verlängerte vegetative Wachstumsphase, die aus relativ späten Mahdterminen resultiert, um z. B. wiesenbrütende Vogelarten zu schützen. Bei hohen Anteilen von *Colchicum* an der Biomasse darf das resultierende Futter (z. B. Heu) nur an Tiere verfüttert werden, die die Herbst-Zeitlose bei der Futteraufnahme aussortieren. Allerdings wird schon bei sehr geringen Anteilen der Herbst-Zeitlose im Futter die Möglichkeit der Vermarktung des Heus stark eingeschränkt. Als kritisch werden dabei bereits Massenanteile von 1% angesehen, als mittlere Letaldosis wird bei landwirtschaftlichen Nutztieren 1 mg Colchicin pro kg Körpergewicht angegeben (Roth et al., 1994). Die Befürchtungen von Landwirten bei Schadensfällen haftbar gemacht zu werden und die Gefahr einer sich rasch entwickelnden Hysterie der Abnehmer des Heus bei der Vergiftung von Nutz- und Haustieren könnte die bisher erreichte positive Belegung des Begriffs „Naturschutzheu“, sowie die Akzeptanz naturschutzfachlich begründeter Nutzungseinschränkungen bei Landwirten und in der Bevölkerung stark gefährden.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Projekt folgende Zielsetzungen:

- 1 Entwicklung von Maßnahmen zur Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale*) in artenreichen, naturschutzfachlich wertvollen Beständen.
- 2 Abschätzung der Wirkung verschiedener Managementregime auf die begleitende Vegetation. Dies ist wichtig vor dem Hintergrund, dass *Colchicum* in traditionell als Grünland genutzten, artenreichen und daher naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen vorkommt. Damit soll erreicht werden, dass die Empfehlungen zu geeigneten Managementstrategien nicht nur auf die Regulierung von *Colchicum* ausgerichtet sind, sondern auch die Auswirkungen auf wertgebende Grünlandarten berücksichtigen.
- 3 Analyse der Nährstoff- und Giftgehalte der Herbst-Zeitlose im Verlauf der Vegetationsperiode unter verschiedenen standörtlichen Ausgangssituationen. Ziel der Analyse der Nährstoffgehalte ist es neben dem experimentell bestimmten besten Mahdzeitpunkt durch verschiedene Mahdbehandlungen, den besten Mahdzeitpunkt von der physiologischen Entwicklung der Pflanze her zu bestimmen. Der beste Mahdzeitpunkt sollte demnach dann sein, wenn die Nährstoffgehalte in den oberirdischen Pflanzenteilen der Herbst-Zeitlose möglichst hoch und in den Speicherorganen möglichst gering ist, wenn also der Quotient zwischen beiden am

größten ist. In dieser Situation ist davon auszugehen, dass mit einem Schnitt der Herbst-Zeitlose die größtmögliche Menge an Nährstoffen entzogen wird, und sie gleichzeitig kaum Reserven besitzt neue Blattmasse zu bilden.

Ziel der Analyse der Giftgehalte ist es, Empfehlungen für den Zeitpunkt der Futtergewinnung und Wiesenpflege zu geben, um damit das Risiko der Vergiftung durch Herbst-Zeitlose einzudämmen.

Des Weiteren soll der Toxingehalt von Heu, das von Grünlandflächen mit Herbst-Zeitlose stammt bestimmt werden, um eine Risikoabschätzung für die Verfütterung dieses Heus durchzuführen.

- 4 Erarbeitung eines Informationsblattes für Landwirte, Pferdehalter und Naturschutzpraktiker zur Herbst-Zeitlose-Problematik und möglichen Lösungsansätzen.

Weitere Ziele sind Untersuchungen zur Biologie der Herbst-Zeitlose, die bei der Beurteilung der Bekämpfungsstrategien hilfreich sein können:

- 5 Untersuchung zur Langlebigkeit von Herbst-Zeitlose-Samen im Boden zur Abschätzung, ob und in welchem Umfang eine Samenbank angelegt wird. Daraus wird sich schließen lassen, über welchen Zeitraum eine Etablierung der Art aus der Samenbank zu erwarten ist.
- 6 Keimungsbiologische Untersuchungen sollen bei verschiedenen Temperaturen und Temperaturverläufen im Labor (in Klimaschränken) und unter Freilandbedingungen die bevorzugten Keimungsbedingungen der Art bestimmen.

2 Methoden

2.1 Untersuchungsgebiete und Versuchsanlage

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf drei Regionen in Hessen (Abb. 1). Damit konnte ein klimatischer, ökologischer und nutzungsbedingter Standortgradient bearbeitet werden. Die Untersuchungsgebiete zeichneten einen klimatischen Gradienten abnehmender Vegetationsdauer von der hessischen nördlichen Oberrheinniederung (Südhessen: > 250 Tage mit Tagesmitteltemperatur > 5 °C), über den Vorderen Vogelsberg bis zu den kühleren Lagen des Lahn-Dill Berglandes (210 Tage > 5 °C; Deutscher Wetterdienst, 1981) nach. Alle Untersuchungsgebiete waren von Gießen aus sehr gut erreichbar.

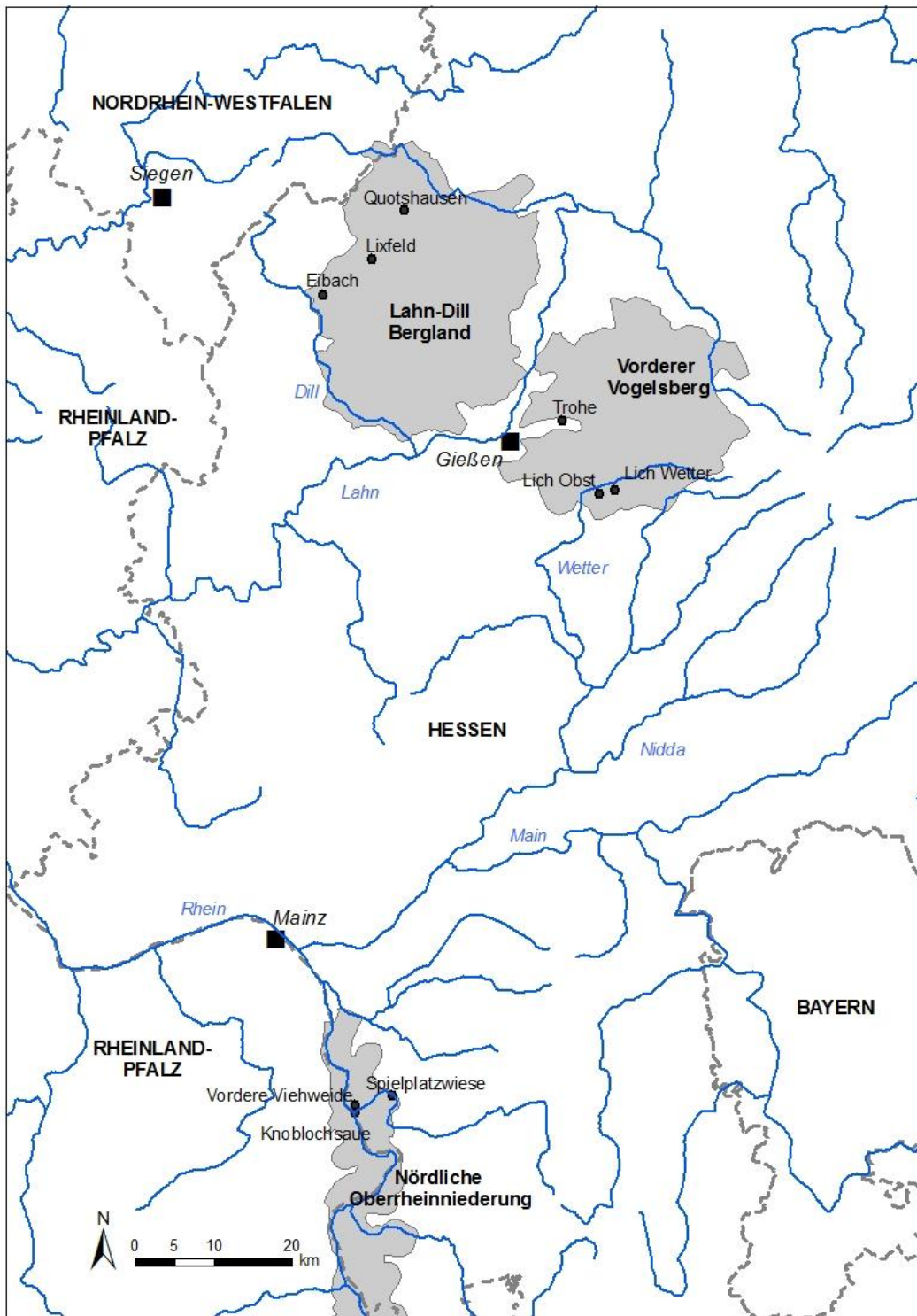


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete (schwarze Punkte) in drei Naturräumen Hessens (grau).

In jedem Untersuchungsgebiet wurden zu Beginn des Projekts drei Grünlandbestände mit Herbst-Zeitlose-Populationen ausgewählt. Lage und Bezeichnung der Bestände sind in Abbildung 1 dargestellt. Weitere Informationen zur Lage und Charakterisierung der Untersuchungsgebiete finden sich in Tabelle 1.

Tab. 1: Lage und Charakterisierung der Gebiete zur Untersuchung von *Colchicum autumnale*.

Region	Untersuchungs- gebiet	<i>C. autumnale</i> /m ² (davon Keimlinge)	Geographische Lage	Höhe [m]	Vegetationstyp nach Ellenberg (, 2009) und Lebensraumtyp (LRT) nach Anhang I der FFH-Richtlinie (European Commission, 1992/1995)
	Spielplatz	59.1 (20.7)	49°83'08" N, 8°46'48" E	90	Cnidion dubii/ Brenndolden-Auenwiesen, LRT 6440
Nördliche Oberrheinebene	Viehweide	60.3 (8.3)	49°81'05" N, 8°39'85" E	90	Cnidion dubii / Brenndolden-Auenwiesen, LRT 6440
	Knoblochsau	27.6 (1.6)	49°81'97" N, 8°39'8" E	90	Arrhenatherion elatioris/ Magere Flachland-Mähwiese, LRT 6510
Vorderer Vogelsberg	Lich Obst	16.4 (0.1)	50°52'7" N, 8°83'2" E	177	Arrhenatherion elatioris/ Magere Flachland-Mähwiese, LRT 6510
	Lich Wetter	16.2 (5.1)	50°53'02" N, 8°86'02" E	177	Arrhenatherion elatioris/ Magere Flachland-Mähwiese, LRT 6510
	Trohe	39.8 (5.8)	50°60'99" N, 8°76'49" E	159	Arrhenatherion elatioris/ Magere Flachland-Mähwiese, LRT 6510
Lahn-Dill Bergland	Eibach	47.2 (3.4)	50°75'35" N, 8°32'89" E	298	Arrhenatherion elatioris/ Magere Flachland-Mähwiese, LRT 6510
	Lixfeld	32.3 (0.3)	50°79'51" N, 8°41'61" E	444	Polygono-Trisetion/ Bergwiese, LRT 6250
	Quotshausen	19.9 (1.8)	50°85'22" N, 8°47'43" E	330	Polygono-Trisetion/ Bergwiese, LRT 6250

In jedem Grünlandbestand wurden Versuchsflächen von 2 x 2 m Größe angelegt, die Datenaufnahme erfolgt jedoch nur in der zentralen 1 x 1 m Fläche, um Randeffekte zu vermeiden. Insgesamt wurden auf den Versuchsflächen vier, bzw. in der Region Vorderer Vogelsberg fünf verschiedene Nutzungsregime als Versuchsvarianten untersucht:

- K: Mahd Mitte Juni und September: Dies stellt die Kontrolle dar, da es dem Nutzungsregime entspricht, das zur Ausbreitung der Art geführt hat.
- T1: Einmalige Mahd im Mai eines Jahres zum Zeitpunkt des Schiebens des Fruchtstandes der Herbst-Zeitlose. Ein Schnitt zu diesem Termin bedeutet für die Pflanze einen starken Ressourcenentzug, sollte die Pflanze stark schwächen und zudem die Samenausbildung verhindern.
- T2: Zweimalige Mahd: Mai und Juni. Dies entspricht der Variante T1, aber durch den Schnitt des Neuaustriebes tritt eine weitere Schwächung der Pflanze ein.
- T3: Zweimalige Mahd im Mai und Juni, und Mulchen der Blüten im August/September. Zu erwarten ist, dass zusätzlich zur Schwächung der Pflanzen die Samenproduktion durch die Zerstörung der Blüten verringert wird.
- T4: Mahd im April und Mai eines Jahres. Der erste Mahdtermin ist hier vorverlegt vor das Schieben des Fruchtstandes der Herbst-Zeitlose und soll die Pflanze bereits kurz nach ihrem Austrieb schwächen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Begleitvegetation noch recht niedrig, so dass diese bei einer Mahd wenig geschädigt wird. Die Mahd im Mai sorgt für das Entfernen der Fruchtkapsel und verhindert damit die Samenbildung.

Die Mahdvarianten K und T1-4 wurden jeweils mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Versuchsflächen mit den unterschiedlichen Mahdvarianten wurden innerhalb der Populationen randomisiert (Abb. 2).

Obwohl die Mahdregime T1-4 eine gesteigerte Intensität des Ressourcenentzugs (durch ein-, zwei- bzw. dreimalige Mahd der Herbst-Zeitlose) darstellen, erfolgte diese in der Praxis nicht in geplantem Maße. Nach der ersten Mahd im Mai 2008, schoben die Blätter der Herbst-Zeitlose kaum mehr nach, so dass die zweite Mahd im Juni desselben Jahres keinen zusätzlichen Ressourcenentzug bewirkte. Die Entfernung der Blüten im Herbst (Mahdregime T3) erfolgte einmalig, die Pflanzen einer Population blühen jedoch nacheinander über einen längeren Zeitraum. Daher wurde nur ein kleiner Teil der Individuen geschädigt. Aufgrund dieser Beobachtung 2008, wurde die erste Mahd in den Behandlungen mit Mai- und anschließender Junimahd im Jahr 2009 auf Ende April vorverlegt. Damit stellten wir sicher, dass die Herbst-Zeitlose noch einmal austrieb und durch den zweiten Schnitt eine weitere Schädigung erfuhr. Ein weiterer Grund für das Vorziehen der Mahd, war die beobachtete starke negative Auswirkung der Aprilmahd auf die Herbst-Zeitlose im Vorderen Vogelsberg. Da die einmalige Entfernung der Blüten im Herbst keine sichtbare zusätzliche Schädigung der Herbst-Zeitlose bewirkte und sich die Wirkung der Behandlungen T2 und T3 auf die Herbst-Zeitlose nur minimal unterschied (Jung *et al.*, 2010 und Auswertung des Anteils blühender Pflanzen in den Behandlungen s. Zwischenbericht 2010), wurde die ursprüngliche Behandlung T3 2010 und 2011 nicht weiter geführt. Ab 2010 wurden zudem alle Behandlungen im Herbst gemäht, da bis zum Herbst auf den meisten Untersuchungsflächen erneut ein starker Aufwuchs erfolgte.

Die Behandlungen waren nach diesen Umstellungen folgende (Tab. 2):

Tab. 2: Untersuchte Mahdregime zur Regulation von *Colchicum autumnale*.
Alle Behandlungen wurden noch einmal im Herbst gemäht.

Behandlung	Mahdzeitpunkte
Kontrolle	Mitte Juni
T1	Ende Mai
T2	Ende April/Anfang Mai und Mitte Juni
T3	Ende April/ Anfang Mai und Ende Mai

Die Behandlungen T2 und T3 wurden abhängig von der Region und phänologischen Entwicklung der Pflanzen Ende April oder Anfang Mai gemäht. Der Einfachheit halber wird aber im Folgenden immer vom ersten Schnitt „Ende April“ gesprochen.

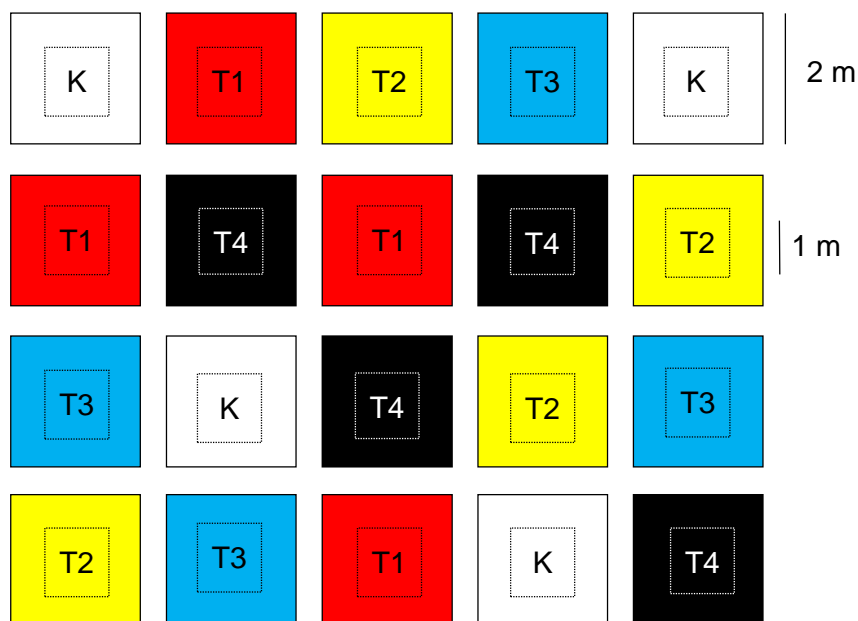


Abb. 2: Randomisierte Versuchsanlage für 5 Mahdvarianten in 9 *Colchicum autumnale* Populationen und 3 Naturräumen Hessens.

2.2 Populationsbiologische Untersuchungen

Die populationsbiologischen Untersuchungen erfolgten von 2008 – 2012 mit Hilfe eines 1 m² großen Holzrahmens, der in die Mitte der Versuchsflächen gelegt wurde. Dieser Rahmen wurde mittels Metallstäben in ein 20 x 20 cm Raster unterteilt (Abb. 3). Die Metallstäbe waren mit einem Papiermaßband von 0 – 100 cm beklebt, so dass mit ihrer Hilfe eine genaue Einmessung der Herbst-Zeitlosen (Zuordnung eines Hoch- und Rechtswertes je Pflanze) erfolgen konnte. Neben den Koordinaten, wurden für jede Herbst-Zeitlose-Pflanze Blattzahl, Kapselzahl und Blattbreite – bei mehreren Blättern nur die des äußersten Blattes – notiert. Die Datenaufnahme erfolgte zum Teil im April, da einige Behandlungen bereits Ende dieses Monats gemäht wurden, zum anderen Teil Mitte Mai. Die Blüten der Herbst-Zeitlose wurden ab Beginn der Blüte (zwischen Ende August/Anfang September) im 14-tägigen Rhythmus bis zum Ende der Blütezeit (zwischen Ende September/Anfang Oktober) eingemessen und die Blütenzahl notiert.



Abb. 3: Mit Metallstäben unterteilter 1 m² großer Holzrahmen zur Aufnahme der Herbst-Zeitlose Pflanzen.

Schmale einblättrige Pflanzen können aufgrund ihrer großen Ähnlichkeit mit Gräsern leicht bei der Datenaufnahme übersehen werden. Vor der Auswertung der Daten, wurden daher einblättrige Pflanzen mit einer Blattbreite ≤ 3 mm im Datensatz ergänzt, wenn sie in einem Jahr als „fehlend“ aber im vorangegangenen und nachfolgenden Jahr als „vorhanden“ aufgenommen wurden. *C. autumnale* kann eine unbekannte Anzahl an Vegetationsperioden in Dormanz verbringen, d.h. das Austreiben der Blätter unterbleibt, die Knolle lebt aber unter der Erde weiter (Smith, 2004). Aufgrund der 4-jährigen Dauer dieser Studie, konnte eine Dormanzdauer von mehr als 2 Jahren nicht dokumentiert werden. Bei den meisten Pflanzenarten (v.a. Orchideenarten, aber auch *Allium* Arten) mit Dormanz, beträgt die Dormanzdauer bei mehr als 90% der Individuen jedoch nicht mehr als 2 Jahre, obwohl auch deutlich längere Dormanzzeiten möglich sind (Shefferson *et al.*, 2001; Hawryzki, Allen & Antos, 2011). Wir trafen daher für die Auswertung der populationsbiologischen Daten die Annahme, dass alle Pflanzen, die mehr als 2 Jahre nicht austrieben, gestorben waren. Es soll jedoch angemerkt werden, dass damit die Sterberate der Herbst-Zeitlose (wenn auch wahrscheinlich nur leicht) überschätzt wurde. Da dormante Pflanzen von ihren Reserven leben müssen, und kleine Pflanzen i.d.R. geringere Mengen an Reservestoffen besitzen, wurde eine Dormanz bei einblättrigen Pflanzen mit Blattbreite ≤ 3 mm ausgeschlossen. Einblättrige Pflanzen ≥ 3 mm und ≤ 1 cm Blattbreite waren nach unserer Definition in der Lage eine einjährige Dormanz, Pflanzen mit 1 Blatt ≥ 1 cm sowie mehrblättrige Pflanzen eine bis zu zweijährige Dormanz zu überdauern. Anhand der aufgenommenen Daten konnte der Anteil der Pflanzen mit zweijähriger Dormanz nur korrekt für die Matrix 2009-2010 bestimmt werden, da für die Matrix 2008-2009 unklar war ob eine 2008 fehlende Pflanze bereits vorher dormant war, und bei der Matrix 2010-2011, welche der 2011 fehlenden Pflanzen gestorben und welche dormant waren. Daher wurde der in der Matrix 2009-2010 gemessene Anteil zweijährig dormanter Pflanzen in den Matrizen 2008-2009 und 2010-2011 für jedes Lebenszyklusstadium zum Anteil in Dormanz übergehender Pflanzen addiert, so dass sich entsprechend der Anteil toter Pflanzen verringerte. Zusätzlich wurde zum Übergang Dormanz

in der Matrix 2010-2011, die aus den Matrizen 2008-2009 und 2009-2010 gebildete durchschnittliche Wahrscheinlichkeit jedes Lebenszyklusstadiums in einjährige Dormanz überzugehen, addiert. Die Addition des zusätzlichen Anteils dormanter Pflanzen erfolgte maximal bis zum Ausgleich des Anteils toter Pflanzen.

Da die Sterbewahrscheinlichkeit dormanter Pflanzen im Feld nicht beobachtet werden konnte, wurde in den Matrizen eine 100%ige Überlebenswahrscheinlichkeit angenommen. Der Anteil „dormante zu dormanter Pflanze“, der in der Matrix 2010-2011 addiert wurde, konnte daher nicht vom Übergang „dormante zu toter Pflanze“ subtrahiert werden. Stattdessen wurde der Anteil anteilig von jedem Übergang „dormante Pflanze zu Lebenszyklusstadium x “ abgezogen.

Neue Pflanzen, die direkt neben einer bereits in einer Datenaufnahme vorhandenen Pflanze erschienen, wurden als Nachkommen aus vegetativer Reproduktion eingestuft.

2.2.1 Statistische Auswertung

Anhand der aufgenommenen populationsbiologischen Daten, ordneten wir jede Herbst-Zeitlosen einem von sechs Lebenszyklusstadien zu, die wir auf Basis der Blattzahl und Blattbreite definierten. Die Definition von Lebenszyklusstadien ist nötig, um Matrixpopulationsmodelle zu erstellen, die der Beantwortung populationsbiologischer Fragestellungen dienen. Die Häufigkeiten, mit der Pflanzen aus einem Lebenszyklusstadium im Jahr t in ein anderes Stadium im Jahr $t+1$ wechseln, wurden für jeden Übergang (2008-2009, 2009-2010 und 2010-2011) in einer 6 x 6 Felder umfassenden Übergangsmatrix notiert. Die Übergänge wurden berechnet aus der Anzahl der Pflanzen in den verschiedenen Stadien im Jahr $t+1$, dividiert durch die Gesamtzahl der Pflanzen des Lebenszyklusstadiums im Jahr t , aus dem sie hervorgegangen waren. Überleben alle Pflanzen eines Lebenszyklusstadiums von einem Jahr zum nächsten, so ergibt die Summe der Matrixspalte 1, ist die Summe geringer, gibt ihre Differenz mit 1 den Anteil gestorbener Pflanzen wieder. Kamen neue Pflanzen durch vegetative Vermehrung hinzu, so wurden sie zu den Pflanzen ihres entsprechenden Stadiums im Jahr $t+1$ addiert, jedoch nicht bei der Anzahl der Pflanzen im Jahr t berücksichtigt. Bei auftretender vegetativer Vermehrung konnte die Summe der Matrixspalten daher 1 überschreiten. Die Fruchtbarkeit wurde berechnet aus der Anzahl der Keimlinge im Jahr $t+1$ dividiert durch die Anzahl der Pflanzen mit Kapseln im Jahr t .

Die Übergangsmatrizen wurden für jedes Übergangsjahr, jede Population und jede Behandlung berechnet und dann über alle Populationen gemittelt, so dass sich für die 4 Mahdbehandlungen und 3 Übergangsjahre 12 Übergangsmatrizen ergaben. Aus diesen Übergangsmatrizen wurde die Populationswachstumsrate λ berechnet (Caswell, 2001). Ein $\lambda > 1$ gibt Populationswachstum an, während $\lambda < 1$ entsprechend eine Populationsabnahme anzeigt. Bei $\lambda = 1$ befindet sich die Population im Gleichgewicht und die Populationsgröße bleibt unverändert. Für die Populationswachstumsrate jeder Übergangsmatrix wurde durch Bootstrapping der Daten (mit 10000 Iterationen) ein 95% Vertrauensintervall berechnet. Die durch das Bootstrapping generierten Matrizen wurden erstellt, indem aus einer angenommenen zufälligen Binomialverteilung der Übergangswahrscheinlichkeiten in den Zellen der berechneten Übergangsmatrizen mit Zurücklegen gezogen wurde. Die Zellenwerte für Fruchtbarkeit wurden für jede Behandlung durch Ziehen mit Zurücklegen aus den Werten für Fruchtbarkeit in den Matrizen der einzelnen Regionen generiert.

Der Beitrag verschiedener demographischer Prozesse zum Unterschied in λ zwischen der Kontrolle und den einzelnen Behandlungen wurde mittels eines LTRE (life-table response experiment) berechnet.

Für jede Übergangsmatrix wurde eine Elastizitätsmatrix berechnet. Sie ist definiert als $\ln(\lambda_{\max}) / \partial \ln(a_{ij})$, wo a die Übergangswahrscheinlichkeit von Stadium i im Jahr t zu Stadium j

im Jahr $t+1$ ist; die Werte in der Elastizitätsmatrix geben daher die proportionale Änderung von λ_{\max} wieder, welche durch die proportionale Änderung von a_{ij} hervorgerufen wird (Caswell, 2001). Da die Summe aller Zellen einer Elastizitätsmatrix 1 ergibt, gibt der Elastizitätswert jeder Zelle die relative Bedeutung des jeweiligen Übergangs für die Populationswachstumsrate an (Silvertown, Franco & Menges, 1996). Aus den Elastizitätsmatrizen konnte der Anteil unterschiedlicher demographischer Prozesse an λ berechnet werden: (i) Stasis (Verbleib im gleichen Stadium), (ii) Wachstum (Übergang zu größerem Stadium), (iii) Regression (Übergang zu kleinerem Stadium, inklusive Dormanz), (iv) generative Reproduktion (Anzahl Keimlinge pro generative Pflanze) und (v) vegetative Reproduktion.

Alle Berechnungen wurden mit dem Programm Poptools Version 3.0 durchgeführt (Hood, 2008).

Des Weiteren wurden die abhängigen Variablen Überlebenswahrscheinlichkeit und die Wahrscheinlichkeit des Übergangs zur generativen Pflanze (Stadium G) mit Hilfe einer ANOVA (Varianzanalyse) mit Messwiederholung (RM-ANOVA) getestet. In beiden Analysen wurde der Einfluss der Faktoren Mahdbehandlung, Region, Lebenszyklusstadium, sowie die Interaktionen zwischen diesen Faktoren untersucht. Im Anschluss an die RM-ANOVA wurde eine MANOVA (Multivariate Varianzanalyse) durchgeführt, um den Einfluss der Jahre und ihre Interaktion mit den Faktoren auf die o.g. abhängigen Variablen zu testen. Bei der Untersuchung des Übergangs zur generativen Pflanze wurden die Lebenszyklusstadien S und B1 nicht berücksichtigt, da sie nicht in der Lage sind Kapseln zu bilden. Außerdem wurden in dieser Analyse die Stadien G und D ausgeschlossen, da sie in einigen Übergangsmatrizen fehlte und dort für diese Stadien keine Übergangswahrscheinlichkeit berechnet werden konnte. Aus demselben Grund wurde das Keimlingsstadium von der Analyse der Überlebenswahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Auch das dormante Stadium ging nicht in diese Analyse ein, da hier keine Sterberaten dokumentiert werden konnten und sie daher per Definition „unsterblich“ waren.

Um die Voraussetzungen der Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen bei ANOVA und MANOVA zu erfüllen, wurden die Daten nach Addition von 0,001 einer Arcsinus- oder Box-Cox-Transformation (Box & Cox, 1964) unterzogen. Zur Identifizierung der Unterschiede zwischen den Regionen, Behandlungen und Lebenszyklusstadien wurde Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) Post-hoc Test durchgeführt. Die Berechnungen von RM-ANOVA und MANOVA erfolgten mit Statistica 10 für Windows (2010; StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, 233 USA).

2.3 Klimaparameter

In jedem Grünlandbestand eines Gebietes wurden in 2 cm Tiefe zwei Datalogger (TG-4080 Tinytag Transit) vergraben, die im einstündigen Rhythmus das gesamte Jahr über die Bodentemperatur aufzeichneten.

Da auf den Untersuchungsflächen keine Niederschlags- und Lufttemperaturwerte erfasst wurden, wurden die Monatssummen bzw. -mittel für 2008 - 2011 von folgenden Wetterstationen in der Nähe der Untersuchungsflächen ausgewertet: für die Populationen der Nördlichen Oberrheinniederung Messstation Stockstadt (HLUG, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie), für den Vorderen Vogelsberg Messstation Linden (Phänologischer Garten Linden, mit freundlicher Genehmigung durch L. Grünhage, Institut für Pflanzenökologie, JLU-Gießen), für das Lahn-Dill Bergland Messstation Bad Berleburg (DWD, Deutscher Wetterdienst).

2.4 Einzelbekämpfungsmaßnahmen

2.4.1 Blütenentfernung

Da zu erwarten ist, dass die Behandlungen zur Reduzierung der Herbst-Zeitlose kein völliges Verschwinden aller Pflanzen bewirken, wurde 2009 folgende Möglichkeit der Einzelpflanzenbekämpfung untersucht, die uns von einem Landwirt als Erfolg versprechend beschrieben worden war: Zur Blüte der Herbst-Zeitlose wurden die Blüten einiger Pflanzen durch Herausziehen entfernt. Dazu markierten wir pro Population am Rand der eingezäunten Untersuchungsflächen je 10 Pflanzen. Fünf Pflanzen erhielten dabei eine rosa Markierung (Kontrollpflanzen), fünf Pflanzen erhielten eine rosa/blau Markierung (Abb. 4). Von letzteren wurden die Blüten entfernt. Bei der Auswahl der Pflanzen wurde darauf geachtet, dass Kontroll- und manipulierte Pflanzen die gleiche Blütenzahl besaßen. Im Frühjahr 2010 wurde notiert welche der markierten Pflanzen ausgetrieben hatten und welche nicht.



Abb. 4: Untersuchung der Auswirkung der Blütenentfernung bei der Herbst-Zeitlose. Links: abgerissene Blüten, rechts: Kontrolle.

2.4.2 Blattentfernung

Da, wie im Ergebnisteil beschrieben (s.u.), das Ausreißen der Blüten im Herbst 2009 keinen Erfolg brachte, wurden Ende April 2010 in jeder der 9 Populationen von einigen Pflanzen die Blätter per Hand ausgezogen. Dazu erfolgte, wie schon für die Blüten, die Auswahl von insgesamt 10 Pflanzen je Population, von denen fünf Pflanzen als Kontrolle dienten, und mit einer blau/gelben Markierung versehen wurden, während die manipultierten Pflanzen eine gelbe Markierung erhielten (Abb. 5). Bei der Pflanzenauswahl wurde darauf geachtet, für die Kontrolle und die Pflanze welcher die Blätter entfernt wurden, Pflanzen mit gleicher Blattzahl auszuwählen. Im Frühjahr 2011 erfolgte die Auswertung des Versuchs.



Abb. 5: Untersuchung der Auswirkung der Blattentfernung bei der Herbst-Zeitlose Ende April 2010. Links: abgerissene Blätter, rechts: Kontrolle.

2.4.3 Statistische Auswertung

Die Anzahl der gebildeten Blätter und Kapseln im Jahr nach der Blüten- bzw. Blattentfernung wurden zwischen Kontrolle und Versuch mit einem Mixed Effects Model (hierarchisches Modell) getestet. Dabei ging die Anzahl der Blätter und Kapseln jeweils als abhängige Variable ein, die Behandlung (Kontrolle/Versuch) und Population als feste Faktoren und die Individuen als Zufallsfaktor genested in Population. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Statistica 10 für Windows (2010; StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, 233 USA).

2.5 Untersuchungen Begleitvegetation

Auf den Versuchsflächen für die Populationsbiologischen Aufnahmen fanden 1x jährlich Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet statt (van der Maarel 1979), um den Einfluss der Managementstrategien auf die Begleitvegetation zu beobachten. Die Auswirkungen auf die Reproduktion der einzelnen Arten wurden durch Phänologieaufnahmen dokumentiert, die vor jeder Mahd erfolgten.

Vor jeder Mahd wurden in jedem Versuchsquadrat auf zwei 30 x 30 cm großen Flächen Biomasse mit Hilfe eines Metallrahmens und einer Schere geerntet. Die Biomasse wurde bei 60°C getrocknet und anschließend gemahlen. Daraufhin erfolgte die Analyse der Nährstoffe N, P und K, um einen Hinweis auf den Entzug der Nährstoffe pro Fläche zu liefern. Der Gesamtstickstoffgehalt wurde mit einem Elementaranalysator (CE instruments, EA 1110, Italy; CE Instruments, 1996) bestimmt. Zur Analyse des Phosphorgehalts, wurden zuerst 500 mg jeder Probe in einem Muffelofen bei 550 °C über 18 h verascht. Nach Abkühlung wurde die Probe mit verdünnter Salpetersäure versetzt und diese Lösung anschließend zum Kochen gebracht. Die Lösung wurde gefiltert und in einem Messkolben aufgefangen, welcher mit destilliertem Wasser bis zur 50 mL Marke aufgefüllt wurde. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Gesamtphosphorgehalts nach der Vanadat-Molybdat Methode (Gericke & Kurmies, 1952) unter Einsatz des Spektralphotometers PM7 der ATG GmbH, Oberkochen. Die Bestimmung des Kaliumgehalts erfolgte mittels eines Atomabsorptionsspektrometers (220 FS; Varian, Melbourne, Australien) bei einer Wellenlänge von 404.4 nm und einer Schlitzbreite von 0,5 mm.

2.5.1 Statistische Auswertung

Vor der Analyse wurden die Vegetationsdaten nach der Skala von Van der Maarel (, 1979) in ordinal skalierte Daten umgewandelt. Mit den 2008 aufgenommenen Daten erfolgte eine DCA (Detrended Correspondence Analysis, Hill & Gauch, 1980), um die Ähnlichkeit zwischen den Populationen einer Region zu verifizieren. Die durch die DCA erklärte Varianz wurde durch Berechnung des after-the-fact Koeffizienten mit relativer Euklidischer Distanz als Distanzmaß bestimmt. Da die DCA zeigte, dass sich die Populationen einer Region nicht stärker ähnelten, als Populationen verschiedener Regionen, wurden nicht die Regionen, sondern die Populationen getrennt analysiert. Eine MRPP (Multi-response permutation procedures; Mielke & Berry, 2001) wurde durchgeführt, um zu untersuchen ob die verschiedenen Mahdbehandlungen eine unterschiedliche Entwicklung der Vegetation bewirkten. Die MRPP ist eine nicht-parametrische Berechnung, die zwei oder mehr Gruppen von Einzelaufnahmen auf die Nullhypothese hin prüft, dass die Distanzen innerhalb einer jeden Gruppe geringer sind, als dies per Zufall zu erwarten ist. Mittels MRPP wurden Unterschiede zwischen den Untersuchungsflächen für jedes Jahr 2008-2011 geprüft, mit Mahdbehandlung als Gruppierungsvariable und der Sørensendistanz als dem üblicherweise für Vegetationsdaten genutzten Distanzmaß.

Des Weiteren wurden die Untersuchungsflächen mittels einer RM-ANOVA bezüglich des Shannon-Index, als Maß für die Biodiversität, und der Evenness, als Maß für die Gleichverteilung der Abundanz der Arten zwischen den Behandlungen, verglichen. Als erklärende Variablen gingen die Mahdbehandlungen und Regionen in die Analyse ein. Mit einer MANOVA wurde außerdem der Einfluss der Jahre untersucht. DCA, MRPP und Indikatorartenanalyse erfolgten mit PC-ORD 5.3 (McCune, Grace & Urban, 2002). RM-ANOVA und MANOVA wurden mit Statistica 10 für Windows (2010; StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, 233 USA) durchgeführt. Die Ergebnisse waren signifikant bei $P < 0.05$, außer bei der MRPP, wo eine Korrektur des Signifikanzlevels nach Bonferroni zu $P < 0.0019$ erfolgte, um multiples Testen bei der Analyse zu berücksichtigen (Bonferroni, 1936).

2.6 Analyse der Nährstoff- und Giftgehalte

Für die Analyse der Nährstoff- und Giftgehalte wählten wir insgesamt sechs Herbst-Zeitlose-Populationen in den zwei Naturräumen Lahn-Dill-Bergland und Vorderer Vogelsberg. Die ausgewählten Populationen entsprechen bis auf den Flugplatz Rödgen im Vorderen Vogelsberg den Populationen, in denen die populationsbiologischen Untersuchungen stattfanden. Die Population Rödgen wurde anstelle von Trohe ausgewählt, weil dort zu wenige Pflanzen zum Ausgraben vorhanden waren. Damit die Landwirte die Pflanzen während unserer Untersuchungsperiode nicht abmähten, steckten wir nach Rücksprache eine Fläche von etwa 300 m² ab, die nicht gemäht wurde. Beginnend am 26.3.2009 wurden anfangs im 14-tägigen Abstand, ab dem 27.4.09 bis zum Vergilben der Pflanzen am 03.08.09 im 10-tägigen Rhythmus 15 3-blättrige Pflanzen pro Population ausgegraben. Eine letzte Ausgrabung erfolgte zur Blüte Anfang September 2009.

Vor jeder Ausgrabung im Feld, wurde die Blattlänge (Pflanzenhöhe) von mindestens 5 Herbst-Zeitlosen vermessen und die Pflanzen später im Labor in 3 Fraktionen getrennt, soweit diese entsprechend der Phänologie vorhanden waren: (1) Blätter und Kapseln, (2) Mutterknolle und (3) Tochterknolle (Abb. 6), (4) Stängel (Pflanzenabschnitt zwischen Knolle und Bodenoberfläche). Nachdem sich die Kapseln geöffnet hatten (25. Juni im Vorderen Vogelsberg und 5. Juli im Lahn-Dill Bergland) wurde Fraktion (1) in 2 separaten Fraktionen: (1.1) Blätter mit Kapseln ohne Samen und (1.2) Samen analysiert. Im Herbst wurden die Blüten analysiert. Die Pflanzenteile aller Pflanzen derselben Population wurden für jede Fraktion wurden zu einer Probe zusammengefasst.



Abb. 6: Verschiedene Fraktionen von Herbst-Zeitlose-Pflanzen zur Analyse von Nährstoff- und Giftgehalten; a = Blätter, b = Kapseln, c = Tochterknolle, d = Mutterknolle.

Vor der Analyse der Nährstoff- und Giftgehalte, wurden alle Pflanzenteile bis auf jeweils eine Hälfte der Mutter- und Tochterknolle im Trockenschrank bei 60°C für etwa 40 h getrocknet. Die andere Hälfte der Knollen wurde für etwa 70 h im Gefriertrockner (Abb. 7) getrocknet, um sie später auf ihren Stärkegehalt zu analysieren.

In allen genannten Pflanzenteilen (Abb. 6) erfolgte die Bestimmung der Gehalte von N, P und K. Da Stärke mit ~50% der Hauptspeicherstoff in den Knollen der Herbst-Zeitlose ist (Franková *et al.*, 2003), wurden Mutter- und Tochterknolle zusätzlich auf ihren Stärkegehalt geprüft.



Abb. 7: Trocknung von Mutter- und Tochterknollen der Herbst-Zeitlose im Gefriertrockner.

Anschließend wurden die getrockneten Proben zu Pulver gemahlen (Abb. 8) und auf die Gesamtgehalte der Nährstoffe N, P und K analysiert. Diese Analysen erfolgten nach der bereits oben für die Biomasse beschriebenen Methodik. Der Stärkegehalt wurde mittels eines Stärke-UV-Test Kits (Company Boehringer Mannheim GmbH/R-Biopharm) ermittelt. Dieser Test beginnt mit einer enzymatischen Stärkeverdauung die zur Bildung freier Glukosemoleküle führt. Die folgenden enzymatischen Reaktionen resultieren in der Produktion von NADPH, dessen Menge proportional zur Glukosemenge ist und mit einem Photometer bestimmt wird. Da neben Stärke auch freie Glukose in den Herbst-Zeitlose Knollen enthalten ist, wurde vor der Stärkehydrolyse die Menge an freier Glukose bestimmt und danach vom Messergebnis abgezogen. Da die Mutterknolle mit fortgeschrittener Vegetationsperiode abgebaut wurde, konnte aufgrund der geringen Probemenge nach dem 5. Juni keine Stärkeanalyse mehr stattfinden.

Der Giftgehalt der Pflanzenproben wurde als Summe der Alkaloidgehalte von Colchicin, und den häufigen Colchicinderivaten Demecolcin und Colchicosid mittels HPLC (High-Pressure-Liquid-Chromatography) ermittelt. Die Analyse der Giftgehalte basiert auf der Methode von Körner & Kohn (, 2005) und wurde von C. Hartwig und R. Düring (Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Universität Gießen) verändert. Für die HPLC-Analyse wurden 0,1875 g einer gemahlten Pflanzenprobe mit 25 ml eines Gemisches aus Methanol und Wasser (50:50, v:v) mit 0,01 mM EDTA in einem Ultraschallbad für 2 x 15 min extrahiert. Danach folgte die Filterung durch einen 0,45 µm Teflonfilter. 60 µl des Extrakts wurden mittels HPLC im Apparat Agilent 1200 mit C-18 Säule (Zorbax Eclipse XDB-C18) analysiert. Die mobile Phase bestand aus einem Phosphatpuffer (Potassiumdihydrogenphosphat 50 mM, EDTA 3 mM, pH 6.0 eingestellt mit NaOH) und Methanol (HPLC-Gradienten Qualität). Folgender Gradient wurde eingestellt: 0-9 min: 70% Phosphatpuffer (A) und 30 % 167 Methanol (B), 10-15 min: 50% A and 50 % B, 18-23 min: 70% A and 30 % B. Durchflussrate was 1 ml/min bei einer Säulentemperatur von 40°C. Der Nachweis erfolgte bei 355 nm mittels DAD (Diode Array Detector G 1315 B). Colchicin (AppliChem GmbH, Deutschland), Demecolcin (Molekula 170 Deutschland Limited, Germany) und Colchicosid (LGC GmbH, Germany) wurden als Referenzstandards in den Analysen eingesetzt.

Um den Toxizitätsgehalt der Herbst-Zeitlose im Heu zu bestimmen, war ursprünglich die Beprobung von Heu auf fünf Flächen je Untersuchungsgebiet geplant. Da die Herbst-Zeitlose jedoch mengenmäßig sehr unterschiedlich im Heu verteilt ist, erschien es uns sinnvoller und genauer folgende Daten getrennt aufzunehmen:

- 1) Giftgehalt der Herbst-Zeitlose zum Zeitpunkt der Heumahd im Juni nach einer Trocknung im Heu
- 2) Produzierte Heumenge/m²

So wurden zum Zeitpunkt der Mahd im Juni 2009 in neun Herbst-Zeitlose-Populationen je 100 Herbst-Zeitlose gesammelt. Bei den Populationen handelt es sich zum Großteil um die gleichen Untersuchungsflächen, die populationsbiologisch untersucht werden. Die beiden Populationen „Obst“ und „Trohe“ in der Region Vorderer Vogelsberg wurden jedoch durch die Populationen „Rödgen“ und „Wetter 2“ ersetzt, die sich ebenfalls im Vorderen Vogelsberg befinden. Die Trocknung der neun gesammelten Pflanzenproben erfolgte in der Sonne auf dem Versuchsfeld, bzw. bei Regenwetter teilweise im Gewächshaus. Die Daten für die Biomassemenge und Dichte der Herbst-Zeitlose pro Population wurden im Rahmen der populationsbiologischen Untersuchungen in den vier Quadranten der Kontrollbehandlung aufgenommen. In den beiden Populationen „Rödgen“ und „Wetter 2“ erfolgte die Probenahme der Biomasse mit der gleichen Methodik wie oben beschrieben (Beerntung einer 30 x 30 cm große Fläche mit 4 Wiederholungen). Die Toxizität des gemahlene Herbst-Zeitlose-Materials wurde wie für die obige Untersuchung zur Veränderung des Giftgehalts in den einzelnen Herbst-Zeitlose Fraktionen mittels HPLC als Summe aus dem Gehalt an Colchicin, Demecolcin und Colchicosid ermittelt.

Da es logistisch schwierig und sehr aufwendig gewesen wäre, den Giftgehalt im Heu durch Beprobung einzelner Heuballen zu ermitteln, wurde diese Untersuchung nicht durchgeführt. Die Dichte der Herbst-Zeitlose auf den Grünlandflächen variierte über die Fläche hinweg sehr stark, so dass für eine repräsentative Aussage eine sehr große Anzahl von Stichproben nötig gewesen wäre, was den Rahmen der Untersuchung gesprengt hätte. Von einer Ableitung des Giftgehaltes im Heu auf Basis des Giftgehaltes der Herbst-Zeitlose (wie in diesem Projekt ermittelt) und dem Biomassertrag der Grünlandfläche ist jedoch abzuraten. Die verschiedenen Gründe dafür werden im Diskussionsteil aufgeführt.



Abb. 8: Getrocknete und gemahlene Fraktionen der Herbst-Zeitlose.

2.6.1 Statistische Auswertung

Um den besten Mahdzeitpunkt zu bestimmen, untersuchten wir die zeitliche Änderung der Nährstoff- und Alkaloidgehalte zwischen den Regionen. Die aufgenommenen Daten spalteten sich entsprechend ihrer Datenkurve (zeitlicher Verlauf der Gehalte) in drei Gruppen auf: (i) das Verhältnis der Nährstoffgehalte von N, P und K von oberirdischen zu unterirdischen Pflanzenorganen, (ii) den Alkaloidgehalt in oberirdischen Pflanzenteilen und (iii) den

Stärkegehalt in den Knollen. Dazu passten wir insgesamt drei verschiedene Modelle an die untransformierten Daten an:

für (i) wurde eine Gammaverteilung angepasst:

$\Gamma = \alpha x^\beta \exp(-\gamma x)$, wo Γ den Quotienten der Gehalte N, P, oder K zwischen den Pflanzenorganen darstellt und x den Zeitpunkt. Da uns der Zeitpunkt des Maximalwertes aus dem Quotienten interessierte, wurde die Gleichung nach x abgeleitet, um den x^{\max} zu erhalten; x^{\max} wurde dann im Modell ergänzt, was in folgender Gleichung resultierte:

$$\Gamma = \exp(\log(\alpha) + \gamma x^{\max} \log(x) - \gamma x).$$

Um x^{\max} zwischen den Regionen zu vergleichen, wurden die Kurven für die Daten beider untersuchter Regionen in einem Gesamtmodell zusammengeführt, dem Modell 1:

$$\Gamma = \exp(\log(\alpha_i) + \gamma_i x_i^{\max} \log(x) - \gamma_i x), \quad [1]$$

wo i die i -te Region ist. Die Parameter für die zweite Region wurden umparametrisiert

zu:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \alpha_1 + \delta_\alpha, \\ \gamma_2 &= \gamma_1 + \delta_\gamma, \\ x_2^{\max} &= x_1^{\max} + \delta_x^{\max}, \end{aligned}$$

wo die Zahlen 1 und 2 für die jeweilige Region stehen. Die Dummy-Variable g wurde eingeführt, um die Regionen durch die Werte 0 bzw. 1 zu verschlüsseln. Die Parameter im Gesamtmodell wurden dann wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \alpha_1 + g * \delta_\alpha, \\ \gamma_2 &= \gamma_1 + g * \delta_\gamma, \\ x_2^{\max} &= x_1^{\max} + g * \delta_x^{\max}. \end{aligned}$$

Unterschiede in der zeitlichen Änderung des Alkaloidgehalts in den oberirdischen Pflanzenteilen wurden auf gleiche Weise ermittelt, indem hier folgende quadratische Funktion an die Daten angepasst wurde:

$$y = \alpha * x^2 + \beta * x + \gamma,$$

wo y für den Alkaloidgehalt steht und x für den Zeitpunkt. Das Umparametrisieren der Gleichung und die Verbindung der Modelle beider Regionen führte zum Modell 2:

$$y = -(\beta_i / (2 * x_i^{\max})) * x^2 + \beta_i * x + \gamma_i. \quad [2]$$

Die Einführung einer Dummy-Variablen und die Berechnung der Parameter erfolgte analog zum Vorgehen für Modell 1.

Die Daten des Stärkegehalts in den Speicherorganen zeigten einen sigmoiden Verlauf. Daher passten wir zwei Geraden an die Daten an, um den Punkt zu ermitteln, wo sich der Anstieg des Stärkegehalts erhöht, dem sog. Wendepunkt. Dazu wurde das Modell von Schabenberger & Pierce (, 2002) angepasst:

$$y = (\beta_0 + \beta_1 * x) * (x \leq \alpha_1) + (\beta_0 + \beta_1 * \alpha_1 + \beta_2 * (x - \alpha_1)) * (x > \alpha_1),$$

wo α_1 den Wendepunkt angibt. Die Verbindung der Modelle der beiden Regionen resultierte in Modell 3:

$$y = (\beta_0_i + \beta_1_i * x) * (x \leq \alpha_{1_i}) + (\beta_0_i + \beta_1_i * \alpha_{1_i} + \beta_2_i * (x - \alpha_{1_i})) * (x > \alpha_{1_i}). \quad [3]$$

Auch in diesem Modell wurde analog zu Modell 1 für jede Region eine Dummy-Variable eingeführt und die Parameter entsprechend berechnet. In jedem der Modelle 1-3 wurden die unbekannt Parameter durch nicht-lineare Regression über die Methode der kleinsten Quadrate, auf der die nls Funktion des Statistikprogrammes R beruht, bestimmt. Unsere Nullhypothese für Modell 1 und 2 war $H_0: x_1^{\max} = x_2^{\max}$ und für Modell 3 $H_0: \alpha_{1_1} = \alpha_{1_2}$. Entsprechend der vorgegebenen Gleichungen für $x_2^{\max} = x_1^{\max} + \delta_x^{\max}$ und für $\alpha_{1_2} = \alpha_{1_1} + \delta_{\alpha_1}$, wurde die Nullhypothese angenommen, wenn $\delta_x^{\max} = 0$, or $\delta_{\alpha_1} = 0$, was durch einen T-test geprüft wurde. Um zu bestimmen zu welchem Zeitpunkt der Alkaloidgehalt in den oberirdischen Pflanzenteilen in Bezug zu ihrem höchsten Alkaloidgehalt (x^{\max}) erstmals signifikant geringer war, wählten wir den Zeitpunkt der Datenaufnahme, welcher am nächsten an x^{\max} lag. Mit Bezug zu diesem Datum, führten wir für jede Region getrennt eine one-way ANOVA mit anschließendem Tukey's HSD Post-hoc Test durch.

Für die ANOVA wurden die Daten auf Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen geprüft, indem die Residuen gegen die angepassten Werte und die standardisierten Residuen gegen die theoretischen Quantile (QQ-Diagramm) aufgetragen wurden. Wenn nötig wurden die Daten mittels Box-Cox transformiert (Box & Cox, 1964). Alle Analysen wurden in R, Version 2.10.1 (R Development Core Team, 2008) und Statistica 10 für Windows (2010; StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, 233 USA) durchgeführt. Unterschiede wurden als signifikant eingestuft für $P < 0,05$.

2.7 Keimungsexperimente

2.7.1 Wasseraufnahmefähigkeit von Samen von *Colchicum autumnale*

Bei manchen Pflanzenarten ist die Samenschale zu dick und widerstandsfähig um Wasser aufzunehmen. Dadurch wird eine Quellung und Keimung des Samens verhindert (Baskin & Baskin, 2001). Man spricht von physikalischer Dormanz. Um zu testen ob diese Form der Dormanz bei der Herbst-Zeitlose vorliegt, wurden Anfang September 2008 8 x 10 Samen drei Tage lang in destilliertes Wasser eingelegt und ihr Gewicht vor und nach dem Wässern bestimmt. Die Samenschale der Hälfte dieser Samen (4 x 10) wurde mit einem Skalpell leicht eingeritzt. Die Überlegung war, dass bei vorliegender physikalischer Dormanz die eingeritzten Samen an Gewicht zunehmen würden, die unbeschädigten aber nicht. Zusätzlich wurden Länge und Breite von neun weiteren Samen unter dem Binokular einmal vor und nach der Wasseraufnahme eingemessen. Die Samen stammten aus drei Populationen: Eibach und Lixfeld (Lahn-Dill Bergland) sowie der Viehweide (Nördliche Oberrheinniederung).

2.7.2 Keimungsexperiment 1 (2008)

Bisher gibt es nur wenige experimentelle Studien zu den Keimungsansprüchen der Herbst-Zeitlose (Muntean *et al.*, 1979; Muntean *et al.*, 1981, 1983; Jaehn, 1984), als auch zur Gattung *Colchicum* (Antonidaki-Giatromanolaki *et al.*, 2008). Einig sind sich die Autoren darüber, dass die Herbst-Zeitlose unter experimentellen Bedingungen nur sehr schwierig zur Auskeimung zu bringen ist, und es ist in den bisherigen Studien nicht gelungen die Keimungsansprüche zufriedenstellend zu klären. Keimungsraten über 50 % wurden nur unter einer Behandlung mit verschiedenen Chemikalien erreicht (Muntean *et al.*, 1983).

Um die Keimungsansprüche der Herbst-Zeitlose zu untersuchen wurden Anfang Juni 2008 reife Samenkapseln im Gebiet nördliche Oberrheinniederung (Populationen Viehweide und Spielplatz) gesammelt. Die Samen wurden aus den Kapseln entfernt und für etwa 9 Tage zum Trocknen bei Zimmertemperatur ausgebreitet (Abb. 9). Der Keimungsversuch begann am 16.6.08, ausschließlich mit Samen vom Standort Viehweide. Jeweils 50 Samen wurden in Petrischalen verteilt, die 25 ml sterilisierten Quarzsand + 10 ml entmineralisiertes Wasser enthielten. Die Petrischalen wurden anschließend mit Parafilm umwickelt um die Wasserverdunstung herabzusetzen.



Abb. 9: Zum Trocknen ausgebreitete Herbstzeitlosekapseln und –samen.

In den Klimakammern der Professur (Abb. 10) wurden die bevorzugten Keimungsbedingungen der Herbst-Zeitlose mit vier verschiedenen Vorbehandlungen (Stratifikation 1 und Keimungsbedingung 1), welchen vier verschiedenen Behandlungen von Keimungsbedingungen und z.T. Nachbehandlungen (Stratifikation 2 und Keimungsbedingung 2) folgten getestet (Tab. 3).



Abb. 10: Klimaschränke der Professur für Landschaftsökologie an der Universität Gießen. Hier werden die Keimungsversuche mit Herbstzeitlosesamen unter kontrollierten Licht- und Temperaturbedingungen durchgeführt.

Die Nachbehandlungen zur Auskeimung basieren auf Keimungsbedingungen verschiedener Liliaceen-Arten (Baskin & Baskin, 2001), eine Familie die mit der Herbst-Zeitlose eng verwandt ist. Daraus ergaben sich folgende Behandlungsreihen:

1. warme Stratifikation (20°C) – weniger warme Periode (Herbst: 10/20°C) – kalte Stratifikation (Winter 4°C) – Auskeimung bei Frühlingstemperaturen (5/10°C)

2. warme Periode (Herbst 10/20°C) – kalte Stratifikation (Winter 4°C) – Auskeimung bei Frühlingstemperaturen (5/10°C)
3. kalte Stratifikation (Winter 4°C) – warme Periode (Herbst 10/20°C) – kalte Stratifikation (Winter 4°C) – Auskeimung bei Frühlingstemperaturen (5/10°C)

Tab. 3: Stratifikationen und Keimungsbedingungen von Herbst-Zeitlose-Samen in Keimungsversuchen 2008.

Beginn aller Behandlungen war der 16. Juni 2008. Alle Behandlungen erfolgten über 6 Wochen. Behdlg. = Behandlung (Nummern steigen mit steigender zeitlicher Länge der Behandlung), Strat. = Stratifikation, Keimungsbed. = Keimungsbedingung, Ende = Ende der Behandlung, h = Samen wurden unter Keimungsbedingungen belichtet, d = Samen wurden unter Keimungsbedingungen nicht belichtet.

Behdlg.	Strat. 1	Keimungsbed. 1	Strat. 2	Keimungsbed. 2	Ende
1h	-	h 5/10°C			26. Aug 2008
1d	-	d 5/10°C			26. Aug 2008
2h	-	h 10/20°C			26. Aug 2008
2d	-	d 10/20°C			26. Aug 2008
3h	4°C	h 5/10°C			9. Sep 2008
3d	4°C	d 5/10°C			9. Sep 2008
4h	4°C	h 10/20°C			9. Sep 2008
4d	4°C	d 10/20°C			9. Sep 2008
6h	20°C	h 5/10°C	4°C	h 10/20°C	2. Dez 2008
7h	20°C	h 5/10°C	4°C	h 5/10°C	2. Dez 2008
6d	20°C	d 5/10°C	4°C	d 10/20°C	2. Dez 2008
7d	20°C	d 5/10°C	4°C	d 5/10°C	2. Dez 2008
8h	20°C	h 10/20°C	4°C	h 10/20°C	2. Dez 2008
9h	20°C	h 10/20°C	4°C	h 5/10°C	2. Dez 2008
8d	20°C	d 10/20°C	4°C	d 10/20°C	2. Dez 2008
9d	20°C	d 10/20°C	4°C	d 5/10°C	2. Dez 2008
5h	20+4°C	h 5/10°C			21. Okt 2008
5d	20+4°C	d 5/10°C			21. Okt 2008
10h	20+4°C	h 10/20°C	4°C	h 5/10°C	13. Jan 2009
11h	20+4°C	h 10/20°C	4°C	h 10/20°C	13. Jan 2009
10d	20+4°C	d 10/20°C	4°C	d 5/10°C	13. Jan 2009
11d	20+4°C	d 10/20°C	4°C	d 10/20°C	13. Jan 2009

Da nicht klar war, welche Temperaturen zur Auskeimung (Herbst 10/20°C, oder Frühling 5/10°C, oder andere) und zwischen den Stratifikationsperioden nötig sind, wurden beispielsweise statt der Herbst- auch Frühjahrsperioden getestet (Tab. 3).

Jede Kombination von (Warm- oder Kalt-) Stratifikation und Keimungsbedingung wurde 6 Mal wiederholt, das heißt insgesamt mit $6 \times 50 = 350$ Samen durchgeführt. Die Vorbehandlungen und Nachbehandlungen erfolgten bei Dunkelheit (alle Petrischalen wurden mit Alufolie umwickelt), die Behandlung unter Keimungsbedingungen für einen Teil der Petrischalen bei einem Wechsel von 12h Licht/12h Dunkelheit, für einen anderen Teil bei kompletter Dunkelheit. Die Keimungsbedingungen beinhalteten Wechseltemperaturen, die jeweils 10h gefahren wurden, mit einer zweistündigen Übergangszeit von einer Temperatur zur anderen. Alle Behandlungen wurden jeweils 6 Wochen durchgeführt. Die Petrischalen unter Keimungsbedingungen wurden wöchentlich auf ihre Wassermenge überprüft, und diese gegebenenfalls ergänzt. Die Überprüfung fand für die in Dunkelheit keimenden Samen ausschließlich unter grünem Licht in einem abgedunkelten Raum statt, da selbst kurze Lichtreize Einfluss auf die Samenkeimung ausüben können. Die Auszählung der gekeimten Samen erfolgte jeweils nach 6-wöchiger Behandlung unter Keimungsbedingungen. Mit nicht-gekeimten Samen wurde der so genannte Nageltest durchgeführt, bei dem die Samen mit dem

Fingernagel gequetscht wurden. Damit können verfaulte Samen, die sich bei dieser Prozedur zerquetschen lassen, identifiziert und von den noch lebensfähigen, harten Samen unterschieden werden. Die durch den Nageltest unversehrten Samen wurden anschließend in einem Tetrazoliumtest auf Lebensfähigkeit geprüft. Das Keimungsexperiment endete für die Behandlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, abhängig von der Anzahl der einzelnen Temperaturregime (Tab. 3).

2.7.3 Keimungsexperiment 2 mit Gibberellinsäure (2008)

Gibberellinsäure ist ein von Pflanzensamen produziertes Wachstumshormon, welches die Keimung fördert. Eine Behandlung von Samen mit Gibberellinsäure kann daher auch bei dormanten Samen eine Keimung auslösen, und von den Samen benötigte Perioden kalter oder warmer Temperatur ersetzen (Baskin & Baskin, 2001). Da unter den oben genannten Keimungsbedingungen bis Mitte November 2008 kein einziger Herbst-Zeitlose-Same gekeimt hatte, wurden am 17.11.08 Keimungsversuche mit Gibberellinsäure angesetzt. Dafür wurden je 50 Samen der Viehweidepopulation vom Juni 2008 auf Filterpapier in Petrischalen verteilt und 10 ml destilliertes Wasser mit unterschiedlicher Konzentration an Gibberellinsäure zugefügt. Die Petrischalen wurden in Plastikbeutel gepackt, um die Wasserverdunstung zu reduzieren. Anschließend, wurden die Samen entweder für 12 Wochen bei 4°C in Dunkelheit stratifiziert oder sofort unter Keimungsbedingungen inkubiert. Für die Keimungsbedingungen wurden zwei verschiedene Wechseltemperaturen gefahren, jede für 10 h mit einer zweistündigen Übergangszeit von einer Temperatur zur anderen (Tab. 4). Jede Kombination aus Gibberellinsäurekonzentration, Stratifikation und Keimungsbedingung wurde 3 Mal wiederholt. Die Petrischalen unter Keimungsbedingungen wurden wöchentlich auf ihren Wassergehalt überprüft und gegebenenfalls gewässert. Die Auszählung der Keimlinge erfolgte nach 12 Wochen Behandlung unter Keimungsbedingungen. Bei der Auszählung wurde mit nicht-gekeimten Samen der Nageltest durchgeführt.

Tab. 4: Behandlung von Herbst-Zeitlose-Samen 2008 mit verschiedenen Gibberellinsäure-Konzentrationen.

Die Stratifikation erfolgte 6 Wochen, die Inkubation bei Keimungsbedingungen 12 Wochen. Konz. Gib.säure = Konzentration der Gibberellinsäure, Strat. = Stratifikation, Keimungsbed. = Keimungsbedingung.

Konz. Gib.säure [mg/l]	Strat.	Keimungsbed.
0 (Kontrolle)	4°C	10/20°C
100	4°C	10/20°C
1000	4°C	10/20°C
0 (Kontrolle)	4°C	15/25°C
100	4°C	15/25°C
1000	4°C	15/25°C
0 (Kontrolle)	-	10/20°C
100	-	10/20°C
1000	-	10/20°C
0 (Kontrolle)	-	15/25°C
100	-	15/25°C
1000	-	15/25°C

2.7.4 Keimungsexperiment 3 (2008)

Im Rahmen des Vergrabungsexperiments (s.u.) wurde mit einigen Samen ein Keimungsexperiment in Klimaschränken unter den gleichen Behandlungen wie in Keimungsexperiment 1 durchgeführt, um die Keimungsfähigkeit der Samen zu

Vergrabungsbeginn einschätzen zu können (Tab. 5). Pro Behandlung wurden 5 Wiederholungen angesetzt. Einhundert weitere Samen wurden einem Tetrazoliumtest unterzogen, um die Anzahl der lebenden und potentiell keimfähigen Samen zu ermitteln.

Tab. 5: Stratifikationen und Keimungsbedingungen von Herbstzeitlosesamen während der Keimungsversuche zum Vergrabungsexperiment 2008.

Alle Behandlungen wurden 6 Wochen lang durchgeführt. Behdlg. = Behandlung, Strat. = Stratifikation, Keimungsbed. = Keimungsbedingung; h = Samen wurden unter Keimungsbedingungen belichtet; d = Samen wurden unter Keimungsbedingungen nicht belichtet.

Behdlg.	Strat. 1	Keimungsbed. 1	Strat. 2	Keimungsbed. 2	Keimungsbed. 3
1h	-	h 5/10°C			
1d	-	d 5/10°C			
2h	4°C	h 5/10°C			
2d	4°C	d 5/10°C			
3h	15/25+4°C	h 5/10°C			
3d	15/25+4°C	d 5/10°C			
4h	-	h 10/20°C	4°C	h 5/10°C	
4d	-	d 10/20°C	4°C	d 5/10°C	
5h	15/25°C	h 5/10°C	4°C	h 5/10°C	h 10/20°C
5d	15/25°C	d 5/10°C	4°C	d 5/10°C	d 10/20°C
6h	15/25°C	h 10/20°C	4°C	h 5/10°C	h 10/20°C
6d	15/25°C	d 10/20°C	4°C	d 5/10°C	d 10/20°C
7h	4°C	h 10/20°C	4°C	h 5/10°C	h 10/20°C
7d	4°C	d 10/20°C	4°C	d 5/10°C	d 10/20°C

2.7.5 Keimungsexperimente - Masterarbeit (2009)

Die Keimungsexperimente 2008 lieferten zwar Anhaltspunkte für die Keimungsansprüche der Herbst-Zeitlose, konnten diese aber nicht vollständig klären. Daher fanden 2009 weitere Experimente zur Untersuchung der Keimungsbiologie von *C. autumnale* innerhalb einer Masterarbeit (Bearbeiter: Markus Kasnitz), die im Rahmen des Projekts initiiert wurde, statt. Zwischen Juni und Juli 2009 wurden reife Samenkapseln der Herbst-Zeitlose in der nördlichen Oberrheinniederung (Viehweide und Spielplatz), im Vorderen Vogelsberg (Licher Straße, Lich Wetter, Leihgestern) und im Lahn-Dill-Bergland (Eibach) gesammelt. Die Samen wurden aus den Kapseln entfernt und für einige Tage zum Trocknen bei Zimmertemperatur ausgebreitet. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Tausenkorngewichts (TKG), der Lebensfähigkeit (Tetrazoliumtest), sowie der Schimmelanfälligkeit der Samen jeder einzelnen Population. Aufgrund starker Schimmelentwicklung wurden die Populationen Viehweide und Licher Straße nicht im Experiment verwendet. Es erfolgte eine Fraktionierung des Saatguts in Samen kleinen (>1.6 mm), mittleren (1.6-2 mm) und großen (> 2 mm) Samenkalibers.

Nachfolgend wird ein Auszug der wichtigsten Versuche und Ergebnisse aus der Masterarbeit geliefert, da die Menge an Versuchen den Rahmen des Berichts sprengen würde. Die Gesamtheit der Versuche und Details können in der Masterarbeit (Kasnitz, 2010) nachgelesen werden.

Teil 1

Vor dem Ansetzen der Keimungsbehandlungen, erfolgte eine Desinfektion der Samen zur Reduktion von Schimmelpilzen in 70%igem Ethanol für 1 min und anschließend in 3%igem Natriumhypochlorit (NaOCl) für 5 min. Samen mittleren und großen Samenkalibers von vier Populationen (Lich Wetter, Leihgestern, Spielplatz, Eibach) wurden zu gleichen Anteilen

gemischt. Jeweils 50 Samen wurden in Petrischalen verteilt, die mit Filterpapier und 10 ml entmineralisiertem Wasser bestückt waren. Der Keimungsversuch begann am 25.08.09. Folgende Behandlungen wurden mit je fünf Wiederholungen einmal unter Licht (12h) und in Dunkelheit durchgeführt:

1. 4 bzw. 8 Wochen bei:
 - a. 25/15°C Wechseltemperatur
 - b. 20/10°C Wechseltemperatur
2. anschließend 12 Wochen:
 - a. 20/10°C Wechseltemperatur
 - b. 7/12°C Wechseltemperatur

Es ergab sich somit folgende Anzahl von Behandlungen:

2 (hell/dunkel) x 2 (Wochenanzahl) x 2 (Temperaturen) x 2 (Temperaturen) = 16, die wie bereits 2008 in den Klimaschränken der Professur für Landschaftsökologie stattfinden.

Teil 2

Im 1. Keimungsexperiment waren alle Samen desinfiziert und keine kleinen Samenkaliber verwendet worden. Um den Einfluss der Desinfektion, der Samengröße und einer höheren Wechseltemperatur (30/20°C) zu untersuchen, wurde am 9.12.2009 ein zweites Keimungsexperiment angesetzt. Alle Behandlungen fanden als Dunkelvarianten statt, da im Experiment 1 unter Licht keinerlei Keimung erfolgt war.

A) Um den Einfluss der Wechseltemperatur 30/20°C zu untersuchen, wurden folgende Behandlungen mit acht Wiederholungen à 55 mittel-große desinfizierte Samen in Dunkelheit durchgeführt:

1. 4 bzw. 8 Wochen bei Wechseltemperatur:
 - a. 30/20°C
 - b. 25/15°C
2. anschließend bis Keimung bei Wechseltemperatur:
 - c. 20/10°C
 - d. 10/5°C

B) Die Untersuchung des Einflusses des Samenkalters und der Desinfektion erfolgte mit folgendem Ansatz:

1. Ausgangsmaterial:
 - a. kleine desinfizierte Samen
 - b. mittelgroße nicht-desinfizierte Samen
2. 8 Wochen bei Wechseltemperatur 25/15°C
3. anschließend bis Keimung bei Wechseltemperatur 15/5°C.

Teil 3

In einem dritten Teil wurde der Einfluss der Desinfektionsdauer in 3% NaOCl-Lösung auf die Keimung untersucht. Folgenden Behandlung wurden mit acht Wiederholungen à 100 mittel-große Samen in Dunkelheit durchgeführt.

1. Desinfektionsdauer in 3% NaOCl-Lösung:
 - a. keine Desinfektion
 - b. 5 min
 - c. 10 min
 - d. 15 min
2. 8 Wochen bei Wechseltemperatur 25/15°C
3. anschließend bis Keimung bei Wechseltemperatur 12/7°C.

2.8 Vergrabungsexperiment

Vorhandene Informationen zur Überlebensfähigkeit der Herbst-Zeitlose-Samen im Boden und dem Aufbau einer Samenbank sind ausgesprochen gering (z. B. in der Datenbank von Thompson et al. 1997 nur zwei Nachweise zu Samenbanken). Ursprünglich sollte die Diasporenbank der Herbst-Zeitlose durch einmalige Beprobung der Versuchsflächen untersucht werden, um den Aufbau einer Samenbank zu prüfen. Dies hätte jedoch keinen Schluss auf den Zeitraum, den Herbst-Zeitlose-Samen im Boden lebend überdauern können, zugelassen. Daher wurde stattdessen auf dem Versuchsfeld der Professur Mitte Juli 2008 ein Vergrabungsexperiment angelegt. Auf zwei Standorten, einem feuchten und einem trockenen, wurden je 42 8 cm breite und 7 cm tiefe Löcher in den Boden gegraben (Abb. 11). Jedes Loch wurde mit einem roten Pflöck gekennzeichnet. Die Anlage der Löcher erfolgte auf jedem Standort in zwei mal drei Reihen, mit einem 1 m breiten Gang in der Mitte. Päckchen aus Nylonstoff mit 50 Samen wurden in jedem Loch in drei verschiedenen Tiefen (je Tiefe ein Päckchen) angeordnet: 7 cm und 2 cm, 0 cm (Erdoberfläche). Ein über die Versuchsanlage gespannter Maschendrahtzaun verhinderte, dass Wind oder Tiere auf dem Erdboden liegende Päckchen wegtrugen. Die Samen stammten aus den drei anfangs beschriebenen Untersuchungsregionen und umfassten 7 Populationen: je zwei Populationen aus dem Lahn-Dill-Bergland und der nördlichen Oberrheinniederung sowie drei Populationen aus dem Marburg-Gießener-Lahntal. Die Samen der einzelnen Populationen bildeten unterschiedliche Anteile an den 50 Samen pro Päckchen, da von einigen Populationen mehr Samen zur Verfügung standen als von anderen. Die Anteile der Samen verschiedener Populationen war jedoch in jedem Päckchen gleich.

Abiotische Messungen an den beiden Vergrabungsstandorten umfassten die Bodenfeuchte im zweiwöchigen Rhythmus und die Temperatur mittels zweier Datalogger (TG-4080 Tinytag Transit) pro Vergrabungstiefe und Standort (Abb. 11).



Abb. 11: Vergrabungsexperiment mit Herbst-Zeitlose Samen auf dem Versuchsfeld. Die roten Holzpflocke markieren die Lage der Nylonsäckchen. Die weißen Pflöcke in der Bildmitte markieren die Lage der Datalogger.

Die Samenvergrabung fand am 10.07.08 statt. Zusätzlich zur Vergrabung wurde mit einigen Samen ein Keimungsexperiment durchgeführt (s. o. Keimungsexperiment 3 (2008)), um die Keimungsfähigkeit der Samen zu Vergrabungsbeginn einschätzen zu können.

Das Ausgraben von Samen auf dem Versuchsfeld erfolgte jeweils im Herbst und Frühjahr eines Jahres, angefangen im Herbst 2008 bis zum Frühjahr 2011. Zu jedem Ausgrabezeitpunkt wurden Nylonsäckchen aus 6 Löchern pro Standort (je 3 links und rechts des Ganges) - dies entspricht 6 Wiederholungen pro Tiefe – entnommen. Gezählt wurden die Keimlinge pro Probe und die beim Nageltest zerquetschten Samen. Alle übrigen Samen wurden 2008 unterschiedlich weiterbehandelt: (i) Tetrazoliumtest, (ii) Einsaat in mit Erde gefüllte Töpfe auf dem Versuchsfeld, (iii) Stratifikation der Samen mit Gibberellinsäure (c = 1000 mg/l) in einer Petrischale im Klimaschrank bei 4°C für 12 Wochen, danach Wechseltemperatur 10/20°C; (iv) Behandlung der Samen mit Gibberellinsäure (c = 1000 mg/l) in einer Petrischale im Klimaschrank bei Wechseltemperatur 15/25°C. Diese Aufteilung der Samen erfolgte ab 2009 nicht mehr aus folgenden Gründen: Erstens gelang es nicht die Samen unter den Behandlungen (ii) - (iv) zum Keimen zu bringen wodurch keine weitere Einteilung der lebenden Samen in keimfähige und dormante möglich war. Zweitens hätte durch die große Zahl toter Samen nach einem Jahr Vergrabung eine Aufteilung zu sehr geringer Samenzahl pro Behandlung geführt, die keine belastbare Aussage zugelassen hätte.

2.9 Einfluss von Standortfaktoren und extensiver Nutzung auf die Herbst-Zeitlose

2010/2011 wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (Bearbeiterin: Caroline Schauß, Universität Trier), die an die Thematik des DBU-Projektes anknüpft, untersucht: a) welche Standortfaktoren Vorkommen und Dichte der Herbst-Zeitlose beeinflussen, und b), ob ein direkter Zusammenhang zwischen Dichte und Vorkommen der Herbst-Zeitlose mit extensiver Grünlandbewirtschaftung besteht.

Die Beantwortung der Fragen erfolgte auf Grundlage zweier pflanzensoziologischer Arbeiten in insgesamt drei verschiedenen Regionen Hessens, eigenen Datenerhebungen im Feld und Nutzungsdaten zu den untersuchten Standorten, die an Agrarumweltprogrammen (HELP, HIAP) teilnehmen. In den pflanzensoziologischen Arbeiten findet sich ein auf Vegetationsaufnahmen beruhender Vergleich von mehreren Grünlandstandorten zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten. Die erste Arbeit, eine Doktorarbeit von Raehse (, 1999), liefert Vegetationsaufnahmen von Grünlandstandorten in der Ohmniederung und im Vorderen Vogelsberg von 1949-53 und 1991-92. Die zweite Arbeit, eine Diplomarbeit von Mattig & Segsneider (, 1989), enthält die gleiche Art von Daten zu Standorten aus dem Licher Becken, die aus den Jahren 1976/77 und 1987 stammen. Im ersten Arbeitsschritt wurden die Flurkarten mit den eingezeichneten Untersuchungsflächen (Grünlandstandorten) im Programm ArcView digitalisiert und mit passenden Bodenkarten verschnitten. Nach der Verschneidung wurden jeder Untersuchungsfläche über die Bodenkarte für Hessen (BK50) Standortfaktoren zugeordnet (z.B. Grundnässe, pH, etc.). Zusätzlich erfolgte für jeden Standort die Berechnung von Ellenbergzahlen (Feuchtezahl, Reaktionszahl, Stickstoffzahl, Lichtzahl, etc.) aus den Zeigerwerten nach Ellenberg jeder in der Vegetationsaufnahme vorkommenden Art. Anschließend wurden alle Grünlandstandorte mit Hilfe von PC-ORD in verschiedenen Ordinationsverfahren nach Region getrennt analysiert. Die Standortfaktoren, Ellenbergzahlen und die Artenzahl dienten dabei als Erklärungsvariablen für die Ähnlichkeit von Standorten. Diese erste Analyse soll allgemeine Veränderungen im untersuchten Zeitraum pro Region wiedergeben. In einer zweiten Analyse, wurden ausschließlich die Standorte mit *C. autumnale* betrachtet, und auf charakteristische Standortfaktoren, sowie ihren Zusammenhang mit der Herbst-Zeitlose Dichte hin untersucht.

Um zu klären, wie sich das Vorkommen der Herbst-Zeitlose auf den in den pflanzensoziologischen Arbeiten untersuchten Standorten bis heute verändert hat (Ausbreitung, Rückgang, keine Veränderung), wurden im September 2010 mittels Flurkarten und GPS Untersuchungsflächen mit einem der folgenden Kriterien aufgesucht: a) Vorkommen von Herbst-Zeitlose, b) Vorkommen von *Silau silaus* und/oder *Sanguisorba officinalis*, da diese Pflanzenarten für potentiell geeignete Herbst-Zeitlose Standorte stehen, c) an a) und b) Flächen mit heutigen Herbst-Zeitlose Vorkommen angrenzende Standorte. Die Dichteschätzung der Blüten erfolgte mittels Braun-Blanquet und als Schätzung der absoluten Pflanzenzahl.

Die Bestimmung der Standorte mit extensiver Nutzung während der letzten 5 Jahre erfolgte nach folgenden Kriterien: a) Lage im Naturschutzgebiet, b) Teilnahme am Agrarumweltprogramm HIAP oder HELP.

Auswertung und Abschluss der Diplomarbeit erfolgten im Frühjahr 2011 (Schauss, 2011).

Die Vegetationsdaten der o.g. pflanzensoziologischen Arbeiten wurden im Rahmen dieser Doktorarbeit und des Projekts „Regulation der Herbst-Zeitlose auf extensiv genutzten Grünland“ nochmals aufbereitet und in ähnlichen Fragestellungen wie denen der Diplomarbeit, aber mit veränderten Methoden und weiteren Analysen neu untersucht.

In der Diplomarbeit hatte sich gezeigt, dass die zur Verfügung stehenden Bodenkarten zur Bewertung der Standortfaktoren für Vorkommen und Dichte von *C. autumnale* keine ausreichend gute Auflösung für die Untersuchungsflächen boten, um aussagekräftige Unterschiede darzustellen. Daher wurde in dieser Arbeit nur der Zusammenhang zwischen Vorkommen bzw. Dichte der Herbst-Zeitlose mit den Ellenberg-Zeigerwerten (FZ, NZ, RZ) und der Pflanzenartenzahl (wie aus den Vegetationsaufnahmen berechnet) untersucht. Des Weiteren wurde die Entwicklung der Dichte und des Vorkommens der Pflanze zwischen alten und neuen Vegetationsaufnahmen analysiert. Die Vegetationsaufnahmen von 2010 fanden im Herbst zur Blütezeit von *C. autumnale* statt und waren daher bzgl. der Dichte der Pflanze nicht mit den alten Vegetationsaufnahmen vergleichbar. Neue und alte Aufnahmen wurden deshalb nur hinsichtlich des Vorkommens, nicht der Dichte der Herbst-Zeitlose, verglichen. Für eine konkrete Beantwortung der Frage, ob eine Ausbreitung der Herbst-Zeitlose aufgrund einer extensiven Bewirtschaftung stattgefunden hat, müssten neben der Zuordnung der Untersuchungsflächen zum Hessischen Agrarumweltprogramm HIAP oder der Lage im Naturschutzgebiet (wie beides in der Diplomarbeit geschehen), die Bewirtschaftungsintensität der übrigen Flächen ermittelt werden. Der damit einhergehende Aufwand konnte jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht abgedeckt werden, weshalb diese Frage hier nicht weiter erörtert wird.

Die statistische Auswertung der Vegetationsdaten aus den Arbeiten von Raehse (, 1999), sowie Mattig & Segschneider (, 1989) erfolgte getrennt pro Region mittels Detrended Correspondence analysis (DCA). Die Evaluation der DCA Ordination erfolgte durch die Berechnung des Determinationskoeffizienten mit relativer Euklidischer Distanz. Anschließend wurde in die graphische Darstellung ein Overlay mit den Ellenberg Zeigerwerten und der Taxazahl ein Overlay mit Sukzessionsvektoren gelegt, die zur Interpretation der potentiellen Veränderungen zwischen alten und neuen Aufnahmen dienen (McCune, Grace & Urban, 2002). Multivariate Analysen erfolgten mit PC-ORD 5.3 (McCune, Grace & Urban, 2002).

Der Zusammenhang zwischen Herbst-Zeitlose Dichte und Zeigerwerten bzw. Taxazahl wurde mittels Spearman's rank Korrelation und linearer Regression, bei erfüllten Voraussetzungen der Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen, analysiert. Die Veränderung der Herbst-Zeitlose Dichte zwischen den zwei Aufnahmezeitpunkten wurde mit einem t-Test oder Wilcoxon Rangsummentest, wenn die Voraussetzungen für den t-Test nicht erfüllt wurden,

untersucht. Die Analysen wurden mit der Statistiksoftware R 2.12.2 (R Development Core Team, 2008) durchgeführt. Signifikanz der Ergebnisse lag vor bei $P < 0.05$.

3 Ergebnisse

3.1 Populationsbiologische Untersuchungen

3.1.1 Populationswachstumsrate

Anhand der Blattzahl und Blattbreite ordneten wir den Herbst-Zeitlosen einem von sechs folgenden Lebenszyklusstadien zu (Abb. 12): S = Keimling (einblättrig, Blattbreite $\leq 0,1$ cm), L1 = einblättrige (Blattbreite $> 0,1$ cm), L2 = zweiblättrige, L3 = drei- bzw. $>$ dreiblättrige und G = generative Pflanze (mit Kapseln), D = dormante Pflanze. Da nach Thompson, Bakker & Bekker (, 1997) die Samenbank von *C. autumnale* als transient einzustufen ist, d.h. die Samen weniger als 1 Jahr im Boden überleben, wurde das Stadium „Same“ nicht als Lebenszyklusstadien berücksichtigt. Die Pfeile in Abbildung 12 zeigen Übergänge zwischen den Lebenszyklusstadien an. Je dicker der Pfeil, desto wahrscheinlicher ist der Übergang. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Pflanzen oft eine Zeit lang in einem bestimmten Stadium verweilen, bevor sie in ein anderes Stadium übergehen. Wie viele Jahre eine Pflanze dormant bleibt, also keine Blätter über die Erde treibt, ist bisher nicht bekannt und konnte aufgrund der für populationsbiologische Untersuchungen doch recht kurze Studiendauer auch in dieser Studie nicht geklärt werden.

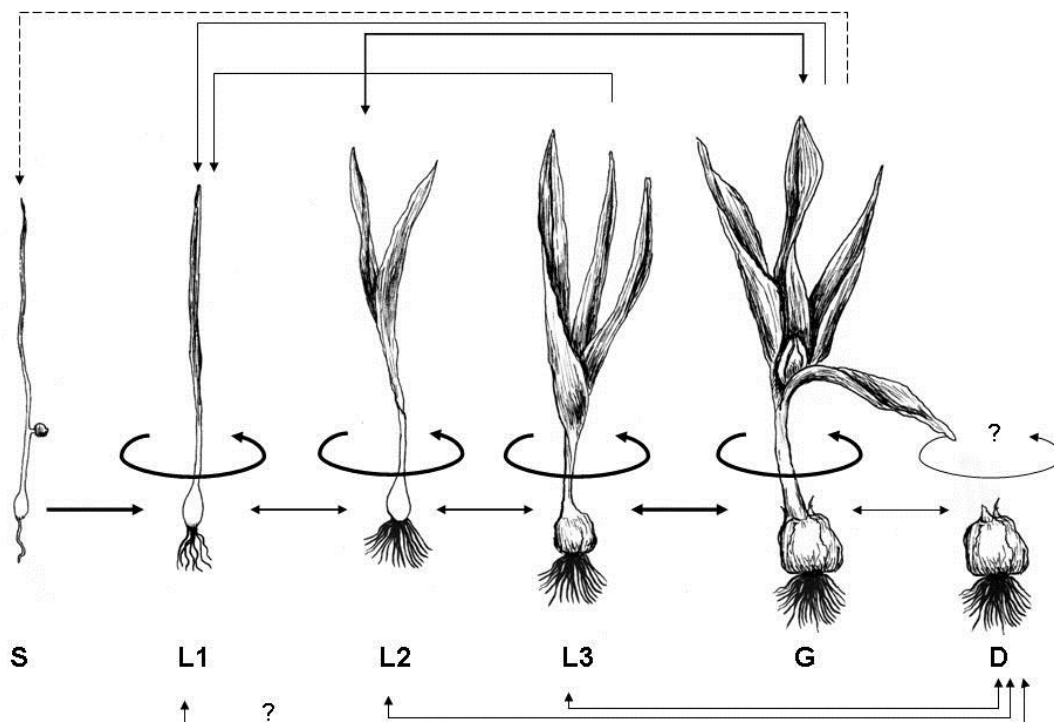


Abb. 12: Lebenszyklusstadien von *Colchicum autumnale*.

S = Keimling, L1-L3 = vegetative Pflanze mit 1, 2, 3 oder mehr Blättern, G = generative Pflanze mit Kapseln, D = dormante Pflanze. Die Pfeile zeigen mögliche Übergänge zwischen den Stadien, die gestrichelte Linie repräsentiert Fekundität, das Fragezeichen zweifelhafte Übergänge. Dicke Linien zeigen eine Übergangswahrscheinlichkeit größer als 30%, mittelstarke Linien weniger als 30% und größer 5% und dünne Linien weniger als 5%. Zeichnung von S. Rosner, BOKU Wien.

Unklar blieb auch ob eine Pflanze aus dem Lebenszyklusstadium L1 heraus in Dormanz geht, da bei solchen kleinen Pflanzen immer die Möglichkeit besteht, sie übersehen zu haben. Mit Hilfe von Matrixpopulationsmodellen wurde über alle Populationen und Regionen die durchschnittliche Populationswachstumsrate λ für die einzelnen Behandlungen kalkuliert (Abb. 13). Die Populationswachstumsrate zeigte zwischen den Behandlungen und Jahren Werte von 0.66 – 1.37. Unter der Kontrolle war λ in jedem Übergangsjahr am höchsten, lag aber nur 2008-1009 über 1, was auf Populationswachstum hinweist. Behandlung T1 (Mahd im Mai) unterschied sich in keinem Übergangsjahr von der Kontrolle, was die sich überlappenden Konfidenzintervalle zeigen. Die anderen beiden Behandlungen T2 (Mahd April und Mai) und T3 bewirkten jedoch eine signifikante Reduktion von λ gegenüber der Kontrolle und der Behandlung T1 im zweiten Übergangsjahr. Der starke Abfall von λ unter Behandlung T2 vom ersten auf das zweite Übergangsjahr ist wahrscheinlich das Resultat des von Ende Mai 2008 auf Ende April 2009 vorgezogenen ersten Schnittes in dieser Behandlung. Insgesamt wurde die stärkste Reduktion von λ unter Behandlung T3 erreicht. Ab dem zweiten Übergangsjahr lag λ bei allen Behandlungen einschließlich der Kontrolle unter 1 und zeigt damit einen Populationsrückgang an. Über alle Untersuchungsjahre nahm λ unter der Kontrolle und T1 stetig ab, während eine Reduktion von λ unter T2 und T3 nur vom ersten zum zweiten Übergangsjahr zu verzeichnen war. Überraschenderweise nahm λ unter diesen beiden Behandlungen vom 2ten zum 3ten Übergangsjahr sogar wieder zu.

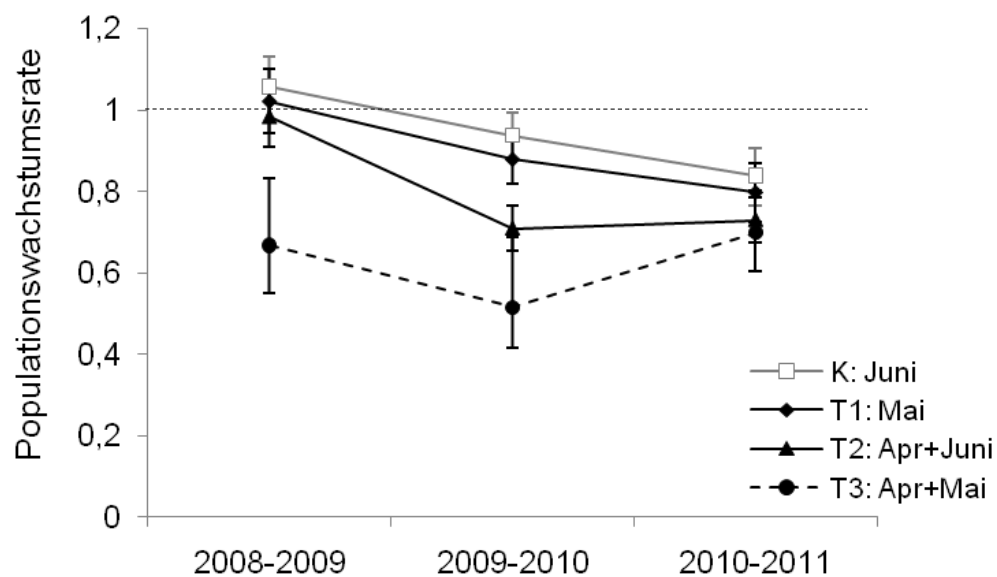


Abb. 13: Mittlere Populationswachstumsrate (λ) mit 95% Konfidenzintervall von 9 *Colchicum autumnale* Populationen in drei verschiedenen Naturräumen Hessens unter verschiedenen Mahdregimen (siehe Tab. 2).

Behandlung T3 wurde nur im Naturraum Vorderer Vogelsberg durchgeführt. Die gestrichelte Linie zeigt stabiles Populationswachstum ($\lambda=1$).

Da Behandlung T3 nur in einer Region, dem Vorderen Vogelsberg, durchgeführt wurde, muss diese separat mit den Ergebnissen innerhalb dieser Region verglichen werden (Abb. 14). Dort bewirkte sie als einzige der 3 Behandlungen in allen 3 Übergangsjahren ein signifikant geringeres λ als die Kontrolle und zudem als Behandlung T1 2008-2009 und 2009-2010 und, im Gegensatz zu Abbildung 13, T2 .

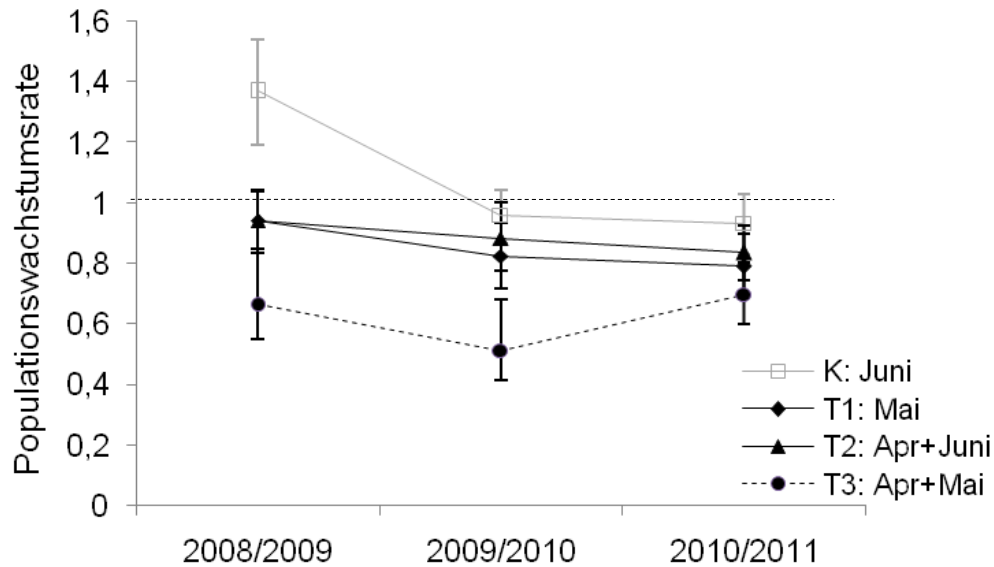


Abb. 14: Mittlere Populationswachstumsrate (λ) mit 95% Konfidenzintervall von 3 *Colchicum autumnale* Populationen im Naturraum Vorderer Vogelsberg unter verschiedenen Mahdregimen (siehe Tab. 2).

Die gestrichelte Linie zeigt stabiles Populationswachstum ($\lambda=1$).

3.1.2 Life-table response experiment (LTRE)

Um zu klären, welche demographischen Prozesse zur Veränderung der Populationswachstumsrate ($\Delta\lambda$) zwischen der Kontrolle und den Mahdregimen geführt haben, wurde ein LTRE (Life table response experiment) durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Behandlungen in allen 3 Übergangsjahren ein verringertes Wachstum den größten Anteil zu $\Delta\lambda$ beitrug, dicht gefolgt von zunehmender Regression, also einer Verringerung der Pflanzengröße (Abb. 15). Während die vegetative Reproduktion in allen Jahren unter den Mahdbehandlungen im Vergleich zur Kontrolle abnahm, war die generative Reproduktion im ersten Übergangsjahr erhöht und verringerte sich erst in den darauf folgenden Jahren. Eine Verringerung der Stasis erfolgte nur bei stark verringertem Wachstum, wie in den ersten beiden Übergangsjahren in den Behandlungen T2 und T3.

3.1.3 Elastizitätsmatrizen

Die Summe aller Zellen einer Elastizitätsmatrix ergibt 1. Der Wert eines bestimmten Übergangs in der Elastizitätsmatrix ist daher ein Maß dafür, wie wichtig dieser Übergang für die Populationswachstumsrate ist (Silvertown, Franco & Menges, 1996). Während in der Kontrolle die Stasis großer Pflanzen ($B3 - B3$) und die Übergänge großer Pflanzen zu generativen Pflanzen ($B3 - G$) den größten Anteil zur Populationswachstumsrate λ beitragen, ist letzterer Anteil unter der Behandlung T1 stark verringert und beträgt in den beiden anderen Behandlungen sogar 0 (Tab. 6). Unter T2 und T3 kommt die generative Reproduktion also fast vollständig zum Erliegen. Zusätzlich verringert sich bei diesen beiden Behandlungen der Anteil der Stasis großer Pflanzen an λ sehr stark; stattdessen steigt der Anteil der Stasis mittlerer Pflanzen ($B2 - B2$) und im letzten Jahr bei T3 kleiner Pflanzen ($B1 - B1$).

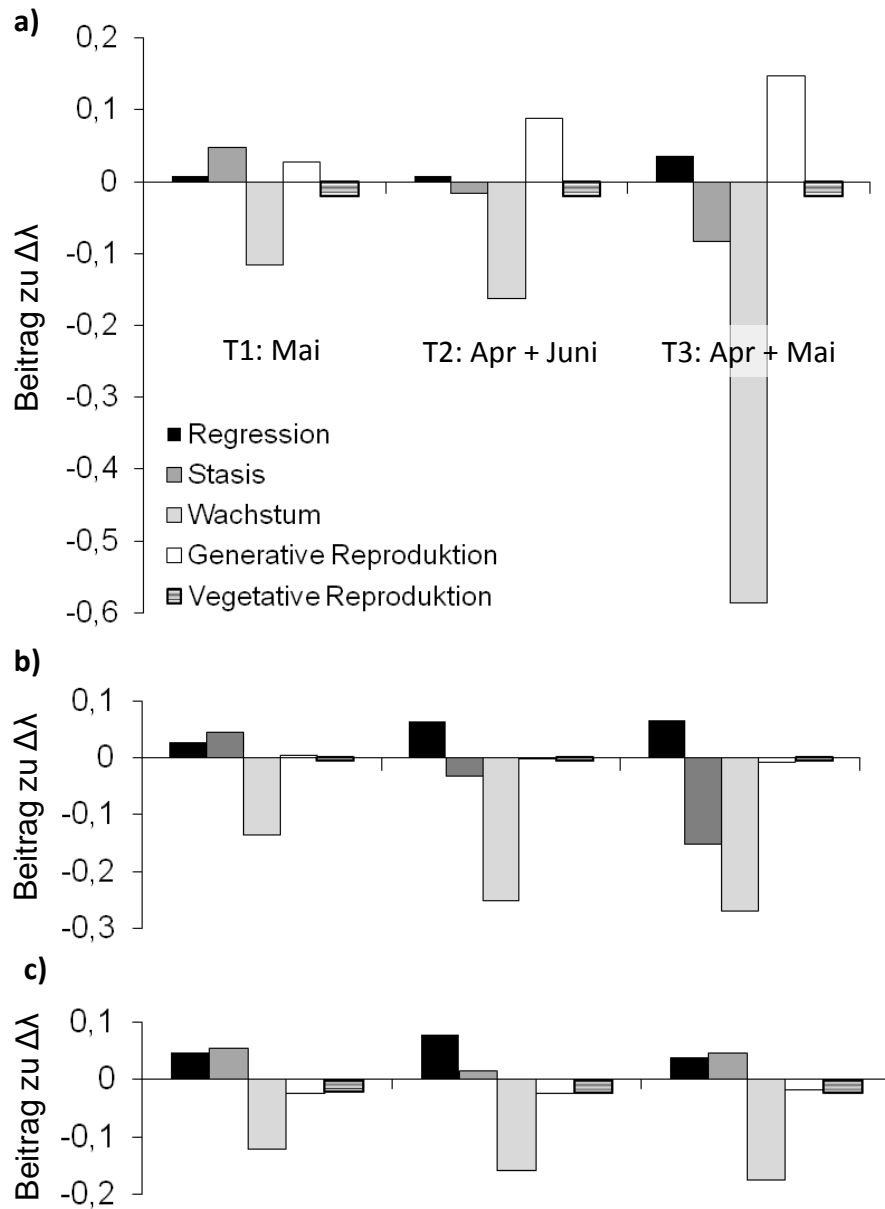


Abb. 15: Beitrag verschiedener demographischer Prozesse zur Differenz der Populationswachstumsrate ($\Delta\lambda$) zwischen Kontrolle und verschiedenen Mahdregimen in 9 *C. autumnale* Populationen in drei Naturräumen Hessens für drei Übergangsjahre: a) = 2008-2009, b) = 2009-2010, c) = 2010-2011.

Tab. 6: Mittlere Elastizitätsmatrizen für Kontrolle und Mahdbehandlungen von 9 *Colchicum autumnale* Populationen in 3 Naturräumen Hessens.

Kontrolle: Mahd Juni																			
	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	
B1	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	
B2	0.00	0.07	0.16	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.17	0.03	0.01	0.03	0.00	0.04	0.14	0.04	0.01	0.01	
B3	0.00	0.00	0.07	0.12	0.07	0.01	0.00	0.00	0.07	0.19	0.07	0.01	0.00	0.01	0.07	0.20	0.07	0.01	
G	0.00	0.01	0.01	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.03	0.01	
D	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	

T1: Mahd Mai																			
	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
B1	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	
B2	0.00	0.06	0.22	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.32	0.07	0.01	0.02	0.00	0.01	0.37	0.10	0.00	0.02	
B3	0.00	0.00	0.07	0.19	0.03	0.01	0.00	0.00	0.08	0.26	0.03	0.01	0.00	0.00	0.11	0.29	0.01	0.01	
G	0.00	0.00	0.02	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
D	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	

T2: Mahd April + Juni																			
	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
B1	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	
B2	0.00	0.07	0.25	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.73	0.05	0.00	0.04	0.00	0.02	0.56	0.06	0.00	0.05	
B3	0.00	0.00	0.05	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	0.03	
G	0.00	0.00	0.02	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
D	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.06	0.01	0.00	0.01	

T3: Mahd April + Mai																			
	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	S	B1	B2	B3	G	D	
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
B1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.06	0.00	0.00	0.00	
B2	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.79	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.54	0.01	0.00	0.02	
B3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	
G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
D	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	

3.1.4 Überlebenswahrscheinlichkeit

Mit Hilfe einer ANOVA (Varianzanalyse) mit Meßwiederholung und MANOVA (Multivariante Varianzanalyse) wurde getestet, ob sich die Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den einzelnen Mahdbehandlungen unterscheidet. Dabei gingen die unterschiedlichen Mahdbehandlungen, Naturräume, Lebenszyklusstadien und Jahre als Faktoren in die Analyse ein.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich signifikant zwischen den untersuchten Regionen, Lebenszyklusstadien und Jahren, und war fast signifikant verschieden zwischen den Mahdbehandlungen (Tab. 7). Die höchste Überlebenswahrscheinlichkeit besaßen die Herbst-Zeitlosen in der Region Lahn-Dill Bergland, und die geringste in der Nördlichen Oberrheinniederung (Abb. 16 a). Zwischen den Stadien nahm die Überlebenswahrscheinlichkeit mit zunehmender Pflanzengröße zu, so dass Keimlinge die und war entsprechend bei Keimlingen am geringsten und bei Pflanzen mit 2 und mehr Blättern am größten (Abb. 16 b). Obwohl zwischen den Behandlungen kein signifikanter Unterschied bestand, zeichnete sich doch eine Abnahme der Überlebenswahrscheinlichkeit mit einem Vorziehen des ersten Schnittes ab (Abb. 16 c). Unter den Behandlungen innerhalb der Region Vorderer Vogelsberg, mit der zusätzlichen Variante T3, war die Überlebenswahrscheinlichkeit ebenfalls nicht verschieden. Die Betrachtung der Mittelwerte zeigte eine verringerte Überlebenswahrscheinlichkeit der Behandlungen (T1: 67,6 %m T2: 68,0 %, T3: 65,5 %) gegenüber der Kontrolle (80%), jedoch nur minimale Unterschiede zwischen den Behandlungen. In Übereinstimmung mit der Entwicklung der Populationswachstumsrate, war die Überlebenswahrscheinlichkeit im Übergangsjahr 2010-2011 deutlich geringer, als in den Vorjahren (Abb. 16 d).

Tab. 7: Einfluss verschiedener Faktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von *Colchicum autumnale* in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens. ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.

ZS	Faktoren	FG	MQ	<i>p</i>
	R (Region)	2	3,52	<0,0001
	T (Behandlung)	2	0,31	0,051
	St (Stadium)	2	2,46	<0,0001
	R x T	4	0,10	0,41
	R x St	4	0,02	0,91
	T x St	4	0,04	0,79
	R x T x St	8	0,02	0,99
	Fehler (R x T x St)	52	0,10	

IS	Faktoren	Wilks' Lambda	FG _{Hypothese}	FG _{Fehler}	<i>F</i>	<i>p</i>
	Y (Jahr)	0,44	2	63	40,07	<0,0001
	Y x R	0,91	4	126	1,54	0,19
	Y x T	0,97	4	126	0,50	0,74
	Y x St	0,87	6	126	1,52	0,18
	Y x R x T	0,89	8	126	0,93	0,49
	Y x R x St	0,81	12	126	1,17	0,31
	Y x T x St	0,89	12	126	0,65	0,80
	Y x R x T x St	0,64	24	126	1,31	0,17

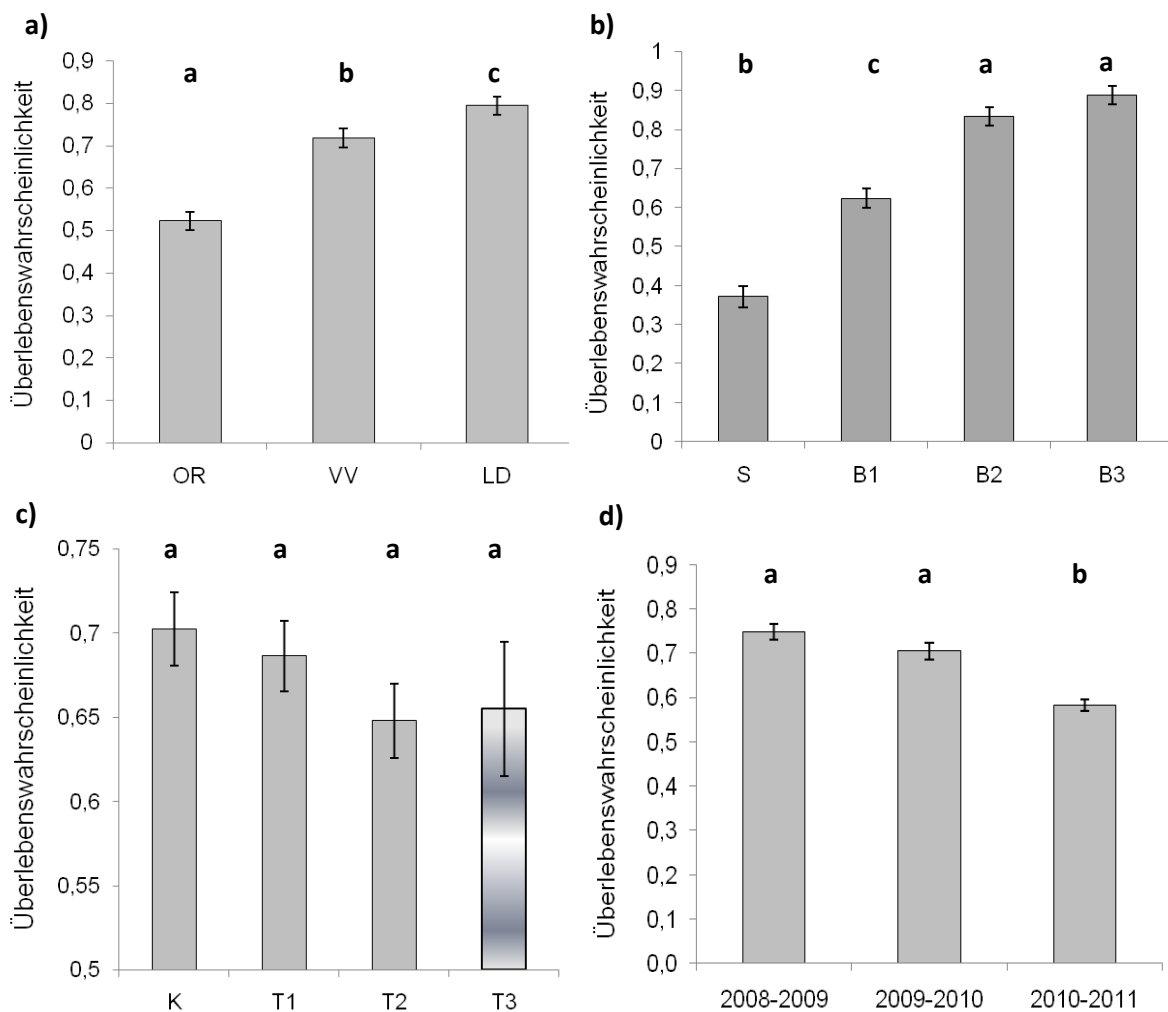


Abb. 16: Unterschiede der mittleren Überlebenswahrscheinlichkeit \pm SE von *Colchicum autumnale* zwischen a) Regionen, b) Lebenszyklusstadien (s. Abb. 12), c) Behandlungen (s. Tab. 2), D) Jahren, ($n = 9$ Populationen, außer für T3 wo $n = 3$). OR = Nördliche Oberrheinebene, VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland. Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede an mit $\alpha < 0.05$ (Tukey's Test).

3.1.5 Übergangswahrscheinlichkeit zur generativen Pflanze

Wie für die Überlebenswahrscheinlichkeit, wurden Einflüsse auf die Übergangswahrscheinlichkeit zur generativen Pflanze mit Hilfe einer ANOVA mit Meßwiederholung und MANOVA getestet. Als erklärende Variablen wurden die unterschiedlichen Mahdbehandlungen, Naturräumen, Lebenszyklusstadien und Jahren untersucht.

Die Wahrscheinlichkeit einer Pflanze zur Samenbildung im Folgejahr unterschied sich signifikant zwischen den Behandlungen, Stadien und der Interaktion zwischen beiden Faktoren (Tab. 8). Des Weiteren war ein signifikanter Unterschied zwischen den Jahren vorhanden. Die Interaktion zwischen Jahr und Stadium war fast signifikant.

Während sich die Übergangswahrscheinlichkeit zur generativen Pflanze für das Stadium B2 nicht zwischen den Behandlungen unterschied, war die Übergangswahrscheinlichkeit für das Stadium B3 in den Ende Mai und Ende April gemähten Behandlungen gegenüber der Kontrolle signifikant geringer (Abb. 17 a). Innerhalb der Region Vorderer Vogelsberg zeigte sich das gleiche Bild für die früher gemähten Behandlungen, einschließlich T3, die sich trotz eines Mittelwertes von 0 nicht signifikant von den anderen Behandlungen unterschied. Die Übergangswahrscheinlichkeit innerhalb dieser Region lag für das Stadium B3 in den Behandlungen T1 und T2 bei 0,06 und 0,04, für B2 bei 0,008 und 0,006.

Für große Pflanzen (B3) war die Übergangswahrscheinlichkeit zum generativen Stadium 2010 und 2011 geringer als 2009; bei mittleren Pflanzen (B2) gab es dagegen keine Unterschiede zwischen den Jahren (Abb. 17 b).

Tab. 8: Einfluss verschiedener Faktoren auf die Übergangswahrscheinlichkeit verschiedener Lebenszyklusstadien zu generativen Pflanzen bei *Colchicum autumnale* in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens. ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.

ZS	Faktoren	FG	MQ	<i>p</i>
	R (Region)	2	0,02	0,71
	T (Behandlung)	1	0,72	<0,0001
	St (Stadium)	2	2,32	<0,0001
	R x T	2	0,02	0,46
	R x St	4	0,42	0,62
	T x St	2	0,04	<0,001
	R x T x St	4	0,02	0,40
	Fehler (R x T x St)	36	0,05	

IS	Faktoren	Wilks' Lambda	FG _{Hypothese}	FG _{Fehler}	<i>F</i>	<i>p</i>
	Y (Jahr)	0,76	2	35	5,40	0,009
	Y x R	0,86	4	70	1,36	0,26
	Y x T	0,84	4	70	1,56	0,20
	Y x St	0,85	2	35	3,19	0,053
	Y x R x T	0,75	8	70	1,35	0,24
	Y x R x St	0,89	4	70	1,00	0,41
	Y x T x St	0,96	4	70	0,36	0,84
	Y x R x T x St	0,88	8	70	0,55	0,81

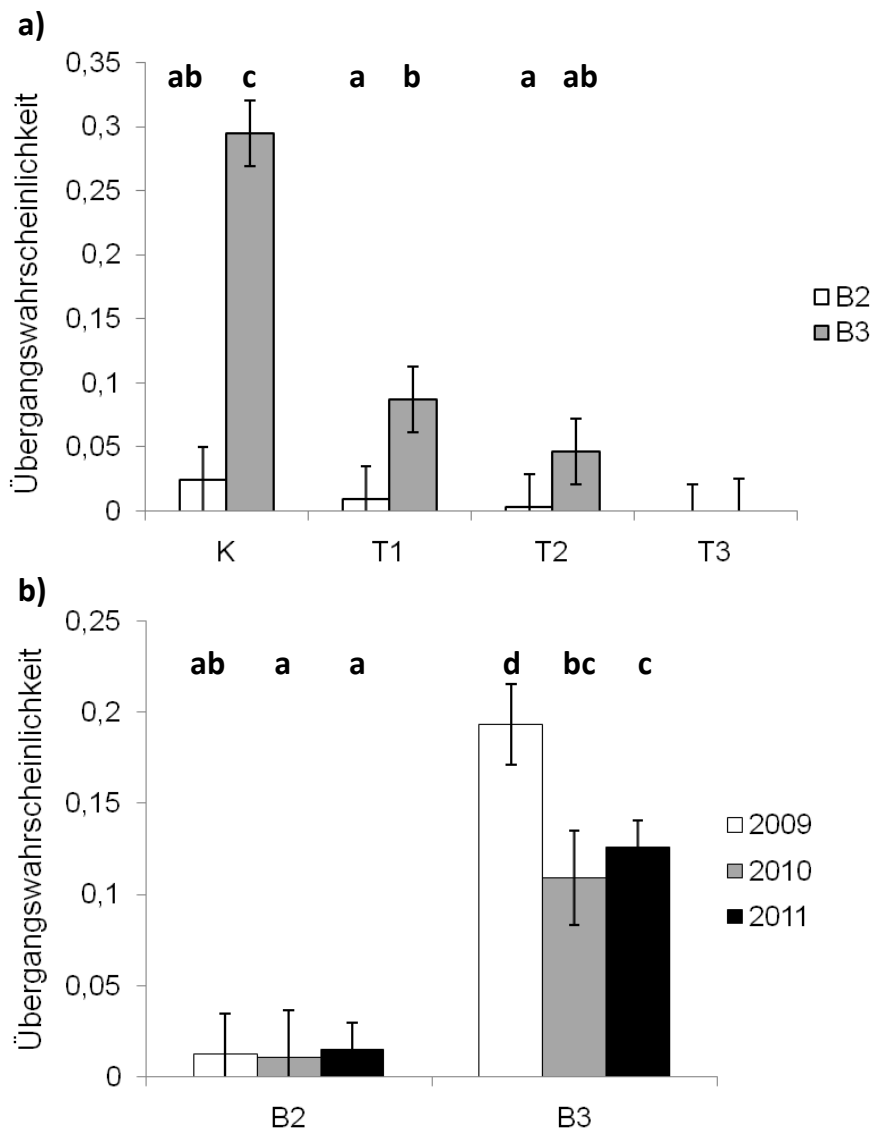


Abb. 17: Unterschiede der Übergangswahrscheinlichkeit (Mittel) zum generativen Stadium \pm SE von *Colchicum autumnale* zwischen der Interaktion a) Mahdbehandlung (s. Tab. 2) x Lebenszyklusstadium (s. Abb. 12), b) Jahr x Lebenszyklusstadium, ($n = 9$ Populationen, außer für T3 wo $n = 3$). Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede an bei $\alpha < 0.05$ (Tukey's Test).

3.2 Einzelbekämpfungsmaßnahmen

3.2.1 Blütenentfernung

Der Anteil der Herbst-Zeitlosen, die nach dem Blütenausriss im Herbst 2009 im Frühjahr 2010 Blätter ausbildeten, unterschied sich mit durchschnittlich 93.3% nicht vom Anteil der Kontrollpflanzen (ebenfalls 93.3%). Auch bei der Anzahl der Blätter waren keine Unterschiede vorhanden, wohingegen die Anzahl der Kapseln bei den Versuchspflanzen (allerdings nicht signifikant) reduziert war (Abb. 18). Die Entfernung der Blüten verringerte

also die generative Reproduktion und damit die Möglichkeit der weiteren Vermehrung der Herbst-Zeitlose, aber führte zu keiner Reduktion der Pflanzengröße.

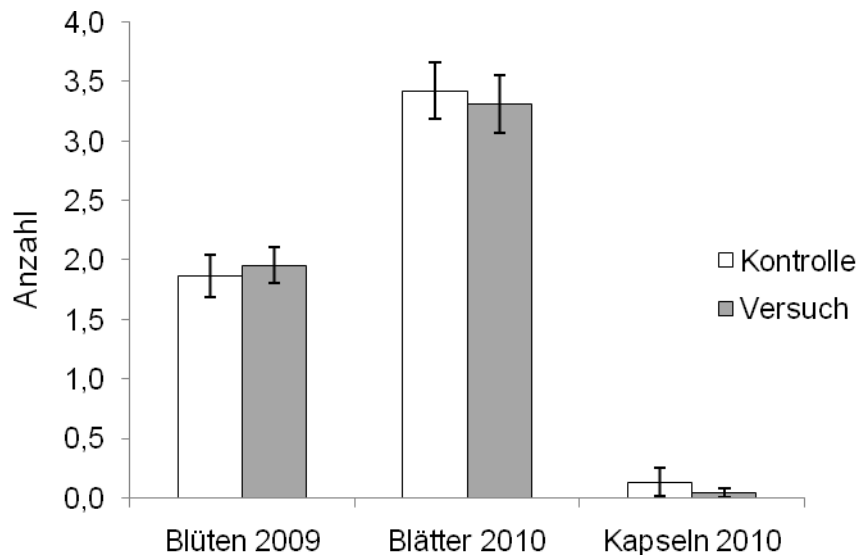


Abb. 18: Durchschnittliche Anzahl Blüten 2009, sowie Blätter und Kapseln 2010 von *Colchicum autumnale* in drei Naturräumen Hessens.

Im Versuch (graue Balken) wurden die Blüten der Pflanzen im Herbst 2009 ausgerissen.

3.2.2 Blattentfernung

Pflanzen deren Blätter Ende April bzw. Anfang Mai 2010 entfernt wurden (Versuchspflanzen), trieben 2011 zu $33,3\% \pm 19,9$ SE aus und bildeten zu $0,02\% \pm 0,02$ SE Kapseln, während $84,4\% \pm 23,4$ SE Kontrollpflanzen, bei denen keine Blattentfernung stattgefunden hatte, Blätter bildeten und $53,3\% \pm 15,2$ SE Kapseln. Die ausgetriebenen Versuchspflanzen bildeten 2011 zudem signifikant weniger Blätter (Tab. 9) und Kapseln (Tab. 10), als die Kontrollpflanzen (Abb. 19). Auch in diesem Versuch war wie bei der Blütenentfernung die Auswahl der Pflanzen 2010 in Versuch und Kontrolle nach Pflanzen mit gleicher Blatt- und Kapselzahl erfolgt (Abb. 19).

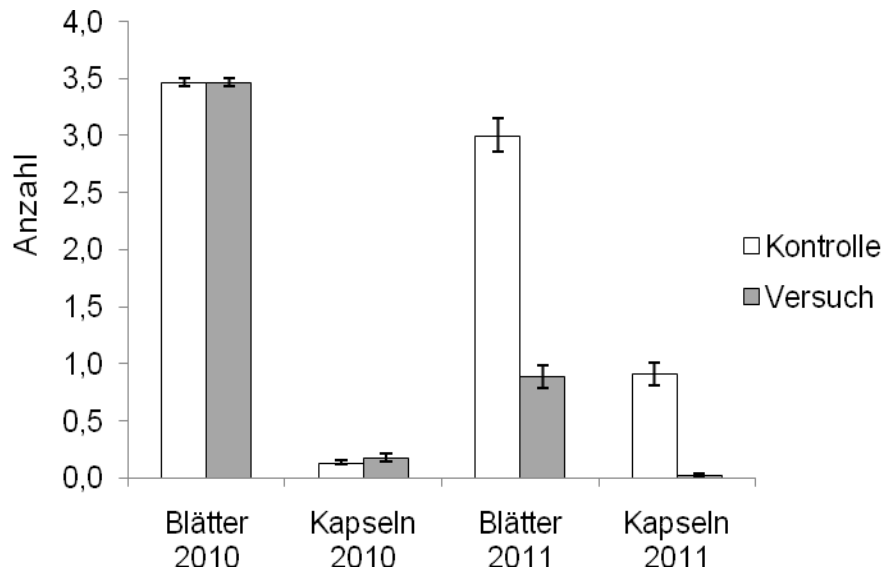


Abb. 19: Durchschnittliche Anzahl Blätter und Kapseln 2010, sowie Blätter und Kapseln 2011 von *Colchicum autumnale* in drei Naturräumen Hessens. Im Versuch (graue Balken) wurden die Blätter der Pflanzen im Frühjahr 2010 ausgerissen.

Tab. 9: Einfluss der Entfernung oberirdischer Pflanzenorgane Anfang Mai 2010 bei *Colchicum autumnale* auf die Blattanzahl 2011 in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens ($n = 5$ Pflanzen/Population). FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung, K_V = Kontrolle vs. Blattentfernung.

Faktor	Effekt	FG	MQ	F	p
Interzept	Fixed	1	340,28	157,46	<0,0001
Population	Fixed	8	6,18	2,86	0,014
K_V	Fixed	1	100,28	77,11	<0,0001
Pflanze (Population)	Random	36	2,16	1,66	0,054
Fehler		44	1,3		

Tab. 10: Einfluss der Entfernung oberirdischer Pflanzenorgane Anfang Mai 2010 bei *Colchicum autumnale* auf die Kapselanzahl 2011 in 9 Populationen und 3 Regionen Hessens ($n = 5$ Pflanzen/Population). FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung, K_V = Kontrolle vs. Blattentfernung.

Faktor	Effekt	FG	MQ	F	p
Interzept	Fixed	1	19,6	53,45	<0,0001
Population	Fixed	8	1,28	3,48	0,005
K_V	Fixed	1	17,78	33,68	<0,0001
Pflanze (Population)	Random	36	0,37	0,69	0,87
Fehler		44	0,53		

3.3 Klimaparameter

Die Messungen der Bodentemperatur bestätigen den Temperaturgradienten zwischen den einzelnen Regionen: mit Ausnahme des Jahres 2008, waren die monatlichen Durchschnittstemperaturen in der Nördlichen Oberrheinniederung am höchsten gefolgt vom Vorderen Vogelsberg und dem Lahn-Dill Bergland (Abb. 20).

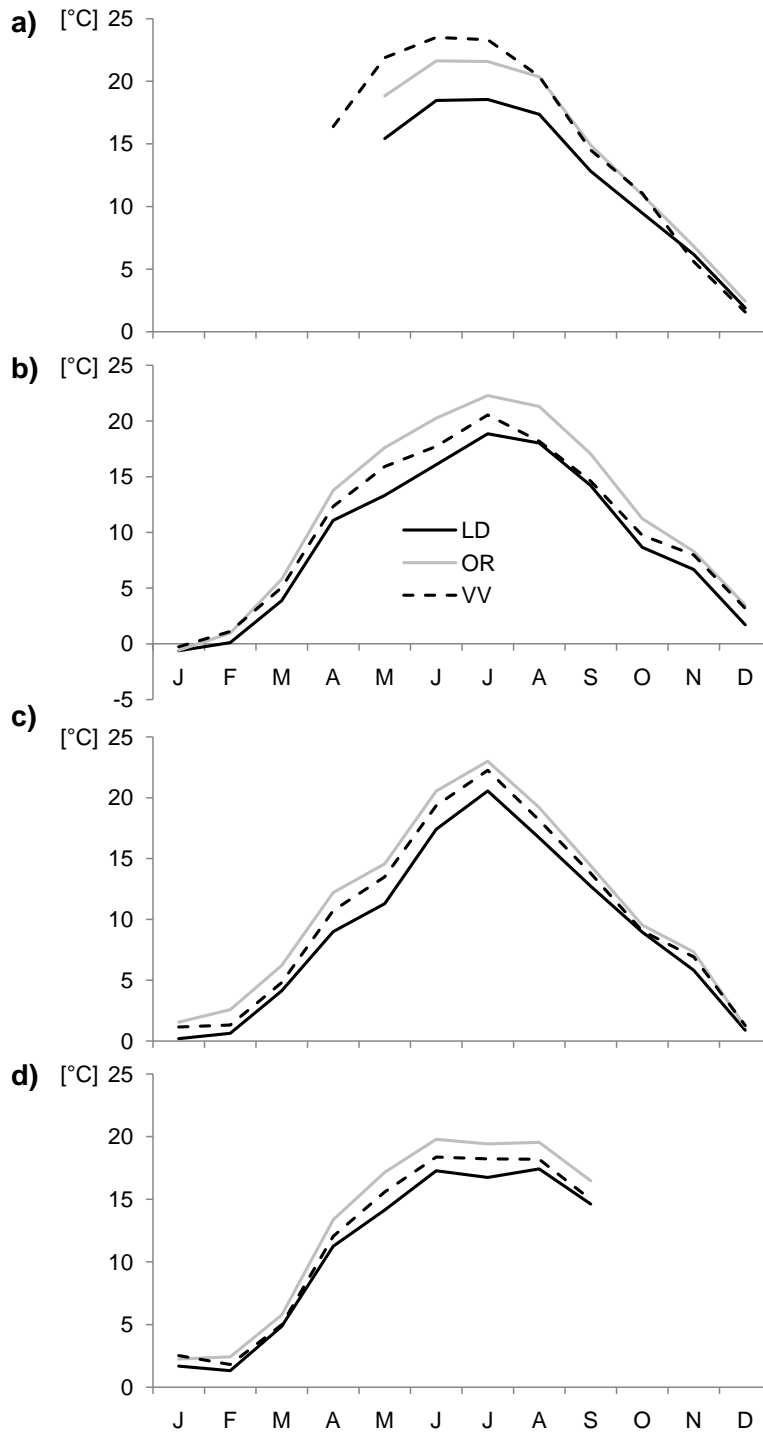


Abb. 20: Durchschnittliche monatliche Bodentemperatur in 2 cm Bodentiefe an je 3 Untersuchungsstandorten für *Colchicum autumnale* in 3 Naturräumen Hessens für die Jahre a) 2008, b) 2009, c) 2010, d) 2011; LD = Lahn-Dill Bergland, OR = Nördliche Oberrheinniederung, VV = Vorderer Vogelsberg.

Die Klimadaten für die einzelnen Regionen zeigen, dass 2010 und noch stärker 2011 eine ausgeprägte Frühjahrstrockenheit herrschte (Abb. 21). Die gleichzeitig recht hohen mittleren Tagestemperaturen im Frühjahr 2011 verstärkten den Wassermangel in diesem Jahr zusätzlich.

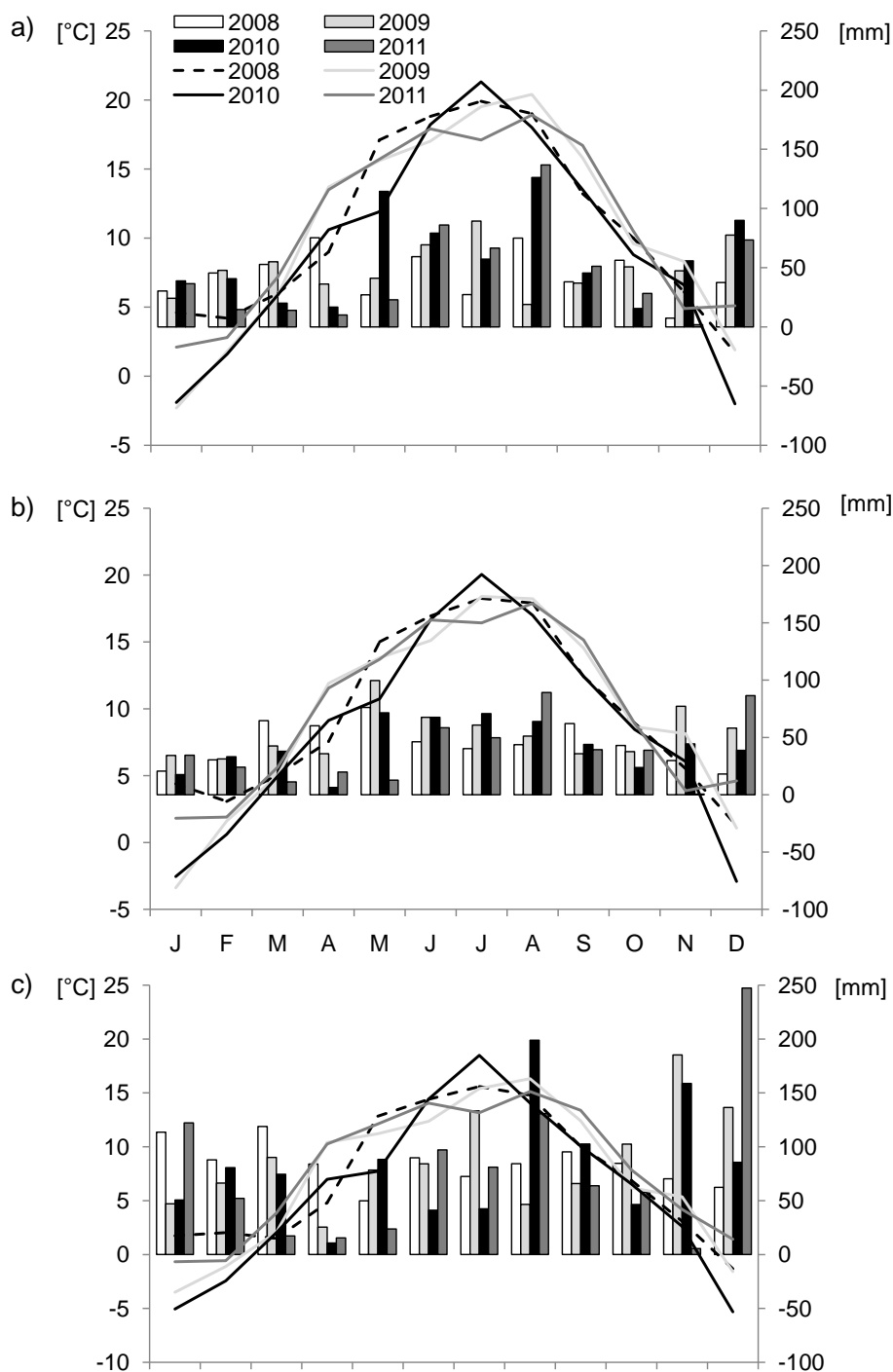


Abb. 21: Durchschnittliche monatliche Lufttemperatur und Niederschlagssumme für die Jahre 2008 – 2011 in 3 Naturräumen Hessens.

a) Nördliche Oberrheinniederung (Messstation Stockstadt für Niederschlag, Riedstadt für Lufttemperatur), b) Vorderer Vogelsberg (Messstation Linden), c) Lahn-Dill Bergland (Messstation Bad Berleburg).

3.4 Untersuchungen Begleitvegetation

Aufgrund der Veränderung der Schnittzeitpunkte und zusätzlichen Herbstmahd aller Behandlungen ab 2010, wurden für die Auswertung des Biomasse- und Nährstoffentzugs pro Behandlung nur die Jahre 2010 und 2011 berücksichtigt.

Die mittlere Biomasseproduktion für alle Regionen lag zwischen 52 und 56 dt/ha und unterschied sich kaum zwischen den Behandlungen des gleichen Naturraums, trotz der unterschiedlichen Schnitzzahl (Kontrolle und T1 2 Schnitte, T2 3 Schnitte; Abb. 22 a). Im Vogelsberg war die Biomasseproduktion bei der Kontrolle und Behandlung T2 etwas höher als bei der Behandlung T3 mit 2 frühen Schnitten und T1 mit Schnitt im Mai.

Zwischen den Regionen waren deutliche Unterschiede in der Biomasseproduktion zu erkennen (Abb. 22 a). Die geringste Menge an Aufwuchs war im Mittel zwischen den Behandlungen mit 44 dt/ha im Lahn-Dill Bergland zu verzeichnen, gefolgt von der Nördlichen Oberrheinniederung mit 56 dt/ha und dem Vorderen Vogelsberg mit 63 dt/ha. Im Lahn-Dill Bergland waren zwischen den Regionen die größten Unterschiede zwischen den Populationen vorhanden (siehe Standardfehler).

Im Gegensatz zur Biomasseproduktion, waren deutliche Unterschiede für die Menge der Nährstoffentzüge zwischen den Behandlungen erkennbar (Abb. 22 a). In allen Regionen stieg die Menge der entzogenen Nährstoffe von der Kontrolle über T1 zu T2 an. Dieses Muster zeigte sich für Stickstoff (Abb. 22 d), Phosphor (Abb. 22 b) und Kalium (Abb. 22 c). Die über die Regionen gemittelten Nährstoffentzüge pro Jahr, lagen somit in der Reihenfolge K, T1, T2 für Stickstoff bei 94,0, 104,0 und 118,5 kg/ha, für Phosphor bei 5,2, 6,2 und 6,7 kg/ha und für Kalium bei 85,8, 93,8 und 101,5 kg/ha. Der Nährstoffentzug in Behandlung T3 war im Vogelsberg für alle Nährstoffe höher als die Kontrolle, jedoch geringer als in T1 und T2.

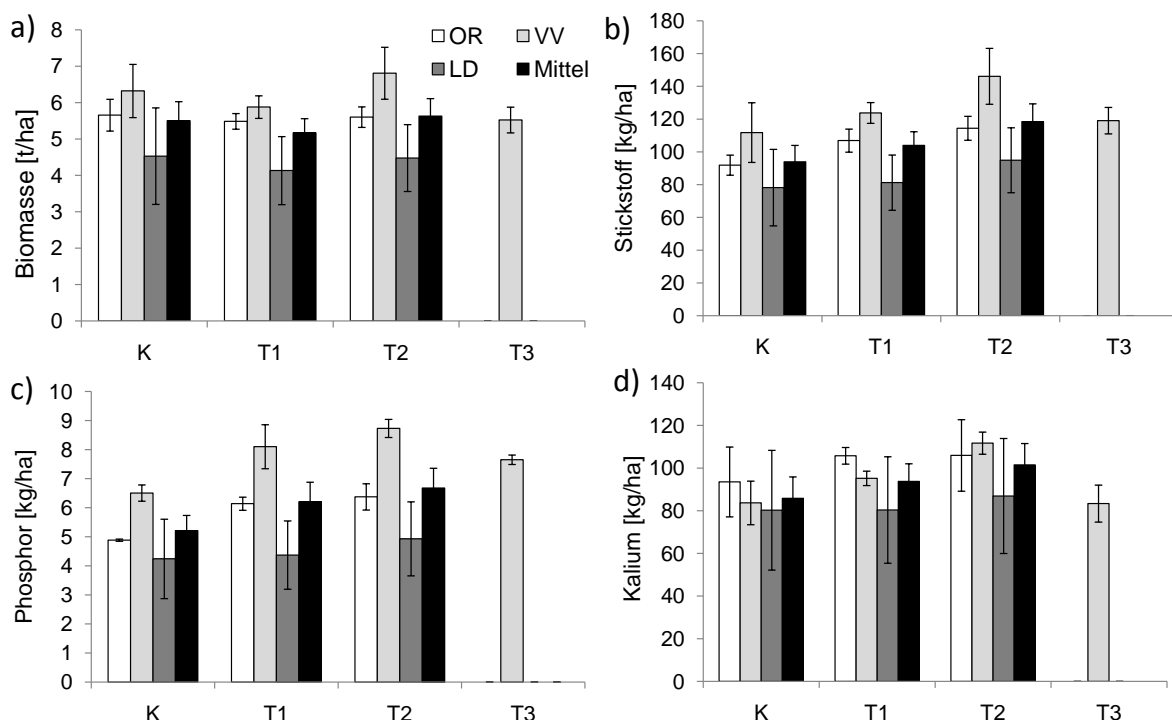


Abb. 22: Mittlerer Biomasse- und Nährstoffentzug \pm SE unter verschiedenen Mahdregimen (s. Tab. 2; $n = 9$ Flächen in 3 Naturräumen Hessens), K = Kontrolle, T = Behandlung, OR = Nördliche Oberrheinniederung, VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland.

Zum Zeitpunkt des frühesten Schnittes Ende April/Anfang Mai, lag der Biomassertrag bei durchschnittlich 11 dt/ha (Abb. 23). Der größte Biomassertrag wurde bei der Kontrolle und

Behandlung T2 mit dem Schnitt Mitte Juni erzielt und lag im Mittel jeweils bei 34 und 24 dt/ha (Abb. 23). Der Septemberschnitt brachte einen Biomasseertrag von 21 dt/ha in Kontrolle und T2 und lag für T1 mit 25 dt/ha aufgrund des länger zurückliegenden vorangegangenen Schnittes etwas höher.

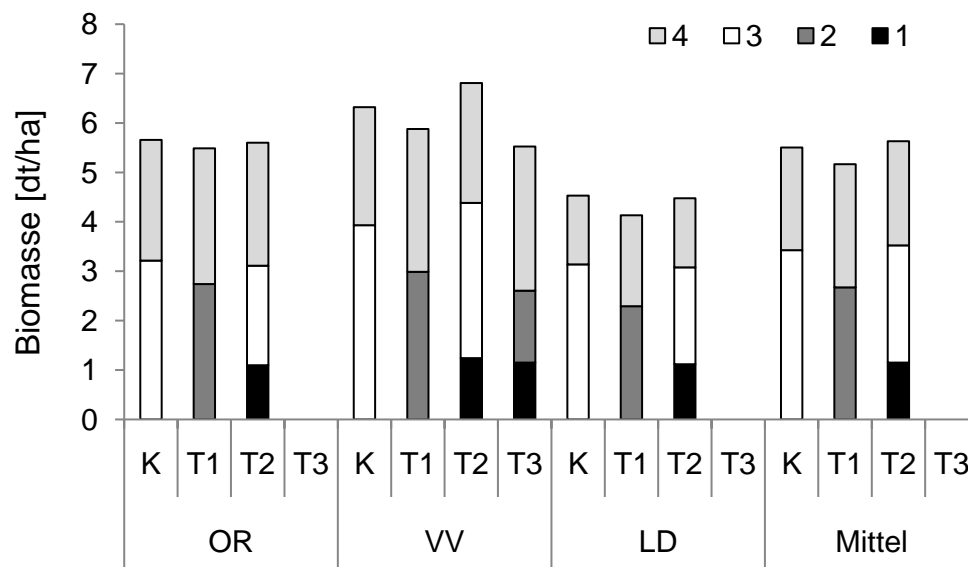


Abb. 23: Mittlerer Biomasseertrag pro Schnittzeitpunkt unter verschiedenen Behandlungen (s. Tab. 2; $n = 3$ Flächen pro Region). 1-4 = Schnittzeitpunkte: 1=Ende April/Anfang Mai, 2 = Mitte Mai, 3 = Mitte Juni, 4 = Mitte September, OR = Nördliche Oberrheinniederung, VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland, Mittel = Mittel zwischen Regionen.

Die DCA zeigte, dass sich Populationen einer Region in ihrer Vegetationszusammensetzung nicht stärker ähnelten, als Populationen verschiedener Regionen (Abb. 24). Die durch die DCA abgebildete Varianz in den Daten beträgt insgesamt 62%: 48% werden durch die erste Achse und 14% durch die zweite Achse erklärt.

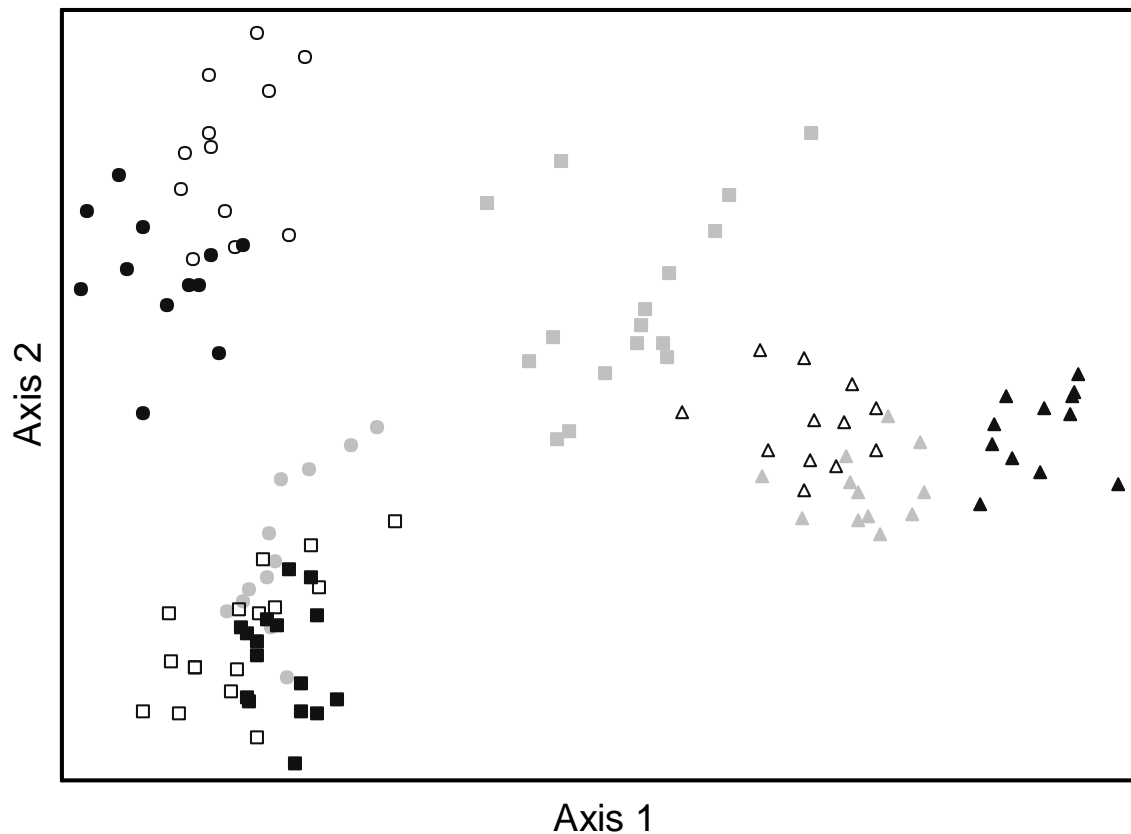


Abb. 24: Detrended Correspondence Analysis der Vegetationszusammensetzung von 9 Untersuchungsflächen mit *Colchicum autumnale* in drei Naturräumen Hessens 2008. Jeder Population ist eine bestimmte Farbe und Symbol zugeordnet, Populationen des gleichen Naturraums sind mit dem gleichen Symbols dargestellt.

Die MRPP zeigte für die Jahre 2008-2011 für 8 von 9 Populationen keine Unterschiede in der Vegetationszusammensetzung zwischen Untersuchungsflächen mit verschiedenen Mahdbehandlungen (Tab. 11). Nur in der Population „Lich Obst“ unterschied sich die Vegetationszusammensetzung im Jahre 2011. Wurde die Mahdbehandlung T3 in der MRPP dagegen nicht berücksichtigt, war auch in dieser Population kein Unterschied vorhanden. Shannon-Index und Evenness unterschieden sich signifikant zwischen den Untersuchungsflächen der Naturräume, den Untersuchungsjahren und der Interaktion beider Faktoren (Tab. 12; Tab. 13) Es gab keinen Unterschied zwischen der Vegetation verschiedener Mahdbehandlungen, aber einen Unterschied im Shannon-Index für die Interaktion Jahr x Behandlung (Tab. 12). Allerdings traten Unterschiede nicht zwischen Mahdbehandlungen im selben Jahr auf, sondern innerhalb der gleichen Mahdbehandlung in verschiedenen Jahren. So war beispielsweise der Shannon-Index unter Behandlung T2 im Jahr 2009 geringer als 2008 und unter Behandlung T3 war 2010 sogar ein höherer Index zu verzeichnen als im Jahr zuvor (Abb. 25). In keinem Untersuchungsjahr unterschied sich der Shannon-Index der Behandlungen von der Kontrolle.

Tab. 11: Ergebnisse einer MRPP von Untersuchungsflächen mit unterschiedlichen Mahdbehandlungen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Naturräumen Hessens 2008-2011. Der Parameter A beschreibt die Homogenität innerhalb der Flächen gleicher Mahdbehandlung verglichen mit zufälliger Homogenität. Aufgrund multipler Analysen wurde das Signifikanzlevel nach Bonferroni auf $\alpha < 0.0024$ korrigiert.

Population	Jahr	A	p
Knoblochsau	2008	-0.02	0.61
	2009	0.06	0.15
	2010	0.15	0.03
	2011	0.09	0.01
Spielplatz	2008	-0.05	0.93
	2009	0.16	0.01
	2010	0.11	0.05
	2011	0.01	0.38
Viehweide	2008	-0.07	0.85
	2009	0.10	0.11
	2010	0.26	0.01
	2011	0.03	0.28
Trohe	2008	-0.001	0.46
	2009	0.03	0.22
	2010	0.03	0.21
	2011	0.06	0.05
Wetter	2008	-0.02	0.75
	2009	0.07	0.11
	2010	0.04	0.19
Obst	2008	-0.05	0.99
	2009	0.12	0.01
	2010	0.04	0.20
	2011	0.14	0.0016
Eibach	2008	-0.02	0.67
	2009	0.04	0.20
	2010	0.12	0.01
	2011	0.13	0.0065
Lixfeld	2008	-0.04	0.84
	2009	0.10	0.04
	2010	0.03	0.30
	2011	0.04	0.14
Quotshausen	2008	-0.07	0.82
	2009	0.07	0.13
	2010	0.03	0.27
	2011	0.08	0.02

Tab. 12: Einfluss von Faktoren auf den Shannon Index verschiedener Untersuchungsflächen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Regionen Hessens.

ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.

ZS	Faktoren	FG	MQ	p
	R (Region)	2	6,29	<0,0001
	T (Behandlung)	2	0,29	0,60
	R * T	4	0,14	0,91
	Fehler (R * T)	63	0,55	

IS	Faktoren	Wilks' Lambda	FG _{Hypothese}	FG _{Fehler}	F	p
	Y (Jahr)	0,66	3	61	10,38	<0,0001
	Y x R	0,63	6	122	5,38	<0,0001
	Y x T	0,82	6	122	2,18	0,049
	Y x R x T	0,83	12	161,68	1,00	0,45

Tab. 13: Einfluss von Faktoren auf die Evenness (Pielou's J) verschiedener Untersuchungsflächen auf 9 Grünlandstandorten in 3 Regionen Hessens.

ZS = Zwischensubjektfaktoren (Analyse mittels ANOVA), IS = Innersubjektfaktoren (Analyse mittels MANOVA), FG = Freiheitsgrade, MQ = mittlere quadratische Abweichung.

ZS	Faktoren	FG	MQ	p
	R (Region)	2	0,010	0,005
	T (Behandlung)	2	0,001	0,76
	R * T	4	0,002	0,41
	Fehler (R * T)	63	0,002	

IS	Faktoren	Wilks' Lambda	FG _{Hypothese}	FG _{Fehler}	F	p
	Y (Jahr)	0,44	3	61	25,99	<0,0001
	Y * R	0,53	6	122	7,60	<0,0001
	Y * T	0,90	6	122	1,21	0,31
	Y * R * T	0,83	12	161,68	0,95	0,50

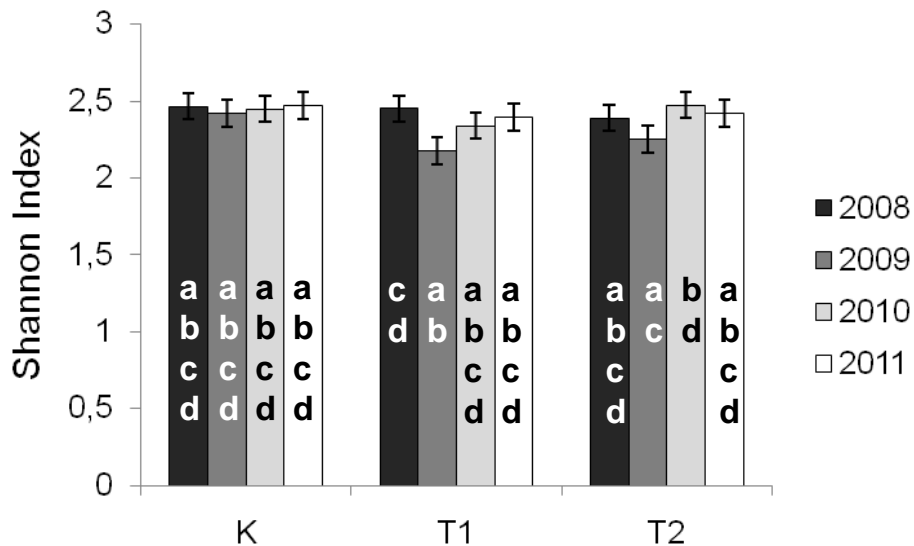


Abb. 25: Unterschiede im mittleren Shannon-Index \pm SE zwischen der Interaktion Jahr x Mahdbehandlung (s. Tab. 2) zwischen Untersuchungsflächen von 9 Grünlandstandorten in 3 Naturräumen Hessens. Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede an bei $\alpha < 0.05$ (Tukey's Test).

3.5 Analyse der Gift- und Nährstoffgehalte

Die Pflanzenhöhe nahm während der Vegetationsperiode etwa bis Mitte (Vorderer Vogelsberg) bzw. Ende Mai (Lahn-Dill Bergland) zu und stagnierte dann auf dem erreichten Niveau (Abb. 26). Auffällig ist, dass der Standardfehler mit fortschreitender Vegetationsperiode größer wird, da sich die einzelnen Pflanzen in ihrer Höhe immer stärker unterscheiden, während die Größenunterschiede zu Beginn der Vegetationsperiode noch sehr gering sind.

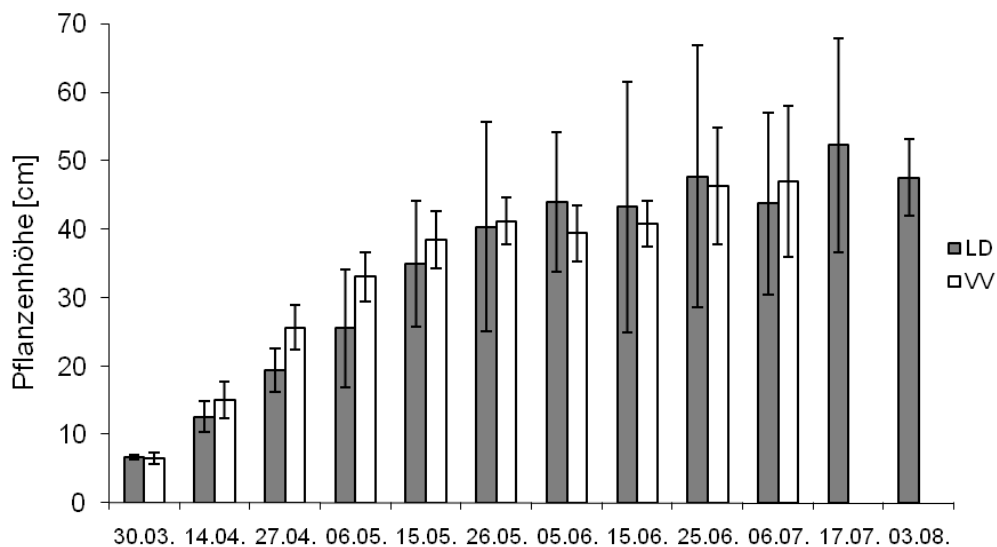


Abb. 26: Zeitliche Änderung der mittleren Pflanzenhöhe \pm SE von *Colchicum autumnale*. ($n = 6$ Populationen in zwei Naturräume Hessens), VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland.

Die minimalen und maximalen Alkaloidgehalte der einzelnen Pflanzenteile sind in Tab. 14 dargestellt.

Tab. 14: Minimale und maximale Alkaloidgehalte (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in mg/g Trockensubstanz zwischen Ende März und Anfang August 2009 und mittlerer Alkaloidgehalte am 15.6. \pm SE in verschiedenen Pflanzenteilen von *Colchicum autumnale* ($n = 6$ Populationen in 3 Naturräumen Hessens). BlKaSa = Blätter mit Kapsel und Samen, Bl = Blätter, Sa = Samen, St = Stängel (Abschnitt zwischen Knolle und Erdoberfläche), Blü = Blüten, Kn = Mutter- und Tochterknolle.

	BlKaSa	Bl	Sa	St	Blü	Kn
Min	1,4	0,3	6,6	1,1	10	1,2
				11,5 (Bl)		
Max	5,2	5,0	7,4	14,4 (Blü)	11,1	6,7
15. Juni	$3,7 \pm 0,24$	$2,3 \pm 0,28$	$6,8 \pm 0,51$	$3,5 \pm 0,3$	$10,5 \pm 0,35$	$3,4 \pm 0,19$

Bei den verschiedenen Fraktionen von *C. autumnale* ließen sich drei Muster für den zeitlichen Verlauf der Nährstoff- und Alkaloidgehalte erkennen. In den Blättern mit Kapseln und Samen nahm der Nährstoff- und Alkaloidgehalt bis etwa Ende April bzw. Ende Mai zu, blieb dann bis etwa Mitte/Ende Juni konstant und nahm dann wieder ab (Abb. 27). In der Mutterknolle war eine kontinuierliche Abnahme der Nährstoffgehalte zu verzeichnen, wobei die Nährstoffgehalte in der Mutterknolle bereits zur ersten Probenahme gering waren (Abb. 28). In der Tochterknolle erfolgte hingegen ein zuerst leichter und ab ca. Ende April steiler Anstieg der Nährstoffgehalte (Abb. 28, Abb. 27).

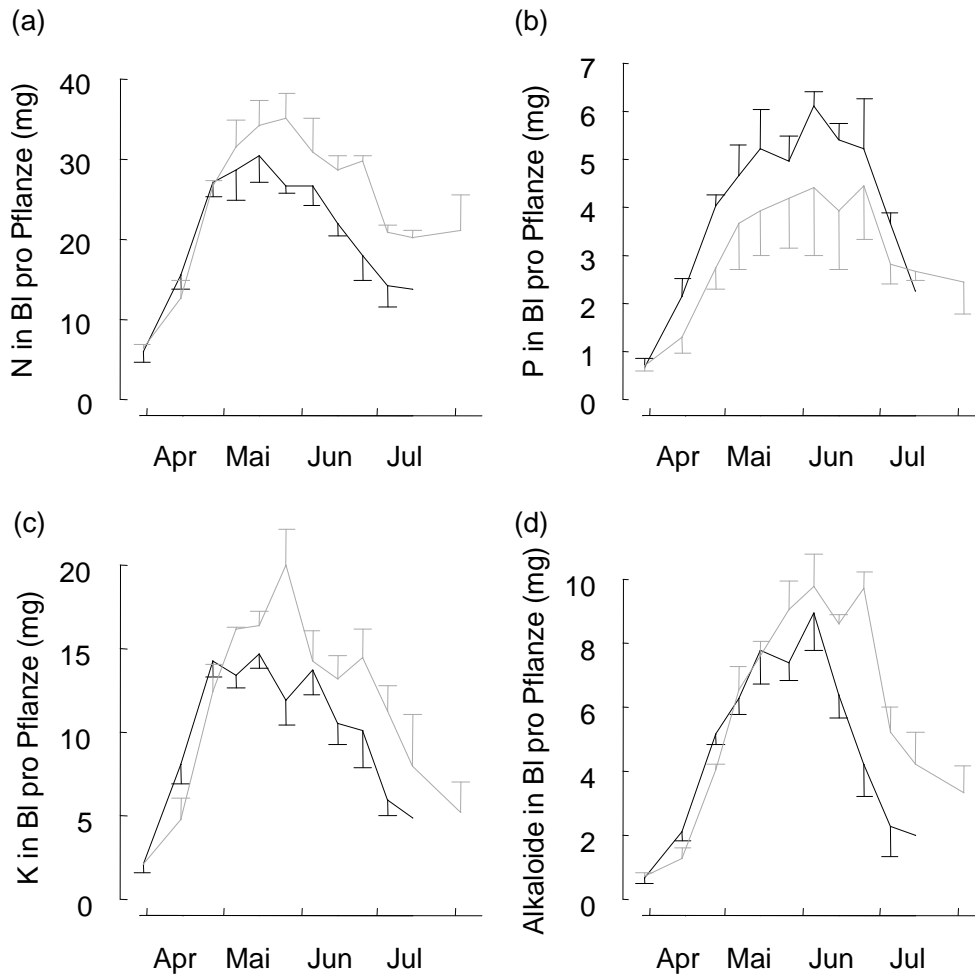


Abb. 27: Zeitlicher Verlauf \pm SE der Gesamtgehalte von (a) N, (b) P, (c) K und (d) Alkaloide (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in oberirdischen Pflanzenteilen einer *Colchicum autumnale* Pflanze in zwei Naturräumen Hessens.

($n = 3$ Populationen pro Region, außer für 15.7. in Region Vorderer Vogelsberg (VV), wo $n = 1$), Bl = Blätter mit Kapsel und Samen, schwarze Linie = Region VV, graue Linie = Lahn-Dill Bergland.

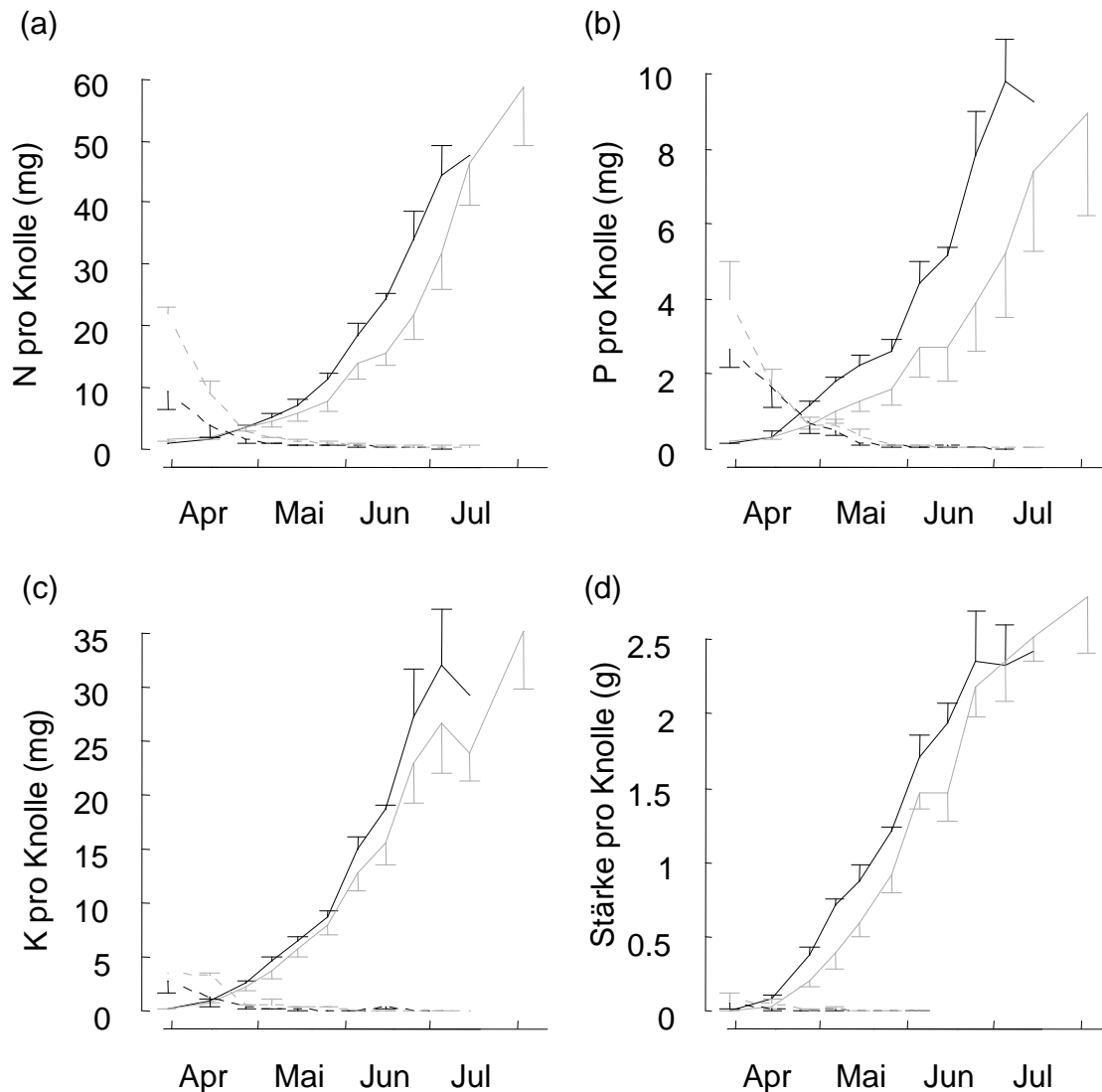


Abb. 28: Zeitlicher Verlauf \pm SE der mittleren Gesamtgehalte von (a) Stickstoff (N), (b) Phosphor (P), (c) Kalium (K) und (d) Stärke in Speicherorganen einer *Colchicum autumnale* Pflanze in zwei Naturräumen Hessens.

($n = 3$ Populationen pro Region, außer für 15.7. in Region Vorderer Vogelsberg (VV), wo $n = 1$), schwarze Linie = Region VV, graue Linie = Lahn-Dill Bergland, durchgezogene Linie = Tochterknolle, gestrichelte Linie = Mutterknolle.

Die Analysen zeigten dass sich der Zeitpunkt, an dem der Quotient aus den Gehalten N, P und K am größten war, signifikant zwischen den Regionen unterschied (Tab. 15, Abb. 29). Der Zeitpunkt der Zunahme des Stärkegehalts in den Knollen war ebenfalls unterschiedlich, aber statistisch nicht signifikant (Tab. 15). Der Maximalgehalt (x^{\max}) für die Nährstoffe und der Änderungspunkt ($\alpha 1$) des Stärkeanstiegs lag im Mittel 13,6 Tage früher im Vorderen Vogelsberg verglichen mit dem Lahn-Dill Bergland. Das durchschnittliche Datum für den höchsten Gesamtgehalt an den Nährstoffen N, P und K, sowie Stärke für jede Region (also das Mittel zwischen x^{\max} von N, P und K und $\alpha 1$ für Stärke) lag am 22. April \pm 11,2 Tage SE für den Vorderen Vogelsberg und am 6. Mai \pm 8,3 Tage SE für das Lahn-Dill Bergland.

Tab. 15: Ergebnisse einer nicht-linearen Regressionsanalyse der zeitlichen Veränderung des Nährstoff- und Alkaloidgehalts in 6 Populationen von *Colchicum autumnale* in zwei Naturräumen Hessens.

VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland, Alkaloide = Summe der Gehalte an Colchicin, Demecolcin und Colchicosid, x^{\max} = Maximalwert, $\alpha 1$ = Berührungspunkt zwischen 2 Geraden, δ = Unterschied zwischen Regionen in x^{\max} oder $\alpha 1$, $P \delta$ = p-Wert für $H_0: \delta = 0$, KI = Konfidenzintervall, Bl = Blätter plus Kapsel mit Samen. Modellnummern siehe Text.

		VV	LD	R ²	δ	$P \delta$	Pflanzenteil	Modellnummer
Stickstoff	x^{\max}	27. Apr	7 Mai	83.6	10.9	<0.001	Bl/Knolle	1
	95% KI	24. Apr – 30. Apr	3. Mai – 11. Mai					
Phosphor	x^{\max}	3. Mai	12. Mai	79.0	9.3	0.002	Bl/Knolle	1
	95% KI	29. Apr - 8. Mai	7. Mai – 18. Mai					
Kalium	x^{\max}	13. Apr	7. Mai	70.8	23.1	<0.001	Bl/Knolle	1
	95% KI	8. Apr – 19. Apr	30. Apr – 13. Mai					
Stärke	$\alpha 1$	16. Apr	27. Apr	90.7	11.13	0.35	Knolle	3
	95% KI	30. Mar – 4. May	4. Apr – 26. May					
Alkaloide	x^{\max}	24. Mai	7. Jun	73.8	14.3	<0.001	Bl	2
	95% KI	21. Mai – 28. Mai	2. Jun – 13. Jun					

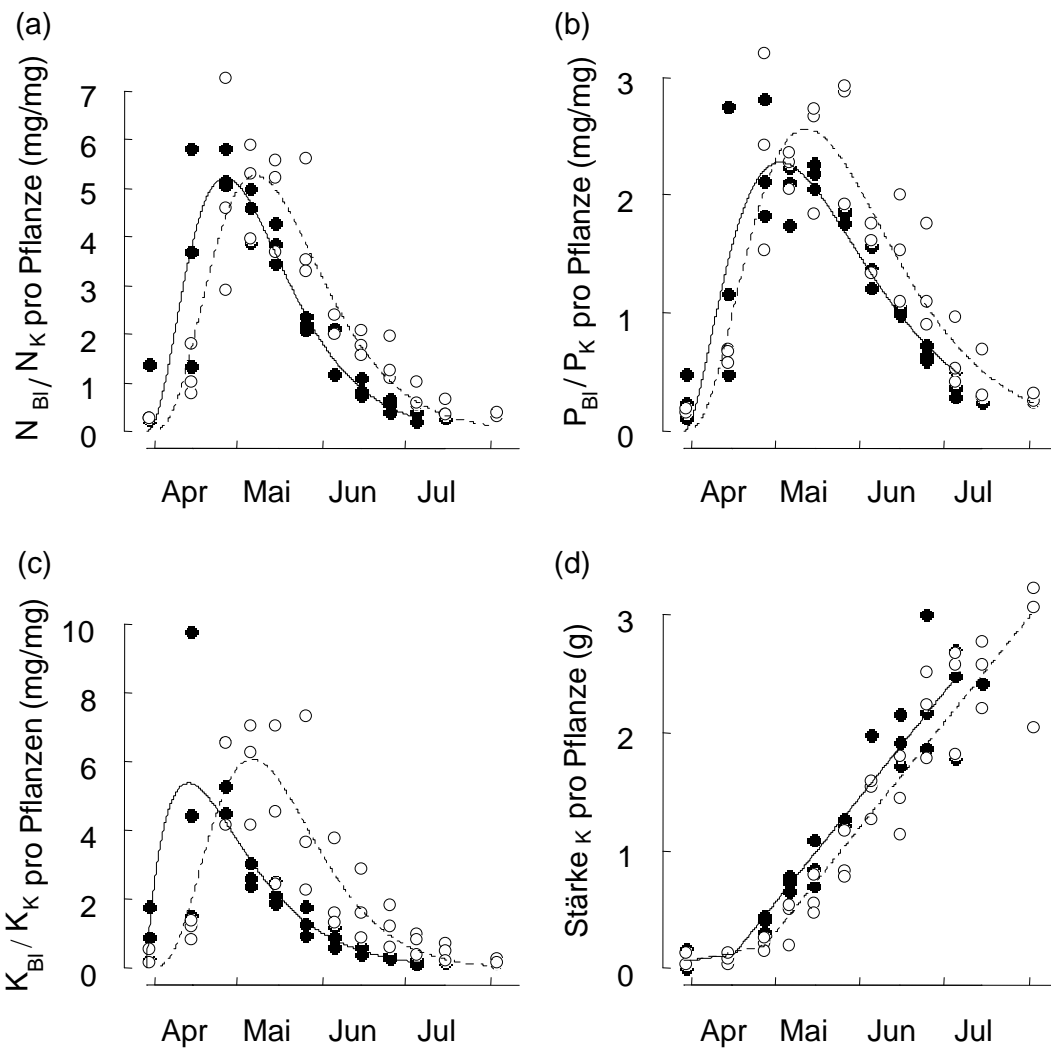


Abb. 29: Quotient der mittleren Gesamtgehalte von (a) N, (b) P und (c) K zwischen oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteilen und (d) dem Stärkegehalt in den unterirdischen Pflanzenteilen einer *Colchicum autumnale* Pflanze ($n = 6$ Populationen in zwei Naturräumen Hessens). Tiefgestellte Buchstaben geben Pflanzenorgane für Nährstoffgehaltsanalyse an. Die Linien sind angepasste Gammafunktionen (a-c) und das Lineare Kurvenmodell von Schabenberger und Pierce (2002; d). Bl = Blätter mit Kapseln und Samen, K = Summe von alter und neuer Knolle, schwarze Punkte und Linien = Region Vorderer Vogelsberg, weiße Punkte und gestrichelte Linie = Region Lahn-Dill Bergland.

Bezüglich des Zeitpunktes mit dem höchsten Alkaloidgehalt konnte anhand der nicht-linearen Regression ebenfalls ein Unterschied zwischen den Regionen ermittelt werden (x^{\max} , Tab. 15, Abb. 30). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Nährstoffanalysen wurde x^{\max} im Vorderen Vogelsberg (24. Mai) eher erreicht als im Lahn-Dill Bergland (7. Juni). Der Tukey's HSD Test zeigte, dass sich der Alkaloidgehalt im Vorderen Vogelsberg vom 26. Mai bis 25. Juni um 43% reduzierte, der im Lahn-Dill Bergland vom 5. Juni bis 5. Juli um 46% (Tab. 16). In Bezug auf den 15. Juni, dem üblichen ersten Mahdzeitpunkt, erfolgte bis zum 5. Juli eine signifikante Abnahme des Alkaloidgehaltes in beiden Regionen. Allerdings unterschied sich der Anteil der Reduktion: so nahm der Alkaloidgehalt im Vorderen Vogelsberg um 64% ab, im Lahn-Dill Bergland dagegen nur um 38% (Tab. 16). Der mittlere

Giftgehalt lag entsprechend im Lahn-Dill Bergland zu beiden Zeitpunkten jeweils 1,3 bzw. 2,3 Mal höher als im Vorderen Vogelsberg. Die Analyse der Fraktionen (1.1) und (1.2.) zeigte einen sehr viel höheren Alkaloidgehalt in den Samen, als in den Kapseln ohne Samen (Tab. 17). Während in den Blättern der Herbst-Zeitlose im Vorderen Vogelsberg am 5. Juli keine Alkaloidgehalte mehr festgestellt werden konnten, lag der Zeitpunkt für das komplette Verschwinden der Alkaloide in den Blättern im Lahn-Dill Bergland erst am 3. August.

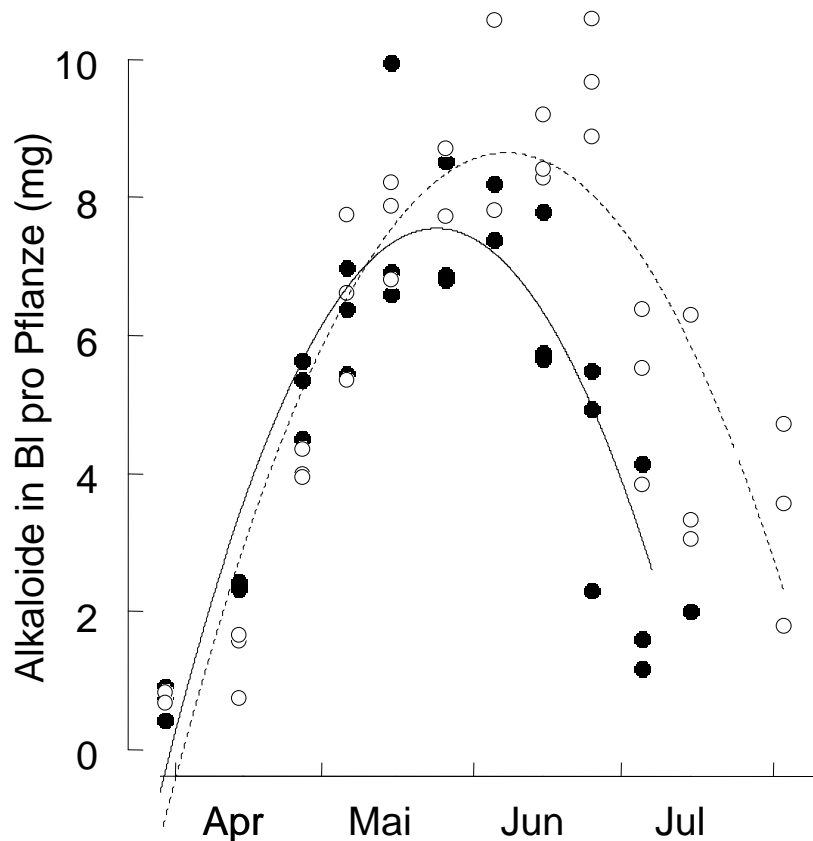


Abb. 30: Alkaloidgehalt (Summe aus Colchicin, Demecolcin, Colchicosid) in oberirdischen Pflanzenteilen von 6 *Colchicum autumnale* Populationen in zwei Naturräumen Hessens. Die Linien stellen durch nicht-lineare Regression angepasste quadratische Funktionen dar. Bl = Blätter mit Kapseln und Samen, schwarze Punkte und Linien = Region Vorderer Vogelsberg, weiße Punkte und gestrichelte Linie = Region Lahn-Dill Bergland.

Tab. 16: Mittlerer Alkaloidgehalt \pm SD und mittleres Trockengewicht \pm SD von 6 *Colchicum autumnale* Populationen in zwei Naturräumen Hessens zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Alkaloide = Summe von Colchicin, Demecolcin und Colchicosid. VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland.

Region	Datum	Mittleres Pflanzengewicht [g] \pm SD	Mittlerer Alkaloidgehalt pro Pflanze [mg] \pm SD
VV	26. Mai	2.0 \pm 0.11	7.4 \pm 0.97
	15. Juni	1.9 \pm 0.34	6.4 \pm 1.21
	25. Juni	1.8 \pm 0.51	4.2 \pm 1.70
	5. Juli	1.5 \pm 0.43	2.3 \pm 1.60
LD	5. Juni	2.4 \pm 0.66	9.8 \pm 1.51
	15. Juni	2.2 \pm 0.45	8.6 \pm 0.49
	5. Juli	2.0 \pm 0.15	5.3 \pm 1.30

Tab. 17: Mittlerer Alkaloidgehalt \pm SD von zwei Fraktionen von Pflanzenteilen von 6 *Colchicum autumnale* Populationen in zwei Naturräumen Hessens ($n = 3$ Populationen/Region, außer 15.7. im VV, wo $n = 1$). Alkaloide = Summe von Colchicin, Demecolcin und Colchicosid. VV = Vorderer Vogelsberg, LD = Lahn-Dill Bergland, n.a. = nicht analysiert.

Fraktion Region	Datum	Mittlerer Alkaloidgehalt pro Fraktion in mg \pm SD			
		Blätter + Kapseln ohne Samen		Samen	
		VV	LD	VV	LD
	5.7.	0.0 \pm 0.00	1.9 \pm 0.95	2.3 \pm 1.60	3.4 \pm 0.40
	15.7.	0.0 \pm 0.00	0.3 \pm 0.58	2.01	3.9 \pm 1.22
	3.8.	n. a.	0.0 \pm 0.00	n. a.	3.4 \pm 1.47

3.6 Keimungsexperimente

3.6.1 Wasseraufnahmefähigkeit von Samen von *Colchicum autumnale*

Nach dem 3-tägigen Einlegen von Herbst-Zeitlose-Samen in destilliertes Wasser, nahmen alle Samen im Schnitt 130-135% an Gewicht zu. Es ergaben sich jedoch keine Unterschiede in der prozentualen Gewichtszunahme zwischen geritzten und ungeritzten Samen (Abb. 31).

Die Vermessungen von 9 Samen vor und nach dem 3-tägigen Liegen in Wasser ergaben keinen Unterschied der Mittelwerte der Samenlänge und -breite.

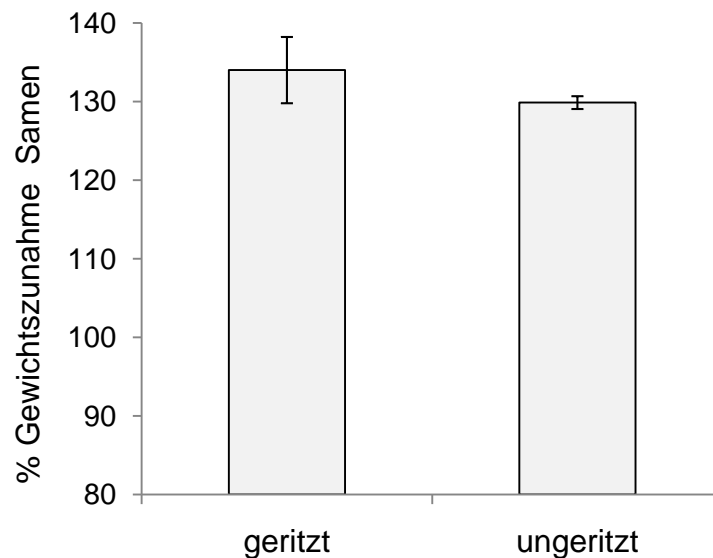


Abb. 31: Gewichtszunahme [%] von mit dem Skalpell angeritzten und ungeritzten Herbst-Zeitlose Samen nach 3-tägigem Einlegen in destilliertes Wasser.

3.6.2 Keimungsexperiment 1 (2008)

Die Zeitspanne der Keimungsbehandlungen variierte von 6 bis 32 Wochen. Während des gesamten Keimungsexperiments keimten insgesamt nur 2 Samen (Abb. 32). Die beiden gekeimten Samen fanden sich jeweils in einer Behandlung ohne Belichtung. Ab Behandlung 5 aufwärts und der damit verbundenen längere Dauer des Keimungsexperiments, war eine erhöhte Anzahl toter Samen zu verzeichnen.

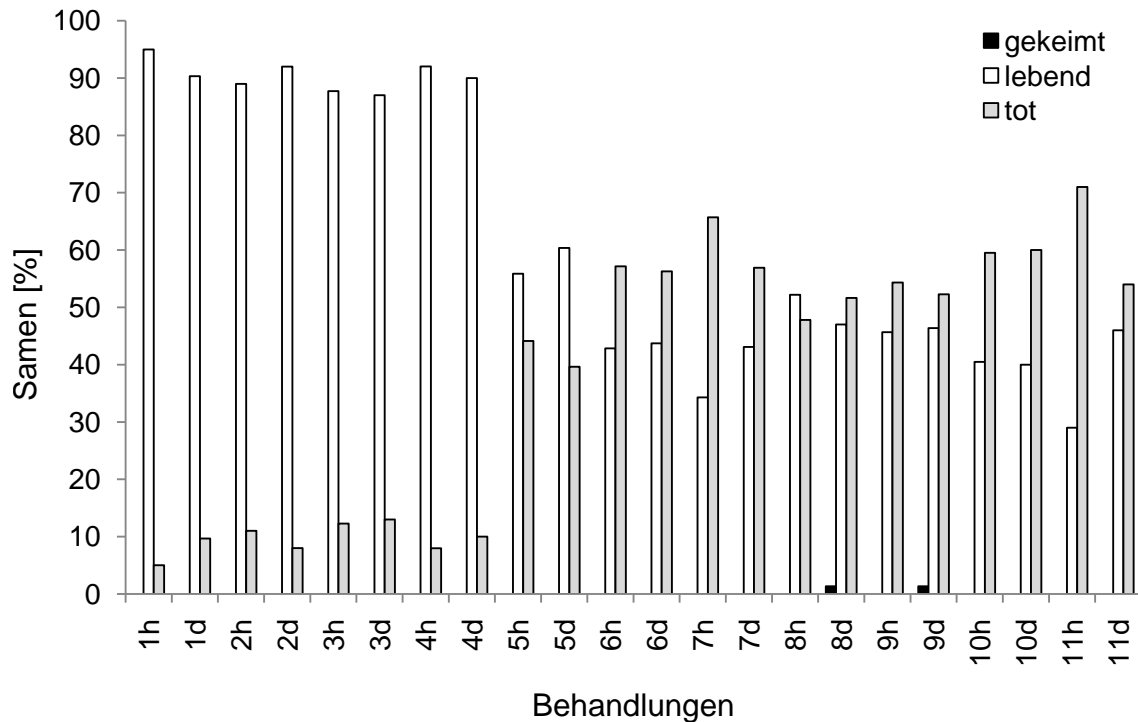


Abb. 32: Anteil [%] der gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach verschiedenen Behandlungsreihen des Keimungsexperiments 1 2008.

Beschreibung der Behandlungen 1-9 siehe Tab. 3. h = Samen wurden unter Keimungsbedingungen belichtet, d = Samen wurden unter Keimungsbedingungen nicht belichtet.

3.6.3 Keimungsexperiment 2 mit Gibberellinsäure (2008)

Unter den vorgenommenen Behandlungen mit Gibberellinsäure fand keinerlei Keimung statt.

3.6.4 Keimungsexperiment 3 (2008)

Keimlinge traten im gesamten Experiment nur unter zwei Behandlungsvarianten im Januar 2009 auf (Abb. 33). Bei Behandlung 7 d, die aus folgenden Temperaturregimen bestand: Kaltstratifikation 4°C, Herbsttemperaturen von 10/20°C, erneute Kaltstratifikation und Frühlingtemperaturen von 5/10°C, keimten nur 1.3% der Samen. Die größte Keimungsrate fand unter Behandlung 6 d statt, welche die Temperaturen welchen Herbst-Zeitlose Samen unter natürlichen Bedingungen ausgesetzt sind wohl am besten widerspiegelte (Warmstratifikation 15/25°C, Herbsttemperaturen von 10/20°C, Kaltstratifikation 4°C, Frühlingtemperaturen von 5/10°C). Die Keimungsrate betrug hier 10.3%, bzw. sogar 17%, wenn man nur die nach der Behandlung noch lebenden Samen berücksichtigt. Da die Herbst-Zeitlose Samen unter natürlichen Bedingungen jedoch im Herbst keimen und nicht im Frühling, entspricht dieses Ergebnis nicht ganz unserer Erwartung. Die höchste Keimungsrate wäre dieser Annahme zufolge nach einer Behandlung unter warmen Temperaturen (im Experiment 15/25°C) und anschließenden Herbsttemperaturen (im Experiment 10/20°C) zu erwarten gewesen. Der Grund könnte in der Temperaturwahl liegen, die evtl. um einige °C zu hoch oder zu gering war, in der Amplitude der Temperaturunterschiede oder auch in der Zeitspanne, die die Samen der Temperatur ausgesetzt waren. Interessant ist, dass in beiden Keimungsexperimenten 2008 (Experimente 1 und 3) Samen ausschließlich in Dunkelheit

keimten, ein möglicher Hinweis darauf, dass die Herbst-Zeitlose als Dunkelkeimer zu klassifizieren ist.

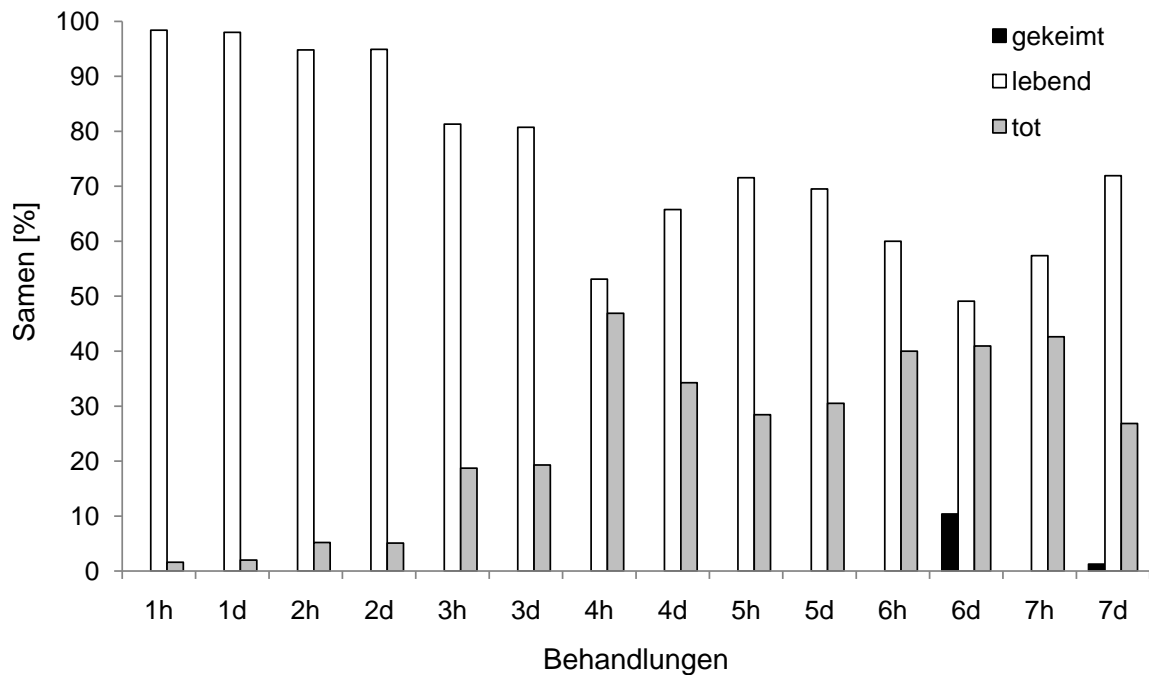


Abb. 33: Anteil [%] der gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach verschiedenen Behandlungsreihen des Keimungsexperiments 3 2008.

Beschreibung der Behandlungen 1-7 siehe Tab. 3. h = Samen wurden unter Keimungsbedingungen belichtet, d = Samen wurden unter Keimungsbedingungen nicht belichtet.

Der Tetrazoliumtest zur Bestimmung der Lebensfähigkeit der Samen zu Beginn des Vergrabungsexperiments ergab 99% lebende, d. h. potentiell keimfähige, Samen und 1% tote Samen.

3.6.5 Keimungsexperimente Masterarbeit (2009)

Teil 1

Insgesamt umfasste die Dauer des Keimungsexperiments 30 Wochen. Bei den Hellvarianten lag der höchste Anteil Keimlinge bei 3.8%, im Durchschnitt über alle Hellvarianten bei 0.8% (Abb. 34). Bei den meisten Behandlungen unter Licht fand kein einziges Keimungsereignis statt. Die ersten Keimlinge wurden bei den Dunkelvarianten in der zwölften Woche registriert (die Keimung begann aber möglicherweise bereits früher, da die Petrischalen nur alle vier Wochen kontrolliert wurden). Den höchsten Anteil Keimlinge nach Beendigung des Experiments erzielten mit über 90% die Varianten 8 bzw. 4 Wochen 25/15°C und anschließend 20/10°C. Die zweithöchsten Keimungsraten mit ca. 83%, wurden nach 30 Wochen unter 20/10°C aufgenommen. Ebenfalls gute Keimungsraten von ca. 73% wiesen die Varianten 8 Wochen 25/15°C oder 20/10°C mit anschließend 12/7°C auf. Erfolgte eine nur vierwöchige Behandlung bei 25/15°C oder 20/10°C vor der Temperaturabsenkung auf 12/7°C lagen Prozentteil der Keimlinge bei nur 10-15%.

Die Hellvarianten wurden nachträglich abgedunkelt und nach sechs Wochen Dunkelheit wurden erste Keimlinge gefunden, ihr Anteil erreichte in einigen Varianten Werte zwischen 70 und 90%, und ähnelte damit den Ergebnissen der Dunkelvarianten.

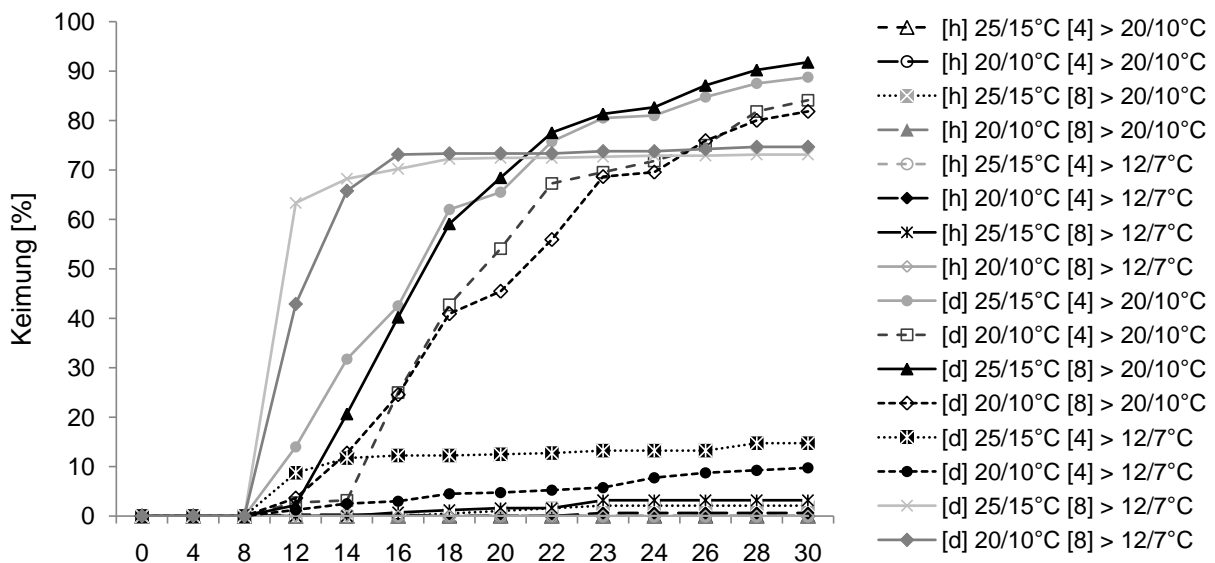


Abb. 34: Anteil [%] der gekeimten Herbst-Zeitlose-Samen im zeitlichen Verlauf verschiedener Behandlungen des Keimungsexperiments 2009.

[h] = Samen wurden unter Keimungsbedingungen belichtet, [d] = Samen wurden unter Keimungsbedingungen nicht belichtet, [4] und [8] = Anzahl Wochen, > = das dem erstem Temperaturregime folgende Temperaturregime.

Teil 2

A) Der Prozentteil der Keimlinge unterschied sich im Allgemeinen nicht zwischen den Wechseltemperaturen 30/25°C und 25/15°C. Bei einer Behandlung, der achtwöchigen Stratifikation und nachfolgender Temperaturabsenkung auf 10/5°C, schnitten Behandlungen unter Wechseltemperatur 30/25°C sogar deutlich schlechter ab.

B) Das Samenkaliber hatte keinerlei Einfluss auf die Keimungsrate und lag bei den kleinen Samen unter der gegebenen Behandlung mit 85% sogar leicht über der des mittel-großen Samengemisches mit 79%.

Anders verhielt es sich mit der Desinfektion, die einen außerordentlichen Einfluss auf die Keimung ausübt: nicht-desinfizierte Samen keimten zu unter 10% im Vergleich zu 79% der desinfizierten Samen.

Teil 3

Auch hier wurde noch einmal der Einfluss der Desinfektion auf die Keimungsrate deutlich, die bei den desinfizierten Samen zwischen 80 und 95% lag, bei den nicht-desinfizierten dagegen bei 8,4% (Samengemisch verschiedener Populationen) bzw. 19,3% (Samen der Population Knoblochsaue). Auch die Dauer der Desinfektion hatte einen Einfluss: der mittlere Anteil Keimlinge lag umso höher je länger die Samen desinfiziert worden waren, jedoch unterschieden sich am Ende des Versuchs nur die Behandlungen 5 min - 15 min Desinfektion signifikant.

3.7 Vergrabungsexperiment

Die Fähigkeit von *Colchicum autumnale* eine Samenbank anzulegen, also als Same im Boden zu überdauern war auf zwei Standorten untersucht worden, einem trockenen und einem feuchten Standort. Die Messung der Bodenfeuchte von Beginn der Vergrabung bis zum November 2009 zeigte einen deutlichen Unterschied zwischen Standorten. So war auf dem trockenen Standort eine um fast ein Drittel geringere mittlere Bodenfeuchte mit $21,3 \% \pm 10,6 \% \text{ SE}$ als auf dem feuchten Standort mit $31,7 \% \pm 11,0 \text{ SE}$ zu verzeichnen. Auch in den einzelnen Monaten lag die Bodenfeuchtigkeit auf dem feuchten Standort höher (Abb. 35). Die Bodentemperatur unterschied sich nicht zwischen den Standorten (Abb. 36).

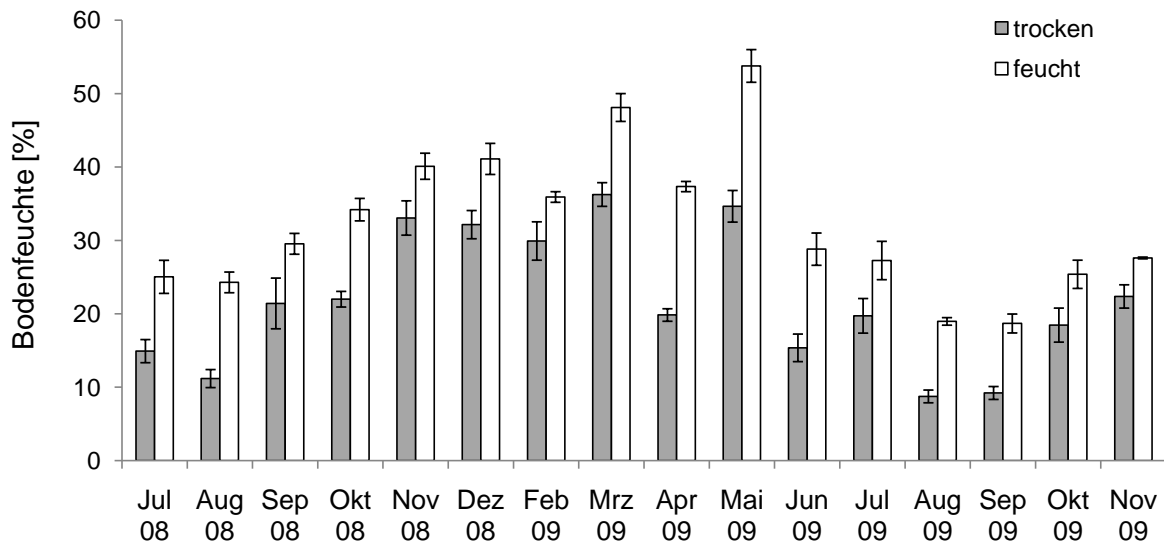


Abb. 35: Bodenfeuchte auf einem trockenen und einem feuchten Standort im Vergrabungsexperiment mit *Colchicum autumnale* Samen.

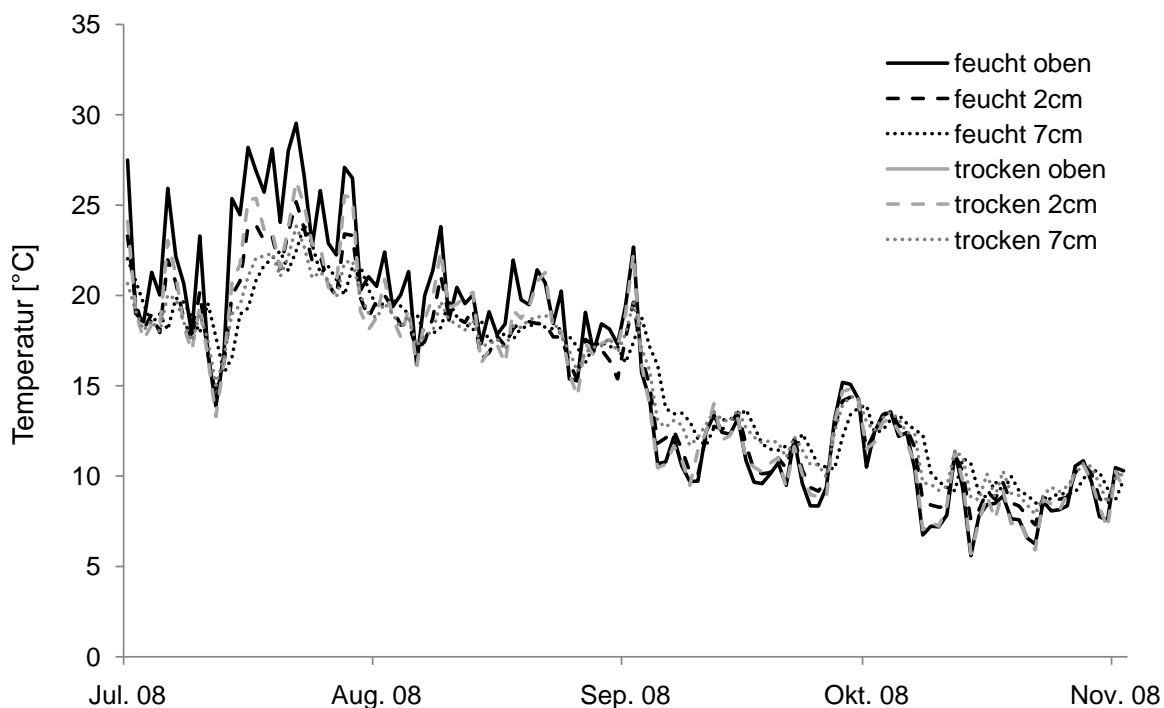


Abb. 36: Temperatur auf einem trockenen und einem feuchten Standort in 3 Tiefen im Vergrabungsexperiment mit *Colchicum autumnale* Samen.

Die Ausgrabung der Samen erfolgte über 3 Jahre bis zum Mai 2011. Es wird deutlich, dass der größte Anteil an Samen bereits im ersten Jahr der Vergrabung keimte (Abb. 37 a). Zu diesem Zeitpunkt ist auch der Unterschied zwischen den beiden Standorten am Deutlichsten: auf dem trockenen Standort keimten mit 20% fast doppelt so viele Samen wie auf dem feuchten Standort mit 8%. Auffällig war auch die höhere Zahl toter Samen auf ersterem Standort in 2 cm Tiefe und auf der Bodenoberfläche. Im Herbst 2010, etwa 1 Jahr nach der Vergrabung, keimten nur noch knapp 1,5% der Samen (Abb. 37 c). Im Frühjahr wurde bis auf zwei Ausnahmefälle keinerlei Keimung beobachtet (Abb. 37 b, d, f). Bereits nach 1 knappen Jahr Vergrabung lag der Prozentsatz toter Samen in 2 und 7 cm Tiefe bei über 90%; nach etwa 2 Jahren waren auch über 90% der nicht vergrabenen Samen auf der Erdoberfläche tot (Abb. 37 d). Bei Abschluss des Vergrabungsexperimentes nach 3 Jahren, waren in der Summe zwischen beiden Standorten noch 1,2 % der im Boden und 4,6% der auf der Erdoberfläche befindlichen Samen lebensfähig (Abb. 37 f).

Zu allen Ausgrabungsterminen wurde Keimung ausschließlich 7 und 2 cm Tiefe beobachtet.

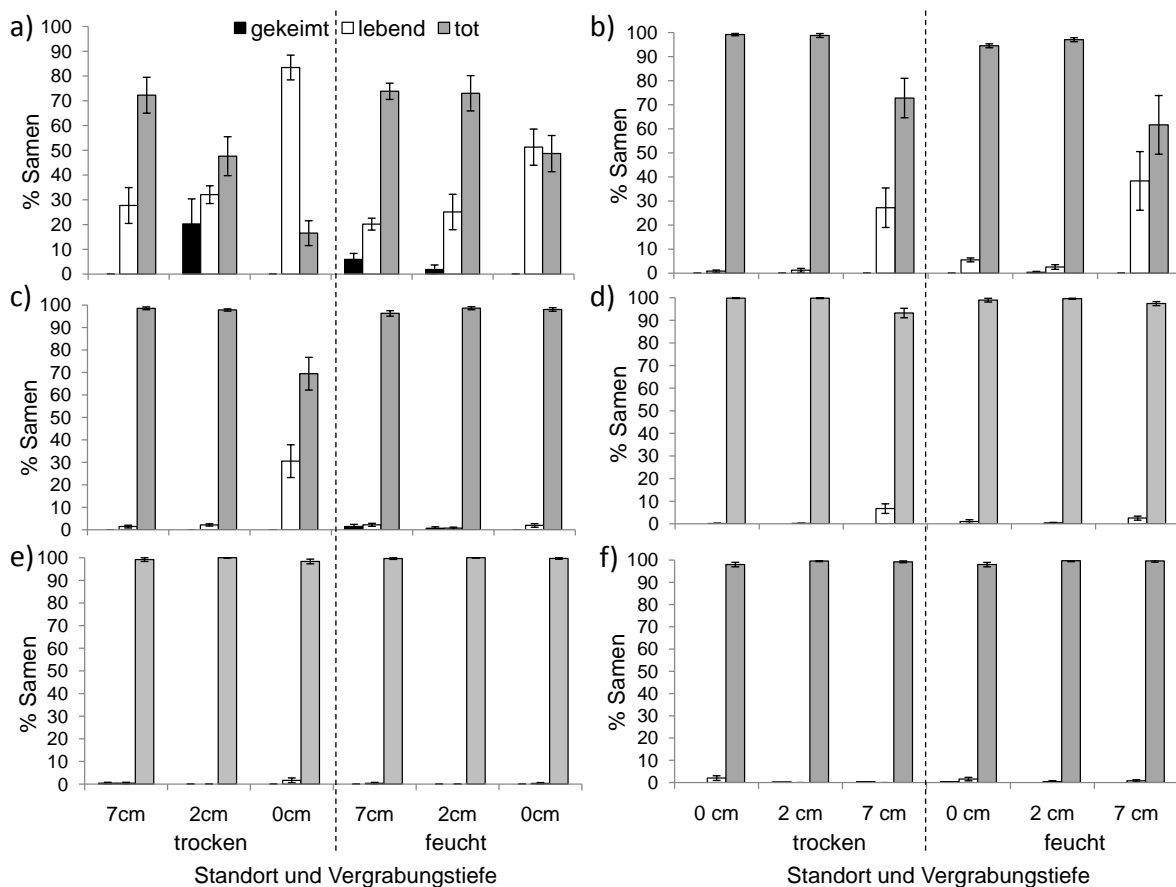


Abb. 37: Anteil [%] ± Standardfehler von gekeimten, lebenden und toten Herbst-Zeitlose-Samen nach unterschiedlichen Vergrabungszeiträumen und Vergrabungstiefen auf zwei Standorten.

Ergebnis nach a) ¼, b) ~1, c) 1 ¼, d) ~2, e) 2 ¼, f) ~3 Jahren Vergrabung.

3.8 Einfluss von Standortfaktoren auf Verbreitung und Dichte der Herbst-Zeitlose

Die DCA zeigte für alle 3 untersuchten Regionen einen deutlichen Unterschied zwischen alten und neuen Vegetationsaufnahmen und eine gerichtete Veränderung in der Vegetationsentwicklung (Ohmniederung: Abb. 39, Vogelsberg: Abb. 41, Licher Becken: Abb. 43). Die Korrelation mit den Ellenberg Zeigerwerten und der Taxazahl, zeigt ebenfalls für alle Regionen eine erhöhte Artenzahl in den alten Aufnahmen und eine erhöhte Stickstoffzahl für die neuen Aufnahmen, sowie eine erhöhte Reaktionszahl (nur für Ohmniederung). Die ersten beiden Achsen der DCA repräsentierten 33-43% der Varianz in den Daten der verschiedenen Regionen (Tab. 18). Die Dichte von *C. autumnale* war in den alten Aufnahmen der 1950er/60er im Vorderen Vogelsberg (Abb. 38) und der Ohmniederung (Abb. 40) höher, als in den neuen Aufnahmen 1990/91 – im Licher Becken lag der umgekehrte Fall vor (Abb. 42). In Ohmniederung, Vogelsberg und Licher Becken korreliert Achse 1 stark negativ mit der Taxazahl und positiv mit der Stickstoff- und Reaktionszahl (letztere außer Licher Becken; Tab. 20, Abb. 40, Abb. 38, Abb. 42). Daraus lässt sich ablesen, dass sich in allen drei Regionen die Flächen hin zu artenärmeren, stickstoffreicheren Flächen mit höherem pH-Wert entwickelt haben. Die Mittelwerte der Aufnahmen bestätigen diese Beobachtung (Tab. 19). Nur im Vorderen Vogelsberg gibt es einen stärkeren Zusammenhang zwischen der Dichte von *C. autumnale* und einer Ordinationsachse – hier ist die Dichte positiv mit der Artenzahl und negativ mit der Stickstoffzahl korreliert und in den alten Aufnahme höher als in den neueren.

Tab. 18: Determinationskoeffizienten DCA für Vegetationsaufnahmen unterschiedlicher Regionen in Hessen.

Achse	R ² Ohmniederung	R ² Vorderer Vogelsberg	R ² Licher Becken
1	,036	,409	,231
2	,308	,023	,103
3	,025	,061	,026

Tab. 19: Mittlere Ellenberg-Zeigerwerte von Vegetationsaufnahmen zu 2 Aufnahmezeitpunkten in 3 Regionen Hessens.

NZ = Stickstoffzahl, RZ = Reaktionszahl, FZ = Feuchtezahl, Taxa = Taxazahl, alt = 50er/60er Ohmniederung und Vogelsberg bzw. 1976 Licher Becken, neu = 1990/91 Ohmniederung und Vogelsberg bzw. 1986 Licher Becken.

	NZ alt	NZ neu	RZ alt	RZ neu	FZ alt	FZ neu	Taxa alt	Taxa neu
Licher Becken	5.6	6.0	6.3	6.2	5.6	5.8	32.4	21.8
Ohmniederung	5.5	6.3	5.8	6.1	6.1	5.7	29.6	23.0
Vogelsberg	5.1	6.3	5.8	6.0	5.6	5.6	44.8	30.1

Tab. 20: Pearson Korrelation mit den Ordinationsachsen einer DCA von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens. Colchicum = Dichte von *Colchicum autumnale*, FZ = Feuchtezahl, RZ = Reaktionszahl, NZ = Stickstoffzahl, Taxazahl = Pflanzenartenzahl.

	Ohmniederung		Vogelsberg		Licher Becken	
	R ² Achse 1	R ² Achse 2	R ² Achse 1	R ² Achse 2	R ² Achse 1	R ² Achse 2
Colchicum	,058	,077	,261	,015	0,11	,062
FZ	,061	,604	,071	,600	,571	,167
RZ	,204	,019	,187	,138	,049	,001
NZ	,442	,033	,893	,003	,198	,136
Taxazahl	,254	,130	,716	,002	,559	,074

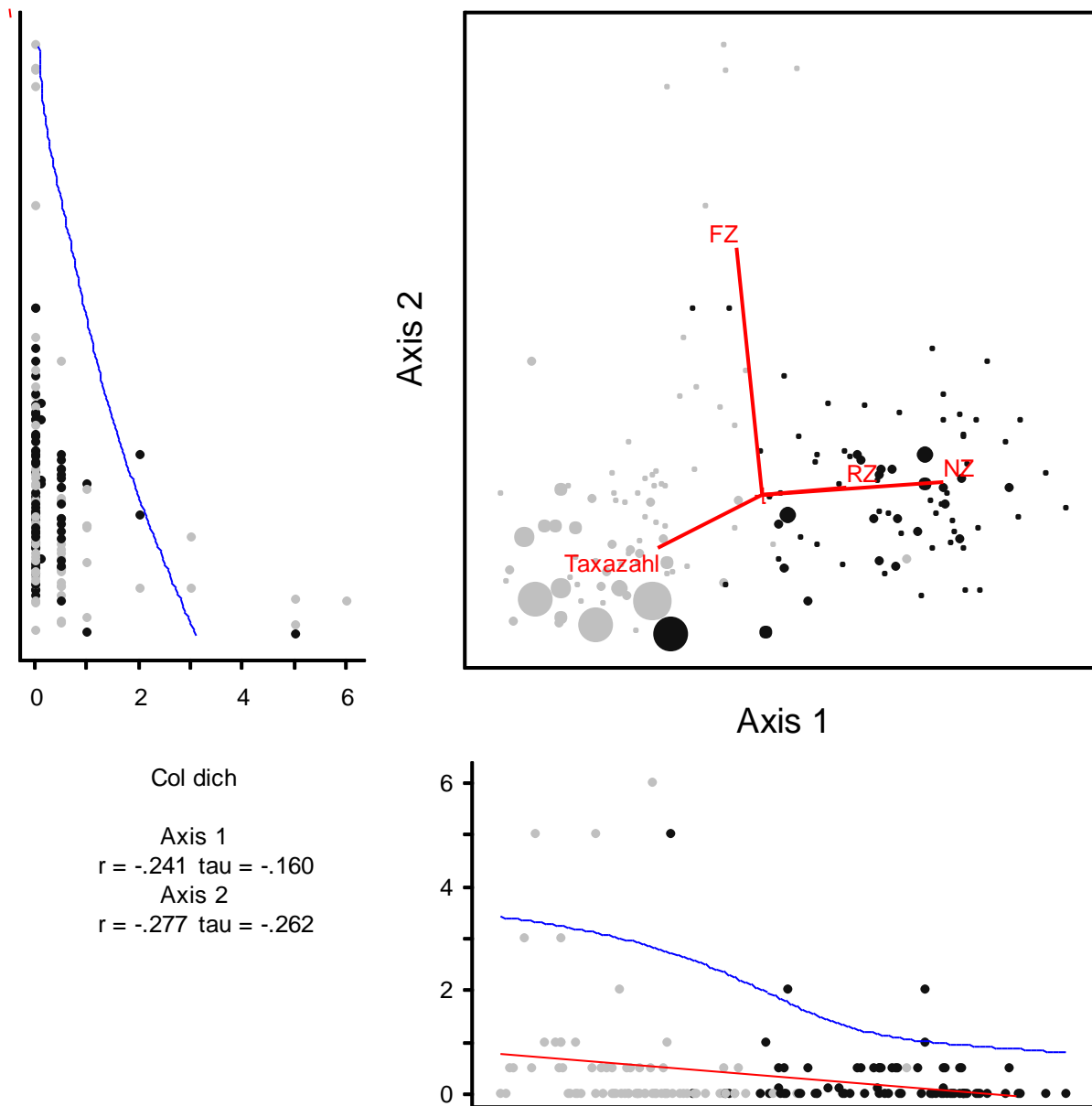


Abb. 38: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen der Ohmniederung mit Overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*.
 Aufnahmen grau = 1950er/60er, schwarz = 1990/91, unterschiedliche Punktgrößen geben Dichte von *C. autumnale* an.

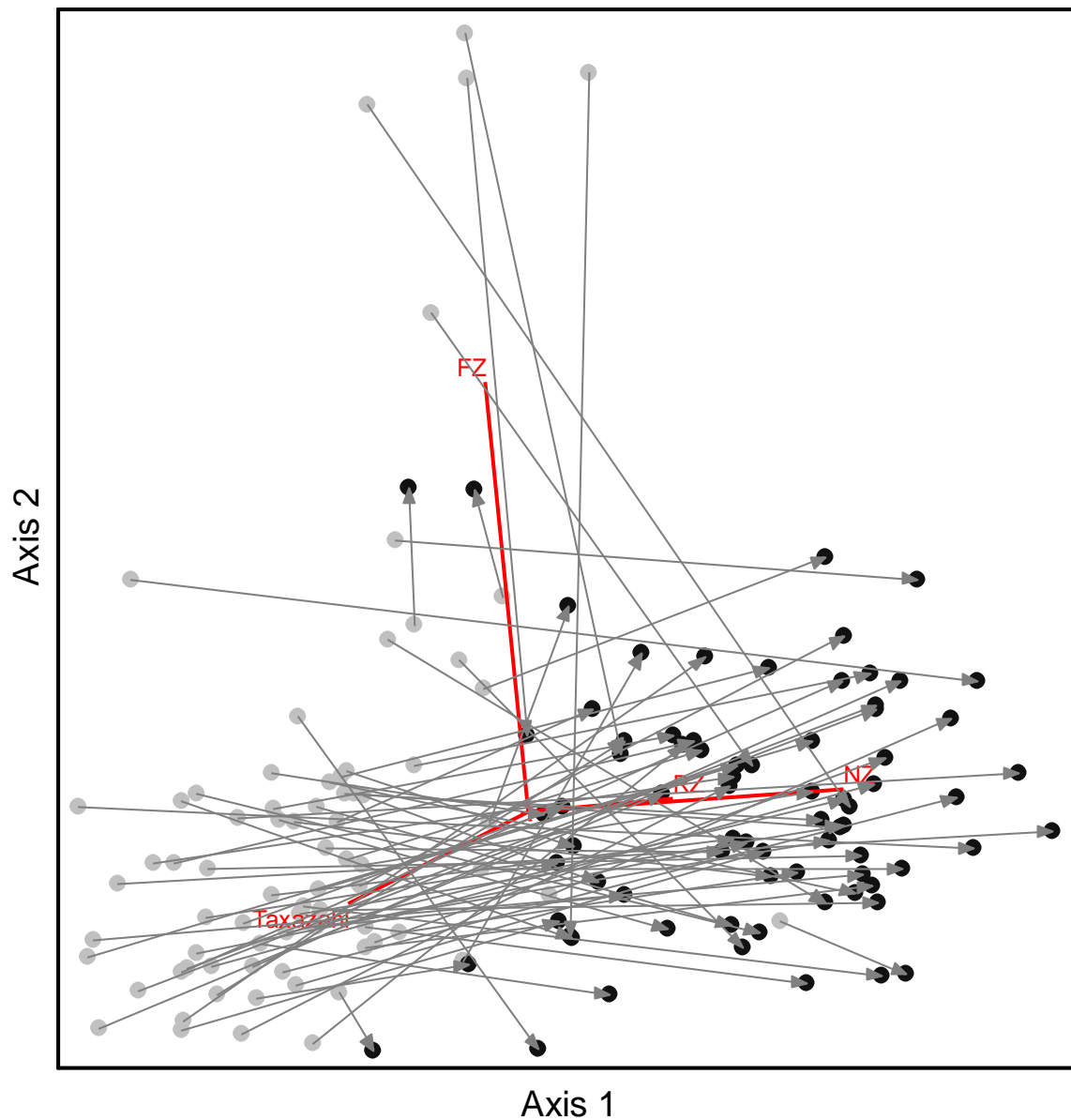


Abb. 39: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen der Ohmniederung mit successional vectors und overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*. Aufnahmen grau = 1950er/60er, schwarz = 1990/91; Pfeile geben die Entwicklung der Untersuchungsplots an.

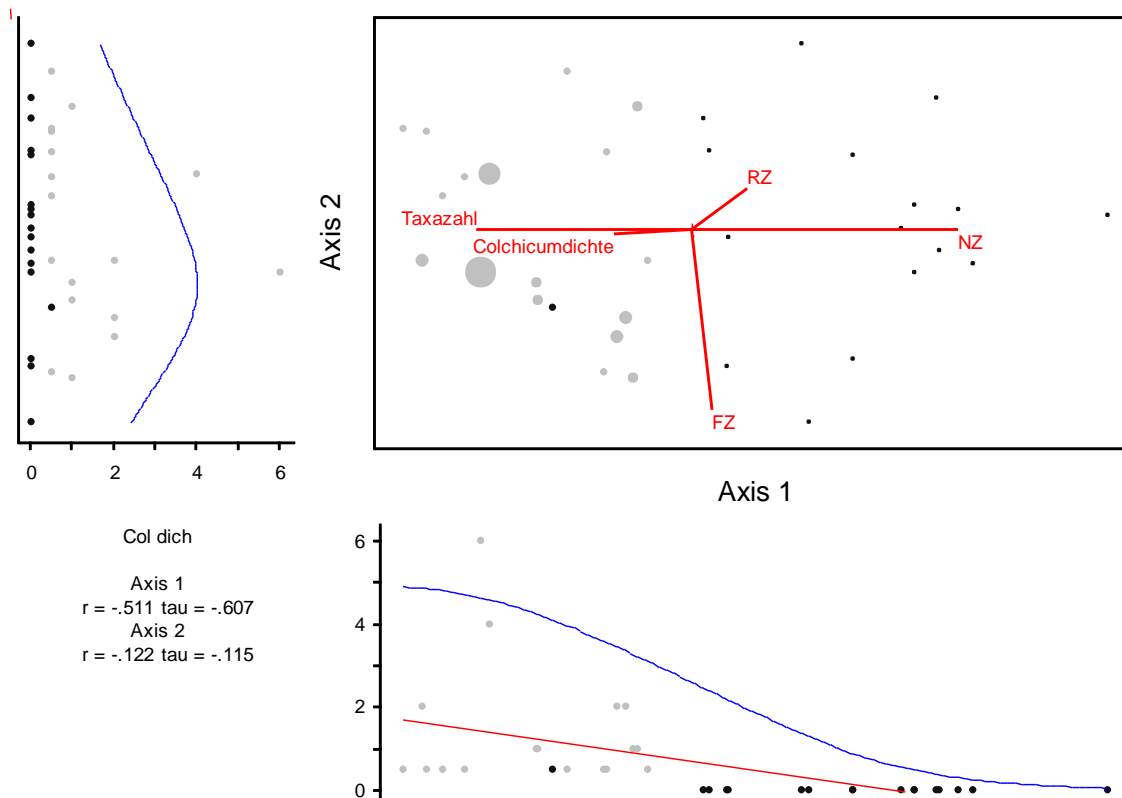


Abb. 40: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Vorderen Vogelsberg mit overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*.
 Aufnahmen grau = 1950er/60er, schwarz = 1990/91, unterschiedliche Punktgrößen geben Dichte von *C. autumnale* an.

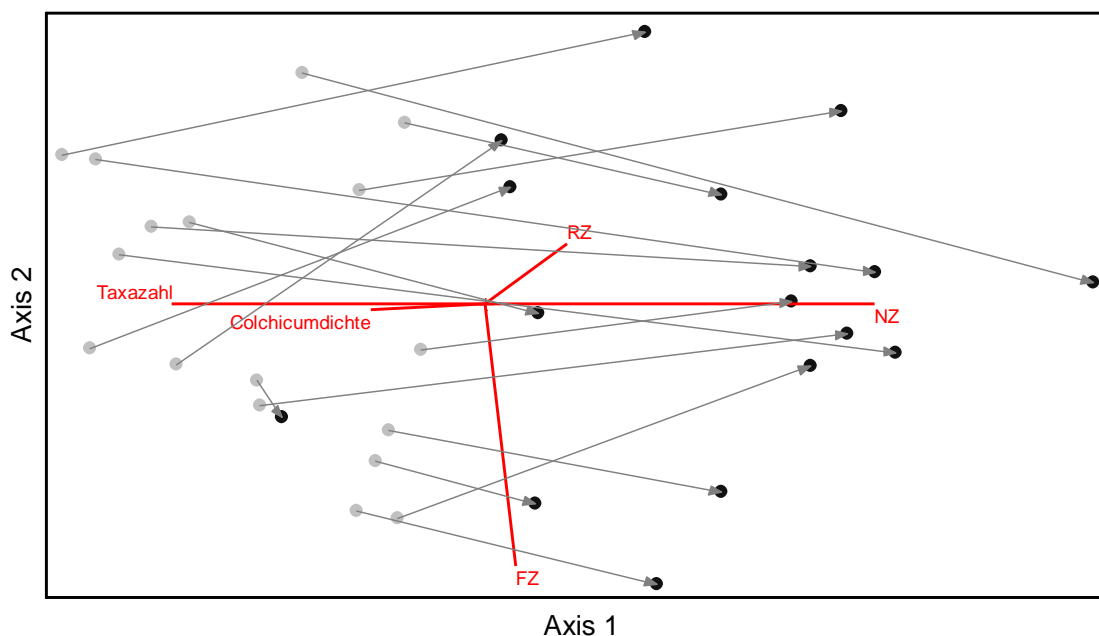


Abb. 41: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Vorderen Vogelsberg mit successional vectors und overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*. Aufnahmen grau = 1950er/60er, schwarz = 1990/91; Pfeile geben die Entwicklung der Untersuchungsplots an.

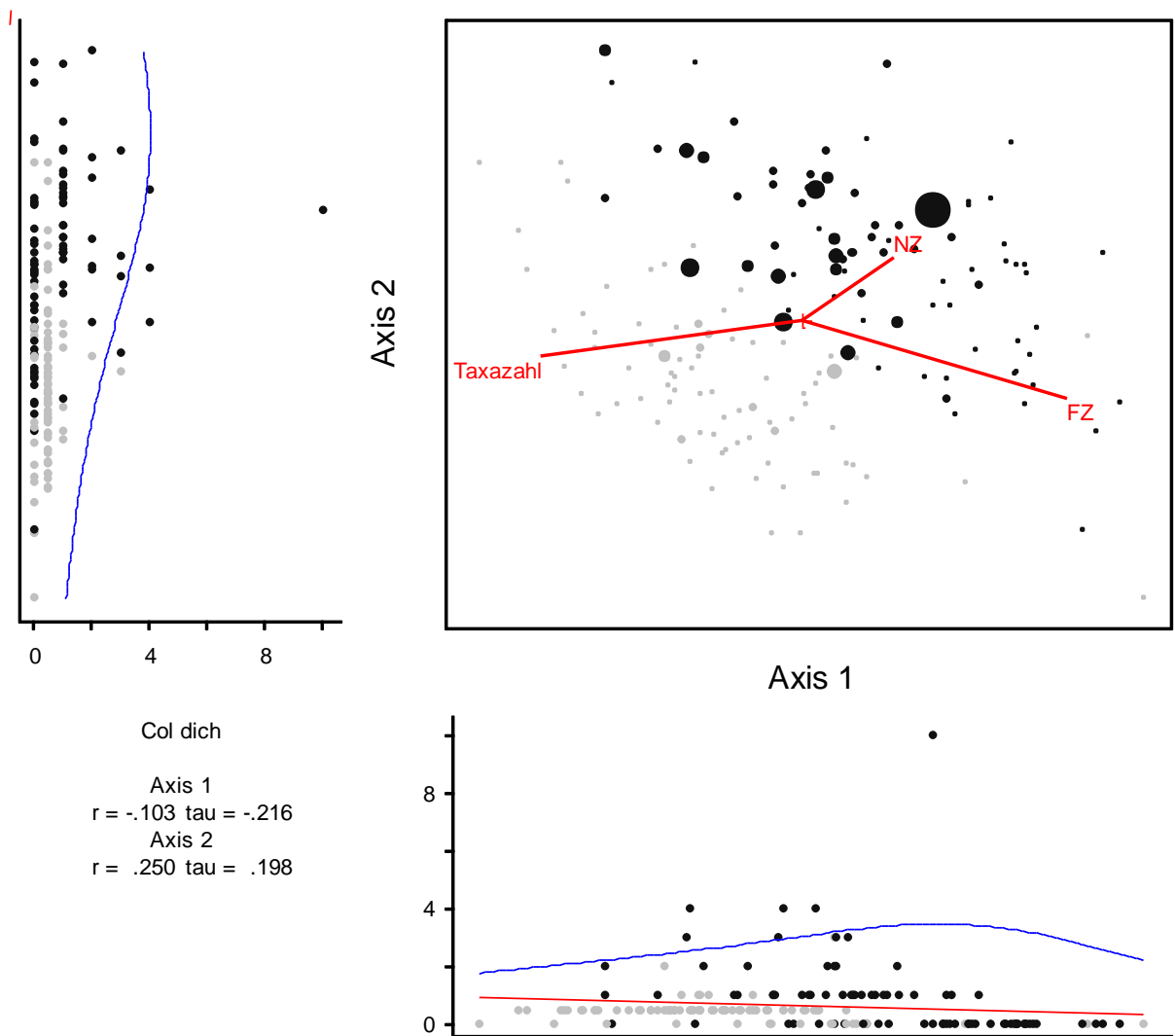


Abb. 42: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen des Licher Beckens mit overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*. Aufnahmen grau = 1976, schwarz = 1986, unterschiedliche Punktgrößen geben Dichte von *C. autumnale* an.

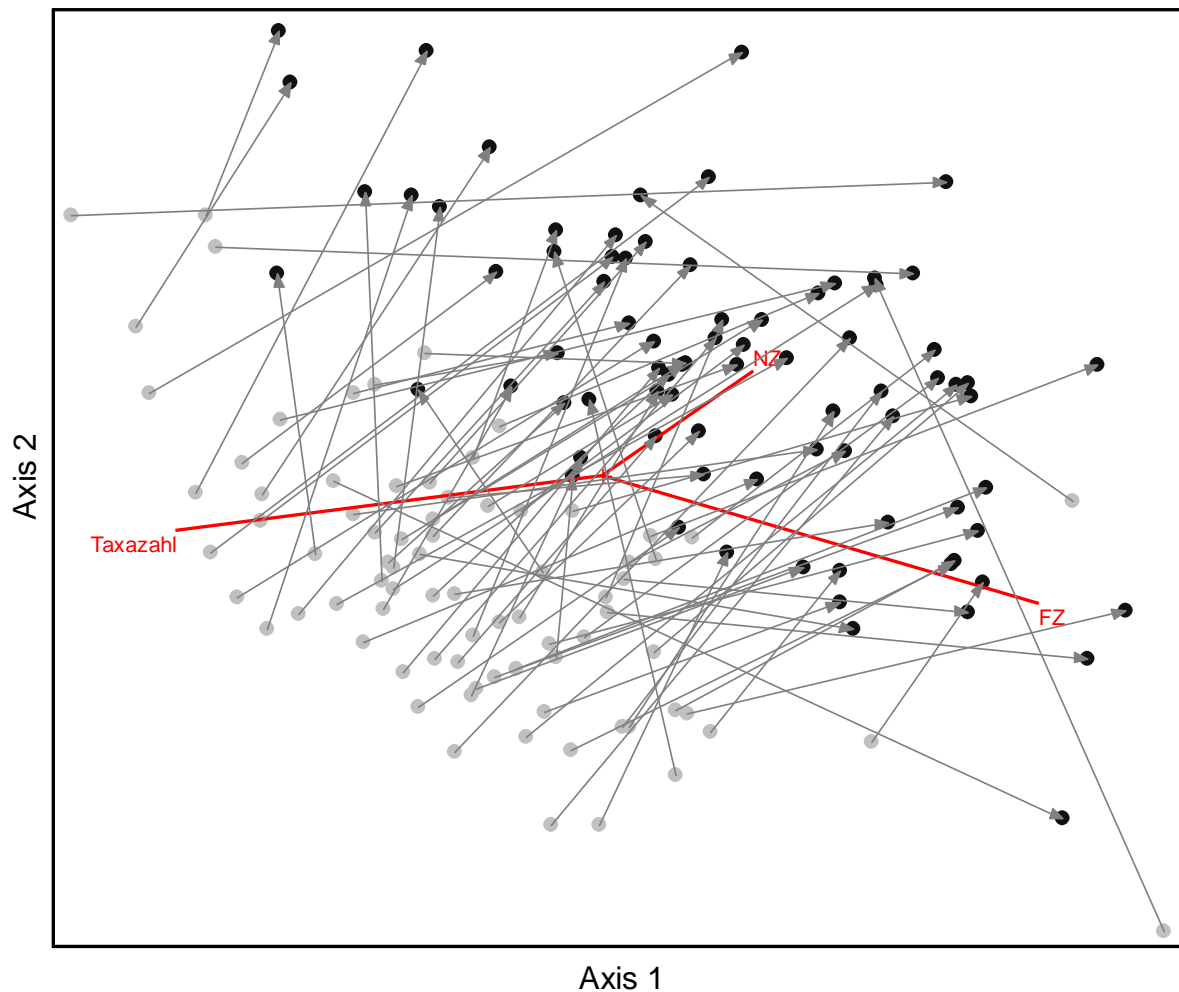


Abb. 43: Detrended Correspondence Analysis (DCA) von Vegetationsaufnahmen im Licher Becken mit successional vectors und overlay der Zeigerwerte, Pflanzenartenzahl (Taxazahl) und Dichte von *Colchicum autumnale*. Aufnahmen grau = 1976, schwarz = 1986; Pfeile geben die Entwicklung der Untersuchungsplots an.

Die Untersuchungen zwischen der Dichte von *C. autumnale* und den Zeigerwerten bzw. der Pflanzenartenzahl zeigten für die Untersuchungsflächen eine signifikant negative Korrelation für Feuchte- und Stickstoffzahl (Abb. 44 a und c) und eine positive Korrelation für die Anzahl der Pflanzenarten (Abb. 44 d, Tab. 21). Mit der Reaktionszahl lag keine signifikante Korrelation vor (Abb. 44 c). Um Hinweise zum Vorkommen von *C. autumnale* bzgl. der Zeigerwerte und Taxazahl zu erhalten, wurden die Untersuchungsflächen wo eine (i) Abnahme, (ii) keine Änderung, (iii) Zunahme der Dichte von *C. autumnale* erfolgte, getrennt nach ihrem Anteil wo eine Zunahme, keine Änderung, bzw. Abnahme der Zeigerwerte und Taxazahl stattfand (Abb. 45). Auf einem großen Anteil der Aufnahmeflächen wo eine Abnahme von *C. autumnale* stattfand, erfolgte auch eine Abnahme der Taxazahl und eine Zunahme der Stickstoffzahl (Abb. 45 a). Jedoch traten auch deutliche Unterschiede zwischen dem Anteil der Flächen mit gleichbleibender Dichte von *C. autumnale* auf, auf deren Großteil ebenfalls eine Abnahme der Artenzahl und eine Zunahme der Stickstoff-, sowie Feuchtezahl gekennzeichnet waren (Abb. 45 b). Bei den Flächen, wo die Herbst-Zeitlose Dichte zunahm, gab es allerdings keinen eindeutigen Unterschied im Anteil der Flächen auf denen die Zu- oder Abnahme eines Zeigerwertes erfolgte und auch die Varianz zwischen den Flächen war hier am größten (Abb. 45 c).

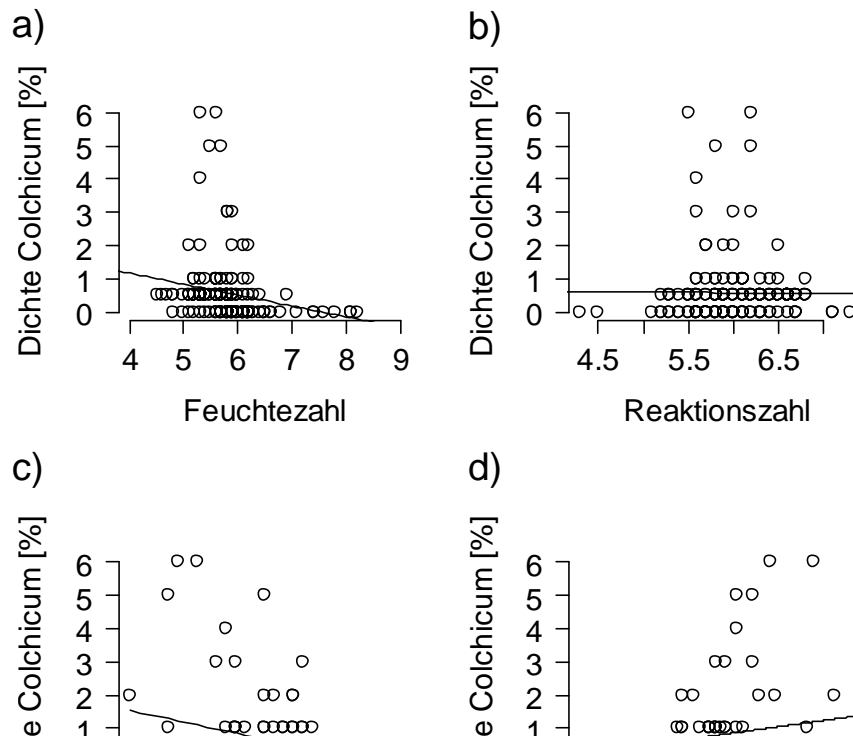


Abb. 44: Korrelation zwischen Dichte von *Colchicum autumnale* mit Ellenberg Zeigerwerten und Anzahl Pflanzenarten von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens: Ohmniederung und Vorderer Vogelsberg 1950er/1960er, Licher Becken 1976.

Tab. 21: Korrelation bzw. Regression der Dichte von *Colchicum autumnale* mit Ellenberg Zeigerwerten und Anzahl Pflanzenarten von Vegetationsaufnahmen in 3 Regionen Hessens: Ohmniederung (1950er/60er), Vorderer Vogelsberg (1950er/1960er), Licher Becken (1976).

Methode	Parameter	Rho/R ²	<i>p</i>
Spearman's rank	Feuchtezahl	-0,41	< 0,0001
Spearman's rank	Reaktionszahl	0,14	0,06
Spearman's rank	Stickstoffzahl	-0,28	0,0002
Lineare Regression	Pflanzenartenzahl	0,34	< 0,0001

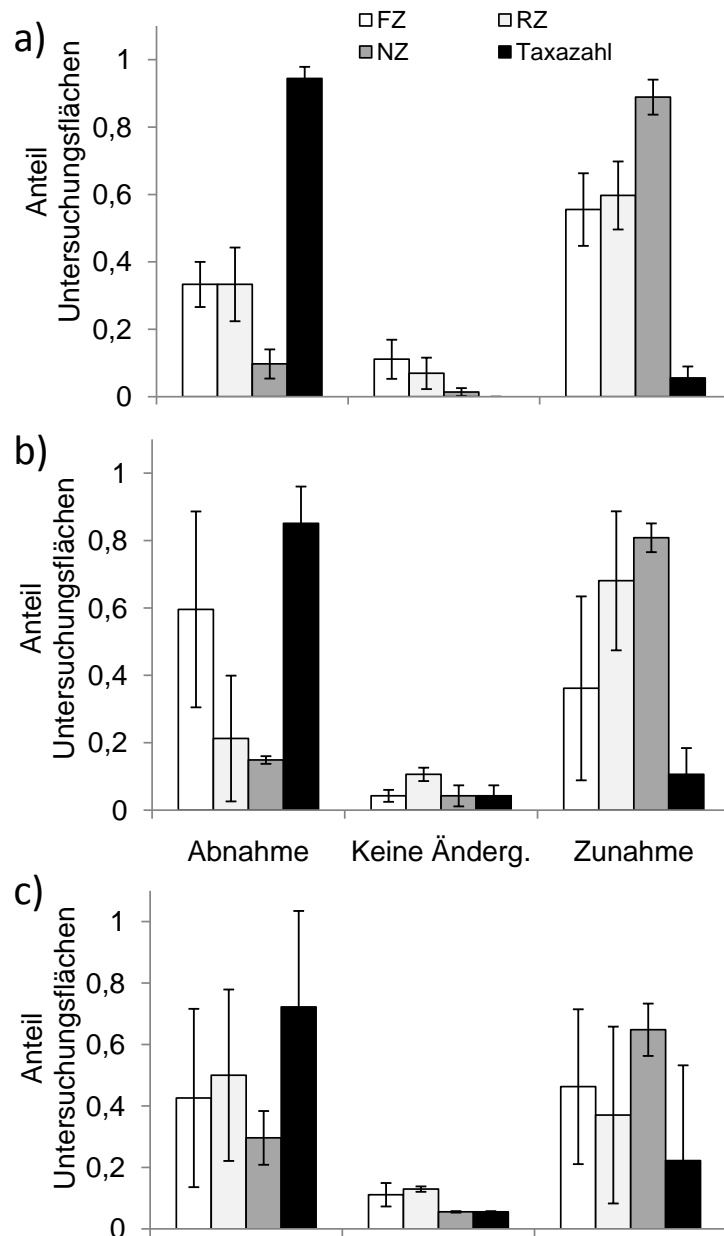


Abb. 45: Anteil der Untersuchungsflächen, für den bei a) Abnahme, b) keiner Veränderung und c) Zunahme der Dichte von *Colchicum autumnale* eine Abnahme, keine Veränderung oder Zunahme der Ellenberg Zeigerwerte FZ (Feuchtezahl), NZ (Stickstoffzahl), RZ (Reaktionszahl) und Pflanzenartenzahl (Taxazahl) eintrat.

Die Dichteänderung von *C. autumnale* in den einzelnen Regionen war sehr unterschiedlich (Abb. 46). In der Ohmniederung fand im Mittel fast eine Halbierung des durchschnittlichen Anteils von *C. autumnale* in den Aufnahmeflächen statt, während sich der Anteil im Licher Becken fast verdoppelte. Die einzige signifikante Änderung trat jedoch im Vorderen Vogelsberg ein, wo eine Dichtereduktion von *C. autumnale* auf fast 0 stattfand (Tab. 22).

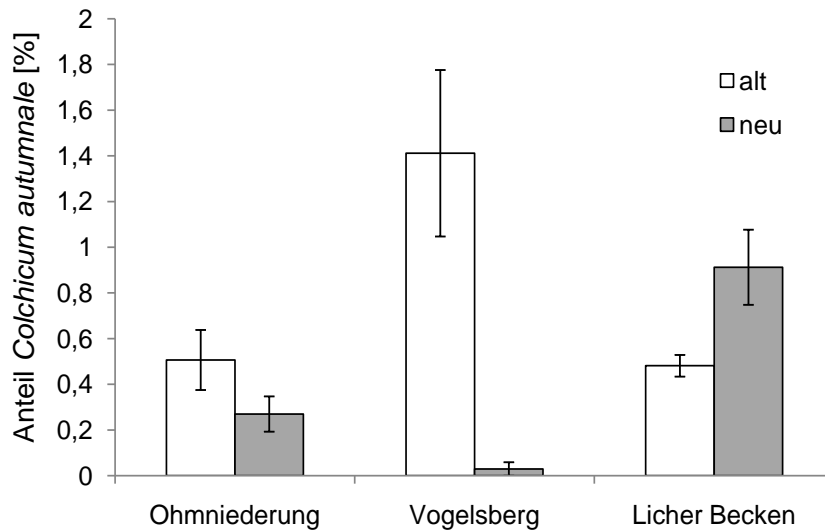


Abb. 46: Prozentualer mittlerer Anteil \pm SE von *Colchicum autumnale* an der Gesamtvegetation zu 2 Aufnahmezeitpunkten in Untersuchungsflächen 3er Regionen Hessens.

Ohmniederung und Vorderer Vogelsberg 1950er/1960er, Licher Becken 1976.

Tab. 22: Vergleich der Veränderung der Dichte von *Colchicum autumnale* zwischen Vegetationsaufnahmen 3er Regionen in Hessen zu 2 unterschiedlichen Zeitpunkten.

t = t-test, M-W = Wilcoxon Rangsummentest.

Test	Region	t/W	FG	p	Mittelwert alte Aufnahme	Mittelwert neue Aufnahme
t	Ohmniederung	0,680	75	0,54	0,51	0,30
M-W	Vogelsberg	285,0		<0,0001	1,41	0,03
M-W	Licher Becken	2997,5		0,47	0,48	0,91

Der Anteil der Untersuchungsflächen auf denen eine Abnahme von *C. autumnale* stattfand lag entsprechend hoch und betrug 100% (Abb. 47). Dagegen gab es in Ohmniederung und Licher Becken nur geringe Unterschiede im Anteil der Flächen auf denen eine Zu-, Abnahme oder keine Dichteänderung erfolgte, wobei in ersterer Region die Abnahme und in letzterer die Zunahme etwas überwog (Abb. 47).

Ein Vergleich des Anteils der Untersuchungsflächen mit Vorkommen von *C. autumnale* fand zudem zwischen 3 Aufnahmezeitpunkten (eingeschlossen der neuen Aufnahme 2010) in den verschiedenen Regionen statt (Abb. 48). Nachdem im Vogelsberg, wie bereits in Abb. 47 gesehen, eine starke Abnahme der Flächen mit *C. autumnale* stattgefunden hatte, waren 2010 keinerlei Flächen mit Herbst-Zeitlose mehr vorhanden. In der Ohmniederung nahm die Anzahl der Flächen mit Herbst-Zeitlose von 1990/91 bis 2010 ab, während sie im Licher Becken in diesem Zeitraum etwa konstant blieb.

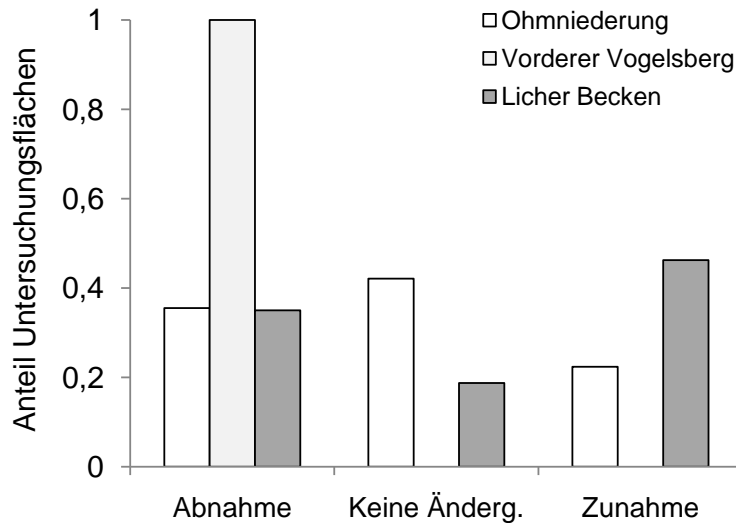


Abb. 47: Anteil der Untersuchungsflächen auf denen eine Abnahme, keine Änderung oder Zunahme der Dichte von *Colchicum autumnale* erfolgte von 1950ern/1960ern zu 1990/91 (Ohmniederung und Vogelsberg) bzw. 1976 zu 1986 (Licher Becken).

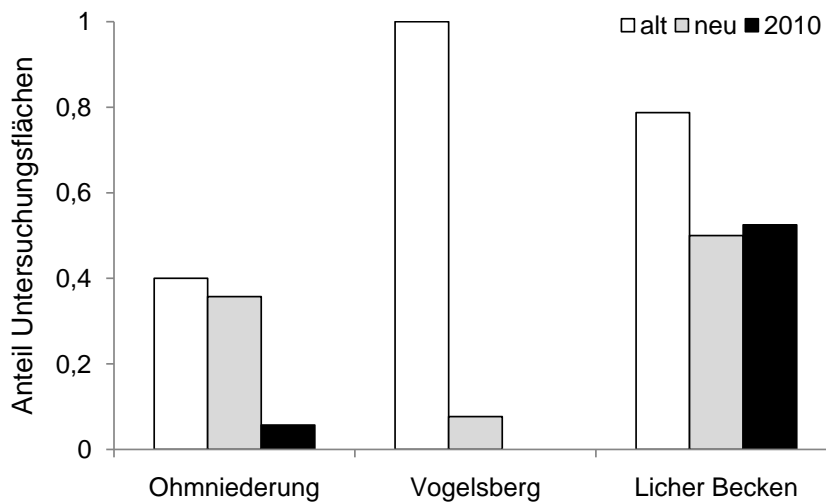


Abb. 48: Anteil der Untersuchungsflächen mit Vorkommen von *Colchicum autumnale* zu 3 unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten in 3 Regionen Hessens. Ohmniederung und Vorderer Vogelsberg 1950er/1960er und 1990/91, Licher Becken 1976 und 1986, sowie alle Regionen 2010.

4 Diskussion

4.1 Populationsbiologische Untersuchungen

4.1.1 Auswirkung der Mahdbehandlungen auf *Colchicum autumnale*

Die Ergebnisse zeigen, dass eine gegenüber Mitte Juni vorgezogene Mahd die Populationsdichten von *C. autumnale* effektiv verringern kann (Abb. 13, Abb. 17 a, Tab. 6, Tab. 8). Dabei bewirkte der früheste untersuchte Schnittzeitpunkt die stärkste Schädigung und Reduktion der Herbst-Zeitlose. So erfolgte die größte Verringerung der

Populationswachstumsrate unter den Behandlungen mit dem frühesten Mahdzeitpunkt (Behandlungen T2 und T3; Abb. 13). Die verstärkte negative Wirkung durch den frühesten Schnitt wird besonders in Behandlung T2 deutlich, wo das Vorziehen des Mahdzeitpunktes von Ende Mai 2008 auf Ende April ab 2009 eine zusätzliche Verringerung der Populationswachstumsrate von 2008-2009 zu 2009-2010 bewirkte. Auch die Wahrscheinlichkeit der Pflanzen zu überleben oder im Folgejahr Kapseln zu entwickeln war unter dem frühesten Schnitt am geringsten (Abb. 16 c, Abb. 17 a). Die stärkere Schädigung der Herbst-Zeitlose bei früherem Schnittzeitpunkt lässt sich mit der physiologischen Entwicklung der Pflanze im Jahresverlauf erklären. Ende April hat *C. autumnale* bereits den größten Teil ihrer Reservestoffe aus der Knolle mobilisiert, während die Einlagerung neuer Reservestoffe gerade erst beginnt (Franková *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2012). Ein Schnitt zu diesem Zeitpunkt bedeutet daher einen starken Verlust an Nährstoffen und eine verminderte Vitalität. Obwohl die Blattmasse der Pflanze Ende April geringer ist als Ende Mai, und daher durch einen Schnitt Ende April quantitativ weniger Nährstoffe entfernt werden, ist der spätere Schnitt Ende Mai weniger effektiv. Dann hat die Herbst-Zeitlose bereits neue Reservestoffe in der Knolle eingelagert, die ihr durch Entfernen der Blätter nicht mehr entzogen werden können (Franková *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2012).

Das stark verringerte Populationswachstum in Behandlung T3 im Vergleich zu den Behandlungen T1 und T2 kommt vor allem durch erhöhte Stasis zu Stande, d. h. mehr Pflanzen verbleiben in dem Lebenszyklusstadium, in dem sie sich befinden. Der Verbleib einer Pflanze im gleichen Lebenszyklusstadium ist jedoch nicht unbedingt gleich zu setzen mit gleichbleibender Vitalität. Untersuchungen an 2- und 3-blättrigen Pflanzen zeigten, dass die Knollengrößen, die die Menge an Reservestoffen repräsentiert und damit ein Maß für die Vitalität der Pflanze ist, innerhalb der Pflanzen mit gleicher Blattzahl stark variieren (siehe Zwischenbericht 2008: Korrelation von Blattbreite und –länge mit dem Knollengewicht). Eine Pflanze deren Lebenszyklusstadium sich von 2008 zu 2009 nicht geändert hat, kann also dennoch an Vitalität verloren haben, was als Regression eingestuft werden müsste. Das Lebenszyklusstadium L3 enthält zudem Pflanzen mit drei und mehr Blättern. Die Zuordnung einer 2008 vierblättrigen Pflanze, die 2009 nur noch drei Blätter aufwies und damit an Vitalität verloren hat, zum gleichen Lebenszyklusstadium bedeutet daher ebenfalls eine von uns nicht registrierte Regression. Die erhöhte Stasis in Behandlung T3 könnte daher wahrscheinlich zu einem großen Teil für zusätzliche Regression stehen.

Eine verstärkte Schädigung der zweifach frühen Mahd Ende April und Ende Mai (T3) gegenüber der einfachen frühen Mahd Ende April (T2) war nur teilweise erkennbar. So war die Populationswachstumsrate unter Behandlung T3 am kleinsten und unterschied sich als einzige Behandlung signifikant von der Kontrolle über alle 3 Übergangsjahre hinweg (Abb. 14). Auch der Mittelwert der Pflanzen, die im Folgejahr ins generative Stadium übergangen, war für Behandlung T3 am geringsten. In der Elastizitätsmatrix zeigte sich zudem, dass unter Behandlung T3 im Vergleich zu den anderen Behandlungen kleinere Pflanzen verstärkt zur Populationswachstumsrate beitragen. Da Behandlung T3 jedoch nur in der Region Vorderer Vogelsberg durchgeführt wurde, ist sie nur eingeschränkt mit den anderen Ergebnissen vergleichbar.

Elastizitätswerte werden dazu genutzt, die wichtigsten Übergänge der Populationswachstumsrate zu identifizieren und die Effektivität unterschiedlicher Managementstrategien von Unkräutern oder invasiver Arten zu identifizieren (Hansen, 2007; Ramula *et al.*, 2008). Im Gegensatz zur Kontrolle, wo die wichtigsten Übergänge für das Populationswachstum die Stasis großer vegetativer Pflanzen (B3) und der Übergang von B3 zum generativen Stadium darstellten, besaß in den Behandlungen (v.a. T2 und T3) die Stasis kleinerer Pflanzen die größte Bedeutung (Tab. 6). Der Übergang von B3 zur generativen Pflanze reduzierte sich unter den Behandlungen T2 und T3 auf nahezu null – hier kam also die generative Reproduktion zum Erliegen. Die Behandlungen T2 und T3 reduzierten also

effektiv die Elastizitätswerte der Lebenszyklusstadien welche am meisten zur Populationswachstumsrate beitrugen.

Das dormante Stadium spielt nur eine untergeordnete Rolle im Lebenszyklus von *C. autumnale* (Smith, 2004) und die Elastizitätswerte für die Übergänge zur Dormanz waren entsprechend gering. Nur ein geringer Teil der Herbst-Zeitlose Pflanzen war während eines Jahres dormant, und ein noch geringerer Anteil für zwei Jahre. Obwohl dormante Pflanzen nicht durch die Mahd geschädigt werden können, scheint es daher unwahrscheinlich, dass die Fähigkeit zur Dormanz die Lebensspanne von *C. autumnale* entscheidend verlängern kann.

Ein kumulativer Effekt der Behandlungen, also eine erhöhte Schädigung der Herbst-Zeitlose mit der Anzahl der durchgeführten Behandlungen über die Jahre, war nicht zu erkennen. Als Ursache hierfür kommen zwei Möglichkeiten in Frage: (i) die Pflanzen wurden in den verschiedenen Jahren zu unterschiedlichen phänologischen Zeitpunkten geschnitten, so dass die Schädigung der Pflanzen unter der gleichen Behandlung unterschiedlich stark ausfiel, (ii) Witterungseinflüsse bzw. andere äußere Faktoren wirkten ihrerseits so stark auf die Vitalität der Herbst-Zeitlose, dass der Effekt der Behandlungen überlagert wurde. Tatsächlich fand die Mahd in den verschiedenen Jahren fast zum gleichen Zeitpunkt statt. Vor allem in 2010 setzte die Vegetationsentwicklung aufgrund des langen Winters jedoch später ein, so dass die Herbst-Zeitlosen in diesem Jahr bei geringerer Größe geschnitten und damit weniger Blattmasse und Nährstoffe entfernt wurden, als in den Jahren zuvor. Folglich ist ein geringerer Effekt der Mahd auf die Populationswachstumsrate wahrscheinlich und dient als mögliche Erklärung für den geringeren Unterschied in λ zwischen den Behandlungen und der Kontrolle für den Übergang 2010-2011 verglichen mit den Vorjahren. Als zweite Möglichkeit für eine allgemein reduzierte Vitalität der Herbst-Zeitlose und damit reduzierte Populationswachstumsrate 2010-2011 in allen Behandlungen und der Kontrolle könnte die extreme Trockenheit verbunden mit relativ hohen Lufttemperaturen im Frühjahr 2011 verantwortlich sein (Abb. 21). Auf einen starken Einfluss äußerer Faktoren wie Wetterbedingungen auf die Vitalität der Pflanze deuten auch die signifikanten Unterschiede in der Populationswachstumsrate (Abb. 14), im Überleben (Tab. 7) oder beim Übergang zur generativen Pflanze (Tab. 8) zwischen den Jahren und Regionen und die Schwankungen innerhalb der Kontrolle. Zudem konnten bereits andere Studien einen direkten Einfluss von Witterungsbedingungen auf die Vitalität von Pflanzen nachweisen, wie z.B. der Einfluss einer ungewöhnlich heißen und trockenen Sommerperiode (Hüls, Otte & Eckstein, 2007) oder von Regen (Lennartsson & Oostermeijer, 2001).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein früher Schnitt Ende April/Anfang Mai die Populationsdichte und Pflanzengröße von *C. autumnale* verringert und die vegetative und generative Reproduktion stark reduziert. Diese Art des Managements ist daher geeignet, *C. autumnale* zurückzudrängen. Da die Herbst-Zeitlose eine langlebige Pflanzenart ist (älteste bekannte Pflanze im botanischen Garten von Halle > 50 Jahre), wird es jedoch mehrere Jahre dauern sie von einem Standort zu verdrängen.

4.2 Einzelbekämpfungsmaßnahmen

Das Ausreißen der Blüten im Herbst verursachte keine effektive Schädigung der Herbst-Zeitlose. Ein Abtöten der Pflanze war vor allem durch ein sehr tiefes Abreißen der Blüte an ihrer Verbindung zur Knolle denkbar, weil dadurch die austreibende Knospe beschädigt wird. Ein so tiefer Abriss gelingt jedoch nur selten (im Versuch in 3 von 45, also 6,7% der Fälle), da der Boden dafür sehr feucht und locker sein muss, und die Knolle adulter Pflanzen 15 – 20 cm tief in der Erde sitzt. Zweitens bildeten selbst die sehr tief abgerissenen Pflanzen in 66,6% der Fälle Blätter (im Versuch in 2 von 3 Fällen). Die Mehrzahl der Blüten wurde in der Nähe der Erdoberfläche abgerissen, was einer Mahd ähnelt. Die nur geringe Schädigung der Pflanze

liegt darin begründet, dass die Blüten aus wenig und sehr zartem Gewebe bestehen und ihr Entfernen daher einen geringen Ressourcenentzug bedeutet.

Im Gegensatz zur Blütenentfernung, erwies sich das Abreißen der Blätter Anfang Mai 2010 als sehr effektiv, um die Vitalität der Herbst-Zeitlose zu verringern. So bildete nur 1/3 der behandelten Pflanzen im Folgejahr Blätter aus und die Bildung von Kapseln wurde fast vollständig unterbunden. Das Abreißen der Blätter entspricht dem Effekt einer Mahd, da in beiden Fällen die oberirdische Biomasse der Herbst-Zeitlose entfernt wird. Der Ähnlichkeit zwischen dem Versuch „Abreißen der Blätter“ und den Mahdbehandlungen T2 und T3 (jeweils frühe Mahd Ende April/Anfang Mai) bezüglich der Schädigung der Herbst-Zeitlose entspricht damit unseren Erwartungen. Das Abreißen der Blätter müsste die Vitalität der Herbst-Zeitlose jedoch noch stärker reduzieren als die Mahdbehandlung, da die Pflanzen häufig etwas unter der Erdoberfläche abgerissen werden, und dadurch ein noch größerer Anteil Biomasse und Nährstoffe entfernt werden kann. Um einen möglichst tiefen Abriss zu realisieren, wird dementsprechend in der Literatur empfohlen, die Pflanze zu einem Zeitpunkt auszureißen, wenn der Boden locker und feucht ist (Bornemann, 1920).

Das frühe Abreißen von Pflanzen mit der Hand kann daher als sinnvolle Bekämpfungsmaßnahme zur Reduktion der Herbst-Zeitlose eingesetzt werden, wo die Individuen dicht aber sehr kleinräumig oder mit wenigen Exemplaren locker verstreut auf einer Wiese vorkommt und die Gefahr einer weiteren Ausbreitung besteht.

4.3 Untersuchungen Begleitvegetation

Nach 3jähriger Mahdbehandlung konnte in nur einer Population ein signifikanter Unterschied in der Vegetationszusammensetzung gegenüber der Kontrolle festgestellt werden. Dieser Unterschied verschwand, wenn Behandlung T3 aus der Analyse ausgeschlossen wurde. Die Ergebnisse des Shannon Index und der Evenness zeigten keine konsistenten Unterschiede zwischen Behandlungen und Kontrolle über die Zeit der Untersuchungsdauer. Die Phänologieaufnahmen zeigten, dass nach einem frühen Schnitt ein Großteil der Pflanzenarten bis Mitte Juni phänologisch mit den Pflanzen der Kontrollbehandlung gleichzog. Ein früher Mahdtermin zur Reduzierung von Herbst-Zeitlosen führt daher nach einer dreijährigen Untersuchungsperiode nicht zu einer Verringerung der Pflanzenartendiversität. Er steht allerdings in Konflikt zu den gegenwärtigen Agrarumweltprogrammen für artenreiches Grünland in der Europäischen Union (Verordnung Nr. 1290/2005), welche einen ersten Mahdtermin für Mitte Juni oder Juli vorschreiben, um die Samenstreu der Pflanzen zu ermöglichen, als auch die erfolgreiche Reproduktion bodenbrütender Vogelarten. Des Weiteren wird eine erhöhte Schnittfrequenz, wie in dieser Untersuchung, kombiniert mit einer vermehrten Düngemittelzufuhr als Schlüsselfaktor für die Abnahme der heutigen Artenvielfalt im Grünland gesehen (Green, 1990; Zechmeister *et al.*, 2003). Andererseits zeigen Studien für eine erhöhte Schnittfrequenz ohne Düngergaben einen nur geringen Einfluss auf die Artendiversität (Oomes & Mooi, 1981; Kirkham & Tallowin, 1995; Čop, Vidrih & Hacin, 2009). Die Auswirkung der veränderten Schnittfrequenz auf die Pflanzenartenvielfalt hängt dabei vom Standort ab: So ist auf Grünlandstandorten mittlerer Nährstoffversorgung bei einer Erhöhung der Schnittfrequenz auf 2 oder 3 Schnitte pro Jahr eine nur sehr geringe Wirkung zu erwarten (Oomes & Mooi, 1981; Čop, Vidrih & Hacin, 2009), während auf mageren Standorten mit größeren Veränderungen zu rechnen ist (Kirkham & Tallowin, 1995; Čop, Vidrih & Hacin, 2009). Für eine frühe Mahd spricht zudem die traditionelle Grünlandbewirtschaftung in Mitteleuropa vom Mittelalter bis 1850, die durch eine frühe Beweidung vom späten Februar bis April, gefolgt von einer nutzungsfreien Phase, der sogenannten Bannzeit, bis zur ersten Mahd im späten Juni/Anfang Juli gekennzeichnet war (Kapfer, 2010). Mögliche negative Einflüsse einer zeitigen Biomasseentfernung auf die Artenvielfalt könnten hierbei durch die Reduktion konkurrenzstarker Gräser kompensiert

werden, welche konkurrenzschwächere Arten fördert. Viele Pflanzenarten zeigen zudem die Fähigkeit kompensierenden Wachstums, die zu Beginn der Vegetationsperiode bei höheren relativen Wachstumsraten erhöht ist (Strauss & Agrawal, 1999). Obwohl die Samenstreu durch einen frühen Schnitt verhindert wird, sind viele Arten in der Lage, reife Samen vor dem zweiten Schnitt im späten Juni oder September zu entwickeln (Kirkham & Tallowin, 1995; Jung pers. Beobachtung). Zudem ist der Großteil der Pflanzenarten langlebig und vermehrt sich regelmäßig durch vegetative Reproduktion (Ellenberg, 1996). Unserer Meinung nach ist aus diesen Gründen keine starke Verringerung der Pflanzenartenvielfalt durch einen früher Schnitt ohne Düngung gefolgt von einer 6-8 wöchigen Nutzungspause zu erwarten. Die Mahdbehandlung T3 mit zweifachem frühem Schnitt wäre unter diesem Aspekt trotz einer tendenziell effektiveren Reduktion der Herbst-Zeitlose nicht geeignet, da hier nur wenige Pflanzenarten reife Samen produzieren können. Die Mahdbehandlung T2 hingegen würde bei leichter Verschiebung des Mahdtermins von Mitte Juni nach hinten, die Samenstreu bei einem Großteil der Pflanzenarten ermöglichen.

Dennoch wird sich eine Bewirtschaftungsänderung auf einige Arten z.B. annuelle oder kurzlebige Arten, die ausschließlich auf generative Reproduktion angewiesen sind (z.B. *Rhinanthus ssp.*) negativ auswirken (Kirkham & Tallowin, 1995; Čop, Vidrih & Hacin, 2009). Die Populationsdichten von Pflanzenarten ohne die Fähigkeit nach einem Schnitt wieder auszutreiben, wie z.B. Orchideen, die zudem einen hohen Naturschutzwert besitzen, werden bei einer frühen Mahd ebenfalls geschwächt. Auf Standorten, wo eine späte Mahd zum Schutz vorkommender Wiesenbrüterarten vorgeschrieben ist, sind die Möglichkeiten eines frühen Schnittes ebenfalls eingeschränkt. In diesen Fällen muss die Gefahr einer Flächenaufgabe oder –intensivierung aufgrund hohen Herbst-Zeitlose Aufkommens sorgfältig gegenüber den negativen Auswirkungen eines frühen Schnittes auf Pflanzen- und Tierarten abgewogen werden.

4.4 Analyse der Gift- und Nährstoffgehalte

4.4.1 Zeitlicher Verlauf der Nährstoffgehalte

Die untersuchten Nährstoffe N, P und K, sowie Stärke werden von wachsenden Pflanzen in hohen Mengen benötigt, da sie eine bedeutende Rolle für das Pflanzenwachstum spielen. So sind zum Beispiel Stickstoff und Phosphor wichtige Bausteine für Zellbestandteile wie Proteine, Lipide und Nukleinsäuren, Kalium reguliert den Wasserhaushalt und Stoffwechsel durch die Aktivierung von Enzymreaktionen (Bergmann & Neubert, 1976) und Stärke liefert den nötigen Kohlenstoff für organische Verbindungen. In *C. autumnale* sind diese Nährstoffe in der Knolle gespeichert: Stärke mit bis zu 50%, Proteine bis zu 22% und Lipide bis 3% (Franková *et al.*, 2003; Franková *et al.*, 2006). Der beobachtete Anstieg der Nährstoffgehalte in den oberirdischen Pflanzenteilen von *C. autumnale* mit fortschreitender Vegetationsperiode (Abb. 27) und die gleichzeitige Abnahme der Nährstoffgehalte in der alten Knolle (Abb. 28) deuten darauf hin, dass die gespeicherten Nährstoffe für den Aufbau neuen Pflanzengewebes mobilisiert wurden. Für diese Interpretation spricht auch die schnellere Abnahme von Speicherstoffen in der alten Knolle zu Beginn der Vegetationsperiode, wenn die Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums erhöht ist. Der geringe Stärkegehalt zu Beginn der Datenaufnahme, resultiert aus der unterirdischen Entwicklung von Blättern und Kapseln im Herbst. Zu dieser Zeit wird der Großteil der Stärke in der alten Knolle verbraucht (Franková *et al.*, 2003). Trotz des hohen Nährstoffbedarfs der Pflanze zu Vegetationsbeginn, beginnt die Bildung neuer Speicherstoffe frühzeitig in der neuen Knolle (Abb. 28). Die Bildung von Reservestoffen konkurriert daher direkt mit der Nährstoffbereitstellung für das Wachstum (Chapin, Schulze & Mooney, 1990). Der frühere Anstieg der Stärkekonzentration verglichen mit den anderen Nährstoffen könnte darin begründet liegen, dass Stärke von der Pflanze selbst

durch Photosynthese produziert wird, während die anderen Nährstoffe durch die Wurzel aufgenommen werden müssen.

4.4.2 Unterschiede zwischen Regionen

Temperatur ist der Hauptfaktor für die phänologische Entwicklung der Pflanzen in der gemäßigten Klimazone (Diekmann, 1996; Wielgolaski, 1999). Aufgrund der geringeren Temperatur in der Region Lahn-Dill Bergland verglichen mit dem Vorderen Vogelsberg, und dem damit verbundenen späteren Einsatz der Vegetationsperiode erwarteten wir eine phänologisch verzögerte Entwicklung der Herbst-Zeitlose in dieser Region. Diese spiegelte sich in einer Verzögerung des Wachstums (Abb. 26) im Lahn-Dill Bergland als auch der zeitlichen Dynamik der Nährstoff- und Alkaloidgehalte wider (Abb. 27 und Abb. 28). So war die mittlere Pflanzengröße zwischen dem 14.4. bis einschließlich 6.5.09 geringer als im Vorderen Vogelsberg. In Übereinstimmung damit, nahmen die Nährstoffgehalte in den oberirdischen Pflanzenteilen und der neuen Knolle im Lahn-Dill Bergland zeitlich etwas verzögert zu, während die Nährstoffgehalte in der alten Knolle etwa später abnahmen. Entsprechend lag auch der Zeitpunkt für das Maximum zwischen Nährstoffgehalt in Blättern und Kapseln zum Nährstoffgehalt in den Knollen im Lahn-Dill Bergland (bis auf Stärke) signifikant später (Abb. 29). Auch der maximale Alkaloidgehalt in Blättern und Kapseln wurde in dieser Region später erreicht (Abb. 30). Dieser Verlauf ist nachvollziehbar, da Colchizin und seine Derivate sekundäre Pflanzenstoffe darstellen, die mit Energieaufwand synthetisiert werden müssen. Diese Energie steht mit zunehmender Pflanzengröße und Photosynthese zur Verfügung.

Neben der Temperatur beeinflussen jedoch auch andere Faktoren die phänologische Entwicklung, wie z. B. Exposition, Nährstoffkonzentration im Boden (Dahlgren, von Zeipel & Ehrlen, 2007) oder genetische Faktoren (McMillan & Pagel, 1958). Die Nährstoffkonzentration im Boden wurde nicht untersucht, aber die Nährstoffkonzentration in der Pflanze können einen Hinweis auf die Verfügbarkeit der Bodennährstoffe liefern (obwohl viele weitere Faktoren die Nährstoffgehalte der Pflanze beeinflussen, Mengel & Kirkby, 1987). Bezüglich der maximalen Nährstoffkonzentrationen von N, P und K in der Herbst-Zeitlose wurde jedoch kein Unterschied zwischen den Regionen gefunden, weshalb davon auszugehen ist, dass sich die Konzentration dieser Nährstoffe im Boden nicht zwischen den Regionen unterscheidet. Zudem stimmen die meisten Autoren mit Caprio (, 1966) darin überein, dass der Einfluss der Temperatur i.A. größer ist als derjenige der Bodenfaktoren.

4.4.3 Zeitpunkt des größten Nährstoffentzugs

Den Ergebnissen der Nährstoffanalyse zufolge lag 2009 der optimale Mahdzeitpunkt zur Entfernung der größtmöglichen Menge an Nährstoffen und damit der stärksten Reduktion der Vitalität von *C. autumnale* am 22. April im Vorderen Vogelsberg und am 6. Mai im Lahn-Dill Bergland. Zu diesem Zeitpunkt besaßen die Pflanzen eine durchschnittliche Größe von 26 cm \pm 3.7 SD (27. April) im Vorderen Vogelsberg und 26 cm \pm 6.0 SD im Lahn-Dill Bergland. Die Kapseln waren gut sichtbar ihre Spitze vom Boden aus gemessen auf einer Höhe von 8-10 cm. Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen des Mahdexperiments überein, wonach ein früher Schnitt Ende April/Anfang Mai die größte Reduktion der Populationswachstumsrate und Verringerung der Vitalität der Herbst-Zeitlose bewirkte (s. Abschnitt 3.1).

4.4.4 Zeitpunkt verringerten Alkaloidgehalts

Eine Verschiebung des ersten Schnittes von Mitte Juni auf einen späteren Zeitpunkt, in dieser Studie 5. Juli, führt zu signifikant reduzierten Alkaloidgehalten in *C. autumnale*. Der Gesamtalkaloidgehalt und die Geschwindigkeit mit der sich dieser reduziert hängen jedoch von der Region ab. So lag trotz signifikanter Abnahme des Alkaloidgehalts vom 15. Juni bis 5. Juli in beiden Regionen, der Alkaloidgehalt im Lahn-Dill Bergland am 5. Juli deutlich höher. Dies resultiert vom zeitlich späteren maximalen Alkaloidgehalt im Lahn-Dill Bergland aufgrund der verzögerten phänologischen Entwicklung von *C. autumnale* in dieser Region, die deutlich sichtbar war: während die Blätter der Herbst-Zeitlose im Vorderen Vogelsberg am 5. Juli bereits gelbbraun und trocken waren, begannen die Gelbfärbung der Blätter im Lahn-Dill Bergland zu diesem Zeitpunkt erst. Neben der verzögerten Entwicklung war die höhere durchschnittliche trockene Biomasse der Herbst-Zeitlosen verantwortlich für den höheren Alkaloidgehalt in dieser Region (Tab. 17). In beiden Regionen war eine Ursache des reduzierten Alkaloidgehalts nach dem 15. Juni in *C. autumnale* die Samenstreu, da sich die Kapseln am 15. Juni öffneten und am 5. Juli die meisten Samen bereits ausgefallen waren. Jedoch waren selbst am Ende der Untersuchungsperiode noch Alkaloide vorhanden. Der Grund liegt hier im hohen Alkaloidgehalt der Samen, wobei Blätter keine Alkaloide mehr enthielten sobald sie braun und trocken waren. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen von Poutaraud & Girardin (, 2002) überein und deutet darauf hin, dass sich der Alkaloidgehalt bei vegetativen Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode auf null reduziert, während dies bei generativen Pflanzen erst nach der Ausstreu aller Samen der Fall ist.

Spät geworbenes Heu findet aufgrund des hohen Rohfaser- und geringen Rohproteingehalts häufig als Pferdefutter Verwendung. Die Lethaldosis (LeD) von Colchicin wird für Tiere mit 1 mg/kg Körpergewicht angegebenen (LeD₅₀ von Colchicin bei Rindern: 1 mg/kg), während starker Durchfall bereits nach Aufnahme von 0,25 mg/kg Körpergewicht auftritt (Althaus, 2011). Es wäre daher interessant den Alkaloidgehalt im Heu bei verschiedenen Dichten der Herbst-Zeitlose abschätzen zu können. Es soll daher darauf hingewiesen werden, dass es nicht möglich ist, die vorhandene Alkaloidkonzentration auf Grundlage der in dieser Studie ermittelten Alkaloidgehalten in *C. autumnale* zu errechnen, da mehrere Faktoren eine Rolle spielen: (i) Standort (Klima, Bodeneigenschaften, Exposition, etc.), (ii) Größe von *C. autumnale* und Status (vegetativ vs. generativ, da letztere aufgrund der Samen einen deutlich höheren Alkaloidgehalt besitzen), (iii) *C. autumnale* Dichte, (iv) *C. autumnale* Verteilung (gleichmäßig oder gehäuft, wobei letzteres in sehr unterschiedlichen Giftgehalten verschiedener Heuballen resultiert) und (v) Biomasseproduktion der Standorte. Selbst mit konkreten Zahlen zum Alkaloidgehalt im Heu ist es schwierig das Vergiftungsrisiko abzuschätzen. Beispielsweise hängt neben dem Alkaloidgehalt das tatsächliche Risiko einer Vergiftung davon ab, wie gut die Tiere *C. autumnale* aussortieren, was i. d. R. erfolgt (Wehsarg, 1929; Stebler & Schröter, 1981, pers. Kommunikation mit Landwirten). Es ist zudem unklar innerhalb welches Zeitraumes Colchicin seine Giftwirkung im Körper entfaltet, da es langsam absorbiert wird und die Symptome der Vergiftung häufig erst nach 1-3 Tagen auftreten (Althaus, 2011). Colchicin akkumuliert sich nicht im Körper und wird über mehrere Tage hinweg ausgeschieden, wobei der ausgeschiedene Anteil tierartenspezifisch ist (Levy, Spino & Read, 1991).

Es ist wünschenswert eine genaue Untersuchung zum durch Herbst-Zeitlose hervorgerufenen Giftgehalt im Heu durchzuführen, die aufgrund der vielen Einflussfaktoren eine sehr umfangreiche Probenahme umfassen sollte.

4.5 Keimungsexperimente

In den Keimungsexperimenten 2008 konnten die Keimungsansprüche der Herbst-Zeitlose bzgl. der Temperaturregime aufgrund der geringen Keimungsraten nicht geklärt werden, was allerdings in der Masterarbeit 2009 gelang. Folgende Erkenntnisse zur Keimungsbiologie wurden jedoch mit den Experimenten 2008 gewonnen: (i) bei der Herbst-Zeitlose liegt keine physikalische Dormanz vor, da die Samenschale wasserdurchlässig ist, (ii) die Herbst-Zeitlose ist ein Dunkelkeimer.

Im Keimungsexperiment der Masterarbeit bestätigte sich erneut, dass die Herbst-Zeitlose nur im Dunkeln keimt. Von den im Keimungsexperiment gewählten Temperaturen zeigte sich die Temperaturabfolge von 8 Wochen Warmstratifikation bei 30/20°C, 25/15°C bzw. 20/10°C gefolgt von mindestens 4 weiteren Wochen bei 20/10°C bzw. 12/7°C als das für die Keimung der Herbst-Zeitlose günstigste Temperaturregime. Mit dieser Temperaturabfolge wurden zuerst die heißen Sommertemperaturen nach der Samenstreu zwischen Mitte Juni und Anfang Juli simuliert, und anschließend die Temperaturen des frühen (20/10°C) bzw. späten Herbstes (12/7°C).

Die Samen keimten unter 20/10°C gleich gut, unabhängig davon, ob eine 8-wöchige Vorbehandlung mit bei 30/20°C, 25/15°C oder 20/10°C erfolgte. Fand nach einer 8-wöchigen Warmstratifikation eine Temperaturabsenkung auf 12/7°C statt, so setzte die Keimung durchschnittlich schneller ein und erfolgte für den Großteil der Samen innerhalb von sechs Wochen. Ab der achten Woche erreichte sie ein Plateau, d. h. es fand kaum weitere Keimung statt. Mit einer nur geringen oder keinen Temperaturabsenkung (bei 20/10°C) verlief die Keimung der Samen viel weniger schlagartig und sukzessiver, und erreichte kein Plateau. Temperaturabsenkung auf eine niedrige Temperatur scheint also die Keimung zu stimulieren, und gleichzeitig mit längerer Zeiteinwirkung eine erneute Dormanz auszulösen (Plateau). Biologisch gesehen signalisiert die niedrige Temperatur dem Same den Spätherbst und damit verbundenen baldigen Winterbeginn, der eine Keimung unterbindet. Durch das nur kurze Zeitfenster bis zum Winter, könnte es zur Keimung vieler Samen kommen, da „die Zeit drängt“. Entsprechend ist eine Temperatur von 20/10°C ein Signal für den kommenden Winter, so dass die Samen hier potentiell einen längeren Zeitraum haben um zu keimen, und diesen möglicherweise nutzen.

Erfolgte eine Temperaturabsenkung auf 12/7°C (oder 15/5°C) bereits nach 4 Wochen Warmstratifikation (egal bei welcher Temperatur), so war die Keimungsrate sehr gering. Daher scheint eine achtwöchige Temperatur von mindestens 20/10°C nötig, um die Samendormanz zu brechen.

Die Behandlungssequenz die zur hohen Keimungsrate führte (warme Temperatur, weniger warme Temperatur oder konstant warme Temperatur) stimmt mit den natürlichen Temperaturen überein, denen der Herbst-Zeitlose Samen vor der Keimung im Herbst ausgesetzt ist (Irmisch, 1856a; Kirchner, Loew & Schräter, 1934). Die erforderlichen Temperaturen können als morphologische oder morphophysiologische Dormanz der Herbst-Zeitlose-Samen interpretiert werden. Bei einer morphologischen Dormanz ist der Embryo noch zu klein und muss wachsen. Diese Form der Dormanz findet man bei vielen Liliaceae-Arten, die einen kleinen linearen Embryo besitzen (Baskin and Baskin 2001), wie dies auch bei Herbst-Zeitlose-Samen der Fall ist. Lineare Embryonen besitzen noch nicht die nötige Größe, um den Samen zu durchstoßen. Bevor jedoch das Embryowachstum beginnt, muss häufig noch eine physiologische Dormanz gebrochen werden, was bei Pflanzen, welche im späten Frühjahr aussamen, durch die warmen Sommertemperaturen bewirkt wird (Baskin and Baskin 2001). Nach Baskin und Baskin (2001) ist in der überwiegenden Anzahl der Fälle eine morphologische mit einer physiologischen Dormanz assoziiert. Dabei kann die Aufhebung der einzelnen Dormanzmechanismen (physiologisch und morphologisch) sowohl durch die gleichen Umweltbedingungen erfolgen als auch durch unterschiedliche (Baskin und Baskin

2001). Ob bei der Herbst-Zeitlose eine ausschließlich morphologische oder eine morphologisch-physiologische Dormanz vorliegt, lässt sich daher nicht abschließend sagen, da sowohl die Änderung der Wechseltemperaturen, als auch die konstante Wechseltemperatur von 20/10°C eine Keimung bewirkte. Um den Dormanztyp zweifelsfrei zu klären, müssten Keimungsexperimente durchgeführt werden, die eine Veränderung der Embryogröße dokumentieren. Setzt das Embryowachstum sofort nach Beginn des Versuchsansatzes ein, liegt eine morphologische Dormanz vor, setzt es erst nach zeitlicher Verzögerung ein, eine morphologisch-physiologische.

Die höchsten Keimungsraten im Experiment wurden bei einer Desinfektion der Samen erreicht. Dabei war der Anteil der gekeimten Samen bei längerer Desinfektionsdauer höher, als bei kürzerer. Bereits andere Wissenschaftler haben gezeigt, dass Desinfektionsmittel den physiologischen Zustand des Samens beeinflussen können und damit die Keimungsansprüche verändern. So beobachtete Jaehn (1984) eine Keimungsrate von 21% im Klimaschrank nach Einsatz von Schwefelsäure. Muntean et al. (1983) verzeichneten Keimungsraten zwischen 40% und 61%, wenn sie die Samen vor der Aussaat im Freien mit 1% KNO₃, 10% KOH, 10% H₂SO₄ oder 1% Thioharnstoff behandelten. Die Wirkung der Desinfektion beruht einerseits auf der Verminderung der Anzahl von Pilzsporen, und zweitens auf einer möglichen Verringerung keimungshemmender Substanzen in der Samenschale.

Weitere Ergebnisse und eine ausführliche Diskussion der hier vorgestellten Ergebnisse finden sich in der Masterarbeit von Markus Kasnitz (, 2010).

4.6 Vergrabungsexperiment

Die größte Anzahl der Herbst-Zeitlose-Samen keimten im Herbst 2008, ¼ Jahr nach der Aussaat bzw. Vergrabung. Einige wenige Samen keimten im darauffolgenden Herbst 2009, danach fand praktisch keine weitere Keimung statt. In keinem der Frühjahre 2009-11 konnten - bis auf eine Ausnahme - Keimlinge beobachtet werden. Die Herbst-Zeitlose ist daher wie bereits von anderen Autoren dokumentiert, als Herbst-Keimer einzuordnen (Irmisch, 1856b; Kirchner, Loew & Schräter, 1934). Für eine Beurteilung des Samenbanktyps, ist das Überdauern der Samen im Boden (nicht auf der Bodenoberfläche) von Bedeutung. Der über die Tiefen 2 und 7 cm sowie die beiden Standorte gemittelte Anteil lebender Samen betrug im November 2008 26,3%, im Oktober 2009 1,6%, im Mai 2010 nur noch 0,4%, im November 2010 0,2% und im Mai 2011 0,3% und nahm damit kontinuierlich ab. Ein weiteres Vergrabungsexperiment auf sieben Untersuchungsstandorten in Österreich (die Samen stammten vom jeweiligen Standort), 27.8% ± 20.9 SD wurden Samen ($n = 35$, 1750 Samen) nach 2 Jahren Vergrabung auf Basis des Nageltests als lebend klassifiziert (Jung *et al.*, 2011). Rosenthal (, 1963) dokumentierte in Feldversuchen mit *C. autumnale* Keimungsraten von jeweils 17,2% und 16,5% im ersten und zweiten Jahr nach der Aussaat (also nach 4 Monaten bzw. 1 Jahr und 4 Monaten), im dritten Jahr ca. 5%, im vierten und fünften Jahr immerhin noch 1-2%. Die höheren Keimungsraten in Rosenthals (, 1963) Studie im Vergleich zur unsrigen, die gleichzeitig eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen im Boden dokumentieren, mag in der Methodik der Untersuchung begründet sein. So säte Rosenthal die Samen einzeln in Schalen aus, während wir die Samen zu je 50 in Säckchen vergruben. Wurde in einem Säckchen ein Same von Pilzen befallen, so war die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Pilzbefall auf die anderen Samen übergriff und zu deren Absterben führte, was bei Rosenthal vermieden wurde. Diese Begründung kann allerdings nicht für das Vergrabungsexperiment in Österreich dienen, da dort die Samen ebenfalls zu mehreren zusammen vergraben wurden.

Folgende Samenbankklassen sind nach Thompson et al. (, 1997) auf Basis des Überdauerns von Samen einer Art im Boden definiert: (a) transient: Samen persistieren <1 Jahr; (b) short-term persistent: Samen persistieren >1 Jahr aber <5 Jahre nach der Samenstreu; und (c) long-

term persistent: Samen überdauern länger als 5 Jahre im Boden. Nach Thompson et al. (1997) ist die Samenbank der Herbst-Zeitlose als transient einzustufen. Rosenthals (1963) und unser Ergebnis widersprechen jedoch dieser Klassifikation. Thompson et al. (1997) berufen sich auf zwei Studien: Poschlod and Jackel (1993) und von Borstel (1974), welche die Klassifikation der Samenbank aufgrund von Samenbankproben vornahmen, deren Samen sie anschließend zum Auskeimen brachten. Demnach war die Samenbank einer in der Vegetation aber nicht in der Bodenprobe (Samenbank) vorhandene Pflanzenart transient. Das Nicht-Auffinden von Samen bestimmter Arten, kann bei dieser Methode aber aus zwei Fehlerquellen resultieren: 1) in der Bodenprobe waren keine Samen der Art enthalten, oder 2) die Keimungsbedingungen waren für die Art nicht erfüllt. Da die Herbst-Zeitlose in den Untersuchungsflächen beider Studien mit einer sehr geringen Dichte auftrat, und es nicht trivial ist die Keimungsansprüche zu erfüllen, ist die Wahrscheinlichkeit, dass einer der Fehler oder beide Fehler eintreten, gut möglich.

Wir schlagen auf Basis unserer Studie und der anderen genannten Untersuchungen die Klassifizierung der Samenbank der Herbst-Zeitlose als short-term persistent vor.

4.7 Einfluss von Standortfaktoren und extensiver Nutzung auf die Herbst-Zeitlose

In allen untersuchten Regionen erfolgte vom ersten zum zweiten Zeitpunkt der Vegetationsaufnahmen eine Intensivierung der Bewirtschaftung, erkennbar an der erhöhten Stickstoffzahl und der verringerten Pflanzenartenzahl.

In Ohmniederung und Vorderem Vogelsberg erfolgte eine intensive Bewirtschaftung nach Ende des Zweiten Weltkrieges (Raehse, 1999). Erst seit den 80ern fand in beiden Regionen eine Extensivierung statt, wobei die Nutzungsintensität in den 1990er Jahren immer noch höher war als die von 1950 (Raehse, 1999). Die besseren Standorte wurden 1990 fünf Mal pro Jahr gemäht, mit erstem Schnitt Anfang Mai und anschließend flächendeckender Volldüngung (Raehse, 1999).

Im Licher Becken fand auch nach 1976 noch eine Bewirtschaftungsintensivierung statt (Mattig & Segschneider, 1989).

Mit der Intensivierung einher ging ein Rückgang von *C. autumnale* in Ohmniederung und Vorderem Vogelsberg sowohl in der Häufigkeit des Auftretens als auch der Abundanz. Im Gegensatz dazu nahm die Art in ihrer Abundanz im Licher Becken zu, in der Häufigkeit jedoch ebenfalls ab. Die Ausbreitung der Pflanze fand dabei vorwiegend auf Flächen statt, wo sie bereits vorhanden war: von 46% ($n = 80$) der Flächen, auf denen eine Zunahme erfolgte, waren nur 8% vorher nicht von *C. autumnale* besiedelt gewesen. Die zumindest teilweise Ausbreitung von *C. autumnale* im Licher Becken im Gegensatz zu den anderen Regionen lässt sich evtl. mit einer in dieser Region weniger starken Bewirtschaftungsintensivierung erklären, auf die die etwas geringere mittlere N-Zahl in den neuen Aufnahmen hindeutet (Tab. 19). Allgemein ließ sich eine Abnahme von *C. autumnale* bei einer Stickstoffzahl > 6 und Feuchtezahl $> 6,5$ beobachten.

Die zunehmende Extensivierung von Grünlandflächen mit Hilfe von Agrarumweltprogrammen seit den 1990ern wird als Grund für die in den letzten Jahren beobachtete lokale Wiederausbreitung der Herbst-Zeitlose angeführt (Briemle, 2003). Die Ergebnisse dieser Studie können eine Wiederausbreitung nach 1990 zumindest für die 3 untersuchten Regionen und die Häufigkeit des Auftretens von *C. autumnale* nicht bestätigen. Im Gegenteil, der Anteil der Flächen mit Herbst-Zeitlose hat in Ohmniederung und Vogelberg weiter abgenommen. Im Licher Becken fand nur eine sehr geringe Zunahme von 2,5% statt. Die Frage, inwiefern die Dichteentwicklung der Herbst-Zeitlose tatsächlich mit einer extensiven Bewirtschaftung korreliert, konnte dabei nicht exakt untersucht werden, da konkrete Bewirtschaftungsdaten seit 1990 nicht vorlagen. Der Anteil der

Untersuchungsflächen, welche in Schutzgebieten lagen oder im Agrarumweltprogramm (AUP) HIAP bzw. HELP angemeldet waren, geben jedoch einen Hinweis, dass im Licher Becken in den letzten Jahren zumindest auf etwa 50% der Flächen extensiv gewirtschaftet wurde (siehe Daten in Schauss, 2011). In der Ohmniederung konnten keine Untersuchungsflächen Schutzgebieten oder AUP zugeordnet werden, im Vorderen Vogelsberg lag der Anteil bei nur etwa 5% (Schauss, 2011). Diese Daten sind ein möglicher Hinweis darauf, dass eine intensive Bewirtschaftung die Herbst-Zeitlose komplett verdrängt und eine extensive Bewirtschaftung zumindest zur Erhaltung ihres Vorkommens beiträgt. Einen Hinweis auf eine Ausbreitung von *C. autumnale* im Zusammenhang einer extensiven Bewirtschaftung liefern die Daten nicht. Um klare Schlussfolgerungen zu ziehen, müssten die Nutzungsdaten aller Flächen herangezogen werden. Um die Frage zu klären, ob eine Extensivierung die Ausbreitung der Herbst-Zeitlose zur Folge hat, müsste im Licher Becken zudem die Abundanz von *C. autumnale* herangezogen werden.

Die Diplomarbeit und vorliegende Auswertungen konnten den Zusammenhang zwischen Extensivierung und Ausbreitung der Herbst-Zeitlose zwar nicht klären, aber liefern erste Hinweise dazu, sowie einen konkreten Ansatz zur Untersuchung dieser Fragestellung. Es wäre interessant, mit Hilfe historischer Vegetationsaufnahmen diesen Sachverhalt noch einmal für mehrere Regionen zu untersuchen.

5 Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern

Die Zusammenarbeit mit den Landwirten und Behörden verlief über alle Jahre unkompliziert. Für die Diplomarbeit von Caroline Schauss, erklärten sich die Ämter für ländlichen Raum bereit, Nutzungsdaten zu Flächen, die im HIAP oder HELP Programm enthalten sind, zur Verfügung zu stellen. Im Frühjahr 2010 wandte sich das Regierungspräsidium Giessen an uns, mit der Anfrage, ob und welche Bekämpfungsmaßnahmen für die Herbst-Zeitlose wir zum jetzigen Zeitpunkt empfehlen könnten. Hintergrund der Anfrage waren Probleme eines Landwirts mit hohen Herbst-Zeitlose-Dichten, deren Zurückdrängung er durch eine Nutzungsintensivierung erreichen wollte. Damit verbunden wäre ein Ausstieg aus dem HELP. Gemeinsam mit dem Regierungspräsidium, dem Landrat des Lahn-Dill-Kreises (Abteilung für den ländlichen Raum), der Universität Gießen, sowie dem Landwirt, wurde vereinbart, dass die Flächen mit Herbst-Zeitlose 2010 bereits Ende April gemulcht werden können, und wir auf fünf der früher gemähten Flächen die Auswirkung der vorgezogenen Mahd auf die Herbst-Zeitlose, als auch auf die Begleitvegetation dokumentieren. Ein wissenschaftliches Monitoring erfolgte auch im Frühjahr 2011. Leider brachte der einmalige frühe Schnitt keinen durchschlagenden Erfolg bezüglich einer Reduktion der Herbst-Zeitlose. Ein Grund dafür war, dass die Mahd zu zeitig erfolgt war, da der Landwirt den Ertragsverlust durch Mulchen des Aufwuchses möglichst gering halten wollte. Diese Erfahrung zeigte einerseits wie wichtig eine Mindesthöhe der Herbst-Zeitlose für eine ausreichende Entfernung der Biomasse und damit Schädigung der Pflanze ist und andererseits welche Konflikte aus Sicht des Landwirts mit einer Bewirtschaftungsänderung zur Bekämpfung der Pflanze verbunden sind. Auf eine Vereinbarung zwischen o.g. Landwirt und Landrat des Lahn-Dill-Kreises hin erfolgte 2012 auf den 2011 gemulchten Flächen das Ausreißen der Herbst-Zeitlose per Hand, welches auch 2013 durchgeführt werden soll. Die Professur für Landschaftsökologie der Universität Gießen wird diesen Versuch ebenfalls wissenschaftlich begleiten.

6 Öffentlichkeitsarbeit

Am 17.12.2008 fand an der Professur für Landschaftsökologie in Gießen ein Kolloquium zum Thema „Schön – aber giftig: Die Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale*) als Problemart in landwirtschaftlich genutztem Grünland“ statt. In diesem Rahmen wurden Kontakte mit Herr Dr. Martin Elsässer vom Landwirtschaftlichen Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW Aulendorf) bei Ulm, und Frau Dipl.-Ing. Silvia Winter vom Institut für Integrative Naturschutzforschung der Universität für Bodenkultur in Wien geknüpft, die sich in eigenen Forschungsprojekten ebenfalls mit der Regulierung der Herbst-Zeitlose befassen. Diese Kontakte wurden über die Projektlaufzeit hinweg intensiviert und ausgebaut. Es entstand ein gemeinsamer Review-Artikel zur Herbst-Zeitlose, der 2011 in der Zeitschrift „Perspectives in plant ecology, evolution, and systematics“ innerhalb der Reihe „The biological flora of Central Europe“ veröffentlicht wurde. Gemeinsam mit Silvia Winter und der Arbeitsgruppe in Wien wurde im Juni 2012 ein weiteres Manuskript eingereicht: „*Colchicum autumnale* - controlling a toxic grassland plant to maintain grassland biodiversity“. Mit diesem umfangreichen Artikel werden die populationsbiologischen Ergebnisse der Herbst-Zeitlose unter verschiedenen Mahdregimen, die über vier Jahre in Österreich und Deutschland durchgeführt wurden veröffentlicht.

Die Auswirkung der Mahdregime auf die Herbst-Zeitlose wurden auf verschiedenen Veranstaltungen in Form von Postern oder Vorträgen präsentiert:

- | | | |
|----------------------|--|---|
| 28.
31.08.2011 | – 16 th Symposium European Grassland Federation 'Grassland farming and land management systems in mountainous regions' | Raumberg-Gumpenstein, Österreich |
| | • Vortrag: "A physiological approach to reduce densities of <i>Colchicum autumnale</i> in extensively managed grasslands" | |
| 29.08.
02.09.2010 | – 23rd General Meeting of the European Grassland Federation 'Grassland in a Changing World' | Universität Kiel |
| | • Vortrag: "Regulation of meadow saffron (<i>Colchicum autumnale</i> L.) in extensively managed grasslands" | |
| 18.
19.03.2010 | – 'Ökologische Renaturierung zusammen mit der Landwirtschaft', Jahrestagung der Arbeitskreise Renaturierungsökologie und Agrarökologie | Universität Kassel |
| | • Poster: "Regulation der Herbst-Zeitlose - gefährdet ihre Ausbreitung die extensive Grünlandbewirtschaftung auf regionaler Ebene?" | |
| 30.06.2009 | Workshop 'Extensivgrünlandbewirtschaftung' | Partnerbetrieb Naturschutz Rheinland-Pfalz, Elkenroth |
| | • Poster: "Regulation der Herbst-Zeitlose in extensiv bewirtschaftetem Grünland" | |

Die Erstellung eines Faltblattes zur Bekämpfung der Herbst-Zeitlose, welches sich in erster Linie an Landwirte, aber auch Naturschutz- und Landwirtschaftsämter sowie andere Interessierte richtet, ist in Bearbeitung.

7 Veröffentlichungen

- Winter, S., Jung, L.S., Eckstein, R.L., Otte, A., Donath, T.W., & Kriechbaum, M. (eingereicht) *Colchicum autumnale* - controlling a toxic grassland plant to maintain grassland biodiversity. *Journal of Applied Ecology*.
- Jung, L.S., Eckstein, R.L., Otte, A., & Donath, T.W. (2012) Above- and below-ground nutrient and alkaloid dynamics in *Colchicum autumnale*: optimal mowing dates for population control or low hay toxicity. *Weed Research*, **52**, 348–357.
- Jung, L.S., Eckstein, R.L., Donath, T.W., & Otte, A. (2011) A physiological approach to reduce population densities of *Colchicum autumnale* L. in extensively managed grasslands. In 16th EGF Symposium 'Grassland farming and land management systems in mountainous regions' (eds E.M. Pötsch, B. Krautzer & A. Hopkins), Vol. 16, pp. 67-69. Wallig Ennstaler Druckerei und Verlag Ges.m.b.H., Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria.
- Jung L.S. & Winter S., Eckstein R.L., Kriechbaum M., Karrer G., Elsässer M., Donath T.W., Otte A. 2011: Biological flora of Central Europe: *Colchicum autumnale* L. *Perspectives of Plant Ecology, Evolution and Systematics* 13: 227-244.
- Jung, L.S., Winter, S., Kriechbaum, M., Eckstein, R.L., Donath, T.W., & Otte, A. (2010) Regulation of meadow saffron (*Colchicum autumnale* L.) in extensively managed grasslands. In 23rd General Meeting of the European Grassland Federation 'Grassland in a Changing World' (eds H. Schnyder, J. Isselstein, F. Taube, K. Auerswald, J. Schellberg, M. Wachendorf, A. Herrmann, M. Gierus, N. Wrage & A. Hopkins), Vol. 15, pp. 660-662. Mecke Druck und Verlag, Kiel, Germany.

8 Fazit

Unsere verschiedenen Untersuchungen zeigen, dass die effektivste Zurückdrängung der Herbst-Zeitlose durch einen frühen Schnitt Ende April/Anfang Mai (abhängig vom Naturraum und der phänologischen Entwicklung) bewirkt wird. Die Herbst-Zeitlose sollte dabei etwa 26 cm hoch sein, denn das ist der Zeitpunkt, zu dem der Pflanze die größte Menge an Ressourcen entzogen werden und der größte Vitalitätsverlust eintritt. Die Folge sind verringertes Wachstum und geringere Überlebenswahrscheinlichkeit, sowie die generative und vegetative Reproduktion der Pflanzen. Des Weiteren vermindern sich Populationswachstumsrate und Populationsdichte der Herbst-Zeitlose. Ende April/Anfang Mai ist der Biomassertrag des Grünlands noch sehr gering (ca. 11 dt/ha auf den Untersuchungsflächen, Abb. 23), der Alkaloidgehalt von *C. autumnale* jedoch recht hoch (Abb. 30), was eine Ernte und Verfütterung des Grünlandschnitts für den Landwirt unattraktiv macht. Als finanziell günstigste Bewirtschaftungsmethode wird daher für einen frühen Schnitt ein Mulchgang vorgeschlagen. Dabei ist es wichtig, dass die Vegetation sehr klein gehäckselt wird, um eine rasche Mineralisierung der Mulchschicht zu ermöglichen, damit lichtbedürftige Arten nicht unterdrückt werden. Der Nachteil dieser Bewirtschaftungsvariante ist ein Verlust von etwa 20% des Biomassertrags pro Jahr. Um einen ausreichenden zweiten Aufwuchs zu gewährleisten und die Samenbildung der Begleitflora zu ermöglichen, sollte der zweite Schnitt zur Futternutzung auf Ende Juni oder Mitte Juli verschoben werden. Obwohl ein wiederholter früher Schnitt zur Zurückdrängung bestimmter naturschutzfachlich wertvoller Pflanzenarten wie Orchideen oder Annuellen führt, ist unseren Ergebnissen und einigen

anderen Studien zufolge mit keinem drastischen Einbruch der Pflanzenartenvielfalt zu rechnen. Die Durchführung eines frühen Schnittes sollte jedoch abhängig vom Standort und Arteninventar in enger Kooperation und Abstimmung mit der Naturschutzverwaltung entschieden werden. Um die Auswirkungen auf die Pflanzenartenvielfalt korrekt abzuschätzen, ist ein längerer Studienzeitraum erforderlich.

Dort wo die Bewirtschaftung von Grünland mit hohen Herbst-Zeitlose-Dichten Auflagen aus Agrarumweltprogrammen (z.B. HIAP in Hessen) oder Schutzgebietsverordnungen unterliegt, die einen späten Mahdtermin vorschreiben, ist Flexibilität von Naturschutzbehörden und Landwirtschaftsämtern erforderlich. Es wird vorgeschlagen, dem Landwirt eine finanzielle Entschädigung für den durch einen frühen Mulchgang zusätzlichen Aufwand und Ertragsverlust z. B. in Form einer Ausgleichszulage zu zahlen. Nur auf diese Weise kann eine angepasste Bewirtschaftung naturschutzfachlich wertvollen Grünlands mit problematischem Herbst-Zeitlose Aufkommen zur langfristigen Erhaltung der Artenvielfalt sichergestellt werden. Ab einer Dichte der Herbst-Zeitlose, wo Einzelbekämpfungsmaßnahmen logistisch möglich sind, kann statt der frühen Mahd das Abreißen der Blätter Ende April/Anfang Mai erfolgen, um die Pflanze zurückzudrängen. Dabei sollte der Boden feucht sein, damit die Blätter möglichst tief abgerissen werden. Da in der Literatur eine Dichte von 1 Herbst-Zeitlose/m² als Schwellenwert zur Bekämpfung der Pflanze genannt wird, ist das Ziel, die Pflanze auf eine maximale Dichte von < 1 Pflanze/m² zurückzudrängen, bevor Bekämpfungsmaßnahmen eingestellt werden können. Solange jedoch Herbst-Zeitlose-Pflanzen auf der Fläche vorhanden sind, besteht die Gefahr der erneuten Ausbreitung. Daher ist es sinnvoll, die Herbst-Zeitlose möglichst komplett von der bewirtschafteten Fläche zu entfernen, bzw. nach Einstellung der Bekämpfungsmaßnahmen eine erneute Ausbreitung der Pflanze genau zu beobachten, und sobald wieder erforderlich zu reagieren. Nicht geklärt ist die Frage, wie lange eine vorgezogene Mahd bzw. frühes Ausreißen der Herbst-Zeitlose nötig sind, um sie auf < 1 Pflanze/m² zurückzudrängen – bei einer durchschnittlichen Dichte von 20-50 Pflanzen/m² reicht eine 3jährige frühe Mahd nicht aus, um dieses Ziel zu erreichen.

Anstelle einer Reduktion der Herbst-Zeitlose Populationsdichten zur Verminderung des Giftgehalts im Heu, kann die Verschiebung des Mahdtermins auf Anfang/Mitte Juli eine alternative Lösung darstellen. Wenn die Blätter der Herbst-Zeitlose braun und vertrocknet sind ist der Alkaloidgehalt der oberirdischen Pflanzenteile mit Ausnahme der Samen stark verringert bis verschwunden; in den Samen liegen jedoch hohe Gehalte vor. Wie hoch der Alkaloidgehalt im Heu dann tatsächlich ist und ob er gering genug ist, um Intoxikationen bei Tieren durch Aufnahme von Futter mit Herbst-Zeitlose auszuschließen, lässt sich jedoch nicht abschließend sagen. Dazu sind weitere Studien nötig. Zudem wird die Herbst-Zeitlose-Dichte durch diesen Lösungsansatz nicht verringert. Bei den sehr hohen Dichten, wie auf den Untersuchungsflächen dieser Studie vorhanden, ist mit einer weiteren Zunahme der Populationsdichte der Herbst-Zeitlose kaum bzw. nicht zu rechnen, da hier vermutlich bereits die maximale Populationsdichte erreicht ist.

Im Rahmen des Projekts konnten neue Erkenntnisse zu bisher ungeklärten Aspekten der Biologie der Herbst-Zeitlose erlangt werden. Zum ersten Mal wurden die Keimungsansprüche der Herbst-Zeitlose detailliert untersucht und belegt. Sie ist ein Dunkelkeimer. Bei den Samen der Pflanze liegt eine morphologische oder morphophysiologische Dormanz vor, welche durch sehr warme, sommerliche Temperaturen gebrochen wird (etwa 8 Wochen bei z.B. 25/15 °C). Durch nachfolgendes leichtes Absenken der Temperatur auf Herbsttemperaturen (20/10°C) wird die Keimung ausgelöst. Sie findet auch ohne Temperaturabsenkung statt, jedoch langsamer. Eine Desinfektion der Samen bewirkt eine starke Erhöhung des Anteils an Keimlingen, entweder durch eine Reduktion von Hemmstoffen in der Samenschale, oder die verminderte Zerstörung durch Pilze. Die Samenbank der Herbst-Zeitlose ist short-term persistent. Angaben zur Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen schwanken jedoch stark: zwischen 0,3 und 30% nach 2 Jahren Überdauerung im Boden. Da der Großteil der Samen

jedoch in den ersten zwei Jahren nach der Samenstreu keimt (Rosenthal, 1963; unsere Studien) ist davon auszugehen, dass die Samenbank einen minimalen bis keinen Einfluss auf die Bekämpfung der Herbst-Zeitlose ausübt.

Literaturverzeichnis

- Althaus, F.R. (2011) *Colchicum autumnale* - Veterinärtoxikologie., Vol. 18 February 2011. Available from URL:
http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?perldocs/toxsyqry.htm?inhalt_c.htm.
- Antonidaki-Giatromanolaki, A., Dragassaki, M., Papadimitriou, M., & Vlahos, I. (2008) Effects of stratification, temperature and light on seed germination of *Colchicum macrophyllum* B. L. Burtt. *Propagation of Ornamental Plants*, **8**, 105-107.
- Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (2001) *Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, Academic Press, San Diego.
- Bergmann, W. & Neubert, P. (1976) *Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse*, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Bonferroni, C.E. (1936) Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità. *Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze*, 3-62.
- Bornemann, F. (1920) *Die wichtigsten landwirtschaftlichen Unkräuter, ihre Lebensgeschichte und Methoden ihrer Bekämpfung*, 2., verb. Aufl. edn. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin.
- Box, G.E.P. & Cox, D.R. (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* **26**, 211-252.
- Briemle, G. (2003) Giftpflanzen auf dem Grünland auf dem Vormarsch. *Rheinische Bauernzeitung*, **17**, 28-31.
- Caprio, J.M. (1966) A statistical procedure for determining the association between weather and non-measurement biological data. *Agric Meteorol*, **3**, 55-72.
- Caswell, H. (2001) *Matrix population models*, 2nd ed. edn. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- CE Instruments (1996) Instruction Manual: EA 1110 Elemental Analyzers. P/N 317.082.10, Rev. W06 0596mv. Fisons Instruments S.p.A., Rodano-Milan, Italy.
- Chapin, F.S., Schulze, E.D., & Mooney, H.A. (1990) The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **21**, 423-447.
- Čop, J., Vidrih, M., & Hacin, J. (2009) Influence of cutting regime and fertilizer application on the botanical composition, yield and nutritive value of herbage of wet grasslands in Central Europe. *Grass and Forage Science*, **64**, 454-465.
- Dahlgren, J.P., von Zeipel, H., & Ehrlen, J. (2007) Variation in vegetative and flowering phenology in a forest herb caused by environmental heterogeneity. *American Journal of Botany*, **94**, 1570-1576.
- Deutscher Wetterdienst (1981) *Das Klima von Hessen - Standortkarte im Rahmen der Agrarstrukturellen Vorplanung*, Der hessische Minister für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden.
- Diekmann, M. (1996) Relationship between flowering phenology of perennial herbs and meteorological data in deciduous forests of Sweden. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*, **74**, 528-537.
- Ellenberg, H. (1996) *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*, 5 edn. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H. (2009) *Vegetation Ecology of Central Europe*, Cambridge University Press, Cambridge.
- European Commission (1992/1995) Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. . As amended by the Accession Act of Austria, Finland and Sweden. (EC Official Journal L 1, 1.1, 1995, p. 135). EC. , Brussels.
- Franková, L., Cibirová, K., Bóka, K., Gašparíková, O., & Pšenák, M. (2006) Protein reutilisation in corms of *Colchicum autumnale*. *Biologia*, **61**, 97-102.

- Franková, L., Komjáthyová, H., Bóka, K., Gascaronparíková, O., & Pscaronenák, M. (2003) Biochemical and physiological aspects of developmental cycle of *Colchicum autumnale* L. *Biologia Plantarum*, **47**, 509-516.
- Gericke, S. & Kurmies, B. (1952) Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. (Colorimetric determination of phosphoric acid by ammonium vanadate molybdate and its application in plant analysis). *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.*, **59**, 235-247.
- Green, B.H. (1990) Agricultural intensification and the loss of habitat, species and amenity in british grasslands - A review of historical change and assessment of future-prospects. *Grass and Forage Science*, **45**, 365-372.
- Hansen, M.J. (2007) Evaluating management strategies and recovery of an invasive grass (*Agropyron cristatum*) using matrix population models. *Biological Conservation*, **140**, 91-99.
- Hawryzki, A.R., Allen, G.A., & Antos, J.A. (2011) Prolonged dormancy in the geophyte *Allium amplexans* on Vancouver Island. *Botany-Botanique*, **89**, 737-744.
- Hill, M.O. & Gauch, H.G. (1980) Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, **42**, 47-58.
- Hood, G.M. (2008) PopTools version 3.0.2. <http://www.cse.csiro.au/poptools> (last access 10.2.2009). CSIRO, Canberra, Australia.
- Hüls, J., Otte, A., & Eckstein, R.L. (2007) Population life-cycle and stand structure in dense and open stands of the introduced tall herb *Heracleum mantegazzianum*. *Biological Invasions*, **9**, 799-811.
- Irmisch, T. (1856a) Morphologische Beobachtungen an einige Gewächsen aus den natürlichen Familien der Melanthaceen, Irideen und Aroideen. *Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Sachsen und Thüringen in Halle*, **1**, 129-150.
- Irmisch, T. (1856b) Morphologische Beobachtungen an einigen Gewächsen aus den natürlichen Familien der Melanthaceen, Irideen und Aroideen. *Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Sachsen und Thüringen in Halle*, **1**, 129-150.
- Jaehn, F. (1984) *Biologie et morphogénèse du colchique (Colchicum autumnale L.)*. Contribution à l'étude de ses possibilités de micropropagation in vitro. PhD, Université Louis Pasteur Strasbourg, Strasbourg.
- Jung, L.S., Eckstein, R.L., Otte, A., & Donath, T.W. (2012) Above- and below-ground nutrient and alkaloid dynamics in *Colchicum autumnale*: optimal mowing dates for population control or low hay toxicity. *Weed Research*, **52**, 348-357.
- Jung, L.S., Winter, S., Eckstein, R.L., Kriechbaum, M., Karrer, G., Welk, E., Elsasser, M., Donath, T.W., & Otte, A. (2011) *Colchicum autumnale* L. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, **13**, 227-244.
- Jung, L.S., Winter, S., Kriechbaum, M., Eckstein, R.L., Donath, T.W., & Otte, A. (2010) Regulation of meadow saffron (*Colchicum autumnale* L.) in extensively managed grasslands. In 23rd General Meeting of the European Grassland Federation 'Grassland in a Changing World' (eds H. Schnyder, J. Isselstein, F. Taube, K. Auerswald, J. Schellberg, M. Wachendorf, A. Herrmann, M. Gierus, N. Wrage & A. Hopkins), Vol. 15, pp. 660-662. Mecke Druck und Verlag, Kiel, Germany.
- Kapfer, A. (2010) Beitrag zu Geschichte des Grünlandes Mitteleuropas. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, **42**, 133-140.
- Kasnitz, M. (2010) *Untersuchungen zur Keimungsbiologie der Herbszeitlose (Colchicum autumnale L.)*. Masterthesis, Justus-Liebig University, Giessen.
- Kirchner, v.O., Loew, E., & Schräter, C. (1934) *Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas. Spezielle Ökologie der Blütenpflanzen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*, Verlagsbuchhandlung Eugen Ulmer, Stuttgart.

- Kirkham, F.W. & Tallowin, J.R.B. (1995) The influence of cutting date and previous fertilizer treatment on the productivity and botanical composition of species-rich hay meadows on the Somerset Levels. *Grass and Forage Science*, **50**, 365-377.
- Körner, A. & Kohn, S. (2005) Development and optimization of a stability indicating method on a monolithic reversed-phase column for Colchicum dry extract. *Journal of Chromatography A*, **1089**, 148-157.
- Lennartsson, T. & Oostermeijer, J.G.B. (2001) Demographic variation and population viability in *Gentianella campestris*: Effects of grassland management and environmental stochasticity. *Journal of Ecology*, **89**, 451-463.
- Levy, M., Spino, M., & Read, S.E. (1991) Colchicine - A state-of-the-art review. *Pharmacotherapy*, **11**, 196-211.
- Mattig, T. & Segschneider, N. (1989) *Vegetationskundliche Beurteilung von Hochwasserrückhaltebecken (HRB), dargestellt am Beispiel der Entwicklung der Grünlandgesellschaften im HRB Lich (Mittelhessen)*. Diplom, Giessen, Giessen.
- McCune, B., Grace, J.B., & Urban, D.L. (2002) *Analysis of ecological communities*, MjM Software Design, Gleneden Beach, OR, US.
- McMillan, C. & Pagel, B.F. (1958) Phenological variation within a population of *Symphoricarpos occidentalis*. *Ecology*, **39**, 766-770.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. (1987) *Principle of Plant Nutrition*, International Potash Inst., Worblaufen-Bern.
- Mielke, P.W., Jr. & Berry, K.J. (2001) *Permutation Methods: A Distance Function Approach*, Springer, New York.
- Muntean, A., Salontai, C., Botez, C., Carean, V., & Tamas, M. (1981) Contributions to the study of the biology and multiplication of *Colchicum autumnale* L. *Herba romanica*, **3**, 79-90.
- Muntean, L., Salontai, A., Botez, C., Carean, V., & Tamas, M. (1983) Studii de biologie la brindusa de toamna. *Herba romanica*, **4**, 45-53.
- Muntean, L., Salontai, A., Botez, C., & Tamas, M. (1979) Contribution to the biological study of *Colchicum autumnale* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*, **10**, 81-88.
- Oomes, M.J.M. & Mooi, H. (1981) The effect of cutting and fertilizing on the floristic composition and production of an Arrhenatherion-elatoris grassland. *Vegetatio*, **46-7**, 233-239.
- Poutaraud, A. & Girardin, P. (2002) Alkaloids in Meadow Saffron *Colchicum autumnale* L. *Journal of Herbs, Spices, and Medical Plants*, **9**, 63-79.
- R Development Core Team (2008) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raehse, S. (1999) *Veränderungen der hessischen Grünlandvegetation seit Beginn der 50er Jahre am Beispiel ausgewählter Tal- und Bergregionen Nord- und Mittelhessens*. PhD, Kassel, Kassel.
- Ramula, S., Knight, T.M., Burns, J.H., & Buckley, Y.M. (2008) General guidelines for invasive plant management based on comparative demography of invasive and native plant populations. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 1124-1133.
- Rosenthal, C. (1963) Vermehrungsmöglichkeiten bei *Colchicum* im Hinblick auf die züchterische Bearbeitung. *Archiv für Gartenbau*, **1**, 55-65.
- Schabenberger, O. & Pierce, F.J. (2002) *Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences*, CRC Press, Boca Raton.
- Schauss, C. (2011) *Vegetationskundliche Untersuchungen zum Vorkommen der Herbstzeitlose (Colchicum autumnale L.)*, Trier, Trier.

- Shefferson, R.P., Sandercock, B.K., Proper, J., & Beissinger, S.R. (2001) Estimating dormancy and survival of a rare herbaceous perennial using mark-recapture models. *Ecology*, **82**, 145-156.
- Silvertown, J., Franco, M., & Menges, E. (1996) Interpretation of elasticity matrices as an aid to the management of plant populations for conservation. *Conservation Biology*, **10**, 591-597.
- Smith, R.J. (2004) *Conservation biology of Colchicum autumnale L. and Campanula trachelium L. in the Nore Valley, Southeast Ireland*. PhD, Trinity College, Dublin
- Stebler, F.G. & Schröter, C. (1981) Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. *Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz*, 141-225.
- Strauss, S.Y. & Agrawal, A.A. (1999) The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Tree*, **14**, 179-185.
- Thompson, K., Bakker, J.P., & Bekker, R.M. (1997) *The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity*, University Press, Cambridge.
- van der Maarel, E. (1979) Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, **39**, 97-114.
- Wehsarg, O. (1929) *Die Verbreitung und Bekämpfung der Ackerunkräuter in Deutschland. Die Bekämpfung des Unkrautes Siebzehntes Stück, Band II: Einzelunkräuter, ihr Vorkommen und ihre Bekämpfung, Lieferung III: Herbstzeitlose und Weißer Germer*, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Berlin.
- Wielgolaski, F.E. (1999) Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *International Journal of Biometeorology*, **42**, 158-168.
- Zechmeister, H.G., Schmitzberger, I., Steurer, B., Peterseil, J., & Wrבka, T. (2003) The influence of land-use practices and economics on plant species richness in meadows. *Biological Conservation*, **114**, 165-177.