

Abschlussbericht zur Studie:

Erprobung von kontrolliertem Brennen von verfilzten und verbrachten sauren Magerrasen als Maßnahme zur Wiederherstellung geeigneter Keim- und Wuchsbedingungen für *Arnica montana*



Prof. Dr. Ilona Leyer

Hochschule Geisenheim University
Institut für angewandte Ökologie
Professur Biodiversität und Ökosystemfunktionen

gefördert vom

Abgabe Februar 2020

Fotos der Vorderseite:

Links oben: Intensives Feuer in gehölzreichen Bereichen der Fläche Nanzenbach West 2/2019 (Foto: Ilona Leyer)

Rechts oben: Moderater Brand in der Grasstreu-dominierten Fläche Nanzenbach Ost 2/2019 (Foto: Ilona Leyer)

Links unten: Nachbrand-Aspekt im Brandplot der Fläche Hirzenhain 2/2019 (Foto: Ilona Leyer)

Rechts unten: Arnika-Blüte auf der Fläche Eiershausen 5/2019 (Foto: Reiner Jahn)

Inhalt

1. Einleitung	6
1.1 Hintergrund der Studie	6
1.2 Kontrolliertes Brennen im Naturschutz	7
2. Methodische Vorgehensweise	8
2.1. Vorbemerkung	8
2.2 Auswahl und Vorbereitung der Flächen.....	9
2.3 Durchführung der Brandmaßnahmen und anschließende Arbeiten	11
2.4 Datenerhebung und Auswertung.....	13
3. Ergebnisse	14
3.1 Brandmaßnahme.....	14
3.2 Jungpflanzenentwicklung und Samenkeimung.....	16
3.3 Begleitvegetation und Bodenparameter.....	17
4. Interpretation der Ergebnisse	19
4.1 Kontrolliertes Brennen als Instrument der Offenbodenschaffung	20
4.2 Samenkeimung und Entwicklung von Arnika-Jungpflanzen	21
4.3 Zusammenfassung und Fazit.....	22
5. Nachwort	22
6. Literatur	24

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: a) Ausgangszustand und b) nicht zufriedenstellender Nach-Feuer-Zustand einer der 2018 ausgewählten Untersuchungsflächen; verfilzter Borstgrasrasen Nähe Eisemroth, Lahn-Dill-Kreis 9
- Abb. 2: Brandplot, Kontrollplot und Offenbodenplot auf der Untersuchungsfläche Nanzenbach West 11
- Abb. 1: Schematische Darstellung der Behandlungen der Flächen mit Kontrollplot, Brandplot und Offenbodenplot sowie die relevanten Elemente der Datenerhebung (Anzahl Keimlinge in den Quadraten mit Arnika-Samen, überlebende ausgepflanzte Jungpflanzen, Bodenparameter und Vegetationsdaten).....11
- Abb. 4: Untersuchungsfläche Hirzenhain. Brandfläche (links) von der Kontrollfläche (rechts) durch einen Brandsicherungsstreifen getrennt. Mit Feuerpatschen und Wasser wurde die Ausbreitung des Feuers über die Brandfläche hinaus verhindert. 12
- Abb. 5: a) Brandfläche Nanzenbach West mit intensivem Brand der mit Schlehen durchsetzten Vegetation. b) Fläche nach dem Brand mit weißlicher Asche (Anzeige hoher Brandtemperatur des Feuers)..... 14
- Abb. 6: a) Brandfläche Nanzenbach Ost: Die Streuschicht konnte auf dieser Brandfläche zufriedenstellend entfernt werden. Unter der Asche schimmert allerdings grün der Moostepich hervor. Dieser ist auch im Brandsicherungsstreifen (rechter Bildrand) deutlich zu erkennen. b) Die Mooschicht verhinderte die Schaffung von Offenboden durch das Feuer..... 15
- Abb. 7: a) Brandfläche Hirzenhain. Langjährige Brache mit Besenginster-Beständen. b) Der Besenginster verbrannte mit der Streu zufriedenstellend, während unter der Asche die Mooschicht unverbrannt blieb. 15
- Abb. 8: a) Brandfläche Simmersbach. Aufgrund langjähriger Brache haben sich horstförmige Gräser zu Bulten entwickelt. Bildmitte der Brandsicherungsstreifen mit dichtem Moostepich. b) Während die oberen Partien der Bulte mit der Streu gut brannten, sind im bodennahen Inneren große Teile unverbrannt geblieben, die die Schaffung von Offenboden verhinderte. Auch zwischen den Bulten, wo ein dichter Moostepich vorherrschte, ist wenig Biomasse verbrannt 15
- Abb. 9: NMDS der Vegetationsdaten mit allen 6 Untersuchungsflächen a) Abbildung der unterschiedlichen Untersuchungsflächen, b) Artenmuster der Vegetation im Ordinationsraum. 18

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ausgewählte Flächen im Lahn-Dill-Kreis, die 2019 bzw. 2018 gebrannt und weitergehend untersucht wurden.....	10
Tab. 2: Überlebensrate der eingesetzten Jungpflanzen und die Keimlingsanzahl auf den Untersuchungsflächen in Bezug zu den Behandlungen „Abgeschoben“ (Offenbodenschaffung durch Bodenabschieben), Brand und Kontrolle. Auf den Untersuchungsflächen Eiershausen und Fleisbach, die 2018 gebrannt wurden, wurde keine Offenbodenbehandlung durchgeführt.....	16
Tab. 3: Mittelwerte der Vegetationsstrukturparameter [%], Exposition, Inklination und Artenzahlen der Begleitvegetation von Kontroll- und Brandplots der Untersuchungsflächen.....	17
Tab. 4: Werte der verschiedenen Bodenparameter auf den vier Untersuchungsflächen, die 2019 gebrannt wurden, in Bezug zur Brandbehandlung versus Kontrolle und in Bezug zum Vor- und Nachbrand-Bodensampling.....	19

1. Einleitung

1.1 Hintergrund der Studie

Saure Magerrasen, zu denen u.a. Borstgrasrasen zählen, und Zwergstrauchheiden sind von großer Bedeutung für den Naturschutz. Aufgrund des deutschland- und europaweiten Rückgangs sind sie als geschützte Lebensraumtypen in der FFH-Richtlinie (Code 6230: Artenreiche montane Borstgrasrasen und Code 4030: Trockene Europäische Heiden) und in der Roten Liste Deutschlands verzeichnet. Dabei zeigen insbesondere Borstgrasrasen eine anhaltend abnehmende Entwicklungstendenz und sind in Deutschland als „akut von vollständiger Vernichtung bedroht“ eingestuft (Finck et al. 2017). Der Grund für die Gefährdung der Magerrasen lag bis ca. in die 80er Jahre hinein v.a. am Flächenverlust durch die Veränderung der Nutzung. Hierzu zählen zum einen die Intensivierung mit Umwandlung vieler Magerrasen in Intensivgrünland, zum anderen die Nutzungsaufgabe mit Verbrachung und Umwandlung in Buschland und Wald (Maurice et al. 2012, Stanik et al. 2018). Aktuelle Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass sich die verbliebenen Reste dieser Lebensraumtypen auch in den letzten Jahrzehnten noch stark verändert haben: Ein höheres Nährstoffniveau der Böden u.a. durch Stickstoffdeposition hat zu einer Deckungsänderung verschiedener funktioneller Gruppen in sauren Magerrasen geführt, so zu einer Zunahme von Gräsern auf Kosten von Krautarten (Dupré et al. 2010, Stevens et al. 2011) sowie zu einer Zunahme von Moosen und toter Biomasse in Form von Streu (Hollmann et al., in revision, Maurice et al. 2012, Weise & Meier 2009).

Eine besonders charakteristische Art dieser Magerrasen ist *Arnica montana*, deren Bestandsentwicklung den Rückgang und die Gefährdung ihrer Lebensräume widerspiegelt. Sie ist nach FFH-Richtlinie geschützt (Anhang V) und als besonders geschützte Art nach Bundesartenschutzverordnung und Bundesnaturschutzgesetz eingestuft. Sie ist außerdem eine Verantwortungsart für Deutschland und Hessen (HMULKV 2015, Stanik et al. 2018). Ihre Bestände, v.a. der Tieflagen, sind in den letzten Jahrzehnten stark rückläufig, woraus sich dringender Handlungsbedarf zur Erhaltung und Stützung der verbliebenen Populationen ergibt. Dies ist der Hintergrund für die Initiierung des Verbundprojekts *ArnikaHessen* (Übertragbares Managementkonzept für *Arnica montana*: Von forschungsbasierter Identifikation der Rückgangsursachen über Umsetzung populationsstützender Maßnahmen bis zu eigenverantwortlicher lokaler Habitatpflege), an dem der Botanische Garten Marburg (Koordination und Umsetzung) sowie die AG Naturschutzbiologie der Universität Marburg und das Institut für angewandte Ökologie der Hochschule Geisenheim (Forschungspartner) beteiligt sind. Es wird im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt gemeinsam von BMU/BfN und BMBF für sechs Jahre bis Oktober 2020 gefördert.

Im Rahmen des *ArnikaHessen*-Projektes wurden Gefährdungsanalysen durchgeführt, wobei sowohl die Habitatqualität mittels Freilanduntersuchungen als auch die Populationsqualität mittels populationsgenetischer Untersuchungen im Fokus der Untersuchungen standen. Zusammen mit einem begleitenden Monitoring zur Bestandsentwicklung der Tieflagenbestände Hessens konnten klare Gefährdungsmuster und -faktoren aufgedeckt werden. Ferner gibt ein groß angelegtes Freilandexperiment

Aufschluss über Nutzungsoptionen zur Förderung der Art. Hierbei werden seit 5 Jahren die Faktoren Mahd/Beweidung, verschiedene Nutzungsintensitäten und Bodenbehandlungen (Bodenabtrag, Vertikutieren und Kontrolle) auf die Entwicklung von Arnikapflanzen untersucht, die als Samen und Jungpflanzen zu Beginn des Versuchs eingebracht wurden. Zusammenfassend ist zu sagen, dass schleichende Eutrophierung, die z.B. über eine Verengung des C/N-Verhältnisses der Böden und einen höheren Nährstoff-Zeigerwert der Begleitvegetation sichtbar ist, ein wesentlicher Prozess ist, der im Zusammenhang mit dem Rückgang der Art in den Tieflagen von Hessen steht (Hollmann et al., in revision). Durch das höhere Nährstoffniveau ist der Offenbodenanteil in den Magerrasen deutlich reduziert, sodass die Samen der charakteristischen Arten kaum konkurrenzarme/konkurrenzfreie „Safe sites“ für die Keimung und die Etablierung der Jungpflanzen mehr vorfinden. So waren bei über 50 seit 2014 beobachteten hessischen Arnika-Beständen in nur wenigen Beständen Keimlinge nachweisbar.

Im Freilandexperiment hatte der Bodenabtrag einen deutlich positiven Effekt auf die Überlebensrate der anfangs eingebrachten Jungpflanzen und auf die Keimungsrate, der selbst 5 Jahre nach Versuchsbeginn sichtbar war (Hollmann et al., in prep.). Allerdings stellt der Oberbodenabtrag bzw. die Schaffung von Offenboden durch z. B. Striegeln einen großen Aufwand dar. Es stellt sich die Frage, ob kontrolliertes Brennen, wie es früher in der Landwirtschaft häufig zur Entfernung von Streu und Biomasse angewendet wurde, eine praxistaugliche und kostengünstige Alternative zum Oberbodenabtrag sein kann. Da diese zusätzliche, zeitlich und personell aufwändige Untersuchung nicht im Rahmen von *ArnikaHessen* durchgeführt werden konnte, wurde 2018 mit dem HLNUG eine Vereinbarung auf der Grundlage der Rahmen-Kooperationsvereinbarung zwischen der Hochschule Geisenheim und des HLNUG zur Durchführung einer Studie zum kontrollierten Brennen in Arnika-Habitaten getroffen.

Ziel der Studie war die Analyse der Effekte von kontrolliertem Brennen von verfilzten und verbrachten sauren Magerrasen und Heiden in Hessen auf

- die Keimung von Arnika-Samen und Etablierung der Keimlinge
- das Überleben von vorgezogenen Jungpflanzen
- die Begleitvegetation und
- die Bodeneigenschaften (Nährstoffe, pH, Humusgehalt)

sowie die Formulierung der aus diesen Ergebnissen ableitbaren Handlungsempfehlungen für die Regeneration von *Arnica montana*-Beständen und ihrer Lebensräume.

1.2 Kontrolliertes Brennen im Naturschutz

Das Feuer ist in Mitteleuropa sowohl ein natürlicher Störfaktor als auch ein Element der historischen Nutzung. Seit dem Neolithikum wurden Brände gezielt für Rodungszwecke zur Gewinnung von Ackerland genutzt. In ganz Europa entwickelten sich so verschiedene Typen der Brandwirtschaft. Besonders in den Heidelandschaften Norddeutschlands wurde Feuer traditionell zur Verjüngung der Heidebestände eingesetzt. Auch in den Mittelgebirgen, z.B. in der Eifel, dem Hunsrück und dem Schwarzwald, war Feuer Teil der Bewirtschaftung, die

z.B. als Rott-, Reutberg- und Schiffelwirtschaft bezeichnet wird. Im Laufe des letzten Jahrhunderts verschwanden diese traditionellen Wirtschaftsformen und mit ihnen das Feuer als Teil dieser historischen Landnutzung (Goldammer et al. 1997a, Montiel 2010). Allerdings scheinen kleinflächige Brände meist im Winter zur Reduzierung von Streu und der Förderung des Austriebs für eine Frühjahrsbeweidung auch noch bis nach dem zweiten Weltkrieg eine Rolle in der Offenlandbewirtschaftung gespielt zu haben, wie Landwirte in verschiedenen Regionen Hessens im Rahmen der Projekte *ArnikaHessen* und *Kontrolliertes Brennen* berichteten (pers. Mitt.). Mit der Intensivierung der Landwirtschaft sind diese Praktiken aufgegeben und z.T. verboten worden.

Obwohl Feuer heute mancherorts für die Heidepflege zur Anwendung kommt, ist das kontrollierte Brennen als Pflegemaßnahme an sich bisher nicht etabliert. Gründe dafür sind einerseits rechtliche Aspekte, andererseits Wissenslücken bzgl. der langfristigen Auswirkungen und der Entwicklung von durch Brand gepflegte Flächen (Anders et al. 2003, Wanner et al. 2004), die zu Vorbehalten gegenüber dieser Pflegemethode in der Gesellschaft, aber auch im Naturschutz und im Forst geführt haben.

Um das aktuell verfügbare Wissen zum kontrollierten Brennen als Naturschutzmaßnahme im Offenland zusammenzuführen, wurde im Vorfeld dieser Studie eine Bachelorarbeit durchgeführt. Sie hat zum einen die Darstellung und Aufarbeitung der aktuellen Literatur zu diesem Thema mit dem Fokus auf Zwergstrauchheiden und Magerrasen zum Inhalt. Zum anderen wurden neueste Ergebnisse, Erfahrungen und Beobachtungen zum kontrollierten Brennen im Naturschutz zusammengeführt, die im Rahmen von aktuellen Landschaftspflege-Projekten in Deutschland gemacht wurden. Hierfür wurden Interviews mit den projektverantwortlichen Fachleuten durchgeführt und ausgewertet (Bindewald 2017). Die Arbeit wird als digitaler Anhang mit diesem Bericht versendet.

2. Methodische Vorgehensweise

2.1. Vorbemerkung

Die Laufzeit der Studie war ursprünglich von Februar bis November 2018 terminiert, um vor Beginn der Vegetationsperiode auf insgesamt sechs Flächen Brandbehandlungen durchzuführen und nachfolgend die Effekte auf Arnikapflanzen, Begleitvegetation und Boden zu analysieren. Aufgrund ungünstiger Witterung (langandauernde Schneedecke bis Mitte Februar mit längeren Niederschlagsphasen bis Ende März), konnte in diesem Zeitraum nicht gebrannt werden. Erst Anfang April 2018 waren die Witterungsbedingungen geeignet, um die im Vorfeld noch feuchte Vegetation auf den ausgewählten Flächen über mehrere Sonnentage mit niedriger Luftfeuchte abzutrocknen. Allerdings war aufgrund der fortgeschrittenen Zeit auch schon Biomasse aufgewachsen, die, da vital und wasserreich, nicht brennbar war bzw. zu einer Kühlung beim Brennen führte. Trotz grundsätzlicher Eignung der Flächen hinsichtlich der Verbrachung bzw. der überständigen Biomasse konnte sich dadurch das Feuer nicht wie geplant als stabile, durchgängige Front über die Fläche bewegen. Der Effekt der Maßnahme in Hinblick auf die verbrannte Biomasse war so gering (Abb. 1), dass beschlossen wurde, die geplanten Untersuchungen nicht durchzuführen. In Absprache mit dem HLNUG wurde ein weiterer Feuereinsatz auf vier Flächen am 27. Februar 2019 durchgeführt und die Studie mit den 2018 eingesparten Mitteln bis Mitte

November 2019 verlängert. Erfahrungen und Ergebnisse beziehen sich daher hauptsächlich auf die Aktivitäten und Untersuchungen aus dem Jahr 2019. Allerdings wurden in zwei Brand-Flächen von 2018 (Fleisbach und Eiershausen), auf denen es zumindest teilweise etwas flächiger gebrannt hatte, Arnika-Samen und Jungpflanzen eingebracht sowie Untersuchungen der Begleitvegetation 2019 durchgeführt, um etwaige Effekte des Brennens dokumentieren zu können.

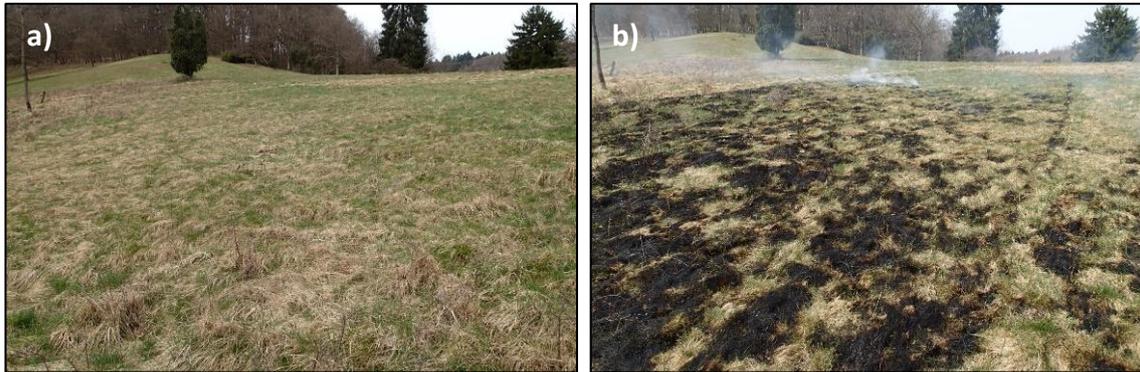


Abb. 1: a) Ausgangszustand und b) nicht zufriedenstellender Nach-Feuer-Zustand einer der 2018 ausgewählten Untersuchungsflächen; verfilzter Borstgrasrasen Nähe Eisemroth, Lahn-Dill-Kreis (Fotos: Stefan Klein)

2.2 Auswahl und Vorbereitung der Flächen

Als Untersuchungsregion wurde der Lahn-Dill-Kreis ausgewählt, da hier 1. noch eine größere Zahl an Borstgrasrasen vorhanden ist, 2. die erloschenen und vorhandenen Arnika-Habitate durch das ArnikaHessen-Projekt intensiv untersucht wurden und 3. auf die Erfahrungen und die Unterstützung des hiesigen Landschaftspflegeverbandes zurückgegriffen werden konnte.

Alle 2018 und 2019 untersuchten Flächen liegen entweder unter oder um 500 m ü. NN und sind Fragmente von Borstgrasrasen bzw. von relativ magerem Grünland saurer Böden. Sie wiesen alle dichte Streuschichten bzw. Gehölzaufwuchs aufgrund geringer Nutzung bzw. Aufgabe der Nutzung auf. Die Flächen wurden meist auf Basis von Grunddatenerfassungen von FFH-Gebieten vorausgewählt und dann im Gelände aufgesucht. Große Unterstützung erhielten wir dabei von Herrn Günter Schwab (Landschaftspflegeverband Lahn-Dill-Kreis). Nach der Vorauswahl mussten die Genehmigungen der Eigentümer und Bewirtschafter der vorausgewählten Flächen für die Brandmaßnahme eingeholt werden. Im Falle von Flächen in Schutzgebieten war die Genehmigung der Naturschutzbehörden einzuholen. Im Folgenden wird auf die vier 2019 und zwei 2018 gebrannten Flächen eingegangen (Tab. 1).

Tab. 1: Ausgewählte Flächen im Lahn-Dill-Kreis, die 2019 bzw. 2018 gebrannt und weitergehend untersucht wurden.

Ort	Jahr des Brandes	Vegetation	Nutzung	Höhe [m ü. NN]
Nanzenbach West	2019	Grünland (Arrhenatherion, extensiv, verfilzt)	extensiv beweidet	450
Nanzenbach Ost	2019	Grünland (Arrhenatherion, extensiv, verfilzt)	extensiv beweidet	506
Hirzenhain	2019	degradierter Borstgrasrasen	langjährige Brache	535
Simmersbach	2019	degradierter Borstgrasrasen	langjährige Brache	455
Eiershausen	2018	Grünland (Arrhenatherion, extensiv, verfilzt)	sporadische Mahd	485
Fleisbach	2018	Grünland (Arrhenatherion, extensiv, verfilzt)	aktuell ungenutzt	282

Zur Vorbereitung der Brandmaßnahme wurden auf den Flächen drei Plots abgegrenzt und markiert: ein Brandplot, ein Kontrollplot sowie ein Offenbodenplot (Abb. 2 & Abb.). Das Offenbodenplot wurde nur auf den 2019 gebrannten Flächen nach dem Brand eingerichtet, um die Effekte des Bodenabschiebens mit dem des Brandes vergleichen zu können. Vor dem Brand wurden im November und Dezember 2018 Arnika-Samen in den Kontroll- und Brandplot standardisiert eingebracht, d.h. es wurden pro Plot in vier Quadraten je 125 Samen mit Hilfe eines Rahmens von 50 × 50 cm auf der Bodenoberfläche abgelegt (Abb.). Die jeweiligen Quadrate wurden mit Zeltnägeln und Magneten markiert und eingemessen, um im weiteren Verlauf gekeimte Arnika-Samen auffinden zu können. Die Samen wurden im Juli 2018 gesammelt (bzw. ein Jahr früher für die 2018 gebrannten Flächen) und stammten von den größten Arnika-Beständen des Lahn-Dill-Kreises, die sich bei Fleisbach und Donsbach befinden (max. Distanz zu den Untersuchungsflächen 25 km). Zudem wurden im Kontroll- und im Brandplot jeweils zwei Flächen mit einer Größe von 2 × 2 m markiert, um dort Vegetationsaufnahmen durchzuführen. Für die Flächen Fleisbach und Eiershausen fanden alle beschriebenen Maßnahmen ein Jahr vorher statt.

Um eine Ausbreitung des Brandes über die vorgesehene Fläche hinaus verhindern zu können, wurden um die Brandplots 1-3 m breite Brandsicherungsstreifen mit einem Freischneider bzw. Mulcher gelegt. Ein paar Tage vor den Bränden wurde die Maßnahme als Zweckfeuer bei den Gemeinden angemeldet. Außerdem wurden alle relevanten Akteure darüber informiert (Gemeinden, Zeitungen zur Information der lokalen Öffentlichkeit, Eigentümer der Flächen etc.). Dazu gehörten insbesondere die Rettungsleitstellen und die Feuerwehr.



Abb. 2: Brandplot (rot), Kontrollplot (weiß) und Offenbodenplot (grün) auf der Untersuchungsfläche Nanzenbach West. Datengrundlage: Google Earth 2019

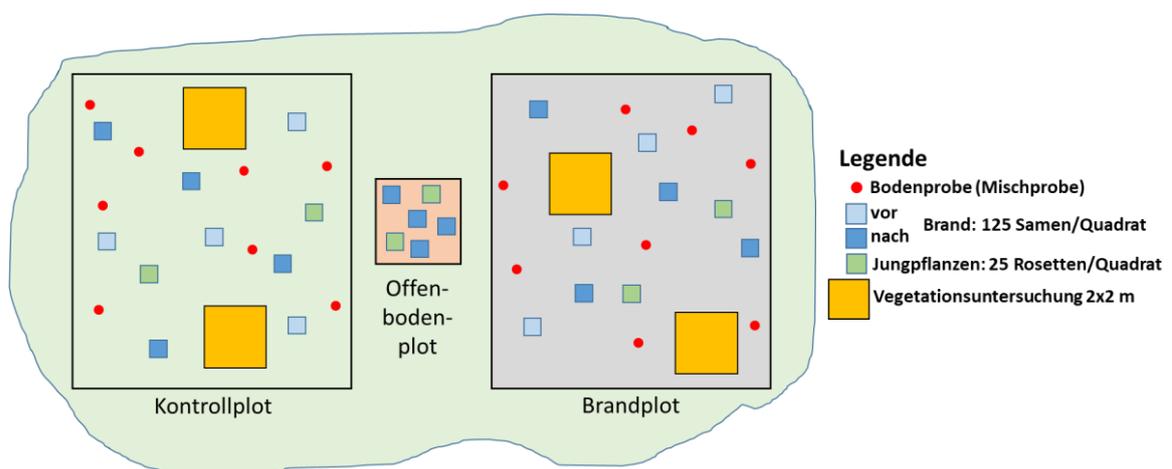


Abb. 3: Schematische Darstellung der Behandlungen der Flächen mit Kontrollplot, Brandplot und Offenbodenplot sowie die relevanten Elemente der Datenerhebung (Anzahl Keimlinge in den Quadraten mit Arnika-Samen, überlebende ausgepflanzte Jungpflanzen, Bodenparameter und Vegetationsdaten). Der Offenbodenplot fehlt in den 2018 gebrannten Flächen Eiershausen und Fleischbach.

2.3 Durchführung der Brandmaßnahmen und anschließende Arbeiten

Die Brandmaßnahme am 27.2.2019 als auch im Jahr zuvor wurde von einem Team aus Fachleuten für Naturschutzbrände unter Leitung von Dipl.-Ing. Stefan Klein, Halle/Saale, durchgeführt. Durch die vorangegangene Trockenphase und das sonnige Wetter am Brandtag war bis Mittag die Vegetation abgetrocknet, sodass die Maßnahme danach durchgeführt werden konnte. Auf der jeweiligen Fläche kurz vor dem Brand erfolgte die telefonische Information der Brandleitstelle über den Beginn der Maßnahme, nach Erlöschen des Feuers nach ca. 30-45 min wurde auch dies mitgeteilt. Zuerst wurden mit

Gegenwindfeuer die Sicherungslinien an den Kanten der Maßnahmenflächen auf das erforderliche Maß erweitert. Danach erfolgte die Zündung auf der Maßnahmenfläche mittels einer Brennkanne mit einem Diesel-Benzin-Gemisch (Mitwindfeuer). Mit Feuerpatschen und Wasser wurde ein Ausufern am Rande der Sicherungslinien verhindert (Abb. 4).



Abb. 4: Untersuchungsfläche Hirzenhain. Brandfläche (links) von der Kontrollfläche (rechts) durch einen Brandsicherungsstreifen getrennt. Mit Feuerpatschen und Wasser wurde die Ausbreitung des Feuers über die Brandfläche hinaus verhindert (Foto: Ilona Leyer)

Im März 2019 wurde die Offenbodenplots durch Abtragen von 2 cm Oberboden auf ca. 4 × 4 m Fläche geschaffen. In allen drei Plots pro Untersuchungsfläche wurden wie vor dem Brand jeweils 125 Samen in vier 50 × 50 cm Quadraten eingebracht und die Quadrate markiert (Abb.). Ferner wurden im Botanischen Garten Rosetten aus Samen der schon genannten Quellpopulationen Fleisbach und Donsbach angezogen, die im Mai 2019 (und ein Jahr zuvor für die 2018 gebrannten Flächen) fachgerecht ausgepflanzt wurden. Hierbei wurden pro Plot zwei Quadrate à 25 Rosetten mit Hilfe des quadratischen Rahmens eingebracht und ebenfalls markiert (Abb.). Somit waren auf jeder der vier 2019 gebrannten Flächen mit drei Plots (Brand, Offenboden, Kontrolle) insgesamt 2500 Samen (500 pro Kontroll- und Brandplot vor dem Brennen sowie 500 Samen pro Brand-, Kontroll- und Offenbodenplot nach dem Brennen) sowie 150 Arnika-Rosetten (50 pro Plot) verteilt. Bei den 2018 gebrannten Flächen waren es entsprechend 2000 Samen und 100 Arnika-Rosetten.

Da der Frühling und der Frühsommer 2019 äußerst trocken waren, zeigten sich ab dem Frühsommer Trockenstress-Symptome bei den eingesetzten Rosetten. Um ein mögliches Absterben der kompletten Pflanzungen zu verhindern, wurden in den sehr trockenen Phasen die Jungpflanzen-Quadrate aller Plots der vier Untersuchungsflächen ein- bis zweimal pro Woche mit der gleichen Menge Wasser pro Quadrat (ca. 2 l) gewässert.

2.4 Datenerhebung und Auswertung

Vor der Brandmaßnahme wurden Bodenproben als Mischprobe aus 10 Einzelproben in Brand- und Kontrollplots entnommen (0-10 cm Tiefe, Abb.), um diese miteinander zu vergleichen. Die Bodenprobenentnahme wurde auf die gleiche Art im März und Juni 2019 für alle Flächen nochmal wiederholt. Die insgesamt 24 Bodenproben (4 Flächen × 2 Plots (Kontrolle und Brand) × 3 Zeitpunkte) wurden im Bodenkundelabor der Hochschule Geisenheim bezüglich pH-Wert, pflanzenverfügbarem P, K, und Mg sowie Humusgehalt, Gesamt-N und C/N-Verhältnis nach Standardmethoden analysiert (Schaller 2000).

In Mai und Juni 2019 wurden ebenfalls nur auf Kontroll- und Brandplots je zwei Vegetationsaufnahmen auf den vorher markierten Flächen durchgeführt. Die Deckungsgrade der Vegetation der insgesamt 24 Aufnahmen (6 Untersuchungsflächen inkl. Fleisbach und Eiershausen × 2 Plots (Kontrolle und Brand) × Vegetationsaufnahmen) wurden nach einer modifizierten Londoskala geschätzt (Nowak 2000).

Zweimalig wurden überlebende Rosetten in den Quadraten der eingesetzten Jungpflanzen gezählt. Allerdings waren die Vegetationsperioden 2018 und 2019, vor allem der Frühsommer, sehr niederschlagsarm und heiß, sodass viele Rosetten vertrockneten. Ein Teil trieb aber im späteren Verlauf der Vegetationsperiode neu aus. Daher wird hier nur das Sampling ausgewertet, das Anfang September stattgefunden hat. Zu diesem Zeitpunkt waren alle im Laufe des Sommers neu ausgetriebenen Rosetten in einem vitalen Zustand. Von allen vitalen Pflanzen wurden die Anzahl der Blätter, die Länge und die Breite des größten Blattes als Fitnessparameter gemessen. Außerdem wurde die Anzahl der gebildeten Tochterrosetten pro Pflanze gezählt. In der Vegetationsperiode 2019 wurde zudem mehrmals nach Keimlingen in den Quadraten mit eingebrachten Samen gesucht. Die betrachteten Variablen (Arnika-Variablen, Boden- und Vegetationsstrukturparameter) wurden aufgrund der geringen Stichprobe nur deskriptiv dargestellt. Die Vegetationsdaten wurden multivariat mit einer NMDS (non-metric multidimensional scaling) analysiert und die Ergebnisse post-hoc mit Umwelt-, Vegetationsstruktur- und Nutzungsdaten in Beziehung gesetzt. Dabei wurden nur die Variablen mit einbezogen, die signifikant in Beziehung zur Variabilität der Artenzusammensetzung stehen, was mittels eines Permutationstests (1000 Permutationen) getestet wurde.

3. Ergebnisse

3.1 Brandmaßnahme

Im Gegensatz zum Jahr 2018 war das Ergebnis des Brandes 2019 deutlich erfolgreicher. Durch den frühen Zeitpunkt des Brennens im späten Winter war noch keine Biomasse der Vegetation ausgetrieben. Der Brand erfolgte nach einer trockenen, sonnigen Phase mit geringer Luftfeuchtigkeit, die auch am Brandtag selbst anhielt. So konnte nach Abtrocknung des Taus am späteren Mittag begonnen werden. Der Brand auf der Fläche Nanzenbach West war dabei am intensivsten, da hier stärkere Verbuschungen insbesondere von Schlehen vorhanden waren, die intensiv brannten (Abb. 5a). Die Streu wurde dadurch vollständig verbrannt und auch die Mooschicht wurde hier zum Teil entfernt. Die hohe Temperatur des Brandes wurde durch die Farbe der Asche, die weißlich und nicht schwarz war, angezeigt (Abb. 5b). Dadurch wurde zumindest im Bereich dichteren Gehölzbewuchses Offenboden geschaffen.

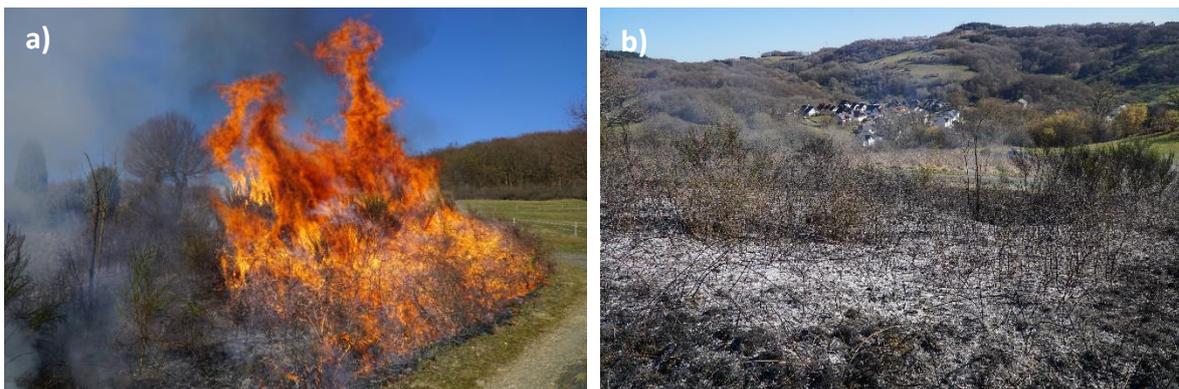


Abb. 5: a) Brandfläche Nanzenbach West mit intensivem Brand der mit Schlehen durchsetzten Vegetation. b) Fläche nach dem Brand mit weißlicher Asche (Anzeige hoher Brandtemperatur des Feuers). Zumindest im Bereich der Gehölze sind Teilbereiche mit Offenboden entstanden (Fotos: Ilona Leyer).

Auch bei allen anderen Flächen zog das Feuer 2019 ohne Probleme über die Fläche und verbrannte einen großen Teil der Streu (Abb. a). Darunter trat allerdings eine dichte grüne Mooschicht zutage. Die grüne Biomasse war so wasserreich, dass das Feuer zum Boden hin abkühlte und die Moos-Biomasse nicht verbrennen konnte (Abb. b). Dies verhinderte großflächig die Schaffung von Offenboden, was sowohl auf der Fläche Nanzenbach Ost (Abb.) als auch Hirzenhain und Simmersbach festgestellt werden konnte (Abb. und Abb.). Auch in den gehölzfreien Partien der Brandfläche Nanzenbach West wurde die Mooschicht zum Teil nicht verbrannt. Im Verlauf der Vegetationsperiode starb allerdings ein Teil des Moosteppichs ab.

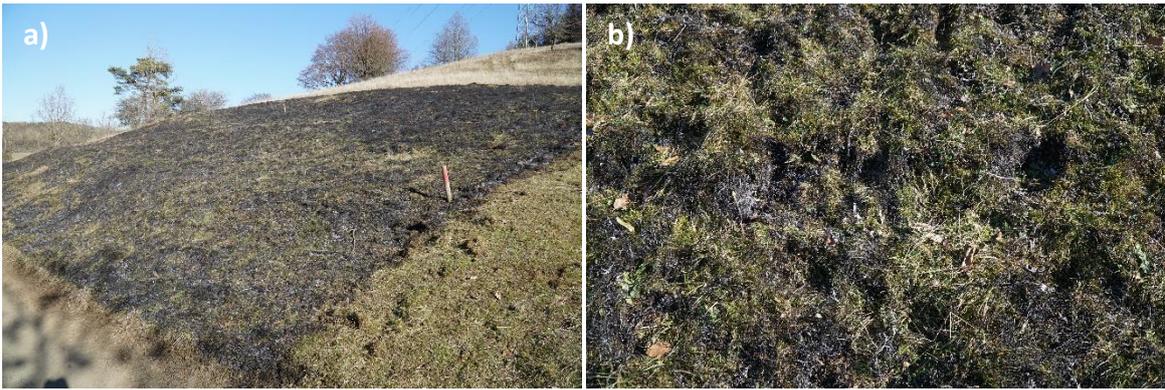


Abb. 6: a) Brandfläche Nanzenbach Ost: Die Streuschicht konnte auf dieser Brandfläche zufriedenstellend entfernt werden. Unter der Asche schimmert allerdings grün der Moost Teppich hervor. Dieser ist auch im Brandsicherungsstreifen (rechter Bildrand) deutlich zu erkennen. b) Die Moosschicht verhinderte die Schaffung von Offenboden durch das Feuer. (Fotos: Ilona Leyer)

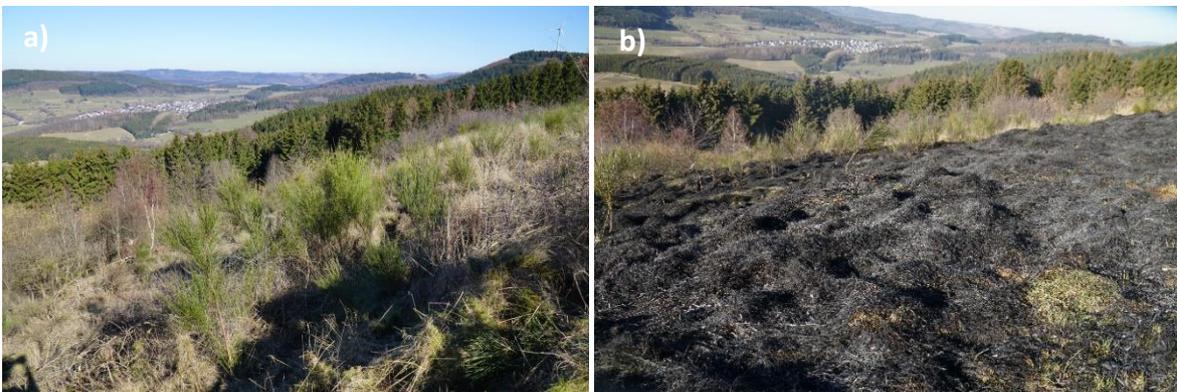


Abb. 7: a) Brandfläche Hirzenhain. Langjährige Brache mit Besenginster-Beständen. b) Der Besenginster verbrannte mit der Streu zufriedenstellend, während unter der Asche die Moosschicht unverbrannt blieb. (Fotos: Ilona Leyer)



Abb. 8: a) Brandfläche Simmersbach. Aufgrund langjähriger Brache haben sich horstförmige Gräser zu Bulten entwickelt. Bildmitte der Brandsicherungsstreifen mit dichtem Moost Teppich. b) Während die oberen Partien der Bulte mit der Streu gut brannten, sind im bodennahen Inneren große Teile unverbrannt geblieben, die die Schaffung von Offenboden verhinderte. Auch zwischen den Bulten, wo ein dichter Moost Teppich vorherrschte, ist wenig Biomasse verbrannt. An diesen Stellen wurde selbst die Streu vom Brand nicht erfasst. (Fotos: Ilona Leyer)

3.2 Jungpflanzenentwicklung und Samenkeimung

Es konnte unabhängig von den Behandlungen eine recht hohe Überlebensrate der Jungpflanzen auf den beiden gut wasserversorgten Flächen Hirzenhain und Simmersbach verzeichnet werden (Tab. 2). Bei den anderen beiden Flächen überlebten die meisten Rosetten im Abschiebeplot, während Brand- und vor allem Kontrollplot eine hohe Mortalität aufwiesen. Die beiden Untersuchungsflächen vom Brand 2018 zeigten ähnliche Muster: Während auf der gut wasserversorgten Fläche Eiershausen unabhängig von der Behandlung viele Pflanzen wiederaustrieben und 2019 z.T. blühten, konnten auf der Untersuchungsfläche Fleisbach, die allgemein trockenere Bedingungen aufwies, keine Rosetten mehr aufgefunden werden. Diese waren bereits im Laufe der Vegetationsperiode 2018 abgestorben (Tab. 2). Samenkeimung war ein sehr seltenes Ereignis und konnte nur auf zwei Flächen und jeweils nur im Abschiebeplot nachgewiesen werden. Es handelt sich um die Untersuchungsflächen Nanzenbach Ost (Abb.) und Simmersbach (Abb.).

Tab. 2: Überlebensrate der eingesetzten Jungpflanzen und die Keimlingsanzahl auf den Untersuchungsflächen in Bezug zu den Behandlungen „Abgeschoben“ (Offenbodenschaffung durch Bodenabschieben), Brand und Kontrolle. Auf den Untersuchungsflächen Eiershausen und Fleisbach, die 2018 gebrannt wurden, wurde keine Offenbodenbehandlung durchgeführt.

Fläche	Behandlungen	Rate [%] Überlebende Rosetten	Anzahl Keimlinge
Nanzenbach West	Abgeschoben	32	0
	Brand	22	0
	Kontrolle	6	0
Nanzenbach Ost	Abgeschoben	100	10
	Brand	16	0
	Kontrolle	0	0
Hirzenhain	Abgeschoben	88	0
	Brand	62	0
	Kontrolle	92	0
Simmersbach	Abgeschoben	92	5
	Brand	80	0
	Kontrolle	88	0
Eiershausen	Brand	76	0
	Kontrolle	44	0
Fleisbach	Brand	0	0
	Kontrolle	0	0

3.3 Begleitvegetation und Bodenparameter

Insgesamt wurden bei den 24 Vegetationsaufnahmen à 4 m² 112 Arten aufgefunden, wobei *Agrostis capillaris* und *Festuca rubra* die höchste Frequenz aufwiesen. Aber auch *Arrhenatherum elatius*, *Pimpinella saxifraga* und *Dactylis glomerata* waren in mehr als der Hälfte der Aufnahmeflächen präsent. Dabei hing die Artenzahl deutlich von der „Nutzungsintensität“ ab. Die Flächen, die noch in der Nutzung sind bzw. wo zumindest sporadisch Biomasse entfernt wurde, wiesen deutlich höhere Artenzahlen auf als die langjährigen Brachflächen Hirzenhain und Simmersbach (Tab. 3).

Tab. 3: Mittelwerte der Vegetationsstrukturparameter [%], Exposition, Inklination und Artenzahlen der Begleitvegetation von Kontroll- und Brandplots der Untersuchungsflächen.

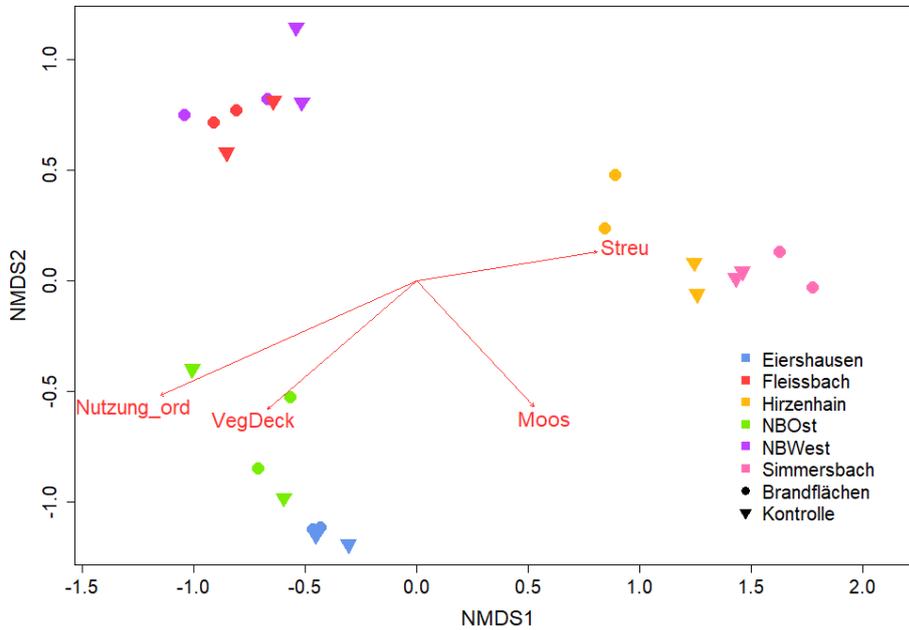
Ort	Behandlung	MW Moosdeckung	MW Streudeckung	Exposition	Inklination	MW Vegetationsdeckung	MW Artenzahl
NBWest	Brand	15	0	SO	8	43	30
NBWest	Kontrolle	40	85	S	10	46	24
NBOst	Brand	40	65	NW	10	57	26
NBOst	Kontrolle	85	40	SW, NW	3	63	30
Hirzenhain	Brand	90	70	NW	25	29	10
Hirzenhain	Kontrolle	80	40	NW	20	48	6
Simmersbach	Brand	30	95	SW, S	5	42	4
Simmersbach	Kontrolle	65	60	S	3	48	5
Eiershausen	Brand	40	10	NW	25	72	29
Eiershausen	Kontrolle	50	15	NW	25	83	31
Fleisbach	Brand	15	4	SO	6	84	43
Fleisbach	Kontrolle	18	4	SO	5	69	43

Weder die Artenzahlen noch die Vegetationsdeckung stehen in Beziehung zur Brandbehandlung der Flächen. Die Moosdeckung zeigte auf den meisten Brandflächen geringere Werte als auf den Kontrollplots. Allerdings beruht dies nicht unbedingt auf der Entfernung der Mooschicht durch den Brand, sondern auf dem nachträglichen Absterben oder „Scheinabsterben“ (Trockenzustand) von Teilen der Moosbiomasse. Diese wurde dann als Streu erfasst, was die hohe Streudeckung auf den Brandplots für Nanzenbach Ost und Simmersbach erklärt.

Große Unterschiede in der Vegetationszusammensetzung sind zwischen den einzelnen Untersuchungsflächen zu erkennen, nicht aber zwischen den Brand- und Kontrollplots (Abb. a). Die erste Achse der NMDS trennt dabei die langjährigen Brachflächen Simmersbach und Hirzenhain, die deutlich artenärmer als die übrigen Flächen waren (Tab. 3), von den restlichen Untersuchungsflächen. Von allen post-hoc einbezogenen Variablen steht die Nutzungsintensität am stärksten mit dieser Trennung in Beziehung.

Simmersbach und Hirzenhain sind durch *Deschampsia flexuosa*, *Holcus mollis* und *Galium saxatile* charakterisiert, während einige Therophyten die Flächen Fleissbach und Nanzenbach West differenzieren. Dem gegenüber stehen eine Reihe von Grünlandarten, die insbesondere für Nanzenbach Ost und Eiershausen typisch sind (Abb. 9b).

a)



b)

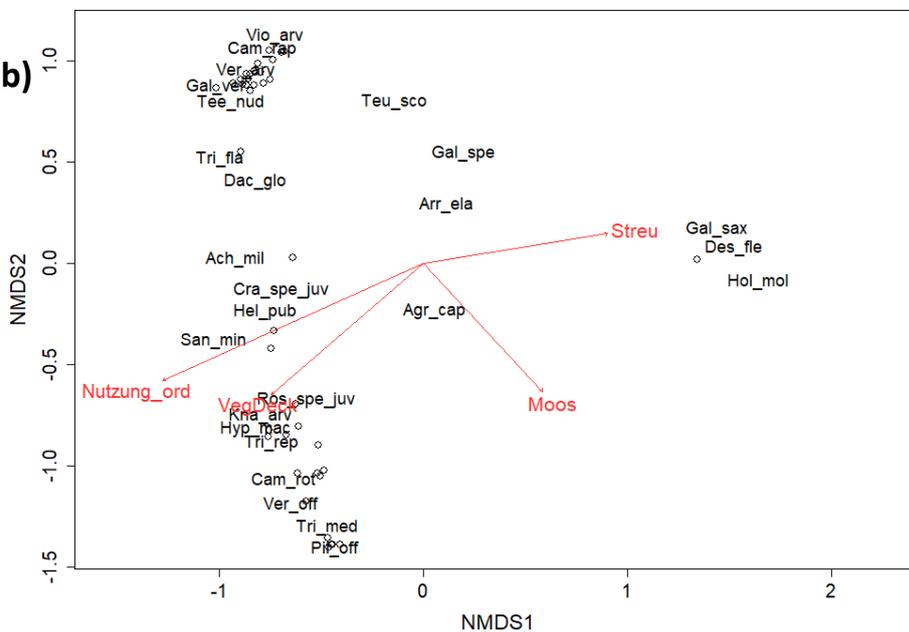


Abb. 9: NMDS der Vegetationsdaten mit allen 6 Untersuchungsflächen basierend auf Bray-Curtis-Unähnlichkeit (3-dimensionale Startkonfiguration, Stresswert 6). Post-hoc wurden die Umweltvariablen, die nach Permutationstest signifikant in Beziehung zu den Achsen stehen, einbezogen. a) Abbildung der unterschiedlichen Untersuchungsflächen. Farben stehen für die verschiedenen Standorte, Symbole für die Plots mit Brandbehandlung (Kreise) versus Kontrolle (Dreiecke). b) Artenmuster der Vegetation im Ordinationsraum.

Bei den Bodenuntersuchungen konnten nach dem Brand keine Unterschiede zwischen Brand- und Kontrollflächen bzgl. wesentlicher Bodenparameter gefunden werden. Auch der Vergleich der Bodenparameter vor und nach dem Brand auf den Brandplots förderten keine Unterschiede zutage. Tendenziell liegen auch hier die Unterschiede zwischen den beiden Nanzenbachflächen auf der einen und den Flächen Hirzenhain und Simmersbach auf der anderen Seite. So tendieren die beiden ersteren Flächen zu höheren pH-Werten, Kalium- und Magnesiumgehalten sowie zu niedrigeren Phosphat- und Humusgehalten.

Tab. 4: Werte der verschiedenen Bodenparameter auf den vier Untersuchungsflächen, die 2019 gebrannt wurden, in Bezug zur Brandbehandlung versus Kontrolle und in Bezug zum Vor- und Nachbrand-Bodensamplung.

Ort	Treatment	Zeitpunkt	pH	P ₂ O ₅ [mg/100g]	K ₂ O [mg/100g]	Mg [mg/100g]	Humus [%]	Gesamt N [%]	C/N
NB West	Brand	Vor	4,6	6	30	30	6,7	0,35	11
NB West	Brand	Nach	4,2	29	27	22	10,2	0,51	12
NB West	Kontrolle	Vor	4,5	13	38	22	7,1	0,35	12
NB West	Kontrolle	Nach	4,6	13	53	21	6,6	0,33	12
NB Ost	Brand	Vor	4,5	9	31	66	8,4	0,41	12
NB Ost	Brand	Nach	4,6	8	33	66	9,8	0,48	12
NB Ost	Kontrolle	Vor	4,5	11	26	58	8,7	0,42	12
NB Ost	Kontrolle	Nach	4,4	10	30	52	9,6	0,46	12
Hirzenhain	Brand	Vor	3,5	45	16	5	11,9	0,60	12
Hirzenhain	Brand	Nach	4,2	23	31	3	10,1	0,51	12
Hirzenhain	Kontrolle	Vor	3,4	42	13	5	12,1	0,58	12
Hirzenhain	Kontrolle	Nach	3,6	39	18	8	12,5	0,61	12
Simmersbach	Brand	Vor	3,6	35	12	3	10,2	0,51	12
Simmersbach	Brand	Nach	3,6	32	15	5	10,7	0,54	12
Simmersbach	Kontrolle	Vor	3,7	33	14	1	8,8	0,48	11
Simmersbach	Kontrolle	Nach	3,7	30	15	4	10,0	0,53	11

4. Interpretation der Ergebnisse

Generell können mit dieser Studie keine verallgemeinernden Aussagen zu den Effekten von Bränden auf saure Magerrasen und Arnika-Bestände getroffen werden, da dafür die Stichprobe zu klein war und die Untersuchungen im Jahr des Brandes noch keine abschließenden Ergebnisse zum Erfolg oder Nicht-Erfolg der Maßnahme liefern können. Daher sollen die Flächen über diese Untersuchung hinaus auch in den nächsten Jahren vom Institut für angewandte Ökologie beobachtet werden. Trotzdem ist diese Studie eine wertvolle Hilfe und Unterstützung, auch im Kontext des ArnikaHessen-Projektes, erfolgreiche und weniger erfolgreiche Maßnahmen zur Stützung und Regeneration der Arnika-Bestände zu identifizieren.

4.1 Kontrolliertes Brennen als Instrument der Offenbodenschaffung

Als vorläufiges Ergebnis der Untersuchungen zeichnet sich ab, dass Brandmaßnahmen von verbrachten und verfilzten sauren Magerrasen nicht den gewünschten Erfolg zeigen, wenn eine dichte Mooschicht vorhanden ist. Dies ist auf die große Menge grüner Biomasse zurückzuführen, die kaum brennbar ist und das Feuer zum Boden hin abkühlt. Allerdings haben die Vegetationsuntersuchungen im Sommer nach dem Brand gezeigt, dass die Moose auf den Brandplots zwar nicht verbrannt, aber nachträglich entweder abgestorben oder in einem kaum von toter Biomasse zu unterscheidenden Trockenzustand übergegangen sind. Dies kann auf die Hitzeeinwirkung oder auch auf die veränderten Lichtverhältnisse zurückzuführen sein (Niemeyer et al. 2004, Bindewald 2017). Ob sich die Moosdecke wieder regenerieren oder durch den Abbau der toten Biomasse doch eine Offenbodenfreilegung einsetzen wird, kann nur über das Monitoring der nächsten Jahre geklärt werden. Dies gilt ebenfalls für die Entwicklung der Vegetation, die zwischen Brand- und Kontrollplots kaum Unterschiede zeigte.

In der Literatur wird übereinstimmend beschrieben, dass Moose in Borstgrasrasen Deutschlands in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen haben (Peppler-Lisbach & Könitz 2017, Stanik et al. 2018). Häufig handelt es sich um das Rotstängelmoos (*Pleurozium schreberi*) und das Sparrige Kranzmoos (*Rhytidiadelphus squarrosus*), die generell charakteristische Arten saurer Magerrasen und auch in der vorliegenden Studie präsent sind. Diese profitieren im Vergleich zu den höheren Pflanzen des Borstgrasrasens verstärkt von luftbürtigem Stickstoff (Stevens et al. 2011), von wärmeren Wintern und einer Verlängerung der Vegetationsperiode (Stanik et al. 2018, Frahm & Klaus 2000). Es ist daher anzunehmen, dass das Problem des mangelnden Offenbodens in Magerrasen durch die Entwicklung dichter Mooschichten aufgrund der klimatischen Veränderungen zukünftig größer werden wird.

Es ist zu betonen, dass die gebrannten Flächen grasdominierte Magerrasen-/Grünland-Rudimente und keine ehemaligen Heideflächen darstellen. Von Letzteren ist bekannt, dass sie i.d.R. vom Brand profitieren (Mause 2012, Niemeyer 2005). Die Besenheide selbst wird durch das Brennen zur generativen und vegetativen Regeneration angeregt (Harteisen 2003). Auch Arnika scheint durchgängig an diesen Standorten durch Brand gefördert zu werden, u.a. durch die nachweislich starke Entwicklung von Offenboden (Zusammenfassung in Bindewald 2017). Dabei kann eine Rolle spielen, dass bei der Verbrennung alter Besenheidebestände heißere Temperaturen als bei Grasstreu entstehen, was die Moose verstärkt schädigen kann bzw. generell die Schaffung von Offenboden fördert. Dies konnte auch auf der stärker mit jungen Gehölzen bestandenen Fläche Nanzenbach West beobachtet werden. In diesen Bereichen war das Feuer so intensiv, dass Offenboden entstehen konnte.

Möglicherweise könnte die verstärkte Nutzung von Gegenwindfeuer, das langsamer über die Fläche zieht, höhere Temperaturen erreicht und die Biomasse vollständiger verbrennen kann (Goldammer et al. 1997b), die Mooschicht stärker schädigen als es über das gängige und auch hier angewandte Mitwindfeuer der Fall ist. Dies sollte bei einer zukünftigen Brandmaßnahme auf Flächen mit dichten Mooschichten zur Schaffung von Offenboden auf jeden Fall getestet werden.

4.2 Samenkeimung und Entwicklung von Arnika-Jungpflanzen

Die Keimung der ausgelegten Arnika-Samen war äußerst gering und ist ausschließlich in den Offenbodenplots aufgetreten. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen aus dem ArnikaHessen-Projekt: Die Keimungsraten von ausgelegten Samen in einem groß angelegten mittlerweile 5-jährigen Freilandexperiment mit den Behandlungen Offenbodenabtrag, Vertikutieren und Kontrolle waren auch dort äußerst gering und Keimlinge traten ausschließlich in den Offenbodenbehandlungen auf. Allerdings ist ein größerer Teil der Samen nicht im ersten Jahr des Einbringens gekeimt, sondern erst in den Jahren danach. Selbst vier Jahre nach der Aussaat konnten noch neue Keimlinge in den Offenbodenplots verzeichnet werden (Hollmann et al., in prep.). Dies macht deutlich, dass abschließende Aussagen zur Samenkeimung in dieser Studie erst in den nächsten Jahren möglich sind, zumal Frühjahr und Sommer der letzten beiden Jahre ausgesprochen heiß und trocken waren, was einer Samenkeimung nicht zuträglich war. Eine Keimung in den Brandplots ist allerdings auch zukünftig nicht zu erwarten, wenn kein hoher Offenbodenanteil vorhanden ist.

Im Vergleich zur Keimung war die Jungpflanzenentwicklung unterschiedlich ausgeprägt. So sind in Fleisbach die im Mai 2018 eingebrachten Jungpflanzen im Laufe des Jahres komplett abgestorben, was an der extremen Trockenheit und den gleichzeitig hohen Temperaturen 2018 gelegen haben dürfte. Hinzu kommt, dass diese Fläche mit 282 m ü. NN im Verhältnis zu der Lage der bekannten Arnika-Bestände Hessens am unteren Ende des Höhengradienten liegt und die Pflanzen 2018 auch nicht bewässert wurden. Diese Erfahrung hat dazu geführt, dass die Jungpflanzen im trockenen Frühsommer 2019 auf den vier 2019 gebrannten Untersuchungsflächen in den größten Hitzeperioden gegossen wurden. Gegenätzlich zu Fleisbach zeichneten sich die hoch gelegenen nordöstlich exponierten Flächen Hirzenhain und Eiershausen, die in einem Skigebiet mit deutlich rauherem Klima und besserer Wasserverfügbarkeit liegen, sowie Simmersbach durch eine relativ hohe Überlebensrate der Jungpflanzen unabhängig von der Behandlung aus. Die 2018 gepflanzten Rosetten in Eiershausen haben insbesondere auf dem Brandplot das trockene Jahr 2018 ohne Bewässerung überlebt und 2019 bereits geblüht. Dies ist im Einklang mit den Ergebnissen des Arnikabestands-Monitorings im ArnikaHessen-Projekt: Viele Bestände zeigten in den letzten Jahren, insbesondere in den Jahren 2018 und 2019, einen Rückgang, wobei dieser weit ausgeprägter in den sauren Magerrasen trocken-frischer Standorte war. Bestände auf Flächen mit besserer Wasserversorgung und in höheren Lagen waren deutlich stabiler (Weise et al., in prep.). Auch beim Freilandexperiment von ArnikaHessen war der Rückgang der Arnikapflanzen auf den besser wasserversorgten Flächen geringer als auf den trockeneren (Hollmann et al., in prep.).

Bei dieser Studie zeigte sich bei den beiden Nanzenbach-Flächen, die eher weniger wasserversorgt sind, ein positiver Effekt des Bodenabschiebens und auch die Brandbehandlung wies noch einen gewissen positiven Trend im Vergleich zur Kontrolle auf. Der hier nur angedeutete positive Effekt des Offenbodens ist im Freilandexperiment des ArnikaHessen-Projekts deutlich sichtbar: Selbst 5 Jahre nach der Bodenabschiebe-Maßnahme sind die Effekte sowohl auf die Überlebensrate der eingebrachten Jungpflanzen als auch auf die

Keimungsrate der Samen nachweisbar (Hollmann et al. in prep). Diese Ergebnisse machen die große Wichtigkeit eines Offenbodenmanagements für die selbständige Verjüngung und damit den Erhalt und die Regeneration der Bestände deutlich.

4.3 Zusammenfassung und Fazit

Obwohl noch keine abschließenden Ergebnisse in dieser Studie hinsichtlich der Effekte des Brandes (und auch des Bodenabschiebens) darstellbar sind, lassen sich die vorliegenden Feststellungen auch durch Zuhilfenahme der Erkenntnisse des *ArnikaHessen*-Projekts gut interpretieren. Die vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass die Brände vor allem aufgrund dichter Mooschichten nicht im gewünschten Maße Offenboden generieren konnten. Bestimmte Moose haben in den letzten Jahrzehnten in sauren Magerrasen durch Stickstoffdeposition stark zugenommen und sie dürften zudem Profiteure des Klimawandels sein, sodass das Problem des fehlenden Offenbodens und damit eine fehlende Verjüngung von Arnika eher zunehmen wird. Hinzu kommt, dass auch dort, wo Offenboden vorhanden ist, aufgrund der Klimaveränderungen (z.B. geringere Niederschläge bei höheren Temperaturen in der Vegetationsperiode) Keimung und Aufwachsen von Jungpflanzen zunehmend behindert werden. Dabei haben Arnika-Bestände gut wasserversorgter Standorte eine größere Wahrscheinlichkeit mit diesen Veränderungen klarzukommen. Dagegen erscheint es fragwürdig, ob die Bestände trockener Standorte in den sehr tiefen Lagen langfristig eine Überlebensperspektive haben.

Das Offenbodenmanagement spielt eine zentrale Rolle für die Regeneration sich selbsterhaltener Arnika-Bestände, da nur auf Offenboden Keimung der Samen möglich ist. Dies wird nicht durch die gängigen Landschaftspflegemaßnahmen für Magerrasen erreicht (u.a. durch Düngungsverbot, Verhinderung des Gehölzaufwuchses, verpflichtende Nutzung durch Mahd und Beweidung), sondern es muss in den Bereichen, die für die Regeneration von Arnika vorgesehen sind, aktiv und intensiv eingegriffen werden. Die bisherigen Untersuchungen deuten darauf hin, dass für Arnika-Bestände saurer Magerrasen die Offenbodenschaffung durch Abschieben der Vegetation/des Bodens im oberen Wurzelbereich am besten geeignet ist. Kontrolliertes Brennen mit heißem Feuer (Gegenwindfeuer) sollte als Alternative erprobt werden. Für die Regeneration von Arnika-Beständen in Zwergstrauchheiden erscheint das kontrollierte Brennen im gängigen Mitwindfeuer dagegen sehr gut geeignet zu sein (Zusammenfassung in Bindewald 2017).

5. Nachwort

Detaillierte Handlungsempfehlungen zur Stützung und Erhaltung von Arnika-Beständen in Hessen werden derzeit im Rahmen eines Praxisleitfadens im *ArnikaHessen*-Projekt zusammengefasst. In diesem Leitfaden werden auch die Erkenntnisse des kontrollierten Brennens unter Nennung der Förderinstitution einbezogen werden. Der Leitfaden wird voraussichtlich im Oktober 2020 zum Abschluss des *ArnikaHessen*-Projektes erscheinen.

Herzlichen Dank gilt den in die Studie des kontrollierten Brennens involvierten Personen und Institutionen. Dies sind Günter Schwab (LPV Lahn-Dill-Kreis, Beratung bzgl.

Flächenauswahl und Genehmigungen), Edwin Krumb (Durchführung der Vegetationsaufnahmen), Ruth Bindewald und Reiner Jahn (Hochschule Geisenheim, Flächenvorbereitung, Organisation der Brandmaßnahme, Datenerhebungen), Stefan Klein und seinem Team (Durchführung der Brände 2018 und 2019) sowie dem Team des Instituts für Bodenkunde und Pflanzenernährung (Hochschule Geisenheim, Bodenuntersuchungen).

Dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie gebührt großer Dank für die finanzielle Förderung diese Studie und den Kolleginnen und Kollegen im *ArnikaHessen*-Team für die vielfältige Unterstützung, fruchtbaren Diskussionen und gemeinsamen Aktivitäten. Eva Mosner danke ich für die Unterstützung bei der Abfassung des Berichtes.

6. Literatur

- Anders, K., Prochnow, A., Fürstenau, S., Segert, A., Zierke, I. (2003). Offenlandmanagement durch kontrolliertes Brennen. Ein Beitrag aus sozioökonomischer Perspektive. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 35, 242–246.
- Bindewald, R. (2017). Kontrolliertes Brennen als Naturschutzmaßnahme im Offenland Mitteleuropas. Bachelorarbeit im Studiengang Landschaftsarchitektur, Hochschule Geisenheim.
- Duprè, C., Stevens, C.J., Ranke, T., Bleeker, A., Peppler-Lisbach, C., Gowing, D.J.G., Dise, N.B., Dorland, E., Bobbink, R., Diekmann, M., 2010. Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years: the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. *Global Change Biology* 16, 344e357
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U., Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 156.
- Frahm J.P., Klaus D. (2000). Moose als Indikatoren von rezenten und früheren Klimafluktuationen in Mitteleuropa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Klimaveränderungen und Naturschutz*. NNA-Berichte 13 (2). Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen, 69-75.
- Goldammer, J. G., H. Page und J. Prüter (1997a): Feuereinsatz im Naturschutz in Mitteleuropa - Ein Positionspapier. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Feuereinsatz im Naturschutz*. NNA-Berichte 10 (5). Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen, 2-17.
- Goldammer, J. G., S. Montag und H. Page (1997b): Nutzung des Feuers in mittel- und nordeuropäischen Landschaften. Geschichte, Methoden, Probleme, Perspektiven. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Feuereinsatz im Naturschutz*. NNA-Berichte 10 (5). Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen, 18-38.
- HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2015). *Hessen-Liste der Arten und Lebensräume*. <https://biologischevielfalt.hessen.de/de/Verantwortungsarten.html> (zuletzt abgerufen: 10.01.2020).
- Hollmann, V., Donath, T., Himmighofen, T., Grammel, F., Zerahn, U., Leyer, I. (in revision). From nutrients to competition processes: Habitat specific threats to *Arnica montana* L. populations in Hesse, Germany. *PlosOne*
- Maurice T., Colling G., Muller S., Matthies D. (2010). Habitat characteristics, stage structure and reproduction of colline and montane populations of the threatened species *Arnica montana*. *Plant Ecology* 213, 831-842.
- Meier, R., Weise, J. (2010) Artenhilfskonzept für Berg-Wohlverleih (*Arnica montana* L.) in hessischen Tieflagen. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- Montiel, C. (Hrsg.) (2010): Best practices of fire use. Prescribed burning and suppression fire programmes in selected case-study regions in Europe. European Forest Institute Research Report 24. European Forest Institute, Joensuu

- Niemeyer, T., Fottner, S., Mohamed, A., Sieber, M., Härdtle, W. (2004): Einfluss kontrollierten Brennens auf die Nährstoffdynamik von Sand- und Moorheiden. In: Keienburg, T. und J. Prüter (Hrsg.): Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland. Ökologische und sozioökologische Grundlagen des Heidemanagements auf Sand- und Hochmoorstandorten. NNA-Berichte 17 (2). Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen, 65–79.
- Nowak, B. (2000): Grünlandbiotope in der Region Mittelhessen. Naturschutzfachliche Grundlagen, Bewertungskonzepte und Planungsempfehlungen. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Gießen.
- Peppler-Lisbach, C., Könitz, N. (2017): Vegetationsveränderungen in Borstgrasrasen des Werra-Meißner-Gebietes (Hessen, Niedersachsen) nach 25 Jahren. *Tuexenia* 37, 201-228
- Schaller, K., 2000. Praktikum zur Bodenkunde und Pflanzenernährung. Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim.
- Stanik, N., Hollmann, V., Hoppe, A., Leyer, I., Rosenthal, G., Türk, W., Jörg Weise (2018). Die Arnika (*Arnica montana* L.): Erfahrungen und vorläufige Ergebnisse aus Praxis und Forschung zu Rückgang, Hilfsmaßnahmen und Managementperspektiven für eine Verantwortungsart unseres Berggrünlandes. *Jahrbuch Naturschutz in Hessen* 17, 99-104.
- Stevens, C.J., Duprè, C., Dorland, E., Gaudnik, C., Gowing, D.J., Bleeker, A., Diekmann, M., Alard, D., Bobbink, R., Fowler, D., Corcket, E., Mountford, J.O., Vandvik, V., Aarrestad, P.A., Muller, S., Dise, N.B. (2011). The impact of nitrogen deposition on acid grasslands in the Atlantic region of Europe. *Environmental Pollution* 159, 2243-2250.
- Wanner, M., Anders, K., Brunk, I., Burkart, B., Van Dorsten, P., Fürstenau, S., Oehlschlaeger, S., Prochnow, A., Wiesener, C., Xylander, W.E. (2004): Offenhaltung durch Feuer. In: Anders, K. et al. (Hrsg.): *Handbuch Offenlandmanagement. Am Beispiel ehemaliger und in Nutzung befindlicher Truppenübungsplätze*. Springer, Berlin: 153–168.

Anhang



Abb. A1: Lage der Untersuchungsflächen, die 2019 gebrannt wurden. a) nordwestlich und südöstlich Nanzenbach, b) bei Hirzenhain, Nähe Segelfliegerheim, c) nördlich Simmersbach. Bildgrundlage Google Earth 2019