



**Universität für Bodenkultur Wien**  
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

# Masterarbeit

## **Samentransfer durch Kleinsäuger im Urwald Rothwald**

verfasst von

**Peter KITTENBERGER, BSc**

im Rahmen des Masterstudiums

**Wildtierökologie und Wildtiermanagement**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Master of Science**

Wien, August 2021

Betreut von:

Assoc. Prof. Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ursula Nopp-Mayr  
Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft  
Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Georg Gratzner  
Institut für Waldökologie  
Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Frederik Sachser, MSc  
Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft  
Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, 30. August 2021

Peter KITTENBERGER (eigenhändig)

## Danksagung

Diese Masterarbeit wurde im Zuge des Masterstudiums „Wildtierökologie und Wildtiermanagement“ an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) verfasst, um den akademischen Grad „Master of Science“ zu erlangen. Das Einlesen in die Materie, das Aufnehmen und Auswerten der Daten, sowie das Schreiben der Masterarbeit fand von September 2020 bis August 2021 statt.

Ich konnte im Zuge des FWF-Projekts (P 30381-B25) „Sporadische Samenproduktion bei mastenden Baumarten“ (SPOM) von Anfang Oktober bis Mitte November 2020 im Wildnisgebiet Dürrenstein, genauer gesagt im Urwald Rothwald, Daten sammeln und dadurch Gebiete betreten, in die man nur im Zuge von wissenschaftlichen Arbeiten vordringen darf. Es handelte sich um eine einmalige Gelegenheit, in der ich viele Erfahrungen sammeln und viel Neues lernen konnte.

Ich möchte mich sehr bei Prof. Georg Gratzer, als Projektleiter des FWF-Projekts (P 30381-B25) „Sporadische Samenproduktion bei mastenden Baumarten“ (SPOM) bedanken, der die benötigten Geräte sowie die Infrastruktur für diese Masterarbeit finanzierte.

Besonders möchte ich mich bei meinen Betreuer\*innen der Masterarbeit Prof. Ursula Nopp-Mayr, Frederik Sachser und Prof. Georg Gratzer bedanken. Es ist auf keinen Fall selbstverständlich, von Anfang an dermaßen unterstützt zu werden, sowohl was die Hilfe beim Aufbau der Studie betrifft als auch bei der statistischen Auswertung im späteren Verlauf. Auch die schnellen Rückmeldungen auf jede Frage meinerseits machten es mir möglich, durchgehend effizient an dieser Masterarbeit arbeiten zu können.

Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Klaus Hackländer bedanken, der vorübergehend die Hauptbetreuung der Masterarbeit übernahm, wodurch ich rechtzeitig mit der Feldforschung beginnen konnte. Zusätzlicher Dank gilt meiner Studienkollegin Christina Ahrer, die mir im Zuge ihres Projektpraktikums bei der Feldarbeit geholfen hat.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei Familie und Freunden für ihre Unterstützung und Geduld bedanken. Dies war gerade in einer Zeit, die von einer globalen Pandemie und mehreren Lockdowns geprägt war, sehr viel Wert. Meine letzten Dankworte gehen noch an

meine Freundin Ljubica, die mir beim Korrekturlesen dieser Arbeit geholfen hat und auch sonst eine große Unterstützung für mich war.

Peter Kittenberger

Wien, 30. August, 2021

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	i
Danksagung .....	ii
Inhaltsverzeichnis .....	iv
Kurzfassung .....	v
Abstract .....	vi
1 Einleitung .....	1
1.1 Aktueller Forschungsstand .....	1
1.2 Ziel der Studie .....	7
1.3 Fragestellungen und Hypothesen .....	8
2 Material und Methoden .....	10
2.1 Untersuchungsgebiet .....	10
2.2 Aufbau der Studie .....	11
2.3 Datenaufnahme .....	14
2.4 Statistische Auswertung .....	15
3 Ergebnisse .....	18
3.1 Nachgewiesene Säugetier-Arten – Potenzielle Samenprädatoren .....	18
3.2 Samenschicksal und Überlebenswahrscheinlichkeit .....	19
3.3 Initiale Transportdistanz .....	27
3.4 Transportrichtung .....	32
4 Diskussion .....	35
4.1 Kamerafallennachweise .....	35
4.2 Samenschicksal und Überlebenswahrscheinlichkeit .....	36
4.3 Initiale Transportdistanz .....	39
4.4 Transportrichtung .....	44
5 Fazit .....	45
6 Literaturverzeichnis .....	46

## Kurzfassung

Kleinsäuger können als potenzielle Samenräuber einen wichtigen Beitrag bei der Verbreitung von Pflanzenarten und deren Diasporen im Ökosystem Wald leisten. Um festzustellen, wohin und wie weit Kleinsäuger Pflanzensamen transportieren, müssen diese zunächst markiert und ausgelegt werden. Inwiefern die gewählten Markierungsmethoden und Standorte Einfluss auf das Verhalten der Kleinsäuger haben und wohin die Samenräuber bevorzugt ihre Beute transportieren, wurde im Zuge dieser Studie getestet. Im Urwald Rothwald wurden Buchensamen an sechs verschiedenen Standorten innerhalb einer Kronendachlücke, am Lückenrand und unter geschlossenem Kronendach in Versuchsschalen ausgelegt. Zwei Markierungsmethoden wurden angewendet: 1) vhf-Sender wurden mittels lösungsmittelfreiem Fugenkleber an Buchensamen angebracht, 2) blaue Plastikflaggen wurden mittels dünnem Metalldraht an Bucheckern befestigt. Jeweils zehn markierte und unmarkierte Samen wurden gemeinsam pro Versuchsschale (in Summe 18 Schalen) ausgelegt. Die Versuchsschalen wurden von Anfang Oktober bis Mitte November kontrolliert und Transportereignisse wurden dokumentiert. Kleinsäuger zeigten bei der Samenauswahl keine Präferenz bezüglich Markierungsmethode oder Versuchsschalenstandort, jedoch konnten Unterschiede in der ersten Transportdistanz nach Auslegung der Samen in Zusammenhang mit der Markierungsmethode und dem Versuchsschalenstandort ausgemacht werden. Buchensamen mit vhf-Sender und jene aus dem Inneren der Kronendachlücke wurden signifikant weiter transportiert. Des Weiteren konnte ein signifikanter Unterschied in der ersten Transportdistanz nach Auslegung der Samen zwischen dem Aufnahmejahr 2019 und 2020 festgestellt werden. Die markierten Samen wurden im Jahr 2019 überwiegend vom Lückenrand in Richtung Kronendachlücke transportiert, im Jahr 2020 hingegen vom Lückenrand in den dichten Waldbestand.

*Schlagwörter:* Samenschicksal, Samenverbreitung, Markierungsmethoden, Transportrichtung, Kleinsäuger, Transportdistanz

## Abstract

As potential seed predators, small mammals make an important contribution to the dispersal of plant species and their seeds in forest ecosystems. To determine the dispersal direction and dispersal distance of seeds by small mammals, seeds must be tagged and offered to potential predators. The aim of the study was to investigate, whether the chosen tagging-methods and dish-placement sites had an influence on the mammals' behavior and in which direction they preferred to disperse their prey. In the primeval forest Rothwald beech seeds were offered on experimental dishes within six different locations inside a gap, at the edge of the gap and at the stock around the gap. Two different tagging-methods were used: 1) radio-transmitters were fixed on beechnuts with solvent-free joint adhesive, 2) plastic flags on wire threads were attached to beech seeds. Per experimental dish (in total 18 dishes) ten tagged and ten unmarked beechnuts were offered. Data collection took place from the beginning of October to mid-November where experimental dishes were observed regularly, and transport events were documented. The tagging method and the dish placement had no influence on the acceptance behavior of seeds by small mammals, but a difference in the first dispersal distance after exposure was detected, depending on the seed-tagging method and the dish placement. Beechnuts from experimental dishes inside the gap and beech seeds tagged with radio-transmitters showed a significant higher distance for the first transport event. In addition, a significant difference in the first dispersal distance after exposure was found between the data from 2019 and 2020. In 2019 tagged seeds were mainly transported from the edge of the gap into the middle of gap whereas in 2020 they were mainly transferred from the edge of the gap into the dense forest.

*Keywords:* seed fate, seed dispersal, seed tagging, small mammals, dispersal direction, dispersal distance

# 1 Einleitung

## 1.1 Aktueller Forschungsstand

Konsumenten erster Ordnung können anhand ihres Fressverhaltens sowohl die individuelle Fitness von Pflanzen als auch deren Populationsdynamik erheblich beeinflussen. Die Populationsdynamik der Pflanzen und dieser Tiere ist eng miteinander gekoppelt und Gegenstand zahlreicher Studien (Beck & Vander Wall, 2010; Beckage & Clark, 2005; Cousens et al., 2008; Nopp-Mayr et al., 2012; Saastamoinen et al., 2018; Schnurr et al., 2004; Wang et al., 2012; Wang & Ives, 2017). Unter anderem sind viele Baumarten bei der Verbreitung ihrer Samen von verschiedenen frugivoren Tierarten abhängig. Heimische Pflanzenarten wie die Sauerkirsche (*Prunus cerasus*) und die Europäische Eibe (*Taxus baccata*) sind an Zoochorie gebunden, aber auch Gattungen wie Äpfel (*Malus*) und Birnen (*Pyrus*) profitieren von der Samenverbreitung durch Frugivore. Wirbellose Tiere, Vögel und manche Kleinsäuger, wie unter anderem Eichhörnchen, fressen und verschleppen Baumsamen bereits bevor sie reif von den jeweiligen Bäumen fallen (Kelly et al., 2001). Der Großteil der Kleinsäuger konsumiert und verbreitet verschiedenste Baumsamen jedoch meist nachdem der Samenregen stattgefunden hat (Plucinski & Hunter, 2001; Schnurr et al., 2002). Dabei haben tierische Samenvektoren aufgrund ihres artspezifischen Samenverbreitungsvermögen und Hortungsverhalten großen Einfluss auf die sekundäre Dispersion und das Verbreitungsgebiet verschiedener Pflanzenarten und der daraus resultierenden Pflanzengemeinschaften vor Ort (Beck & Vander Wall, 2010; Beckage & Clark, 2005; Cousens et al., 2008; Li et al., 2019; Nopp-Mayr et al., 2012; Saastamoinen et al., 2018; Schnurr et al., 2004; Wang et al., 2012; Wang & Ives, 2017). Die Samenverbreitungsdistanz, die sich durch eine derartige Zoochorie ergibt, ist jedoch nicht nur abhängig von der jeweiligen Vektor-Tierart, sondern wird auch stark beeinflusst von der Populationsdichte der potenziellen Samenprädatoren (Jansen et al., 2002; Tamura & Hayashi, 2008; Zhang et al., 2008), dem Hortungsverhalten (scatter hoarder vs. larder hoarder) (Vander Wall, 2000; Vander Wall & Jenkins, 2003), der Vermeidung von intra- und

interspezifischer Konkurrenz (Samendiebstahl aus Lagern) (Moore et al., 2007), sowie dem Samengewicht (Gómez et al., 2008; Jansen et al., 2004; Perea et al., 2012; Seiwa et al., 2002) und der Samengröße (Jansen et al., 2002; Tamura & Hayashi, 2008; Zhang et al., 2008).

Die samenproduzierenden Pflanzen können allerdings auch selbst Einfluss auf die erfolgreiche Ausbreitung ihrer Verbreitungseinheiten nehmen, indem sie durch bestimmte Strategien das Verhalten der Kleinsäuger prägen (Muñoz & Bonal, 2011; Vander Wall, 2010). Eine solche Strategie liegt in einer wiederkehrenden Abfolge von Jahren mit reicher Samenproduktion, sogenannten Mastjahren. Nach mehreren Jahren an mäßig hoher Pflanzensamenproduktion (Sprengmasten bzw. sporadische Masten) kommt es zu einem Mastjahr. In einem Vollmastjahr kommt es bei allen Individuen einer Pflanzenpopulation synchron zu einer intensiven Samenproduktion. Im Anschluss an ein Mastjahr kann ein Jahr mit ausbleibender Samenproduktion folgen (Selva et al., 2012; Silvertown, 1980). Es gibt laut Kelly (1994) acht Theorien, weshalb Baumarten im Laufe der Evolution derartige Strategien entwickelt haben: Ressourcenanpassung, Übersättigung der Samenräuber, Windbestäubung, Vorhersage günstiger Jahre für das Etablieren der Sprösslinge, Bestäubung durch Tiere, Verbreitung von Früchten durch Tiere, hohe Nebenkosten durch Fortpflanzung, sowie große Samengröße. Eine der gängigsten Theorien ist die sogenannte Sättigungshypothese (Janzen, 1971; Kelly & Sork, 2002; Kon et al., 2005): Diese Hypothese beruht auf der Idee, dass bei einer starken Produktion von Samen in manchen Jahren (sogenannten Mastjahren) Samenräuber-Populationen nicht sofort in ihrem Wachstum auf das Samenangebot reagieren können und somit mehr Samen produziert werden, als von den Samenprädatoren unmittelbar konsumiert werden können (= Sättigung). Als Konsequenz der Mastjahre ergibt sich daher ein gewisser Anteil an Samen, der auf Grund der Sättigung der Prädatoren erfolgreich einer Prädation entgeht und somit potenziell keimen und sich weiterentwickeln kann (Jansen et al., 2004; Li & Zhang, 2007; Ostfeld et al., 1996; Pucek et al., 1993; Saitoh et al., 2008; Schnurr et al., 2002; Selva et al., 2012; Stenseth et al., 2002; Wolff, 1996).

Nopp-Mayr et al. (2012) zeigen hingegen in ihrer Studie, dass es keine Evidenz für das Zutreffen der Sättigungshypothese in deren Untersuchungsgebiet im Urwald Rothwald in den Jahren ihrer Datenaufnahme gibt: von der Mast im Jahr 2003 haben beinahe keine Buchensamen überlebt. Der Beitrag des Mastjahrs in der Verbreitung der Rotbuche, im Sinne von Keimlingen der Buche, war infolgedessen nur marginal. Da in anderen Studien die Sättigungshypothese bestätigt werden konnte (Kelly & Sork, 2002; Kon et al., 2005), bietet das System Urwald Rothwald Anlass für weitere Forschungen.

Die artspezifischen Verhaltensweisen von Kleinsäugetieren haben großen Einfluss auf die sekundäre Dispersion und das Verbreitungspotential verschiedener Pflanzenarten. Wesentlich sind dabei das Samenhortungsverhalten (Vander Wall, 2000; Vander Wall & Jenkins, 2003) sowie die Vermeidung von inter- und intraspezifischer Konkurrenz (Moore et al., 2007). In Bezug auf Hortungsverhalten unterscheidet man zwischen zwei Typen: 1) mehrere kleine, oberflächennahe Lager, die weit voneinander entfernt liegen und in denen nur ein oder wenige Samen gehortet werden (scatter-hoarding), 2) wenige tief gelegene Vorratskammern, die meist zentral im Aktionsraum der Vektor-Tierart liegen und in denen eine große Menge an Samen gelagert werden (larder-hoarding) (Vander Wall & Beck, 2012). Jene von Kleinsäugetieren in Vorratslager transportierte Samen können, wenn sie bis ins Frühjahr überleben und sich an einem keimtauglichen Mikrostandort befinden, erfolgreich keimen und somit zur Waldverjüngung und gegebenenfalls zur Ausbreitung einer Baumart beitragen (Beck & Vander Wall, 2010; Guo et al., 2001; Haas & Heske, 2005; Schnurr et al., 2002).

Das Hortungsverhalten der Samenvektoren ist unmittelbar mit der Vermeidung von inter- und intraspezifischer Konkurrenz verbunden (Vander Wall, 2010; Vander Wall & Jenkins, 2003). Das Lagern der Samen in mehreren, weit entfernten Vorratskammern, verringert die Plünderungswahrscheinlichkeit durch andere Samenräuber (Moore et al., 2007; Vander Wall, 2000; Vander Wall & Jenkins, 2003). Das Auffinden und Plündern von kleinen, oberflächennahen Vorratskammern durch Nahrungskonkurrenten hat für Kleinsäugetiere geringere Folgen als die Plünderung der großen, tiefgelegenen Nahrungslager

(Vander Wall & Jenkins, 2003). Durch die längeren Wege zwischen den Vorratskammern wird jedoch das räumliche Gedächtnis der Samenräuber stärker beansprucht und der Energieverbrauch ist größer (Vander Wall & Jenkins, 2003). Zusätzlich existiert eine höhere Gefahr selbst zur Beute von Prädatoren zu werden (Vander Wall & Jenkins, 2003). Infolgedessen sind Samendiebstahlvermeidung, Feindvermeidungs- und Hortungsverhalten eng miteinander gekoppelt. Hierbei spielen zusätzlich die Vegetationsstrukturen vor Ort eine wesentliche Rolle. Die geringste Plünderungswahrscheinlichkeit durch Nahrungskonkurrenten existiert beim Anlegen von mehreren, weit entfernten Vorratslagern in Gebieten mit spärlicher Vegetation. Diese offenen Regionen werden oftmals von Kleinsäufern gemieden, da sie ein erhöhtes Prädationsrisiko mit sich ziehen. Die Samenvektoren müssen somit Kompromisse zwischen höherem eigenen Prädationsrisiko durch Raubtiere und geringerer Plünderungswahrscheinlichkeit durch Nahrungskonkurrenten in offenem Gelände eingehen (Vander Wall, 2010).

Einen weiteren Einflussfaktor auf die individuelle Fitness von Pflanzen sowie der Dynamik der Pflanzengesellschaften bietet die rasche Antwortmöglichkeit von Kleinsäufern auf eine ansteigende Ressourcenverfügbarkeit. Ausreichend Nahrung ermöglicht Kleinsäufern sich bis in den Winter und darüber hinaus zu reproduzieren. Eine hohe Samenverfügbarkeit, wie es in Mastjahren der Fall ist, sorgt infolgedessen rasch zu einer hohen Samenräuberpopulationsdichte, welche wiederum einen hohen Prädationsdruck auf Samen bewirkt (Bujalska & Grüm, 2008; Kempter & Nopp-Mayr, 2013; Leditznig & Pekny, 2009; Ostfeld et al., 1996; Schnurr et al., 2002; Stenseth et al., 2002). Es kommt zu einer reduzierten Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen verschiedener Baumarten. Diese wiederum beeinflusst die zeitliche Dynamik der Verjüngung in Hinblick auf Mastereignisse. Die daraus resultierenden Nahrungsengpässe bewirken intra- und interspezifischen Stress bei den Samenräubern, welcher schlussendlich zum Zusammenbruch der Samenräuberpopulation beiträgt.

Um nachvollziehen zu können, wohin und wie weit Samen von Samenvektoren wie etwa Kleinsäufern transportiert werden, müssen Samen markiert werden. Es gibt bereits

zahlreiche Studien, in denen verschiedene Methoden für das Nachverfolgen von Samen getestet wurden: Eine häufig verwendete Markierungsmethode ist das Kennzeichnen der Samen mit Plastik- oder Zinnflaggen, welche mit einem Draht oder einer Angelleine an den Samen befestigt werden (Cheng et al., 2005; Gómez et al., 2008; Hausleithner, 2014; Hausleithner et al., 2015; Kempster et al., 2018; Kitamura et al., 2008; Li et al., 2019; Li & Zhang, 2007; Muñoz & Bonal, 2007; Xiao et al., 2013, 2006; Yi et al., 2008; Yi & Wang, 2015; Zhang et al., 2008). Angelleinen werden jedoch oft von Nagetieren durchgebissen, was bei der Anwendung mit Draht selten vorkommt (Xiao et al., 2006). Eine weitere Markierungsmethode ist das Verwenden von vhf-Sendern, welche auf Buchensamen (Kempster et al., 2018), Eicheln (Soné & Kohno, 1999) und Walnüsse (Tamura & Hayashi, 2008) geklebt werden. Für kleinere Samen, wie unter anderem Buchensamen, galt die Markierung durch vhf-Sender lange Zeit als ungeeignet, da die Sender vor einigen Jahren noch ein wesentlich höheres Gewicht aufwiesen (Forget & Wenny, 2005). Jedoch hat sich in den letzten 16 Jahren technisch viel weiterentwickelt und vhf-Sender sind mittlerweile wesentlich kompakter und leichter. Dies ermöglicht gegenwertig deren Anwendung auch an kleineren Samen. Seiwa et al. (2002) und Iida (2006) nutzen als weitere Markierungsmethode Magnete um die Samen mithilfe von Metalldetektoren zu verfolgen, Wróbel und Zwolak (2013) verwenden fluoreszierendes Pulver für die Nachverfolgung und Beck und Vander Wall (2010) setzen eine radioaktive Markierungsmethode ein, um verschleppte Samen wiederzufinden. Yi und Wang (2015) verwenden neben vhf-Sendern und Plastikflaggen noch zusätzlich Nägel als Markierungsmethode und tränken weitere Samen in Stickstoff-Isotope um sie so verfolgen zu können. Auch Hirsch et al. (2012) kombinieren vhf-Sender und Plastikflaggen als Markierungsmethode, verwenden jedoch zusätzlich Magnete um die Batteriebetriebszeit zu verlängern: durch das Verwenden von Magneten werden die Transmitter erst eingeschaltet, sobald Tiere die Samen angenommen und wegtransportiert haben. In mehreren Studien werden auch Löcher durch die Samen gebohrt, um entweder Magnete darin zu positionieren (Seiwa et al., 2002) oder um Plastik- oder Zinnflaggen mittels Drähten und Angelleinen zu fixieren (Li et al., 2019; Xiao et al., 2006, 2013; Yi et al., 2008). Das Durchbohren der Samen kann jedoch Probleme

verursachen: Durch das somit entstandene Loch kann es leichter zu einem Pilzbefall des Samens kommen (Cheng et al., 2005). Des Weiteren können bei der Durchbohrung des Samens sowohl der Embryo, als auch die Keimblätter verletzt werden, wodurch die Keimung und somit die Waldverjüngung negativ beeinflusst werden kann (Xiao et al., 2006; Yi & Wang, 2015).

Die Wahl der Markierungsmethode muss daher unter Beachtung möglicher resultierender systematischer Fehler erfolgen. Durch das Markieren der Samen sollten die ursprünglichen Eigenschaften der Samen (Gewicht, Annehmbarkeit, Geruch, Keimfähigkeit) kaum bis gar nicht verändert werden. Mehrere Studien zeigen, dass Samengewicht und Samengröße das Verhalten der Samenprädatoren in Bezug auf Auswahlverfahren, Hortung, Konsumierung sowie Transportdistanz beeinflussen (Gómez et al., 2008; Jansen et al., 2004; Perea et al., 2012; Seiwa et al., 2002; Tamura & Hayashi, 2008; Vander Wall, 1990). Zhang et al. (2008) dokumentieren in ihrer Studie, dass kleinere Samen der gleichen Art, anstatt in die Vorratskammern transportiert zu werden, bevorzugt vor Ort gefressen werden. Markierungsmethoden, welche das Gewicht von Samen erhöhen, täuschen durch ihr Eigengewicht einen höheren Nährstoffgehalt der Samen vor, wodurch diese weiter transportiert werden als leichtere Vertreter (Gómez et al., 2008; Jansen et al., 2004; Perea et al., 2012; Seiwa et al., 2002). Ein weiteres Kriterium zur Auswahl einer Markierungsmethode stellt ein leichtes Auffinden der Samen auch innerhalb eines größeren Untersuchungsgebiets dar. Dies kann in Ökosystemen mit dichter Vegetation, wie sie unter anderem im Urwald Rothwald vorzufinden ist, eine Herausforderung darstellen. Daher müssen bei der Wahl der Markierungsmethoden Kompromisse zwischen gewichtsbeeinflussendem Samenräuberverhalten (Xiao et al., 2013) und entfernungsabhängigem Misserfolg der Fundrate eingegangen werden (Hirsch et al., 2012). Je weiter markierte Samen transportiert werden, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit, dass diese gefunden werden, da der Suchaufwand mit steigendem Suchradius exponentiell zunimmt (Hirsch et al., 2012). Wenn der gewählte Suchradius kleiner ist als die Langstreckentransporte führt es dazu, dass die tatsächliche Transportdistanz von Samen unterschätzt wird. Das letzte Auswahlkriterium der

Markierungsmethode ist, dass die Marker über den gesamten Zeitraum der Datenaufnahme am Samen haften bleiben sollen um Informationen über das Samenschicksal sammeln zu können.

## 1.2 Ziel der Studie

Von den im Kapitel 1.1 beschriebenen Markierungsmethoden sollten im Rahmen dieser Studie die Markierungen mittels vhf-Sender und Plastikflagge mit Draht getestet werden. Bereits Kempster et al. (2018) führten ihre Untersuchungen im Urwald Rothwald mit den gleichen Markierungsmethoden durch, allerdings beschränkt auf ein Jahr. Infolgedessen wurde diese Studie genutzt, um weitergehende Aussagen anhand zusätzlicher Studienjahre und Erhebungen treffen zu können. Das Hauptaugenmerk dieser Studie lag darin festzustellen, wie stark der Einfluss der beiden Markierungsmethoden auf das Verhalten der Samenräuber im gewählten Untersuchungsgebiet war.

Des Weiteren sollte festgestellt werden, inwiefern die gewählten Mikrostandorte, an denen die Buchensamen ausgebracht wurden, das Annahme- und Transportverhalten der Kleinsäuger beeinflussen. Dabei lag der Fokus vor allem auf den unterschiedlichen kleinstandörtlichen Bedingungen, die sich durch die Lückendynamik im Urwald Rothwald ergaben. Innerhalb einer Kronendachlücke, an Lückenrändern und unter geschlossenem Kronendach existieren unterschiedliche Vegetationsbedeckungen. Diese beeinflussen das Verhalten der Kleinsäuger durch unterschiedliche Lebensraumpräferenzen und Feindvermeidungsstrategien. Infolgedessen war mit Unterschieden in der Annahme der Samen und dem Transportverhalten an den genannten Lücken-IDs in Abhängigkeit der Kleinsäugerart zu rechnen.

Schwerpunkt dieser Studie war somit festzustellen, inwiefern die gewählten Markierungsmethoden und Standorte der Versuchsschalen, in denen die Buchensamen ausgelegt wurden, das Wahlverhalten der Kleinsäuger sowie deren Samentransferdistanz beeinflussen. Zusätzlich sollte festgestellt werden, ob Kleinsäuger, nachdem sie sich für bestimmte Buchensamen entschieden haben, die Samen bevorzugt in gewisse Richtungen

transportieren. Die gewählte Transportrichtung hat einerseits Einfluss auf das weitere Schicksal der Samen, andererseits beeinflusst die Vegetationsbedeckung am Ort der gewählten Richtung das Prädationsrisiko der Samenräuber.

### 1.3 Fragestellungen und Hypothesen

Angesichts dieser Zielsetzungen wurden in der vorliegenden Studie folgende Fragestellungen bearbeitet, sowie dazugehörige Hypothesen abgeleitet. Zusätzlich wurden mittels Kamerafallen potenzielle Samenprädatoren in der Nähe der Versuchsschalen nachgewiesen.

Frage 1: Gibt es Unterschiede in der Annahme (i.S. einer Überlebenszeit und eines Samenschicksals) der ausgelegten Buchensamen durch Kleinsäuger je nach Markierungsmethode (unmarkierte Samen dienen als Kontrollgruppe)?

Hypothese 1: Die Markierungsmethode hat keinen Einfluss auf die Annahme der ausgelegten Buchensamen: Es gibt keine Unterschiede in der Samenakzeptanz zwischen mit vhf-Sender markierten und mit Plastikflagge markierten Samen.

Frage 2: Gibt es Unterschiede in der Annahme (i.S. einer Überlebenszeit und eines Samenschicksals) der ausgelegten Buchensamen durch Kleinsäuger je nach Lückensituation (innerhalb der Lücke, Lückenrand, umgebender Waldbestand)?

Hypothese 2: Die Lückensituation hat keinen Einfluss auf die Annahme der ausgelegten Buchensamen: Es gibt keine Unterschiede in der Samenakzeptanz zwischen jenen Buchensamen in den Kronendachlücken, jenen am Rand der Lücke und jenen unter geschlossenem Kronendach.

Frage 3: Gibt es Unterschiede in der initialen Samentransferdistanz (erstes Transportereignis) durch Kleinsäuger je nach Markierungsmethode?

Hypothese 3: Die Markierungsmethode hat keinen Einfluss auf die initiale Samentransferdistanz (erstes Transportereignis): Es gibt keine Unterschiede in der Samenverbreitungsdistanz zwischen mit vhf-Sender markierten und mit Plastikflagge markierten Samen.

Frage 4: Gibt es Unterschiede in der initialen Samentransferdistanz (erstes Transportereignis) durch Kleinsäuger je nach Lückensituation (innerhalb der Lücke, Lückenrand, umgebender Waldbestand)?

Hypothese 4: Die Lückensituation hat keinen Einfluss auf die initiale Samentransferdistanz (erstes Transportereignis): Es gibt keine Unterschiede in der Samenverbreitungsdistanz zwischen jenen Buchensamen in den Kronendachlücken, jenen am Rand der Lücke und jenen unter geschlossenem Kronendach.

Zusatzfrage 1: Werden die Buchensamen am Rand der Lücke zufällig in verschiedene Richtungen transportiert oder werden bestimmte Richtungen bevorzugt?

Zusatzhypothese: Es gibt keinen Unterschied in der Transportrichtung der Bucheckern zwischen den verschiedenen Versuchsschalen am Rand der Lücke: Die Buchensamen in den Versuchsschalen am Lückenrand werden bei allen Lücken-IDs zufällig verbreitet.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Die Datenaufnahme fand im Wildnisgebiet Dürrenstein statt. Hierbei handelt es sich um ein IUCN Kategorie I Schutzgebiet (Leditznig, 2013; Schönemann, 2017), welches sich im Südwesten von Niederösterreich an der Grenze zur Steiermark in den nördlichen Kalkalpen befindet ( $47^{\circ}48'N$   $15^{\circ}01'O$  bis  $47^{\circ}45'15''O$ ).

Innerhalb des Wildnisgebiets liegt der Urwald Rothwald, welcher in den Kleinen und Großen Urwald unterteilt wird (siehe Abbildung 1). Die beiden Teile sind durch eine Distanz von etwa einem Kilometer Luftlinie und den Fluss Moderbach voneinander getrennt. Der Große Urwald ist gekennzeichnet durch seine Hang- und Schluchtwälder, der Kleine Urwald hingegen ist geprägt durch seine Beckenlage. Im Zuge dieser Studie wurden insgesamt sechs Standorte im Urwald Rothwald (jeweils drei im Kleinen Urwald und drei im Großen Urwald) für die Datenaufnahme herangezogen.

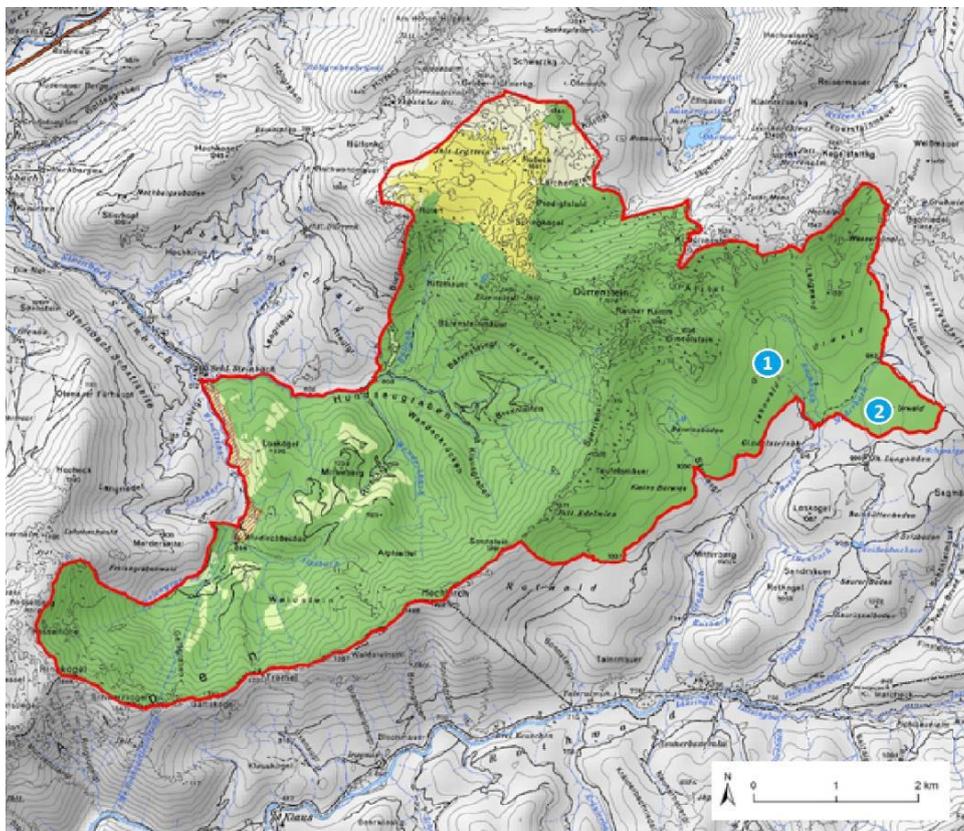


Abbildung 1: rot umrandetes Gebiet ist das Wildnisgebiet Dürrenstein, die Urwaldgrenzen sind nicht eingezeichnet. 1 = Großer Urwald, 2 = Kleiner Urwald (Quelle: Leditznig, 2013, S. 12)

Das Wildnisgebiet Dürrenstein besitzt eine Gesamtfläche von 35 km<sup>2</sup> (Stand 2017), wobei der Urwald Rothwald 300 ha davon einnimmt (Schönemann, 2017). Die Seehöhe in dem Schutzgebiet liegt zwischen 600 und 1878 Meter (Schönemann, 2017). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 3,9°C und der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 2300 mm (Ellmayer, 2011). Der Schnee bleibt in der Regel von November bis Mai liegen und kann in dem Zeitraum mehrere Meter dicke Schneedecken ausbilden (Ellmayer, 2011).

Die am häufigsten vorkommenden Baumarten im Urwald Rothwald sind die Rotbuche (*Fagus sylvatica*), sowie die Fichte (*Picea abies*) und die Weiß-Tanne (*Abies alba*) (Schönemann, 2017). Die Bodenvegetation ist, neben zahlreichen Jungbäumen, unter anderem stark geprägt von Heidelbeeren (*Vaccinium myrtillus*), Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), Wald-Labkraut (*Galium sylvaticum*) und Schneerosen (*Helleborus niger*) (Ellmayer, 2011; Zukrigl et al., 1963).

## 2.2 Aufbau der Studie

Für die Wahl der Samen mussten folgende Punkte berücksichtigt werden: 1) Welche Baumarten dominieren im Urwald Rothwald, 2) welche Samen lassen sich entsprechend markieren, 3) welche davon werden stark von den Kleinsäugetieren angenommen, können erwiesenermaßen die Kleinsäugetiersituation prägen und profitieren bezüglich ihrer weiten Verbreitung von Zoochorie. Nopp-Mayr et al. (2012) haben unter Berücksichtigung all dieser Punkte festgestellt, dass bei sogenannten Cafeteria-Experimenten im Urwald Rothwald von den angebotenen Samen der Rotbuche, Fichte und Weiß-Tanne, Bucheckern bevorzugt aus den Versuchsschalen entnommen wurden. Daher wurden im Zuge dieser Studie – ähnlich wie bei Hausleithner (2014) – lediglich Buchensamen ausgelegt.

Mitte September 2020 wurden Bucheckern unmittelbar nach dem Samenfall vor Ort gesammelt und im Kühlschrank bis zum Start der Feldexperimente gelagert.

Aus den gesammelten Buchensamen wurden 360 Bucheckern zufällig ausgewählt (abgesehen von Samen, die Anzeichen von Insektenbefall besaßen), abgewogen und mit

schwarzem, wasserunlöslichem Marker individuell beschriftet. Die Bucheckern wurden in drei Gruppen aufgeteilt:

1. An 36 der Buchensamen wurde, mittels geringer Menge lösungsmittelfreiem Fugenkleber, ein vhf-Sender (20 cm Antenne, 1 g Gewicht, Durchmesser: 1 cm, Modell: PicoPip der Firma „Lotek“) befestigt. Um diese Bucheckern im Urwald auf kurzer Distanz optisch leichter finden zu können, wurde an der Spitze eine 1x3 cm große Flagge aus grün-gelbem Isolierband befestigt.
2. 144 Bucheckern wurden mittels einer blauen 2x3 cm großen Plastikflagge, welche aus einem Schnellhefter ausgeschnitten wurde, markiert. Diese Flaggen wurden mit einem sehr feinen, 25 cm langen Draht und einer speziellen Wickeltechnik an den Buchensamen fixiert. Beide Seiten der Plastikflaggen wurden, wie die Samen selbst, mittels schwarzem, wasserunlöslichem Marker individuell beschriftet.
3. Die restlichen 180 Buchensamen dienten als Kontrollsamensamen und wurden, abgesehen von der individuellen Beschriftung, mit keiner weiteren Markierung versehen.

Die 360 Bucheckern wurden in insgesamt 18 Versuchsschalen im Rothwald ausgelegt. Bei den Versuchsschalen handelte es sich um braune Pflanzentopfuntersetzer aus Plastik, mit einem Durchmesser von 12 cm. Sowohl in die Mitte als auch an den Rand dieser Versuchsschalen wurde ein kleines Loch gebohrt. Das Loch am Rand diente dem Abfluss von Regenwasser, das Loch in der Mitte diente zur Stabilisierung der Versuchsschale vor Ort, indem ein circa 20 cm langer Metallstab durch dieses Loch in den Boden gesteckt wurde.

Im Gegensatz zu Hausleithner (2014) und Nopp-Mayr et al. (2012), wurde an der Spitze des Metallstabs keine 14x14cm große transparente PVC-Platte als Regenschutz befestigt. Stattdessen wurde über jeder Versuchsschale eine Kamerafalle (Modell Victure HC600) in vertikaler Orientierung an einer transparenten PVC-Platte angebracht (siehe

Abbildung 2), um die Versuchsschale und einen kleinen Bereich des Waldbodens fotografieren zu können. Dies ermöglichte eine Artbestimmung der Kleinsäuger an den Schalenstandorten.

Pro Versuchsschale wurden insgesamt 20 Buchensamen ausgelegt: Zwei mit vhf-Sender markierte Bucheckern, acht Samen mit Plastikflagge und zehn unmarkierte Kontrollsamensamen (siehe Abbildung 3). Die zehn unmarkierten Kontrollsamensamen wurden in die Mitte der Versuchsschale gelegt. Die zehn Markierten hingegen wurden am Rand der Schale im Uhrzeigersinn ausgelegt, wobei die beiden mit vhf-Sender markierten Samen gegenüberliegend auf 0 und 6 Uhr positioniert wurden. Dies wurde gemacht, um später auf den Kamerafallenfotos besser nachvollziehen zu können, welche der markierten Samen aus den Versuchsschalen entnommen wurden.



Abbildung 2: Versuchsaufbau von Kamerafalle und Samenschale (Quelle: Foto von C. Ahrer)



Abbildung 3: Samenschale am Fuße einer Kamerafalle mit den unterschiedlich markierten Bucheckern (Quelle: Foto von C. Ahrer)

Die 18 Versuchsschalen wurden an insgesamt sechs verschiedenen Standorten positioniert. Jeder dieser Standorte war geprägt durch eine natürlich entstandene Kronendachlücke. Jeweils drei Lücken befanden sich im Großen und Kleinen Urwald. Pro Lücken-ID wurden drei Versuchsschalen aufgestellt. Eine Samenschale wurde in der Mitte der Kronendachlücke positioniert, eine am Lückenrand und eine Versuchsschale wurde im angrenzenden Waldbestand in der Nähe der Kronendachlücke aufgestellt. Diese drei Positionen wiesen, trotz unmittelbarer Nähe zueinander, unterschiedliche

Vegetationsstrukturen auf. Innerhalb der Kronendachlücken war vor allem dichte Bodenvegetation vorzufinden, sowie eine hohe Anzahl an Sprösslingen. Im umgebenden Waldbestand mangelte es, aufgrund des geschlossenen Kronendachs und der dadurch geringeren Sonneneinstrahlung, an dichter Bodenvegetation. An den Lückenrändern herrschte die höchste Strukturvielfalt, mit Vegetationsstrukturen aus dem Inneren der Kronendachlücke, sowie jenen aus dem umgebenden Waldbestand. Somit befanden sich pro Lücken-ID drei Samenschalen in unmittelbarer Nähe, aber dennoch in unterschiedlichen Mikrohabitaten.

### **2.3 Datenaufnahme**

Am 2. Oktober 2020 wurden die Versuchsschalen mitsamt Buchensamen und Kamerafallen im Großen Urwald positioniert, am 3. Oktober 2020 im Kleinen Urwald. Danach wurden die ausgebrachten Versuchsschalen und Kamerafallen regelmäßig kontrolliert, beginnend mit dem Großen Urwald am 3. Oktober 2020. Die Kontrollen der Buchensamen wurden 1, 3, 5, 7, 21, 30 sowie 38 bzw. 39 Tage nach ihrem Auslegen durchgeführt. Die Kontrolle an Tag 14 konnte nicht stattfinden, da es durch starken Schneefall nicht möglich war ins Wildnisgebiet Dürrenstein zu gelangen. Kamerafallen, sowie Versuchsschalen, wurden an Tag 21 abgebaut, da die Erreichbarkeit des Gebietes in der Folge von Schneefällen nicht mehr sichergestellt war. Die restlichen Buchensamen, die zu diesem Zeitpunkt noch in den Samenschalen waren, wurden ohne Versuchsschalen an den Versuchsstandorten hinterlassen. Nach Tag 38 bzw. 39 (11. November 2020) wurden die Kontrollen für das Jahr 2020 beendet, da kaum Prädations- oder Transportereignisse zu beobachten waren.

An jedem Kontrolltag wurde notiert, wie viele der Bucheckern in den Versuchsschalen liegen geblieben waren und wie viele transportiert oder gefressen wurden. Samen, die gefressen worden waren, wurden nicht ausgetauscht. Jene Buchensamen, die mit Plastikflaggen markiert waren, wurden optisch innerhalb eines 30 Meter Radius um die Versuchsschale gesucht. Ein Metalldetektor wurde ebenfalls zur Hilfe mitgenommen, da dieser bei Tests vor der Studie auf den hohen Eisengehalt im Draht reagierte. Die mit vhf-

Sender markierten Samen wurden mittels vhf-Antenne und „SIKA“ Receiver telemetriert, gegebenenfalls auch über den 30-m Radius hinaus. Wurde ein transportierter Samen gefunden, so wurde unmittelbar daneben ein ca. 15 cm langer Draht mit einer blauen Plastikflagge (individuell beschriftet wie der jeweilige Buchensamen) in den Boden gesteckt, um die aktuelle Position des Samens zu markieren. Somit konnte man an nachfolgenden Kontrolltagen feststellen, ob ein weiteres Transportereignis stattgefunden hatte oder nicht. Zusätzlich wurde mittels eines Maßbandes die Distanz und mithilfe eines Kompasses die Richtung (in GON) von Versuchsschale zur neuen Position der Bucheckern gemessen und notiert, um Informationen über Transportdistanz und -richtung zu erhalten.

Des Weiteren wurden einmalig an den Positionen der Versuchsschalen am Lückenrand zwei weitere Richtungen gemessen: Innerhalb der Lücke wurde jene Position gesucht, in der die geringste Deckung vorhanden war und davon wurde die Richtung (in GON) bestimmt. Die ermittelte Richtung wurde als „Richtung Lichtung“ bezeichnet. Im umgebenden Waldbestand wurde jener Ort gesucht, der die größte Deckung bot und davon wurde die Richtung (in GON) gemessen. Die erfasste Richtung wurde als „Richtung Deckung“ festgelegt.

## **2.4 Statistische Auswertung**

Aufgrund der Seltenheit von Transport- und Prädationsereignissen im Oktober und November 2020, wurden für die statistische Auswertung der abhängigen Variablen zusätzlich die Aufnahmedaten aus dem Jahr 2019 in diese Studie miteinbezogen. Die Kamerafallen-Aufnahmen stammen hingegen nur aus dem Jahr 2020 (Zeitraum 3. Oktober bis 24. Oktober).

Die Kamerafallenbilder wurden mittels der Software digiKam (KDE, Version 7.1.0) markiert und die Metadaten anhand der Software ExifTool (Phil Harvey, Version 12.16) ausgelesen. Die statistische Auswertung der Überlebenszeit und Transportdistanz, sowie die grafische Darstellung der Transportrichtung und der Kamerafallennachweise wurde mittels R (R Core Team, Version 4.1.0) durchgeführt.

Für die Überlebenszeitanalyse konnte die zunächst geplante Cox-Regression mit gemischten Effekten (in Englisch: mixed effects cox regression model) nicht durchgeführt werden, da die Annahme der proportionalen Hazards für die beiden unabhängigen Variablen Markierungsmethode und Lückensituation (Versuchsschalen innerhalb, außerhalb oder am Rand der Lücke) nicht zutraf. Stattdessen wurde mittels der R-Statistikpakete „survival“ (Therneau, 2020) und „ggplot2“ (Wickham, 2016) die Kaplan-Meier-Kurve für die Auswertung und die optische Darstellung der Ergebnisse herangezogen. Zusätzlich wurde ein Lograng-Test angewendet, um festzustellen, ob signifikante Unterschiede der Überlebenswahrscheinlichkeit innerhalb der unabhängigen Variablen existieren. Mit der Kaplan-Meier-Kurve konnten nur univariate Analysen erfolgen und auch keine zufälligen Effekte (Jahr und Lücken-ID) berücksichtigt werden. Im Zuge der Überlebenszeitanalyse musste das Samenschicksal definiert werden. Dabei wurde das Samenschicksal in zwei Klassen eingeteilt: Buchensamen sind „geblieben“ oder wurden „gehandelt“. Als „geblieben“ wurden jene Bucheckern eingeteilt, welche in der Versuchsschale liegen geblieben sind und weder gefressen, noch verschleppt wurden. Buchensamen wurden als „gehandelt“ eingeordnet, wenn sie entweder transportiert, transportiert und danach gefressen oder in der Versuchsschale gefressen wurden. Jene Bucheckern, die nicht mehr auffindbar waren, wurden ebenfalls als „gehandelt“ eingeordnet. Für die Überlebenszeitanalyse wurden sowohl markierte Bucheckern als auch Kontrollsamens miteinbezogen.

Die Transportdistanz wurde mithilfe eines linearen gemischten Modells (in Englisch: linear mixed model (LMM)) mittels dem R-Statistikpaket „lme4“ (Bates et al., 2015) analysiert und anhand der Pakete „ggeffects“ (Lüdecke, 2018) und „ggplot2“ (Wickham, 2016) grafisch dargestellt. Nach einem Variablenvergleich folgte die Modellauswahl anhand des AIC (Burnham & Anderson, 2004). Die stark rechtsschiefen Daten der Distanz wurden zunächst log<sub>10</sub>-transformiert. Als feste Effekte wurden die unabhängigen Variablen Markierungsmethode und Lückensituation gewählt, die Variablen Jahr und Lücken-ID dienten als zufälliger Effekt. Mittels R-Statistikpaket „DHARMA“ (Hartig, 2020) wurden 1001 Wiederholungen der Datensimulierung durchgeführt. Dabei wurden Modellannahmen wie Normalverteilung der Residuen, Homoskedastizität und Unabhängigkeit der erklärenden

Variablen nicht verletzt. Für die Auswertung der Transportdistanz war es notwendig, den Begriff „Distanz“ genau zu definieren: Pro Buchensamen wurde nur das erste Transportereignis nach der Auslegung betrachtet und ausgewertet. Der Grund dafür war, dass die effektive, kumulative Länge des Transportweges nicht mehr nachvollzogen oder auf bestimmte, einzelne Vektoren zurückgeführt werden kann, je mehr Zeit vergeht. Biotische Umweltfaktoren wie unter anderem weitere Samenräuber oder abiotische Umweltfaktoren wie Wind im Zusammenhang mit der Hangneigung können den Transportweg im Sinne der Distanz beeinflussen. Am Ende der Datenaufnahme ist es wahrscheinlicher, dass die Distanz der transportierten Samen durch weitere Umweltfaktoren beeinflusst wurde als nach dem ersten Transportereignis. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die Transportdistanz nach dem ersten Transportereignis ausgewertet. Für die Analyse dieser ersten Transportdistanz nach Auslegung wurden die Kontrollsamensamen aus dem Datensatz entfernt. Aufgrund der fehlenden Markierung war es vor Ort nicht möglich Kontrollsamensamen aktiv zu suchen und zu finden. Diese wurden nur entdeckt, wenn sie zufällig neben vhf-Sender- oder Plastikflaggen-markierten Samen lagen. Infolgedessen war die Zahl der gefundenen Kontrollsamensamen gering und die statistische Auswertung wäre nicht aussagekräftig gewesen.

Die Transportrichtungen wurden mithilfe des R-Statistikpakets „ggplot2“ (Wickham, 2016) in einem polaren Koordinatensystem grafisch dargestellt. Es fand keine weitere statistische Auswertung, wie bei den abhängigen Variablen Samenschicksal und Transportdistanz statt. Daher handelt es sich hier um einen explorativen Zusatz, der in diese Arbeit miteinbezogen wurde. Bei der Darstellung der Transportrichtung wurde nur das erste Transportereignis betrachtet. Nur beim ersten Transportereignis wurden die Bucheckern aus den Versuchsschalen verschleppt und zu einem bestimmten Ort gebracht. Die Richtungen zu der Lichtung und der Deckung wurden nur von der Position der Versuchsschalen am Rand der Lücke gemessen. Demzufolge war eine Analyse der Transportrichtungen nur bei den ersten Transportereignissen aus diesen Versuchsschalen sinnvoll. Für die Darstellung der Transportrichtung wurden neben den markierten Samen auch die Kontrollsamensamen miteinbezogen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Nachgewiesene Säugetier-Arten – Potenzielle Samenprädatoren

Anhand der Kamerafallen konnten insgesamt 86 Nachweise von Säugetieren in der Nähe der Versuchsschalen erbracht werden (siehe Abbildung 4). Auf 47 Bildern (55%) waren Siebenschläfer (*Glis glis*) zu sehen, 20 Fotos (23%) zeigten eine Rötelmaus (*Myodes glareolus*). Auf elf Aufnahmen (13%) war es nicht möglich, die Art genau zu bestimmen; die Tiere konnten aber der Gruppe der Kleinsäuger zugeteilt werden. Die restlichen acht Nachweise waren vier Bilder (5%) von Spitzmäusen (*Soricidae*), zwei Aufnahmen (2%) von einem eurasischen Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*) und je ein Bild (1%) von einem europäischen Dachs (*Meles meles*) sowie einem unbestimmten Wühler (*Cricetidae*). Somit konnten insgesamt vier verschiedene Arten genau bestimmt werden, sowie zwei Familien und eine Gruppe.

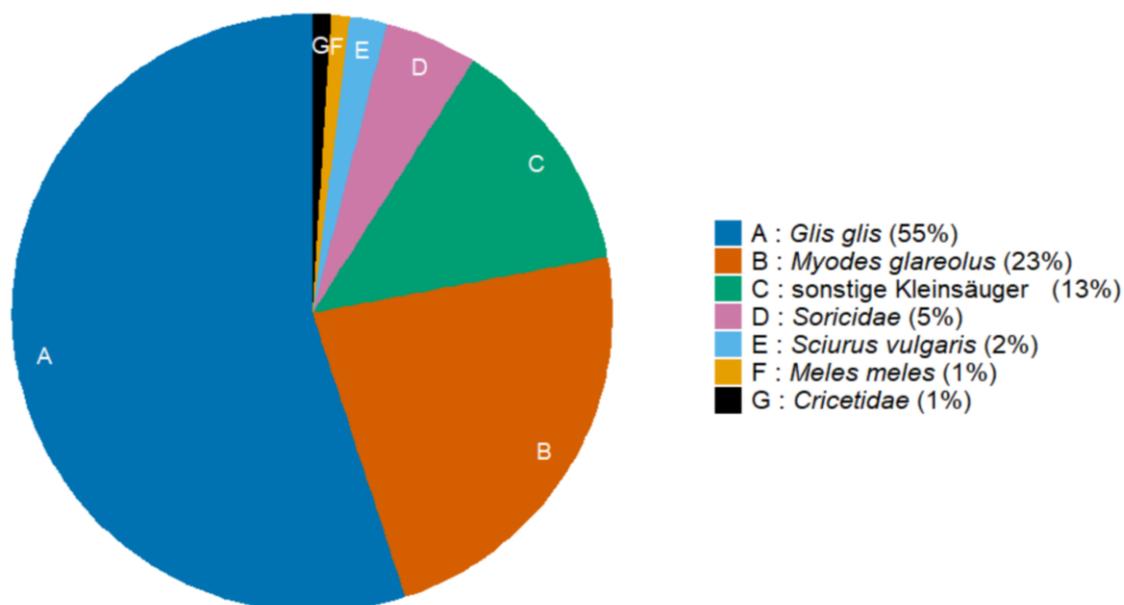


Abbildung 4: Prozentuelle Angabe der insgesamt 86 Kamerafallennachweise von Säugetieren im Oktober 2020

## 3.2 Samenschicksal und Überlebenswahrscheinlichkeit

### 3.2.1 Samenschicksal 2019

#### Markierungsmethode:

Visuell lässt sich kein großer Unterschied im Samenschicksal zwischen den gewählten Markierungsmethoden und den Kontrollsamens erkennen (siehe Abbildung 5). Die Daten wurden im Jahr 2019 bis Tag 21 nach dem Auslegen der Bucheckern aufgenommen. Tabelle 1 und Abbildung 5 machen ersichtlich, dass im Jahr 2019 nach dem achten Tag sämtliche markierte Samen, sowie Kontrollsamens gehandelt wurden.

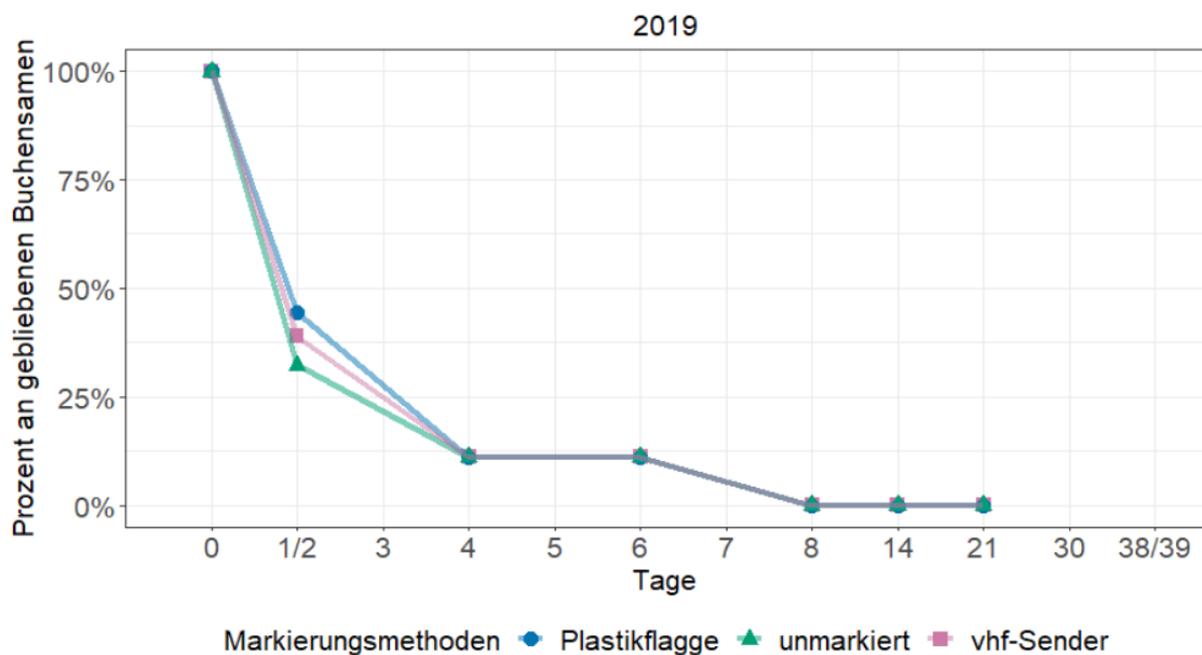


Abbildung 5: Prozent an liegengebliebenen Buchensamen in den Versuchsschalen im Urwald Rothwald im Jahr 2019 in Bezug auf die Markierungsmethoden und Kontrollsamens. Daten wurden bis Tag 21 nach Auslegen der Samen aufgenommen. Ab Tag 8 nach Positionierung der Buchensamen waren sämtliche Bucheckern aus den Versuchsschalen entnommen.

Tabelle 1

Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 8 nach dem Auslegen im Jahr 2019 in Bezug auf Markierungsmethoden und Kontrollsamens

	geblieben	gehandelt
vhf-Sender	0	36
Plastikflagge	0	144
unmarkiert	0	180
Summe	0	360

### Lückensituation:

Bei Betrachtung der Abbildung 6 kann kein großer Unterschied im Samenschicksal zwischen den Lückensituationen (innerhalb der Kronendachlücke, Lückenrand, unter Kronendach) festgestellt werden. Von den ausgelegten Buchensamen innerhalb der Kronendachlücke, sowie unter dem Kronendach wurden sämtliche Buchensamen nach dem achten Tag aus den Versuchsschalen entnommen (Tabelle 2 und Abbildung 6). Am Lückenrand befanden sich bereits nach dem vierten Tag keine Samen mehr in den

Versuchsschalen.

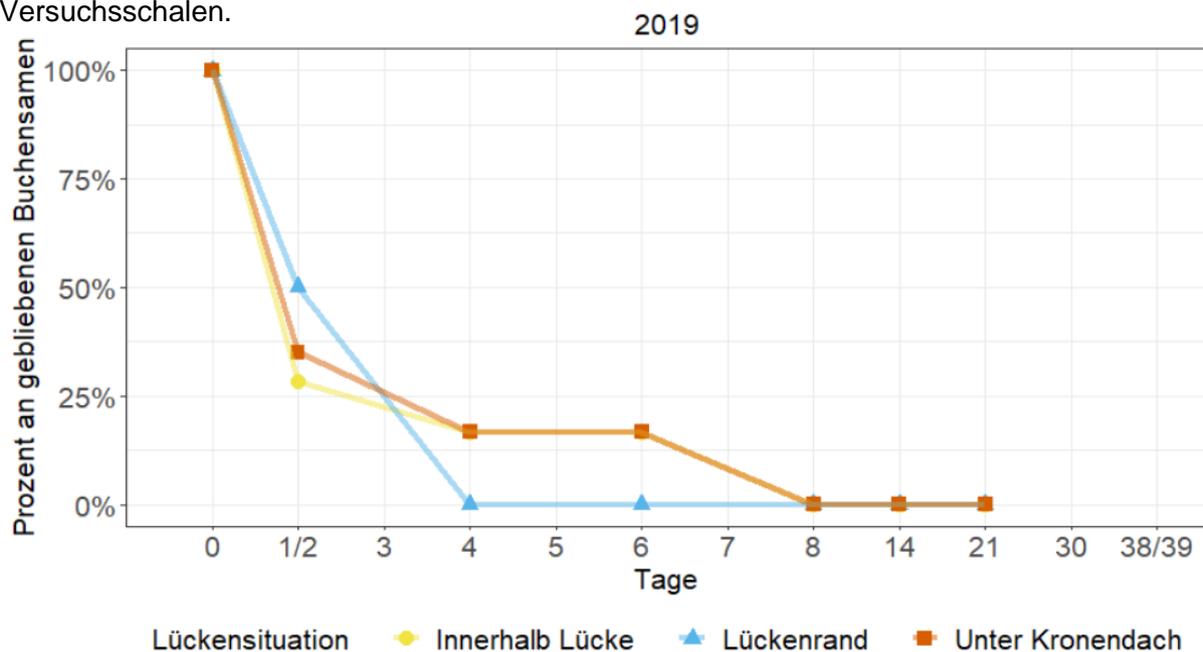


Abbildung 6: Prozent an liegengebliebenen Buchensamen in den Versuchsschalen im Urwald Rothwald im Jahr 2019 in Bezug auf die Lückensituation. Daten wurden bis Tag 21 nach Auslegen der Samen aufgenommen. Nach dem vierten Tag befanden sich keine Samen mehr in den Versuchsschalen am Lückenrand. Ab Tag 8 nach Positionierung der Bucheckern waren sämtliche Buchensamen aus den Versuchsschalen entnommen.

Tabelle 2

*Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 8 nach dem Auslegen im Jahr 2019 in Bezug auf Lückensituation*

	geblieben	gehandelt
Innerhalb Lücke	0	120
Lückenrand	0	120
Unter Kronendach	0	120
Summe	0	360

### 3.2.2 Überlebenswahrscheinlichkeit 2019:

#### Markierungsmethode:

Mittels eines Lograng-Tests konnte kein signifikanter Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den Markierungsmethoden bis zum achten Tag der Datenaufnahme festgestellt werden ( $\chi^2 = 1,7$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,4$ ). Die Überlebenswahrscheinlichkeit lag am ersten Kontrolltag bei Buchensamen, die mit vhf-Sender oder Plastikflagge markiert waren, bei 83% und bei den Kontrollsamensamen bei 82% (siehe Abbildung 7). Ab Tag acht lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei allen drei Markierungsmethoden (vhf-Sender, Plastikflagge, unmarkiert) bei 0%.

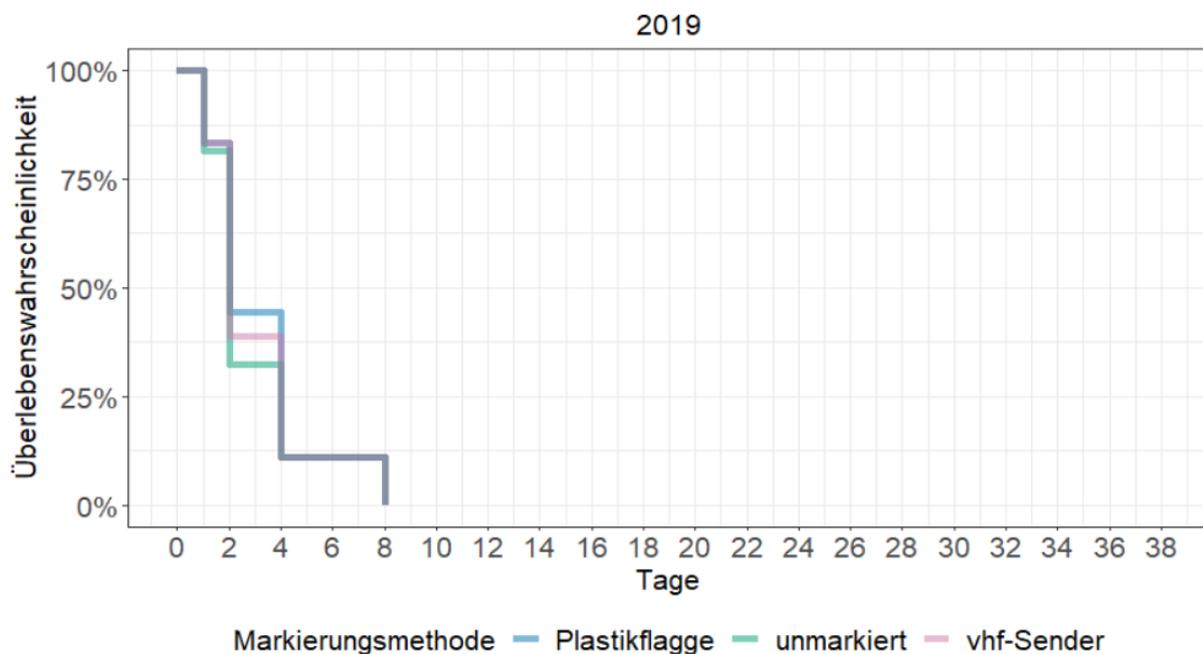


Abbildung 7: Überlebenswahrscheinlichkeit der Buchensamen im Urwald Rothwald im Jahr 2019 bezogen auf die gewählten Markierungsmethoden, sowie Kontrollsamensamen. Die Überlebenswahrscheinlichkeit liegt bei allen Samen ab Tag 8 bei 0 Prozent.

#### Lückensituation:

Ein durchgeführter Lograng-Test konnte keinen signifikanten Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den drei Lückensituationen feststellen ( $\chi^2 = 0,4$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,8$ ). Am ersten Kontrolltag betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit der Bucheckern innerhalb der Kronendachlücke 87%, am Rand der Lücke 82% und unter dem Kronendach 79% (siehe Abbildung 8). Die Buchensamen innerhalb der Kronendachlücke und unter dem

Kronendach hatten ab Tag acht eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 0%, jene am Lückenrand bereits ab Tag vier.

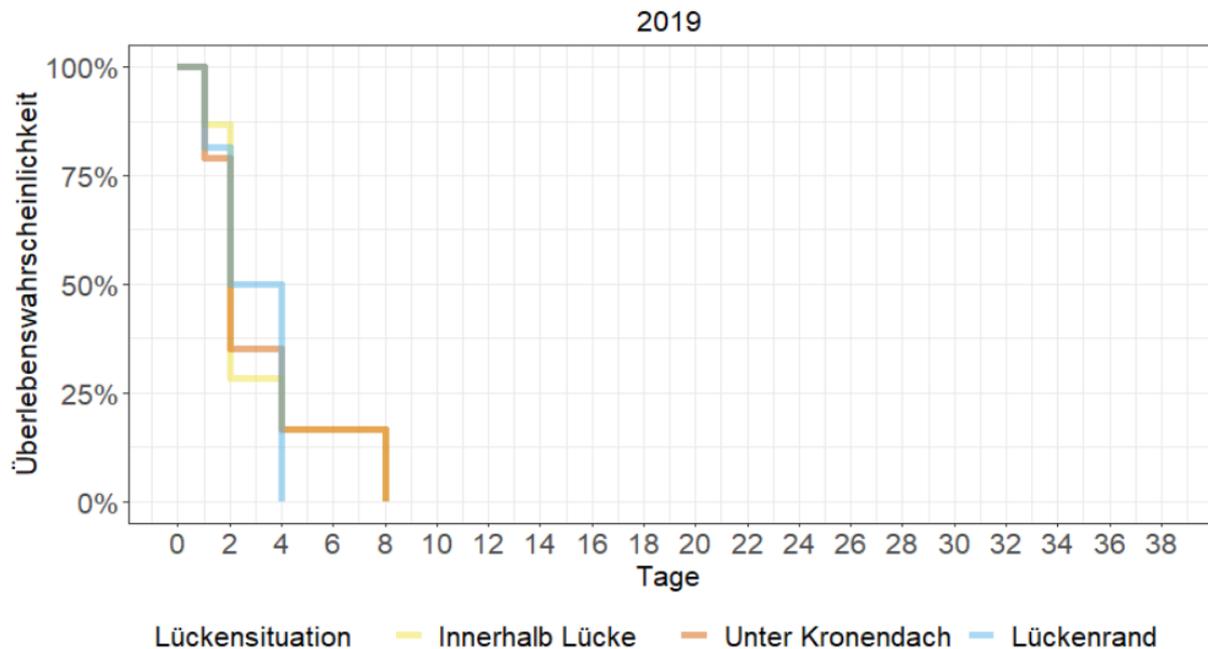


Abbildung 8: Überlebenswahrscheinlichkeit der Buchensamen im Urwald Rothwald im Jahr 2019 bezogen auf die Lückensituation. Die Überlebenswahrscheinlichkeit liegt bei den Samen am Lückenrand ab dem vierten Tag bei 0%, bei jenen innerhalb der Kronendachlücke und unter dem Kronendach ab Tag 8.

### 3.2.3 Samenschicksal 2020:

#### Markierungsmethode:

Abbildung 9 lässt keinen großen Unterschied im Samenschicksal zwischen den gewählten Markierungsmethoden und den Kontrollsamens erkennen. Im Aufnahmejahr 2020 wurden die Daten bis Tag 38 und 39 im Untersuchungsgebiet gesammelt. In Tabelle 3 ist zu sehen, dass zwei mit vhf-Sender markierte Buchensamen (6%), 16 mit Plastikflagge markierte Bucheckern (11%) und zwölf Kontrollsamens (7%) bis zum achten Tag der Datenaufnahme behandelt wurden. Bis zum Ende der Datenaufnahme (Tag 38/39) wurden sechs Bucheckern mit vhf-Sender (17%), 35 mit Plastikflagge markierte Samen (24%), sowie 28 unmarkierte Buchensamen (16%) von Kleinsäugetieren gehandelt (siehe Tabelle 4).

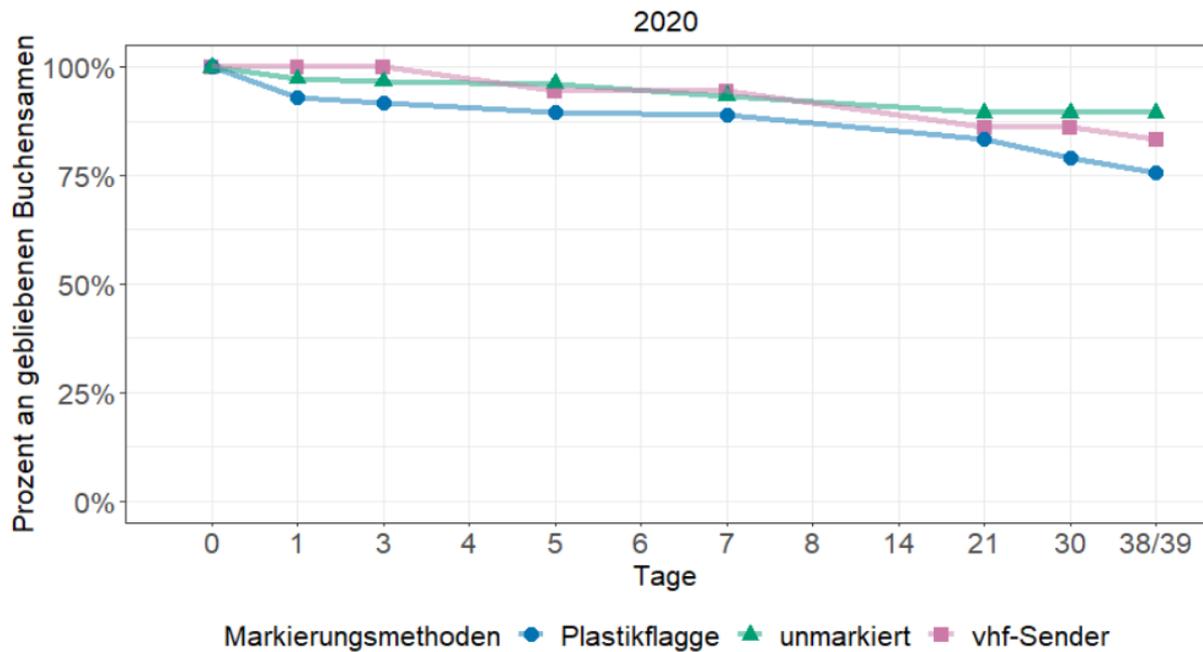


Abbildung 9: Prozent an liegengebliebenen Buchensamen in den Versuchsschalen im Urwald Rothwald im Jahr 2020 in Bezug auf die Markierungsmethoden und Kontrollsamen. Daten wurden bis Tag 38 & 39 nach dem Auslegen der Samen aufgenommen. Im Vergleich zu dem Aufnahmejahr 2019 wurden bis Tag 8 nicht sämtliche Buheckern aus den Versuchsschalen entnommen.

Tabelle 3

Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 8 nach dem Auslegen im Jahr 2020 in Bezug auf Markierungsmethoden und Kontrollsamen

	geblieben	gehandelt
vhf-Sender	34	2
Plastikflagge	128	16
unmarkiert	168	12
Summe	330	30

Tabelle 4

Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 38/39 nach dem Auslegen im Jahr 2020 in Bezug auf Markierungsmethoden und Kontrollsamen

	geblieben	gehandelt
vhf-Sender	30	6
Plastikflagge	109	35
unmarkiert	152	28
Summe	291	69

### Lückensituation:

Visuell lässt sich kein großer Unterschied im Samenschicksal zwischen den Lückensituationen erkennen (siehe Abbildung 10). Tabelle 5 zeigt, dass innerhalb der Kronendachlücke sechs der ausgelegten Buchensamen (5%) bis zum achten Tag gehandelt wurden. 13 Buheckern (11%) wurden am Rand der Lücke aus den Versuchsschalen verschleppt, sowie elf Buchensamen (9%) aus den Versuchsschalen, die unter dem

Kronendach positioniert wurden. In Tabelle 6 ist zu sehen, dass bis zum 38. und 39. Tag 15 Bucheckern (13%) innerhalb der Kronendachlücke verschleppt wurden. Am Lückenrand wurden mit 35 Buchensamen (29%) die meisten Samen gehandelt. Aus den Versuchsschalen im umgebenden Waldbestand wurden bis zum Ende der Datenaufnahme 19 Bucheckern (16%) entnommen.

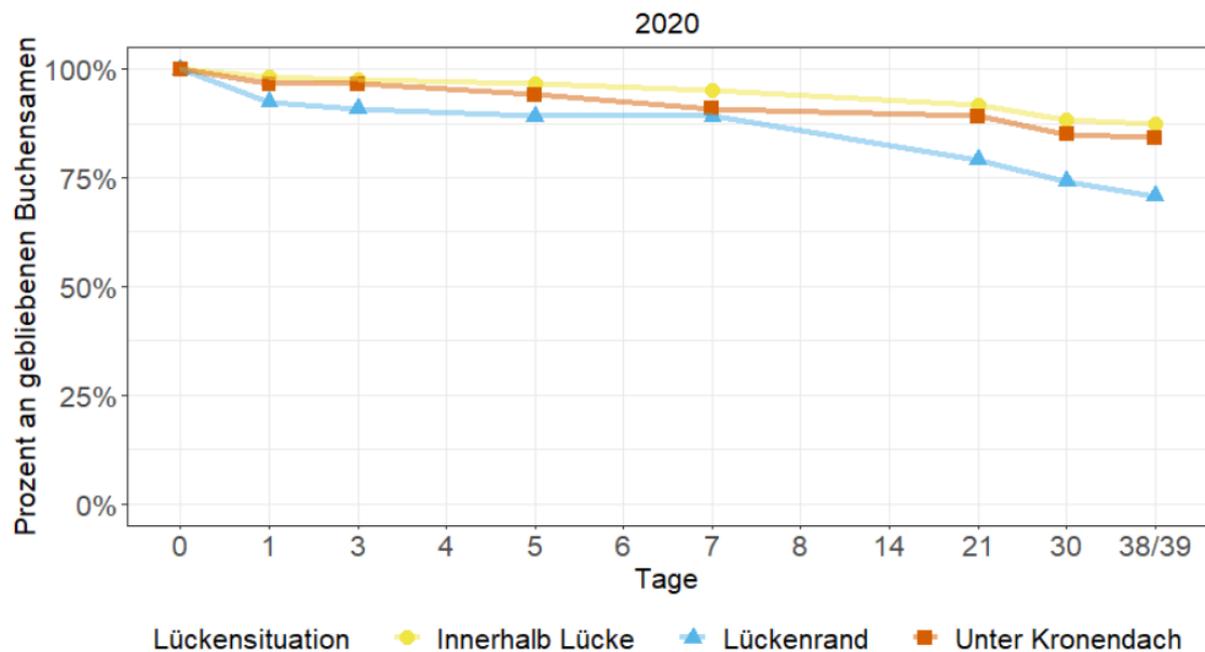


Abbildung 10: Prozent an liegengebliebenen Buchensamen in den Versuchsschalen im Urwald Rothwald im Jahr 2020 in Bezug auf die Lückensituation. Daten wurden bis Tag 38 & 39 nach dem Auslegen der Samen aufgenommen. Im Vergleich zu dem Aufnahmejahr 2019 wurden bis Tag 8 nicht sämtliche Bucheckern aus den Versuchsschalen entnommen.

Tabelle 5

Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 8 nach dem Auslegen im Jahr 2020 in Bezug auf Lückensituation

	geblieben	gehandelt
Innerhalb Lücke	114	6
Lückenrand	107	13
Unter Kronendach	109	11
Summe	330	30

Tabelle 6

Anzahl an in Versuchsschalen gebliebenen und gehandelten Buchensamen bis Tag 38/39 nach dem Auslegen im Jahr 2020 in Bezug auf Lückensituation

	geblieben	gehandelt
Innerhalb Lücke	105	15
Lückenrand	85	35
Unter Kronendach	101	19
Summe	291	69

### 3.2.4 Überlebenswahrscheinlichkeit 2020

#### Markierungsmethode:

Anhand eines Lograng-Tests konnte kein signifikanter Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den Markierungsmethoden bis zum achten Aufnahme-tag festgestellt werden ( $\chi^2 = 2,6$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,3$ ). Am ersten Kontrolltag lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei Samen mit vhf-Sender bei 100%, bei jenen mit Plastikflagge bei 93% und bei den Kontrollsamens bei 97% (siehe Abbildung 11). Die Überlebenswahrscheinlichkeit betrug am Tag acht bei Bucheckern mit vhf-Sender 94%, bei jenen mit Plastikflagge 89% und bei den Kontrollsamens 93%.

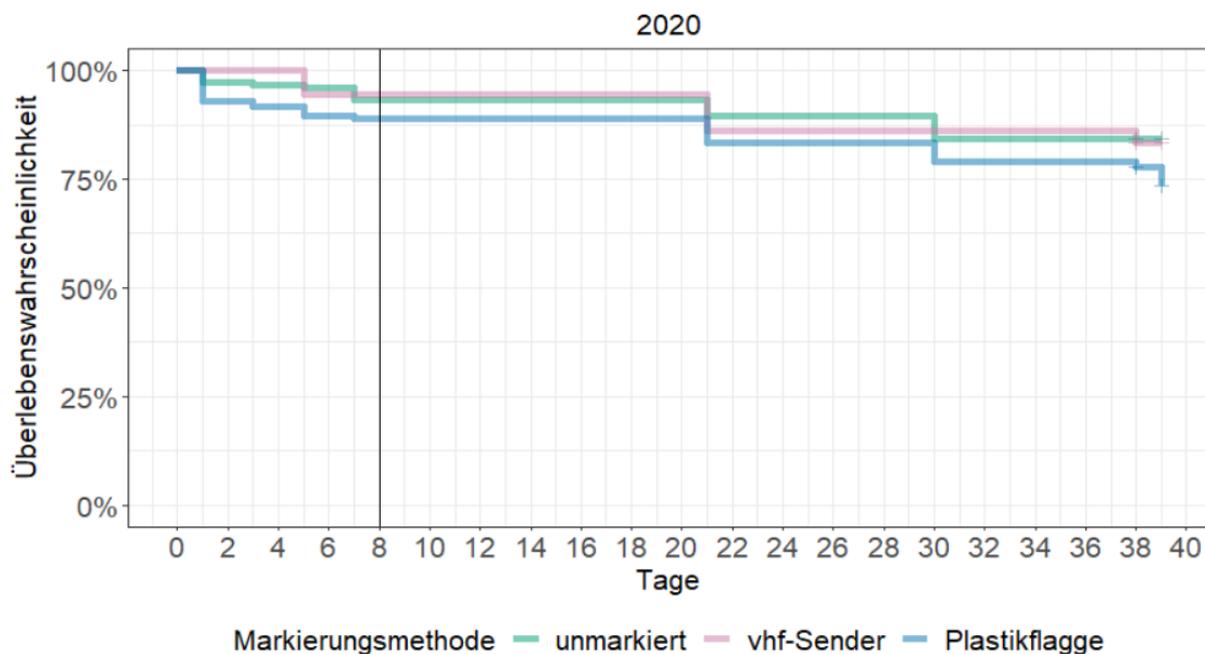


Abbildung 11: Überlebenswahrscheinlichkeit der Buchensamen im Urwald Rothwald im Jahr 2020 bezogen auf die gewählten Markierungsmethoden, sowie Kontrollsamens. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Bucheckern lag nach 39 Tagen bei beiden Markierungsmethoden, sowie den Kontrollsamens bei über 70%. Die schwarze Linie markiert den Zeitpunkt, an dem im Aufnahmejahr 2019 die Überlebenswahrscheinlichkeit der ausgelegten Samen 0% betrug.

Ein weiterer Lograng-Test konnte bis zum Ende der Datenaufnahme am 38. und 39. Tag ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den Markierungsmethoden ausmachen ( $\chi^2 = 4,2$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,1$ ). Buchensamen mit vhf-Sendern hatten ab Tag 38 bis Tag 39 eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 83% (siehe Abbildung 11). Bucheckern mit Plastikflaggen besaßen an dem 39. Tag eine

Überlebenswahrscheinlichkeit von 74%. Bei Kontrollsamern lag die Überlebenswahrscheinlichkeit ab Tag 30 bis zum Ende der Datenaufnahme bei 84%.

### Lückensituation:

Die Ergebnisse des Lograng-Tests zeigen, dass sich die Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen den Lückensituationen im Jahr 2020 bis Tag acht nicht signifikant unterscheidet ( $\chi^2 = 2,9$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,2$ ). Die Überlebenswahrscheinlichkeit betrug am ersten Kontrolltag bei Buchensamen innerhalb der Kronendachlücke 98%, am Lückenrand 93% und unter dem Kronendach 97% (siehe Abbildung 12). Am achten Tag betrug sie innerhalb der Lücke 95%, am Lückenrand 89% und unter dem Kronendach 91%.

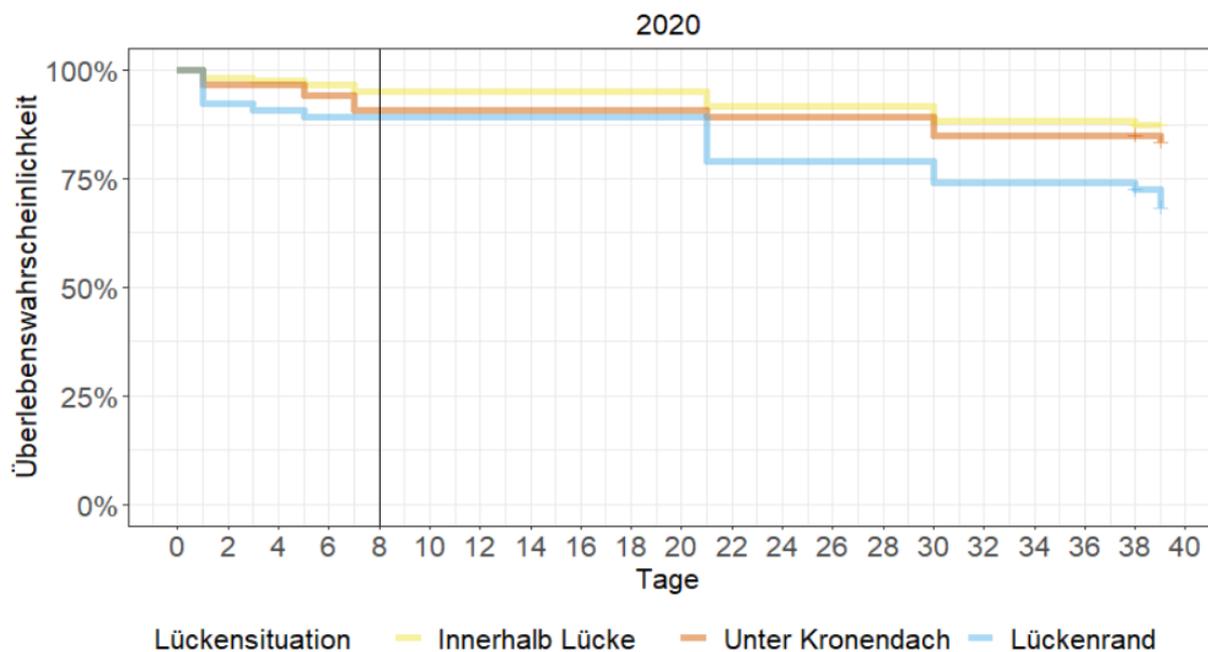


Abbildung 12: Überlebenswahrscheinlichkeit der Buchensamen im Urwald Rothwald im Jahr 2020 bezogen auf die Lückensituation. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Bucheckern lag nach 39 Tagen bei allen Lückensituationen bei über 65%. Die schwarze Linie markiert den Zeitpunkt, an dem im Aufnahmejahr 2019 die Überlebenswahrscheinlichkeit der ausgelegten Samen 0% betrug.

Anhand eines weiteren Lograng-Tests konnte zwischen den drei Lückensituationen bis zum Ende der Datenaufnahme am 38. und 39. Aufnahmetag ein signifikanter Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit festgestellt werden ( $\chi^2 = 12,5$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0,002$ ). Innerhalb der Kronendachlücke lag die Überlebenswahrscheinlichkeit der Bucheckern ab Tag 38 bis zum Ende der Datenaufnahme bei 88% (siehe Abbildung 12). An Tag 39 konnte am Rand

der Lücke eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 68% festgestellt werden, im umgebenden Waldbestand betrug sie an diesem Aufnahmetag 84%.

### 3.3 Initiale Transportdistanz

#### 3.3.1 Modellselektion

Der Modellvergleich zeigt, dass das Modell ohne den zufälligen Effekt Lücken-ID den niedrigsten AIC-Wert besitzt (siehe Tabelle 7). Das für die statistische Auswertung verwendete Modell mit den festen Effekten Markierungsmethode und Lückensituation, sowie den zufälligen Effekten Jahr und Lücken-ID zeigt einen geringen Unterschied zum Modell mit dem niedrigsten AIC ( $\Delta_i = 1,36$ ) (Burnham & Anderson, 2004).

Tabelle 7

*Variablenselektion des linearen gemischten Modells mit den festen Effekten Markierungsmethode und Lückensituation, sowie den zufälligen Effekten Jahr und Lücken-ID.*

Inkludierte Variablen im linearen gemischten Modell					
Markierungsmethode	Lückensituation	Jahr	Lücken-ID	AIC-Wert	$\Delta_i$
x	x	x		444,21	0
x		x		444,48	0,27
x	x	x	x	445,57	1,36
x		x	x	445,74	1,53
	x	x		461,89	17,68
	x	x	x	463,30	19,09
x	x		x	493,53	49,32
x			x	497,55	53,34
	x		x	511,16	66,95

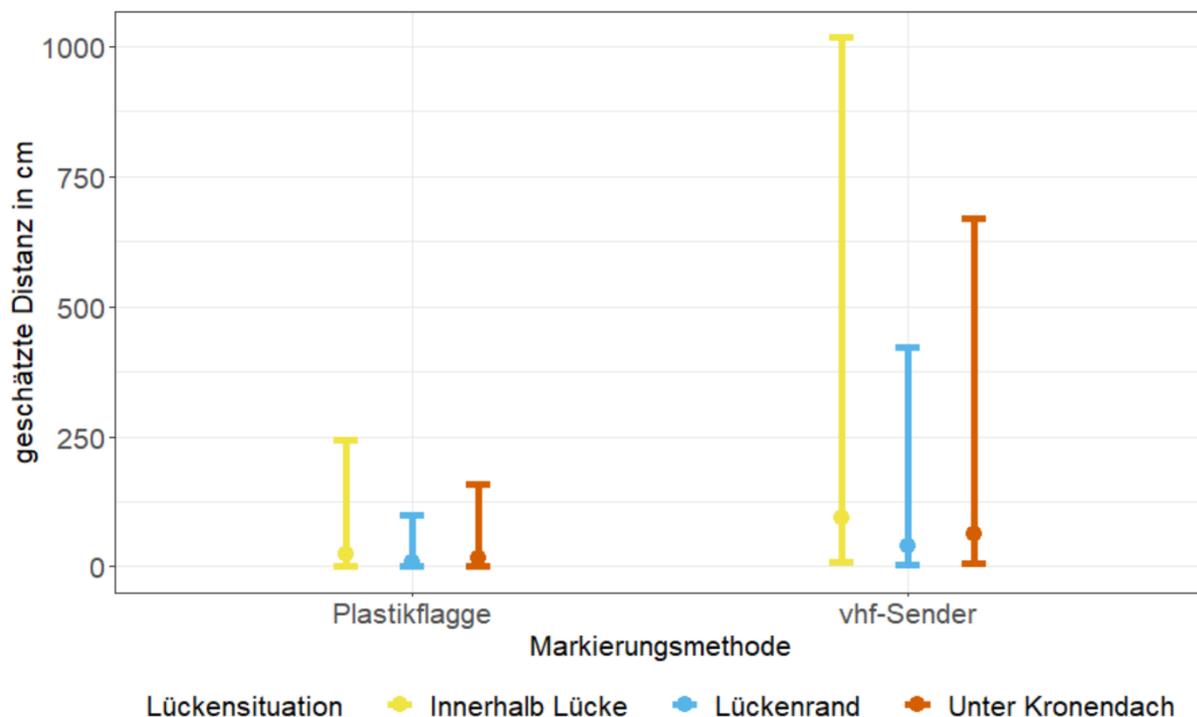
### 3.3.2 Fester Effekt: Markierungsmethoden

Tabelle 8 stellt die Zusammenfassung des linearen gemischten Modells dar, welche zeigt, dass sich die beiden Markierungsmethoden, bezogen auf die Samentransferdistanz, höchst signifikant voneinander unterscheiden ( $t = 4,83$ ,  $p < 0,001$ ,  $N = 193$ ). Buchensamen

Tabelle 8

*Modellzusammenfassung der festen Effekte „Markierungsmethode“ und „Lückensituation“ des linearen gemischten Modells. Die abhängige Variable „Samentransferdistanz“ wurde log10-transformiert.*

Prädiktor	Effektkoeffizient	Standardfehler	95%- Konfidenzintervall	p-Wert
Achsenabschnitt	0,99	0,52	[-0,02; 2,00]	0,055
Vhf-Sender	0,60	0,13	[0,36; 0,85]	<0,001
Innerhalb Lücke	0,38	0,13	[0,13; 0,63]	0,003
Unter	0,20	0,13	[-0,05; 0,44]	0,116
Kronendach				



*Abbildung 13:* Effekt der unabhängigen Variable Markierungsmethode auf die abhängige Variable Samentransferdistanz nach dem ersten Transportereignis geschätzt durch das gewählte lineare gemischte Modell. Die unabhängige Variable Lückensituation wurde jeweils konstant gehalten auf den Wert „Innerhalb Lücke“ (gelb), „Lückenrand“ (blau) und „Unter Kronendach“ (rot). Die Daten stammen aus den Aufnahmejahren 2019 und 2020.

mit vhf-Sender wurden weiter transportiert als jene Bucheckern, welche mit Plastikflaggen markiert wurden (siehe Abbildung 13).

Von den insgesamt 360 markierten Bucheckern (jeweils 180 pro Aufnahmejahr) wurden 209 (58%) aus den Versuchsschalen transportiert. Davon wurden 193 (92%) nach dem ersten Transportereignis wiedergefunden. Bei den 151 mit Plastikflaggen markierten Buchensamen, welche nach dem ersten Transportereignis wiedergefunden wurden, wurden 109 (72%) nicht weiter als einen Meter von der Versuchsschale wegtransportiert (siehe Abbildung 14). Der Großteil der Bucheckern (98%) wurde nicht weiter als zehn Meter verschleppt. Vier der mit einer Plastikflagge markierten Samen (3%) wurden nach dem ersten Transportereignis weiter als zehn Meter transportiert, ein Buchensamen (1%) sogar weiter als 20 Meter.

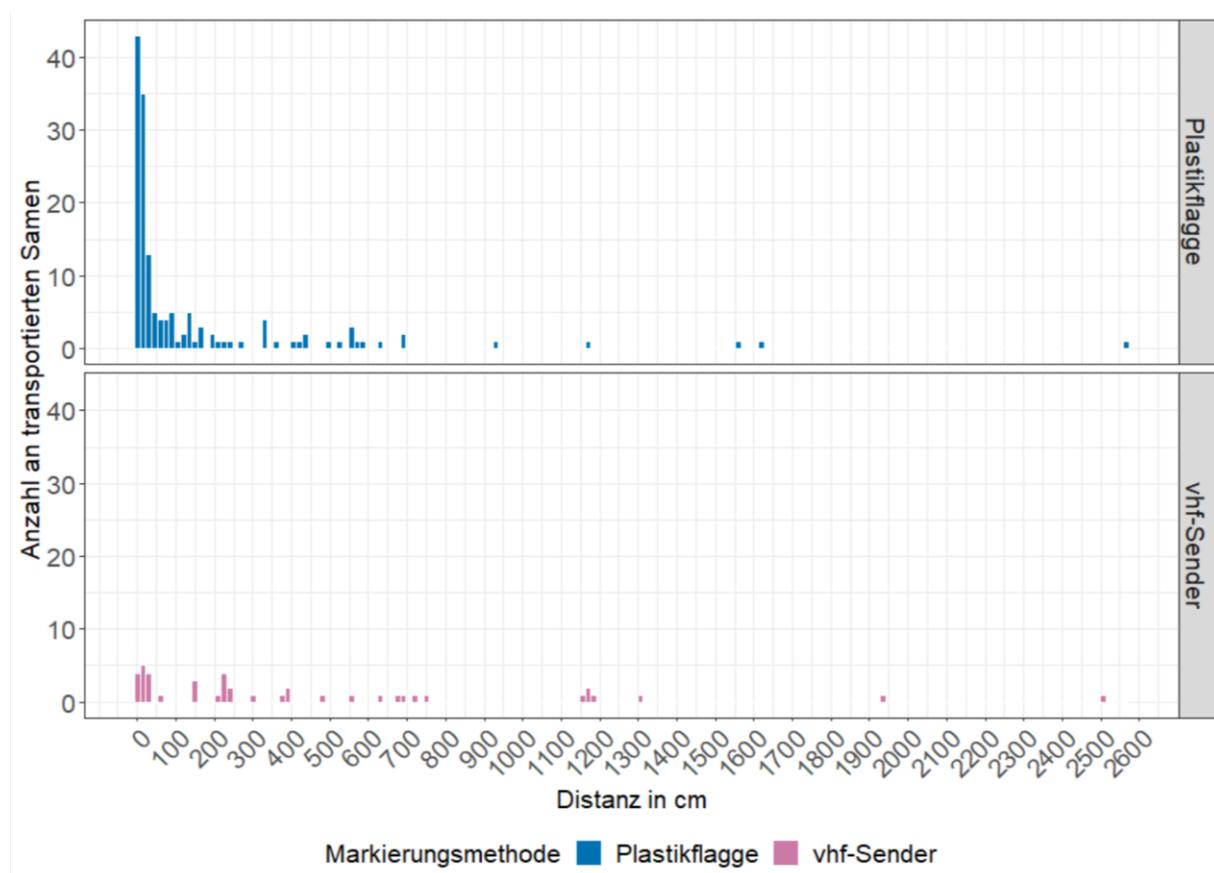


Abbildung 14: Histogramm zur Anzahl an transportierten Bucheckern bezogen auf die Samentransferdistanz, unterteilt in die gewählten Markierungsmethoden. Daten beziehen sich auf das erste Transportereignis aus den Aufnahmejahren 2019 und 2020.

Von den mit vhf-Sender markierten Buchensamen wurden nach dem ersten Transportevent 42 wieder gefunden. Dabei wurden 14 davon (33%) nicht weiter als einen Meter verschleppt. 35 dieser Bucheckern (83%) wurden bis zu 10 Meter verschleppt. Die restlichen sieben Buchensamen (16%) wurden in mehr als 10 Meter Entfernung von der Versuchsschale wiedergefunden. Eine dieser Bucheckern (2%) wurde beim ersten Transportereignis weiter als 20 Meter verschleppt.

### 3.3.3 Fester Effekt: Lückensituation

Die Ergebnisse des linearen gemischten Modells in Tabelle 8 zeigen des Weiteren, dass sich die Transportdistanz der Bucheckern, welche im Inneren der Kronendachlücke ausgelegt wurden, hoch signifikant von denen am Lückenrand unterscheidet ( $t = 3,02$ ,  $p = 0,003$ ,  $N = 193$ ). Buchensamen innerhalb der Kronendachlücke wurden beim ersten Transportereignis am weitesten transportiert (siehe Abbildung 15). Markierte Bucheckern aus

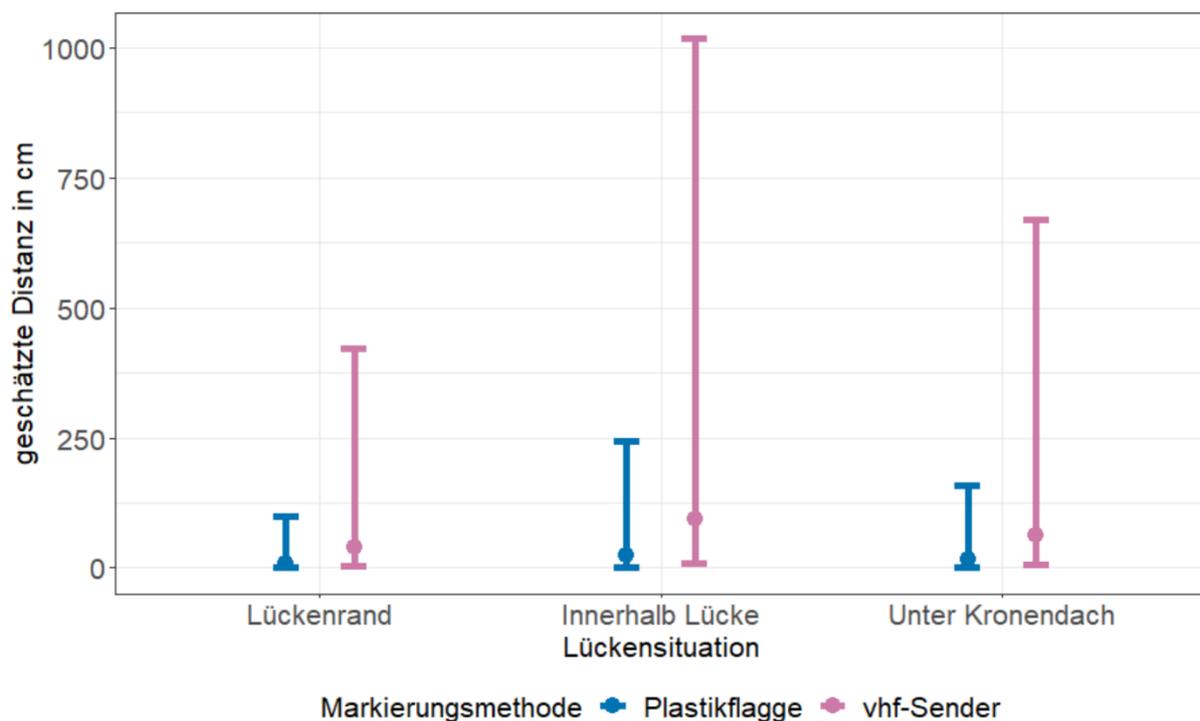


Abbildung 15: Effekt der unabhängigen Variable Lückensituation auf die abhängige Variable Samentransferdistanz nach dem ersten Transportereignis durch das gewählte lineare gemischte Modell. Die unabhängige Variable Markierungsmethode wurde jeweils konstant gehalten auf den Wert „Plastikflagge“ (blau) und „vhf-Sender“ (rosa). Die Daten stammen aus den Aufnahmejahren 2019 und 2020.

den Versuchsschalen im umgebenden Waldbestand wurden vielfach weiter als jene am Lückenrand verschleppt, der Unterschied zwischen den beiden Lückensituationen war jedoch nicht signifikant ( $t = 1,57$ ,  $p > 0,05$ ,  $N = 193$ ).

Die meisten markierten Bucheckern (74) wurden aus den Versuchsschalen am Lückenrand verschleppt (siehe Abbildung 16). Davon wurden 58 (78%) nach dem ersten Transportereignis innerhalb eines ein Meter Radius um die Versuchsschale wiedergefunden.

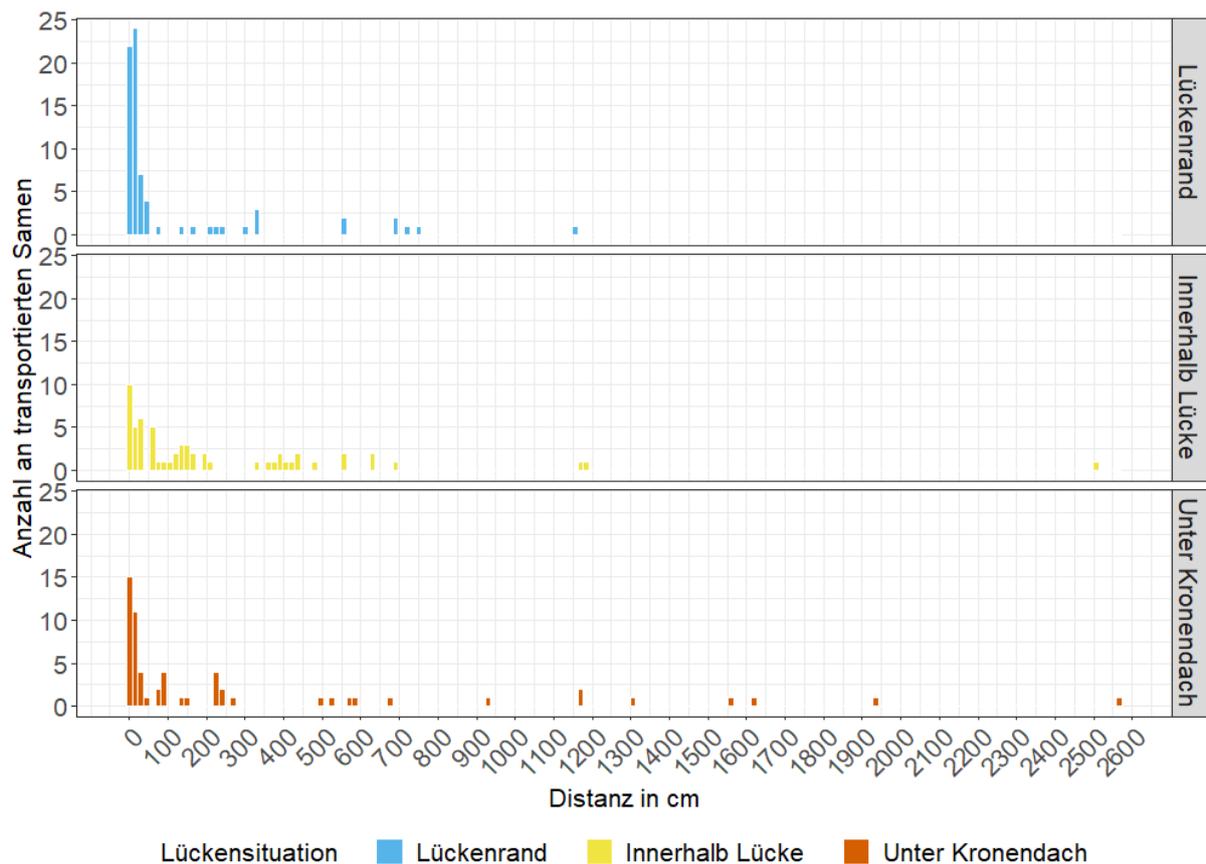


Abbildung 16: Histogramm zur Anzahl an transportierten Buchensamen bezogen auf die Samentransferdistanz, unterteilt in die Positionierung der Versuchsschalen in den Lücken-IDs. Daten beziehen sich auf das erste Transportereignis aus den Aufnahmejahren 2019 und 2020.

Weitere 15 (20%) wurden zwischen einem und zehn Meter transportiert und ein Samen (1%) wurde über eine Distanz von zehn Meter verschleppt. Von den innerhalb der Kronendachlücke ausgelegten Bucheckern wurden 60 Markierte nach dem ersten Transportereignis wiedergefunden. Dabei wurden 28 der Buchensamen (47%) bis zu einem Meter weit transportiert. Die meisten Bucheckern (29 Samen = 48%) wurde zwischen einem und zehn Meter verschleppt. Drei der Buchensamen (5%) lagen nach dem ersten Transportereignis über zehn Meter von der Versuchsschale entfernt, wobei einer davon (2%) eine Entfernung von über 20 Meter erreichte. Aus den Versuchsschalen unter dem

Kronendach wurden nach dem ersten Transportereignis 59 markierte Buchensamen wiedergefunden. Innerhalb eines ein Meter Radius von den Versuchsschalen aus befanden sich 37 Samen (63%). Zwischen einem und zehn Meter waren weitere 15 Bucheckern (25%) vorzufinden. Die restlichen sieben Samen (12%) lagen weiter als zehn Meter von den Versuchsschalen entfernt. Einer dieser Samen (2%) wurde über 20 Meter wegtransportiert.

### 3.3.4 Zufällige Effekte: Jahr und Lücken-ID

Die Analyse der Daten mittels linearen gemischten Modells zeigt zusätzlich den zufälligen Effekt der Variablen Jahr und Lücken-ID auf die abhängige Variable Transportdistanz (siehe Tabelle 9). Die Ergebnisse zeigen, dass das Untersuchungsjahr einen höchst signifikanten Einfluss auf die Transportdistanz hat und somit starke Unterschiede in der Samentransferdistanz zwischen den Untersuchungsjahren existieren (Likelihood-Quotienten-Test = 49,96,  $p < 0,001$ ,  $N = 193$ ). Im Gegensatz dazu hat die Lücken-ID keinen signifikanten Einfluss auf die Samentransportdistanz (Likelihood-Quotienten-Test = 0,64,  $p > 0,05$ ,  $N = 193$ ).

Tabelle 9

Modellzusammenfassung der zufälligen Effekte „Lücken-ID“ und „Aufnahmejahr“ des linearen gemischten Modells. Die abhängige Variable „Samentransferdistanz“ wurde log10-transformiert.

Gruppe	Parameter	Varianz	Standardabweichung	p-Wert
Lücken-ID	Achsenabschnitt	0,01	0,10	0,425
Jahr	Achsenabschnitt	0,51	0,72	<0,001
Residual		0,51	0,71	

## 3.4 Transportrichtung

### 3.4.1 Transportrichtungen 2019

Nach dem ersten Transportereignis im Herbst des Jahres 2019 wurden von 116 verschleppten Bucheckern aus den Versuchsschalen am Lückenrand 54 (47%) wiedergefunden. Die visuelle Darstellung der Transportrichtungen in Abbildung 17 zeigt,

dass die Buchensamen aus den Versuchsschalen am Rand der Lücke zwei, vier und fünf verstärkt in die Richtung der Lichtung verschleppt wurden. Bei den Samen aus den Versuchsschalen der Lücken eins, drei und sechs zeigte sich ein zufälliges Verteilungsmuster. Die ausgelegten Bucheckern wurden an keiner Lücken-ID verstärkt in Richtung Deckung transportiert.

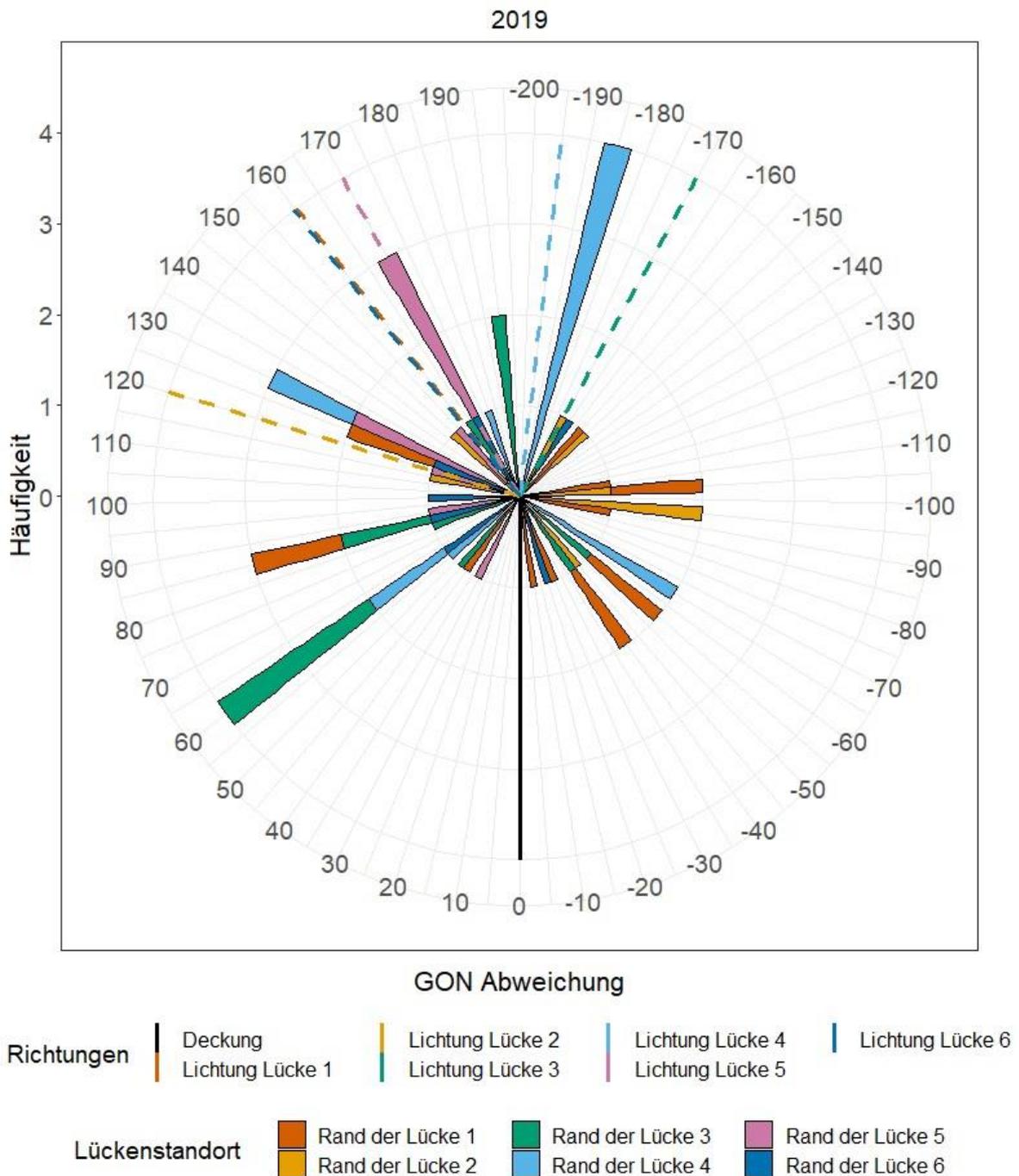


Abbildung 17: Polares Koordinatensystem, welches die Transportrichtungen der gefundenen Buchensamen nach dem ersten Transportereignis im Jahr 2019 darstellt. Nur Bucheckern aus Versuchsschalen am Lückenrand werden dargestellt. Das Zentrum steht für die Position der Versuchsschale am Lückenrand. Die schwarze Linie symbolisiert die Richtung, in der sich die Deckung im umgebenden Waldbestand befindet. Die strichlierten Linien visualisieren die Richtungen der Lichtungen in den jeweiligen Lücken-IDs.

### 3.4.2 Transportrichtungen 2020

Im Aufnahmejahr 2020 wurden von 35 transportierten Bucheckern am Lückenrand 32 (91%) nach dem ersten Transportereignis wiedergefunden. Abbildung 18 zeigt, dass die

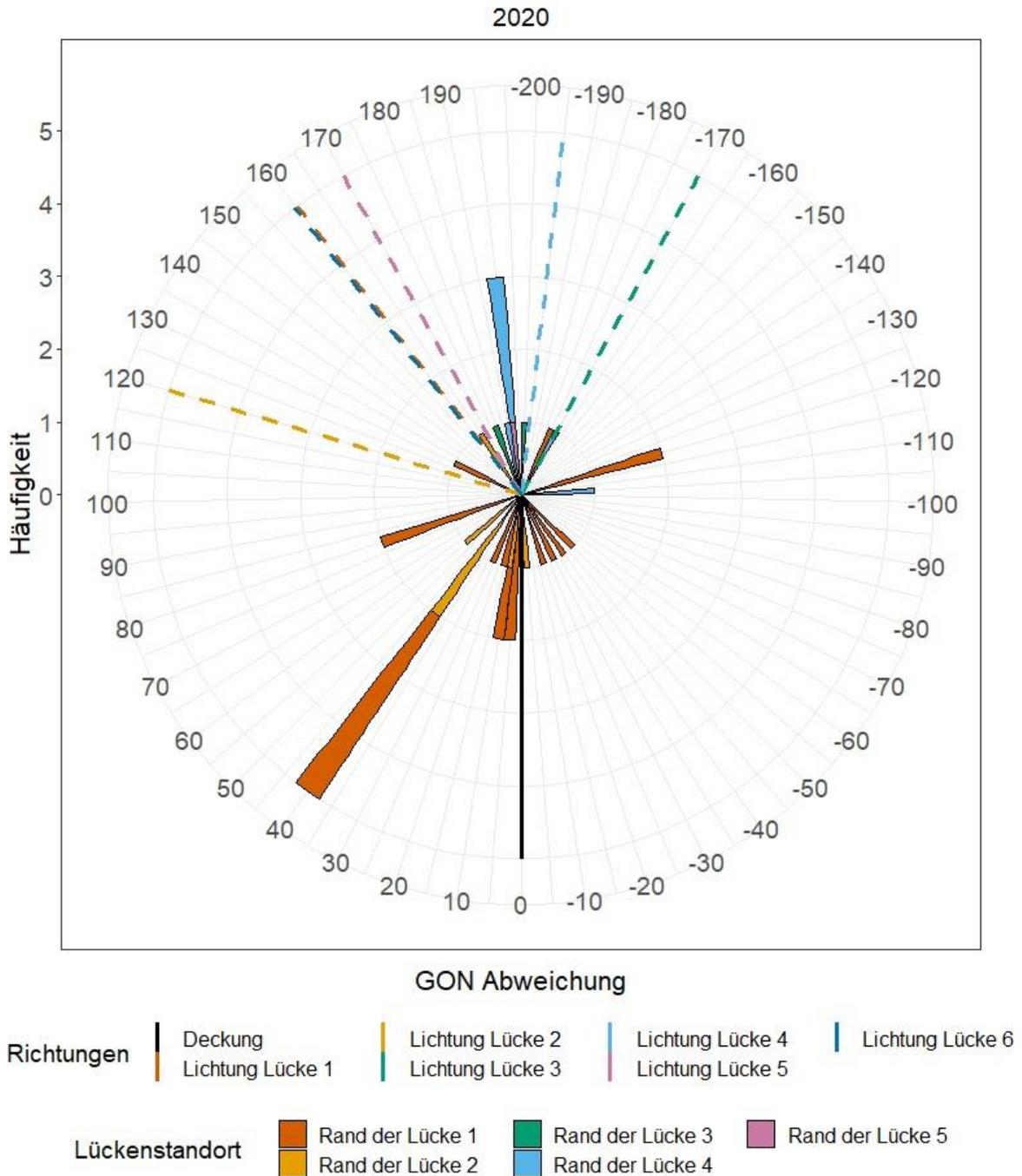


Abbildung 18: Polares Koordinatensystem, welches die Transportrichtungen der gefundenen Buchensamen nach dem ersten Transportereignis im Jahr 2020 darstellt. Nur Bucheckern aus Versuchsschalen am Lückenrand werden dargestellt. Das Zentrum steht für die Position der Versuchsschale am Lückenrand. Die schwarze Linie symbolisiert die Richtung, in der sich die Deckung im umgebenden Waldbestand befindet. Die strichlierten Linien visualisieren die Richtungen der Lichtungen in den jeweiligen Lücken-IDs.

gefundenen Buchensamen vermehrt in Richtung Deckung transportiert wurden, vor allem jene Samen am Rand der Lücke eins und zwei. An diesen Lücken-IDs fanden die meisten Transportereignisse statt. Aus den Versuchsschalen am Rand der Lücke drei, vier und fünf wurden insgesamt acht Samen in Richtung Lichtung verschleppt.

## 4 Diskussion

### 4.1 Kamerafallennachweise

Wie anhand der Auswertung der Kamerafallennachweise zu sehen ist, handelt es sich bei 99 Prozent der Säugetiernachweise an den Samenschalen um Kleinsäuger. Dies entspricht den Erwartungen, da Kleinsäuger die häufigsten Samenprädatoren im Untersuchungsgebiet darstellen und durch die Samen gegebenenfalls angelockt werden. Des Weiteren zeigen zahlreiche Studien, dass Kleinsäuger einen großen Einfluss auf die Verteilung von Samen haben können (Gómez et al., 2008; Li et al., 2019; Nopp-Mayr et al., 2012; Tamura & Hayashi, 2008). Bei der vorliegenden Studie ist zu beachten, dass die Kamerafallennachweise lediglich aus dem Jahr 2020 stammen. In diesem Jahr haben wenige Transportereignisse stattgefunden. Somit handelt es sich beim Großteil der Nachweise um Bilder, die keine Transportereignisse dokumentierten, sondern die zeigen, wie Individuen entweder an den Versuchsschalen vorbeilaufen, an der Stange der Kamerafalle hochklettern (vor allem Siebenschläfer (*Glis glis*)) oder in der Versuchsschale sitzen, ohne Buchensamen zu fressen oder zu verschleppen. Auffällig ist, dass zwar die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) mittels Kamerafallen nachgewiesen werden konnte, jedoch kein einziger Nachweis der Waldmäuse (*Apodemus spp.*) auf den Bildern existiert. Bisherige Studien im Urwald Rothwald haben gezeigt, dass die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) und die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) die häufigsten Vertreter der Kleinsäuger vor Ort sind (Hausleithner, 2014; Kempter & Nopp-Mayr, 2013). Der fehlende Nachweis an Gelbhalsmäusen (*Apodemus flavicollis*), sowie allgemein an Waldmäusen (*Apodemus spp.*), auf den Kamerafallenbildern im Jahr 2020 lässt sich vermutlich auf einen Populationszusammenbruch zurückführen, da deren Population im Vorjahr hoch war. Dieses

Phänomen eines Populationszusammenbruchs nach einem Jahr mit hoher Individuendichte wurde bereits in der Studie von Kempster und Nopp-Mayr (2013) im Urwald Rothwald beschrieben. Nach einem Jahr mit hohem Nahrungsangebot (wie in Mastjahren) kann eine hohe Kleinsäugerpopulation vorhanden sein (sogenanntes Peak-Jahr). Darauf folgt jedoch ein Crash-Jahr, in dem die Population wieder zusammenbricht (Kempster & Nopp-Mayr, 2013). Kempster und Nopp-Mayr (2013) zeigen in ihrer Studie, dass vor allem die beiden Kleinsäugerarten Rötelmaus (*Myodes glareolus*) und Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) besonders stark auf schwankende Nahrungsverfügbarkeit reagieren.

## **4.2 Samenschicksal und Überlebenswahrscheinlichkeit**

### **4.2.1 Markierungsmethoden**

Wie man anhand der Ergebnisse sehen kann, zeigt sich kein signifikanter Unterschied im Samenschicksal zwischen mit vhf-Sender markierten Samen, mit Plastikflagge markierten Samen, sowie Kontrollsamensamen, welche unmarkiert waren. Weder im Aufnahmejahr 2019 noch im Jahr 2020. Keiner der ausgelegten Buchensamen wurde bevorzugt gewählt. Dies entspricht den Erwartungen, da auch zahlreiche andere Studien zeigen, dass Markierungsmethoden nur einen geringen bis gar keinen Effekt auf die Wahl der angebotenen Samen haben (Cheng et al., 2005; Hausleithner, 2014; Hausleithner et al., 2015; Hirsch et al., 2012; Kempster et al., 2018; Wróbel & Zwolak, 2013). Kempster et al. (2018) haben in ihrer Studie bei der Untersuchung der gleichen Baumart im selben Untersuchungsgebiet Urwald Rothwald keine Bevorzugung festgesellt: sowohl Kontrollsamensamen, als auch Buchensamen, die mit vhf-Sendern markiert wurden, sowie Bucheckern mit Plastikflaggen wurden gleichmäßig aus ihren Versuchsschalen entnommen. Auch Wróbel und Zwolak (2013) konnten zwischen der Entnahme von Buchensamen mit Plastikflaggen, mit fluoreszierendem Puder markierten Bucheckern und Kontrollsamensamen keine Präferenzunterschiede feststellen. Es gibt allerdings auch Studien, in denen bestimmte Markierungsmethoden bevorzugt gewählt wurden und somit durchaus Unterschiede in der Akzeptanz der ausgelegten Samen existieren (Xiao et al., 2006; Yi et al., 2008; Yi & Wang,

2015). Yi und Wang (2015) haben in ihrer Studie festgestellt, dass sowohl Kontrollsamens als auch mit Nägeln markierte, durchbohrte und mit Isotopen markierte Eichelsamen früher aus ihren Versuchsschalen entnommen wurden als jene Samen, die mittels Plastikflaggen markiert wurden. In einer weiteren Studie von Xiao et al. (2006) wurde nachgewiesen, dass Kontrollsamens der chinesischen Korkeiche (*Quercus variabilis*), als auch der chinesischen Teepflanze (*Camellia oleifera*), im Vergleich zu Samen, welche mit Plastik- und Zinnflaggen markiert wurden, am schnellsten von den Tieren entnommen wurden. Bei den Markierungsmethoden war ebenfalls ein Unterschied zu erkennen: Dabei wurden Samen, welche mit einer Angelleine und Plastikflagge markiert wurden, bevorzugt gewählt, während jene, die mit einem Draht und Zinnflagge markiert wurden, zu späteren Zeitpunkten aus deren Versuchsstandorten entnommen (Xiao et al., 2006).

Unabhängig von der Markierungsmethode gibt es Studien die zeigen, dass manche Nagetiere bei Samen der gleichen Art größere und schwerere Exemplare bevorzugen (Li et al., 2019; Tamura & Hayashi, 2008; Vander Wall, 1990). Schwere Samen innerhalb einer Pflanzenart werden von Samenprädatoren häufig präferiert, weil sie nahrhafter sind und den Tieren somit mehr Vorteile bringen (Gómez et al., 2008; Jansen et al., 2004; Perea et al., 2012; Seiwa et al., 2002). Da Markierungsmethoden das Gewicht der jeweiligen Samen beeinflussen, ist hier demnach von einem systematischen Effekt der Samenmarkierung auf das Verhalten der Samenprädatoren auszugehen. Buchensamen, die mit Plastikflaggen markiert wurden, weisen eine geringe Gewichtszunahme auf, daher dürfte hier dieser systematische Effekt geringer sein, als bei den Samen, die mit einem vhf-Sender ausgestattet wurden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Kleinsäuger anhand des Gewichtes Samen unterscheiden und aufgrund dessen unterschiedlich behandeln. Da im Zuge dieser Studie kein Unterschied im Auswahlverhalten der Kleinsäuger in Bezug auf die Markierungsmethode festgestellt werden konnte, ist anzunehmen, dass das Samengewicht keine Rolle im Auswahlverfahren der Kleinsäuger spielt.

Hypothese eins kann somit beibehalten werden, da sich bezogen auf die gewählten Markierungsmethoden kein Unterschied in der Wahl der angebotenen Bucheckern aus den Versuchsschalen feststellen lässt.

#### 4.2.2 Lückensituation

In Bezug auf die Variable Lückensituation konnte kein signifikanter Unterschied im Samenschicksal in den ersten acht Tagen im Aufnahmejahr 2019 und 2020 festgestellt werden. Weder Bucheckern innerhalb der Kronendachlücke noch Buchensamen am Rand der Lücke oder unter dem Kronendach wurden bevorzugt von den Kleinsäufern angenommen. Dies ist überraschend, da andere Studien aufzeigen, dass Kleinsäuger in strukturreichen Waldökosystemen dichte Vegetationen mit geringem Prädationsrisiko bevorzugen und dort vermehrt Samen aufnehmen und auch lagern (Alcántara et al., 2000; Kollmann & Buschor, 2003; Schreiner et al., 2000). Dementsprechend war zu erwarten, dass aus den Versuchsschalen im Inneren der Kronendachlücken, sowie im umgebenden Waldbestand die wenigsten Samen entnommen werden oder diese später als jene vom Lückenrand verschleppt werden.

Über den kompletten Zeitraum der Datenaufnahme im Herbst 2020 existierte jedoch ein signifikanter Unterschied am Annahmeverhalten der Samen durch die Kleinsäuger in Bezug auf die Lückensituation. Hierbei wurden die Bucheckern am Lückenrand bevorzugt gewählt. Es gibt eine Vorstudie im gleichen Untersuchungsgebiet des Urwald Rothwald, in der Unterschiede im Auswahlverhalten der Samen in Abhängigkeit der Versuchsschalenstandorte existieren (Hausleithner, 2014). Bei Hausleithner (2014) wurden ebenfalls Bucheckern aus den Versuchsschalen am Lückenrand früher verschleppt als jene im Inneren der Kronendachlücke und jene unter geschlossenem Kronendach. Dies war zu erwarten, da der Lückenrand die höchste Strukturvielfalt aufweist und somit ausreichend Deckung vor Prädatoren bietet.

Es ist zunächst überraschend, dass dieser Unterschied im Annahmeverhalten im Jahr 2019 und nach acht Tagen im Aufnahmejahr 2020 (in diesem Zeitraum wurden im Jahr 2019 bereits alle Samen entnommen) nicht existiert. Ein möglicher Grund dafür könnte die im Aufnahmejahr 2019 sehr hohe Kleinsäugerpopulationsdichte sein. Ein Jahr mit hoher Samenräuberpopulation bedeutet hohe intra- und interspezifische Konkurrenz in Bezug auf die Ressourcenverfügbarkeit. Dadurch müssen die Tiere auch jene Gebiete verstärkt

aufsuchen, die sie ansonsten aufgrund ihres Feindvermeidungsverhalten umgehen würden. Offene Bereiche, die ein erhöhtes Prädationsrisiko mit sich ziehen, wie sie im Inneren von Kronendachlücken vorkommen, werden dadurch ebenso stark aufgesucht wie die geschützteren Gebiete am Lückenrand. Der ausbleibende Unterschied im Annahmeverhalten der Kleinsäuger in Bezug auf die Lückensituation in den ersten acht Tagen im Herbst 2020 könnte hingegen an einem möglichen Populationszusammenbruch der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) liegen. Der starke Unterschied in der Anzahl der entnommenen ausgelegten Bucheckern im selben Zeitraum der Datenaufnahme zwischen den beiden Aufnahmejahren lässt auf einen starken Rückgang in der Kleinsäugerpopulationsdichte schließen. Durch die damit geringere intra- und interspezifischen Nahrungskonkurrenz war zu erwarten, dass weniger ausgelegte Buchensamen aus den Versuchsschalen entnommen werden, da genug Nahrung im Untersuchungsgebiet vorhanden ist. Durch die geringere Dichte an Kleinsäufern dauert es länger, bis die ausgelegten Samen entnommen werden. Dadurch zeigt sich erst nach einem längeren Zeitraum der Datenaufnahme ein signifikanter Unterschied im Auswahlverfahren in Bezug auf die Lückensituation.

Für das Aufnahmejahr 2019, sowie den gleichen Zeitraum der Datenaufnahme im Jahr 2020 kann Hypothese zwei beibehalten werden, da kein signifikanter Unterschied im Annahmeverhalten der Kleinsäuger bezogen auf die Lückensituation existiert.

## **4.3 Initiale Transportdistanz**

### **4.3.1 Markierungsmethoden**

Bei der Analyse der initialen Transportdistanz in Bezug auf die gewählten Markierungsmethoden, konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den mit vhf-Sender markierten Buchensamen, sowie den mit Plastikflagge markierten Bucheckern festgestellt werden. Ein Effekt der Markierungsmethode auf die Transportdistanz konnte bereits in zahlreichen anderen Studien nachgewiesen werden (Hausleithner, 2014; Kempter et al., 2018; Wróbel & Zwolak, 2013; Xiao et al., 2006).

Dies kann mehrere Gründe haben, wie unter anderem das Samengewicht: Wie bereits in Kapitel 4.2.1 erwähnt, sorgt die Markierungsmethode mit vhf-Sender für einen starken Anstieg des Samengewichts. Je schwerer ein Buchensamen, desto höher scheint aus Sicht der Samenprädatoren dessen Nährstoffgehalt (Gómez et al., 2008; Jansen et al., 2004; Perea et al., 2012; Seiwa et al., 2002). Die Kleinsäuger nehmen für diese wertvolle Ressource weite Wege in Kauf, um das Prädationsrisiko der erbeuteten Samen durch intra- und interspezifische Nahrungskonkurrenten zu verringern. Die Transportdistanz der Samen ist infolgedessen eng an das Kleinsäugerverhalten zur Vermeidung von Samendiebstahl gekoppelt. Eine hohe Transportdistanz der Samen reduziert die Plünderungswahrscheinlichkeit durch andere Tiere (Moore et al., 2007; Vander Wall, 2000; Vander Wall & Jenkins, 2003). Das höchste Prädationsrisiko der Samen herrscht in der Zone der Mutterbaumnähe, da dort das Samenangebot am höchsten ist und infolgedessen auch die Nahrungskonkurrentendichte hoch ist. Mit steigender Samentransportdistanz sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass die verschleppte Nahrung von Samenräubern gefunden wird. Die Plünderungswahrscheinlichkeit wird zusätzlich von der Art der Vorratslagerung beeinflusst. Dabei wird vor allem zwischen zwei Vorratslagertypen unterschieden: Es gibt kleine verstreute, oberflächennahe Lager, in denen meist nur ein Samen gelagert wird (scatter-hoarding) und große tiefgegrabene Lager, in denen mehrere Samen aufbewahrt werden (larder hoarding) (Cousens et al., 2008; Hulme, 2002; Li et al., 2019; Vander Wall & Beck, 2012). Je weiter die Lager auseinander liegen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie von Samenräubern gefunden werden.

Jedoch muss auch hier berücksichtigt werden, dass große Abstände zwischen den Vorratslagern zwar das Risiko minimieren, von Samenräubern gefunden zu werden, jedoch führt es auch dazu, dass Kleinsäuger ein erhöhtes Risiko eingehen, selbst zur Beute von Räubern zu werden, aufgrund des längeren Transportweges (Li et al., 2019; Vander Wall & Jenkins, 2003). Des Weiteren führt die erhöhte Transportdistanz auch zu einem höheren Energieverbrauch der Tiere. Zusätzlich wird das räumliche Gedächtnis der Kleinsäuger stärker beansprucht, wodurch die Positionen mancher Lager wieder vergessen werden, wenn sie zu weit voneinander entfernt liegen (Vander Wall & Jenkins, 2003). Wenige große

Vorratslager würden diese Risiken stark reduzieren, hätten aber zur Folge, dass beim Auffinden dieser Nahrungskammern durch Samenräuber sämtliche Baumsamen an Nahrungskonkurrenten verloren gehen würden, falls das Lager nicht verteidigt werden kann (Vander Wall & Jenkins, 2003).

Es ist jedoch auch zu erwähnen, dass die Datenaufnahme vor Ort eventuell Einfluss darauf hatte, wie viele Buchensamen tatsächlich vor Ort gefunden wurden. Aufgrund des limitierten Zeitbudgets während der Feldaufnahmen (Begehungszeitenregelung im Wildnisgebiet Dürrenstein) sind systematische Effekte auf das Finden unterschiedlich markierter Buchensamen und somit auch auf die festgestellten Transportdistanzen nicht auszuschließen. Die Auffindwahrscheinlichkeit von Samen wird umso geringer, je weiter sie verbreitet werden, da der Suchaufwand mit dem Suchradius exponentiell zunimmt (Hirsch et al., 2012). Dies führt dazu, dass die tatsächliche Transportdistanz der Samen unterschätzt wird. Daher wurde bei der Wahl der Markierungsmethode ein Kompromiss zwischen dem gewichtsbeeinflussendem Samenräuberverhalten (Xiao et al., 2013) und dem entfernungsabhängigem Misserfolg der Fundrate eingegangen (Hirsch et al., 2012). Plastikflaggen als Markierungsmethode erhöhen das Gesamtgewicht der Samen, im Vergleich zu vhf-Sendern nur minimal, haben aber ein höheres Risiko nicht gefunden zu werden, je weiter die Bucheckern transportiert werden. Es ist somit möglich, dass mit Plastikflaggen-markierte Buchensamen weiter transportiert wurden, als die Ergebnisse dieser Studie widerspiegeln. Es gibt Studien die belegen, dass Waldmäuse (*Apodemus spp.*), wie sie im Urwald Rothwald vorkommen, Samen verschleppen, die bis zu 40% der Körpermasse der Mäuse erreichen (wie Eicheln von verschiedenen Walnüssen (*Juglans*) und Eichen (*Quercus*)) (Gómez et al., 2008; Tamura & Hayashi, 2008). Solche Baumsamen sind wesentlich schwerer als Buchensamen, welche mit vhf-Sender markiert wurden. Daher ist die Annahme, dass diese Studie aussagekräftige Daten liefert, obwohl die gewählten Markierungsmethoden das Gesamtgewicht der Samen erhöhen, durchaus berechtigt.

Anhand der zur Verfügung stehenden Daten muss die dritte Hypothese abgelehnt werden, da gezeigt werden konnte, dass sich die initiale Transportdistanz der Buchensamen je nach gewählter Markierungsmethode unterscheidet.

### 4.3.2 Lückensituation

Wie man anhand der Ergebnisse sehen kann, zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der initialen Transportdistanz zwischen den Bucheckern im Inneren der Kronendachlücke und jenen am Lückenrand. Zwischen der initialen Transportdistanz der Buchensamen am Rand der Lücke und jenen unter dem Kronendach konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In der Vorstudie von Hausleithner (2014) zeigte sich im gleichen Untersuchungsgebiet im Urwald Rothwald kein Unterschied in der Transportdistanz bezogen auf die drei verschiedenen Versuchsschalenstandorte. Jedoch konnte Hausleithner (2014) feststellen, dass im Wienerwald die Buchensamen in den Versuchsschalen unter dem Kronendach signifikant weiter verschleppt wurden als jene am Lückenrand und innerhalb der Kronendachlücke.

Dass Buchensamen in der vorliegenden Studie aus dem Inneren einer Kronendachlücke am weitesten weg transportiert wurden, war zu erwarten, da die offenen Stellen im Wald ein erhöhtes eigenes Prädationsrisiko mit sich ziehen (Vander Wall, 2010). Daher sind weite Transportereignisse, obwohl diese die eigene Prädationsgefahr erhöhen, an diesem Standort schlüssig, um Schutz vor etwaigen Prädatoren zu suchen. Es wurden aber nicht alle Samen an diesem Standort weit transportiert. Dies kann durch das Hortungsverhalten und die Vermeidung von intra- und interspezifischer Konkurrenz der Kleinsäuger erklärt werden: Ein Nahrungslager ist umso besser, je geringer die Wahrscheinlichkeit ist, dass es von Nahrungskonkurrenten geplündert wird. Da offene Gebiete durch die erhöhte eigene Prädationsgefahr von Kleinsäufern oftmals gemieden werden, ist die Plünderungswahrscheinlichkeit von Nahrungslagern an offenen Standorten geringer. Das bedeutet, dass Kleinsäuger beim Anlegen solcher Nahrungskammern einen Kompromiss zwischen hohem eigenen Prädationsrisiko und geringem Samendiebstahlrisiko eingehen müssen (Vander Wall, 2010).

Das eigene Prädationsrisiko nimmt nicht nur mit steigender Transportdistanz zu, sondern ist auch an den Orten der Samenaufnahme sehr hoch. Die Zonen unter dem Mutterbaum, in denen eine hohe Samendichte existiert, bedeuten einerseits eine hohe

Dichte an Nahrungskonkurrenten und andererseits ein hohes eigenes Prädationsrisiko, da Prädatoren jene Bereiche, aufgrund der hohen Beutedichte, bewusst aufsuchen (Eccard, 2010). Diese hohe Prädationsgefahr am Ort der Samenaufnahme trifft vor allem im Inneren der Kronendachlücke, aber auch in den Bereichen unter dem Kronendach zu. Jene Mikrostandorte haben, im Vergleich zum Lückenrand, eine geringere vegetative Strukturvielfalt und bieten somit weniger Deckung. In diesem Sinn waren am Versuchsschalenstandort am Rand der Lücke, aufgrund der hohen Strukturvielfalt und dem Deckungsangebot, die kurzen Samentransportwege zu erwarten. Diese dichten Vegetationen mit geringerem Prädationsrisiko werden durch das Feindvermeidungsverhalten der Kleinsäuger bevorzugt aufgesucht (Alcántara et al., 2000; Kollmann & Buschor, 2003; Schreiner et al., 2000).

Da sich die initiale Transportdistanz der Bucheckern aus den Versuchsschalen im Lückenninneren signifikant von der initialen Transportdistanz der Buchensamen am Rand der Lücke unterscheidet, muss Hypothese vier abgelehnt werden. Die gewählten Lückensituationen beeinflussen die Samentransferdistanz der Kleinsäuger.

### **4.3.3 Aufnahmejahr**

Des Weiteren konnte ein signifikanter Unterschied in der initialen Transportdistanz zwischen den Aufnahmejahren 2019 und 2020 festgestellt werden. Das lässt sich durch eine unterschiedliche Kleinsäugerpopulationsdichte in den beiden Jahren erklären, die Auswirkungen auf die Ressourcenverfügbarkeit im Untersuchungsgebiet hatte. Es gibt Studien, die belegen, dass die Transportdistanz von Baumsamen sowohl von der Populationsdichte der Kleinsäuger (Jansen et al., 2002; Tamura & Hayashi, 2008; Zhang et al., 2008), als auch der Home Range der jeweiligen Samenvektoren, genauso wie von der Ressourcenverfügbarkeit und der Habitatqualität abhängig ist (Burt, 1943; Soné & Kohno, 1999). Die hohe Populationsdichte an Kleinsäufern im Jahr 2019 sorgte dafür, dass innerhalb von acht Tagen sämtliche ausgelegte Bucheckern entnommen wurden. Dies weist darauf hin, dass in diesem Jahr eine Ressourcenknappheit im Untersuchungsgebiet vorherrschte. Im Jahr 2020 blieb bis zum Ende der Datenaufnahme der Großteil der Samen

in den Versuchsschalen liegen. Ein möglicher Populationszusammenbruch der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) würde erklären, warum 2020 wesentlich weniger Samen gehandhabt worden sind und infolgedessen ein Ressourcenüberangebot im Urwald Rothwald vorhanden war. Ein hohes Nahrungsangebot bedeutet, dass eine geringere intra- und interspezifische Konkurrenz in Bezug auf die Samen existiert und somit die Transportdistanz der Samen abnehmen kann.

#### 4.4 Transportrichtung

Die geringen Transportereignisse der ausgelegten Samen am Lückenrand im Jahr 2019 in Richtung Deckung, sowie der vermehrte Transport in zufällige Richtungen, sowie in die Richtung der Lichtungen, lassen sich durch die hohe Kleinsäugerpopulationsdichte erklären. Eine hohe intra- und interspezifische Konkurrenz bedeutet, dass die Nahrungsressourcen knapp sind. Das Transportieren von Samen in die offenen Gebiete der Lichtungen erhöht zwar das eigene Prädationsrisiko, minimiert jedoch die Plünderungswahrscheinlichkeit durch Nahrungskonkurrenten, da offene Gebiete oftmals von Kleinsäufern gemieden werden (Vander Wall, 2010). In Jahren mit hoher Samenräuberpopulationsdichte ist die Plünderungswahrscheinlichkeit von Vorratskammern in der sicheren Deckung hoch, wodurch die Samenvektoren den Transport der Samen in das offene Gelände in Kauf nehmen.

Im Aufnahmejahr 2020 könnte der verstärkte Transport der ausgelegten Bucheckern am Lückenrand in Richtung der Deckung auf den möglichen Populationszusammenbruch der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) zurückzuführen sein. Die daraus resultierende niedrigere Kleinsäugerpopulationsdichte sorgt für eine geringere intra- und interspezifische Konkurrenz um die verfügbaren Ressourcen. Samen müssen infolgedessen nicht in das gefährliche offene Gelände transportiert werden, sondern die Kleinsäuger können ihre bevorzugten Gebiete mit dichter Vegetation und geringem Prädationsrisiko aufsuchen (Alcántara et al., 2000; Kollmann & Buschor, 2003; Schreiner et al., 2000). Aufgrund der niedrigen Nahrungskonkurrentendichte können Vorratslager in der sicheren Deckung gebaut

werden, da eine mögliche Plünderung der Nahrungskammer durch ausreichend Ressourcen im Gebiet kompensiert werden kann.

## 5 Fazit

Da bereits im Untersuchungsgebiet Urwald Rothwald Studien mit vhf-Sendern und Plastikflaggen markierten Buchensamen durchgeführt wurden (Hausleithner, 2014; Kempter et al., 2018; Nopp-Mayr et al., 2012), wären weitere Studien mit diesen Markierungsmethoden in diesem Gebiet zu empfehlen (bis Ende März 2022 läuft noch das FWF-Projekt (P 30381-B25) „Sporadische Samenproduktion bei mastenden Baumarten“ (SPOM), im Zuge dessen diese Masterarbeit stattgefunden hat), um Erkenntnisse über längere Zeiträume zu erhalten (Phasen mit sporadischen Masten). Die gewählten Markierungsmethoden wirken vielversprechend, da sie eine hohe Fundrate aufweisen und das Gesamtgewicht der Buchensamen nicht die maximalen Toleranzgrenzen der Samenvektoren überschreitet. Die angewendete Wickeltechnik zum Markieren der Samen mit Plastikflagge ist zu empfehlen, da keine der Plastikflaggenmarkierungen lose ohne Samen gefunden wurden. Die Batterielebensdauer der vhf-Sender ist ebenfalls erfolversprechend, da bis Mitte November nach wie vor sämtliche vhf-Sender mittels Receiver auffindbar waren.

Das Nutzen von Kamerafallen über den Versuchsschalenstandorten ist für weitere Studien sehr zu empfehlen. Diese können Rückschluss darauf geben, welche Tierarten die ausgelegten Samen verschleppen (zum Teil auch deren Transportrichtung) und bieten somit Daten für weitere statistische Auswertungen. Das Anordnen der markierten Buchensamen im Uhrzeigersinn, wie es in dieser Studie gemacht wurde, ist für die spätere Nachverfolgung der entnommenen Samen ebenfalls hilfreich. Desweiteren ermöglichen die Kamerafallen über den Versuchsschalen einen Einblick auf die vorkommenden Arten im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Sie dienen somit als Alternative zu Lebendfangfallen.

Da im Zuge dieser Studie keine statistische Auswertung der Transportrichtung der Buchensamen am Lückenrand durchgeführt wurde, wären weitere Studien diesbezüglich im Urwald Rothwald zu empfehlen.

## 6 Literaturverzeichnis

- Alcántara, J. M., Rey, P. J., Sánchez-Lafuente, A. M., & Valera, F. (2000). Early effects of rodent post-dispersal seed predation on the outcome of the plant--seed disperser interaction. *Oikos*, *88*(2), 362–370.
- Beck, M. J., & Vander Wall, S. B. (2010). Seed dispersal by scatter-hoarding rodents in arid environments. *Journal of Ecology*, *98*(6), 1300–1309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01716.x>
- Beckage, B., & Clark, J. S. (2005). Does predation contribute to tree diversity? *Oecologia*, *143*(3), 458–469. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1815-9>
- Bujalska, G., & Grüm, L. (2008). Interaction between populations of the bank vole and the yellow-necked mouse. *Annales Zoologici Fennici*, *45*(4), 248–254.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research*, *33*(2), 261–304.
- Burt, W. H. (1943). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy*, *24*(3), 346–352.
- Cheng, J., Xiao, Z., & Zhang, Z. (2005). Seed consumption and caching on seeds of three sympatric tree species by four sympatric rodent species in a subtropical forest, China. *Forest Ecology and Management*, *216*(1–3), 331–341.
- Cousens, R., Dytham, C., & Law, R. (2008). Dispersal in Plants : A Population Perspective. In *Dispersal in Plants : A Population Perspective*. OUP Oxford. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199299126.001.0001>
- Eccard, J. (2010). Landschaftsmosaik und Risikouniformität - Auswirkungen

zwischenartlicher Interaktionen auf Verhalten und Lebensgeschichte von Kleinsäugetern in der Kulturlandschaft. *Mitteilung Julius Kühn-Institut*, 421, 30-36.

Ellmayer, T. (2011). *Die Blumen des Wildnisgebietes Dürrenstein: Wildnisgebiet Dürrenstein-Blumen*. Schutzgebietsverwaltung Wildnisgebiet Dürrenstein.

Forget, P.-M., & Wenny, D. (2005). How to elucidate seed fate? A review of methods used to study seed removal and secondary seed dispersal. In S. B. Forget, P. M., Lambert, J. E., Hulme, P. E., & Vander Wall (Ed.), *Seed Fate: Predation, dispersal, and seedling establishment* (pp. 379–393).

Gómez, J. M., Puerta-Piñero, C., & Schupp, E. W. (2008). Effectiveness of rodents as local seed dispersers of Holm oaks. *Oecologia*, 155(3), 529–537. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0928-3>

Guo, K., Li, R., & Werger, M. J. A. (2001). Effect of acorn burying depth on germination, seedling emergence and development of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*. *Acta Botanica Sinica*, 43.

Haas, J. P., & Heske, E. J. (2005). Experimental study of the effects of mammalian acorn predators on red oak acorn survival and germination. *Journal of Mammalogy*, 86(5), 1015–1021. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2005\)86\[1015:ESOTEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2005)86[1015:ESOTEO]2.0.CO;2)

Hausleithner, C. (2014). *Seed predation and seed dispersal by small mammals in the Wilderness Area Dürrenstein and in the Biosphere Reserve Wienerwald*. Universität für Bodenkultur Wien.

Hausleithner, C., Kempter, I., Nopp-Mayer, U., & Gratzner, G. (2015). Samenfraß und Samenverbreitung durch Kleinsäuger im Urwald Rothwald. *Silva Fera*, 4, 70–76.

Hirsch, B. T., Kays, R., & Jansen, P. A. (2012). A telemetric thread tag for tracking seed dispersal by scatter-hoarding rodents. *Plant Ecology*, 213(6), 933–943.

Hulme, P. E. (2002). Seed-eaters: Seed Dispersal, Destruction and Demography. In D. J. Levey, W. R. Silva, & M. Galetti (Eds.), *Seed dispersal and frugivory: Ecology, evolution, and conservation* (pp. 257–273). CABI.

- Iida, S. (2006). Dispersal patterns of *Quercus serrata* acorns by wood mice in and around canopy gaps in a temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 227(1–2), 71–78.
- Jansen, P. A., Bartholomeus, M., Bongers, F., Elzinga, J. A., den Ouden, J., & Van Wieren, S. E. (2002). The Role of Seed Size in Dispersal by a Scatter-hoarding Rodent. In D. J. Levey, W. R. Silva, & M. Galetti (Eds.), *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution, and conservation* (pp. 209–225). CABI.
- Jansen, P. A., Bongers, F., & Hemerik, L. (2004). Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. *Ecological Monographs*, 74(4), 569–589.
- Janzen, D. H. (1971). Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2(1), 465–492.
- Kelly, D. (1994). The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(12), 465–470.
- Kelly, Dave, Hart, D. E., & Allen, R. B. (2001). Evaluating the wind pollination benefits of mast seeding. *Ecology*, 82(1), 117–126.
- Kelly, Dave, & Sork, V. L. (2002). Mast seeding in perennial plants: why, how, where? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33(1), 427–447.
- Kempter, I., & Nopp-Mayr, U. (2013). Langzeit-Monitoring von Kleinsäugetern im Wildnisgebiet Dürrenstein. *Silva Fera*, 2, 94–99.
- Kempter, Iris, Nopp-Mayr, U., Hausleithner, C., & Gratzer, G. (2018). Tricky to track: comparing different tagging methods for tracing beechnut dispersal by small mammals. *Ecological Research*, 33(6), 1219–1231.
- Kitamura, S., Yumoto, T., Poonswad, P., Suzuki, S., & Wohandee, P. (2008). Rare seed-predating mammals determine seed fate of *Canarium euphyllum*, a large-seeded tree species in a moist evergreen forest, Thailand. *Ecological Research*, 23(1), 169–177.
- Kollmann, J., & Buschor, M. (2003). Edges effects on seed predation by rodents in deciduous forests of northern Switzerland. *Plant Ecology*, 164(2), 249–261.

- Kon, H., Noda, T., Terazawa, K., Koyama, H., & Yasaka, M. (2005). Evolutionary advantages of mast seeding in *Fagus crenata*. *Journal of Ecology*, 93(6), 1148–1155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01040.x>
- Leditznig, C. (2013). *Managementplan Wildnisgebiet Dürrenstein*.
- Leditznig, C., & Pekny, R. (2009). *Die Säugetiere des Wildnisgebietes Dürrenstein* (1. Aufl.). Schutzgebietsverwaltung Wildnisgebiet Dürrenstein.
- Li, D., Jin, Z., Yang, C., Yang, C., & Zhang, M. (2019). Scatter-hoarding the seeds of sympatric forest trees by *Apodemus peninsulae* in a temperate forest in northeast China. *Polish Journal of Ecology*, 66(4), 382–394.
- Li, H., & Zhang, Z. (2007). Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae). *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 511–517.
- Moore, J. E., McEuen, A. B., Swihart, R. K., Contreras, T. A., & Steele, M. A. (2007). Determinants of seed removal distance by scatter-hoarding rodents in deciduous forests. *Ecology*, 88(10), 2529–2540.
- Muñoz, A., & Bonal, R. (2011). Linking seed dispersal to cache protection strategies. *Journal of Ecology*, 99(4), 1016–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01818.x>
- Muñoz, Alberto, & Bonal, R. (2007). Rodents change acorn dispersal behaviour in response to ungulate presence. *Oikos*, 116(10), 1631–1638.
- Nopp-Mayr, U., Kempter, I., Muralt, G., & Gratzner, G. (2012). Seed survival on experimental dishes in a central European old-growth mixed-species forest--effects of predator guilds, tree masting and small mammal population dynamics. *Oikos*, 121(3), 337–346.
- Ostfeld, R. S., Jones, C. G., & Wolff, J. O. (1996). Of mice and mast. *BioScience*, 46(5), 323–330.
- Perea, R., San Miguel, A., Martinez-Jauregui, M., Valbuena-Carabaña, M., & Gil, L. (2012). Effects of seed quality and seed location on the removal of acorns and beechnuts. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 623–631.

- Plucinski, K. E., & Hunter Jr, M. L. (2001). Spatial and temporal patterns of seed predation on three tree species in an oak-pine forest. *Ecography*, 24(3), 309–317.
- Pucek, Z., Jedrzejewski, W., Jedrzejewska, B., & Pucek, M. (1993). Rodent population dynamics in a primeval deciduous forest (Białowieża National Park) in relation to weather, seed crop, and predation. *Acta Theriologica*, 38(2), 199–232.
- Saastamoinen, M., Bocedi, G., Cote, J., Legrand, D., Guillaume, F., Wheat, C. W., Fronhofer, E. A., Garcia, C., Henry, R., Husby, A., Baguette, M., Bonte, D., Coulon, A., Kokko, H., Matthysen, E., Niitepõld, K., Nonaka, E., Stevens, V. M., Travis, J. M. J., ... del Mar Delgado, M. (2018). Genetics of dispersal. *Biological Reviews*, 93(1), 574–599. <https://doi.org/10.1111/brv.12356>
- Saitoh, T., Vik, J. O., Stenseth, N. C., Takanishi, T., Hayakashi, S., Ishida, N., Ohmori, M., Morita, T., Uemura, S., Kadomatsu, M., & others. (2008). Effects of acorn abundance on density dependence in a Japanese wood mouse (*Apodemus speciosus*) population. *Population Ecology*, 50(2), 159–167.
- Schnurr, J L, Canham, C. D., Ostfeld, R. S., & Inouye, R. S. (2004). Neighborhood analyses of small-mammal dynamics: Impacts on seed predation and seedling establishment. *Ecology*, 85(3), 741–755. <https://doi.org/10.1890/02-0644>
- Schnurr, Jaclyn L, Ostfeld, R. S., & Canham, C. D. (2002). Direct and indirect effects of masting on rodent populations and tree seed survival. *Oikos*, 96(3), 402–410.
- Schönemann, N. (2017). *Weltnaturerbe Wildnisgebiet Dürrenstein ( WGD )*.
- Schreiner, M., Bauer, E.-M., & Kollmann, J. (2000). Reducing predation of conifer seeds by clear-cutting *Rubus fruticosus* agg. in two montane forest stands. *Forest Ecology and Management*, 126(3), 281–290.
- Seiwa, K., Watanabe, A., Irie, K., Kanno, H., Saitoh, T., & Akasaka, S. (2002). Impact of Site-Induced Mouse Caching and Transport Behaviour on Regeneration in *Castanea crenata*. *Journal of Vegetation Science*, 517–526.
- Selva, N., Hobson, K. A., Cortés-Avizanda, A., Zalewski, A., & Donázar, J. A. (2012). Mast

- pulses shape trophic interactions between fluctuating rodent populations in a primeval forest. *PLoS One*, 7(12), 1–6.
- Silvertown, J. W. (1980). The evolutionary ecology of mast seeding in trees. *Biological Journal of the Linnean Society*, 14(2), 235–250.
- Soné, K., & Kohno, A. (1999). Acorn hoarding by the field mouse, *Apodemus speciosus* Temminck (Rodentia: Muridae). *Journal of Forest Research*, 4(2), 167–175.
- Stenseth, N. C., Viljugrein, H., Jedrzejewski, W., Mysterud, A., & Pucek, Z. (2002). Population dynamics of *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*: seasonal components of density dependence and density independence. *Acta Theriologica*, 47(1), 39–67.
- Tamura, N., & Hayashi, F. (2008). Geographic variation in walnut seed size correlates with hoarding behaviour of two rodent species. *Ecological Research*, 23(3), 607–614.
- Vander Wall, S B. (2010). How plants manipulate the scatter-hoarding behaviour of seed-dispersing animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1542), 989–997. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0205>
- Vander Wall, Stephen B. (1990). *Food hoarding in animals*. University of Chicago Press. [https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=AhlvmkSkxeYC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Food+hoarding+in+animals&ots=AwVY8s7J8s&sig=EsPInU\\_tbWjxrPYhjTO1XL0ztuE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=AhlvmkSkxeYC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Food+hoarding+in+animals&ots=AwVY8s7J8s&sig=EsPInU_tbWjxrPYhjTO1XL0ztuE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Vander Wall, Stephen B. (2000). The influence of environmental conditions on cache recovery and cache pilferage by yellow pine chipmunks (*Tamias amoenus*) and deer mice (*Peromyscus maniculatus*). *Behavioral Ecology*, 11(5), 544–549.
- Vander Wall, Stephen B, & Beck, M. J. (2012). A comparison of frugivory and scatter-hoarding seed-dispersal syndromes. *The Botanical Review*, 78(1), 10–31.
- Vander Wall, Stephen B, & Jenkins, S. H. (2003). Reciprocal pilferage and the evolution of food-hoarding behavior. *Behavioral Ecology*, 14(5), 656–667.
- Wang, B., & Ives, A. R. (2017). Tree-to-tree variation in seed size and its consequences for

- seed dispersal versus predation by rodents. *Oecologia*, 183(3), 751–762.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-016-3793-0>
- Wang, B., Wang, G., & Chen, J. (2012). Scatter-hoarding rodents use different foraging strategies for seeds from different plant species. *Plant Ecology*, 213(8), 1329–1336.  
<https://doi.org/10.1007/s11258-012-0091-8>
- Wolff, J. O. (1996). Population fluctuations of mast-eating rodents are correlated with production of acorns. *Journal of Mammalogy*, 77(3), 850–856.
- Wróbel, A., & Zwolak, R. (2013). The choice of seed tracking method influenced fate of beech seeds dispersed by rodents. *Plant Ecology*, 214(3), 471–475.
- Xiao, Z., Gao, X., & Zhang, Z. (2013). The combined effects of seed perishability and seed size on hoarding decisions by Père David's rock squirrels. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(7), 1067–1075.
- Xiao, Z., Jansen, P. A., & Zhang, Z. (2006). Using seed-tagging methods for assessing post-dispersal seed fate in rodent-dispersed trees. *Forest Ecology and Management*, 223(1–3), 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.054>
- Yi, X., & Wang, Z. (2015). Tracking animal-mediated seedling establishment from dispersed acorns with the aid of the attached cotyledons. *Mammal Research*, 60(2), 149–154.  
<https://doi.org/10.1007/s13364-015-0214-4>
- Yi, X., Xiao, Z., & Zhang, Z. (2008). Seed dispersal of Korean pine *Pinus koraiensis* labeled by two different tags in a northern temperate forest, northeast China. *Ecological Research*, 23(2), 379–384.
- Zhang, H., Chen, Y., & Zhang, Z. (2008). Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China. *Forest Ecology and Management*, 255(3–4), 1243–1250.
- Zukrigl, K., Eckhart, G., & Nather, J. (1963). *Standortskundliche und waldbauliche Untersuchungen in Urwaldresten der niederösterreichischen Kalkalpen*. Forstliche

Bundesversuchsanstalt.